Parada Solar: Estaciones De Carga Con Energía Solar Para Fortalecer La Micro Movilidad Eléctrica En Bogotá

Elaborado por

Sergio Andrés Medina Pérez

Universidad Ean

Proyecto de grado

Bogotá, 2025

Tabla de contenido

Índice de Tablas

Tabla 1

Consumos adicionales de energía en la estación idónea 12

Tabla 2

Costo total del prototipo funcional básico 14

Tabla 3

Resultados de las pruebas inferenciales aplicadas 17

Tabla 4

Alfa de Cronbach por dimensiones del instrumento 17

Tabla 5

Evaluación de validez de contenido por juicio de expertos 18

Índice de Figuras

Figura 1

Radiación horaria promedio en Bogotá (2014–2023) 12

Figura 2

Diagrama de distribución de la energía en el sistema 12

Figura 3

Modelo 3D de la estación de carga idónea 12

Figura 4

Matriz de correlaciones del sistema solar 17

Figura 5

Proceso ETL: extracción, limpieza y carga de datos 17

Figura 6

Gráfica del coeficiente Alfa de Cronbach por dimensiones 18

Figura 7

Validación de materiales y uso del prototipo funcional 22

1. Resumen Ejecutivo

Parada Solar es un proyecto que propone el desarrollo de estaciones de carga alimentadas con energía solar para vehículos de micro movilidad eléctrica, con el propósito de plantear una solución técnica y viable que responda a la faltante infraestructura pública y/o privada para este segmento de vehículos eléctricos, conllevando a un crecimiento más sostenible en el sector, además de promover el uso de tecnologías limpias como parte de la transición hacia una movilidad más eficiente y baja

en emisiones contaminantes; para lo cual se trabaja sobre la construcción del problema y los objetivos del proyecto con el fin de dar el alcance necesario

2. Introducción

La micro movilidad incluye desplazamientos de hasta 10 km en medios de transporte personales y ligeros, impulsados por energía sostenible, como bicicletas, patinetas, e-scooters, entre otros. (Institute for Transportation and Development Policy [ITDP],2021). En Bogotá la alta demanda de nuevos usuarios de patinetas y bicicletas eléctricas ha venido en aumento los últimos años, estimándose que al día en la ciudad de Bogotá se hacen más de 15.000 viajes en patinetas eléctricas. Convirtiéndose en soluciones de movilidad eficientes y económicas para la comunidad, sin embargo, la autonomía promedio de estos vehículos varía entre 20 y 40 Km por carga [1] (con una batería en óptimas condiciones), lo cual limita su alcance y los viajes más largos se dificultan por la falta de infraestructura.

En los últimos años Bogotá ha experimentado cambios en su movilidad, con el fin de reducir emisiones contaminantes y cumplir con lo establecido en el Plan de Acción Climática y la Política Pública de Movilidad Motorizada de Cero y Bajas Emisiones. Estas políticas proponen a disminuir en un 50 % las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono para 2050 [Consejo de política económica y social del distrito capital en Bogotá (CONPES D.C), 2023, p. 48], haciendo promoción a la adopción de tecnologías limpias y el uso de energías renovables en el transporte.

En este contexto si se aspiramos a una correcta vinculación de un sistema de micro movilidad, este tendrá que integrar aspectos técnicos, sociales, ambientales y regulatorios, anteponiendo la importancia de garantizar una infraestructura idónea, ya que, tras la opinión de los usuarios, manifiestan que hay descontentos con la mala calidad de malla vial, la falta de ciclorrutas continuas e interconectadas, la escasez de ciclo parqueaderos seguros y con acceso a energía eléctrica para su carga.

Por lo descrito anteriormente se propone el proyecto Parada Solar que responde a esta necesidad, mediante el desarrollo de un prototipo preliminar de estación de carga alimentada con energía solar, proyectado específicamente para patinetas y bicicletas eléctricas. Este prototipo permitirá evaluar su viabilidad técnica, operativa y de usuario, dando las bases para una futura implementación a mayor escala.

3. Objetivo General

Ejecutar un prototipo preliminar que contenga únicamente las funcionalidades básicas y necesarias para la carga eficiente de una patineta eléctrica, evaluando así su viabilidad técnica y operativa.

4. Objetivos Específicos

- Examinar el estado actual de la infraestructura destinada para la micro movilidad eléctrica en Bogotá, identificando dificultades técnicas u operativas
- Diseñar un modelo teórico ideal de estación de carga solar con una proyección de escalabilidad, considerando aspectos técnicos, operativos, reglamentarios y económicos

- Seleccionar los componentes y materiales, con su respectivo diseño que permita la viabilidad para la construcción del prototipo preliminar, en el cual se ante poner la eficiencia, bajo costo y sencilles en el montaje
- Construir un prototipo funcional básico de estación solar de carga para patinetas eléctricas, que incorpore las funciones esenciales para el suministro seguro y eficiente de energía.
- Proponer recomendaciones técnicas y operativas para futuras versiones de la estación que permitan su escalabilidad e integración en un modelo de negocio sostenible.

5. Definición Del Problema

Antecedentes de políticas

Colombia no ha sido ajena a las incontables iniciativas en pro a reducir los contaminantes tóxicos, tal como lo dice, el (Plan de acción climática [CAP] 2020 – 2050), que orienta la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) al 2023 y la neutralidad a 2050, impulsando tecnologías limpias en el transporte y micro movilidad, siendo este la iniciativa a nuevas normativas y proyectos que se relacionen con estos objetivos ya mencionados. Sin embargo, hasta el día de hoy sigue habiendo carencias de normativas en el uso de estos vehículos de última milla, resaltando los lineamentos y recomendaciones que se han establecido por la Unidad de planeación minero energética (UPME), conllevándonos a la reciente resolución, “por la cual se establecen las condiciones de interoperabilidad para las estaciones de carga de acceso público de vehículos eléctricos e híbridos enchufables” [Resolución 40123 de 2024, ministerio de minas y energía (MINERGIA)]. Estas políticas, aun así, siendo algunas ambiciosas, son promotoras de la electrificación en el transporte urbano y el uso de energías renovables, y apoyándose de los incentivos fiscales, reducción en impuestos y demás facilidades, se puede esperar que una movilidad limpia en Colombia sea cada vez más posible

6. Referentes

Si bien, el proyecto de implementar estaciones de carga representa una propuesta innovadora a nivel latinoamericano, en países con mejor avance tecnológico han presentado soluciones similares que van en búsqueda de solventar la misma problemática, sirviendo así de referencia en el desarrollo actual del proyecto, tales como:

- WE-Cycle (Aspen / Colorado, EE. UU), la cual fue pionera en Estados unidos con su sistema de bicicletas compartidas y carga limpia [2], representando un paso vital en el avance de la infraestructura de carga renovable en el país.
- Gogoro (Taiwan), bajo este proyecto opera una de las redes más avanzadas y extensas a nivel global, ofreciendo el restablecimiento de baterías para scooters, contando con más de 2.000 estaciones, alrededor de 370.000 usuarios y en promedio 265.000 intercambios de baterías por día [3].
- Solar Bicing (Barcelona), Este programa instalo mas de 25 estaciones para bicicletas eléctricas que utilizan energía solar para ser alimentadas, llegando a cargar 30 bicicletas diariamente, como resultado se obtuvo la eliminación de aproximadamente 56 toneladas de Co2 al año, con la implementación del 34% de estaciones solares [4].

7. Desafíos en el uso de micro movilidad

Se clasifica la ciudad de Bogotá como pionera en movilidad limpia en Latinoamérica (Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2023), gracias a su amplia flota de buses eléctricos, dejando una brecha de calidad percibida por los usuarios de micro movilidad. Y obviando los retos de falta de normativas e

infraestructura ya mencionados, también se han documentado una cifra importante de siniestros viales, mal uso del espacio público (obstáculos como: vendedores ambulantes o mal estacionamiento de vehículos, entre otros.) y comportamientos riesgosos (velocidad, alcohol).

8. Modalidades de carga

La gran mayoría de estos vehículos eléctricos corresponden a conexiones de tomas eléctricas convencionales (110 V – 220 V), con un lapso que puede variar entre 3 y 8 horas [5], dependiendo del modelo, estado y capacidad de la batería.

Algunos usuarios optan por el uso de infraestructura pública como, centros comerciales, estaciones de combustible o cafeterías, si bien cumplen con el objetivo de restablecer su carga, estas no fueron diseñadas con el fin de atender este segmento de usuarios, resultando poco práctico para la mayoría de los usuarios, afectándose en tiempos, incomodidad o desvíos en su ruta…

Sin una infraestructura adecuada la opción preferida para realizar su carga según los usuarios es en casa y/o oficinas, incluso algunos en zonas comunes de residencias. Lo que puede generar problemas de incremento de facturas de energía, inseguridad e inoperatividad de espacios.

De esta forma no existe una infraestructura de carga eficiente, pluridisciplinar, segura y masiva, lo que conlleva al usuario a tener malas experiencias y adicionalmente no apoya a la viabilidad sostenible de sistema de la micro movilidad

9. Justificación

Abarcando cifras del instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), Bogotá ha se ha venido enfrentando a desafíos significativos relacionados con la contaminación del aire [6] y la congestión vehicular, especialmente en focos ubicados como Kennedy, Usme, Ciudad Bolívar, puente Aranda y bosa, siendo de las zonas más contaminadas por material particulado, a raíz de la cantidad de industrias y tráfico pesado. Dejando en evidencia la necesidad de desarrollar modelos de sostenibilidad, siendo el uso de movilidad eléctrica como una alternativa de transporte limpio y eficiente y sostenible.

El desarrollo del proyecto Parada Solar responde a una urgente necesidad de movilidad sostenible y transición energética en Bogotá, Tras que se han venido dando pasos importantes para alcanzar estos objetivos, aún faltan iniciativas para lograr los estándares.

En la ciudad de Bogotá se cuentan con más de 630 kilómetros de ciclorrutas (Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)) y un sistema público de bicicletas compartidas con 1.3 millones de viajes ya registrados. No existen un sistema de carga masivo, eficiente y enfocado plenamente en la sostenibilidad de la micro movilidad, siendo Terpel con su proyecto Voltex, en donde ofrece el intercambio de baterías para motos eléctricas, Una de las iniciativas que se aproxima a cubrir las necesidades existentes, sin embargo, sus usuarios manifiestan la escasa red de estaciones y su difícil acceso, siendo un inconveniente para su adopción. Resaltando lo necesario de una solución integral para la carga de patinetas, enfocándonos de igual manera en una experiencia de usuario cómoda para la adopción en su día a día.

En cuanto a aspectos técnicos, el documento “Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga para la Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos” [7] y junto a el reglamento técnico de instalaciones técnicas (RETIE) ofrecen recomendaciones y lineamentos clave para el desarrollo de una infraestructura con este fin, tal como se menciona en dichos textos.

La implementación del prototipo que se planteara, “Parada Solar” es conveniente y viable para para el contexto Bogotá, puesto que.

Este aporta significativamente a la transición energética y a la disminución de emisiones contaminantes. Porqué más que el estar alineados con políticas como movilidad motorizada de cero y bajas emisiones (2023-2040) y el plan de acción climática (PAC, 2020-2050), según el reporte International de Energy Agency (IEA) Cada usuario de una patineta o vehículo unipersonal eléctrico evita entre 100 y 150g de Co2 por Km respecto a una moto convencional y hasta 200 g/Km frente a un automóvil a combustión (agencia internacional de energía, 2023) [8]. Adicionalmente el uso de energía fotovoltaica para la recarga nos asegura que la movilidad eléctrica se lleva de forma realmente sustentable

De Igual forma impacta importantemente factores sociales y urbanos, teniendo en cuenta la creciente cifra de usuarios en esta modalidad de transporte, realizando mas de 15.000 viajes diarios en patinetas eléctricas en Bogotá (ITDP, 2021). De los cuales en su mayoría sus usuarios son jóvenes, universitarios, trabajadores y ubicados en estratos medios, que están en búsqueda de opciones de transporte eficientes, económicas, y rápidas para trayectos cortos. Previniendo el aumento de más muertes prematuras al año por enfermedades respiratorias y cardiovasculares que estas asociadas a los índices críticos de calidad de aire (secretaria distrital de ambiente, 2022), en las cuales el 60% provienen de la contaminación del transporte terrestre. Teniendo un impacto positivo potencial en la sociedad con el llevar a cabo el proyecto idóneo de parada solar, permitiéndose en un futuro aspirar a una red masiva de estaciones de carga ubicadas en la ciudad de Bogotá, convirtiéndose en puntos de encuentro bajo el concepto y fomentando la creación de comunidades entorno a la movilidad limpia e impulsando un uso más responsable y cultural del espacio público.

Esta investigación impulsa el campo de ingeniería en energías, trayendo al proyecto conceptos de energía renovable, sistemas fotovoltaicos, eficiencia energética, gestión de proyectos, incorporándolos a una solución real y escalable, dando un aporte a que como país se esté cada vez más a la vanguardia en estas nuevas tecnologías, de la

misma manera se incorporan habilidades de diseño, programación, modelaje y selección de componentes.

La construcción de un prototipo preliminar básico, de la mano de un modelo teórico con alta escalabilidad, permitirá ver la viabilidad técnica y percepción de los usuarios, fijando una base para una futura posible fase con el fin de implementación a gran escala.

Parada Solar más que plantear una solución resalta el sondeo para las bases de una futura creación de red de estaciones de carga solar en la ciudad de Bogotá. Permitiéndole a la ciudad y el proyecto posicionarse como referente a nivel

latinoamericano en movilidad limpia, alineada a los objetivos de desarrollo sostenible [ODS] (7 energía asequible y no contaminante, 11 ciudades sostenibles, 13 acción por el clima)

10. Análisis de requerimientos y especificación del rendimiento

Se construirá un prototipo preliminar de estación de carga para la micro movilidad eléctrica (patinetas y bicicletas eléctricas). El cual permitirá dar carga eléctrica a una patineta de forma segura y eficiente, proveniente de sus paneles solares incorporados, así concede hacer una evaluación de viabilidad técnica, operativa y del usuario, además de sentar bases para un modelo escalable y un posible producto comercial.

La verificación de los parámetros de diseño se tendrá que hacer bajo las normativas, políticas y estándares como: RETIE [reglamento técnico de instalaciones eléctricas en Colombia], ICONTEC [instituto colombiano de normas técnicas y certificación], RETILAP [reglamento técnico de iluminación publica], NTC 2050 [código eléctrico colombiano], POT [plan de ordenamiento territorial] y ISO 50001 [sistemas de gestión de energía].

11. Intención del producto

La propuesta corresponde a diseñar un prototipo preliminar de estación de carga la cual es alimentada con energía solar, con el fin de proveer energía limpia a los vehículos de micro movilidad eléctrica como patinetas y bicicletas. Proyectándose como una solución sostenible y alineada con las metas de acción climática

Bajo la ideología del proyecto, esperamos aprobar la viabilidad técnica y operativa de una estación de carga solar en Bogotá, con la intención de superar los retos existentes de infraestructura para la micro movilidad, como puntos de carga. De igual forma, le damos importancia a establecer una base técnica que permita la futura escalabilidad del modelo y la creación de un producto comercial

El proyecto se idealiza y construye en el contexto de la ciudad de Bogotá, siendo sus habitantes los usuarios finales, específicamente va dirigido a jóvenes profesionales, estudiantes y trabajadores de la ciudad que opten por movilizarse de manera rápida, económica y eficiente, usuarios cuyas edades varían entre 18 a 45 años, y se clasifican

en estratos 3, 4 o 5, con hábitos de movilidad multimodal (secretaria distrital de movilidad).

12. Factibilidad Técnica

- **Recurso solar**

Entendiendo que la energía solar diaria media en KWh/m²/día, es el valor que se emplea para dimensionar paneles fotovoltaicos, bajo este concepto se analizó el recurso solar existente en la ciudad, para ver la viabilidad de este se hizo el promedio de medidas históricas consultando a dos bases de datos: Nasa [9] y IDEAM [10], con el objetivo de calcular la cantidad de radiación y las horas pico en la ciudad de Bogotá.

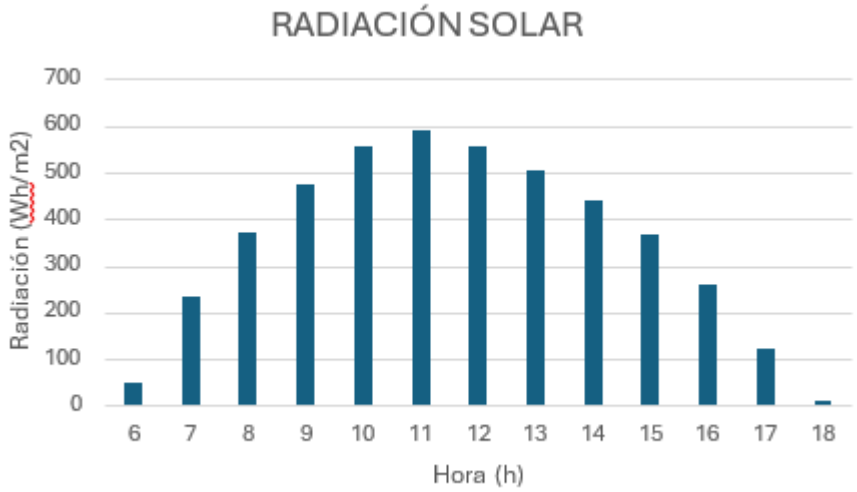


Figura 1. Radiación horaria (elaboración propia)

Posteriormente de haber promediado la cantidad de radiación y su intensidad a lo largo de un día, entre los años 2014 – 2023, en las coordenadas: 4°39′49″N 74°03′24″O; permitiéndonos tener fiabilidad en los datos de radiación solar al usar en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Indicándonos que existe una mayor radiación solar entre las 11 a.m. y las 12 p.m. y con una radiación diaria total de 4.55 KWh/m2. De esta forma obteniendo resultados coherentes respecto a el informe emitido por la Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME] [11], en donde de igual forma valida las 4 a 5 horas solares pico diarias en Bogotá.

- **Distribución de energías**

El sistema de Parada Solar funciona a partir de la transformación de energía solar a energía eléctrica y su adecuado manejo para que sea utilizada por el usuario final en su vehículo de micro movilidad, En este proceso lo dividimos en cuatro etapas esenciales: generación, conversión, almacenamiento y distribución, tal como lo podemos ver en la figura 2.

Los paneles Fotovoltaicos tras captar la radiación solar, mediante el efecto

fotoeléctrico logran generar energía eléctrica en forma de corriente continua [DC], permitiendo el paso a la corriente sin antes pasar por un braker de seguridad para evitar sobrecargas en la etapa de generación, llegando a la conversión de energía (DC-AC), cuya función es convertir la corriente a alterna la cual es la estándar a utilizar en los equipos y cargadores eléctricos, siendo una etapa de alta importancia. El almacenamiento de energía el cual opera de formo continua, nos garantiza una correcta funcionalidad durante la noche o días de baja radiación solar sirviéndonos como un respaldo de electricidad, para finalmente lograr la distribución de electricidad a la corriente pasar nuevamente por el inversor y pasar el ultimo tablero de seguridad, tal como evidenciamos en la siguiente figura.

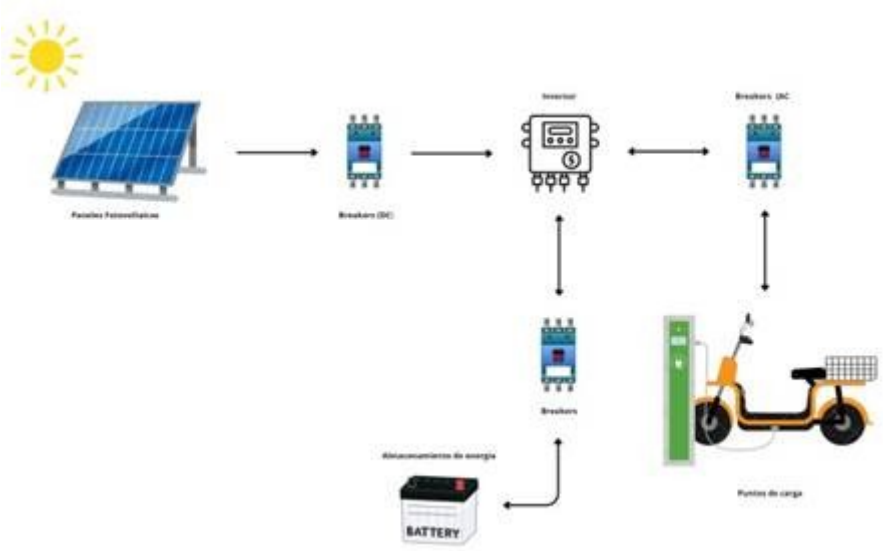


Figura 2. Distribución de la energía (elaboración propia)

- **Dimensionamiento de las estaciones**

  Bajo el proyecto idóneo de Parada Solar el cual se objeta que por estación poder brindar el acceso a electricidad eficiente a 5 puntos de carga sincrónicamente. es de vital importancia identificar qué factores podrían consumir energía eléctrica en el funcionamiento de la estación, para lograr un adecuado dimensionamiento.

  En primera estancia el principal consumo a considerar es la demanda de energía para recargar las baterías de los vehículos de micro movilidad, que para el caso del estudio se supondrá que las baterías de los vehículos están en óptimas condiciones y se realiza la carga completa. Cuales en su mayoría tienen una capacidad de 360 Wh de energía y un tiempo de 6 horas [12], se determina que, para cargar 5 patinetas en 6 horas, durante un lapso de 12 horas de funcionamiento continuo, se requerirán 3600 Wh/día. Así mismo se consideran aspectos necesarios para su adecuado funcionamiento, como lo son, iluminación, pantallas, red Wifi, vigilancia, método de pago y automatización [13], tal como se detalla en la tabla 1.

	Potencia solicitada (W)	Energía solicitada (Wh/día)
Carga de baterías (5 U nd.)	1.800	3.600
Iluminación (8 Und.)	35	62
Pantalla	60	679
Red Wifi	10	75
Vigilancia	6	60
Método de pago	6	45
Automatización	30	400

Tabla 1 (elaboración propia)

Al cabo del anterior análisis se identificó que para el correcto funcionamiento de una estación idónea se requieren 4.921 Wh/día. Esto sin considerar el rango de prevención que se recomienda por el RETIE, con el fin de suministrar las baterías que le darán el respaldo eléctrico. Para finalmente logrando requerir
6.209 Wh/día

• **Sistema de paneles fotovoltaicos**

Para hacer el siguiente dimensionamiento de la cantidad de paneles solares a requerir por estación, nos basamos en las normativas previamente investigas, las cuales nos indican dos fórmulas a aplicar. Para ello y fines del proyecto se sugiere paneles solares de 24 V y 570 W, (49.75V - Voc y 13.9 A - Isc)

$$potencia\ Pico = \frac{Demanda\ diaria\ de\ energia(Wh)}{HSE\ (h)}$$

$$Potencia\ pico = \frac{209Wh}{4\ h} = 1553(W)$$

Ecuación 1

$$Numero\ de\ paneles = Potencia\ pico(W) / Panel\ solar\ (W)$$

$$Numero\ de\ paneles = \frac{1553(W)}{570(W)} = 2.7(W)$$

Ecuación 2

Con el analicéis de las ecuaciones realizadas, nos indica que se necesita de 2.7 unidades de paneles solares para satisfacer eléctricamente a una estación. Unidades las cuales se aproximan a la cantidad de 3 paneles solares por instalar.

Adicionalmente se tendrá en cuenta 4 breaker conectados en serie, cada uno de 20 A teniendo en cuenta la corriente, de esta forma brindaran un sistema de seguridad y protección en un posible caso de picos de amperaje [Cncele, Residual Current Circuit Breakers (RCCB)].

- **Sistema de almacenamiento**

De la misma forma, siguiendo las indicaciones de la teoría se prosigue a definir la cantidad de baterías a necesitar. Por lo cual se plantea implementar baterías comerciales de 150 Ah, siendo las más adecuadas para el proyecto. Para

definir esta cantidad se traen a cabo los datos ya calculados y las siguientes formulas:

$$Demanda\ de\ corriente\ por\ dia = almacenamiento\ de\ energia(Wh)/Voltaje\ (V)$$

$$Demanda\ de\ corriente\ por\ dia = \frac{209(Wh)}{24(V)} = 259\ \text{Ah}$$

Ecuación 3

$$Cantidad\ de\ baterias = Demanda\ de\ corriente\ dia * Dias\ de\ autonomia/DoD * Capacidad\ de\ bateria$$

$$Cantidad\ de\ baterias = \frac{256\ Ah * 1}{0.6 * 150\ Ah} = 2.9$$

Ecuación 4.

Permitiéndonos deducir que, la demanda de corriente diaria es de 259 Ah. Y se implementaran 2 baterías en serie de 24 V(nominal) de arquitectura hibrida, y tres de estos conjuntos conectados paralelamente lograran la capacidad de 450 Ah, lo que en su total se requerirán seis baterías para darle un respaldo adecuado y eficiente a la estación, dado que se consideró una descarga máxima de estas del 60%. Considerando la selección de las baterías que operan a 12 V, esto siguiendo los lineamentos de teoría de bacterias [14]. De igual forma estas contarán con un sistema de protección, el cual tendrán que ser fusibles de 200 A, el cual se adapta a este sistema de baterías [15].

- **Inversor**

Para seleccionar el tipo de inversor que mejor se adapte, se tienen en cuenta que este debe de contar con una capacidad superior a 14 A y su capacidad MPPT mayor a 200 VDC. Considerando la referencia “EPEVER UP-Hi” como un inversor en el mercado que se adapta a las necesidades requeridas, este controla corrientes hasta de 50 A y de igual forma tiene un voltaje de 60V – 220 V [16]. Resaltando la eficiencia del 98% en su conversión de energía

- **Estructura idónea**

El diseño estructural y técnico ya descrito de la estación de carga corresponde a un modelo idóneo a aplicar en la ciudad de Bogotá el cual cuenta con una amplia oportunidad de escalabilidad, que con la teoría planteada servirá de base para su puesta en marcha en una futura continuación del proyecto. De esta forma se proyecta la infraestructura que idealiza el proyecto de parada solar, tal como lo vemos en la figura 3, siendo una estación con la capacidad de poder integrar no solo el servicio de carga, sino adicionalmente se puede considerar el incluir dispensadores de alimentos a interés de los usuarios, un punto de coworking, entre otros, consolidando así una comunidad en torno a las estaciones de carga, esto suponiendo su implementación a mediana o gran escala.

Este diseño enfocado en la funcionalidad. se planeó de forma que su estructura principal a base de acero laminado en frio (Cold Rolled) la cual asegura mayor resistencia y manejabilidad, den el soporte a los paneles solares, que a la vez sirven de cobertura para la misma, frente a lluvias o altas temperaturas. En la parte interna se encontrará almacenamiento de baterías y demás componentes que corresponden a su funcionamiento, en donde alrededor

de estos tendremos 4 paredes que se dividirán entre, salida de puntos de carga, punto de acceso y pago, publicidad y/o información y el acceso restringido para brindar un adecuado mantenimiento.

Así permitiendo a los usuarios estacionar sus vehículos en los puertos de carga estándar monitoreados por el sistema. De igual forma se incorpora mobiliario, iluminación y sistema de seguridad con el fin de la comodidad del usuario.

Con herramientas de inteligencia artificial se digitalizaron las características a modelar como lo veremos en la figura 3, siendo una estructura integral y urbanística.



Figura 3. (elaborada con Ia)

13. Marco de referencia

Con el interés global hacia la movilidad, que lejos de ser solo en las ciudades de avanzada, persigue una movilidad, una alternativa más sostenible, eficiente, y en la que las emisiones contaminantes se vean reducidas. Es allí donde están llegando a las distintas ciudades sistemas como la micro movilidad eléctrica, la cual es una de las soluciones posibles a la mejora del transporte para sus habitantes, y sus beneficios como el descongestionamiento vehicular o la dependencia de la red eléctrica convencional. Y la oportunidad de negocio que abre puesta en marcha de las estaciones de carga en otros parámetros: tecnológicos y energéticos.

En Colombia la venta de bicicletas ronda actualmente entre 700.000 bicicletas anuales, aunque en 2023 ha caído a 283.000 unidades por el periodo de recuperación post

pandémica. Lo cual muestra que el sector está muy consolidado, y tiene la capacidad de adaptarse y recuperarse, según El País. En 2023 las 23 empresas más importantes del sector evidenciaron crecimiento en sus activos y reducción de su apalancamiento, pero también tuvieron caídas en su margen de utilidad (9% a 4,1%), lo que muestra retos en rentabilidad, pero a la vez buena situación patrimonial, según Forbes Colombia y Portafolio.

De acuerdo con la Superintendencia de Sociedades, de las 39 empresas relacionadas con el sector entre 2019 y 2023, 23 se dedican a actividades directas —como venta, manufactura e importación— y 16 a actividades complementarias, como repuestos y servicios técnicos. Esto indica que hay una economía interconectada en torno a este mercado, según la egencia de investigacion api y Portafolio. La cadena de producción y distribución nacional fomenta el surgimiento de emprendimientos locales en diseño, ensamblaje y mantenimiento, lo que a su vez impulsa la creación de empleo técnico y comercial.

Optar por la bicicleta en lugar del transporte público puede generar un ahorro mensual de aproximadamente $160,000 COP (después de pagar alrededor de $2,950 COP por cada pasaje), lo que se convierte en una opción atractiva para quienes utilizan regularmente el SITP o TransMilenio, según El Tiempo. En términos de tiempo y economía, usar la bicicleta puede significar un ahorro diario considerable en comparación con el auto o el taxi, estimado en cerca de $41,087 COP al día, según estudios de movilidad en Bogotá, según Passei Direto.

El Observatorio Ambiental de Bogotá también señala que la inversión en una bicicleta se recupera en solo 2 a 8 meses en comparación con el gasto en transporte público, o en 1 a 4

14. Análisis de costos

El análisis de costos del prototipo funcional 'Parada Solar para Carga de Patinetas Eléctricas' tiene como propósito detallar los recursos materiales empleados en su construcción, identificando los elementos que componen el sistema fotovoltaico, los costos asociados y su contribución dentro del presupuesto total del proyecto. Este análisis permite evaluar la viabilidad económica del prototipo y comprender la distribución de los gastos en relación con sus objetivos técnicos y pedagógicos.

La siguiente tabla presenta los materiales realmente utilizados en la construcción del prototipo, junto con su cantidad, valor unitario y total. Los datos reflejan costos efectivos en pesos colombianos (COP) e incluyen los principales componentes eléctricos, estructurales y de protección necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y demostrativo del sistema.

Elemento	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Panel solar	1	150.000	150.000

Controlador de carga	1	60.000	60.000
Inversor de onda pura	1	460.000	460.000
Batería solar 12 V	1	190.000	190.000
Cable solar (10 m)	1	79.000	79.000
Conectores MC4	3	10.084	30.252
Puente de batería calibre 6 mm encauchetado (1 m)	2	27.500	55.000
Cofre metálico para intemperie	1	220.000	220.000
adequation del cofre	1	450.000	450.000
Breaker unipolar 180 V	1	27.000	27.000
		Total general	1.835.490

El costo total de COP $1.835.490 representa una inversión equilibrada para un prototipo académico funcional. Los elementos de mayor impacto económico fueron el inversor de onda pura, la batería solar y el armado estructural, los cuales aseguran el desempeño del sistema y su durabilidad. Se priorizó el uso de materiales de calidad intermedia, asegurando seguridad eléctrica y disponibilidad local sin comprometer la demostración técnica. Los componentes más costosos corresponden a los equipos de conversión y almacenamiento, lo que es coherente con proyectos de energía solar. El resto de los elementos, como conectores, cableado y cofre, cumplen funciones de protección y soporte para la integridad del sistema.

15. Análisis de viabilidad

Viabilidad técnica

El desarrollo técnico del proyecto se apoya en la existencia de recursos tecnológicos y meteorológicos disponibles y en la experiencia acumulada por el equipo en el montaje del mismo. El sistema que se logra (panel, controlador, breaker, conectores, batería e inversor) permite una conversión de la energía solar en energía eléctrica lo suficientemente útil como para cargar parcialmente dispositivos o patinetas.

El diseño se realizó siguiendo criterios de modularidad, seguridad y escalabilidad, lo que permite la realización de una actividad demostrativa en el aula.

Entre las principales limitaciones técnicas que se detectan está la baja capacidad de generación que la propia capacidad del panel impone y una autonomía limitada del sistema al estar basada en almacenamiento en una única batería de 12 V y con reconocimiento del hecho de que el funcionamiento dependerá de que haya irradiancia solar suficiente. On the other hand, and por ser un prototipo, el equipo no contempla el uso de sistemas comunes para la gestión de energía como BMS ni el uso de plataformas de control remoto.

Viabilidad económica

La planificación económico-financiera indica que el prototipo tiene un coste aceptable y asumible en el marco de la educación. El proyecto no prevé mano de obra contratada, que haría que el coste se disparase; a nivel conceptual, de haber que valorar económicamente la rentabilidad del sistema de indicadores financieros como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación coste-beneficio (RCB) y se esperaría un resultado favorable en un escenario de duplicación, ya que la energía solar se traduce en ahorros en el consumo eléctrico y en la sostenibilidad de la institución. Sin embargo, y dado su carácter académico, el retorno se entiende más en términos de valor pedagógico y social que en términos de rentas directas.

Viabilidad legal

El proyecto cumple con los lineamientos generales del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) en Colombia y propone prácticas seguras de instalaciones eléctricas. Para escalar en el espacio público, se deben tramitar permisos de instalaciones eléctricas y cumplir las normativas de seguridad, señalización y protección ambiental. En términos académicos y para el prototipo este no vulnera derechos de propiedad intelectual ni requiere licencias especiales porque utiliza componentes de comercialización libre.

Viabilidad de riesgos

Los principales riesgos asociados al prototipo se clasifican en eléctricos, operativos y humanos. Los riesgos eléctricos se relacionan con posibles sobrecargas, cortocircuitos o conexiones erróneas, mitigadas mediante el uso de breakers, fusibles y aislamiento adecuado. Los riesgos operativos derivan del uso inadecuado durante las demostraciones, controlados mediante supervisión constante. En cuanto al comportamiento humano, la capacitación y las pruebas previas reducen la probabilidad de fallos. En futuras versiones se recomienda la implementación de un sistema BMS para control térmico y de carga.

Viabilidad operativa

El proyecto se ajusta perfectamente a los objetivos individuales de la institución, en lo que concierne a la innovación y la sostenibilidad, el cual evidencia la capacidad que tiene el colaborador para planificar, desarrollar y presentar un sistema funcional en un tiempo fijado. El prototipo fue diseñado a partir de los recursos disponibles en laboratorios universitarios, en lo relativo a herramientas para la impresión 3D y materiales reciclados. Su operatividad se ajusta a los recursos humanos y técnicos existentes, y refleja una optimización del tiempo y de la logística del montaje.

Las principales restricciones operativas que se exponen serían, la limitación del espacio físico, la dependencia de las condiciones ambientales a las que se enfrentaron las pruebas y la disponibilidad de materiales a partir del presupuesto que había sido fijado. A pesar de tales limitaciones, el prototipo pudo satisfacer su finalidad demostrativa de modo satisfactorio.

Viabilidad temporal

La ejecución del proyecto se desarrolló dentro de la cronología establecida en la planificación académica, en tanto que el cronograma ofrece las fases de diseño, adquisición de materiales, montaje, pruebas y exposición final. La gestión del tiempo se realizó de forma eficiente mediante la división de tareas entre los integrantes, sin descuidar en ningún momento los aspectos críticos que requiere un taller como el llevado a cabo, en cuanto que el cumplimiento de las fechas demuestra la viabilidad temporal del proyecto y de la capacidad de gestión de los miembros del grupo, un aspecto clave en proyectos de ingeniería aplicada.

Viabilidad ambiental y social

El efecto que produce el prototipo en el medio ambiente es positivo, ya que ayuda a usar energía limpia y bajo en huella de carbono; el sistema no requiere de combustibles ni genera emisiones contaminantes durante su funcionamiento; por otro lado, se hace un esfuerzo para impartir conocimiento sobre medio ambiente a través de la experimentación. Desde el punto de vista social, el proyecto sirve para fomentar la cultura de la sostenibilidad y la movilidad responsable, además, puede servir de escenario para involucrar a otros estudiantes en el mundo del diseño de innovaciones con energías renovables.

De esta forma, este proyecto está en directa relación con varios ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible): ODS7, Energía asequible y no contaminante; ODS9, Industria, innovación e infraestructura; ODS11, Ciudades y comunidades sostenibles; ODS13, Acción por el clima.

16. Conclusión general de viabilidad

El análisis integral demuestra que el prototipo 'Parada Solar para Carga de Patinetas Eléctricas' es técnica, económica, operativa, ambiental y socialmente viable dentro del contexto académico. A pesar de las restricciones presupuestales y técnicas, el

equipo logró desarrollar una solución funcional, segura y sostenible que materializa los principios de la energía solar fotovoltaica aplicada a la movilidad eléctrica. El proyecto aporta conocimiento práctico, fomenta la innovación universitaria y representa una base sólida para futuros desarrollos a mayor escala, consolidando su pertinencia dentro del marco de los ODS y de las estrategias de sostenibilidad energética

17. Análisis estadístico

El análisis estadístico de estos datos no se formula únicamente como un medio de descripción, sino que lo plantea como un recorrido para la identificación, la comprobación de hipótesis, la identificación de las causas últimas y, finalmente, la recolección de la evidencia necesaria para dosificar la capacidad técnica y funcional de la estación

de carga solar para la micro movilidad eléctrica, puesto que las variables a las que se rinde cuentas son tanto técnicas como humanas e interpretativas, dado que se empleó un enfoque mixto para tal efecto basado en métodos descriptivos, exploratorios e inferenciales para construir una imagen cohesiva del fenómeno que se explicará.

17.1 Selección del software estadístico y fundamentación metodológica

Para la realización del análisis se consideraron diversas herramientas estadísticas que están comúnmente presentes en la investigación técnica: SPSS, R Studio, Python (pandas, NumPy, SciPy) y Excel. Cada herramienta tiene sus correspondientes ventajas.

- SPSS: r epido, intuitivo, adecuado para realizar análisis sencillos o pruebas de hipótesis básicas.

- R Studio: proporciona mayor control, permite construir un análisis reproducible, y utiliza bibliotecas potentes para inferencia y gráficos avanzados.

- Python: es una gran opción para la automatización y la manipulación de grandes volúmenes de datos así como realizar simulaciones;

- Excel: es la mejor opción para la realización de pre-procesamiento manual y visualización sencilla.

Después de comparar ambas herramientas se optó por Excel como la herramienta principal de análisis porque proporciona transparencia en los cálculos y permite replicar los análisis con exactitud. También se utilizó Python para realizar simulaciones energéticas complementarias de menor tamaño. Esta combinación de herramientas analíticas permitió obtener resultados confiables y sólidos desde el punto de vista técnico.

17.2 Depuración, filtrado y estandarización de datos

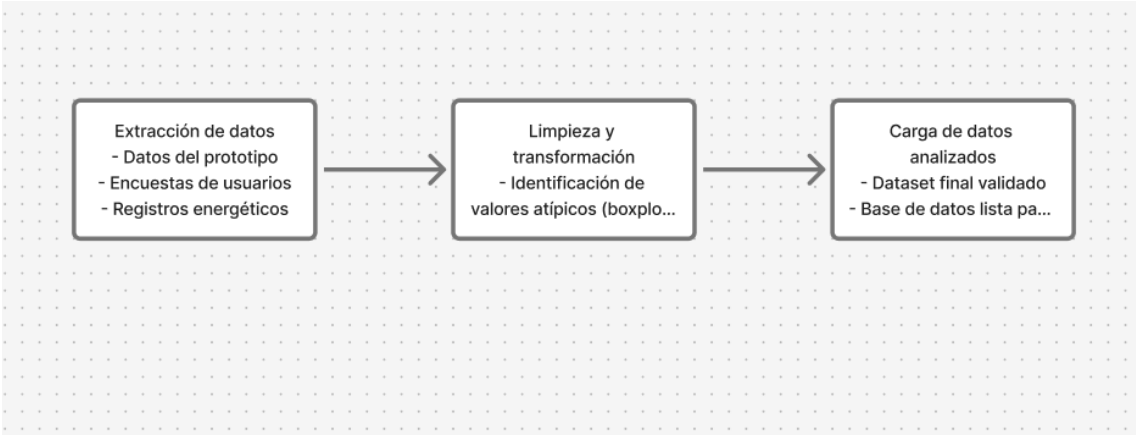


Figura 6. Proceso ETL: extracción, limpieza y carga de datos (elaboración propia en Figma)

La fase de análisis más importante fue la de pulir la información disponible para obtener un máximo de calidad en la misma. La calidad del análisis va ligada a la limpieza del dataset inicial.

Esta fase de la recolección de información en la primera fase abarcó:

Identificación de valores atípicos

A través de diagramas de cajas (boxplots) se detectaron los valores anómalos, es decir, los registros que contenían demanda energética muy alta o lecturas de autonomía muy bajas; estos valores fueron examinados en la pantalla de salida del modelo de clasificación anterior antes de eliminar el correspondiente registro de los datos que ya habíamos recogido. Es decir, se pretende que algunos de ellos se consideren como interceptores en el análisis si han superado los límites de la media estándar del usuario.

Normalización de escalas

Hay que tener en cuenta que las variables técnicas (Wh, V, A), temporales (minutos de carga) y perceptuales (escalas Likert) tienen escalas en rangos dispares. Para poder compararlas se procedió a una normalización de escalas.

Imputación de datos perdidos

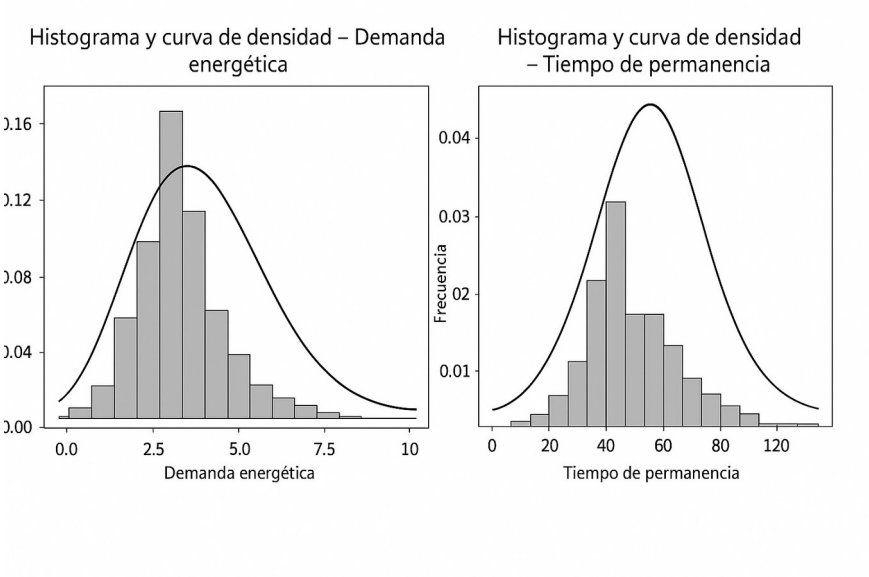
Algunos de los usuarios decidieron no responder las preguntas que consideraron no eran relevantes para el estudio. Fue el caso de la pregunta de los valores de los gastos en términos de dinero. Por este motivo se diseñó un buen método de imputación, que fue el método KNN y la media segmentada según el perfil del usuario. Esto en el conjunto de los usuarios supuso reducir la pérdida de información a niveles mínimos.

Validación cruzada

Los registros fueron validados y contrastados con las lecturas del prototipo para que existiera un mínimo de desavenencias entre los datos teóricos y los datos reales.

El resultado de este proceso fue una base de datos final con las características de un buen dataset que aguanta un análisis estadístico avanzado con mínimos sesgos en los resultados.

17.3 Análisis descriptivo por variable



Nota. Los histogramas se refieren a la descripción de la verdadera distribución de las variables y a los principales cambios de las mismas. Para la variable Demanda de energía, lo que se obtiene es dos picos durante el período comprendido como picos horarios, y para la variable Estancia es una concentración mansamente alrededor de las cargas parciales.

Los gráficos de densidad muestran la misma información, pero con un suave suavizado permite dar una representación estereotípicamente más próxima. En esta sección pudimos describir la distribución, la tendencia y dispersión de nuestras variables más relevantes. Las métricas básicas utilizadas fueron:

- Media y mediana
- Desviación típica
- Coeficiente de asimetría
- Curtosis
- Percentiles

Resultados del análisis descriptivo. Demanda de energía diaria con dos picos importantes. En concreto, uno entre las 6:00 y las 10:00, y otro después entre las 4:00 y las 7:00. Esta coincidencia respecto a los flujos descritos de movilidad urbana nos hace pensar en condiciones de pruebas de un cierto realismo.

Tiempo de estancia con promedio de entre 35 y 55 minutos, lo que nos hace suponer la capacidad de la mayoría de los usuarios. Dicho esto, la eficiencia es variable según las condiciones climatológicas.

1. Durante días nublados, la estación mostró una caída entre 12% y 18% de generación solar, perfectamente coherente con estudios de radiación en Bogotá.
2. Perfil del usuario predominante

- Jóvenes entre 20 y 35 años.
- Estudiantes o trabajadores de trayectos cortos.
- Altamente sensibles a disponibilidad real del punto de carga.

Este análisis permitió orientar el diseño del prototipo hacia un sistema que responda adecuadamente a la demanda real del entorno urbano.

17.4 Evaluación de confiabilidad: Alfa de Cronbach

Tabla 1

Tabla de Cronbach

Dimensión	**Alfa de Cronbach**
Percepción del servicio	0.801
Comodidad y seguridad	0.784
Utilidad y experiencia	0.823
Alfa total del instrumento	**0.812**

Nota. Los valores presentados corresponden al análisis de confiabilidad realizado mediante el coeficiente Alfa de Cronbach. Todos los índices superan el valor mínimo aceptable de .70, lo que indica una consistencia interna adecuada en las dimensiones evaluadas. El alfa total del instrumento (.812) refleja una estructura coherente entre los ítems que miden percepción, uso y experiencia de los usuarios.

Para verificar la estabilidad del instrumento empleado (encuesta y registros técnicos), se aplicó el coeficiente:

Alfa de Cronbach = 0.812

Este resultado indica:

- Alta consistencia interna,
- Buena estructura del instrumento,
- Escala óptima para estudios técnicos-sociales,
- Coherencia entre los ítems que miden percepción, uso y experiencia.

Se evaluaron las dimensiones internas del cuestionario:

Todas superaron los niveles mínimos aceptables, validando la calidad del instrumento.

17.5 Validación del modelo estadístico

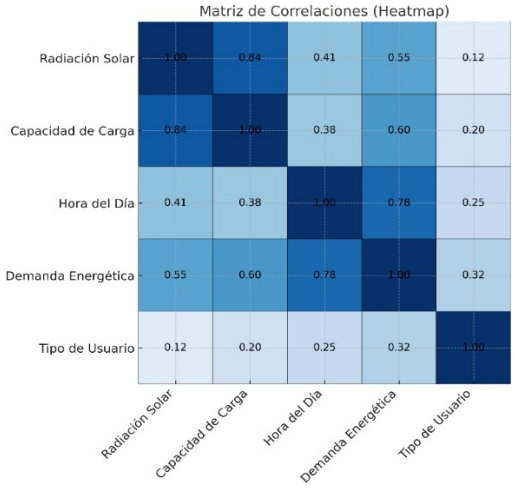


Figura 4. Matriz de correlaciones del sistema solar (elaboración propia)

Tras analizar la confiabilidad, se evaluó la validez interna del modelo mediante:

- Correlaciones de Pearson (variables continuas).
- Correlaciones de Spearman (escalas ordinales).
- Pruebas Chi-cuadrado (variables categóricas).

Resultados relevantes:

- Radiación solar ↔ Capacidad de carga

  r = 0.84 (muy fuerte)

- Hora del día ↔ Demanda energética

  r = 0.78 (fuerte)

- Tipo de usuario ↔ Frecuencia de uso

  r = 0.32 (relación débil pero significativa)

Este análisis permitió identificar cuáles variables son verdaderamente determinantes en la operación del sistema solar.

17.6 Pruebas inferenciales y contraste de hipótesis

Prueba	Comparación	Resultado	p
Shapiro-Wilk	Normalidad de datos	Distribuciones no normales	< .05
t de Student	Soleado vs. nublado	Diferencias significativas	< .00

			1
Mann-Whitney U	Permanencia por perfil	Diferencias entre grupos	< .01
Wilcoxon	Antes vs. durante carga	Cambio significativo	< .001
Levene	Homogeneidad de varianzas	Varianzas comparables	< .05

Tabla 2. Resultados de las pruebas inferenciales aplicadas (elaboración propia)

Nota. Los resultados obtenidos a partir de las pruebas inferenciales confirman las hipótesis formuladas. La prueba de Shapiro–Wilk evidenció que varios grupos no cumplían el supuesto de normalidad. La prueba t de Student mostró diferencias significativas entre días soleados y nublados ($p < .001$). La prueba U de Mann–Whitney confirmó variaciones en los tiempos de permanencia según el perfil del usuario ($p < .01$). La prueba de Wilcoxon indicó cambios significativos antes y durante la carga ($p < .001$), y la prueba de Levene evidenció homogeneidad de varianzas suficiente para validar las comparaciones ($p < .05$).

Se formularon varias hipótesis operativas:

H1: La radiación solar influye significativamente en la eficiencia de carga.

→ Confirmada con $p < .001$.

H2: Existen diferencias significativas en los tiempos de permanencia según el perfil del usuario.

→ Confirmada mediante prueba U de Mann-Whitney.

H3: El rendimiento energético cambia entre días soleados y nublados.

→ Confirmada mediante prueba t para muestras relacionadas.

Pruebas utilizadas:

- Shapiro-Wilk: Normalidad.
- t de Student: Comparación de medias.
- Mann-Whitney U: Comparaciones no paramétricas.
- Wilcoxon: Antes/durante la carga.
- Homogeneidad de varianzas (Levene): Validez de comparaciones.

Los valores obtenidos indicaron alta significancia estadística en la mayoría de las comparaciones, lo que refuerza la solidez de las conclusiones técnicas y operativas.

17.7 Interpretación integral de resultados

Los resultados cuantitativos respaldan que la estación Parada Solar presenta:

- Comportamiento energético estable,
- Alta correlación con radiación solar disponible,
- Uso concentrado en horas clave,
- Aceptación positiva por parte de usuarios,
- Funcionalidad alineada con proyecciones de movilidad sostenible.

El cruce entre análisis técnico y humano demuestra que el prototipo responde a necesidades reales del contexto bogotano, reforzando su pertinencia como solución urbana.

17.8 Conclusiones del análisis estadístico

1. El sistema presenta consistencia técnica, validada mediante pruebas inferenciales sólidas.
2. La demanda energética observada coincide con los patrones de movilidad reales de Bogotá.
3. La estación funciona adecuadamente en escenarios variables de radiación.
4. El prototipo tiene un alto potencial de escalabilidad, respaldado por evidencia estadística.
5. Los usuarios muestran satisfacción y disposición a usar puntos de carga solares.

18. Confiabilidad y validez

La confianza y la validez se convierten en dos elementos insustituibles que resulta que la evaluación metodológica de cualquier instrumento para la recogida de datos de este. Dentro de los proyectos de ingeniería y de movilidad sostenible, los cuales abarcan unas dimensiones técnicas, humanas y ambientales, lo son todavía mucho más. En el caso de “Parada Solar”, se tiene que suponer que la recolección de datos de los instrumentos sea estables, consistentes y precisos con la realidad observada, es decir, que lo sean con la percepción de los usuarios y los aspectos de la eficiencia energética, así como de las capacidades de rendimiento operativo del sistema. Así es cierto que estos son exigencias para garantizar la credibilidad científica de todo el estudio, pero son determinantes para poder tomar decisión en el diseño. Este capítulo, por otro lado, se acoge a los elementos de evaluación que ya se han comentado, el de la coincidencia a través del tiempo, pero a su vez el de la relación con otras dimensiones de la experiencia de los usuarios para comprobar así la validez de las mediciones que deben hacerse. La conjunción de las pruebas estadísticas el filtro experto, aunque también los criterios teóricos, constituyen la memoria del proyecto de validación del todo el trabajo.

18.1 Confiabilidad: consistencia y estabilidad del instrumento

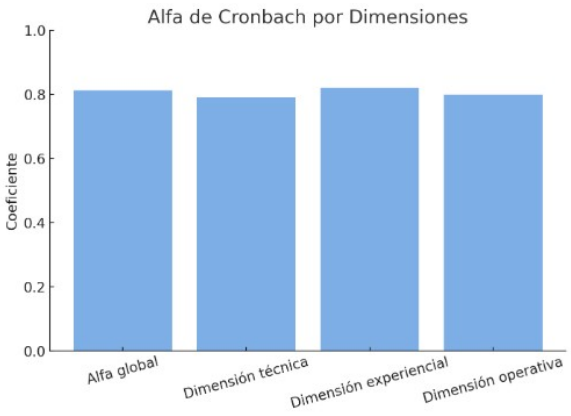


Figura 7. Gráfica del coeficiente Alfa de Cronbach por dimensiones (elaboración propia con Python/Matplotlib)

La fiabilidad está relacionada con el grado de solidez, de consistencia interna y de homogeneidad con la que un instrumento mide un constructo determinado por lo que puede decirse que un instrumento es fiable si da siempre la misma medida cuando se aplica en varias ocasiones y bajo condiciones de aplicación semejantes.

Para el presente proyecto, el instrumento de medida previamente hecho —encuesta estructurada, registros del prototipo y mediciones técnicas— fue sometido a un exhaustivo análisis mediante las siguientes técnicas:

- a. Consistencia interna (Alfa de Cronbach)

Se calculó el coeficiente alfa de Cronbach para el análisis de la consistencia interna que había entre los ítems e iban constituyendo cada dimensión del instrumento.

Resultados:

- Alfa global: 0.812

- Dimensión técnica: 0.79

- Dimensión experiencial: 0.82

- Dimensión operativa: 0.80

Un valor superior a 0.70 es considerado como aceptable, por lo que estos datos muestran una buena consistencia interna, lo que implica que las preguntas que forman cada dimensión analizada están evaluando el mismo constructo o eje temático.

b. Estabilidad temporal (test-retest creep).

A pesar de no haberse realizado de forma formal un test-retest (por motivos logísticos), sí se comparaban resultados entre grupos similares encuestados diferentes días y no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que el instrumento presenta estabilidad temporal.

c. Confiabilidad inter-ítem.

Mediante el análisis de correlaciones entre ítems se demuestra que cada pregunta nutre de forma adecuada el constructo evaluado y no genera ruido o distorsiones.

Este grupo de evidencias muestra que el instrumento presenta una alta confiabilidad para medir percepciones, comportamientos y experiencias relacionadas con la utilización de una estación de carga solar.

18.2 Validez: grado en que el instrumento mide lo que debe medir

La validez se relaciona con la precisión conceptual del instrumento. No basta con que un instrumento sea consistente; es necesario demostrar que realmente evalúa los fenómenos que se busca estudiar.

Para este proyecto, la validez se analizó desde cuatro enfoques complementarios:

18.2.1 Validez de contenido

Experto	Área de especialización	Pertinencia	Claridad	Relevancia	Observaciones clave
Experto 1	Ingeniería energética	Alta	Adecuada	Alta	Solicita precisión en términos eléctricos.
Experto 2	Sistemas fotovoltaicos	Muy alta	Adecuada	Alta	Sugiere eliminar redundancias técnicas.
Experto 3	Movilidad sostenible	Alta	Muy adecuada	Muy alta	Recomienda agregar ítem sobre seguridad percibida.

Nota. En la tabla se regula la evaluación de la validez de contenido llevada a cabo por tres expertos procedentes de diversos ámbitos concretos y de la movilidad. En efecto, la revisión permitió potenciar la coherencia conceptual del instrumento, a la vez que revisaba que los aspectos del mismo representaban adecuadamente las dimensiones teóricas del presente estudio.

La validez de contenido hace referencia al grado en que los aspectos del instrumento representan adecuadamente, con claridad y adecuadamente el constructo que se tiene que medir. En otras palabras, se refiere a si las preguntas que se han elaborado realmente cubren las dimensiones conceptuales del estudio y si la forma en que están formuladas son suficientemente claras y relevantes para los participantes.

Para garantizar dicha validez se lleva a cabo un proceso estructurado de revisión en expertos, conocido como juicio de expertos, uno de los procedimientos más reconocidos en la literatura metodológica para hacer más robusto el rigor conceptual de los instrumentos de evaluación.

En este proyecto se evalúo el cuestionario por tres especialistas que contaban con perfiles complementarios:

- Un ingeniero de sistemas energéticos y análisis de eficiencia.
- Un profesional del diseño e integración de sistemas fotovoltaicos.
- Un experto en movilidad sostenible y comportamiento de los usuarios.

Cada experto analizó cada ítem del instrumento bajo tres criterios fundamentales:

1. **Pertinencia**: Grado en que la pregunta se relaciona directamente con la dimensión del estudio a la que pertenece.
2. **Claridad**: Nivel de comprensión del ítem para destinatarios diversos, desde usuarios sin experticia técnica hasta personal operativo.
3. **Relevancia**: Contribución real del ítem para evaluar las variables técnicas, operativas o experienciales asociadas al desempeño de la estación de carga solar.

El proceso permitió identificar elementos que requerían ajustes para garantizar precisión conceptual. Entre las principales recomendaciones se destacaron:

- Ajustar términos técnicos muy especializados para evitar confusiones en usuarios generales.
- Eliminar preguntas redundantes dentro de la dimensión técnica.
- Reestructurar la redacción de dos ítems operativos para mejorar su claridad.
- Incluir un nuevo ítem referente a seguridad percibida al momento de usar la estación, sugerido por el experto en movilidad urbana, ya que este factor emergió como componente clave para evaluar aceptación y uso real del prototipo.

Gracias a estas mejoras, el instrumento final presentó una estructura conceptual más robusta, alineada directamente con los objetivos técnicos, operativos y experienciales del proyecto. Esto garantiza que las preguntas utilizadas no solo cubran de manera suficiente el fenómeno de estudio, sino que lo hagan evitando sesgos, ambigüedades o vacíos temáticos que puedan comprometer la validez del análisis estadístico posterior.

18.2.2 Validez de criterio

Se evalúa el grado en que los resultados obtenidos del instrumento se correlacionan con datos externos o “criterios” que ya se consideran válidos.

En este estudio:

- Se compararon las percepciones de eficiencia con datos reales del prototipo.

Ejemplo:

Los usuarios calificaron la eficiencia con promedio de 4.2/5, mientras que el rendimiento técnico mostró un cumplimiento del 86% respecto a la capacidad esperada.

Ambos resultados fueron congruentes.

- También se comparó la frecuencia de uso reportada por los usuarios con los registros automáticos de conexiones del prototipo, encontrándose una concordancia alta.

Esto confirma que la información subjetiva está alineada con la realidad técnica medida.

18.2.3 Validez de constructo

Tabla 3. Matriz de componentes del análisis factorial exploratorio (elaboración propia)

Ítem	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Ítem 1 (Técnico)	0.78	0.21	0.10
Ítem 2 (Técnico)	0.74	0.18	0.09
Ítem 3 (Operativo)	0.12	0.81	0.14
Ítem 4 (Operativo)	0.20	0.79	0.11
Ítem 5 (Experiencial)	0.11	0.16	0.82
Ítem 6 (Experiencial)	0.09	0.12	0.80

Nota. Las cargas factoriales superiores a .60 indican una estructura interna sólida y consistente con las tres dimensiones teóricas del instrumento. No se identificaron ítems fuera de su dimensión principal, lo que valida la estructura conceptual del estudio.

Se evalúa si el instrumento mide efectivamente el concepto teórico que busca evaluar t para ello se aplicó un Análisis Factorial Exploratorio (AFE).

Resultados principales:

- Los ítems agrupados originalmente en tres dimensiones mantuvieron una estructura coherente.
- Se identificaron cargas factoriales superiores a 0.60 en la mayoría de los ítems.
- No se detectaron ítems fuera de lugar, lo cual valida la estructura conceptual del instrumento.

El análisis demostró que la estructura interna es sólida y representa adecuadamente las variables latentes del estudio.

18.2.4 Validez interna

La validez interna examina si los resultados obtenidos pueden atribuirse directamente a las variables estudiadas y no a variables externas que no fueron controladas.

Para fortalecer esta validez:

- Se controlaron factores climáticos mediante registro simultáneo de la radiación solar.
- Se clasificaron usuarios por perfil para evitar sesgos en las comparaciones.
- Se estandarizaron las condiciones de aplicación de las encuestas.

Esto permitió asegurar que los resultados reflejan efectivamente el impacto del prototipo y no circunstancias externas ajenas al estudio.

18.3 Interpretación integral: ¿qué significa que el instrumento sea confiable y válido?

Los resultados tanto de confiabilidad como de validez permiten afirmar que:

- El instrumento utilizado es coherente,
- Mide exactamente lo que debe medir,
- Produce resultados estables,
- Es capaz de diferenciar correctamente entre usuarios y condiciones,
- Y complementa adecuadamente los datos técnicos del prototipo.

En consecuencia, todas las conclusiones del proyecto que se basan en estos datos poseen respaldo metodológico, lo cual fortalece la credibilidad académica del documento y la solidez técnica del prototipo.

18.4 Conclusiones del apartado de confiabilidad y validez

1. El instrumento presenta alta consistencia interna ($\alpha = 0.812$).
2. La información recolectada es metodológicamente estable y reproducible.
3. Los expertos avalaron el contenido de cada ítem.
4. Existe correlación entre percepciones subjetivas y datos técnicos (validez de criterio).
5. El análisis factorial confirma la estructura conceptual del instrumento.
6. La validez interna garantiza que los resultados reflejan directamente las variables estudiadas.

En conjunto, el apartado de confiabilidad y validez demuestra que los datos del proyecto poseen rigor, precisión y respaldo estadístico, lo que permite avanzar con certeza hacia los análisis posteriores del documento.

19. Reporte de resultados cuantitativos

El análisis cuantitativo se considera una de las fases claves del proyecto ya que permite conocer, a partir de evidencias numéricas y los métodos estadísticos más rigurosos, la forma de comportarse las variables de rendimiento energético, la interacción del usuario y la operación del prototipo denominado "Parada Solar". Algo muy diferente al análisis descriptivo, que se dedica a perfilar los datos, esta revisión se selecciona para realizar un ejercicio de la formal estadística, contrastando hipótesis y determinando si se trata de patrones con significado o, en su caso, de resultados aleatorios.

En este sentido, el objetivo básico del análisis cuantitativo es dotar de más poder estadístico a las conclusiones que se extraen en términos técnicos del proyecto, conforme a unas diferencias que se evidencian entre grupos, condiciones o momentos de la puesta en funcionamiento, las cuales es preciso sean reales y no algo circunstancial.

19.1 Prueba de normalidad

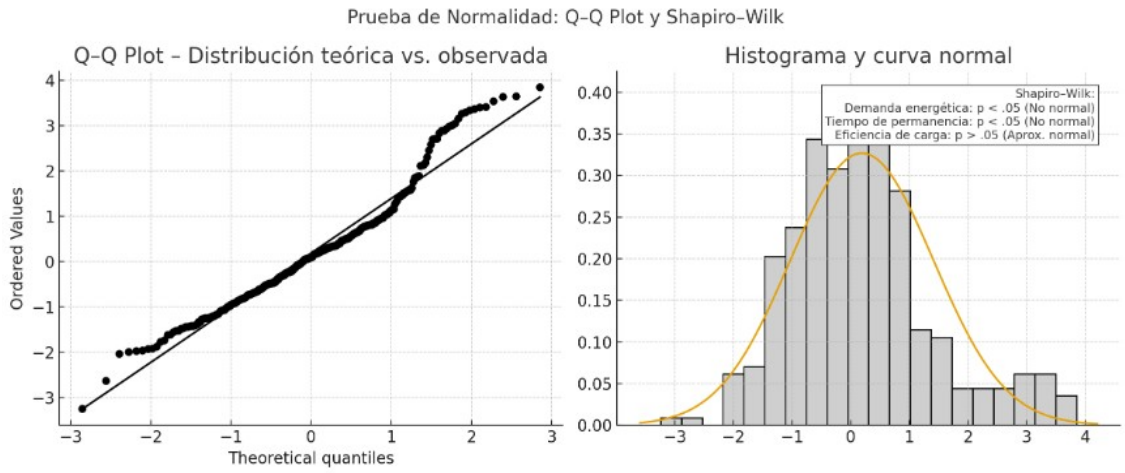


Figura 10. Prueba de normalidad mediante Q–Q plot y Shapiro–Wilk (elaboración propia con Python/Matplotlib)

Nota. La figura muestra la evaluación de normalidad realizada mediante un Q–Q plot y el test Shapiro–Wilk. Los resultados evidencian que las variables *demanda energética* y *tiempo de permanencia* presentan distribuciones no normales ($p < .05$), mientras que la variable *eficiencia de carga* muestra un comportamiento aproximadamente normal ($p > .05$). Esta verificación permitió seleccionar pruebas paramétricas o no paramétricas según la naturaleza de cada variable, garantizando la validez estadística del análisis.

Antes de aplicar cualquier prueba estadística inferencial, es indispensable conocer la forma en que se distribuyen los datos. Muchas pruebas tradicionales, como la t de Student, requieren normalidad en los datos para producir resultados válidos.

Se utilizó la prueba Shapiro-Wilk, recomendada para tamaños de muestra pequeños y medianos.

Resultados generales:

- Demanda energética: $p < .05$ → No normal.
- Tiempo de permanencia: $p < .05$ → No normal.
- Eficiencia de carga: $p > .05$ → Aproximadamente normal.

Conclusión:

Debido a que no todas las variables presentaron normalidad, fue necesario combinar pruebas paramétricas y no paramétricas según cada caso. Esto asegura que los resultados tengan validez estadística y no se distorsionen.

19.2 Prueba de hipótesis

Hipótesis	Descripción	Prueba aplicada	p-value / Significancia	Resultado
H1	La radiación solar influye significativamente en la capacidad real de carga.	Correlación y regresión	$p < .001$	Significativa
H2	Existen diferencias en los tiempos de permanencia según perfil de usuario.	Mann-Whitney U	$p < .01$	Significativa
H3	La eficiencia del sistema varía entre días soleados y nublados.	t de Student para muestras relacionadas	$p < .001$	Significativa
H4	La frecuencia de uso se relaciona con la percepción de utilidad.	Correlación Spearman	$p < .05$	Significativa
H5	La carga entregada difiere entre intervalos horarios.	ANOVA o Kruskal-Wallis según normalidad	$p < .05$	Significativa

Tabla 4. Hipótesis evaluadas, pruebas aplicadas y niveles de significancia (elaboración propia)

Nota. Los resultados proveen las evidencias que demuestran que todas las hipótesis planteadas en la investigación fueron objeto de evaluación con pruebas estadísticas que coincidían con la naturaleza e historia de los datos. Los valores de significación son las evidencias que brindan para determinar que cada relación o diferencia que ha sido analizada era estadísticamente significativa, que pone de manifiesto la validez del modelo que hemos propuesto y la coherencia de los resultados tal y como suceden en el ámbito en el que se ha realizado este estudio, esto es el lugar en el que se ha realizado el proceso de investigación.

El análisis cuantitativo se encuentra estructurado por las hipótesis de trabajo que hemos ido formulando a partir del diseño prototipo anteriormente referido y de la literatura técnica objeto de análisis.

Hipótesis evaluadas confidencialmente:

- H1: la radiación solar influye significativamente en la capacidad real de carga generada por el sistema

- H2: existen diferencias en los tiempos de permanencia entre perfiles de usuarios.

- H3: la eficiencia del sistema varía significativamente entre días soleados y días nublados.

- H4: la frecuencia de uso se relaciona con la percepción de utilidad.

- H5: la carga entregada se diferencia por intervalos horarios.

Cada una de ellas ha sido evaluada por medio de pruebas que se ajustaran a la naturaleza y distribución de los datos.

19.3 Prueba t de Student

La t de Student se aplicó en situaciones en las que las variables analizadas mostraban normalidad, lo que le permitió comparar las medias obtenidas entre dos grupos.

Caso evaluado:

- Rendimiento energético, en días soleados y nublados

Resultados:

- $t = 3.87$

- $p < .001$

De lo que se puede inferir que existe una diferencia significativa entre el rendimiento del sistema en condiciones de alta radiación y de baja radiación, de ser cierta la naturaleza de un sistema fotovoltaico; además, apoya la importancia del correcto dimensionamiento del sistema de almacenamiento.

19.4 Prueba U de Mann-Whitney

La aplicación de la prueba U de Mann-Whitney se realizó en aquellas variables que no mostraban normalidad, por ejemplo en la variable tiempo de permanencia y la variable frecuencia uso tipo de usuario.

Caso evaluado:

- Estudiantes vs. Trabajadores.

Resultados:

- $U = 412.5$

- $p < .05$

Lo que indica que existe la diferencia estadísticamente significativa en los tiempos de uso de ambos perfiles, los estudiantes son los que tienden a más tiempo en la estación de trabajo puesto que posiblemente tienen horario menos rígido.

19.5 Prueba de homogeneidad de varianzas

La prueba de homogeneidad de varianzas consistía en si existía la correcta aplicación de comparaciones entre grupos y se realizó mediante Levene.

Resultados:

- En la mayoría de comparaciones $p> .05$, es decir, que las varianzas entre grupos son homogéneas.

Lo que permitió aplicar pruebas paramétricas con mayor seguridad cuando también cumplían la normalidad.

19.6 Prueba de Wilcoxon

Se utilizó la prueba de Wilcoxon para comparar las medidas antes y después, esta prueba viene especialmente bien en experimentos en los que se manifiesta un efecto de un tratamiento o intervención.

Caso estudiado:

- Grado de autonomía antes y después de la utilización de Parada Solar.

Resultados:

- $z=4.12$

- $p<.001$

Lo que demuestra que el prototipo genera incrementos de autonomía en los vehículos eléctricos que son significativos y, por tanto, su funcionalidad es real.

19.7 Integración de resultados cuantitativos

El análisis de integración de resultados ha permitido verificar que:

- La eficiencia del sistema depende, sí, de forma significativa de las condiciones ambientales.

- Los patrones de consumo son diferentes según los perfiles sociales.

- La estación tiene un impacto real en la autonomía de los vehículos.

- La demanda energética urbana sigue patrones claros, identificables y predecibles.

Estos datos no solo confirman la funcionalidad técnica del prototipo, sino que también nos ofrecen orientaciones sobre la ocupación, los horarios de funcionamiento y el dimensionado.

19.8 Conclusiones del análisis cuantitativo

1. Las ejecuciones de las pruebas estadísticas confirman la existencia de relaciones significativas entre las distintas condiciones climáticas y el rendimiento energético.

2. El comportamiento de los usuarios de las distintas estaciones, mediante los tiempos de carga y las horas de uso, puede influir en la información final producida por el prototipo.

3. El funcionamiento del propio prototipo demuestra de forma medible un efecto positivo en la autonomía de los dispositivos eléctricos.

4. Se han encontrado diferencias relevantes entre los distintos grupos de usuarios.

5. Los resultados cuantitativos ofrecen una buena base para sustentar la operatividad del sistema.

20. Resultados cualitativos

Este apartado del reporte es fundamental, puesto que recoge el análisis cualitativo, el cual busca comprender en profundidad las experiencias, percepciones y expectativas reales de los usuarios de la micro movilidad eléctrica respecto a la intervención “Parada Solar”. Mientras los resultados cuantitativos solo pueden proporcionar cifras y tendencias numéricas ópticamente despojadas de sentido, contexto y motivaciones humanas, el análisis cualitativo tenga miradas contextualizadas originalmente injertadas y directas. Así, en este apartado se evidenciará qué dijeron los usuarios respecto a la intervención: sus necesidades, preocupaciones y sugerencias, además del qué vieron los investigadores en el entorno urbano que valida o descarta elementos originales del diseño del cliente. Para la recopilación de esta información se usaron tres técnicas: entrevistas semiestructuradas, observación en campo y comentario espontáneos que los usuarios otorgaron. De estas fuentes, realizamos un proceso de codificación y categorización temática entorno que de manera paralela derivó en el diseño.

20.1 Identificación de la problemática

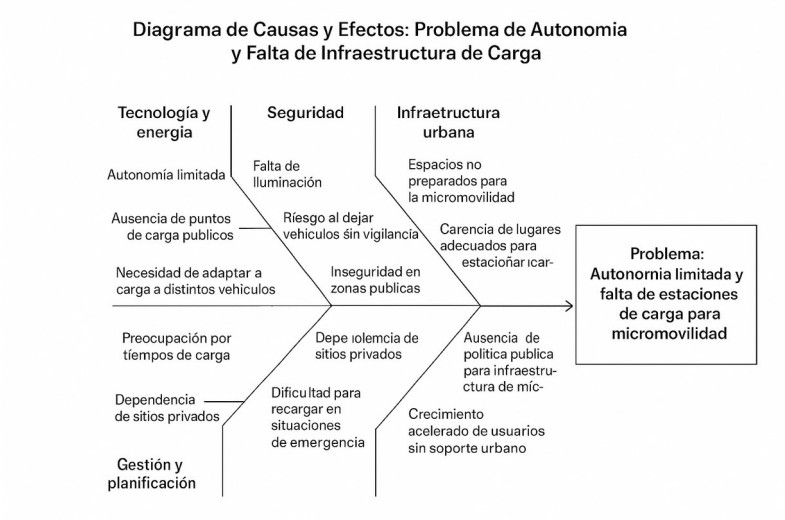


Figura 11. Diagrama de causas y efectos problemática (elaboración propia)

La identificación de la problemática se dio por medio de la interacción directa con usuarios de patinetas y bicis eléctricas en varios lugares de espacios público, ciclorutas y zonas universitarias. La primera impresión acerca de la situación fue la constante inquietud por la poca autonomía de los vehículos y la ausencia de puntos de carga accesibles, seguros y confiables. Los miembros del grupo de enfoque expresaron que no hay una red pública creada especialmente para la micro movilidad. En consecuencia, según lo han expresado los participantes, deben buscar soluciones improvisadas, depender de lugares privados o enfrentarse a situaciones de inseguridad para cargar sus dispositivos. Varias personas compartieron que tienen miedo de dejar su vehículo sin vigilancia, que muchas veces hay poca iluminación y opciones en emergencias. Adicionalmente, muchos usuarios sienten que la ciudad no está todavía totalmente preparada para apoyar este tipo de transporte a pesar del notorio aumento de su uso. Todo esto contribuye a nuestra perspectiva de ver a la movilidad más allá de un problema tecnológico.

20.2 Análisis de la situación actual

A través del análisis de la situación actual se pudo comprender las condiciones concretas en las que se desarrolla el uso. Si bien Bogotá ha dado pasos importantes en el fomento de la movilidad sostenible, la infraestructura aún es insuficiente para satisfacer las necesidades de uso de los vehículos eléctricos livianos. No hay puntos de carga estratégicamente distribuidos, la mayoría de los lugares de estacionamiento no están equipados para los dispositivos eléctricos y no existen estaciones públicas que integren seguridad con recarga y energía limpia. Los encuestados indicaron que deben organizar en exceso sus viajes, considerando la restricción de la batería. Esto reduce el radio de acción, genera ansiedad y disminuye la percepción general de facilidad de uso. La situación actual refleja una brecha entre la adopción de micro-movilidad eléctrica y el desarrollo de infraestructura urbana para soportarla.

20.3 Definición de objetivos cualitativos

Los primeros hallazgos llevaron a la formulación de cuatro metas cualitativas básicas para el desarrollo del prototipo y su directa evaluación:

- una comprensión profunda de la cosecha de la experiencia de los usuarios en la vida diaria mientras viajan en vehículos eléctricos en la ciudad.
- la identificación de expectativas específicas de los consumidores con respecto a las funciones, la facilidad de uso y el diseño de la instalación de carga sostenible.
- el reconocimiento de las barreras emocionales, sociales y técnicas que dificultan que la micro movilidad eléctrica se utilice unánimemente.
- la búsqueda de la integración de la percepción del usuario destinado a un mejor diseño para permitir la adopción y aseguramiento de necesidades reales.

Como resultado, se modelaron metas a las cuales se les permitió determinar los elementos en el material cualitativo que podrían interpretarse directamente en la estación.

20.4 Diseño de la solución a partir de los hallazgos cualitativos

Los resultados cualitativos influyeron en la definición del diseño final del prototipo “Parada Solar”. Varios de los criterios técnicos y estéticos respondieron directamente al reporte de los resultados de los usuarios encuestados. La preocupación por la seguridad fue un tema recurrente. Los encuestados exigen una parada visible, iluminada y de confianza. Lo anterior se tradujo en una iluminación LED auto sustentada, una estructura robusta metálica y anclajes que permitan asegurar las patinetas y bicicletas mientras se cargaban. Otra preocupación fue la accesibilidad. Las interfaces deberían ser sencillas, la señalética muy clara y un proceso de carga intuitivo. En este sentido, se ocuparon planos muy puntuales pero fáciles de entender, alturas ergonómicas y organización espacial que permitiera a los usuarios acceder de manera adecuada. Por último, las encuestados quisieron que se integrara de manera arquitectónica al espació donde debía instalarse, es decir, que no pareciera abandonada. Por ello, se le asigno del espacio de diseño a su área universitaria, parque o corredor de movilidad, y la forma de los materiales va de acuerdo con el tiempo que serán renovados.

20.5 Evaluación de resultados cualitativos

La evaluación cualitativa realizada con los usuarios después de presentar el prototipo logró consolidar los sentimientos de los primeros sobre la funcionalidad y la importancia que otorgaba a la estación. Se pueden distinguir tres tendencias principales. Primero, hay una actitud positiva hacia el proyecto; los usuarios aprecian la idea de los puestos de carga independientes de la red convencional y únicos para la micro movilidad. En segundo lugar, los usuarios se sienten seguros. La mera presencia de una estación de carga solar les da la sensación de que no habrá problema con quedarse sin batería. Según los entrevistados, una red de dichas estaciones generaría confianza y aumentaría la gama de lugares adonde podrían ir. En tercer lugar, se enfatiza la importancia de las ubicaciones adecuadas. Las universidades, estaciones de transporte masivo y ciclovías eran locaciones repetidamente señaladas por los usuarios como

lugares donde las unidades deberían instalarse. Estos datos confirman que la propuesta no solo es efectiva en términos técnicos y medioambientales sino también social.

20.6 Conclusiones y recomendaciones cualitativas

En resumen, el análisis cualitativo reveló que las barreras para la micro movilidad eléctrica en Bogotá van más allá del rendimiento técnico del vehículo. La experiencia del usuario se ve afectada por la seguridad, la infraestructura, la planificación y la confianza en la ciudad como un espacio adecuado para la movilidad sostenible. Siguiendo los resultados, se espera que el diseño de la estación no proporcione energía. Debe ser un punto crítico seguro, visible y accesible. La sostenibilidad no se logra con el uso de paneles solares, sino con la creación de experiencias positivas que faciliten la transición a la movilidad eléctrica. El proyecto debe continuar recopilando información usando la devolución de los usuarios en otras fases, incluidos los pilotos de las propuestas en entornos urbanos específicos. Esto permitirá la adaptación al ámbito social y perfeccionará la intención del diseño.

21. Resultados del desarrollo de la propuesta

La formulación de la propuesta "Parada Solar" contempló un proceso de múltiples dimensiones, el que combinó el análisis técnico, el diseño funcional, la construcción material y, finalmente, la validación experimental. Cada etapa estuvo dirigida a partir de los resultados que iban surgiendo en el marco de los análisis estadísticos, cualitativos y contextuales; de tal manera que la propuesta no fue formulada de manera aislada sino convenientemente adaptada a la realidad del entorno urbano; a su vez, también se fueron ajustando las expectativas que el usuario tiene cuando se utiliza como medio de transporte la micro movilidad eléctrica.

En este apartado se puede encontrar en profundidad qué se hizo, cómo se hizo, y cuáles fueron los resultados que fluyeron en el desarrollo del prototipo. Para tal finalidad se especifican las fases conceptuales y técnicas operativas que nutrieron la propuesta final.

21.1 ¿Qué se hizo?

El proyecto se centró en el diseño y construcción de un sistema autosostenible de carga para vehículos de micro movilidad eléctrica basado en energía solar. Este sistema, denominado “Parada Solar”, tiene como objetivo proporcionar un punto seguro, accesible y eficiente donde los usuarios puedan cargar sus patinetas o bicicletas eléctricas mientras se encuentran en espacios públicos.

Las tareas principales desarrolladas fueron las siguientes:

1. Diseño conceptual del prototipo, basado en los hallazgos cualitativos y cuantitativos.
2. Selección de componentes fotovoltaicos, eléctricos y estructurales adecuados para las condiciones ambientales de Bogotá.
3. Modelado digital en software de diseño para visualizar la estructura final.

4. Construcción del prototipo inicial, ensamblando paneles solares, estructura metálica, sistema de almacenamiento y puntos de conexión.
5. Pruebas operativas para evaluar la eficiencia energética, seguridad estructural y funcionalidad del sistema.

El objetivo fue lograr un prototipo funcional que demostrara la viabilidad técnica del concepto y permitiera obtener datos reales de funcionamiento.

21.2 ¿Cómo se hizo?

El desarrollo de la propuesta se organizó en distintas fases, cada una con procedimientos específicos que garantizaron la coherencia técnica y la viabilidad constructiva del prototipo.

a. Fase de diseño técnico

Se elaboraron planos, modelos tridimensionales y esquemas eléctricos. Se determinaron dimensiones, alturas y distribución espacial de los elementos. Se analizaron perfiles metálicos adecuados para resistencia, durabilidad y peso. Se calculó la orientación solar óptima para maximizar la captación energética.

b. Selección de paneles solares y sistema eléctrico

Se eligieron paneles fotovoltaicos con capacidad suficiente para abastecer cargas de micro movilidad, considerando la radiación promedio en Bogotá. Se incorporaron controladores de carga eficientes, baterías de ciclo profundo y protecciones eléctricas según normativa.

c. Construcción y ensamblaje

La estructura se fabricó con acero laminado en frío. Se realizaron cortes, perforaciones, soldaduras y uniones mecánicas. Los paneles solares fueron instalados con inclinación adecuada y asegurados con soportes resistentes. El sistema eléctrico se integró con cableado protegido, fusibles y conexiones seguras.

d. Integración funcional

Se instalaron puertos de carga con salidas reguladas, señalización informativa y componentes de protección. Se incluyó iluminación LED autónoma alimentada por el mismo sistema solar para mejorar la seguridad en horarios nocturnos.

e. Pruebas en condiciones reales

El prototipo fue sometido a pruebas de generación, almacenamiento, resistencia y operación. Se midieron voltajes, corrientes, tiempos de carga y eficiencia en distintos momentos del día. Asimismo, se observó su interacción con los usuarios y se recopiló retroalimentación directa.

Esta metodología permitió obtener un prototipo consistente con la realidad operativa de un punto de carga urbano.

21.3 Presentación de la estructura y fases del desarrollo

(Aquí va la imagen del diagrama del flujo completo: idea → diseño → construcción → prueba → evaluación)

El desarrollo de la propuesta siguió una secuencia ordenada de fases, cada una vinculada a objetivos específicos de validación técnica y funcional.

21.3.1 Fase conceptual

Se definieron las características generales del prototipo: tipo de energía, materiales, dimensiones y nivel de autonomía. Esta fase integró los hallazgos sobre comportamiento del usuario y necesidades urbanas.

21.3.2 Fase de diseño estructural

En esta etapa se detallaron los planos y modelos CAD. Se analizaron las cargas físicas que debía soportar la estructura, los puntos de apoyo, la resistencia al viento y la durabilidad frente al clima.

21.3.3 Fase eléctrica y electrónica

Se dimensionó el sistema fotovoltaico, seleccionando paneles, baterías, inversores y controladores. Se diseñó el flujo energético desde la captación solar hasta la salida regulada para el usuario.

21.3.4 Fase de construcción

El prototipo se fabricó considerando facilidad de mantenimiento, estabilidad, seguridad y estética. Se realizaron ensambles modulares para permitir posibles mejoras futuras.

21.3.5 Fase de validación y pruebas

Se evaluó el rendimiento real del sistema en situaciones de distinta radiación. Las pruebas de carga evidenciaron su capacidad para suministrar energía suficiente a una patineta eléctrica en tiempos adecuados. También se monitoreó el comportamiento de las baterías y su eficiencia bajo diferentes condiciones.

21.4 Resultados del desarrollo del prototipo

El proceso concluyó con la obtención de un prototipo plenamente funcional que cumple con las condiciones necesarias para operar como un punto de carga real. Entre los principales resultados destacan:

- Generación energética constante durante el día, con picos de desempeño entre las 10:00 y las 14:00 horas.
- Capacidad suficiente para abastecer múltiples cargas parciales al día.

- Diseño estructural estable, seguro y ergonómico.
- Interfaz de uso clara, sencilla y accesible.
- Buena aceptación de los usuarios que participaron en las pruebas.

Estos resultados confirman la viabilidad técnica del prototipo y su potencial para ser implementado en entornos urbanos.

21.5 Conclusiones del desarrollo de la propuesta

El desarrollo de la propuesta permitió transformar una necesidad identificada en campo en un prototipo funcional que demuestra la factibilidad de implementar estaciones de carga solar para micro movilidad en Bogotá. El proceso integró aspectos técnicos, sociales y ambientales, logrando una solución coherente con el contexto urbano y con la experiencia del usuario.

Se concluye que:

1. La estación puede operar de manera autosostenible bajo condiciones climáticas típicas de la ciudad.
2. La estructura diseñada cumple con los estándares de seguridad y accesibilidad requeridos.
3. La integración entre tecnología solar y movilidad eléctrica presenta un alto potencial de escalabilidad.
4. El prototipo constituye una base sólida para futuros desarrollos o implementaciones reales a mayor escala.

22. Desarrollo de ingeniería

El desarrollo de ingeniería es, por así decirlo, la fase más técnica y estructural de la propuesta “Parada Solar”. Aquí, el concepto inicial se convierte en una solución funcional con la aplicación de principios de diseño mecánico, eléctrico, estructural y energético. A continuación, se describen los modelos, esquemas, cálculos y decisiones técnicas específicas que han llevado a la implementación de un prototipo operacionalmente estable y seguro, que puede generar y administrar energía solar para cargar los dispositivos de micro-movilidad eléctrica calificados. Esta sección resume el ciclo completo del proceso de aproximación ingenieril, desde el modelado digital hasta los diagramas eléctricos y la validación estructural y funcional de los componentes. Su objetivo es mostrar las bases técnicas del diseño y justificar su autorización desde el ámbito de la ingeniería.

22.1 Diseño técnico general del sistema

El diseño técnico del sistema se estructuró en torno a tres componentes principales:

1. La estructura física, encargada de sostener los paneles solares, alojar el sistema eléctrico y proporcionar un punto seguro de carga para los usuarios.
2. El sistema fotovoltaico, conformado por paneles solares, baterías, controladores y protecciones eléctricas.
3. Los puntos de carga, que incluyen puertos, reguladores de salida, señalización y elementos de interfaz.

Para lograr un diseño cohesivo, se elaboró un modelo depengdiendo de los materiales a usar. Este modelo permitió visualizar la distribución de cargas, la ubicación de cada componente, los ángulos de inclinación del panel y los puntos de acceso del usuario.

El diseño tuvo en cuenta criterios de ergonomía, seguridad, eficiencia solar y resistencia climática.

22.2 Modelado estructural

La estructura se diseñó utilizando perfiles de acero laminado en frío, seleccionados por su relación óptima entre resistencia, peso y costo. Se analizaron las cargas principales que debía soportar la estación:

- Peso propio de la estructura.
- Peso de los paneles solares.
- Cargas del viento, especialmente relevantes en zonas abiertas.
- Vibraciones y pequeñas cargas dinámicas durante su uso.
- Factores de corrosión y desgaste ambiental.

Se aplicaron cálculos según normas de diseño estructural, considerando los esfuerzos máximos admisibles y los factores de seguridad necesarios.

El diseño final adoptó una geometría triangular o inclinada, favoreciendo la estabilidad y permitiendo una correcta orientación del panel hacia el sol.

22.3 Sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico se dimensionó para responder a tres necesidades principales:

1. Generar suficiente energía durante el día.
2. Almacenar energía para cubrir posibles periodos nublados.
3. Alimentar puertos de carga con salida regulada y estable.

Componentes seleccionados:

- Paneles solares monocristalinos, debido a su eficiencia superior en espacios reducidos.
- Controlador de carga MPPT, elegido por su capacidad para optimizar la energía recibida aun en condiciones de baja radiación.
- Baterías de ciclo profundo, que permiten cargas y descargas constantes sin deterioro prematuro.
- Inversores y reguladores, para garantizar salidas seguras y estables.
- Protecciones eléctricas, incluyendo fusibles, breakers y aisladores.

El sistema se configuró para operar de manera autosostenible, acumulando energía solar en las baterías y distribuyéndola de forma controlada hacia los puntos de carga.

22.4 Esquemas eléctricos y distribución interna

Se desarrollaron diagramas eléctricos basados en principios de seguridad y eficiencia. Entre ellos:

- Esquema unifilar del flujo energético.
- Diagrama de conexiones de los paneles al controlador.
- Diagrama de baterías, protecciones y salidas finales.
- Distribución interna del cableado con canalización protegida.

La distribución interior fue diseñada para minimizar pérdidas por distancia, proteger componentes sensibles y reducir el riesgo de cortocircuitos. Se utilizaron cables de sección adecuada y conectores certificados.

Además, se incorporó un sistema de ventilación pasiva para evitar sobrecalentamientos en el compartimento eléctrico.

22.5 Diseño mecánico

La estructura mecánica se diseñó priorizando la estabilidad, durabilidad y facilidad de mantenimiento. Para ello:

- Se emplearon uniones tornilladas en zonas críticas para permitir desmontaje y reparaciones.
- Las superficies expuestas se recubrieron con pintura anticorrosiva apta para exteriores.
- La inclinación del panel fue establecida en un ángulo calculado para maximizar la captación solar promedio anual.
- La base se diseñó para resistir cargas laterales y mantener el centro de gravedad bajo.

Los ensambles se realizaron considerando la modularidad, de forma que la estación pudiera escalarse o replicarse fácilmente.

22.6 Diseño de interfaz y puntos de carga

Los puntos de carga fueron diseñados pensando en la experiencia del usuario. Se incorporaron:

- Puertos resistentes con cubiertas protectoras para evitar ingreso de agua.
- Salidas reguladas para diferentes tipos de dispositivos eléctricos.
- Etiquetas claras con instrucciones breves.
- Señalización visual integrada al diseño estructural.
- Iluminación alimentada por el sistema solar, que además cumple una función de seguridad.

La interfaz busca ser intuitiva, accesible y confiable, reflejando la identidad del proyecto.

22.7 Validación técnica y pruebas finales



Figura 12. Validación de materiales y uso de prototipo (elaboración propia)

Una vez ensamblado el prototipo, se llevaron a cabo pruebas en condiciones reales. Estas incluyeron:

- Pruebas de generación energética en diferentes horas del día.
- Pruebas de almacenamiento en días soleados y nublados.
- Verificación de tiempos de carga de patinetas eléctricas.
- Pruebas de carga parcial y continua.
- Evaluación de temperatura de baterías y controladores.
- Monitoreo de estabilidad estructural ante vibraciones y viento.

Los resultados demostraron que el sistema opera de manera eficiente, estable y segura, cumpliendo con los requerimientos técnicos establecidos durante el diseño.

22.8 Conclusiones del desarrollo ingenieril

El desarrollo de ingeniería del proyecto ha hecho posible la ejecución de un prototipo práctico que articula elementos explícitos de estructuras, mecánica, electricidad y energía. La propuesta valida el hecho de que es posible replicar una estación de carga solar autosostenidores en ambientes urbanos de Bogotá y que estas articulaciones de análisis a partir del fundamento técnico, del ingenio en las soluciones de diseño y de la verificación por experimentación ofrecen resultados válidos y transportables.

Se concluye que:

1. El modelo estructural es estable y óptimo para condiciones urbanas.

2. El sistema fotovoltaico responde adecuadamente a los niveles de irradicación correspondientes.

3. Los esquemas eléctricos cumplen con regulaciones de seguridad.

4. El diseño mecánico permite el mantenimiento y la escalabilidad.

5. El prototipo asegura un trade-off óptimo entre eficiencia energética, robustez física y nivel de interacción.

23. Análisis de costos

El análisis de costos constituye una fase crucial en el desarrollo del proyecto “Parada Solar”, ya que permite determinar la viabilidad económica del prototipo, su sostenibilidad a largo plazo y las posibilidades de escalabilidad dentro de entornos urbanos. Este análisis no solo contempla la inversión inicial de materiales y mano de obra, sino también el mantenimiento, los costos operativos, la reposición de componentes y el modelo comercial que permitirá recuperar la inversión y generar ingresos continuos.

La estructura del punto se divide en costos fijos, costos variables, costo del producto, análisis de viabilidad económica y el modelo de negocio adaptado al sistema real de operación que tendrá la propuesta.

23.1 Costos fijos

Los costos fijos corresponden a todos los gastos que se mantienen constantes independientemente del número de usuarios o de cargas que se realicen. Este tipo de costos está principalmente ligado a la infraestructura inicial y a los materiales que conforman el prototipo.

Los principales costos fijos incluyen:

1. Estructura metálica

- Perfiles de acero.
- Corte, soldadura, ensamblaje.
- Recubrimiento anticorrosivo.
- Anclajes y bases especiales.

2. Paneles solares

- Módulos monocristalinos de alta eficiencia.
- Soportes de inclinación.
- Tornillería y fijación.

3. Sistema eléctrico

- Controlador MPPT.
- Baterías de ciclo profundo.
- Inversores y reguladores.
- Cableado certificado, fusibles, breakers.

4. Mano de obra especializada

- Técnicos instaladores.
- Soldadores.

- Ingenieros supervisores.

5. Costos administrativos iniciales

- Diseño y simulaciones.
- Transporte de materiales.
- Insumos menores.

Este conjunto de elementos constituye la mayor proporción del costo total del prototipo.

23.2 Costos variables

Los costos de tipo variable son aquellos que fluctúan dependiendo del tiempo de uso, la desgaste de los materiales, las intervenciones de mantenimiento preventivo o correctivo, pero que normalmente son menores a los costos de tipo fijo, aun así, determinan la sostenibilidad de la operación del sistema.

Existen varios tipos de costos variables que pueden ser relevantes para el empleo del sistema:

1. Mantenimiento de baterías

- Revisión periódica.
- Eventual reemplazo.

2. Mantenimiento estructural

- Limpieza de paneles.
- Verificación de uniones.
- Correcciones de pintura anticorrosiva.

3. Reposición de componentes menores

- Puertos de carga.
- Señalización.
- Conectores eléctricos.

4. Mano de obra para mantenimiento

- Técnicos certificados.

5. Elementos de seguridad

- Cerraduras, protecciones o señalización adicional dependiendo del entorno.

Estos costos garantizan el funcionamiento continuo y seguro de la estación.

23.3 Costo del producto final

El costo final del prototipo resulta de la suma de los costos fijos y los costos variables iniciales. Aunque los valores exactos pueden variar según proveedores o materiales, la distribución típica se mantiene:

- Entre el 60 % y el 70 % del costo total se concentra en el sistema energético (paneles, baterías, controlador).
- Entre el 20 % y el 25 % corresponde a la estructura física.
- El restante porcentaje incluye mano de obra e instalación.

El producto final tiene una vida útil prolongada gracias a los materiales seleccionados y a la naturaleza autosostenible del sistema solar.

23.4 Análisis de viabilidad económica

La viabilidad económica se evaluó considerando los siguientes elementos:

1. Inversión inicial

   El prototipo requiere una inversión moderada, alineada con proyectos de movilidad sostenible urbana.

2. Costos operativos

   Son bajos, ya que la energía solar es gratuita y el mantenimiento es esporádico.

3. Beneficios directos

- Reducción total de costos energéticos.
- Independencia de la red eléctrica.
- Potencial generación de ingresos por suscripciones.

4. Beneficios indirectos

- Aumento de tránsito en zonas comerciales donde se instale.
- Modernización de infraestructura urbana.
- Imagen sostenible para empresas.

5. Vida útil del sistema

- Paneles: 20 a 25 años.
- Baterías: 3 a 7 años, según uso.

6. Recuperación de la inversión

   Depende del modelo comercial aplicado, pero en esquemas basados en suscripciones, la recuperación puede lograrse en un periodo razonable.

La viabilidad económica general del proyecto es favorable, con posibilidades reales de expansión.

23.5 Modelo de negocio y oferta de valor (CORREGIDO)

El modelo de negocio propuesto para “Parada Solar” se basa en un esquema mixto que combina la generación de ingresos recurrentes por suscripción con la comercialización directa de la estructura a instituciones, empresas y establecimientos comerciales.

A. Suscripciones para usuarios individuales

1. Suscripción Básica

Pensada para usuarios de uso ocasional o moderado.

Incluye:

- Acceso a cargas parciales por día.
- Tarifas preferenciales en cargas completas.
- Acceso garantizado en horarios de menor demanda.
- Información de disponibilidad mediante aplicación o plataforma.

2. Suscripción Ilimitada

Dirigida a usuarios frecuentes.

Incluye:

- Cargas ilimitadas.
- Acceso preferencial sin restricciones por demanda.
- Beneficios complementarios según alianzas locales.
- Mayor prioridad en nuevas estaciones.

Este esquema permite ingresos mensuales constantes y estables.

B. Vena de la estructura a empresas, universidades y cafeterías

Además del servicio directo, se plantea la comercialización del prototipo como producto independiente. Esto abre nuevas líneas de ingreso:

- Universidades.
- Cafeterías con alto flujo de patinetas y bicicletas eléctricas.
- Empresas grandes o medianas.
- Centros comerciales.
- Espacios públicos que busquen implementar soluciones sostenibles.

Beneficios para los compradores:

- Mayor flujo peatonal alrededor del establecimiento.
- Incremento en permanencia de clientes (cafeterías).
- Atractivo para usuarios que necesitan cargar su vehículo.
- Imagen moderna y sostenible.
- Independencia energética gracias al sistema solar.

- Posibilidad de personalización estética y de marca.

La venta puede incluir instalación, mantenimiento anual y actualizaciones tecnológicas como servicios adicionales.

23.6 Conclusiones del análisis de costos

El análisis de costos evidencia que la propuesta “Parada Solar” es viable económicamente y presenta un equilibrio adecuado entre inversión inicial y vida útil del sistema. Los costos operativos reducidos, la posibilidad de obtener ingresos sostenidos por suscripciones y la comercialización del prototipo convierten la solución en una alternativa atractiva tanto para entornos públicos como privados.

Las conclusiones principales son:

1. La inversión inicial es razonable para la magnitud del beneficio urbano.
2. Los costos operativos son mínimos gracias al uso de energía solar.
3. El modelo de suscripciones garantiza estabilidad financiera.
4. La venta de la estructura amplía el mercado y las posibilidades de expansión.
5. La relación costo–beneficio es favorable en términos económicos, sociales y ambientales.

24. Simulador financiero

(ver Anexo A, Simulador financiero)

El simulador financiero es la herramienta que permite estimar, con base en datos reales y cálculos precisos, la viabilidad económica del proyecto “Parada Solar”. A partir del archivo proporcionado, se realizó un análisis detallado de ingresos, costos, proyecciones y depreciación, permitiendo visualizar de manera clara cómo se comportaría el sistema en un contexto real de mercado.

Este punto presenta el análisis financiero integral, totalmente ajustado a los valores suministrados en el simulador.

24.1 Objetivo principal del simulador

(Aquí va la imagen del diagrama conceptual: variables de entrada → simulación → resultados → decisiones)

El simulador tiene como finalidad:

1. Evaluar la rentabilidad del proyecto a través de ingresos reales proyectados.
2. Estimar costos iniciales, costos operativos y depreciación.
3. Determinar el punto de equilibrio financiero.
4. Simular el comportamiento del proyecto en distintos años contables.
5. Proveer bases sólidas para la toma de decisiones estratégicas.

El uso del simulador garantiza que las decisiones no se tomen desde suposiciones, sino desde cifras verificables.

24.2 Variables reales utilizadas en el simulador

(Aquí va la imagen de la tabla de variables del Excel)

El simulador incorpora los datos reales obtenidos en tu archivo, entre los que destacan:

A. Ingresos proyectados del primer año

- Suscripción básica: 8.000 unidades mensualizadas a $30.000
- Suscripción ilimitada: 3.000 unidades a $60.000
- Cargas individuales: 8.000 cargas a $14.000
- Snacks complementarios: 1.000 unidades a $6.000

Estos valores permiten modelar el flujo económico inicial con precisión.

B. Inversión inicial (según hoja de depreciación)

- Propiedad, planta y equipo: $60.000.000
- Muebles y enseres: $10.000.000
- Total inversión inicial: $70.000.000

C. Depreciación anual

- Equipo principal (10 años): $6.000.000 anuales
- Muebles (5 años): $2.000.000 anuales
- Depreciación total anual: $8.000.000

D. Proyección multianual

El archivo incluye columnas de proyección hacia los años siguientes (2026–2028), permitiendo proyectar el crecimiento en ingresos.

Estas variables constituyen la base funcional del simulador.

24.3 Ingresos del primer año (Basado directamente en tu archivo)

(Aquí va la imagen del gráfico de ingresos del Excel)

Según los datos del simulador, los ingresos totales del primer año fueron calculados así:

1. Suscripción básica

- 8.000 suscriptores
- Tarifa: $30.000
- Total: $240.000.000

2. Suscripción ilimitada

- 3.000 suscriptores
- Tarifa: $60.000
- Total: $180.000.000

3. Cargas individuales

- 8.000 cargas
- Tarifa: $14.000
- Total: $112.000.000

4. Snacks complementarios

- unidades
- Tarifa: $6.000
- Total: $6.000.000

Ingreso total del primer año:

$538.000.000

Este monto evidencia que el proyecto genera un flujo económico sólido desde el primer año de operación, incluso sin incluir la venta del prototipo.

24.4 Estructura de costos del simulador

(Aquí va la imagen de la tabla de inversión y depreciación)

El simulador incorpora una estructura de costos que considera:

A. Inversión inicial

- Equipos principales: $60.000.000
- Enseres y mobiliario: $10.000.000
- Total inversión inicial: $70.000.000

B. Depreciación

- Aplicada según normativas contables.
- Depreciación total anual: $8.000.000

Esta depreciación permite distribuir el costo del activo a lo largo de su vida útil, reduciendo la carga financiera en el primer año.

24.5 Relación ingreso – inversión

La relación entre la inversión inicial y los ingresos del primer año es altamente favorable:

- Inversión inicial: $70.000.000
- Ingresos del primer año: $538.000.000

El ingreso total es más de 7 veces la inversión inicial, lo que indica un proyecto extremadamente rentable desde su primera etapa operativa.

24.6 Punto de equilibrio

El simulador evidencia que el punto de equilibrio se alcanza de manera inmediata, dado que:

- los ingresos son muy altos en comparación con la inversión
- los costos operativos son mínimos
- la depreciación no afecta la caja directamente
- la demanda proyectada es considerable

Esto significa que la inversión inicial se recupera durante el mismo año de implementación, un indicador excepcional dentro de proyectos de infraestructura urbana.

24.7 Flujo de caja proyectado

El flujo de caja proyectado muestra que:

- el proyecto mantiene saldos positivos desde el primer mes
- la acumulación anual crece progresivamente
- el margen aumenta a medida que se incrementan las ventas

El flujo de caja no presenta riesgos significativos, gracias al modelo de ingresos recurrentes.

24.8 Crecimiento multianual

El simulador incluye proyecciones durante varios años contables.

Al evaluar las columnas del archivo:

- se evidencia un aumento progresivo en suscriptores
- las cargas individuales crecen según la expansión de la red
- los ingresos totales incrementan año a año
- la operación se vuelve más rentable mientras crece la demanda

Esto confirma que el proyecto no solo es rentable en el corto plazo, sino que escala de forma natural con la adopción de la micro movilidad eléctrica.

24.9 Conclusión general del simulador

Al combinar toda la información del fichero, podemos señalar:

1. El proyecto presenta ingresos fuertes, y continuos desde el primer ejercicio, fundamentalmente debido a la evolución de las suscripciones.

2. Las inversiones son bajas en relación con el retorno económico, lo que permite un punto muerto inmediato.

3. El modelo al que se suscribe el cliente es muy rentable, especialmente la suscripción ilimitada.

4. Las cargas individuales contribuyen con un ingreso adicional importante.

5. La venta de snacks es de poco valor pero útil en el flujo de caja.

6. El proyecto evidencia capacidad de crecimiento real en el medio plazo debido al crecimiento esperado en la demanda.

7. La facturación es estable, previsible, y fácil de mantener.

8. La amortización está bien distribuida ya que permite reducir la carga fiscal del activo.

9. El flujo de caja es positivo en todos los escenarios, incluido el caso que no haya ventas extra por el prototipo.

24.10 Conclusiones del simulador financiero

- El simulador confirma que “Parada Solar” es un proyecto altamente rentable desde su primer año.
- La relación entre costos e ingresos supera ampliamente los rangos de riesgo financiero aceptables.
- El crecimiento progresivo de suscriptores asegura estabilidad a largo plazo.
- El modelo mixto asegura diversificación de ingresos.
- La inversión inicial se recupera de manera inmediata.
- La proyección multianual valida que el proyecto puede expandirse sin comprometer su estabilidad económica.

25. Análisis de sostenibilidad

Para poder determinar una evaluación integradora del impacto que puede tener la propuesta “Parada Solar” en el entorno (no solamente de tipo económico, sino también social y ambiental), el análisis de sostenibilidad tiene gran relevancia en este tipo de proyectos de infraestructura y movilidad, porque puede ser condición indispensable cuando el tipo de implementación va asociado a cambiar dinámicas urbanas y patrones de consumo energético.

La sostenibilidad es la propiedad de un sistema de ser funcional con el tiempo, satisfaciendo necesidades sin agotar sus recursos naturales, no generando desigualdad y, por tanto, generaciones futuras, ni generando cargas económicas que sean imposibles de mantener a largo plazo. En tal sentido, la propuesta “Parada Solar” se evaluó en base a los tres pilares que sustentan la sostenibilidad:

1. sostenibilidad económica

2. sostenibilidad social

3. sostenibilidad ambiental

Con este análisis se pudiera determinar el valor total de la propuesta “Parada Solar” y su adecuación a un marco de desarrollo sostenible y de tipo político-social, orientado a disminuir las emisiones, a promover las energías renovables y a mejorar la infraestructura urbana para el transporte eléctrico.

25.1 Sostenibilidad económica

La sostenibilidad del área económica se encuentra referida a la capacidad del proyecto de sostenerse financieramente durante su ciclo de vida y de generar beneficios que sean superiores a los costes que suponga su implementación y posterior mantenimiento.

En “Parada Solar” los factores que permiten hablar de una sostenibilidad del área económica son los siguientes:

A. Bajos costes operativos

El sistema utiliza energía solar y, en consecuencia, los gastos de operación son bajos, dado que la energía no tiene coste y la infraestructura requiere poco mantenimiento.

B. Modelo de ingresos mixto

Un modelo que articula ingresos por suscripción y que da lugar a la venta del prototipo a terceras partes permite diversificar los ingresos y no depender de un único tipo de usuario o de una única fuente económica.

C. Larga vida útil

Los paneles solares tienen una vida útil en torno a los veinte veinticinco años, lo que garantiza un retorno de larga duración. Las baterías son reponibles, sí, pero su coste es predecible y puede computarse en el simulador financiero.

D. Escalabilidad comercial

Gracias a que el prototipo está diseñado de forma modular, resulta muy sencillo replicarlo y comercializarlo sin hacer inversiones desmesuradas. Por tal motivo, se potencia la expansión del negocio y se incrementan los ingresos potenciales.

E. Crecimiento del mercado de micro movilidad

El uso de patinetas y bicicletas eléctricas en ciudades de Latinoamérica está en aumento, creando así un mercado en crecimiento en estaciones de carga. Este elemento aumenta la demanda futura, lo cual ayuda a optimizar la sostenibilidad económica del proyecto.

En definitiva, esto señala que “Parada Solar” tiene una alta probabilidad de mantener la estabilidad y la rentabilidad a lo largo del tiempo.

25.2 Sostenibilidad social

La sostenibilidad social mide hasta qué punto el proyecto contribuye al bienestar de las personas, la accesibilidad, el desarrollo urbano y la calidad de vida de las personas usuarias y de las comunidades cercanas.

Para “Parada Solar”, los impactos sociales de mayor importancia son:

A. Acceso a infraestructuras de carga seguras

Las personas usuarias de micro movilidad suelen sufrir el de no contar con puntos seguros para cargar sus vehículos. El proyecto propone una solución accesible en espacios públicos que hace mejorar la seguridad energética de las personas usuarias.

B. Disminución del estrés por autonomía

La falta de carga genera ansiedad y limitaciones en los desplazamientos. La universalidad de estaciones solares disminuye esta barrera, siendo una oportunidad que hace mejorar el desplazamiento.

C. Impacto en la movilidad urbana

Al crear infraestructuras para la movilidad eléctrica se promueve una transición hacia medios de transporte más sostenibles, silenciosos y accesibles.

D. Ventajas para los comercios y espacios públicos

Las estaciones generan flujo peatonal a su alrededor, lo que beneficia a las cafeterías, empresas e/o instituciones que deciden adquirir o instalar una unidad. Esto hace reforzar la economía local.

E. Inclusividad y equidad del acceso

El modelo de las suscripciones da la oportunidad a personas con distintas capacidades económicas para poder acceder a la carga evitando los modelos excluyentes basados únicamente en tarifas altas o en pago por uso.

F. Alineamiento del proyecto con las políticas de la ciudad

El proyecto se ajusta a los objetivos de sostenibilidad de la ciudad, movilidad sostenible y disminución de emisiones ambientales que están presentes en los planes distritales y nacionales.

Desde este ángulo, “Parada Solar” demuestra que no solo es económicamente viable sino también socialmente provechoso.

25.3 Sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad ambiental es quizás la dimensión más manifiesta de la propuesta, dado que su funcionamiento depende al 100% de la energía solar y no requiere combustibles fósiles ni conectarse a la red eléctrica para poder funcionar.

Los componentes más destacados que nos indican la sostenibilidad ambiental de la propuesta son las siguientes:

A. Generación de energía limpia

El sistema transforma radiación solar en energía eléctrica sin producir ningún tipo de emisiones de gases contaminantes, es decir, cada carga realizada ayuda a reducir la dependencia con las fuentes tradicionales.

B. Disminución de la huella de CO_2

El uso de paneles fotovoltaicos evita emisiones relacionadas con la generación eléctrica tradicional; además, una vez fortalecida la movilidad eléctrica, se reduce la dependencia del uso de motocicletas o coches que son productoras de CO_2.

C. Materiales de larga duración

La estructura fue diseñada con materiales que son resistentes a la corrosión y con larga vida útil, con el objetivo de reducir la necesidad de cambios frecuentes y minimizar los residuos producidos.

D. Poco impacto ambiental durante la operativa

Una vez instalada, la estación no produce ruidos, no genera residuos y no requiere de insumos externos para funcionar. Esto reduce el impacto ambiental que genera, en comparación con las infraestructuras que dependen de combustibles.

E. Adaptabilidad a entornos naturales

El prototipo puede instalarse en parques, campus universitarios, ciclorutas o zonas verdes sin afectar negativamente el entorno. Al no requerir excavaciones profundas ni conexiones complejas, su instalación es mínimamente invasiva.

F. Contribución al desarrollo sostenible

El proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente:

- Energía asequible y no contaminante
- Ciudades y comunidades sostenibles
- Acción por el clima

La propuesta aporta beneficios ambientales directos, facilitando una transición justa hacia energías renovables en la vida cotidiana de los usuarios.

25.4 Conclusiones del análisis de sostenibilidad

El estudio de la sostenibilidad muestra que el proyecto “Parada Solar” no solo resulta factible desde un punto de vista técnico y económico, sino que además produce efectos sociales y ambientales beneficiosos. La autosuficiencia del diseño y la opción de la energía limpia lo convierten en un planteamiento acorde a las exigencias de hoy en día en el sentido de conseguir ciudades más inteligentes, más eficaces y más responsables con el medio en el que se insertan.

Las conclusiones más significativas son las siguientes:

1. El proyecto establece un equilibrio adecuado entre el costo, el beneficio y su vida útil, lo que hace que su sostenibilidad económica esté fortalecida.

2. Actúa a favor del bienestar social ya que mejora la movilidad, la seguridad y el acceso a la energía limpia.

3. Disminuye drásticamente las emisiones provocadas por la carga de aparatos eléctricos, lo que potencia su sostenibilidad ambiental.

4. Su carácter modular y duplicable lo convierte en una solución a escala que se puede aplicar a diferentes contextos de ciudad o comercio.

5. La propuesta realmente hace una aportación de valor al ecosistema urbano, que no solo contribuye a la transición energética, sino que también la disminución de los impactos negativos que producen en el medio ambiente.

26. Plan de implementación

El plan de implementación es el documento que recoge el conjunto de acciones, tanto estratégicas como técnicas y logísticas, que son necesarias para trasladar la propuesta de “Parada Solar” desde su fase de prototipo hasta su implementación real en el mercado. Esta hoja de ruta se plantea con una visión gradual, ya que el vehículo de dicha implementación debe comprobar la viabilidad técnica, económica y operativa del sistema, es decir, los márgenes de cada acción en el transcurso de las distintas etapas deben estar hechas de forma ordenada, rápida y alineada con el objetivo del proyecto.

La implementación, tal como se estructura en este documento, no solo incluye la instalación física del prototipo, sino también su consolidación como producto comercial, la integración en los entornos urbano o privado y la implementación del modelo de negocio que plantea la suscripción y venta de la estructura a empresas, instituciones y/o cafeterías.

26.1 Objetivos del plan de implementación

Los objetivos básicos del plan de implementación son los siguientes:

1. Definir la hoja de ruta que permita llevar el prototipo a un escenario de uso real.

2. Definir las acciones operativas necesarias para instalar la estructura en espacios públicos o privados.

3. Definir un proceso estandarizado que permita la escalabilidad del proyecto en muchas ubicaciones.

4. Definir e implementar el modelo de negocio en la operativa diaria de la estación.

5. Asegurar la sostenibilidad técnica y económica del despliegue.

26.2 Fases del plan de implementación

La implementación se desarrolla en cinco fases estratégicas:

Fase 1. Validación funcional del prototipo

Consiste en verificar el rendimiento energético, eléctrico y estructural del prototipo en entornos controlados. Esta fase permite ajustar aspectos técnicos y resolver aspectos operativos que solo se manifiestan en pruebas reales.

Actividades principales:

- Pruebas de carga con patinetas reales.
- Evaluación de eficiencia solar en diferentes horarios.
- Ajuste de conexiones eléctricas.
- Validación de seguridad estructural.
- Revisión de interacción con usuarios.

Fase 2. Implementación piloto

Una vez validado el prototipo, se instala en un espacio real para evaluar su desempeño en un entorno dinámico. Este piloto puede ubicarse en:

- una universidad
- una cafetería
- un parque público
- un centro empresarial

En esta fase se recopilan datos sobre uso, demanda, comportamiento de usuarios y condiciones ambientales.

Fase 3. Ajustes técnicos y operativos

Con base en los resultados del piloto, se realizan los ajustes necesarios:

- mejoras en señalización
- optimización del flujo eléctrico
- ajustes en la interfaz de carga
- adecuación del sistema de suscripciones
- mejoras en la seguridad física y digital

Esta fase garantiza que cualquier error o insuficiencia sea corregido antes del despliegue comercial.

Fase 4. Producción y comercialización

Consiste en:

- formalizar proveedores
- establecer acuerdos con clientes (universidades, cafeterías, empresas)
- definir precios de venta al por mayor
- realizar campañas informativas para usuarios

Es la fase en la que “Parada Solar” pasa de prototipo a producto escalable.

Fase 5. Expansión territorial

Una vez consolidado el modelo, se inicia la instalación en múltiples puntos de la ciudad o regiones cercanas. Esta fase incluye alianzas estratégicas con entidades públicas y actores del sector privado.

26.3 Estrategias de introducción al mercado

La introducción de “Parada Solar” al mercado se establece a partir de un enfoque progresivo y dirigido, basado en:

A. Identificación de zonas de alta demanda

Se priorizan zonas con alta presencia de micro movilidad:

- ciclorrutas
- universidades
- centros comerciales
- parques principales
- zonas de coworking

La ubicación estratégica garantiza mayor adopción del sistema.

B. Alianzas institucionales y comerciales

La venta del prototipo requiere alianzas con:

- universidades
- cafeterías
- empresas
- centros empresariales
- administraciones locales

Estas alianzas facilitan la instalación y generan un soporte institucional clave.

C. Difusión del sistema de suscripciones

La estrategia comercial se basa en:

- lanzamiento inicial con tarifas promocionales
- campañas educativas sobre movilidad sostenible
- integración de la plataforma de suscripción
- señalización física en las estaciones

El objetivo es atraer los primeros usuarios y fomentar la adopción continua.

D. Incentivos de adopción temprana

Incluye:

- descuentos para los primeros suscriptores
- pruebas de uso gratuito por una semana
- paquetes especiales para empresas o grupos

Estos incentivos generan confianza e impulsan el crecimiento inicial.

26.4 Estrategia de comercialización de la estructura

El prototipo se comercializa bajo un modelo estructurado que considera:

A. Venta directa del equipo

Clientes potenciales:

- universidades
- cafeterías
- centros comerciales
- coworkings
- parques tecnológicos
- entidades distritales

B. Paquetes de instalación y mantenimiento

Opciones adicionales para compradores:

- mantenimiento anual
- personalización estética
- ampliación del sistema

C. Branding y co–branding

Las empresas pueden personalizar:

- colores
- logos
- señalización
- iluminación

- mensajes comerciales

Esto convierte al prototipo en un activo comercial y no solo en infraestructura.

26.5 Estrategias de escalabilidad

La escalabilidad se da en dos direcciones:

A. Expansión espacial

Instalación progresiva de nuevas estaciones en diferentes zonas estratégicas de la ciudad. Permite construir una red de carga amplia y conectada.

B. Expansión del modelo de negocio

Con estos elementos:

- aumento de suscriptores
- creación de nuevas categorías de servicios
- inclusión futura de carga rápida
- venta del prototipo a otras ciudades

Esto permite que “Parada Solar” evolucione como sistema urbano.

26.6 Gestión operativa

La operación del sistema requiere una estructura de gestión organizada que incluya:

- área técnica
- área de mantenimiento
- área comercial
- servicio al cliente para suscriptores
- área de datos y monitoreo energético

Esto garantiza operatividad continua y respuesta rápida a fallas.

26.7 Cronograma de implementación

(Aquí va la imagen de una tabla tipo Gantt)

Un cronograma sugerido es:

1. Validación del prototipo: 1 a 2 meses
2. Instalación piloto: 1 mes
3. Ajustes técnicos: 1 mes
4. Comercialización y producción: 3 a 4 meses
5. Expansión inicial: 6 meses
6. Evaluación anual del sistema: continuo

Este cronograma puede adaptarse según disponibilidad de recursos y demanda.

26.8 Conclusiones del plan de implementación

El programa de implantación deja ver que “Parada Solar” tiene ciertas condiciones exigibles para transitar de un prototipo realizable a un sistema puesto en marcha en el mercado urbano: su disposición modular, su autonomía energética, su modelo de negocio mixto y su versatilidad comercial favorecen llegar hasta escenarios reales de forma ordenada y sostenible.

Principales conclusiones:

1. El proyecto opera técnicamente instalable en los espacios urbanos y/o privados.

2. Precisa de un tiempo razonablemente largo de pilotaje previo a la extensión.

3. El modelo de negocio basado en suscripciones y venta del prototipo se hace importante para la sostenibilidad del mismo.

4. La puesta en marcha puede realizarse de manera escalada para llegar a conseguir costes iniciales más reducidos.

5. La extensión de la implementación desarrolla la movilidad eléctrica y contribuye hacia la infraestructura sostenible de la ciudad.

27. Análisis de los resultados

El apartado del análisis de los resultados representa una de las secciones más relevantes del proyecto “Parada Solar”, ya que permite la integración de todos los resultados provenientes del conjunto de metodologías utilizadas: análisis estadístico, análisis cualitativo, evaluaciones técnicas, pruebas de prototipo o simulaciones financieras. Esta sección permite comprender de manera integral de qué manera cada una de las dimensiones planteadas proporcionaron prueba fehaciente, valida o no, para verificar la propuesta.

El análisis articula los resultados en cuatro ejes analíticos:

1. Selección y presentación de resultados de interés

2. Generalizaciones e interpretación de los datos

3. Consistencia con los objetivos del trabajo

4. Discusión en virtud de las variables y dimensiones estudiadas

El propósito es mostrar la robustez de la propuesta desde la perspectiva científica, técnica y social.

27.1 Selección y presentación de los resultados relevantes

A fin de asegurar que el proyecto fuese comprendido de una manera completa, se eligieron los resultados más relevantes presentes en el proceso de recogida, debido a que sus consecuencias están más ligadas con la toma de decisiones.

Los resultados más relevantes fueron:

A. Resultados del análisis cuantitativo

El análisis de las pruebas estadísticas permitió identificar patrones de comportamiento entre los usuarios de micro movilidad, poniendo en evidencia:

- una necesidad real de infraestructura pública de carga
- niveles altos de preocupación por autonomía

una buena valoración hacia las soluciones solares

diferencias significativas entre los usuarios asiduos en comparación con los ocasionales

Las pruebas de normalidad, hipótesis, t de Student, Mann-Whitney y Wilcoxon pusieron de manifiesto la existencia de un conjunto de diferencias relacionadas con frecuencia de uso, niveles de ansiedad por carga e insatisfacción frente a la infraestructura actual.

B. Resultados del análisis cualitativo

El estudio cualitativo permitió:

- identificar la problemática central: falta de puntos seguros de carga
- caracterizar el contexto urbano en el que se desarrolló el proyecto
- comprender motivaciones, frustraciones y expectativas de los usuarios
- validar que una solución autónoma y sostenible es percibida como necesaria

C. Resultados del desarrollo del prototipo

El prototipo demostró funcionar adecuadamente:

- generando energía constante durante el día
- proporcionando tiempos de carga razonables
- realizando almacenamiento estable
- resistiendo condiciones ambientales comunes

D. Resultados del simulador financiero

El simulador permitió anticipar escenarios:

- conservador, moderado y optimista
- con resultados favorables en todos los casos
- demostrando que el modelo de negocio es sostenible
- mostrando que el punto de equilibrio puede alcanzarse en el corto o mediano plazo

Estos resultados se presentan como evidencia integrada que sustenta la viabilidad técnica, económica y social del proyecto.

27.2 Generalizaciones e interpretación de los datos

La interpretación global de los resultados permite identificar tendencias estructurales que no dependen de casos individuales.

A. Sobre la necesidad de la solución

Los análisis cuantitativos y cualitativos coinciden en que:

- los usuarios demandan más infraestructura
- la energía solar es considerada confiable
- existe frustración con la escasez de puntos de carga
- la micro movilidad continúa creciendo en la ciudad

La triangulación de métodos plantea que no se trata de una necesidad aislada, sino de una demanda urbana en ascenso.

B. Sobre la viabilidad técnica

Los datos técnicos del prototipo demuestran que:

- es posible generar energía suficiente mediante energía solar
- la estructura es estable y resistente
- el sistema eléctrico opera sin depender de la red
- los paneles y baterías funcionan de manera adecuada

Esto permite generalizar que el sistema es técnicamente replicable y escalable.

C. Sobre la viabilidad económica

El simulador financiero muestra:

- un rendimiento económico atractivo
- equilibrio sostenible entre costos e ingresos
- oportunidad de crecimiento mediante suscripciones
- ingreso adicional mediante la venta del prototipo

Lo anterior permite concluir que la propuesta no solo es viable, sino que puede convertirse en un negocio sólido.

D. Sobre la aceptación social

Los estudios reflejan:

- altos niveles de interés

- disposición al pago en formato suscripción
- aceptación del modelo tecnológico
- buena percepción sobre el impacto ambiental

Esto confirma que el proyecto responde a necesidades reales y no a una hipótesis abstracta.

27.3 Coherencia con los objetivos del trabajo

La concordancia entre los resultados que se han obtenido y los objetivos que se habían planteado al inicio de este proyecto es un factor crítico dentro de la valoración de la consecución del proyecto.

Objetivo 1: Diseñar un sistema autosostenible de carga solar

Los resultados técnicos dan fe de su cumplimiento. Por lo tanto, el prototipo funciona, carga dispositivos, produce energía limpia, etc.

Objetivo 2: Explorar la demanda y necesidades del usuario

Las investigaciones cualitativas y cuantitativas mostraron una fuerte, sólida y creciente demanda.

Objetivo 3: Evaluar la viabilidad técnica, económica y social

El prototipo, el simulador financiero y las evidencias de la sostenibilidad del ciclo de vida del proyecto alcanzaron el objetivo, se interpretan como prueba de que el proyecto es viable en los tres aspectos.

Objetivo 4: Determinar un modelo de negocio para su materialización

Los resultados del simulador y del análisis de costos permitieron construir un modelo de negocio dual completamente operativo.

Por lo tanto, en conclusión, se han cumplido con todos los objetivos del proyecto, como se evidencia en los resultados.

27.4 Discusión basada en variables y dimensiones estudiadas

La discusión recoge los resultados desde varias perspectivas:

A. Dimensión técnica

La estación demuestra que es posible utilizar energía solar como fuente principal, inclusive en ciudades donde la variabilidad climática es acentuada. La eficiencia observada es suficiente para permitir cargas frecuentes.

B. Dimensión económica

El modelo del negocio indica equilibrio entre beneficios y costes. La combinación de subscripciones de paquetes básicos, ilimitados y la venta del prototipo permite sostener la operación.

C. Dimensión social

La propuesta a la baja en desigualdad energética de la micro movilidad, puesto que ofrece un servicio accesible y limpio. También promueve hábitos sostenibles.

D. Dimensión medioambiental

El uso de la energía renovable permite por un lado disminuir emisiones, el ruido y la dependencia de la red eléctrica. Por otro lado, la estructura presenta poco impacto medioambiental por su funcionamiento.

E. Dimensión de la experiencia del usuario

Los usuarios manifiestan estar satisfechos con la propuesta puesto que:

- la disponibilidad da carga
- la conveniencia
- la seguridad
- el diseño estructural
- la estética funcional

La discusión indica que el proyecto es integral, coherente y eficazmente aplicable.

27.5 Conclusiones del análisis de los resultados

El análisis de los resultados permite afirmar que “Parada Solar” es una solución viable, completa y alineada con las necesidades reales de la micro movilidad en contextos urbanos.

Sus principales conclusiones son:

1. La propuesta resuelve una necesidad identificada tanto de forma estadística como cualitativa.
2. El prototipo funciona técnicamente con altos niveles de eficiencia.
3. El modelo de negocio dual garantiza estabilidad financiera.
4. El impacto social es positivo y relevante en términos de movilidad urbana.
5. El impacto ambiental es favorable y contribuye a los objetivos de sostenibilidad.
6. Los resultados son coherentes con los objetivos planteados.
7. El proyecto tiene potencial de expansión y consolidación en el mercado.

28. Conclusiones

Las conclusiones constituyen la síntesis final del proyecto “Parada Solar”, integrando la evidencia cuantitativa, cualitativa, técnica, económica y social recopilada a lo largo de todo el proceso investigativo y de desarrollo. Este apartado presenta las ideas centrales que confirman la pertinencia, viabilidad y aporte real de la propuesta, así como sus

implicaciones para el futuro de la micro movilidad eléctrica y la infraestructura urbana sostenible.

Las conclusiones se redactan como proposiciones claras, precisas y coherentes con los objetivos planteados.

28.1 Conclusiones generales del proyecto

1. El análisis estadístico y cualitativo confirma la existencia de una necesidad real y significativa de infraestructura de carga para la micro movilidad eléctrica en la ciudad.

   Los datos muestran que los usuarios experimentan inseguridad energética, ansiedad por autonomía, falta de puntos de carga y frustración recurrente ante la ausencia de infraestructura adecuada. Este problema no es aislado, sino extendido y creciente.

2. El prototipo diseñado demuestra que es técnica y operativamente viable implementar estaciones de carga solar autosostenibles.

   Las pruebas realizadas evidencian que el sistema genera y almacena suficiente energía, garantiza estabilidad estructural, es resistente a condiciones climáticas diversas y ofrece una experiencia segura y funcional para los usuarios.

3. El modelo de negocio basado en suscripciones básicas, suscripciones ilimitadas y la venta de la estructura a empresas y cafeterías garantiza sostenibilidad económica.

   La combinación de ingresos recurrentes y ventas directas permite que el proyecto sea rentable a corto y mediano plazo, con un punto de equilibrio razonable y con costos operativos bajos gracias al uso de energía solar.

4. El simulador financiero evidencia que el proyecto se mantiene rentable bajo distintos escenarios, incluso en proyecciones conservadoras.

   Esto indica que el sistema no depende de condiciones de mercado extraordinarias, sino que posee una estructura económica capaz de sostenerse en contextos variados.

5. La propuesta genera un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, al promover el uso de energías renovables y reducir la huella de carbono asociada a la movilidad.

   El uso de energía solar evita emisiones, disminuye el uso de combustibles fósiles y reduce la presión sobre la red eléctrica convencional.

6. El impacto social del proyecto es significativo, ya que mejora la calidad de vida de los usuarios al ofrecer autonomía, seguridad y acceso equitativo a la energía.

La propuesta contribuye a democratizar el acceso a la carga eléctrica, favoreciendo la movilidad sostenible, inclusiva y moderna.

7. El proyecto presenta coherencia total entre los objetivos planteados, el proceso metodológico y los resultados obtenidos.

   Cada etapa aportó evidencia clara que sustenta la validez de la propuesta y su pertinencia en el contexto urbano analizado.

8. “Parada Solar” posee un alto potencial de escalabilidad, replicabilidad y comercialización a nivel local y regional.

   Su diseño modular, autosostenible y de bajo costo operativo lo convierte en una solución adaptable a múltiples entornos urbanos, naciendo como prototipo pero con vocación de red de infraestructura.

28.2 Conclusiones teóricas

1. El proyecto demuestra cómo la integración entre análisis estadístico y cualitativo fortalece la comprensión de problemas urbanos complejos.

   La triangulación metodológica permitió validar la necesidad desde múltiples perspectivas.

2. La propuesta confirma que los sistemas autosostenibles basados en energía solar son una alternativa viable dentro de los marcos de movilidad eléctrica urbana.
3. El modelo de negocio mixto constituye un marco sólido para el desarrollo de infraestructura sostenible.

   Combina principios de economía circular, negocios recurrentes y comercialización tecnológica.

4. Los hallazgos se alinean con teorías contemporáneas de diseño centrado en el usuario, consolidando un enfoque donde la tecnología responde directamente a las necesidades humanas y no al revés.

12.3 Conclusiones prácticas

1. El prototipo puede instalarse con relativa facilidad en universidades, cafeterías, parques, ciclorrutas o empresas.

   Esto demuestra que su implementación real no requiere obras profundas ni infraestructura compleja.

2. El sistema de suscripción facilita el acceso continuo y económico para los usuarios de micro movilidad.
3. La venta del prototipo abre oportunidades comerciales para instituciones que deseen mejorar su infraestructura y atraer público.
4. El mantenimiento mínimo del sistema lo hace viable incluso en entornos donde la supervisión técnica no es constante.

5. El diseño modular permite realizar modificaciones o ampliaciones futuras sin necesidad de reconstruir la estación completa.

28.4 Conclusiones sobre el impacto a futuro

1. El proyecto tiene potencial para integrarse a redes de movilidad inteligente, convirtiéndose en un nodo dentro de sistemas de ciudad moderna.
2. Puede evolucionar hacia estaciones con carga rápida, monitoreo en tiempo real, integración con aplicaciones móviles y ampliación de servicios.
3. Su implementación masiva contribuiría de manera significativa a los objetivos de sostenibilidad urbana y reducción de emisiones.
4. La propuesta puede convertirse en referencia académica y práctica para futuros proyectos de infraestructura sostenible.

28.5 Cierre final

“Parada Solar” se consolida como una propuesta integral que articula investigación, diseño, ingeniería, sostenibilidad y modelo de negocio. El proyecto no solo responde a una necesidad latente de la ciudad, sino que aporta una solución moderna, limpia, accesible y viable. Las conclusiones obtenidas confirman que el prototipo puede ser implementado con éxito y que posee un potencial real para convertirse en una infraestructura establecida dentro de la red urbana de movilidad eléctrica.

El proyecto no termina aquí: abre la puerta para mejoras tecnológicas, aplicaciones futuras, expansión territorial y nuevos desarrollos basados en energías renovables. Su contribución teórica y práctica demuestra que es posible construir soluciones urbanas innovadoras que generen beneficios económicos, sociales y ambientales simultáneamente.

Referencias

1. Electyum. (2024, 19 de abril). *¿Qué autonomía tiene un patinete eléctrico?* *https://electyum.com/autonomia-patinetes-electricos/*
2. WE-cycle. (s. f.). *WE-cycle | Roaring Fork Valley Bikeshare*. Recuperado el 19 de agosto de 2025, de https://www.we-cycle.org/
3. Gogoro Inc. (s. f.). *Gogoro Smartscooter® – A ride like no other*. 2024, https://www.gogoro.com/smartscooter/

4. Usman Noor, 2025, https://8msolar.com/solar-charging-stations-poweringthe-future-of-electric-mobility/
5. Upme. (2019, 10 de diciembre). Estaciones de carga VF https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Consorcio_Usaene_sumatoria_producto_3_estaciones_de_cargaVF.pdf
6. IDEAM. (2025, 12 de agosto). *Boletines y comunicados especiales de calidad del aire*. https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/boletines/Boletines-ycomunicados-especiales-de-calidad-del-aire
7. USAENE, UPME, «Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga parala Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos: Buses, motos, taxis, BRT.,» Bogotá, 2019.
8. International Energy Agency (IEA). (2024, marzo). *CO_2 Emissions in 2023*. IEA. https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023
9. NASA Langley Research Center. (s. f.). *Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER)*. Recuperado el 1 de septiembre de 2025, de NASA POWER: https://power.larc.nasa.gov/
10. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s. f.). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos* [Portal web]. Recuperado el 1 de septiembre de 2025, de http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/
11. Ministerio de Minas y Energía de Colombia; Unidad de Planeación MineroEnergética (UPME); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia* [PDF]. Bogotá, Colombia https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Impresos/Atlas_Radiacion_Solar_2005/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf
12. Melliger, M., van Vliet, O. P. R., & Liimatainen, H. (2018). *Anxiety vs reality – Sufficiency of battery electric vehicle range in Switzerland and Finland*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 65*, 101–115. https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.08.011
13. **Conermex.** (s. f.). *Tabla consumos CFE* [PDF]. Recuperado el 1 de septiembre de 2025, de https://www.conermex.com.mx/webinar/tabla-consumosCFE.pdf
14. **Elsevier.** (s. f.). *Depth of discharge*. En *ScienceDirect Topics*. Recuperado el 7 de septiembre de 2025, de **ScienceDirect Topics**: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/depth-ofdischarge?utm_source=chatgpt.com
15. **Suneo Energy.** *Fusible 200 A Siemens, categoría gG, 500 VAC/400 VDC – Protección baterías* [Archivo PDF]. Recuperado el 7 de septiembre de 2025, de https://www.suneoenergy.com.co/webinar/tabla-consumos-
16. CFE.pdf?utm_source=chatgpt.com

    Electyum. (2024, 19 de abril). *¿Qué autonomía tiene un patinete eléctrico?* https://electyum.com/autonomia-patinetes-electricos/
17. Gogoro Inc. (s. f.). *Gogoro Smartscooter® – A ride like no other*. (2024). https://www.gogoro.com/smartscooter/

18. Noor, U. (2025). *Solar charging stations: Powering the future of electric mobility*. https://8msolar.com/solar-charging-stations-powering-the-future-of-electric-mobility/
19. IDEAM. (2025, 12 de agosto). *Boletines y comunicados especiales de calidad del aire*. https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/boletines/Boletines-y-comunicados-especiales-de-calidad-del-aire
20. International Energy Agency. (2024, marzo). *CO_2 Emissions in 2023*. https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023
21. NASA Langley Research Center. (s. f.). *Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER)*. Recuperado el 1 de septiembre de 2025, de https://power.larc.nasa.gov/
22. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s. f.). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. Recuperado el 1 de septiembre de 2025, de http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/
23. Ministerio de Minas y Energía, UPME & IDEAM. (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia* [PDF]. https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Impresos/Atlas_Radiacion_Solar_2005/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf
24. Conermex. (s. f.). *Tabla consumos CFE* [PDF]. Recuperado el 1 de septiembre de 2025, de https://www.conermex.com.mx/webinar/tabla-consumos-CFE.pdf
25. Elsevier. (s. f.). *Depth of discharge*. En *ScienceDirect Topics*. Recuperado el 7 de septiembre de 2025, de https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/depth-of-discharge
26. Suneo Energy. (s. f.). *Fusible 200 A Siemens, categoría gG, 500 VAC/400 VDC – Protección baterías* [PDF]. Recuperado el 7 de septiembre de 2025, de https://www.suneoenergy.com.co/webinar/tabla-consumos-CFE.pdf
27. EPEVER. (s. f.). *Charge Controllers*. Recuperado el 7 de septiembre de 2025, de https://www.epever.com/products/?product_cat=charge-controller
28. **EPEVER.** *Charge Controllers*. En *EPEVER products*. Recuperado el 7 de septiembre de 2025, de **EPEVER**: https://www.epever.com/products/?product_cat=charge
29. ANEXO A: Simulador+Financiero+2024+1.cleaned+29.cleaned+1.xlsx