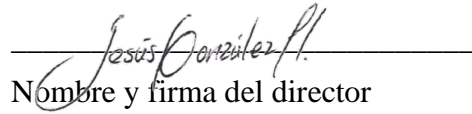


En calidad de director de este trabajo de grado, apruebo el envío del presente documento correspondiente al avance requerido en desarrollo de la asignatura Proyecto de Grado I.

A handwritten signature in black ink, reading "Jesús González P.", is written over a horizontal line. The signature is cursive and includes a period at the end.

Nombre y firma del director



**DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE CARGA SOLAR PARA BICICLETAS ELÉCTRICAS
EN ESPACIOS PÚBLICOS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES.

Ramón Helí Toquica Saldaña.

Dumar Andrés Torres Gaona.

Dirección:

Jesús David González Llorente

Jesús Antonio Vega Uribe

Universidad del Rosario

Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología

Maestría en Energías Renovables

RESUMEN

Las bicicletas eléctricas se han convertido en los últimos años en un medio alternativo de transporte para los Bogotanos. Basta nomás con subirse a un medio de transporte público para entender la razón que ha llevado a la ciudadanía a buscar medios alternativos que provean mejores condiciones de calidad de vida y transporte más asequible. Actualmente en Bogotá se puede percibir aumento notorio en la cantidad de bicicletas que circulan por la malla vial. La mayoría de estas, conducidas por ciudadanos que buscan llegar a sus lugares de trabajo y/o estudio.

Las bicicletas eléctricas son un medio de transporte asequible y atractivo para diferentes tipos de usuarios, pues si bien, representa un bajo costo de inversión, también permite movilizar distancias considerables con un bajo nivel de desgaste físico. Como si fuera poco, ambientalmente, las bicicletas eléctricas representan un medio de transporte más limpio y menos contaminante que podría llegar a revolucionar la movilidad que conocemos hoy en día.

Uno de los pocos retos del uso de bicicletas eléctricas es de la autonomía de carga de sus baterías, ya que no se alcanza a llevar a cabo recorridos completos (ida y regreso) con una sola carga. El presente proyecto de grado se enfoca en el diseño de una estación de carga solar para bicicletas eléctricas en espacios públicos de Bogotá, que permita a los bici-usuarios realizar la carga de su bicicleta en tramos intermedios (trabajo, universidad) cuando su batería se descargue, garantizando así la cobertura completa de sus recorridos diarios.

Para desarrollar el proyecto, se revisan tecnologías adaptadas al rededor del mundo, el análisis de recurso solar disponible en la ciudad y los requerimientos de consumo energético para diseñar una estación alimentada con energía solar fotovoltaica con capacidad de carga de 5 bicicletas en simultáneo. Finalmente, se realiza una estimación de costos de materiales y equipos para su implementación.

ABSTRACT

Electric bicycles have become an alternative means of transport for Bogotanos in recent years. Just get on a public transport to understand the reason that has led citizens to look for alternative means that provide better quality of life and more affordable transport. Currently in Bogotá, a noticeable increase can be seen in the number of bicycles circulating on the road network. Most of these are driven by citizens who seek to get to their places of work and/or study.

Electric bicycles are an affordable and attractive means of transport for different types of users, because although they represent a low investment cost, they also allow them to travel considerable distances with a low level of physical wear and tear. As if that were not enough, environmentally, electric bicycles represent a cleaner and less polluting means of transport that could revolutionize mobility as we know it today.

One of the few challenges of using electric bicycles is the battery charge autonomy, since they cannot complete complete trips (round trip) with a single charge. This degree project focuses on the design of a solar charging station for electric bicycles in public spaces in Bogotá, which allows bicycle users to charge their bicycles in intermediate sections (work, university) when their battery is discharged, thus ensuring full coverage of their daily routes.

To develop the project, technologies adapted from around the world are reviewed, the analysis of solar resources available in the city and the energy consumption requirements to design a station powered by photovoltaic solar energy with the capacity to charge 5 bicycles simultaneously. Finally, an estimate of the costs of materials and equipment for its implementation is made.

Tabla de Contenido

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 2.....	2
PROBLEMA Y JUSTIFICACION.....	2
2.1 Descripción del problema	2
2.2 Justificación	3
Capítulo 3.....	6
OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo general.....	6
3.2 Objetivos específicos	6
Capítulo 4.....	7
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	7
4.1 La movilidad eléctrica: un mercado creciente	8
4.2 Referentes similares mundialmente puestos en marcha.....	9
4.2.1 Caso de estudio: revisión del uso de bicicletas eléctricas en Suecia	9
4.2.2 Estudio de caso: estación de carga alimentado por paneles solares.....	9
4.2.3 Estudio de caso: estación de carga en Universidad de Delft	10
4.2.4 Estudio de caso: crecimiento de estaciones en China.....	11
4.2.5 Estudio de caso: estación de carga de bicicletas en la Universidad Sergio Arboleda .	12
4.2.6 Estudio de caso: estación de carga hibrida solar / eólica	12
4.2.7 Estudio de caso: carga inteligente de bicicletas eléctricas con un sistema fotovoltaico conectado a la red – Alemania	13
4.3 REGULACIÓN.....	14
4.4 LA TECNOLOGÍA DE LAS ESTACIONES DE CARGA.....	16
Capítulo.....	18
METODOLOGÍA	18
Capítulo 6.....	20
RESULTADOS Y DISCUSION	20
6.1 Definición de la zona de implementación.....	20
6.2 Análisis del recurso solar (horas solares pico - HSP).....	21
6.3 Dimensionamiento de estaciones de carga	23
6.4 Arquitectura del sistema de gestión y distribución de la energía.....	25
6.5 Condiciones del sistema eléctrico	26
6.6 Cálculo del sistema de almacenamiento	26
6.7 Cálculo de unidades de paneles solar.....	28
6.8 Inversor	29
6.9 Accesorios.....	29
6.10 Estructura	30
6.11 Presupuesto	33
6.12 Simulación con Pvsyst	33
6.13 RESULTADOS Y DISCUSION	37
Referencias.....	41
APÉNDICE.....	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Bicicleta Starker Bici One de Auteco [25]	17
Tabla 2 Bicicleta Starker Bici One de Auteco [26]	17
Tabla 3 Selección de instalación de estructura de estación de carga de bicicleta.....	20
Tabla 4 Promedio de Radiación Solar Multifuente (Wh/m ²).....	22
Tabla 5 Requerimiento energético	25
Tabla 6 Promedio de irradiación global solar horizontal por horas	44
Tabla 7 Presupuesto para implementación.....	45
Figura 1 Comparativo de la radiación solar de las múltiples fuentes de datos (w/m2).	21
Figura 2 Radiación horaria disponible	23
Figura 3 Arquitectura del sistema de gestión y distribución de la energía	26
Figura 4 Vista Cenital de Estación (mm).....	1
Figura 5 Vista Frontal de Estación (mm).....	1
Figura 6 Vista lateral de Estación (mm).	1
Figura 7 <i>Render Integración urbanística de la estación con el contexto de la ciudad.</i>	1
Figura 8 Importación Sitio UROSARIO / NREL - Radiación	34
Figura 9 Resumen parametrización PVsyst.	35
Figura 10 Producciones normalizadas por mes	35
Figura 11 Energía de Salida del Sistema	38
Figura 12 Estado de carga de baterías.....	38
Figura 13 Rendimiento	38
Figura 14 Importación Sitio UROSARIO / NREL- Coordenadas.....	46
Figura 15 Requerimiento energético modelado en PVsyst.....	47
Figura 16 Configuración PVsyst.....	48
Figura 17 Mapa del brillo solar en Colombia	49

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad vive uno de los paradigmas más complejos del desarrollo humano; pues busca satisfacer dos aspectos fundamentales: por un lado, mejorar la calidad de vida de los seres humanos y, por otro, minimizar el impacto ambiental en el planeta en que habitamos.

Uno de los componentes cotidianos que converge estos dos aspectos es el sector transporte. Pues en algunas partes del mundo, cómo el Latinoamérica, el caos producido por el transporte representa un alto grado de estrés, por temas relacionados con seguridad, eficiencia, espacio, entre otros que agravan el día a día de los usuarios.

Por otra parte, el sector transporte es uno de los campos que mayor impacto ambiental negativo produce globalmente por su elevado índice de contaminación. Basta nomás con revisar la proporción de contaminación producida por este sector para comprender su grado de incidencia.

Se ha buscado desarrollar estrategias de implementación de prácticas habituales más atractivas y menos contaminantes como montar bicicleta. De hecho, se percibe un aumento paulatino del índice de bici usuarios tanto de pedaleo no asistido (no hay un agente externo) como de pedaleo asistido (se alimenta de energía proveída por baterías).

La autonomía de las bicicletas de pedaleo asistido es un desafío, pues la carga de la batería no cubre los tramos diarios a recorrer (superan los 35km/día), sin embargo, no hay infraestructura donde se pueda recargar las baterías para completar los tramos de desplazamientos como el retorno a casa. Es por esta razón que, en el presente proyecto se diseñará una estación de carga para baterías de bicicletas en lugares públicos de Bogotá.

Capítulo 2

PROBLEMA Y JUSTIFICACION

2.1 Descripción del problema

Actualmente, es la movilidad sostenible se ha convertido en una prioridad para muchas ciudades alrededor del mundo que buscan mitigar el impacto ambiental generado por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales provienen, en gran parte, de vehículos que utilizan combustibles fósiles. Por otra parte, los compromisos adquiridos por los países en el marco del Acuerdo de París refuerzan esta tendencia hacia un transporte más sostenible. Adicionalmente, grandes centros urbanos enfrentan desafíos significativos por la congestión vehicular, resultado del tránsito de muchos vehículos, situando a estas ciudades en un escenario complejo, sin aparente salida ante este problema.

Bogotá, como gran metrópoli y capital del país, presenta altos índices de emisión de GEI producida en gran parte por la quema de combustibles fósiles, necesarios para el funcionamiento de la red de transporte. Adicionalmente, se sabe que este sector aportó cerca de un 12% de total de emisiones de GEI producidas en Colombia en 2018, según datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero desarrollado por el IDEAM [1]; del que un aporte significativo es provisto por Bogotá.

El sector transporte y sus efectos contaminantes asociados, es una de las mayores amenazas para la sostenibilidad por su alto nivel de emisiones de Gases Efecto Invernadero; además, se prevé que, de no implementar políticas alternativas que busque subsanar este hito, la cantidad de GEI aumentará con el correr los años.

Buscando mitigar el impacto ambiental producido, se han desarrollado estrategias de uso responsable, utilizando medios alternos más amigables en la ciudad. La bicicleta, representa el medio de transporte alternativo ideal para mitigar dicho impacto, pues representa emisiones nulas – o casi nulas – y está al alcance para la mayoría de población.

Las bicicletas con pedaleo asistido son uno de los medios de transporte más atractivos, ya que permite a los usuarios hacer desplazamientos sin gran desgaste físico, pero uno de los retos más importantes es ampliar la infraestructura disponible para recargar baterías eléctricas, pues la autonomía de estos vehículos no cubre la necesidad de desplazamientos completo.

En el presente proyecto se busca desarrollar un diseño de estaciones de carga de baterías para bicicletas eléctricas, que garantice a los usuarios la ampliación de la autonomía de sus bicicletas y completar todos sus desplazamientos diarios.

2.2 Justificación

Abarcando cifras en torno a la bicicleta, según una investigación realizada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre, en Bogotá [2], más de 835,000 personas usan la bicicleta como su principal medio de transporte. Suba lidera la lista de localidades con más bici usuarios, seguida por Engativá y Bosa.

Cabe mencionar que se no cumplen las normas de seguridad vial y hay que mejorar, ya que se evidencia un desconocimiento superior al 80 % en materia de tránsito y se muestra que al menos el 90 % de los usuarios prefieren conducir con audacia y no con prudencia.

En el artículo "El negocio de la bici en Bogotá: su productividad y potencial crecimiento" [3], el Observatorio de Desarrollo Económico de la secretaria de Desarrollo Económico de Bogotá analiza el auge del sector de la bicicleta en la ciudad como parte de una movilidad sostenible y de desarrollo económico.

El uso de la bicicleta como medio de transporte ha ganado relevancia debido a su bajo impacto ambiental y asequibilidad, notándose un importante aumento especialmente durante y después de la pandemia.

Teniendo en cuenta lo anterior, la movilidad sostenible es una prioridad tanto a nivel local como global. Bogotá se enfrenta a desafíos significativos relacionados con la contaminación del aire y la congestión vehicular; que busca mitigar desarrollando modelos de sostenibilidad; promoviendo y soportando el uso de bicicletas eléctricas como una alternativa de transporte limpio, eficiente y sostenible.

Por otro lado, en el documento “*Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga para la Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos*” [4] son ofrecidas recomendaciones clave para el desarrollo de una infraestructura de carga para el sector de Micro movilidad, Uno de los principales puntos, recomienda que en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios del país, se implementen esquemas de bicicletas públicas eléctricas compartidas como un medio de transporte complementario en las ciudades. Adicionalmente, apoya planes de uso del suelo que benefician el establecimiento de estaciones de carga para bicicletas eléctricas, sugiriendo autorizar la explotación del espacio público como andenes y parques para tal fin.

Adicionalmente, son requeridas estaciones de carga para bicicletas eléctricas en espacios públicos de Bogotá para facilitar su autonomía durante todos los desplazamientos, promoviendo así el uso de este medio de transporte, que a su vez disminuiría la congestión vehicular en la ciudad. No menos importante, el uso de bicicletas eléctricas contribuye a mejorar la salud de los usuarios.

El reciente desarrollo de paraderos inteligentes para el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en Bogotá [5] refleja un compromiso creciente de la ciudad hacia la

modernización y la sostenibilidad del transporte urbano. Estos paraderos están equipados con tecnología avanzada para mejorar la experiencia del usuario, demostrando cómo la implementación de infraestructura inteligente puede optimizar la eficiencia y la accesibilidad al transporte público.

Teniendo en cuenta lo anterior, las estaciones de carga sumarían fuerzas para ampliar esta visión. Pues, al integrar estaciones de carga en el espacio público, también se apoya la infraestructura de micro movilidad, complementando y ampliando el alcance del transporte público multimodal en Bogotá. La sinergia entre estas iniciativas puede contribuir significativamente a un sistema de transporte urbano más eficiente, accesible y ecológico.

Además, como un impacto positivo de gran alcance, al cargar las bicicletas en una estación de carga alimentada con energía de fuentes no convencionales, se favorece la transición del consumo de energía de la red eléctrica convencional a fuentes renovables. Esta implementación reduce la demanda y alivia la carga en la red eléctrica convencional, especialmente en las horas pico en las que actualmente se experimenta mayor demanda y cuando se carga de baterías. Por otro lado, en los últimos años los costos de los sistemas fotovoltaicos han disminuido ostensiblemente, situación que aporta considerablemente a la propuesta del proyecto [6].

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante llevar a cabo la implementación de infraestructura de carga adecuada para bicicletas eléctricas en espacios públicos, pues al proyectar la integración de fuentes no convencionales, se aprovecha la energía producida para suplir los requerimientos de alimentación eléctrica de la operación que; a su vez reduce la dependencia de la red eléctrica convencional y se armoniza con los objetivos de sostenibilidad que tiene la Ciudad en términos ambientales, económicos y sociales.

Capítulo 3

OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar una estación de carga solar para bicicletas eléctricas en espacios públicos de Bogotá, que considere aspectos como la integración arquitectónica, la facilidad de uso, y los costos de implementación; que permita estimar la viabilidad de implementación de bicicletas eléctricas como medio de transporte sostenible.

3.2 Objetivos específicos

Determinar los requerimientos operativos de carga para bicicletas eléctricas teniendo en cuenta las condiciones especificadas por los fabricantes para su funcionamiento y operación.

Realizar el dimensionamiento de los instrumentos y equipos mayores necesarios para la implementación de una estación de carga para bicicletas eléctricas en la ciudad de Bogotá basado en el análisis del recurso solar disponible y los requerimientos de usuario.

Realizar un análisis de costos para la implementación de una estación de carga solar de bicicletas eléctricas en Bogotá como una herramienta que podría servir de selección para los posibles inversionistas.

Capítulo 4

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

El concepto de movilidad sostenible se deriva de un concepto más amplio que es desarrollo sostenible y que según la Unión Europea (UE), en su Paper Green Paper on the impact of Transport on the Environment - A Community strategy for "sustainable mobility" [7] lo resume como un objetivo que garantice que los sistemas de transporte satisfagan las necesidades económicas, sociales y ambientales de la sociedad, minimizando impactos no deseados económica, social y medioambientalmente.

Adicionalmente, teniendo en cuenta la sostenibilidad y su definición propuesta por Kente Portney en el libro Sostenibilidad [8], el concepto se basa en la premisa básica que los recursos de la tierra no se deben agotar y/o dañar indefinidamente, esto quiere decir que la sostenibilidad se trata de usar recursos para satisfacer las necesidades de la sociedad actual, pero sin comprometer la capacidad de uso de las siguientes generaciones.

Un método para medir la sostenibilidad es el cálculo de la eficiencia de uso de los recursos, el cual implica maximizar los resultados obtenidos con los recursos disponibles. En el presente trabajo la eficiencia se abordará desde el ámbito de la movilidad [9], donde se relaciona con la mejora del desplazamiento y la utilización de medios de transporte con el fin de minimizar costos económicos y ambientales.

Para la infraestructura de carga, que se refiere a las instalaciones y dispositivos necesarios para recargar las baterías de las bicicletas eléctricas, se buscará diseñar un sistema alimentado por energía solar fotovoltaica, la cual, Según Gonzalez et al [10], es aquella energía eléctrica obtenida directamente de la radiación solar mediante el uso de paneles solares.

El desarrollo y la implementación de infraestructuras de carga para bicicletas eléctricas representa un gran reto en la estructura actual de las grandes ciudades, pues responde a la

creciente demanda de soluciones de movilidad sostenible. Las estaciones de carga para bicicletas eléctricas se diseñan para proporcionar una infraestructura eficiente y asequible, logrando un avance frente al uso creciente de estos vehículos en los entornos urbanos.

Estudios recientes destacan la importancia de la implementación de estaciones de carga, que incluyen tecnologías avanzadas como sistemas de gestión y suministro de energía, pues es importante para fomentar una mayor adopción de estos vehículos.

4.1 La movilidad eléctrica: un mercado creciente

Durante los últimos años, el transporte ha diversificado sus medios, basta nomás con revisar las diferentes opciones disponibles que se tienen para entender dichos alcances. Su transformación ha disipado diversos matices; sin embargo, la bicicleta es uno de los más grandes. Esta alternativa de movilidad ha conquistado a más de 880.000 usuarios en la ciudad de Bogotá [11], quienes encuentran en este método de movilización un poco más de confort, efectividad e interés.

Para entender la importante acogida que tienen los ciudadanos sobre este medio de transporte, basta con revisar los altos niveles de congestión que presenta la movilidad Bogotana en las horas pico. Además, la seguridad juega un papel importante; ya que, si bien en muchos casos el uso de la bicicleta representa alto grado de exposición del ciclista a condiciones de vulnerabilidad; aun así, el uso de transporte público cuenta con índices de percepción de inseguridad más elevados [12].

Por otra parte, para los casos donde el usuario cuenta con vehículos propios ya sea de dos o cuatro ruedas, la seguridad pasa a segundo plano; sin embargo, los costos administrativos y de mantenimiento de los vehículos aumentan considerablemente; no solo por las condiciones impositivas, sino también el costo de combustible, parqueaderos y el tiempo que se pierde en el tráfico.

Con los preceptos descritos se concluye que un medio de transporte alternativo beneficia a los ciudadanos; pues impacta positivamente el desarrollo de las actividades cotidianas, favorece un óptimo estado de salud, mayor optimización del tiempo y procesos de movilidad más efectivos. Adicionalmente, la ciudad de Bogotá cuenta con una red de ciclorruta con más de 600 Km [13] que fomenta y armoniza la utilización de bicicletas como medio de transporte para domiciliarios, mensajeros y usuarios del común.

4.2 Referentes similares mundialmente puestos en marcha

Si bien, la idea de poner en marcha un proyecto de estaciones de carga representa una propuesta innovadora para la región latinoamericana; no es un proyecto pionero, pues a nivel internacional ya se han presentado soluciones similares que buscan solventar dicha necesidad; y que sirven de referencia base en el desarrollo actual del proyecto.

4.2.1 Caso de estudio: revisión del uso de bicicletas eléctricas en Suecia

La Universidad de Lund de Suecia, realizó un estudio [14] sobre el impacto positivo del uso de bicicletas eléctricas en la reducción de emisiones de CO₂ al reemplazar los viajes realizados en automóvil, situación por la eficiencia energética de las bicicletas frente a los vehículos de combustión.

El estudio resalta también la importancia de las estrategias municipales para incentivar el uso de las bicicletas eléctricas. En este contexto Bogotá es un referente internacional, gracias a los programas de promoción del uso de las bicicletas; sin embargo, también es importante indicar que faltan incentivos para el uso de este medio de transporte eléctrico. Aunado a lo anterior, las bicicletas eléctricas pueden ser alternativas en viajes largos dado su asistencia electromecánica.

4.2.2 Estudio de caso: estación de carga alimentado por paneles solares

Europa, es el continente pionero en movilidad alternativa y estrategias conjuntas de sostenibilidad. De acuerdo con el análisis realizado por Alemania referente a estaciones de carga, se encontró el diseño una estación para bicicletas eléctricas compuesta por 7 unidades [15]. Todo el sistema es alimentado con un sistema de paneles solares con capacidad de 5.52 kW que está conectado a un controlador de carga MPPT, el cual a su vez redirige la electricidad a 4 baterías de almacenamiento de Ácido y Plomo.

El sistema presenta una aplicación innovadora con dispositivos inteligentes que permiten manejar y administrar cada unidad de carga por parte del usuario a través de su celular; el proceso de conexión inalámbrica garantiza que el usuario mantiene el control de su bicicleta y garantiza su seguridad durante el proceso de carga, gracias a un sistema de monitoreo antirrobo integrado en la infraestructura de la estación y que se acopla con la conexión inalámbrica tipo Bluetooth de los móviles.

Del modelo alemán, se destacan avances significativos en la capacidad de carga de estaciones para bicicletas eléctricas, respaldados por sistemas robustos de almacenamiento eléctrico. Además, estas estaciones incorporan tecnología avanzada de seguridad y conectividad, reduciendo riesgos de vandalismo y garantizando la integridad de los usuarios y sus medios de transporte durante su uso. Este enfoque integral mejora la eficiencia y seguridad de las estaciones, facilitando su adopción por parte del público.

4.2.3 Estudio de caso: estación de carga en Universidad de Delft

Países Bajos, es una de las naciones de mayor impacto y referencia para el tema de movilidad eléctrica. En un estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Delft [16] se presenta una propuesta para estaciones de carga simultánea para cinco bicicletas eléctricas. La estación cuenta con una potencia instalada de 2.6 kW generado a través de 8 paneles solares de 320 W cada uno; cada panel se encuentra conectado a un sistema de almacenamiento de 4 baterías de 12 V y 220 Ah; asociados a un controlador MPPT y un

inversor bidireccional el cual permite realizar inyección de capacidad a la red eléctrica cuando se presenta un remanente en el sistema.

Teniendo en cuenta el estudio emitido por la Universidad de DELFT; Holanda cuenta con una de las redes de carga más amplias e innovadoras del mercado. Si bien, permite realizar de manera ágil la carga y preparación de las bicicletas, también dispone de procesos de autogeneración y almacenamiento que permiten retroalimentar a la red eléctrica con energía solar renovable [16]. No solo se utiliza energía solar para cargar las baterías de las bicicletas, sino que cuando se produce una sobrante de energía en el sistema, se inyecta a la red para darle un uso subsecuente y evitar su pérdida.

Además, la estación de carga propuesta tiene infraestructura de alto rendimiento, pues permite almacenar energía en baterías y se usa cuando la generación directa por medio fotovoltaico no está disponible o presenta bajo rendimiento; el proceso y disponibilidad de carga está respaldado.

4.2.4 Estudio de caso: crecimiento de estaciones en China

China es uno de los países que ha generado los más grandes impactos en relación con el desarrollo de actividades de carga. Basta nada más con estudiar las variaciones y desarrollos diferenciadores que presenta en cuanto a nivel de ventas y producción de este tipo de vehículos, que acompañados de las regulaciones y el soporte de la política estatal se transforma en alicientes de mejora para la situación del sistema.

El crecimiento de demanda de bicicletas en el país asiático se movió de manera abrupta entre finales de la década de los noventa y los inicios de los 2000 [17], pues pasó de contar de 10 productores en 1998 a 481 en 2005, y las ventas pasaron de 40.000 usuarios en 1998, a 22'000.000 en 2005, continuando con 22'000.000 en 2010 y estimando un total de 450'0000.0000 para 2030.

Hoy en día, el avance de la tecnología ha permitido navegar en nuevos procesos de sustentación y la política interna de China [17], ha facultado este tipo de transporte como uno de los más valiosos y de los que cuenta con mejor disponibilidad y accesibilidad por parte de sus usuarios, especialmente en zonas con alto grado de densidad poblacional y poco espacio disponible.

4.2.5 Estudio de caso: estación de carga de bicicletas en la Universidad Sergio Arboleda

El Colombia, poco a poco se ha buscado el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles para el sector transporte a través de investigación de este campo. Como muestra de dicho interés, se cuenta con la investigación realizada por la Universidad Sergio Arboleda, en la cual se llevó a cabo el desarrollo investigativo del comportamiento de los ciclistas y el levantamiento de la infraestructura de una estación de carga para bicicletas eléctricas que era usada por los estudiantes de la Universidad.

Para el caso de estudio, la infraestructura cuenta con 5 puntos de carga individuales para cada bicicleta, de 120V-AC, que es alimentada por generación fotovoltaica a través de paneles solares, un inversor, un controlador de carga y las baterías de almacenamiento [18]; los resultados del proceso son alentadores, pues si bien el proyecto es de carácter investigativo, se ha revisado y comprobado la eficiencia de la estación cuando son utilizados los 5 puntos de trabajo en serie; siendo un aliciente actual al desarrollo de este tipo de tecnología y la posible implementación futura de este tipo de soluciones para requerimientos futuros.

4.2.6 Estudio de caso: estación de carga híbrida solar / eólica

El Departamento de Ingeniería de la Universidad Ocean de China en Qingdao [19] realizó un estudio que abordó el diseño de estaciones de carga para bicicletas eléctricas, utilizando un sistema híbrido de energía eólica y solar. Dentro de los objetivos de estudio que

contribuyen al presente proyecto de grado se encuentran la ubicación para la instalación, el cálculo de la producción anual de energía de cada fuente (eólica y solar) y, el cálculo de la cantidad de bicicletas eléctricas que podrían cargarse diaria y anualmente.

Es importante señalar que dicho documento enfoca su análisis en dos ubicaciones: on shore y Off-Shore; y se tomaron como referencia los resultados obtenidos del estudio para el sistema On-Shore. El estudio de la universidad China usa dos turbinas eólicas de 1000 watts cada una; y un arreglo fotovoltaico de 3 paneles que aportan al sistema un total de 1200 watts de capacidad. Se obtiene como resultado que diariamente se pueden cargar hasta 11 bicicletas eléctricas con la potencia de ambos sistemas; de los cuales serían 4 con la potencia aportada por los paneles. Finalmente, el estudio indica que el costo de producción por Kw/h es de 0.62 USD

4.2.7 Estudio de caso: carga inteligente de bicicletas eléctricas con un sistema fotovoltaico conectado a la red – Alemania

En el año 2011, en el marco del 5° Simposio Europeo sobre modelado y simulación por ordenador, la universidad de Heilbronn en Alemania [20], presentó un Papper en el que se describe el desarrollo de una estación de carga para bicicletas eléctricas que son usados para ir de la casa al trabajo y de la casa a la universidad, su objetivo principal era maximizar la carga de las bicicletas a través de un sistema solar fotovoltaico, se definieron tres escenarios de carga:

El primero corresponde a carga directa, es decir, el sistema que carga el vehículo tan pronto se conecta, sin optimización y sin considerar la disponibilidad de energía del sistema. El segundo método, programa la carga en momentos específicos cuando el sistema de optimización anticipa la alta producción de energía solar. Finalmente, el tercer método programa la carga basada en métodos meteorológicos, prediciendo la disponibilidad de energía.

Se evidencia en el estudio que la carga directa es el método más básico lo que hace que sea simple y fácil de implementar y se asemeja a la forma como la estación de carga desarrollada en el presente trabajo de grado va a proveer energía a las bicicletas eléctricas.

Para el estudio del caso de Alemania, como la estación de carga está conectada a la red, presenta un reto, porque puede derivar en un mayor consumo de energía cuando la producción solar es insuficiente.

4.3 REGULACIÓN

En una primera etapa, es esencial abordar la definición y clasificación de los tipos de bicicletas eléctricas que actualmente circulan en el mercado. Con base en las investigaciones llevadas a cabo por la Universidad Monash [21], se pueden identificar fundamentalmente dos categorías de tecnologías a nivel mundial en lo que respecta a las bicicletas eléctricas: las denominadas "PB's" (powered bicycles, por sus siglas en inglés) y las "PAB's" (powered assisted bicycles).

En el caso de las PB's, se caracterizan por disponer de un motor que suministra potencia a la bicicleta mediante un interruptor, sin requerir intervención del pedaleo por parte del ciclista. Por otro lado, las PAB's, que en el mercado colombiano se conocen como "Bicicletas de Pedaleo Asistido", son un tipo de vehículo dotado de un motor diseñado para asistir al esfuerzo realizado por el conductor y se rigen según la Resolución 160 de 2017 del Ministerio de Transporte [22].

Esta distinción es fundamental, ya que los dos tipos de bicicletas eléctricas presentan diferencias significativas en su funcionamiento y nivel de asistencia al pedaleo que proporcionan. Entender esta clasificación sienta las bases para abordar aspectos regulatorios y de seguridad que puedan estar relacionados con la movilidad en bicicleta para el contexto colombiano y más específicamente en Bogotá.

Considerando lo expuesto y basándose en la regulación colombiana, es importante destacar que la Resolución 160 del 2017 del Ministerio de Transporte [22], en concordancia con la normativa local emitida en la Resolución No. 137609 de 2023 [23] de Bogotá, establece el marco regulatorio aplicable al mercado colombiano de bicicletas eléctricas, fundamentalmente para las de pedaleo asistido y enruta así el mercado mismo a optar por este tipo de bicicletas. Estas regulaciones imponen restricciones técnicas, limitando la potencia del motor a 0.35 kW y la velocidad máxima a 25 km/h, así como el peso de la bicicleta, que no debe superar los 35 kg.

Además de las especificaciones técnicas, estas resoluciones autorizan el uso de estas bicicletas en espacios como aceras, andenes, ciclovías y ciclorrutas, entre otros. Esta disposición promueve y facilita la adopción masiva de bicicletas eléctricas en el contexto colombiano y Bogotano, alineándose con los objetivos de descarbonización del transporte y fomento a la movilidad sostenible.

De acuerdo con los datos recopilados en regulaciones internacionales de bicicletas eléctricas, provenientes de fuentes como la Publicación del Institute for Sensible Transport en Melbourne, Australia, y del Department of Civil and Environmental Engineering de la Universidad de Tennessee en los Estados Unidos [24], al comparar la regulación colombiana con la de otros países, se evidencian ciertas diferencias en los límites y condiciones técnicas.

En Colombia, como se mencionó anteriormente, la potencia máxima permitida para el motor es de 0.35 kW; mientras que en los Estados Unidos se permite una potencia de hasta 0.75 kW, en Canadá de 0.5 kW y en Australia, la Unión Europea y Japón de 0.25 kW. Estas cifras ubican a Colombia en una posición intermedia en cuanto a la potencia del motor permitida, ya que es más permisiva que Australia, la Unión Europea y Japón, pero más restrictiva que los Estados Unidos y Canadá.

Respecto a la velocidad máxima permitida, Colombia establece un límite de 25 km/h, cifra que se asemeja al límite de 24 km/h en Japón. Sin embargo, los Estados Unidos permiten una velocidad máxima de 32 km/h, al igual que Canadá y Australia, por otro lado, en la Unión Europea el límite es de 25 km/h, mientras que en China se establece un límite de velocidad de 12 km/h. De esta manera, Colombia se ubica en una posición intermedia en cuanto a la velocidad máxima permitida, siendo más permisiva que China pero más restrictiva que los Estados Unidos, Canadá y Australia.

4.4 LA TECNOLOGÍA DE LAS ESTACIONES DE CARGA

Para definir los avances y requerimiento de la estacione de carga, en el presente proceso, se estimarán las condiciones estándar, como: la disponibilidad puntos de carga y la simultaneidad de carga de baterías. Para realizar una revisión inicial de las condiciones y funciones de una bicicleta, se estudia las características de dos referencias estándar en el mercado de estas. De este modo, se pude contar con la siguiente información [25], [26]:

TIPO MOTOR	Motor HUB DC sin escobillas
CONDICIONES DE AUTONOMÍA	Hasta 30 Km* a 25 km/h en terreno plano, a una altura de 1.500 msnm. Conductor de 70 kg, batería nueva con 100% de carga y una temperatura 25°C-35°C
POTENCIA MOTOR (WATTS NOMINAL)	350 W
AUTONOMÍA	Hasta 65 km
VELOCIDAD MÁXIMA DE ASISTENCIA	25 km/h
TIEMPO DE CARGA	6-8 h
TIPO DE TOMACORRIENTE	110 V/60 Hz
BATERÍA	36V10Ah
TIPO DE BATERÍA	Litio ion
VIDA ÚTIL BATERÍA (CICLOS DE 100%)	700
BATERÍA REMOVIBLE	Si
PESO EN SECO(KG)	20 Kg
CARGA MÁXIMA (KG)	110 Kg

Tabla 1 Bicicleta Starker Bici One de Auteco [25]

TIPO MOTOR	Motor HUB DC sin escobillas
CONDICIONES DE AUTONOMÍA	Hasta 30 Km. Conductor de 80 kg, batería nueva con 100% de carga.
POTENCIA MOTOR (WATTS NOMINAL)	500 W
AUTONOMÍA	Hasta 30 km
VELOCIDAD MÁXIMA DE ASISTENCIA	30 km/h
TIEMPO DE CARGA	6-8 h
TIPO DE TOMACORRIENTE	110 V/60 Hz
BATERÍA	36V10Ah
TIPO DE BATERÍA	Litio ion
VIDA ÚTIL BATERÍA	NA
BATERÍA REMOVIBLE	Si
PESO EN SECO(KG)	22 Kg
CARGA MÁXIMA (KG)	120 Kg

Tabla 2 Bicicleta Starker Bici One de Auteco [26]

Analizando el mercado de las bicicletas eléctricas, sus modelos y características se observa que la potencia de motor de la mayoría de las bicicletas es de 0.35KW (acorde al marco regulatorio), sus autonomías varían entre 20 y 30 Km, que el tipo de conector a la red es de 110VAC y 60 Hz, y las baterías tiene un tiempo de carga entre 6 y 8 horas.

Capítulo 5

METODOLOGÍA

El desarrollo procedimental del presente proyecto se llevará a cabo a través de los siguientes pasos:

En principio, se define la zona de implementación mediante un proceso de selección considerando diferentes opciones, para ello, se tiene en cuenta aspectos relevantes de decisión como el espacio disponible, la demanda potencial, el costo de arrendamiento, entre otros; como resultado de este proceso, se conocerá el lugar más apropiado para integrar la estación de carga.

Después, es analizado el recurso solar mediante la revisión bibliográfica sobre diferentes bases de datos de instituciones especializadas en el tema. Fruto de esta indagación, es conocida la disponibilidad de recurso solar de la zona escogida que permite luego dimensionar los equipos requeridos.

Se dimensiona los equipos e instrumentos principales de la estación de carga, para ello se toma como base de diseño la demanda energética útil del sistema, la autonomía del sistema, la previsión de pérdidas y la disponibilidad del recurso solar. Adicionalmente, se toma en cuenta equipos con características comerciales en el dimensionamiento, esto para llevar a cabo un diseño factible de desarrollar.

En el cálculo del dimensionamiento de los equipos, se define: La arquitectura del sistema de gestión y distribución de la energía en el cual se especifica la arquitectura eléctrica de la estación; luego, para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento se especifica el tipo de baterías y la cantidad necesaria para suplir la autonomía propuesta para la estación de carga.

Posteriormente, para el cálculo del sistema fotovoltaico, son dimensionados los paneles solares requeridos y la cantidad para suplir la demanda energética útil del sistema junto con la requerida para almacenar. Este desarrollo se lleva teniendo en cuenta la cantidad de energía disponible del sistema y la incidencia energética tomada por radiación.

En el dimensionamiento del inversor–controlador, se especifica el inversor a utilizar, considerando las condiciones límite de potencia, corriente y operativas de electricidad especificadas en la arquitectura eléctrica de la estación de carga.

Finalmente, para terminar con el dimensionamiento de la estación de carga, se lleva a cabo un barrido de algunos accesorios no mayores, requeridos para el diseño de la estación de carga.

Para llevar a cabo la validación del dimensionamiento obtenido, se realiza una simulación en el aplicativo PV-Syst como método de contraste entre los datos obtenidos a través del dimensionamiento propio del sistema y el desarrollo a través de un aplicativo especializado en dimensionamiento de este tipo de circuitos.

Para terminar, se realiza un análisis presupuestal del costo de inversión de la estructura de estación de carga teniendo en cuenta los diferentes equipos e instrumentos seleccionados en el apartado específico de equipos. Este presupuesto obtenido también permite realizar un análisis del costo por kWh de instalación normalizado en un periodo operativo de 20 años.

Capítulo 6

RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Definición de la zona de implementación

Para definir el punto de instalación de la estación de carga, se realizó un análisis de las zonas públicas donde pudieran ser instalados. Para ello, se llevó a cabo una matriz de selección en la cual se identificaron algunos factores determinantes a fin de encontrar la locación más propicia para el montaje de la estación. En la tabla No. 3, se puede observar la matriz de análisis.

ASPECTO	ZONAS					
	PESO	PARQUE PÚBLICO	UNIVERSIDAD	PARQUEADERO	EMPRESA	CENTRO COMERCIAL
Espacio Disponible	15%	5	4	4	2	2
Demanda potencial	20%	5	5	2	5	4
Regulación del lugar	5%	1	3	4	3	2
Costo de Arrendamiento	10%	1	4	1	2	1
Percepción de Recurso	20%	5	3	1	2	4
Seguridad	20%	1	5	5	5	5
Infraestructura Comun.	5%	1	5	3	4	4
Ubicación / Accesibilidad	5%	4	3	4	4	4
PROMEDIO	100%	3,35	4,15	2,85	3,45	3,5

Tabla 3 Selección de instalación de estructura de estación de carga de bicicleta

Tras analizar las características y condiciones de cada ubicación, se obtuvo que el sitio más interesante para la implementación de la estación de carga solar, es una universidad, basado

en su alineación con los requisitos técnicos, operativos y de seguridad del proyecto; así las cosas se tomo como punto para todos los análisis del recurso solar, a la sede Claustro de la Universidad del Rosario, la cual tiene las siguientes coordenadas:

Latitud: 4.6005° N , Longitud: -74.0735° E

6.2 Análisis del recurso solar (horas solares pico - HSP)

Con el fin de calcular las horas solares pico en la ciudad de Bogotá, se consultaron las bases de datos de Ideam [27], del Global Solar Atlas [28], así como del Laboratorio Nacional de Energía Renovable [29] y de la Nasa [30] para las coordenadas mencionadas anteriormente. Se tomaron las medidas históricas de irradiación global horizontal horaria (desde las 00:00 hasta las 23:59) para un periodo de tiempo entre el 01 de enero de 2013 a 31 de diciembre de 2022.

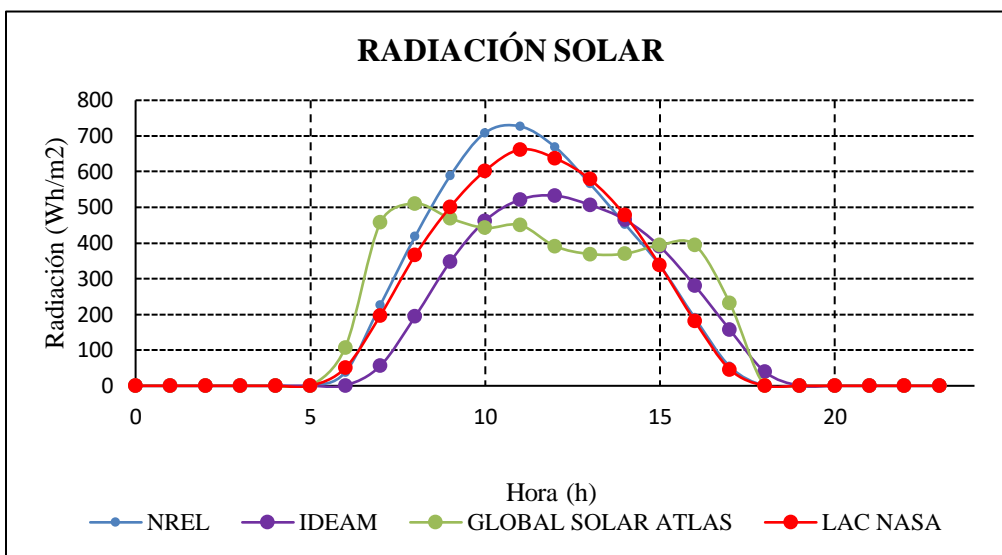


Figura 1 Comparativo de la radiación solar de las múltiples fuentes de datos (w/m2).

Se efectuó un análisis estadístico que proporcionó la información de radiación que muestra en la *Tabla No. 4 del apéndice*, y que se representa en la *Figura No. 1*, de la variación horaria de la radiación solar (Wh/m²).

El gráfico presenta la intensidad de la radiación a lo largo de un día típico, destacando las diferencias en los picos y la distribución temporal de dicha radiación entre las diferentes fuentes. Este análisis permitió evaluar la fiabilidad y consistencia de los datos de radiación solar utilizados en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico que se desarrolla en este trabajo.

Posteriormente, se realizó un promedio de la radiación solar de las múltiples fuentes teniendo la información individual de cada base de datos; observando las horas en las que existe radiación solar, dando como resultado los datos de la *Tabla No. 5*:

Hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Prom.	49	234	373	476	554	590	558	505	442	365	261	122	10

Tabla 4 Promedio de Radiación Solar Multifuente (Wh/m²)

De acuerdo con la *Figura No. 2*, los datos promediados y que se muestran en la *Tabla No. 5*, indican que existe una mayor radiación solar entre las 11 a.m. y las 12 del mediodía para el punto seleccionado.

Por otro lado, Para hacer el análisis estadístico de los datos, se realizó un promedio de radiación por franja horaria de las bases de datos durante todo el tiempo analizado, para luego sumar todos los promedios y obtener una radiación diaria total de 4.55 KWh/m², lo que es equivalente a la suma de las radiaciones del área bajo la curva de la *Figura No. 2*, obteniendo que para el emplazamiento elegido se tiene un cálculo de **4.5 Horas solares Pico** concepto que se refiere al número de horas en las que la irradiancia solar es igual a 1 kW/m².

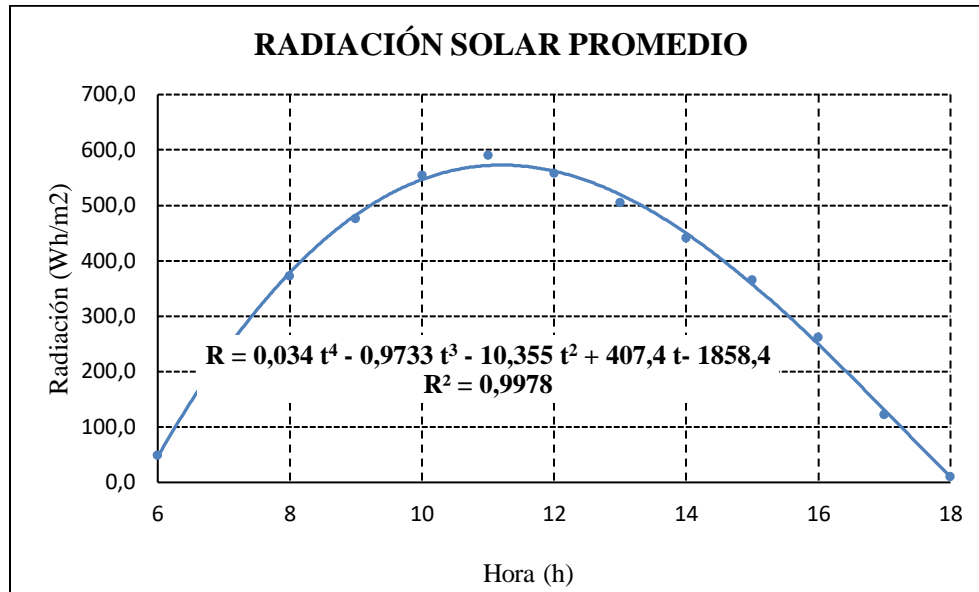


Figura 2 Radiación horaria disponible

Según el informe de brillo solar emitido por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) [31] y que se pueden apreciar en la *Figura No. 17* del Apéndice No. 4, se ha encontrado que para la ciudad de Bogotá se cuenta con un promedio multianual de 4 a 5 horas sol efectivas de radiación diariamente.

De acuerdo con el análisis estadístico llevado a cabo y con el fin de adoptar un enfoque conservador en la estimación del potencial solar para el proyecto, se ha decidido utilizar un valor de 4 horas solares pico diarias. Esta consideración permite una evaluación más prudente y realista del rendimiento esperado de la Estación de Carga Solar en las condiciones específicas de la ciudad.

6.3 Dimensionamiento de estaciones de carga

En este proyecto se dimensionará una estación de carga para baterías de bicicletas eléctricas, que podrá cargar 5 baterías simultáneamente.

Para definir los requerimientos energéticos de la estación carga, inicialmente se definen los elementos que podrían tener algún tipo de consumo eléctrico y su respectiva verificación cuantitativa.

El primer elemento evaluado es la batería de las bicicletas, pues el consumo de energía de las baterías va a depender de la distancia que haya sido recorrida [32], sin embargo, para el presente caso se realizará el dimensionamiento para la condición en la que se deba cargar por completo la batería. Teniendo en cuenta la teoría, se supone una capacidad máxima de almacenamiento de 360 Wh de energía y un tiempo de recarga de seis horas [33]. Por consiguiente, se obtiene que, para alimentar 5 puntos de carga, con un tiempo de alimentación de 6 horas (para carga completa) durante un total de 12 horas de operación continua, se requiere 3600 Wh/día.

Adicionalmente, se realiza un cálculo de consumo energético sobre otros ítems de operación directa o indirecta que se implementan en las diferentes estaciones. Para ello, se contará con:

Una red inalámbrica, usualmente el consumo nominal está dado por rangos de valor que van desde los 5 hasta los 20 W [34], sin embargo, para causas de cálculo se asume un valor de 24 W.

Adicionalmente, se alimentará una electrónica de automatización de 36W [35]; un alumbrado de 4 bombillos de 8 Watts de consumo cada uno, una pantalla de anuncios tipo LED de 43" que consume 58W [36], y una cámara WiFi que consume 12W [37].

Para conocer el valor total de energía requerida por cada dispositivo auxiliar se toma en consideración el tiempo de uso de cada uno durante una jornada. Finalmente, se obtiene los siguientes resultados:

	Potencia Req. (W)	Tiempo (h)	Energía Req. (Wh)/día
Requerimiento de Energía (Wh/día)			1.552
Electrónica de Automatización	36	12	432
Infraestructura de Comunicación	24	12	288
Alumbrado (4 bombillos 8 w)	32	2	64
Pantalla de Anuncios (tv industrial 43")	58	12	696
Cámara WIFI	6	12	72

Tabla 5 Requerimiento energético

Finalmente, se obtiene que el requerimiento directo de energía operacional por cada estación de carga es de 5152 Wh/día.

Adicionalmente, previendo el requerimiento de almacenamiento energético, para brindar autonomía cuando el proceso de generación no sea suficiente, se diseñará un sistema de almacenamiento con capacidad de 1 día de energía (5152 Wh/día), el cual se cargará completamente en 4 días (cada día se carga un 25%).

De esta manera, se obtiene que el total de energía útil que se debería producir por día debería ser de 6440 Wh/día.

6.4 Arquitectura del sistema de gestión y distribución de la energía

En la figura No. 3 se muestra la arquitectura del sistema de gestión y distribución de energía de la estación de carga para bicicletas eléctricas; esta se basa en una integración de tecnologías de generación, almacenamiento y conversión de energía. Este sistema está diseñado para maximizar el aprovechamiento de la energía solar, garantizando la continuidad del suministro de energía mediante una gestión automatizada de los flujos de energía entre los módulos fotovoltaicos, los sistemas de almacenamiento y los requerimientos de carga (bicicletas y equipos de operación de la estación).

La arquitectura tiene en cuenta la implementación de protecciones adecuadas en ambos tipos de corrientes – continua (DC) y alterna (AC) -, asegura la operación segura y fiable del sistema, por otro lado, la bidireccionalidad del inversor permite una optimización dinámica del uso de la energía.

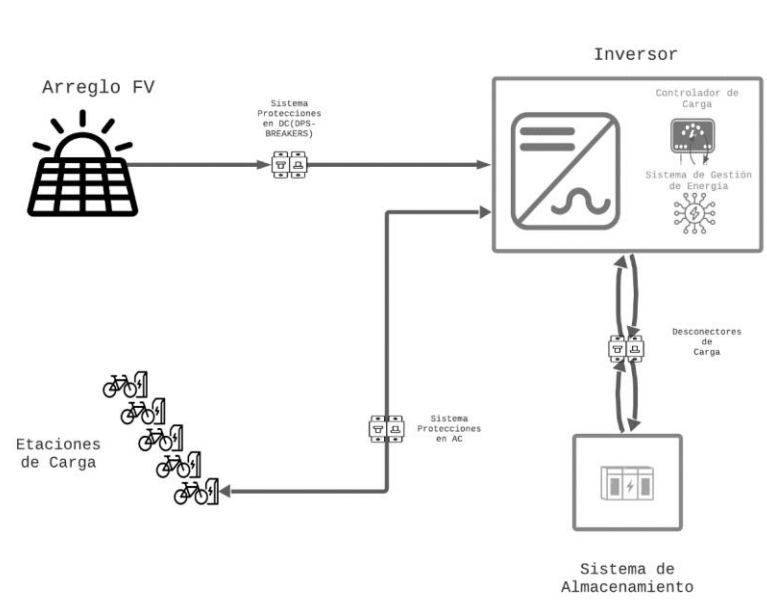


Figura 3 Arquitectura del sistema de gestión y distribución de la energía

6.5 Condiciones del sistema eléctrico

Para desarrollar la implementación del sistema eléctrico de la estación de carga, se define el uso de voltaje estándar de 24V para todo el sistema teniendo en cuenta los modelos anteriormente estudiados. Cabe resaltar que para las baterías el voltaje será de 12 V de tensión [38], por lo que se requiere un arreglo de dos baterías en serie para alcanzar los 24V del sistema.

6.6 Cálculo del sistema de almacenamiento

Para llevar a cabo el cálculo de los requerimientos de almacenamiento, se toma en cuenta las bases de cálculo especificadas anteriormente y se procede a evaluar la cantidad de baterías necesarias.

Para conocer la cantidad de energía a almacenar, se toma en cuenta la demanda de energía total diaria del sistema y la autonomía que se diseña; y que modela de acuerdo con la ecuación No. 1.

$$\begin{aligned} \text{Almacenamiento de Energía (Wh)} &= \text{Demanda Diaria} \cdot \text{Autonomía (días)} \\ \text{Almacenamiento de Energía (Wh)} &= 6440\text{Wh/día} \cdot 1 \text{ (días)} \end{aligned} \quad \text{Ec. 1}$$

Se obtiene que se requiere almacenar un total de 6440 Wh para satisfacer una autonomía de un día.

Conociendo la tensión del sistema (24 V) y la cantidad de energía requerida para almacenar (6440 Wh/día), es posible conocer de manera directa la corriente requerida, de acuerdo con la ecuación No. 2.

$$\text{Demanda diaria de Corriente (Ah)} = \frac{\text{Almacenamiento de Energía (Wh)}}{\text{Voltaje del Sistema (V)}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Demanda diaria de Corriente (Ah)} = \frac{6440 \text{ (VAh)}}{24 \text{ (V)}}$$

Así se obtiene que la demanda de corriente diaria requerida es de 268Ah.

Para evaluar la cantidad de baterías requeridas por el sistema, se hacen los cálculos propuestos en la ecuación no. 3, teniendo como base una batería comercial de .150Ah escogida para los cálculos y modelamiento de la estación.

$$\text{Cantidad Baterías} = \frac{\text{Demanda Diaria de Corriente (Ah)} * \text{Días de Autonomía}}{\text{DoD} * \text{Capacidad Comercial de Batería}} \quad \text{Ec.3}$$

$$Cantidad\ Baterias = \frac{268\ (Ah) * 1}{0.6 * 150Ah}$$

Se tomará profundidad de descarga de máximo 60%, obteniendo 3 baterías para satisfacer la necesidad del diseño.

Finalmente, sabiendo que las baterías escogidas tienen una potencia de operación de 12 voltios [39], se dimensionará el sistema bajo una arquitectura tipo híbrida de 2 baterías en serie (24V) y 3 subsistemas paralelos (450Ah); para un total de 6 baterías.

6.7 Cálculo de unidades de paneles solar

Para verificar la cantidad de paneles solares requeridos en el sistema, primero se debe evaluar la potencia pico de operación tal como lo modela la ecuación No. 4.

$$Potencia\ Pico = \frac{Demanda\ Diaria\ de\ Energía(wh)}{HSE\ (h)} \quad Ec.4$$

$$Potencia\ Pico = \frac{6440(wh)}{4\ (h)}$$

Se obtiene una capacidad fotovoltaica neta de 1610 W.

Para el presente ejercicio se asumirá que se cuenta con paneles de 24 V y 570 W (referencias comerciales); con 49.75V de Voc y 13.9A de Isc.

Para conocer la cantidad de paneles a utilizar se sigue la ecuación No. 5.

$$No.\ Paneles = \frac{Potencia\ Pico\ (W)}{P.\ Panel\ Solar\ (W)} \quad Ec.5$$

$$No.\ Paneles = \frac{1610\ (W)}{570\ (W)}$$

Obteniendo así un requerimiento de 2.8 unidades de paneles solares, que se aproxima a 3 unidades de paneles solares de 570W.

6.8 Inversor

Para elegir el inversor, se requiere tener en consideración la máxima capacidad de voltaje producida por el sistema, así como también la máxima corriente de corto circuito generada por los paneles. Así las cosas, se configura un arreglo fotovoltaico de 3 paneles en serie los cuales generan un total de 149 VDC en Voc y 13.9 A en Isc.

De acuerdo con lo anterior la capacidad en la entrada MPPT del inversor debe ser superior a 199 VDC y su capacidad para manejar corrientes de entrada mayor a 13.9A.

Una referencia comercial estándar es el inversor EPEVER UP-Hi [40], que tiene una entrada MPPT con un rango amplio de voltaje de 60V hasta 220V, y capacidad de manejar corrientes de entrada de hasta 50 A; que lo hace compatible con el arreglo propuesto. Además, el EPEVER UP-Hi presenta una alta eficiencia de seguimiento MPPT (99.5%), optimizando la conversión de energía y maximizando la producción solar.

6.9 Accesorios

Adicional a lo anterior, se requiere incorporar varias protecciones esenciales para garantizar la seguridad y eficiencia operativa de la estación de carga [41]. Se requiere incluir elementos de protección contra sobrecorrientes como fusibles y disyuntores de corriente continua con valores específicos de 20A (de acuerdo a la corriente Isc) para el string de paneles solares (4 en serie) y de 200A para el banco de baterías.

Por otro lado, se deben instalar desconectores de carga, con una capacidad de 450A, que permiten una desconexión segura y facilitan las labores de mantenimiento.

Adicionalmente, es fundamental instalar dispositivos de protección contra sobretensión (DPS) con valores de 250VDC y 20A para los paneles solares, mitigando así los efectos de sobretensiones transitorias inducidas por rayos.

Estas medidas de protección son fundamentales para garantizar la integridad y ampliar la longevidad del sistema fotovoltaico.

6.10 Estructura

La estructura de la estación de carga para bicicletas eléctricas deberá soportar condiciones de funcionalidad y durabilidad, asegurando un estilo urbanístico acorde con el contexto del lugar donde se vaya a instalar. La estructura será fabricada en Cold Rolled para que soporte los paneles solares y tendrá una cubierta de protección para evitar filtraciones de agua producida por la lluvia. Por otro lado, las bicicletas se ubicarán directamente sobre un piso de caucho, soportadas en la estructura (bolardo) que contiene el tomacorriente que provee la energía. Los componentes eléctricos (inversor, baterías, automatización y protecciones) estarán alojados en un gabinete ventilado para protegerlos de la humedad y el sobrecalentamiento.

La infraestructura del sistema automático de carga para bicicletas eléctricas incluirá puntos de carga equipados con tomacorrientes estándar con índice de protección IP65. Un sistema de control gestionará la autenticación del usuario y la activación de los puntos de carga, para lo cual debe estar conectado a Internet permitiendo la comunicación con una aplicación móvil y el monitoreo remoto del sistema. La estructura soportará una pantalla LED industrial de 55 pulgadas que proyectará publicidad de empresas dedicadas a la movilidad sostenible.

En las figuras No. 4, 5 y 6 se muestran la vista cenital, frontal y de perfil de la estación de carga, cada una con sus respectivas dimensiones; adicionalmente, la figura 7 muestra una posible integración urbanística de la estructura al lugar donde va a estar instalada.

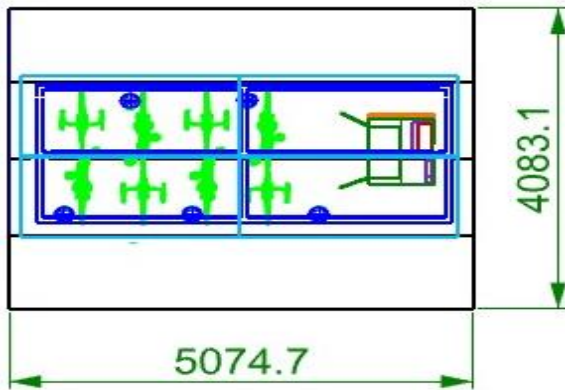


Figura 4 Vista Cenital de Estación (mm).

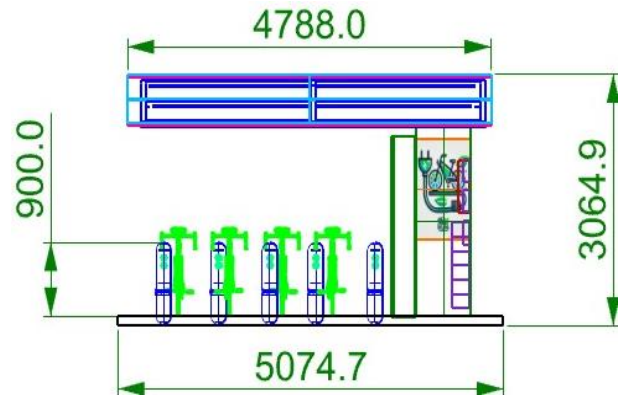


Figura 5 Vista Frontal de Estación (mm).

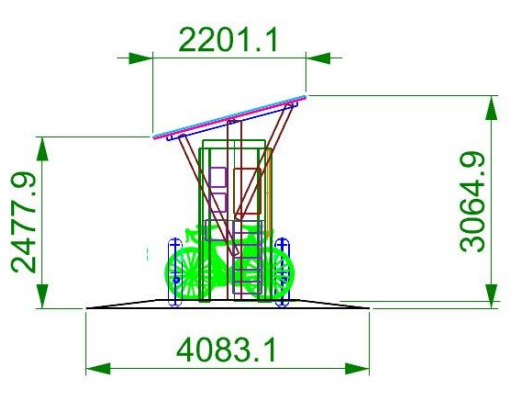


Figura 6 Vista lateral de Estación (mm).



Figura 7 Render Integración urbanística de la estación con el contexto de la ciudad.

6.11 Presupuesto

Para una posible futura implementación de una estación de carga para bicicletas eléctricas se requeriría un análisis económico detallado de los costos asociados a la inversión de capital, con el fin de asegurar su viabilidad.

Este análisis de costos incluye la evaluación de todos los componentes necesarios para la construcción y operación de la estación, como la estructura, los paneles solares, los sistemas de almacenamiento de energía, el inversor, los equipos de protección, así como de los equipos necesarios para el control e interacción con el usuario.

Al final de este análisis, se podría contemplar un presupuesto preciso, y se identificarían las oportunidades para optimizar gastos y maximizar el retorno de inversión. El mapeo detallado de los costos involucrados y desglosados por cada componente esencial del sistema, se encuentran en el Apéndice 2.

Se encontró que el costo de implementación de la estación de carga corresponde a 33.622.905 COP; adicionalmente, se lleva a cabo un análisis económico normalizado del precio por unidad de energía (NO tiene en cuenta costos de operación, mantenimiento y/o costos mayores desarrollo de operación). Así las cosas, previendo un ciclo de vida de 20 años por estación de carga; y sabiendo que al día se están produciendo 6.440 Wh de energía con un factor de planta de 0.8, se obtiene que el costo actual normalizado de producción es de 894 COP/KWh.

6.12 Simulación con Pvsyst

Para validar los resultados de los cálculos obtenidos, se realiza la simulación del sistema dimensionado con el software PVsyst (simulación que desempeña un papel crucial en la planificación y evaluación del sistema fotovoltaico propuesto). Aprovechando el reconocimiento de PVsyst como herramienta a nivel global en el contexto de la industria

de la energía solar fotovoltaica, y su utilización para el dimensionamiento, análisis de rendimiento y evaluación económica de sistemas fotovoltaicos.

En la simulación, se modeló de manera detallada las condiciones específicas del sitio, como la irradiancia solar, las características climáticas y la configuración del sistema, permitiendo obtener estimaciones precisas sobre la producción de energía y la eficiencia del sistema. El detalle de la parametrización se encuentra en el Apéndice 3.

En la *Figura No. 8*, se muestra que la radiación solar promedio del emplazamiento escogido es de 4.64 KWh/m², dato que ratifica el calculado de 4.55KWh/m² obtenido mediante la modelación estadística realizada en el apartado 4.2 del presente documento.

Sitio UROSARIO NREL (Colombia)				
Fuente de datos <input type="text" value="NREL NSRDB Typ. Met. Year PSMv3_1998 to 2020"/>				
	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s
Enero	5.17	1.96	11.5	1.58
Febrero	4.92	2.42	12.8	1.40
Marzo	4.15	2.41	12.5	1.33
Abril	4.41	2.69	12.4	1.21
Mayo	4.74	2.73	11.9	1.41
Junio	4.87	2.50	11.4	1.44
Julio	4.71	2.52	10.8	1.38
Agosto	4.67	2.80	11.1	1.51
Septiembre	4.75	2.72	11.2	1.28
Octubre	4.56	2.71	11.9	1.04
Noviembre	4.20	2.53	11.7	1.00
Diciembre	4.49	1.98	11.6	0.95
Año	4.64	2.50	11.7	1.3

Figura 8 Importación Sitio UROSARIO / NREL - Radiación

En la *Figura No. 9*, se muestran los resultados del dimensionamiento del sistema fotovoltaico (requerimientos de usuario, baterías, inversor y paneles fotovoltaicos) y que corroboran los elegidos mediante análisis teórico de la solución propuesta en el Capítulo 4 del presente documento.

Necesid. usuario	Hogar	Potencia prom.	268 W
	Proporción nocturna 50.0%	Energía día	6.4 kWh
Paquete de baterías	3 en paralelo, 24 V	Capacidad	467 Ah
	Autonomía 1.5 día	Energía almacenada	9.7 kWh
Generador FV	1 cadena(s) de 3 módulos	Potencia nom.	1710 Wp
	PV/PLoad 6.4	Energía prom. día	5.4 kWh
Controlador	Convertidor MPPT	Potencia nom.	2.90 kW
	PV/PConv 0.59	Umbrales	según SOC

Figura 9 Resumen parametrización PVsyst.

En la Figura 10, se observa la producción y distribución de la energía a través del sistema fotovoltaico (Energía útil, pérdidas del sistema FV, energía no utilizada y Pérdidas del sistema junto con las baterías). Se encuentra que la porción más variable es la de las pérdidas del sistema, esto se debe a la variación de la radiación y del almacenamiento.

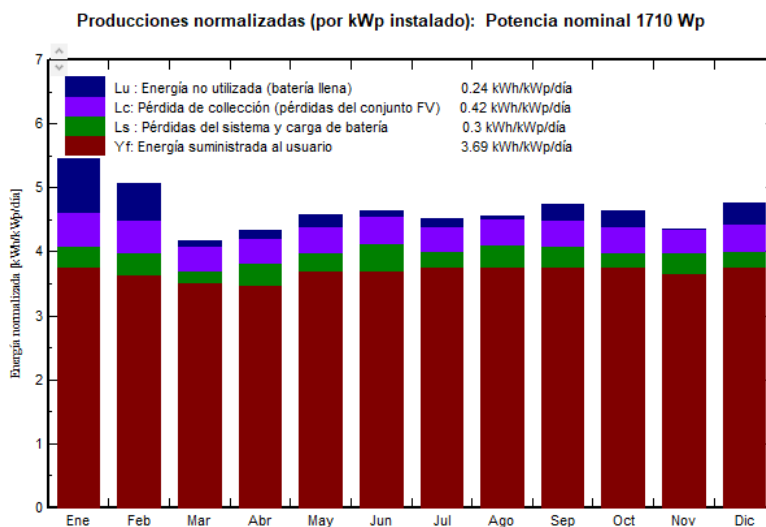


Figura 10 Producciones normalizadas por mes

Además, en la Figura 11 y 12, se puede observar la cantidad de energía producida por el sistema en cada día del año vs el estado de carga de las baterías para los periodos similares. Como se observa, la tendencia de las gráficas es similar, porque cuando hay baja producción, el sistema de almacenamiento debe entregar energía para mantener la capacidad requerida, lo que se traduce en descarga de las baterías.

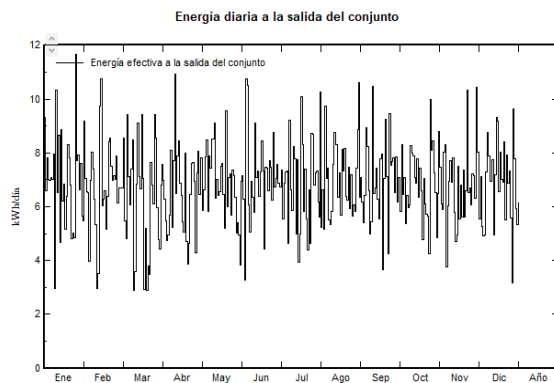


Figura 11 Energía de Salida del Sistema

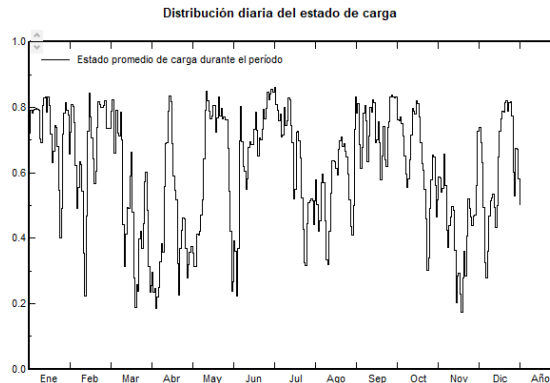


Figura 12 Estado de carga de baterías

La Figura 13 presenta una comparación entre el índice de rendimiento del sistema y la fracción de energía incidente, allí se puede observar que hay meses donde la energía incidente es elevada, sin embargo, el rendimiento tiende a ser menor, esto se debe a que hay la porción de energía no útil aumenta aun cuando la energía total producida por el sistema es mayor, tal y como se verificó en la Figura 10.

En cuanto al brillo solar, podemos definir que no hay una variación muy elevada entre los meses del año, esto se debe a que, al estar ubicados cerca al Ecuador, el nivel de irradiancia no varía de manera abrupta entre los meses, cómo si pudiera ocurrir en zonas alejadas de la línea del Ecuador.

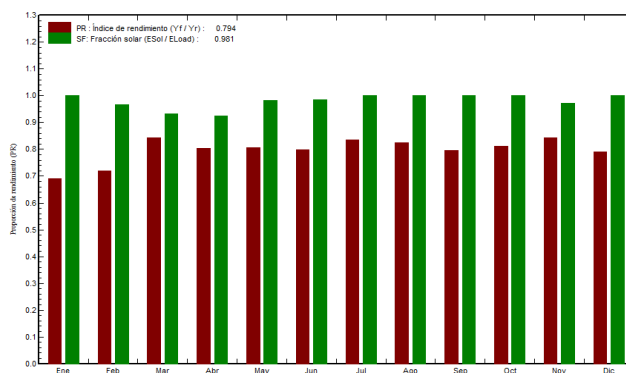


Figura 13 Rendimiento

6.13 RESULTADOS Y DISCUSION

El diseño de la estación de carga presenta avances frente a una fehaciente necesidad actual de desarrollo de infraestructuras ambientalmente más amigables; pues, como se ha mencionado la implementación de tecnologías sostenibles, juega un papel crucial en desarrollar temas relacionados con movilidad y transporte más limpio y con menor impacto ambiental; así, este proyecto se alinea estratégicamente con políticas actuales de movilidad en Bogotá, particularmente con la implementación de un sistema multimodal para el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) y en general para el sector transporte de la ciudad.

La revisión de proyectos desarrollados en otros países permitió estimar el alcance actual de tecnologías similares instaladas a nivel mundial, además, permite sentar una percepción más aterrizada sobre las necesidades actuales de los usuarios y la influencia de la ubicación donde se instala, pues de no localizarse adecuadamente podría no ser usada por no estar al alcance de los usuarios. Adicionalmente, la revisión de los planes de Ordenamiento territorial, permitieron especificar de manera directa las adecuaciones estructurales de las estaciones para cumplir con los requerimientos propios de la ciudad y su entorno.

La cuantificación adecuada de las necesidades del usuario fue uno de los procesos esenciales para el dimensionamiento de la estación de carga, pues permitió especificar completamente el desempeño y capacidad de la aplicación. Además, junto con el análisis de disponibilidad de recursos permitió especificar completamente los equipos y accesorios mayores del sistema. Cabe resalta que para la especificación de los equipos contó con la revisión de las funcionalidades disponibles en el mercado, así se logra desarrollar un diseño más factible.

El recurso solar disponible en Bogotá permite desarrollar e implementar tecnologías de esta índole, pues no es requerido almacenamiento tan prolongado al haber disponibilidad

de recurso constante durante el año por la ubicación geográfica —cercana al ecuador— y porque las temporadas de lluvia o sequía no son tan agresivas.

La disponibilidad del espacio público de la ciudad es una oportunidad favorable al momento de implementar estaciones de carga, sobre todo porque en las zonas donde se aglomera mayor densidad de bici-usuarios, hay espacios abiertos como andenes y/o parques donde se podría instalar la estación y garantizar el funcionamiento óptimo de los sistemas de generación.

La validación realizada con el aplicativo de PV-Syst, permitió ratificar el diseño planteado teniendo en cuenta la disponibilidad y viabilidad del desarrollo. Pues la implementación de estaciones de carga con respaldo de sistemas de almacenamiento por baterías permite cargar las baterías de la bicicleta y garantizar la disponibilidad de carga el mayor tiempo posible.

Además, la implementación de estaciones de carga permitiría a los usuarios contar con un aliado para utilizar sus bicicletas eléctricas como un medio alternativo de transporte menos caótico, estresante y que brinda sensación de libertad. Adicionalmente, en temas relacionados a la salud y bienestar, permitiría desarrollar hábitos saludables física y psicológicamente al llevar a cabo el pedaleo y disfrutar del recorrido transitado.

La revisión del presupuesto de implementación de los accesorios y materiales de la estructura de la estación de carga arroja un costo de aproximadamente 40 millones de pesos (Año 2024), el cual podría parecer un costo relativamente elevado, sin embargo, si se lleva a cabo un análisis normalizado a lo largo de los años, se encuentra que dicho costo inicial se amortiza sin novedad durante un plazo de 20 años y adicionalmente, podría representar oportunidades interesantes de capitalización para los inversionistas no solo por el costo del servicio suministrado, sino también por la implementación de patrocinios y/o canalización de mercadeo de terceras compañías.

El desarrollo y diseño de la estación de carga realizado en este trabajo de grado permite dar estrategias de análisis y previsión de algunos procesos para integrar las tecnologías de transición energética en el transporte. Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías implica la inversión de recursos que podrían no estar disponibles actualmente, pero que tendría retorno directo durante algunos años con rentabilidades apreciables.

El desarrollo de estaciones de carga para bicicletas en lugares públicos de Bogotá es una de las varias estrategias disponibles para llevar a cabo el proceso de transición energética, sin embargo, podría llegar a ser una de las estrategias de mayor alcance por la fácil consecución de las bicicletas y la sencillez de su operación. Es por ello por lo que se espera que las estaciones de carga acrecienten y favorezcan el desarrollo de la transición energética.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

Del presente proyecto de grado, se puede concluir que:

Los requerimientos de carga para bicicletas eléctricas se encuentran estandarizados hoy en día, con baterías con capacidades de almacenamiento de 360Wh y autonomía de unos 18 km. Esta condición permitió sentar las bases de diseño de nuestro sistema de carga desarrollado.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de recurso solar y el alcance de las estaciones de carga para bicicletas eléctricas, se puede considerar que con una estructura no tan compleja es posible proveer los requerimientos de carga, lo cual permite que su implementación sea interesante por su sencillez y eficiencia.

Los costos de inversión de las estaciones de carga no representan una inversión y que podría lograr un rápido punto de equilibrio al disponer de retorno de capital por la prestación del servicio de carga, la implementación de puntos de publicidad y otros beneficios otorgados del gobierno por la naturaleza renovable del establecimiento.

El desarrollo global diseño de la estación de carga es una estrategia de emprendimiento base para la tan polémica y controversial transición energética en el sector transporte, esto debido al valor agregado que entrega y su sencillez de instalación, además, porque mitiga uno de los impactos de mayor envergadura de emisión e impacto ambiental negativo – El transporte.

Referencias

- [1] IDEAM, «Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero - Colombia,» Impresiones y Acabados, Bogotá, 2016.
- [2] Universidad Libre - Seccional Bogotá, «Universidad Libre,» 21 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.unilibre.edu.co/bogota/ul/noticias/noticias-universitarias/3651-estudio-de-la-universidad-libre-revela-completa-radiografia-del-uso-de-la-bicicleta-en-bogota>. [Último acceso: 01 02 2024].
- [3] Secretaría de Desarrollo Económico de Bogotá, «Secretaria de Desarrollo Económico,» 02 11 2021. [En línea]. Available: <https://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/dinamica-empresarial/el-negocio-de-la-bici-en-bogota-su-productividad-y-potencial-crecimiento>. [Último acceso: 2024 02 01].
- [4] USAENE, UPME, «Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga para la Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos: Buses, motos, taxis, BRT.,» Bogotá, 2019.
- [5] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Bogotá cuenta con nuevos paraderos 'inteligentes' del SITP ¡Conócelos!,» Bogotá, 2024.
- [6] A. C. Lazaroiu, Mohammed Gmal Osman y Gmal Osman, «A Comprehensive Overview of Photovoltaic Technologies and Their Efficiency for Climate Neutrality,» *MDPI*, p. 24, 2023.
- [7] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, «GREEN PAPER on The Inapact of Transport on the Envlroment,» Bruselas, 1992.
- [8] K. E. Portney, *Sustainability*, The MIT Press, 2015.
- [9] P. Ribeiro y G. Dias, «Transport Systems and Mobility for Smart Cities,» *MDPI*, p. 11, 2021.
- [10] J. D. Gonzalez Llorente y S. Sanchez Sanjuan, *Introducción a la Energía Solar: Sistemas fotovoltaicos de baja potencia*, Bogotá: Autores Editores, 2021.
- [11] Secretaria de Movilidad de Bogotá, «BOGOTA,» 09 09 2022. [En línea]. Available: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/cuantas-personas-se-mueven-en-bicicleta-en-bogota>. [Último acceso: 2024 02 01].
- [12] R. Emblin, «The City Paper,» 05 02 2021. [En línea]. Available: https://thecitypaperbogota.com/bogota/perception-of-security-in-bogota-at-worst-point-in-five-years/#google_vignette. [Último acceso: 2024 02 09].
- [13] Secretaria de Movilidad de Bogotá, «Movilidad Bogotá,» 2024. [En línea]. Available: https://www.movilidadbogota.gov.co/web/mapa_de_ciclorrutas_de_bogota. [Último acceso: 2024 06 11].

- [14] L. Winslott Hiselius y Å. Svensson, «E-bike use in Sweden e CO2 effects due to modal change and municipal promotion strategies,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 147, pp. 818-824, 2016.
- [15] V. Ghotge y W. Folkerts, «DESIGN OF AN AUTONOMOUS SOLAR CHARGING STATION FOR E-BIKES,» *33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, p. 5, 2017.
- [16] C. M. Gautham Ram , P. Van Duijsen, F. Grazian, A. Jamodkar, P. Bauer y I. Olindo, «Sustainable E-Bike Charging Station That Enables,» *MDPI*, p. 21, 2020.
- [17] J. Weinert, C. Ma y C. Cherry, «The transition to electric bikes in China: history and key,» Springer Science+Business Media B.V., 2007.
- [18] D. Florez, H. Carrillo, R. Gonzalez, M. Herrera, R. Hurtado, M. Cano, S. Roa y T. Manrique, «Development of a Bike-Sharing System Based on Pedal-Assisted Electric Bicycles for Bogota City,» *MDPI*, p. 31, 2018.
- [19] W. Afzal, L.-Y. Zhao, G.-Z. Chen y Y. Xue, «Hybrid Wind/PV E-Bike Charging Station: Comparison of Onshore and Offshore Systems,» *MDPI*, p. 19, 2023.
- [20] S. Mesentean, W. Feucht y H.-G. Kula, «Smart Charging of Electric Scooters for Home to Work and Home to Education Transports from Grid Connected Photovoltaic-Systems,» Reinhold Würth-University, Künzelsau, Germany, 2010.
- [21] G. Rose, «E-bikes and urban transportation: emerging issues and unresolved questions,» *Springer*, vol. 39, pp. 81-96, 2011.
- [22] Ministerio de Transporte, «Resolución No. 0160 de 2017,» Bogotá, 2017.
- [23] Secretaría de Movilidad de Bogotá, «Alcaldía de Bogotá,» 30 05 2023. [En línea]. Available:
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=142619&dt=S>.
 [Último acceso: 20 05 2024].
- [24] E. CHERRY, «E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research,» *Taylor & Francis*, pp. 1-20, 2015.
- [25] Auteco, «Auteco,» 2023. [En línea]. Available:
<https://www.autecomobility.com/bicicleta-electrica-starker-bici-one-aluminio/p>.
 [Último acceso: 01 06 2024].
- [26] Auteco, «Auteco,» 2023. [En línea]. Available:
<https://www.autecomobility.com/bicicleta-electrica-starker-urban-st-aluminio/p>.
 [Último acceso: 1 06 2024].
- [27] IDEAM, «DHIME,» 2023. [En línea]. Available:
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>. [Último acceso: 01 04 2024].
- [28] Global Solar Atlas, «Global Solar Atlas,» 2023. [En línea]. Available:
<https://globalsolaratlas.info/map>. [Último acceso: 31 01 2024].
- [29] Nrel, «National Solar Radiation Database,» 2023. [En línea]. Available:
<https://nsrdb.nrel.gov/data-viewer>. [Último acceso: 01 04 2024].

- [30] Nasa, «Nasa Prediction of Worldwide Energy Resources,» 2023. [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>. [Último acceso: 01 04 2024].
- [31] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, «MAPAS DE BRILLO SOLAR,» Bogotá, 2018.
- [32] E. Burani, G. Cabri y M. Leoncini, «An Algorithm to Predict E-Bike Power Consumption Based on Planned Routes,» *MDPI*, vol. 11, n° 1105, pp. 1-15, 2022.
- [33] M. Melligera , O. Van Vliet y H. Liimatainen, «Anxiety vs reality – Sufficiency of battery electric vehicle range in Switzerland and Finland,» *Science Direct*, pp. 101-115, 2018.
- [34] R. Ayre, K. Hinton y R. Tucker, «Energy Consumption in Wired and Wireless Access Networks,» *ENERGY EFFICIENCY IN COMMUNICATIONS*, pp. 1 - 8, 2011.
- [35] ZKTECO INC, «Serie-C3 Paneles IP para Control de Acceso,» Ciudad de México, 2020.
- [36] GVS Colombia, «GVS,» 01 01 2023. [En línea]. Available: <https://www.gvscolombia.com/producto/DHL43-F600>. [Último acceso: 13 06 2024].
- [37] EZVIZ TM, «H8c 2K+,» 2023.
- [38] K. Daffallah, «Experimental study of 12V and 24V photovoltaic DC refrigerator at different operating conditions,» *Science Direct*, vol. 545, pp. 237-244, 2018.
- [39] TENSITE, «GEL 12-150».
- [40] EPEVER, «UPower-Hi Series Inverter/Charger,» 2022.
- [41] I. Hetita, A. Zalhaf, D.-E. Mansour, Y. Han, P. Yang y C. Wang, «Modeling and protection of photovoltaic systems during lightning strikes: A review,» *Science Direct*, vol. 184, pp. 134-148, 2022.
- [42] J. C. P. Álvarez, «GUÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS Y APLICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN CREG 030 DE 2018 PARA INYECTAR EXCEDENTES DE ENERGÍA A LA RED,» Medellín, 2019.
- [43] AUTO SOLAR, «AUTOSOLAR,» 01 01 2023. [En línea]. Available: <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-550w-24v-monocristalino-jasolar>. [Último acceso: 10 05 2024].
- [44] M. Umair, N. Hidayat, A. Sukri Ahmad, H. Nik Ali, M. I. M. Mawardi y E. Abdullah, «A renewable approach to electric vehicle,» *PLOS ONE*, pp. 1 - 14, 2023.

APÉNDICE

Apéndice 1:

Tabla 6 Promedio de irradiación global solar horizontal por horas

HORA	NREL	IDEAM	GLOBAL SOLAR ATLAS	LAC NASA
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	38	1	108	50
7	226	56	457	197
8	419	194	511	366
9	588	347	469	501
10	709	463	442	603
11	727	522	450	662
12	669	533	391	638
13	566	507	369	579
14	453	466	370	478
15	337	390	394	338
16	190	280	394	181
17	54	157	232	46
18	0	40	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

Apéndice 2:

Tabla 7 Presupuesto para implementación

Componente	Cant.	Costo Unit (COP)	Costo Total (COP)
Paneles Solares Fotovoltaicos	3	369.616	1.108.848
Baterías 12 v 150AH	6	1.033.481	6.200.886
Inversores	1	2.679.139	2.679.139
Breaker DC	1	581.672	581.672
DPS DC	2	101.206	202.412
Protecciones en AC (Breakers)	2	25.000	50.000
Cajas para protecciones y de paso	2	65.000	130.000
Gabinete - Rack	1	2.500.000	2.500.000
Cajas de paso	2	55.000	110.000
Conectores Mc4	4	8.092	32.368
Cable solar	15	6.919	103.780
Canalización EMT	2	21.900	43.800
Canalización PVC	3	6.000	18.000
Infraestructura y Obra Civil			-
Perfil Cold Rolled 20X20	2	795.000	1.590.000
Perfil Cold Rolled 10 X 10	2	289.100	578.200
Perfil Cold Rolled 7 X 7	5	121.000	605.000
Tubo Cold Rolled 4 "	1	595.000	595.000
Concreto para columnas estructura	20	20.900	418.000
Tornillería y tuercas	1	200.000	200.000
Acabado Madera (pintura)	1	280.000	280.000
Acabado Metal (pintura)	1	200.000	200.000
Policarbonato Tejado	4	230.900	923.600
Sika impermeabilizante Policarbonato	4	45.900	183.600
Piso Caucho Reciclado (4m2)	6	315.000	1.890.000
Electrónica de automatización	1	1.200.000	1.200.000
TV 55 pulgadas	1	3.500.000	3.500.000
Bombillos	4	23.400	93.600
Cámara WIFI	1	105.000	105.000
Costo Instalación Obra	1	4.500.000	4.500.000
Imprevistos	1	3.000.000	3.000.000
			33.622.905

Apéndice 3:

Parametrización Software PVSYST

El primer paso llevado a cabo en la simulación fue agregar el sitio geográfico dentro de la base de datos del sistema, para lo cual se agregó las coordenadas del sitio, Latitud: 4.6005° N , Longitud: -74.0735° E y se importaron los datos de radiación del emplazamiento de la base de datos NREL/NSRDB TMY, como se muestra en la *Figura No. 14*.

Figura 14 Importación Sitio UROSARIO / NREL- Coordenadas

El paso siguiente, fue la definición de consumos domésticos diarios al año. Se modelaron los mismos consumos propuestos anteriormente, totalizando una energía demandada diariamente de 6.441 Wh equivalentes a 193.2KWh/mes datos que se muestran en la *Figura No. 9*. Se modelará un sistema aislado de la red, como es el caso del presente estudio.

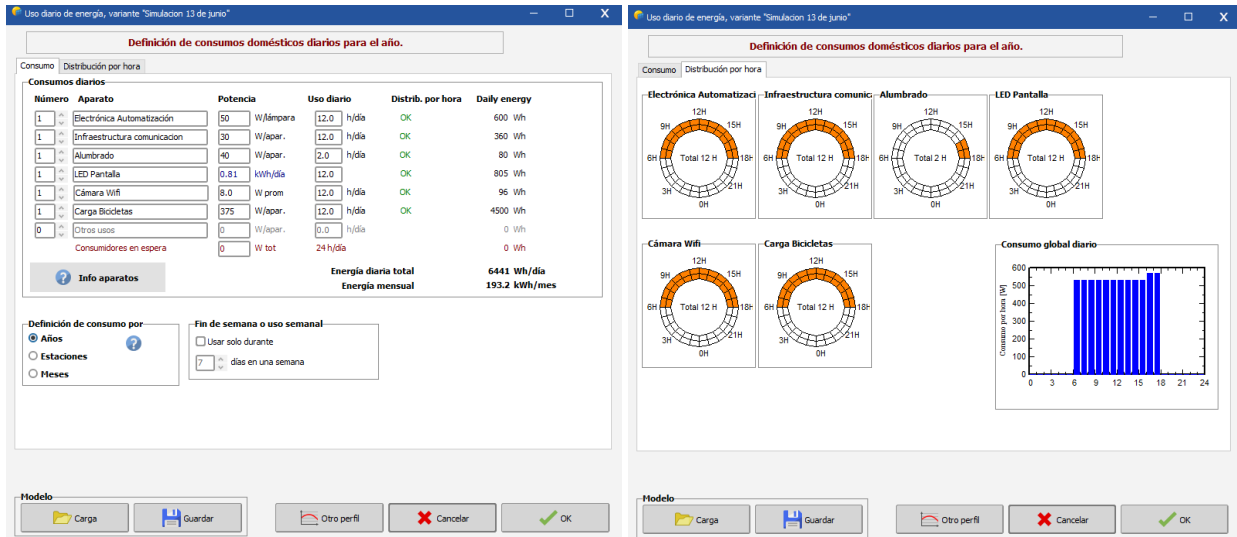


Figura 15 Requerimiento energético modelado en PVsyst.

En el documento *Guía Para El Dimensionamiento De Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados Y Aplicación De La Resolución Creg 030 De 2018 Para Inyectar Excedentes De Energía A La Red* [42] se determina que el ángulo óptimo para mayor captación de energía solar, se formula por la ecuación No. 6.

$$\beta_{optima} = 3.7 + 0.69|\varphi| \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

β_{optima} = Inclinación óptima para maximizar la cantidad de energía captada anualmente

φ = Latitud del emplazamiento

Para el caso de estudio que se presenta, la latitud del emplazamiento es 4.6005° , por lo que el ángulo que se debe tomar es de 7° según la ecuación No 7 y que se parametrizó en el apartado “Orientación” del software Pvsyst.

$$\beta_{optima} = 3.7 + 0.69|4.6005| \cong 7^\circ$$

Ec. 7

De acuerdo con los cálculos realizados en el dimensionamiento teórico del presente documento y para realizar la simulación en el software se buscó un panel solar de la marca Trina Solar 570W, con similares características al comercial seleccionado anteriormente,

pero el software proveyó resultados indicativos de que con 3 paneles solares es suficiente para proveer la demanda de energía diaria por lo que fue parametrizado así dentro de la aplicación en donde se montaron los tres paneles conectados en serie en el puerto de entrada MPPT del inversor Victron de 2900W con características muy similar al elegido comercialmente de 3000W y que soporta los tres paneles, sus voltajes y corrientes de funcionamiento (V_{oc} e I_{sc}), así como el arreglo de baterías dimensionado.

The screenshot shows the 'Definición de sistema independiente' window in PVsyst. Key configuration details include:

- Needs:** 6.4 kWh/day, 1.0% autonomy, 1.0 day autonomy.
- Battery:** 12V, 631 Ah capacity, 3585 Wp nominal power.
- Subsystem:** 'Estacion de Carga So', fixed inclination of 7°.
- Module Selection:** 'Trina Solar' 570 Wp, 33V, Si-mono technology.
- Controller:** Victron MPPT 2900 W, 24V, 100A.
- Generator Design:** 3 modules in series, 1 chain, 8 m² area, 1000 W/m² irradiance.
- Operating Conditions:** V_{mpp} (60°C) 103 V, V_{mpp} (20°C) 117 V, V_{oc} (-10°C) 152 V.
- Summary Table:**

Component	Configuration	Power / Energy
Necesid. usuario	Hogar	Potencia prom. 268 W
Paquete de baterías	3 en paralelo, 24 V	Energía día 6.4 kWh
	Autonomía 1.5 día	Capacidad 467 Ah
Generador FV	1 cadena(s) de 3 módulos	Energía almacenada 9.7 kWh
	PV/PLoad 6.4	Potencia nom. 1710 Wp
Controlador	Convertidor MPPT	Energía prom. día 5.4 kWh
	PV/PConv 0.59	Potencia nom. 2.90 kW
		Umbral según SOC

Figura 16 Configuración PVsyst.

Por otro lado, se realizó la parametrización del almacenamiento eligiendo una batería de 12V y 150Ah de Acido – Plomo, para mantener la autonomía que requiere el sistema (1) día.

Apéndice 4

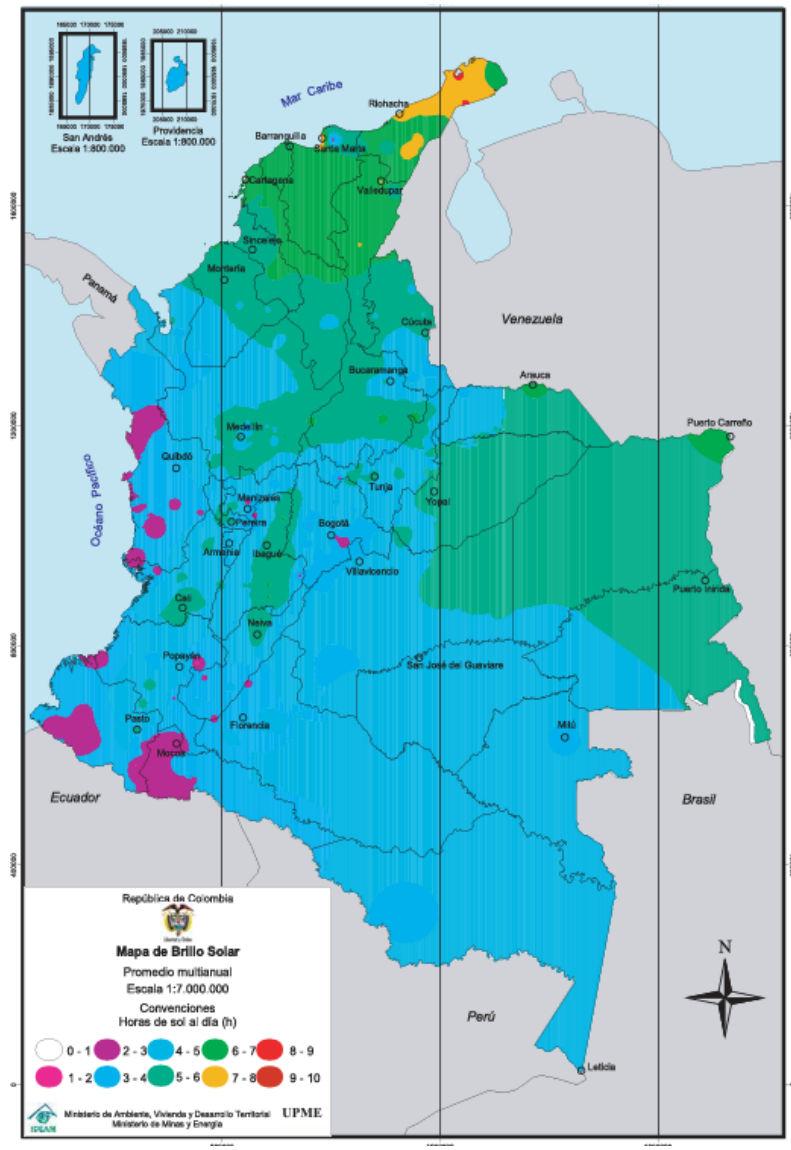


Figura 17 Mapa del brillo solar en Colombia