

Diseño de una estación de recarga para vehículos eléctricos para el campus principal de la  
Universidad Industrial de Santander soportada con energía fotovoltaica.

Keismer Esteban Serrano Barroso, Ziara Alejandra De La Ossa Medina

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Ingeniero Electricista, MSc

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Ingeniero Electricista, PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones E3T

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar este logro principalmente a Dios, por guiarme y darme fortaleza en cada paso del camino, a mis padres y a mi hermano. A mi madre, Cristina, por su apoyo incansable e incondicional, por estar siempre presente en todos los aspectos de mi vida y ser mi mayor soporte en los momentos difíciles. A mi padre, Abrahan, por su exigencia y enseñanza, por luchar por nuestra familia y brindarme tantas cosas esenciales que hicieron posible alcanzar esta meta. A mi hermano, Sebastián, por ser una fuente de motivación, por inspirarme a ser un ejemplo para él y esforzarme cada día por dar lo mejor de mí. También agradezco a mi familia, amigos y a todas las personas que, de distintas maneras, me acompañaron en este proceso, brindándome apoyo, enseñanzas y momentos que hicieron posible este logro.

-Keismer Serrano

Este proyecto está dedicado a mi mamá, Libia, por creer siempre en mí, por brindarme su apoyo e iluminar cada paso del camino, por impulsarme a ser una mejor persona cada día, sin ella no habría sido posible estudiar y culminar esta carrera, a ella le debo todo lo que soy. A mi hermana, Daniela, por ser también mi segunda mamá y mejor amiga, por inspirarme a ser tan dedicada y perseverante como ella, a quien admiro por tener la valentía de alcanzar cada logro que se propone, ella es mi modelo a seguir. A mi papá, Hernando, por sus constantes palabras de aliento y de orgullo, su ilusión de verme crecer me motiva a superarme cada día más. Finalmente, a mis amigos y compañeros que han sido una guía maravillosa a lo largo de la etapa estudiantil. Espero que nuestros caminos se crucen de nuevo en nuevas experiencias y desafíos por venir.

-Ziara De La Ossa

### **Agradecimientos**

Nuestro más sincero agradecimiento al profesor Manuel José Ortiz Rangel, director de este proyecto, por su guía constante, sus recomendaciones oportunas y su acompañamiento cercano durante todo el proceso. Igualmente, al profesor Óscar Arnulfo Quiroga Quiroga, codirector, por su disposición permanente, su experiencia compartida y su apoyo clave en cada etapa del desarrollo. Agradecemos también a la comunidad universitaria, especialmente a los sectores administrativo, docente y estudiantil de posgrado, por su valiosa participación en la encuesta que permitió caracterizar la necesidad de una estación de recarga para vehículos eléctricos. Extendemos un especial reconocimiento al profesor Germán A. Osma Pinto por brindarnos acceso al sistema Enphase Energy, que contiene información esencial sobre la generación y condiciones del sistema fotovoltaico en la terraza E3T, así como por facilitarnos el plano unifilar del sistema. Agradecemos también a la Gobernación de Santander por proporcionarnos la información sobre el dominio del predio del Estadio Américo Montanini (antes Alfonso López), fundamental para este trabajo. A todos, gracias por ser parte esencial de este logro.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo General.....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. Caracterización de la necesidad .....	15
2.1 Método de análisis utilizado .....	15
2.2 Análisis de resultados .....	17
3. Ubicación de la estación de recarga y los paneles solares que la soportarán .....	21
3.1 Posibles ubicaciones .....	21
3.2 Dominio de los predios .....	21
3.3 Planeación de los predios.....	23
3.4 Análisis meteorológico .....	23
4. Caracterización del diseño .....	24
4.1 Definición de los módulos de carga.....	24
4.2 Dimensionamiento .....	28
4.3 Diseño de la instalación .....	31
4.3.1 Repotenciación del sistema solar fotovoltaico.....	32
4.3.2 Selección de equipos.....	33
4.3.2.1 Selección del inversor. ....	33
4.3.2.2 Selección de módulos de recarga.....	34
4.3.3 Selección de conductores.....	35

4.3.4 Selección de protecciones .....	37
4.3.4.2 Selección de protecciones en corriente alterna. ....	39
5. Presupuesto de inversión.....	40
5.1 Evaluación financiera.....	41
5.2 Valor actual neto .....	41
6. Resultados y conclusiones .....	42
7. Recomendaciones .....	43
Referencias Bibliográficas .....	45
Apéndices.....	47

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Puntos de recarga para vehículos eléctricos en el área metropolitana de Bucaramanga	13
Tabla 2. Análisis de vehículos eléctricos más comercializados en Colombia.....	25
Tabla 3. Tipos de conectores más utilizados .....	26
Tabla 4. Tiempos de carga promedio del coche eléctrico.....	27
Tabla 5. Módulos fotovoltaicos considerados para la estación de recarga .....	30
Tabla 6. Inversores seleccionados para el sistema fotovoltaico .....	33
Tabla 7. Módulos de carga lenta considerados para la estación .....	35
Tabla 8. Selección de dispositivos de protección en corriente directa .....	38
Tabla 9. Selección de dispositivos de protección en corriente alterna .....	39

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tipos de vehículos que poseen los usuarios .....	18
Figura 2. Interés en la adquisición de un vehículo soportado con energía eléctrica.....	19
Figura 3. Rango de distancia recorrida diariamente por los usuarios .....	19
Figura 4. Análisis horario de permanencia de los vehículos dentro del campus universitario .....	20
Figura 5. Mapa UIS.....	22
Figura 6. Tiempo de carga promedio del coche eléctrico .....	28

## **Lista de Apéndices**

“Los apéndices están adjuntos”

**Apéndice A.** Encuesta sobre la caracterización de la necesidad

**Apéndice B.** Certificación Estadio Américo Montanini

**Apéndice C.** Fichas técnicas de los vehículos eléctricos más comercializados en Colombia

**Apéndice D.** Alternativas propuestas para la configuración de módulos de carga de la estación

**Apéndice E.** Datos de Producción Solar Exportados desde Enphase Energy

**Apéndice F.** Fichas técnicas de las alternativas de módulos solares considerados para el sistema solar fotovoltaico

**Apéndice G.** Simulaciones de la relación generación-consumo entre el sistema fotovoltaico y la estación

**Apéndice H.** Planos unifiliares, de planta y corte de la estación de recarga

**Apéndice I.** Disposición de paneles para el sistema solar fotovoltaico

**Apéndice J.** Fichas técnicas de los inversores considerados para el sistema solar fotovoltaico

**Apéndice K.** Fichas técnicas de los módulos de carga considerados para la estación

**Apéndice L.** Plantilla de regulaciones para la selección de conductores

**Apéndice M.** Diagrama actual del sistema solar fotovoltaico de la E3T

**Apéndice N.** Fichas técnicas de las protecciones seleccionadas

**Apéndice O.** Presupuesto

## Resumen

**Título:** Diseño de una estación de recarga para vehículos eléctricos para el campus principal de la Universidad Industrial de Santander soportada con energía fotovoltaica.

**Autor:** Keismer Esteban Serrano Barroso, Ziara Alejandra De La Ossa Medina.

**Palabras Clave:** Movilidad sostenible, Vehículo eléctrico, Sistemas eléctricos, URE.

**Descripción:** El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una estación de carga para vehículos eléctricos en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander (UIS), la cual estará soportada por un sistema de generación mediante energía solar fotovoltaica con oportunidad de inyección de excedentes a la red. El diseño busca ofrecer una solución sostenible y eficiente que contribuya al desarrollo de infraestructura eléctrica orientada a la movilidad limpia dentro del entorno universitario.

El trabajo comprende el análisis de la demanda energética esperada, la selección y dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico (paneles solares, inversor y protecciones eléctricas), así como el diseño de la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos, cumpliendo con los lineamientos establecidos por la normatividad eléctrica vigente en Colombia, como el RETIE y la NTC 2050. Adicionalmente, se evalúan aspectos técnicos como la conexión al sistema de baja tensión de la universidad, la eficiencia energética y la seguridad operativa del sistema.

Este diseño propone una solución replicable que fomenta el uso de energías renovables en instalaciones públicas, alineándose con las políticas institucionales de sostenibilidad y transición energética.

### Abstract

**Title:** Design of a charging station for electric vehicles for the main campus of the Universidad Industrial de Santander supported by photovoltaic energy.

**Author(s):** Keismer Esteban Serrano Barroso, Ziara Alejandra De La Ossa Medina

**Key Words:** Sustainable mobility, Electric vehicle, Electrical systems, URE.

**Description:** This project focuses on the design of an electric vehicle charging station for the main campus of the Universidad Industrial de Santander, supported by a self-generation system based on photovoltaic solar energy. The design seeks to provide a sustainable and efficient solution that contributes to the development of electric infrastructure geared toward clean mobility within the university environment.

The work involves analyzing the expected energy demand, selecting and sizing the components of the photovoltaic system (solar panels, inverter, and electrical protections), as well as designing the charging infrastructure for electric vehicles in compliance with the current Colombian electrical regulations, such as RETIE and NTC 2050. In addition, technical aspects such as the connection to the university's low-voltage system, energy efficiency, and operational safety are evaluated.

This design proposes a replicable solution that promotes the use of renewable energy in public facilities, aligning with institutional policies on sustainability and energy transition.

## Introducción

El cambio climático está provocando el calentamiento global más alto registrado en la historia, situación que alarma gravemente debido a que su precipitado avance ocasiona tormentas más potentes, aumento de las sequías, extinción de especies, escasez de alimentos, entre otros.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, los combustibles fósiles son responsables del 75% de emisiones de gases de efecto invernadero y 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Un gran contribuyente de estas emisiones es el sector transporte debido al uso de combustibles fósiles para su funcionamiento. (Naciones Unidas)

Para reducir la contaminación producida por vehículos con motores de combustión, se han desarrollado alternativas que disminuyen el uso de combustibles fósiles o lo reemplazan por completo, entre ellas las patinetas y motocicletas eléctricas, los ciclomotores, o los vehículos 100% eléctricos, los híbridos enchufables, los híbridos ligeros o auto recargables y los vehículos de celda de combustible.

Es importante enfatizar que, para contribuir con la disminución de las emisiones mediante el uso de los vehículos eléctricos, se debe tener en cuenta la proveniencia de la energía eléctrica que los alimentará. Afortunadamente, en Colombia la mayoría de la energía generada proviene de fuentes renovables, siendo su principal productor las centrales hidroeléctricas.

El Estado es un ente principal que promueve el uso de los vehículos eléctricos, incentivando el uso de esta nueva tecnología de movilidad sostenible con múltiples beneficios tales como la exención de restricción a la circulación vehicular que la autoridad de tránsito local disponga, las tarifas diferenciales en impuestos vehiculares, entre otros. Además, se promueve la construcción de estaciones de recarga para vehículos eléctricos, dado que la poca infraestructura

disponible es una de las principales razones por las cuales la ciudadanía duda en adquirir dicho vehículo sobre uno con funcionamiento a combustión interna. (Ley 1964 de 2019, 2019)

Al entrar en vigor la ley 1964 de 2019, queda en conocimiento que Bucaramanga deberá contar como mínimo con cinco estaciones de carga para vehículos eléctricos para dar cumplimiento a lo que exige la ley. Actualmente, el área metropolitana de Bucaramanga cuenta con ocho estaciones de recarga, operadas principalmente por ESSA y Terpel Voltex. De estas ocho, cinco están ubicadas en la ciudad de Bucaramanga; de ellas, una está fuera de servicio, tres operan completamente y cuatro funcionan de manera parcial. (Electrificadora de Santander S.A. E.S.P., 2025).

Lamentablemente muchos de los conectores de estas estaciones están permanentemente fuera de servicio o averiados y sus reparaciones tardan mucho por falta de gestión de la empresa que presta el servicio, por lo tanto, tener en el campus una estación de recarga 100% funcional, con variedad en conectores y con los diferentes modos de carga representaría un avance para la ciudad hacia la electrificación del transporte y un gran logro que pondría en alto el nombre de la UIS. (Ley 1964 de 2019, 2019).

La tabla 1 presenta en detalle los puntos de recarga en el área metropolitana de Bucaramanga, operados por ESSA y Terpel Voltex, así como su estado actual.

**Tabla 1. Puntos de recarga para vehículos eléctricos en el área metropolitana de Bucaramanga**

Nombre de la estación	Ubicación	Módulos de carga disponibles		Velocidad de recarga	Estado
		Tipo	Potencia		
Mitsubishi Motors	Cra 27#34-49, Bucaramanga	Tipo 2	3 kW	Lenta	En funcionamiento
Estacion de servicio Petrobras	Cra 21#45-12, Bucaramanga	Tipo 2	11 kW	Rápida	Funciona parcialmente
		CHAdEMO	50 kW		
		CCS1	50 kW		
Éxito La Rosita	Av. La Rosita #25-17, Bucaramanga	Tipo 1	10 kW	Lenta	No funciona
		Tipo 2	10kW		
Cargador Central Motor Kia	Calle 56#23-12, Bucaramanga	Tipo 1	24 kW	Semirápida	En funcionamiento
Centro Comercial Cacique	Tv. 93#34-99, Bucaramanga	Tipo 2	22 kW	Semirápida	Funciona parcialmente
		Schuko	2 kW		
Sanautos Renault	Cra 27a#122-85, Floridablanca	Tipo 2	7.5kW	Lenta	En funcionamiento
La Florida Floridablanca	Calle 31A#26-25, Floridablanca	Tipo 1	10 kW	Semirápida	Funciona parcialmente
		Tipo 2	22kW		
Terpel Piedecuesta	Calle 1D#15-14, Piedecuesta	CHAdEMO	50 kW	Rápida	Funciona parcialmente
		CCS1	50 kW		
		Tipo 1	3 kW		
		Tipo 2	40 kW		

Nota: Tomado de (Electromaps, 2025).

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar una estación de recarga para vehículos eléctricos para el campus principal de la Universidad Industrial de Santander que incluya un sistema de autogeneración fotovoltaica.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Caracterizar la necesidad de recarga de las personas que tienen vehículo eléctrico y de las que están interesadas en adquirir alguno en un futuro cercano o lejano.

Analizar las alternativas de las posibles ubicaciones del punto de recarga y definir el sitio más adecuado en base a en los criterios especificados.

Diseñar la estación de recarga para vehículos eléctricos teniendo en cuenta lo establecido por el marco legal y la normativa vigente en Colombia, escogiendo de manera correcta los elementos para la generación fotovoltaica, los tipos de recarga y de cargadores para los diferentes vehículos y las rutas de ductos y cableado necesarias para alimentar la estación.

## **2. Caracterización de la necesidad**

Para caracterizar la necesidad de recarga de vehículos eléctricos se optó por investigar la cantidad de estos que circulan actualmente en la ciudad de Bucaramanga, luego se procedió por medio de una encuesta a definir cuántos de esos vehículos tienen acceso al campus principal de la Universidad Industrial de Santander, lugar en el cual se encontrará ubicada la estación de recarga. Esta encuesta estuvo dirigida a personal docente, administrativo y estudiantes de posgrado, dado que solo estos tienen acceso a los parqueaderos del campus, para el personal estudiantil de pregrado se dispone de los parqueaderos ubicados en el Estadio Departamental Alfonso López, el cual pertenece a la Gobernación de Santander.

En dicha encuesta se determinaron factores tales como: el tipo de vehículo que posee cada usuario, ya sea motocicleta, bicicleta, automóvil que disponga de energía eléctrica o de combustible fósil, o que no posea; también se determinó el modelo y recorrido diario del vehículo para tener una aproximación de su consumo y además la cantidad de tiempo que se encuentra en las instalaciones de la universidad, esto separado por días de la semana y jornadas tales como mañana, tarde, noche, y mediodía donde la energía solar captada por los paneles solares alcanza su punto máximo. Para el caso de los usuarios que no poseen un vehículo, o de los que poseen y desean cambiarlo, también se determinó la cantidad de estos que desean adquirir un automóvil eléctrico en el corto plazo.

Esta encuesta se difundió tanto de manera presencial y personal a una parte de los usuarios, como por medio del correo institucional a la otra parte.

### **2.1 Método de análisis utilizado**

Para tener una proyección de la demanda en este proyecto se realizó una caracterización por medio de una encuesta dirigida al personal que se vería beneficiado inicialmente.

Debido a que la estación de recarga se encontrará ubicada dentro del campus de la universidad, solamente los usuarios con acceso a estos parqueaderos podrán hacer uso de dicha estación. Estos usuarios se clasifican en tres: administrativo, docente y estudiantil de posgrado.

La finalidad de la encuesta fue recopilar información sobre el interés de la comunidad en adquirir un vehículo eléctrico en el mediano o largo plazo, conocer el tipo de vehículo que poseían actualmente, estimar la distancia en kilómetros recorrida diariamente y el tiempo en jornadas que dicho vehículo permanece dentro de las instalaciones de la universidad cada día.

Para definir la cantidad de encuestados (tamaño de la muestra) se decidió aplicar a los docentes, administrativos y estudiantes de posgrado la fórmula de determinación del tamaño final e inicial de la muestra para una población finita que se explica en el libro “Investigación de Mercados – Naresh K. Malhotra”.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Para poder calcular el tamaño de la muestra es importante definir los principales símbolos y conceptos que conciernen al muestreo, entender los conceptos de la distribución del muestreo, inferencia estadística y error estándar, y finalmente, analizar el procedimiento estadístico para determinar el tamaño de la muestra que se basa en el muestreo aleatorio simple y la construcción de intervalos de confianza.

Luego, teniendo en cuenta lo anterior, se procede a reemplazar los valores tomados en la fórmula, donde:

n: Tamaño de la muestra buscado.

N: Tamaño de la población finita.

Z: Es un parámetro estadístico que depende del Nivel de confianza ( $N_c$ ), este valor ya está definido para los niveles de confianza: 90%, 95% y 99%. Z tomará los valores 1.645, 1.96 y 2.576 respectivamente.

p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado. Generalmente este valor es 50% ya que pocas veces se conoce la probabilidad de que un evento ocurra.

q: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado. Generalmente este valor es 50% ya que pocas veces se conoce la probabilidad de que un evento ocurra.

e: Error de estimación máximo aceptado. Generalmente este valor es 10% o 5%.

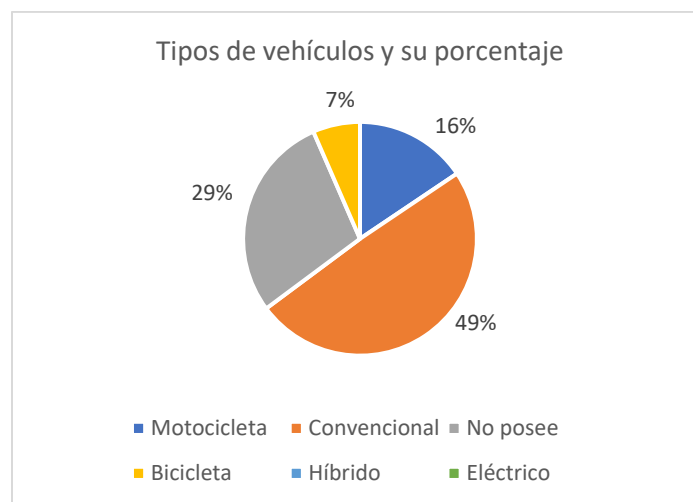
Para este caso en específico se tomó un tamaño de población finita de 1902, 913 y 1182 correspondiente a los sectores: docente, administrativo y de posgrado. Se definió un nivel de confianza del 90% para un parámetro estadístico Z de 1.645. Finalmente, las probabilidades de que ocurra o no el evento estudiado se estimarán en 50% para ambas, con un error de estimación máximo aceptado del 10%. (Malhotra, 2008)

## 2.2 Análisis de resultados

En el Apéndice A se puede encontrar la encuesta realizada en el año 2023 a la comunidad universitaria con acceso a los parqueaderos dentro del campus principal de la Universidad Industrial de Santander. Esta se dirigió a 199 usuarios, siendo estos distribuidos de la siguiente manera: 62 personas pertenecientes al sector administrativo, representando el 31% de los encuestados, 87 docentes para un 44% y 50 estudiantes de posgrado que conforman un 25%, estos datos varían levemente de acuerdo con el método analizado debido a la disponibilidad de localizar a los implicados.

En la Figura 1 se puede observar que el campus principal de la universidad no circulan vehículos impulsados con fuente de energía eléctrica externa hasta la fecha, liderando el vehículo convencional que hace uso de combustibles fósiles con 49% para un total de 98 automóviles, seguido por los 57 usuarios que no poseen ningún tipo de transporte, siendo estos un 29% del total de encuestados, finalmente se encuentran los vehículos de dos ruedas tales como la motocicleta y bicicleta con 31 y 13 usuarios, representando los porcentajes de 16% y 7% respectivamente.

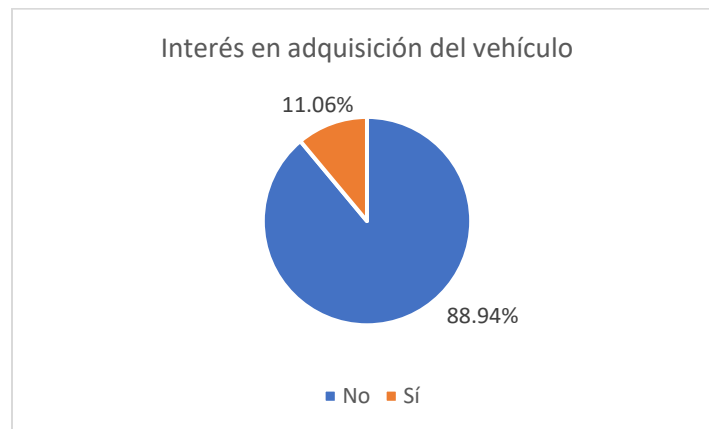
**Figura 1. Tipos de vehículos que poseen los usuarios**



En la Figura 2 se analiza el pronóstico de los posibles compradores futuros de automóviles soportados con energía eléctrica externa, ya sea que sean híbridos enchufables o que hagan uso de esta en su totalidad. Poco más del 11% de los encuestados, correspondiente a 22 personas, manifestaron su interés en la adquisición en el corto plazo de los vehículos mencionados anteriormente. Por otro lado, la otra porción de encuestados mostró negatividad debido a razones varias, siendo las principales de estas: el alto costo de adquisición y la poca disponibilidad de carga.

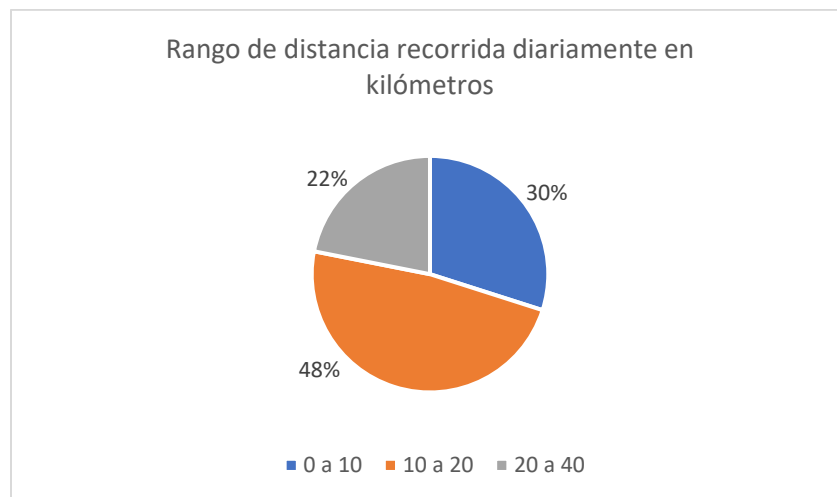
Este proyecto busca aliviar esta última, presentando el diseño para una estación de recarga que se encuentre disponible para su uso mientras el usuario se encuentre dentro del campus realizando sus actividades laborales o académicas, fomentando así el uso y compra de vehículos eléctricos.

**Figura 2. Interés en la adquisición de un vehículo soportado con energía eléctrica**



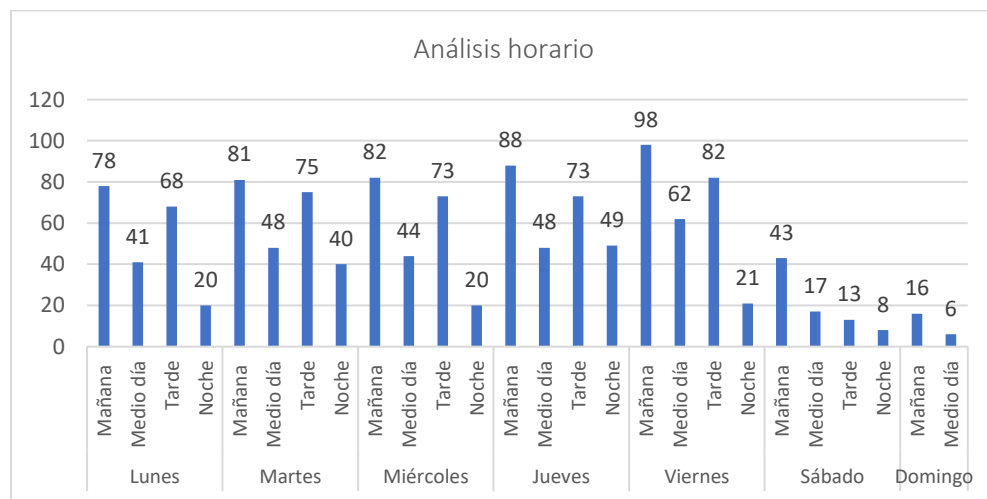
El rango de distancia recorrida en kilómetros más recurrente se puede evidenciar en la Figura 3, siendo este entre 10 a 20 km, para un 48% del total, seguido de 0 a 10 km, que representan el 30% de las respuestas, y finalmente un 22% de los usuarios recorren entre 20 y 40 km.

**Figura 3. Rango de distancia recorrida diariamente por los usuarios**



El análisis horario relacionado con los vehículos dentro del campus principal se encuentra relacionado en la Figura 4, donde se observa los mayores picos en la jornada mañana en los días hábiles, liderados por el viernes, seguidos por la jornada de la tarde, medio día y noche respectivamente. En el Apéndice A, se encuentran las respuestas a detalle de la encuesta, donde se observa que el sector administrativo tiene su pico en el horario laboral, el cual se refiere a las jornadas mañana y tarde de lunes a viernes. Por otro lado, el sector estudiantil de posgrado presenta picos en los días viernes, sábados y domingos hasta medio día que finaliza el acceso a el campus, dado que esos días se realizan actividades de carácter presencial en su sector académico, y finalmente, el sector docente presenta más variedad debido a que su horario laboral depende de diversos factores, tales como si pertenecen al sector planta o cátedra, la cantidad de cursos que imparten a lo largo del semestre, y si poseen labores externas en la universidad además de la docencia.

**Figura 4. Análisis horario de permanencia de los vehículos dentro del campus universitario**



### **3. Ubicación de la estación de recarga y los paneles solares que la soportarán**

#### **3.1 Posibles ubicaciones**

Se plantearon cuatro posibles ubicaciones para la estación de recarga, seleccionadas estratégicamente por criterios tales como costos en infraestructura, materiales y facilidad de conexión. Estas son: el parqueadero que se encuentra ubicado en la parte trasera del auditorio Luis A. Calvo, el parqueadero del Estadio Alfonso López al que también tiene acceso la comunidad universitaria, el parqueadero de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones E3T, y finalmente, el parqueadero que se encuentra al final de esta calle.

En la Figura 5 se puede observar señaladas por pines las posibles ubicaciones de la zona de parqueo para la estación, ubicados dentro del campus principal de la universidad.

#### **3.2 Dominio de los predios**

Tal como lo certifica el Apéndice B, desde el 2017 entró en vigor un convenio de comodato entre la Universidad Industrial de Santander y la Gobernación de Santander que le permite a la universidad administrar el parqueadero del Estadio Américo Montanini (anteriormente conocido como Estadio Alfonso López), realizando esta una renovación total de dicho lugar, para así habilitar 495 puestos a disposición de la comunidad en general, pero manteniendo una tarifa preferencial para la comunidad académica.

Por tal motivo para la realización de este proyecto no se tendrá en cuenta el predio del parqueadero en el Estadio Américo Montanini, pese a que alberga los vehículos en los cuales se moviliza gran parte de la comunidad universitaria, esta locación no pertenece a la universidad. (Gobernación de Santander, 2017).

Figura 5. Mapa UIS



Nota. Adaptado de *Mapa UIS* [Mapa], por Universidad Industrial de Santander, 2023, (<https://uis.edu.co/mapa/>).

### **3.3 Planeación de los predios**

De Acuerdo con el Plan Maestro de Infraestructura del Campus Central, la zona de parqueo frente al Edificio Daniel Casas pertenece a la localización destinada a la construcción del nuevo edificio para la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, titulado Fisicomecánicas II.

Por tal motivo, dicha zona será descartada como posible ubicación para la estación de recarga. La información fue proporcionada vía correo electrónico por el Ingeniero civil Juan Miguel Ortiz R, profesional de planeación.

### **3.4 Análisis meteorológico**

El proyecto de grado “Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS” planteó una actualización para el sistema fotovoltaico presente en la E3T mediante el cambio de tecnología en los paneles y la instalación de un inversor central, esto aumentaría la potencia pico instalada de 11.75kWp hasta 21kWp.

Un estudio de la Revista UIS Ingenierías (2014), basado en mediciones horarias de radiación solar, temperatura y viento en cuatro puntos del Campus Central entre 2010 y 2012, confirmó que los niveles de radiación solar en la zona del campus se mantienen adecuados para generación fotovoltaica. Esto garantiza que el recurso solar esté alineado con la capacidad ampliada de la E3T.

Por tanto, se considera pertinente definir la ubicación de la estación de recarga en la zona de parqueo frente a la E3T, soportada energéticamente por la actualización del sistema solar fotovoltaico presente en la E3T.

## 4. Caracterización del diseño

### 4.1 Definición de los módulos de carga

Este capítulo presenta un análisis de cuatro alternativas planteadas para definir los módulos de carga presentes en la estación, con base en factores tales como: la capacidad de la batería presente en los vehículos, el tiempo de carga, la potencia de salida en los conectores y el porcentaje de vehículos cargados semanalmente por cada alternativa.

La Tabla 2 presenta un análisis sobre los diecisiete vehículos eléctricos más comercializados en Colombia hasta el primer trimestre del año 2024. Con base en esta, se define cuáles son los conectores más utilizados y el modo de carga asociado a estos, tal como se visualiza en la Tabla 3.

Se observa que los vehículos de la Tabla 2 presentan una potencia asociada a su tiempo de carga que difiere en mayor medida para el modo de carga rápida.

Para definir los módulos de carga de la estación es necesario considerar el tiempo de carga de los vehículos en una misma potencia, definida en 50kW en carga rápida (DC) y 7.4 kW en carga lenta (AC) para este proyecto.

**Tabla 2. Análisis de vehículos eléctricos más comercializados en Colombia**

Línea	Vehículo					Tiempo de carga		Conector
	Marca	Tipo de vehículo	Potencia [HP]	Autonomía [km]	Batería [kWh]	Carga Lenta AC	Carga Rápida DC	Tipo de conector incorporado
D2S	Auteco	Eléctrico 100%	20.11	150	18	8h	-	Mennekes
MINI COOPER SE	MINI	Eléctrico 100%	184	200	28.9	5h15min - 11kW	30min - 95kW	CCS1
DOLPHIN	BYD	Eléctrico 100%	94	405	44.9	8h - 5.6kW	1h - 50kW	Mennekes - CCS2
YUAN	BYD	Eléctrico 100%	201	480	60.48	11h - 5.6kW	1h - 80kW	GB/T
ZS EV	MG	Eléctrico 100%	174	320	51.1	-	-	Tipo 1
E10X	JAC	Eléctrico 100%	60	360	31.4	6-8h	1h	Mennekes - GB/T
ZOE	Renault	Eléctrico 100%	135	395	52	3h	1h30min	Mennekes
MX-30	Mazda	Eléctrico 100%	143.49	224	35.5	5.5h - 7.2kW	36min 20-80%	CCS1
BOLT EUV	Chevrolet	Eléctrico 100%	200	456	60	9-10h - 7.2kW	1h - 55kW 10-80%	CCS1
LEAF	Nissan	Eléctrico 100%	147	325	40	8h - 6.6kW	40min - 50kW - 80%	Tipo 1 - CHAdeMO
RICH 6EV	Dongfeng	Eléctrico 100%	161	403	67.09	7-8h - 80%	45m - 80%	Mennekes - GB/T
TANG EV	BYD	Eléctrico 100%	241	635	108.8	19h30min - 5.6kW	30min - 30-80% - 140kWh	Mennekes - GB/T
E-TRON	Audi	Eléctrico 100%	408	417	95	12h - 80%	40min - 80%	CCS 1
IX3	BMW	Eléctrico 100%	286	460	80	8h - 11kW	34min - 80% - 150kW	CCS 2
MARVEL R	MG	Eléctrico 100%	297	370	72.2	11kW	40min - 80% - 90kW	CCS 2
iX xDRIVE40	BMW	Eléctrico 100%	326	425	76.6	7.15h - 11kW	34min - 80% - 150kW	CCS 1
C40 ULTIMATE	Volvo	Eléctrico 100%	408	440	78	7h - 11kW	27min - 80% - 200kW	CCS 2

Nota: La información contenida en esta tabla se obtuvo de las fichas técnicas de cada vehículo contenidas en el Apéndice C

**Tabla 3. Tipos de conectores más utilizados**

Modo de carga	Tipo de conector	Cantidad
L	Mennekes	6
L	Tipo 1	2
R	CCS 1	5
R	CCS 2	4
R	CHAdeMO	1
R	GB/T	4

Con base en este análisis se presentaron cuatro alternativas contempladas en el Apéndice D de diversas agrupaciones de conectores presentes en la estación de recarga, para las cuales se tuvieron en cuenta algunas consideraciones tales como: el conector GB/T presente en la tabla hace referencia al conector en modo de carga DC debido a que el conector llamado Mennekes o Tipo 2 presenta la misma configuración que el conector GB/T en AC y cualquier vehículo que presente alguno de estos puede cargarse con ambos conectores, por tanto solo se consideró el conector Mennekes. Los conectores con modo de carga rápida se descartan debido a que el sistema fotovoltaico presente en la E3T no posee capacidad suficiente para soportar energéticamente vehículos de tal potencia y el gasto energético no se considera razonable debido a la demanda actual de dichos vehículos. Finalmente, se enfatiza en que los vehículos que tienen conectores CCS 1 y CCS 2 pueden cargarse de igual manera con conectores Tipo 1 y Tipo 2 respectivamente, pero no de manera contraria.

Ciertos vehículos contenidos en la Tabla 2 no presentan el tiempo de carga asociado a las potencias seleccionadas para los módulos de carga, por tanto, para el análisis de alternativas se tomará la información contenida en la Tabla 4 para dichos vehículos.

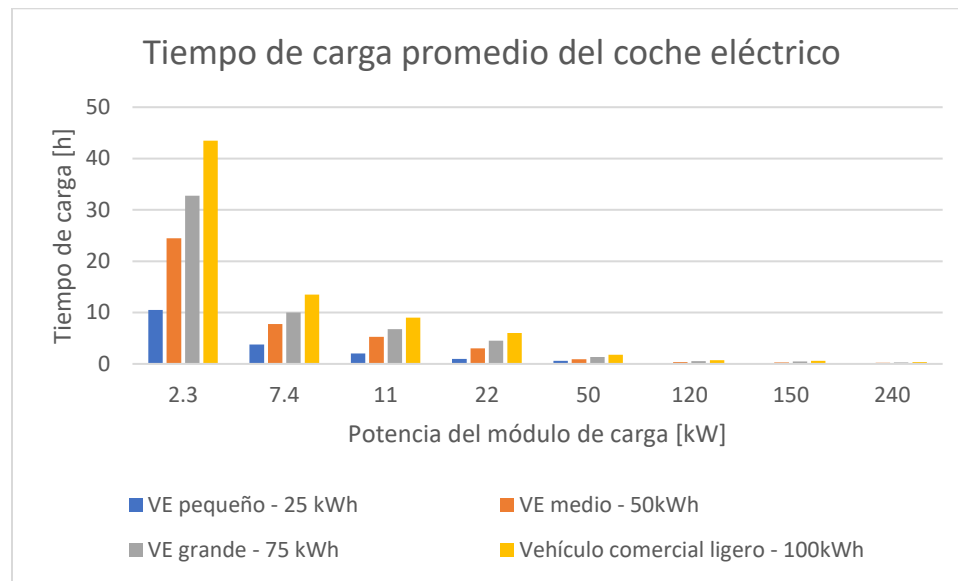
**Tabla 4. Tiempos de carga promedio del coche eléctrico**

Tipo de VE	VE pequeño	VE medio	VE grande	Vehículo comercial ligero
Capacidad de la batería				
Salida de potencia	25 kWh	50 kWh	75 kWh	100 kWh
Nivel 1 2.3 kW	10h 30m	24h 30min	32h 45min	43h 30min
Nivel 2 7.4 kW	3h 45min	7h 45min	10h	13h 30min
Nivel 2 11 kW	2h	5h 15min	6h 45min	9h
Nivel 2 22 kW	1h	3h	4h 30min	6h
Nivel 3 50 kW	36 min	53 min	1h 20min	1h 48min
Nivel 3 120 kW	11 min	22 min	33 min	44 min
Nivel 3 150 kW	10 min	18 min	27 min	36 min
Nivel 3 240 kW	6 min	12 min	17 min	22 min

Nota: Tomado de (EVBOX, 2023).

La tabla 4 presenta un promedio de tiempo carga de los vehículos eléctricos basado en el análisis sobre la capacidad de la batería de estos, el nivel de carga y la potencia de salida que presente el punto de carga. Al definir la alternativa que se implementará, se consideran aspectos tales como los tipos de vehículos que pueden abarcar los conectores planteados, la capacidad de carga semanal, el impacto generado en la red diariamente, y la relación costo/beneficio asociado a dicha alternativa.

En la Figura 6 se representan los datos de la tabla 4 mediante un diagrama de barras, lo que permite una interpretación más clara y sencilla de la información.

**Figura 6. Tiempo de carga promedio del coche eléctrico**

Por tanto, se optará por la Alternativa 4, la cual contiene tres conectores en modo carga lenta siendo estos dos conectores Tipo 2 o Mennekes y un conector Tipo 1 respectivamente. Dicha alternativa, acapara una gran variedad de vehículos dejando por fuera únicamente a los que presenten el conector CHAdeMO y GB/T en modo carga rápida, los cuales presentan una demanda relativamente baja. Además, presenta un consumo aproximado máximo de 199.8 kWh diario y una capacidad de carga semanal del 93% de la demanda estimada de vehículos cargados semanalmente.

#### 4.2 Dimensionamiento

La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones E3T cuenta con un sistema solar fotovoltaico ubicado en la cubierta de dicho edificio con un arreglo de 42 paneles dividido en tres grupos, dos de dieciocho y uno de seis respectivamente.

En este arreglo se encuentran contenidos los módulos de referencias TSM-270PD05, CS6P-255P y JKM325PP-72, de los proveedores Trinasolar, CanadianSolar y JinKO Solar; entregando potencias de 270W, 255W y 325W respectivamente, los cuales entregan una potencia instalada de 11.75kWp.

El sistema fotovoltaico se encuentra dividido en dos bloques independientes, con los siguientes arreglos: el primero está conformado por dos grupos de 18 paneles cada uno, mientras que el segundo cuenta con un arreglo de 6 paneles. Esta división se visualiza a través de la plataforma Enphase Enlighten, donde el primer bloque aparece registrado como GRIPV\_ELECTRICA\_UIS (UIS) y el segundo como IQ7+ UIS E3T.

De acuerdo con los datos proporcionados por el sistema Enphase, el cual monitorea en tiempo real la producción del sistema fotovoltaico instalado en la E3T, se realizó un análisis del comportamiento energético durante un período de seis meses, comprendido entre el 1 de octubre de 2024 y el 25 de marzo de 2025.

Durante este intervalo, se registró una producción promedio diaria de 42,66 kWh, lo que equivale aproximadamente al 21,35 % del consumo total de la estación de recarga. El sistema GRIPV\_ELECTRICA\_UIS conserva una vida útil de 109,03 MWh, lo que corresponde al 71 % de su vida útil estimada, mientras que el sistema IQ7+ UIS E3T presenta una vida útil estimada de 14,12 MWh, correspondiente al 68 % de su valor proyectado.

La información detallada de este análisis, incluyendo registros diarios y parámetros técnicos relevantes, se encuentra disponible en el Apéndice E.

Se considera que la demanda planteada se irá materializando progresivamente, y se propone actualizar dicho sistema en el futuro como una segunda fase del proyecto.

Se tomó como base el trabajo de grado titulado “Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS”, el cual presenta un análisis detallado sobre el repotenciación del sistema solar fotovoltaico presente en la E3T por medio de la reposición de los módulos fotovoltaicos manteniendo la configuración actual con una mayor capacidad de potencia instalada, y la instalación de un único inversor central para reemplazar los microinversores que se encuentran actualmente en uso.

En este proyecto se consideraron tres escenarios de potencia nominal contenidos en la Tabla 5 para los paneles que conformarán el sistema fotovoltaico, siendo estas: 500 Wp, 550 Wp y 590Wp. Las fichas técnicas de estas con precios actualizados se encuentran anexadas en el apéndice F.

**Tabla 5. Módulos fotovoltaicos considerados para la estación de recarga**

Panel	Referencia	Fabricante	Potencia nominal	Costo unitario [COP]	Relación costo/potencia [COP/Wp]
Panel Solar 590W Monoperc Luxen	RSM120-8-590M	Luxen	590	\$ 780,000.00	1322.033898
Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar	JAM66S30 480-505/MR	JA Solar	500	\$ 521,327.00	1032.330693
Panel Solar 550W 24V Monocristalino JA Solar	JAM72S30 530-555/MR	JA Solar	555	\$ 718,523.00	1294.636036

Para cada uno de los anteriores escenarios se simuló la demanda de energía que podrían suplir en las cuatro alternativas de conexión planteadas en la estación de recarga, dichos resultados se anexan en el apéndice G.

En base a lo anterior se decide optar por la referencia Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar de 500 Wp con una relación de \$1032.330/Wp los cuales soportarán la Alternativa 4. (Chanagá Rodríguez, Pineda Soriano, & Crispín Guerra, 2023).

Dicho arreglo de paneles suple 125.69 kWh/día, lo cual representa el 80.81% de la energía solicitada por la estación diariamente, por tanto, se considera pertinente una conexión bidireccional con la red eléctrica que provea energía de manera parcial entre las horas siete a diez de la mañana, y dos a cinco de la tarde, mientras que en las demás horas el sistema fotovoltaico soportará en su totalidad a la estación y además entregará energía sobrante a la red. Este análisis considera el funcionamiento en su máxima capacidad de la estación de recarga.

#### **4.3 Diseño de la instalación**

El diseño de la instalación eléctrica para la estación de recarga de vehículos eléctricos se desarrolló considerando las condiciones reales del sitio, las demandas de carga de los equipos, las distancias entre tableros y la normativa técnica vigente aplicable en Colombia. La solución propuesta integra la ampliación del sistema eléctrico con la infraestructura existente, incluyendo la actualización del sistema fotovoltaico previamente instalado.

El sistema está conformado por tres cargadores bifásicos de 7.4 kW ubicados en el exterior, los cuales son alimentados desde un tablero de estación que, a su vez, se conecta al tablero ubicado primer piso del edificio (TP1). Desde allí, el sistema se integra con la subestación principal ubicada un piso por debajo. Para garantizar una instalación segura, se diseñaron protecciones individuales para cada cargador y canalizaciones conforme a la clasificación del ambiente.

En el Apéndice H se incluyen los planos unifilares y de planta de la estación de recarga, así como el esquema de conexiones de la actualización del sistema solar fotovoltaico, contemplada en la segunda fase de este proyecto. Estos documentos muestran la distribución de los equipos, las canalizaciones eléctricas, los sistemas de protección seleccionados y las modificaciones incorporadas al sistema fotovoltaico existente, permitiendo una visualización completa y precisa de la solución propuesta.

Este diseño busca no solo cumplir con los requisitos técnicos y normativos, sino también garantizar eficiencia operativa, seguridad para los usuarios y facilidad de mantenimiento futuro.

#### ***4.3.1 Repotenciación del sistema solar fotovoltaico***

Tal como se mencionó anteriormente, con el fin de obtener el mayor aprovechamiento del sistema solar fotovoltaico disponible, el proyecto “Análisis caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS” planteó una actualización comprendida por el cambio de tecnología en los módulos solares y la instalación de un inversor central que reemplazará a los micro inversores actualmente en uso, lo cual entregará una potencia extra aproximada de 9kWp para un total de 21kWp. (Chanagá Rodríguez, Pineda Soriano, & Crispín Guerra, 2023).

En el Apéndice I se encuentra contenida la disposición de paneles solares que conforman este sistema solar fotovoltaico. Tomado de (Chanagá Rodríguez, Pineda Soriano, & Crispín Guerra, 2023).

### 4.3.2 Selección de equipos

**4.3.2.1 Selección del inversor.** En el proyecto de grado titulado “*Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS*”, se consideraron aspectos clave para la selección del inversor, tales como: una tensión nominal en AC de 110/220 V compatible con los tableros de distribución existentes; potencia nominal ajustable al sistema diseñado; capacidad de sobrecarga igual o superior al 23 % de su valor nominal; conexión tipo on-grid; y una eficiencia superior al 98 %. (Chanagá Rodríguez, Pineda Soriano, & Crispín Guerra, 2023).

Con base en estos criterios, se llevó a cabo una comparación técnica y económica entre diferentes marcas reconocidas en el mercado colombiano, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6. Las fichas técnicas de los inversores analizados se encuentran en el Apéndice J.

**Tabla 6. Inversores seleccionados para el sistema fotovoltaico**

Marca	Modelo	Potencia AC	Potencia DC recomendada	Eficiencia máxima	Número de MPPT	Protección	Peso	Costo [COP]
Growatt	MAC 20KTL3-XL	20 kW	30 kWp	98.7 %	3	IP66	39 kg	\$10.820.200
Huawei	SUN2000-20KTL-M2/M3	20 kW	30 kWp	98.7 %	2	IP65	25 kg	\$11.270.000
SMA	Sunny Tripower 20000TL	20 kW	30 kWp	98.4 %	2	IP65	61 kg	\$9.500.000
Fronius	Eco 25.0-3-S	25 kW	37.5 kWp	98.1 %	1	IP66	35.7 kg	\$13.448.563

Bajo estos criterios, se seleccionó el inversor Growatt MAC 20KTL3-XL, que no solo cumple con las exigencias técnicas mencionadas, sino que además incorpora protección anti-isla conforme a las normas UL 1741 e IEEE 1547, eliminando la necesidad de un sistema de desconexión externo. Esta función permite que el inversor se desconecte automáticamente ante una pérdida de red eléctrica y se reconecte de forma automática una vez que los parámetros de tensión y frecuencia de la red se estabilicen, garantizando así una operación segura y continua sin intervención manual. Estas capacidades están integradas a través del sistema de monitoreo de red (grid monitoring), tal como se detalla en la ficha técnica oficial del fabricante. (IEEE, 2018), (UL, 2020). Su diseño trifásico, eficiencia de hasta 98.7 %, y tres MPPT independientes lo hacen ideal para sistemas de aproximadamente 21 kWp, permitiendo una configuración flexible ante posibles diferencias de orientación o sombreados parciales.

#### **4.3.2.2 Selección de módulos de recarga**

En la Tabla 7 se observan las alternativas consideradas de acuerdo con criterios tales como: el tipo de alimentación, el rango de tensión de acuerdo con el transformador presente en la subestación, la intensidad de corriente que soportará el conductor y su relación costo/potencia. En el Apéndice K se encuentran contenidas las fichas técnicas de dichas alternativas.

**Tabla 7. Módulos de carga lenta considerados para la estación**

Tipo de cargador	Marca	Tipo de alimentación	Rango de tensión de operación [V]	Intensidad de corriente [A]	Potencia de carga [kW]	Costo [COP]	Relación Costo/Potencia [COP/kW]
Tipo 1	WallBox	Monofásica	110-240	32	7.4	\$3,504,636	\$473,599
	Haceb	Bifásica	220	32	7.5	\$2,958,319	\$394,443
	Celsia	Bifásica	110-240	32	7	\$3,108,000	\$444,000
Tipo 2	Haceb	Bifásica	220	32	7.5	\$2,958,319	\$394,443
	Moreday	Monofásica	110-240	32	7	\$1,353,600	\$193,371
	WallBox	Monofásica	110-240	32	7.4	\$6,286,732	\$849,558
	Celsia	Bifásica	110-240	32	7	\$3,108,000	\$444,000
	JBM	Monofásica	230	32	7.5	\$4,281,483	\$570,864

El proveedor seleccionado fue Haceb, con las referencias JMA T1 F2 y JMA T2 F2 para los módulos Tipo 1 y Tipo 2, respectivamente. Esta decisión se fundamentó no solo en la competitiva relación costo/potencia que ofrecen ambos modelos (COP 394.443/kW), sino también en su compatibilidad eléctrica con el sistema bifásico de 220 V presente en la estación, lo cual facilita la instalación sin requerir adaptaciones adicionales en la infraestructura existente. Además, al optar por un único proveedor, se asegura la homogeneidad técnica y operativa entre los módulos, lo cual favorece la estandarización del mantenimiento, reduce la complejidad en la gestión de repuestos y mejora la integración con el sistema general de recarga. Esta uniformidad también contribuye a la coherencia estética y funcional del proyecto, así como a una mayor confiabilidad en la operación a largo plazo.

#### **4.3.3 Selección de conductores**

Para el cálculo y dimensionamiento de conductores eléctricos en sistemas de baja y media tensión, se debe tener en cuenta lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), Resolución 40117 de 2024.

Esta normativa define los criterios para determinar el calibre de los conductores según la corriente de carga, la caída de tensión permisible, las condiciones de instalación, la temperatura ambiente y los factores de corrección necesarios, con el fin de garantizar la seguridad, la eficiencia y la conformidad técnica de la instalación eléctrica. (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

Se definieron nueve tramos principales para la instalación del sistema eléctrico. A continuación, se describen:

Tramos 1, 2 y 3 (+-): Corresponde al circuito de corriente directa (DC) que conecta los paneles fotovoltaicos instalados en la terraza del edificio E3T con el inversor central, ubicado en la cubierta de dicho edificio. Para este tramo se utilizará el conductor tipo 10 AWG. La selección del calibre del conductor, únicamente para este tramo, se realizó con base en las regulaciones y criterios de dimensionamiento de conductores establecidos en el trabajo de grado *Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS*. Toda la información relacionada con este análisis se encuentra detallada en el Apéndice M. Cálculo de regulaciones, protecciones y conductores eléctricos en DC y AC. (Chanagá Rodríguez, Pineda Soriano, & Crispín Guerra, 2023)

Tramo 4 (FFFT): Este tramo comprende la conexión en corriente alterna (AC) desde el inversor central hasta el tablero general de baja tensión (TGBT) de la E3T. Se empleará conductor de cobre calibre 6 AWG para las fases, y conductor de tierra de calibre 8 AWG.

Tramo 5 (FFFNT): Este trayecto se extiende desde el TGBT de la E3T hasta el tablero de distribución (TP1), ubicado en el primer piso del edificio. Al igual que el tramo anterior, se utilizarán conductores de cobre calibre 6 AWG y conductor de tierra de 8 AWG.

Tramo 6 (FFFNT): Este trayecto se extiende desde el tablero de distribución TP1 hasta el tablero general de la estación (TD CVE), ubicado en el parqueadero del edificio, junto a los módulos de carga. Al igual que el tramo anterior, se utilizarán conductores de cobre calibre 6 AWG y conductor de tierra de 8 AWG.

Tramos 7, 8 y 9 (FFT): Estos tres tramos parten del tablero de distribución de la estación (TD CVE) y se dirigen a cada uno de los módulos de carga correspondientes. Cada uno de estos tramos es bifásico y contará con conductores de cobre calibre 8 AWG y tierra de 10 AWG.

Los parámetros eléctricos asociados a cada tramo, como potencia aparente (S), factor de potencia (fp), corriente nominal ( $I_{nom}$ ), entre otros, se encuentran detallados en el Anexo L.

#### ***4.3.4 Selección de protecciones***

4.3.4.1 Selección de protecciones en corriente directa. Como parte de la actualización del sistema fotovoltaico (fase 2), que comprende el cambio de micro inversores a un inversor central, se identifican como protecciones fundamentales en el lado de corriente continua el seccionador general, los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), la conexión a tierra, los fusibles y el seccionador general. De acuerdo con el diagrama unifilar contenido en el Anexo M, el sistema ya cuenta con conexión a tierra y fusibles, por lo que el presente capítulo se enfoca en la selección y justificación técnica de los dispositivos que aún deben incorporarse: el seccionador general y el DPS.

La selección de protecciones para los Tramos 1, 2 y 3, es decir, el lado de corriente continua del sistema fotovoltaico se realizó teniendo en cuenta los parámetros eléctricos críticos del sistema, especialmente la tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), la corriente de cortocircuito por string ( $I_{sc}$ ), la cantidad de strings y la arquitectura del inversor central seleccionado.

En particular, el sistema opera con una configuración de 3 strings conformados por módulos JA Solar JAM66S30 de 500 Wp, alcanzando una tensión máxima por string de 987.5 VDC (considerando la corrección por temperatura para condiciones mínimas) y una corriente de cortocircuito de 13.3 A, lo que implica un valor de diseño de 16.6 A por string. Además, se consideró que el inversor Growatt MAC 20KTL3-XL cuenta con tres entradas MPPT, lo que influye directamente en el número de polos requeridos para el seccionador. También se verificó que la tensión máxima admitida por el inversor es de 1100 VDC, lo que condiciona la selección del DPS y garantiza la compatibilidad eléctrica del sistema.

A continuación, la Tabla 8 presenta un cuadro con las especificaciones técnicas de los dispositivos seleccionados, cuyas fichas técnicas se encuentran contenidas en el Anexo N.

**Tabla 8. Selección de dispositivos de protección en corriente directa**

Protección	Modelo seleccionado	Tensión nominal	Corriente nominal	Número de polos	Ubicación
Seccionador DC	ABB OTDC32F3	1000 VDC	32 A	2	Entre el SFV y el inversor
DPS tipo 2 DC	Phoenix Contact VAL-MB-T1/T2-1000DC-PV/2+V	1000 VDC	≥ 40 kA	2	Entrada DC del inversor

La elección del seccionador y del DPS se fundamenta en estos parámetros eléctricos. Para el seccionador, se opta por un equipo de 1000 VDC y 32 A, con 2 polos, permitiendo seccionar adecuadamente los circuitos positivos y negativos, así como distribuir las entradas hacia los tres MPPT del inversor. Esta versatilidad facilita el mantenimiento seguro y cumple con los requisitos del RETIE.

**4.3.4.2 Selección de protecciones en corriente alterna.** La selección de protecciones para los tramos en corriente alterna (tramos 4 al 9) se realizó considerando criterios técnicos fundamentales como la capacidad de conducción de corriente de los conductores, la corriente de diseño de cada tramo, el tipo de carga asociada, y el cumplimiento de los principios normativos que exigen que los dispositivos de protección actúen antes de que los conductores alcancen sus límites térmicos. Asimismo, se consideró el tipo de curva de disparo adecuada para la naturaleza de la carga y la necesidad de integrar protección diferencial en los circuitos que alimentan equipos de uso final en ambientes potencialmente expuestos a condiciones de riesgo eléctrico para las personas.

A continuación, la Tabla 9 presenta un cuadro con las especificaciones técnicas de los dispositivos seleccionados, cuyas fichas técnicas se encuentran contenidas en el Anexo N.

**Tabla 9. Selección de dispositivos de protección en corriente alterna**

Tramo	Dispositivo	Referencia	Tipo	Polos	Corriente nominal [A]	Sensibilidad (IDR) [mA]	Curva	Capacidad de ruptura [kA]
4, 5, 6	Interruptor termomagnético	ABB S203-C50	Termomagnético modular	3	50	–	C	10
7, 8, 9	Interruptor termomagnético	ABB S202M-C32	Termomagnético modular	2	32	–	C	6
7, 8, 9	Interruptor diferencial	ABB F202 AC40/30mA	Diferencial tipo A	2	40	30	–	6

La selección final de dispositivos responde a las condiciones específicas de cada tramo. En los tramos 4 al 6, con conductores calibre 6 AWG (capacidad de 55 A), se eligió un interruptor tripolar de 50 A con curva C.

Para los tramos 7 al 9, que emplean conductores 8 AWG (capacidad de 40 A) y alimentan cargadores bifásicos de 7,4 kW (corriente de diseño de 35,35 A), se adoptó un interruptor bipolar de 32 A con curva C, complementado con un interruptor diferencial tipo A de 40 A / 30 mA. Esta configuración garantiza la protección térmica del conductor, la respuesta adecuada ante sobrecargas o cortocircuitos, y la protección de las personas ante fallas de aislamiento, cumpliendo con lo exigido por el RETIE y la NTC 2050.

Finalmente, en el Apéndice H se encuentran incluidos el plano unifilar, así como los planos de planta correspondientes a la estación de recarga y al sistema fotovoltaico.

## **5. Presupuesto de inversión**

El proyecto contempla la ejecución de una estación de recarga para vehículos eléctricos y la implementación de un sistema fotovoltaico de generación distribuida, ambos orientados a beneficiar a la comunidad mediante el acceso a energía limpia y sostenible. La inversión total del proyecto, según el consolidado del presupuesto contenido en el apéndice técnico, asciende a aproximadamente \$89,491,709.00 COP, valor que incluye materiales, equipos, mano de obra especializada, transporte de elementos y gastos asociados a diseño eléctrico. Esta inversión se justifica en términos de impacto ambiental y social, y no está orientada a la generación de ingresos económicos, por lo cual no se espera una recuperación financiera directa. El detalle del presupuesto se encuentra adjunto en el Apéndice O.

### **5.1 Evaluación financiera**

La evaluación financiera del proyecto se basa en un enfoque de inversión comunitaria y sostenible. Se han contemplado todos los costos involucrados en la ejecución de las dos fases: la primera relacionada con la estación de carga y la segunda con el sistema fotovoltaico.

El presupuesto cubre desde la adquisición de cargadores, inversores, tableros y módulos solares, hasta la construcción de muros de soporte, canalizaciones, protecciones eléctricas, y demás elementos de obra civil y eléctrica necesarios. El valor estimado también incluye el trabajo del personal técnico, ayudantes, oficiales de construcción y los ingenieros encargados del diseño y la supervisión del sistema. Adicionalmente, se ha considerado el transporte de materiales, un componente logístico esencial dada la distribución física del proyecto.

El modelo financiero adoptado para este proyecto no contempla ingresos a través de la venta de energía, tarifas de uso o arriendo de equipos. Por el contrario, su propósito es social y ambiental, buscando promover la movilidad eléctrica y la generación distribuida de energía renovable. Bajo este enfoque, no es posible aplicar herramientas de análisis financiero tradicional como período de recuperación económica, ya que no se tienen flujos de caja positivos por ingresos recurrentes.

### **5.2 Valor actual neto**

En un contexto de inversión comunitaria sin ingresos proyectados, el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) no resulta aplicable bajo una perspectiva financiera tradicional. Sin embargo, desde un enfoque de sostenibilidad, el proyecto tiene un retorno ambiental y social significativo. Según el diseño técnico, el sistema fotovoltaico instalado generará aproximadamente 31.67 megavatios-hora por año (31,670 kWh/año), lo que representa una reducción directa de la energía consumida desde la red convencional.

Dicha generación evitará la emisión de aproximadamente 5.6 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al año, tomando como referencia un factor de emisión promedio de 0.177 kg CO<sub>2</sub> por kWh, de acuerdo con datos de la UPME. A lo largo de la vida útil estimada del sistema (20 a 25 años), esta cifra se traduce en más de 112 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante), ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), y ODS 13 (acción por el clima). (Naciones Unidas, 2015)

El valor generado por este tipo de proyecto no se mide únicamente en pesos, sino en los beneficios colectivos que representa: acceso a tecnología limpia, mejor infraestructura energética, independencia parcial de la red eléctrica, promoción de la movilidad eléctrica y fortalecimiento del tejido social mediante iniciativas sostenibles.

## **6. Resultados y conclusiones**

El presente proyecto surgió a partir de un diagnóstico participativo, mediante encuestas aplicadas a la comunidad universitaria, que evidenciaron un alto interés por parte de los usuarios hacia la movilidad eléctrica y la adopción de tecnologías energéticas limpias. Esta percepción positiva se ha visto confirmada en el tiempo, con la presencia actual de vehículos 100 % eléctricos e híbridos en el campus de la Universidad Industrial de Santander, lo cual valida plenamente la pertinencia de los hallazgos iniciales.

A partir de esta necesidad identificada, se formuló una solución técnica compuesta por una estación de recarga de vehículos eléctricos, respaldada por un sistema de generación fotovoltaico interconectado.

El diseño propuesto fue elaborado conforme a los lineamientos del RETIE, la NTC 2050 y principios de eficiencia energética, cumpliendo con los requisitos normativos y garantizando la seguridad de los usuarios. La propuesta es capaz de cubrir hasta el 93 % de la demanda proyectada, mientras que el sistema fotovoltaico repotenciado puede abastecer hasta el 81 % de la energía diaria necesaria.

Durante el desarrollo del diseño, se seleccionaron conductores, canalizaciones y protecciones con base en criterios técnicos y normativos tanto para corriente alterna como continua. Asimismo, se garantizó la protección de los equipos mediante seccionadores, interruptores diferenciales y dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), brindando confiabilidad operativa y seguridad eléctrica. El sistema integra además funciones de desconexión automática y prevé ampliaciones futuras mediante una estructura modular.

La implementación del proyecto no solo responde a una necesidad inmediata dentro de la universidad, sino que también se proyecta como una alternativa escalable y replicable para otras instituciones. Su impacto trasciende el ámbito energético al promover la movilidad sostenible, reducir emisiones contaminantes y fortalecer la infraestructura local bajo una visión de transición energética justa.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo y un plan de mantenimiento preventivo para la estación de recarga de vehículos eléctricos, a fin de garantizar su funcionamiento continuo, detectar fallos operativos y asegurar la disponibilidad para los usuarios.

Este monitoreo permitirá además recopilar datos de uso para futuras ampliaciones o ajustes operativos. Cabe aclarar que el sistema de generación solar propuesto ya cuenta con capacidad de monitoreo en línea a través del inversor, lo que permite visualizar en tiempo real la producción energética, el estado del sistema y posibles alarmas. Se recomienda mantener activa esta funcionalidad y respaldar la información generada como soporte técnico y ambiental. Dado el carácter modular del diseño, se sugiere evaluar periódicamente el crecimiento de la demanda de carga en el campus, lo cual permitirá implementar fases futuras de expansión, tanto en potencia instalada como en número de puntos de recarga, según las necesidades emergentes. También se recomienda diseñar campañas educativas dirigidas a estudiantes, docentes y personal administrativo sobre el uso adecuado de la infraestructura instalada y los beneficios de la movilidad eléctrica y las energías renovables, fortaleciendo el impacto del proyecto como modelo de sostenibilidad. Finalmente, se sugiere alinear este tipo de iniciativas con los planes estratégicos de sostenibilidad de la universidad, promoviendo políticas internas que prioricen la movilidad limpia, el uso eficiente de la energía y la replicación de soluciones sostenibles.

### Referencias Bibliográficas

- Chanagá Rodríguez, C. J., Pineda Soriano, J. M., & Crispín Guerra, J. S. (2023). *Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS*. Bucaramanga.
- Commission, I. E. (2005). *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock (IEC 60364-4-41)*. Obtenido de IEC: <https://webstore.iec.ch>
- Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (2025). *Movilidad Eléctrica*. Obtenido de ESSA: <https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/tramites-y-servicios-hogar/movilidad-electrica>
- Electromaps. (2025). *Electromaps: map of charging stations and charging points for EV*. Obtenido de <https://map.electromaps.com/es/>
- Energía, M. d. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Obtenido de República de Colombia.: <https://www.minenergia.gov.co>
- EVBOX. (2023). Obtenido de <https://evbox.com/es-es/guia-coches-electricos>
- Gobernación de Santander. (29 de Junio de 2017). La UIS manejará el 'parqueo' en el estadio Departamental. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- ICONTEC. (2008). *NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano*. Obtenido de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- IEEE. (2018). *IEEE Std 1547-2018: Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces*. Obtenido de Institute of Electrical and Electronics Engineers.: <https://standards.ieee.org/standard/1547-2018.html>

Ley 1964 de 2019. (11 de Julio de 2019). *Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.

Malhotra, N. K. (2008). *Investigación de Mercados*. Pearson.

Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Ministerio de Minas y Energía de Colombia*. Obtenido de Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>

Naciones Unidas. (2015). *THE 17 GOALS*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://sdgs.un.org/goals>

Naciones Unidas. (s.f.). *Causas y efectos del cambio climático*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

Ortiz R, M. J. (2018). 02\_Plantilla\_Regulaciones (Ver\_27). *[Hoja de cálculo Microsoft Excel, no publicada]*.

Ortiz R, M. J. (2024). 01\_General\_Proyecto. *[Hoja de cálculo Microsoft Excel, no publicada]*.

Ortiz R, M. J. (2024). Simulación\_SFV\_Ver\_08 - Estaciones\_de\_Carga. *[Hoja de cálculo Microsoft Excel, no publicada]*. Obtenido de [Hoja de cálculo Microsoft Excel, no publicada].

UL. (2020). *UL 1741: Standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources*. Obtenido de UL Standards.: <https://ulstandards.ul.com>

Universidad Industrial de Santander. (2023). *Mapa UIS [Mapa]*. Obtenido de UIS: <https://uis.edu.co/mapa/>

## **Apéndices**

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”