

**Diseño de una estación de recarga para dispositivos electrónicos en la Universidad de  
Boyacá**

**Laura Ximena Riveros Soler  
Leidy Jimena Sandoval Pineda**

**Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Ingeniería Mecatrónica  
Tunja, Boyacá  
2024**

**Diseño de una estación de recarga para dispositivos electrónicos en la Universidad de  
Boyacá**

**Laura Ximena Riveros Soler  
Leidy Jimena Sandoval Pineda**

**Trabajo de grado para optar al título de:  
Ingeniera Mecatrónica**

**Director (a):  
Julián Andrés Avendaño León  
Mg. en Tecnología Informática**

**Codirector (a):  
Nairo José Cavieles Rojas  
Ph.D. Ciencias de la Educación**

**Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Ingeniería Mecatrónica  
Tunja, Boyacá  
2024**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Tunja, 10 de mayo 2024

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.  
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

A Dios, por brindarnos la fuerza y voluntad para seguir adelante a pesar de las adversidades; a nuestros padres y hermanos, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y sabiduría nos han apoyado en cada una de nuestras etapas; a cada una de las personas que nos brindaron su ayuda en este largo proceso académico, gracias, nada de esto sería posible sin ustedes.

### **Agradecimientos**

A nuestros docentes, quienes nos brindaron los conocimientos requeridos y nos formaron como profesionales éticas y comprometidas con la sociedad y el medio ambiente. Extendemos especialmente nuestra gratitud a nuestros asesores Julián Andrés Avendaño León y Nairo José Cavieles Rojas; su orientación, paciencia y conocimientos fueron indispensables en el desarrollo de este proyecto.

**Contenido**

	Pág.
Introducción .....	14
1. Caracterización de los espacios adecuados para estaciones de recarga solar.....	16
1.1 Metodología utilizada para identificar y caracterizar los espacios adecuados en el campus universitario.....	16
1.2 Descripción de los criterios técnicos utilizados para la caracterización .....	16
1.3 Distribución espacial y temporal de la irradiación global horizontal en Colombia.....	18
1.4 Distribución espacial y temporal del brillo solar en Colombia.....	20
1.5 Radiación solar en Boyacá.....	23
1.6 Mapeo y ubicación de los espacios potenciales para estaciones de recarga en el campus .....	26
2. Diseño de la estructura eléctrica y mecánica de las estaciones de recarga.....	30
2.1 Consideraciones de diseño eléctrico .....	30
2.2 Cálculo del inversor .....	30
2.3 Cálculo del sistema de almacenamiento .....	31
2.4 Cálculo del controlador MPPT (Maximum Power Point Tracker - Seguidor de Punto de Máxima Potencia).....	32
2.5 Paneles solares .....	33
2.6 Consideraciones de seguridad.....	33
2.7 Cálculo de protecciones en DC.....	34
2.8 Cálculo de protecciones en AC.....	34
2.9 Diseño de la estructura mecánica.....	35
2.10 Plano de la infraestructura eléctrica.....	38
3. Evaluación económica y viabilidad del proyecto .....	40

3.1	Desglose de los costos de construcción, instalación y puesta en funcionamiento de las estaciones de recarga .....	40
3.2	Análisis de los beneficios económicos .....	45
3.3	Energía generada por los paneles solares.....	49
	Ahorro económico .....	49
3.4	Cálculo de los posibles retornos de inversión y el periodo de recuperación de la inversión. ....	49
3.5	Mantenimientos preventivos .....	51
3.6	Gestión de repuestos.....	52
4.	Conclusiones .....	56
5.	Recomendaciones .....	58
	Referencias .....	59
	Anexos .....	60



**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Promedios de irradiación global acumulada diaria recibida en superficie en Tunja .....	22
Tabla 2. Distribución de Área según Radiación en Boyacá .....	25
Tabla 3. Presupuesto global .....	41
Tabla 4. Rubros de Software.....	41
Tabla 5. Rubros de personal.....	42
Tabla 6. Rubros de materiales o suministros.....	42
Tabla 7. Consumo en vatios mientras carga su batería.....	46
Tabla 8. Consumo y valor de las facturas en pesos por mes-Tunja segundo semestre 2022 .....	48
Tabla 9. Ahorro generado en el consumo de energía (kVA) y facturación en pesos colombianos en base a los cálculos realizados en la sección “Análisis de los beneficios económicos”.....	50
Tabla 10. Tiempo de vida útil de los componentes .....	52

### Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Radicación solar en Colombia .....	18
Figura 2. Irradiación global media recibida en una superficie horizontal durante el día, promedio anual multianual (kWh/m <sup>2</sup> por día).....	19
Figura 3. Promedio anual multianual de horas de Sol al día. ....	21
Figura 4. Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Boyacá.....	23
Figura 5. Distribución de Área según Radiación que incide en Boyacá.....	24
Figura 6. Localización campus universidad de Boyacá en Tunja.....	26
Figura 7. Canchas deportivas .....	27
Figura 8. ¿Dónde crees que sería la mejor ubicación para una estación de recarga de dispositivos móviles en nuestro campus? .....	27
Figura 9. ¿Cuál de los siguientes factores consideras más importante al elegir la ubicación de una estación de recarga de dispositivos móviles? .....	28
Figura 10. Zona verde frente al Edificio 1.....	29
Figura 11. Dimensiones estructura mecánica – Estación de recarga.....	35
Figura 12. Vista lateral – Estación de recarga .....	36
Figura 13. Estación de recarga para dispositivos móviles .....	36
Figura 14. Renderizado – Estación de recarga.....	37
Figura 15. Renderizado – Estación de recarga.....	37
Figura 16. Renderizado – Estación de recarga.....	38
Figura 17. Plano infraestructura eléctrica .....	39

**Lista de Anexos**

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto .....	61
Anexo B. Encuesta estaciones de recarga.....	83
Anexo C. Boceto de la estación de recarga para dispositivos.....	87
Anexo D. Valor de facturación y consumo de energía Universidad de Boyacá .....	88
Anexo E. Encuesta número dos- estación de recarga .....	94
Anexo F. Encuesta estación de recarga.....	96

## Resumen

### **Diseño de una estación de recarga para dispositivos electrónicos en la Universidad de Boyacá:**

El trabajo se centró en el diseño de una estación de recarga de dispositivos móviles a partir de paneles solares como una alternativa sostenible en la Universidad de Boyacá. Los objetivos específicos abordaron la caracterización de los espacios idóneos, el diseño de la estructura eléctrica y mecánica, y la elaboración de una propuesta económica para la viabilidad del proyecto; estos, junto a la metodología utilizada, permitieron un enfoque práctico y viable para abordar este desafío, contribuyendo a la innovación científica y tecnológica en línea con el desarrollo sostenible.

El objetivo general del proyecto era desarrollar una propuesta de implementación de estaciones de recarga de dispositivos móviles mediante paneles solares como alternativa sostenible para aprovechar la energía en la Universidad de Boyacá.

La línea de investigación a la cual se vinculó el proyecto fue la de Innovación Científica, Social y Tecnológica para el Desarrollo Sostenible, y estuvo enmarcada en la sublínea de Investigación en robótica, automatización y control. La metodología empleada se desarrolló en tres etapas; primero, se realizó una revisión y selección de materiales y dispositivos, con un enfoque investigativo en la energía solar debido a su potencial en Colombia, específicamente en la ciudad de Tunja, Boyacá, para el estudio de caso enfocado en la Universidad de Boyacá; se llevó a cabo el diseño del sistema eléctrico y la estructura física, considerando la capacidad de carga y la disponibilidad de espacios en la universidad. Finalmente, se elaboró una propuesta económica que tuvo en cuenta el consumo de energía, la inversión, el retorno de inversión y los beneficios del proyecto.

En conclusión, este proyecto buscó generar una alternativa sostenible para la recarga de dispositivos móviles en la Universidad de Boyacá, aprovechando la energía solar.

**Palabras claves:** Almacenamiento y Conversión de Energía, Capacidad y Rendimiento de los paneles solares, Paneles Solares

### **Abstract**

#### **Design of a charging station for electronic devices at the University of Boyacá:**

The work focused on the design of a mobile device charging station using solar panels as a sustainable alternative at the University of Boyacá. The specific objectives addressed the characterization of the suitable spaces, the design of the electrical and mechanical structure, and the preparation of an economic proposal for the viability of the project; These, together with the methodology used, allowed a practical and viable approach to address this challenge, contributing to scientific and technological innovation in line with sustainable development.

The general objective of the project was to develop a proposal for the implementation of mobile device charging stations using solar panels as a sustainable alternative to harness energy at the University of Boyacá.

The line of research to which the project was linked was Scientific, Social and Technological Innovation for Sustainable Development, and was framed in the subline of Research in robotics, automation and control. The methodology used was developed in three stages; First, a review and selection of materials and devices was carried out, with a research focus on solar energy due to its potential in Colombia, specifically in the city of Tunja, Boyacá, for the case study focused on the University of Boyacá; The design of the electrical system and the physical structure was carried out, considering the load capacity and the availability of spaces at the university.

Finally, an economic proposal was prepared that took into account energy consumption, investment, return on investment and the benefits of the project.

**Keywords:** Capacity and Performance of solar panels, Energy Conversion and Storage, Solar Panels.

## Introducción

La demanda de energía eléctrica es una preocupación global, que ha impulsado a las instituciones educativas y organizaciones a buscar soluciones sostenibles para abastecer sus necesidades energéticas. La Universidad de Boyacá, consciente de su responsabilidad con el medio ambiente y la comunidad académica, en el marco de su plan de desarrollo institucional contiene una política de responsabilidad social universitaria que conduce al objetivo de desarrollo sostenible: Campus responsable, el cual está alineado con el objetivo estratégico gestión administrativa y sostenibilidad institucional.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar una propuesta de implementación para una estación de recarga de dispositivos móviles que haga uso de paneles solares como fuente de energía, presentando una solución innovadora y sostenible. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general el desarrollo de una propuesta integral para la implementación de estaciones de recarga alimentadas por paneles solares en la Universidad de Boyacá, esto no solo permitirá satisfacer la creciente demanda de carga de dispositivos móviles en el campus, sino también demostrar un compromiso efectivo con la sostenibilidad y el aprovechamiento de energía limpia y renovable.

Para alcanzar este objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos: Caracterización de los espacios adecuados para la implementación de estaciones de recarga alimentadas por paneles solares en la Universidad, teniendo en cuenta criterios técnicos y de rendimiento, esto implica la identificación de ubicaciones estratégicas que maximicen la eficiencia de los paneles solares y el acceso de la comunidad universitaria a estas estaciones; diseño de la estructura eléctrica y mecánica que conformarán la estación de recarga a partir de parámetros y consideraciones de potencia, este paso garantizará la funcionalidad y seguridad de las estaciones de recarga, así como la optimización de la generación y distribución de energía solar.

Elaboración de una propuesta económica para la construcción, instalación y puesta en funcionamiento de la estación de recarga, que permita la evaluación de la viabilidad del proyecto; la viabilidad financiera del proyecto es esencial para su implementación exitosa, y la propuesta económica analizará los costos, beneficios y posibles fuentes de financiamiento.

Este trabajo de investigación no solo contribuirá al fortalecimiento del estado del arte en el campo de la energía sostenible, sino que también ofrecerá a la Universidad de Boyacá una hoja de ruta práctica para la implementación de estaciones de recarga de dispositivos móviles alimentadas por energía solar, avanzando hacia un futuro más sostenible y amigable con el medio ambiente.

El primer capítulo detalla la caracterización de los espacios adecuados para las estaciones de recarga solar, donde se describe la metodología a utilizar, la descripción de los criterios técnicos, mapeo y ubicación de los espacios potenciales para estaciones de recarga en el campus universitario.

En el segundo capítulo se aborda el diseño de la estructura eléctrica y mecánica de la estación de recarga, donde se tienen en cuenta consideraciones de seguridad, diseño y planos y esquemas detallados de la infraestructura eléctrica y mecánica.

El tercer capítulo se orienta a la evaluación económica y la viabilidad del proyecto, donde se realiza un análisis de los beneficios económicos, cálculos de posibles retornos de inversión y reinversión y finalmente, la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto.

## **1. Caracterización de los espacios adecuados para estaciones de recarga solar**

### **1.1 Metodología utilizada para identificar y caracterizar los espacios adecuados en el campus universitario**

En la primera etapa para el desarrollo del trabajo se realizó una investigación del campus universitario para identificar las áreas que puedan ser consideradas para la implementación de estaciones de recarga solar, este proceso involucró revisión de planos, mapas del campus y encuestas a la comunidad universitaria para recopilar sugerencias y preferencias sobre posibles ubicaciones.

Seguidamente, se establecieron principios específicos que debían cumplir las ubicaciones, basados en criterios técnicos y de rendimiento donde se incluye la evolución de la cantidad de luz solar directa recibida en cada una de las ubicaciones a lo largo del día, la facilidad de acceso para la comunidad universitaria y análisis de posibles obstáculos como árboles o edificios que pueden afectar la eficiencia de los paneles solares.

Finalmente, se aplicó un análisis comparativo y una priorización de las ubicaciones identificadas en función de los criterios técnicos y de rendimiento.

### **1.2 Descripción de los criterios técnicos utilizados para la caracterización**

La orientación solar se refiere a la manera en que los paneles solares son posicionados para aprovechar la luz del sol a lo largo del día, para esto se evalúa el entorno, incluyendo la topografía y la posibilidad de sombras de edificaciones o árboles; para evitar pérdidas de eficiencia la correcta orientación de los paneles solares implica una mayor producción de energía sostenible y renovable, lo que contribuye a la sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo del sistema (Rubio, 2016, p. 35).

En regiones cercanas al ecuador, donde la incidencia solar es alta a lo largo del año, la orientación idónea de los paneles solares puede tener menos impacto en la eficiencia global del sistema, esto se debe a que la radiación solar es más constante y no sufre variaciones drásticas a lo largo de las estaciones. Por el contrario, en latitudes más extremas donde la trayectoria del sol varía significativamente entre invierno y verano, la orientación óptima de los paneles solares es crucial, esto se debe a que la incidencia solar puede variar considerablemente a lo largo del año, y



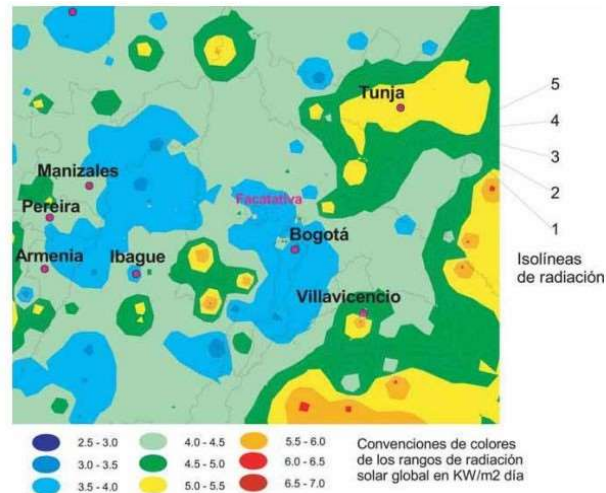
una orientación adecuada permite maximizar la captación de energía solar durante todo el ciclo estacional. Además de la latitud, otros factores como la configuración del entorno urbano juegan un papel importante en la eficiencia de la orientación solar (Granados, 2023, p.15).

Por ejemplo, edificaciones altas o estructuras que proyecten sombras pueden afectar la cantidad de radiación solar que alcanza los paneles. Asimismo, las condiciones climáticas y las variaciones estacionales también influyen en la eficiencia del sistema de captación solar, por ejemplo, en áreas con alta variabilidad climática, es esencial considerar la variación en la radiación solar a lo largo del año para determinar la orientación óptima (Rubio, 2016, p. 107).

Junto con la orientación estática resulta crucial considerar la estimación de pérdidas por sombreado, este proceso implica evaluar cómo la presencia de obstáculos como edificaciones o árboles puede afectar la eficiencia de un sistema solar. En el contexto de la energía solar, es fundamental considerar las tendencias tecnológicas y los desarrollos futuros, estos abarcan avances significativos en la eficiencia y la capacidad de almacenamiento de energía solar. Es importante tener presente que la implementación de energía solar requiere un monitoreo y gestión de datos, estos representan aspectos cruciales para asegurar un rendimiento óptimo y una operación eficiente del sistema solar; el monitoreo continuo del rendimiento implica la supervisión constante de la producción de energía y el estado de los paneles solares, lo que permite identificar posibles problemas y optimizar el rendimiento (Martínez, 2023).

El mantenimiento y la limpieza son aspectos críticos para asegurar el rendimiento óptimo y la durabilidad de un sistema solar. Esto implica llevar a cabo inspecciones regulares para identificar posibles problemas y abordarlos de manera oportuna. Además, la limpieza de los paneles solares es esencial para garantizar una captación eficiente de la radiación solar. Se recomienda realizar la limpieza con agua y detergente suave o mediante el uso de sistemas de limpieza automatizados diseñados para paneles solares. El mantenimiento regular y la limpieza adecuada no sólo prolongan la vida útil del sistema solar, sino que también aseguran un rendimiento consistente y eficiente a lo largo del tiempo (Rubio, 2016, p. 107).

La radiación solar en Colombia (Figura 1) puede variar a lo largo del año debido a las estaciones y otros factores, en el caso específico de Tunja, una ciudad ubicada en una latitud intermedia es importante considerar la radiación solar al diseñar e instalar sistemas de captación solar para maximizar la eficiencia y la captación de energía solar.

**Figura 1***Radicación solar en Colombia*

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2018). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf)

### 1.3 Distribución espacial y temporal de la irradiación global horizontal en Colombia

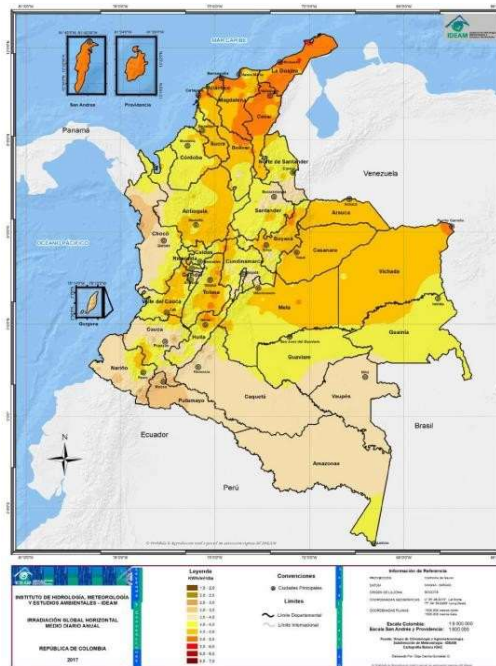
Para determinar las zonas estratégicas en las que se puede hacer uso de la energía solar como la opción más apropiada para satisfacer las necesidades de energía es necesario comprender cómo se distribuye la energía solar en diferentes lugares. En la Figura 2, obtenida del Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia, se muestra el promedio de irradiación global media recibida en una superficie horizontal durante el día, promedio anual multianual (kWh/m<sup>2</sup> por día), junto con las representaciones gráficas de la distribución de esta radiación en las ciudades más importantes del país. El valor de energía refleja la suma de kilovatios-hora (kWh) que, en promedio, incide en un metro cuadrado durante un día, expresado en unidades de kWh por metro cuadrado por día.

Según El Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, debido a su ubicación geográfica, Colombia disfruta de una abundante disponibilidad de recursos solares. Las áreas con mayor intensidad de radiación solar total, que superan los 4.5 kWh por metro cuadrado

al día, incluyen las Islas de San Andrés y Providencia, extensas regiones en la región Caribe, Vichada, Arauca, Casanare, Meta, el norte, sur y este de Antioquia, el centro y norte de Boyacá, el oeste de Cundinamarca, el este y centro del Tolima, el norte del Huila, y una franja que se extiende desde el norte del Cauca, cruza el Valle del Cauca de sur a norte, llega al Eje Cafetero, y abarca áreas específicas del norte de Nariño, del norte de Norte de Santander y del sureste de Santander. Los valores más elevados, que superan los 5.5 kWh por metro cuadrado al día, se encuentran en pequeñas regiones en el centro y norte de La Guajira.

## Figura 2

*Irradiación global media recibida en una superficie horizontal durante el día, promedio anual multianual (kWh/m<sup>2</sup> por día).*



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2017). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. <https://www.andi.com.co/Uploads/RADIACION.compressed.pdf>.

Boyacá está ubicado en el centro oriente del país, atravesado por la Cordillera Oriental de la Región Andina Colombiana, esta exhibe un patrón de radiación solar que varía de manera bimodal, lo que significa que experimenta dos períodos de alta radiación solar y dos de baja a lo

largo del año. Los momentos de mayor irradiación se observan en enero y febrero, así como en julio y agosto (en algunas estaciones, este período puede extenderse hasta septiembre). Por otro lado, los meses con los niveles más bajos de radiación solar son abril, mayo, octubre y noviembre. Para facilitar la comprensión, se establecieron cinco categorías, cada una de 200 Wh/m<sup>2</sup>, con un color asignado correspondiente; en esta escala, el color verde indica los promedios horarios más bajos de radiación, mientras que el amarillo y el anaranjado representan los valores más altos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] , 2017, p. 169).

#### **1.4 Distribución espacial y temporal del brillo solar en Colombia**

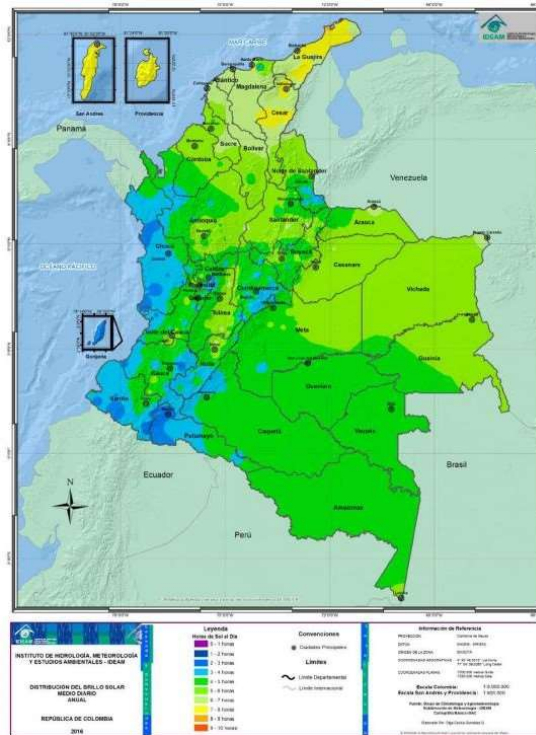
Otra manera de evaluar la radiación solar es a través de la medición de las horas de exposición al sol efectivo en un día (conocido como brillo solar), que está relacionado con la cantidad de tiempo durante el cual la superficie terrestre recibe radiación solar directa. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la duración de la insolación para un período específico se define como la suma de los subperíodos en los que la irradiancia solar directa supera los 120 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>).

El mapa nacional en la Figura 3 presenta el promedio anual multianual de horas de sol al día (hSd), de acuerdo con este mapa, las regiones con los valores más altos de brillo solar diario promedio se encuentran en la región Caribe y la Orinoquía, y se destacan los siguientes aspectos; En la región Caribe, amplias áreas en La Guajira y el norte del Cesar registran promedios de 7 a 9 horas de sol al día (hSd), mientras que la mayor parte del centro y el norte de la región presenta valores de 6 a 7 hSd, y al sur de la región los valores oscilan entre 4 y 6 hSd. Destaca el municipio de Uribe en el departamento de La Guajira, que tiene el promedio más alto de brillo solar en el país, alcanzando 8,4 hSd.

La región Orinoquía cuenta con dos áreas más pequeñas que registran promedios de 6 a 7 hSd en Vichada y Arauca, mientras que gran parte de la región presenta valores de 5 a 6 hSd; En la región Andina, existen áreas reducidas con promedios de 6hSd a 7 hSd en los departamentos de Santander, Tolima, Huila y Antioquia. Además, amplias zonas presentan promedios de 5 a 6 hSd, incluyendo los departamentos de Santander, Antioquia, Boyacá, Huila y Tolima, así como ciertas áreas de Cundinamarca, el Eje Cafetero, Cauca, Valle del Cauca y Nariño (IDEAM, 2017, p. 33).

**Figura 3**

*Promedio anual multianual de horas de Sol al día.*



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2017). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia.* <https://www.andi.com.co/Uploads/RADIACION.compressed.pdf>.

Según el Atlas de Radiación Sola Ultravioleta y Ozono de Colombia, la radiación global acumulada diaria recibida en la ciudad de Tunja cuenta con un promedio anual de  $4497,4 \frac{Wh}{m^2}$  (Tabla 1), por lo que se considera tiene un potencial solar significativo y favorable para la instalación de alternativas sostenibles como paneles solares.

**Tabla 1***Promedios de irradiación global acumulada diaria recibida en superficie en Tunja*

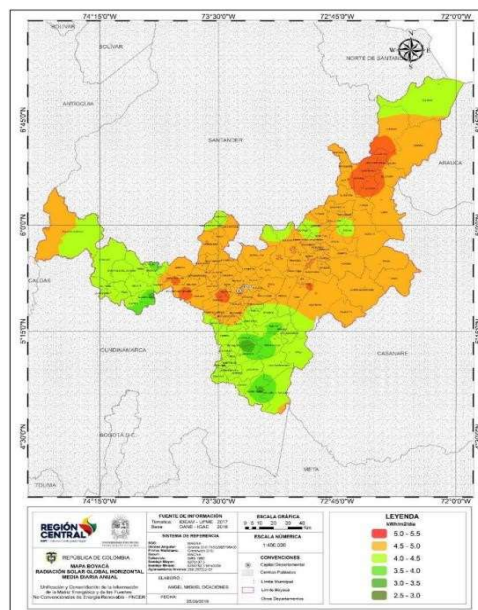
<b>Mes</b>	<b>Valor promedio<sup>wh</sup> m<sup>2</sup></b>
Enero	5061,0
Febrero	4979,7
Marzo	4855,5
Abril	4479,6
Mayo	4198,1
Junio	4143,0
Julio	4167,1
Agosto	4245,5
Septiembre	4412,5
Octubre	4537,3
Noviembre	4341,2
Diciembre	4548,1
<b>Promedio Anual</b>	<b>4497,4</b>

Fuente: Autoras de la investigación, 2023.

## 1.5 Radiación solar en Boyacá

### Figura 4

*Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Boyacá*

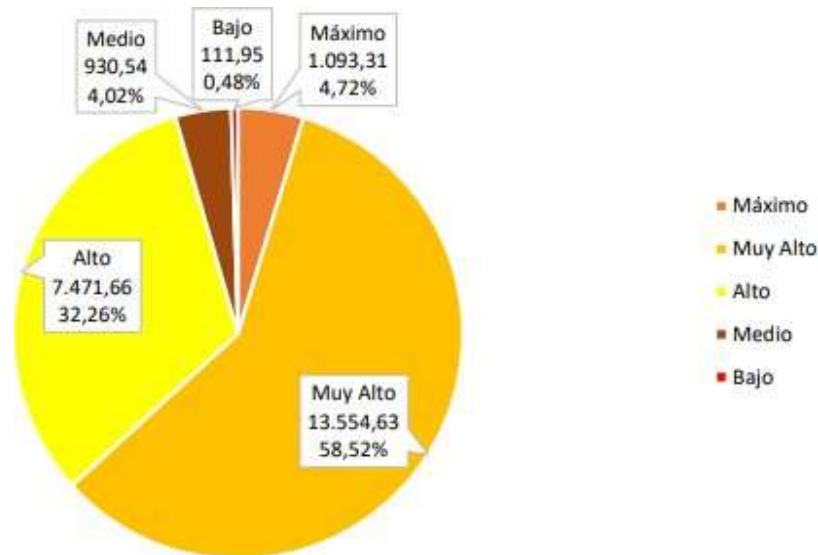


Fuente: Ocaciones Monroy, A. M. (2020). *Potencial solar fotovoltaico en la región central rap-e*. (Trabajo final de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/25267>

Según el informe titulado “Potencial solar fotovoltaico en la región central RAP-E” desarrollado por el grupo de investigación XUE SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARION de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Boyacá exhibe cinco categorías de radiación solar (Figura 6) y la distribución de estas categorías en función del área se caracteriza por la predominancia del nivel de radiación “Muy Alto” en el 58% de su extensión territorial, seguido del nivel “Alto” que comprende el 32% del área, mientras que el nivel “Máximo” abarca el 4.7%. Por otro lado, el nivel “Medio” y el nivel “Bajo” están presentes en un 4.5% del territorio cada uno (Ocaciones, 2020).

**Figura 5**

*Distribución de Área según Radiación que incide en Boyacá*



Fuente: Región Administrativa y de Planeación Especial y Universidad Distrital Francisco José de Caldas [RAP-E] [UD] (2020). *Potencial Fotovoltaico en la región central RAP-E*. <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/POTENCIAL-FOTOVOLTAICO-REGIO%CC%81N-RAP-E.pdf>

Después de Tolima, en Boyacá, se registra una mayor área con niveles máximos de radiación, abarcando un total de 1,093 kilómetros cuadrados, distribuidos en cinco zonas distintas. La zona más extensa se encuentra en el noroccidente del departamento e incluye los municipios de El Espino, Guacamayas, Panqueba, Boavita, La Uvita y parte de Chicas. La segunda zona, ubicada en el centro del departamento, es menos extensa y abarca parcialmente los municipios de Cúitiva, Tota y Aquitania. En el centro-occidente, otra zona afecta parcialmente a los municipios de Cucaita y Samacá. En el occidente, las dos últimas zonas con niveles máximos de radiación inciden parcialmente entre los municipios de San Miguel de Sema, Ráquira y Tinjacá, y la última zona abarca de manera parcial el municipio de Chiquinquirá (Ocaciones, 2020).



En cuanto a niveles de radiación diferentes, el nivel Muy Alto abarca un área de 13,554 kilómetros cuadrados que se extiende desde el centro hacia el noroccidente del departamento y también afecta una parte del municipio de Puerto Boyacá en el oriente. El “nivel Alto”, con una extensión de 7,471 kilómetros cuadrados, se encuentra en el centro hacia el sur y gran parte del oriente del departamento. Por otro lado, los niveles “Medio” y “Bajo”, con una extensión de 1,040 kilómetros cuadrados, se ubican al sur y oriente de Boyacá. Las áreas con menor disponibilidad de recurso solar se encuentran en los municipios de Chinavita, Garagoa y Santa María al sur, y una zona en el municipio de Bellavista al oriente. En la capital del departamento, Tunja, la radiación solar es de nivel “Muy Alto” (Ver Tabla 2) (Potencial solar fotovoltaico en la región central RAP-E [Región central], 2020), dado lo anterior, es posible asegurar que en la ciudad de Tunja hay suficiente radiación solar para generar una cantidad significativa de energía a través de paneles solares y que su implementación sea rentable económica y ambientalmente (Ocasiones, 2020).

**Tabla 2**

*Distribución de Área según Radiación en Boyacá*

Nivel	Rad_kw h_m2	Area_km2	%
Máximo	5.0-5.5	1.093,31	4,72%
Muy Alto	4.5-5.0	13.554,63	58,52%
Alto	4.0-4.5	7.471,66	32,26
Medio	3.5-4.0	930,54	4,02%
Baja	3.0-3.5	111,95	0,48%
<b>Total</b>		23.162,09	100%

Fuente: Región Administrativa y de Planeación Especial y Universidad Distrital Francisco José de Caldas [RAP-E] [UD] (2020). *Potencial Fotovoltaico en la región central RAP-E*. <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/POTENCIAL-FOTOVOLTAICO-REGIO%CC%81N-RAP-E.pdf>

### 1.6 Mapeo y ubicación de los espacios potenciales para estaciones de recarga en el campus

La Universidad de Boyacá sede Tunja, está ubicada en  $5^{\circ}34'03''\text{N}$   $73^{\circ}20'17''\text{W}$  2,692 m (Figura 6), tiene una extensión de  $43.191 \text{ m}^2$  de área construida donde cuenta con amplias zonas verdes, edificaciones, canchas multifuncionales, sala de conferencias, campus deportivo, ágora, entre otros.

#### Figura 6

*Localización campus universidad de Boyacá en Tunja*



Nota: Google. (s.f.). *Universidad de Boyacá*. <https://maps.app.goo.gl/VXxmxeGUqsZyNbReA>.

La elección de la zona para la estación de recarga de dispositivos se realizó a partir de consideraciones técnicas, como la iluminación y la exposición solar, así como en la alta afluencia de estudiantes y el respaldo de la comunidad universitaria a través de una encuesta. Para el caso del presente proyecto en la Universidad de Boyacá se concluye que, la iluminación en el lugar fue un elemento determinante en la selección de esta zona, por ello su ubicación se da frente a las canchas deportivas de la Universidad de Boyacá (Figura 7). Adicionalmente, la exposición al sol desempeña un papel crucial en este caso, pues la ubicación seleccionada se caracteriza por recibir una cantidad significativa de luz solar a lo largo del día, lo que optimiza el rendimiento de cada uno de los paneles solares que alimentarán la estación.

Adicionalmente, un factor determinante en la elección de la ubicación fue la afluencia de estudiantes en la zona, dada su condición de área verde, este lugar es muy transitado por la comunidad universitaria, lo que garantiza un alto nivel de uso y accesibilidad. Otras posibles áreas para considerar para la eventual instalación son: Frente al Edificio 10, parte trasera del Edificio 3

y zona verde Atelier, pues representan una gran afluencia de estudiantes y la exposición a la radiación solar es alta.

### Figura 7

#### *Canchas deportivas*

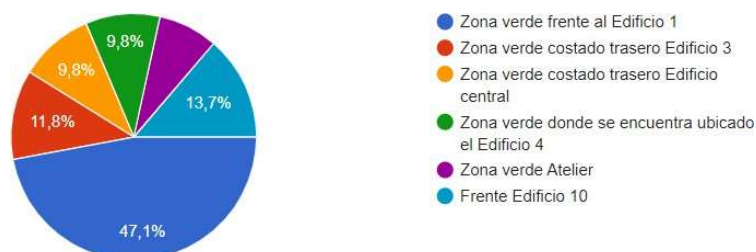


Fuente: Autor de la investigación, 2023.

Finalmente, la decisión se sustenta en resultados estadísticos donde por medio de la técnica de muestreo por conveniencia se realizó una encuesta dirigida (Figura 8) a la comunidad universitaria, de acuerdo con los datos recopilados, existe un fuerte interés por parte de los estudiantes y el personal docente de contar con una estación de recarga de dispositivos en esta área específica, con un porcentaje del 47,1% “Zona verde frente al Edificio 1” (Figura 10).

### Figura 8

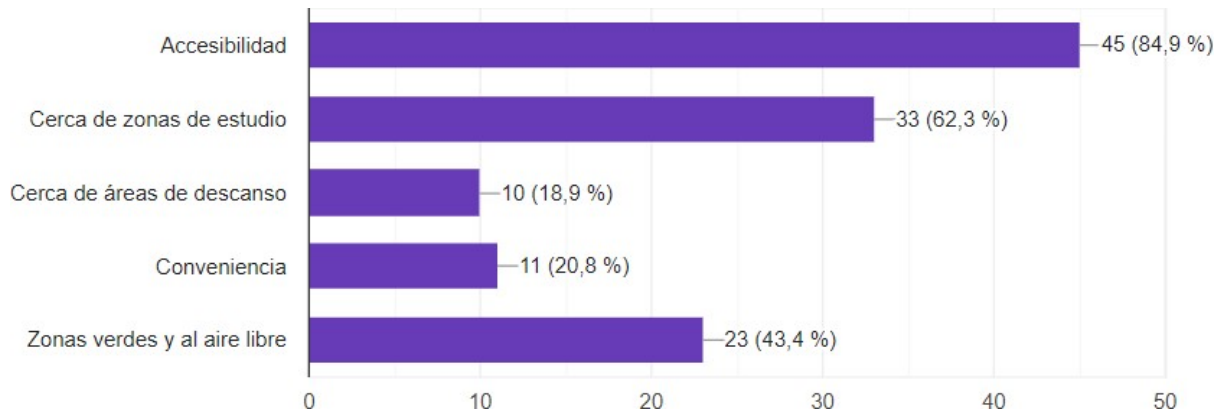
*¿Dónde crees que sería la mejor ubicación para una estación de recarga de dispositivos móviles en nuestro campus?*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Figura 9**

*¿Cuál de los siguientes factores consideras más importante al elegir la ubicación de una estación de recarga de dispositivos móviles?*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

Las respuestas proporcionadas por la comunidad indican claramente la importancia de la accesibilidad al elegir la ubicación de la estación de recarga de dispositivos móviles, ya que obtiene un amplio apoyo con un 84,9% de respuestas a su favor, esto refleja la prioridad que los usuarios otorgan a la facilidad de acceso y la comodidad al cargar sus dispositivos móviles. La preferencia mayoritaria por la "Zona verde frente al Edificio 1" con un 47,1% de aprobación sugiere que esta ubicación específica se alinea con la necesidad de accesibilidad, al mismo tiempo que proporciona un entorno agradable al aire libre para el proceso de recarga.

Cabe destacar que otros factores, como la proximidad a zonas de estudio (62,3%) y la presencia de zonas verdes y áreas al aire libre (43,4%), también son consideraciones importantes para la comunidad universitaria, lo que resalta la importancia de encontrar un equilibrio entre la accesibilidad y la creación de un ambiente atractivo en la ubicación final de la estación de recarga. En consecuencia, se plantea que la estación de recarga se ubique en la "Zona verde frente al Edificio 1" para satisfacer la demanda de accesibilidad de la mayoría de los usuarios, sin dejar de lado la conveniencia de tener áreas de estudio cercanas y un entorno al aire libre agradable para el proceso de recarga.

**Figura 10**

*Zona verde frente al Edificio 1*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

## 2. Diseño de la estructura eléctrica y mecánica de las estaciones de recarga

### 2.1 Consideraciones de diseño eléctrico

Los sistemas de energía solar se basan en paneles solares fotovoltaicos, que convierten la radiación solar en electricidad. Sin embargo, dado que esta conversión se lleva a cabo exclusivamente durante las horas diurnas, es imprescindible disponer de un mecanismo para almacenar la energía con el fin de utilizarla durante la noche. Para llevar a cabo este proceso, se requiere un elemento regulador que gestione el flujo de energía, como el regulador MPPT, que es el dispositivo más eficiente para esta tarea en la actualidad.

Hasta el momento, todos los componentes mencionados operan con corriente continua (DC). Sin embargo, uno de los principales objetivos de estos sistemas es reemplazar o complementar el suministro de energía de la red eléctrica, que funciona con corriente alterna (AC). Por lo tanto, es necesario incorporar un inversor, que convierte la tensión continua, generalmente de 12V o 24V, en una tensión alterna de 120V. Esta última es necesaria para alimentar dispositivos como cargadores de portátiles o teléfonos móviles.

A continuación, se describe el procedimiento de diseño necesario para determinar las especificaciones de los dispositivos mencionados, para esto se hace uso de ecuaciones fundamentales las cuales son el resultado de una síntesis de diversas fuentes de investigación.

### 2.2 Cálculo del inversor

Para determinar la potencia del inversor se tiene en cuenta la carga que se requiere, en este caso se plantean 5 computadores portátiles, los cuales tienen cargadores de 65W máximo:

$$P = 65W \times 5$$

$$P = 325W$$

Este tipo de dispositivos durante el proceso de conversión de tipo de energía lo que hace es que su eficiencia este entre el 80 y el 85%, factor que debe tenerse en cuenta al momento de calcularlo.

$$Eficiencia = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100\% \quad (1)$$

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ salida} \times 100\%$$

En este caso se toma el peor de los casos para este parámetro (Eficiencia=80%) y se despeja la potencia  $P_{DC}$ .

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{Eficiencia} \times 100$$

$$P_{DC} = \frac{325W}{80} \times 100$$

$$P_{DC} = 406W$$

Por lo anterior se selección un inversor de 500W, permitiendo un pequeño factor de sobredimensionamiento. (Catalogo Generale Inverter Convertitori di Frequenza, 2018, pág. 15)

### 2.3 Cálculo del sistema de almacenamiento

Para el cálculo de la o las baterías se parte de la autonomía que se le brindara al sistema, la potencia requerida por el inverso, así como como de cargas adicionales (iluminación).

$$Potencia\ (Iluminación) = 2 \times 10W = 20W \quad (2)$$

$$Potencia\ Total = P_{DC}\ (Inversor) + Potencia\ (Iluminación)$$

$$Potencia\ Total = 406W + 20W = 426W$$

La autonomía del sistema se plantea para 2.5 horas, es decir, la potencia hora/día será:

$$P \frac{h}{día} = 426W \times 2.5\ horas \times 1\ día$$

$$P \frac{h}{día} = 1065Wh/día$$

Este valor de potencia hora/día se toma como la cantidad de energía que se requiere almacenar en la batería la cual se selecciona a 12V:

$$Potencia\ Bateria\ (Potencia\ hora) = 12V \times Corriente\ (Ah) \quad (3)$$

$$Corriente\ (Ah) = \frac{(Potencia\ Bateria)(Potencia\ hora\ día)}{12V}$$

$$Corriente\ (Ah) = \frac{1065Wh}{12V} = 88,75Ah$$

Se conectan 2 baterías en paralelo para tener la corriente requerida:

$$Corriente\ (Ah) = \frac{88,75Ah}{2} = 44,37Ah$$

Se seleccionan dos baterías de 12V 55Ah dado que es un valor comercial y están dentro de los parámetros requeridos.

#### 2.4 Cálculo del controlador MPPT (Maximum Power Point Tracker - Seguidor de Punto de Máxima Potencia)

Se requiere un equipo que puede suministrar la energía para cargar las baterías cuya capacidad de almacenamiento es 1065Wh/día, para tal fin se toma el peor de los casos que son 4 horas de luz día, y se divide el valor de la potencia total hora día en la cantidad de horas que luz día hallando así la potencia instantánea que debe administrar el regulador:

$$P_{regulador} = \frac{1065Wh}{4h} = 266,25W \quad (4)$$

A partir de este valor de potencia instantánea y teniendo en cuenta que las baterías son de 12V se halla el valor de la corriente instantánea que debe soportar el regulador

$$I = \frac{P_{regulador}}{V} = 266,25W \quad (5)$$

$$I = \frac{266,25W}{12} = 22,18\ A$$

Se elige un controlador MPPT de 30A por ser un valor comercial y estar dentro de los parámetros requeridos.



## 2.5 Paneles solares

Para el dimensionamiento de los paneles solares se tiene como referencia la energía necesaria para cargar las baterías tomando una radiación solar máxima durante 4 horas al día, la energía necesaria para cargar las baterías es de 1065Wh, este valor se divide entre las 4 horas para obtener la potencia instantánea de los paneles:

$$P_{\text{paneles}} = \frac{1065\text{Wh}}{4 \text{ horas}} = 266,25\text{W} \quad (6)$$

De acuerdo con esto bastaría con conectar 4 paneles solares para suplir holgadamente los requerimientos de potencia instantánea, sin embargo, dado que el convertidor tiene una eficiencia menor al 100% y que paralelo al momento en que se realiza la carga de las baterías se puede estar conectando algún dispositivo se anexa un quinto panel para garantizar un adecuado factor de sobredimensionamiento, razón por la cual se eligen instalar 5 paneles solares monocristalinos de 100W.

## 2.6 Consideraciones de seguridad

Las consideraciones de seguridad y los cálculos de protecciones en una estación de recarga son fundamentales para garantizar la seguridad de los usuarios, prevenir cortocircuitos y daños en los dispositivos y componentes electrónicos, cumplir con las regulaciones y evitar riesgos financieros y problemas legales. Esto es crucial tanto en entornos públicos como privados, ya que los riesgos eléctricos y ambientales pueden tener consecuencias graves, y la prevención de accidentes, sobretensiones y daños es esencial para una operación segura y sostenible de las estaciones.

El procedimiento de cálculo de protecciones se lleva a cabo en dos partes: en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC). Para las protecciones en corriente continua, primero calculamos la corriente máxima considerando un factor de protección de 1.25, resultando en una corriente de 37.5 A. Esto se utiliza para seleccionar un disyuntor de 40 A DC tipo bipolar, que es ligeramente mayor para evitar llevar al límite el inversor. Lo mismo se aplica al cálculo de

protecciones para el panel solar. En corriente alterna, se tiene en cuenta un factor de seguridad del 1,25 lo que da como resultado una corriente de 5,2 A, por lo que se selecciona un disyuntor de 10 A tipo bipolar AC según el (Ciles, 2023, p. 17) Estos cálculos son esenciales para asegurar que las protecciones sean adecuadas para evitar sobrecargas y garantizar el funcionamiento seguro del sistema.

## 2.7 Cálculo de protecciones en DC

Cálculo de protecciones a la salida del controlador

$$\begin{aligned} \text{Corriente máxima} &= 30A_{dc} \quad fp = 1,25 \\ I_{\text{Protección}} &= I_{\text{max}} \times fp = 30A_{dc} \times 1,25 = 37,5A \end{aligned} \quad (7)$$

Por lo tanto, la corriente de breaker es de 37,5 A. Para no llevar al límite el inversor se selecciona el breaker de 40a<sub>dc</sub> tipo bipolar.

Cálculo de protecciones panel solar

$$\begin{aligned} \text{Corriente máxima} &= 9A_{dc} \quad fp = 1,25 \\ I_{\text{Protección}} &= I_{\text{max}} \times fp = 9A_{dc} \times 1,25 = 11,25A \end{aligned}$$

Por lo tanto, la corriente de breaker es de 11,25 A. Para no llevar al límite el inversor se selecciona el breaker de 15a<sub>dc</sub> tipo bipolar.

## 2.8 Cálculo de protecciones en AC

El valor de la corriente se obtiene dividiendo la salida de potencia del inversor (500W) entre el valor del voltaje RMS nominal de salida (120V AC).

Factor de seguridad según ntc 2050 = 125%

Corriente de breaker=  $4,16A \times 1,25 = 5,2A$

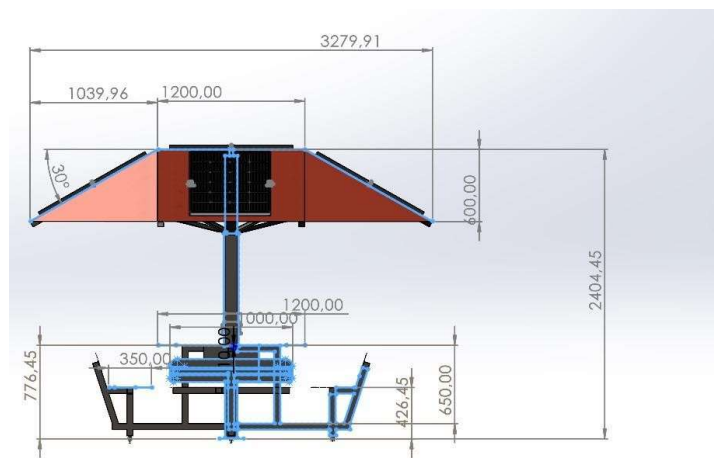
Para no llevar al límite el inversor se selecciona el breaker de 10A tipo bipolar AC, según catalogo Ciles (CILES,2023).

## 2.9 Diseño de la estructura mecánica

Se realizó el diseño de la estructura mecánica de la estación de recarga donde se evidencia que está ubicada en una zona abierta y un lugar adecuado para que los estudiantes puedan realizar sus actividades académicas eficientemente mientras hacen uso de esta para recargas sus dispositivos. Además, se ha incorporado un renderizado que proporciona una visualización detallada y precisa del diseño final, permitiendo una mejor comprensión y evaluación de la propuesta. Esta estación contará con 6 puntos de recarga, por lo tanto, tiene una capacidad para 6 personas aproximadamente.

### Figura 11

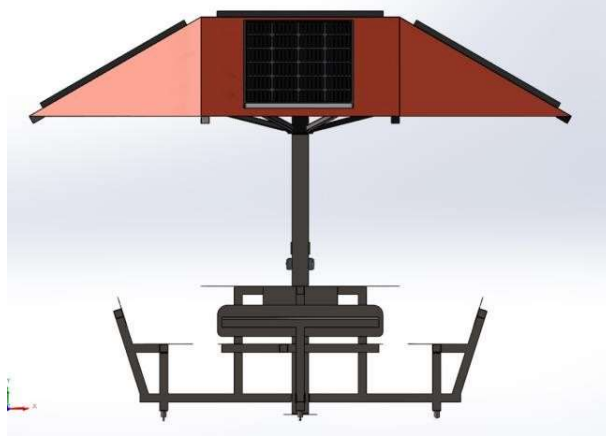
*Dimensiones estructura mecánica – Estación de recarga*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Figura 12**

*Vista lateral – Estación de recarga*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Figura 13**

*Estación de recarga para dispositivos móviles*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Figura 14**

*Renderizado – Estación de recarga*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Figura 15**

*Renderizado – Estación de recarga*



Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Figura 16***Renderizado – Estación de recarga*

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

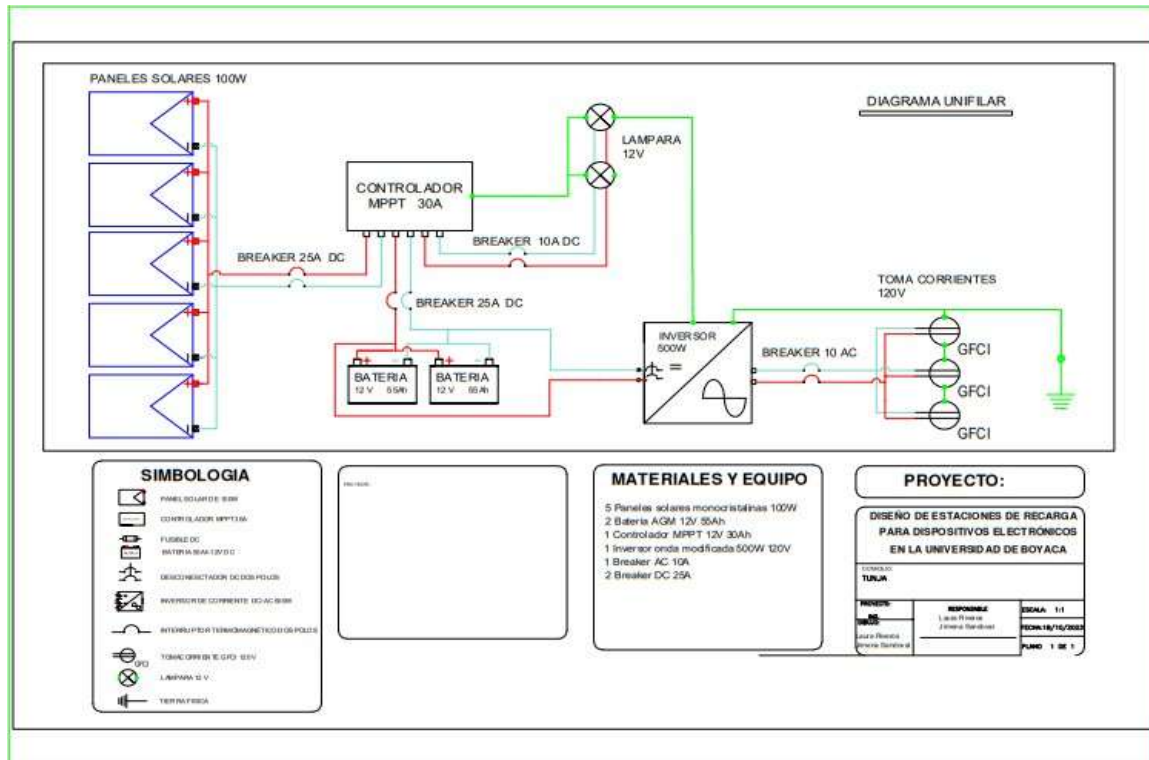
**2.10 Plano de la infraestructura eléctrica**

El sistema de estación de recarga se nutre de cinco paneles solares, cada uno con una capacidad de 100 vatios, dispuestos en paralelo para garantizar un suministro constante de energía. Se incorpora un dispositivo de protección, conocido como breaker DC, que juega un papel crucial al prevenir picos de corriente durante momentos de alta radiación solar. Esto asegura un flujo de corriente seguro y constante hacia el controlador de carga MPPT, encargado de gestionar la energía procedente de los paneles solares. Este controlador no solo supervisa el proceso de carga de las baterías, sino que también evita la sobrecarga, manteniendo así la integridad de la batería. Adicionalmente, una derivación de energía se dirige hacia el inversor, un dispositivo vital que transforma la energía almacenada en las baterías en una corriente alterna utilizable.

Es importante mencionar que este inversor ha sido diseñado para operar dentro de un rango de 500W, y se ha incorporado una salvaguarda para desactivarlo automáticamente en caso de que se conecte un dispositivo con una demanda de potencia superior, evitando así posibles daños. Además, el controlador MPPT cuenta con una salida adicional destinada a la lámpara de 12 voltios. Este componente es fundamental, ya que administra la energía de manera eficaz, asegurando que el funcionamiento de las lámparas no interfiera con el proceso de carga de las baterías. Este sistema integrado, con sus capas de protección y administración de energía, garantiza un rendimiento óptimo y seguro de la estación de recarga alimentada por energía solar.

**Figura 17**

*Plano infraestructura eléctrica*



Fuente: Autor de la investigación, 2023

### **3. Evaluación económica y viabilidad del proyecto**

Se realizó un análisis que incluye la información detallada de los costos asociados a la adquisición e instalación de la estación de recarga, así como la infraestructura necesaria para su funcionamiento, esto se hace con el objetivo de asegurar que la inversión en energía solar para cargar dispositivos electrónicos sea estratégica y sostenible a largo plazo. Esta evaluación financiera no solo busca determinar la rentabilidad del proyecto, sino también garantizar que el uso de energía solar sea una inversión responsable y alineada con los principios de sostenibilidad de la universidad.

#### **3.1 Desglose de los costos de construcción, instalación y puesta en funcionamiento de las estaciones de recarga**

Las siguientes tablas detallan el presupuesto necesario para la implementación de una estación de recarga para dispositivos móviles, alimentada por energía solar, este proyecto se caracteriza por su contribución a la sostenibilidad en la universidad de Boyacá. La tabla desglosa meticulosamente los costos asociados a la construcción y operación de esta estación, poniendo un énfasis especial en la optimización de recursos. Se enfatiza la versatilidad de este presupuesto y se subraya la importancia de una gestión financiera diligente.



**Tabla 3***Presupuesto global*

RUBROS	TIPO DE VINCULACION		FUENTE DE FINANCIACION		UNIVERSIDAD DE BOYACA		Total
	Externa	Interna	Externa	Propia	Especie	Efectivo	
Personal		X		\$ 3.300.000	X		\$ 3.300.000
Materiales y suministro				\$ 11.291.000			\$ 11.291.000
Software							\$ 0
<b>TOTAL</b>							\$14,591,00

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Tabla 4***Rublos de Software*

RECURSOS					
SOFTWARE	JUSTIFICACION	FUENT. FINANC. PROPIA		UNIVERSIDAD DE BOYACA	
		ESPECIE	EFFECTIVO	ESPECIE	EFFECTIVO
SolidWorks	Programa necesario para realizar el diseño general en 3D de la estación de recarga se utiliza la licencia Estudiantil			\$500,000	
AutoCAD	Programa necesario para la simulación del circuito electrónico de la Estación de recarga se utiliza la licencia Estudiantil			\$500,000	
<b>TOTAL</b>					\$ 1,000,000

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Tabla 5***Rubros de personal*

Nombre	Formación Académica	Función Cargo	Dedicación Horas/Semanales	Tipo De Vinculación		Fuent. Financ. Propia		Universidad De Boyaca		TOTAL
				INTERN A	EXTER NA	ESPECI E	EFFECTI VO	ESPECI E	EFFECTIV O	
Laura Riveros	Estudiante	Investigador Principal	8	X		X				\$ 500.000
Jimena Sandoval	Estudiante	Investigador Principal	8	X		X				\$ 500.000
Nairo Cavieles	Doctor	Investigador Secundario	6		X				X	\$ 1.500.000
Julian Avendaño	Magister	Investigador Secundario	6		X				X	\$ 800.000
<b>TOTAL</b>										<b>\$3.300.000</b>

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Tabla 6***Rubros de materiales o suministros*

MATERIALES O SUMINISTROS	Cantidad (Unidad)	Justificación	Valor unitario	TOTAL
MASTIL CENTRAL TUBO 10X10 CALIBRE 3MM	2.5m	Es una estructura vertical que se necesita como soporte principal para la estación de recarga	\$ 42.000	\$ 210.000
ESTRUCTURA TECHO, MESA Y SILLAS EN TUBO 5X5 CALIBRE 18	10m	Se necesita un espacio completo y cómodo para que las personas carguen sus dispositivos electrónicos.	\$ 66.500	\$ 1.000.000
CUBRIMIENTO TECHO, MESA Y SILLAS EN LAMINA COLD ROLL CALIBRE 18	10m	La lámina Cold Roll en la parte superior refuerza y protege la estación contra el clima, aumentando su durabilidad	\$ 76.000	\$ 1.150.000

SOLDADURA	5kg	Se necesita para unir las piezas de la estación de recarga de forma permanente.	\$ 50.000	\$ 250.000
TERMINADO EN PINTURA ELECTROSTÁTICA PARA INTERPERIE COLOR A ELEGIR	6kg	Se necesita aplicar un recubrimiento de pintura con propiedades anticorrosivas y resistencia a la intemperie.	\$ 108.300	\$ 650.000
TOMACORRIENTE DOBLE	3	Un dispositivo eléctrico que ofrece dos salidas de corriente para conectar y cargar dispositivos	\$ 42.500	\$ 128.000
LAMPARA (LAMPARA REFLECTOR LED PANEL SOLAR)	1	Dispositivo de iluminación que utiliza tecnología LED y obtiene su energía a través de un panel solar.	\$ 30.000	\$ 30.000
BATERIA (BATERÍA SOLAR 12V 35 AH)	2	Se necesita fuente de energía para almacenar la electricidad que se genera a partir de los paneles solares	\$ 380.000	\$ 760.000
CONTROLADOR (MPPT DE 12/24 V 50AH)	1	Regula la carga de la batería solar y maximiza la eficiencia en la conversión de energía	\$ 390.000	\$ 390.000
CONECTORES (CONECTOR PANEL SOLAR ADAPTADOR MACHO HEMBRA)	8	Establecen conexiones eléctricas entre los paneles solares y otros dispositivos del sistema de carga	\$ 7.500	\$ 60.000
INVERSOR 500W	1	Dispositivo eléctrico que convierte la corriente continua (CC) proveniente de una batería en corriente alterna (CA) que puede	\$ 580.000	\$ 580.000

			ser utilizada para alimentar dispositivos electrónicos.		
PROTECCIONES AC 10A	2	2	Se utilizan para proteger el sistema de corriente continua (AC) que suministra energía a la estación.	\$ 21.000	\$ 42.000
PROTECCIONES EN DC 20A)		4	Se utiliza para proteger el sistema de corriente continua (DC) que suministra energía a la estación.	15500	\$ 62.000
PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 100W 12V		5	es una placa que absorbe la luz solar y la convierte en electricidad.	\$ 383.400	\$ 1.917.000
ESTRUCTURA CUBIERTA METÁLICA TRAPEZOIDAL 1 PANEL SOLAR FALCAT		5	infraestructura diseñada para anclar y resguardar un panel solar	\$ 353.500	\$ 1.767.270
CABLE FOTOVOLTAICO		15m	El cable fotovoltaico es un conductor diseñado para llevar la energía generada por paneles solares hacia sistemas de almacenamiento o inversores.	\$ 6.800	\$ 100.000
PLATINAS Y DEMAS ELEMENTOS DE FIJACIÓN Y ARMADO			asegurar y ensamblar los diferentes elementos de la infraestructura, como paneles solares, Estructuras y otros equipos.	\$ 450.000	\$ 450.000

MANO DE OBRA	Se encarga de implementar el diseño de la estación de recarga	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
INSTALACION	Se encarga de instalar la estación de recarga en la universidad de Boyacá	\$ 500.000	\$ 500.000
TOTAL			\$11.846.270

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

**Observación:** dado que en la tabla anterior se incluyen precios de distintos proveedores, el periodo de validez de la propuesta económica es de 30 días, posterior a esta fecha es necesario reevaluar posibles ajustes dependiendo de los precios asignados por los proveedores disponibles en el mercado.

### 3.2 Análisis de los beneficios económicos

Para calcular el ahorro de energía y la reducción de costos en la factura de consumo de energía al implementar una estación de recarga de dispositivos con paneles solares, primero se debe considerar la cantidad de energía que generan los paneles solares y cuánta de esa energía se utilizará para cargar dispositivos en la estación. En este proyecto, se plantea que la estación de recarga sea utilizada por la comunidad universitaria en el horario de las 7:00 am a 6:00 pm, lo que equivale a 11 horas diarias. La estación contará con 2 tomacorrientes dobles y un tomacorriente sencillo lo cual permite tener (5 puntos de recarga), por lo tanto, durante estas 11 horas transcurridas diariamente se estima que se puedan cargar a aproximadamente 25 dispositivos diarios ya que el promedio de tiempo de recarga es de 2 horas.

$$5 \text{ dispositivos} \times \text{punto} = 5 \times 5 \text{ puntos} = 25 \text{ dispositivos al día}$$

$$1 \text{ semana} = 6 \text{ días} = 150 \text{ dispositivos a la semana}$$

Se sugieren 6 días a la semana ya que el Domingo el personal de la universidad normalmente no labora.

La estación de recarga genera 500W continuamente, para el siguiente cálculo, asumiremos que cada uno de los dispositivos consumen 65W (Promedio de acuerdo con el tipo de cargadores comerciales), a pesar de que esto varía del dispositivo y la marca, en la tabla 7 se muestran los distintos valores en el mercado.

**Tabla 7**

*Consumo en vatios mientras carga su batería*

<b>Dispositivo</b>	<b>Consumo (W)</b>
Computador HP	45
Computador Lenovo	65
Computador TOSHIBA	65
Computador ASUS	65
Celular	10-15
Celular-Carga rápida	25-45-65
Tablet	10-15-20

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

Al día cada punto proporcionará un valor de consumo de 325W ( $65W \times 5$  dispositivos cargados en el punto (10 horas) = 325W), esto quiere decir que los 5 puntos generaran un valor de consumo de energía de 1,625W en el día. Por lo tanto, a la semana se tendría un valor de 9,750W de los 5 puntos, al mes tendríamos alrededor de 600 dispositivos haciendo uso de este prototipo, los cuales generarían un valor de consumo de 39,000W.

Sin embargo, si calculamos el tiempo de disponibilidad con la potencia total que dispone la estación de recarga tenemos un valor de 33,000 W al día.

$$10\text{horas} \times 500W = 5.000Wh \text{ al día en la estación}$$

$$5000Wh \times 6 \text{ dias} = 30.000 Wh, \text{ a la semana en la estación}$$

$$30.000Wh \times 4 (\text{Semana}) = 120.000 Wh \text{ al mes}$$

Continuamente se realiza la conversión de Watts a kVA (Kilovolt-amperios), esta es necesaria en los cálculos de consumo de energía de equipos eléctricos debido a la diferencia entre la potencia activa (Medida en Watts) de estos y la potencia aparente (Medida en kVA) en sistemas de corriente alterna (AC). Adicionalmente, la potencia aparente (kVA) refleja la carga total que un equipo proporciona en una red eléctrica; esto es importante para dimensionar los componentes del sistema eléctrico, optimizar la eficiencia energética, evitar sobrecargas, facturar la energía eléctrica según la demanda real y garantizar la distribución eficiente de energía, ya que la potencia aparente refleja tanto la potencia activa como la reactiva. Para realizar de esta conversión se hace uso de la siguiente ecuación:  $kVA = \frac{W}{F.p \times 1000}$ , donde:

- W = Watts.
- kVA = Kilovoltio-amperios.
- F.p= Factor de potencia, este es una relación entre la potencia real (W) y la potencia aparente (kVA), esta puede variar entre 0 y 1 y represente la eficiencia en la que se utiliza la energía eléctrica. En su mayoría, las cargas eléctricas industriales y comerciales tienen factores de potencia que normalmente suelen oscilar entre 0,7 y 1,0, con un valor típico de alrededor de 0,9 para variadas aplicaciones. (Conversiones eléctricas, 2023)
- Valor de consumo si se utiliza toda la potencia de la estación:

$$kVA = \frac{120,000W}{0,9 \times 1000} = 133,33kVA$$

Según la empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P, bajo el marco de tarifas de energía eléctrica proporcionado por la empresa, el valor de esta es aproximadamente de \$823,13 pesos por KvA-hora; para este valor se consideran características como el sector residencial, rango de consumo y concepto. Definiendo esto, se realiza una regla de tres simple donde se tiene en cuenta un mes de consumo en KvA y el valor de la factura en pesos de la Universidad de Boyacá, en este caso se toma el valor de consumo y facturación del mes de Julio – Segundo semestre 2022 de la

universidad de Boyacá, el cual equivale a 62,405 kVA y 58,044,782 pesos colombianos (Adjunto en la tabla 8).

**Tabla 8**

*Consumo y valor de las facturas en pesos por mes-Tunja segundo semestre 2022*

<b>MES</b>	<b>CONSUMO (kVA)</b>	<b>VALOR FACTURACIÓN (Pesos colombianos)</b>
Julio	62,405	58,044,782
Agosto	56,290	49,532,807
Septiembre	62,285	58,393,562
Octubre	57,679	54,363,029
Noviembre	62,726	58,457,980
Diciembre	55,859	51,942,930
<b>TOTAL</b>	<b>357,244</b>	<b>330,735,090</b>

Fuente: Autor de la investigación, 2023. Basado en información suministrada por la división de infraestructura Universidad de Boyacá, 2022.

$$\text{Valor del consumo} = \frac{133,33kVA \times 58'044,782}{62,405kVA} = 124,014 \text{ pesos colombianos.}$$

Por lo tanto, la estación de recarga para dispositivos móviles al mes nos ofrecería un valor estimado de 133,33 kVA y 124,014 pesos colombianos; lo que a su vez en un año los resultados esperados serían de 1,599.96 kVA y 1,488.168 pesos colombianos en su reducción de costos en la factura; esta es una cifra significativa en relación con el elevado consumo y costo de energía que adquiere la Universidad de Boyacá.



### 3.3 Energía generada por los paneles solares

El panel solar genera 500 vatios continuamente, se multiplica esto por la cantidad de horas promedio de sol que recibe al día en su ubicación. Asumiendo que estas sean 7.5 horas de sol promedio al día más la autonomía (2.5 h), tendríamos 10 h diarias:

$$\text{Energía diaria generada} = 500 \text{ watts} \times 10 \text{ horas} = 5000 \text{ vatios} - \text{hora}$$

$$\text{Energía mensual generada} = 5.0 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 150 \text{ kWh por mes.}$$

### Ahorro económico

Para deducir el ahorro económico se debe conocer la tarifa de electricidad por kilovatio-hora (kWh) en el área, en este caso, la tarifa es de \$823,13, este se calcula multiplicando la energía generada por los paneles solares por la tarifa de electricidad:

$$\text{Ahorro mensual en pesos} =$$

$$\text{Energía mensual generada en (kWh)} \times \text{Tarifa por kWh (En } \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}})$$

$$\text{Ahorro mensual en pesos} = 150 \text{ kWh} \times 823,13 \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}} = \$123,469$$

### 3.4 Cálculo de los posibles retornos de inversión y el periodo de recuperación de la inversión.

Según EDP, una empresa energética mundial, la vida útil de un panel fotovoltaico se encuentra sujeta a diversos parámetros técnicos, como la calidad de los materiales, el diseño estructural, las variables climáticas y la gestión de mantenimiento. En términos generales, los paneles solares se conciben para un rendimiento sostenido de al menos 25 años, si bien es frecuente que numerosos módulos continúen generando energía de forma eficaz incluso durante períodos que se extienden hasta los 30 o 40 años, esta afirmación se halla respaldada por las garantías habituales emitidas por los fabricantes de paneles solares, quienes garantizan un rendimiento del 80% o superior durante al menos 25 años.

Es oportuno destacar que la eficiencia de un panel solar puede experimentar una disminución gradual con el transcurso del tiempo debido a la exposición a las inclemencias

meteorológicas y otros factores ambientales, esta pérdida de eficiencia se conoce como degradación y, de manera general, se estima en un rango que oscila entre el 0.5% y el 1% de decremento anual de eficiencia en paneles solares de alta gama; para prolongar la vida útil de un panel solar, resulta crucial realizar una instalación adecuada, mantener una limpieza constante y llevar a cabo inspecciones de rutina.

La inversión inicial para la implementación de esta estación de recarga, desde su diseño e instalación tiene un valor aproximado de \$ 14,591,000 por lo tanto, su retorno de inversión se generaría en 10 años aproximadamente, generando un ahorro de consumo de 15,999.6 kVA como se puede visualizar en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Ahorro generado en el consumo de energía (kVA) y facturación en pesos colombianos en base a los cálculos realizados en la sección “Análisis de los beneficios económicos”.*

CANTIDAD DE AÑOS	CONSUMO EN KVA	VALOR EN PESOS COLOMBIANOS
1	1.599	1'488,168
2	3.198	2'976,336
3	4.797	4'464,504
4	6.396	5'952,672
5	7.995	7'440,840
6	9.594	8'929,008
7	11.193	10'417,176
8	12.792	11'905,344
9	14.391	13'393,512
10	15.990	14'881,680
11	17.589	16'368,848
12	19.188	17'858,016
13	20.787	19'346,184
14	22.386	20'834,352
15	23.985	22'322,520
20	31.980	29'763,360
25	39.975	37'204,200
30	47.970	44'645,040
35	55.965	52'085,880
40	63.960	59'526,720

Fuente: Autor de la investigación, 2023.

Planteando que el panel solar tendrá un ciclo de vida de 25 años, a partir del retorno de inversión, esta estación será 15 años más funcional donde solo requerirá de mantenimiento, por lo tanto, generaría un valor significativo en facturación de aproximadamente \$ 45'888,700.

### **3.5 Mantenimientos preventivos**

En un mantenimiento preventivo de una estación de recarga con paneles solares para dispositivos móviles, se deben llevar a cabo varias acciones para garantizar su eficiencia y durabilidad. En primer lugar, se debe realizar una inspección visual exhaustiva de los paneles solares en busca de daños visibles, como grietas o roturas en el vidrio, conexiones sueltas o corroídas, y problemas en la estructura de montaje. Es esencial realizar una limpieza regular para eliminar la suciedad, polvo y escombros que puedan obstaculizar la captación de energía solar.

Además, se deben verificar los cables y conexiones eléctricas en busca de corrosión o desgaste, asegurando un flujo de energía óptimo. Se deben llevar a cabo pruebas de funcionamiento para garantizar que la estación esté generando energía eficazmente y que la salida de carga sea adecuada. También, es importante inspeccionar y verificar el funcionamiento de los componentes electrónicos internos. El mantenimiento preventivo regular garantiza que la estación de recarga solar funcione de manera óptima, prolongando su vida útil y proporcionando una carga confiable y sostenible para dispositivos móviles. Además, aumenta la fiabilidad al evitar fallos inesperados y mejora la eficiencia energética, reduciendo costos operativos.

Para la estación de recarga de dispositivos móviles estos mantenimientos preventivos se plantean 2 veces al año, es decir, semestralmente; para la estructura eléctrica se realizan acciones de verificación y revisión de; tensiones, posibles fugas eléctricas, entradas y salidas, etc, en el caso de la estructura mecánica se verifica estado físico, pintura y corrosión de la estructura.

### 3.6 Gestión de repuestos

La gestión de repuestos en los mantenimientos preventivos de una estación de recarga es esencial para asegurar la disponibilidad inmediata de piezas en caso de fallas, lo que reduce el tiempo de inactividad, asegura el mantenimiento oportuno y eficiente, minimiza riesgos y costos, y contribuye a la prolongación de la vida útil de la estación. Además, esta práctica garantiza la calidad y compatibilidad de los componentes de reemplazo, lo que mejora la confiabilidad del sistema y optimiza el rendimiento a lo largo del tiempo, brindando un servicio confiable y sostenible a la comunidad universitaria. Entre las consideraciones, se debe plantear la vida útil de cada uno de los componentes de la estación de recarga, desde su estructura eléctrica como mecánica (Tabla 10).

**Tabla 10**

*Tiempo de vida útil de los componentes*

COMPONENTES	VIDA UTIL(Años)	OBSERVACIONES
Lámpara	2-5	Varía según varios factores, como el tipo de lámpara, la marca, la calidad, la intensidad de uso y las condiciones de funcionamiento.
Batería	5-10	Se mide en términos de su capacidad para retener una carga y su rendimiento óptimo. Con el tiempo, todas las baterías experimentarán una degradación gradual, lo que significa que requerirán recambio o recarga con mayor frecuencia.
Controlador	10-20	Depende de varios factores, incluyendo la calidad del producto, las condiciones de operación y el mantenimiento adecuado. En general, los controladores MPPT son

Inversor	10-25	<p>dispositivos diseñados para funcionar de manera confiable durante muchos años.</p> <p>Depende en gran medida de la calidad del producto, el mantenimiento adecuado, las condiciones de operación y el uso dentro de las especificaciones.</p> <p>Es importante seguir las recomendaciones del fabricante y monitorear el rendimiento de los paneles a lo largo de su vida útil para asegurarse de que funcionen de manera eficiente.</p>
Panel solar	25-40	<p>Varia significativamente según su uso, el tipo de material del que esté hecho, las condiciones ambientales a las que esté expuesto y el mantenimiento que reciba.</p>
Mástil Central tubo	10-50	<p>Las láminas de acero laminado en frío duran décadas, incluso más de 50 años en condiciones normales de uso y mantenimiento adecuado. Sin embargo, en entornos más adversos o con alta exposición a la corrosión, la vida útil puede ser más corta.</p>
Lámina Cold Rolled	-	<p>La vida útil de una soldadura puede variar según una serie de factores, incluyendo el tipo de soldadura, el material que se está uniendo, las condiciones de carga y las condiciones ambientales.</p>
Soldadura	-	<p>Depende de varios factores, como la calidad de la pintura, las condiciones de exposición y el mantenimiento. La pintura electrostática es un método de</p>
Pintura electrostática	5-20	

		<p>recubrimiento en el que se aplica una carga eléctrica al polvo de pintura, lo que permite una aplicación uniforme y una adherencia fuerte a la superficie.</p>
Toma corriente	-	<p>La duración de un tomacorriente depende de la calidad del dispositivo, la frecuencia de uso, las condiciones ambientales y el mantenimiento adecuado.</p>
Conectores	-	<p>En general, la vida útil de los conectores depende de la calidad del conector, el tipo de aplicación, la frecuencia de conexión y desconexión, las condiciones ambientales y el mantenimiento adecuado.</p>
Protecciones AC Protecciones DC	-	<p>Varía según la calidad, el tipo, el uso, las condiciones y el mantenimiento. En aplicaciones críticas, como sistemas de distribución eléctrica o instalaciones industriales, se siguen prácticas de mantenimiento rigurosas y se realizan inspecciones regulares para garantizar un rendimiento seguro y confiable de las protecciones.</p>
Platina y elementos de fijación-armado	-	<p>Se espera que duren décadas o más. Sin embargo, la vida útil exacta puede variar ampliamente según los factores: Tipo de material, condiciones ambientales, carga y tensión, calidad de los elementos de fijación y mantenimiento.</p>

Como se evidencia en la tabla anterior, la mayoría de los componentes tienen un largo periodo de vida útil (5 años mínimo) que bajo las condiciones adecuadas se considera pueden durar varias décadas, lo que significa una ventaja económica; es importante resaltar que cada material está sujeto al cuidado que se le dé.

#### 4. Conclusiones

En Tunja, la radiación solar es de aproximadamente  $4.5 \frac{Kwh}{m^2}$  y  $5.0 \frac{Kwh}{m^2}$ , esta es suficiente para generar una cantidad significativa de energía a través de paneles solares, por lo cual se concluye que es rentable implementar este tipo de tecnología sostenibles en lugares donde el consumo es elevado, en este caso, se propone una estación de recarga para dispositivos móviles en la Universidad de Boyacá, ya que esta tiene una aprobación del 97,9%, donde la comunidad académica afirmó que haría uso de una estación de recarga si esta se llegase a implementar en las zonas verdes de la universidad; al gestionar la propuesta de diseño la selección de ubicación para la posible implementación de la estación en el campus fue un factor importante y este se basó en consideraciones de factores técnicos y de preferencia de la comunidad universitaria; se eligió frente a las canchas deportivas de la universidad debido a que allí se puede tener una exposición solar significativa y además es una zona de alta afluencia de estudiantes, esta elección se respalda con los resultados de una encuesta que reveló que es del interés de la comunidad universitaria contar con este tipo de alternativas en esta ubicación específica con un porcentaje del 47,1%; por otra parte se identificó que la accesibilidad es un factor clave al igual que la comodidad y la proximidad a zonas de estudio.

El diseño de esta estación no solo proporciona una visión clara de la estructura eléctrica y mecánica necesaria para su óptimo funcionamiento, sino que también ofrece una serie de beneficios concretos pues está diseñada para cargar hasta cinco dispositivos de manera simultánea, puesto que tiene una capacidad de proporcionar una potencia de  $5.5 \frac{kWh}{día}$  aproximadamente.

Si se llegara a incrementar el número de estaciones resultaría aún más beneficioso tanto económicamente como para la sostenibilidad del campus, reflejado en un ahorro económico; en este caso, al presentar una propuesta para su futura implementación cabe destacar que el análisis económico preliminar sugiere una inversión inicial de \$15,500,00 aproximadamente para una estación de recarga y se proyecta un período de retorno de inversión de aproximadamente 7 años, lo que refuerza la viabilidad económica de este proyecto, convirtiéndolo no solo en una alternativa autosostenible, eficiente para la comunidad universitaria y también amigable con el medio ambiente, cumpliendo con uno de los propósitos trazados dentro de la política de responsabilidad



social universitaria en la cual está enmarcada hacia el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible dentro de la Universidad de Boyacá.

Los objetivos propuestos para la implementación de la estación de recarga con paneles solares en la Universidad de Boyacá se han cumplido de manera exitosa; puesto que se logró caracterizar los espacios adecuados, se diseñó la estructura eléctrica y mecánica, y se elaboró una propuesta económica que respalda la inversión inicial y proyecta un período de retorno de inversión; esta iniciativa no solo se demuestra viable desde una perspectiva económica, sino que también demuestra un compromiso con la innovación tecnológica, la sostenibilidad y la satisfacción de la comunidad académica; De igual manera la universidad, al proporcionar un servicio de carga accesible y amigable con el medio ambiente, puede posicionarse a futuro como líder en la adopción de tecnologías sostenibles, fomentando un entorno más ecológico y atendiendo las demandas de una comunidad universitaria consciente de la importancia del cuidado del medio ambiente y la eficiencia energética y con este proyecto se ejemplifica el potencial de la energía solar en entornos académicos y su contribución al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

## 5. Recomendaciones

Para asegurar un funcionamiento óptimo de la estación de recarga, es fundamental considerar varias pautas esenciales. En primer lugar, se debe garantizar que, durante al menos el 90% del día, no exista la posibilidad de que la sombra de edificios u otras estructuras interfiera con la recepción de luz solar por parte de los paneles. De igual importancia, si la estación se encuentra cerca de árboles, es necesario prestar atención a la acumulación de hojas en los paneles, ya que la falta de limpieza inmediata puede resultar en daños a las celdas de estos.

Además, se recomienda tener presente la orientación de la estación con el propósito de optimizar la exposición a la radiación solar durante todas las estaciones del año. Colombia se ubica al norte del ecuador, lo que implica que inclinar ligeramente los paneles hacia el sur puede aumentar la eficiencia de la captación de energía solar. No obstante, gracias al factor de sobredimensionamiento considerado durante el diseño, es posible suplir la potencia requerida, incluso si no se logra una alineación perfecta.

Finalmente, es fundamental tener precaución para no exceder la potencia máxima proporcionada por el inversor; aunque este equipo cuenta con protecciones, superar su capacidad máxima puede ocasionar daños irreversibles y el inversor es un componente especialmente delicado que requiere un manejo cuidadoso. Siguiendo estas recomendaciones, se garantizará un rendimiento óptimo y la longevidad de la estación de recarga.

### Referencias

- Calculators Conversion. (s.f.). *Conversiones eléctricas*.  
<https://www.calculatorsconversion.com/es/convertir-watts-a-kva-calculadora/>
- Ciles. (2023). Catalogo tecnico Ciles. <https://ciles.co/#porque>
- Granados, D. P. (2023). *Energía solar térmica. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Marcombo.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2017). *Atlas de radiacion solar, ultravioleta y ozono de Colombia*.  
<https://www.andi.com.co/Uploads/RADIACION.compressed.pdf>.
- Invertek Drivers Italia. (2018). *Catalogo Generale Inverter Convertitori di Frequenza. AC. Invertek*. <https://sp-electric.it/img/sieipeterlongo/cataloghi/Invertek%20Drives%20-%20OPTIDRIVE%20-%20Catalogo%20Generale.pdf>
- Martínez Medrano, M. (2023). *Proyecto técnico de diseño. Instalación y monitorización de paneles fotovoltaicos en régimen de autoconsumo en la Biblioteca de Humanidades (UAB)*. (Trabajo de grado, Universitat Politècnica de Catalunya).  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/400783>
- Ocaciones Monroy, A. M. (2020). *Potencial solar fotovoltaico en la región central rap-e*. (Trabajo final de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas).  
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/25267>
- Rubio, A. M. (2016). *Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación*. (Tesis de Doctorado, Universidad de la Rioja). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50242>