

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MÓDULO DE CARGA PARA VEHÍCULO
ELÉCTRICO A PARTIR DE PANELES FOTOVOLTAICOS

RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA
JOHAN SEBASTIAN GARCÍA VEGA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MÓDULO DE CARGA PARA VEHÍCULO
ELÉCTRICO A PARTIR DE PANELES FOTOVOLTAICOS

RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA
JOHAN SEBASTIAN GARCÍA VEGA

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Electricista

Director:

MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL
Magíster en Ingeniería Eléctrica

Codirector:

GABRIEL ORDOÑEZ PLATA
PhD en Ingeniería Eléctrica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios por la vida y por todo lo que me ha enseñado en ella, por estar a mi lado siempre, sin él nada de esto sería posible.

A mi mamá Blanca Angarita, mi compañera de vida, mi apoyo incondicional y mi mayor motivación, por ser la mejor mamá, por su esfuerzo y amor es que soy quien soy y he podido llegar hasta aquí, gracias a ti puedo escribir este mensaje, te amo mamá.

A mi papá Ricardo Beltrán por su apoyo y consejo aún en la distancia, le agradezco a Dios por ti.

A mi novia Melissa García, quien me ha acompañado desde antes de comenzar esta etapa, por su apoyo, motivación, consejo y comprensión, gracias a ti he aprendido a ser mejor persona, te amo.

A mi familia, compañeros, amigos y profesores que me apoyaron y de quienes he aprendido en el transcurso de mi vida.

RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA

DEDICATORIA

Quiero dedicar primero que todo a Dios y a la Virgen María por acompañarme y fortalecerme día a día durante este proceso para lograr culminar esta gran meta.

A mis padres por su esfuerzo, sacrificio, compañía, confianza y apoyo incondicional para cumplir este sueño que más que mío es para ellos y de ellos.

A mis amigos, compañeros de estudio y profesores a los cuales les agradezco por cada una de las experiencias y lecciones vividas dentro de cada aula de clase durante esta carrera universitaria.

Y a mi familia y demás allegados que siempre estuvieron acompañando y demostrando su interés para que lograra finalizar este sueño personal.

JOHAN SEBASTIAN GARCÍA VEGA

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA	17
2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	18
2.1.1 Tipos de paneles.....	19
2.1.2 Características eléctricas	19
2.1.3 Asociación en serie	22
2.1.4 Asociación en paralelo	23
2.2 BATERÍA.....	24
2.2.1 Asociación en serie	25
2.2.2 Asociación en paralelo	26
2.3 REGULADOR	26
2.4 INVERSOR	27
2.5 INVERSOR CARGADOR.....	28
3. VEHÍCULO ELÉCTRICO EN COLOMBIA Y SUS CARACTERÍSTICAS	30
4. CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO	35
4.1 CARACTERÍSTICA DE DESPLAZAMIENTO	35
4.2 UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN	37
4.3 RECURSO SOLAR	39
4.4 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS PANELES	42
4.5 MODO DE CARGA	43
4.6 REQUISITOS REGULATORIOS	45
4.7 PARAMETROS DE SALIDA	47

4.8 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	48
5. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	49
5.1 DIMENSIONAMIENTO	49
5.1.1 Estimación del consumo diario	49
5.1.2 Horas pico solar	50
5.1.3 Rendimiento de la instalación	52
5.1.4 Cálculo del campo fotovoltaico	54
5.1.5 Selección de la batería	55
5.1.6 Selección del Inversor.....	57
5.1.7 Regulador de carga.	57
5.2 SELECCIÓN DE CONDUCTORES	58
5.2.1 Circuito en c.c.	58
5.2.2 Circuito en c.a.	58
5.3 PROTECCIONES	59
5.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	60
6. SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	62
6.1 SELECCIÓN DEL PANEL.....	62
6.2 INVERSOR CARGADOR.....	63
6.3 OTROS EQUIPOS.....	64
7. PRESUPUESTO.....	65
7.1 EVALUACIÓN FINANCIERA	67
7.1.1 Valor actual neto (VAN)	68
7.1.2 Periodo de recuperación o payback.....	70
8. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolución parque automotor eléctrico año a año.....	12
Figura 2. Matriz energética colombiana	14
Figura 3. Esquema conceptual de una instalación solar fotovoltaica.....	17
Figura 4. Componentes de un panel fotovoltaico.....	18
Figura 5. Curva V-I de un panel fotovoltaico	21
Figura 6. Curvas V-I con variaciones de irradiación y temperatura.....	22
Figura 7. Asociación en serie de paneles	23
Figura 8. Combinación en paralelo de paneles.....	23
Figura 9. Combinación en serie de baterías	26
Figura 10. Combinación en paralelo de baterías	26
Figura 11. Señal de salida de los inversores	28
Figura 12. Metodología de investigación parque automotor eléctrico	31
Figura 13. Inventario de VE en Colombia y sus características.....	32
Figura 14. Diferencia entre el estándar NEDC y WLTP	33
Figura 15. Rendimiento de los vehículos eléctricos listados.....	34
Figura 16. Kilómetros anuales/vehículo	36
Figura 17. Funcionamiento del bombeo solar con presencia de nubes	38
Figura 18. Datos de irradiación hora a hora UIS.....	41
Figura 19. Datos de irradiación solar hora a hora para Bucaramanga.....	42
Figura 20. Orientación e inclinación de los paneles.....	43
Figura 21. Conexión de vehículo eléctrico en modo 2	45
Figura 22. Irradiancia a lo largo de un día	51
Figura 23. Clasificación de los paneles más indicados.....	62
Figura 24. Comparación paneles.....	63
Figura 25. Panel seleccionado.....	63

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Comparación de los distintos tipos de células.....	19
Cuadro 2. Tipos y características de las baterías secundarias	24
Cuadro 3. Evolución parque vehículos BEV & PHEV a mayo de 2020.....	31
Cuadro 4. Parámetros de alimentación a la salida de la instalación	48
Cuadro 5. Criterios para la selección de equipos.....	48
Cuadro 6. Vehículos con menor necesidad energética (Wh).....	50
Cuadro 7. Valores de HPS por ciudad	52
Cuadro 8. Potencia mínima necesaria	55
Cuadro 9. Criterio para definir la tensión de trabajo.....	56
Cuadro 10. Capacidad de la batería	57
Cuadro 11. Selección de conductores	58
Cuadro 12. Selección de las protecciones de sobrecorriente	59
Cuadro 13. Salario personal profesional para la instalación	66
Cuadro 14. Inversión inicial del módulo de carga para el NISSAN LEAF	67
Cuadro 15. Ahorro anual en Bucaramanga	69
Cuadro 16. Cálculo del VAN ciudad de Bucaramanga	70

LISTA DE ANEXOS

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

ANEXO A. Inventario y características de los vehículos BEV y PHEV en Colombia

ANEXO B. Kilómetros anuales recorridos por vehículos en Colombia

ANEXO C. Recurso solar hora a hora a partir de distintas bases de datos

ANEXO D. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

ANEXO E. Inventario de equipos

ANEXO F. Presupuesto

ANEXO G. Planos eléctricos

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MÓDULO DE CARGA PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO A PARTIR DE PANELES FOTOVOLTAICOS*

AUTOR: RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA, JOHAN SEBASTIAN GARCÍA VEGA**

PALABRAS CLAVE: VEHÍCULO ELÉCTRICO, PANELES FOTOVOLTAICOS, FOTOLINERA, MÓDULO DE CARGA, INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de grado involucra el diseño eléctrico de un sistema de carga fácilmente transportable para vehículos eléctricos de batería e híbridos enchufables, basado en energía solar fotovoltaica y con capacidad para proveer la energía necesaria para satisfacer el desplazamiento típico diario de un usuario promedio ubicado en áreas urbanas. Dicha solución estará enfocada principalmente a los usuarios cuyo vehículo este dedicado al uso cotidiano con desplazamiento hasta un sitio donde el vehículo pueda permanecer estacionado durante la mayor cantidad de horas, o un desplazamiento que se lleve a cabo de forma continua desde un punto de partida hasta un punto de retorno coincidente con el punto de partida; Con lo cual se proporcionará la energía necesaria para mantener el vehículo en funcionamiento cubriendo dicho comportamiento característico sin necesidad de que el usuario dependa de la escasa infraestructura de carga a nivel nacional que involucra el pago por dicha energía, y además podrá contribuir a la disminución de la huella de carbono.

El diseño se plantea, con el fin de que dicha solución pueda ser fácilmente transportable y poder disponer de ella en distintos sitios, entendiendo que el punto donde el usuario presenta la necesidad de carga podrá ser cambiante en el tiempo.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel Magíster en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata PhD en Ingeniería Eléctrica.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CHARACTERIZATION OF A CHARGE MODULE FOR ELECTRIC VEHICLES WITH PHOTOVOLTAIC PANELS*

AUTHOR: RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA, JOHAN SEBASTIAN GARCÍA VEGA **

KEY WORDS: ELECTRIC VEHICLE, PHOTOVOLTAIC PANELS, PHOTOVOLTAIC CHARGING STATION, CHARGE MODULE, ISOLATED PHOTOVOLTAIC INSTALLATION.

DESCRIPTION:

This research project involves the electrical design of an easily transportable charging system for battery electric vehicles and plug-in hybrids, based on photovoltaic solar energy and with the capacity to provide the necessary energy to satisfy the typical daily displacement of an average user located in urban areas. This solution will be focused mainly on users whose vehicle is dedicated to daily use with movement to a place where the vehicle can remain parked for the greatest number of hours, or a movement that is carried out continuously from a starting point to a return point coinciding with the starting point, which will provide the necessary energy to keep the vehicle running, covering that behavior without the need for the user to depend on the scarce charging infrastructure at the national level that involves paying for the energy and, in addition, it may contribute to the reduction of the carbon footprint.

The design is proposed so that the mentioned solution can be easily transportable and can be available in different places, understanding that the point where the user presents the need for charging may change over time.

* Degree work

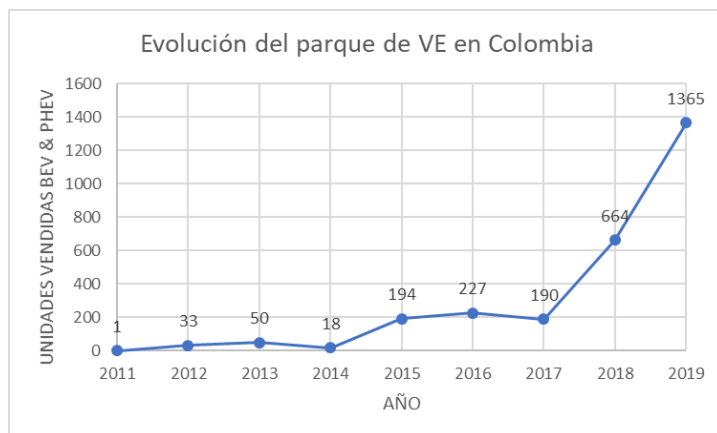
** Faculty of Physicalmechanical. School of Electrical, Electronic and Telecommunications engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel Master in Electrical Engineering. Co-director: Gabriel Ordoñez Plata PhD in Electrical Engineering

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado pretende proponer una alternativa de carga parcial para el usuario de un vehículo eléctrico basada en energía solar fotovoltaica, que le proporcione independencia tanto de la infraestructura de carga a nivel nacional como del sistema eléctrico que involucran el pago por dicha energía, y al provenir dicha energía de una fuente renovable como lo es el sol, poder contribuir a la reducción de la huella de carbono, un aspecto de mucha importancia en la actualidad.

Según información de Andemos (Asociación Nacional de Movilidad Sostenible), las ventas anuales de vehículos eléctricos BEV* & PHEV** vienen en aumento vertiginoso desde el año 2017, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Evolución parque automotor eléctrico año a año



Fuente: ASOCIACIÓN NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE. Informe Vehículos HEV, PHEV y BEV Diciembre. Colombia 2019. [sitio web]. Bogotá. ANDEMOS. [Consulta: 13 junio 2020]. Disponible en: <http://www.andemos.org/>.

* Battery Electric Vehicle

** Plug-in Electric Vehicle

De esta manera, se evidencia un incremento a grandes pasos del parque automotor eléctrico a nivel nacional, sin embargo, no se puede decir lo mismo de la dinámica de crecimiento de la infraestructura necesaria para la carga de las baterías de estos vehículos; ya que como lo menciona el párrafo 1 del artículo 9 de la ley 1964¹, para el año 2022 Bogotá, D. C., deberá garantizar que existan como mínimo, veinte (20) estaciones de carga rápida en condiciones funcionales. Lo cual comparado con el crecimiento del parque automotor eléctrico supone restricciones derivadas de la diferencia entre las dinámicas de crecimiento de este y la de las estaciones de carga, aún en una ciudad grande como puede ser Bogotá, esta situación se convierte en un obstáculo importante para el usuario de un vehículo eléctrico o para aquel que está considerando adquirir uno en el corto o mediano plazo.

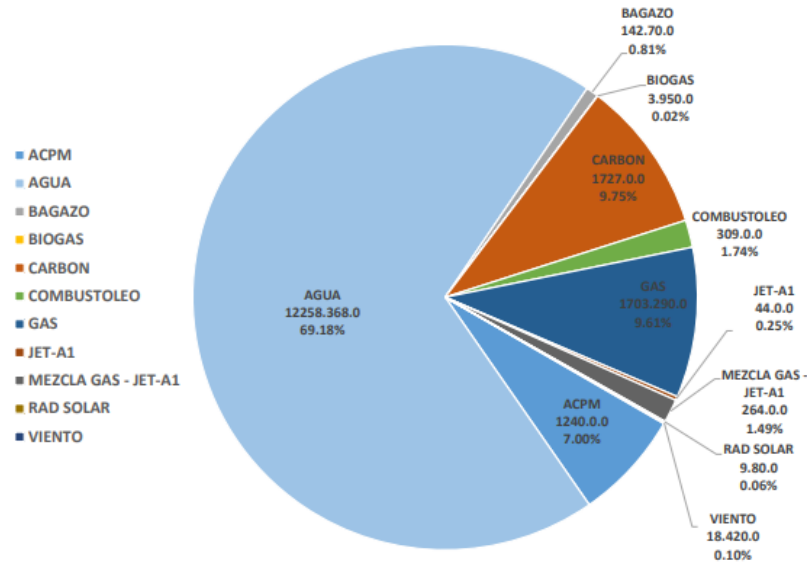
A pesar de lo expuesto, son varios los puntos a favor del vehículo eléctrico. Entre estos es de considerable relevancia su aporte a la reducción de la huella de carbono, debido a que no usa combustibles fósiles y por ende carece de emisiones contaminantes, lo cual es un factor determinante para adquirir un vehículo eléctrico, y algo que por nuestros días es de suma importancia ya que dichas emisiones están deteriorando nuestra salud y la de nuestro planeta.

No obstante, “Aunque un vehículo eléctrico no produce emisiones contaminantes durante su funcionamiento, la generación de la energía eléctrica que consume da lugar a emisiones contaminantes”². La matriz energética de Colombia está conformada en más de un 25% por centrales que producen emisiones contaminantes como se muestra en la Figura 2.

¹ COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1964. (11, julio, 2019). Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones. En: Diario oficial. Julio, 2019. Nro. 51011. p. 3.

² ARSUAGA, Pedro. Vehículos eléctricos y redes para su recarga: impacto en la sociedad y en la industria. Madrid: RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones, 2010. p. 17.

Figura 2. Matriz energética colombiana



Fuente: SISTEMA DE INFORMACIÓN ELÉCTRICO COLOMBIANO. Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano. [sitio web]. Bogotá: ANDEMOS. [Consulta: 1 junio 2020]. Disponible en: <http://www.siel.gov.co/>.

Por lo que no es suficiente adquirir un vehículo de bajas emisiones para realizar un aporte significativo a la reducción de la huella de carbono, de esta manera la apropiación de parámetros culturales tales como la racionalización del uso de la energía, el aprovechamiento de los servicios de proximidad y la implementación de energías renovables, comprenden aspectos esenciales para lograr un propósito encaminado al desarrollo sostenible, en el cual a todos nos asiste parte de la responsabilidad.

Lo anteriormente expuesto, justifica la solución planteada en este trabajo de grado, que busca ofrecer una alternativa de carga parcial de las baterías, para el usuario de un vehículo eléctrico BEV & PHEV que satisfaga su necesidad básica de desplazamiento diaria en la zona urbana, en la que la energía con la que se cargue la batería del vehículo sea independiente tanto de la matriz energética,

como de la infraestructura de carga nacional, y además se obtenga de un recurso renovable como lo es la energía solar.

Es por lo anteriormente mencionado que el alcance del presente trabajo de grado comprende en primer lugar, la identificación y realización del inventario de los automóviles eléctricos BEV & PHEV con mayor repercusión en el mercado colombiano, con el fin de generar una base documental con la información y las fichas técnicas de dichos vehículos y reconocer tanto sus autonomías como sus características de carga.

Una vez recopilados los documentos, la información técnica e identificadas tanto las necesidades energéticas, como las características de carga de cada vehículo listado, se identificarán las particularidades y se establecerán los criterios necesarios para el diseño, de tal forma que se seleccionen los componentes y se definan las consideraciones que permitan llevar a cabo el transporte de la instalación de una manera más sencilla en comparación con una instalación fotovoltaica convencional, esto con el propósito de que el usuario pueda disponer de la solución en el lugar que más le convenga y entendiendo que esta ubicación a lo largo del tiempo puede ser cambiante.

Por último, se llevará a cabo el diseño eléctrico del módulo de carga parcial, utilizando un método analítico de dimensionamiento. Este diseño estará basado tanto en un grupo de vehículos como de componentes seleccionados bajo criterios que permitan satisfacer la necesidad básica de desplazamiento diaria de un usuario promedio en zonas urbanas, sin sacrificar el fácil transporte de la instalación.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un módulo de carga parcial para vehículos eléctricos de batería e híbridos enchufables basado en energía solar fotovoltaica dispuesto en un espacio abierto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

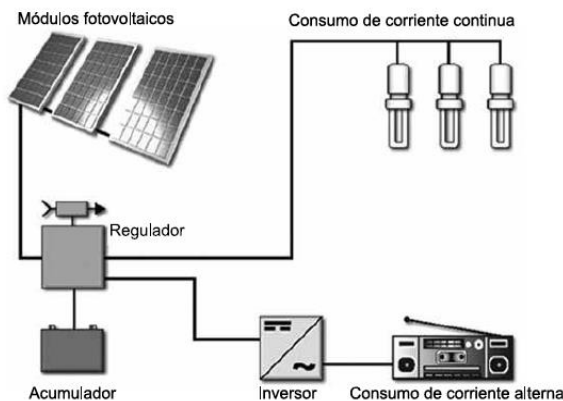
- Realizar o actualizar el inventario de las marcas y modelos de los automóviles eléctricos de batería e híbridos enchufables livianos de uso personal/familiar (no utilitario) de mayor repercusión a nivel nacional, con el propósito de recopilar la información técnica disponible (catálogos, fichas técnicas, etc.) de dichos vehículos.
- Caracterizar y definir los criterios y requisitos de diseño del módulo de carga parcial, que permitan facilitar el transporte de la instalación.
- Elaborar el diseño eléctrico del sistema de carga parcial, para los vehículos seleccionados en función de la aplicación de un listado de criterios, requisitos, procesos de carga, etc., que permitan satisfacer la necesidad básica de desplazamiento diaria de un usuario promedio en el área urbana.

2. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA

Existen distintos tipos de instalaciones fotovoltaicas enfocadas a distintas necesidades entre las que se encuentran las instalaciones conectadas a red, instalaciones para usos específicos y las instalaciones fotovoltaicas aisladas.

Debido que el presente trabajo de grado tiene como finalidad el diseño de una instalación fotovoltaica capaz de suplir un consumo característico del usuario de un vehículo eléctrico y que a su vez dicha instalación sea de fácil desmonte y transporte, es por lo que se hace necesaria la implementación del concepto de instalación fotovoltaica aislada. “Un sistema fotovoltaico aislado o autónomo, se trata de un sistema autoabastecedor, ya que aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica necesaria en el suministro de una instalación (vivienda, pozo, sistema de riego, sistema de telecomunicación, etc.)”³.

Figura 3. Esquema conceptual de una instalación solar fotovoltaica



Fuente: CARTA, José, et al. Centrales de energías renovables: Centrales de energía solar fotovoltaica. 2 ed. Madrid: Pearson Educación, S.A, 2009. p. 237.

³ PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 11.

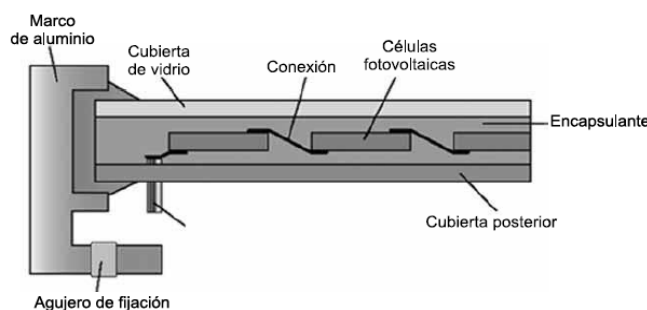
A continuación, se detalla cada componente de la instalación fotovoltaica aislada.

2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos o también denominados módulos fotovoltaicos, son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico. Están compuestos por varias células de material semiconductor que, interconectadas entre sí, permiten obtener los parámetros eléctricos necesarios.

Tiene como función convertir la radiación solar que incide sobre él en electricidad. El panel, cuya superficie más habitual se encuentra entre $0,5 \text{ m}^2$ y $0,8 \text{ m}^2$, está integrado por un conjunto de células fotovoltaicas que se conectan en serie y paralelo con el propósito de lograr, para una radiación dada, unos determinados niveles de tensión e intensidad eléctrica. Asimismo, la estructura del panel proporciona resistencia mecánica y estanqueidad a las células, facilita la evacuación del calor de las mismas, incrementando así su rendimiento, y favorece la optimización de la captación de la radiación solar⁴.

Figura 4. Componentes de un panel fotovoltaico



Fuente: CARTA, José, et al. CENTRALES DE ENERGIAS RENOVABLES: Centrales de energía solar fotovoltaica. 2 ed. Madrid: Pearson Educación, S.A, 2009. p. 238.

⁴ CARTA, José, et al. CENTRALES DE ENERGIAS RENOVABLES: Centrales de energía solar fotovoltaica. 2 ed. Madrid: Pearson Educación, S.A, 2009. p. 237.

2.1.1 Tipos de paneles. “Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino”⁵. Aunque existen otros tipos de uso común con se muestra en el siguiente Cuadro:

Cuadro 1. Comparación de los distintos tipos de células

Estructura de célula	Rendimiento en el laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
Monocristalino	24%	15-18%	Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P N y construidas con silicio monocristalino.	Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.
Policristalino	19-20%	12-14%	Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.	Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.
Amorfo	16%	<10%	Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.	Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.

Fuente: SANCHEZ, Miguel. Energía solar fotovoltaica. Limusa innovación y cualificación. 2012. p. 30, Citado por MALDONADO, Ivan. Diseño de una instalación eléctrica aislada con generación fotovoltaica en una zona rural del municipio del socorro Santander. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2018. p. 22.

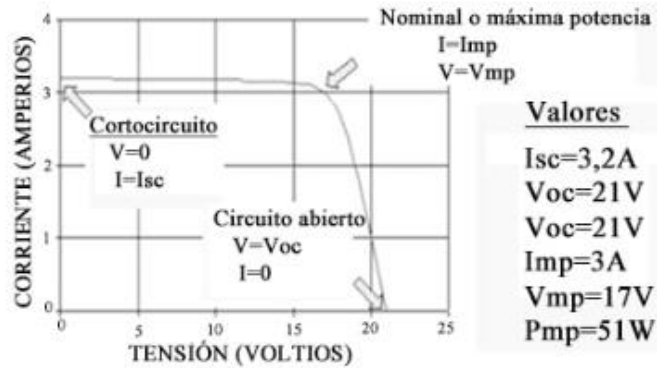
2.1.2 Características eléctricas. Para la selección de los paneles, se deben tener en cuenta sus características eléctricas las cuales comprenden:

⁵ PAREJA. Op. cit., p. 12.

- **Intensidad de cortocircuito:** denominado como I_{sc} , es la máxima intensidad que se puede obtener en un panel o módulo fotovoltaico. Se calcula midiendo la corriente entre los bornes del panel cuando se provoca un cortocircuito (tensión de salida de 0 voltios).
- **Tensión en circuito abierto:** denominado como V_{oc} , es el valor máximo de voltaje que se mediría en un panel o módulo si no hubiese paso de corriente entre los bornes del mismo (intensidad de 0 amperios).
- **Potencia máxima:** denominada como P_m , es el valor máximo de potencia que se obtiene entre el producto de la corriente por la tensión de salida del panel o módulo fotovoltaico. Se trata del valor máximo que se puede obtener del panel o módulo fotovoltaico. También se denomina potencia de pico del panel; este último término es el más utilizado para los cálculos de una instalación conectada a la red.
- **Tensión máxima:** denominada como V_m , se corresponde con el valor de tensión para la potencia máxima. Se trata aproximadamente del 80% de la tensión en circuito abierto. En algunos casos se indica como V_{mp} (de potencia máxima).
- **Corriente máxima:** denominada como I_m , se corresponde con el valor de corriente para la potencia máxima. En algunos casos se indica como I_{mp} ⁶.

⁶ PAREJA. Op. cit., p. 14-15.

Figura 5. Curva V-I de un panel fotovoltaico



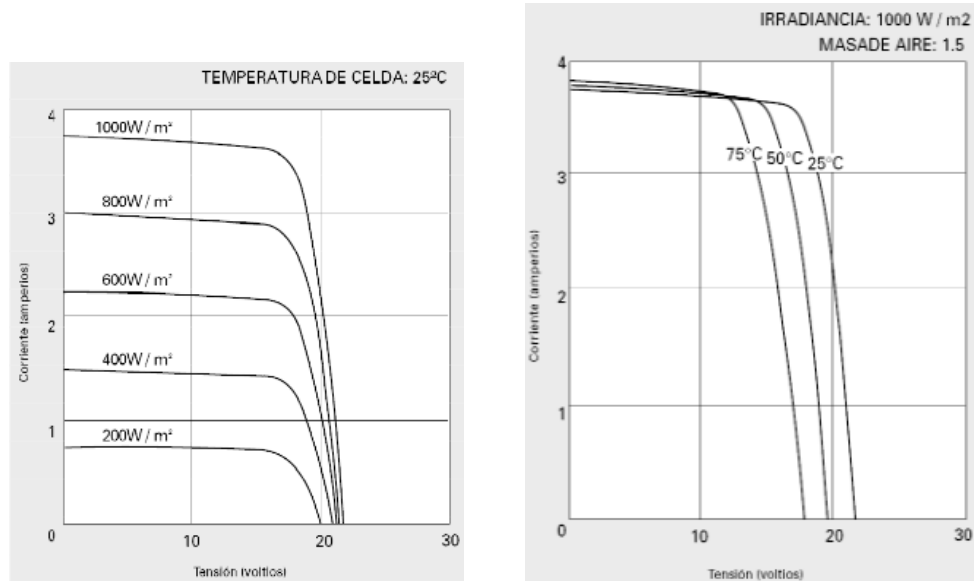
Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 15.

Esta curva característica suele obtenerse en unas condiciones denominadas condiciones estándar de medida (CEM), las cuales comprenden:

- Radiación = 1000 W/m²
- Temperatura de las celdas = 25°C
- Incidencia normal: Es decir se caracteriza el panel en posición horizontal
- AM (Masa del aire) = 1,5

Dado que el panel en la práctica no está sometido permanentemente a estas condiciones, sus características eléctricas variarán, como se indica a continuación.

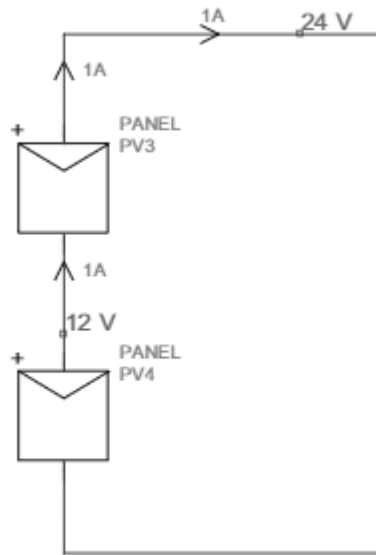
Figura 6. Curvas V-I con variaciones de irradiación y temperatura



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 15-16.

2.1.3 Asociación en serie. La asociación en serie de paneles se realiza conectando el borne positivo de un panel con el negativo del siguiente hasta obtener el valor de tensión necesario y manteniendo el valor de la corriente del panel más bajo, por lo que es recomendable que todos los paneles sean iguales.

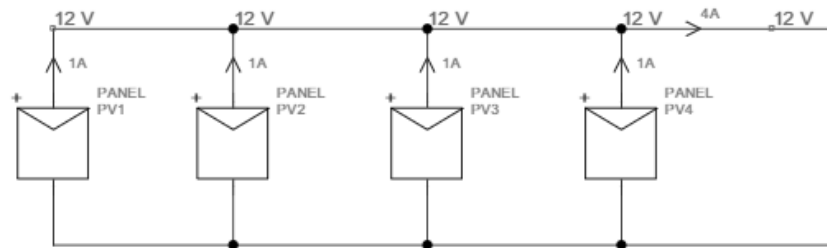
Figura 7. Asociación en serie de paneles



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 19.

2.1.4 Asociación en paralelo. La asociación en paralelo se efectúa conectando entre si bornes positivos y negativos de los paneles hasta obtener el valor de corriente necesario y manteniendo el valor de tensión.

Figura 8. Combinación en paralelo de paneles



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 19.

2.2 BATERÍA

La batería o también denominado sistema de acumulación “tiene como función almacenar la energía eléctrica generada que no está siendo utilizada por el consumidor, ya que al ser la radiación solar variable no podría garantizarse, en el caso de ausencia de este subsistema, el suministro de energía en todo momento”⁷.

Existen múltiples tipos de baterías de distintas tecnologías, “En general las baterías se clasifican en primarias, que no pueden ser recargadas y no se utilizan en sistemas FV, y secundarias que pueden ser recargadas”⁸, a continuación, se listan los tipos y características de los distintos tipos de baterías.

Cuadro 2. Tipos y características de las baterías secundarias

TIPO	PRECIO	CICLO PROFUNDO	MANTENIMIENTO
Plomo ácido			
Plomo-Antimonio	Bajo	Bueno	Alto
Plomo-Calcio abiertas	Bajo	Pobre	Medio
Plomo-Calcio selladas	Bajo	Pobre	Bajo
Híbridas (Antimonio/Calcio)	Medio	Bueno	Medio
Electrolito inmovilizado			
Gel	Medio	Muy bueno	Bajo
AGM	Medio	Muy bueno	Bajo
Níquel-Cadmio			
Placas “sintered”	Alto	Bueno	Ninguno
Placas “pocked”	Alto	Bueno	Medio

Fuente: ABELLA, Miguel Alonso. Sistemas fotovoltaicos. SAPT Publicaciones Técnicas, SL, 2005.

“Se define como capacidad de una batería a la cantidad de electricidad que puede suministrar y se mide en amperios por hora (Ah). Los parámetros que definen la

⁷ CARTA. Op. cit., p. 238.

⁸ ABELLA, Miguel Alonso. Sistemas fotovoltaicos. SAPT Publicaciones Técnicas, SL, 2005.

capacidad de la batería son: duración de descarga, intensidad de descarga, temperatura y tensión final”⁹.

$$C_N = I_N * \text{Duración de descarga (h)} \quad (1)$$

“La capacidad de una batería es en función de la duración de descarga y, dicho valor, es proporcionado por el fabricante para una duración de 10 horas (C10); a dicho valor se le denomina capacidad nominal (CN)”¹⁰.

Otro parámetro importante al momento de seleccionar una batería es la profundidad de descarga.

Se denomina profundidad de descarga al porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga o descarga. Dependiendo de este valor se pueden clasificar las baterías en:

- **Descargas superficiales:** aceptan descargas del 20% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería.
- **Descargas profundas:** aceptan descargas del 80% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería.
- Para aplicaciones fotovoltaicas se emplean baterías de descarga profunda, ya que en algunas instalaciones deben soportar el consumo durante varios días¹¹.

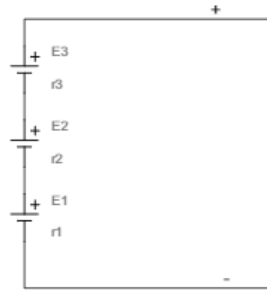
2.2.1 Asociación en serie. Al igual que con los paneles la asociación en paralelo de baterías se obtiene conectando el borne positivo de una con el borne negativo de la siguiente, hasta obtener el valor de tensión necesario.

⁹ PAREJA. Op. cit., p. 25.

¹⁰ Ibid., p. 25.

¹¹ Ibid., p. 27.

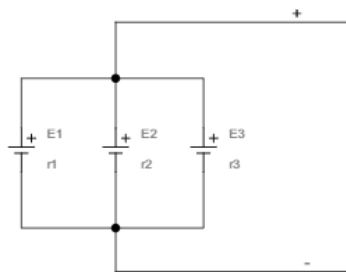
Figura 9. Combinación en serie de baterías



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 30.

2.2.2 Asociación en paralelo. Para la asociación en paralelo de baterías se unen entre si polos positivos con polos positivos y polos negativos con polos negativos hasta obtener la corriente necesaria.

Figura 10. Combinación en paralelo de baterías



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 29.

2.3 REGULADOR

El regulador de carga es el componente encargado de la monitorización del proceso de carga y descarga de las baterías, sus funciones principales son:

- Evita sobrecargas en la batería: que una vez cargada la batería (EDC = 100%) no continúe cargando la batería. Así se evita la generación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería; en consecuencia aumenta la vida de la batería.
- Impide la sobredescarga de la batería en los periodos de luz solar insuficiente: cuando una vez la batería esté descargada no continúe suministrando corriente a la instalación; en consecuencia aumenta la vida de la batería.
- Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia¹².

2.4 INVERSOR

“En instalaciones fotovoltaicas aisladas se utilizan los convertidores que convierten la corriente continua, proveniente de las placas solares, en energía aceptada por los equipos consumidores finales, es decir, convierten la tensión de 24 o 12 V de corriente continua en 230 voltios de corriente alterna”¹³.

Como inversores se pueden encontrar los de onda modificada u onda pura.

Los inversores de onda sinusoidal modificada (que se define en algunas documentaciones utilizando las siglas en inglés modify sine wave –MSW–) pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos. Sin embargo, esta forma de onda puede presentar algunos problemas de rendimiento con cargas inductivas (por ejemplo con los motores). A pesar de estas limitaciones, son muy utilizados debido a su reducido precio.

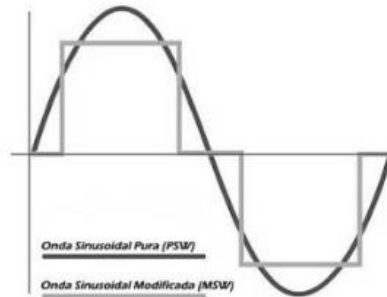
Los inversores de onda sinusoidal pura (que se define en algunas documentaciones utilizando las siglas en inglés pure sine wave –PSW–) son los más sofisticados del mercado actual. Diseñada para reproducir la energía suministrada por las compañías

¹² PAREJA. Op. cit., p. 35.

¹³ Ibid., p. 46.

eléctricas, la onda sinusoidal es la mejor forma de onda eléctrica para alimentar equipos electrónicos más sofisticados (por ejemplo, impresoras láser, televisores de pantalla de plasma, etc.). Además, eliminan los problemas de rendimiento e incompatibilidad (por ejemplo, las pequeñas rayas en las pantallas de los televisores o el ruido de fondo en sistemas de sonido). Por el contrario, son más caros que los inversores de onda modificada¹⁴.

Figura 11. Señal de salida de los inversores



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 47.

“Se suelen llegar a conectar directamente a la salida de consumo del regulador para potencias pequeñas (inferiores a los 500 W y si el regulador dispone de los terminales de consumo), y para potencias elevadas se conectan directamente a la batería”¹⁵. En la actualidad existen equipos que combinan las funciones de regulador e inversor en un solo elemento, denominados inversor cargador.

2.5 INVERSOR CARGADOR

El inversor cargador combina las funciones tanto del regulador como del inversor en un solo equipo, “Estos inversores se utilizan en instalaciones aisladas de la red,

¹⁴ PAREJA. Op. cit., p. 47.

¹⁵ Ibid., p. 46.

sus potencias van de los 2kW a los 15kW. Tienen incorporado un cargador de baterías”¹⁶.

¹⁶ TECHNO SUN. Inversores solares. [sitio web]. [consultado: 12 junio 2020]. Disponible en: <https://www.technosun.com/es/>

3. VEHÍCULO ELÉCTRICO EN COLOMBIA Y SUS CARACTERÍSTICAS

Como se menciona en IEC 61851¹⁷, se denomina vehículo eléctrico cualquier vehículo propulsado por un motor eléctrico que obtiene la energía necesaria a partir de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica recargable denominado RESS (Rechargeable Energy Storage System).

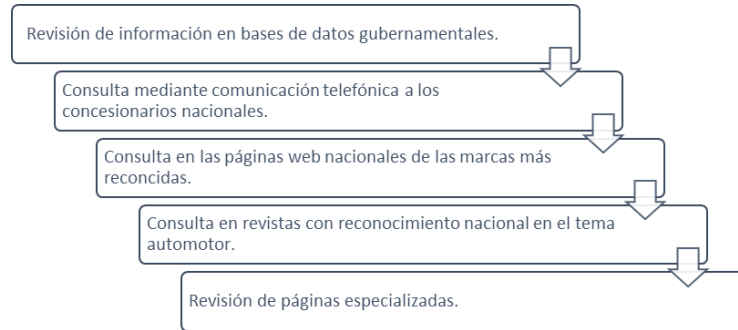
Dentro de la clasificación de vehículo eléctrico existen múltiples tipos, entre los cuales se encuentran los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) y los vehículos eléctricos de batería (BEV), los cuales comparten la característica de ser recargables mediante una fuente externa.

Como punto de partida en el diseño de la solución propuesta en el presente trabajo de grado, es necesario identificar el segmento del mercado al que está dirigido el diseño, para este caso en particular este segmento corresponde a los usuarios de vehículos eléctricos de batería (BEV) e híbridos enchufables (PHEV) en Colombia, por lo que en principio es de suma importancia reconocer los diferentes vehículos de este tipo con mayor repercusión a nivel nacional y sus respectivas características eléctricas y de autonomía, con el propósito de recopilar la mayor cantidad de información técnica disponible y así poder determinar de forma adecuada la necesidad a suplir.

Por lo anteriormente mencionado, se lleva a cabo el inventario de los vehículos eléctricos BEV & PHEV con mayor repercusión en el mercado nacional, y la recopilación de su información técnica, para lo cual se establece la siguiente metodología de consulta a través de distintas fuentes.

¹⁷ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements. IEC 61851-1. 3 ed. Geneva: IEC, 2017. 21 p.

Figura 12. Metodología de investigación parque automotor eléctrico



Dicha metodología se encuentra en orden jerárquico tanto en términos del orden a realizar la consulta, como en la importancia de la información obtenida.

En primer lugar, se debieron identificar las marcas con mayor repercusión a nivel nacional en cuanto a vehículos automóviles BEV & PHEV. La consulta de dicha información se realizó a través de la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (ANDEMOS) cuyas estadísticas presentan los acumulados en ventas por marca en vehículos BEV y PHEV a mayo de 2020 como se evidencia en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Evolución parque vehículos BEV & PHEV a mayo de 2020

TECNOLOGIA	MARCA	TOTAL, A MAYO 2020
BEV	RENAULT	1.008
	BMW	565
	NISSAN	197
	BYD	182
	MITSUBISHI	44
	KIA	15
	JAGUAR	8
	TESLA	6
PHEV	BMW	471
	MINI	172
	MERCEDEZ BENZ	133

TECNOLOGIA	MARCA	TOTAL, A MAYO 2020
	VOLVO	87
	MITUBISHI	51
	PORSCHE	37

Fuente: ASOCIACIÓN NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE. Informe Vehículos HEV, PHEV y BEV Mayo. Colombia 2020. [sitio web]. Bogotá: ANDEMOS. [Consulta: 13 junio 2020]. Disponible en: <http://www.andemos.org/>.

Una vez identificadas las marcas más relevantes a nivel nacional, se procede con la recopilación tanto de fichas técnicas, manuales de usuario e información técnica de los vehículos, siguiendo el orden metodológico establecido en la figura 12, dicha información técnica obtenida es consignada en el ANEXO A, donde se podrá consultar y se encuentra clasificada en función de la fuente y la marca de los vehículos, y cuyas características eléctricas y de autonomía son consignadas en el archivo de Excel llamado “OFERTA DE VEHICULOS BEV Y PHEV EN COLOMBIA” contenido en dicho anexo.

Figura 13. Inventario de VE en Colombia y sus características

BEV: Eléctricos PHEV: Híbridos conectables		VERIFICACION VEHICULOS COLOMBIA					RESPALDO DATOS TECNICOS	
INFORMACION GENERAL		LLAMADA	PAGINA OFICIAL	VEC	MOTOR	CARRO COLOMBIANO	INFO TÉCNICA	FICHA TECNICA
TIPO	MODELO							
BEV	Twizy							
BEV	Zoe Life							
BEV	Zoe Ultimate Bose							
Volvo								
PHEV	S60 T8 R-Design							
PHEV	XC40							
PHEV	XC60 T8 R Design							
PHEV	XC90 T8 R Inscription							
PHEV	XC90 T8 R Design							
JAGUAR								
BEV	I-PACE							
PORSCHE								
PHEV	PANAMERA 4E-HYBRID							
PHEV	CAYENNE E-HYBRID							
BEV	TAYCAN							
TESLA								
BEV	MODEL 3 ESTANDARD							
BEV	MODEL 3 AUTONOMIA MAYOR							
HYUNDAI								
BEV	Ioniq Electric							
CONVENCIONES								
	Está							
	No está							

Fuente: datos tomados de las fichas técnicas e información técnica contenida en el ANEXO A.

Otro aspecto de suma importancia de los vehículos eléctricos es su autonomía. Para determinar la autonomía de los vehículos automotores se utilizan dos ciclos de homologación internacionales, el NEDC y el WLTP, los cuales se diferencian en el procedimiento de prueba como lo indica la siguiente Figura:

Figura 14. Diferencia entre el estándar NEDC y WLTP

	NEDC	WLTP
Test cycle	Single test cycle	Dynamic cycle more representative of real driving
Cycle time	20 minutes	30 minutes
Cycle distance	11 kilometre	23.25 kilometre
Driving phases	2 phases, 66% urban and 34% non-urban driving	4 more dynamic phases, 52% urban and 48% non-urban
Average speed	34 kilometre per hour	46.5 kilometre per hour
Maximum speed	120 kilometre per hour	131 kilometre per hour
Influence of optional equipment	Impact on CO2 and fuel performance not considered under NEDC	Additional features (which can differ per car) are taken into account
Gear shifts	Vehicles have fixed gear shift points	Different gear shift points for each vehicle
Test temperatures	Measurements at 20-30°C	Measurements at 23°C, CO2 values corrected to 14°C

Fuente: JUÁREZ, Mau. ¿Qué son y como funcionan los ciclos de consumo WLTP y NEDC? [En línea]. Motor Pasión México. 2019. (Recuperado en 24 junio 2020). Disponible en: <https://www.motorpasion.com.mx/>

Otra característica técnica que destaca es la capacidad de las baterías, a partir de esta y de la autonomía de se calcula un parámetro que se denomina rendimiento del vehículo, el cual expresa la energía que se consume por kilómetro recorrido para todos los vehículos listados en el ANEXO A, y se calcula como sigue:

$$RENDIMIENTO = \frac{\text{Capacidad de la batería (kWh)}}{\text{Autonomía (km)}} \quad (2)$$

Así, los datos obtenidos se consignan junto con las características técnicas en el ANEXO A y se presentan en la siguiente figura.

Figura 15. Rendimiento de los vehículos eléctricos listados

BEV: Eléctricos PHEV: Híbridos conectables							CONVENCIONES	
INFORMACION GENERAL							Información oficial	
TIPO	MODELO	kWh/100km	HOMOLOGACION	CAPACIDAD (kWh)	AUTONOMIA (km)	RENDIMIENTO (kWh/km)	Páginas especializadas	
BMW								
PHEV	330e iPerformance	15.4	NEDC	10.79	56	0.192678571		
PHEV	530e iPerformance	15.6	NEDC	12	57	0.210526316		
PHEV	225xe		NEDC	7.6	41	0.185365854		
PHEV	X5 eDrive	25.7	NEDC	21	77	0.272727273		
BEV	i3 Atelier	14.2	NEDC	37.9	335	0.113134328		
BEV	i3 suite	14.2	NEDC	37.9	335	0.113134328		
BEV	i3 Loft	14.2	NEDC	37.9	335	0.113134328		
BEV	i3 94h Suite 120amp							
BEV	i3s 94h Atelier 120amp	14.7	NEDC	37.9	325	0.116615385		
PHEV	i8	14	NEDC	33	55	0.6		
PHEV	THE 745e	17.5	NEDC	12	52	0.230769231		
BYD								
BEV	e5	15.3	NEDC	60.5	400	0.15125		
BEV	Yuan	13.2		53.22	410	0.129804878		
PHEV	Qin			13	70	0.185714286		
BEV	e6	20.5		82	400	0.205		
Kia								
BEV	Soul EV		NEDC	30	250	0.12		
Mercedes Benz								
PHEV	GLC 350e			8.7	34	0.255882353		
PHEV	GLC 300 e 4MATIC Coupé		WLTP	13.5	43	0.313953488		
PHEV	GLC 300 e 4MATIC		WLTP	13.5	43	0.313953488		
MINI								
PHEV	Countryman SE ALL4		NEDC	5.7	42	0.135714286		
Mitsubishi								
PHEV	Outlander			12	54	0.222222222		
BEV	i-MiEV			16	160	0.1		

4. CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO

En todo diseño es de suma importancia el establecimiento de requisitos, criterios y particularidades por parte del diseñador, con el fin de delimitar este de forma adecuada.

4.1 CARACTERÍSTICA DE DESPLAZAMIENTO

El presente trabajo de grado tiene como finalidad dar solución a una necesidad de movilidad en particular, la cual comprende el desplazamiento diario de un usuario promedio de un vehículo automotor en la zona urbana. Por lo que es necesario identificar la cantidad de kilómetros que recorre un usuario de estas características en promedio. Según datos de la UPME¹⁸, un usuario de un vehículo automóvil familiar a nivel nacional recorre anualmente en promedio 10.098 km, documento disponible en el ANEXO B.

¹⁸ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Caracterización energética del sector transporte de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia. [sitio web]. Bogotá: UPME. [Consulta: 28 junio 2020]. Disponible en: <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/991>

Figura 16. Kilómetros anuales/vehículo

						DISTANCIA MEDIA (KILÓMETROS ANUALES / VEHÍCULO)						
CARRETERO	(Todas)											
TANQUEO	(Todas)											
REGION	(Todas)											
COMBUSTIBLE	(Todas)											
RECORRIDO	USO	CLASE	SERVICIO	CATEGORIA	Datos			DISTANCIA MEDIA (KM/año)				
=2. NO CARRETERO	=2. NO CARRETERO	=N.D.	=2. NO CARRETERO	0. NO CLASIFICADO	Suma de DISTANCIA	Suma de PARQUE						
					0	0						
					Total 2. NO CARRETERO	0	0					
					Total N.D.	0	0					
Total 2. NO CARRETERO					0	0						
Total 2. NO CARRETERO					0	0						
=0. INTERMUNICIPAL	=0. CARGA	=2. CARGA	=0. EMPRESARIAL	4. CAMIONETA	2.289.793	46.789.89997		18.252				
				5. CAMION	9.463.022	136.013.6759		25.395				
				6. TRACTOCAMION	5.570.851	45.975.88133		45.110				
				Total 0. EMPRESARIAL	17.323.666	228.79.4542		27.870				
				=1. FAMILIAR	4. CAMIONETA	674.215	26.968.09887		9.125			
					5. CAMION	29.643	2453.915993		4.409			
					6. TRACTOCAMION	14	15.41.185951		322			
				Total 1. FAMILIAR	763.872	29.437.42973		8.727				
				Total 2. CARGA					18.027.537	256.316.8899		25.672
				Total 0. CARGA					18.027.537	256.316.8899		25.672
=1. PASAJEROS	=0. INDIVIDUAL	=0. EMPRESARIAL	1. AUTOMOVIL	1.352.123	10.789.16217		45.743					
			2. UTILITARIO (SUV)	761.721	18.345.8416		24.757					
			3. MOTOCICLETA	479.233	17.524.90989		9.976					
			Total 0. EMPRESARIAL	2.523.077	36.663.81063		22.476					
			=1. FAMILIAR	1. AUTOMOVIL	4.749.474	17.166.5675		10.058				
				2. UTILITARIO (SUV)	3.130.513	75.744.38965		15.069				
				3. MOTOCICLETA	1.924.146	10.245.7034		6.855				
			Total 1. FAMILIAR	9.804.133	34.985.166		10.228					
			Total 0. INDIVIDUAL					12.337.210	36.851.4705		11.590	
			=1. COLECTIVO	=0. EMPRESARIAL	7. <21 PASAJEROS	1.288.811	27.967.74292		17.195			
8. 21 A 35 PASAJEROS	687.099	6.959.49089				36.036						
9. >25 PASAJEROS	580.464	5.873.021602				34.832						
Total 0. EMPRESARIAL	2.546.374	40.400.25461				23.005						
Total 1. COLECTIVO					2.546.374	40.400.25461		23.005				
Total 1. PASAJEROS					14.863.584	42.8531.7252		12.665				
Total 0. INTERMUNICIPAL					32.911.121	665.248.6063		57.538				

Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Caracterización energética del sector transporte de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia. [sitio web]. Bogotá: UPME. [Consulta: 28 junio 2020]. Disponible en: <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/991>

Para determinar los kilómetros diarios recorridos de una forma más asertiva, se asume que semanalmente el vehículo permanece estacionado lo equivalente a un día, es decir 48 días al año aproximadamente, así los kilómetros recorridos por día serán aproximadamente 32 km/día.

$$Desplazamiento\ diario = \frac{km\ anual}{365 - (48)} \approx 32\ km/día \quad (3)$$

Este desplazamiento se asume como un desplazamiento cíclico del usuario en función de su rutina diaria, es decir el usuario comienza su trayecto diario en un punto A y lo finaliza en el mismo punto.

4.2 UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Debido a que el desplazamiento a suplir se considera cíclico, como se menciona en el apartado anterior, se pueden plantear dos escenarios para dos tipos de usuario con comportamiento diferencial; un usuario al que se llamará Tipo 1, es aquel cuya característica de desplazamiento comprende la partida desde su lugar de residencia hasta un punto en el que su vehículo permanecerá inmóvil durante un intervalo de tiempo considerable que puede coincidir con las horas de mayor incidencia solar, y pasado el tiempo retorna nuevamente al punto de origen.

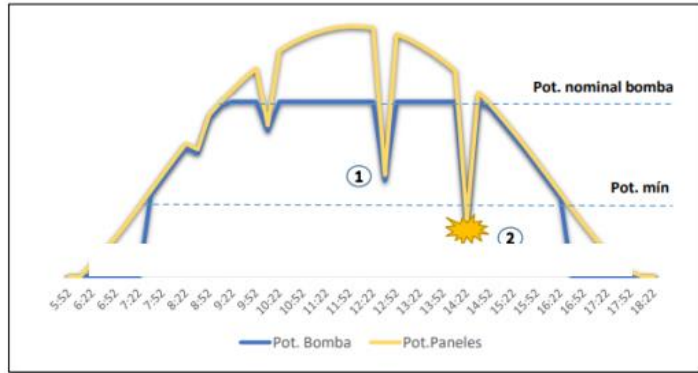
Por el contrario, se denominará usuario Tipo 2, aquel tipo de usuario cuya característica de desplazamiento no contempla de un punto en el que el vehículo permanecerá estacionado, por el contrario, este tipo de usuario llevará a cabo su desplazamiento típico con mayor continuidad hasta retornar a su punto de partida. De lo dicho anteriormente puede determinarse dos posibles ubicaciones del sistema de carga fotovoltaico en función del tipo de usuario, ya sea en el punto intermedio de la característica de desplazamiento cíclica del usuario Tipo 1 o en el punto de partida/retorno para el usuario Tipo 2.

Desde el punto de vista eléctrico la instalación fotovoltaica ubicada en el punto intermedio de la característica de desplazamiento del usuario Tipo 1 puede tener dos variantes:

Primero: Por mayor facilidad de transporte se podría considerar el prescindir de la batería del sistema fotovoltaico, haciendo alusión a las instalaciones fotovoltaicas de bombeo solar, la cuales comprenden en la mayoría de los casos, simplemente del generador fotovoltaico, el inversor y la carga, eliminando la dependencia de las baterías. Uno de los inconvenientes de plantear la instalación de esta manera se hace evidente con la presencia de nubes; al posarse una nube sobre la trayectoria

de la instalación, la carga que para el caso particular del bombeo solar es la bomba, saldrá de funcionamiento como se evidencia en la Figura 7.

Figura 17. Funcionamiento del bombeo solar con presencia de nubes



Fuente: <http://www.fisica.uji.es>, Citado por BAQUEROS, Ángel. Optimización de sistemas de bombeo solar directo. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniería en tecnologías industriales. Universidad Politécnica de Cartagena. [Consultado 29 junio 2020]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7952/tfg-bar-opt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segundo: Por lo anteriormente expuesto se hace evidente la necesidad de un sistema de respaldo como lo son las baterías, cuya implementación también presenta limitaciones para este caso en concreto, ya que al estar el vehículo en exposición continua en horas que coinciden con las horas de mayor radiación, el vehículo drenará la carga de las baterías, las cuales han sido dimensionadas para suplir la necesidad característica de desplazamiento, una vez vacía la batería y dependiendo de la topología seleccionada, el inversor podrá perder la referencia y salir de funcionamiento o la carga continuara drenando lo que el sistema FV vierta a esta, dejándola la batería vacía al final del día y perdiendo el respaldo para el siguiente día.

Es por esto por lo que la ubicación seleccionada para la solución fotovoltaica en el presente trabajo de grado comprende el situar la instalación en el punto de

partida/retorno del comportamiento cíclico de desplazamiento, contemplando las siguientes ventajas:

- Dicha ubicación es útil tanto para el usuario Tipo 1 como para el Tipo 2
- Factibilidad en la disposición de la instalación por ser su lugar de residencia
- Facilidad en la conexión de protección a tierra de la instalación ya sea a la existente en la vivienda o en la implementación de una diferente.
- Se aprovecha la instalación los días en que el usuario varíe su característica de desplazamiento por fuera de su rutina diaria, siempre y cuando este dentro de la autonomía suplida por la instalación.
- El vehículo puede ser usado por otras personas que posean una rutina diferente a la del usuario Tipo 1 siempre y cuando su característica de desplazamiento este dentro de la autonomía suplida por la instalación.

4.3 RECURSO SOLAR

En todo diseño fotovoltaico es de suma importancia identificar el recurso solar disponible en el sitio donde se va a disponer de la instalación fotovoltaica. Para la finalidad de este proyecto la solución se planteará para la ciudad de Bucaramanga y para las ciudades con mayor presencia de vehículos eléctricos en el país. “Las ciudades donde circulan más vehículos de este tipo son Bogotá, Cali y Medellín (incluye área metropolitana)”¹⁹.

La identificación del recurso solar se puede llevar a cabo por medio de distintas fuentes, como estaciones meteorológicas locales, bases de datos de entidades nacionales, en el caso colombiano el IDEAM y bases de datos internacionales como lo son PVGIS entre otras.

¹⁹ DINERO. ¿Vale la pena comprar un carro eléctrico? [sitio web]. DINERO. [Consulta: 6 junio 2020]. Disponible en: <https://www.dinero.com/>

Para este proyecto en particular entendiendo que la finalidad es abastecer al usuario del vehículo eléctrico con la autonomía necesaria para satisfacer su requerimiento de movilidad diaria de una forma cíclica, es decir que el usuario pueda cargar su vehículo en un punto establecido y con esta carga sea capaz de cubrir su necesidad de desplazamiento diaria completamente, pudiendo retornar al punto de carga inicial y así suplir la carga necesaria para su siguiente ciclo de desplazamiento.

Se utilizará la base de datos nacional proporcionada por el IDEAM, cuyos datos se encuentran en el ANEXO C. Para el caso puntual del presente proyecto se hace uso para las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali de los datos de irradiación promedio hora a hora, debido al planteamiento de las dos posibles ubicaciones de la instalación como se mencionó en la sección 4.1 del presente documento.

Para el caso puntual de Bucaramanga debido a la inexistencia de este tipo de estadísticas por parte del IDEAM, se consultó la base de datos local de la Universidad Industrial de Santander (UIS), cuyos datos proporcionados correspondientes a los años 2018, 2019 y 2020 fueron tratados adecuadamente obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Figura 18. Datos de irradiación hora a hora UIS

ESTACIÓN UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (BUCARAMANGA)												
PROMEDIO HORARIO DE LA IRRADIACIÓN (Wh/m ²)												
HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0 A 1	0	0	0	0	17.6078431	0	0	107.047222	0	0	0	0
1 A 2	0	0	0	0	19.7671569	0	0	118.141667	0	0	0	0
2 A 3	0	0	0	0.01697531	18.1078431	0	0	120.336111	0	0	0	0
3 A 4	0	0	0	2.53858025	23.8368347	0	0.0933908	86.7638889	0	0	0	0.02150538
4 A 5	3.25287356	0	0	10.7901235	39.6553455	0.11882716	5.02162734	90.5138889	0.11805556	0.00268817	0.15619658	5.19086022
5 A 6	30.945083	0	0.0173445	21.4235009	68.0737628	13.4765551	39.3247883	77.8590502	3.29897343	1.8729092	5.49925214	25.5949373
6 A 7	90.4483445	6.85119048	12.4453748	55.3475379	125.287582	64.5521724	111.615321	64.6664875	42.9262626	34.3468449	39.5807692	69.2591846
7 A 8	180.603688	47.5833333	56.3858652	139.281521	180.019162	132.862179	192.940555	93.2899642	132.100794	104.212067	120.703889	158.366353
8 A 9	234.479813	109.083333	103.08443	217.535308	224.273396	189.682372	252.18006	132.666499	223.871843	194.359543	196.206944	248.978495
9 A 10	284.100154	177.389881	146.767444	300.64903	253.084612	221.852372	275.579477	163.716818	296.3625	268.797201	252.554487	312.384409
10 A 11	380.777469	212.279762	170.766708	313.570547	270.103034	241.239295	297.55614	190.262517	318.015783	272.940386	238.960957	242.895161
11 A 12	316.108995	131.232143	160.971387	247.726411	238.89255	223.224038	283.192361	152.034442	298.492551	276.503321	241.021759	227.598118
12 A 13	343.486199	227.02381	175.818505	268.207912	194.043818	220.366987	253.720833	121.460932	300.954419	253.69592	226.593981	278.348118
13 A 14	283.709215	225.761905	176.514411	243.460538	170.198936	189.216346	221.947917	130.218996	250.493434	223.171885	239.22392	237.803763
14 A 15	231.651345	186.791667	148.111942	167.303792	118.241049	164.407051	157.911111	96.6336918	211.093687	180.084598	182.947531	189.538978
15 A 16	136.78362	132.470238	110.875568	104.921627	81.276428	99.1378205	101.753947	85.5634409	133.72064	117.423624	122.183179	111.30914
16 A 17	51.6270062	71.1964286	63.325	52.6393398	42.6567513	53.7564103	46.8071637	56.7626344	69.411715	58.3218691	50.3765432	44.5389337
17 A 18	10.0282848	20.8125	21.8203804	15.4180195	8.56447144	10.775641	14.2355263	36.7742832	14.6246377	9.13085073	7.61820988	7.43875448
18 A 19	0.08339947	0.22321429	1.19447464	0.05395963	0.04560955	0.18108974	0.63888889	35.9432796	0.01376812	0	0	0
19 A 20	0	0	0.00543478	0	0	0	0	32.2555556	0	0	0	0
20 A 21	0	0	0	0	0.3046875	0	0	28.9694444	0	0	0	0
21 A 22	0	0	0	0	2.61458333	0	0	43.4083333	0	0	0	0
22 A 23	0	0	0	0	6.07291667	0	0	55.7138889	0	0	0	0
23 A 24	0	0	0	0	18.1470588	0	0	77.8697917	0	0	0	0
ACUMULAD A DIARIA	2578.09	1548.70	1348.10	2160.88	2120.88	1824.85	2254.52	2198.87	2295.50	1994.86	1923.63	2159.27

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander.

En el tratamiento de los datos aportados por la Universidad Industrial de Santander se observaron varias inconsistencias, como valores altos de irradiación en horas sin sol, la falta de continuidad en los datos, entre otras, por lo cual dicha base de datos es descartada.

Por lo anteriormente mencionado, habiendo agotado tanto la consulta en una base de datos nacional, como local, se procede a la consulta de una base de datos internacional como lo es PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Esta base de datos cuenta con los datos de irradiación promedio hora a hora de Bucaramanga, datos respectivamente digitalizados y consignados junto con los tomados del IDEAM para Cali, Bogotá y Medellín en el ANEXO C*.

* Este anexo contiene los datos de irradiación promedio hora a hora para todas las ciudades proporcionadas por el IDEAM.

Figura 19. Datos de irradiación solar hora a hora para Bucaramanga

DATOS PVGIS BUCARAMANGA												
PROMEDIO HORARIO DE LA IRRADIACIÓN (Wh/m2)												
HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0 A 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 A 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 A 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 A 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 A 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 A 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 A 7	0.00	0.00	0.46	10.89	19.28	17.55	12.47	10.24	13.51	16.09	12.19	1.01
7 A 8	116.22	101.45	112.33	146.48	163.39	170.73	163.59	166.50	174.83	167.40	162.16	143.62
8 A 9	332.29	312.72	319.72	342.96	366.74	366.64	371.23	381.47	387.86	377.95	373.77	352.28
9 A 10	544.34	528.04	524.08	539.50	556.58	548.64	549.18	579.55	595.03	585.47	560.30	557.57
10 A 11	711.60	708.35	681.53	662.20	681.41	645.09	635.08	683.98	684.96	701.10	672.87	695.65
11 A 12	792.16	779.66	737.73	692.42	694.56	657.46	643.54	658.88	673.37	728.06	698.53	738.13
12 A 13	757.71	753.03	736.72	682.04	641.01	607.66	593.96	623.01	603.33	651.94	650.49	682.06
13 A 14	693.58	702.20	658.74	629.13	612.74	527.92	531.08	534.92	524.93	577.36	574.63	597.81
14 A 15	587.11	600.21	558.38	524.67	508.26	455.98	457.58	444.06	446.77	465.54	447.88	489.81
15 A 16	407.89	448.75	409.14	382.79	366.10	349.09	344.63	355.82	324.62	327.42	303.00	343.08
16 A 17	255.36	273.17	260.94	240.12	233.97	223.16	236.31	232.51	194.02	187.32	156.77	210.48
17 A 18	118.57	126.24	120.67	109.38	108.38	124.09	130.24	116.14	91.07	62.81	51.74	78.76
18 A 19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	1.06	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
19 A 20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20 A 21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21 A 22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22 A 23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23 A 24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACUMULAD A DIARIA	5316.83	5333.82	5120.44	4962.58	4952.42	4694.53	4669.95	4787.38	4714.30	4848.46	4664.33	4890.26

Fuente: Datos tomados de PVGIS

4.4 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS PANELES

“Como norma general se debe saber que los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el sur, ya que nos encontramos en el hemisferio norte (si nos encontráramos en el hemisferio sur habría que orientarlos hacia el norte)”²⁰.

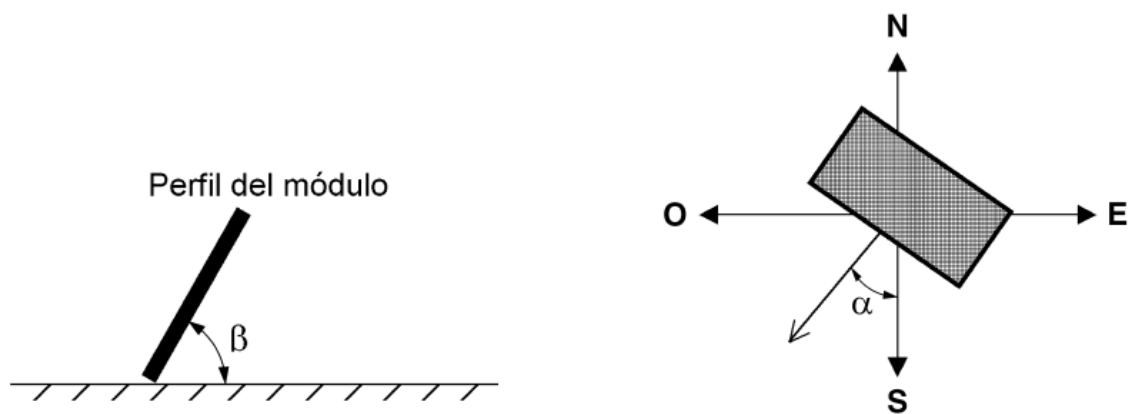
“La irradiación solar que incide sobre el panel puede variar en función del ángulo que forme con la horizontal (inclinación). Así pues, en función de la inclinación, la captación de energía solar puede variar y será máxima cuando la posición de la placa sea perpendicular con la irradiación”²¹.

²⁰ PAREJA. Op. cit., p. 91.

²¹ Ibid., p. 92.

Existen múltiples criterios para determinar el ángulo óptimo de inclinación, uno de estos criterios comprende una inclinación igual a la latitud del punto donde se ubicará la instalación, para el caso colombiano al estar el país ubicado tan cerca del paralelo del ecuador, el panel podría teóricamente situarse de forma horizontal, aunque en la práctica colombiana se recomienda utilizar una inclinación de 10° por razones de autolimpieza del panel.

Figura 20. Orientación e inclinación de los paneles



Fuente: INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. Madrid: IDAE, 2009. p. 25.

4.5 MODO DE CARGA

Como ya se mencionó anteriormente, dentro de la clasificación de vehículo eléctrico existen múltiples tipos, entre los cuales se encuentran los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) y los vehículos eléctricos de batería (BEV), los cuales comparten la característica de ser recargables mediante una fuente externa.

Las baterías de dichos vehículos pueden ser cargadas de distintos modos.

Modo 1: El modo 1 es un método para la conexión de un VE a una salida de toma de corriente normalizada de una red de suministro, utilizando un cable y una clavija, ambos no equipados con ningún contacto de piloto auxiliar.

Los valores asignados de corriente y tensión no deben superar:

16 A y 250 V c.a., monofásicos;

16 A y 480 V c.a., trifásico.

Modo 2: El modo 2 es un método para la conexión de un VE a una base de toma de corriente normalizada de una red de suministro de c.a., utilizando un sistema de alimentación de VE en c.a., con un cable y una clavija, con una función piloto de control y sistema para protección personal contra choque eléctrico ubicado entre la clavija normalizada y el VE.

Los valores asignados para corriente y tensión no deben superar:

32 A y 250V de c.a., monofásicos;

32 A y 480 V de c.a., trifásicos.

Modo 3: El modo 3 es un método para la conexión de un VE a un sistema de alimentación de VE en c.a. permanente conectado a una red de suministro de c.a., con una función piloto de control que comprende desde el sistema de alimentación de VE en c.a. hasta el VE.

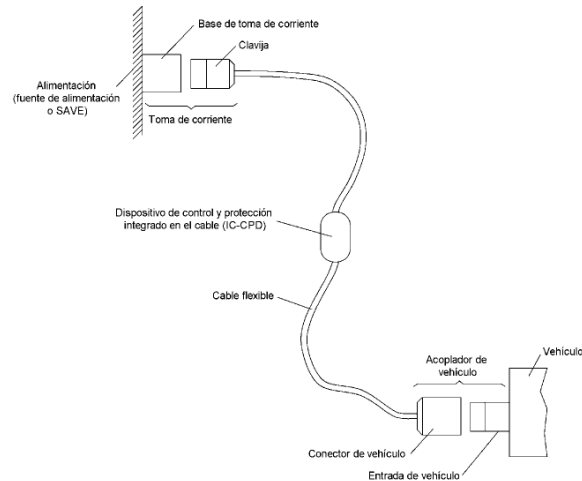
Modo 4: El modo 4 es un método para la conexión de un VE a la red de suministro en c.a. o c.c., con una función piloto de control que comprende desde el sistema de alimentación de VE en c.c. hasta el VE²².

Con base en una de las premisas del presente trabajo de grado la cual comprende del diseño de una instalación de fácil desmonte y modularidad para facilitar el traslado de esta, entendiendo que el punto donde el usuario presenta la necesidad de carga puede variar con el tiempo, se selecciona la carga en Modo 2 para la instalación fotovoltaica, entendiendo que la mayoría de vehículos incluyen el

²² ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales. UNE-EN IEC 61851-1. Madrid: UNE, 2020. 37-38 p.

dispositivo (IC-CPD) para este modo de carga, lo que evita un aumento de equipos en la instalación que dificulten su transporte.

Figura 21. Conexión de vehículo eléctrico en modo 2



Fuente: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales. UNE-EN 62196-1. Madrid: AENOR, 2015. 12 p.

4.6 REQUISITOS REGULATORIOS

Las instalaciones con tensiones mayores a 24 Vdc, 25 Vac y frecuencias nominales menores a 1000 Hz deben cumplir con lo dispuesto en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIÉ), que referente a paneles fotovoltaicos menciona:

- Los paneles solares fotovoltaicos para proveer energía eléctrica a instalaciones domiciliarias o similares y establecimientos públicos, deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional o de reconocimiento Internacional y demostrarlo mediante Certificado de Conformidad de Producto expedido por un organismo de certificación acreditado.

- La instalación eléctrica y el montaje de los paneles deben hacerse conforme a la Sección 690 de la NTC 2050, por un profesional competente, quien debe declarar el Cumplimiento del RETIE.
- Las instalaciones de sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluyendo sus los reguladores de tensión, cargadores e inversores, deben cumplir lo establecido en la sección 690 de la NTC 2050. En unidades de vivienda o similares no se permite la conexión de sistemas solares a más de 220 V. Cuando la carga de acumulación en las baterías supere los 1000 A/h, se deben instalar en un cuarto aireado, independiente al lugar donde se alojen los demás equipos del sistema solar.²³

Para la carga del vehículo eléctrico RETIE menciona:

- Los cargadores de baterías para vehículos eléctricos (VE) se clasifican según el modo de recarga de acuerdo con IEC 61851, así:
- Modo 1: La conexión del VE a la red eléctrica se realiza directamente por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico, con una puesta a tierra incorporada. Tanto el cargador, el sistema de control y el cable hacen parte del vehículo.
- Modo 2: La conexión del VE a la red eléctrica se realiza por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico a través de un monitor de recarga, que puede tener incorporado o no el cable de recarga. La carga se limita a 10 A.
- Modo 3: La conexión del VE a la red eléctrica se realiza a través de una base con tomacorrientes especiales que se alimenta desde un circuito dedicado. El sistema de monitoreo de la recarga está incorporado a la base.
- Modo 4: Es el caso típico de estaciones de carga. La conexión del VE a la red eléctrica se realiza en corriente continua, en tiempo corto. El cargador se encuentra fijo y tiene las funciones de monitoreo de recarga y protección.

²³ COLOMBIA. MINISTERIO DE ENERGÍA. Resolución 9 0708 (30, agosto, 2013). ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS. Bogotá: El Ministerio, 2013.

- Los equipos destinados a la carga de baterías de vehículos automotores de tracción eléctrica (VE), deben cumplir los siguientes requisitos adaptados de las normas IEC 61851-1, SAE J1772, UL 2594, UL 2231, UL 991, UL 1998, UL 2251 y demostrarlo mediante Certificado de Conformidad de Producto
- Los cargadores de baterías de vehículos eléctricos deben ser revisados técnicamente con la periodicidad que recomiende el productor o por lo menos una vez al año si el productor no determina la frecuencia de revisión, para validar su funcionalidad²⁴.

4.7 PARAMETROS DE SALIDA

De acuerdo con los criterios establecidos en la sección 4.5, donde se argumenta la selección de carga en modo 2 como la más idónea para este caso en particular y se establecen los parámetros eléctricos recomendados, “los valores asignados para corriente y tensión no deben superar: 32 A y 250 V de c.a., monofásicos”²⁵; y los requisitos regulatorios expuestos en la sección 4.6 para la carga en modo 2, “la conexión del VE a la red eléctrica se realiza por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico a través de un monitor de recarga, que puede tener incorporado o no el cable de recarga. La carga se limita a 10 A”²⁶, se establece los siguientes valores de tensión, corriente y potencia a la salida de la instalación.

²⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE ENERGÍA. Resolución 9 0708 (30, agosto, 2013). ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS. Bogotá: El Ministerio, 2013.

²⁵ Asociación Española de Normalización. Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales. UNE-EN IEC 61851-1. Madrid: UNE, 2020. 37-38 p.

²⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE ENERGÍA. Resolución 9 0708 (30, agosto, 2013). ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS. Bogotá: El Ministerio, 2013.

Cuadro 4. Parámetros de alimentación a la salida de la instalación

PARAMETRO	VALOR
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN (V)	220
CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN (A)	10
POTENCIA DE SALIDA (W)	2200

4.8 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS

Dentro del proceso de selección de equipos, más allá de cumplir únicamente con los requisitos técnicos necesarios, se busca que los equipos seleccionados puedan ser más sencillos de transportar que los utilizados en una instalación fotovoltaica convencional, donde esta variable no se considera normalmente.

Por lo anterior, se definirán unos factores como criterios de selección de equipos, los cuales variarán dependiendo el equipo a seleccionar. En el caso de los paneles el factor será potencia/área ya que se busca una alta densidad de potencia para facilitar su transporte, para las baterías y los inversores cargador al ser sus tamaños poco diferenciales unos con otros, se definirá el factor en función del peso con el fin de elegir componentes livianos de fácil transporte. Lo anterior se resume en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Criterios para la selección de equipos

EQUIPO	FACTOR O CRITERIO DE SELECCIÓN
Paneles fotovoltaicos	Potencia/Área
Inversor cargador	Potencia/peso
Batería	Capacidad/peso

5. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

Para el diseño de la instalación fotovoltaica propuesta en el presente trabajo de grado se utilizará un método analítico de dimensionamiento. Se revisaron distintas metodologías de cálculo propuestas en la bibliografía consultada, las cuales en su mayoría se basan del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), por lo que el método de dimensionamiento aquí propuesto está basado directamente de la fuente original con ciertas modificaciones y apoyado en la metodología expuesta en Pareja²⁷.

5.1 DIMENSIONAMIENTO

El método analítico de dimensionamiento propuesto por el IDAE en su documento Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red²⁸ se enuncia a continuación y los resultados obtenidos se encuentran consignados en el ANEXO D.

5.1.1 Estimación del consumo diario. En los diseños de sistemas fotovoltaicos el punto de partida consiste en determinar el consumo diario de la carga a suplir o la necesidad energética. Para el caso puntual del presente trabajo de grado, la carga o necesidad energética hace referencia a la autonomía que hace falta proveerle al Vehículo Eléctrico para que el usuario pueda cubrir su necesidad diaria de desplazamiento cíclica.

²⁷ PAREJA. Op. cit., p. 65-89.

²⁸ INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. Madrid: IDAE, 2009.

La determinación del consumo diario para el caso puntual del presente trabajo de grado se hace a partir de los datos de rendimiento contenidos en el ANEXO A y los datos de movilidad contenidos en el ANEXO B, por medio de la siguiente ecuación.

$$E_D(Wh) = \text{rendimiento} \left(\frac{Wh}{km} \right) * \text{desplazamiento} (km) \quad (4)$$

Los datos obtenidos al aplicar la ecuación 4, se consignan en el ANEXO D, en el siguiente cuadro se presenta los 5 vehículos con menor necesidad energética que corresponden en adelante a los vehículos a los cuales irá enfocada la solución planteada en el presente trabajo de grado, que con el fin de poder garantizar un fácil transporte de la instalación se restringe la necesidad energética a cubrir, en valores no mayores a 4000 Wh.

Cuadro 6. Vehículos con menor necesidad energética (Wh)

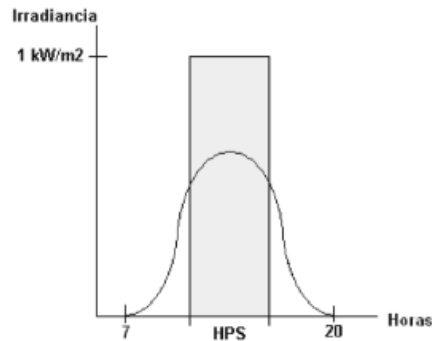
MARCA	$E_D(Wh)$
Twizy	2016
i-Miev	3200
i3s 94h Atelier 120amp*	3731.69
Soul EV	3840
Leaf 2019	3938.46

5.1.2 Horas pico solar. La energía solar es un tipo de energía que fluctúa a lo largo del día por lo que es necesario definir un concepto que permita modelar la energía solar como un tipo de energía constante, aquí es donde se hace necesario el concepto de horas pico solar (HPS).

* Para el caso de los vehículos BMW i3 en todos sus modelos, se toma aquel con mayor necesidad energética, dicho vehículo es el i3s 94h Atelier 120amp, así la solución planteada para este cubrirá aquellos con menor requisito energético.

Los parámetros eléctricos de los paneles fotovoltaicos indicados en sus hojas de características son establecidos bajo unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar de medida (CEM), las cuales entre otras condiciones se obtienen a un valor de radiación de 1000W/m², condición que debido a la variabilidad del recurso solar no permiten que el panel trabaje en condiciones nominales todo el tiempo. Las horas pico solar (HPS) indican, “el número de horas en que se dispone de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m²”²⁹.

Figura 22. Irradiancia a lo largo de un día



Fuente: PAREJA, Miguel. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: Marcombo S.A, 2009. p. 55.

Las horas pico solar se obtienen aplicando la siguiente ecuación.

$$HPS = \frac{G_{dm}(0)}{G_{CEM}} \quad (5)$$

$G_{dm}(0)$: Irradiación sobre el plano horizontal ANEXO C.

G_{CEM} : 1000 W/m² (irradiancia en condiciones estándar de medida).

²⁹ VEGA, Juan Carlos y RAMÍREZ, Santiago. Fuentes de Energía Renovables y no Renovables: Aplicaciones. México DF: Alfaomega. 2014. p. 293.

Los valores calculados son consignados en el ANEXO D, y a continuación se exponen los valores mínimos para cada ciudad en estudio teniendo en cuenta que las instalaciones fotovoltaicas pueden ser diseñadas bajo distintos criterios, ya sea por el criterio del peor mes, del mes en que se requiera o por criterio del valor promedio. Para efectos del presente trabajo de grado y entendiendo que se está cubriendo una necesidad de movilidad que debe satisfacerse aún en meses de baja radiación se toma el criterio del peor mes, valores consignados en el siguiente cuadro y contenidos en el ANEXO D.

Cuadro 7. Valores de HPS por ciudad

CIUDAD	HPS
BUCARAMANGA	4.66
BOGOTÁ	3.27
CALI	3.97
MEDELLÍN	4.04

Para efectos de cálculo, de ahora en adelante se trabajará con los valores de HPS de Bogotá, es decir en función del criterio más desfavorable.

5.1.3 Rendimiento de la instalación. Todo sistema físico presenta una pérdida debido a distintos fenómenos internos o externos, por esta razón y teniendo en cuenta que la instalación solar fotovoltaica es un sistema físico, se debe tener presente que no toda la energía que generan los paneles será aprovechada, por lo que se hace necesario determinar el rendimiento de la instalación objeto de este trabajo de grado.

Para determinar el rendimiento general de la instalación, este documento se basa en lo expuesto por Pareja³⁰, debemos calcular las pérdidas a partir de la siguiente ecuación:

³⁰ PAREJA. Op. cit., p. 66.

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \frac{(K_A * D_{aut})}{P_d} \right] \quad (6)$$

KA: pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería, dada a los 20°C Esta pérdida suele venir en las hojas de características dadas por el fabricante de la batería, su valor por defecto es del 50%. También son muy comunes valores del 60 y 70%.

KB: pérdidas debido al rendimiento de la batería que, por lo general, tiene un valor del 5%, pero puede escogerse un valor de 10% para viejos acumuladores o fuertes descargas o bajas temperaturas.

KC: pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado (si lo hay), es decir, principalmente en instalaciones de 230 voltios. Los valores por defecto suelen oscilar entre el 80% y el 95%, por lo que las pérdidas oscilarán entre el 20% y el 5%.

KR: pérdidas debido al rendimiento del regulador empleado. Suele depender de la tecnología utiliza, pero si no se conoce se escoge el valor por defecto del rendimiento de 90%, por lo que las pérdidas serán de un 10%.

KX: otras pérdidas no contempladas (por el efecto Joule, caídas de tensión, etc.); se escoge un valor por defecto del 10%.

Daut: días de autonomía con baja o nula insolación, ver apartado 2.3.2.

Pd: profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante de las baterías; por defecto se escoge un valor del 60 o 70%³¹.

Se utilizarán los valores expuestos, a continuación, con los que se obtienen un factor de pérdidas de 0.2.

³¹ Ibid., p. 66-67.

$$K_T = [1 - (0.05 + 0.05 + 0.1 + 0.1)] * \left[1 - \frac{0.5 * 1}{0.7}\right] = 0.2 \quad (7)$$

Así, el rendimiento general de la instalación (n_T) se calculará por medio de la siguiente ecuación.

$$n_T = 1 - K_T = 1 - 0.2 = 0.8 \quad (8)$$

5.1.4 Cálculo del campo fotovoltaico. Se calcula la potencia mínima necesaria para suplir la necesidad energética calculada como lo expone el IDAE³², teniendo en cuenta el factor de rendimiento, valor de horas pico solar y la necesidad energética a suplir, datos calculados en apartados anteriores.

$$P_{mp,min} = \frac{E_D}{HPS * n_T} \quad (9)$$

El campo fotovoltaico comprende la asociación de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo necesaria para suplir la necesidad energética calculada en el numeral 5.1.1. A continuación se muestran las potencias mínimas necesarias para los vehículos con menor necesidad energética, sobre los cuales se trabajará en el presente trabajo de grado, con el fin de que la instalación sea de fácil transporte, los cálculos para los demás vehículos se encuentran en el ANEXO D.

³² INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. Madrid: IDAE, 2009. p. 30.

Cuadro 8. Potencia mínima necesaria

MARCA	ED (W)	Bogotá	Cali	Medellín	Bucaramanga
		Pmp,min	Pmp,min	Pmp,min	Pmp,min
Twizy	2016	770.053476	633.914422	623.608018	540.2705212
i-Miev	3200	1222.3071	1006.21337	989.853997	857.5722558
i3 Atelier/ suite/ Loft	3620.29851	1382.84893	1138.37274	1119.86467	970.2086118
i3s 94h Atelier120amp	3731.69231	1425.39813	1173.39959	1154.32205	1000.061184
Soul EV	3840	1466.76853	1207.45604	1187.8248	1029.086707
Leaf 2019	3938.46154	1504.37797	1238.41645	1218.28184	1055.473546

Como se mencionó en la sección 5.1.2, se trabajará con el valor de potencia mínima de Bogotá, es decir en función del criterio más desfavorable o el mayor requerimiento de potencia, ya que, suplido este escenario, los demás quedarán incluidos en el diseño.

5.1.5 Selección de la batería. La batería corresponde al sistema de acumulación que ofrece respaldo a la instalación fotovoltaica. Para la selección de las baterías hay varias características para tener en cuenta, entre las cuales destacan su capacidad y su profundidad de descarga.

El cálculo de la capacidad se lleva a cabo a partir de la siguiente ecuación tomada del IDAE.

$$C_{\#} = \frac{A * E_D}{PD_{max} * n_{inv} * n_{rb} * V_{bat}} \quad (10)$$

A: Autonomía del sistema en días

C#: Capacidad del acumulador en Ah

PDmax: Profundidad de descarga máxima

ninv: Rendimiento energético del inversor

nrb: Rendimiento energético del acumulador + regulador

ED: Consumo medio de la carga en Ah

Como menciona Vega³³, el criterio para definir la tensión de las baterías se expone en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Criterio para definir la tensión de trabajo

POTENCIA DE LAS CARGAS (W)	TENSIÓN DE TRABAJO (V)
Menor de 1500	12
1500-5000	24 ó 48
Mayor de 5000	120 o 300

Fuente: VEGA, Juan Carlos y RAMÍREZ, Santiago. Fuentes de Energía Renovables y no Renovables: Aplicaciones. México DF: Alfaomega. 2014. p. 296.

De acuerdo con el valor de potencia de salida, contenido en el Cuadro 4, se determina que la tensión de la batería será 24 V. Así reemplazando los valores de autonomía, eficiencia tanto de inversor, como de regulador y la profundidad de descarga presentados en la sección 5.1.3, la ecuación 10 en función de la energía necesaria para suplir el desplazamiento característico se presenta a continuación.

$$C_{\#} = \frac{E_D}{0.7 * 0.95 * 0.1 * 24} \approx 0,6265E_D \quad (11)$$

De acuerdo con el objeto del presente trabajo que consiste básicamente en proveer al usuario del vehículo eléctrico de la energía suficiente para cubrir su comportamiento característico de desplazamiento diario en la zona urbana, el valor de días de autonomía será de 1, a partir de la ecuación anterior se presentan los valores obtenidos, y consignados en el ANEXO D para los 5 vehículos en estudio definidos en la sección 5.1.1.

³³ VEGA, Juan Carlos y RAMÍREZ, Santiago. Fuentes de Energía Renovables y no Renovables: Aplicaciones. México DF: Alfaomega. 2014. p. 296.

Cuadro 10. Capacidad de la batería

VEHÍCULO	CAPACIDAD DE LA BATERÍA (Ah)
Twizy	140.35
i-Miev	222.77
i3s 94h Atelier 120amp*	259.79
Soul EV	267.33
Leaf 2019	274.18

5.1.6 Selección del Inversor. La selección del inversor se realizará teniendo en cuenta lo consignado en el Cuadro 4, donde es claro que el inversor necesario, será un inversor de 2,2 kW y 220 V. Para la instalación en particular planteada en el presente trabajo de grado no se considera ningún tipo de factor de seguridad ya que “los fabricantes sugieren que los inversores trabajen a potencia cercanas a la nominal con el fin de obtener la máxima eficiencia en el proceso”³⁴.

5.1.7 Regulador de carga. Según Pareja³⁵, se puede determinar la corriente del regulador, a partir de la corriente de campo fotovoltaico ($I_{\text{campo, fotovoltaico}}$) que debe soportar, realizando el producto de la corriente en cortocircuito (I_{sc}) de cada arreglo fotovoltaico en serie, por el número ramas del campo fotovoltaico teniendo un cuenta un factor de seguridad del 10%:

$$I_{\text{regulador}} = 1.1 * \text{Número de ramas} * I_{\text{sc}} \quad (12)$$

* Para el caso de los vehículos BMW i3 en todos sus modelos, se toma aquel con mayor necesidad energética, dicho vehículo es el i3s 94h Atelier 120amp, así la solución planteada para este cubrirá aquellos con menor requisito energético.

³⁴ CACERES, M, BUSSO, A., CADNA, C y VERA, L. Determinación de la eficiencia de conversión empleado en un sistema de generación fotovoltaico conectado a red instalado en el nordeste argentino. En: Avances en Energías renovables y medio ambiente. 2011. Vol. 15, p. 04.23, Citado por MALDONADO, Ivan. Diseño de una instalación eléctrica aislada con generación fotovoltaica en una zona rural del municipio del socorro Santander. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2018. p. 64.

³⁵ PAREJA. Op. cit., p. 40.

La selección del regulador se realizará una vez seleccionados los paneles y determinada la corriente de cortocircuito del campo fotovoltaico (I_{sc}).

5.2 SELECCIÓN DE CONDUCTORES

La selección de conductores se lleva a cabo por medio de las corrientes calculadas en apartados anteriores teniendo en cuenta la presencia de un circuito en continua y un circuito en alterna dentro de la misma instalación fotovoltaica, dichos valores de corriente y calibres mínimos calculados se exponen a continuación.

Cuadro 11. Selección de conductores

VEHÍCULO	CTO C.C		CTO C.A	
	Corriente (A)	Calibre AWG	Corriente (A)	Calibre AWG
Renault Twizy	30.327	10	10	16
Mitsubishi I-Miev	40.436	8	10	16
BMW i3	50.545	8	10	16
Kia Soul EV	50.545	8	10	16
Nissan Leaf	50.545	8	10	16

5.2.1 Circuito en c.c. Los conductores para el circuito en corriente continua (c.c) se determinan por medio de la corriente de regulador calculada para cada vehículo y contenidas en el ANEXO D.

5.2.2 Circuito en c.a. Los conductores para el circuito en corriente alterna (c.a) se determinan por medio de la corriente de salida de la instalación que según el numeral 4.7 se estableció en 10 A.

5.3 PROTECCIONES

Según la NTC 2050 primera actualización en su sección 690-8:

La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125 % de la corriente calculada según el siguiente apartado b).

b) Cálculo de la corriente del circuito. La corriente para un tipo individual de circuito se debe calcular como sigue:

- 1) Circuitos de la fuente fotovoltaica. Es la suma de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo.
- 2) Circuito de salida fotovoltaica. Es la corriente nominal de cortocircuito de la fuente de alimentación fotovoltaica.
- 3) Circuito de salida del inversor. Es la corriente nominal de salida del inversor o de la unidad de acondicionamiento de energía.

Los circuitos de fuentes fotovoltaicas, de salida fotovoltaica, de unidades de acondicionamiento de energía y de conductores de baterías y equipos deben estar protegidos contra sobrecorriente³⁶.

Las corrientes de corto circuito necesarias para el cálculo de las protecciones de sobrecorriente se encuentran disponibles en el ANEXO D, mientras la corriente a la salida del inversor se definió en el numeral 4.7 en un valor de 10 A.

Cuadro 12. Selección de las protecciones de sobrecorriente

VEHÍCULO	CTO C.C		CTO C.A	
	I (A)	PROTECCIÓN NOMINAL	I (A)	PROTECCIÓN NOMINAL
Renault Twizy	27.57	35	10	15
Mitsubishi I-	36.76	45	10	15

³⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. CÓDIGO ELECTRICO COLOMBIANO. NTC 2050. Bogotá: El instituto, 1998. p. 630.

VEHÍCULO	CTO C.C		CTO C.A	
	I (A)	PROTECCIÓN NOMINAL	I (A)	PROTECCIÓN NOMINAL
Miev				
BMW i3	45.95	60	10	15
Kia Soul EV	45.95	60	10	15
Nissan Leaf	45.95	60	10	15

5.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Como se indicó en la sección 4.2 la ubicación de la instalación fue seleccionada en el punto de partida/retorno de la característica de desplazamiento, la cual coincide con el lugar de residencia del usuario del vehículo eléctrico por lo que se puede disponer del sistema de puesta a tierra de la vivienda.

De ser necesaria una puesta a tierra diferente, esta se hará de acuerdo con lo expuesto en la NTC 2050 sección 690 – E.

690-41. Puesta a tierra del sistema. En todas las fuentes de energía fotovoltaica debe haber un conductor de un sistema bifilar de más de 50 V nominales y el conductor del neutro de un sistema trifilar que estén sólidamente puestos a tierra.

Excepción. Se permite utilizar otros métodos que ofrezcan una protección equivalente y que utilicen equipos certificados e identificados para ese uso.

Nota. Véase el Artículo 250-1 Nota 1.

690-42. Punto de conexión a puesta tierra del sistema. La conexión a puesta a tierra del circuito de c.c. se debe hacer en cualquier punto del circuito de salida fotovoltaico.

Nota. Ubicando el punto de conexión a tierra lo más cerca posible de la fuente fotovoltaica, el sistema quedará mejor protegido contra las posibles subidas de tensión producidas por los rayos.

690-43. Puesta a tierra de equipos. Se deben poner a tierra todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de los

bastidores de los módulos, equipos y encerramientos de conductores, independientemente de su tensión.

690-45. Sección transversal del conductor de puesta a tierra de equipos. En los sistemas fotovoltaicos en los que la corriente de cortocircuito de la fuente de alimentación sea menor al doble de la corriente nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente, el conductor de puesta a tierra de equipos debe tener una sección transversal no menor a la de los conductores de los circuitos. En otros sistemas el conductor de puesta a tierra de equipos debe tener una sección transversal que cumpla lo establecido en el Artículo 250-95.

690-47. Sistema de electrodo de puesta a tierra. Se debe instalar un sistema de electrodo de tierra que cumpla lo establecido en los Artículos 250-81 a 250-86³⁷

³⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Bogotá: El instituto, 1998. 633 p.

6. SELECCIÓN DE EQUIPOS

La selección de equipos necesaria para la instalación fotovoltaica planteada en el presente trabajo de grado se llevó a cabo buscando que la instalación fuese lo más fácilmente transportable posible. Por lo que con base en el diseño realizado en el capítulo anterior y los datos obtenidos se realiza una búsqueda de diversos equipos para realizar la selección de estos en base del criterio o factor mencionado en la sección 4.8 que dependerá del equipo a seleccionar.

La clasificación de los equipos en función de criterios de fácil transporte se puede consultar en el ANEXO E.

6.1 SELECCIÓN DEL PANEL

Conociendo la potencia mínima del campo fotovoltaico calculada para cada vehículo en la sección 5.1.4, en función de los datos del criterio más desfavorable que corresponde a Bogotá y consignados en el cuadro 7, y a partir de la base de datos de paneles fotovoltaicos realizada y clasificada utilizando el factor Potencia/Área como se indica en el cuadro 5, el panel más favorable corresponde al JSKYKE portátil de tecnología plegable como se indica en la siguiente figura.

Figura 23. Clasificación de los paneles más indicados

POTENCIA (W)	TECNOLOGIA	MARCA	AREA m ²	PESO (Kg)	FACTOR P/A
150	PLEGABLE	JSKYE portatil	0.3131	11.8	479.0801661
80	PLEGABLE	JSKYE portatil	0.275644	9.3	290.2294264
40	PLEGABLE	JSKYE portatil	0.16215	6	246.6851681
30	RIGIDO	XL ENERGY	0.160867	2.2	186.4894602
50	FLEXIBLE	SHENZHEN	0.2835	0.9	176.366843

En la siguiente figura se expone la comparación de los 5 paneles más adecuados para la instalación mostrados en la Figura 24.

Figura 24. Comparación paneles

MARCA	#PANELES 1	ÁREA (m ²)	PESO (kg)	#PANELES 2	ÁREA (m ²)	PESO (kg)	#PANELES 3	ÁREA (m ²)	PESO (kg)	#PANELES 4	ÁREA (m ²)	PESO (kg)
Twizy	5.1	4.8	60.6	9.6	5.3	89.5	19.3	6.2	115.5	25.7	4.1	56.5
i-Miev	8.1	7.7	96.2	15.3	8.4	142.1	30.6	9.9	183.3	40.7	6.6	89.6
i3 Atelier	9.2	8.7	108.8	17.3	9.5	160.8	34.6	11.2	207.4	46.1	7.4	101.4
i3 suite	9.2	8.7	108.8	17.3	9.5	160.8	34.6	11.2	207.4	46.1	7.4	101.4
i3 Loft	9.2	8.7	108.8	17.3	9.5	160.8	34.6	11.2	207.4	46.1	7.4	101.4
i3s 94h Atelier 120amp	9.5	8.9	112.1	17.8	9.8	165.7	35.6	11.6	213.8	47.5	7.6	104.5
Soul EV	9.8	9.2	115.4	18.3	10.1	170.5	36.7	11.9	220.0	48.9	7.9	107.6
Leaf 2019	10.0	9.4	118.3	18.8	10.4	174.9	37.6	12.2	225.7	50.1	8.1	110.3

La comparación expuesta en la Figura 24 confirma la utilización del panel JSKYKE portátil de tecnología plegable, ya que es el que mejor equilibra cantidad, área y peso.

Figura 25. Panel seleccionado



Fuente: Ficha técnica fabricante, contenida en el ANEXO E.

Este panel será de uso común para todos los vehículos en estudio.

6.2 INVERSOR CARGADOR

Con el fin de poseer menos componentes y facilitar un desmonte y transporte de la instalación, se utilizará inversor cargador el cual combina en un solo equipo las

funciones tanto de inversor como del regulador. “Estos inversores se utilizan en instalaciones aisladas de la red, sus potencias van de los 2kW a los 15kW. Tienen incorporado un cargador de baterías”³⁸.

6.3 OTROS EQUIPOS

Los demás equipos fueron seleccionados a partir de lo calculado en el capítulo 5 y se especifican de forma detallada en los planos unifilares contenidos en el ANEXO G, sus respectivas fichas técnicas se encuentran en el ANEXO E.

³⁸ TECHNO SUN. Inversores solares. [sitio web]. [consultado: 12 junio 2020]. Disponible en: <https://www.technosun.com/es/>

7. PRESUPUESTO

Dejando a un lado tanto los beneficios medioambientales, sociales y legales que llegue a tener un sistema fotovoltaico, también se debe realizar un estudio minucioso de los intereses económicos y rentables que se puedan llegar a tener en un futuro.

Al querer realizar y llevar al mercado nacional el módulo de carga ,es necesario adquirir varios componentes que lleven a su correcto funcionamiento, para eso y con ayuda de varias plataformas web de diversos distribuidores (nacionales e internacionales), se logra realizar un listado de componentes en el cual se especifican la cantidad y el valor unitario de cada uno, teniendo en cuenta que algunos componentes se encontraban en plataformas internacionales con valores en monedas distintas a la colombiana (Dólares y euros) por lo cual se convierten a pesos colombianos, con la siguiente tasa de cambio (un dólar=\$3,623.11 y un euro=\$4,096.94), teniendo en cuenta la variación diaria en cada una de estas monedas, la cual es aproximadamente de un %0.41.

Gracias al gobierno colombiano y como se menciona en el capítulo 8, sección 1 del decreto 2143 de 2015³⁹, el cual especifica, que para quienes realicen inversiones en proyectos FNCE, de cogeneración, autogeneración y generación distribuida y con aprobación del ministerio de minas y energía se encontraran excluidos de:

³⁹ COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 2143 (4, noviembre, 2015). Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, Decreto 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Ley 1715 de 2014. Bogotá, D.C.: La presidencia. [Consultado: Julio 7 de 2020]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>

- Deducción especial sobre el impuesto de resta y complementos
- Exclusión del IVA
- Exención de gravamen arancelario-
- Régimen de depreciación acelerada
- Adecuación de tramites

Por consiguiente, cada uno de los componentes del módulo de carga ya tienen contemplados dentro su valor el recaudo IVA ya que es un valor efectuado por el distribuidor, por lo tanto y al tratarse de un proyecto FNCE, se realiza el descuento pertinente de IVA y de aranceles al presupuesto total del módulo de carga.

Como menciona Galvis⁴⁰ para realizar las pruebas y el montaje correspondiente de la instalación se requiere de personal capacitado, por lo cual es necesario de un ingeniero y un técnico. los cuales tienen un sueldo mensual estimado de \$3,000,000 y \$1,500,000 respectivamente. Serán necesarios aproximadamente 10 días para realizar pruebas y puesta en marcha de la instalación, por tanto, se debe establecer el pago de los días y la mano de obra, calculados a continuación;

Cuadro 13. Salario personal profesional para la instalación

Profesional	Salario Diario (COP)	Salario Total (COP)
Ingeniero	\$100,000	\$1'000,000
Técnico	\$50,000	\$500,000
Salario Total		\$1'500,000

Donde el salario total y la mano de obra por los servicios profesionales serán incluidos en la inversión inicial del proyecto.

⁴⁰ GALVIS, Andrés y MORALES, Cesar. Diseño de una instalación fotovoltaica conectada a la red para el edificio Mamitza Bayer ubicado en el campus central de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2017. p. 99.

Cuadro 14. Inversión inicial del módulo de carga para el NISSAN LEAF

PRESUPUESTO LEAF				
COMPONENTES	UN	VR UNITARIO	CANTIDAD	VR TOTAL
Accesorios	<i>glb</i>	\$ 8,000	1	\$ 8,000
Batería AGM 145 Ah	<i>un</i>	\$ 907,980	2	\$ 1,815,960
Breaker Schneider Electric 15 A	<i>un</i>	\$ 15,000	1	\$ 15,000
Breaker SIEMENS 40 A	<i>un</i>	\$ 47,400	1	\$ 47,400
Conductor 8 AWG CENTELSA PV XLPE	<i>m</i>	\$ 7,481	5	\$ 37,405
Conductor 14 AWG CENTELSA PV XLPE	<i>m</i>	\$ 6,923	2	\$ 13,846
Conectores MC4_ 5-1	<i>un</i>	\$ 69,000	1	\$ 69,000
Conector para banco de baterías	<i>un</i>	\$ 5,000	4	\$ 20,000
Inversor cargador GROWATT	<i>un</i>	\$ 1,260,780	1	\$ 1,260,780
Estructura "riel" en aluminio para paneles 4.2 m	<i>m</i>	\$ 140,000	2	\$ 280,000
Herramienta menor	<i>glb</i>	\$ 10,000	1	\$ 10,000
Mano de obra	<i>jnl</i>	\$ 1,500,000	1	\$ 1,500,000
Modulo solar JSKY 150W	<i>un</i>	\$ 300,000	10	\$ 3,000,000
Schuko 220 v 10 A	<i>un</i>	\$ 80,000	1	\$ 80,000
Transporte	<i>aca</i>	\$ 25,250	3	\$ 75,750
SUBTOTAL				\$ 8,233,141
Descuento IVA por proyectos FNCE				\$ 1,564,297
TOTAL				\$ 6,668,844

7.1 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para realizar un análisis de rentabilidad a la instalación del módulo de carga, con el fin de garantizar que la inversión inicial conllevará a un ahorro cercano y posteriormente a obtener un beneficio rentable. Para eso como menciona Galvis⁴¹,

⁴¹ GALVIS. Op. cit., p. 103.

se utilizan indicadores de rentabilidad como lo son: el Valor Actual Neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de la inversión o PAYBACK, con el fin de actualizar los beneficios, costos actuales y la variación porcentual en el costo de bienes y servicios representativos en el mercado. Se utiliza el índice de precios al consumidor IPC del DANE, cuyo promedio para el 2019 fue de %3.80. estas variaciones se encuentran en documentos oficiales brindados al público por el DANE⁴².

Siendo así, se utilizará el IPC para dar un costo estimado al mantenimiento anual de la instalación del módulo de carga y al futuro ahorro energético.

7.1.1 Valor actual neto (VAN). El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero o criterio de inversión que permite saber la viabilidad de un proyecto, entendiéndose por el VAN como el dinero que se ha recuperado, después de unos años de haber realizado la inversión inicial.

Como dice Rankia⁴³, la metodología consiste en calcular el valor presente de un número de flujos de caja futuros (ganancia anual futura por la inversión) y compararlos con el desembolso inicial, si la inversión es mayor que la tasa, se obtiene un VAN negativo y la tasa futura no es cumplida, si la inversión y la tasa son iguales el VAN es cero el proyecto no genera ganancias ni pérdidas y cuando el flujo es mayor que el desembolso inicial se espera una futura ganancia y que el proyecto sea rentable.

⁴² DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Indicadores económicos alrededor de la construcción. [sitio web]. Bogotá: DANE. [Consulta: 7 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc>

⁴³ RANKIA. ¿Qué es el Valor Actual Neto (VAN)? ¿Cómo se calcula? [Sitio web]. RANKIA. [Consulta: 9 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.rankia.co/blog/como-comenzar-invertir-bolsa/3452556-que-valor-actual-neto-van-como-calcula>

Según Jutglar⁴⁴ el cálculo del VAN se obtiene mediante:

$$VAN = -C + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{B_i}{(1+k)^i} \quad (13)$$

Donde

C = inversión inicial

k = tasa de interés anual

Bi=diferencia de ingresos y egresos anual

Para el cálculo del VAN y para analizar la rentabilidad del proyecto, se utilizará el siguiente ejemplo: Donde se tiene un usuario que utiliza diariamente el vehículo eléctrico, Nissan Leaf el cual presenta un consumo de 123.0769 Wh/km respectivamente; el usuario recorre 32 kilómetros diarios, y se ubica en la ciudad de Bucaramanga; la cual se proyecta a tener un crecimiento del parque automotor de vehículos eléctricos y donde el valor del kWh es el mayor de las ciudades en estudio.

En la ciudad de Bucaramanga donde el valor del kWh es igual a \$583.9705* obteniendo ahorros anuales por vehículo correspondientes a:

Cuadro 15. Ahorro anual en Bucaramanga

Vehículo	Ahorro anual (\$)
Twizy	429,708.85
i-Miev	682,077.54
BMW i3s	771,663.85
Soul	818,493.05
Leaf	839,479.90

⁴⁴ JUTGLAR, Lluís. Generación de energía solar fotovoltaica. Barcelona: Marcombo S.A, 2012. p. 153.

* Los valores de kWh para las ciudades bajo consideración se encuentran en el ANEXO F

Siendo los ahorros anuales, las bases que se utilizarán como rendimiento o rentabilidad en la adecuación del módulo de carga, y proyectando la instalación a una vida útil de 25 años, la cual corresponde a la vida útil de los componentes de la instalación y aplicando una tasa de interés anual de %3.46 la cual corresponde al DTF para proyectos de eficiencia energética y energía renovable, se procede al cálculo del VAN y se selecciona cual de todos los vehículos tiene el mayor valor de este parámetro, y así saber cuál vehículo tiene mayor rentabilidad anual en Bucaramanga; Para mayor detalle se recomienda ver el ANEXO F, el cual muestra que el vehículo más rentable en la ciudad de Bucaramanga es el Nissan LEAF; a continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 16. Cálculo del VAN ciudad de Bucaramanga

LEAF	
Consumo por km	123.0769
Consumo diario (kw)	3.9384608
Ahorro diario	\$2,299.94
Anual	\$839,479.90

INVERSION INICIAL	\$6,668,844
-------------------	-------------

VAN	\$7,227,314.53
Payback	9.452861448

En donde teniendo una inversión inicial de \$ 6,668,844 COP para el Nissan LEAF se obtiene un VAN de \$7,227,314.53 COP en la ciudad de Bucaramanga; por lo que al ser valores positivos nos muestran la viabilidad de la instalación y la posible obtención de ganancias futuras.

7.1.2 Periodo de recuperación o payback. Como menciona Galvis⁴⁵, es el indicador del tiempo necesario para recuperar la inversión inicial, observando cual fue el último periodo de flujo negativo donde se espera haber recuperado la

⁴⁵ GALVIS. Op. cit., p. 106.

inversión inicial y se empieza a obtener posibles ganancias, se calcula de la siguiente manera.

$$PAYBACK = \text{Último periodo de flujo acum negativo} + \frac{|\text{último flujo acum negativo}|}{\text{flujo en el siguiente periodo}} \quad (14)$$

Donde el usuario ubicado en la ciudad de Bucaramanga tiene una recuperación de la inversión en un tiempo de 9 años y 5 meses, obteniendo ganancias en los siguientes años durante la vida útil de la instalación. Para mayor detalle se recomienda ver el ANEXO F.

8. CONCLUSIONES

Para un usuario con una necesidad de movilidad característica descrita en el presente trabajo de grado, se determinó que el lugar más adecuado para ubicar la instalación es en su lugar de residencia o lugar de partida/retorno en su ciclo de movilidad diaria, ya que esta ubicación permite al usuario del vehículo eléctrico disfrutar de este cuando su desplazamiento característico este por fuera del usual, siempre y cuando su desplazamiento este cubierto por el nivel de carga que proporciona la instalación. Además, esta ubicación permite al usuario contar con un sistema de respaldo como lo es la red eléctrica entre otras ventajas expuestas.

Se estableció una base de datos con los vehículos eléctricos BEV y PHEV con mayor relevancia en el mercado colombiano actual, junto con sus respectivas fichas e información técnica y se realizó una identificación y clasificación de los vehículos eléctricos de este tipo con mejor rendimiento.

Se digitalizaron las bases de datos de radiación hora a hora proporcionados por el IDEAM para todas las ciudades consideradas, junto con el procedimiento de tratamiento y resultados obtenidos de la base de datos de radiación solar hora a hora proporcionados por la UIS a la fecha.

Se identificaron y listaron los requisitos regulatorios necesarios tanto para instalaciones solares fotovoltaicas aisladas, como para la carga de vehículos eléctricos.

Dada la necesidad de fácil desmonte de la instalación planteada en el presente trabajo de grado, se generó una base de datos documental de los equipos

necesario para la solución aquí planteada junto con información de su costo a la fecha, y la identificación de los equipos que permitan un fácil transporte.

Debido a la escasa infraestructura de carga pública para vehículos eléctricos a nivel nacional y el crecimiento a grandes pasos de este parque automotor eléctrico se establecieron los criterios necesarios para suplir una necesidad de movilidad determinada a partir del diseño de una instalación fotovoltaica buscando que esta fuese lo más fácil transportable posible.

La evaluación financiera logra desvelar que el módulo de carga es viable económicamente en todas las ciudades bajo análisis y para los vehículos seleccionados, ya que se presenta un retorno de la inversión inicial en un lapso de aproximadamente la mitad de la vida útil de la instalación.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. Dispositivo de control y protección integrado en el cable para el modo de carga 2 de vehículos eléctricos de carretera (IC-CPD). UNE-EN 62752. Madrid: UNE, 2019.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. Dispositivos fotovoltaicos: Procedimiento de corrección con la temperatura y la irradiancia de la característica I-V de dispositivos fotovoltaicos. UNE-EN 60891. Madrid: AENOR, 2010.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 21: Requisitos del vehículo eléctrico para conexión conductora a red en c.a/c.c. UNE-EN 61851-21. Madrid: UNE, 2002.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. Vehículos de carretera propulsados eléctricamente Transmisión de potencia conductiva Requisitos de seguridad. UNE-EN ISO 17409. Madrid: UNE, 2012.

CALA, Fabián y RODRÍGUEZ, Carlos. Diseño de un sistema de suministro de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica. [En línea]. Trabajo de grado ingeniero Electricista. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010. [Consultado 04 marzo 2020]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133351.pdf>

CASA, Miguel y BARRIO Mónica. Instalaciones solares fotovoltaicas. México D.F.: Alfaomega, 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 243 (19, diciembre, 2016). Por la cual se define la metodología para determinar la energía en firme para el cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2016.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Consultoría para establecer una metodología para el cálculo de energía firme de una planta solar. [En línea]. Madrid: Fonroche Renewable Energies, S.L.U. [Consulta: 03 de junio de 2020]. Disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/f3e1767ba2c80cf20525821000801d37/\\$FILE/ANEXO%202.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/f3e1767ba2c80cf20525821000801d37/$FILE/ANEXO%202.pdf)

EL CARRO COLOMBIANO. [Sitio web]. EL CARRO COLOMBIANO. [Consulta: 19 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.elcarrocolombiano.com/>

ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Instalaciones y sistemas fotovoltaicos. México D.F.: Limusa, 2014.

ERIQUE, Carlos. Análisis y diseño de una electrolinera para la recarga de vehículos eléctricos livianos, haciendo uso de energía fotovoltaica. [En línea]. Trabajo de grado ingeniero en eléctrico mecánica. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, 2016. [Consultado 08 junio 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6639/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-86.pdf>

EXPOSOLAR COLOMBIA. Sistemas fotovoltaicos: Consideraciones técnicas. [En línea]. Exposolar. [Consulta: 03 de junio de 2020]. Disponible en: <https://feriaexposolar.com/wp-content/uploads/2018/12/ABB-SKP-Consideraciones-t%C3%A9cnicas-y-Dimensionamiento.pdf>

GUERRERO, Victor. Estudio sobre los gestores de cargas para vehículos eléctricos. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Superior Industrial. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. Leganés, 2012. [Consultado 08 junio 2020]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16588/Estudio%20sobre%20los%20gestores%20de%20carga%20para%20vehiculos%20electricos.pdf;jsessionid=A050D43053BDE40FD11F8AFEABDD4C1C?sequence=1>

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Desarrollo de metodología para la estimación de los vehículos-kilómetro recorridos anualmente, a nivel nacional. [en línea]. Querétaro: IMT. [Consulta: 06 de junio de 2020]. Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt517.pdf>

MEDINA, Wilson. Implementación de un sistema para analizar la viabilidad técnica y económica del suministro energético de un grupo de viviendas rurales sin conexión a la red por medio de abastecimiento de energía eólica y fotovoltaica. [En línea]. Trabajo de grado ingeniero Electricista. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2016. [Consultado 04 marzo 2020]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/165181.pdf>

MESSENGER, Roger & VENTRE, Jerry. Photovoltaic Systems Engineering. 2 ed. Boca raton, FL.: CRC PRESS, 2004.

NAVAS, Cesar y ORTÍZ, Andrés. Diseño, análisis, construcción y evaluación financiera de un sistema de generación de energía fotovoltaica para un galpón de la empresa Avides Macpollo sede Barrancabermeja. [En línea]. Trabajo de grado ingeniero Mecánico. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2015. [Consultado 04 marzo 2020]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/157434.pdf>

REVISTA MOTOR. Precios. [Sitio web]. Bogotá: El Tiempo. [Consulta: 28 de junio de 2020].

REVISTA TURBO. [Sitio web]. TURBO. [Consulta: 19 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.revistaturbo.com/>

REVISTA VEC. Precios automóviles eléctricos. [Sitio web]. Medellín: VEC. [Consulta: 06 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.vehiculoselectricos.co/>

RUIZ, Paula. Instalación y optimización de un sistema de placas solares fotovoltaicas en una estación de carga de vehículos eléctricos. [En línea]. Trabajo fin de máster. Comillas Universidad Pontificia. Madrid, 2019. [Consultado 13 junio 2020]. Disponible en: <https://evobservatory.iit.comillas.edu/wp-content/uploads/2019/10/TFM-RuizHernandezPaula-2.pdf>

SANCHEZ, Miguel. Energía solar fotovoltaica. México D.F.: Limusa, 2018.

SARANGO, Daniel y MONCAYO, Pedro. Determinación del indicador kilómetros-vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico Automotriz. Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca. Cuenca, 2016. [Consulta: 14 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12152/1/UPS-CT006103.pdf>