

**DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE UN PUNTO DE  
RECARGA MASIVO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

**ALEJANDRA JARAMILLO PICO  
SERGIO ANDRÉS MACÍAS PINTO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2016**

**DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE UN PUNTO DE  
RECARGA MASIVO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

**ALEJANDRA JARAMILLO PICO  
SERGIO ANDRÉS MACÍAS PINTO**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electricista**

**Director:**

**OSCAR ARNULFO QUIROGA QUIROGA  
Ph.D en Tecnología**

**Codirector:**

**JAVIER ENRIQUE SOLANO MARTÍNEZ  
Ph.D en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2016**

## DEDICATORIA

*Primeramente a Dios, el dador de la inteligencia,  
quien me ha guiado, cuidado y ayudado a lo largo y ancho del camino.*

*A mis padres y hermano,  
por ser mi apoyo incondicional, la fuente del amor y la entrega sacrificial  
y mi mejor motivación;  
a quienes les debo todo lo que soy y lo que quiero ser.*

*A mi compañero de tesis y batallas universitarias, por su sentido  
de compromiso, responsabilidad y diligencia,  
quien ha sido mi amigo fiel y un ejemplo de persona.*

*A todos los que han ayudado a escribir una parte de la historia  
de mi paso por la UIS, por sus aportes a la formación de mi carácter  
y por ayudarme a acceder al conocimiento.*

**Alejandra Jaramillo Pico**

## DEDICATORIA

*A Dios, por haberme permitido llegar a este punto y fortalecerme en los momentos difíciles.*

*A mis padres y mi hermano, por brindarme su apoyo en sentido material, emocional y espiritual. Sus esfuerzos, sacrificios y paciencia me impulsaron a perseverar por alcanzar este objetivo, y a pesar de que el reconocimiento se haga a mi nombre, este logro es nuestro.*

*A mis compañeros y profesores, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia y ayudarme en mi formación personal y profesional. Especialmente, al profesor Oscar Quiroga por guiarme y brindarme su apoyo en la realización de este trabajo de grado.*

*A mi compañera de tesis, porque me ha brindado su amistad y apoyo en mi paso por la universidad. Su carisma y actitud positiva me ayudaron a superar las crisis de final de semestre.*

*A todos, muchas gracias.*

**Sergio Andrés Macías Pinto**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>23</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>26</b>
<b>3. OBJETIVOS Y ALCANCE</b>	<b>28</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL	28
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
3.3 ALCANCE	29
<b>4. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LOS SISTEMAS DE RECARGA</b>	<b>30</b>
4.1 VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)	30
4.1.1 Historia del vehículo eléctrico.	31
4.1.2 Partes del vehículo eléctrico.	34
4.1.2.1 Motor eléctrico.	35
4.1.2.2 Baterías	36
4.1.2.3 Cargador.	39
4.1.2.4 Cable de carga.	39
4.2 RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	39
4.2.1 Tipos y tiempos de recarga.	39
4.2.2 Modos de carga y nivel de comunicación.	40
4.2.3 Conectores	42

4.3 VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO (HEV)	44
4.4 MERCADO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	46
4.5 DEMANDA ENERGÉTICA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	51
4.6 INFRAESTRUCTURA DE RECARGA	55
4.6.1 Protocolo CHAdeMO.	57
4.6.2 Sistema de carga combinada.	57
4.7 PROCEDIMIENTO DE RECARGA RÁPIDA	58
4.7.1 La URV – Unidad de Recarga Vehicular.	59
4.8 SITUACIÓN ACTUAL DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA	60
<b>5. DIMENSIONAMIENTO DE UN PUNTO DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS</b>	<b>62</b>
5.1 REGLAMENTACIÓN PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN PUNTO DE RECARGA DE VE	62
5.1.1 Normatividad colombiana.	62
5.1.2 Normatividad internacional.	67
5.2 MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO DE ESTACIONES DE RECARGA	69
5.2.1 Márkov Modulated Poisson Processes - MMPP.	71
5.2.2 Variables que influyen en el dimensionamiento del punto de recarga.	75
5.2.2.1 Número de espacios.	75
5.2.2.2 Tipo de estaciones de recarga.	76
5.2.2.3 Patrón de llegada de los VE.	78
<b>6. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE RECARGA: CASO DE ESTUDIO</b>	<b>80</b>
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO	80

6.1.1 Supuestos sobre movilidad.	80
6.1.2 Definición de variables.	81
6.1.3 Dimensionamiento de las estaciones de recarga.	83
6.1.4 Determinación del área y la demanda por alumbrado.	86
6.1.5 Demanda del punto de recarga.	89
6.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE RECARGA	89
6.2.1 Selección del transformador.	89
6.2.2 Selección del nivel de tensión.	91
6.2.3 Cálculo de conductores.	92
6.2.3.1 Acometida en MT.	92
6.2.3.2 Acometida en BT.	93
6.2.3.3 Circuitos ramales.	93
6.2.4 Protecciones.	94
6.2.4.1 Protecciones de los transformadores.	94
6.2.4.2 Protecciones de circuitos ramales.	96
6.2.5 Medición.	96
6.2.6 Puesta a tierra.	99
6.2.6.1 Selección de conductores de puesta a tierra.	99
6.2.6.2 Malla de puesta a tierra.	101
6.2.6.2.1 Cálculo de la malla.	101
6.2.6.2.2 Características de la malla y verificación de los resultados.	106
6.2.7 Ductería.	107
6.2.8 Regulación y pérdidas de potencia.	110

6.2.9 DPS.	112
6.2.10 Apantallamiento.	115
6.2.11 Sistema de emergencia.	116
6.2.12 Diagramas y planos.	118
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>119</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	<b>122</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>124</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>134</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Oferta total de energía primaria por recurso	24
Figura 2. Vehículos eléctricos	31
Figura 3. Taxi en Nueva York alrededor de 1901 (La mujer es Lillie Langtry, actriz y amante del rey Eduardo VII)	32
Figura 4. Esquema general de los componentes del sistema de tracción de un vehículo eléctrico	35
Figura 5. Modelo equivalente sencillo de una batería compuesta de seis celdas conectadas en serie	38
Figura 6. Modos de carga de vehículos eléctricos	42
Figura 7. Comparación entre fabricantes de VE y las diferentes versiones ofrecidas	48
Figura 8. Comparación entre fabricantes de HEV y PHEV y las diferentes versiones ofrecidas	49
Figura 9. Penetración de VE (automóviles) en Colombia	50
Figura 10. Distribución y tipo de VE en Colombia	50
Figura 11. Proceso de recarga de vehículos en estaciones públicas	59
Figura 12. Modelo para N elementos	72
Figura 13. Estación de recarga EVlink Fast Charge	83
Figura 14. Gráfica del Número de VE vs. Energía de la red	85
Figura 15. Gráfica del Tiempo de recarga vs. Energía de la red	85
Figura 16. Estacionamiento a 90° de una vía	86
Figura 17. Punto de recarga con 9 estaciones de carga rápida	87
Figura 18. Resultados de iluminancia obtenidos con DIALux	88
Figura 19. Curva de carga por hora para recarga rápida de VE	112

Figura 20. Valores de entrada para determinar el nivel de riesgo frente a rayos	115
Figura 21. Resultados de la evaluación del nivel de riesgo frente a rayos según la IEC 62305-2	116

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características de los distintos tipos de motores utilizados en vehículos eléctricos	36
Tabla 2. Modelos de conectores comerciales	44
Tabla 3. VE vendidos en Colombia	51
Tabla 4. Características de la carga para vehículos eléctricos	52
Tabla 5. Características de los escenarios de repostaje	53
Tabla 6. Tipos de infraestructura de recarga [8].	56
Tabla 7. Normas expuestas en el RETIE referentes a los VE	63
Tabla 8. Número mínimo y máximo de espacios de recarga permitidos	76
Tabla 9. Tipos de estaciones de recarga	77
Tabla 10. Clasificación de estaciones de carga	78
Tabla 11. Resultados de un VE durante una prueba de funcionamiento	81
Tabla 12. Características de la estación de carga EVlink Fast Charge	82
Tabla 13. Variables y resultados	84
Tabla 14. Características de la luminaria BVS400 1xGRN94-3S/657 PRM de Philips	87
Tabla 15. Comparación de resultados de iluminación	88
Tabla 16. Transformadores trifásicos de 15 kVA a 3750 kVA, serie AT<15 kV, serie BT≤1,2 kV	90
Tabla 17. Capacidad de transformadores ABB	91
Tabla 18. Demandas máximas por niveles de tensión	91
Tabla 19. Transformadores de distribución trifásicos serie 15 kV	92
Tabla 20. Características del transformador de tensión y transformador de corriente	96
Tabla 21. Caracterización de los circuitos de la instalación	98

Tabla 22. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos	99
Tabla 23. Selección del conductor de puesta a tierra	100
Tabla 24. Valores orientativos de resistividad del suelo	101
Tabla 25. Propiedades químicas del municipio de Bucaramanga	102
Tabla 26. Variables y ecuaciones para el cálculo de la malla de tierra	103
Tabla 27. Verificación por condiciones tolerables por el ser humano	106
Tabla 28. Especificación de ductos seleccionados	108
Tabla 29. Porcentajes de regulación de tensión	110
Tabla 30. Porcentajes de pérdidas de energía	111
Tabla 31. Pérdidas de potencia y energía para circuitos ramales	114

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. LISTA DE CONECTORES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS	135
ANEXO B. LISTA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS	139
ANEXO C. LISTA DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELÉCTRICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS	144
ANEXO D. ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	146
ANEXO E. ALGORITMO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE VEHÍCULOS Y EL TIEMPO DE RECARGA	154
ANEXO F. VISTAS SUPERIOR Y LATERAL DEL PUNTO DE RECARGA. CASO DE ESTUDIO	156
ANEXO G. VISTA ISOMÉTRICA DEL PUNTO DE RECARGA. CASO DE ESTUDIO	157
ANEXO H. DIAGRAMA UNIFILAR DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL CASO DE ESTUDIO	158
ANEXO I. PLANO DE PLANTA. REDES ELÉCTRICAS DEL CASO DE ESTUDIO	159

## ABREVIACIONES

AT	Alta tensión
BT	Baja tensión
CCS	Siglas en inglés para Sistema de Carga Combinada
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
EPA	Siglas en inglés de la Agencia de Protección Ambiental
ESSA	Electrificadora de Santander S.A.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HEV	Siglas en inglés para Vehículo Híbrido Eléctrico
INDC	Siglas en inglés para Contribuciones Determinadas y Previstas a Nivel Nacional
MCI	Motor de Combustión Interna
MMPP	Márkov Modulated Poisson Processes
OR	Operador de red
PHEV	Siglas en inglés para Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable
RoC	Request of Charge
RUNT	Registro Único Nacional de Tránsito
VE	Vehículo Eléctrico

## RESUMEN

**TÍTULO:** “DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE UN PUNTO DE RECARGA MASIVO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”<sup>\*</sup>.

**AUTORES:** ALEJANDRA JARAMILLO PICO  
SERGIO ANDRÉS MACÍAS PINTO<sup>\*\*</sup>.

**PALABRAS CLAVES:** Vehículo eléctrico, infraestructura de recarga, electrolinería, estación de carga.

### CONTENIDO:

El presente trabajo de grado tiene como propósito diseñar la instalación eléctrica de un punto de recarga masivo de vehículos eléctricos operando bajo el modo de carga rápido de corriente directa (DC). Primeramente, se presentan los resultados de un estudio del mercado actual de los vehículos eléctricos tanto en el mundo como en el país, en donde se mencionan las marcas más relevantes, los modelos que están disponibles y algunas especificaciones técnicas de las baterías. Adicionalmente, se ha anexado un listado con el nombre y las principales características de las estaciones de carga para los vehículos. El dimensionamiento se realiza a partir de una metodología propuesta en un informe publicado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), a partir del cual se definieron tres variables: el número de espacios de recarga, el tipo de estación de carga y el comportamiento de llegada de los vehículos al punto de recarga. Para poner en contexto esta información, se ha planteado un caso de estudio enmarcado en el entorno urbano local, por esta razón, se tomó como referencia el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) y las Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA. En esta sección se presentan las memorias de cálculo asociadas al caso de estudio y los respectivos diagramas y planos.

---

<sup>\*</sup> Trabajo de grado.

<sup>\*\*</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Codirector: Javier Enrique Solano Martínez.

## ABSTRACT

**TITLE:** "SOLUTION DESIGN FOR THE INSTALLATION OF A MASSIVE CHARGING POINT FOR ELECTRIC VEHICLES".

**AUTHORS:** ALEJANDRA JARAMILLO PICO  
SERGIO ANDRÉS MACÍAS PINTO\*\*.

**KEYWORDS:** Electric vehicle, charging infrastructure, charging stations.

### CONTENT:

This degree project is aimed to design the electrical facility of a massive charging point for electric vehicles that specifically operate under the direct current (DC) mode. Regarding this matter we present a study in the first part of this document that focuses on the current market trends for electric vehicles worldwide and nationwide, where the available models and the most relevant brands are mentioned. Additionally, we have attached a list which contains the name and most important characteristics of several charging stations for vehicles. The sizing was made using a methodology that was proposed in a report taken from the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) that allowed us to define three important variables: the number of recharge spaces, the type of charge, and the arrival behavior of vehicles at the charging point. For the sake of contextualizing all the information we previously gathered, it's presented a study case framed in the local urban environment, for this particular reason, we have used as our main reference the Technical Regulations for Electrical Installations (RETIE), the current Colombian Electrical Code (NTC 2050) and the Rules for Calculation and Design of Distribution Systems from the ESSA. In this section we describe all the pertinent calculation reports associated with the study case and the respective diagrams and drawings.

---

\* Degree project.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineerings. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Codirector: Javier Enrique Solano Martínez.

## INTRODUCCIÓN

El sector transporte es uno de los segmentos más activos en la sociedad y soporta gran parte del modelo económico existente, por eso con el paso de los años ha ido progresando e innovando para adecuarse a las necesidades de las personas. No obstante, por su dependencia de la energía fósil, se evidencia la necesidad de nuevos desarrollos para garantizar su sostenibilidad. Según cifras del Ministerio de Transporte y la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME), para el año 2014, el sector transporte en Colombia consumía aproximadamente el 44 % de la energía primaria del país, era responsable del 15 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>, dependía en un 95 % de combustibles fósiles y el crecimiento de su demanda se proyectó a una tasa anual del 2,9 %. Las cifras muestran la gran cantidad de energía que demanda este sector junto con su alta tasa de crecimiento, el agravante de la situación es que depende casi en su totalidad de combustibles fósiles los cuales “tienen efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente”, según indica la EPA (Siglas en inglés de la Agencia de Protección Ambiental); así pues, referirse a movilidad y transporte equivale en definitiva a hablar de petróleo. Adicionalmente las cifras de los costos estimados de energía desperdiciada para el año 2012 fueron cercanos a USD\$ 5.200 millones anuales, haciéndose imprescindible la necesidad de crear alternativas más eficientes y limpias que no solo satisfagan las necesidades del ser humano, sino que sean prácticas amigables con el planeta [1].

Es en este escenario donde el uso de tecnologías como la tracción eléctrica tiene un papel sobresaliente en los futuros planes para el sector transporte. El empleo de las mismas proporciona múltiples ventajas: un alto potencial de aprovechamiento energético en el vehículo, una larga vida útil de los componentes

de tracción, es una opción que garantiza cero emisiones urbanas y permite la utilización de la energía generada a través de fuentes renovables.

Estas tecnologías ya son una realidad a nivel mundial. A mediados de 2015, se alcanzó el millón de vehículos eléctricos en el mundo, que corresponde a alrededor del 0,1 % del total del parque automotor mundial [2]. Por su parte, Colombia ha seguido la misma tendencia, consiguiendo 1.232 vehículos matriculados, de los cuales el 78 % son motocicletas y el 16 % automóviles, según el RUNT (Registro Único Nacional de Tránsito). En el caso de los híbridos hay 307 vehículos matriculados (en su mayoría buses). Adicionalmente, el gobierno nacional, por medio del Decreto 2909 de 2013 busca “promover beneficios arancelarios por un periodo de tres años para contingentes anuales de 750 vehículos eléctricos, 750 vehículos híbridos enchufables de menos de 3000 cm<sup>3</sup>, 100 estaciones de recarga rápida y 1.500 sistemas de recarga residencial” [2]. Además, el Ministerio de Transporte en los últimos años ha estado monitoreando el desarrollo internacional de las nuevas tecnologías, acompañando las iniciativas público-privadas, asistiendo los procesos para la homologación de vehículos híbridos y eléctricos, y ha empezado a establecer planes para la modernización de flotas de transporte público y carga en todo el país. Asimismo, este ministerio creó un área ambiental transversal que demuestra un compromiso hacia la sostenibilidad del sector transporte y ha generado nuevos planteamientos acerca del futuro de las ciudades y sus sistemas de transporte. Paralelamente, el Ministerio de Ambiente ha generado políticas que tienen una orientación hacia la reducción de emisiones contaminantes y el ascenso de las condiciones urbanas [1].

A pesar de que en Colombia (y en otros países) se está promoviendo un escenario dentro de un plan de reducción de emisiones de gases y modernización del sector transporte, solo se han logrado implementar algunas iniciativas a nivel local y los proyectos que se han ejecutado son aislados, por lo que se consideran proyectos

pilotos orientados a resolver una problemática específica. También resulta válido mencionar que el planteamiento de este modelo alternativo de transporte exige dar respuesta a dos preguntas: ¿de dónde procederá la electricidad necesaria para abastecer a los vehículos? Y, ¿dónde se realizará el repostaje de los vehículos? A esto, se suman otros factores que obstaculizan la masificación de este medio de transporte, como el alto costo de los vehículos junto con su autonomía, el desconocimiento de los consumidores y el fortalecimiento de incentivos fiscales y arancelarios que motiven su adquisición.

Actualmente, grupos de investigación como Hydro-Québec y CIC Energigune están trabajando en nuevas plataformas de almacenamiento llegando a garantizar una autonomía de hasta 350 [km], pero esto acarrea un aumento en el precio general del vehículo\*, por lo que algunos especialistas proponen la creación de una “red de recarga” de modo que se pueda reabastecer fácilmente y así el problema de la batería sea más asumible. Es por eso, que con este trabajo de grado se pretende profundizar en los aspectos técnicos relacionados con el diseño de una infraestructura de recarga masiva para vehículos eléctricos y de esta manera motivar al sector industrial para que invierta en la expansión y promoción de esta tecnología que está buscando posicionarse como el sustituto “saludable” de los vehículos convencionales.

En este documento se recopila información actualizada acerca de las diversas alternativas de vehículos eléctricos y sistemas de recarga disponibles en el país, con el fin de difundir los últimos avances tecnológicos del sector, así como los nuevos modelos de gestión de recarga promovidos por algunas compañías que fabrican este tipo de vehículos. Seguidamente, se presenta una metodología para realizar el dimensionamiento del punto de recarga, basada en un método

---

\* Aunque estas cifras representan una mejora con respecto a las celdas de almacenamiento más utilizadas, aún no supera la media de autonomía de los vehículos de combustión interna, que se encuentra cerca de los 450 [km].

denominado *Márkov Modulated Poisson Processes*. Adicionalmente, se plantea un caso de estudio en el que se aplica el método anteriormente mencionado y se realiza el diseño de la instalación para el punto de recarga de vehículos eléctricos. Las referencias normativas se tomaron principalmente, del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 y las Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA.

Por último, se exponen las conclusiones obtenidas con el desarrollo de este trabajo de grado y las recomendaciones para continuar desarrollando esta temática.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sociedad moderna depende en gran medida del transporte basado en combustibles fósiles. Hay alrededor de 800 millones de automóviles en el mundo y un poco más de 11 millones de vehículos en las carreteras de Colombia<sup>\*</sup>. En 2009, China se convirtió en el mayor mercado automotriz del mundo, con una producción y ventas, de 13,79 y 13,64 millones de unidades en ese año, respectivamente. Con el aumento en la urbanización, la industrialización y la globalización, la tendencia de rápido aumento en el número de automóviles personales en todo el mundo es inevitable. Las cuestiones relacionadas con esta tendencia se hacen evidentes, porque el transporte depende en gran medida del petróleo. No sólo son los recursos petroleros limitados de la Tierra, sino también las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de productos derivados del petróleo lo que ha llevado al cambio climático, la mala calidad del aire urbano, y conflictos políticos. Así que, los problemas medioambientales que han surgido y el reciente impulso de tecnologías más amigable con el ambiente, como los VE, pueden ser atribuidos en gran medida al transporte personal.

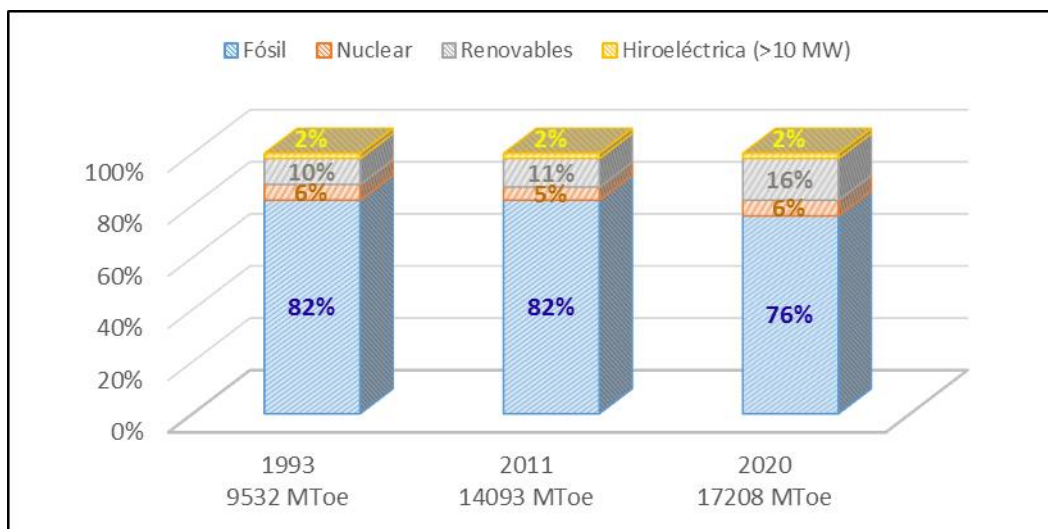
Actualmente, los gobiernos se enfrentan a un serio desafío con la demanda de energía. El mundo consume aproximadamente 85 millones de barriles de petróleo cada día, pero sólo hay 1.300 millones de barriles de reservas probadas [3]. En la **Figura 1** se puede confirmar el importante papel que ha desempeñado el combustible fósil para satisfacer la demanda de energía mundial durante las últimas dos décadas, pero se espera que siga disminuyendo su presencia, mientras que las fuentes de energía renovable empiezan a posicionarse como una alternativa factible.

---

<sup>\*</sup> De acuerdo a las estadísticas del RUNT publicadas en febrero de 2015.

Los vehículos impulsados eléctricamente tienen muchas ventajas y a su vez desafíos. La electricidad es más eficiente que el proceso de combustión, por ejemplo, algunos estudios han revelado que, incluso si la electricidad es generada a partir de derivados del petróleo, la distancia equivalente que puede ser recorrida con 1 gal de gasolina es de 173 [km] en un VE, mientras que un vehículo de combustión interna solo recorre 53 [km] con esta misma cantidad de combustible.

**Figura 1. Oferta total de energía primaria por recurso**



Fuente: 1993, 2020 Energy for tomorrow's world (WEC 1995); 2011 from World Energy Resources (WEC 2013); Other Renewals 2020 from World Energy Scenarios Report (WEC 2013).

Gracias a los avances tecnológicos recientes se ha solucionado el problema de la autonomía llegando a implementar baterías que alcanzan e incluso han superado la autonomía que ofrecen los vehículos convencionales, pero hay otro desafío al que se ha tenido que enfrentar el sector de la movilidad eléctrica y es el relacionado con la recarga de los vehículos. En muchos países ya se han construido estaciones de recarga masiva de VE lo que ha resultado rentable y eficiente desde un punto de vista económico y técnico, ya que en estos lugares se puede realizar el repostaje de los vehículos en solo una pequeña fracción del tiempo requerido por las tomas domésticas.

Con este trabajo se pretende “allanar el terreno” en lo referente a la recarga masiva de VE, tanto desde la perspectiva técnica como reglamentaria, adaptando un caso de estudio al entorno urbano local.

Sin duda, el desarrollo de la movilidad eléctrica impulsará la creación de nuevos puestos de trabajo en lo referente al diseño, instalación y operación de las estaciones de recarga, surgiendo de esta manera la necesidad de personal capacitado que cuente con una formación específica, lo que impulsará la creación de un nuevo modelo de negocio.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El gobierno colombiano se ha comprometido con la lucha contra el cambio climático, llegando a participar de forma activa en eventos internacionales e involucrándose en las iniciativas que allí se promueven. Prueba de ello es su participación en la 21ª Conferencia de las Partes que se realizó desde el 30 de noviembre hasta el 11 de diciembre de 2015, en París (Francia), con el objetivo de llegar a un acuerdo mundial para reducir las emisiones de GEI. Para alcanzar este objetivo, los países que conforman la CMNUCC manifestaron cuáles serán sus aportes en términos del nivel de reducción de emisiones de GEI en el periodo 2020 – 2030. En este sentido, Colombia busca establecer compromisos nacionales ambiciosos y equitativos y para ello se ha propuesto, a través de su INDC, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 20 % frente a las emisiones proyectadas a 2030.

En un informe publicado por el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se reveló que el sector transporte es responsable del 12,1 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> del país, motivo por el cual se incluyó dentro de las 10 acciones sectoriales y territoriales priorizadas a 2030 [4]. Los retos que debe afrontar este sector son muy importantes, así que desde ahora está considerando alternativas que contribuyan a la mitigación del problema como la incorporación de la electricidad como energético en la movilidad.

No obstante, durante los últimos años la demanda de vehículos eléctricos en Colombia no ha tenido un incremento considerable debido principalmente al desconocimiento del público en general de las opciones ofrecidas por los distribuidores junto con sus características y a la desconfianza producida por la carencia de una red de recarga (que se traduce en autonomía para el usuario).

Por tal razón, en este trabajo de grado se pretende realizar un estudio detallado de las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado nacional referente a vehículos eléctricos junto con la respectiva infraestructura de recarga.

Según el ingeniero Guillermo Alfonso Gallego, desarrollador de nuevas líneas de negocios enfocadas en productos de electrónica de potencia y redactor de la revista Mundo Eléctrico, para lograr la masificación del uso de vehículos eléctricos en la región “es fundamental poner a la disposición de los usuarios una red de recarga pública compuesta por varios puntos de recarga. Esto [...] se proyecta como un potencial mercado que fomenta el desarrollo de la región y la creación de nuevos empleos para profesionales y expertos del sector eléctrico”. Al garantizar un suministro de energía continuo y de calidad, los consumidores podrán seguir disfrutando de una de las mejores características de los actuales sistemas de abastecimiento para vehículos que es la “libertad” de ir a cualquier lugar, en cualquier momento, sin tener que pensar en el vehículo mismo.

Es evidente que los vehículos eléctricos representan mayores inversiones, pero hay que reconocer la superioridad de las tecnologías eléctricas frente a los modelos convencionales y poner en consideración aspectos como confort y sostenibilidad, factores que progresivamente están tomando mayor relevancia en el mercado automotriz. Por eso, algunos analistas sugieren que el momento de enfocar los esfuerzos para diversificar la matriz energética es ahora que se están discutiendo estrategias innovadoras y se plantean actividades encaminadas a acelerar la entrada de los vehículos eléctricos al mercado colombiano.

### **3. OBJETIVOS Y ALCANCE**

En este capítulo se presenta el objetivo general y los objetivos específicos abordados para el desarrollo del presente trabajo de grado. También se hace una descripción del alcance general del proyecto.

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer los criterios de diseño de la infraestructura de un punto de recarga masivo para vehículos eléctricos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado referente a vehículos eléctricos e infraestructura de recarga.
- Establecer las principales variables que influyen en el dimensionamiento del punto de recarga.
- Aplicar los criterios establecidos para el dimensionamiento de un punto de recarga masivo en el entorno urbano local.
- Diseñar la facilidad eléctrica desde la red pública hasta la estación de recarga, teniendo en cuenta la reglamentación nacional y los estándares internacionales aplicables.

### **3.3 ALCANCE**

El alcance del presente trabajo de grado contempla, entre otros, los siguientes aspectos:

- Definición de las alternativas de vehículos eléctricos e infraestructuras de repostaje. Comprende la elaboración de un informe de los modelos de vehículos eléctricos disponibles en el mercado y un análisis de las infraestructuras disponibles para su recarga.
- Identificación de las variables para dimensionar el punto de recarga, lo que incluye la documentación sobre estas y las especificaciones normativas referentes al diseño del punto de recarga.
- Dimensionamiento del punto de recarga a partir de los criterios seleccionados previamente y tomando como referencia las características del entorno urbano local.
- Determinación de las características de diseño de un punto de recarga masivo. Memorias de cálculo y demás detalles relacionadas con el diseño eléctrico de la infraestructura de recarga.
- Publicación de resultados. Informe final del proyecto de investigación, con la información necesaria para el sustento y análisis de los resultados obtenidos. Se recopilarán las conclusiones producidas y se propondrán recomendaciones para futuros trabajos de grado orientados a la movilidad eléctrica.

## 4. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LOS SISTEMAS DE RECARGA

A fin de formular una solución para la recarga de vehículos eléctricos, es preciso conocer el funcionamiento de los vehículos, las modalidades de recarga estandarizadas, la infraestructura requerida, los modelos comercializados actualmente, entre otros aspectos fundamentales que se expondrán a continuación.

### 4.1 VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)

Los VE son aquellos impulsados, total o parcialmente por un motor eléctrico que obtiene la energía de unas baterías recargables o de una célula de combustible de hidrógeno. Puede haber un solo motor de tracción o varios, unidos a las ruedas y su función es transformar la energía eléctrica que llega de las baterías en movimiento.

Según el portal de Terra<sup>\*</sup>, en el motor de combustión, “sólo el 18 % de la energía del combustible es utilizada para mover el vehículo, el resto sirve para accionar el motor. En el VE el 46 % de la energía liberada por las baterías sirve para mover el vehículo, lo que permite obtener una eficiencia entre 10 % a 30 % superior” con respecto a los vehículos convencionales.

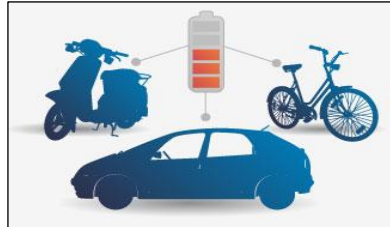
Aunque el término “vehículo eléctrico” es una expresión generalizada que incluye a todas las formas de transporte impulsadas por un motor alimentado con

---

<sup>\*</sup> Qué es un vehículo eléctrico [en línea]. Terra Ecología Práctica, 2007-. [Fecha de consulta: 5 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/comunidad-ecotransporte/que-es-un-vehiculo-electrico>

electricidad, en el presente documento se utilizará para referirse a los vehículos propulsados por baterías eléctricas (Ver **Figura 2**).

**Figura 2. Vehículos eléctricos**



Fuente: ENDESA EDUCA. El coche eléctrico. [en línea] Disponible en: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico)

**4.1.1 Historia del vehículo eléctrico.** En 1830, el escocés Robert Anderson diseñó el primer VE de batería no recargable, pero tuvo que transcurrir medio siglo más para que las baterías se desarrollaran lo suficiente como para ser utilizadas en VE comerciales. A finales del siglo XIX, con la producción en masa de las baterías recargables, los VE llegaron a ser ampliamente utilizados. La mayor parte de los automóviles privados eran eléctricos, al igual que otros vehículos tales como taxis, debido a que sus rivales con motor de explosión (combustión interna) eran accionados mediante una manivela, lo cual requería un esfuerzo físico considerable y, además, este mecanismo fallaba constantemente. En la **Figura 3** se muestra un taxi eléctrico de la ciudad de Nueva York. En el año 1899, el piloto de carreras belga Camille Jenatzy presentó el vehículo conocido como 'La Jamais Contente' que superó los 100 [km/h] [5, 6].

**Figura 3. Taxi en Nueva York alrededor de 1901 (La mujer es Lillie Langtry, actriz y amante del rey Eduardo VII)**



Fuente: Tomada de [6].

Al comienzo del siglo XX, aún circulaban más VE que a gasolina, esto ayudó a que en 1911 se fabricara el primer híbrido eléctrico a manos de la firma *Woods Motor Vehicle Company*. Este medio de transporte era utilizado principalmente por los doctores y las mujeres, algo que no era muy bien visto desde la perspectiva conservadora y machista de los hombres de aquel tiempo. Otro de los acontecimientos más destacados y que aún se propone como una de las innovaciones más importantes de esta época fue la implementación del sistema de recuperación de energía cinética o freno regenerativo.

Ya para inicios de la década de 1920, varios cientos de miles de VE se habían producido para su uso como autos, furgonetas, taxis, vehículos de reparto y autobuses. Sin embargo, a pesar de la promesa de los primeros VE, una vez que estuvo ampliamente disponible el petróleo a un precio asequible y el arranque para los vehículos con motor de combustión interna (inventado en 1911) había llegado, el MCI demostró ser una opción más atractiva para la propulsión de vehículos [6]. A finales de la década de 1920, el MCI había relegado al VE y de los cientos de millones que se fabricaron en el siglo XX, casi ninguno fue eléctrico.

Con el paso del tiempo, el MCI continuó afianzándose y dominando el sector automotriz. A finales de la década de 1990, se abrió una nueva oportunidad que permitiría el resurgir del VE: contribuir en la solución de los crecientes problemas de polución producto de la acelerada quema de gasolina. Por este tiempo, en el estado de California (Estados Unidos) entró en vigencia el programa *Zero Emission Vehicle Mandatory*, debido al aumento en los índices de cáncer, asma y otras afecciones respiratorias entre la población infantil. Esta iniciativa pretendía conseguir que el 2 % de los vehículos vendidos en California en 1998 no emitieran GEI y siguiera creciendo hasta el 10 % para el 2003. El programa fue controlado por la *Air Resources Board* (ARB) que se encargó de la puesta en marcha de un programa paralelo denominado LEV (*Low-Emission Vehicle*) con el propósito de incentivar la compra de vehículos de baja emisión. Así que, los fabricantes empezaron a sacar al mercado modelos menos contaminantes, como fue el caso de General Motors que lanzó el EV1\*, un biplaza de estilo corvette que obtuvo un buen recibimiento no solo por su rapidez, sino que, además era silencioso. Otros fabricantes decidieron modificar sus modelos de combustión interna y ofrecer prestaciones similares al EV1. Pero la masificación de los VE se vio frenada por varios grupos detractores, especialmente el sector petrolero que se encargó de lanzar varias campañas cuestionando los “dudosos” beneficios de estos. Como consecuencia, las compañías y fabricantes empezaron a disminuir su producción hasta que dejaron de distribuirlos de forma masiva.

El surgimiento de nuevos términos como “cambio climático”, “eficiencia energética”, “sostenibilidad” y “ciudades inteligentes”, supuso un cambio en la percepción del consumo energético, especialmente en los países desarrollados donde empezaron a enfocar sus esfuerzos en la generación de energía a partir de fuentes renovables y se propusieron impulsar la reaparición en el mercado de los VE.

---

\* Este modelo era capaz de recorrer 190 [km] con una recarga y era completamente eléctrico.

Una gran innovación tecnológica que potenció el desarrollo de los vehículos 100 % eléctrico, fue la batería de ion-Litio. Esta tecnología hizo su primera aparición en el mundo del automóvil en 1996 en el prototipo Nissan Prairie Joy. Estas nuevas baterías eran más estables y por consiguiente más seguras. No tienen efecto memoria\* y han conseguido aumentar la autonomía de los vehículos en un rango que va desde los 150 hasta los 300 [km], dependiendo del modelo. El desarrollo de estas baterías ha dado un nuevo potencial a los VE alimentados por baterías, lo que ha llevado a la creación de nuevos prototipos y pruebas a pequeña escala [7].

Parece que la historia se repite y de nuevo dos tecnologías vuelven a competir, y aunque se espera que los vehículos de combustión pierdan algunas batallas en los próximos años, todavía seguirán dominando el sector automotriz. El objetivo que se debe fijar la sociedad ahora, es integrar a tiempo las nuevas tecnologías antes de que se agoten las reservas de los combustibles fósiles.

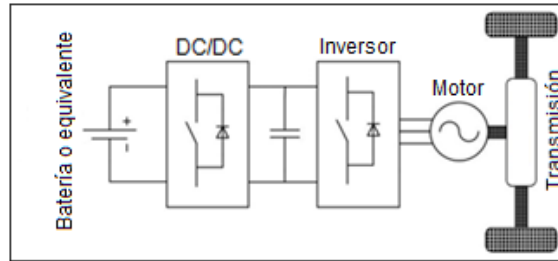
**4.1.2 Partes del vehículo eléctrico.** Los VE disponen de un conjunto de componentes (ver **Figura 4**) que los distingue de los vehículos con motor a combustión interna.

En la siguiente sección se describen los elementos constructivos y accesorios más importantes del VE.

---

\* El efecto memoria es un fenómeno que modifica la capacidad de proporcionar energía en las baterías. Después de varios ciclos de carga, las baterías ya no tienen la capacidad de almacenar la misma cantidad de energía que al principio de su vida útil. Las baterías de litio, que no tienen efecto memoria, se pueden volver a recargar sin tener que esperar a que se descarguen completamente [7].

**Figura 4. Esquema general de los componentes del sistema de tracción de un vehículo eléctrico**



Fuente: MORENO-TORRES, Pablo; BLANCO, Marcos; LAFOZ, Marcos y ARRIBAS, Jaime. Educational project for the teaching of control of electric traction drives.

**4.1.2.1 Motor eléctrico.** En la siguiente sección se describen los elementos constructivos y accesorios más importantes del VE.

El automóvil suele estar equipado con uno o más motores eléctricos con una potencia total de entre 15 [kW] y 100 [kW] dependiendo de su tamaño, uso y rendimiento [8]. El motor de un VE puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua. La principal diferencia entre estos dos tipos es la forma de alimentación. El de corriente continua se alimenta directamente desde la batería principal, y el de corriente alterna se alimenta a través de la energía que emite la batería previamente transformada en corriente alterna a través de un inversor.

Los motores de inducción, síncronos de imanes permanentes y de corriente continua sin escobillas son los más extendidos, aunque se están ampliando en los últimos tiempos las posibilidades de los motores de flujo axial y de reluctancia conmutada. En la **Tabla 1** se presentan algunas características de los motores eléctricos comerciales más utilizados.

**Tabla 1. Características de los distintos tipos de motores utilizados en vehículos eléctricos**

<b>Tipo de Motor</b>	<b>Experiencia</b>	<b>Rango de Potencia Actual [kW]</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Asíncrono o de inducción	Muy amplia (desde hace más de un siglo)	Hasta 185	Robustez, bajo costo, y mantenimiento	Bajos pares de arranque. Zona de funcionamiento inestable.
Síncronos de imanes permanentes	Media	Hasta 60	Mayor densidad de potencia y rendimiento	Mayor costo y menos robustez. Se pueden desmagnetizar los imanes
De flujo axial	Tipología reciente	Hasta 10	Cuando se integra en las ruedas reduce el espacio	Esfuerzos radiales elevados
Reluctancia conmutada	Tipología reciente	-	Elevado par, robustez y fácil fabricación	Necesidad de un sistema de detención de oposición y bajo factor de potencia
Corriente continua sin escobillas	Mejora de una tecnología contrastada	Hasta 10	Simplifica la electrónica y el mantenimiento	Necesidad de un sistema de posición

Fuente: Tomada de [8].

**4.1.2.2 Baterías.** Una buena comprensión de la tecnología de las baterías y su rendimiento es vital para cualquier persona involucrada con los VE. Una batería consta de dos o más celdas de energía unidas entre sí y son las encargadas de convertir la energía química en energía eléctrica. Las celdas están compuestas de electrodos positivos y negativos unidos por un electrolito y es la reacción química entre los electrodos y el electrolito lo que genera electricidad de corriente continua. En el caso de las baterías secundarias o recargables, la reacción química puede

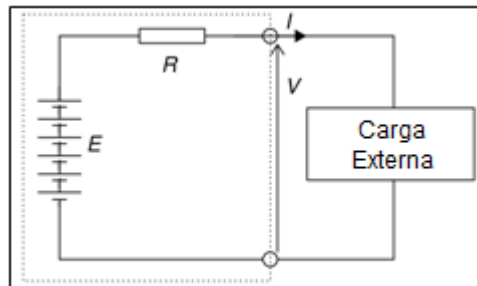
cambiarse mediante la inversión de la corriente y así la batería regresa a un estado cargado. Hay un gran número de materiales y electrolitos que se pueden combinar para formar una batería. Sin embargo, sólo se ha desarrollado un número relativamente pequeño de combinaciones para baterías eléctricas recargables que lleguen a ser comercializadas e implementadas en vehículos. Entre las más empleados en la industria se encuentran las de ácido plomo, níquel-hierro, níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico (Ni-MH), litio y polímero de litio, azufre y cloruro de sodio. También hay desarrollos de baterías que pueden ser reabastecidas mecánicamente, las más representativas son las de aluminio-aire y zinc-aire [6].

En la actualidad, la batería de ion-Litio representa la tecnología más implantada en equipos eléctricos y electrónicos pequeños y se prevé que desempeñe un papel protagónico en el mercado del vehículo eléctrico a mediano plazo. Esto se debe a que principios de este siglo tuvo una importante mejora en los sistemas de ion-Litio gracias al uso de diversos materiales basados en el grafito, para el electrodo negativo, con una capacidad específica mucho más elevada [5].

Los principales parámetros que especifican el comportamiento y el rendimiento de una batería se explican a continuación.

**Celdas y tensiones de las baterías.** Todas las celdas eléctricas tienen tensiones nominales predeterminadas, pero suministran una tensión aproximada cuando la celda está entregando energía eléctrica. Las baterías de los VE, por lo general, son diseñadas con valores de tensión de 6 [V] o 12 [V], y estas unidades están a su vez conectadas en serie para producir la tensión necesaria. Cuando una batería inyecta corriente al sistema, el valor de la tensión cae o disminuye; cuando la batería se está cargando, la tensión aumenta. En la **Figura 5** se muestra el circuito equivalente de una batería [6].

**Figura 5. Modelo equivalente sencillo de una batería compuesta de seis celdas conectadas en serie**



Fuente: Tomada de [6].

**Carga (Amperio-hora) o capacidad.** La carga eléctrica que una batería puede suministrar es claramente un parámetro crucial. Algunos autores sugieren el uso de una nueva unidad denominada Amperio-hora: la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de una batería, si ésta proporciona una corriente eléctrica de 1 amperio durante 1 hora. Este parámetro se emplea para evaluar la cantidad de electricidad que puede almacenar una batería durante la carga y devolver durante la descarga [6].

**Energía almacenada.** El propósito de la batería es almacenar energía. La energía almacenada depende de la tensión de la batería y la carga almacenada. La energía almacenada por una batería es una cantidad bastante variable y reduce si la energía se libera rápidamente [6].

**Densidad de energía.** La densidad de energía es la cantidad de energía almacenada por cada metro cúbico de volumen de la batería, por lo tanto, si se conoce el volumen de la batería se puede obtener una primera aproximación de la cantidad de energía eléctrica disponible, multiplicando este valor por la densidad de energía de la misma [6].

Se han definido otros parámetros para caracterizar el comportamiento de las baterías, pero los anteriores son los más representativos, por lo que no se profundizará en los demás.

**4.1.2.3 Cargador.** Convierte la corriente alterna de una estación monofásica o trifásica, en corriente continua. Incorpora todos los sistemas de seguridad necesarios para la carga y genera información de servicio que puede ser consultada desde el automóvil o aplicaciones móviles. El cargador está integrado en el vehículo, ya que debe ser optimizado en función de las características de la batería [8].

**4.1.2.4 Cable de carga.** El cable de carga es multiconductor y puede tener capacidad para transmitir datos además de electricidad, entre el vehículo y la infraestructura de recarga. Normalmente, está equipado con dos clavijas o una (si está unido a la infraestructura de recarga) [8].

## **4.2 RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO**

Se han diseñado accesorios y dispositivos de recarga para los diferentes modelos de VE producidos por la industria automotriz, lo que ha generado una amplia variedad de estos elementos en el mercado, por lo que se pueden encontrar diferencias en parámetros como la potencia (y, por tanto, el tiempo de recarga) y los conectores de recarga. A continuación, se presentan los aspectos que se han logrado estandarizar con el fin de unificar la forma de recargar los VE.

**4.2.1 Tipos y tiempos de recarga.** Se consideran cinco tipos de recarga según la velocidad, es decir, cuánto tiempo lleva recargar las baterías, lo que depende directamente de la potencia disponible. Se suelen resumir en dos, recarga lenta y recarga rápida. Los cinco tipos de recarga son:

**Recarga súper-lenta.** La intensidad de corriente se limita a 10 [A] o menos por no disponer de una base de recarga con protección e instalación eléctrica adecuada. La recarga completa de las baterías de un VE promedio, con unos 22 a 24 [kWh] de capacidad, puede llevar entre diez y doce horas [9].

**Recarga lenta.** También se puede llamar convencional o recarga normal. Se realiza a 16 [A], demandando unos 3,6 [kW] de potencia. Recargar las mismas baterías del ejemplo anterior puede llevar entre seis y ocho horas [9].

**Recarga semi-rápida.** Menos rápida que la recarga rápida. Se realiza a una potencia de unos 22 [kW]. Renault implementa ampliamente este tipo de recarga, por ejemplo, con su cargador de bajo costo Camaleón, compatible con el Renault ZOE. La recarga puede llevar una hora u hora y cuarto [9].

**Recarga rápida.** La potencia que se demanda es muy alta, entre 44 [kW] y 50 [kW]. La recarga de baterías de 22 [kWh] a 24 [kWh] puede llevar media hora. Lo normal es que no se haga una recarga del 100 % sino en torno al 80 % o 90 % [9].

**Recarga ultra-rápida.** Hasta 400 [kW]. En fase experimental en vehículos eléctricos con acumuladores de tipo súper-condensadores (por ejemplo, algunos autobuses eléctricos). Como la potencia de recarga es muy elevada, en unos cinco o diez minutos se pueden recargar las baterías. Las baterías de iones de litio no soportan la temperatura tan elevada que provoca este tipo de recarga pues deteriora gravemente su vida útil [9].

**4.2.2 Modos de carga y nivel de comunicación.** Los modos de carga (ver **Figura 6**) tienen que ver con el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga y el control que se puede tener del proceso de carga para programarla, ver el estado, pararla, reanudarla, o incluso retornar electricidad a la red. Según la norma IEC 61851 se definen así:

**Modo 1, sin comunicación con la red.** Es el que se aplica a una toma de corriente convencional con conector Schuko<sup>\*</sup>. Tanto el cargador, el sistema de control y el cable hacen parte del vehículo.

**Modo 2, grado bajo de comunicación con la red.** El cable cuenta con un dispositivo intermedio de control piloto que sirve para verificar la correcta conexión del vehículo a la red de recarga. La carga se limita a 10 [A].

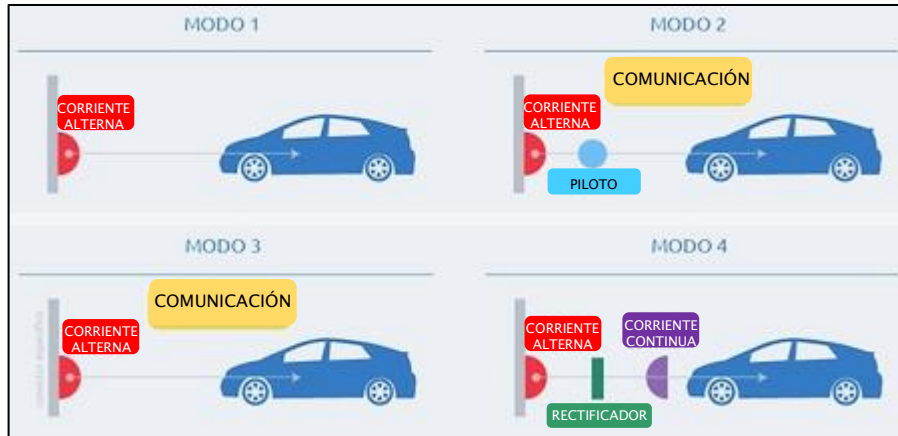
**Modo 3, grado elevado de comunicación con la red.** Los dispositivos de control y protecciones se encuentran dentro del propio punto de recarga (por ejemplo, los conectores SAE J1772, Mennekes, Combinado o Scame).

**Modo 4, grado elevado de comunicación con la red.** Hay un conversor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida. El cargador se encuentra fijo y tiene las funciones de monitoreo de recarga y protección (por ejemplo, conector CHAdeMO).

---

<sup>\*</sup> "Schuko" es la forma abreviada del término alemán Schutzkontakt (literalmente: contacto protector), lo que indica que tanto el enchufe como la toma están equipados con contactos de protección a tierra (en forma de ganchos en lugar de clavijas). Los conectores Schuko se usan normalmente en circuitos de 230 [V], 50 [Hz] (también disponibles para frecuencias de 60 [Hz]) y para corrientes no superiores a 16 [A].

**Figura 6. Modos de carga de vehículos eléctricos**



Fuente: MOTOR PASIÓN FUTURO. Tipos de conectores, tipos de recarga y modos de carga. [en línea] . Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/tipos-de-conectores-tipos-de-recarga-y-modos-de-carga>

**4.2.3 Conectores.** Existen varios tipos de conectores que dependen del modo de carga. Los tipos de conectores todavía no están estandarizados a nivel mundial, así que hay varios enchufes con diferente tamaño y propiedades. Ha habido un intento de unión entre los fabricantes alemanes y los norteamericanos con el sistema combinado, pero aún no se han puesto de acuerdo con los franceses y los japoneses. Los conectores más comercializados son los siguientes:

**Conector doméstico tipo Schuko.** Es compatible con las tomas de corriente europeas. Tiene dos bornes, toma de tierra y soporta corrientes de hasta 16 [A]. Solo para recarga lenta y sin comunicación integrada [9].

**Conector SAE J1772, a veces conocido como Yazaki.** Es un estándar norteamericano. Mide 43 mm de diámetro. Tiene cinco bornes: los dos de corriente, el de tierra, y dos complementarios de detección de proximidad y de control (comunicación con la red). El vehículo no se puede mover mientras esté enchufado a este conector [9].

- Nivel 1: Hasta 16 [A], para recarga lenta.
- Nivel 2: Hasta 80 [A], para recarga rápida.

**Conector Mennekes.** Es un conector alemán de tipo industrial, VDE-AR-E 2623-2-2, no específico para vehículos eléctricos. Mide 55 mm de diámetro. Tiene siete bornes, cuatro para corriente (trifásica), el de tierra y dos para comunicaciones [9].

- Monofásico, hasta 16 [A], para recarga lenta.
- Trifásico, hasta 63 [A] (43,8 [kW]) para recarga rápida.

**Conector único combinado.** Se ha propuesto por norteamericanos y alemanes como solución estándar. Tiene cinco bornes, protección a tierra y comunicación con la red. Admite carga lenta y rápida [9].

**Conector Scame.** También conocido como EV Plug-in Alliance, principalmente apoyado por los fabricantes franceses. Tiene cinco o siete bornes, ya sea para sistemas monofásicos o trifásicos, tierra y comunicación con la red. Admite hasta 32 [A] (para recarga semi-rápida) [9].

**Conector CHAdeMO.** Es el estándar de los fabricantes japoneses (Mitsubishi, Nissan, Toyota y Fuji, de quien depende Subaru). Está pensado específicamente para recarga rápida en corriente continua. Tiene diez bornes, toma de tierra y comunicación con la red. Admite hasta 200 [A] de intensidad de corriente (para recargas ultra-rápidas). Es el de mayor diámetro, tanto el conector como el cable [9].

En la **Tabla 2** se pueden apreciar los diferentes conectores disponibles en el mercado.

**Tabla 2. Modelos de conectores comerciales**

Conector Schuko	Conector SAE J1772	Conector Mennekes
		
Conector único combinado	Conector Scame	Conector CHAdeMO
		

Fuente: Sitio Web oficial de los fabricantes.

En el **Anexo A** se presenta un listado con los conectores ofrecidos por los fabricantes para los modelos más comercializados.

### 4.3 VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO (HEV)

Un HEV es una combinación de un vehículo convencional (accionado con un MCI) y un VE. Se utiliza tanto un MCI y un motor/generador eléctrico para la propulsión. Estos dos dispositivos de potencia, se pueden conectar en serie o en paralelo. Cuando están conectados en serie, el HEV es un híbrido en serie en el que sólo el motor eléctrico está transmitiendo la potencia mecánica a las ruedas. Cuando se conectan en paralelo, el HEV es un híbrido paralelo en el que, tanto el motor eléctrico y el MCI, pueden suministrar potencia mecánica a las ruedas [3].

En un HEV, el combustible líquido es todavía una fuente de energía. El MCI es el convertidor de potencia principal que proporciona toda la energía para el vehículo. El motor eléctrico aumenta la eficiencia del sistema y reduce el consumo de

combustible mediante la recuperación de la energía cinética durante el frenado regenerativo, y optimiza el funcionamiento del MCI durante la conducción normal ajustando el par motor y la velocidad. Por lo tanto, el MCI proporciona al vehículo un rango de autonomía superior al de un VE puro [3]. Algunas de las ventajas ofrecidas por los HEV son las siguientes:

1. Mayor eficiencia y mejora de la tecnología, como el frenado regenerativo, que no está disponible en los vehículos convencionales.
2. Menos condiciones de trabajo en vacío y funcionamiento eficiente del motor, lo que ayuda a economizar el combustible.
3. Mejor experiencia de conducción gracias a las características del motor eléctrico.
4. Potencial para reducir la emisión de gases de efecto invernadero.
5. Reducción del consumo de combustibles fósiles.

En un PHEV (Siglas en inglés para Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable), además del combustible líquido disponible en el vehículo, también se cuenta con la electricidad almacenada en la batería, que se puede recargar de la red eléctrica, por lo tanto, el uso de combustible puede reducirse aún más. Los PHEV a veces se llaman vehículos eléctricos de gama extendida (ReEV) o vehículos eléctricos de rango extendido (EREV) [3], en el sentido de que estos vehículos siempre tienen a bordo la gasolina o el diésel que se puede utilizar para conducir el vehículo una distancia extendida cuando la energía de la batería integrada se agote. Además, estos vehículos pueden proporcionar una alta economía de combustible durante recorridos extendidos debido a la gran batería que puede almacenar la energía de frenado regenerativo y proporcionar mayor flexibilidad para la optimización del motor durante estos rangos.

Sin embargo, algunos EREV tales como el GM Chevy Volt, deben estar equipados con un motor eléctrico de tamaño completo por lo que se puede realizar la conducción puramente eléctrica en todo tipo de condiciones de conducción, pero

se ha demostrado que, para algunas condiciones de conducción, el modo de accionamiento totalmente eléctrico, a veces no proporciona los beneficios enunciados anteriormente, dada la limitada energía disponible de la batería. Por ejemplo, el motor del sistema de propulsión de un PHEV tiene una potencia de 125 [kW], y la batería tiene una capacidad de 16 [kWh]. Esto significa que, durante el encendido del sistema de propulsión completo, la batería necesita suministrar una potencia igual a ocho veces su capacidad nominal. Esta alta demanda de potencia no sólo es difícil de lograr, sino que también da lugar a grandes pérdidas dentro de la batería, lo que hace al sistema de accionamiento muy ineficiente [3].

#### **4.4 MERCADO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

A pesar del pequeño porcentaje de representación en el mercado global de vehículos, los fabricantes de vehículos convencionales han empezado a lanzar su propio modelo de VE. En países como Japón, Estados Unidos y algunos de Europa, ya se ve rodar por las calles una amplia gama de vehículos amigables con el ambiente y en otros lugares, durante ferias y eventos se presentan los modelos recientes de las marcas más importantes.

Las ventas mundiales de VE de pasajeros y vehículos utilitarios ligeros fueron superiores a 1,5 millones de unidades en mayo de 2016, representando el 0,1 % de los carros que circularon en todo el mundo a finales del mismo año. El ritmo de ventas de VE ha sido casi el doble de rápido que el experimentado por los HEV, ya que los primeros tomaron menos de cinco años para alcanzar el millón de ventas, mientras que los HEV tardaron más de nueve años para alcanzar la misma cantidad de ventas. En los últimos cinco años, las ventas globales de VE han aumentado más de diez veces, alcanzando un total de más de 565.000 unidades vendidas solo en 2015 [10].

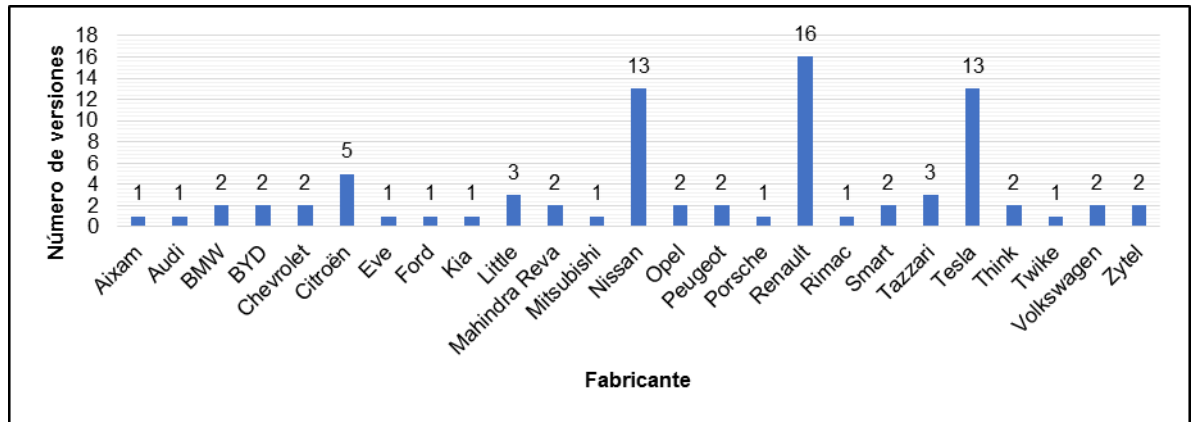
Son muchas las alternativas disponibles en el mercado, es por eso que a continuación se realiza una revisión del estado actual del sector de los VE.

Según el informe *2015 Global electric vehicle trends: Which markets are up (the most)* publicado por el ICCT (International Council of Clean Transportation) a mediados del año 2016, se destacan los siguientes avances del sector:

- Volkswagen expresó su compromiso con el desarrollo de VE a pesar del escándalo dieseldgate.
- Ford ha destinado US\$ 4.5 mil millones para VE y tiene previsto lanzar 13 nuevos modelos para el 2020.
- Hyundai-Kia planea lanzar 8 VE para 2020.
- Noruega es, por mucho, el líder en ventas de VE e híbridos acaparando el 22,4 % de las ventas en 2015. En abril de 2015 alcanzó los 50.000 vehículos registrados.

Las ventas de VE alcanzaron un importante hito en el segundo semestre de 2015, cuando se vendió el VE enchufable número un millón. Ya son varios los fabricantes que han lanzado su propio concepto de VE y otros cuentan con un variado catálogo de estos vehículos, en la **Figura 7** se muestran los principales fabricantes y el número de modelos disponibles en el mercado.

**Figura 7. Comparación entre fabricantes de VE y las diferentes versiones ofrecidas**



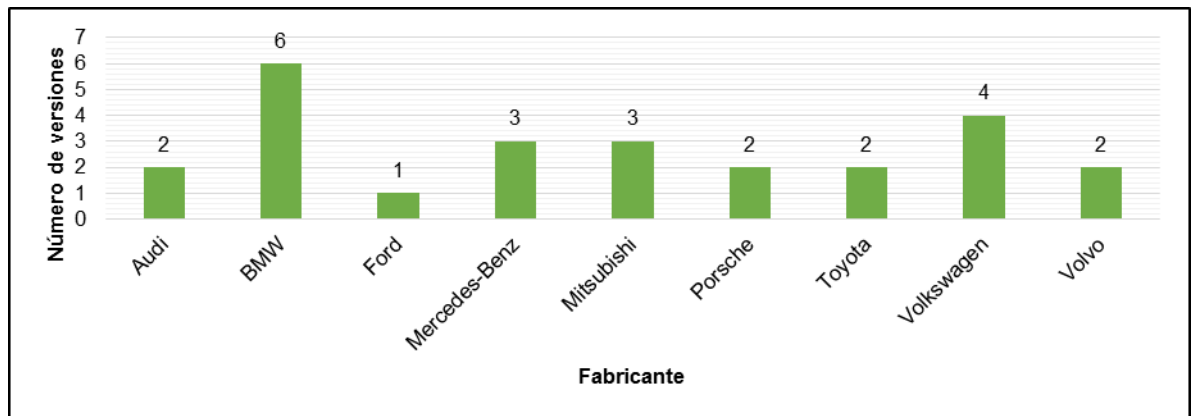
Fuente: Detallada en la nota al pie de página\*.

Los modelos más populares son aquellos que utilizan una batería y además cuentan con un motor de gasolina para condiciones de emergencia, aunque en otros se incorpora una batería que proporciona energía para recorrer una distancia fija. Últimamente, los fabricantes se están enfocando más en la eficiencia del vehículo que en el rendimiento del combustible. Las empresas de automoción que se destacan por ofrecer versiones híbridas son: Volvo Group, Grupo Volkswagen, Toyota, Tata Motors Limited, Suzuki Motor Corporation, Renault, PSA Peugeot Citroen, Nissan, Hyundai-Kia, Honda, General Motors, Ford, Fiat, Daimler AG, Chrysler, y BYD [11].

En la **Figura 8**, se muestran los principales fabricantes de vehículos que incorporan esta tecnología y el número de modelos que han lanzado al mercado.

\* Los datos y cifras presentados fueron obtenidos del sitio web oficial de los fabricantes de estos vehículos. La última revisión de la información se realizó el 29 de julio de 2016.

**Figura 8. Comparación entre fabricantes de HEV y PHEV y las diferentes versiones ofrecidas**



**Fuente: Detallada en la nota al pie de página\* .**

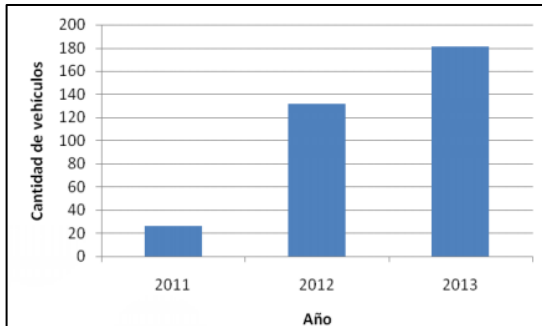
En los **Anexos B y C**, se presentan dos tablas en las que se describen con mayor detalle las características de los vehículos que se encuentran disponibles en el mercado global; se hizo énfasis en las especificaciones técnicas de sus baterías.

En Colombia, la cifra de VE que ruedan por sus carreteras aún es insignificante, llegando a representar solo el 0,003 % del parque automotor [12]. Según el diagnóstico nacional de VE presentado en el Seminario de Movilidad Eléctrica, realizado por CIDET en Bogotá el 1 de octubre de 2014, se mostró la dinámica de penetración de los VE en el país entre los años 2010 y 2013. Los resultados se muestran en las **Figuras 9 y 10**.

---

\* Los datos y cifras presentados fueron obtenidos del sitio web oficial de los fabricantes de estos vehículos. La última revisión de la información se realizó el 5 de agosto de 2016.

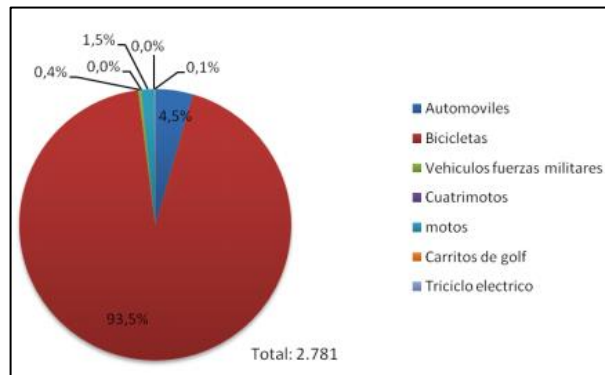
**Figura 9. Penetración de VE (automóviles) en Colombia**



Fuente: CIDET. Seminario de eficiencia energética y movilidad eléctrica. [en línea] Disponible en: [http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/4.\\_marco\\_normativo\\_para\\_vehiculos\\_electricos.\\_ptp.pdf](http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/4._marco_normativo_para_vehiculos_electricos._ptp.pdf)

Aunque las cifras aún son pequeñas, el crecimiento es acelerado. Durante el 2015 fueron matriculados 132 VE más, que los matriculados en el 2014, llegando a representar un incremento del 353 %.

**Figura 10. Distribución y tipo de VE en Colombia**



Fuente: CIDET. Seminario de eficiencia energética y movilidad eléctrica. [en línea] Disponible en: [http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/4.\\_marco\\_normativo\\_para\\_vehiculos\\_electricos.\\_ptp.pdf](http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/4._marco_normativo_para_vehiculos_electricos._ptp.pdf)

Aunque existe una gran variedad de modelos de vehículos disponibles en el mercado global, en Colombia hay únicamente 5 disponibles para el año 2016, como se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 3. VE vendidos en Colombia**

Modelo		Características
BYD E6		Batería: fosfato de hierro. Potencia: 121 hp. Velocidad: 140 km/h. Autonomía: 300 km. Acelera de 0 a 60 km/h en 7,7 segundos. Precio: aprox. US\$ 50.000.
BMW i3		Batería: ion litio. Potencia: 170 hp. Velocidad: 150 km/h. Autonomía: 160 km. Acelera de 0 a 100 km/h en 7,2 segundos. Precio: \$ 140'000.000.
Mitsubishi iMiev		Batería: ion litio. Potencia: 66 hp. Velocidad: 130 km/h. Autonomía: 160 km. Acelera de 0 a 100 km/h en 15 segundos. Precio: \$ 90'000.000.
Renault Twizy		Batería: ion litio. Potencia: 17 hp. Velocidad: 80 km/h. Autonomía: 100 km. Acelera de 0 a 60 km/h en 8,1 segundos. Precio: \$ 40'000.000 y éxito en ventas en 2015.
Renault Kangoo Z.E.		El utilitario de Renault, totalmente modular, ofrece un área de carga de hasta 4,6 m <sup>3</sup> y una carga útil de 650 kg. Ya se encuentra a la venta en Colombia con un costo de \$ 85'000.000.

Fuente: Tomada de [12].

Actualmente, el Senado de la República está estudiando el proyecto de Ley 230/2016C, que busca otorgar incentivos con el fin de promover tecnologías de movilidad sostenible en Colombia. Los promotores de esta iniciativa se han mostrado satisfechos con el gran respaldo que ha teniendo por parte de los sectores políticos. [13].

#### 4.5 DEMANDA ENERGÉTICA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La red eléctrica se dimensiona para abastecer la máxima demanda requerida por los usuarios. El vehículo eléctrico visto desde la red es semejante a una batería,

cuyas dos características básicas son la potencia para la carga y la cantidad de energía que acumula. La potencia de carga tiene una relación inversa con el tiempo necesario para la carga y de esta manera surgen distintas aproximaciones para efectuar tal carga. Éstas se encuentran resumidas en la **Tabla 4**.

La mayoría de VE tienen una capacidad de almacenamiento de 15 [kWh] a 30 [kWh], lo que les proporciona una autonomía de entre 150 [km] y 200 [km]. Debido a esta limitación su uso se enfoca en entornos urbanos y recorridos cortos, por lo tanto, el tipo de recarga más frecuente es el lento, en el que se requiere que el vehículo permanezca conectado durante varias horas al día. Este tipo de recarga también es el que menos cambios supone en la infraestructura eléctrica.

Algunos fabricantes como Tesla ya están empezando a aumentar la capacidad de las baterías de sus vehículos llegando a ofrecer hasta 85 [kWh] [5], de esta manera se hace evidente la necesidad de sistemas de recarga de mayor potencia. Para abastecer estos requerimientos ya se encuentran en el mercado “supercargadores” de 120 [kW].

**Tabla 4. Características de la carga para vehículos eléctricos**

<b>Tipo</b>	<b>Conexión y Potencia</b>	<b>Autonomía / Tiempo de Recarga</b>	<b>Comentario</b>
Lenta	Monofásico Hasta 3,6 [kW]	150 [km] 5 a 7 h	Aprovecha infraestructura existente. Carga en origen o destino.
Semi-rápida	Monofásico o trifásico Hasta 25 [kW]	150 [km] 1 a 2 h	Instalaciones adaptadas. Carga en origen o destino.
Rápida	Trifásico o continua Hasta 50 [kW]	120 [km] 20 min	Para cargas en trayecto. Carga 80 – 90 % de la batería.

<b>Tipo</b>	<b>Conexión y Potencia</b>	<b>Autonomía / Tiempo de Recarga</b>	<b>Comentario</b>
Súper-rápida	Trifásico o continua Hasta 150 [kW]	250 [km] 20 min	Cargas en trayecto.
Ultra-rápida	>150 [kW]	-	Para autobuses y usos especiales.
Cambio de baterías	N/A	Varios minutos	-

Fuente: Tomada de [5].

El cambio de baterías es un sistema óptimo con respecto al de recarga directa de la red, ya que permite una “recarga” rápida desde la perspectiva del vehículo y una recarga lenta vista desde la red. Este modelo no ha sido exitoso debido a la alta inversión en las infraestructuras de cambio de baterías, sin contar que el sistema de anclaje a los vehículos aún no ha sido estandarizado [5].

Según el uso del vehículo, se definen tres tipos de recarga:

1. En origen: como en el garaje de la casa.
2. En destino: como en el garaje del lugar de trabajo.
3. En itinere: como en supermercados, estaciones de recarga, etc.

Teniendo en cuenta estos tres tipos básicos de recarga, aparecen los escenarios definidos en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Características de los escenarios de repostaje**

<b>Escenario</b>	<b>Modo de Carga</b>	<b>Horario de Repostaje</b>	<b>Tiempo de Permanencia</b>	<b>Propiedad Conexión</b>
Centro comercial	Rápida – Lenta	Laborable 19 – 22 h y fines de semana	1,2 h	Público
Lugar de trabajo	Lenta	Laborable	9 h	Público/Privado

Escenario	Modo de Carga	Horario de Repostaje	Tiempo de Permanencia	Propiedad Conexión
		7 – 19 h y fines de semana		
Parqueadero	Lenta	24 h	2 h	Público
Vía pública	Rápida – Lenta	24 h	1 – 12 h	Público
Comunidad de vecinos	Lenta	8 – 20 h	12 h	Privado
Garaje individual	Lenta	24 h	12 h	Privado
Estaciones de repostaje	Rápida – Cambio de batería	24 h	10 min	Público
Estacionamiento de flotas de vehículos	Rápida – Lenta – Cambio de batería	24 h	15 min – 12 h	Privado

Fuente: Tomada de [5].

Como este proyecto está enfocado en la recarga masiva de VE, a continuación, se profundiza en el escenario de las estaciones de recarga.

Las estaciones de recarga tienen dos versiones: las de cambio de baterías y las de recarga rápida.

Las del primer tipo no son un problema para la red eléctrica, ya que la recarga se puede hacer en un modo lento o en un punto diferente a la electrolinera\*, donde se pueda asegurar la capacidad de abastecimiento. Este sistema se puede utilizar como apoyo donde se implemente la recarga rápida.

---

\* Llamadas así porque se consideran el equivalente eléctrico de las gasolineras actuales.

La integración de la recarga rápida a la red se ha presentado como un reto. Las soluciones de 50 [kW] y 120 [kW] suponen la implementación de una subestación de transformación dedicada con un número limitado de puntos de recarga simultáneos, equivalente a la subestación eléctrica requerida para abastecer a 100 unidades residenciales [5].

#### **4.6 INFRAESTRUCTURA DE RECARGA**

La presencia y el correcto funcionamiento de la infraestructura de recarga para los VE, se ha convertido en uno de los factores determinantes para llevar a esta tecnología de simples proyectos piloto a su comercialización y masificación. Este ha sido un concepto que se ha modificado desde que se empezó a utilizar, debido principalmente a que, en sus inicios la infraestructura de recarga de un VE no era más que un poste en superficie o *wallbox* (equipos en pared o columna). Las innovaciones tecnológicas junto con algunas definiciones reglamentarias y normativas han llevado a que la infraestructura de recarga evolucione, definiendo principalmente los aspectos relacionados con la seguridad de las personas y de los equipos. Como resultado, en el mercado se encuentra una amplia gama de elementos para reabastecer a los VE sin importar la estructura de recarga incorporada.

La recarga más común y que ha tenido un mayor desarrollo a nivel mundial es la conductiva, que consiste en conectar el vehículo a una toma de corriente por medio de un cable, ya sea en una instalación eléctrica doméstica o en punto de recarga destinado a este fin.

La recarga por reemplazo de la batería no ha tenido mucho éxito, siendo el Tesla S el único modelo que lo ha implementado, llegando a realizar un recambio de

batería en 90 s, pero esta alternativa ha resultado ser más efectiva en vehículos de dos ruedas como scooters y bicicletas.

La recarga inductiva o recarga inalámbrica por inducción magnética o por microondas es uno de los sistemas más innovadores. En España, algunas empresas han desarrollado sistemas muy eficientes de recarga por microondas y son muchos los interesados en esta alternativa debido a que, no solo ofrece la posibilidad de recargar el vehículo cuando está parado, sin necesidad de cables, sino que también existe la posibilidad de recargar mientras se está esperando en un semáforo o circulando por encima de sistemas embebidos en el asfalto, permitiendo así reducir el tamaño de las baterías y con ello, el peso de los vehículos [5]. Esta alternativa es viable para sistemas de transporte público colectivo.

Entre las tecnologías que se están desarrollando en otros países, además de los puntos de recarga situados en las casas de los usuarios, se encuentran los puntos de recarga masivos, los parquímetros en las calles, estaciones de recarga en parqueaderos, equipos especiales para las casas o teléfonos públicos y las lámparas en las calles.

Según la ubicación del punto de recarga se establecen los siguientes tipos de infraestructuras de recarga (ver **Tabla 6**).

**Tabla 6. Tipos de infraestructura de recarga [8].**

<b>Vía Pública</b>	<b>Entorno Controlado</b>	<b>Interiores</b>
El poste de recarga se ubica en la acera y suministra energía a los vehículos estacionados en los lugares destinados a esta actividad.	Estaciones de recarga con un sistema de funcionamiento similar a las gasolineras convencionales. Se encuentran sistemas de recarga multipunto.	Instalados principalmente en el interior de parqueaderos, edificios de vivienda, etc. Existen dos tipos: monopunto y multipunto.

**4.6.1 Protocolo CHAdeMO.** La palabra CHAdeMO fue propuesta en Japón como el resultado de un juego de palabras: “*O cha demo ikaga desuka*”, que significa *¿Tomamos un té?*, en referencia al tiempo que se tarda en recargar la batería de un VE con este tipo de infraestructura [5].

Este protocolo garantiza un suministro de hasta 62,5 [kW] de corriente continua a través de un conector especialmente diseñado para este fin y que se presentó como un estándar global por la asociación que lleva el mismo nombre, creada en marzo de 2010 y conformada por Tokyo Electric Power, Nissan, Mitsubishi y Fuji Heavy Industries [5].

Actualmente, son cerca de 180 las firmas de diversas partes del mundo que se han vinculado a esta asociación. Según los datos publicados en la página web de CHAdeMO\*, ya son más de 10.000 los cargadores instalados de acuerdo a este protocolo, en Japón (5.960), Europa (2.755), Estados Unidos (1530) y otros países (108). En Colombia existe un punto de recarga con el protocolo CHAdeMO ubicado en el centro comercial Unicentro en Bogotá, D.C.

Una característica notable de este sistema, es que permite conectar los VE y la infraestructura de recarga a un centro de control donde se puede gestionar y generar información en tiempo real (como la localización de los puntos de carga, el punto de recarga rápida más cercano disponible, etc.), que puede ser compartida mediante una aplicación a los usuarios.

**4.6.2 Sistema de carga combinada.** El CCS es un acuerdo entre los fabricantes germano - estadounidenses Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche y Volkswagen para que cualquier vehículo fabricado por éstos, comparta el mismo tipo de conector para carga rápida y normal [5].

---

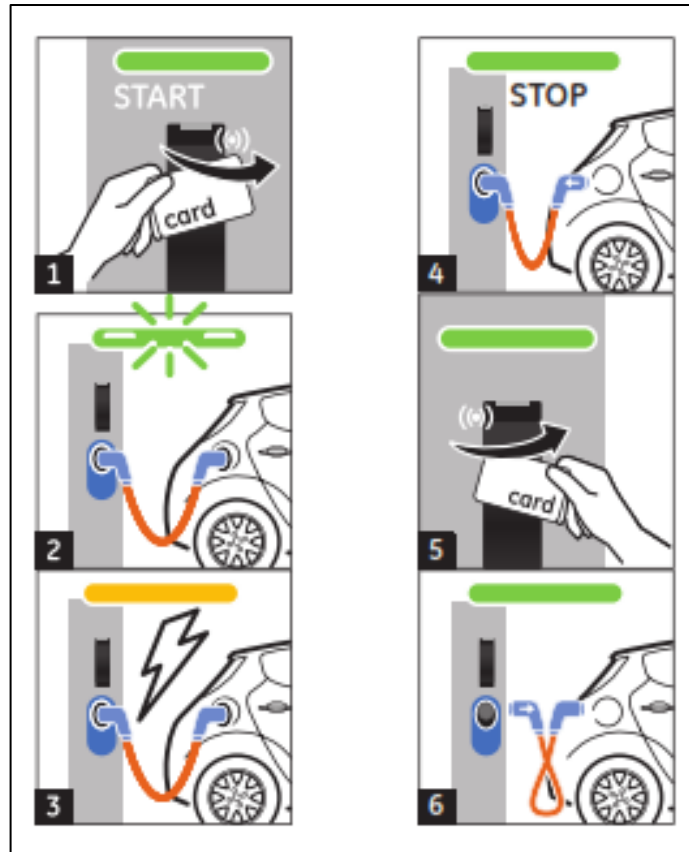
\* <http://www.chademo.com/> Consultada el 25 de julio de 2016.

Este sistema aporta una gran virtud en forma de un único conector para diferentes modos de recarga: dos modos en corriente alterna y otros dos modos en corriente continua que podrán alcanzar los 100 [kW] de potencia. Precisamente en la recarga bajo corriente continua es donde se encuentra la mayor virtud de este estándar de recarga combinada, pues frente a CHAdeMO que emplea hasta 62,5 [kW], la recarga empleando CCS podrá suministrar mayor potencia.

#### **4.7 PROCEDIMIENTO DE RECARGA RÁPIDA**

El procedimiento de recarga es muy intuitivo. Para la recarga rápida, el usuario debe acercarse a la estación de carga e identificarse con la tarjeta RFID proporcionada por el centro gestor de la recarga vehicular (generalmente, es la misma empresa de energía). Después, se debe acoplar el conector de la estación al vehículo, el cual debe estar apagado durante el proceso de recarga y se puede dar inicio a la operación oprimiendo un botón ubicado en la estación de carga. Éste tipo de carga permite suministrar el 80 % de la energía requerida por la batería entre 10 y 30 minutos. Como mecanismo de protección, las estaciones cuentan con un botón que permite interrumpir la recarga, no solo en el caso de algún incidente, sino también cuando no se cuente con el tiempo necesario para realizar todo el proceso. Una vez terminada la recarga, el usuario puede desconectar el cable. En los otros tipos de carga pública el procedimiento es similar, aunque el tiempo de recarga requerido es mayor. Para la recarga residencial no es necesaria la identificación del usuario con tarjeta RFID. En la **Figura 11** se muestra el proceso de recarga.

**Figura 11. Proceso de recarga de vehículos en estaciones públicas**



Fuente: Tomada del catálogo Soluciones para la carga de Vehículos Eléctricos de General Electric Company.

**4.7.1 La URV – Unidad de Recarga Vehicular.** Empresas como EPM y Codensa proponen la adopción de esta unidad de medida como estándar para realizar la facturación y cobro de la energía demandada para repostar los VE y por la infraestructura utilizada para prestar el servicio. Este esquema se ha asemejado al que se implementó para calcular el valor del m<sup>3</sup> de gas vehicular.

## 4.8 SITUACIÓN ACTUAL DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

Actualmente, se está desarrollando un proyecto en Europa denominado E-MOBILITY (apoyado por el *Intelligent Energy Europe Programme of the European Union*) con el fin de promover el desarrollo de planes de acción de movilidad eléctrica en municipios y empresas locales, brindando asesorías sobre la integración de la movilidad eléctrica en sus estrategias corporativas [8]. Gracias a este proyecto, ya se han empezado a crear grandes redes de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos, ocasionando de esta manera el nacimiento de un modelo de negocio basado en el abastecimiento energético de este nuevo segmento de mercado, lo que incluye el desarrollo de aplicaciones móviles, la creación de centros de control, la capacitación de operadores de infraestructura y la necesidad de diseñar y realizar el montaje de estaciones de recarga.

Una experiencia relevante en el país es el piloto operativo de taxis eléctricos en Bogotá que inició en el año 2012 con vehículos BYD E6 y dos estaciones de recarga. Para mediados del año 2015 se habían recorrido 170 [km] diarios por vehículo, se acumularon cerca de tres millones de kilómetros por la flota, operan 43 unidades vehiculares y se disponen de 41 estaciones de recarga distribuidas en la ciudad. Otro logro de este piloto ha sido el desarrollo de la infraestructura de recarga pública y el diseño de la URV [1].

Además de la prueba piloto de Bogotá, ya se han puesto en marcha otras iniciativas de transporte eléctrico en el área urbana: buses, camiones con carga liviana, motocicletas, flotas empresariales y bicicletas, en las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali. Estas pruebas han permitido validar la eficiencia energética, los bajos costos de mantenimiento y el rendimiento de las baterías, así el país se está posicionando como referente en este campo de la movilidad, pero las experiencias aún son reducidas [1], por eso con la ejecución de este trabajo de grado también

se pretende fomentar el uso de esta alternativa de transporte y presentarla como un potencial modelo de negocio.

Si se analiza el escenario automovilístico mundial se aprecia que la tendencia de los vehículos eléctricos es bajar de precio e incrementar su autonomía hasta alcanzar a sus homólogos a combustión en estos dos puntos [8], por eso se está generando un sentimiento de confianza respecto a la masificación de esta nueva tecnología, esta situación ha llevado a que algunos interesados en la venta de servicios de recarga eléctrica empiecen a hacer las alianzas necesarias desde ahora. En un futuro cercano, cuando se inicie la ejecución a mayor escala de proyectos relacionados con la construcción de infraestructura de recarga, los inversionistas contarán con los análisis y observaciones que aportan trabajos académicos como el presente.

## **5. DIMENSIONAMIENTO DE UN PUNTO DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Un punto de recarga se puede definir como el “lugar en el que el vehículo se conecta a la instalación eléctrica fija necesaria para recargar su batería, ya sea a través de un dispositivo tomacorriente o un conector.”

Para poder dimensionar un punto de recarga, es necesario tener en cuenta ciertas características de las estaciones de recarga disponibles en el mercado y algunas disposiciones normativas referentes a la instalación y operación de éstos sistemas. En las próximas secciones se presentarán algunas generalidades de las estaciones de recarga y la descripción de las normas que se están tomando como referencia en los países con mayor experiencia en la movilidad eléctrica.

### **5.1 REGLAMENTACIÓN PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN PUNTO DE RECARGA DE VE**

Ante la llegada de los VE al país y previendo su masificación en el futuro cercano, se hace necesario el estudio de las normas vigentes para facilitar y asegurar su exitosa integración al sistema de transporte. Debido a que en nuestro país la implementación de esta tecnología se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo, se hará énfasis en las normas internacionales desarrolladas en los países con mayor experiencia en este campo.

**5.1.1 Normatividad colombiana.** En el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) se establecen las medidas y los criterios de seguridad mínimos que garanticen la calidad, confiabilidad buen funcionamiento de las instalaciones

eléctricas, en todo el territorio nacional. Debido a su carácter técnico-legal es de obligatorio cumplimiento, pero a pesar de su relevancia, aún no se han reglamentado los aspectos más importantes referentes al diseño, construcción y operación de estaciones de recarga de VE. En la **Tabla 7** se hace mención de los aspectos definidos en el RETIE concernientes a los VE.

**Tabla 7. Normas expuestas en el RETIE referentes a los VE**

<b>Sección RETIE</b>	<b>Descripción</b>
20.7 Cargadores de baterías para vehículos eléctricos	Se definen los cuatro modos de carga para los cargadores de baterías de VE de acuerdo con IEC 61851. También se definen los requisitos de los productos destinados a la carga de las baterías y los preceptos que se deben cumplir en su instalación.
28.3.8 Instalación de equipos especiales	Identifica al equipo de carga de VE como una instalación de tipo especial y establece la aplicación de los requisitos expuestos en las secciones 600 a 675 de la NTC 2050.
38.2 Certificados de conformidad de productos	Establece la obligatoriedad en la presentación del Certificado de Conformidad de Producto con el RETIE para cargadores de baterías de VE.

Fuente: RETIE, resolución No. 90708 de agosto 30 de 2013.

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), es el encargado de desarrollar las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y orientar a las organizaciones para la aplicación de las mismas. A diferencia del RETIE, estas normas no son de carácter legal, pero ofrecen una guía confiable para el correcto diseño y funcionamiento de los sistemas eléctricos.

Dentro de las definiciones técnicas y normativas propuestas por este organismo, se pueden considerar las que han sido expuestas en la norma NTC 2050. A continuación, se presentan las definiciones más relevantes presentadas en la norma y que están directamente relacionadas con la movilidad eléctrica.

- *Artículo 511-8. Equipo para carga de baterías.* En esta sección se recomienda que “los cargadores de baterías, sus equipos de control y las baterías que se estén cargando, no deben estar ubicados dentro de lugares clasificados en el Artículo 511-3”, en el que se especifican los emplazamientos de Clase I, incluyendo: sitios con una altura hasta 0,5 m sobre el nivel del suelo, fosos o depresiones bajo el nivel del suelo, áreas adyacentes a lugares definidos o con ventilación de presión positiva, áreas adyacentes por permiso especial, surtidores de combustibles y equipos portátiles de alumbrado.
- *Artículo 511-9. Carga de vehículos eléctricos.* Esta sección establece que “todos los equipos y alambrados eléctricos para carga de vehículos deben estar instalados según el Artículo 625 de la NTC 2050 (explicado más adelante), excepto [las siguientes modificaciones]”:
  - *Ubicación de los conectores.* No pueden instalarse conectores en lugares Clase I.
  - *Conectores de clavija para los vehículos.* El punto de conexión de estos conectores no puede estar en un lugar Clase I, además cuando el cordón del conector esté colgado del techo, se debe garantizar que la punta de la clavija quede a 0,15 m sobre el suelo, como mínimo (esta observación se puede obviar cuando el conector cuenta con un dispositivo que recoja el cordón y la clavija de forma automática).
- *Sección 625. Equipos para sistemas de carga de vehículos eléctricos.* Esta parte abarca a los conductores y equipos eléctricos requeridos para conectar los vehículos a una fuente de alimentación de forma conductiva o inductiva y también define la forma de instalar los equipos y dispositivos para repostar los VE.
  - *Artículo 625-4. Tensiones.* Los equipos para los que se aplica esta reglamentación “se alimentan desde sistemas de c.a. con tensión nominal 120, 120/240, 208Y/120, 240, 480Y/277, 480, 600Y/347, o 600 V”.

- *Artículo 625-5. Certificados o rotulados.* Los equipos, elementos eléctricos, accesorios y demás dispositivos utilizados “deben estar certificados o rotulados”.
- *Artículo 625-9. Conectores para vehículos eléctricos.* Se definen las condiciones de operación para los conectores de VE:
  - a) Polaridad. Los conectores deben tener polaridad y una configuración, de forma que no sean permutables con otros tomacorrientes que estén en el mismo sitio de recarga.
  - b) Construcción e instalación. “Los conectores [...] deben estar contruidos e instalados de modo que se evite el contacto accidental de las personas con partes del equipo de suministro”.
  - c) Acople. Se debe evitar la desconexión accidental utilizando el medio adecuado para la conexión.
  - d) Polo de puesta a tierra. “El conector de suministro debe tener un polo de puesta a tierra que sea el primero que se conecte y el último que se desconecte con el dispositivo de entrada del vehículo”.
- *Artículo 625-13. Equipo de suministro para vehículos eléctricos.* “Se permite que este equipo esté sujeto o se pueda conectar mediante cordón y clavija. El equipo no debe tener partes energizadas expuestas”.
- *Artículo 625-14. Capacidad nominal.* El equipo de suministro debe tener una capacidad nominal adecuada que asegure la entrega de la carga requerida por el vehículo, suponiendo una carga continua.
- *Artículo 625-15. Rótulos.* “El equipo de suministro para vehículos eléctricos debe llevar un rótulo que indique “Para uso con vehículos eléctricos” (For Use with Electric Vehicles)”.
- *Artículo 625-16. Medios de acople.* Deben ser de tipo conductivo o inductivo.
- *Artículo 625-17. Cables.* Deben ser de “tipo EV, EVJ, EVE, EVJE, EVT o cable flexible de tipo EVJT. La capacidad de corriente debe cumplir la establecido en la Tabla 400-4 a) para cables con sección de 5,25 mm<sup>2</sup> (10

AWG) y menor y en la Tabla 400-5 b) para cables con sección de 8,36 mm<sup>2</sup> (8 AWG) y mayor. La longitud del cable no debe superar los 7,6 m. Se permite otro tipo de cables y conjuntos certificados como adecuados para ese fin, incluyendo conjuntos de cables híbridos con cables opcionales de comunicaciones, señales y de fibra óptica”.

- *Artículo 625-18. Enervamiento.* Todos los equipos deben contar con un sistema que desenergice el conector y el cable del vehículo cuando éste se desacople.
- *Artículo 625-19. Desenergización automática del cable.* La combinación cable-conector debe contar con un sistema automático que desenergice los conductores del cable y el conector del vehículo si se produce alguna tensión mecánica que pudiera ocasionar la rotura o la separación del cable del conector.
- *Artículo 625-21. Protección contra sobrecorriente.* “El dispositivo de protección contra sobrecorriente de los alimentadores y circuitos ramales de los equipos de suministro para VE, debe ser para uso continuo y tener capacidad nominal no menor al 125 % de la carga máxima del equipo de suministro. Cuando haya conectadas al alimentador o secundario, cargas no continuas, la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente no debe ser menor a la suma de todas las cargas no continuas más el 125 % de las continuas”.
- *Artículo 625-22. Protección de las personas contra falla a tierra.* El equipo debe estar protegido contra descargas eléctricas. “Cuando la corriente a tierra supere cierto valor preestablecido, que debe ser menor la corriente necesaria para que se active el dispositivo de protección de sobrecorriente del circuito de suministro, el sistema debe desenergizar el equipo de suministro dentro de un periodo preestablecido”.
- *Artículo 625-23. Medio de desconexión.* “Los equipos de suministro para VE de más de 60 [A] o más de 150 [V] a tierra, nominales, deben tener un

medio de desconexión instalado en un lugar fácilmente accesible y que se pueda bloquear en posición de abierto”.

- *Artículo 625-24. Puesta a tierra.* Es indispensable conectar equipotencialmente y poner a tierra todos los equipos.
- *Artículo 625-25. Pérdida de la fuente primaria.* Debe instalarse un mecanismo que “actúe cuando haya pérdida de tensión desde la red pública”, evitando que la energía regrese desde el vehículo hasta “el sistema de alambrado de la propiedad”.
- *Artículo 625-28. En lugares peligrosos (clasificados).* Cuando se presente esta situación, se deben seguir las instrucciones de los Artículos 500 a 516.
- *Artículo 625-29. Locales cubiertos.* El equipo de alimentación debe situarse de tal manera que se puede conectar al vehículo de forma directa. Cuando no existan especificaciones sobre la altura a la que se debe instalar el equipo, se debe ubicar a una altura mayor de 0,5 m y menor de 1,2 m sobre el nivel del piso. Cuando la situación lo requiere es indispensable la instalación de equipos para la ventilación mecánica. Cuando las baterías del vehículo son herméticas o está certificado para cargarlo en los cales cerrados, no es necesaria la ventilación.
- *Artículo 625-30. Lugares exteriores.* El equipo de alimentación debe situarse de tal manera que se puede conectar al vehículo de forma directa. Cuando no existan especificaciones sobre la altura a la que se debe instalar el equipo, se debe ubicar a una altura mayor de 0,5 m y menor de 1,2 m sobre el nivel del piso.

**5.1.2 Normatividad internacional.** En este apartado se exponen las normas internacionales más importantes que están relacionadas con las estaciones de recarga y su infraestructura.

- *IEC 60364-7-722:2013. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 7-722: Requisitos para instalaciones y emplazamientos especiales. Alimentación de vehículos eléctricos.* “El contenido de esta norma se aplica a circuitos previstos

para alimentar VE para su carga y a la protección para la seguridad en caso de alimentación pública y privada”. Solo es aplicable a carga conductiva.

- *IEC 61851-21:2002. Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 21: Requisitos del vehículo eléctrico para conexión conductora a red en c.a./c.c.* En esta norma se encuentran los “requisitos del VE para la conexión conductora en c.a. o c.c., para tensiones de c.a. de hasta 690 [V] y tensiones de c.c. de hasta 1000 [V], cuando el vehículo esté conectado a la red de alimentación”.
- *IEC 61851-22:2002 Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 22: Estación de carga en c.a. para vehículos eléctricos.* El contenido de esta norma “proporciona los requisitos de las estaciones de carga del VE en c.a. para la conexión conductiva a un VE, para tensiones de alimentación de hasta 690 V”.
- *IEC 61851-23:2015 Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 23: Estación de carga en corriente continua para vehículos eléctricos.* El contenido de esta norma “proporciona los requisitos para las estaciones de carga de VE en c.c., para conexión conductiva al VE, con una tensión de entrada en c.a. o en c.c. de hasta 1000 [V] en c.a. y hasta 1500 [V] en c.c.”.
- *IEC 61140:2001. Protección contra los choques eléctricos. Aspectos comunes a las instalaciones y a los equipos.* “Esta norma internacional se aplica a la protección de las personas y de los animales contra los choques eléctricos. Está destinada a dar los principios fundamentales y los requisitos comunes a las instalaciones eléctricas, a los sistemas y a los equipos necesarios para su coordinación”.
- *IEC 62196:2014. Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales.* Esta norma es de “aplicación a las clavijas, tomas de corriente, conectores, entradas y cables de carga para VE, destinados al uso en sistemas de carga conductiva que incorporen medios de control, con una tensión de funcionamiento asignada que no exceda de

- 690 [V] en c.a. de 50 a 60 [Hz] con una corriente asignada no superior a 250 [A],
- 1500 [V] en c.c. con una corriente asignada no superior a 400 [A]”.
- *NEC. Artículo 625.* Las disposiciones de este artículo, cubren los conductores eléctricos y equipos externos a un VE que lo conecten a un suministro de electricidad mediante elementos conductivos o inductivos, y la instalación de equipos y dispositivos relacionados con la carga de VE.
- *ISO 17409:2015.* Esta norma detalla los requisitos de seguridad para las conexiones eléctricas conductoras de los VE de carretera con una fuente de alimentación eléctrica externa utilizando una entrada de enchufe o del vehículo mismo. Se aplica a los vehículos de carretera de propulsión eléctrica con circuitos eléctricos de tensión clase B.

Además de las implicaciones reglamentarias, es importante definir el método de dimensionamiento, es por eso que en la siguiente sección se abordará este tema, especialmente lo relacionado con las variables que se deben definir.

## **5.2 MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO DE ESTACIONES DE RECARGA**

De acuerdo con el RETIE, el diseño es requisito esencial de toda instalación eléctrica. En el diseño se dan los detalles específicos del diseño como los conductores, materiales y demás equipos necesarios para asegurar un suministro de energía seguro y de calidad.

Una de las metodologías más utilizadas para dimensionar redes de baja tensión es conocida por algunos como el método Boggis, desarrollado por Boggis en 1953 y está basado en la ADMD (After Diversity Maximum Demand). La ADMD es la demanda máxima por cliente cuando el número de clientes conectados a la red se aproxima al infinito y, generalmente se deriva de la demanda máxima nodal anual

en la red de transmisión, dividido entre el número de clientes servidos por esa red. La ADMD se multiplica por un factor de diversidad (FD), lo que aumenta la demanda por cliente cuando el tamaño del grupo disminuye [14, 15]. La fórmula se ha implementado de muchas formas, pero en general, la demanda máxima (DM) está dada por la **Ecuación 1**, la ADMD por la **Ecuación 2** y el FD está dado por la **Ecuación 3**.

$$DM = N \cdot FD \cdot ADMD \quad (1)$$

$$ADMD = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n \quad (2)$$

$$FD = 1 + \frac{K}{N} \quad (3)$$

Donde:

DM es la demanda máxima de los usuarios agregados

FD es el factor de diversidad, la relación entre la demanda máxima no coincidente de los usuarios agregados y el valor máximo de la demanda coincidente de los usuarios agregados

ADMD es la diversidad después de la demanda máxima por usuario

$P_n$  demanda del usuario n en el momento de demanda máxima del sistema

N número de usuarios

K factor de coincidencia

Algunas deficiencias por las que se descarta éste método son:

- El método es más preciso cuando se tienen más de 25 usuarios ( $N=25$ ), algo que no es recomendable para estaciones de recarga de VE desde un punto de vista técnico y financiero.
- La probabilidad de demanda máxima calculada para un grupo de usuarios considera un período de tiempo muy grande, generalmente un año.

Con los avances tecnológicos de los últimos años, los dispositivos eléctricos y electrónicos han adoptado características más dinámicas y variables, así que la infraestructura eléctrica diseñada para su abastecimiento debe tener la capacidad de suplir las necesidades energéticas de estos dispositivos. Con el fin de garantizar un correcto diseño, se han propuesto nuevas metodologías que consideran las características de las nuevas cargas.

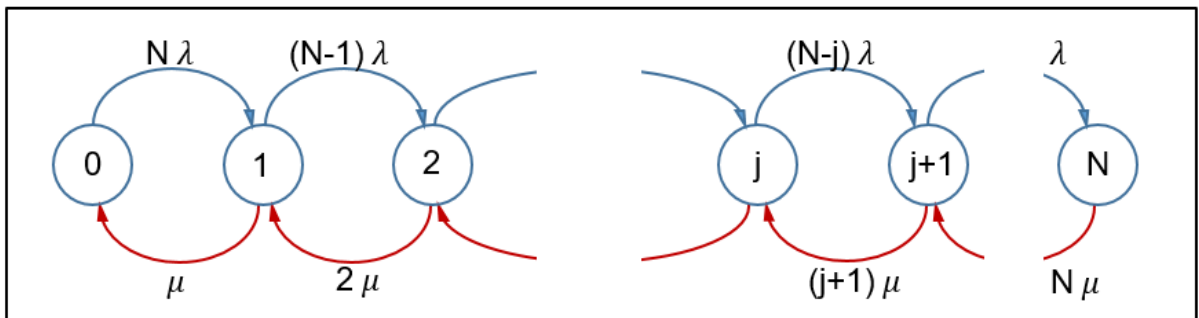
Como se ha mencionado en los apartados anteriores, las estaciones de carga de VE han evolucionado a un ritmo acelerado, especialmente en los aspectos relacionados con la potencia, buscando disminuir el tiempo de la recarga. Así es que, en el mercado se encuentran varias versiones disponibles para repostar los vehículos en los modos de carga 3 y 4. Las características de estos dispositivos ha llevado a la reevaluación de los modelos tradicionales utilizados para el dimensionamiento y se han propuesto nuevas alternativas, como la sugerida por [15], que se tomará como referente para emular la metodología de Boggis y a partir de estos resultados, realizar el dimensionamiento del punto de recarga. En los próximos apartados se describen tanto el método utilizado como las variables requeridas.

**5.2.1 Márkov Modulated Poisson Processes - MMPP.** La distribución de Poisson es la más empleada para modelar el comportamiento de llegada de los vehículos al lugar de la recarga, debido a sus propiedades:

- 1) *Falta de memoria*, esto implica que cada llegada de las unidades es independiente de cuándo llegó la anterior.
- 2) *Fuente infinita*, esta propiedad hace que sea independiente de la ventana de observación.

Las cadenas o procesos de Márkov son un caso de la teoría de la probabilidad en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento anterior. Los procesos de Márkov modulados también se conocen como procesos doblemente estocásticos y se caracterizan por utilizar una cadena de Márkov que define (según el estado actual) la distribución de probabilidad del tráfico [16]. El mecanismo de modulación determina que en el estado  $j$  de  $N$  estados la llegada ocurre conforme a un proceso de Poisson con una tasa  $\lambda_k$  y a medida que el estado cambia, también lo hace la tasa  $\lambda$  respectiva [17]. En la **Figura 12** se representa un modelo para  $N$  elementos.

**Figura 12. Modelo para  $N$  elementos**



Fuente: Tomada de [18].

Usando esta metodología se puede calcular el tiempo promedio que un vehículo permanece conectado y el número promedio de VE que pueden estar conectados a un punto de recarga (multipunto). Para el proceso de recarga, se consideran  $N$  estados cada uno asociado con la probabilidad de ocupación de una de las estaciones de carga, de modo que el estado 1 corresponde a la probabilidad de encontrar un VE en el primer punto de recarga. En la **Figura 12** se representan  $N$

estados con diferentes tasas de transición, el diagrama de transición que define la entrada de nuevos vehículos a la estación de recarga y también la tasa de ser atendidos con la energía requerida. En esta técnica se determinan unos procesos de nacimiento y muerte, definidos por las **Ecuaciones 4 y 5**.

$$0 = \mu_{n+1} \cdot P_{n+1} + \lambda_{n-1} \cdot P_{n-1} - (\lambda_{n-1} + \mu_n) \cdot P_n; \quad n > 0 \quad (4)$$

$$0 = \mu_1 \cdot P_1 - \lambda_0 \cdot P_0; \quad n = 0 \quad (5)$$

Donde:

$\lambda$       tasa de distribución dando un paso adelante

$\mu$       tasa de distribución dando un paso atrás o tasa de servicio

Resolviendo las anteriores ecuaciones se tiene:

Para n=0

$$P_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0 \quad (6)$$

Para n=1

$$\mu_2 \cdot P_2 = P_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_1) - \lambda_0 \cdot P_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0 \cdot (\lambda_1 + \mu_1) - \lambda_0 \cdot P_0 \quad (7)$$

$$\mu_2 \cdot P_2 = \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1} \cdot P_0 \Rightarrow P_2 = \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1 \cdot \mu_2} \cdot P_0 \quad (8)$$

Para  $n=k$

$$P_k = P_0 \cdot \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{k-1}}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_k} = P_0 \cdot \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \quad (9)$$

El valor de  $P_0$  se puede determinar con la **Ecuación 11**.

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1 \quad (10)$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=0}^{\infty} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}}} \quad (11)$$

Mediante la **Ecuación 12** se puede calcular el número  $n$  de VE promedio que puede abastecer la estación de carga simultáneamente.

$$n = \sum_{k=0}^N k \cdot P_k \quad (12)$$

Con este procedimiento se pretende realizar una “corrección” tanto en el número de VE que serán atendidos como en el tiempo que permanecerán en el punto de recarga a partir de unos valores iniciales de diseño, como se explicará en las próximas secciones. A partir de los valores “corregidos” se puede realizar el dimensionamiento del punto de recarga de la siguiente manera:

$$S_{PC} = n \cdot S_{EC} \quad (13)$$

Donde:

$S_{PC}$  potencia del punto de recarga

- $n$  número promedio “corregido” de VE  
 $S_{EC}$  potencia requerida por una estación de carga

A partir del procedimiento anteriormente descrito se pueden identificar las variables involucradas y que deben ser definidas para el correcto dimensionamiento. En la próxima sección se describen éstas variables.

**5.2.2 Variables que influyen en el dimensionamiento del punto de recarga.** La definición acertada de las variables de dimensionamiento del punto de recarga es un factor determinante para garantizar el correcto funcionamiento de la estación, no solo desde una perspectiva técnica, sino también financiera. Las estaciones de recarga para VE cuentan con una amplia gama de opciones en el mercado, pero últimamente los fabricantes se están enfocando en el desarrollo de puntos que pueden abastecer a los vehículos de la energía necesaria (o un nivel mínimo que puede estar en el rango del 60 % al 80 % del total de la carga de la batería) en un tiempo considerablemente corto, pero este avance ha traído consigo nuevos requerimientos, pues un menor tiempo de repostaje conlleva a que la infraestructura sea más robusta y que pueda recibir de la red la energía demandada. A continuación, se presentan las variables tomadas en cuenta para este proyecto y que están asociadas con el método explicado previamente.

**5.2.2.1 Número de espacios.** Los expertos han recomendado una relación de 1:2,5; es decir, un punto de recarga por cada 2,5 VE para evitar la preocupación del conductor por alcanzar la siguiente estación de recarga, aunque otros consideran que una relación 1:3 es suficiente. A pesar de esta sugerencia, en algunos países (incluido Colombia) han adoptado una proporción de 10 VE por cada punto de recarga [19].

En la ciudad de DuPont, Washington se ha expedido una norma en la que se especifica el número mínimo y máximo de espacios de recarga, de acuerdo a la

actividad desempeñada en el lugar de la instalación o al área disponible. En la **Tabla 8** se muestran los valores sugeridos por el Código Municipal de DuPont [20].

**Tabla 8. Número mínimo y máximo de espacios de recarga permitidos**

Uso del suelo	Nº máximo de espacios	Nº mínimo de espacios	Por...
Vivienda reservada para la tercera edad	0,5	N/A	Unidad de vivienda
Grupo de hogares	0,25	N/A	Capacidad máxima
Instalación transitoria de invitados	0,5	N/A	Unidad transitoria
Viviendas unifamiliares y multifamiliares	2	N/A	Unidad de vivienda
Oficina, clínica y banco	2	4	1000 pies <sup>2</sup>
Establecimientos de comida y bebida	8	16	1000 pies <sup>2</sup> abiertos al público
Ventas y servicios de baja intensidad	1	3	1000 pies <sup>2</sup>
Ventas y servicios de alta intensidad	2	5	1000 pies <sup>2</sup>
Lugares públicos de reunión	0,15	0,4	Persona en caso de máxima ocupación
Hospital y centro de salud residencial	0,2	0,4	Cama
Industrias, instalaciones de investigación, imprentas, panaderías, mayoristas y almacenes	0,3	1	Trabajadores del turno máximo
Parqueadero comercial	No es aplicables (N/A)		

Fuente: Tomada de [20].

**5.2.2.2 Tipo de estaciones de recarga.** Una electrolinera es el homólogo eléctrico de las estaciones de servicio (de gasolina), pero a diferencia de éstas cuentan con varios diseños estructurales y diferentes opciones en cuanto al nivel

de potencia suministrado. En la actualidad, existen cuatro tipos de estaciones de recarga según la forma de su ubicación:

- Pedestal compacto: En esencial en plazas de parqueo, en calles y avenidas, con acceso fácil a la carga del vehículo mientras está parqueado.
- Pedestal doble: Ofrece dos estaciones de carga en el espacio de una. Esta opción permite la carga simultánea de dos vehículos en una sola estación de carga.
- Montaje en pared: Ofrece la solución en áreas con reducido espacio. Pueden colocarse en las paredes de parqueo y garajes.
- Montaje en poste: Es la solución perfecta en espacios muy reducidos y que precisan de soluciones alternativas como en vías públicas. Se pueden realizar montajes en postes de luz o en cualquier tipo de estructura.

**Tabla 9. Tipos de estaciones de recarga**

<b>Pedestal compacto</b>	<b>Pedestal doble</b>	<b>Montaje en pared</b>	<b>Montaje en poste</b>
			

Fuente: GE ENERGY INDUSTRIAL SOLUTIONS. Estación de carga para Vehículos Eléctricos. Hoja de datos.

Generalmente, la potencia suministrada por las estaciones está directamente relacionada con el tamaño de la misma, esto quiere decir que mientras mayor sea su tamaño y más compleja sea su estructura, mayor va a ser su capacidad. En la

**Tabla 9** se muestra el diseño de las estaciones de recarga mencionadas anteriormente. Estas corresponden a las alternativas comerciales ofrecidas por la empresa DuraStation™.

Las estaciones de carga están diseñadas de tal forma que puedan suministrar la energía requerida por las baterías de los VE. Como se explicó en las secciones 4.2.1 y 4.2.2, se han estandarizado cinco tipos de carga según el tiempo requerido para completarla y según el modo de carga, que se relaciona con el grado de comunicación entre el vehículo y la infraestructura de recarga, así, entre mayor sea el modo de carga también es mayor la potencia demandada para llevar a cabo la recarga. En la **Tabla 10** se presentan las características más importantes de las estaciones de carga y que resultan ser los factores determinantes que se deben considerar para su instalación.

**Tabla 10. Clasificación de estaciones de carga**

Tipo de carga	Carga lenta	Carga semi-rápida	Carga rápida	
			AC	DC
<b>Potencia</b>	3,3 – 3,6 [kW]; I=16 [A] 6,6 – 7,6 [kW]; I=32 [A]	22 [kW] a 32 [A]	43 [kW]	50 [kW]
<b>Voltaje</b>	208- 240 [V] Monofásico trifilar o bifásico	400 [V] trifásico AC	400 [V] trifásico AC	Alimentación 400 [V] trifásico AC/Salida 500 [V <sub>DC</sub> ]
<b>Tiempo de recarga</b>	16 [A]: 6 – 8 horas 32 [A]: 4 – 6 horas	2 horas	1 hora	30 minutos

Fuente: NORMAS TÉCNICAS EPM. Instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos.

**5.2.2.3 Patrón de llegada de los VE.** Los procesos MMPP requieren la definición de esta variable que puede ser obtenida a partir de estudios estadísticos que caractericen el comportamiento de los vehículos en las ciudades; como el número

de VE no es significativo aún, se considera que su comportamiento se asemeja al de los vehículos con MCI. Cuando no se cuenta con estudios estadísticos, se suele abordar este problema con la definición de la teoría de colas, donde se plantea que esta variable aleatoria depende de la distribución probabilística entre dos llegadas de clientes sucesivas y es conocida como *patrón de llegada de los clientes o número esperado de llegadas por unidad de tiempo* [22]. Dicha teoría supone que la llegada de clientes a un sistema, sigue un proceso de Poisson, lo que significa que si  $X_t = \text{número de llegadas en un intervalo } t \Rightarrow X_t \sim \text{Poisson}(\lambda t)$ . Esta relación representa a una variable aleatoria discreta con la siguiente probabilidad:

$$P(X_t = x) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t} \quad (14)$$

$$E[X_t] = \lambda t \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{E[X_t]}{t} \quad (16)$$

Donde:

$E[X_t]$  Número promedio de ocurrencias en el intervalo  $t$

$\lambda$  Número promedio de ocurrencias por unidad de tiempo, [VE/h]

## 6. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE RECARGA: CASO DE ESTUDIO

Para contextualizar la metodología anterior, en este capítulo se plantea un caso de estudio en el que se definirán las variables requeridas durante las primeras etapas de un proyecto de este tipo y posteriormente se aplicarán en el diseño detallado de un punto de recarga masivo para VE.

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO

Se ha mencionado que actualmente, uno de los puntos débiles de la movilidad eléctrica es la escasa infraestructura para su recarga, especialmente en sitios públicos, es por esta razón que se ha decidido diseñar una electrolinera o punto de recarga masivo que esté dedicado exclusivamente a la recarga de VE. Como el tiempo de recarga es uno de los factores que más inquieta a los usuarios, se ha decidido enfocar el diseño al modo de recarga 4 (aunque se pueden incluir cargadores de los demás modos sin que afecte el dimensionamiento). La comunicación entre las estaciones y la red, se considerará unidireccional, esto quiere decir que la red no recibirá la energía almacenada en la batería de los vehículos.

**6.1.1 Supuestos sobre movilidad.** En un informe titulado *Cálculos de autonomía y rendimiento*, la organización Autolibre publicó los resultados de algunas pruebas de funcionamiento en ruta realizadas a un VE de 1300 kg, en un régimen de funcionamiento de mínimo consumo, sin aire acondicionado y un pasajero [21]. En la **Tabla 11** se presentan los resultados.

**Tabla 11. Resultados de un VE durante una prueba de funcionamiento**

Velocidad [km/h]	Consumo [Wh/km]	Autonomía [km]
10	120	125
20	130	116
40	145	103
60	155	97
80	165	91
100	188	80
120	219	69
130	243	62
140	262	57

Fuente: Tomada de [21].

En el párrafo 2º del Decreto 15 de 2011, se establece el límite de velocidad máximo en las carreteras colombianas igual a 120 [km/h], así que tomando como referencia los resultados anteriores y la restricción de velocidad, se tendría un consumo de 219 [Wh/km] y una autonomía de 69 [km]. A partir de estos valores se puede obtener la solicitud de carga o RoC (por sus siglas en inglés):

$$RoC = Consumo \cdot Autonomía = 0,219 \left[ \frac{kWh}{km} \right] \cdot 69[km] = 15,11 [kWh] \quad (17)$$

**6.1.2 Definición de variables.** Como se explicó en la sección 5.2, el dimensionamiento del punto de recarga es directo y se puede determinar aplicando la **Ecuación 13**, pero antes es necesario hacer la corrección del número de espacios proyectados, para eso se van a definir las tres variables a considerar:

- 1) Número de espacios: Debido a que el caso planteado no se considera en la **Tabla 8** ni existe una cifra consolidada sobre el número de VE en la ciudad de Bucaramanga (o una proyección futura) para determinar el número de espacios de acuerdo a la relación sugerida 1:2,5, se utilizará el valor sugerido en [19]:  $N = 10$ .

2) Estación de recarga: En el **Anexo D** se encuentra un listado de algunas de las estaciones de recarga que están disponibles en el mercado. Para el caso de estudio se está considerando una recarga rápida en el modo 4 y se seleccionó la estación de Schneider Electric modelo EVlink Fast Charge con conectores CHAdeMO y único combinado (también conocido como CCS o Combo 2), para recarga de 50 [kW] y, además, cuenta con un conector de 43 [kW] para realizar recargas en modo 3, siendo éstas las principales razones de su selección, ya que, en sus inicios, la carga rápida de VE solo estaba basada en el protocolo CHAdeMO, pero durante los últimos ha aumentado el número de fabricantes de VE que han implementado el sistema de recarga CCS. Otra razón por la que se seleccionó este modelo, es por la confiabilidad del fabricante y por el soporte que brinda para su instalación. En la **Tabla 12** se listan sus características y en la **Figura 13** se muestra este modelo.

**Tabla 12. Características de la estación de carga EVlink Fast Charge**

<b>Características mecánicas y ambientales</b>	
Grado de protección	IP54
Grado de protección mecánica	IK10
Temperatura de operación	-30°C/50°C
<b>Potencia de suministro de la red y modo de carga</b>	
Alimentación	400 V ~ (+10/-15%), 3Ø, 50-60 Hz
<i>Estación de carga de Corriente Directa</i>	
-Carga en Modo 4	-Conector tipo CCS
-Conector tipo CHAdeMO	-Longitud del cable: 4 m
-Tensión/Corriente de carga: 500 V <sub>DC</sub> /125 A con conector CHAdeMO	-Dispositivos de protección eléctrica integrados en la estación de carga
<i>Estación de carga de Corriente Alterna</i>	
-Carga en Modo 3	-Longitud del cable: 4,4 m
-Tensión/Corriente de carga: 400 V <sub>ac</sub> /63 A <sub>ac</sub>	-Dispositivos de protección eléctrica integrados en la estación de carga
<i>Interacción con el usuario y datos</i>	
-Pantalla gráfica retroiluminada LCD (2 líneas)	-3 indicadores LED de estado de doble color
-Placa de CPU (con RFID)	-Lector sin contacto

*Estándares*

-IEC/EN 61851-1, edición 2.0

-IEC/EN 62196-1, edición 2.0

-IEC/EN 61851-22, edición 1.0

-IEC/EN 62196-2, edición 1.0

**Fuente: ELECTRIC VEHICLE CHARGING SOLUTIONS. 2016, mayo. Catálogo.**

**Figura 13. Estación de recarga EVlink Fast Charge**



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC. EVlink fast charge solution. [en línea] Disponible en: <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/60852-evlink-fast-charge-solution/>

3) Patrón de llegada de los VE: Definir esta variable requiere de un complejo análisis estadístico, algo que resulta muy difícil de lograr teniendo en cuenta que la penetración de VE se encuentra en sus etapas iniciales. Para efectos del diseño, se asumirá que el patrón de llegada es similar al de los vehículos convencionales a las estaciones de servicio o gasolineras. En [23], se realizó un análisis de colas multicanal, para el que se recogieron datos durante tres días en el horario de 4:00 p.m. a 7:20 p.m. en una gasolinera. El promedio de llegada de vehículos obtenido fue de 25,25 [vehículos/h], éste será el valor considerado para el análisis.

**6.1.3 Dimensionamiento de las estaciones de recarga.** Antes de aplicar la **Ecuación 13**, se procederá a corregir el número de espacios propuestos inicialmente a partir de los valores especificados anteriormente y utilizando la metodología de la sección 5.2.1. En la **Tabla 13** se expresan las variables de entrada las ecuaciones utilizadas y los resultados obtenidos.

**Tabla 13. Variables y resultados**

Variables de entrada	Ecuaciones	Resultados
$N = 10$ $E = 50 [kWh]$ $\lambda = 25,25 \left[ \frac{VE}{h} \right]$ $RoC = 15,11 [kWh]$ $\mu = \frac{E}{RoC} = 3,31$	$\lambda_k = (N - k) \cdot \lambda; k = 1, 2, \dots, N - 1$ $P_k = P_0 \cdot \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}}$ $P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=0}^{\infty} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}}}$ $n = \sum_{k=0}^N k \cdot P_k$ $\lambda_c = \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_k \cdot P_k$ $t = 60 \cdot \frac{N}{\lambda_c}$	$n = 8,8414$ $\approx 9 [VE]$ $t = 18,133 [min]$

Donde\*:

E Energía suministrada por la red a una estación de carga durante una hora

n Número de VE corregido

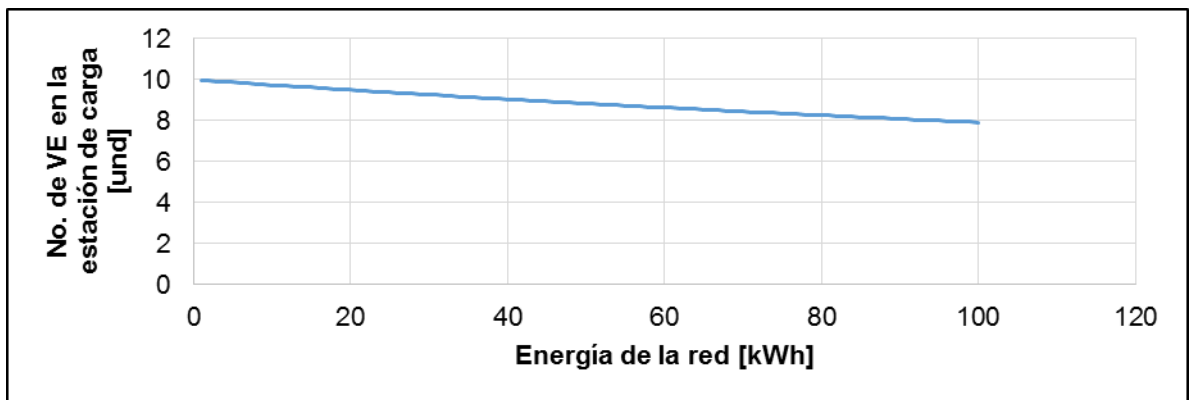
t Tiempo que permanece el VE en la estación de carga

El algoritmo implementado en MATLAB, se detalla en el **Anexo E**. Referente a los resultados, se observa que el número de espacios requeridos para atender un flujo de clientes similar al de las estaciones de servicio actuales, disminuyó con respecto al valor proyectado, pasando de 10 a 9 estaciones de servicio. Con respecto al tiempo de carga, se aprecia que se encuentra cercano a los valores

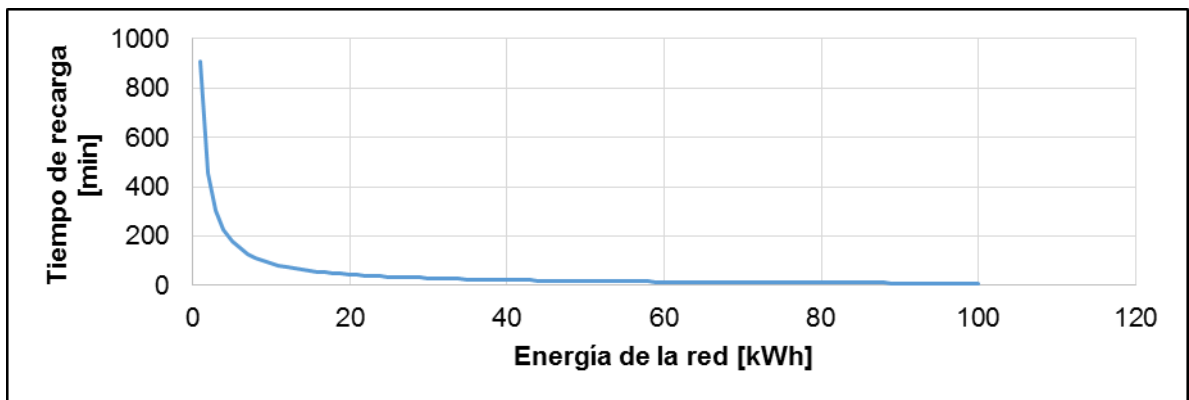
\* Algunas variables no se describen en esta sección porque ya se han definido anteriormente.

sugeridos por los fabricantes, cuyo valor oscila entre 20 y 30 minutos, esto depende de la capacidad de la red y de la estación utilizada, así, entre mayor energía suministre la red, menor será el tiempo de recarga. En las **Figuras 14 y 15** se puede ver el comportamiento del tiempo requerido con respecto a la energía suministrada por la red y el número de VE con respecto a la misma variable.

**Figura 14. Gráfica del Número de VE vs. Energía de la red**



**Figura 15. Gráfica del Tiempo de recarga vs. Energía de la red**



A partir de estos resultados, se procede a dimensionar el punto de recargar con la **Ecuación 13**. De los datos de placa de la estación de servicio seleccionada se tiene una demanda de 50 [kW], como el fabricante no especifica el factor de potencia se tomará el valor suministrado por EverDrive en el catálogo de la

estación EverFlash CHAdeMO, en el que se asigna un valor de 0,95. De acuerdo a estas consideraciones, se tendría una demanda por estación de recarga igual a:

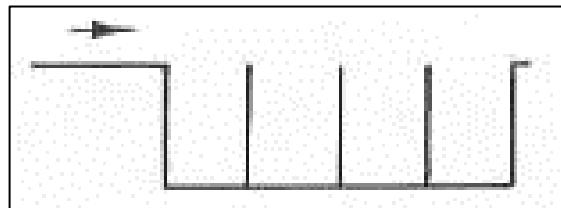
$$S_{EC} = \frac{P_{EC}}{fp} = \frac{50 [kW]}{0,95} = 52,63 [kVA]$$

Por lo tanto, para 9 espacios de recarga y una potencia de 52,63 [kVA] por estación, se tiene:

$$S_{PC} = 9 * 52,63 [kVA] = 473,68 [kVA]$$

**6.1.4 Determinación del área y la demanda por alumbrado.** Para el diseño, se considerará una vía de estacionamiento a un ángulo de 90° (ver **Figura 16**). Para estimar el área de estacionamiento disponible, se tomará como referencia las disposiciones reglamentarias expuestas en el Código Municipal de DuPont, específicamente el Capítulo 25.95, Sección 25.95.050, donde se sugiere la utilización de 350 ft<sup>2</sup> por vehículo; este valor considera el puesto de parqueo del vehículo mientras se recarga, los pasillos y las áreas de acceso. Por lo tanto, para un punto de recarga con 9 espacios se tendría un área de diseño de 3150 ft<sup>2</sup> o 293 m<sup>2</sup>, aproximadamente.

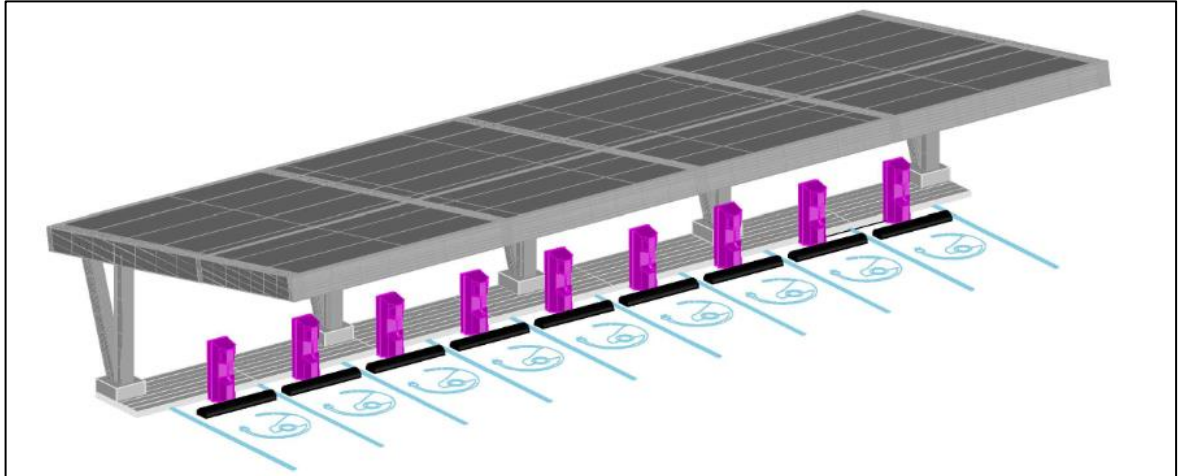
**Figura 16. Estacionamiento a 90° de una vía**



Fuente: DUPONT MUNICIPAL CODE. Chapter 25.95: Off-Street Parking. [en línea] Disponible en: <http://www.codepublishing.com/WA/DuPont/html/DuPont25/DuPont2595.html#25.95> Editada por los autores.


En la **Figura 17**, se muestra el diseño en 3D del punto de recarga.

**Figura 17. Punto de recarga con 9 estaciones de carga rápida**



Conociendo el área y la distribución de las estaciones de carga es posible determinar el número de luminarias. Para realizar este cálculo se utilizó el software DIALux, en el que se implementó la luminaria BVS400 1xGRN94-3S/657 PRM de Philips (generalmente usada para estaciones de servicio), en la **Tabla 14** se muestran las características de la luminaria seleccionada. Después de probar distintas configuraciones, se obtuvo que el resultado más óptimo correspondía a una distribución con 2 filas 6 luminarias por cada fila.

**Tabla 14. Características de la luminaria BVS400 1xGRN94-3S/657 PRM de Philips**

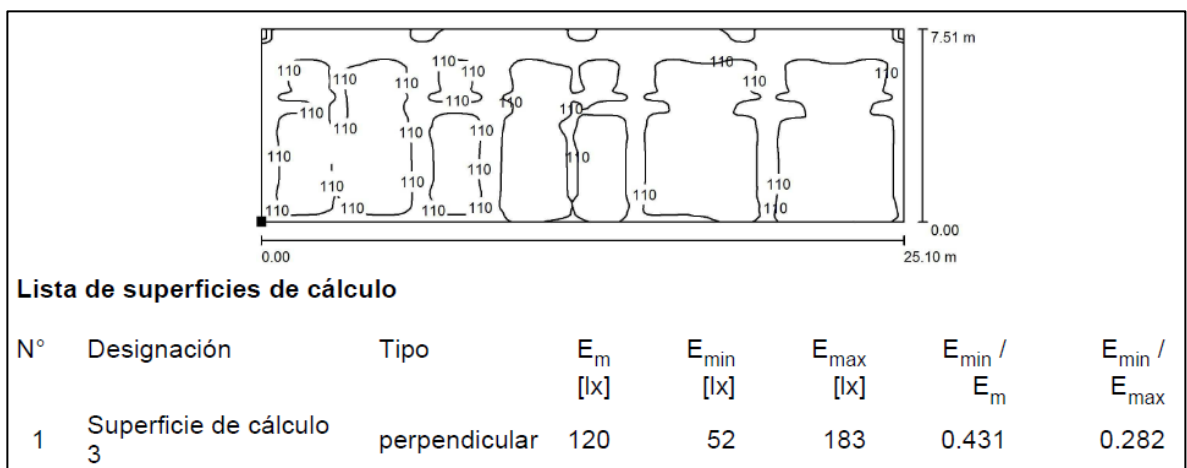
	<b>Flujo</b>	9900 [lm]	<b>Tensión</b>	110–240 [V]
	<b>Potencia</b>	72 [W]	<b>Frecuencia</b>	50–60 [Hz]

Fuente: PHILIPS. Catálogo Mini 300 LED gen2.

Después de revisar el Capítulo 5 – *Alumbrado Público e Iluminación* del RETILAP se comprueba que no hay ningún requerimiento definido para estas zonas ni

similares, por esta razón se tomará como referencia la norma EN 12464-2 *Lighting of work Places – Part 2: Outdoor work places*. Según la Referencia No. 5.10.4 se determina el nivel de iluminancia promedio y la uniformidad de la iluminancia. En la **Tabla 15** se comparan los valores recomendados con los obtenidos en la simulación y en la **Figura 18** se muestran los resultados obtenidos con el programa DIALux.

**Figura 18. Resultados de iluminancia obtenidos con DIALux**



**Tabla 15. Comparación de resultados de iluminación**

	EN 12464-2	DIALux	% Error
Iluminancia promedio	100 [lx]	120 [lx]	16,67 %
Uniformidad de la iluminancia	0,40	0,431	0,078 %

La demanda por iluminación está determinada por el número de luminarias y su potencia, así, para 12 luminarias, una potencia 72 [W] por luminaria y un factor de potencia de 0,9 se obtendría una demanda por alumbrado de 960 [VA].

Adicionalmente, en la parte frontal de la estructura del techo se ubica un aviso luminoso que cubre toda el área (25x0,5 m). Para la iluminación de este rótulo se

requieren 18 tubos fluorescentes. La luminaria seleccionada es el tubo fluorescente T8 Súper 80 ALTO de Philips de 32 [W]. Por lo tanto, la demanda por este elemento sería igual a 1067 [VA], si se considera un factor de potencia de 0,6, pero al revisar en la NTC 2050 se toma el valor mínimo exigido de 1200 [VA] (Sección 600-5 (b)).

En la caseta del transformador se instalarán 2 bombillos incandescentes de 100 [W] (FP=1) y un tomacorriente de servicios generales de 180 [VA].

**6.1.5 Demanda del punto de recarga.** La demanda del punto de recarga se determina a partir de la demanda de las estaciones de carga, la demanda por alumbrado, el aviso luminoso y la demanda correspondiente a la caseta, así se obtiene:

$$S_T = S_{PC} + S_{AL} + S_{Aviso} + S_{Caseta} = 476,22 [kVA]$$

## 6.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE RECARGA

En esta sección se determinarán los parámetros de diseño, a partir de las normas correspondientes que permitan garantizar un diseño confiable.

**6.2.1 Selección del transformador.** Al revisar la Tabla 1 de la NTC 819 – *Transformadores trifásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido. Corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuito*, se seleccionan las características del transformador (ver **Tabla 16**).

**Tabla 16. Transformadores trifásicos de 15 kVA a 3750 kVA, serie AT<15 kV, serie BT≤1,2 kV**

<b>Valores máximos declarados permisibles de corrientes sin carga (<math>I_0</math>), Pérdidas sin carga (<math>P_0</math>), Pérdidas con carga (<math>P_c</math>) y tensión de cortocircuito a 85 °C (<math>U_z</math>)</b>				
<b>Potencia kVA</b>	<b>% <math>I_0</math> de <math>I_N</math></b>	<b><math>P_0</math> W</b>	<b>Pr. W</b>	<b><math>U_z</math> %</b>
300	2,0	765	3575	4,5
400	1,9	930	4730	4,5
500	1,7	1090	5780	5,0
630	1,6	1285	7140	5,0
750	1,6	1450	8380	5,0

Fuente: NTC 819. Transformadores trifásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido. Corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuito. Modificada por los autores.

Se escoge el nivel de potencia más cercano al determinado en el dimensionamiento, considerando que no habrá ampliaciones o nuevas cargas en el futuro. Para este caso, se seleccionó una potencia de 500 [kVA].

Para alimentar las cargas más pequeñas como las de iluminación, el aviso luminoso y el tomacorriente de la caseta es necesario un transformador de menor potencia. En la **Tabla 17** se muestran los valores comerciales ofrecidos por la empresa ABB. La carga de estos elementos es de 2460 [VA], por lo tanto, la potencia del transformador seleccionado es de 5 [kVA].

**Tabla 17. Capacidad de transformadores ABB**

KVA	Descripción del producto BA PG	Código	Precios en COP sin IVA
5	Single phase	UAA 00XX	\$ 3.690.000
10	Single phase	UAB 00XX	\$ 3.767.000
15	Single phase	UAC 00XX	\$ 4.351.000
25	Single phase	UAD 00XX	\$ 5.526.000
37.5	Single phase	UAE 00XX	\$ 7.135.000
50	Single phase	UAF 00XX	\$ 8.581.000
75	Single phase	UAG 00XX	\$ 11.252.000
100	Single phase	UAG 00XX	\$ 16.635.000

Fuente: ABB. Catálogo Transformadores de distribución monofásicos y trifásicos tipo poste o estructura similar serie 15 kV.

**6.2.2 Selección del nivel de tensión.** En las Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA, en la Sección 2.1.1 se define la demanda máxima de acuerdo al nivel de tensión como se muestra en la **Tabla 18**. De esta manera, para el caso de estudio se tendría una demanda máxima inferior a 500 [KVA] y una tensión de 13,2 [kV] para el lado de AT del transformador y para el lado de BT, se determinaría de acuerdo a los requerimientos de las estaciones de recarga, por lo tanto, según la **Tabla 12**, la alimentación debe ser de 400 [V] fase-fase y 230 [V] fase-neutro.

**Tabla 18. Demandas máximas por niveles de tensión**

Tensión (kV)	Demanda máxima (kVA)
Baja	Hasta.....30
Media (13,2)	Hasta.....500
Media (34,5)	Hasta.....5000

Fuente: ESSA. Normas para cálculo y diseño de sistemas de distribución.

En el catálogo de *Transformadores de distribución monofásicos y trifásicos tipo poste o estructura similar serie 15 kV* de ABB, se presentan los valores de tensión de transformadores comerciales en Colombia. En la **Tabla 19** se puede confirmar que el valor de 400 [V], para el lado de BT del transformador, no se encuentra

disponible, por lo que se requiere de un transformador no estandarizado de 13,2 [kV]/400 [V].

**Tabla 19. Transformadores de distribución trifásicos serie 15 kV**

Voltaje en el lado de AT. Voltios	Voltaje en el lado de BT. Voltios		KVA	Descripción del producto BA PG	Código	Precios en COP sin IVA
	Plena carga	En Vacío				
13.800 – 13.200  11.400 – 7.620	208-120 220-127 440-254 ✗ 460-266	214-124 228-132 460-266 480-277	300	MDT	UBH 00XX	\$ 31.960.000
			400	MDT	UBI 00XX	\$ 42.030.000
			500	MDT	UBJ 00XX	\$ 50.108.000
			630	MDT	UCA 00XX	\$ 58.192.000
			800	MDT	UCC 00XX	\$ 71.999.000
			1.000	MDT	UCD 00XX	\$ 82.215.000
			1.250	MDT	UCE 00XX	\$ 95.892.000
			1.500	MDT	UCE 00XX	\$ 104.387.000
			1.600	MDT	UCE 00XX	\$ 129.121.000
			2.000	MDT	UCJ 00XX	\$ 152.121.000
			2.500	MDT	UCJ 00XX	\$ 183.670.000
			3.000	MDT	UCJ 00XX	\$ 222.286.000

Fuente: ABB. Catálogo Transformadores de distribución monofásicos y trifásicos tipo poste o estructura similar serie 15 kV.

De igual manera, para el transformador de 5 [kVA] se requiere un equipo de valores no estandarizados, pues se va a conectar al tablero general a una tensión de 400 [V] y en el secundario se necesitan 220 [V] entre fases.

**6.2.3 Cálculo de conductores.** El calibre de los conductores se determina a partir de la corriente nominal que circulará por los conductores. A continuación, se seleccionarán los conductores para cada parte de la instalación

### 6.2.3.1 Acometida en MT.

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_{MT}} = \frac{500 [kVA]}{\sqrt{3} \cdot 13,2 [kV]} = 21,87 [A]$$

Los conductores se seleccionarán de la Tabla 310-16 *Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o*

tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C de la norma NTC 2050. Para la acometida en MT se tendría que un conductor de calibre 14 AWG cumpliría con la demanda\*, pero al comparar con las prescripciones de la Tabla 3.13 *Utilización de los conductores* de la ESSA en donde se definen los calibres mínimos de los conductores de acuerdo al tipo de red, se selecciona un conductor de calibre 2/0 ACSR.

### 6.2.3.2 Acometida en BT.

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_{BT}} = \frac{500 [kVA]}{\sqrt{3} \cdot 400 [V]} = 721,69 [A]$$

Como el valor de corriente obtenido es considerablemente grande y requeriría un conductor superior al calibre 500 AWG, se decidió utilizar tres conductores por los que circularía una corriente de 240,56 [A], por cada uno de ellos. El conductor seleccionado es de calibre 250 AWG THWN. En este caso, sí se cumple con las exigencias de la Tabla 3.13 de la ESSA.

El neutro debe tener por lo menos el 173 % de área respecto a las fases, según la Sección 4.2.2 de la ESSA, por lo tanto, se necesita un conductor de calibre 900 AWG, pero siguiendo la recomendación de no utilizar calibres superiores a 500 AWG, se reemplazará por tres conductores calibre 300 AWG.

**6.2.3.3 Circuitos ramales.** La especificación de los circuitos se hizo de acuerdo a los aspectos propuestos en la Sección 210 – *Circuitos ramales* de la NTC 2050. Como se muestra en la **Tabla 20**, se han identificado 13 circuitos ramales, de los cuales, nueve corresponden a las estaciones de carga que son trifásicas. El conductor seleccionado para los circuitos de las estaciones es de tipo Cu XHHW,

---

\* Se asume que la temperatura ambiente es de 30 °C, por esta razón, no se aplican factores de corrección como lo sugiere la NTC 2050 en la Tabla 310-16.

que es empleado principalmente en instalaciones de tipo industrial por su resistencia a la humedad. Para las luminarias de la estación se seleccionaron dos circuitos para brindar un poco de flexibilidad al momento de accionarlas. En cuanto a las luminarias del aviso, se tomó en consideración las recomendaciones de la Sección 600-5 de la norma, en donde se señala que las salidas para alimentar estas cargas deben estar alimentadas desde un circuito exclusivo de 20 [A].

La elección del conductor para cada circuito se realizó a partir de la corriente nominal que se calcula con las cargas conectadas a cada circuito, para los circuitos monofásicos se utilizó la **Ecuación 18**. Los resultados se muestran en la **Tabla 20**.

$$I = \frac{S}{V_L} \quad (18)$$

Según el Artículo 3.1.3 de las Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA, “el conductor del neutro tendrá el mismo calibre del conductor de fase”.

**6.2.4 Protecciones.** A continuación, se describen las protecciones necesarias para la instalación del caso de estudio.

**6.2.4.1 Protecciones de los transformadores.** En la sección 450-3 de la norma NTC 2050 establece los valores para la protección contra sobrecorriente: para el lado primario sugiere un ajuste del 300 % y para el secundario de 125 % de la corriente nominal, así que para el caso de -estudio se tiene:

$$I_{NP} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_N} = \frac{500 [kVA]}{\sqrt{3} \cdot 13,2 [kV]} = 21,87 [A]$$

La corriente de protección para el lado primario es:

$$I_p = 3 \cdot I_{NP} = 65,61 \text{ [A]}$$

El fusible que se requiere es de 70 [A], según la Sección 240-6 de la NTC 2050.

Ahora, para el lado secundario:

$$I_{NS} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_N} = \frac{500 \text{ [kVA]}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ [V]}} = 721,69 \text{ [A]}$$

$$I_s = 1,25 \cdot I_{NS} = 902,11 \text{ [A]}$$

El fusible que se requiere es de 1000 [A].

Para el transformador de 5 [kVA], se tiene:

$$I_{NP} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_N} = \frac{5 \text{ [kVA]}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ [V]}} = 7,22 \text{ [A]}$$

$$I_p = 3 \cdot I_{NP} = 21,65 \text{ [A]}$$

El fusible que se requiere es de 25 [A].

$$I_{NS} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_N} = \frac{5 \text{ [kVA]}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ [V]}} = 13,12 \text{ [A]}$$

$$I_s = 1,25 \cdot I_{NS} = 16,4 \text{ [A]}$$

El fusible que se requiere es de 20 [A].

**6.2.4.2 Protecciones de circuitos ramales.** En la sección 5.1 del presente informe se expusieron los requerimientos de protecciones para las instalaciones de VE, explicados en la Sección 625 de la NTC 2050. Dentro de los aspectos mencionados, cabe resaltar el explicado en el apartado 625-21 de Control y Protección, pues se propone que el dispositivo de protección contra sobrecorriente tenga “una capacidad nominal no menor al 125 % de la carga máxima del equipo de suministro”. De acuerdo a esta recomendación, se seleccionaron las protecciones como se detalla en la **Tabla 21**.

**6.2.5 Medición.** Teniendo en cuenta la Resolución CREG 131 de 1998, el punto de recarga se considera como un usuario no regulado por sobrepasar los 100 [kW] de demanda máxima. El sistema de medición de energía para este tipo de usuarios, debe cumplir con lo establecido en el Código de Medida, Anexo CM-1 de la Resolución CREG 024 de 1995, el cual exige instalar un contador de energía de tipo electrónico de clase 0.5, con medición de potencia activa y reactiva. Teniendo en cuenta la capacidad instalada (mayor a 225 [kVA]), se debe realizar una medición indirecta en el lado de media tensión, en la cual el medidor no está conectado directamente a los conductores de la acometida sino a bornes de dos transformadores de corriente (TC) y dos de potencial (TP) por ser la red trifásica trifilar. Las características de los transformadores de tensión y corriente se muestran en la **Tabla 20**.

**Tabla 20. Características del transformador de tensión y transformador de corriente**

Transformador de tensión		Transformador de corriente	
Tensión primaria nominal	13,2 [kV]	Tensión del servicio	13,2 [kV]
Tensión secundaria nominal	120 [V]	Relación de transformación	100/5
Relación de transformación	120	Frecuencia nominal	60 [Hz]
Frecuencia nominal	60 [Hz]	Potencia nominal de exactitud	5 [VA]

<b>Transformador de tensión</b>		<b>Transformador de corriente</b>	
Potencia nominal de exactitud	15 [VA]	Factor de potencia	0,8 Ind.
Factor de potencia	0,8 Ind.	Nivel nominal de aislamiento (Clase)	15
Factor de tensión nominal	1.2	Clase de exactitud	0,5(S)
Clase de aislamiento	15 [kV]	Factor nominal de seguridad	≤5
Clase de exactitud	0,5	Límite de error al 20, 100 y 120 % de corriente nominal	0,5 % (20 al 120 %)
Límite de error entre el 80 y 120 % de la tensión nominal entre el 25 y 100 % de la potencia. a) Error de tensión b) Desplaz. de fase	0,5 % 20 min.	a) Error de corriente b) Desplaz. de fase	45-30-30 min.

Fuente: ELECTRICARIBE. Transformadores de medida. Especificaciones técnicas.

**Tabla 21. Caracterización de los circuitos de la instalación**

Ident.	Descripción	Long [m]	D. Max [kVA]	F.P.	Fases	I <sup>Máx.</sup> [A]	Protecciones	Momento [kVA*m]	Conductor			R [Ω/km]	X [Ω/km]	Regulación				
									Material	Calibre [AWG]	Cantidad			KG	FC	K	Parcial	Acumulada
TRF1-TGBT	TRAFO -TGBT	1,7	500,00	0,90	3	721,7	3 X 1000	850,0	CU-THWN	500	2	0,087	0,128	11,139	1	0,0004	0,12	0,12
TGBT-EC1	TGBT-ESTACIÓN CARGA 1	32,45	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	1707,8	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	46,9888	2,25	0,0003	1,13	1,24
TGBT-EC2	TGBT-ESTACIÓN CARGA 2	29,75	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	1565,7	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	46,99	2,25	0,0003	1,03	1,14
TGBT-EC3	TGBT-ESTACIÓN CARGA 3	27,05	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	1423,6	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	46,99	2,25	0,0003	0,94	1,05
TGBT-EC4	TGBT-ESTACIÓN CARGA 4	24,35	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	1281,5	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	46,99	2,25	0,0003	0,85	0,96
TGBT-EC5	TGBT-ESTACIÓN CARGA 5	21,65	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	1139,4	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	46,99	2,25	0,0003	0,75	0,86
TGBT-EC6	TGBT-ESTACIÓN CARGA 6	18,95	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	997,3	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	46,99	2,25	0,0003	0,66	0,77
TGBT-EC7	TGBT-ESTACIÓN CARGA 7	16,25	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	855,2	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	44,2823	2,25	0,0003	0,53	0,64
TGBT-EC8	TGBT-ESTACIÓN CARGA 8	13,55	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	713,1	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	44,2823	2,25	0,0003	0,44	0,55
TGBT-EC9	TGBT-ESTACIÓN CARGA 9	10,85	52,63	0,95	3	76,0	3 X 100	571,0	CU-XHHW	1	1	0,525	0,151	44,2823	2,25	0,0003	0,36	0,47
TGBT-TRF2	TGBT-TRAFO2	2,32	5,00	0,90	3	7,2	1 X 20	11,6	CU-THWN	12	1	6,73	0,177	476,467	2,25	0,0030	0,08	0,19
TRF2-TA	TRAFO2-TAUXILIAR	1,3	5,00	0,90	3	13,1	2 X 20	6,5	CU-THWN	12	1	6,73	0,177	476,467	1	0,0030	0,02	0,13
TA-L1	TAUXILIAR-CTO. LUMINARIAS 1	45,05	0,48	0,90	2	1,3	2 X 15	21,6	CU-TW	14	1	6,59	0,19	752,235	2	0,0047	0,20	0,33
TA-L2	TAUXILIAR-CTO. LUMINARIAS 2	40,75	0,48	0,90	2	1,3	2 X 15	19,6	CU-TW	14	1	6,59	0,19	752,235	2	0,0047	0,18	0,31
TA-BI	TAUXILIAR-CTO. BOMB. INCANDESCENTES	3,5	0,20	1,00	1	0,9	1 X 15	0,7	CU-TW	14	1	6,59	0,19	752,235	6	0,0047	0,02	0,15
TA-TOMA	TAUXILIAR-TOMA CASETA	2,2	0,18	0,90	1	0,8	1 X 15	0,4	CU-TW	14	1	6,59	0,19	752,235	6	0,0047	0,01	0,14
TA-AVISO	TAUXILIAR-AVISO LUMINOSO	46,39	1,20	0,60	2	3,1	2 X 20	55,7	CU-TW	14	1	6,59	0,19	752,235	2	0,0047	0,52	0,65

En la tabla anterior, se presenta la definición de los circuitos, selección de los conductores y protecciones y los cálculos de la regulación. En la Sección 6.2.8 se amplía la información sobre el método seleccionado para calcular la regulación y los valores exigidos por la ESSA.

**6.2.6 Puesta a tierra.** El diseño de la puesta a tierra incluye la selección de los conductores de puesta a tierra y el cálculo de la malla de tierra. A continuación, se presentan los resultados de estos parámetros.

**6.2.6.1 Selección de conductores de puesta a tierra.** Los conductores de puesta a tierra se seleccionan de acuerdo a las disposiciones de la NTC 2050 en la Tabla 250-95 (ver **Tabla 22**).

**Tabla 22. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. A	Sección transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre	
	mm <sup>2</sup>	AWG	mm <sup>2</sup>	AWG
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1000	67,44	2/0	107,21	4/0

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. A	Sección transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre	
	mm <sup>2</sup>	AWG	mm <sup>2</sup>	AWG
1200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3000	202,68	400 kcmil	304,03	600 kcmil

Fuente: NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano. Modificada por los autores.

Según lo establecido las normas de la ESSA, en la Sección 3.1.12.8 *Conductores de puesta a tierra*, se deben instalar conductores de puesta a tierra para las acometidas en baja tensión y para los circuitos ramales instalados en ductería no metálica. En la **Tabla 23** se definen los conductores de puesta a tierra.

**Tabla 23. Selección del conductor de puesta a tierra**

Circuito o elemento	Protección	Calibre del conductor de puesta a tierra
Transformador Ppal.	-	2/0 Cu THWN*
Tablero general	1000 A	1/0 Cu THWN
Estación de carga 1	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 2	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 3	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 4	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 5	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 6	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 7	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 8	100 A	8 Cu XHHW
Estación de carga 9	100 A	8 Cu XHHW
Trafo. 2 – TablAux.	20 A	12 Cu THWN

\* Según Tabla 250-94. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de A.C. de la NTC 2050.

Circuito o elemento	Protección	Calibre del conductor de puesta a tierra
Luminarias 1	15 A	14 Cu THWN
Luminarias 2	15 A	14 Cu THWN
Aviso luminoso	20 A	12 Cu THWN
Caseta	15 A	14 Cu THWN

**6.2.6.2 Malla de puesta a tierra.** El RETIE establece que toda instalación eléctrica definida en el Artículo 15, debe tener un sistema de puesta a tierra. Para el diseño de este elemento se ha tomado como referencia la norma IEEE 80-2000 *Guide for safety in AC substation grounding*.

**6.2.6.2.1 Cálculo de la malla.** Una de las variables de mayor importancia en el cálculo de la malla es la resistividad, por esta razón, en la norma se ha especificado el método para realizar una medida que sea representativa. Debido a las características generales del caso de estudio planteado, no se conoce este valor, así que para el diseño se tomarán en cuenta los valores orientativos presentados en la **Tabla 24**.

**Tabla 24. Valores orientativos de resistividad del suelo**

Tipo de suelo	Resistividad, $\rho$ [ $\Omega \cdot m$ ]
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 – 100
Humus	10 – 150
Turba húmeda	5 – 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 – 200
Margas del jurásico	30 – 40
Arena arcillosa	50 – 500
Arena silíceas	200 – 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 – 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 – 3000
Calizas blandas	100 – 300
Calizas compactas	1000 – 5000

Tipo de suelo	Resistividad, $\rho$ [ $\Omega \cdot m$ ]
Calizas agrietadas	500 – 1000
Pizarras	50 – 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 – 10000
Granitos y gres muy alterados	100 – 600
Hormigón	2000 – 3000
Balasto o grava	3000 – 5000

Fuente: GARCÍA MÁRQUEZ, Rogelio. La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T.

En el año 2000 se realizó un estudio del suelo de Bucaramanga en el que se analizaron 119 muestras de suelo provenientes de diferentes partes de la ciudad [24]. En la **Tabla 25** se muestran los resultados del estudio.

**Tabla 25. Propiedades químicas del municipio de Bucaramanga**

Rango	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	Textura
	Unid. pH	%	ppm	$m_{eq}/100\text{ g}$				
Mínimo	4,0	1,4	2	0,00	0,0	0,0	0,0	<b>Franco Arcilloso Arenoso</b>
Máximo	6,5	14,0	91	0,83	8,2	6,9	6,1	
Promedio	5,3	4,5	22	0,17	3,4	1,5	0,8	

Fuente: Tomada de [24].

A partir de esta información, se tomará el valor de resistividad de la **Tabla 24** para el tipo de suelo “Arena arcillosa” y se asumirá una resistividad de 50 [ $\Omega \cdot m$ ].

En la **Tabla 26** se presentan las variables de entrada, las ecuaciones y los resultados correspondientes al cálculo de la malla de puesta a tierra.

**Tabla 26. Variables y ecuaciones para el cálculo de la malla de tierra**

Variables de entrada	Ecuaciones	Resultados
$I = 12028 [A]$	$A_C = I \left[ \frac{T_C \cdot \alpha_r \cdot R_r \cdot 10000}{T_{cap} \cdot \ln \left( 1 + \frac{T_m - T_a}{K_0 - T_a} \right)} \right]^{1/2}$	
$\alpha_r = 0,00381$		
$R_r = 1,78$	$E_{PASO (70 kg)} = 1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s \cdot \left( \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \right)$	
$T_{cap} = 3,42$		
$T_m = 450 \text{ }^\circ\text{C}$	$E_{TOQUE (70 kg)} = 1000 + 5 \cdot C_s \cdot \rho_s \cdot \left( \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \right)$	
$T_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$	
$t_s = 0,5 [s]$	$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2 \cdot h_s + 0,09}$	
$K_0 = 242$	$L_C = a \cdot N_a \cdot l \cdot N_l + l_c$	$A_C = 39,19 [mm^2]$
$C_s = 0,69$		
$\rho = 50 [\Omega \cdot m]$	$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$	$E_{PASO (70 kg)} = 4836,46 [V]$
$\rho_s = 5000 [\Omega \cdot m]$		
$h = 0,8 [m]$	$I_g = S_f \cdot I$	$E_{PASO (70 kg)} = 1375,64 [V]$
$D = 5 [m]$	$I_G = C_p \cdot D_f \cdot I_g$	$L_C = 120 [m]$
$l = 15 [m]$	$L_R = N_v \cdot L_r$	$R_g = 1,56 [\Omega]$
$N_v = 12$	$GPR = I_G \cdot RG$	$I_g = 4811,2 [A]$
$l_c = 120 [m]$	$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_M}$	$I_G = 4811,2 [A]$
$l_v = 2,44 [m]$	$L_M = L_C + \left[ 1,55 + 1,22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_r$	$L_R = 1581,12 [m]$
$S_f = 40 \%$	$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D + 2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left( \frac{8}{\pi(2n - 1)} \right)$	$GPR = 7491,28$
$C_p = 1$		$K_m = 0,77$
$D_f = 1$	$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$	$n = 4$
$K_{ii} = 1$	$K_i = 0,656 + 0,172 \cdot n$	$K_i = 1,236$
$h_0 = 1 [m]$		$E_m = 1353,33 [V]$

Variables de entrada	Ecuaciones	Resultados
$d = 0,0105 [m]$ $L_P = 60 [m]$ $A = 225 [m^2]$ $K_h = 1,342$	$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$ $n_a = \frac{2L_C}{L_P}; n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}}; n_c = \left[ \frac{L_X \cdot L_Y}{A} \right]^{\frac{0,7A}{L_X \cdot L_Y}}; n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_X^2 \cdot L_Y^2}}$ $E_S = \frac{\rho \cdot K_S \cdot K_i \cdot I_G}{L_S}$ $L_S = 0,75 \cdot L_C + 0,85 \cdot L_R$ $K_S = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$	$L_S = 388,66 [m]$ $K_S = 0,30$ $E_S = 780,47 [V]$

Donde:

$A_C$  Área de la sección transversal del conductor [ $mm^2$ ]

$I$  Corriente del conductor [ $kA_{RMS}$ ]

$T_m$  Máxima temperatura permisible [ $^{\circ}C$ ]

$T_a$  Temperatura ambiente [ $^{\circ}C$ ]

$\alpha_r$  Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura

$K_0$  Coeficiente térmico de resistividad a 0 [ $^{\circ}C$ ]

$R_r$  Resistividad del conductor a la temperatura  $T_r$  [ $\mu\Omega/cm^3$ ]

$t_s$  Tiempo que fluye la corriente de falla [s]

$T_{cap}$  Factor de capacidad térmica dado en la Tabla 1, página 42 del estándar 80 de IEEE 2000

$\rho_s$  Resistividad para roca y cemento [ $\Omega \cdot m$ ]

$h_s$  Espesor del piso [m]

$\rho$  Resistividad del terreno [ $\Omega \cdot m$ ]

$C_s$  Factor de reducción

$N_a$  Número de cables paralelos a lo ancho

$a$  Ancho de la malla [m]

$N_l$  Número de cables paralelos a lo largo

$L$  Largo de la malla [m]

$l_c$  Largo del conductor de conexión a equipo

$L_C$  Longitud total de los conductores de la malla

$L_T$	Longitud total de los conductores enterrados, incluyendo las varillas de cobre
$R_g$	Resistencia de puesta a tierra [ $\Omega$ ]
$A$	Área de la malla
$h$	Profundidad de conductores de la malla
$N_v$	Número de varillas a enterrar
$l_v$	Longitud de la varilla
$D$	Espaciamiento entre conductores
$I_G$	Corriente de la malla
$C_p$	Factor de proyección para el relativo incremento de la corriente de falla
$D_f$	Factor de decremento
$I_g$	Corriente simétrica RMS de falla a tierra [A]
$L_R$	Longitud equivalente de las varillas
$GPR$	Potencial de resistencia de tierra
$L_X$	Longitud de la malla en X (valor máximo)
$L_Y$	Longitud de la malla en Y (valor máximo)
$d$	Diámetro del conductor de la malla [m]
$K_m$	Factor de geometría de malla de tierra
$K_{ij}$	Factor proporcional de varillas, como las varillas se distribuirán primero en los vértices y luego en el perímetro de la malla, $K_{ij}=1$
$K_h$	Factor de enterramiento de la malla
$h_o$	Referencia de enterramiento de la malla, $h_o=1$
$h$	Profundidad de los conductores en la malla
$K_i$	Factor correctivo de incremento de densidad de corriente en los extremos
$L_p$	Longitud del perímetro de la malla
$D_m$	Distancia máxima entre dos puntos de la malla
$E_s$	Tensión de paso [V]
$E_m$	Tensión de malla [V]

**6.2.6.2.2 Características de la malla y verificación de los resultados.** Para el diseño de la malla se consideró que el peso de un trabajador es de 70 [kg]. Se tiene un lote de 15 x 15 [m], ubicado debajo de la caseta del transformador. La malla será construida con conductor de cobre semiduro, desnudo de conductividad del 100 %, 2/0 AWG con un área de 67,43 [mm<sup>2</sup>]. Se usarán varillas de puesta a tierra de cobre de 2,44 [m] de longitud y 5/8” de diámetro. Las uniones entre los elementos de la malla serán en su totalidad termosoldadas. En el artículo 7.3 del estándar 80, se mencionan valores típicos para enterrado de la malla de puesta a tierra entre 50 y 250 [cm], para el caso de estudio se ha tomado h=0,8 [m]. La asignación de número de varillas de puesta a tierra se hizo mediante iteraciones, colocando de una en una hasta llegar a cumplir los requisitos de paso y de toque. A partir de la ecuación 71 de la página 114 del estándar 80 de IEEE, y usando 12 varillas de puesta a tierra, se tiene:

$$Y = E_m - E_{TOQUE} = -22,31 [V]$$

(70 kg)

Como el valor es menor que cero, el cálculo es correcto. Adicionalmente, se requiere que el E<sub>s</sub> sea menor que el E<sub>PASO</sub>, por lo tanto, se tiene:

$$Z = E_s - E_{PASO} = -4055,99 [V]$$

(70 kg)

Por último, se verificó que la tensión de toque y paso cumplieran con las condiciones tolerables por el ser humano como se muestra en la **Tabla 27**.

**Tabla 27. Verificación por condiciones tolerables por el ser humano**

	Valor tolerable [V]	Valor calculado [V]	Relación
Tensión de toque	1375,64	1353,33	0,9838
Tensión de paso	4836,46	780,47	0,1614

Otro indicador para verificar el correcto diseño de la puesta a tierra es la resistencia de la misma. El valor de referencia se tomará de la Tabla 15.4 *Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra* del RETIE, para el caso de estudio correspondería una resistencia igual o inferior a 10 [ $\Omega$ ]. El valor obtenido fue de 1,56 [ $\Omega$ ], por lo tanto, el diseño cumple con el requisito de resistencia.

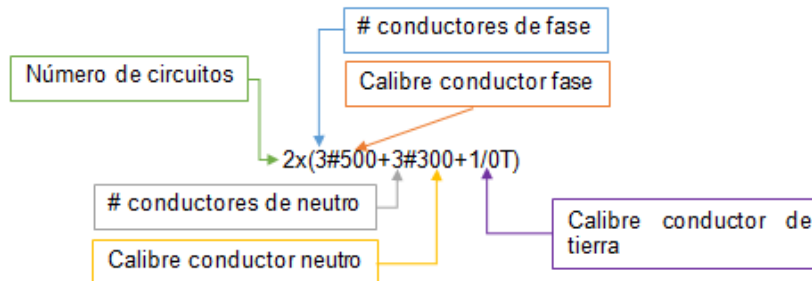
**6.2.7 Ductería.** El número máximo de conductores en una sola tubería está definido en la Tabla 1 del Capítulo 9 de la NTC 2050. Para calcular el “porcentaje de ocupación de la tubería se tienen en cuenta los conectores de puesta a tierra o de conexión equipotencial de los equipos”, como menciona la norma. Se considera que el ducto es apropiado si cumple con que el criterio de ocupación sea inferior al 30 %. En la **Tabla 28** se especifica la ductería requerida para cada circuito del proyecto.

**Tabla 28. Especificación de ductos seleccionados**

Descripción		Conductor		Ducto		Sección	Área Interna del Ducto	Ocupación %
		Material	Calibre	Calibre (Pulg)	N° Ductos			
TRF1-TGBT	TRAFO1-TGBT	Cu THWN	2x(3#250+3#300+1/0T)	4	2	1735,54	10260,83	16,91
TGBT-EC1	TGBT-Estación Carga 1	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC2	TGBT-Estación Carga 2	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC3	TGBT-Estación Carga 3	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC4	TGBT-Estación Carga 4	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC5	TGBT-Estación Carga 5	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC6	TGBT-Estación Carga 6	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC7	TGBT-Estación Carga 7	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC8	TGBT-Estación Carga 8	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-EC9	TGBT-Estación Carga 9	Cu XHHW	3#1+1#3/0+8T	2	1	246,08	2396,61	10,27
TGBT-	TGBT-	Cu THWN	3#10	3/4	1	40,38	418,35	9,65

Descripción		Conductor		Ducto		Sección	Área Interna del Ducto	Ocupación %
		Material	Calibre	Calibre (Pulg)	N° Ductos			
TRF2	TRAFO2							
TRF2-TA	TRAFO2-TAUXILIAR	Cu THWN	3#12+1#14+12T	3/4	1	40,80	419,35	9,73
TA-L1	TAuxiliar-Cto. Luminarias 1	Cu THWN	2#14+14T	3/4	1	19,14	419,35	4,56
TA-L2	TAuxiliar-Cto. Luminarias 2	Cu THWN	2#14+14T	3/4	1	19,14	419,35	4,56
TA-BI	TAuxiliar-Cto. Bombillos Incandescentes	Cu THWN	1#14+1#14+14T	3/4	1	19,14	419,35	4,56
TA-Toma	TAuxiliar-Toma Caseta	Cu THWN	1#14+1#14+14T	3/4	1	19,14	419,35	4,56
TA-Aviso	TAuxiliar-Aviso Luminoso	Cu THWN	2#14+12T	3/4	1	21,36	419,35	5,09

La notación utilizada para describir el calibre se explica a continuación:



Para los tramos Transformador Principal – Tablero General de Baja Tensión, Tablero General de Baja Tensión – Transformador Auxiliar y Transformador Auxiliar – Tablero Auxiliar se utilizarán cárcamos de 1 a 8 circuitos como lo indican las Normas Redes Subterráneas – RS2-012 de EPM.

**6.2.8 Regulación y pérdidas de potencia.** La regulación de tensión permite validar la selección del conductor, para esto, es necesario definir las caídas de tensión admisibles. Se tomarán como referencia los porcentajes de regulación definidos por el operador de red (ver **Tabla 29**).

**Tabla 29. Porcentajes de regulación de tensión**

Descripción	%
Redes de distribución B.T., zona urbana	3
Redes de distribución B.T., zona rural	3
Acometida desde bornes del transformador (o desde la red de distribución) hasta el tablero de medida	3
Alimentador desde el tablero de medida hasta el tablero de distribución	2
Circuito ramal	2
Alumbrado público (ver RETILAP)	

Fuente: ESSA. Actualización de la adenda modificatoria a la norma para cálculo y diseño de sistemas de distribución de la Electrificadora de Santander S.A. ESP – 2014.

El método empleado para el cálculo de la regulación de tensión es el del momento eléctrico calculado tramo a tramo sugerido por la ESSA. Las constantes de regulación se tomaron de la Tabla 3.25, pero se modifican por los factores de

corrección de la Tabla 3.26 cuando no corresponden a sistemas tetrafilares balanceados. Se puede verificar en la **Tabla 20**, que el máximo valor de regulación acumulada se presenta para el circuito ramal que va desde el TGBT (tablero general de baja tensión) hasta la electrolinera 1. Dicho valor corresponde al 1, 24%, el cual se considera aceptable por ser menor al máximo establecido por la ESSA que es del 2%.

Una parte de la energía producida, se pierde en los conductores de los circuitos ramales. El cálculo del valor de las pérdidas de potencia debe realizarse incluyendo la red principal y los ramales secundarios teniendo en cuenta las curvas de demanda diaria. En la **Tabla 30** se muestran los valores máximos establecidos por la ESSA que, para este caso de estudio, no debe superar el 4,65%.

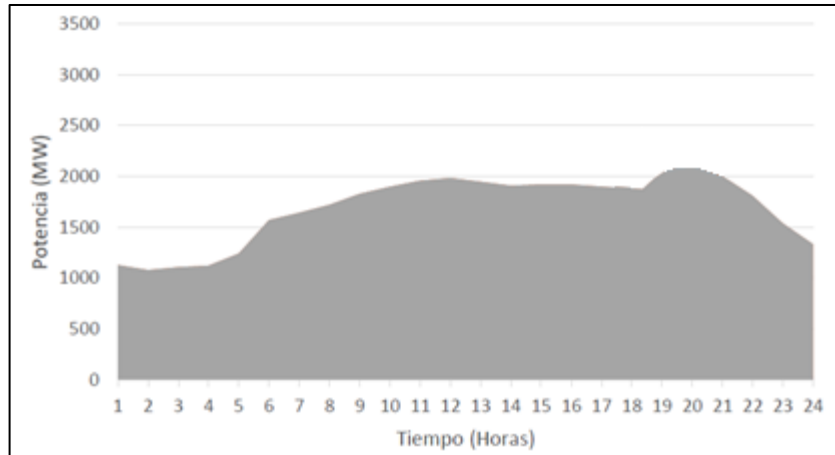
**Tabla 30. Porcentajes de pérdidas de energía**

Componente	Energía (%)
Línea de distribución (34,5 kV)	3,42
Alimentadores primarios (Hasta 13,2 kV)	1,36
Redes de baja tensión	4,65

Fuente: ESSA. Actualización de la adenda modificatoria a la norma para cálculo y diseño de sistemas de distribución de la Electrificadora de Santander S.A. ESP – 2014

Para estimar la demanda diaria, se recurrió a un proyecto de maestría realizado en la Universidad Nacional, en el que se presenta un modelo de masificación de los VE en la ciudad de Bogotá (ver **Figura 19**) [19]. De ahí se obtuvo una gráfica de carga con recarga rápida por hora.

**Figura 19. Curva de carga por hora para recarga rápida de VE**



**Fuente:** Tomada de [19]. Editada por los autores.

Ya con el valor de demanda por cada hora, se normalizó la curva tomando como base el máximo valor de potencia, que son 2070 [MW], los cuales serían demandados a las 8 p.m. Seguidamente, se calculan las pérdidas de potencia para cada acometida por hora y se suman para hallar las pérdidas totales, también, se calcula el consumo nominal por hora, considerando la tensión, corriente y factor de potencia aguas abajo del transformador de máxima potencia y se suman. Luego se calculó la relación entre las pérdidas totales y el consumo, por cada hora, lo que arroja el valor de la participación, el cual, al sumarlo, arroja el valor de las pérdidas totales de energía, que alcanzan el 0,32 %, valor que cumple con la reglamentación ya mencionada. En la **Tabla 31** se evidencian los resultados.

**6.2.9 DPS.** El DPS se seleccionará de acuerdo a la metodología presentada en la NTC 2878 *Guía para la selección de pararrayos en transformadores de distribución*. La tensión del DPS se puede determinar a partir de la **Ecuación 19**.

$$V_{DPS} = F_{PT} * V_{L_{MÁX}} \quad (19)$$

Donde:

$F_{PT}$  Factor de puesta a tierra

$V_{LMAX}$  Tensión máxima de línea

Para sistemas sólidamente puestos a tierra se tiene que  $F_{PT} \leq 0,8$ . Según la Sección 4.1.3.1, “la tensión máxima del sistema está aproximadamente entre 1,05 y 1,1 la tensión nominal del sistema”. A partir de la Tabla 1 *Tensiones del sistema (kV)* de la NTC 2878, para una línea de 13,2 [kV] se tiene una tensión máxima de 14,5 [kV].

$$V_{DPS} = 0,8 * 14,5 [kV] = 11,6 [kV]$$

El valor normalizado de tensión más cercano al calculado es 12 [kV]. Al verificar en la Tabla 4.1 *Equipo de maniobra y protección en media tensión*, se tiene que para una tensión de servicio de 13,2 [kV] el dispositivo de protección contra sobretensión debe tener una tensión nominal de 12 [kV].

**Tabla 31. Pérdidas de potencia y energía para circuitos ramales**

Hora	Demanda	PÉRDIDAS DE POTENCIA HORARIAS POR TRAMO																TOTALES	Consumo (W.h)	Participación %	
		TRF-TGBT	TGBT-EC1	TGBT-EC2	TGBT-EC3	TGBT-EC4	TGBT-EC5	TGBT-EC6	TGBT-EC7	TGBT-EC8	TGBT-EC9	TGBT-TRF2	TRF 2-TA	TA-L1	TA-L2	TA-BI	TA-TOMA				TA-AVISO
1	0,53	32,62	81,40	18,66	67,86	61,08	54,31	47,54	40,76	33,99	27,22	0,66	1,22	0,60	0,54	0,02	0,01	3,87	472,37	236413	0,20
2	0,51	30,41	75,89	17,39	63,26	56,94	50,63	44,32	38,00	31,69	25,37	0,61	1,13	0,56	0,51	0,02	0,01	3,61	440,36	228261	0,19
3	0,53	32,62	81,40	18,66	67,86	61,08	54,31	47,54	40,76	33,99	27,22	0,66	1,22	0,60	0,54	0,02	0,01	3,87	472,37	236413	0,20
4	0,54	34,91	87,11	19,97	72,62	65,37	58,12	50,87	43,62	36,38	29,13	0,70	1,30	0,64	0,58	0,03	0,01	4,15	505,51	244565	0,20
5	0,62	44,84	111,89	25,65	93,27	83,96	74,65	65,34	56,03	46,72	37,41	0,90	1,67	0,83	0,75	0,03	0,02	5,33	649,30	277174	0,23
6	0,76	68,43	170,74	39,13	142,33	128,12	113,92	99,71	85,50	71,30	57,09	1,38	2,55	1,26	1,14	0,05	0,03	8,13	990,8	342391	0,28
7	0,80	75,10	187,39	42,95	156,21	140,62	125,02	109,4	93,84	78,25	62,66	1,51	2,80	1,39	1,25	0,06	0,03	8,92	1087,4	358696	0,30
8	0,83	82,09	204,81	46,94	170,73	153,69	136,65	119,6	102,6	85,52	68,48	1,65	3,06	1,51	1,37	0,06	0,03	9,75	1188,5	375000	0,31
9	0,87	89,38	223,01	51,11	185,90	167,34	148,79	130,2	111,9	93,12	74,57	1,80	3,33	1,65	1,49	0,07	0,03	10,6	1294,1	391304	0,33
10	0,91	96,98	241,98	55,46	201,71	181,58	161,45	141,3	121,2	101,0	80,91	1,95	3,61	1,79	1,62	0,07	0,04	11,5	1404,2	407609	0,34
11	0,94	104,9	261,73	59,99	218,17	196,40	174,62	152,8	131,1	109,3	87,51	2,11	3,91	1,94	1,75	0,08	0,04	12,5	1518,8	423913	0,35
12	0,95	107,3	267,80	61,38	223,24	200,95	178,67	156,3	134,1	111,8	89,54	2,16	4,00	1,98	1,79	0,08	0,04	12,8	1554,0	428804	0,36
13	0,92	100,9	251,76	57,70	209,86	188,92	167,97	147,0	126,1	105,1	84,18	2,03	3,76	1,86	1,68	0,08	0,04	11,9	1460,9	415761	0,35
14	0,91	96,98	241,98	55,46	201,71	181,58	161,45	141,3	121,2	101,0	80,91	1,95	3,61	1,79	1,62	0,07	0,04	11,5	1404,2	407609	0,34
15	0,92	100,9	251,76	57,70	209,86	188,92	167,97	147,0	126,1	105,1	84,18	2,03	3,76	1,86	1,68	0,08	0,04	11,9	1460,9	415761	0,35
16	0,91	96,98	241,98	55,46	201,71	181,58	161,45	141,3	121,2	101,0	80,91	1,95	3,61	1,79	1,62	0,07	0,04	11,5	1404,2	407609	0,34
17	0,89	93,14	232,40	53,27	193,73	174,39	155,05	135,7	116,4	97,04	77,71	1,87	3,47	1,72	1,55	0,07	0,04	11,1	1348,6	399457	0,33
18	0,91	96,98	241,98	55,46	201,71	181,58	161,45	141,3	121,2	101,0	80,91	1,95	3,61	1,79	1,62	0,07	0,04	11,5	1404,2	407609	0,34
19	0,98	113,1	282,25	64,69	235,28	211,79	188,31	164,8	141,3	117,9	94,37	2,28	4,22	2,09	1,89	0,08	0,04	13,4	1637,9	440217	0,37
20	1,00	118,2	294,93	67,60	245,85	221,31	196,77	172,2	147,7	123,1	98,61	2,38	4,40	2,18	1,97	0,09	0,04	14,0	1711,5	450000	0,38
21	0,94	104,9	261,73	59,99	218,17	196,40	174,62	152,8	131,1	109,3	87,51	2,11	3,91	1,94	1,75	0,08	0,04	12,5	1519	423913	0,35
22	0,85	85,69	213,82	49,01	178,23	160,44	142,65	124,9	107,1	89,28	71,49	1,72	3,19	1,58	1,43	0,06	0,03	10,2	1240,8	383152	0,32
23	0,71	59,00	147,22	33,74	122,72	110,47	98,22	85,97	73,72	61,47	49,23	1,19	2,20	1,09	0,98	0,04	0,02	7,01	854,32	317935	0,26
24	0,63	47,52	118,57	27,18	98,84	88,97	79,11	69,24	59,38	49,51	39,65	0,96	1,77	0,88	0,79	0,04	0,02	5,64	688,06	285326	0,24
<b>Totales</b>		1914	4776	1094,5	3980,8	3583,5	3186,2	2788,8	2391	1994,1	1596,8	38,50	71,3	35,31	31,9	1,43	0,73	227,28	<b>27712</b>	<b>870489</b>	<b>0,38</b>
<b>Partic. (%)</b>		6,91	17,23	3,95	14,36	12,93	11,50	10,06	8,63	7,20	5,76	0,14	0,26	0,13	0,12	0,01	0,00	0,82	100		

PÉRDIDAS DE POTENCIA (%):	<b>0,38%</b>	<b>&lt; 5,50</b>
PÉRDIDAS DE ENERGÍA (%):	<b>0,32%</b>	<b>&lt; 4,65</b>

**6.2.10 Apantallamiento.** El RETIE establece en el Artículo 16.1 *Evaluación del nivel de riesgo frente a rayos*, que la determinación de ésta “debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2, de reconocimiento internacional o la NTC 4552-2”. Para la evaluación del riesgo del caso de estudio se utilizará un software llamado Cálculo del Índice de Riesgo\* basado en la norma IEC 62305-2. En la **Figura 20** se muestra la interfaz de entrada de las características del proyecto.

Después de ingresar los valores se selecciona la opción ‘Solución’ y el programa arroja los resultados correspondientes. En la **Figura 21** se muestran los resultados obtenidos. Las áreas críticas de riesgo se presentan en color verde cuando la edificación está protegida, en caso contrario, se muestran en color rojo.

**Figura 20. Valores de entrada para determinar el nivel de riesgo frente a rayos**

Fuente: APLICACIONES TECNOLÓGICAS. Cálculo del Índice de Riesgo [Software para determinar el nivel de riesgo].

\* Diseñado por la empresa Aplicaciones Tecnológicas, con sede central en Valencia, España. Disponible en el sitio: <http://at3w.com/descargas/software-de-calculo-de-riesgo/s21>

**Figura 21. Resultados de la evaluación del nivel de riesgo frente a rayos según la IEC 62305-2**

Ed.	Nombre	Superficie de captura	Riesgo de pérdida vidas humanas	Riesgo de pérdida de servicios públicos	Riesgo de pérdida de patrimonio	Riesgo de pérdidas económicas	Necesidad instalación SEPCR*	Nivel de protección	Necesidad instalación SIPCR**	Tipo SIPCR
1	Punto de recarga	1883,36	2,98E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,29E-04	Ya protegido	Nivel IV	Ya protegido	Entrada

Fuente: APLICACIONES TECNOLÓGICAS. Cálculo del Índice de Riesgo [Software para determinar el nivel de riesgo]. Editada por los autores.

Las casillas del nivel de riesgo están en color verde, lo que quiere decir que la edificación está protegida, por lo tanto, no es necesaria la instalación de un Sistema Externo de Protección Contra el Rayo (SEPCR) ni un Sistema Interno de Protección Contra el Rayo (SIPCR).

**6.2.11 Sistema de emergencia.** El objetivo de los sistemas de emergencia es garantizar el suministro de energía cuando se presentan interrupciones en el servicio de la red principal. Para las estaciones de recarga de VE, se han publicado varios artículos en la IEEE donde se proponen modelos para optimizar el diseño del sistema de almacenamiento de energía con los cuales se pretende reservar energía durante las horas valle y suministrarla en las horas pico para no saturar el sistema eléctrico, considerando que la demanda de estos puntos es alta. Uno de estos modelos está basado en la carga incontrolada de VE (uncontrolled

EV charging model) y plantea reducir el costo de carga de los VE implementando un sistema de almacenamiento de energía, para su caracterización emplea el tiempo de utilización (TOU, por sus siglas en inglés), fijando los precios del mercado de energía al por mayor [25]. Otro autor propone un algoritmo que permite determinar el tamaño óptimo del sistema de almacenamiento para una estación de carga rápida basado en los patrones de conducción y las características de los vehículos. El enfoque propuesto tiene en cuenta aspectos técnicos y económicos como las pérdidas de energía y el costo del ciclo de vida del sistema de almacenamiento [26]. Existe otra metodología que propone utilizar el sistema de almacenamiento para proveer toda la energía requerida para la carga de los VE con el fin de no sobrecargar la red [27].

La presencia de un dispositivo de almacenamiento adicional conectado a la estación de carga aún se encuentra en una etapa de investigación [28], por esta razón no será abordada esta opción como sistema de emergencia del punto de recarga. Implementar un sistema de respaldo convencional no proporcionaría las mismas prestaciones que un sistema de almacenamiento diseñado exclusivamente para estas instalaciones y debido a la gran capacidad de estos puntos implicaría una gran inversión adaptar un sistema convencional. También surge un “dilema ambiental”, pues una de las razones que ha impulsado la instalación de estos puntos es el fomento de las energías amigables con el medio ambiente, por esta razón, considerar una planta eléctrica con motor Diésel entraría en conflicto con la filosofía del punto de recarga.

Como alternativa, se sugiere la instalación de una acometida independiente como se define en la Sección 700-12 (d) de la NTC 2050. Así, cuando ocurran interrupciones del servicio eléctrico, el punto contará con el respaldo de otra línea, similar al sistema utilizado en instalaciones hospitalarias.

**6.2.12 Diagramas y planos.** El diseño de una instalación eléctrica exige la representación gráfica mediante planos y esquemas. Para el caso de estudio se han elaborado cuatro planos que muestran las principales características del punto de recarga. En los Planos 1 y 2 se muestra un diseño preliminar de la infraestructura física. En el Plano 3 se presenta el diagrama unifilar correspondiente y en el Plano 4 se especifican las características de las redes eléctricas del punto, identificadas en el plano de planta.

Todos los planos se pueden revisar en los **Anexos F, G, H e I.**

## 7. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo de grado ha permitido profundizar el conocimiento en el área de los vehículos eléctricos, algo que resulta de gran relevancia si se tienen en cuenta los compromisos adquiridos por el país durante los últimos años, encaminados hacia la conservación del medio ambiente. A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas.

- Las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado para el área de la movilidad eléctrica están avanzando y cada vez son más los modelos ofrecidos. Con el estudio del comportamiento global de los fabricantes de vehículos eléctricos se identificaron 13 diferentes compañías compitiendo en este sector y 9 orientadas a la producción de vehículos híbridos. En el primer grupo (VE), se destacan Renault, Tesla y Nissan, llegando a ofrecer hasta 16 distintas versiones de todos sus modelos. En el caso de Renault, Nissan y Tesla cuentan con 13 versiones cada uno. En el segundo grupo, es BMW quien lleva la delantera con 6 versiones disponibles de sus modelos y le sigue de cerca Volkswagen con 4 versiones disponibles. También se destacan fabricantes con menor reconocimiento como Mahindra Electric Vehicles que han decidido promover los vehículos completamente eléctricos incluyéndolos dentro de sus catálogos comerciales.
- La penetración de los VE en Colombia aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo e implantación, es por esto que existen únicamente cinco modelos disponibles en los concesionarios del país: el BYD E6, BMW i3, Mitsubishi iMiev, Renault Twizy y Renault Kangoo Z.E. Se espera que el gobierno nacional, junto con el sector privado y la academia fomenten estrategias para acalorar la entrada de vehículos eléctricos al mercado colombiano, pero para esto se deben superar las barreras que tienen los consumidores con respecto al tiempo de recarga.

- La variedad en el diseño de las baterías de los VE y el avance tecnológico en este tema ha conllevado a que los requerimientos de la infraestructura de recarga sean variados, por esta razón, se realizó una recopilación de las soluciones de recarga ofrecidas por algunas empresas. En los resultados presentados se puede apreciar que la mayor parte de los sistemas de repostaje opera en los modos de recarga 1 (corriente alterna, sin comunicación con la red) y 2 (corriente alterna, grado bajo de comunicación con la red), pero durante los últimos años los fabricantes han empezado a encaminar sus esfuerzos para desarrollar la carga en los modos 3 (corriente alterna, grado elevado de comunicación con la red) y 4 (corriente continua, grado elevado de comunicación con la red), por ser estos los que más se asemejan en su funcionamiento a los sistemas de abastecimiento de combustible convencionales.
- Uno de los factores determinantes en el diseño de cualquier instalación eléctrica es el dimensionamiento de la misma. Para el caso de un punto de recarga masivo, los métodos de dimensionamiento convencionales no son aplicables debido al comportamiento dinámico y a la alta demanda de un lugar dedicado a esta actividad, por tal razón, es necesario buscar técnicas alternativas, en este caso, se utilizó la metodología basada en MMPP (Márkov Modulated Poisson Processes), la cual resultó eficaz porque cumplió con los parámetros de tiempo de recarga y número de vehículos establecidos por los fabricantes de estaciones de recarga.
- La definición del caso de estudio permitió aplicar los conceptos definidos por el método de dimensionamiento seleccionado y así se logró corregir los supuestos de diseño iniciales y se disminuyó una estación de carga, cuya probabilidad de ser utilizada era nula. También se calculó el tiempo de recarga requerido por la infraestructura propuesta, siendo el valor obtenido cercano a 20 minutos, lo cual es congruente con lo que sugieren los fabricantes en la hoja de características de sus vehículos.

- La facilidad o instalación eléctrica se pudo diseñar a partir del dimensionamiento del punto de recarga y de las distintas disposiciones reglamentarias definidas en normas como la NTC 2050 en donde se hallaron veinte artículos relacionados con VE, el RETIE en el que hay 3 artículos y en las Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA. Adicionalmente, resultó fundamental acudir a normas internacionales concernientes al tema, para profundizar en aspectos que aún no se han reglamentado en las normas nacionales.
- A partir del dimensionamiento del punto de recarga y de la definición de la normatividad aplicable, se pudo proceder a seleccionar el transformador y el nivel de tensión. Con estos parámetros se realizó el diseño de la instalación del punto de recarga de VE, lo que incluyó la elaboración de memorias de cálculo, diagramas y planos.

## 8. RECOMENDACIONES

Con el desarrollo de este trabajo de grado se han identificado algunos aspectos relacionados con la infraestructura de recarga de los VE que pueden ser abordados en futuras investigaciones, por tal razón, los autores sugieren las siguientes recomendaciones:

- Integrar las energías renovables para suplir la demanda parcial o total del punto de recarga, por ejemplo, en algunos países como España y Noruega se han adoptado los paneles fotovoltaicos, como una alternativa viable para instalar en el entorno urbano. Al introducir este tipo de generación, el punto de recarga sería más amigable con el medio ambiente, un factor importante considerando las proyecciones en cuanto a la escasez mundial de agua dulce en el futuro cercano.
- Como el término “vehículo eléctrico” es muy amplio, se podrían incluir todas las formas de transporte impulsadas por un motor alimentado con electricidad, así que se sugiere ampliar el diseño del punto de recarga incorporando sistemas de cargadores para abastecer de energía a motos y bicicletas eléctricas.
- Una de las aplicaciones que está siendo implementada en varias partes del mundo, incluyendo a Colombia, es el bus eléctrico. El sistema de recarga ultrarrápida asegura que en cinco minutos se puede cargar el 80 % de la batería. Sin duda, es una gran ventaja para los usuarios, pero un reto para la red teniendo en cuenta que la potencia demandada por una sola estación se encuentra cerca a los 400 [kW], así que la masificación de un punto de recarga con estas características se proyecta como un tema de estudio y ha despertado el interés de las empresas de transporte masivo y otras del sector automotriz.
- El sistema de almacenamiento de energía para estaciones de carga de VE se encuentra en estudio porque representa una parte fundamental de las mismas,

pero por ser un tema novedoso es necesario profundizarlo más, además hay varios retos por cumplir en los modelos propuestos, por esta razón, se propone como posible tema de investigación para futuros proyectos de grado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] VELANDIA DURÁN, Edder Alexander. Estado actual del transporte eléctrico en Colombia. *Mundo Eléctrico*. 2015, vol. 29; nro. 102. pp. 50-58. ISSN 1692-7052.

[2] OBANDO ANZOLA, Carolina; BÁEZ DAZA, Omar Alfredo y GARCÍA BOTERO, Carlos Arturo. Colombia, transición hacia vehículos cero emisiones. *Mundo Eléctrico*. 2015, vol. 29; nro. 102. pp. 34-48. ISSN 1692-7052.

[3] MI, Chris; MASRUR, M. Abul y GAO, David Wenzhong. Hybrid electric vehicles. Principles and applications with practical perspectives. 1 ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. 448 p. ISBN 978-0-470-74773-5.

[4] Colombia en la COP 21 [en línea]. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015-. [Fecha de consulta: 4 mayo 2016]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1784:planta-cambio-climatico-46>

[5] PÉREZ DE LUCÍA, Arturo, *et al.* Guía del vehículo eléctrico II. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A, 2015. 263 p.

[6] LARMINIE, James y LOWRY, John. Electric vehicle technology explained. 1 ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2003. 296 p. ISBN 0-470-85163-5.

[7] La historia del coche eléctrico: un largo proceso de desarrollo [en línea]. Diariomotor Tecmovia, 2011-. [Fecha de consulta: 5 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/#texto>

[8] JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. Guía del vehículo eléctrico para Castilla y León. Aspectos básicos para el desarrollo e implantación del vehículo eléctrico. Castilla y León, 2013. 155 p.

[9] Recarga del vehículo eléctrico [archivo de extensión .pdf en línea]. Fundación Asturiana de la Energía (FAEN). [Fecha de consulta: 9 mayo 2016]. Disponible en: [http://www.faen.es/batterie/Recarga\\_vehiculo\\_electrico.pdf](http://www.faen.es/batterie/Recarga_vehiculo_electrico.pdf)

[10] One million global plug-in sales milestone reached [en línea]. Jeff Cobb, 2015-. [Fecha de consulta: 9 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.hybridcars.com/one-million-global-plug-in-sales-milestone-reached/>

[11] Hybrid Vehicles Market Analysis, Market Size, Application Analysis, Regional Outlook, Competitive Strategies and Forecasts, 2015 to 2022 [en línea]. Grand View Research. [Fecha de consulta: 5 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hybrid-vehicles-market>

[12] Autos eléctricos que pueden comprarse hoy en Colombia [en línea]. Pablo Agudelo, 2016-. [Fecha de consulta: 5 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.vehiculoselectricos.com.co/index.php/autos-electricos-en-colombia/>

[13] Avanza proyecto de Federico Hoyos para incentivar la movilidad sostenible [en línea]. Pablo Agudelo, 2016-. [Fecha de consulta: 5 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.vehiculoselectricos.com.co/index.php/movilidad-sostenible/>

[14] McQUEEN, D; McQUEEN, M; HYLAND, P. y WATSON, S. Simulation of power quality in residential electricity networks. RE&PQJ, 2003, vol. 1; nro. 1.

[15] CORCHERO, C.; CRUZ-ZAMBRANO, M.; HEREDIA, F. J.; CAIRO, J.-I.; IGUALADA-GONZALEZ L. y ROMERO-ORTEGA, A. Optimal sizing of microgrids: a fast charging station case. IEEE, 2012, vol. 1; nro. 1. ISBN 978-1-4673-0833-5.

[16] Introducción a los modelos de tráfico para redes de banda ancha [archivo de extensión .pdf en línea]. David Rincón Rivera, 1998-. [Fecha de consulta: 8 septiembre 2016]. Disponible en: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiDgJj6m7XPAhUDQSYKHS6yBOUQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.raco.cat%2Findex.php%2FBuran%2Farticle%2Fdownload%2F178762%2F240257&usg=AFQjCNFH06sRs3iGF54pkHYztTcQc3Xmbw&sig2=nJPy3c0ymL60646KQnz0vw>

[17] MORENO MOGOLLÓN, Jaime Alberto, *et al.* Caracterización y simulación del tráfico de redes LAN mediante el modelo MMPP. Bucaramanga: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2007. 23 p. ISSN 0120-6230.

[18] Cadenas de Márkov y Teoría de Colas [archivo de extensión .pdf en línea]. BELAUSTEGUI GOITIA, Carlos F. Universidad de Buenos Aires. 2003. [Fecha de consulta: 9 septiembre 2016]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6615/Material/markov.pdf>

[19] MORALES QUINTANA, Blas. Modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá D.C. Trabajo de grado Magíster Ingeniería Eléctrica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 137 p.

[20] DUPONT MUNICIPAL CODE. Chapter 25.95 Off-street parking. Seattle: Code Publishing Company, 2016. [Fecha de consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en:

<http://www.codepublishing.com/WA/DuPont/html/DuPont25/DuPont2595.html#25.95>

[21] Cálculos de autonomía y rendimiento. [archivo de extensión .pdf en línea]. Autolibre. [Fecha de consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en: <http://autolibreelectrico.com/autoContenido/uploads/2012/06/Calculos-de-autonom%C3%ACa.pdf>

[22] Aplicando teoría de colas en dirección de operaciones [archivo de extensión .pdf en línea]. José Pedro García Sabater, 2015-. [Fecha de consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en: <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/Teoriadecolasdoc.pdf>

[23] SUAZO, Cinthia, *et al.* Proyecto Gasolinera – Estación de servicio DIPPSA. Investigación de Operaciones II, 2014.

[24] ARENAS ESTEVEZ, María Fabiola. Establecimiento de las características químicas de suelos cafeteros de Santander. Monografía Especialista en Química Ambiental. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Química. 142 p.

[25] CHAUDHARI, Kalpesh y UKIL, Abhisek. TOU pricing based energy management of public EV charging stations using energy storage system. IEEE, 2016, vol. 1; nro. 1. ISBN 978-1-4673-8075-1.

[26] NEGARESTANI, Soodeh; FOTUHI-FIRUZABAD, Mahmud; RASTEGAR, Mohammad y RAJABI-GHAHNAVIEH, Abbas. Optimal Sizing of Storage System in a Fast Charging Station for Plug-in Hybrid Electric Vehicles. IEEE, 2016, vol. 1; nro. 1. ISSN 2332-7782.

[27] UL-HAQ, Azhar; CHADHRY, Marium Jalal y SALEEMI, Farhat. A Smart charging station for EVs with evaluation of different energy storage technologies. IEEE, 2013, vol. 1; nro. 1. ISBN 978-1-4799-3238-2.

[28] NEGARESTANI, Soodeh; FOTUHI-FIRUZABAD, Mahmud; RASTEGAR, Mohammad y RAJABI-GHAHNAVIEH, Abbas. Optimal sizing of storage system in a fast charging station for plug-in hybrid electric vehicles. IEEE, 2016, vol. 1; nro. 1. ISSN 2332-7782.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO Pablo Autos eléctricos que pueden comprarse hoy en Colombia 2016 [en línea] [Fecha de consulta: 5 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.vehiculoselectricos.com.co/index.php/autos-electricos-en-colombia/>

AGUDELO Pablo Avanza proyecto de Federico Hoyos para incentivar la movilidad sostenible 2016 [en línea]. [Fecha de consulta: 5 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.vehiculoselectricos.com.co/index.php/movilidad-sostenible/>

ARENAS ESTEVEZ, María Fabiola. Establecimiento de las características químicas de suelos cafeteros de Santander. Monografía Especialista en Química Ambiental. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Química. 142 p.

AUTOLIBRE Cálculos de autonomía y rendimiento. [archivo de extensión .pdf en línea]. [Fecha de consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en: <http://autolibreelectrico.com/autoContenido/uploads/2012/06/Calculos-de-autonom%C3%ACa.pdf>

BELAUSTEGUI GOITIA, Carlos F. Cadenas de Márkov y Teoría de Colas [archivo de extensión .pdf en línea]. Universidad de Buenos Aires. 2003. [Fecha de consulta: 9 septiembre 2016]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6615/Material/markov.pdf>

CHAUDHARI, Kalpesh y UKIL, Abhisek. TOU pricing based energy management of public EV charging stations using energy storage system. IEEE, 2016, vol. 1; nro. 1. ISBN 978-1-4673-8075-1.

COBB Jeff One million global plug-in sales milestone reached 2015 [en línea]. [Fecha de consulta: 9 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.hybridcars.com/one-million-global-plug-in-sales-milestone-reached/>

CORCHERO, C.; CRUZ-ZAMBRANO, M.; HEREDIA, F. J.; CAIRO, J.-I.; IGUALADA-GONZALEZ L. y ROMERO-ORTEGA, A. Optimal sizing of microgrids: a fast charging station case. IEEE, 2012, vol. 1; nro. 1. ISBN 978-1-4673-0833-5.

DIARIOMOTOR TECMOVIA La historia del coche eléctrico: un largo proceso de desarrollo 2011 [en línea] [Fecha de consulta: 5 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/#texto>

DUPONT MUNICIPAL CODE. Chapter 25.95 Off-street parking. Seattle: Code Publishing Company, 2016. [Fecha de consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en:

<http://www.codepublishing.com/WA/DuPont/html/DuPont25/DuPont2595.html#25.95>

FUNDACIÓN ASTURIANA DE LA ENERGÍA (FAEN). Recarga del vehículo eléctrico [archivo de extensión .pdf en línea]. [Fecha de consulta: 9 mayo 2016]. Disponible en: [http://www.faen.es/batterie/Recarga\\_vehiculo\\_electrico.pdf](http://www.faen.es/batterie/Recarga_vehiculo_electrico.pdf)

GARCÍA SABATER José Pedro Aplicando teoría de colas en dirección de operaciones [archivo de extensión .pdf en línea]. [Fecha de consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en: <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/Teoriadecolasdoc.pdf>

GRAND VIEW RESEARCH. Hybrid Vehicles Market Analysis, Market Size, Application Analysis, Regional Outlook, Competitive Strategies and Forecasts,

2015 to 2022 [en línea]. [Fecha de consulta: 5 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hybrid-vehicles-market>

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. Guía del vehículo eléctrico para Castilla y León. Aspectos básicos para el desarrollo e implantación del vehículo eléctrico. Castilla y León, 2013. 155 p.

LARMINIE, James y LOWRY, John. Electric vehicle technology explained. 1 ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2003. 296 p. ISBN 0-470-85163-5.

McQUEEN, D; McQUEEN, M; HYLAND, P. y WATSON, S. Simulation of power quality in residential electricity networks. RE&PQJ, 2003, vol. 1; nro. 1.

MI, Chris; MASRUR, M. Abul y GAO, David Wenzhong. Hybrid electric vehicles. Principles and applications with practical perspectives. 1 ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. 448 p. ISBN 978-0-470-74773-5.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Colombia en la COP 21 Bogotá D.C. 2015-. [en línea]. [Fecha de consulta: 4 mayo 2016]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1784:plataforma-cambio-climatico-46>

MORALES QUINTANA, Blas. Modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá D.C. Trabajo de grado Magíster Ingeniería Eléctrica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 137 p.

MORENO MOGOLLÓN, Jaime Alberto, et al. Caracterización y simulación del tráfico de redes LAN mediante el modelo MMPP. Bucaramanga: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2007. 23 p. ISSN 0120-6230.

NEGARESTANI, Soodeh; FOTUHI-FIRUZABAD, Mahmud; RASTEGAR, Mohammad y RAJABI-GHAHNAVIEH, Abbas. Optimal Sizing of Storage System in a Fast Charging Station for Plug-in Hybrid Electric Vehicles. IEEE, 2016, vol. 1; nro. 1. ISSN 2332-7782.

NEGARESTANI, Soodeh; FOTUHI-FIRUZABAD, Mahmud; RASTEGAR, Mohammad y RAJABI-GHAHNAVIEH, Abbas. Optimal sizing of storage system in a fast charging station for plug-in hybrid electric vehicles. IEEE, 2016, vol. 1; nro. 1. ISSN 2332-7782.

OBANDO ANZOLA, Carolina; BÁEZ DAZA, Omar Alfredo y GARCÍA BOTERO, Carlos Arturo. Colombia, transición hacia vehículos cero emisiones. Mundo Eléctrico. 2015, vol. 29; nro. 102. pp. 34-48. ISSN 1692-7052.

PÉREZ DE LUCÍA, Arturo, et al. Guía del vehículo eléctrico II. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A, 2015. 263 p.

RINCÓN RIVERA, David Introducción a los modelos de tráfico para redes de banda ancha 1998 [archivo de extensión .pdf en línea]. [Fecha de consulta: 8 septiembre 2016]. Disponible en: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiDgJj6m7XPAhUDQSYKHS6yBOUQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.raco.cat%2Findex.php%2FBuran%2Farticle%2Fdownload%2F178762%2F240257&usg=AFQjCNFH06sRs3iGF54pkHYztTcQc3Xmbw&sig2=nJPY3c0ymL60646KQnz0vw>


SUAZO, Cinthia, et al. Proyecto Gasolinera – Estación de servicio DIPPSA. Investigación de Operaciones II, 2014.








UL-HAQ, Azhar; CHADHRY, Marium Jalal y SALEEMI, Farhat. A Smart charging station for EVs with evaluation of different energy storage technologies. IEEE, 2013, vol. 1; nro. 1. ISBN 978-1-4799-3238-2.














VELANDIA DURÁN, Edder Alexander. Estado actual del transporte eléctrico en Colombia. Mundo Eléctrico. 2015, vol. 29; nro. 102. pp. 50-58. ISSN 1692-7052.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. LISTA DE CONECTORES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS

Marca	Modelo	Tecnología	Carga Modo 2		Carga Modo 3 Serie/Opcional/Accesorio			Carga Acelerada	Carga Rápida Serie/Opcional			Conector del lado del vehículo	
								Potencia > 3,7 [kW]					
	A3 Sportback e-tron	PHEV	✓	✓	Accesorio	No disponible	3,7 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Q7 e-tron	PHEV	✓	✓	Accesorio	No disponible	7,2 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	i3	EV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	3,7 kW (7,3 kW opcional)	No disponible	No disponible	Opcional	No disponible	✓
	i3 Rex	REX	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	3,7 kW (7,3 kW opcional)	No disponible	No disponible	Opcional	No disponible	✓
	i8	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	330e	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
	740e	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
	225xe	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
	X5 xDrive40e	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	E6	EV	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Volt	EV	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	C-Zero	EV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	Serie	No disponible	No disponible	✓	✓
	Berlingo	EV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	Focus Electric	EV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	6,6 kW	No disponible	No disponible	No disponible	✓	No disponible

Marca	Modelo	Tecnología	Carga Modo 2		Carga Modo 3 Serie/Opcional/Accesorio			Carga Acelerada	Carga Rápida Serie/Opcional			Conector del lado del vehículo	
								Potencia > 3,7 [kW]					
	Soul EV	EV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	✓	6,6 kW	Opcional	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	S500e	PHEV	✓	No disponible	Opcional	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	C350e	PHEV	✓	No disponible	Opcional	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	GLE 500 E4MATIC	PHEV	✓	No disponible	Opcional	No disponible	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Clase B ED	EV	✓	No disponible	Serie	No disponible	✓	11 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Outlander PHEV 2016	PHEV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	I-MIEV	EV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	Leaf	EV	✓	✓	Opcional	✓	✓	6,6 kW	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	e-NV200	EV	✓	✓	Opcional	✓	✓	6,6 kW	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	e-NV200 Evalia	EV	✓	✓	Opcional	✓	✓	6,6 kW	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	Ampera	REX	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	iOn	EV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	Partner Electric	EV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	Serie	No disponible	No disponible	✓	No disponible
	Zoe R240	EV	Accesorio	No disponible	Serie	✓	✓	22 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Zoe Q210	EV	Accesorio	No disponible	Serie	✓	✓	No disponible	No disponible	Serie (44 kW)	No disponible	No disponible	✓
	Kangoo Z.E.	EV	Accesorio	No disponible	Serie	✓	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Fluence Z.E.	EV	Accesorio	No disponible	Serie	✓	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Twizy	EV	✓	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓

Marca	Modelo	Tecnología	Carga Modo 2		Carga Modo 3 Serie/Opcional/Accesorio			Carga Acelerada	Carga Rápida Serie/Opcional			Conector del lado del vehículo	
								Potencia > 3,7 [kW]					
	Fortwo	EV	✓	No disponible	Opcional	No disponible	✓	22 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo S 70D	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	11 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo S 90	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	12 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo S 90D	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	13 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo S P90D	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	14 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo X 90D	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	15 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo X 90D	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	16 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	Modelo X P90D	EV	✓	No disponible	No disponible	✓	✓	17 kW (22 kW opcional con doble cargador)	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	e-UP	EV	✓	No disponible	Serie	✓	3,7 kW	No disponible	No disponible	No disponible	✓	No disponible	✓
	e-GOLF	EV	✓	No disponible	Serie	✓	3,7 kW	No disponible	No disponible	No disponible	✓	No disponible	✓
	GOLF GTE	PHEV	✓	No disponible	Serie	✓	3,7 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	PASSAT	PHEV	✓	No	Serie	✓	3,7 kW	No	No	No	No	No	✓

Marca	Modelo	Tecnología	Carga Modo 2		Carga Modo 3 Serie/Opcional/Accesorio			Carga Acelerada	Carga Rápida Serie/Opcional			Conector del lado del vehículo	
								Potencia > 3,7 [kW]					
	GTE			disponible				disponible	disponible	disponible	disponible	disponible	
	V60 TWIN ENGINE	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	3,7 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓
	XC90 T8 TWIN ENGINE	PHEV	✓	No disponible	Accesorio	No disponible	3,7 kW	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	✓

Fuente: ELECTROMAPS. Relación de vehículos eléctricos y tipo de conector que usan. Disponible en: <https://www.electromaps.com/coches-electricos/tipos-de-conectores>

## ANEXO B. LISTA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Marca	Modelo	Versión	Motor Eléctrico	Batería					
				Potencia Máxima [CV]	Potencia Máxima [kW]	Autonomía NEDC [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo 100 %
Aixam	Mega e-City	e-City	Por aire, mediante turbina	17	8	65	AGM de 170 Ah, 48 V	8	6 h
Audi	E-tron Quattro	E-tron Quattro	Tres motores no especificados	503	370	500	Li-ion	95	50 min (En DC a 150 kW)
BMW	i3	22 kWh	BMW eDrive	170	125	190	Li-ion	22	Schuko 8 h/Wallbox 6 h/Rápida 30 min
BMW	i3	33 kWh	BMW eDrive	170	125	300	Li-ion	33	Schuko 8 h/Wallbox 6 h/Rápida 30 min
BYD	E6	90 kW	Síncrono Magnético Permanente	122	90	300	Ion-Litio-Hierro	64	2 horas a 63 A
BYD	E6	200 kW	Síncrono Magnético Permanente	272	200	300	Ion-Litio-Hierro	54	Estándar 6 horas
Chevrolet	Spark	EV	No especificado	130	400	-	Li-ion	-	-
Chevrolet	Volt	1.4 150 5p Aut.	Dos motores no especificados	150	63	83	Li-ion	16	4 h Cargador doméstico
Citroën	Berlingo Electric	Furgón	Reversible síncrono de imanes de neodimio permanentes	49	67	170	Li-ion	22,5	Entre 12 y 6 horas Carga lenta
Citroën	Berlingo Electric	Furgón Club	Reversible síncrono de imanes de neodimio permanentes	49	67	170	Li-ion	22,5	Entre 12 y 6 horas Carga lenta
Citroën	Berlingo Electric	Furgón Largo	Reversible síncrono de imanes de neodimio permanentes	49	67	170	Li-ion	22,5	Entre 12 y 6 horas Carga lenta
Citroën	C-Zero	Única	Síncrono de imanes permanentes	64	47	150	Li-ion	14,5	-
Citroën	E-Mehari	E-Mehari	Síncrono de imanes permanentes	68	50	200	Litio-Metal-Polímero	30	8 h (16A)/13 h (10A)
Ford	Focus Electric	125 5p. Aut.	Motor de Imán Permanente con Tracción Eléctrica	125	107	160	Li-ion	23	4 h a nivel de 2 a 250 V
Kia	Soul EV	109 5p. Aut.	Síncrono de imanes permanentes	109	81,4	212	Polímero de Litio	27	5 h (Carga lenta) / 1 h (Carga rápida - 50 kW)
Little	Little 4	Little 4	Asíncrono	5	4	100	Plomo/Gel	-	7 h (16 A)

Marca	Modelo	Versión	Motor Eléctrico	Batería					
				Potencia Máxima [CV]	Potencia Máxima [kW]	Autonomía NEDC [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo 100 %
Little	Panther 4	AGM	Asíncrono	10	7,5	40	Plomo/Ácido	16,2	6 h (16 A)
Little	Panther 4	Litio	Asíncrono	10	7,5	60	Li-ion	14,7	7 h (16 A)
Mahindra Reva	REVAi	16 3p. Aut.	De inducción AC (sin mantenimiento)	16	12	80	Plomo/Ácido	9,3	8 h
Mahindra Reva	REVAi L-ion	19 Li-ion 3p. Aut.	De inducción AC (sin mantenimiento)	19	14,5	120	Li-ion	9,7	4 h
Mitsubishi	i-MiEV	67 5p. Aut.	Síncrono de imanes permanentes	67	49	150	Li-ion	16	6h (16 A)
Nissan	e-NV200	Furgón Basic	Síncrono	109	80	163	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	e-NV200	Furgón Comfort	Síncrono	109	80	162	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	e-NV200	Combi Basic	Síncrono	109	80	170	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	e-NV200	Combi Comfort 6	Síncrono	109	80	167	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	e-NV200	Combi Comfort 7	Síncrono	109	80	167	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	e-NV200 Evalia	e-NV200 Evalia 5	Síncrono	109	80	170	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	e-NV200 Evalia	e-NV200 Evalia 7	Síncrono	109	80	170	Li-ion - Laminada	24	2,3 kW (10 h)/3,6 kW o 6,6 kW (4 u 8 h)
Nissan	Leaf	2010 5p Aut.	Síncrono	109	80	175	Li-ion - Laminada	24	Estándar 8 h
Nissan	Leaf	24 kWh Visia	Síncrono	109	80	199	Li-ion - Laminada	24	230 V - 8 h/400 V - 1 h
Nissan	Leaf	24 kWh Acenta	Síncrono	109	80	199	Li-ion - Laminada	24	231 V - 8 h/400 V - 1 h
Nissan	Leaf	24 kWh Tekna	Síncrono	109	80	199	Li-ion - Laminada	24	232 V - 8 h/400 V - 1 h
Nissan	Leaf	30 kWh Acenta	Síncrono	109	80	250	Li-ion - Laminada	30	233 V - 8 h/400 V - 1 h
Nissan	Leaf	30 kWh Tekna	Síncrono	109	80	250	Li-ion - Laminada	30	234 V - 8 h/400 V - 1 h
Peugeot	iOn	66 5p. Aut	Reversible síncrono de imanes de neodimio permanentes	66	49	150	Li-ion al óxido de manganeso	14,5	220V-8A (11 h)/220V-14A (6 h)
Peugeot	Partner Electric	66 Aut.	Síncrono de imanes permanentes	67	49	170	Doble pack Li-ion	22,5	Carga normal 6 - 9 h
Porsche	Mission E	Mission E	2 motores síncronos de imanes permanentes	600	440	500	Li-ion	80	800V - 15 min

Marca	Modelo	Versión	Motor Eléctrico	Batería					
				Potencia Máxima [CV]	Potencia Máxima [kW]	Autonomía NEDC [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo 100 %
Renault	Fluence Z.E.	Expression 5p. Aut.	Síncrono reversible	95	70	185	Li-ion	22	De 8-12h según Amperaje
Renault	Fluence Z.E.	Dynamique 5p. Aut.	Síncrono reversible	95	70	185	Li-ion	22	De 8-12h según Amperaje
Renault	Kangoo Z.E.	Kangoo Z.E.	Síncrono reversible	60	44	170	Li-ion	24	Recarga Estándar 6 - 8 h
Renault	Kangoo Z.E.	Maxi Z.E. 6p	Síncrono reversible	60	44	170	Li-ion	25	Recarga Estándar 6 - 8 h
Renault	Twizy	Urban 45	Asíncrono	5	4	120	Li-ion	6,1	3,5 h a 220V
Renault	Twizy	Technic 45	Asíncrono	5	4	120	Li-ion	7,1	3,5 h a 220V
Renault	Twizy	Urban 80	Asíncrono	13	8	100	Li-ion	8,1	3,5 h a 220V
Renault	Twizy	Technic 80	Asíncrono	13	8	100	Li-ion	9,1	3,5 h a 220V
Renault	Twizy	Cargo 80	Asíncrono	13	8	100	Li-ion	10,1	3,5 h a 220V
Renault	Zoe	Life	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	210	Acumulador de Li-ion	22	230V (9 h)/400 V (1 h)
Renault	Zoe	Zen	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	210	Acumulador de Li-ion	23	230V (9 h)/400 V (1 h)
Renault	Zoe	Intens	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	240	Acumulador de Li-ion	24	230V (9 h)/400 V (1 h)
Renault	Zoe	Life R240	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	240	Acumulador de Li-ion	25	230V (menos de 8 h)/400 V (1 h)
Renault	Zoe	Zen R240	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	240	Acumulador de Li-ion	26	230V (menos de 8 h)/400 V (1 h)
Renault	Zoe	Intens R240	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	240	Acumulador de Li-ion	27	230V (menos de 8 h)/400 V (1 h)
Renault	Zoe	Société	Síncrono con rotor de bobina y engranaje reductor	88	65	240	Acumulador de Li-ion	28	230V (menos de 8 h)/400 V (1 h)
Rimac	Concept_One	Concept_One	2 de 500 kW (ruedas delanteras) y 2 de 600 kW (ruedas traseras)	1088	800	400	Polímero de Litio (LiNiMnCoO2)	92	-
Smart	Fortwo Electric Drive	Coupé 75 3p. Aut	Imanes permanentes	75	55	145	Li-ion	17,6	230V sin Wall-Box (7 h)/230V con Wall-Box (6 h)/400V-22kW con Wall-Box (1 h)
Smart	Fortwo Electric Drive	Cabrio 75 3p. Aut	Imanes permanentes	75	55	145	Li-ion	18,6	230V sin Wall-Box (7 h)/230V con Wall-Box (6 h)/400V-22kW con Wall-Box (1 h)

Marca	Modelo	Versión	Motor Eléctrico	Batería					
				Potencia Máxima [CV]	Potencia Máxima [kW]	Autonomía NEDC [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo 100 %
Tazzari	EM1	CitySport	-	20	15	130	Li-ion	-	-
Tazzari	Zero Evo	20 3p. Aut.	Con acumuladores	20	15	200	Li-ion	161 Ah	5 h/ 9 h/ 14h/ 380 V en 50min
Tesla	Model III	90 kWh	Trifásicos de inducción AC con rotor de cobre- 4 polos.	524	390	346	Li-ion	90	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	60 kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	306	228	370	Li-ion	60	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	70 kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	320	238	370	Li-ion	70	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	70D kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	332	247	386	Li-ion	70	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	85 kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	378	281	480	Li-ion	85	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	85D kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	422	314	480	Li-ion	85	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	P85D kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	476	354	480	Li-ion	85	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	90D kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	422	314	550	Li-ion	90	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model S	P90D kWh	Motor de inducción de 4 polos de AC	539	401	505	Li-ion	90	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model X	90D kWh	2 Trifásicos de inducción con rotor de cobre, 4 polos AC	524	390	413	Li-ion	90	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model X	P90D kWh	2 Trifásicos de inducción con rotor de cobre, 4 polos AC	762	568	402	Li-ion	90	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Model X	70D kWh	2 Trifásicos de inducción, 4 polos AC	524	390	354	Li-ion	70	230V a 3,3 kW (12 h)/120 W (20 min)
Tesla	Roadster	248 3p. Aut.	2 Trifásicos de inducción con rotor de cobre, 4 polos AC	248	185	360	Li-ion	53	240V a 90 A (4 h)/120 V a 15 A (8 h)
Think	THINK City	2p. Aut.	-	46	34	180	Li-ion	23	230V/14A (10 h)
Think	THINK City	2+2p. Aut.	-	46	34	180	Li-ion	23	230V/14A (10 h)
Twike	Active	Basic	Asíncrono	9	7	80	Li-Mn2O2	3,2	1,5-3h (16 A)
Volkswagen	e-Golf	115 5p. Aut.	Síncrono de imanes permanentes	115	85	190	Li-ion	26,5	Estándar 230V/10A en 13 horas   Wallbox 3,6kW en 8 horas
Volkswagen	e-Up	82 5p. Aut.	Síncrono de imanes permanentes	82	60	160	Li-ion	18,7	Enchufe convencional (9 h)/Wall-Box (7 h)
Zytel	Cuatro	2p	Imanes permanentes sin	41	30	100	Plomo (Litio)	130	115-230V,10A (8-10 h)

Marca	Modelo	Versión	Motor Eléctrico	Batería					
				Potencia Máxima [CV]	Potencia Máxima [kW]	Autonomía NEDC [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo 100 %
			escobillas				opcional)		
Zytel	Gorila EV	3P	BLDC	41	30	100	Plomo (Litio opcional)	130	115-230V, 10A (8-10 h)

Fuente: Los datos y cifras presentados fueron obtenidos del sitio web oficial de los fabricantes de estos vehículos. La última revisión de la información se realizó el 29 de julio de 2016.

## ANEXO C. LISTA DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELÉCTRICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Marca	Modelo	Motor Eléctrico	Motor de Combustión	Prestaciones y Batería							
				Potencia Máxima Combinada [CV]	Potencia Máxima [kW/rpm]	Consumo de Combustible Combinado [l/100km]	Autonomía Modo Eléctrico [km]	Autonomía Combinada [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo o 100 %
Audi	A3 Sportback e-tron	Síncrono de imanes permanentes	1.4 TFSI	204	150	1,5	50	890	Li-ion	12	240 V/ 2,15h, 120 V/ 8h
Audi	Q7 e-tron Quattro	No especificado	Diésel V6 turboalimentado	258	258	1,8	56	1320	Acumulador de Li-ion	17,3	230 V a 16 A/8 h
BMW	225xe	Asíncrono 65 kW	Inyección directa. Turbo. Intercooler	224	165	2,1	41	600	Li-ion	7,7	16 A/3h15m
BMW	330e	Asíncrono 65 kW	Inyección directa. Turbo. Intercooler	252	185	1,9	40	526	Li-ion	7,6	16 A/2h15m
BMW	740e	Asíncrono 83 kW	Inyección directa. Turbo. Intercooler	326	240	2,1	40	1000	Li-ion	9,2	16 A/2h15m
BMW	i3	BMW eDrive	Inyección indirecta	170	125	0,6	-	340	Li-ion	21,6	230 V/8h
BMW	i8	Síncrono híbrido 96 kW	3 cilindros BMW TwinPower cilindrada	266	362	2,1	35	-	Li-ion de alto voltaje	7,1	230 V/3 h
BMW	X5 xDrive40e	Síncrono de 8 marchas	Inyección directa-turbo	313	230	3,4	31	805	Li-ion	9	16 A/2h45m
Ford	C-MAX Energi	Síncrono de imanes permanentes	Híbrido de ciclo Atkinson	143	195	2,2	34	1000	Li-ion	7,6	16A/ 2 h
Mercedes-Benz	Clase C	60 kW	4 cilindros turbo	279	205	2,4 - 2,1	31	-	Li-ion	6,38	Schuko 2h/Wallbox 3,7 kW (1,5 h)
Mercedes-Benz	Clase S	85 kW	Sobrealimentado (mediante 2 turbocompresores) con 6 cilindros	330	442	2,8	33	-	Li-ion	8,7	230 V, 13A/2h45min
Mercedes-Benz	GLE 500	85 kW	V6 BlueDIRECT de inyección directa	480	325	3,3	30	-	Acumulador de Li-ion	8,8	16 A/4h

Marca	Modelo	Motor Eléctrico	Motor de Combustión	Prestaciones y Batería							
				Potencia Máxima Combinada [CV]	Potencia Máxima [kW/rpm]	Consumo de Combustible Combinado [l/100km]	Autonomía Modo Eléctrico [km]	Autonomía Combinada [km]	Tipo	Capacidad [kWh]	Tipo de Carga/Tiempo 100 %
Mitsubishi	Outlander PHEV 2015	Síncrono de imanes permanentes	2 motores DOHC MIVEC 4B11 de 4 cilindros	160	120		52	824	Li-ion	12	Mennekes 3-4 h /CHAdeMO 30 min
Mitsubishi	Outlander PHEV 2016	Síncrono de imanes permanentes	DOHC MIVEC 4B11 de 4 cilindros	160	120	1,8	52	824	Li-ion	12	Mennekes 4 A 3-4 h/Schuko 10 A 5-6 h/CHAdeMO 30 min
Porsche	Cayenne S E-Hybrid	Síncrono de imanes permanentes 70 kW	con compresor V6 sobrealimentado	416	306	3,4	36	-	Li-ion	10,8	3,6 kW 2,7 h/7,2 kW 1,3 h
Porsche	Panamera S E-Hybrid	Síncrono de imanes permanentes 95 CV	V6 inyección directa	416	336	3,1	36	-	Acumulador de Li-ion	9,4	-
Toyota	Prius Plug-in Hybrid	Síncrono de imanes permanentes	2ZR-FXE, inyección electrónica DOHC con VVT-i	18	13	1,76	23	-	Li-ion	21,5	2 h
Toyota	Prius Plug-in Hybrid	Síncrono de imanes permanentes	2ZR-FXE, inyección electrónica DOHC con VVT-i	18	13	2,1	23	-	Li-ion	22,5	3 h
Volkswagen	Golf GTE	-	4 cilindros en línea	204	150	1,6	50	940	Li-ion	8,8	3,5 h
Volkswagen	Passat GTE	85 kW	TSI 1,4	218	160	1,7	50	1114	Li-ion	9,9	4 h
Volkswagen	Passat GTE	85 kW	TSI 1,4	218	160	1,7	50	1114	Li-ion	10,9	5 h
Volkswagen	XL1	20 Kw	TDI Bicilíndrico	69	51	0,9	50	150	Li-ion	5,5	2 h
Volvo	V60 Plug-in Hybrid	40 Kw	Diésel de 5 cilindros	285	158	1,8	50	-	Acumulador de Li-ion	8	7,5 h
Volvo	XC90 T8 Twin Engine	-	Drive-E	408	300	2,1	40	-	Acumulador de Li-ion	9,2	230 V a 16 A/6 h

Fuente: Los datos y cifras presentados fueron obtenidos del sitio web oficial de los fabricantes de estos vehículos. La última revisión de la información se realizó el 5 de agosto de 2016.

## ANEXO D. ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
Emerix Iberinnova S.L.	Evo 4 Pared	✓	✓	✓	✗	De pie	Schüko, Mennekes o Scame	1 o 2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	10 A/16 A monofásico /32 A trifásico	No especificada	No especificada	-25°C a 60°C	Acero galvanizado	IP44	Enlace GPRS	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
Emerix Iberinnova S.L.	Evo 4 Poste	✓	✓	✓	✗	Instalación en pared	Schüko, Mennekes o Scame	1 o 2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	10 A/16 A monofásico /32 A trifásico	No especificada	No especificada	-25°C a 60°C	Acero inoxidable	IP40	Enlace GPRS	Lector Tarjeta RFID	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	eHOME	✗	✗	✓	✗	Instalación en pared	Tipo 1 cable	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	3,7 kW	-25°C a 50°C	No especificado	IP54	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	eHOME	✗	✗	✓	✗	Instalación en pared	Tipo 1 cable	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-25°C a 50°C	No especificado	IP55	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	eHOME	✗	✗	✓	✗	Instalación en pared	Tipo 2 cable	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	3,7 kW	-25°C a 50°C	No especificado	IP56	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	eHOME	✗	✗	✓	✗	Instalación en pared	Tipo 2 cable	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-25°C a 50°C	No especificado	IP57	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE - QPC Modo 3 - 2 salidas	✗	✗	✓	✗	De pie	Tipo 2	3	400 Vac	50 Hz/60 Hz	143 A	103 kVA	43 kW	-10°C a 45°C	Acero zincado y acero inoxidable	IP54	Enlace TCP/IP Ethernet, 3G, etc.	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
CIRCUTOR S.A.	RVE - QPC Combo 2 - 2 salidas	✗	✗	✓	✗	De pie	Combo-2	2	400 Vac	50 Hz/60 Hz	143 A	103 kVA	50 kW	-10°C a 45°C	Acero zincado y acero inoxidable	IP54	Enlace TCP/IP Ethernet, 3G, etc.	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
CIRCUTOR S.A.	RVE - QPC Combo 2 - 3 salidas	✗	✗	✗	✓	De pie	Combo-2	3	400 Vac	50 Hz/60 Hz	143 A	103 kVA	50 kW	-10°C a 45°C	Acero zincado y acero inoxidable	IP54	Enlace TCP/IP Ethernet, 3G, etc.	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
CIRCUTOR	RVE -	✗	✗	✗	✓	De pie	CHAdc	2	400	50	143 A	103 kVA	50 kW	-10°C	Acero	IP54	Enlace	Lector	Puntos

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
S.A.	QPC CHAde MO - 2 salidas						MO - JEVS G105		Vac	Hz/60 Hz				a 45°C	zincado y acero inoxidable		TCP/IP Ethernet, 3G, etc.	Tarjeta RFID	con asistencia para su utilización
CIRCUTOR S.A.	RVE - QPC CHAde MO - 3 salidas	x	x	x	✓	De pie	CHAde MO - JEVS G105	3	400 Vac	50 Hz/60 Hz	143 A	103 kVA	50 kW	-10°C a 45°C	Acero zincado y acero inoxidable	IP54	Enlace TCP/IP Ethernet, 3G, etc.	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PM1	x	x	x	✓	De pie	Schüko	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	2 x 3,6 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PM3	x	x	x	✓	De pie	Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	2 x 3,6 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PM-MIX	x	x	x	✓	De pie	Schüko + Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	2 x 3,6 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PT3	x	x	x	✓	De pie	Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A + 32 A	No especificada	2 x 22 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PT-MIX	x	x	x	✓	De pie	Schüko + Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	1 x 3,6 kW + 1 x 22 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PM1 3G	x	x	x	✓	De pie	Schüko	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	2 x 3,6 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet + 3G	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PM3 3G	x	x	x	✓	De pie	Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	2 x 3,6 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet + 3G	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PM-MIX 3G	x	x	x	✓	De pie	Schüko + Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	2 x 3,6 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet + 3G	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PT3 3G	x	x	x	✓	De pie	Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	2 x 22 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet + 3G	Lector Tarjeta RFID	Vía pública

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
CIRCUTOR S.A.	RVE2-PT-MIX 3G	x	x	x	✓	De pie	Schüko + Tipo 2	2	230 Vac/400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	1 x 3,6 kW + 1 x 22 kW	-10°C a 45°C	Poliuretano anti-vandálico	IP54	Ethernet + 3G	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
CIRCUTOR S.A.	RVE-WB	x	x	x	✓	Instalación en pared	Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	22 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBM-Smart	x	x	x	✓	Instalación en pared	Tipo 2	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBM-Smart-TRI	x	x	x	✓	Instalación en pared	Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	22 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBM-Touch-TRI	x	x	x	✓	Instalación en pared	Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	22 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBMC	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	22 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBMC-Smart	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 2	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC-Smart-TRI	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	22 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBMC-Touch-TRI	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	22 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 1	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC-32	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 1	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC-Smart	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 1	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC-Smart-32	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 1	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC-Touch	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 1	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBC-Touch-32	x	x	x	✓	Instalación en pared	Cable + Tipo 1	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	7,2 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WB-MIX	x	x	x	✓	Instalación en pared	Schüko + Tipo 2	2	230 Vac	50 Hz/60 Hz	2 x 16 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	No especificado	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WB-MIX-CP1	x	x	x	✓	Instalación en pared	Schüko + Tipo 2	2	230 Vac	50 Hz/60 Hz	2 x 16 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	RS-485	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WB-MIX-CP1-TRI	x	x	x	✓	Instalación en pared	Schüko + Tipo 2	2	400 Vac	50 Hz/60 Hz	32 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	RS-485	No integrado	Residencial, parqueadero
CIRCUTOR S.A.	RVE-WBS-Smart	x	x	x	✓	Instalación en pared	Schüko	1	230 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A	No especificada	3,6 kW	-10°C a 45°C	Plástico ABS-PC autoextinguible	IP54	Ethernet	No integrado	Residencial, parqueadero
Schneider Electric	EVlink Wallbox	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Tipo 1/Tipo 2	1	220 Vac/240 Vac	50 Hz/60 Hz	10 A/16 A	No especificada	3,7 kW	-30°C a 50°C	Plástico resistente	IP54	No disponible	No integrado	Residencial, parqueadero
Schneider Electric	EVlink Wallbox	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Tipo 1/Tipo 2	1	220 Vac/240 Vac	50 Hz/60 Hz	10 A/16 A	No especificada	7,4 kW	-30°C a 50°C	Plástico resistente	IP54	No disponible	No integrado	Residencial, parqueadero

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
Schneider Electric	EVlink Wallbox	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Tipo 1/Tipo 2	1	380 Vac/415 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A/32 A	No especificada	11 kW	-30°C a 50°C	Plástico resistente	IP54	No disponible	No integrado	Residencial, parqueadero
Schneider Electric	EVlink Wallbox	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Tipo 1/Tipo 2	1	380 Vac/415 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A/32 A	No especificada	22,1 kW	-30°C a 50°C	Plástico resistente	IP54	No disponible	No integrado	Residencial, parqueadero
Schneider Electric	Smart Wallbox	x	✓	x	x	De pie/Instalación en pared	Schüko/Tipo 1/Tipo 2	1	220 Vac/240 Vac	50 Hz/60 Hz	8 A/32 A	No especificada	7,4 kW	-30°C a 50°C	Plástico resistente	IP54/I P55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/Autenticación por smartphone	Residencial, parqueadero
Schneider Electric	Smart Wallbox	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Schüko/Tipo 1/Tipo 2	1	380 Vac/415 Vac	50 Hz/60 Hz	8 A/32 A	No especificada	22,1 kW	-30°C a 50°C	Plástico resistente	IP54/I P55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/Autenticación por smartphone	Residencial, parqueadero
Schneider Electric	EVlink Parking	x	✓	x	x	De pie/Instalación en pared	Schüko/Tipo 2	1	220 Vac/240 Vac	50 Hz/60 Hz	6 A/32 A	No especificada	7,4 kW	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico	IP54	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/Autenticación por smartphone	Parqueadero
Schneider Electric	EVlink Parking	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Schüko/Tipo 2	1	380 Vac/415 Vac	50 Hz/60 Hz	6 A/32 A	No especificada	22,1 kW	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico	IP54	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/Autenticación por smartphone	Parqueadero
Schneider Electric	EVlink City	x	✓	x	x	De pie	Schüko/Tipo 2	2	220 Vac/240 Vac	50 Hz/60 Hz	8 A/32 A	No especificada	7,4 kW	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico antivandálico	IP55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/Autenticación por smartphone	Vía pública

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
Schneider Electric	EVlink City	x	x	✓	x	De pie	Schüko/ Tipo 2	2	380 Vac/ 415 Vac	50 Hz/60 Hz	8 A/32 A	No especificada	22,1 kW	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico antivandálico	IP55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/ Autenticación por smartphone	Vía pública
Schneider Electric	EVlink Fast Charge	x	x	✓	x	De pie	CHADE MO/ Combo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	125 A	No especificada	22,1 kW	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico antivandálico	IP55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/ Autenticación por smartphone	Puntos con asistencia para su utilización
Schneider Electric	EVlink Fast Charge	x	x	x	✓	De pie	CHADE MO/ Combo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	125 A	No especificada	50 kW	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico antivandálico	IP55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/ Autenticación por smartphone	Puntos con asistencia para su utilización
Schneider Electric	EVlink Fast Charge	x	x	x	✓	De pie	Tipo 2	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	125 A	No especificada	43 kWdc	-30°C a 50°C	Cuerpo metálico antivandálico	IP55	Ethernet,W iFi, modem GPRS, OCPP	Lector Tarjeta RFID/ Autenticación por smartphone	Puntos con asistencia para su utilización
GE Industrial Solutions	DuraStation	x	x	✓	x	De pie/Instalación en pared	Tipo 2	1 o 2	230 Vac/ 400 Vac	50 Hz/60 Hz	16 A monofásico /32 A trifásico	No especificada	3,6 kW/22 kW	-30°C a 50°C	Acero inoxidable 304 con protección de poliéster	IP44, IP54	Enlace TCP/IP Ethernet, GSM, GPRS	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
Leviton	evr-green 4000	x	x	✓	x	Instalación en pared	SAE J1772	1 o 2	208 Vac/ 240 Vac	60 Hz	32 A monofásico	No especificada	7,2 kW	-30°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta RFID	Vía pública
Ever Drive	Everflash CHADEMO	x	x	x	✓	De pie	JEVS G105	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	80 A	55,4 kVA	No especificada	-10°C a 40°C	Acero inoxidable	IP55, IK9	Ethernet. Opcional Modem GSM/GPRS y/o protocolo OCPP	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
Ever Drive	Everflash	x	x	x	✓	De pie	YAZAKI	1	400 Vac	50 Hz/60 Hz	80 A	55,4 kVA	No especificada	-10°C a 40°C	No especificado	IP54	Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
Ever Drive	Everflash CCS	x	x	x	✓	De pie	Combo-2	2	400 Vac	50 Hz/60 Hz	80 A	55,4 kVA	No especificada	-10°C a 40°C	Acero inoxidable	IP55, IK9	Ethernet. Opcional Modem GSM/GPRS y/o protocolo OCPP	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
Charge Point	CT4000	x	x	✓	x	De pie	SAE J1772	2	208 Vac/240 Vac	60 Hz	30 A x2	No especificada	7,2 kW	-30°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693, ISO 14443, NFC	Vía pública
Charge Point	CPF25	x	x	✓	x	De pie	SAE J1772	2	208 Vac/240 Vac	60 Hz	32	No especificada	7,7 kW	-30°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693, ISO 14443, NFC	Vía pública
Charge Point	CT2020	x	x	✓	x	De pie	SAE J1772	2	208 Vac/240 Vac	60 Hz	30 A x2	No especificada	7,2 kW	-30°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693, ISO 14443, NFC	Vía pública
Charge Point	CT2000	x	x	✓	x	De pie	SAE J1772	1	208 Vac/240 Vac	60 Hz	30 A	No especificada	7,2 kW	-30°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693, ISO 14443, NFC	Vía pública
Charge Point	CT2100	x	x	✓	x	De pie	SAE J1772	1	208 Vac/240 Vac	60 Hz	30 A	No especificada	7,2 kW	-30°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693	Vía pública

Fabricante	Modelo	Modo de Carga				Formato	Conector	Número de Conectores	Tensión	Frecuencia	Corriente	Potencia de Entrada	Potencia de Salida	Temperatura	Material	Protección	Transmisión de datos	Identificador de Usuario	Lugar de Uso Preferente
		1	2	3	4														
Charge Point	CPE100	x	x	✓	x	Instalación en pared	SAE J1772	1	400 Vac/408 Vac	60 Hz	32 A	No especificada	26,6 kW	-10°C a 40°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693, ISO 14443, NFC	Residencial, parqueadero
Charge Point	CPE200	x	x	x	✓	De pie	SAE J1772	2	480 Vac	50 Hz/60 Hz	63 A	No especificada	52 kW	-35°C a 50°C	No especificado	No especificada	3G GSM, 3G CDMA	Lector Tarjeta ISO 15693, ISO 14443	Puntos con asistencia para su utilización
ABB	Terra 53 CJ	x	x	x	✓	De pie	CHAdeMO	2	480 Vac	60 Hz	75 A	No especificada	60 kVA	-35°C a 50°C	No especificado	Tipo 3R	Modem GSM (2G/3G) 10/100 Base-T Ethernet	Lector Tarjeta RFID	Puntos con asistencia para su utilización
Tesla	Supercharger	x	x	x	✓	De pie	SAE J1772	1	110 Vac/240 Vac	60 Hz	40 A	No especificada	10 kW	No especificada	No especificado	No especificada	No especificado	No especificado	Vía pública

Fuente: Los datos y cifras presentados fueron obtenidos de los catálogos de los fabricantes de estos sistemas de recarga. La última revisión de la información se realizó el 12 de agosto de 2016.

## ANEXO E. ALGORITMO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE VEHÍCULOS Y EL TIEMPO DE RECARGA

El algoritmo para determinar el número de VE que pueden ser atendidos en un punto de recarga y el tiempo requerido por cada uno, se implementó en MATLAB.

```
% ALGORITMO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE ESPACIOS Y EL TIEMPO
DE RECARGA DE VE

%Datos de entrada
N=10;% Número de espacios proyectados inicialmente
E=100;% [kWh] Energía de la red
L=25.25;% (Lambda) [VE/h] Tasa de distribución
RoC=0.219*69;% [kWh] Request of
Charge=Consumo[kWh/km]*Autonomía[km]
u=E/RoC;% Tasa de servicio

% Cálculo de las probabilidades de estado del proceso
for k=1:N-1% Cálculo de valores Lambda desde estado 0 hasta
N-1
lambda(1)=N*L;
lambda(k+1)=(N-k)*L;
endfor

P(2)=lambda(1)/u;% Probabilidad para estado 1
for k=2:N% Probabilidad para los demás estados
P(k+1)=lambda(k)*P(k)/((k)*u);
endfor

P(1)=1/(1+sum(P));% Probabilidad para estado 0
for k=2:N+1% Cálculo del número de VE en el punto
M(k-1)=(k-1)*P(k)*P(1);
```

```

endfor

suma2=sum(M);% Valor promedio de VE en la zona de las
estaciones de carga

for k=1:N-1% Cálculo del tiempo de recarga
Lc(1)=lambda(1)*P(1);
Lc(k+1)=lambda(k+1)*P(k+1)*P(1);
endfor

suma3=sum(Lc);% Tasa acumulada de RoC

% Resultados

fprintf('Valor promedio de VE en la zona de las estaciones de
carga: ')

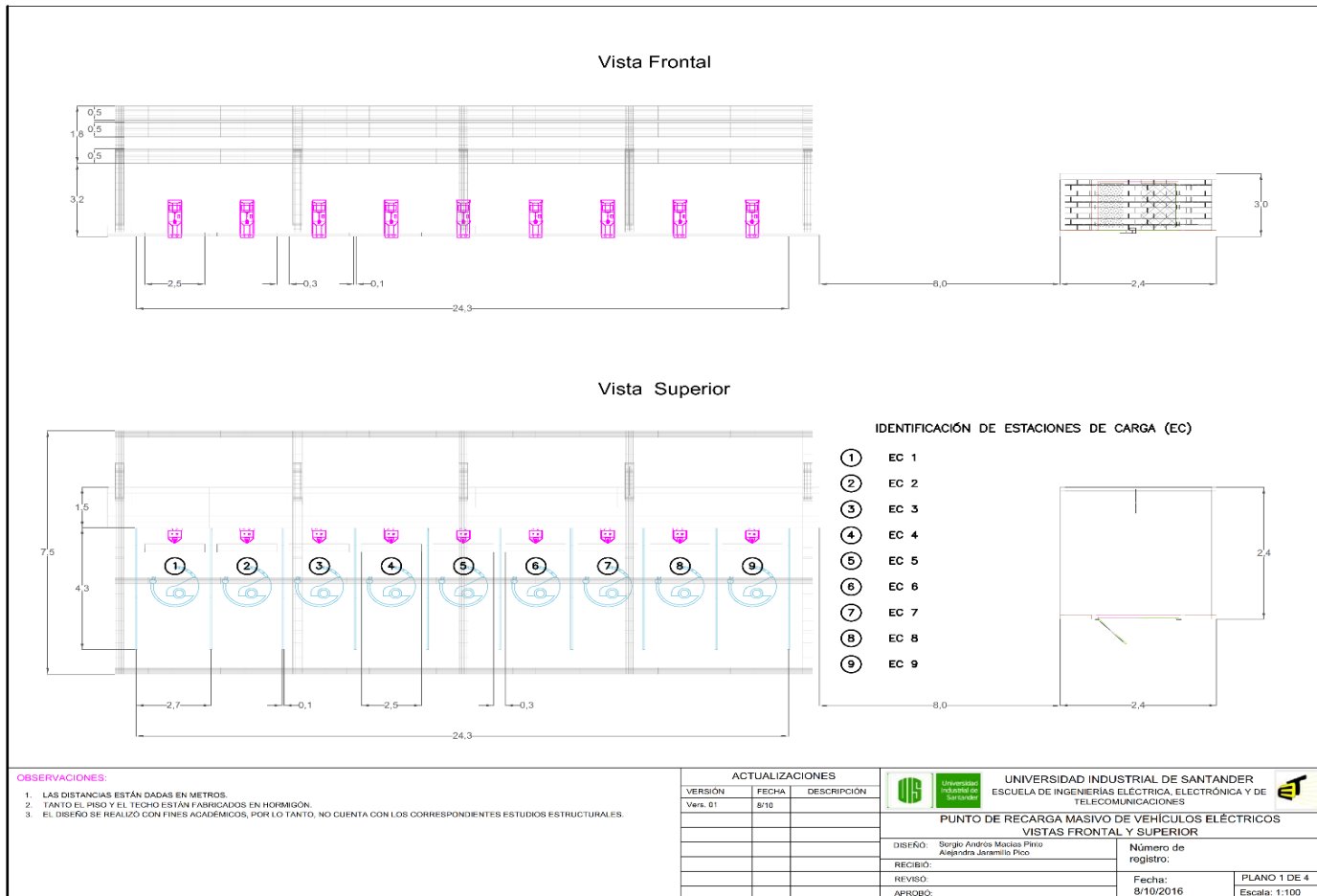
N_VE=suma2% Valor promedio de VE en la zona de las estaciones
de carga

fprintf('Tiempo promedio que un VE permanece en la estacion:
')

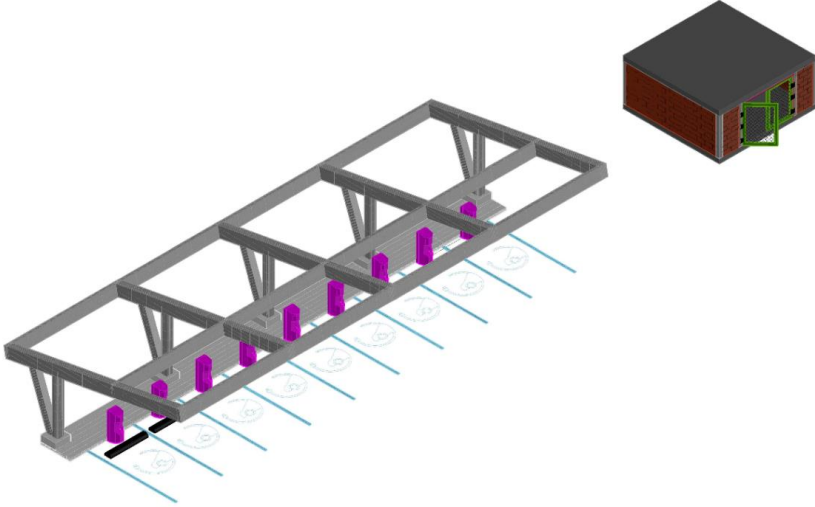
t=60*suma2/suma3 % [min] Tiempo promedio que un VE permanece
en la estación

```

## ANEXO F. VISTAS SUPERIOR Y LATERAL DEL PUNTO DE RECARGA. CASO DE ESTUDIO





# ANEXO G. VISTA ISOMÉTRICA DEL PUNTO DE RECARGA. CASO DE ESTUDIO



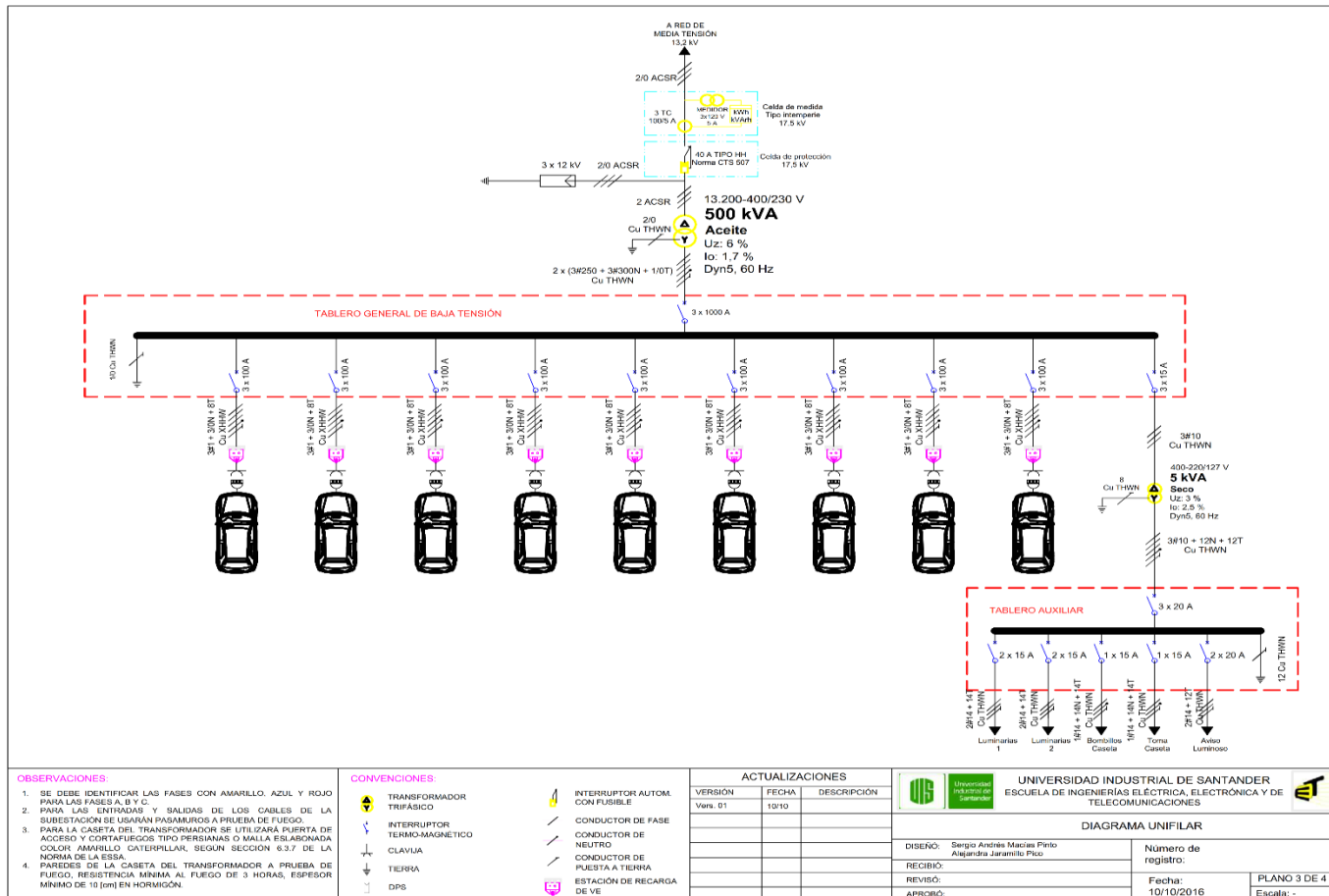
**OBSERVACIONES:**

1. LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN METROS.
2. TANTO EL PISO Y EL TECHO ESTÁN FABRICADOS EN HORMIGÓN.
3. EL DISEÑO SE REALIZÓ CON FINES ACADÉMICOS, POR LO TANTO, NO CUENTA CON LOS CORRESPONDIENTES ESTUDIOS ESTRUCTURALES.

ACTUALIZACIONES		
VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
Vers. 01	8/10	

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y DE TELECOMUNICACIONES		PUNTO DE RECARGA MASIVO DE VEHICULOS ELÉCTRICOS VISTA ISOMÉTRICA	
		DISEÑO: Sergio Andrés Malías Pardo Alejandro Jaramillo Pizarro	Número de registro:
RECIBIDO:	FECHA: 8/10/2016	PLANO 2 DE 4 Escala: 1:100	
APROBADO:			

# ANEXO H. DIAGRAMA UNIFILAR DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL CASO DE ESTUDIO



## ANEXO I. PLANO DE PLANTA. REDES ELÉCTRICAS DEL CASO DE ESTUDIO

