

**CARACTERIZACIÓN DE CARGAS RESIDENCIALES ESPECIALES: EL
VEHÍCULO ELÉCTRICO**

**JAVIER ALEXI NIÑO LÓPEZ
DUBÁN GABRIEL PEDRAZA VELANDIA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

CARACTERIZACIÓN DE CARGAS RESIDENCIALES ESPECIALES: EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Electrónico

**JAVIER ALEXI NIÑO LÓPEZ
DUBÁN GABRIEL PEDRAZA VELANDIA**

**Director:
MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL
Ingeniero Electricista, MS.c**

**Codirector:
GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Ingeniero Electricista, Ph.D**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

DEDICATORIA

A mis padres Luz Rocio López Rodríguez y William Javier Niño Lesmes agradezco con todo mi corazón por todos sus esfuerzos y sacrificios que han tenido que hacer en el transcurso de mi vida para poderme brindar un mejor futuro, por su comprensión y paciencia en esta etapa de mi vida, por sus consejos, por darme la mano cuando lo necesitaba, gracias les doy a ellos porque sin su apoyo nada de esto se hubiera dado es por eso que este nuevo logro en mi vida va dedicado a ustedes especialmente.

A mis abuelitas María del Carmen Lesmes y Rosalba Rodríguez quienes con su amor incondicional y apoyo también formaron parte de este logro, porque siempre creyeron en mí al igual que mis padres, a ellas quienes me hubiera gustado que estuvieran presente en estos momentos, aunque no estén en cuerpo su recuerdo vivirá siempre en mi mente y mi corazón.

A mis hermanos William Daniel Niño López y Karen Rocio Niño López quienes estuvieron presentes y gracias a su apoyo y comprensión formaron parte de esta nueva etapa de mi vida.

A mis tíos paternos Agustín Niño, Rudy Niño y Daniel Niño por su apoyo y por su confianza que tuvieron en mí.

A mis familiares quienes estuvieron al tanto en el transcurso de mi carrera.

A mi compañero de tesis Duban Gabriel Pedraza Velandia quien gracias a su amistad incondicional, dedicación, sabiduría y perseverancia fue una persona muy importante en el transcurso de la carrera.

A mis compañeros y amigos que durante el transcurso de esta etapa conocí y estuvieron conmigo en los momentos difíciles como un apoyo para no desfallecer, gracias por su apoyo y consejos.

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones por dame la oportunidad de formar parte de ellas.

¡Gracias!

JAVIER ALEXI NIÑO LOPEZ

DEDICATORIA

A mis padres, Alba Clementina Velandia Rincón y Jairo Antonio Pedraza León, por estar siempre presentes en los pasos que he dado para cumplir mis sueños, por la comprensión que han tenido y por todo su esfuerzo para brindarme lo mejor, han sido el mejor ejemplo a seguir.

A mis hermanos, Jhon Jairo y Jeison Ricardo, que siempre han estado en las adversidades y con su apoyo me han dado la fuerza para salir adelante, y lograr las metas que me he propuesto.

A mi tío Víctor Gabriel Pedraza, que ha sido un ejemplo para alcanzar mis objetivos en la vida, agradezco su apoyo incondicional que aunque desde la distancia siempre ha estado ahí.

A mis abuelitas Alicia León y Clementina Rincón, por brindarme su confianza y apoyo en todo momento, por guiarme y hacer de mi la persona que soy.

A mi abuelito Gabriel Pedraza, que aunque hoy no esté con nosotros, siempre estará en mi corazón, fue el mejor abuelo que la vida me pudo dar, es el mejor ejemplo que he tenido, siempre me apoyó en todo, muchas gracias por haberme enseñado tantas cosas.

A Sandra Patricia Montoya, que con su confianza, amor y tiempo, siempre me ha apoyado en los momentos más difíciles.

A todos mis compañeros y amigos, que durante la carrera estuvieron y compartieron momentos buenos y malos, me apoyaron para no desfallecer en esas situaciones en las que pensé que no podía.

A la Universidad Industrial de Santander, por darme la oportunidad de formarme en su interior, y en especial a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, que abrió sus puertas para formarme y brindarme el conocimiento necesario junto con los profesores que pusieron el mejor esfuerzo para enseñarme.

Siempre han sido un apoyo y esto es el fruto de todos.

Muchas Gracias

Dubán Gabriel Pedraza Velandia

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este documento agradecen a todas las personas que estuvieron involucradas en el desarrollo del mismo, dando reconocimiento especial al director del proyecto Manuel José Ortiz Rangel y al codirector del proyecto Gabriel Ordóñez Plata quien junto con el grupo de investigación en sistemas eléctricos (GISEL) de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), estuvieron al tanto con sus asesorías y sugerencias.

Un agradecimiento especial a la Electrificadora de Santander S.A. (ESSA) por la información suministrada sobre consumos diarios de usuarios residenciales, ya que fueron base de la investigación sobre caracterización de cargas residenciales especiales: el vehículo eléctrico.

Tabla de contenido

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO	24
2. JUSTIFICACIÓN	25
3. OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVO GENERAL	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4. MARCO TEÓRICO	28
4.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (VE)	28
4.2 ANTECEDENTES DEL VE	30
4.3 TIPOS DE CARGA	33
4.4 MODOS DE CARGA	35
4.5 TIPOS DE CONECTORES	37
4.6 TIPOS DE CARGADORES	44
4.6.1 En A.C. sin caja de control (modo 1)	44
4.6.2 En A.C. con caja de control (modo2)	45
4.6.3 En A.C. a través de una estación de carga (modo 3)	46
4.6.4 En C.C. (modo 4) Electrolinera	48
4.6.5 Cargador V2G o V2H	49
4.7 BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	52
4.7.1 Fundamentos básicos de una batería	52
4.7.2 Posibles materiales para baterías de vehículos eléctricos	53
4.8 FRENADO REGENERATIVO ELÉCTRICO	55
4.9 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	56
4.9.1 Normalización	57
4.9.2 La comunicación entre el VE-infraestructura de recarga y la gestión de la demanda	58
5. PERFILES DE CONSUMO Y DATOS DE CONSUMO	61

6. BASE DE DATOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	67
6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	67
6.2 ACOMETIDAS.....	73
6.3 ALGORITMO DE LA HOJA DE CÁLCULO	76
7. ANÁLISIS DEL VE COMO CARGA Y FUENTE	80
7.1 ANÁLISIS DEL VE COMO CARGA	80
7.1.1 Categoría de los deportivos en estrato 5.....	80
7.1.2 Categoría de los Sedán en estrato 5.	84
7.1.3 Categoría de Vehículos pequeños en estrato 5.....	91
7.1.4 Categoría de los utilitarios en estrato 5.	98
7.1.5 Categoría de los deportivos en estrato 6.....	102
7.1.6 Categoría de los Sedán en estrato 6:	103
7.1.7 Categoría de Vehículos pequeños en estrato 6.....	104
7.1.8 Categoría de los Utilitarios en estrato 6.....	105
7.2 ANÁLISIS DEL VE COMO FUENTE	106
7.2.1 Categoría de los deportivos.....	107
7.2.2 Categoría de los Sedán en estrato 6.	108
7.2.3 Categoría de Vehículos pequeños en estrato 6.....	109
7.2.4 Categoría de los Utilitarios en estrato 5.....	110
8. COMPARACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO CON EL VEHÍCULO CONVENCIONAL	112
8.1 RENAULT FLUENCE ZE VS RENAULT FLUENCE CONVENCIONAL.....	112
9. CONCLUSIONES.....	119
10. OBSERVACIONES.....	121
11. RECOMENDACIONES.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXOS.....	131

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Tipos de carga para vehículos eléctricos.	35
Tabla 2: Datos de la demanda promedio hora de los estratos residenciales de la ESSA.	61
Tabla 3: Promedio mensual de consumo de energía eléctrica de usuarios residenciales de la ESSA 2014.	65
Tabla 4: Promedio diario de consumo de energía eléctrica de usuarios residenciales de la ESSA 2014.	65
Tabla 5: Marca y modelo de los vehículos eléctricos comerciales.	68
Tabla 6: Vehículos eléctricos comerciales.	69
Tabla 7: Relación del tipo de acometida con tensión eléctrica.	73
Tabla 8: Relación del calibre de los conductores y su capacidad de corriente	74
Tabla 9: Características del Renault Fluence en los distintos tipos de motor.	113
Tabla 10: Precios del Renault Fluence en España.	117
Tabla 11: Costos de combustibles a 10 años del VE vs VC.	118

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Modos de Carga para los Vehículos Eléctricos.	37
Figura 2: Conector eléctrico doméstico Americano, Tipo B, NEMA 5.	38
Figura 3: Conector eléctrico doméstico Europeo, Tipo F CEE 7/4, Schuko.	39
Figura 4: Conector SAE J1772 o tipo 1.	39
Figura 5: Conector Mennekes o tipo 2.	40
Figura 6: Conector Combinado o CCS.	41
Figura 7: Conector Scame o Tipo 3.	41
Figura 8: Conector CHAdeMO.	42
Figura 9: Conectores permitidos para recarga de vehículos eléctricos según normas internacionales.	43
Figura 10: Cargador sin caja de control utilizado para Modo 1.	45
Figura 11: Cargador móvil, con caja de control utilizado para modo 2.	45
Figura 12: Cargador para modo 2, Permite seleccionar la intensidad de corriente.	46
Figura 13: Cargador utilizado para modo 3, Cable con conectores especiales. ...	47
Figura 14: Cargador tipo “Wall Box” para modo 3.	47
Figura 15: Cargador (electrolinera) utilizado para modo 4.	48
Figura 16: Cargador V2H, LEAF TO HOME.	50
Figura 17: VE como Fuente en una vivienda.	51
Figura 18: Interacción del VE con el sistema eléctrico.	51

Figura 19: Funcionamiento de una batería (carga y descarga).	52
Figura 20: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 1 y 2. ..	62
Figura 21: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 3.	62
Figura 22: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 4.	63
Figura 23: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 5.	63
Figura 24: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 6.	64
Figura 25: Diagrama de flujo del algoritmo del aplicativo.....	77
Figura 26: Aplicativo en Excel para caracterización de VE en sistemas eléctricos residenciales.....	79
Figura 27: Tesla Modelo S.....	81
Figura 28: Grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5 y cargador 1,4 [kW].....	82
Figura 29: grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5 y cargador 5,8 [kW].....	83
Figura 30: Grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5, AWG 6 y cargador 5,8 [kW].....	83
Figura 31: Grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5, AWG 8, Trifásico tetrafilar y cargador 5,8 [kW]	84
Figura 32: Ventas del vehículo eléctrico durante el año 2013.	85
Figura 33: Nissan Leaf.....	86
Figura 34: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5 y cargador 2,2 [kW].	86
Figura 35: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5, cargador 2,2 [kW] y horario de carga de 11 horas.	87
Figura 36: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5, cargador 6,6 [kW] y horario de carga de 6 horas.	88

Figura 37: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5, cargador 6,6 [kW] y horario de carga de 4 horas.....	88
Figura 38: Renault ZOE.....	89
Figura 39: Perfiles para el Renault Zoe, en estrato 5 y cargador 2,3 [kW].....	89
Figura 40: Perfiles para el Renault Zoe, en estrato 5, cargador 2,3 [kW] y horario de carga de 11 horas.....	90
Figura 41: Perfiles para el Renault Zoe, en estrato 5, cargador 3 [kW] y horario de carga de 8 horas.....	91
Figura 42: Mitsubishi I-Miev.....	92
Figura 43: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 5 y cargador 2,3 [kW]. ...	92
Figura 44: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 5 y cargador 3,5[kW].	93
Figura 45: Smart Fortwo Ed.....	94
Figura 46: Perfiles para el Smart Fortwo ED, en estrato 5 y cargador 2,6 [kW]....	95
Figura 47: Renault Twizy.....	96
Figura 48: Perfiles para el Renault Twizy, en estrato 5.....	97
Figura 49: Perfiles para el Renault Twizy, en estrato 5 y horario de 4 horas.....	97
Figura 50: Citroën Berlingo Electric.....	98
Figura 51: Perfiles para el Citroën Berlingo, en estrato 5 y horario de 8 horas.....	99
Figura 52: Renault Kangoo ZE	100
Figura 53: Perfiles para el Renault kangoo ZE, en estrato 5 y horario de 11 horas.....	101
Figura 54: Perfiles para el tesla modelo S, en estrato 6 y cargador 5,8 [kW].	102
Figura 55: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 6 y cargador 6,6 [kW].	103
Figura 56: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 6 y cargador 3,5 [kW]. .	104

Figura 57: Perfiles para 2 Mitsubishi I-Miev conectados secuencialmente, en estrato 6 y cargador 3,5 [kW].	105
Figura 58: Perfiles para el Renault Kangoo ZE, en estrato 6 y cargador de 3 [kW].	105
Figura 59: Perfiles para dos Renault Kangoo ZE conectados simultáneamente, en el estrato 6 y cargador de 3 [kW].	106
Figura 60: Perfiles del Tesla Modelo S para estrato 5 en modo fuente.	107
Figura 61: Perfiles del Nissan Leaf para estrato 6 en modo fuente.	108
Figura 62: Perfiles del Nissan Leaf para estrato 6 en modo fuente en 4 horas de conexión.	109
Figura 63: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 6 y modo fuente con cargador de 3,5 [kW].	110
Figura 64: Perfiles para el Citroën Berlingo en estrato 5 y modo fuente.	111
Figura 65: Comparativa del VE vs. VC.	116
Figura 66: Comparativa de eficiencia energética.	116

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Carta Solicitud ESSA - Recibido y Respuesta.	131
Anexo B: Caracterización de 78 configuraciones de vehículos eléctricos como carga para estrato 5.	131
Anexo C: Caracterización de 78 configuraciones vehículos eléctricos como carga para estrato 6.	131
Anexo D: Caracterización de 78 configuraciones vehículos eléctricos como fuente para estrato 5.	131
Anexo E: Caracterización de 78 configuraciones vehículos eléctricos como fuente para estrato 6.	131

RESUMEN

TITULO: “CARACTERIZACIÓN DE CARGAS RESIDENCIALES ESPECIALES: EL VEHÍCULO ELÉCTRICO.”*

AUTORES: JAVIER ALEXI NIÑO LÓPEZ, DUBÁN GABRIEL PEDRAZA VELANDIA**

PALABRAS CLAVES: Smart Grids, sistema eléctrico residencial, vehículo eléctrico, modos de conexión, eficiencia energética.

CONTENIDO: Este trabajo de grado estuvo orientado a la caracterización del vehículo eléctrico para su respectiva inclusión a las redes eléctricas residenciales del país. Para su realización, se recopiló información con la cual se creó una base de datos sobre los vehículos eléctricos existentes en el mercado mundial con sus principales características. Con perfiles de consumo típicos de los diferentes estratos, y los consumos suministrados por la ESSA de estratos socio-económicos existentes, se logró la elaboración de un aplicativo en Microsoft Excel 2010 en el cual se muestran gráficas de potencia máxima que soporta la acometida de la vivienda, el perfil de consumo típico del usuario, el perfil final con la inclusión del vehículo eléctrico además de datos como el tipo de cargador, modos de conexión del vehículo eléctrico ya sea como carga o como fuente, capacidad de las baterías del vehículo y una gran variedad de horarios que puede seleccionar el usuario; realizando un análisis detallado para los estratos 5 y 6 que fueron objetivo del proyecto para obtener una configuración adecuada para la capacidad energética de la residencia de cada usuario. Se realizaron comparaciones de consumo energético entre el vehículo de combustión interna y el eléctrico, donde se observó la eficiencia y se generó una comparación económica respecto al tipo de combustible que utilizaría cada uno para recorrer una misma distancia.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel. Codirector: Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: “CHARACTERIZATION OF RESIDENTIAL SPECIAL CHARGES: ELECTRIC VEHICLE”.*

AUTHORS: JAVIER ALEXI NIÑO LÓPEZ, DUBÁN GABRIEL PEDRAZA VELANDIA**

KEYWORDS: Smart Grids, Residential Electrical System , Electric Vehicle, Connection Modes, Energy Efficiency.

CONTENT: This work of degree was oriented to the characterization of the electrical vehicle for its respective inclusion to the residential electricity networks of the country. For its accomplishment, information was compiled with which a data base was created on the existing electrical vehicles in the world market with its main characteristics. With typical profiles of consumption of the different strata, and the consumptions provided by the ESSA of the different existing socioeconomic strata, the elaboration of an application in Microsoft Excel 2010 was obtained in which are graphs of maximum power that supports the rush of the home, the typical consumption profile of the user, the final profile with the inclusion of the electrical vehicle in addition to data like the type of shipper, ways of connection of the electric vehicle like load or source, capacity of the batteries of the VE and a great variety of schedules that can select the user; making an analysis detailed for the strata 5 and 6 that were objective of the project to obtain a configuration adapted for the energy capacity of the residence of each user. Comparisons between the vehicle of internal combustion and the electrical one were made, where efficiency was observed and generated a comparison of economic with respect to the type of fuel that would use each one to travel the same distance.

* Work Degree

** Faculty of Mechanical and Physical Engineerings - Electrical, Electronic School of Engineerings and Telecommunications. Director: Manuel Jose Ortiz Rangel, Codirector: Gabriel Ordoñez Plata.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de transporte es inherente a la condición humana y la evolución de las sociedades. Desde los vehículos de tracción animal hasta los modernos propulsores de combustión interna y eléctrica, la tecnología ha soportado de manera constante la dinámica del cambio y la expectativa de nuevas y más oportunas soluciones.

El uso masivo del automóvil con motor de combustión interna ha sido causa importante del cambio climático, cuyo efecto más importante es el calentamiento global ocasionado por la emisión de gases de efecto invernadero como el vapor de agua, el metano, el dióxido de carbono, etc. La explotación de los combustibles fósiles también se puede asociar al incremento del nivel de ruido, a la contaminación de las fuentes de agua, la aparición de la lluvia ácida y la contaminación del aire en los grandes centros de población y algunas áreas resguardadas.[1]

A finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX se inició la masificación de los vehículos autopropulsados, dentro de los cuales se encontraba el vehículo eléctrico, disputando un lugar en el mercado paralelamente con los vehículos con motor de combustión interna. Sin embargo, ya que los vehículos eléctricos poseían una baja potencia y por ende una autonomía menor, fueron rápidamente desplazados por los vehículos de combustión interna. Estas razones fueron las causantes del rezago debido a que no se veía en aquel tiempo ninguna solución que hiciera a los vehículos eléctricos más competitivos frente a los vehículos de combustión, aun cuando éstos eran más confiables, seguros y amigables con el medio ambiente.

A causa de la crisis del petróleo, los problemas ambientales y los avances tecnológicos que surgieron a mediados del siglo XX, resurgiendo como alternativa el uso de los vehículos eléctricos. En los años 70 se lograron avances en las tecnologías de semiconductores de potencia, lo cual generó la posibilidad de fabricar convertidores de frecuencia (inversores) y utilizar motores de corriente alterna (síncronos o de inducción), de mayor potencia específica que los motores de corriente continua. Lo cual durante la década de los 80 y 90 aparece el motor

Brushless^(*), el cual es una versión del motor síncrono, presentando un alto torque de partida y presentando una excelente respuesta dinámica. Gracias a estos avances tecnológicos el problema de potencia y densidad de potencia de los motores (kW por unidad de peso y por unidad de volumen respectivamente) de los motores de tracción, se presentaba perfeccionado. [2]

A pesar de lo anterior, el vehículo eléctrico fue un mal competidor en esa época para los vehículos con motores de combustión interna, debido principalmente al inconveniente en el almacenamiento de la energía. Esta desventaja aunque se mantiene, va disminuyendo con los avances en nuevas tecnologías (baterías de alta energía específica y celdas de combustible). Hoy en día las eficiencias totales de los sistemas de propulsión eléctrica son mayores, superando el 85%, contra un máximo de 30% para los sistemas convencionales de combustión a gasolina y un 40% para los vehículos Diésel o gasoil más modernos. Sin embargo, la densidad de energía y energía específica para los combustibles fósiles se mantienen muy por encima respecto a las baterías convencionales.[3][4]

Esto implica que, en igualdad de condiciones, la energía utilizable contenida en un tanque de combustible es varias veces mayor que un paquete de razonables dimensiones de las baterías más eficientes, lo que permite tener una mayor autonomía. Lo anterior, junto a la baja potencia de algunas baterías, y elevado costo, son los mayores obstáculos para introducir masivamente al vehículo eléctrico como medio de transporte público y privado.

En Colombia la mayor parte de energía eléctrica generada es proveniente de plantas hidroeléctricas, clasificadas como fuentes de energía limpia. Por lo tanto, un incremento en la demanda de energía eléctrica causada por el uso de vehículos eléctricos, no afectara en gran magnitud al medio ambiente y además tiene un efecto positivo en la economía del país.

Política y económicamente, es un país estable en el que es posible desarrollar una legislación alrededor de los vehículos eléctricos; además entidades gubernamentales han mostrado firmes intenciones de implementar la tecnología en el país, reflejadas en algunos incentivos hacia el sector privado.

^(*)Motor *brushless* o motor eléctrico sin escobillas: Es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Además son Motores de alta potencia que se encuentran en los vehículos eléctricos y vehículos híbridos. Estos motores son esencialmente AC motores síncronos con rotores de imanes permanentes

Finalmente, el negocio de la energía eléctrica mueve gran parte de la economía nacional y es uno de los principales focos de desarrollo en el país, por lo tanto, si hay incremento en esta actividad se podría traducir en generación de empleo y erradicación de la pobreza.

Este trabajo de grado centra principalmente su atención en los estratos 5 y 6 residenciales de la ciudad de Bucaramanga determinando la penetración y caracterización de los vehículos eléctricos que se conectaran a la red, tomando como referencia perfiles de consumo en 2014 suministrados por la ESSA (Electrificadora de Santander S.A), mediante simulación de los perfiles obtenidos y la información en fichas técnicas de consumo o almacenamiento en baterías de vehículos comercialmente disponibles en el mercado, determinando la demanda de energía eléctrica y el impacto que tendrían en la curva de consumo de un usuario residencial en los estratos mencionados anteriormente.

Esta investigación constituye un aporte inicial para la implementación, innovación y análisis de perfiles de carga residenciales con la incorporación del vehículo eléctrico a la carga del sistema eléctrico residencial, para poder contrarrestar o mitigar el impacto de este en la red eléctrica de acuerdo a perfiles identificados de usuarios. Por lo que en este estudio no solo se trabajaron los vehículos como carga sino además como fuente, se realizaron simulaciones, logrando el aplanamiento de la curva de consumo. Mediante la integración de las “Smart Grids”^{(**)(***)} y dispositivos inteligentes, estos serán capaces de retribuir a la vivienda o a la red su energía almacenada en baterías lo que reduciría picos de demanda. Además de suplir energía en caso de eventualidades como cortes no programados de suministro, o distintas anomalías del servicio que se puedan presentar en el suministro de la energía a los hogares, el vehículo ayudara a cubrir dichas eventualidades.

Otro beneficio será cuando en Colombia se implemente la modalidad de tarifa diferencial, ya que los usuarios de manera inteligente podrán programar sus vehículos en horarios cuando la energía sea económica (horarios valle) para cargar sus vehículos y cuando esta fuese más costosa poder conectar el vehículo

(**)El término “Smart Grids” apareció por primera vez en el año 2003 debido a los apagones en los E.U y Canadá; en el artículo “Reliability demands drive automation investments” por Michael T. Burr.

(***)“Smart Grid” es un sistema que permite la comunicación bidireccional entre el consumidor final de la energía, ya sea un usuario particular o una industria, y las compañías eléctricas. La información obtenida en este proceso de comunicación permite a las compañías eléctricas realizar una operación más eficiente de la red eléctrica.

como fuente para disminuir costos. Estos resultados también permitirán estudiar el impacto ambiental debido a que estos no emiten gases contaminantes durante su vida útil logrando la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, no presentan desechos como aceites, filtros, repuestos, etc., que luego podrían contaminar el medio ambiente, además de que sus baterías pueden ser recicladas en gran parte y así presentar bajas emisiones al medio ambiente.

A continuación se realiza una descripción de la organización de este documento, estableciendo los tópicos que trataran en cada uno de los capítulos del documento.

En el Capítulo 1 se presentan las ventajas de integrar los vehículos eléctricos (VE) a las redes inteligentes (“Smart Grids”), para así hacer uso de energías renovables y amigables con el medio ambiente, generando conciencia sobre la problemática de la contaminación por el uso masivo del vehículo de convencional (VC).

En el Capítulo 2 se presenta la justificación por la que se desarrolló el proyecto de investigación exponiendo beneficios que tienen la inclusión de los VE en las redes eléctricas residenciales. También se habla sobre las principales características de los VE que llevarían a la gente a tomar decisión de compra de los mismos.

En el Capítulo 3 se presenta el objetivo general y los objetivos específicos que se plantearon para el desarrollo de este trabajo de grado, se describe la metodología utilizada, con la cual se logra el alcance de los objetivos y sus diferentes etapas en el desarrollo del mismo.

Los principales conceptos técnicos relacionados con el desarrollo del proyecto se presentan en el Capítulo 4. Se abordan algunos antecedentes de los primeros VE construidos por la GM y sus posibles causas que lo llevaron a la desaparición, además de los tipos de carga, modos de carga, tipos de conectores, tipos de cargadores, baterías, características del frenado regenerativo, comunicaciones entre otros temas.

El Capítulo 5 muestra los perfiles de consumo eléctrico típicos de los diferentes estratos socioeconómicos de la norma técnica de la ESSA, además de los consumos reales suministrados por la ESSA para el desarrollo del trabajo de grado.

En el Capítulo 6 se establece la base de datos con los vehículos eléctricos existentes en el mercado mundial, clasificándolos según sus características. Otro aspecto analizado es el cálculo de la potencia máxima requeridas en las distintas

acometidas que suministran la energía eléctrica al VE. El capítulo finaliza con la descripción en un diagrama de flujo del algoritmo realizado en Microsoft Excel de un aplicativo que permite automatizar la caracterización de los VE.

Los análisis sobre la caracterización del vehículo eléctrico como carga y como fuente mediante la variación de parámetros para algunas categorías de VE, es realizado en el Capítulo 7.

En el Capítulo 8 se realiza una comparación del VE vs. VC, aportando diferencias significativas a favor y en contra, presentes en cada uno.

Finalmente en el Capítulo 9, 10 y 11 se presentan las conclusiones, observaciones y recomendaciones que los autores consideran más relevantes del desarrollo del trabajo de grado.

1. PLANTEAMIENTO

Debido al uso desmedido de los vehículos convencionales (VC) a nivel mundial, el planeta se ha venido deteriorando con el paso de los años, como consecuencia de la quema de combustibles fósiles con los cuales trabajan la mayoría de vehículos. A esta problemática se ha respondido de forma efectiva generando nuevas ideas que contrarresten o mejoren el nivel de contaminación en el que se encuentra la tierra.

Algunas de estas ideas son el uso de energías alternativas más eficientes en cuanto a optimización de actividades y costos de estas. En este trabajo de grado se analizará el vehículo eléctrico (VE) y los beneficios que este aporta no solo en la reducción de emisiones, si no en la gestión del consumo de energía del sistema eléctrico residencial, ya que puede aportar energía cuando se requiera a la vivienda de un usuario.

Otro concepto ligado a la utilización de VE es la red inteligente (“Smart Grid”), como una forma de lograr la modernización a las redes eléctricas, y con ellas la automatización de las mismas, con el fin de lograr una mejor prestación del servicio eléctrico llevándolo a la par con el avance tecnológico que día a día se viene presentando, adecuando mejor los generadores, instalando sensores de gran precisión y sensibilidad, dando uso a la inteligencia artificial y a las nuevas técnicas de monitorización y diagnóstico.

¿Qué motivó el desarrollo de redes eléctricas inteligentes? En primer lugar la eficiencia económica y energética, la confiabilidad, la seguridad energética, la sustentabilidad ambiental y el impulso a la actividad económica, lo cual lleva a la prevención de fallas, mejorar la visión operativa en centros de control, tarifas por tiempo de uso, precios en tiempo real y reducción de pérdidas entre otros.

2. JUSTIFICACIÓN

Al tener una combinación de las redes eléctricas inteligentes y el uso del vehículo eléctrico se pretende lograr un ahorro de energía, sostenibilidad, protección del medio ambiente y como método alternativo la inclusión de nuevas fuentes al sistema eléctrico en caso de grandes racionamientos de la energía eléctrica e incluso si llegase a faltar en forma permanente, al mismo tiempo es una alternativa de transporte más limpia con el medio ambiente y una oportunidad sostenible como modelo de negocio.

Un beneficio que se desea obtener con la interacción del vehículo eléctrico en las redes inteligentes es cuando en Colombia se implemente la tarifa diferencial para permitir que el usuario tenga acceso a horas donde la energía eléctrica es más económica (horas valle) para así recargar los vehículos; y que se puedan programar, logrando retribuir a la red la energía tomada en los horarios pico donde esta es más costosa; obteniendo un beneficio económico debido a que es cuando se presenta la mayor demanda de energía eléctrica.

El propósito involucra confrontar el perfil de carga típico de los usuarios de estratos 5 y 6, con el perfil de carga del vehículo eléctrico suministrado en las fichas técnicas de los distintos vehículos comercialmente disponibles, permitiendo así un análisis en el ámbito residencial, para así poder evaluar las alternativas que permitan suavizar la curva de consumo reduciendo las sobrecargas del sistema y mejorando la eficiencia del mismo, mediante el uso de dispositivos especiales los cuales se conectan y desconectan a la red de una forma inteligente o programada, generando beneficios en comparación con otro tipo de vehículos como lo son los vehículos convencionales o de combustión interna.

La motivación para la decisión de compra de un VE es dado por múltiples beneficios que traería el uso de este, aportando al cuidado del medio ambiente debido a que reduce los niveles de ruido presentes en las grandes ciudades, no emite gases de efecto invernadero a la atmosfera durante su funcionamiento, durante la generación de la energía utilizada para recargar sus baterías se puede decir que también es amigable con el medio ambiente debido a que en Colombia la mayor parte de la generación de energía eléctrica es a través de centrales hidroeléctricas y que también se complementarían el proceso de recargas mediante el uso de energías renovables y mediante el uso de paneles solares entre otros.

En cuanto a los beneficios económicos gracias a leyes que el gobierno aprobaría respaldando el uso del VE entre las que se tendría: el no pago de impuestos, no pago de peajes, parqueaderos gratuitos, no habría pico y placa. Otros beneficios que podrá tener un usuario es con la implementación de las Smart Grids y los VE;

logrando implementar el concepto de tarifa diferencial, gracias a que el VE sería conectado a la red mediante dispositivos inteligentes los cuales utilizarían los horarios valle (mencionado anteriormente) debido a que la energía eléctrica es más económica para su recarga y horarios pico en los cuales la energía sería más costosa, aprovechando el almacenamiento de energía en sus baterías para poder suministrar y cubrir las necesidades de la vivienda, además del control de sus consumos eléctricos en tiempo real; estando dispuesto a cubrir el suministro de energía a la vivienda en eventualidades o daños en la infraestructura eléctrica y en algunos casos podría vender su energía sobrante a la red eléctrica. Otro ahorro económico importante del VE frente a un VC es el precio de mantenimiento para su funcionamiento, es menor ya que este no necesita de aceites para su lubricación, requiere menos partes y el precio del kWh es mucho menor frente a los combustibles fósiles. Asimismo, si la energía utilizada para su recarga es obtenida mediante energías renovables o mediante paneles solares o mediante frenado regenerativo; sería a un más económico su funcionamiento.

El VE frente al VC sería más eficiente y posee un mejor rendimiento. Hablando de su autonomía es más baja que un VC, por lo cual es recomendable el uso del VE en zonas urbanas debido a que un usuario promedio no necesitaría más de 60 a 80 [km] para sus recorridos diarios.

Al momento de recargar un VE es afectado debido a la cantidad de horas utilizadas para ello, ya que Colombia no se cuenta con la infraestructura eléctrica necesaria para utilizar modos de carga rápida y debido a la falta de electrolineras las cuales son utilizadas para tal fin, mediante los modos de recarga rápida se podría conectar el VE en lugares específicos, mientras que el abastecimiento de combustible de un VC es más fácil y por consiguiente presenta una autonomía superior al VE. Pero el VE se puede recargar de forma lenta en parqueaderos o viviendas con un tiempo mayor.

A la hora de adquirir un VE, el costo de compra es más elevado que un VC, pero se estima que en no más de 5 años el VE recuperaría el sobre costo que se pagó inicialmente por él, debido al bajo costo para recargar sus baterías y el bajo precio de su mantenimiento.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El presente trabajo de investigación se basa en el análisis de la incidencia que tiene el uso cotidiano de un vehículo eléctrico en el perfil de la demanda de un sistema eléctrico residencial. Incluye la consideración del vehículo como fuente y como carga en función de las diversas alternativas de funcionamiento.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificación de los perfiles de suministro y de consumo de energía de un vehículo eléctrico como parte de un sistema eléctrico residencial.
- Análisis de las alternativas de funcionamiento del vehículo eléctrico.
- Estimación del perfil individual de la demanda de un usuario residencial de estrato 5 o 6 con un vehículo eléctrico de acuerdo a las diversas consideraciones de uso del sistema.

4. MARCO TEÓRICO

En este Capítulo se muestran los principales conceptos relacionados con el desarrollo del trabajo de grado como lo son: Vehículos eléctricos, tipos de carga, modos de carga, tipos de conectores, clases de baterías y sistemas de comunicación.

4.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (VE)

Los vehículos eléctricos son una invención de inicios del siglo XX por investigadores que encontraban en los sistemas de tracción eléctrica una opción para ayudar a combatir el problema de la contaminación ya que los vehículos deberán ser propulsados por una forma de energía de fácil distribución y que pueda provenir de distintas fuentes debido a que en la actualidad la mayor parte de la electricidad proviene del empleo de combustibles no renovables, que se obtiene de diversas fuentes como lo son (hidroeléctrica, termoeléctrica, entre otras). Los vehículos eléctricos son impulsados por uno o más motores eléctricos, la tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores no lineales, los motores inerciales, o aplicaciones del electromagnetismo como fuente de propulsión, como es el caso de los trenes de levitación magnética.

El uso extenso de los motores eléctricos en la vida diaria se debe a que estas máquinas convierten la energía eléctrica en energía mecánica. En la actualidad se dice que en un día una persona tiene a su servicio alrededor de 50 motores eléctricos, de aquí la importancia de estudiar a este tipo de dispositivos y mejorar sus características funcionales.[5]

A diferencia de los vehículos de combustión interna los cuales están diseñados específicamente para funcionar quemando combustible fósiles, el vehículo eléctrico obtiene la tracción mediante motores eléctricos, pero la energía puede ser proporcionada de las siguientes maneras:

- Alimentación externa del vehículo durante todo su recorrido, con un aporte constante de energía, como es común en el tren eléctrico y el trolebús (es un ómnibus eléctrico, alimentado por una red de dos cables superiores desde donde toma la energía eléctrica mediante dos astas. El trolebús no hace uso de vías especiales o rieles en la calzada, por lo que es un sistema

más flexible. Cuenta con neumáticos de caucho en vez de ruedas de acero en rieles, como los tranvías.).

- Energía proporcionada al vehículo en forma de un producto químico almacenado en el vehículo que, mediante una reacción química producida a bordo, produce la electricidad para los motores eléctricos. Ejemplo de esto es el vehículo híbrido no enchufable, o cualquier vehículo con pila de combustible.
- Energía generada a bordo usando energía nuclear, como son el submarino y el portaaviones nuclear.
- Energía generada a bordo usando energía solar generada con placas fotovoltaicas, que es un método no contaminante durante la producción eléctrica, mientras que los otros métodos descritos dependen de si la energía que consumen proviene de fuentes renovables para poder decir si son o no contaminantes.
- Energía eléctrica suministrada al vehículo cuando está detenido, que es almacenada a bordo con sistemas recargables, y que luego consumen durante su desplazamiento. Las principales formas de almacenamiento son: Energía química almacenada en las baterías como en el llamado vehículo eléctrico de batería, especialmente en baterías de litio que parece ser la tecnología más avanzada al día de hoy. Es preciso destacar las nuevas inversiones que se están haciendo en el mayor yacimiento de litio (Salar de Uyuni-Bolivia) para la fabricación de estas baterías.[6]
- Energía eléctrica almacenada en súper condensadores. Tecnología aún en fase experimental.
- Almacenamiento de energía cinética, con volante de inercia sin rozamiento. También es posible disponer de vehículos eléctricos híbridos, cuya energía proviene de múltiples fuentes, tales como:
 - Almacenamiento de energía recargable y un sistema de conexión directa permanente.
 - Almacenamiento de energía recargable y un sistema basado en la quema de combustibles, incluye la generación eléctrica con un

motor de explosión y la propulsión mixta con motor eléctrico y de combustión.

Los vehículos eléctricos cumplen funciones como el de transporte de pasajeros, también son utilizados para transporte de mercancías entre otras, posee una alta eficiencia respecto a los vehículos de combustión, son de fácil conducción y son amigables con el medio ambiente debido a que no emiten gases contaminantes a la atmosfera, contribuyen con la disminución del ruido entre otros beneficios.

4.2 ANTECEDENTES DEL VE

A continuación se realiza una descripción del desarrollo de los vehículos eléctricos.

➤ Internacional

Uno de los primeros VE modernos fueron producidos por la General Motors (GM), uno de los mayores fabricantes de automóviles del mundo. El primer vehículo de propulsión eléctrica fue lanzado en los Estados Unidos, lanzado al mercado en 1996 con el nombre de EV1 inicialmente en California y Arizona bajo el modo de arrendamiento. Con restricciones que el EV1 y el arrendatario eran parte de un estudio de ingeniería en condiciones de uso real, creada por el Grupo de Vehículos de Tecnología Avanzada de la GM, así como parte de un análisis de mercado y estudio de la factibilidad de producción y mercadeo de un vehículo eléctrico de pasajeros para ciertos mercados estadounidenses seleccionados.[7]

La concentración del EV1 en el estado de California se debió a la ley sobre el vehículo de cero emisiones que el estado estableció en 1990, el cual obligaba a los fabricantes de automóviles a producir modelos que cumplieran con la ley.

Este vehículo (EV1) adquirió una aceptación positiva por parte de los clientes, GM concluyó que los vehículos eléctricos ocupaban un espacio en el mercado que no era rentable, Su producción se interrumpió en 1999, y todos los vehículos en uso fueron retirados del mercado por GM entre 2003 y 2004.[8]. La mayoría de los 1 117 fabricados fueron destruidos siendo algunos de estos donados a museos y otra parte terminaron destruidos aun en contra de sus clientes. Generando alianzas con grandes fabricantes de vehículos llevándolos a juzgados a litigar

contra la regulación de la CARB (California Air Resources Board). El resultado fue una regulación no indicada sobre los vehículos de cero emisiones (ZEV), permitiendo a los fabricantes producir vehículos de emisiones muy bajas, vehículos a gas natural y vehículos híbridos en lugar de los eléctricos puros. A los arrendatarios no se les permitió la opción de compra de sus vehículos. GM argumentó que lo hizo porque tenía que cumplir normativas relativas a mantenimiento, recambios y responsabilidad civil, acusando a GM de auto sabotaje para evitar potenciales pérdidas en las ventas de repuestos (forzadas por las regulaciones del gobierno que obliga a disponer de repuestos durante un número de años). También fueron acusadas las petroleras de conspirar para sacar de las carreteras a los vehículos eléctricos. Como resultado de la destrucción de la mayoría de los EV1, los pocos que quedan intactos son los vehículos más raros de los años 90.[9]

➤ Nacional

Bogotá, Medellín y Cali fueron las primeras ciudades de Latinoamérica en tener en sus calles el 'i-MiEV', un carro 100 % eléctrico de la marca Mitsubishi. No son prototipos, son vehículos probados que demostraron que funcionan y que están listos para usarse en el país. Estos VE entraron el 31 de Diciembre del 2012 con cero arancel, un beneficio por parte del Gobierno nacional para incentivar el uso de vehículos con cero emisiones en el país.[10]

En total fueron 30 vehículos que adquirieron empresas que proveen servicios de energía eléctrica en estas tres ciudades. Codensa (Bogotá) se quedó con 15 modelos; Empresas Públicas de Medellín (EPM) con 10; y la Empresa de Energía del Pacífico (Epsa) con cinco.[10]

El precio de las primeras unidades que se vendieron del i-MiEV fue de 90 millones de pesos. Aunque la cifra podría ser astronómica para la mayoría de bolsillos colombianos, Patricio Stocker (gerente General de Motorysa) sostiene que el ahorro en el uso del vehículo puede ser hasta de un 70 por ciento, si se compara lo que gastan otros vehículos en gasolina a lo que se tendría que invertir en energía.[10]

Lo que tiene a los japoneses con sus ojos en Colombia, es que más del 70 por ciento de la producción de energía del país la hacen las hidroeléctricas. Es decir,

es energía limpia que sale del agua, lo que hace doblemente amigable con el medio ambiente el uso de carros eléctricos.[10]

Sin embargo, para Oshimoto (gerente del departamento de promoción del vehículo eléctrico de Mitsubishi Motors) es clave que el Gobierno colombiano genere incentivos para que las personas prefieran un vehículo eléctrico a uno que funciona con combustibles fósiles. A esto se suma, la inversión en infraestructura que se necesita para crear los puntos de carga, y para que los autos no sucumban en los huecos de las vías.[10]

Otro hecho importante fue en marzo de 2013 cuando empezaron a operar los primeros taxis eléctricos BYD de una flota de 50 en Bogotá. Codensa anunció 35 puntos de recarga en tres puntos cardinales donde se podrían cargar hasta 11 vehículos al mismo tiempo mediante estaciones que brindo el mismo fabricante chino de los carros, BYD. En estas estaciones, se adecuaron en parqueaderos de las empresas de taxis los carros realizan en 2 horas hasta el 80 por ciento de la carga al final de cada jornada y se disponen de una jornada 'rápida' al medio día para el 20 por ciento faltante.[11]

La flota de 50 taxis eléctricos de esta marca, representada en el país por Praco Didacol, está prestando el servicio público de transporte de pasajeros en la capital desde de marzo del 2013 como parte de un plan piloto con el que se estudia la viabilidad del uso de este tipo de movilización. De esta forma, Bogotá se convirtió en la segunda ciudad latinoamericana, después de México, con el mayor número de taxis eléctricos.

El costo de este vehículo fue de 48 mil dólares (poco más de 86 millones de pesos) pero a diferencia de los taxis convencionales no se pagó por el 'cupó' ya que hicieron parte de un proyecto piloto que tendrá una duración de 5 años.

La autonomía de estos vehículos está por encima de los 250 kilómetros diarios que será suficiente para los recorridos que realizan y que en promedio están entre los 300 y 350 km. Este faltante se completaría con la recarga suplementaria al medio día.

Sin embargo, se monitorean mediante telegestión por Codensa para comprobar la efectividad de las cargas, los desplazamientos y los desempeños durante el tiempo de duración del proyecto.

Según los representantes el ahorro en materia de combustible para este tipo de carros está en el orden de los 12 millones, pues al año estarán pagando 6 millones

en consumo energético, mientras que un modelo de la misma configuración y motor a combustión tiene una factura de 18 millones de pesos.

También se ahorrarían unas emisiones de 1 088 toneladas al año y se espera que cada carro acumule un recorrido de 109 mil kilómetros en el mismo periodo.

En cualquier caso, esta incursión, que estuvo apoyada por el Gobierno Nacional y la Alcaldía de Bogotá dio el primer paso concreto en materia de movilidad sostenible y pone a Bogotá a la altura de grandes capitales del mundo que también ponen el “tester” para comprobar cuánta carga positiva marcan los carros eléctricos.

4.3 TIPOS DE CARGA

Los tipos de recarga se conocen comúnmente como carga rápida, semi-rápida o lenta. La rapidez de la recarga se obtiene según el tipo de corriente eléctrica, ya sea corriente alterna (A.C.) o corriente continua (C.C.); permitiendo generar distintos niveles de tensión, corriente y a su vez potencia.[12]

La implementación de una infraestructura de mayor potencia permite una mayor rapidez en la recarga de la batería del vehículo reduciendo el tiempo de la misma.

Teniendo en cuenta la sección 625-4 de la NTC-2050, las tensiones de operación de los equipos para sistemas de carga de vehículos eléctricos Si no se especifica otra cosa, los equipos se deben alimentar desde sistemas de C.A. con tensión nominal de 120,120/240, 208Y/120, 240,480Y/277, 480, 600Y/347 o 600V.[13]

- **Carga lenta:**

Este tipo de cargas emplean intensidades y tensiones eléctricas del mismo nivel que la propia vivienda, es decir, 16 A y 240 V. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 3,7 kW; ó si es de 120 V y 12 A generando una potencia de 1,5 kW.

Con este nivel de potencia, el proceso de carga de la batería tarda en promedio 8 horas. Esta solución es recomendable para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje de una vivienda o garaje comunitario, logrando que el vehículo eléctrico sea una realidad, además de tener en cuenta el sistema eléctrico actual y desde el punto de vista de eficiencia energética, ya que es cuando menos demanda energética existe.[12]

- **RECARGA SEMI-RÁPIDA:**

La carga semi-rápida emplea alrededor de 32 amperios de intensidad y 240 V. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 7,7kW.

Con este nivel de potencia, el proceso de carga de la batería tarda alrededor de unas 4 horas. Esta forma, permite recargar el vehículo eléctrico durante la noche o el día en un garaje de una vivienda o garaje comunitario.[12]

- **RECARGA RÁPIDA:**

El tipo de carga más adecuada es la recarga rápida, que supone que en 15 minutos se puede cargar el 65% de la batería o un 80% en 30min.

La carga rápida emplea una mayor intensidad de corriente y, además, entrega la energía en corriente continua, logrando obtener una potencia de salida del orden de 60 – 150 kW.[12]

Esta forma de recarga es la que, se asemeja a los hábitos actuales de los usuarios, comparado con un vehículo de combustión.

Las exigencias a nivel eléctrico son mayores que en la recarga lenta. Lo que puede implicar la necesidad de adecuación de la red eléctrica existente.

En la **Tabla 1** se muestra un resumen de los tipos de carga para los vehículos eléctricos que se utilizan, acorde a la infraestructura eléctrica colombiana.

Tabla 1: Tipos de carga para vehículos eléctricos.

Tipo de carga	Punto de carga	Potencia de carga [kW]	Tensión [V]	Corriente [A]	Tipo de corriente eléctrica	Tiempo de carga [h]
Carga lenta	Residencial	Máximo 2	120	12	AC	6 - 8
Carga semi-rápida	Residencial Parqueadero público o privado	Máximo 20	208 - 240	32	AC	2 - 4
Carga rápida	Estaciones de recarga o electrolineras	Máximo 80	Hasta 600	Hasta 200	DC	15 min 30min

Fuente: CIRCUTOR, Recarga inteligente de vehículos eléctricos¹

4.4 MODOS DE CARGA

El modo de carga depende del nivel de comunicación entre infraestructura de recarga y vehículo eléctrico (VE). Los modos con numeración más alta corresponden, en términos generales, a infraestructuras con un nivel de protocolos de comunicación más elevados. El protocolo de comunicación

¹ Tomado de la página web: http://circutor.com/docs/CA_V_SP.pdf

impacta en el nivel de control del proceso de carga entre infraestructura de recarga y vehículo eléctrico.[12]

Los modos de carga para los vehículos eléctricos se clasifican según la IEC 61851, y establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).[14]

En la **Figura 1** se muestra los modos de carga para los vehículos eléctricos.

- Modo 1:

La conexión del VE a la red eléctrica se realiza directamente por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico, No existe comunicación entre el vehículo y la fuente de corriente, con una puesta a tierra incorporada además de un interruptor automático de corriente residual. Tanto el cargador, el sistema de control y el cable hacen parte del vehículo.[14]

- Modo 2:

La conexión del VE a la red eléctrica se realiza por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico a través de un monitor de recarga, Recomendado para carga doméstica y utilización esporádica o de emergencia por lo que también puede ser una estación de carga portátil que puede tener incorporado o no el cable de recarga. La carga se limita a 10 A.[14]

- Modo 3:

La conexión del VE a la red eléctrica se realiza a través de una base con tomacorrientes especiales que se alimenta desde un circuito dedicado.[14]

Ofrece control y comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico, es necesario utilizar un cable adicional entre el tomacorriente y el vehículo. Este modo garantiza una mayor seguridad y un mejor funcionamiento. El sistema de monitoreo de la recarga está incorporado a la base.

- Modo 4:

A diferencia de los tres anteriores, este es el caso típico de estaciones de carga. La conexión del VE a la red eléctrica se realiza en corriente continua, en tiempo corto. El cargador se encuentra fijo y tiene las funciones de monitoreo de recarga y protección, este modo de carga es utilizado en para carga rápida.[14]

Figura 1: Modos de Carga para los Vehículos Eléctricos.



Fuente: Artículos técnicos, recarga vehículos eléctricos.² (Modificada por los autores).

4.5 TIPOS DE CONECTORES

Los tipos de conectores para los VE, aún no están estandarizados a nivel mundial, debido a que existe una gran variedad de enchufes, con diferente tamaño y características.

² Tomada de la página Web : <http://www.recargacoheselectricos.com/page/5/?s=tipos+de+recarga>

En Colombia estos conectores deben cumplir los apartados de la norma técnica Colombiana NTC 2050 de la sección 625, especialmente el numeral 625-9 que se refiere a los Conectores para los VE.[13]

- Conector doméstico:
 - Tipo **schuko**, responde al estándar CEE 7/4 Tipo F y es compatible con las tomas de corriente Europeas (ver **Figura 3**). Tiene dos bornes y toma de tierra y soporta corrientes de hasta 16 A y tensiones de 220V, solo para recarga lenta y sin comunicación integrada. Se encuentra en múltiples electrodomésticos.
 - El conector que responde al estándar NEMA 5 tipo B (ver **Figura 2**), compatible con corrientes Americanas; Tiene dos bornes y toma de tierra y soporta corrientes de hasta 15 A y tensiones de 120V, solo para recarga lenta y sin comunicación integrada.

Figura 2: Conector eléctrico doméstico Americano, Tipo B, NEMA 5.



Fuente: Datos de interes, Myanmar.³ (Modificada por los autores).

³ Tomada de la página Web: <http://www.tierrasinsolitas.com/2013/05/myanmar-nos-vemos-en-2013/>

Figura 3: Conector eléctrico doméstico Europeo, Tipo F CEE 7/4, Schuko.



Fuente: Datos de interes, Myanmar.³ (Modificada por los autores).

- **SAE J1772 o Tipo 1:** A veces conocido como Yazaki. Es el conector estándar en USA, y es específico para vehículos eléctricos. Mide 43 mm de diámetro. Tiene cinco bornes, los dos de corriente, el de tierra, y dos complementarios, de detección de proximidad (el vehículo, no se puede mover mientras esté enchufado) y de control (comunicación con la red), se utiliza hasta 16 A para recarga lenta o hasta 80 A para recarga rápida (ver **Figura 4**).

Figura 4: Conector SAE J1772 o tipo 1.



Fuente: Electric carstations, Electric Vehicle Chargers...⁴

⁴ Tomada de la página web: <http://electric.carstations.com/wp-content/uploads/sae-j1772-2009.jpg>

- **Mennekes o Tipo 2:** Es un conector alemán de tipo industrial, VDE-AR-E 2623-2-2, previamente no específico para vehículos eléctricos. Mide 55 mm de diámetro. Tiene siete bornes, los cuatro para corriente (trifásica), el de tierra y dos para comunicaciones, se utiliza en Monofásico, hasta 16 A para recarga lenta y en Trifásico, hasta 63 A (unos 43,8 kW) para recarga rápida (ver **Figura 5**).

Figura 5: Conector Mennekes o tipo 2.



Fuente: Mennekes Stecker GmbH & Co.⁵

- **Combinado o CCS:** Se ha propuesto por norteamericanos y alemanes como solución estándar. Tiene cinco bornes, para corriente, protección a tierra y comunicación con la red. Admite recarga tanto lenta como rápida (ver **Figura 6**).

⁵ Tomada de la página web:

http://www.mennekes.co.uk/index.php?id=latest&tx_ttnews%5Btt_news%5D=696&cHash=eca3fa0d713a3e5d49a25ce9edce6223

Figura 6: Conector Combinado o CCS.



Fuente: Phoenix contact.⁶

- **Scame o Tipo 3:** También conocido como EV Plug-in Alliance, principalmente apoyado por los fabricantes franceses. Tiene cinco o siete bornes, ya sea para corriente monofásica o trifásica, tierra y comunicación con la red. Admite hasta 32 A para recarga semi-rápida (ver **Figura 7**).

Figura 7: Conector Scame o Tipo 3.



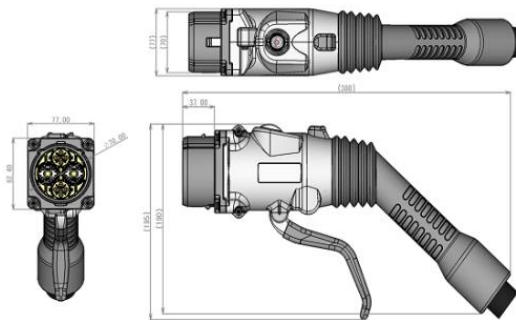
Fuente: Lugenergy, Recarga su coche eléctrico.⁷

⁶ Tomada de la página web:

https://www.phoenixcontact.com/assets/images_ed/global/web_content/pic_con_a_0047555_int.jpg

- Conector **CHAdeMO (Charge de Movie o Carga para el movimiento)**: 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 (ver **Figura 8**).

Figura 8: Conector CHAdeMO.




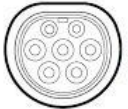
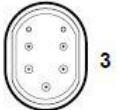

Fuente: Motor Pasión Futuro.⁸

En la **Figura 9** se muestran los conectores permitidos para recarga de vehículos eléctricos según normas internacionales, para los que en Colombia deben seguir el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) en el numeral 20.7.1; cumpliendo los requisitos de las normas IEC 61851-1, SAE J1772, UL 2594, UL 2231, UL 991, UL 1998, UL 2251 y demostrarlo mediante certificado de conformidad del producto.[14]

⁷Tomada de la página web: <http://www.lugenergy.com/recarga-coche-moto-electrica/scame/>

⁸ Tomada de la página web: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/tipos-de-conectores-tipos-de-recarga-y-modos-de-carga>

Figura 9: Conectores permitidos para recarga de vehículos eléctricos según normas internacionales.

	Tipo conector	Nº pins	Tensión máxima	Corriente máxima	Normativas	Características especiales
CA		1 5 (L1, L2/N, PE, CP, CS)	250 V _{c.a.} Monofásica	32 A monofásica (hasta 7,2 kW)	IEC 62196-2	Regulación SAE J1772
		2 7 (L1, L2, L3, N, PE, CP, PP)	500 V _{c.a.} Trifásica 250 V _{c.a.} Monofásica	63 A trifásica (hasta 43 kW) 70 A monofásica	IEC 62196-2	Un solo tipo para carga monofásica o trifásica
		3 4, 5 o 7 según modelo (L1, L2, L3, N, PE, CP, PP)	500 V _{c.a.} Trifásica 250 V _{c.a.} Monofásica	16 / 32 A monofásica 32 A trifásica (hasta 22 kW)	IEC 62196-2	Tipos diferentes según nivel de potencia
CC		4 9 (2 Potencia, 7 de señal)	500 V _{c.c.}	120 A _{c.c.}	IEC 62196-1 UL 2551	Carga rápida en CC Conforme JEVS G105 Tipo CHAdeMO

Fuente: CIRCUTOR, Recarga inteligente de vehículos eléctricos.⁹

⁹ Tomado de la página web: http://circutor.com/docs/CA_V_SP.pdf

4.6 TIPOS DE CARGADORES

La interfase entre la red eléctrica y el VE son los cargadores, los cuales permiten la conexión e interacción entre estos logrando la recarga de las baterías. Además estos son de gran importancia puesto que en algunos casos son los que realiza un control y monitorización de la recarga, y generan un impacto en el sistema eléctrico.

En Colombia estos cargadores deben regirse por la Norma Técnica Colombiana NTC 2050, principalmente los aportes de las secciones 511-8 y 511-9, los cuales hacen referencia a los sistemas de carga externos a los VE, su ubicación y disposición de los conectores. Junto con la sección 625 que se refiere a los requerimientos y disposiciones de los equipos que se utilizan para la recarga de los VE, los niveles de tensión y corriente, además de los conductores utilizados para las recargas.

4.6.1 En A.C. sin caja de control (modo 1).

Es fundamentalmente la carga a través del enchufe convencional, como se puede apreciar en la **Figura 10**, trabaja en corriente alterna a una tensión máxima de 240 V en monofásico y 480 V en trifásico. Para Europa son los 230 V en las tomas monofásicas y 400 V en las trifásicas. Debe tener un cable de tierra en la toma y la intensidad de corriente no debe exceder los 16 A. En USA por ejemplo este modo de carga no se permite, debido a la gran cantidad de instalaciones que no tienen puesta a tierra. Como se puede ver a 230 V y 16 A, la potencia máxima de carga en las casas, sin una instalación específica rodea los 3,7 kW, y a 400 V y 16 A es de unos 11 kW. Es el modo de carga menos aconsejable.

Figura 10: Cargador sin caja de control utilizado para Modo 1.



Fuente: Recarga coches eléctricos.¹⁰

4.6.2 En A.C. con caja de control (modo2).

También es en corriente alterna y con las mismas tensiones admitidas para el modo 1, pero el cable debe llevar una caja de control y protección, la cual no puede estar situada lejos del conector enganchado al vehículo, como se muestra en la **Figura 11**. Además es obligatorio un pin de control en el lado del vehículo conectado a la caja de protección situada en el cable. La mejora de este tipo de cargadores es que permite cargar en teoría a una corriente de máximo de 32 A, por lo que a 230 V serían unos 7,4 kW y a 400 V unos 22 kW.

Figura 11: Cargador móvil, con caja de control utilizado para modo 2.



Fuente: Mennekes, Kirchhundem, 2013.¹¹

¹⁰ Tomada de la página web: <http://www.recargacocheselectricos.com/tipos-conectores-para-recarga-coches-electricos/>

Actualmente la mayoría de fabricantes proporcionan en su cargador un cable apropiado para el modo 2, que puede soportar una corriente de 13 A como lo muestra la **Figura 12**, por aquello de las diferentes reglamentaciones que en algunos países limitan a esas intensidades las corrientes admitidas por los enchufes en un período prolongado. De esa manera al final el modo 2 se asemeja al modo 1 solo que con un nivel extra de protección por la caja de control en el. Generalmente en el lado de la infraestructura de carga se encuentra un enchufe normal y en el lado debe haber un conector específico con al menos un pin de señal para el control. Si bien el modo 2 es preferible al modo 1. El propósito es establecer el modo 3 en el modo habitual a partir de 2017.

Figura 12: Cargador para modo 2, Permite seleccionar la intensidad de corriente.



Fuente: Mennekes, Kirchhundem, 2013.¹¹

4.6.3 En A.C. a través de una estación de carga (modo 3).

Es carga en corriente alterna pero la estación de carga o Wall Box, dispone sistema de alimentación para vehículo eléctrico que le permite monitorizar la carga, el cual mediante un cable con conectores especiales en ambos lados integran una función automática como se ve en la **Figura 13**, mediante pines de

¹¹ Tomada de la página web:

http://www.mennekes.de/index.php?id=aktuell_details&tx_ttnews%5Btt_news%5D=874&cHash=810829fc389b55f9fa9660412582d9f0

control y señal desde el enchufe del vehículo hasta el de la estación de carga. Además el enchufe de la estación de carga permanece sin tensión a no ser que haya un vehículo conectado. Este modo también es el que permite la integración del vehículo en las “Smart Grids” o redes de distribución inteligentes, Y lo más importante, contempla posibilidades de carga de hasta 250 A. Algunos Wall Box pueden requerir circuito de ramal dedicado, debido a su consumo de potencia, y que tienen diferente forma, un ejemplo se muestra en la **Figura 14**.

Figura 13: Cargador utilizado para modo 3, Cable con conectores especiales.



Fuente: Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG offers the first VDE-tested charging cables.¹²

Figura 14: Cargador tipo “Wall Box” para modo 3.



Fuente: Tesla Motors, The fastest way to charge at home.¹³

¹² Tomada de la Página Web:

http://www.mennekes.de/index.php?id=latest0&L=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=47&cHash=d2ea072c8c1c094a6ce2056ce8d0b0ce

¹³ Tomada de la Página Web: <http://www.teslamotors.com/charging#/outlet>

4.6.4 En C.C. (modo 4) Electrolinera.

Es el más específico ya que la carga no es en corriente alterna sino directamente en corriente continua, como las baterías. Para ello la estación de carga tiene que llevar su propio convertidor de alterna a continua, es muy costosa y de gran tamaño, como se puede ver en la **Figura 15**. La ventaja es que el convertidor de la estación generalmente es capaz de manejar mayor tensión y corriente, aumentando su potencia, con menos pérdidas y calentamiento dentro del convertidor del vehículo. La intensidad de este modo según la norma puede ser de hasta 400 A.

Figura 15: Cargador (electrolinera) utilizado para modo 4.



Fuente: Recarga de coches eléctricos.¹⁴

Los anteriores tipos de cargadores, son de funcionamiento unidireccionales los cuales permiten el flujo de corriente en una sola dirección como su nombre lo indica, debido a su configuración topológica y dispositivos de potencia utilizados en estos; están diseñados para ver el vehículo eléctrico como una carga desde el punto de vista de la red eléctrica.

¹⁴ Tomada de la página web: <http://www.recargacocheselectricos.com/recarga-rapida-de-vehiculos-electricos/>

4.6.5 Cargador V2G o V2H.

El cargador V2G por sus siglas en inglés (Vehicle to Grid) o el cargador V2H (Vehicle to Home), es un cargador que se basa no solo en recibir energía de la red, sino también en retribuir energía a la misma, logrando un funcionamiento de forma bidireccional, el cual permite cargar el VE, pero además puede conducir la energía de las baterías inyectándola nuevamente a la red.

Tras el desarrollo que ha tenido el VE, y que la forma de carga se centra en que este se recargue durante la noche, la invención de este tipo de cargadores permite que la carga sea mucho más rápida que otro tipo de cargadores para uso doméstico, pero además siendo posible que el VE ya no sea solo una carga para el sistema sino una nueva fuente de energía en el sistema eléctrico, ayudando a generar una regulación más eficiente.

Actualmente la empresa japonesa NICHOCON desarrolla cargadores compactos (del tamaño de un aire acondicionado) de carga rápida y ha logrado fabricar un cargador bidireccional el cual cuenta con una potencia de 6kW, este cargador NQC-A102 se llama LEAF TO HOME (**Figura 16**), debido a que ha trabajado en conjunto con NISSAN, el cual tiene un “timer” que permite fijar la hora de inicio de carga mediante una pantalla táctil LCD. Permite que la energía eléctrica se almacene o se suministre de forma automática de acuerdo con la capacidad eléctrica de la red doméstica y su consumo mediante un tablero o panel de distribución eléctrica. Este tipo de cargadores permite equilibrar el sistema de suministro eléctrico, logrando reducir el consumo directo de la red y así poder rebajar el costo de la factura; y contribuir a la reducción de los picos de demanda mediante electricidad almacenada en los VE.

Figura 16: Cargador V2H, LEAF TO HOME.



Fuente: BBIQ, LEAF to Home.¹⁵

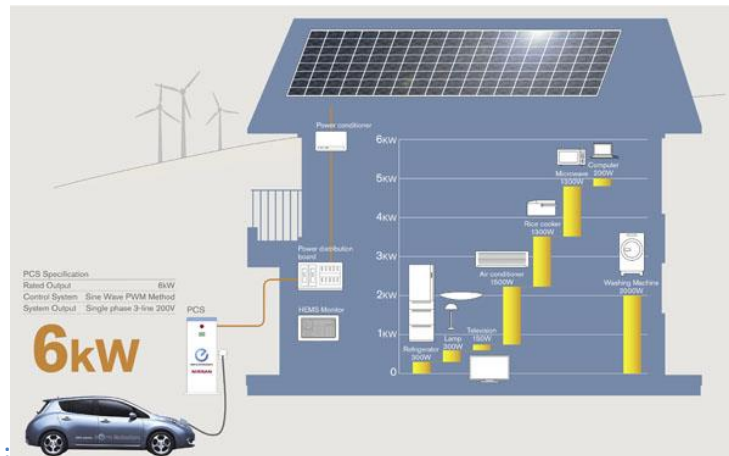
Este dispositivo tiene una entrada de tensión de 150-450 V en D.C. y una intensidad de corriente de 0-30 A (limitado por las especificaciones del cable), permitiendo generar una tensión de salida a la red de 100V A.C. por dos fases en un sistema trifásico y una intensidad de corriente de 0-30 A en A.C., suministrando una potencia de 6 kW (fase única de A.C. a 100V * 3 kW en dos fases); logrando una eficiencia de transformación del 90% o más en la salida cuando el VE funciona como fuente.

En la **Figura 17**, se puede apreciar el concepto del VE como fuente mediante el dispositivo V2H, tomando como ejemplo un vehículo de la Nissan donde este será capaz de retribuirle la energía sobrante almacenada en sus baterías cuando la vivienda lo solicite cumpliendo la misma función de la red eléctrica con los diferentes electrodomésticos que hubiese en las viviendas, además de interacción con otras fuentes de energías renovables.

En la **Figura 18** se observa la interacción del VE no solo como carga sino como fuente debido a su comunicación inteligente bidireccional y mediante un panel de distribución junto con otras fuentes de generación de energías limpias como lo son celdas que se cargan de paneles solares con una comunicación con los operadores de red aplicando el concepto de las Smart Grids

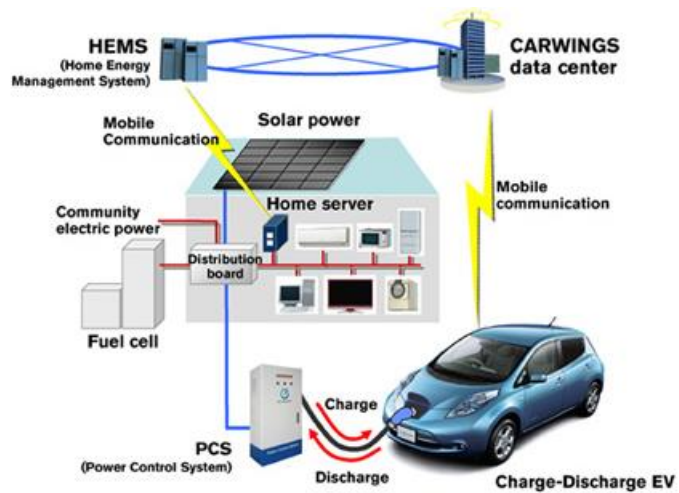
¹⁵ Tomada de la página web: <http://leaf.blog.bbiq.jp/life/2012/05/leaf-to-home-c517.html>

Figura 17: VE como Fuente en una vivienda.



Fuente: Nissan Motor Company, Future Technology.¹⁶

Figura 18: Interacción del VE con el sistema eléctrico.



Fuente: TECNMOVIA, Nissan diseña casas del futuro con el Leaf como fuente de energía.¹⁷

¹⁶ Tomada de la página Web: http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/leaf_to_home.html

¹⁷ Tomada de la Página web: <http://www.tecmovia.com/2011/10/06/nissan-disena-casas-del-futuro-con-el-leaf-como-fuente-de-energia/>

4.7 BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La electricidad tiene innumerables aplicaciones, esto debido a la facilidad con que se transforma en otras formas de energía, como lo es la mecánica, química o térmica. El principal suministro de energía se realiza a través de la red eléctrica, sin embargo muchas veces se necesita disponer de energía eléctrica sin poder adquirirla de la red.

Uno de los principales problemas de la energía eléctrica, es la dificultad al momento de su almacenamiento. Las baterías son una de las pocas formas fiables de almacenarla, convirtiéndola, en energía química y viceversa. De esta manera se puede disponer de energía eléctrica cuando se quiera, sin depender de la red.

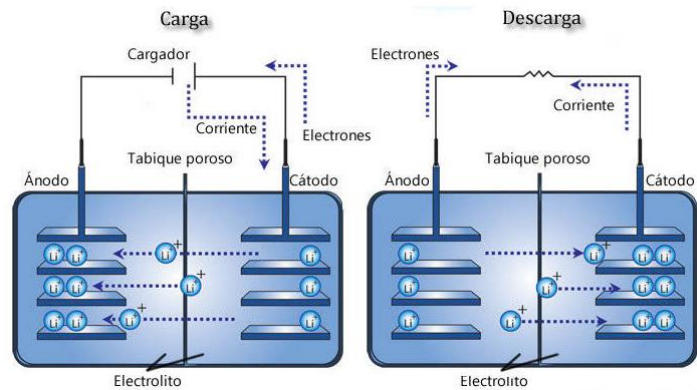
Las baterías son parte fundamental de los vehículos eléctricos, ya que estas son la clave de su viabilidad técnica y económica, son su principal problema y por tanto, el mayor desafío tecnológico para sus fabricantes, debido a que es necesario transportar enormes cantidades de energía eléctrica dentro del propio vehículo para impulsarlo.

La autonomía del vehículo dependerá directamente de la capacidad de la batería, el tipo de trayecto (llano, irregular, urbano, etc.), del estilo de conducción y de los accesorios utilizados (faros, calefacción, aire acondicionado, limpiaparabrisas, radio etc.).

4.7.1 Fundamentos básicos de una batería.

Una batería es un conjunto de células, en cada una de las cuales tiene lugar una reacción química reversible en la que se produce un intercambio de iones y electrones entre sus dos polos, esto se puede apreciar en la **Figura 19**. En la “dirección de descarga”, se produce una corriente eléctrica que es capaz de mover el motor eléctrico que impulsa el vehículo, mientras que en la “dirección de recarga” los iones y electrones vuelven a su situación original a partir de un aporte de energía externo.

Figura 19: Funcionamiento de una batería (carga y descarga).



Fuente: TECNMOVIA, Baterías de coches eléctricos e híbridos.¹⁸

Las dos características fundamentales, que determinan el comportamiento, rendimiento y duración de una batería son, por un lado, los elementos químicos escogidos para dar lugar a la reacción dentro de cada célula, y lo otro, la electrónica que controla todo el proceso de descarga y recarga.

Las células de la batería son su parte esencial, determinando su coste y rendimiento, de forma que la mayoría de los esfuerzos investigadores se encuentran actualmente dirigidos a mejorar este elemento clave. Cada célula consta de un cátodo (electrodo positivo) un ánodo (electrodo negativo) y un electrolito, que separa ambos electrodos y constituye el medio neutral para la transferencia de carga dentro de la célula.[15]

4.7.2 Posibles materiales para baterías de vehículos eléctricos.

Existen tres tipologías de baterías, atendiendo a su química, cuyo desarrollo actual las hace adecuadas para alimentar el motor de un vehículo eléctrico:

- Las baterías de **Plomo-Ácido** son la opción de bajo coste, y se han utilizado durante décadas para arrancar los motores de combustión. Entre

¹⁸ Tomada de la página Web: <http://www.tecmovvia.com/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>

sus ventajas, además del bajo coste y estandarización universal, se encuentran su buena potencia específica (W/kg), buen comportamiento en un amplio rango de temperaturas, buena retención de la carga en el tiempo y son relativamente fáciles de reciclar. Sólo pueden almacenar unos 40 Wh/kg.[15]

- Las baterías de **Níquel-Metal** han sido las preferidas por el conocido Toyota Prius durante sus más de 10 años de historia, por lo que han demostrado sobradamente su capacidad para responder con solidez en las entrañas de un híbrido no enchufable. Su potencia específica es correcta, su ciclo de vida largo y no presentan problemas medioambientales, mientras que tienen un alto índice de descarga en periodos de inactividad (pierden el 30% de la carga en un mes paradas) y su coste de producción es algo elevado por incorporar tierras raras en el electrodo positivo. Sus 60 Wh/kg las hace superiores a las de Plomo-Ácido, pero las mantiene todavía cierta distancia del Litio, que, no en vano, es el más ligero de los elementos de la tabla periódica que no es un gas a temperatura ambiente.[15]
- Las baterías de **Ion-Litio**, de las que existen muchas variedades, parecen estar llamadas a prevalecer, pues sus características técnicas más importantes mejoran sustancialmente a las dos opciones anteriores, si bien introducen también algún que otro problema. Su tensión, densidad energética, potencia específica, carga utilizable, eficiencia de recarga y ciclo de vida son muy superiores a las de sus dos rivales, al tiempo que su índice de descarga es mucho menor. Entre estas se tienen una gran variedad entre las cuales se observa:
 - ❖ Baterías de **Litio-Cobalto (Li Co O₂)** presentan una densidad energética 170-185 Wh/kg. Estas son las más extendidas para dispositivos móviles como teléfonos u ordenadores portátiles, pero son difícilmente utilizables en vehículos porque sólo aguantan unos 500 ciclos de recarga y en caso de accidente y rotura pueden generar reacciones exotérmicas que desemboquen incluso en incendio, lo que sería demoledor para su imagen, por improbable que sea el suceso.[15]
 - ❖ Baterías de **Litio-Hierro-Fosfato (Li Fe P O₂)** presentando una densidad energética 90 – 125 Wh/kg. Son las más seguras, por tener la mayor estabilidad térmica y química. Su densidad energética está en la zona baja, pero se pueden considerar un salto adelante en seguridad y también en durabilidad, con hasta 2 000 ciclos de

recarga. Son también las más económicas, junto con las de cobalto, pero estas sí se pueden emplear en automoción para mover híbridos y eléctricos puros sin riesgos.[15]

- ❖ Baterías de **Litio-Manganeso (Li Mn₂ O₂)** con una densidad energética 90 – 110 Wh/kg. También son más estables térmicamente que las de cobalto y soportan un mayor nivel de tensión, pero se encuentran de nuevo con una inferior densidad energética. El manganeso no es contaminante.[15]
- ❖ Baterías de **Litio-Níquel-Cobalto-Manganeso (Li Nix Coy Mnz O₂)** con una densidad energética 155 – 190 Wh/kg. Excelente compromiso entre muy buen rendimiento y coste razonable, se empiezan a utilizar en vehículos eléctricos masivamente. Soportan 1.500 ciclos y niveles de tensión más altos.[15]
- ❖ Baterías de **Litio-Titanio (Li₄ T₅ O₁₂)** con una densidad energética 65-100 Wh/kg. Son las más duraderas, pues soportan hasta 12.000 ciclos de recarga (unas 10 veces más que cualquiera de las otras) pero su densidad energética actual es baja y su coste, muy elevado.[15]

4.8 FRENADO REGENERATIVO ELÉCTRICO

Un freno regenerativo es aquel dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo, transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es almacenada para un uso futuro. El freno regenerativo en trenes eléctricos, alimenta la fuente de energía del mismo.

En vehículos de baterías y vehículos híbridos, la energía es almacenada en un banco de baterías o un banco de condensadores para un uso posterior.

El freno regenerativo es un tipo de freno dinámico. Otro tipo de freno dinámico es el freno reostático, mediante el cual la energía eléctrica generada en la frenada es disipada en forma de calor.[16]

✓ **El motor como generador.**

Los frenos regenerativos se basan en el principio de que un motor eléctrico, puede ser utilizado como generador. El motor eléctrico de tracción, es reconectado como generador durante el frenado y las terminales de alimentación se convierten en suministradoras de energía.[16]

✓ **Limitaciones.**

El frenado tradicional, basado en la fricción, sigue siendo usado junto con el regenerativo por las siguientes razones:

- El frenado regenerativo reduce de manera efectiva su frenada a bajas velocidades, por lo que el freno de fricción sigue siendo necesario a fin para el vehículo completamente.
- La mayoría de los vehículos de carretera con frenado regenerativo, solo instalan este sistema en algunas de las ruedas, con el fin de mantener mayor control de frenado en condiciones difíciles (por ejemplo, en carreteras mojadas).
- El freno de fricción es un elemento necesario de apoyo en caso de fallo del freno regenerativo.
- La cantidad de energía a disipar está limitada a la capacidad de absorción de esta, por parte del sistema de baterías. Por esta razón, es necesario contar con un freno reostático que absorba el exceso de energía.

4.9 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Es importante dentro del contexto de la infraestructura de recarga definir tanto los protocolos de comunicación como la información que se transmite, ya que éstos propiciarán los escenarios en los cuales el vehículo interacciona con la red eléctrica generando una correcta gestión de la energía.

El sector de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) ejerce un papel importante en el desarrollo de proyectos de puesta en marcha del vehículo eléctrico y estandarización de sistemas y protocolos de comunicación, y es completamente necesario que en el lugar de instalación de los cargadores haya

acceso a internet, sea vía cableada o inalámbrica ya que es necesario para que el operador pueda realizar gestión y control sobre sus equipos, y para que el usuario cuente con diversas posibilidades en relación a los puntos de recarga.

Por ejemplo: Brindar la posibilidad al usuario de ver vía GPS la ubicación de los cargadores junto con su disponibilidad, programar remotamente las sesiones de recarga y contar con la posibilidad de diferentes formas de pago. Por el lado de los operadores, remotamente ver el estatus de sus cargadores, poder observar estadísticas de uso, configurar sus cargadores en el rango de posibilidades técnicas que ofrezca el equipo (habilitar o deshabilitar el cargador, etc.), contar con sistemas de autenticación a través de RFID o Pin Codes.

La capacidad del sistema eléctrico para recargar las baterías de los vehículos, dependerá de que esta sea controlada mediante las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. Ya que gracias a estas tecnologías, se evitará la recarga de los VE en horas de máxima demanda energética evitando así la saturación del sistema eléctrico, ayudando a integrar mejor las energías renovables. En particular, puede asegurarse que desde el punto de vista de la infraestructura eléctrica, el VE es una carga inteligente que se vincula o desvincula gracias al soporte que proporcionan las tecnologías TIC.

La gestión inteligente de la oferta y demanda energética que se puede proporcionar al VE se encuentra dentro el concepto de Smart Grid. Una Smart Grid integra tecnologías avanzadas de sensores y adquisición de datos, métodos de control y comunicaciones en la red eléctrica. En este sentido, la red eléctrica debe de estar siempre disponible, interconectada y fuertemente acoplada con las comunicaciones en tiempo real.

4.9.1 Normalización.

La gestión de la recarga de los VE depende en gran medida de la comunicación que se implemente entre el VE y la infraestructura de recarga. Dicha comunicación debe ser bidireccional ya que el VE podrá proveer de servicios a la red, lo que se denomina V2G (Vehicle to Grid).

En la actualidad en Colombia no se dispone de una normalización de la comunicación entre VE y la infraestructura de recarga: datos a comunicar, protocolos de comunicación, buses de comunicación, conectores físicos, etc.

4.9.2 La comunicación entre el VE-infraestructura de recarga y la gestión de la demanda.

En el proceso de carga del vehículo eléctrico y respecto a las comunicaciones necesarias en el sistema, se pueden diferenciar tres fases: comunicaciones previas al proceso de recarga, durante el proceso de recarga, y de desconexión.

a. Comunicaciones previas al proceso de recarga

En esta fase se examina e identifica el tipo de vehículo, tipo de usuario o perfil de usuario, y las notificaciones de incidencia en caso de dificultad de recarga, de indisponibilidad de la infraestructura y de establecimiento de comunicación.

Para poder prestar el servicio de recarga el usuario debe o puede (según la reglamentación colombiana) facilitar una serie de datos (perfil del usuario) para su autenticación en una base de datos normalizada, y el vehículo debe comunicar sus características técnicas y su estado de carga.

Con el fin de poder realizar la recarga, deben existir dos flujos de datos procedentes de:

- **EL USUARIO**

Este deberá comunicar qué perfil de recarga desea. Pueden existir muchos perfiles posibles: Recarga completa en un corto período de tiempo (lo que exigirá una recarga a mayor potencia), recarga completa pero en un largo período de tiempo (menor potencia en la recarga), recarga máxima en un tiempo determinado pero con el menor precio posible entre otras.[17]

Con la introducción de estos parámetros por parte del VE y del usuario, la infraestructura de recarga debe analizar su capacidad para prestar el servicio. Para ello, inicia un proceso de comunicación con diferentes agentes del sistema eléctrico para obtener una confirmación sobre la energía disponible, capacidad de distribución y precio de la misma.

Este proceso es primordial para que la infraestructura de recarga evalúe la posibilidad de recarga según los criterios deseados tanto por el usuario como por el VE, teniendo en cuenta el estado del sistema eléctrico.[17]

La infraestructura de recarga debe ser capaz de acoplar la demanda de los VE al estado del sistema eléctrico, para asegurar de este modo su estabilidad. La gestión de la demanda que debe realizar la infraestructura de recarga consiste en conseguir unas curvas de consumo planas (llenado de valles, desplazamiento y disminución de picos de demanda).

Un dato importante a la hora de gestionar la recarga de los VE es el tiempo que estos vehículos estarán conectados a la infraestructura de recarga. Se pueden dar los siguientes casos de uso:[17]

- Caso 1: N° Horas disponible $>$ N° Horas para recargar en carga lenta generando la opción de recarga lenta al 100 %.
- Caso 2: N° Horas en carga media $<$ N° Horas disponible $<$ N° Horas para recargar en carga lenta generando opciones de recarga:
 - Velocidad de carga media, al 100% cargado, con su tarifa
 - Velocidad de carga lenta, estimación % cargado y su tarifa.
- Caso 3: N° Horas en carga rápida $<$ N° Horas disponible $<$ N° Horas para recargar en carga media generando opciones de recarga:
 - Velocidad de carga rápida, 100% cargado con su tarifa.
 - Velocidad de carga media, con estimación en %, del nivel de batería y su tarifa.
 - Velocidad de carga lenta, con estimación en % del nivel de batería y su tarifa.
- Caso 4: N° Horas en carga rápida $>$ N° Horas disponible
 - Velocidad de carga rápida, con estimación en %, del nivel de batería y su tarifa.
 - Velocidad de carga media, con estimación en %, del nivel de batería y su tarifa
 - Velocidad de carga lenta, con estimación en % del nivel de batería y su tarifa.

- El Vehículo eléctrico:

La BMS (battery management system) del VE debe comunicar a la infraestructura de suministro energético una serie de datos para que ésta pueda ejecutar eficientemente la gestión de la demanda:

- Energía máxima en kWh a recargar (lo calculará la BMS, en función de distintos parámetros –SOH, pérdidas internas vehículo, temperatura exterior, etc.)
- Tolerancia de recarga (lo dará también la BMS al módulo de comunicaciones, mediante cálculos de fabricante y algoritmos de autoaprendizaje que afinen el cálculo).
- Potencia máxima de la batería (lo enviará la BMS al módulo de comunicaciones del VE).

Lo anteriormente mencionado son casos de uso según la disponibilidad y duración de la recarga.

b. Comunicaciones durante el proceso de recarga eléctrica

En este se procede a la activación del Punto de Recarga por parte del operador de red, y se inicia el flujo de energía. En este proceso el flujo de comunicaciones es distinto si la recarga es en AC o en DC. En AC el cargador del VE está continuamente comprobando que los parámetros de la recarga son aceptables, mientras que en DC, como el cargador no interviene, el Punto de Recarga dialogará con el sistema de gestión de la batería para obtener los parámetros necesarios para gestionar correctamente la recarga.[17]

El PR (punto de recarga) será el que finalice la recarga. El Punto de Recarga debe registrar la hora de inicio y fin de la recarga, así como medir la cantidad de energía transferida al VE.

c. Comunicaciones durante el proceso de desconexión

En esta fase se realiza la parada de la recarga y la desconexión del Punto de Recarga. El operador de red recopila la información que el Punto de Recarga ha almacenado (caso recarga AC) o gestionado (caso recarga DC) para calcular el precio del servicio. Estos datos de facturación se envían al usuario a modo informativo por un lado y al operador de red para la facturación, que se almacenará en la base de datos. Finalmente el Punto de Recarga gestiona la desconexión eléctrica con el VE y el proceso de cierre del canal de datos.[17]

5. PERFILES DE CONSUMO Y DATOS DE CONSUMO

En este capítulo se muestran los perfiles de consumo que tiene establecidos la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P de sus diferentes usuarios. En la **Tabla 2** se observan los datos de estos perfiles de consumo, para los diferentes estratos residenciales y comerciales, los cuales su magnitud se representan en por unidad (p.u.) y su duración es de 24 horas, representando el consumo eléctrico en un día promedio.

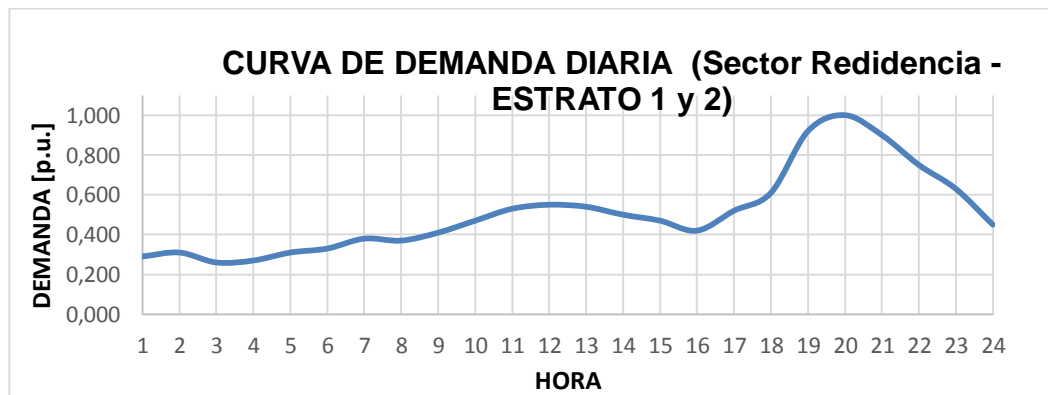
Tabla 2: Datos de la demanda promedio hora de los estratos residenciales de la ESSA.

DEMANDA PROMEDIO HORA							
HORA	ESTRATO						COMERCIAL
	1	2	3	4	5	6	
0	0,450	0,450	0,370	0,360	0,580	0,550	0,050
1	0,290	0,290	0,300	0,280	0,450	0,330	0,050
2	0,310	0,310	0,270	0,250	0,410	0,380	0,050
3	0,260	0,260	0,260	0,260	0,380	0,380	0,050
4	0,270	0,270	0,270	0,250	0,440	0,340	0,050
5	0,310	0,310	0,240	0,230	0,390	0,340	0,050
6	0,330	0,330	0,410	0,440	0,520	0,360	0,050
7	0,380	0,380	0,440	0,690	0,680	0,370	0,050
8	0,370	0,370	0,360	0,440	0,680	0,570	0,050
9	0,410	0,410	0,360	0,440	0,590	0,620	0,340
10	0,470	0,470	0,450	0,360	0,590	0,520	0,760
11	0,530	0,530	0,410	0,380	0,630	0,560	0,910
12	0,550	0,550	0,450	0,510	0,540	1,000	0,930
13	0,540	0,540	0,560	0,400	0,590	0,950	0,720
14	0,500	0,500	0,390	0,380	0,620	0,740	0,410
15	0,470	0,470	0,410	0,370	0,600	0,660	0,700
16	0,420	0,420	0,450	0,410	0,610	0,650	0,950
17	0,520	0,520	0,470	0,490	0,480	0,540	1,000
18	0,610	0,610	0,520	0,340	0,540	0,480	0,980
19	0,920	0,920	0,770	0,610	0,720	0,620	0,850
20	1,000	1,000	0,910	0,810	0,820	0,730	0,610
21	0,900	0,900	0,980	1,000	1,000	0,830	0,160
22	0,750	0,750	1,000	0,860	0,780	0,730	0,070
23	0,630	0,630	0,640	0,690	0,670	0,670	0,060
24	0,450	0,450	0,370	0,360	0,580	0,550	0,050

Fuente: Norma técnica de la ESSA.

A continuación en las **Figura 20** hasta la **Figura 24** se muestra la curva de consumo de los diferentes estratos socioeconómicos residenciales que se mencionan en la **Tabla 2**. Observando el comportamiento durante el transcurso del día, se establecen las horas pico (horas en donde el consumo es mayor) y las horas valle (es cuando el consumo es menor) en cada uno de los diferentes estratos.

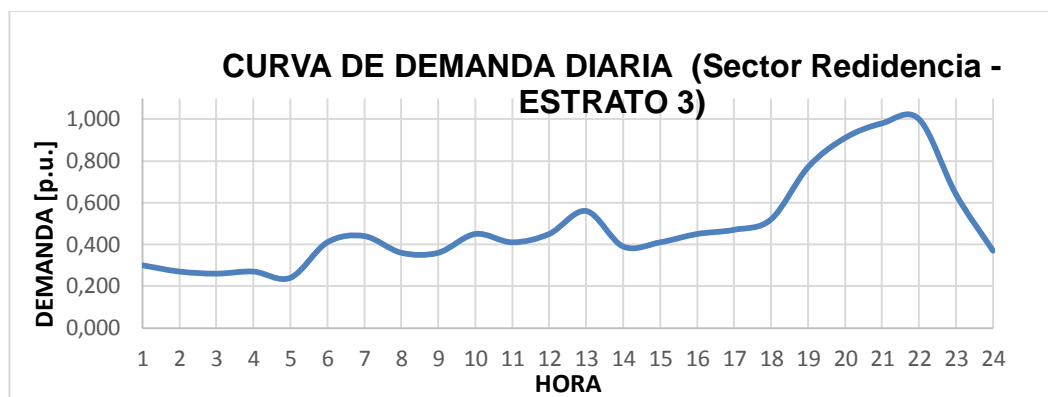
Figura 20: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 1 y 2.



Fuente: Norma técnica de la ESSA.

En la **Figura 20** se observa que la hora del pico de la demanda se presenta a las 8:00 p.m. El consumo mayor de energía para los estratos 1 y 2 se presenta en el horario comprendido entre las 6:00 p.m. hasta las 11p.m. mientras que el horario valle (mínimo consumo de potencia activa) está entre la 1a.m. y las 9 a.m.

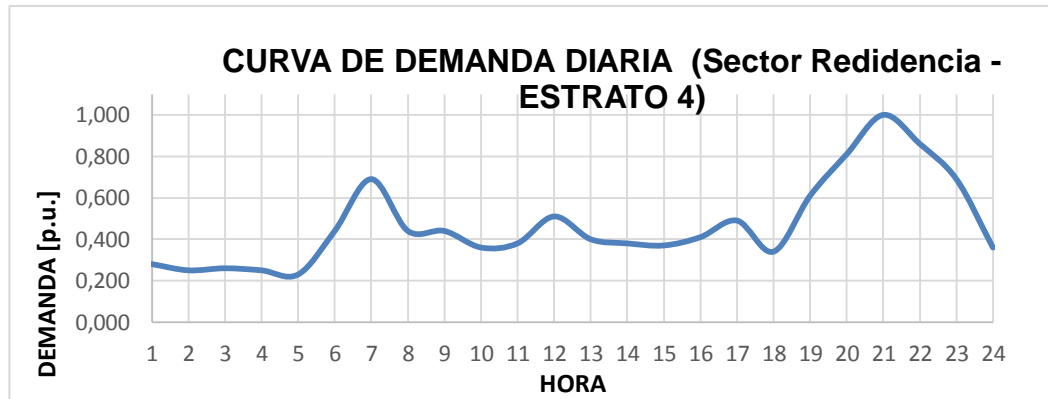
Figura 21: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 3.



Fuente: Norma técnica de la ESSA.

En la **Figura 21** se observa que la hora del pico de la demanda se presenta a las 10:00 p.m. El consumo de mayor energía para el estrato 3 se presenta en el horario comprendido entre las 6:00 p.m. hasta las 11:00 p.m. mientras que el horario valle (mínimo consumo de potencia activa) está entre las 12:00 a.m. y la 1:00 p.m.

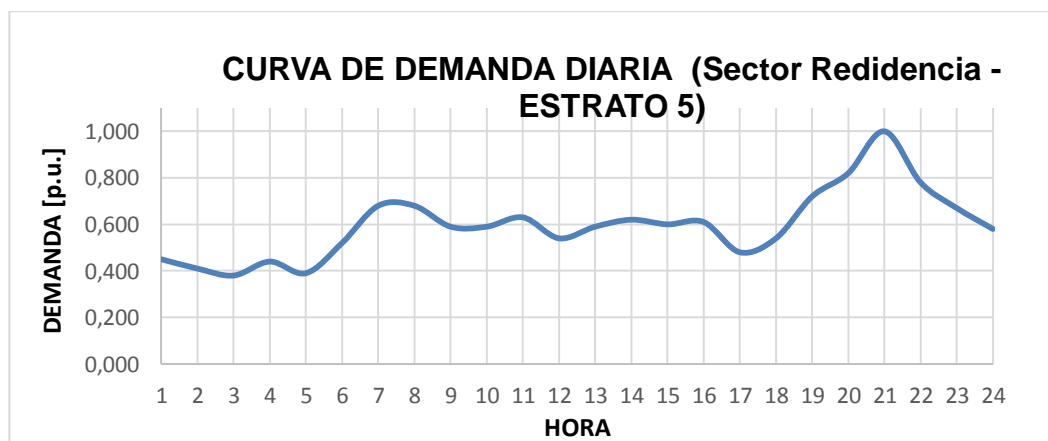
Figura 22: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 4.



Fuente: Norma técnica de la ESSA.

En la **Figura 22** se observa que la hora del pico de la demanda se presenta a las 10:00 p.m. El consumo mayor de energía para el estrato 4 se presenta en el horario comprendido entre las 7:00 p.m. hasta las 11:00 p.m., es de resaltar que a las 7:00 a.m. se presenta otro crecimiento de la demanda. El horario valle (mínimo consumo de potencia activa) está entre las 12:00 a.m. y las 6:00 a.m. Entre las 8:00 a.m. y las 6:00 p.m. el consumo se mantiene uniforme.

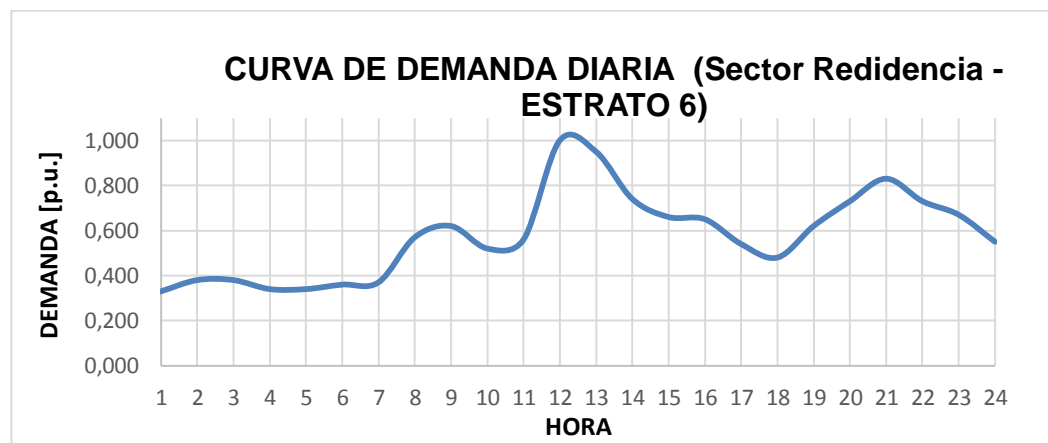
Figura 23: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 5.



Fuente: Norma técnica de la ESSA.

En la **Figura 23** se observa que la hora del pico de la demanda se presenta a las 9:00 p.m. El consumo mayor de energía para el estrato 5 se presenta en el horario comprendido entre las 6:00 p.m. hasta las 11:00 p.m., es de resaltar que entre las 7:00 a.m. y las 8:00 a.m. se presenta otro crecimiento de la demanda. El horario valle (mínimo consumo de potencia activa) está entre las 12:00 a.m. y las 6:00 a.m., a las 5:00 p.m. se presenta otra disminución de la potencia consumida. Entre las 8:00 a.m. y las 4:00 p.m. el consumo se mantiene uniforme.

Figura 24: Curva de demanda diaria del sector residencial para estratos 6.



Fuente: Norma técnica de la ESSA.

En la **Figura 24** se observa que la hora del pico de la demanda se presenta a las 12:00 p.m. El consumo mayor de energía para el estrato 6 se presenta en el horario comprendido entre las 11:00 a.m. hasta las 3:00 p.m., es de resaltar que entre las 7:00 p.m. y las 11:00 p.m. se presenta otro crecimiento de la demanda. El horario valle (mínimo consumo de potencia activa) está entre las 12:00 a.m. y las 8:00 a.m., a las 10:00 a.m. y a las 6:00 p.m. se presenta otra disminución de la potencia consumida.

Tabla 3: Promedio mensual de consumo de energía eléctrica de usuarios residenciales de la ESSA 2014.[24]

PROMEDIO MENSUAL POR TIPO DE USUARIO 2014 [kWh/MES] Datos de la ESSA						
SECTORES MES	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
ENERO	121,27	110,88	154,73	175,93	207,00	239,33
FEBRERO	118,17	107,54	146,41	169,69	204,73	228,88
MARZO	123,67	109,70	155,81	182,23	214,80	242,73
ABRIL	120,09	108,53	155,94	182,55	211,97	237,99
MAYO	122,85	111,57	156,59	182,12	208,88	240,89
JUNIO	121,23	108,59	150,66	177,03	202,56	229,02
JULIO	121,24	112,56	158,68	185,89	213,35	238,48
AGOSTO	124,29	113,27	157,31	186,04	211,26	240,48
SEPTIEMBRE	118,29	108,16	150,29	174,52	199,35	229,28
PROMEDIO MENSUAL	121,23	110,09	154,05	179,56	208,21	236,34

Fuente: Electrificadora de Santander S.A. (Modificada por los autores).

En la **Tabla 3** se muestran datos suministrados por la empresa operadora de red ESSA los cuales corresponden al consumo de energía promedio de los primeros 9 meses del año 2014 en distintos estratos socioeconómicos en donde se ve reflejado el consumo en [kWh/MES].

Tabla 4: Promedio diario de consumo de energía eléctrica de usuarios residenciales de la ESSA 2014.[24]

SECTORES	PROMEDIO [kWh/día]
Estrato 1	4,04
Estrato 2	3,67
Estrato 3	5,13
Estrato 4	5,99
Estrato 5	6,94
Estrato 6	7,88

Fuente: Electrificadora de Santander S.A. (Modificada por los autores).

En la **Tabla 4** se muestra el promedio del consumo energético diario generado con los datos suministrados por la ESSA en la **Tabla 3**, los cuales representan la base para el estudio pues indican el consumo que tienen los usuarios por estrato, ya que estos datos proporcionan la curva real en magnitud de consumo para comparar la incidencia e impacto que representa un vehículo eléctrico en el perfil y la forma como se puede estimar un control de consumo, tratando el aplanamiento de la curva de demanda para lograr una mejor eficiencia respecto a la cantidad de energía que se puede generar por parte del operador de red.

6. BASE DE DATOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En este capítulo se hace una clasificación de la variedad de vehículos eléctricos que actualmente se encuentran en el mercado y se diseña un algoritmo que permite caracterizar el VE en un sistema eléctrico residencial, con variación de parámetros.

6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Para realizar el estudio de caracterización del vehículo eléctrico como carga residencial, se realizó una recopilación de información de los vehículos comerciales a nivel mundial. Esta recopilación se desarrolló principalmente con las marcas existentes hasta el momento en el desarrollo de este tipo de vehículos, dando como resultado 37 vehículos diferentes para el desarrollo del estudio, los cuales se muestran en la **Tabla 5**.

En la **Tabla 6** se muestra la clasificación de los vehículos eléctricos que se utilizan para el estudio, construida en su totalidad a partir de la **Tabla 5**, teniendo en cuenta que existen modelos de VE que tienen distintos tipos de cargadores. En esta tabla se hace referencia a 8 parámetros importantes al momento de conectar un VE a la infraestructura eléctrica de una vivienda, como lo son: Los valores eficaces de la tensión, la corriente y la potencia activa; además de parámetros como la capacidad de las baterías, autonomía, tipo de cargador, tiempo de recarga y número de plazas (número de pasajeros).

Con esta clasificación, se obtiene una base de datos con 78 vehículos eléctricos (en algunos casos el mismo modelo solo que distinto cargador). Esta base de datos de los VE se realizó en base a la información suministrada por los distintos proveedores y fabricantes de los vehículos, información de sus páginas web y catálogos, logrando completar el 100% de información de la **Tabla 6**.

En la **Tabla 6**, se muestran diversos tipos de vehículos eléctricos entre los cuales se tienen: Deportivos, tipo sedán, utilitarios o de carga, grandes y pequeños; según las preferencias de los usuarios.

En la actualidad las casas fabricantes de automóviles tienen mínimo un VE a disposición, o están en el desarrollo de este tipo de tecnología, debido a los beneficios que conlleva el uso de éstos, con nuevas políticas, leyes y regulaciones

dadas por los distintos gobiernos incentivado no tan solo a fabricantes si no a usuarios con beneficios, ayudando al cuidado del medio ambiente (reducción en las emisiones de CO₂) y promoviendo el uso de energías renovables.

Tabla 5: Marca y modelo de los vehículos eléctricos comerciales.

NUMERACIÓN DE REFERENCIA PARA VE	MARCA	MODELO	NUMERACIÓN DE REFERENCIA PARA VE	MARCA	MODELO
1	Aixam	e City	20	Mini	E
2	Aixam	e Coupe	21	Mitsubishi	i-Miev
3	BDY	E6	22	Nissan	Leaf
4	Bg Automotive	C100	23	Nissan	e-NV200
5	Bmw	i3	24	Opel	Ampera
6	Chevrolet	Spark EV	25	Peugeot	ION
7	Citroën	Berlingo Electric	26	Peugeot	Partner Electric
8	Citroën	C-ZERO	27	Renault	Fluence ZE
9	Dynasty Electric	Sedan	28	Renault	Kangoo ZE
10	Dynasty Electric	Sport	29	Renault	Twizy
11	Dynasty Electric	Tropic	30	Renault	Zoe
12	Dynasty Electric	Utility	31	Smart	Fortwo ED
13	Dynasty Electric	Van	32	Smart	Brabus
14	Fiat	500e	33	Tesla	Modelo S
15	Ford	Focus electric	34	Tesla	Roadster
16	Kia	Soul EV	35	Th!Nk	City
17	Mercedes Benz	Clase B ED	36	Volkswagen	e-Golf
18	Mercedes Benz	SLS AMG ED	37	Volkswagen	e-up
19	Miles Electric	ZX40S			

Tabla 6: Vehículos eléctricos comerciales.

	Marca	Modelo	Capacidad de la Batería [kWh]	Potencia del cargador [kW]	TIPO DE CARGADOR	Corriente [A]	Tensión [V]	Tiempo de carga [h]	Autonomía [km]	CANTIDAD DE PASAJEROS [UND]
1	aixam (1)	e Coupe	6,1	2	Wall Box	10	220	4	110	2
2	aixam (2)	e City	6,1	2	Wall Box	10	220	4	111	2
3	BDY (1.1)	E6	61,4	10	Wall Box	63	240	7	300	5
4	BDY (1.2)	E6	61,4	30	Wallbox (trifásico)	48	480	3	301	5
5	BG Automotive (1)	C100	16	2,2	Wall Box	10	220	8	97	4-5
6	BMW (1.1)	i3	22	2,8	Enchufe doméstico	12	230	8	160	4
7	BMW (1.2)	i3	22	7,5	Wall Box	32	230	3	161	4
8	BMW (1.3)	i3	22	15,5	Wall Box (trifásico)	63	230	2	162	4
9	CHEVROLET (1.1)	SPARK EV	20	1,45	Enchufe doméstico	12	120	14	130	5
10	CHEVROLET (1.2)	SPARK EV	20	2,9	Wall Box	12	240	7	130	5
11	CITROËN (1)	C-ZERO	14,5	1,3	Enchufe doméstico	6	220	12	150	4
12	CITROËN (2)	BERLINGO ELECTRIC	22,5	3	Wall Box	14	220	8	170	3
13	Dynasty Electric (1)	Sport	5,1	0,45	Enchufe doméstico	3,7	120	12	50	4
14	Dynasty Electric (2)	Tropic	5,1	0,45	Enchufe doméstico	3,7	120	12	50	4
15	Dynasty Electric (3)	Van	5,1	0,45	Enchufe doméstico	3,7	120	12	50	4
16	Dynasty Electric (4)	Utility	5,1	0,45	Enchufe doméstico	3,7	120	12	50	2
17	Dynasty Electric (5)	Sedan	5	0,8	Enchufe doméstico	6	120	7	50	4
18	FIAT (1.1)	500e	24	1,8	Enchufe doméstico	15	120	14	160	4-5
19	FIAT (1.2)	500e	24	6	Wall Box	25	240	4	160	4-5

Tabla 6. Continuación.

20	Ford (1.1)	Focus electric	23	2,4	Enchufe doméstico	10	240	10	160	5
21	Ford (1.2)	Focus electric	23	3,8	Wall Box	16	240	7	160	5
22	Ford (1.3)	Focus electric	23	7	Wall Box	32	240	4	160	5
23	KIA (1.1)	Soul EV	27	1,5	Enchufe doméstico	13	120	18	212	5
24	KIA (1.2)	Soul EV	27	3,3	Wall Box	14	240	9	212	5
25	KIA (1.3)	Soul EV	27	6,6	Wall Box	28	240	5	212	5
26	Mercedes Benz (1.1)	Clase B ED	28	3,2	Enchufe doméstico	14	230	9	200	5
27	Mercedes Benz (1.2)	Clase B ED	28	8	Enchufe doméstico	35	230	4	200	5
28	Mercedes Benz (2.1)	SLS AMG ED	60	3,7	Enchufe doméstico	16	230	17	250	2
29	Mercedes Benz (2.2)	SLS AMG ED	60	7,3	Wall Box	32	230	9	250	2
30	Mercedes Benz (2.3)	SLS AMG ED	60	22	Wall Box (trifásico)	55	400	3	250	2
31	Miles Electric (1)	ZX40S	7,2	2,2	Wall Box	20	110	4	80	4-5
32	mini (1.1)	E	35	1,5	Enchufe doméstico	12	120	24	251	2
33	mini (1.2)	E	35	11,5	Wall Box	48	240	4	251	2
34	mitsubishi (1.1)	i-Miev	16	2,3	Enchufe doméstico	10	220	7	150	4
35	mitsubishi (1.2)	i-Miev	16	3,5	Wall Box	16	220	5	150	4
36	nissan (1.1)	Leaf	24	1,7	Enchufe doméstico	15	110	15	199	5
37	nissan (1.2)	Leaf	24	2,2	Enchufe doméstico	10	220	11	199	5
38	nissan (1.3)	Leaf	24	3,3	Wall Box	16	220	8	199	5
39	nissan (1.4)	Leaf	24	6,6	Wall Box	32	220	4	199	5
40	Nissan (2.1)	e-NV200	24	2,2	Enchufe doméstico	10	220	11	162	2
41	Nissan (2.2)	e-NV200	24	3,3	Wall Box	16	220	8	162	2
42	Nissan (2.3)	e-NV200	24	6,6	Wall Box	32	220	4	162	2

Tabla 6. Continuación.

43	OPEL (1.1)	AMPERA	16	1,4	Enchufe doméstico o conector ocasional	6	230	12	500	4
44	OPEL (1.2)	AMPERA	16	2,3	Enchufe doméstico o conector ocasional	10	230	7	500	4
45	OPEL (1.3)	AMPERA	16	3,5	Wall Box	15	230	5	500	4
46	Peugeot (1.1)	ION	16	2,2	Enchufe doméstico	10	220	8	150	4
47	Peugeot (1.2)	ION	16	3	Enchufe doméstico	14	220	6	150	4
48	Peugeot (2)	Partner Electric	22,5	3,7	Wall Box	16	230	7	170	3 (UTILITARIO)
49	Renault (1)	TWIZY	6,1	2	Enchufe doméstico	9	220	4	50-80	2
50	Renault (2.1)	ZOE	24	2,3	Enchufe doméstico	10	220	11	210	5
51	Renault (2.2)	ZOE	24	3	Wall Box	14	220	8	210	5
52	Renault (3.1)	FLUENCE ZE	22	2,2	Enchufe doméstico o conector ocasional	10	220	10	185	5
53	Renault (3.2)	FLUENCE ZE	22	3,5	Wall Box	16	220	7	185	5
54	Renault (4.1)	Kangoo ZE	22	2	Enchufe doméstico	9	220	11	160	2 - 5 (UTILITARIO)
55	Renault (4.2)	Kangoo ZE	22	3	Wall Box	14	220	8	160	2 - 5 (UTILITARIO)
56	smart (1.1)	Fortwo ED	17,6	2,6	Enchufe doméstico	11	230	7	145	2
57	smart (1.2)	Fortwo ED	17,6	3,3	Wall Box	14	230	6	145	2
58	smart (1.3)	Fortwo ED	17,6	22	Wall Box (trifásico)	55	400	1	145	2
59	smart (2.1)	BRABUS	17,6	2,6	Wall Box	11	230	7	145	2
60	smart (2.2)	BRABUS	17,6	3,3	Wall Box	14	230	6	145	2
61	smart (2.3)	BRABUS	17,6	22	Wall Box (trifásico)	55	400	1	145	2

Tabla 6. Continuación.

62	tesla (1.1)	modelo S	60	1,4	Enchufe doméstico o móvil	12	110	43	390	5 - 7
63	tesla (1.2)	modelo S	60	1,8	Enchufe doméstico o móvil	15	110	34	390	5 - 7
64	tesla (1.3)	modelo S	60	5,8	Enchufe doméstico o móvil	24	240	11	390	5 - 7
65	tesla (1.4)	modelo S	60	10	Wall Box	40	240	6	390	5 - 7
66	tesla (1.5)	modelo S	60	20	Wall Box	80	240	3	390	5 - 7
67	tesla (2.1)	modelo S	85	1,4	Enchufe doméstico o móvil	12	110	61	502	5 - 7
68	tesla (2.2)	modelo S	85	1,8	Enchufe doméstico o móvil	15	110	48	502	5 - 7
69	tesla (2.3)	modelo S	85	5,8	Enchufe doméstico o móvil	24	240	15	502	5 - 7
70	tesla (2.4)	modelo S	85	10	Wall Box	40	240	9	502	5 - 7
71	tesla (2.5)	modelo S	85	20	Wall Box	80	240	5	502	5 - 7
72	TESLA (3)	ROADSTER	53	16	Wall Box	70	240	4	393	2
73	Th!nk (1.1)	City	24	1,4	Enchufe doméstico	12	110	18	160	2
74	Th!nk (1.2)	City	24	2,4	Wall Box	10	220	10	160	2
75	Volkswagen (1.1)	e-Golf	24,2	1,9	Enchufe doméstico	10	230	13	190	5
76	Volkswagen (1.2)	e-Golf	24,2	3,6	Wall Box	16	230	7	190	5
77	Volkswagen (2.1)	e-up	18,7	2,1	Enchufe doméstico	10	230	9	160	4
78	Volkswagen (2.2)	e-up	18,7	2,7	Wall Box	12	230	7	160	4

6.2 ACOMETIDAS

Es importante tener en cuenta el tipo de instalación eléctrica que tienen las viviendas actuales, logrando el reconocimiento de la potencia máxima disponible; ya que este es un factor importante para conectar el VE como una carga, pues el consumo de este es variable de acuerdo al tipo de vehículo, modo de conexión y del tipo de cargador.

En este estudio se realizó un cálculo de acometidas basándose en una variedad de posibilidades a la hora de calcular la potencia máxima que dispone la vivienda del usuario, dependiendo de la tensión nominal, según la configuración dispuesta en la acometida, como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Relación del tipo de acometida con tensión eléctrica.[14]

RELACIÓN DE TIPO DE ACOMETIDA Y TENSIÓN	
TIPO DE ACOMETIDA	TENSION [V]
TRIFASICO TETRAFILAR	208
BIFASICO TRIFILAR	208
MONOFASICO BIFILAR	120

Fuente: Ministerio de minas y energía. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

Las **tablas 7** y **8** se realizaron con base al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y en la Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C de la norma NTC-2050.

El calibre de los conductores se expresa en milímetros cuadrados (mm²), seguidos por su equivalente entre paréntesis en AWG (American Wire Gage) o en mils de circunferencia (kcmil).[13]. Para el estudio se selecciona de acuerdo al AWG, por su fácil entendimiento.

Tabla 8: Relación del calibre de los conductores y su capacidad de corriente.[14]

RELACIÓN DE TIPOS DE CABLES Y CORRIENTES	
CALIBRE CONDUCTOR [AWG],75°C,TIPO:THW	CORRIENTE [A]
10	35
8	50
6	65
4	85
2	115
1	130
1/0	150
2/0	175

Fuente: Ministerio de minas y energía. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

En la **Tabla 8**, se muestra los diferentes calibres utilizados para las instalaciones eléctricas residenciales; junto con la capacidad de corriente eléctrica que soporta una temperatura de 75°C.

Factor de potencia: es la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA) del mismo sistema eléctrico o parte de él. Por comodidad, los cálculos de los ejemplos se basan en la hipótesis de que todas las cargas tienen el mismo factor de potencia y asumiendo su valor del 0,95.

Para una acometida de tipo monofásico bifilar se calcula la potencia que soporta la instalación como:

$$P = \frac{V * I * fp}{1000 * x} [kW]$$

Dónde:

- **P** es la potencia máxima que soporta la red domiciliaria.
- **V** es la tensión que dispone la red domiciliaria.
- **I** es la corriente que soportan los conductores de la red.
- **fp** es el factor de potencia.
- **x** factor de la protección del calibre 1,25.

Para una acometida de tipo bifásico trifilar se calcula la potencia que soporta la instalación como:

$$P = \frac{V * I * fp}{1000 * x} [kW]$$

Dónde:

- ***P*** es la potencia máxima que soporta la red domiciliaria.
- ***V*** es la tensión que dispone la red domiciliaria.
- ***I*** es la corriente que soportan los conductores de la red.
- ***fp*** es el factor de potencia.
- ***x*** factor de la protección del calibre 1,25.

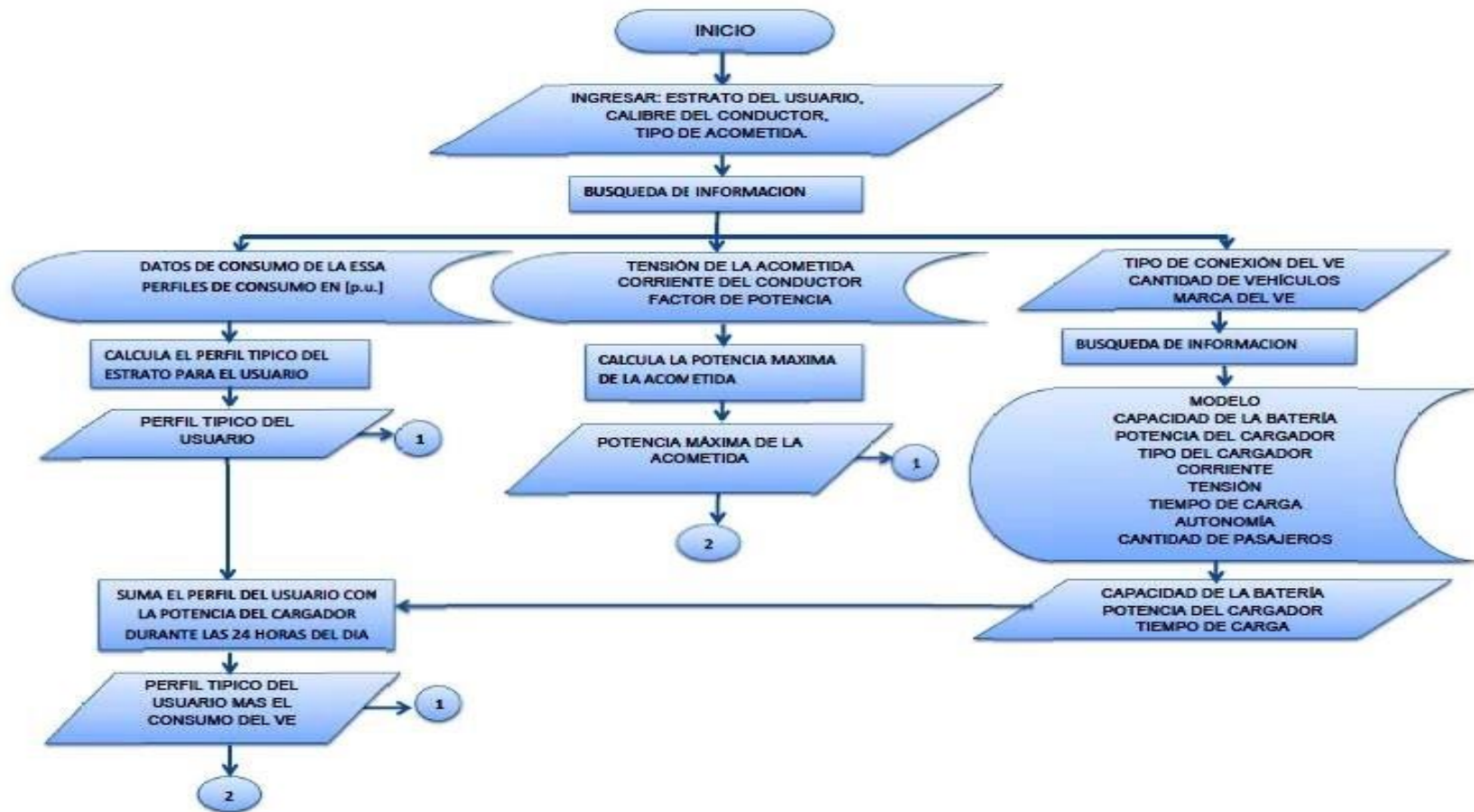
Para una acometida de tipo Trifásico Tetrafilar se calcula la potencia que soporta la instalación como:

$$P = \frac{\sqrt{3} * V * I * fp}{1000 * x} [kW]$$

Dónde:

- ***P*** es la potencia máxima que soporta la red domiciliaria.
- ***V*** es la tensión que dispone la red domiciliaria.
- ***I*** es la corriente que soportan los conductores de la red.
- ***fp*** es el factor de potencia.
- ***x*** factor de la protección del calibre 1,25.

6.3 ALGORITMO DE LA HOJA DE CÁLCULO



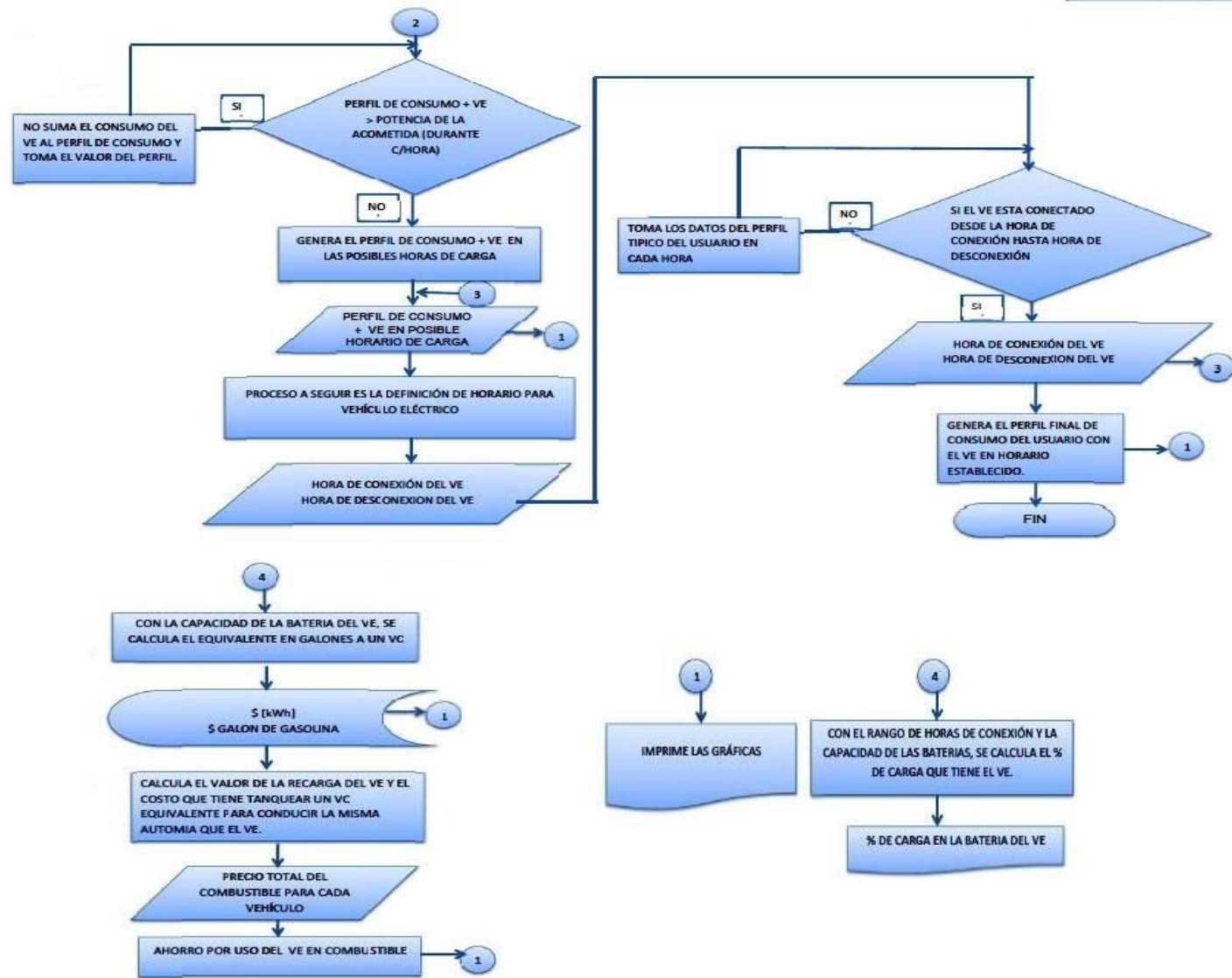


Figura 25: Diagrama de flujo del algoritmo del aplicativo.

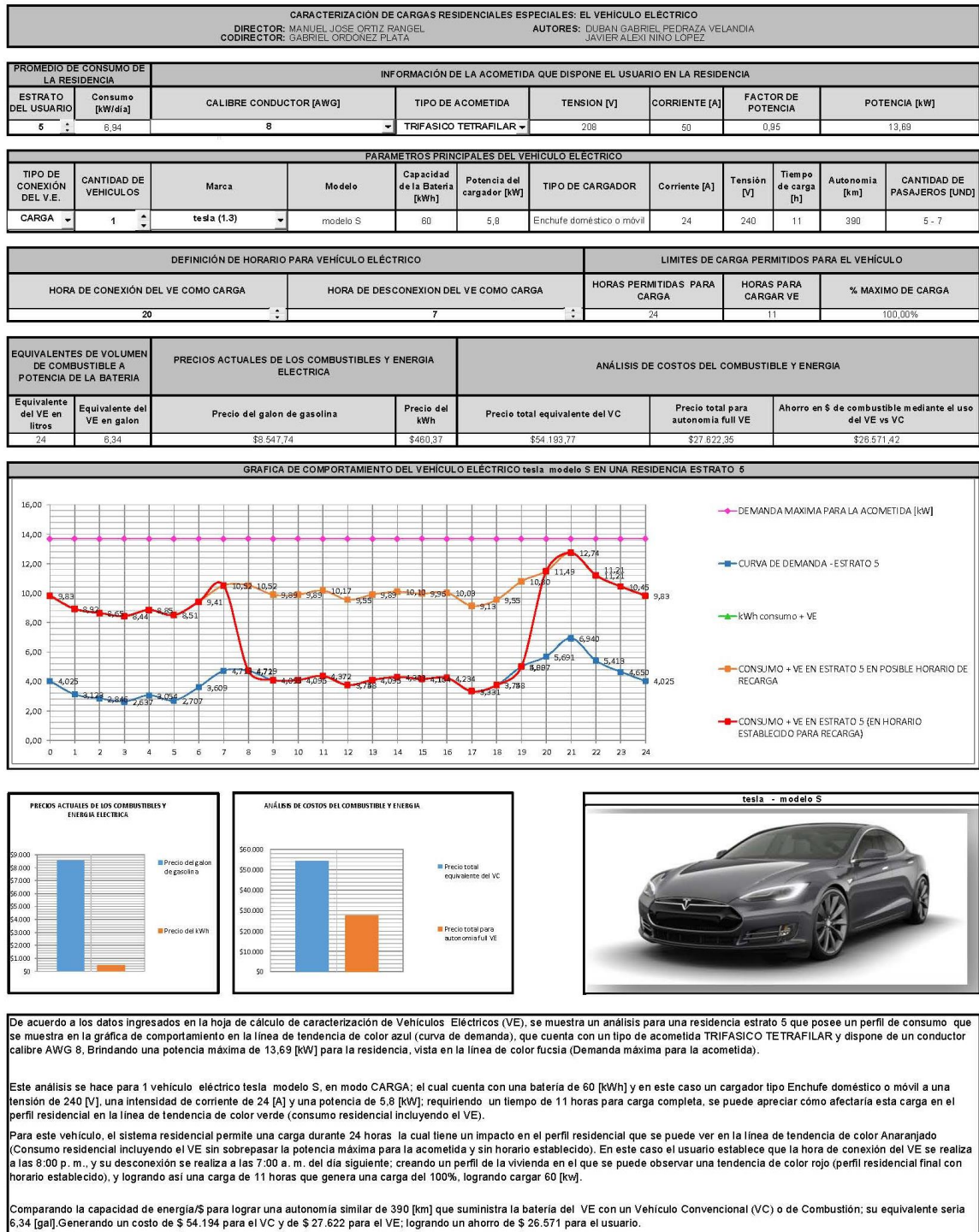
El diagrama de flujo de la **Figura 25** representa el algoritmo base de este proyecto de investigación, donde muestra el proceso con el cual se caracteriza el VE en un sistema eléctrico residencial, con variación de parámetros. Describiendo en él, tipo de conexión ya sea como carga o como fuente.

De manera general en el diagrama de flujo se describe el procedimiento para el funcionamiento del VE como carga, mientras que si el VE esta en modo de conexión fuente el proceso cambiaría en el momento de sumar el consumo del cargador al perfil típico del usuario, realizando la resta del consumo del VE al perfil típico. Con lo que se realiza un aplicativo en Microsoft Excel (ver **Figura 26**) que permite automatizar los procesos para el análisis de los 78 configuraciones de los VE existentes y comerciales hasta el momento, pues se logra estimar que con los parámetros que se pueden variar; por ejemplo si se tienen 2 modos de conexión (carga o fuente), para 2 estratos (5 y 6), para 3 tipos de acometidas (monofásica, bifásica y trifásica), 8 calibres de conductores (10, 8, 6, 4, 2, 1, 1/0 y 2/0), logrando así un análisis que se podrá hacer para más de 7488 posibilidades diferentes, sin tener en cuenta la gran variedad de horarios que se pueden escoger, y que mediante el aplicativo realizado se incluyen todos los estratos residencial y comercial, logrando abarcar más posibilidades de análisis para los usuarios.

En la **Figura 26** se muestra el aplicativo final para la caracterización el VE como carga especial en un sistema residencial eléctrico, donde el usuario puede realizar un análisis automatizado conociendo datos como su estrato, el tipo de acometida y el calibre de los conductores que tiene su vivienda. Además permite seleccionar las marcas y modelos de VE almacenados en la base de datos, permitiendo establecer combinaciones de horarios acordes para interactuar con la red eléctrica, dando información de cuantas horas puede cargar el VE y el porcentaje de la carga que tendrá la batería con este horario.

Además presenta una comparación con VC de similares características, comparando costos de combustibles y posibles ahorros con uso del VE. Con este aplicativo se logra generar hábitos para el uso del VE por parte de los usuarios, dando una visión más extensa sobre el uso y aplicaciones del VE.

Figura 26: Aplicativo en Excel para caracterización de VE en sistemas eléctricos residenciales.



7. ANÁLISIS DEL VE COMO CARGA Y FUENTE

Este capítulo se centra en los estratos 5 y 6, para los cuales se tiene en cuenta características que son primordiales al momento de realizar la caracterización e impacto en el perfil definido para dichos estratos de la conexión del vehículo eléctrico como carga.

Las características analizadas son: La acometida de la instalación eléctrica que dará suministro al VE, los vehículos eléctricos y sus distintos cargadores.

Los tipos de vehículos que se analizan para el cuerpo del proyecto se centra en 4 categorías principales, las cuales serán los VE más significativos y acogidos en el mercado automotriz:

- Deportivos
- Tipo sedan
- Pequeños
- Utilitarios

7.1 ANÁLISIS DEL VE COMO CARGA

7.1.1 Categoría de los deportivos en estrato 5.

En la categoría de los deportivos está el Mercedes-Benz SLS AMG ED, el Tesla Roadster y Modelo S, este último con gran acogida en el sector automotriz debido a la gran tecnología con la que cuenta y capacidad de sus baterías.

➤ **Tesla Modelo S**

El Tesla Modelo S (ver **Figura 27**), es un vehículo tipo sedán de apariencia deportiva, que cuenta con una batería de 60 o 85 [kWh], brindando una autonomía de 390 y 509 [km] respectivamente, es compatible con varios cargadores: 1,4 y 1,8 [kW] y una tensión de 110-240[V]; de tipo móvil, se recomienda cargar desde una toma de 240 volts en lugar de un enchufe de 110 volts. Un enchufe de 240 volts proporciona mucha más energía que una toma de corriente estándar y se cargará

en su vehículo más rápido, para los cargadores de 5,8; 10; 20 [kW] y con tensiones de 240 [V]; tipo Wall Box, es necesario un circuito ramal dedicado, debido a la potencia suministrada.

Figura 27: Tesla Modelo S.

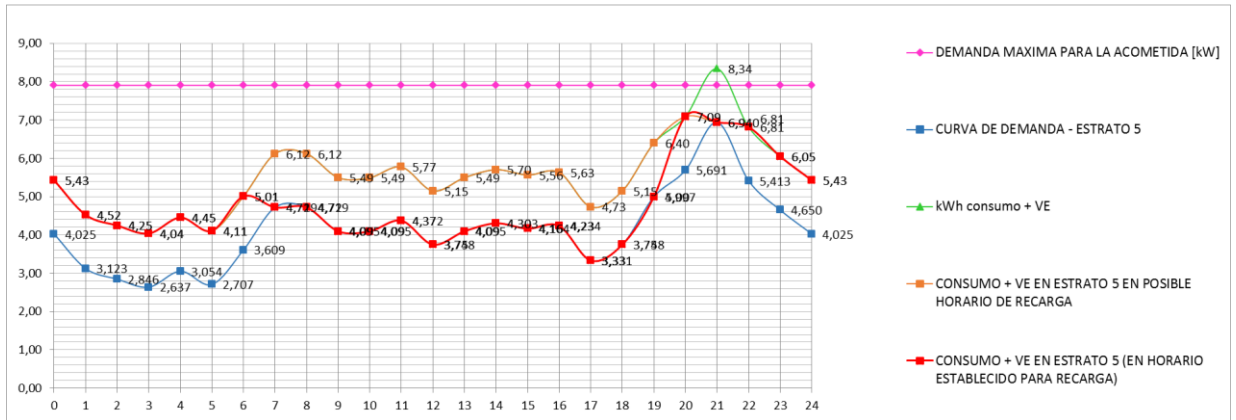


Fuente: Motor pasión futuro.¹⁹

En este caso se realiza el análisis para un estrato 5, el cual tiene un perfil de consumo promedio diario de 6,94 [kW] (ver **Tabla 4**), y si por ejemplo el usuario tiene una acometida del tipo bifásico trifilar con un calibre de AWG 8, lo cual permite una potencia máxima de la acometida de 7,9 [kW] al usar el cargador con 1,4[kW], para la batería de 60 [kWh] del Tesla Modelo S, debido a la potencia requerida por el cargador y esta batería, se requiere de 43 horas para lograr cargarla de forma completa. El consumo actual del usuario permitiría la inclusión de este VE, ya que es posible cargarlo durante 23 horas sin sobrepasar la potencia máxima disponible de la residencia. Además se establece como ejemplo que el VE se cargara durante las 8:00p.m. Hasta las 6:00 a.m. del día siguiente, debido a que es en parte cuando existe menor consumo por ser horario nocturno, logrando una carga del 23,26%.

¹⁹ Tomada de la página web: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/tesla-piensa-en-un-electrico-con-320-km-por-30-000-en-tres-o-cuatro-anos>

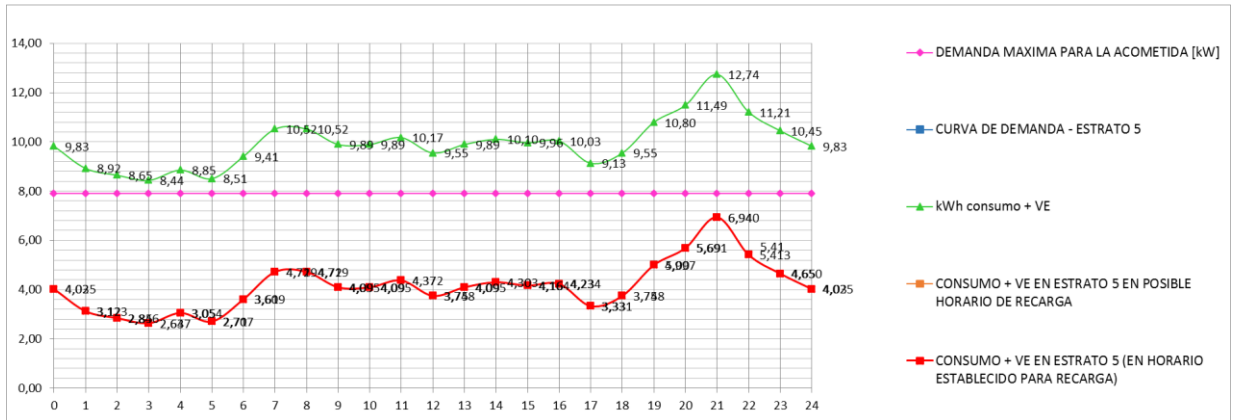
Figura 28: Grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5 y cargador 1,4 [kW].



En la **Figura 28** se encuentra en color fucsia la potencia máxima que soporta la acometida en el estrato 5, seguidamente en color azul se observa el perfil de consumo normal para dicho estrato. Para simular el comportamiento del perfil de un usuario al integrar el VE se suma la potencia que se tiene del perfil (color azul) junto con la potencia del cargador del vehículo en cada hora (grafica de color verde). Evitando sobrepasar la potencia máxima, se restringe; con la condición de que no se conecte el VE cuando se exceda ese máximo como sucede a las 9:00 p.m. en la línea verde; obteniendo como resultado la gráfica de color anaranjado en la cual se puede apreciar que se está por debajo de la potencia que soporta la red en este ejemplo, como se mencionó anterior mente el horario establecido para cargar el vehículo se puede apreciar en la línea de color rojo en la cual a las 8:00 p.m. se conecta el VE, siguiendo el perfil de color anaranjado hasta las 6:00 a.m. del día siguiente, cuando este se desconecta de la red, procediendo a seguir el perfil azul nuevamente que es el perfil normal del usuario, y este sería el perfil final incluyendo el VE como una carga en el sistema, que se muestra de color rojo.

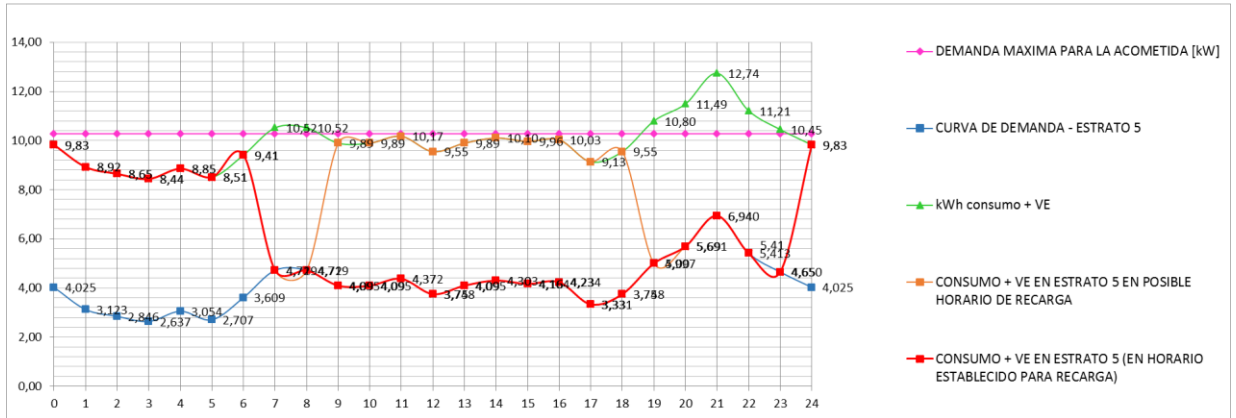
Otro ejemplo se puede realizar con el cargador de 5,8 [kW] y las mismas condiciones de acometida y horario, pues el vehículo requiere de 11 horas para la recarga completa de la batería. Se puede ver en la **Figura 29**, que al momento de conectar el VE a la red; este excede la potencia máxima, por lo que no permite cargarlo, dando como resultado el perfil normal del usuario que se puede ver en color rojo.

Figura 29: grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5 y cargador 5,8 [kW].



¿Qué puede pasar si se cambia el calibre del conductor por uno de mayor capacidad? Al cambiar el calibre del conductor a AWG 6, se puede aumentar la potencia a 10,28 [kW] (ver en la **Figura 30**), la cual permitirá integrar el VE durante 17 horas del día; que sería el perfil de color anaranjado, y que con el horario establecido de 7 horas de carga que sería el perfil de color rojo, logrando una recarga del 63,64% en la batería.

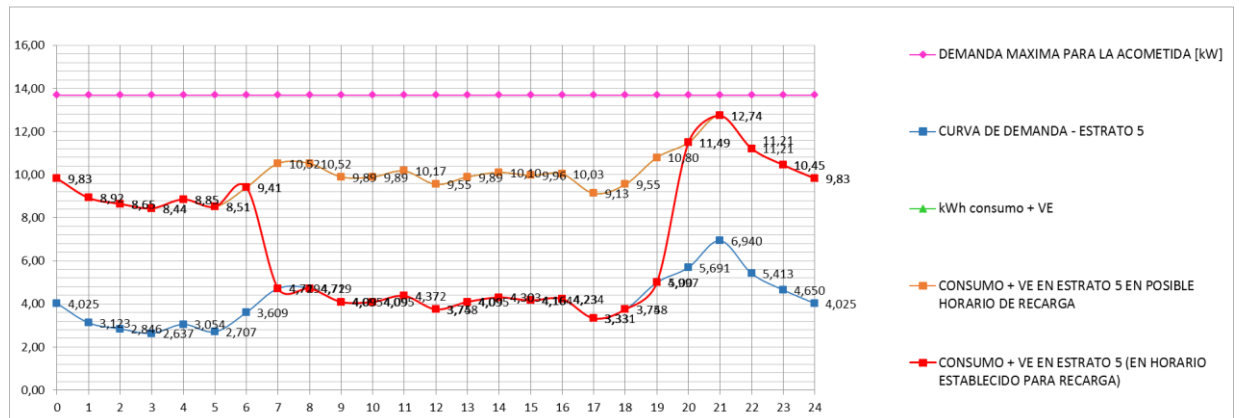
Figura 30: Grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5, AWG 6 y cargador 5,8 [kW].



Ahora, con el calibre de conductor AWG 8 y se cambia el tipo de acometida a trifásico tetrafilar; se obtendría una potencia en la residencia de 13,69 [kW], lo que permite tener una recarga permisible durante las 24 horas del día (como se

aprecia en la **Figura 31**, línea de color anaranjado); que con el horario de carga establecido, se puede cargar 11 horas y lograr una recarga del 100% de la batería.

Figura 31: Grafica de perfiles para el tesla modelo S, en estrato 5, AWG 8, Trifásico tetrafilar y cargador 5,8 [kW]

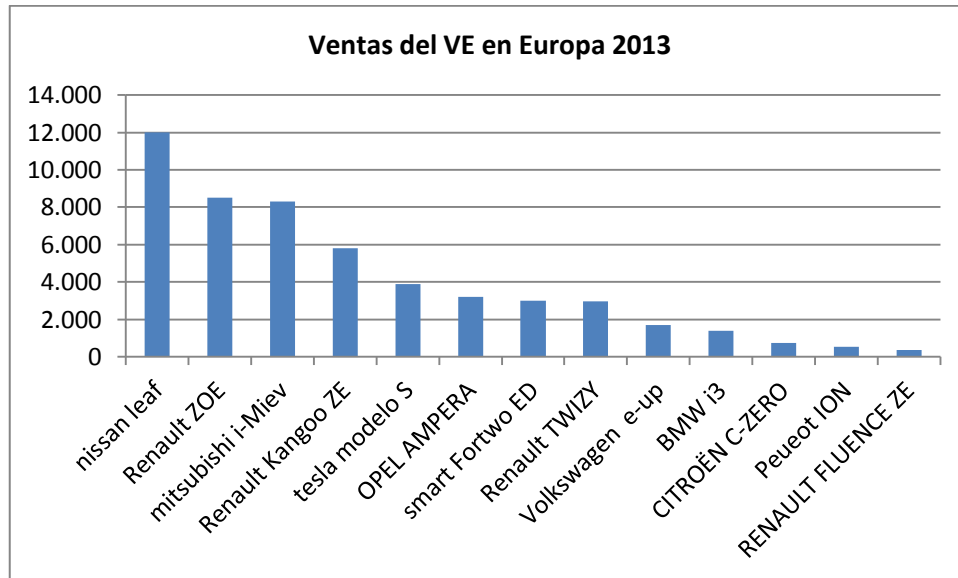


Para el Tesla modelo S con batería de 85 [kWh], siendo el tiempo de carga la variable necesaria e importante para cargarla completamente; pues requiere de 61 horas con el cargador de 1,4 [kW], 48 horas para el 1,8 [kW] y 15 horas para el de 5,8 [kW].

7.1.2 Categoría de los Sedán en estrato 5.

En la categoría de los VE tipo sedán, se tiene los VE como: Opel Ampera, Bg Automotive C100, BDY E6, Renault Fluence ZE, nissan leaf, Renault ZOE, BMW i3, Mercedes-Benz Clase B ED, Volkswagen e-Golf y el Ford Focus electric. Para esta categoría se selecciona entre los vehículos más vendidos; en este caso en Europa durante el 2013 (ver **Figura 32**), ya que es donde existe un gran avance en la implementación de los VE con gran acogida. Debido a esto para esta categoría se analiza el Nissan leaf y Renault ZOE.

Figura 32: Ventas del vehículo eléctrico durante el año 2013.



Fuente: Híbridos y eléctricos, Ventas de coches eléctricos en 17 países Europeos.²⁰

➤ **Nissan Leaf**

Para analizar el Nissan Leaf (ver **Figura 33**), el cual cuenta con una batería de 24 [kWh], que brinda una autonomía de 199 [km]; y que se puede conectar a una tensión de 110 [V] para cargadores de 1,7 y 2,2 [kW] de tipo doméstico; 220 [V] para cargadores de 3,3 y 6,6 [kW] del tipo Wall box, como se muestra en clasificación de la **Tabla 6**.

²⁰ Tomado de la página web: <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/matriculaciones-hibridos-y-electricos/ventas-coches-electricos-17-paises-europeos/20140620190440007446.html>

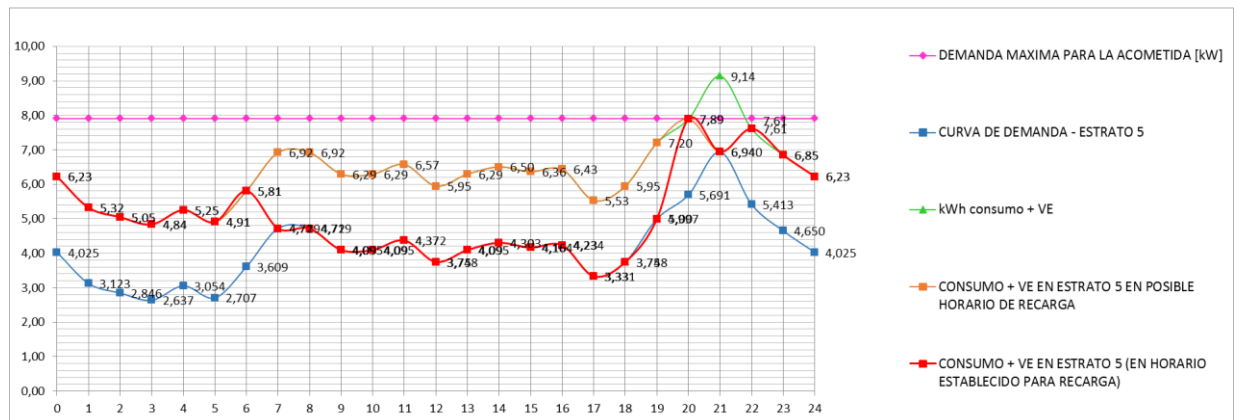
Figura 33: Nissan Leaf.



Fuente: Nissan, galería de fotos.²¹

Para un primer ejemplo, contando con una vivienda la cual posee una acometida bifásico trifilar y un calibre de conductor AWG 8, lo que da una potencia en la acometida de 7,9 [kW]. Con cargador de 2,2 [kW] se necesita de 11 horas para completar la carga completa del Leaf (ver **Tabla 6**), y utilizando los mismos horarios establecidos para la categoría de los deportivos. Se obtendría la **Figura 34**.

Figura 34: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5 y cargador 2,2 [kW].

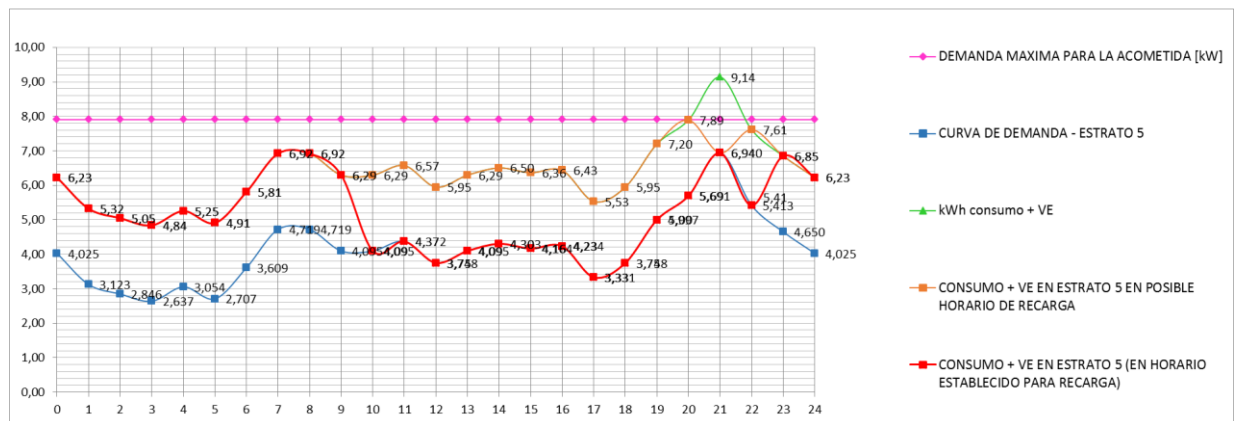


²¹ Tomada de la página web: <http://www.nissan.es/ES/es/vehicle/electric-vehicles/leaf/gallery/photos.html>

En la **Figura 34**, se puede apreciar el comportamiento cuando se incluye el vehículo eléctrico Nissan Leaf en el perfil de consumo para un usuario estrato 5, donde se observa que el único punto donde excede la potencia de la acometida es a las 9:00 p.m. como se muestra en la tendencia de color verde, y en la línea de color anaranjado mostrando como es el perfil si se conectara durante 23 horas, cumpliendo dicha restricción. Y en el perfil de color rojo, se muestra como el VE impactaría para un horario establecido de forma programada, de esta forma se podría cargar el VE durante 10 horas en las que alcanzara una carga del 90,91% en la batería.

En un caso particular en donde las condiciones de la acometida, cargador y VE; fueran iguales al caso anterior. Pero suponiendo horarios distintos, por ejemplo: desde las 11:00 p.m. hasta las 10 a.m., se tendrá la batería del Leaf cargada en un 100% y su perfil sería el que se muestra en la **Figura 35**.

Figura 35: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5, cargador 2,2 [kW] y horario de carga de 11 horas.



Para el cargador de 6,6 [kW] utilizado por el Nissan Leaf que requiere un tiempo de 4 horas para recargar la batería, se necesita que la acometida cuente con un calibre de conductor AWG 6 y que sea bifásico trifilar, proporcionando una potencia de 10,28 [kW]. En este caso y con el horario de 8:00 p.m. a 6:00 a.m. se logra obtener un perfil en el que el VE no carga durante las 8:00 p.m. hasta las 12:00 a.m. debido a que excede la potencia máxima que puede estar utilizando la acometida, pero si cargando desde las 12:00 a.m. hasta las 6:00 a.m. con lo que se cargaría el vehículo durante 6 horas alcanzando una carga en la batería del 150% como se muestra en la **Figura 36**, en un caso teórico. Pero en realidad este

se carga desde las 12:00 a.m. hasta las 4:00 a.m. logrando una carga del 100% en las 4 horas que requiere (ver **Figura 37**).

Figura 36: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5, cargador 6,6 [kW] y horario de carga de 6 horas.

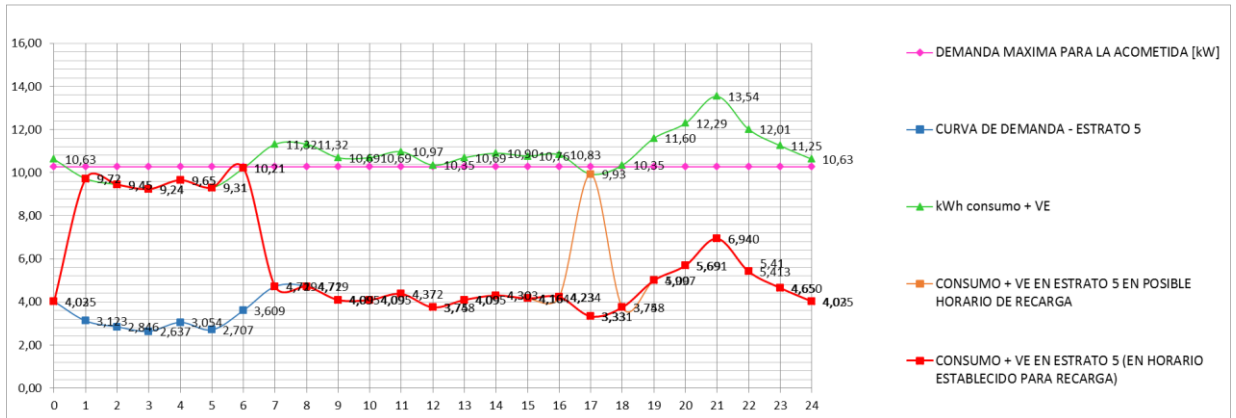
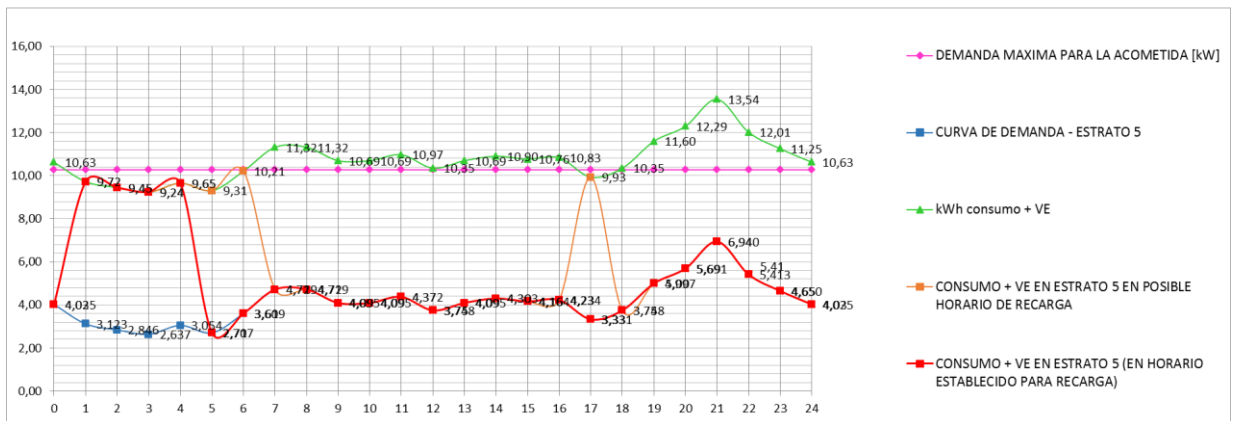


Figura 37: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 5, cargador 6,6 [kW] y horario de carga de 4 horas.



➤ **Renault ZOE**

Por otro lado el Renault ZOE (ver **Figura 38**), cuenta con una batería de 24 [kWh], la cual brinda una autonomía de 210 [km] y utiliza una tensión de 220 [V] para sus cargadores; con el cargador de 2,3 [kW] tipo doméstico y el de 3 [kW] tipo Wall Box, como se muestra en la **Tabla 6**.

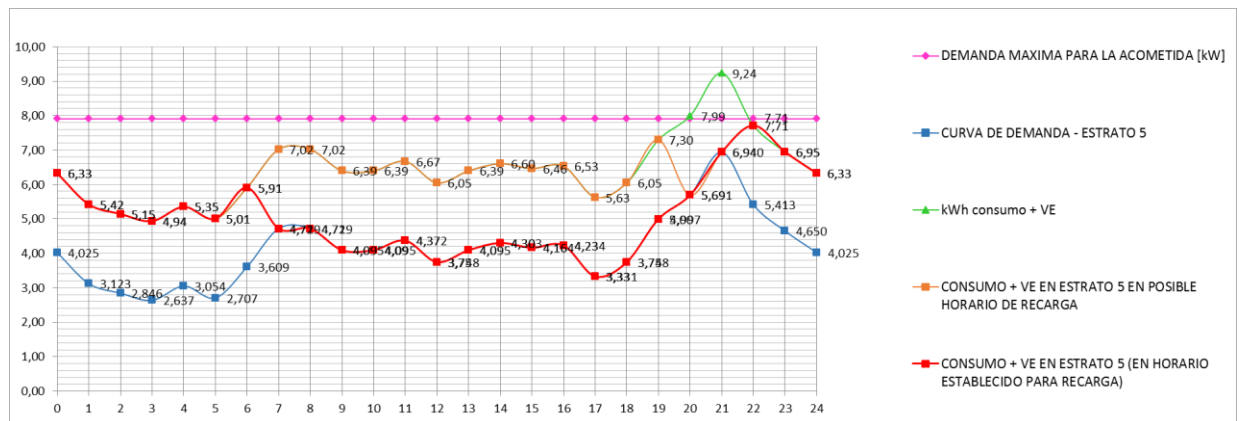
Figura 38: Renault ZOE.



Fuente: Renault España, diseño de los faros.²²

De acuerdo con el primer ejemplo del Nissan Leaf, siendo la acometida bifásico trifilar y calibre del conductor AWG 8, lo que brinda una potencia en la acometida de 7,9 [kW]. Con cargador de 2,3 [kW] se necesita de 11 horas para completar la carga completa del ZOE (ver **Tabla 6**), y utilizando los mismos horarios establecidos; desde las 8:00pm hasta las 6:00am del día siguiente, se obtendría la **Figura 39**.

Figura 39: Perfiles para el Renault Zoe, en estrato 5 y cargador 2,3 [kW].



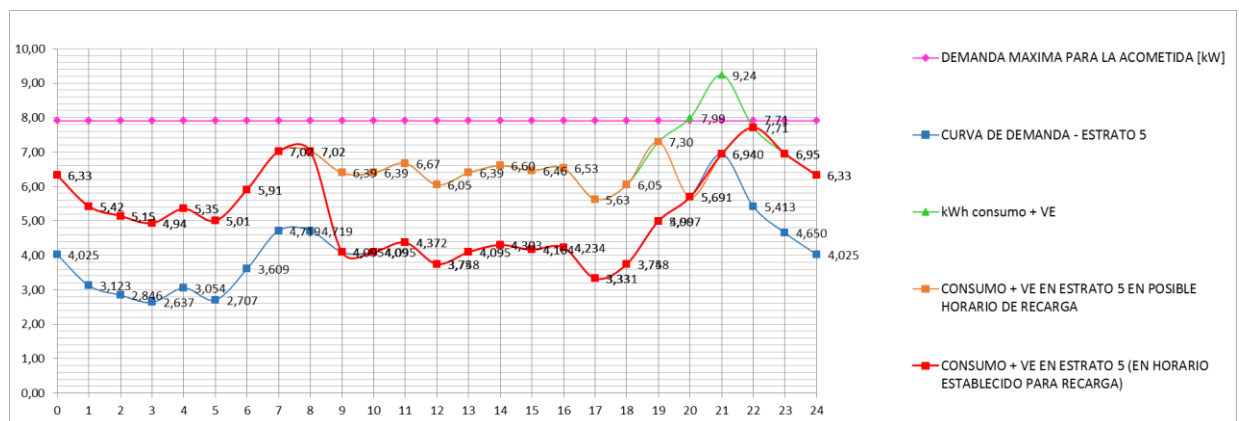
²² Tomado de la página web: <http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/zoe/zoe/diseno.jsp>

En la **Figura 39** se observa que el Renault Zoe tiene un comportamiento en el perfil del estrato 5, excediendo la potencia máxima de la acometida entre las 8:00 p.m. y 9:00 p.m. en la línea de color verde, siendo posible cargarlo durante 22 horas; cumpliendo con las restricciones planteadas, como lo muestra la tendencia de color anaranjado. La tendencia de color rojo, se nota como en un horario establecido afecta el VE de forma programada, de esta forma se podría cargar el VE durante 9 horas que brindarían una carga del 81,82% en la batería.

Una comparación que se puede apreciar es entre los vehículos Nissan Leaf y el Renault Zoe, para parámetros ya establecidos en las **Figura 34** y **Figura 39**; se muestra a las 8:00 p.m., pues existe una diferencia de una hora para cargarlo debido a que el Cargador del Leaf es 100 [W] menor que el cargador del Zoe, evitando exceder la potencia de la acometida en esta hora, lo que permite un porcentaje de carga mayor al del Zoe.

Si las condiciones de la acometida, cargador y VE; fueran iguales al caso anterior, pero suponiendo horarios distintos, por ejemplo: desde las 9:00 p.m. hasta las 8 a.m., se tendría la batería del Zoe cargada en un 100% y su perfil sería el que se muestra en la **Figura 40**.

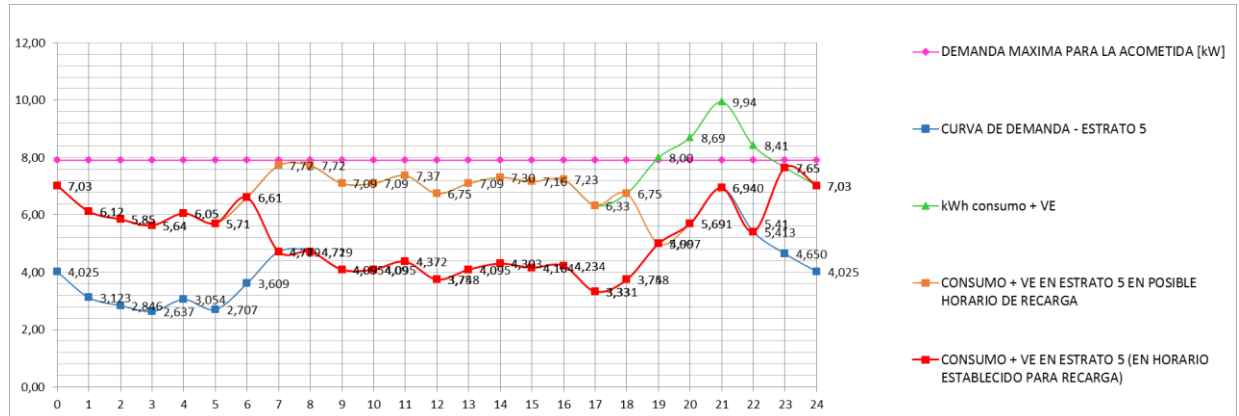
Figura 40: Perfiles para el Renault Zoe, en estrato 5, cargador 2,3 [kW] y horario de carga de 11 horas.



Para el cargador de 3 [kW] utilizado para el Renault Zoe que requiere un tiempo de 8 horas para recargar la batería, es necesario que la acometida tenga mínimo un calibre para el conductor al menos AWG 8, esta puede ser bifásico trifilar, dando una potencia de 7,9 [kW]. En este caso y con el horario de 10:00 p.m. a

6:00 a.m. se logra la carga del 100% en las 8 horas que requiere el vehículo (ver **Figura 41**).

Figura 41: Perfiles para el Renault Zoe, en estrato 5, cargador 3 [kW] y horario de carga de 8 horas.



7.1.3 Categoría de Vehículos pequeños en estrato 5.

En la categoría de los VE pequeños, se tienen: ThInk City, Citroën C-Zero, Mini E, Aixam E City, Aixam E Coupe, Mitsubishi I-Miev, Renault Twizy, Peugeot Ion, Chevrolet Spark Ev, Fiat 500e, Volkswagen E-Up, Smart Fortwo Ed, Smart Brabus, Dynasty Electric Sedan; Sport; Tropic; Van; Utility. Al igual que en la categoría de los sedán se escoge los vehículos más vendidos en Europa durante el 2013(ver Figura 33). Con esta consideración, en esta categoría se analiza el Mitsubishi I-Miev, Smart Fortwo Ed y Renault Twizy.

➤ Mitsubishi I-Miev

Para el Mitsubishi I-Miev (ver **Figura 42**), el cual dispone de una batería de 16 [kWh] que brinda una autonomía de 150 [km]; se alimenta a una tensión de 220 [V] para sus cargadores de 2,3 [kW] tipo doméstico y de 3,5 [kW] tipo Wall Box, ver **Tabla 6**.

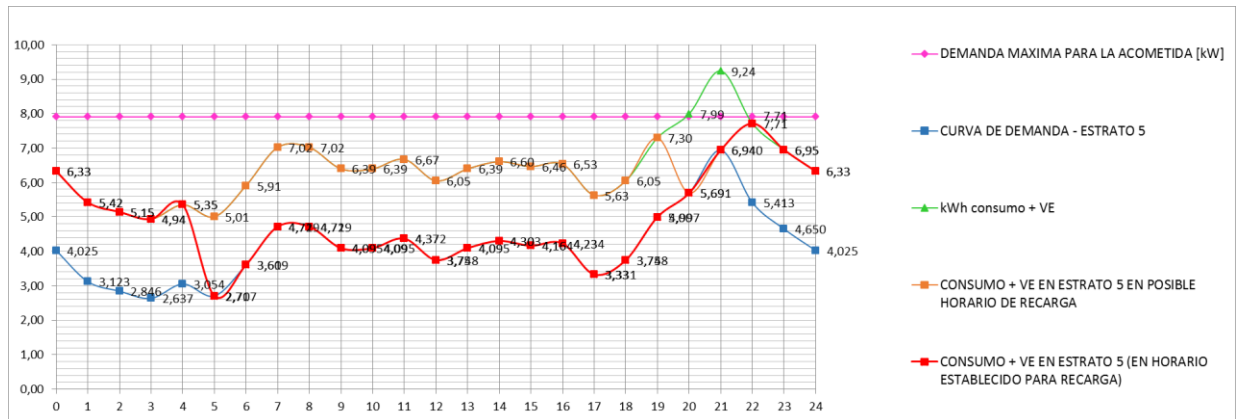
Figura 42: Mitsubishi I-Miev.



Fuente: Mitsubishi, galería del I-Miev.²³

Un ejemplo puede ser que la acometida sea bifásica trifilar y calibre del conductor AWG 8, lo que proporciona una potencia en la acometida de 7,9 [kW]. Con cargador de 2,3 [kW], siendo necesario de 7 horas para completar la carga completa del i-Miev (ver **Tabla 6**), con horarios comprendidos entre las 9:00 p.m. y las 4:00 a.m., como se observa en la **Figura 43**.

Figura 43: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 5 y cargador 2,3 [kW].



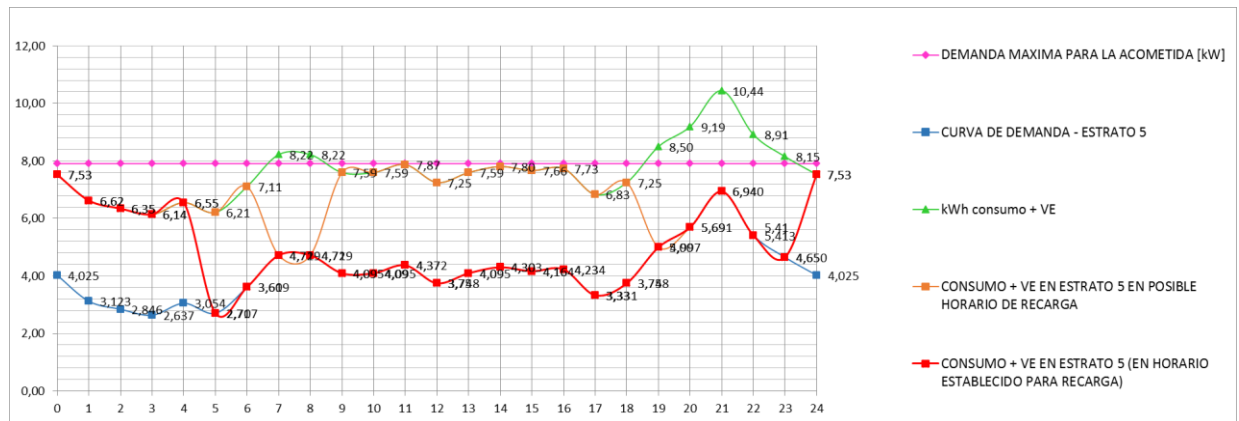
Para la **Figura 43**, se puede apreciar el comportamiento cuando se incluye el vehículo eléctrico Mitsubishi I-Miev en el perfil de consumo para un usuario estrato 5, notando que excede la potencia máxima de la acometida a las 8:00 p.m. y a las 9:00 p.m., momento en que se conecta, como se muestra en la tendencia de color

²³ Tomada de la página web: http://www.mitsubishi-motors.es/uploadedImages/Contents/Models/i-MiEV_MY12/i-MiEV_MY12-i-MiEV/ImageGallery/Gallery-iMiEV-MY12-large7.jpg

verde, y en la línea de color anaranjado mostrando como es el perfil si se conectara durante 22 horas, cumpliendo dicha restricción. En el perfil de color rojo, se nota como en un horario establecido se afectaría el perfil del usuario con el VE de forma programada, de esta forma se podría cargar el VE durante 7 horas que brindarían una carga del 100% en la batería.

Otro ejemplo para el Mitsubishi I-Miev es con el cargador de 3,5 [kW] con el que se requiere de 5 horas para la recarga de su batería (ver **Tabla 6**), con la misma configuración de la acometida del ejemplo anterior. Y con horarios de conexión de las 7:00 p.m. hasta las 4:00 a.m., sería la que se muestra en la **Figura 44**.

Figura 44: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 5 y cargador 3,5[kW].



En la **Figura 44**, se observa que al integrar el VE al perfil de consumo del usuario estrato 5; presenta un exceso de potencia respecto a la capacidad por parte de la acometida durante los horarios comprendidos desde las 7:00 p.m. a las 11:00 p.m. y entre las 7:00 a.m. a las 8:00 a.m., siendo un horario programado mencionado anteriormente, el VE en una Smart Grid podría no cargarse en este horario para no afectar la capacidad de la acometida en la vivienda cumpliendo la restricción dada mostrada en la tendencia de color verde, e integrándose en alrededor de 17 horas durante el día, y en el horario establecido se integraría desde 12:00 p.m. hasta las 4:00 a.m. de manera inteligente, logrando una carga del 100%, generando un perfil de consumo como se muestra en la tendencia de color rojo.

➤ Smart Fortwo Ed

Para el Smart Fortwo Ed (ver **Figura 45**), el cual dispone de una batería de 17,6 [kWh] que brinda una autonomía de 145 [km]; se alimenta a una tensión de 230 [V] para sus cargadores de 2,6 [kW] tipo doméstico y 3,3 [kW] tipo Wall Box, además que tiene un cargador trifásico tipo Wall box de 22 [kW] a 400 [V], ver **Tabla 6**.

Figura 45: Smart Fortwo Ed.

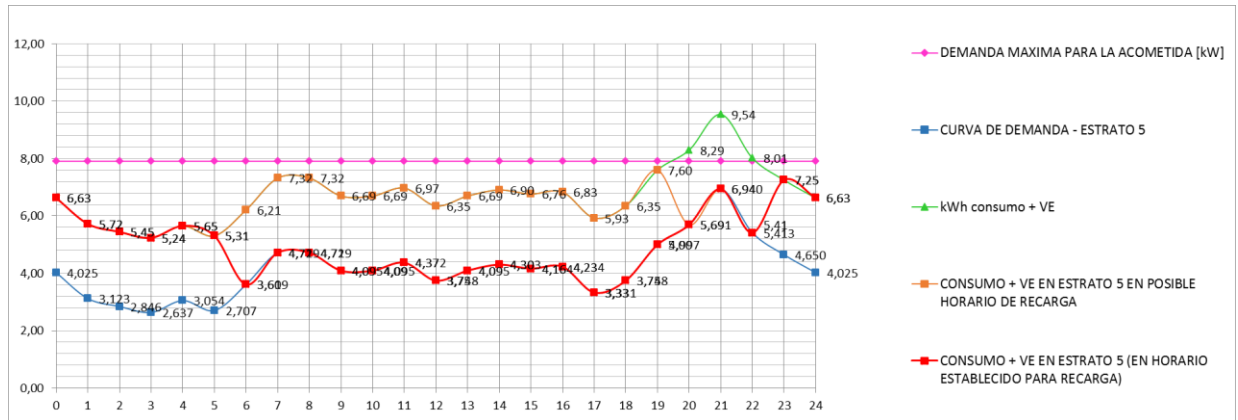


Fuente: Smart, simplemente eléctrico, detalles.²⁴

Como se analizó anteriormente con el i-Miev, para el Smart Fortwo ED se consideran los mismos parámetros de la acometida la cual brinda una potencia de 7,9 [kW]. Para el cargador de 2,6 [kW] es necesario 7 horas de carga para una carga completa. Con un horario de ejemplo establecido de 10:00 p.m. hasta las 5:00 a.m. como se muestra en la **Figura 46**.

²⁴ Tomado de la página web: <https://www.smart.com/es/es/index/smart-fortwo-electric-drive/electric-drive.html>

Figura 46: Perfiles para el Smart Fortwo ED, en estrato 5 y cargador 2,6 [kW].



En la **Figura 46**, se puede ver el comportamiento cuando se incluye el vehículo eléctrico Fortwo ED en el perfil de consumo para un usuario estrato 5, notando que excede la potencia máxima de la acometida a las 8:00 p.m. y a las 10:00 p.m., momento en que se conecta, como se muestra en la tendencia de color verde, y en la línea de color anaranjado mostrando el perfil si se conectara durante 21 horas, cumpliendo con la restricción. En el perfil de color rojo, se nota como en un horario establecido se afectaría el perfil del usuario con el VE de forma programada, de esta forma se podría cargar el VE durante 7 horas que brindarían una carga del 100% en la batería. Mostrando cómo se aprovecha la generación de energía logrando un aplanamiento de la curva de consumo al integrar este tipo de cargas en horas de la madrugada.

La diferencia entre los cargadores 2,6 y 3,3 [kW] del Smart Fortwo ED, es solo una hora para lograr la carga completa de la batería, lo cual con el cargador de 3,3 [kW] consume una de corriente a 14 [A], mientras que el de 2,6 [kW] requiere una corriente de 11[A] (ver **Tabla 6**). Por ende no se realiza a fondo el análisis para el cargador de 3,3 [kW], pues presenta mayor consumo, sin aportar un gran cambio relativo al perfil analizado en el ejemplo anterior lo que genera un impacto en la acometida con esta carga por el valor eficaz de la corriente requerida.

➤ Renault Twizy

Este es probablemente el VE más pequeño del mercado debido a sus dos plazas (número de pasajeros) y dimensionamiento. Para el Renault Twizy (ver **Figura 47**), el cual dispone de una batería de 6,1 [kWh] que brinda una autonomía de 50 a 80 [km]; se alimenta a una tensión de 220 [V] cargándose a una potencia de 2 [kW] con un enchufe doméstico, ver **Tabla 6**.

Este vehículo se estima que para abril del 2015, se comercializara con un valor de alrededor de los \$40 000 000 en mercado Colombiano como lo afirma el gerente de mercadeo de Renault- Sofasa.

Figura 47: Renault Twizy.

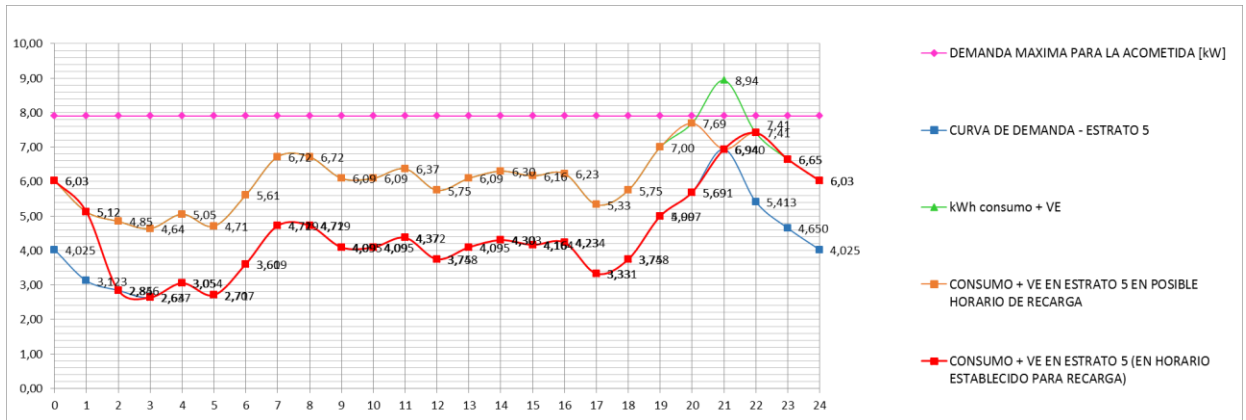


Fuente: Renault Twizy, Plug Into The Positive Energy.²⁵

Siguiendo las condiciones que se han planteado para las categorías anteriores si se dispone de una potencia en la vivienda de 7,9 [kW]. Para un horario de carga entre las 9:00 p.m. y la 1:00 a.m. obteniendo el perfil de consumo que se muestra en la **Figura 48**.

²⁵ Tomada de la página web: <http://www.renault.es/e-brochure/ZETWIZY/pdf/fullPDF.pdf>

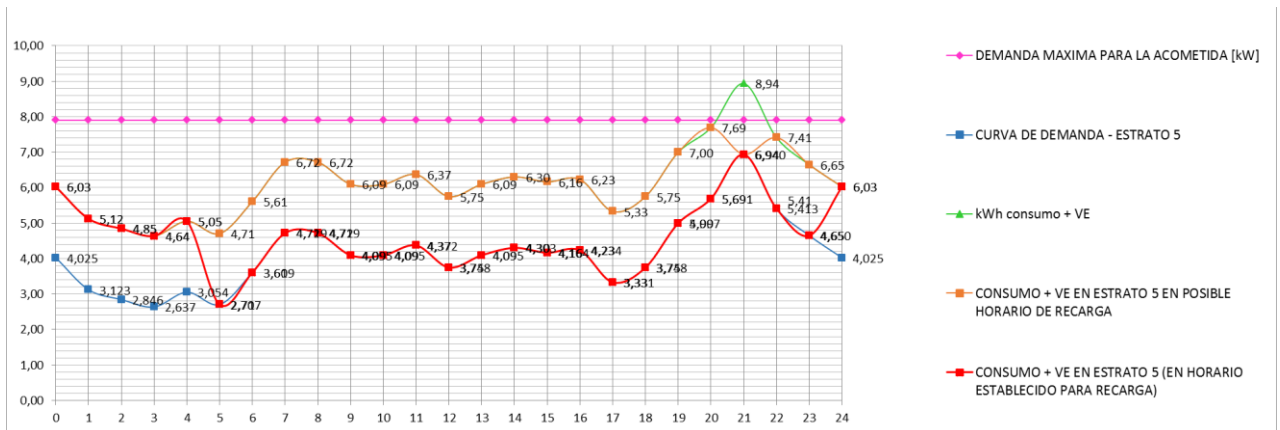
Figura 48: Perfiles para el Renault Twizy, en estrato 5.



En la **Figura 48** se observa el comportamiento de este VE en el perfil de consumo de la residencia siendo este de bajo impacto debido a la baja capacidad de almacenamiento de energía en la batería, permitiendo que la curva de demanda se aplane de una forma más eficiente, pues se puede conectar en horarios de mínima carga, logrando este cometido; pues su posible rango de conexión es de 23 horas durante el día y solo requiere de 4 horas para su recarga completa.

Si se estece otro tipo de horario como por ejemplo de 12:00 a.m. hasta las 4:00 a.m., se puede obtener un mejor aprovechamiento de la curva de consumo junto con la generación de la energía eléctrica, debido a que esto ayuda a que sea más constante el suministro de energía, evitando sobrecargas en el sistema y aprovechando al máximo la generación. Como se muestra en la **Figura 49**.

Figura 49: Perfiles para el Renault Twizy, en estrato 5 y horario de 4 horas.



7.1.4 Categoría de los utilitarios en estrato 5.

En la categoría de los VE utilitarios, se tienen: Citroën Berlingo Electric, Renault Kangoo ZE, Peugeot Partner Electric, Nissan E-NV200 y KIA Soul Ev.

Para esta categoría el Nissan E-NV200 presenta el mismo comportamiento en el consumo eléctrico que el Nissan Leaf, pues disponen de la misma capacidad en las baterías y características en sus cargadores; pero con una autonomía inferior de 162 [km]. En esta categoría se analiza el Citroën Berlingo Electric, Renault Kangoo ZE.

➤ Citroën Berlingo Electric

Para el Citroën Berlingo Electric (ver **Figura 50**), el cual dispone de una batería de 22,5 [kWh] la cual brinda una autonomía de 170 [km]; se alimenta a una tensión de 220 [V] para su cargador de 3 [kW] tipo Wall Box, ver **Tabla 6** de clasificación de vehículos eléctricos.

Figura 50: Citroën Berlingo Electric.

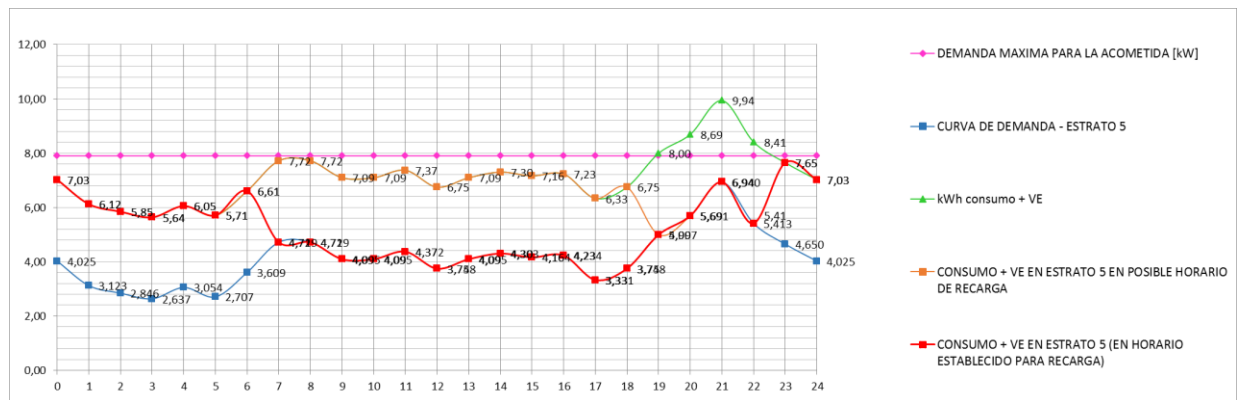


Fuente: TECMOVIA, Citroën Berlingo Electric: Hasta 170 Km de autonomía e idéntica capacidad que la Berlingo convencional.²⁶

²⁶ Tomada de la página web: <http://www.tecmovia.com/2012/09/12/citroen-berlingo-electric-hasta-170-km-de-autonomia-e-identica-capacidad-que-la-berlingo-convencional/>

A continuación se presenta un ejemplo donde se podrá observar el comportamiento en la curva de consumo del VE Citroën Berlingo, teniendo para este primer ejemplo una acometida bifásico trifilar y con un calibre en conductor AWG 8 (calibre mínimo para instalaciones residenciales), lo que da una potencia en la acometida de 7,9 [kW]. Con el cargador tipo Wall Box de 3[kWh] se necesita de 8 horas para cargar completamente su batería (ver **Tabla 6**). Estableciendo horarios para recarga inteligente del vehículo que estarían comprendidos entre las 10:00 pm y las 8:00 am obteniendo el 100 % de su recarga debido a que 8 horas son las requeridas para tal fin. En la **Figura 51** se presenta el comportamiento.

Figura 51: Perfiles para el Citroën Berlingo, en estrato 5 y horario de 8 horas.



En la **Figura 51** se puede apreciar en color fucsia la capacidad de la acometida de la vivienda, la gráfica en color azul representa la demanda típica en estrato 5 mientras que la gráfica representada en color verde muestra la demanda del estrato 5 sumándole el consumo del VE; se aprecia que esta grafica presenta un pico de demanda a las 9:00 pm, ya con la limitación en los horarios y tratando de aplanar la curva para evitar que sea superada la capacidad de la red se encuentra representada en la gráfica de color roja, mientras que en la gráfica anaranjada se representan los horarios de posible conexión del vehículo durante el día que en este caso es de 20 horas sin saturar a la red eléctrica.

➤ Renault Kangoo ZE

Para el Renault kangoo ZE (ver **Figura 52**), el cual dispone de una batería con capacidad de 22 [kWh] la cual brinda una autonomía de 160 [km]; se alimenta a una tensión de 220 [V] para sus cargadores de 3 [kW] tipo Wall Box y de 2 [kW] con cargador tipo doméstico, ver **Tabla 6** de clasificación de vehículos eléctricos.

Figura 52: Renault Kangoo ZE

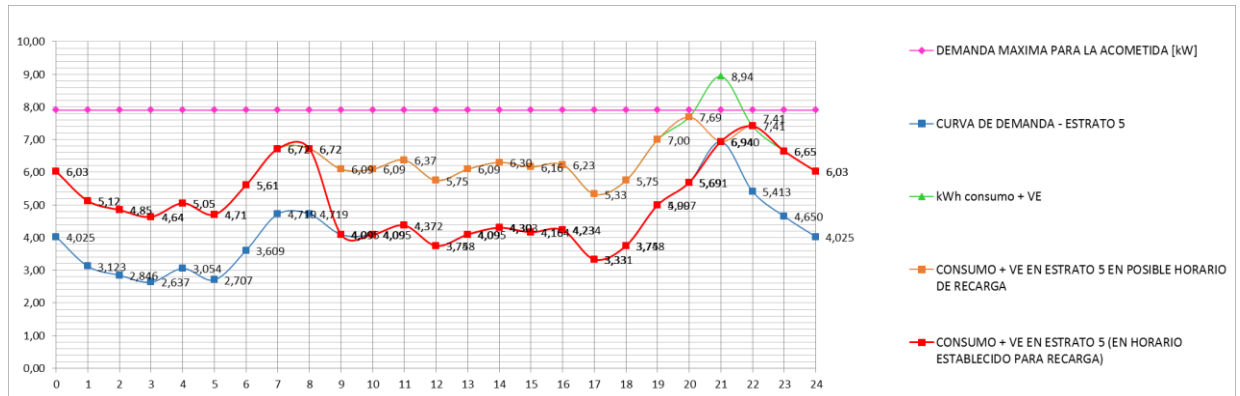


Fuente: Renault España, home Kangoo Z.E.²⁷

A continuación se presenta un ejemplo donde se podrá observar el comportamiento en la curva de consumo del VE Renault Kangoo ZE, teniendo para este primer ejemplo una acometida bifásica trifilar y con un calibre en conductor AWG 8 (calibre mínimo para instalaciones residenciales), lo que da una potencia en la acometida de 7,9 [kW]. Con el cargador tipo enchufe domestico de 2 [kWh] se necesita de 8 horas para cargar completamente su batería (ver **Tabla 6**). Estableciendo horarios para recarga inteligente del vehículo al igual que en el caso anterior las cuales estarían comprendidos entre las 9:00 pm y las 8:00 am obteniendo el 100 % de su recarga debido a que 11 horas son las requeridas para tal fin. En la **Figura 53** se presenta el comportamiento.

²⁷ Tomada de la página web: <http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/kangoo-furgon-ze/kangoo-furgon-ze/>

Figura 53: Perfiles para el Renault kangoo ZE, en estrato 5 y horario de 11 horas.



En la **Figura 53** se puede apreciar en color fucsia la capacidad de la acometida de la vivienda, la gráfica en color azul representa la demanda típica en estrato 5 mientras que la gráfica representada en color verde muestra la demanda del estrato 5 sumándole el consumo del VE. Se aprecia que esta grafica presenta un pico de la demanda a las 9:00 pm, ya con la limitación en los horarios y tratando de aplanar la curva para evitar que sea superada la capacidad de la red se encuentra representada en la gráfica de color roja, mientras que en la gráfica anaranjada se representan los horarios de posible conexión del vehículo durante el día que en este caso es de 23 horas sin saturar a la red eléctrica.

El análisis del mismo vehículo pero con el cargador de 3 [kW] tipo Wall box es casi el mismo que el del Citroën Berlingo debido a que ambos trabajan con las mismas características del cargador y tienen también una capacidad similar de almacenamiento con una diferencia de 500 [Wh] en sus baterías.

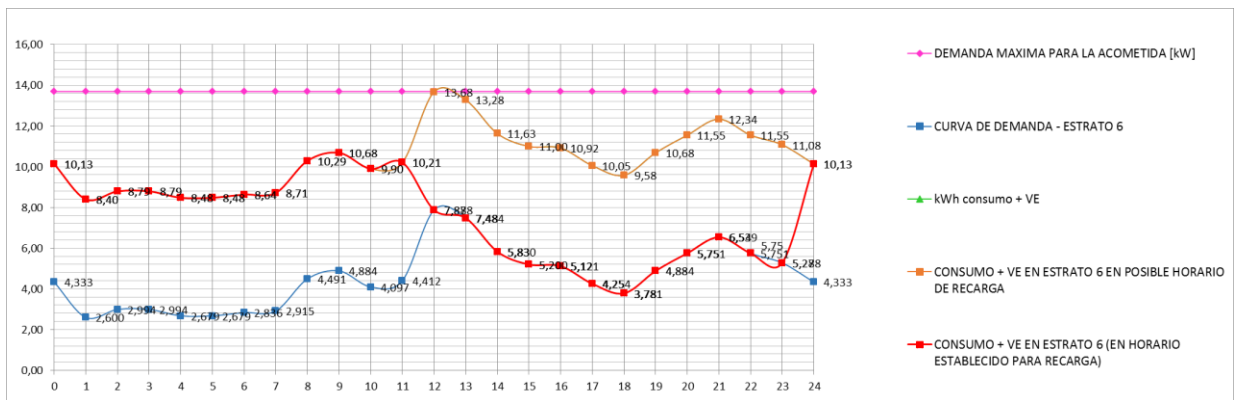
Con el estudio de los VE se logran diferentes simulaciones debido a la gran cantidad de parámetros los cuales son variables a la hora de hacer el análisis; estos parámetros son: La potencia del cargador, el horario en el que se realice la recarga, el calibre del conductor el cual varía dependiendo el tipo de conexión existente entre los cuales se tienen: Monofásico bifilar, bifásico trifilar y trifásico tetrafilar.

7.1.5 Categoría de los deportivos en estrato 6.

➤ Tesla Modelo S

Este vehículo se analizó en la **sección 7.1.1** para estrato 5, a continuación se realiza el análisis de los perfiles de consumo para el estrato 6 con el cargador tipo enchufe domestico de 5,8 [kW] y una configuración en la acometida de un sistema trifásico tetrafilar con un calibre de conductor AWG 8; lo que brinda una potencia de 13,69 [kW] en la residencia, estos perfiles se pueden apreciar en la **Figura 54**.

Figura 54: Perfiles para el tesla modelo S, en estrato 6 y cargador 5,8 [kW].



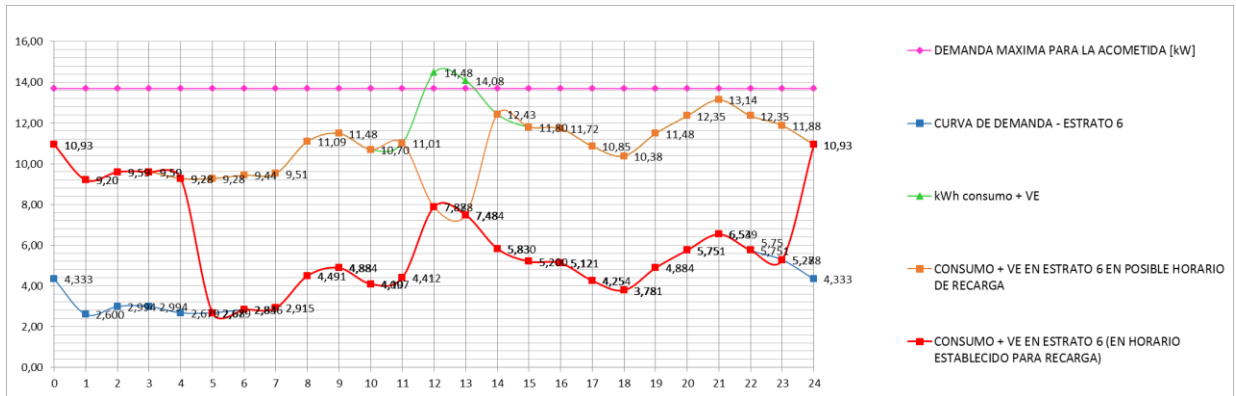
En la **Figura 54**, se realizó la simulación de un sistema trifásico tetrafilar, considerando que el VE se puede cargar durante las 24 horas del día como lo muestra la tendencia de color anaranjado, esto se debe porque no se supera la capacidad de la acometida, con base en este ejemplo se establecieron horarios en el rango de las 12:00 a.m. hasta las 11:00 a.m., logrando una recarga del 100% en 11 horas necesarias para tal fin, además de compensar el consumo evitando el pico de la demanda que existía a las 12:00 p.m., como lo muestra el perfil de color rojo en este caso específico.

7.1.6 Categoría de los Sedán en estrato 6:

➤ Nissan Leaf

Este vehículo fue analizado para el estrato 5 en la **sección 7.1.2**. A continuación se analizó para el estrato 6 con el cargador de 6,6 [kW] tipo Wall Box alimentado con una tensión de 220 [V] en un sistema trifásico tetrafilar con un calibre de conductor para la acometida AWG 8, sabiendo que para obtener el 100 % de recarga en su batería de 24 [kWh] se procedió a fijar un horario simulando un sistema inteligente el cual estará oscilando entre las 12:00 am hasta las 4:00 a.m. Para este ejemplo, con las condiciones propuestas anteriormente el vehículo podría obtener energía de la red durante 22 horas del día sin alterar o saturar dichas infraestructuras para su recarga. A continuación en la **Figura 55** se observa el comportamiento del perfil de consumo del VE.

Figura 55: Perfiles para el Nissan Leaf, en estrato 6 y cargador 6,6 [kW].



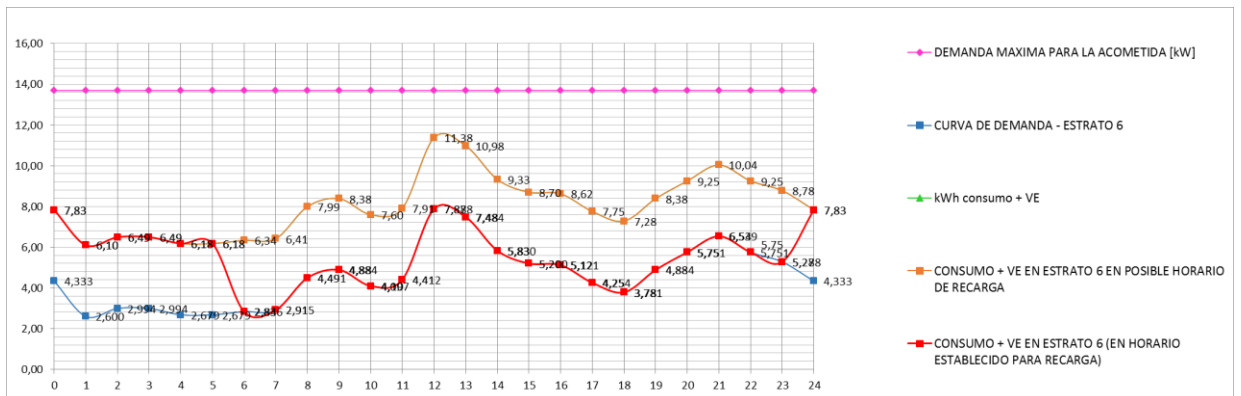
En la **Figura 55**, se puede observar que a las 12:00 p.m., existe un elevado consumo al conectar el VE en el perfil típico como se muestra en la línea de color verde, observando la gráfica de color rojo la cual nos muestra el horario establecido para el ejemplo, la gráfica de color anaranjado muestra los posibles horarios durante el día que se pueden utilizar para la recarga el vehículo sin correr riesgos de saturar la red.

7.1.7 Categoría de Vehículos pequeños en estrato 6.

➤ Mitsubishi I-Miev

Tal y como se analizó en la **sección 7.1.3** para el estrato 5. Ahora se procede a simular de manera inteligente nuevamente pero en este caso con perfiles obtenidos para el estrato 6, utilizando el cargador de 3,5 [kW] tipo Wall Box, una tensión de alimentación de 220 [V] en una acometida trifásico tetrafilar con calibre de conductor AWG 8 el cual soporta una potencia de 13,69 [kW], observando que el vehículo requiere de 5 horas para recargar al 100% su batería de 16 [kWh].

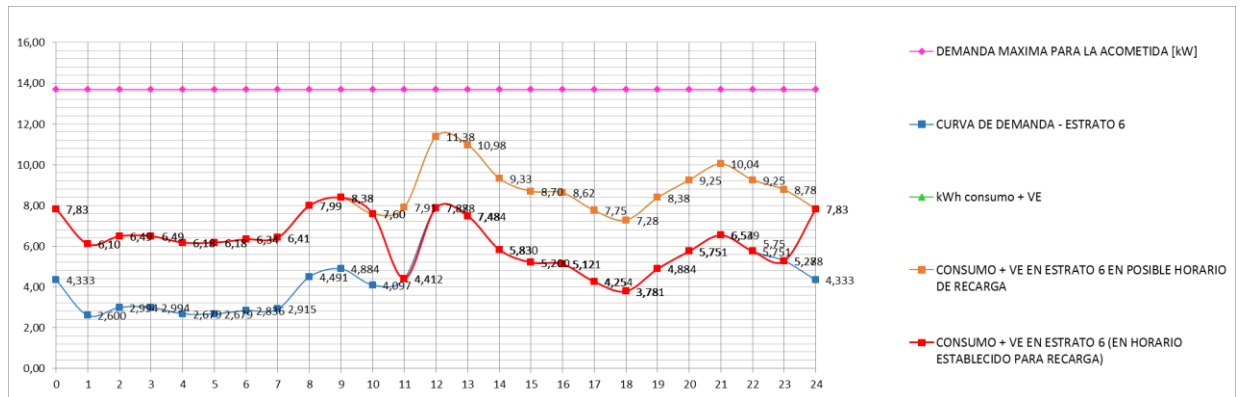
Figura 56: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 6 y cargador 3,5 [kW].



Para el ejemplo mostrado en la **Figura 56** se estableció un horario el cual se comprende entre las 12:00 am y las 5 am para recargar completamente su batería representado por la gráfica en color rojo, la gráfica representada en color anaranjado permite ver que el VE se puede conectar en cualquier hora durante el día debido a que no superara la energía entregada por la acometida.

En el caso particular que un usuario disponga de 2 vehículos se podría realizar la carga de una forma secuencial, luego que se cargue el primero, el segundo comience a cargarse; lo que mantendría una demanda más regulada en el perfil de consumo por el usuario, se puede observar al establecer horarios de carga de 12:00 a.m. hasta las 5:00 a.m. para el primer VE y de 5:00 a.m. hasta las 10:00 a.m. para el segundo VE, o en cualquier otro horario que se establezca, lo anterior se muestra en la línea de color rojo de la **Figura 57**.

Figura 57: Perfiles para 2 Mitsubishi I-Miev conectados secuencialmente, en estrato 6 y cargador 3,5 [kW].

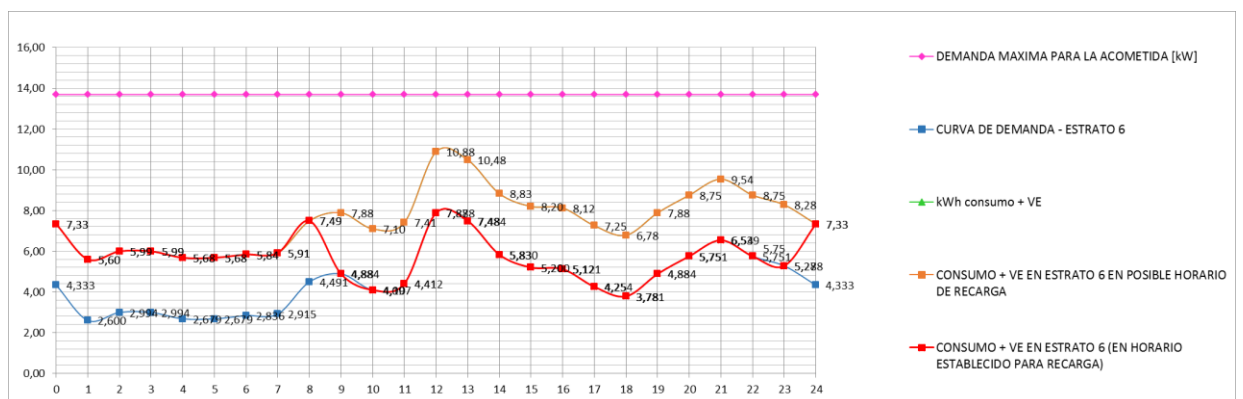


7.1.8 Categoría de los Utilitarios en estrato 6.

➤ Renault Kangoo ZE

Este vehículo fue analizado para perfiles de consumo en el estrato 5 en la **sección 7.1.4**. A continuación se hará un ejemplo de una simulación para un sistema inteligente en el estrato 6 el cual contara con un sistema trifásico tetrafilar, con calibre de conductor AWG 8 el cual soporta una potencia en la acometida de 13,69 [kW], con un cargador de 3 [kW] tipo Wall Box, alimentado a una tensión de 220 [V] requiriendo 8 horas para recargar el 100 % de la batería de 22 [kWh].

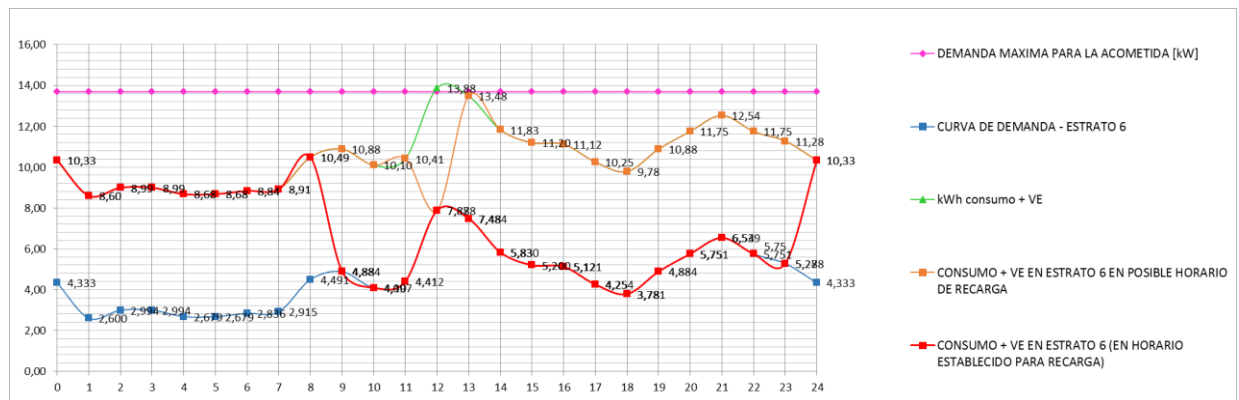
Figura 58: Perfiles para el Renault Kangoo ZE, en estrato 6 y cargador de 3 [kW].



La **Figura 58** muestra que el VE se puede conectar sin ningún problema durante cualquier horario durante el día debido a que el VE no satura la red doméstica. La gráfica de color rojo muestra el horario que se escogió para este ejemplo el cual fue de las 12:00 a.m. a 8:00 a.m., obteniendo el 100% de la carga en su batería. Al igual que en el caso anterior si el usuario o usuarios de dicho estrato tuviesen más de un vehículo estos se podrían conectar a la red sin perjudicar su perfecto funcionamiento.

Otro caso podría ser que el usuario conectara 2 vehículos eléctricos al mismo tiempo para cargarse de forma simultánea, con lo que se demuestra que la configuración de la acometida soportaría la potencia de los 2 VE en el horario de 12:00 a.m. hasta las 8 a.m. (ver **Figura 59**), como se muestra en la tendencia de color rojo; pero que el consumo de corriente estaría limitado ya que sería el doble y esto tendría que revisarse de acuerdo a la norma Colombiana.

Figura 59: Perfiles para dos Renault Kangoo ZE conectados simultáneamente, en el estrato 6 y cargador de 3 [kW].



7.2 ANÁLISIS DEL VE COMO FUENTE

En este apartado se harán simulaciones de manera similar a las realizadas en los anteriores apartados, teniendo en cuenta que esta vez los vehículos no estarán consumiendo energía de la red si no que la estarán devolviendo o retribuyendo de manera inteligente, suponiendo diferentes factores como lo son tarifa diferencial, horarios valle o siendo capaz de suplir el suministro de energía durante una eventualidad de falla en el suministro de esta.

Actualmente existen proyectos de investigación de empresas fabricantes y de particulares que buscan el desarrollo y avance tecnológico de dispositivos bidireccionales, principalmente lo han logrado comercializar la Nissan (ver **sección 4.6.5**), logrando que el VE sea una fuente útil de energía renovable.

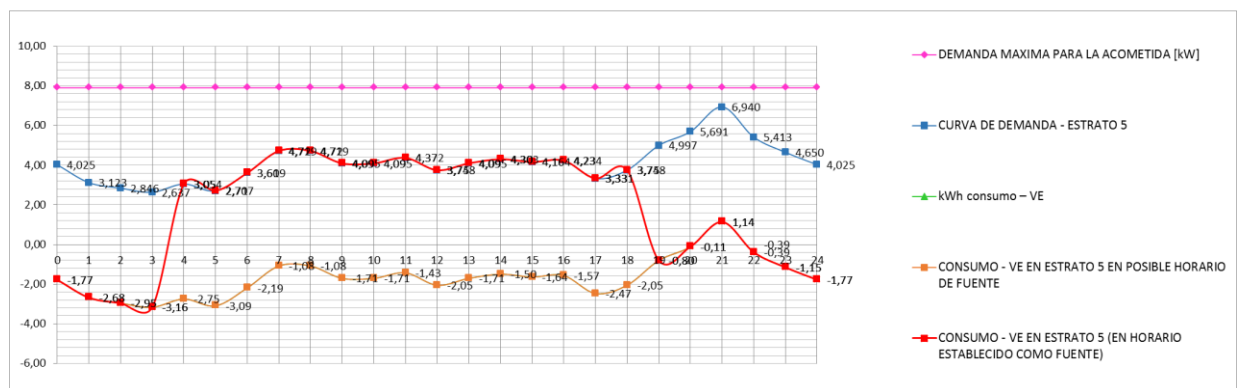
Como no todos los fabricantes de vehículos eléctricos han desarrollado cargadores bidireccionales, en estas simulaciones se suponen que los cargadores convencionales cumplen con esta función, utilizando la misma potencia que estos consumen para carga se utilizará para trabajar pero ahora retribuyéndosela a la red (fuente), cuando estos cargadores sean desarrollados en su totalidad se podrían dirigir a la tabla base de las simulaciones y cambiar las especificaciones de dichos cargadores.

7.2.1 Categoría de los deportivos.

➤ Tesla Modelo S

En este apartado para el tesla modelo S, se realiza un análisis para el VE que tiene como características principales: una batería de 85 [kWh], y un cargador de 5,8 [kW] tipo enchufe doméstico. Para este análisis se supone que el cargador es bidireccional y que al VE le queda el 50% de carga en sus baterías, estableciendo para el ejemplo horarios de conexión y desconexión como fuente entre las 7:00 p.m. y las 3:00 a.m., respectivamente como se muestra en la **Figura 60**.

Figura 60: Perfiles del Tesla Modelo S para estrato 5 en modo fuente.



En la **Figura 60** se aprecia como el VE es capaz de suplir las necesidades de consumo eléctrico por parte del usuario de estrato 5 durante las 24 horas del día (línea de color anaranjado) si la batería tuviera suficiente capacidad, pero si fuese en un horario establecido como el que se plantea, se observa que existe un rango de horario en el que el usuario puede vender energía a la red además de suplir el consumo de la vivienda, como por ejemplo: de las 12:00 a.m. hasta las 3:00 p.m., de las 7:00 hasta las 8:00 p.m. y de las 10:00 a.m. hasta las 12:00 a.m.

7.2.2 Categoría de los Sedán en estrato 6.

➤ Nissan Leaf

Para este ejemplo en particular se dispone de un Nissan Leaf que tiene una batería de 24 [kWh], la cual está cargada al 100% y está conectado a un cargador leaf to home con el cual se puede suplir la demanda durante el rango horario establecido entre las 12:00 a.m. y las 8:00 p.m. como se muestra en la **Figura 61**, el VE es capaz de suplir la energía a la red eléctrica en este horario en un promedio de 4 [kW] además del consumo típico del usuario.

Figura 61: Perfiles del Nissan Leaf para estrato 6 en modo fuente.

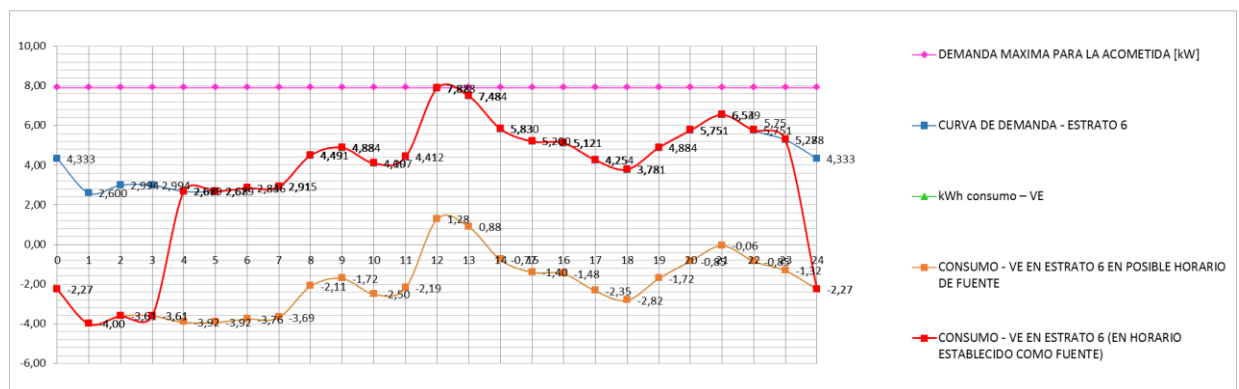
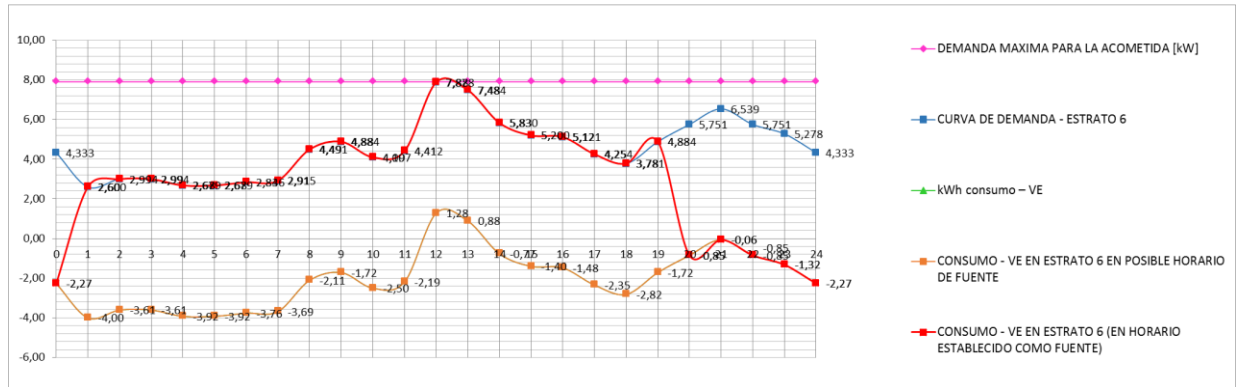


Figura 62: Perfiles del Nissan Leaf para estrato 6 en modo fuente en 4 horas de conexión.



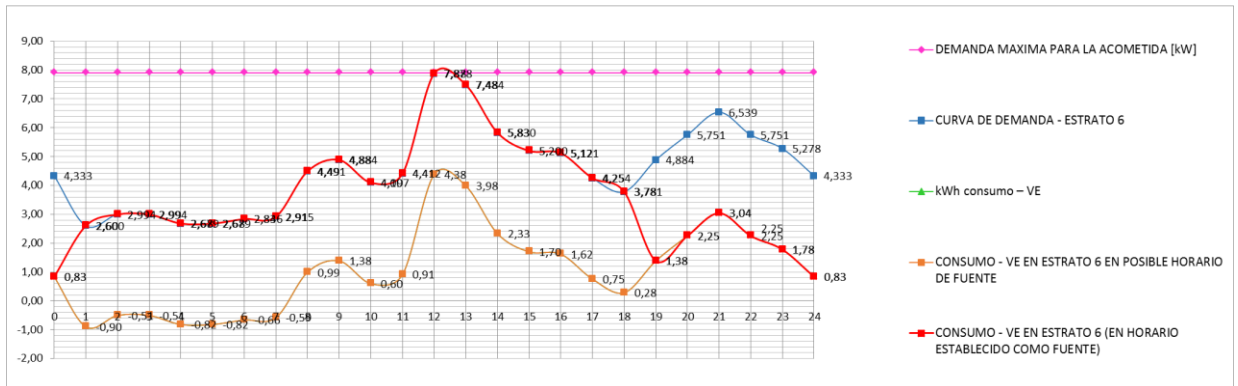
En la **Figura 62**, se analiza el Nissan Leaf con las mismas condiciones del caso anterior, en modo fuente para un horario establecido entre las 8:00 p.m. hasta las 12:00 a.m., donde se puede apreciar que el VE es capaz de suplir la necesidad del usuario e incluso siendo capaz de retribuirle a la red en promedio 1,3 [kW]; el usuario aprovecha al máximo la energía almacenada en las baterías ya que si se aplicara la tarifa diferencial en Colombia, el precio del kilovatio sería más costoso en el horario nocturno debido a que en esa franja presenta una mayor demanda.

7.2.3 Categoría de Vehículos pequeños en estrato 6.

➤ Mitsubishi I-Miev

Para el caso particular en que se simula el comportamiento del VE Mitsubishi I-Miev en un escenario inteligente con modo de conexión en fuente y teniendo como características principales para el análisis: batería de 16 [kWh] y el 100% de su capacidad, estará conectada a la vivienda con un cargador 3,5 [kW], fijando un rango horario comprendido entre las 7:00 p.m. y las 12:00 a.m. comportamiento observable en la **Figura 63**.

Figura 63: Perfiles para el Mitsubishi I-Miev, en estrato 6 y modo fuente con cargador de 3,5 [kW].



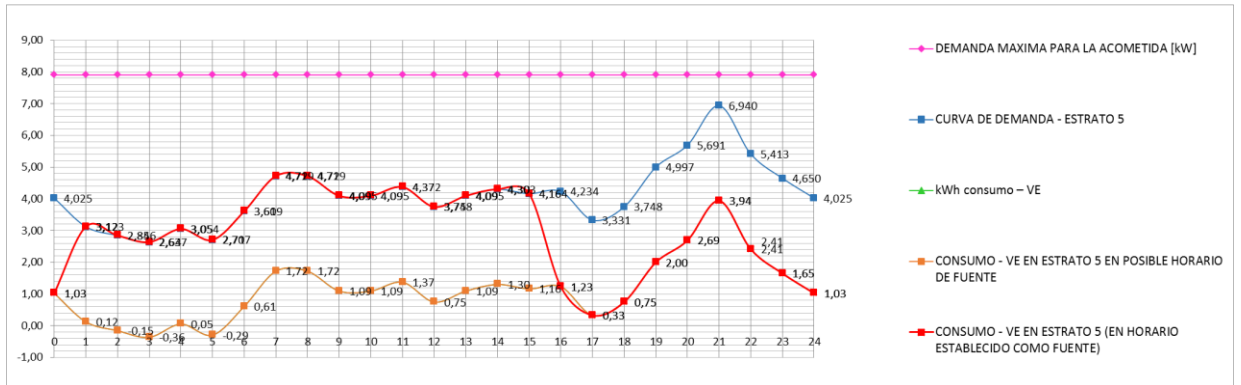
En la **Figura 63** se observa el comportamiento del VE con características descritas anteriormente, logrando observar que al instante que el vehículo funciona como fuente este ayuda a contrarrestar el consumo proveniente de la red, pero no supliendo en su totalidad debido a que su batería posee una baja capacidad de almacenamiento y el horario establecido es donde la demanda es alta, con lo que no se puede cumplir a cabalidad con lo estipulado para este estrato.

7.2.4 Categoría de los Utilitarios en estrato 5.

➤ Citroën Berlingo Electric

En este apartado se estudió nuevamente el vehículo Citroën Berlingo pero en modo fuente con su batería de 22,5 [kWh] y estando al 100% de su capacidad, conectado mediante un cargador de 3 [kW], se establece un horario para conexión de forma inteligente el cual está comprendido entre 4:00 p.m. y las 12:00 a.m. para que este entregue su energía a la vivienda observando su comportamiento en las gráficas de la **Figura 64**.

Figura 64: Perfiles para el Citroën Berlingo en estrato 5 y modo fuente.



En la **Figura 64** se puede apreciar el horario establecido para que el vehículo entregue su energía almacenada en las baterías durante 8 horas en la gráfica de color rojo, mostrando como se disminuye el consumo del perfil del usuario que en este caso es en estrato 5, pero sin reducirlo completamente debido a que no puede brindar la capacidad total de energía requerida por la vivienda en ese horario, otra información que nos brindan las gráficas es que con la capacidad de ese cargador en ningún momento este vehículo podrá vender su energía a la red eléctrica.

8. COMPARACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO CON EL VEHÍCULO CONVENCIONAL

En este capítulo se realiza una comparación entre los vehículos eléctricos y vehículos convencionales, de similares características con los cuales se llega a estudiar los costos y equivalencias de energía al trabajar con energía eléctrica en el caso del VE y con gasolina en el caso de vehículo convencional, se hará la comparación de eficiencia para el Renault Fluence ZE, aunque también se podría realizar con el Chevrolet Spark EV; ya que estos modelos cuentan con las dos versiones, garantizando que el rendimiento cuente con: iguales condiciones de aerodinámica, peso y dimensiones, para así realizar la comparación con relación a: Eficiencia y economía, costos de mantenimiento y sostenimiento.

Para esta comparación se utiliza la ficha técnica provista por los fabricantes de los vehículos.

8.1 RENAULT FLUENCE ZE VS RENAULT FLUENCE CONVENCIONAL

Para este análisis es necesario conocer que no es posible hacer una comparación de forma directa de la eficiencia debido a que el consumo de energía se realiza en distinta unidad de medida, para los eléctricos en kWh y para el convencional es litros o galones, convirtiéndolos en una misma unidad para realizar el análisis, en este caso el joule [J].

$$1[kWh] = 3.600.000 [J] = 3600 [kJ] = 3,6 [MJ]$$

En el caso del combustible fósil, la conversión puede variar de acuerdo a la densidad y otras características del producto. En este caso la conversión depende cuando se realiza la quema del combustible para tener la conversión en energía.

$$1 [l_{gasolina}] \rightarrow 34,78 [MJ] \quad [18]$$

$$1 [l_{diésel}] \rightarrow 38,65 [MJ] \quad [18]$$

Para el Renault Fluence se realiza la comparación teniendo en cuenta que existen 7 configuraciones de motor para este vehículo incluyendo: Eléctricos, de

combustión interna a gasolina y diésel, escogiendo los más económicos; como se observa en la **Tabla 9**.^{[19][20]}

Tabla 9: Características del Renault Fluence en los distintos tipos de motor.^{[19][20][21][22]}

VEHÍCULO	TIPO DE COMBUSTIBLE	TIPO DE MOTOR	CONSUMO DE COMBUSTIBLE URBANO	PESO	VELOCIDAD MÁXIMA	PRECIO
Renault Fluence	Gasolina	Combustión (1.6 16v 110)	8,9 [L/100 Km]	1.253 [kg]	185 [km/h]	€ 17.700,00
Renault Fluence	Diésel	Combustión (Dci 90)	5,3 [L/100 Km]	1.290 [kg]	180 [km/h]	€ 18.700,00
Renault Fluence Z.E.	Electricidad	Eléctrico	140 [kWh/Km]	1.605 [kg]	135 [km/h]	€ 26.600,00

Para el análisis del consumo de energía necesaria para este vehículo, es necesario establecer una distancia de 100 km de recorrido, suponiendo igual velocidad y recorrido, consiguiendo una comparación real de los motores alimentados por distintos combustibles.

❖ Renault Fluence Combustión a gasolina (1.6 16v 110)

Este vehículo tiene un consumo de 8,9 [L/100 Km].

Entonces:

$$8,9 \left[\frac{l_{gasolina}}{100 \text{ km}} \right] * \frac{34,78 [MJ]}{1[l_{gasolina}]} = 309,542 [MJ]$$

❖ Renault Fluence Combustión a diésel (Dci 90).

Este vehículo tiene un consumo de 5,3 [L/100 Km].

Entonces:

$$5,3 \left[\frac{l_{diésel}}{100 \text{ km}} \right] * \frac{38,65 [MJ]}{1[l_{diésel}]} = 204,845 [MJ]$$

❖ Renault Fluence Z.E, Vehículo eléctrico.

Este Vehículo tiene un consumo de 140 [Wh/km], para los 100 km necesita de: 14 [kWh/ 100 km].

Entonces:

$$14 \left[\frac{kWh}{100 km} \right] * \frac{3,6[MJ]}{1[kWh]} = 50,4 [MJ]$$

Comparando el consumo de energía en una distancia de igual dimensión, el vehículo eléctrico presenta un menor consumo, siendo a un 350 [kg] más pesado y consume una sexta parte de energía que el de gasolina, además es 300 [kg] más pesado y consume una cuarta parte de energía en comparación al diésel, este peso adicional se debe a sus baterías.

Otro análisis que se puede realizar es comparar el precio que tiene cargar completamente un VE, y cuál sería el costo del combustible en un Vehículo convencional para recorrer la máxima autonomía equivalente a la del VE. Para ello se usa una relación de litros de combustible a kWh.

$$Vol_{eq}[l] = \frac{x * C [kWh]}{2} \quad [23]$$

Dónde:

Vol_{eq} = Es el Volumen en litros de gasolina equivalente para la capacidad de la batería.

x = Es el factor de eficiencia.

C = Es la capacidad de almacenamiento de la batería.

Esta conversión es posible conociendo la densidad de la gasolina, y las kilocalorías de cierto volumen de combustible. Para el factor de eficiencia se asume del 0,8 (80%) debido a que en todo proceso existen perdidas.[23]

Para tener un equivalente de la batería del VE Fluence Z.E., que posee una capacidad de 22 [kWh] que brinda una autonomía de 185 [km]; es necesario que

el VC consume 8,8 litros (2,32 galones) de gasolina para recorrer la misma autonomía que su versión eléctrico.

La tarifa del kWh en Colombia para estrato 5 y 6 es de \$ 460,37 según la ESSA.[24]. Mientras el Precio del galón de gasolina está en un valor de \$ 8 547,74 para Bucaramanga.[25]

Entonces:

Para saber cuál es el valor de carga completa del Fluence Z.E.

$$\text{\$ carga Completa} = 22[\text{kWh}] * \frac{460,37 [\text{\$}]}{1[\text{kWh}]} = \text{\$ 10 128,20}$$

Para el equivalente en gasolina del Fluence convencional se tiene:

$$\text{\$ Equivalente del combustible} = 2,32[\text{gal}] * 8 547,74 [\text{\$}] = \text{\$19 871,05}$$

Para recorrer una distancia de 185 [km] con el VE se requieren de \$ 10 128,20; mientras que recorrer la misma distancia con el VC tendría un costo de \$19.871,05, obteniendo mediante el uso del VE un ahorro de \$9 742,85 este trayecto correspondiendo a un 49% solo en el combustible.

En la **Figura 65** se ilustran las diferencias que se encuentran entre los vehículos eléctricos y el convencional; como las emisiones de gases que producen contaminación, la utilidad que le brinda a la empresa nacional, la autonomía, el tiempo de carga o tanqueo y el precio del combustible que requiere cada vehículo.

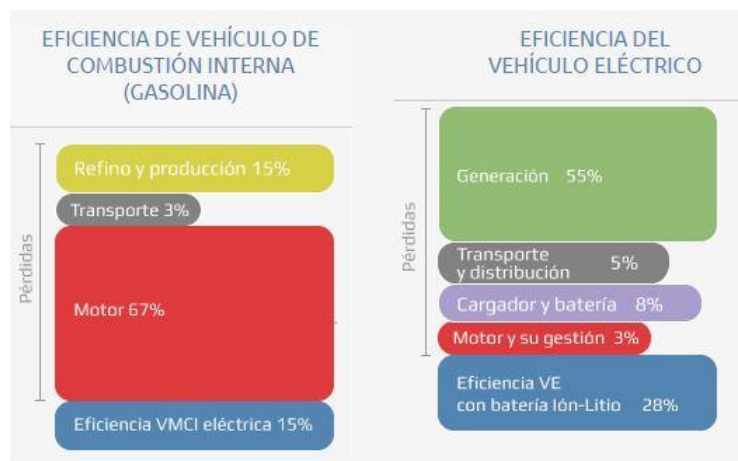
Figura 65: Comparativa del VE vs. VC.



Fuente: Leaf Car, Una pequeña comparación.²⁸ (Modificada por los autores).

En cuanto al mantenimiento del VE es mucho más económico frente al convencional debido a que el VE tiene menos componentes de desgaste, el mantenimiento mecánico es mucho menor debido a que no requiere cambio de aceite, no hay embrague, no tiene caja de cambios, le duran más los frenos y los neumáticos.

Figura 66: Comparativa de eficiencia energética.



Fuente: IDAE, Estrategia de Movilidad Española y Asociación Europea para Vehículos Eléctricos a Batería; Mix eléctrico Español según Informe Básico 2008 sobre Sectores de la Energía de la CNE.²⁹

²⁸ Tomada de la página Web: <https://leafcar.wordpress.com/2012/04/22/una-pequena-comparacion/>

²⁹ Tomada de la página web: <https://www.endsavehiculoelctrico.com/vehiculo-electrico/beneficios/>

Como se observa en la **Figura 66**, la eficiencia energética del vehículo eléctrico es casi el doble que el de combustión interna, presentando pérdidas en el motor del 67% mientras que el VE presenta un 3% de pérdidas en el motor.

En la **Tabla 9**, se muestran los precios de los vehículos Fluence en España, haciendo la conversión a pesos Colombianos con la tasa actual de \$2.753,98.[26]

Tabla 10: Precios del Renault Fluence en España.[19][21][22][26]

VEHÍCULO	TIPO DE COMBUSTIBLE	TIPO DE MOTOR	PRECIO	PRECIO
Renault Fluence	Gasolina	Combustión (1.6 16v 110)	€ 17.700,00	\$ 48'745.446
Renault Fluence	Diésel	Combustión (Dci 90)	€ 18.700,00	\$51'499.426
Renault Fluence Z.E.	Electricidad	Eléctrico	€ 26.600,00	\$73'255.868

Como se observa en la **Tabla 10** el precio de Fluence Z.E. tiene un costo de \$73'255.868, este costo es de Venta en España, para Colombia probablemente sea un poco mayor (la barrera para el mercado Colombiano es de alrededor de los \$100'000.000) debido a impuestos de importación ya sea del vehículo completo o partes; pues Colombia cuenta con la fábrica de Renault-Sofasa, que ya realizó el lanzamiento de Kangoo Z.E. con un precio desde \$80 990 000. Y espera que el Twizy sea un 50% más económico que el Kangoo Z.E., siendo esta marca de VE la más económica en el mercado Colombiano.[27]

Si un usuario promedio conduce su vehículo 60 [km] cada día, y manteniendo la tarifa de los combustibles constantes, en un periodo de 10 años los costos de movilidad serán los mostrados en la **Tabla 11**.

Tabla 11: Costos de combustibles a 10 años del VE vs VC.

Tipo de Vehículo	Distancia recorrida	Combustible utilizado	Costo del combustible	Costo del Vehículo	Costo de la inversión
Fluence Z.E (VE)	219.000 [km]	26.044 [kWh]	\$11'989.876	\$73'255.868	\$85'245.744
Fluence (VC)	219.000 [km]	2.752 [gal]	\$23'523.380	\$48'745.446	\$72'268.826

Como se puede observar en la **Tabla 11** en un periodo de 10 años el VE presenta un costo superior en alrededor de 13 millones en comparación del vehículo convencional, valores que no se incluyen para el estudio son: costos de mantenimiento e impuestos de rodamiento. Además el VE podría llegar a tener ventajas como: Los compradores de VE quedarían exentos de pico y placa, cero arancel, las marcas impulsadoras de dichos vehículos están presentando propuestas al gobierno colombiano entre las cuales se tiene descuentos en la compra del vehículo gracias a subsidios del estado, reducción del IVA, subsidios para la compra de cargadores, eliminación del costo de la matrícula, peajes gratuitos y hasta servicio de parqueadero gratis.[27]

9. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo de grado ha permitido realizar un análisis de diferentes marcas de vehículos eléctricos con sus posibles sistemas de carga de baterías, para realizar una estimación del impacto que tendría esta nueva carga eléctrica en un futuro en un sistema eléctrico.

Las conclusiones más relevantes del trabajo realizado son las siguientes:

- La existencia del VE en el mercado mundial presenta una creciente en ventas que propician el uso masivo de estos. La realización este trabajo de grado ha permitido establecer que es posible la implementación e interacción del vehículo eléctrico con los perfiles de consumo de los distintos estratos socioeconómicos de usuarios de la red eléctrica colombiana a corto plazo.
- Debido a que no todas las viviendas están diseñadas para suministrar la misma potencia, en este trabajo de grado se presentaron distintas configuraciones de potencia en viviendas y una amplia gama de vehículos eléctricos, que permitieron caracterizar de una forma general la incidencia de los distintos vehículos eléctricos de la base de datos en los diferentes perfiles de consumo en especial para estrato 5 y 6, con lo cual se corroboró que es viable la inclusión del vehículo eléctrico en el mercado y las redes eléctricas colombianas.
- Se puede afirmar que la implementación del vehículo eléctrico en Colombia tiene un beneficio importante en reducciones de contaminación auditiva como en reducción de gases de efecto invernadero, en su funcionamiento como a la hora de obtener la energía para recargar sus baterías logrando mejorar la calidad de vida de las personas. Ya que la mayor parte de energía eléctrica producida en Colombia es generada mediante hidroeléctricas presentando reducciones significativas de CO₂.
- La reducción del costo de los vehículos eléctricos se ve representado en la eficiencia de estos, ya que el kWh presenta un precio más estable y regulado, además de los bajos costos por mantenimiento que presentan

en comparación a los vehículos de combustión interna, y sin hablar de otros beneficios como reducción de impuestos de rodamiento e importación.

- A la hora de conectar el vehículo eléctrico en modo fuente interviene no solamente la capacidad de la batería, sino la capacidad de los cargadores, ya que estos influyen a la hora de retribuir energía a la vivienda.

- Mediante las simulaciones realizadas con las distintas categorías de vehículos en los diferentes estratos se logró caracterizar la demanda, considerando diversos factores. Mediante un aplicativo en Excel se pueden analizar distintos escenarios en los cuales se puede variar: La clase de vehículo, el tipo de cargador, los tipos de acometidas, capacidad de la acometida y la autonomía entre otras variables, para así garantizar una gran diversidad de caracterización de vehículos eléctricos en escenarios residenciales.

- Mediante dispositivos inteligentes es posible hacer diversas combinaciones de conexión, para que el vehículo eléctrico actúe dependiendo de las condiciones a las cuales se quiere que trabaje ya sea como fuente o como carga, es necesario la interacción por medio de un panel de distribución, siendo capaz de identificar los picos y los valles en el consumo del usuario. El caso crítico sería al conectar todos los vehículos simultáneamente con cargadores de alta potencia en el horario pico sobrepasando la demanda máxima en la empresa operadora de la red.

10.OBSERVACIONES

Algunas observaciones y recomendaciones que los autores consideran importantes son:

- ✓ Los resultados del presente trabajo de grado, abordaron el análisis de los vehículos eléctricos desde una perspectiva técnica estandarizada, lo cual supone dificultades asociadas a la diversidad de alternativas por parte de los fabricantes y la dinámica actual de un mercado que se encuentra en expansión y penetración de mercados a nivel mundial.

Colombia dispone actualmente de una oferta de VE discreta, sin embargo se advierte una expectativa de crecimiento importante en la medida que esta solución de transporte exceda las barreras culturales y los paradigmas arraigados en el uso masivo de los vehículos con motores de combustión interna.

- ✓ Uno de los retos tecnológicos importantes para la adopción del vehículo eléctrico como una alternativa de los vehículos convencionales corresponde al desarrollo estandarizado de los cargadores de uso doméstico, los cuales son necesarios para el proceso de carga y la comunicación con los componentes domóticos o de redes inteligentes de la unidad residencial desde donde se provee la energía al vehículo.

Debido a la limitada información disponible por parte de los fabricantes se adoptó el cargador del vehículo Nissan Leaf como referencia para determinar las funcionalidades de los cargadores de los demás vehículos. Este cargador tiene información detallada disponible en la página web del fabricante.

- ✓ Para el proceso de caracterización del comportamiento eléctrico del proceso de carga del vehículo eléctrico se tomó como base la información disponible por el operador de red local con respecto a los perfiles típicos de consumo de energía por estrato socio-económico. Para analizar la incidencia del proceso de carga de los diferentes tipos de vehículos eléctricos en los perfiles típicos residenciales locales se

construyó una herramienta en Excel, sin embargo, la aplicación de esta herramienta es válida para cualquier tipo de perfil de consumo.

- ✓ De acuerdo a los diferentes análisis y simulaciones efectuadas al universo de los vehículos eléctricos identificados se logró comprobar que en algunos casos es posible realizar la carga simultánea de dos vehículos en la misma unidad residencial sin exceder la capacidad de suministro de energía. Esta situación supone una ventaja importante en el proceso de migración de las alternativas convencionales hacia el vehículo eléctrico permitiendo la sustitución de dos vehículos por cada unidad familiar, lo cual es un aspecto bastante frecuente en los estratos socio-económicos 5 y 6.
- ✓ La autonomía es un factor importante para la selección de un vehículo eléctrico, pues para la mayoría de los modelos disponibles esta es menor que la autonomía de los modelos convencionales con motores de gasolina o diésel, de esta manera la vocación actual importante de los vehículos eléctricos se encuentra en los ámbitos urbanos. En este sentido otro reto tecnológico importante corresponde a mejorar la densidad de carga de las baterías y la reducción de los tiempos de recarga. De los vehículos eléctricos caracterizados únicamente el modelo S del fabricante Tesla tiene una autonomía y rendimiento equiparable a vehículos convencionales de alta gama y prestaciones.

11.RECOMENDACIONES

- ✓ Mientras se desarrollan las tecnologías de baterías y cargadores de alta eficiencia se sugiere el uso del vehículo eléctrico en las áreas urbanas con acceso a estaciones de carga o electrolinerías. Los trayectos largos no se recomiendan cuando dependan de manera exclusiva de la electricidad.
- ✓ Actualmente se han iniciado estudios de baterías a base de Grafeno (material derivado del carbono), las cuales garantizan una mayor autonomía, bajo peso, menor precio, tiempo reducido para la recarga; factores que pueden demorar la evolución del VE. La empresa española Graphenano ha sabido resolver, pues se estima que se podría triplicar la autonomía; logrando recorrer hasta 1000 km con una sola recarga, reducir considerablemente el tamaño, cargar en un tiempo estimado de 8 min y serían 77% más económicas que las de litio.[28][29]
- ✓ En algunos casos, los VE presentan un mayor consumo de potencia que otros, esto es debido al tipo de cargador que se utiliza, por lo que se aconseja que se utilice un ramal dedicado para la recarga de estos como lo exige la norma técnica Colombiana NTC-2050 y el RETIE. Además en países como los EEUU, está prohibido el uso del modo 1 para la recarga de VE.
- ✓ El gran impacto positivo que representa el VE al medio ambiente es cuando la batería cumpla su ciclo de vida útil, pues CIRCUTOR es una empresa líder en sistemas de recarga para VE, y junto con SEAT una empresa española, líder de CENIT, un proyecto que reúne más de 16 empresas, 14 organismos públicos de investigación de universidades y centros tecnológicos, han trabajado durante varios años, logrando crear un proceso para la dinamización del VE, en el que las baterías cumplan tres retos importantes: Especificaciones, costo e impacto ambiental, utilizando como material fosfato de litio de hierro para las baterías, siendo más económico; además que TECNICAS REUNIDAS, lleva acabo el reciclaje del litio que hay en las baterías; con un proceso que permite recuperarlo en la forma química deseada para reusarlo en fabricación de nuevas baterías, cerrando el ciclo económicamente y ambientalmente viable, tantas veces como sea deseado.[30]

- ✓ Una recomendación importante es la implementación de la tarifa diferencial en la comercialización de la energía eléctrica, ya que esta no solo trae ventajas y beneficios económicos, sino es una solución definitiva al aprovechamiento de la misma. Su implementación inducirá a que el usuario programe las tareas que requieran de la energía eléctrica en horarios de menor precio administrando su demanda, estableciendo las franjas horarias donde el consumo es menor en los diferentes estratos y reducir el valor de kWh, logrando que el usuario desplace su consumo a esas horas y lograr aplanar la curva de consumo.

- ✓ Es necesario que se implementen normas para el uso de las redes eléctricas con el vehículo eléctrico, pues en Colombia aunque se nombran en la norma NTC-2050 y en el RETIE, no existen normas dedicadas a la inclusión de estos en el sistema eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JEZIORO, Pawel; BOKWA, Anita: “La quema de combustibles para la producción de energía y el transporte”. Jagiellonian University, Cracovia (Polonia), (2003).
- [2] KIRSCH, David. “The Electric Car and the Burden of History: Studies in Automotive Systems Rivalry in the United States, 1890 – 1996”, (Ph.D. Tesis, Stanford University, 1996).
- [3] Dufour, Javier. “Coche eléctrico frente al convencional...mejor ven en metro” Energía y sostenibilidad 2009, [en línea] <<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2009/04/21/116803>>, [citado el 10 Septiembre del 2014]
- [4] G. David, “Vehículo eléctrico: ventajas, inconvenientes y perspectivas de futuro”, TECNOVIA (Tecnología y Coches De Nueva Generación), [en línea] <<http://www.tecmovia.com/2011/07/14/vehiculo-electrico-ventajas-inconvenientes-y-perspectivas-de-futuro/>>, [citado el 10 Septiembre del 2014].
- [5] LANGARICA, Diego. “Control de un Motor Brushless para Aplicación a Vehículos Eléctricos”, CENIDENT, México (2010).
- [6] BBC. “Litio, el oro blanco del Cono Sur” [en línea], <http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2012/10/121002_conosur_litio_vs>, [citado el 16 Agosto de 2014].
- [7] SPERLING, Daniel. DEBORAH, Gordon.” Two billion cars: driving toward sustainability”, Oxford University Press, New York, (2009)
- [8] BOSCHERT, Sherry. “Plug-in Hybrids: The Cars that will Recharge America, New Society Publishers”, Gabriola Island, Canada, (2006).
- [9] QUIROGA, Tony. “Driving the Future”, U.S. Car and Driver. (2009).
- [10] Vanguardia, “Carros eléctricos: listos para rodar en Colombia” [en línea] <<http://www.vanguardia.com/actualidad/tecnologia/192540-carros-electricos-listos-para-rodar-en-colombia>>, [citado el 25 de septiembre del 2014]. Vanguardia.com-Galvis Ramírez y Cía. S.A.
- [11] MOTOR. “Bogotá será la segunda ciudad latinoamericana con la mayor flota de taxis eléctricos”, [en línea], <http://www.motor.com.co/carros-ecologicos/taxis-electricos-de-byd-en-bogota_12445526-4> [citado el 25 de septiembre del 2014]

[12] ENDESA, Recarga del vehículo eléctrico, [en línea] <<https://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/recarga/soluciones>>, [citado el 25 de noviembre del 2014].

[13] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, “NORMA TECNICA COLOMBIANA 2050 (NTC 2050)”

[14] Ministerio de minas y energía. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) 2013

[15] G. David, “Baterías de coches eléctricos e híbridos”, TECNOVIA (Tecnología y Coches De Nueva Generación), [en línea] <<http://www.tecmovia.com/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>>, [citado el 10 Septiembre del 2014].

[16] PEÑA. Calos, “ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.”, Universidad Carlos III de Madrid, (2011).

[17] TAPIA, Jaime. “Desarrollo de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos”. [en línea] <<http://www.conama.org/conama10/download/files/conama/CT%202010/41083.pdf>>, [citado el 18 de noviembre del 2014].

[18] ENERGY EV. “Eficiencia de un EV vs. uno de gasolina”, [en línea], <<http://energyev.com/eficiencia-de-un-ev-contra-uno-de-gasolina/>>, [citado el 5 de Diciembre de 2014]

[19] RENAULT s.a.s., “Drive The Change, Renault Fluence Z.E.”, (2012).

[20] RENAULT s.a.s., “Nuevo Renault Fluence en movimiento: Renault Fluence”, (2013).

[21] RENAULT. “PRECIOS Y ESPECIFICACIONES”, [en línea], <<http://www.renault.es/gama-renault/renault-vehiculos-turismos/gama-fluence/fluence/precios-y-especificaciones.jsp>>, [citado el 3 de Diciembre de 2014].

[22] RENAULT. “PRECIOS Y ESPECIFICACIONES”, [en línea], <http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/fluence-ze/fluence-ze-new/#gama_y_equipamientos>, [citado el 3 de Diciembre de 2014].

[23] Besselink, J.; van Oorschot, P.; Meinders, E.; Nijmeijer, H. “Design of an efficient, low weight battery electric vehicle based on a VW Lupo 3L”, Eindhoven University of Technology. China, (2010).

[24] ESSA. “INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE DEPARTAMENTO DE SANTANDER Y SUR DEL CESAR”, [en línea], <http://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Tarifas/tarifas%202014/Tarifa_ESSA_201410.pdf>, [citado el 9 de Noviembre de 2014].

[25] MINMINAS. “Precio de la Gasolina y el ACPM en Colombia para julio de 2014”, [en línea], <http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?opcionCalendar=10&cargaHome=2&id_comunicado=1044>, [citado el 9 de Noviembre de 2014].

[26] Grupo Aval, “Acciones y Valores S.A.” [en línea], <<https://www.grupoaval.com/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=770>>, [citado el 1 de Diciembre de 2014].

[27] EL COLOMBIANO. “Renault venderá en 2015 el carro eléctrico más barato del mercado colombiano” [en línea], <<http://www.elcolombiano.com/renault-vendera-en-2015-el-carro-electrico-mas-barato-del-mercado-colombiano-HD764180>>, [citado el 4 de Diciembre de 2014].

[28] EL MUNDO. “Crean la batería que carga el coche en ocho minutos gracias al grafeno”, [en línea], <<http://www.elmundo.es/economia/2014/12/04/547f577fca474183058b4578.html>>, [citado el 12 de Diciembre de 2014].

[29] ARENAS, J., ECOMOTORES. “Baterías de grafeno: cifras milagrosas para los coches eléctricos” [en línea], <<http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/6310283/12/14/Baterias-de-grafeno-para-el-coche-electrico-carga-rapida-y-1000-km-de-autonomia.html>>, [citado el 12 de Diciembre de 2014].

[30] CIRCUITOR, “CIRCUTOR en el proyecto CENIT VERDE”, [video en línea], <<https://www.youtube.com/watch?v=oYM4vXTdfoo>>, [citado el 10 de Noviembre de 2014].

BIBLIOGRAFÍA

ARENAS, J., ECOMOTORES. “Baterías de grafeno: cifras milagrosas para los coches eléctricos” [en línea], <<http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/6310283/12/14/Baterias-de-grafeno-para-el-coche-electrico-carga-rapida-y-1000-km-de-autonomia.html>>, [citado el 12 de Diciembre de 2014].

BBC. “Litio, el oro blanco del Cono Sur” [en línea], <http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2012/10/121002_conosur_litio_vs>, [citado el 16 Agosto de 2014].

Besselink, J.; van Oorschot, P.; Meinders, E.; Nijmeijer, H. “Design of an efficient, low weight battery electric vehicle based on a VW Lupo 3L”, Eindhoven University of Technology. China, (2010).

BOSCHERT, Sherry. “Plug-in Hybrids: The Cars that will Recharge America, New Society Publishers”, Gabriola Island, Canada, (2006).

CIRCUITOR, “CIRCUITOR en el proyecto CENIT VERDE”, [video en línea], <<https://www.youtube.com/watch?v=oYM4vXTdfoo>>, [citado el 10 de Noviembre de 2014].

Dufour, Javier. “Coche eléctrico frente al convencional...mejor ven en metro” Energía y sostenibilidad 2009, [en línea] <<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2009/04/21/116803>>, [citado el 10 Septiembre del 2014]

EL COLOMBIANO. “Renault venderá en 2015 el carro eléctrico más barato del mercado colombiano” [en línea], <<http://www.elcolombiano.com/renault-vendera-en-2015-el-carro-electrico-mas-barato-del-mercado-colombiano-HD764180>>, [citado el 4 de Diciembre de 2014].

EL MUNDO. “Crean la batería que carga el coche en ocho minutos gracias al grafeno”, [en línea], <<http://www.elmundo.es/economia/2014/12/04/547f577fca474183058b4578.html>>, [citado el 12 de Diciembre de 2014].

ENDESA, Recarga del vehículo eléctrico, [en línea] <<https://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/recarga/soluciones>>, [citado el 25 de noviembre del 2014].

ENERGY EV. “Eficiencia de un EV vs. uno de gasolina”, [en línea], <<http://energyev.com/eficiencia-de-un-ev-contra-uno-de-gasolina/>>, [citado el 5 de Diciembre de 2014]

ESSA. “INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE DEPARTAMENTO DE SANTANDER Y SUR DEL CESAR”, [en línea], <http://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Tarifas/tarifas%202014/Tarifa_ESSA_201410.pdf >, [citado el 9 de Noviembre de 2014].

G. David, “Baterías de coches eléctricos e híbridos”, TECNOVIA (Tecnología y Coches De Nueva Generación), [en línea] <<http://www.tecmovia.com/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>>, [citado el 10 Septiembre del 2014].

G. David, “Vehículo eléctrico: ventajas, inconvenientes y perspectivas de futuro”, TECNOVIA (Tecnología y Coches De Nueva Generación), [en línea] <<http://www.tecmovia.com/2011/07/14/vehiculo-electrico-ventajas-inconvenientes-y-perspectivas-de-futuro/>>, [citado el 10 Septiembre del 2014].

Grupo Aval, “Acciones y Valores S.A.” [en línea], <<https://www.grupoaval.com/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=770>>, [citado el 1 de Diciembre de 2014].

JEZIORO, Pawel; BOKWA, Anita: “La quema de combustibles para la producción de energía y el transporte”. Jagiellonian University, Cracovia (Polonia), (2003).

KIRSCH, David. “The Electric Car and the Burden of History: Studies in Automotive Systems Rivalry in the United States, 1890 – 1996”, (Ph.D. Tesis, Stanford University, 1996).

LANGARICA, Diego. “Control de un Motor Brushless para Aplicación a Vehículos Eléctricos”, CENIDENT, México (2010).

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, “NORMA TECNICA COLOMBIANA 2050 (NTC 2050)”
Ministerio de minas y energía. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) 2013

MINMINAS. “Precio de la Gasolina y el ACPM en Colombia para julio de 2014”, [en línea], <http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?opcionCalendar=10&cargaHome=2&id_comunicado=1044>, [citado el 9 de Noviembre de 2014].

MOTOR. “Bogotá será la segunda ciudad latinoamericana con la mayor flota de taxis eléctricos”, [en línea], < http://www.motor.com.co/carros-ecologicos/taxis-electricos-de-byd-en-bogota_12445526-4 > [citado el 25 de septiembre del 2014]

PEÑA. Calos, “ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.”, Universidad Carlos III de Madrid, (2011).

QUIROGA, Tony. “Driving the Future”, U.S. Car and Driver. (2009).

RENAULT s.a.s., “Drive The Change, Renault Fluence Z.E.”, (2012).

RENAULT s.a.s., “Nuevo Renault Fluence en movimiento: Renault Fluence”, (2013).

RENAULT. “PRECIOS Y ESPECIFICACIONES”, [en línea], <<http://www.renault.es/gama-renault/renault-vehiculos-turismos/gama-fluence/fluence/precios-y-especificaciones.jsp>>, [citado el 3 de Diciembre de 2014].

RENAULT. “PRECIOS Y ESPECIFICACIONES”, [en línea], <http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/fluence-ze/fluence-ze-new/#gama_y_equipamientos>, [citado el 3 de Diciembre de 2014].

SPERLING, Daniel. DEBORAH, Gordon.” Two billion cars: driving toward sustainability”, Oxford University Press, New York, (2009)

TAPIA, Jaime. “Desarrollo de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos”. [En línea] <<http://www.conama.org/conama10/download/files/conama/CT%202010/41083.pdf>>, [citado el 18 de noviembre del 2014].

Vanguardia, “Carros eléctricos: listos para rodar en Colombia” [en línea] <<http://www.vanguardia.com/actualidad/tecnologia/192540-carros-electricos-listos-para-rodar-en-colombia>>, [citado el 25 de septiembre del 2014].Vanguardia.com-Galvis Ramírez y Cía. S.A.

ANEXOS

Los anexos del proyecto de grado, indicados a continuación se adjuntarán en medio digital debido al tamaño de los archivos.

Anexo A: Carta Solicitud ESSA - Recibido y Respuesta.

Anexo B: Caracterización de 78 configuraciones de vehículos eléctricos como carga para estrato 5.

Anexo C: Caracterización de 78 configuraciones vehículos eléctricos como carga para estrato 6.

Anexo D: Caracterización de 78 configuraciones vehículos eléctricos como fuente para estrato 5.

Anexo E: Caracterización de 78 configuraciones vehículos eléctricos como fuente para estrato 6.