



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de

Electrónica y Telecomunicaciones

**“Ingeniería inversa y estudio de prefactibilidad para el diseño y construcción de una estación de carga de corriente continua de vehículos eléctricos multiconector”**

*Trabajo de titulación previo a la*

*obtención del título de Ingeniero en*

*Electrónica y Telecomunicaciones*

**Autor:**

Sebastián Alejandro Rea Asmal

C.I. 0105561989

reaalejandro13@gmail.com

**Director:**

Ing. Luis Gerardo González Morales, Ph.D.

C.I. 1729711059

**CUENCA – ECUADOR**

**14 de abril de 2021**



## Resumen

Este trabajo comprende el estudio e ingeniería inversa de una estación de carga en corriente continua para vehículos eléctricos. El estudio inicia con un análisis de los componentes internos y externos de una estación de carga multiconector que incorpora los estándares CHAdeMO y CCS1 para la carga en continua y un conector IEC 62196 tipo 2 para la carga en alterna.

Se propone el diseño de una estación de carga multiconector en DC, que incorpora los estándares CHAdeMO y CCS2 y que es capaz de suministrar una potencia de hasta 120 kW. En la propuesta, se realiza un análisis de la elección de los estándares. También se detalla la caracterización y dimensionamiento de los componentes y se especifican los esquemas de cada una de las secciones de la estación de carga.

Mediante el uso de simulaciones, empleando el software *PSim*<sup>®</sup> se recrea la etapa de transferencia energética desde la estación de carga hacia la batería de un vehículo. Durante los experimentos se emplean distintos niveles de corriente para visualizar el tiempo en que el estado de carga demora en alcanzar el 80 % del total de su valor.

Este trabajo presenta el detalle de operación del sistema de comunicaciones de la estación de carga, usando tecnologías de diferentes fabricantes para este propósito. El protocolo de comunicación que utiliza cada fabricante incide en el diseño de la estación de carga. Este detalle se presenta en la metodología de diseño de la estación de carga propuesta.

Para determinar qué tan conveniente es la implementación de una estación de carga rápida multiconector en el país se realiza un estudio de viabilidad. Este análisis incluye la situación de la electromovilidad, los recursos disponibles, el impacto social y ambiental que causaría y el costo que conllevaría su construcción.

**Palabras Clave:** Estación de carga. Multiconector. Estudio. Comunicación.

Factibilidad.



## Abstract

This work includes the study and reverse engineering of a DC charging station for electric vehicles. The study begins with an analysis of the internal and external components of a multi-connector charging station that incorporates the CHAdeMO and CCS1 standards for DC charging and an IEC 62196 type 2 connector for AC charging.

The design of a multi-connector DC charging station is proposed, which incorporates the CHAdeMO and CCS2 standards and is capable of supplying a power of up to 120 kW. In the proposal, an analysis of the choice of standards is carried out. The characterization and dimensioning of the components is also detailed and the diagrams of each of the sections of the charging station are specified.

Through the use of a simulation, using the *PSim®* software, the energy transfer stage is recreated from the charging station to the battery of a vehicle. During the experiments, different current levels are used to visualize the time it takes for the state of charge to reach 80% of its total value.

This work presents the details of the operation of the communications system of the charging station, using technologies from different manufacturers for this purpose. The communication protocol used by each manufacturer affects the design of the charging station. This detail is presented in the design methodology of the proposed charging station.

To determine how convenient it is to implement a multi-connector fast charging station in the country, a pre-feasibility study is carried out. This analysis includes the situation of electromobility, the available resources, the social and environmental impact that it would cause and the cost that its construction entails.

**Keywords:** Charging station. Multi-connector. Study. Communication. Feasibility.



## Contenido

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>14</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.3 ALCANCE.....	18
1.4 OBJETIVOS .....	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>19</b>
2.1 SISTEMAS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	19
2.1.1 Clasificación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos según la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) .....	19
2.1.2 Clasificación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos según la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) .....	21
2.1.3 Clasificación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos según el tipo de corriente de salida .....	22
2.2 PROTOCOLO DE PUNTO DE CARGA ABIERTO (OCPP).....	50
2.2.1 Descripción del OCPP Versión 1.5.....	51
2.2.2 Descripción del OCPP Versión 1.6.....	53
2.2.3 Descripción del OCPP Versión 2.0.1 .....	53
2.3 TÉCNICAS PARA LA CARGA DE BATERÍAS .....	53
2.3.1 Carga por corriente constante .....	54
2.3.2 Carga por voltaje constante .....	54
2.3.3 Método de dos etapas .....	55
<b>CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA ESTACIÓN DE CARGA EN DC MULTICONECTOR.....</b>	<b>56</b>
3.1 IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES TÍPICOS EXTERNOS DE UNA ESTACIÓN DE CARGA MULTICONECTOR.....	57
3.2 IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES INTERNOS .....	60
3.2.1 Recepción de potencia en AC y protección.....	60
3.2.2 Convertidor de potencia de la estación .....	64
3.2.3 Circuito de suministro de potencia.....	65
3.2.4 Módulo controlador e interfaz de comunicación de carga en DC .....	70
3.2.5 Cable de carga y conector del vehículo .....	72
3.2.6 Sistema de ventilación .....	74



3.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE CARGA DE CORRIENTE CONTINUA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MULTICONECTOR.....	75
3.3.1 Potencia.....	76
3.3.2 Estándares .....	76
3.3.3 Esquemas de diseño de una estación de carga de corriente continua multiconector .....	76
3.4 CARACTERIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA ESTACIÓN DE CARGA .....	80
3.4.1 Dimensionamiento de los dispositivos de protección.....	81
3.4.2 Dimensionamiento de los dispositivos de commutación .....	85
3.4.3 Dimensionamiento de los dispositivos de medición .....	85
3.4.4 Dimensionamiento del calibre de conductores .....	86
3.5 SIMULACIÓN DE LA ETAPA DE TRANSFERENCIA ENERGÉTICA DESDE LA ESTACIÓN DE CARGA HACIA EL VEHÍCULO .....	87
3.5.1 Rectificador trifásico controlado.....	88
3.5.2 Convertidor DC-DC.....	88
3.5.3 Resultados de la simulación .....	89
3.5.4 Curvas de carga de los vehículos Kia Soul y Hyundai Ioniq .....	91
3.6 COMUNICACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS CONVERTIDORES DE POTENCIA Y EL MÓDULO CONTROLADOR DE LA ESTACIÓN DE CARGA .....	92
3.6.1 CAN (Controller Area Network).....	93
3.6.2 PROFINET .....	96
3.6.3 RS-485 .....	98
3.6.4 Módulos controladores de una estación de carga .....	99
3.6.5 Módulos convertidores de potencia de una estación de carga .....	111
<b>CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA MULTICONECTOR .....</b>	<b>119</b>
4.1 PERFIL DEL PROYECTO.....	119
4.2 ESTUDIO DE MERCADO .....	120
4.2.1 Estudio del sector .....	120
4.2.2 Demanda y Consumidor .....	122
4.2.3 Competencia y oferta en el mercado .....	122
4.3 ESTUDIO TÉCNICO.....	123
4.3.1 Diseño del producto .....	123
4.3.2 Características del producto.....	123
4.3.3 Localización .....	123
4.3.4 Tamaño .....	125
4.3.5 Herramientas .....	125
4.3.6 Proceso de producción .....	125
4.4 IMPACTO SOCIAL .....	127
4.5 IMPACTO AMBIENTAL.....	127
4.6 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	128



4.6.1 Costo del módulo controlador y de los módulos convertidores de potencia.....	128
4.6.2 Costo de materiales.....	128
4.6.3 Análisis VAN y TIR .....	132
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>136</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	136
5.2 TRABAJOS FUTUROS .....	137
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>138</b>



## Índice de figuras

Fig. 2. 1. Modo 1 de carga [9]. . . . .	19
Fig. 2. 2. Modo 2 de carga [9]. . . . .	20
Fig. 2. 3. Modo 3 de carga [9]. . . . .	20
Fig. 2. 4. Modo 4 de carga [9]. . . . .	21
Fig. 2. 5. Nivel 1 de carga [12]. . . . .	21
Fig. 2. 6. Nivel 2 de carga [12]. . . . .	22
Fig. 2. 7. Nivel 3 de carga [12]. . . . .	22
Fig. 2. 8. Diagrama del circuito de piloto de control [13]. . . . .	24
Fig. 2. 9. Diagrama de pines del conector SAE J1772. . . . .	26
Fig. 2. 10. Configuración de un sistema de carga de nivel 2 [13]. . . . .	27
Fig. 2. 11. Diagrama de pines del conector IEC 62196 tipo 2. . . . .	28
Fig. 2. 12. Diagrama de pines del conector de una estación Tesla. . . . .	30
Fig. 2. 13. Configuración de una estación de carga en DC. . . . .	31
Fig. 2. 14. Respuesta en escalón para control de valor constante. . . . .	36
Fig. 2. 15. Diagrama de pines de un conector CCS1. . . . .	39
Fig. 2. 16. Puerto de carga CCS1 del vehículo[19]. . . . .	40
Fig. 2. 17. Diagrama de pines de un conector CCS2. . . . .	40
Fig. 2. 18. Puerto de carga CCS2 del vehículo[20]. . . . .	41
Fig. 2. 19. Esquema de una estación con el estándar CCS. . . . .	41
Fig. 2. 20. Diagrama de pines del conector CHAdeMO. . . . .	44
Fig. 2. 21. Esquema de una estación de carga CHAdeMO [22]. . . . .	45
Fig. 2. 22. Circuito de interfaz para el control de carga de una estación CHAdeMO [22]. . . . .	47
Fig. 2. 23. Diagrama de pines de un conector GB/T 20234 en DC. . . . .	48
Fig. 2. 24. Diagrama esquemático de un sistema de carga GB/T 20234 en DC [22]. . . . .	49
Fig. 2. 25. Supercargadores Tesla [24]. . . . .	50
Fig. 2. 26. Intercambio de mensajes OCPP [26]. . . . .	52
Fig. 2. 27. Curva de carga por corriente constante. . . . .	54
Fig. 2. 28. Curva de carga por voltaje constante. . . . .	54
Fig. 2. 29. Curva de carga del método de dos etapas. . . . .	55
Fig. 3. 1. Estación de carga multiconector ubicado en el laboratorio microrred de la Universidad de Cuenca. . . . .	56
Fig. 3. 2. Sección frontal de la estación de carga. . . . .	57
Fig. 3. 3. HMI de la estación de carga. . . . .	57
Fig. 3. 4. Circuito del HMI. . . . .	58
Fig. 3. 5. Lector RFID y botones. . . . .	58
Fig. 3. 6. Vista lateral derecha e izquierda de la estación de carga. . . . .	59
Fig. 3. 7. Vista posterior de la estación de carga. . . . .	59
Fig. 3. 8. Vista inferior de la estación de carga. . . . .	60
Fig. 3. 9. Recepción de potencia en AC. . . . .	61
Fig. 3. 10. Terminales del sensor de temperatura del transformador. . . . .	61
Fig. 3. 11. Terminales de suministro de una fase del transformador. . . . .	62
Fig. 3. 12. Protección de la estación de carga. . . . .	62



Fig. 3. 13. Convertidor de RS-485 a USB. ....	63
Fig. 3. 14. Vista frontal y posterior de los módulos convertidores de potencia. ....	65
Fig. 3. 15. Vista posterior de los convertidores de potencia. ....	65
Fig. 3. 16. Circuito de suministro de potencia. ....	66
Fig. 3. 17. Medidor de temperatura del disipador de calor. ....	67
Fig. 3. 18. Ventilación del disipador de calor. ....	67
Fig. 3. 19. Esquema de circuito de precarga. ....	68
Fig. 3. 20. Circuito de precarga de la estación. ....	68
Fig. 3. 21. Onda de tensión en el bus DC. ....	69
Fig. 3. 22. Onda de tensión en la resistencia de precarga. ....	69
Fig. 3. 23. Contactor de suministro de potencia en AC. ....	70
Fig. 3. 24. Puertos de entrada y salida del módulo controlador. ....	71
Fig. 3. 25. Bornes de líneas de comunicación. ....	71
Fig. 3. 26. Señal digital CAN enviada por un vehículo eléctrico. ....	72
Fig. 3. 27. Cables de carga y conectores. ....	73
Fig. 3. 28. Conectores de la estación de carga. ....	73
Fig. 3. 29. Sistema de ventilación de la estación de carga. ....	74
Fig. 3. 30. Fuentes de voltaje para ventilación. ....	75
Fig. 3. 31. Relé de encendido de fuentes de tensión. ....	75
Fig. 3. 32. Diagrama de bloques general de la estación de carga rápida. ....	77
Fig. 3. 33. Diagrama de bloques del sistema de recepción de potencia y protección. ....	77
Fig. 3. 34. Diagrama de bloques de la conexión de los módulos convertidores. ....	78
Fig. 3. 35. Diagrama de bloques del circuito de suministro de potencia. ....	79
Fig. 3. 36. Esquema de comunicación de la estación de carga. ....	80
Fig. 3. 37. Esquema del rectificador trifásico. ....	88
Fig. 3. 38. Esquema del convertidor DC-DC y batería. ....	89
Fig. 3. 39. Curvas de carga de la batería para 125 A de corriente de salida. ....	90
Fig. 3. 40. Curvas de carga de la batería para 200 A de corriente de salida. ....	90
Fig. 3. 41. Curvas de carga de la batería para 230 A de corriente de salida. ....	91
Fig. 3. 42. Curva de potencia de carga de un Kia Soul EV. ....	92
Fig. 3. 43. Curva de potencia de carga de un Hyundai Ioniq EV. ....	92
Fig. 3. 44. Red CAN. ....	93
Fig. 3. 45. Señales CAN. ....	94
Fig. 3. 46. Señales diferenciales. ....	98
Fig. 3. 47. Red RS-485. ....	98
Fig. 3. 48. Puertos del controlador vSECC [44]. ....	100
Fig. 3. 49. Esquema de conexiones del controlador vSECC [44]. ....	101
Fig. 3. 50. Configuración del sistema de gestión de carga [43]. ....	104
Fig. 3. 51. Componentes SIEMENS que conforman una estación de carga [46]. ....	105
Fig. 3. 52. Controlador abierto ET200ESP [42]. ....	106
Fig. 3. 53. Módulo de carga CCS de SIEMENS [55]. ....	107
Fig. 3. 54. Designación de pines del módulo de comunicación CCS de SIEMENS [47]. ....	107
Fig. 3. 55. Bloque DIN 70121_DB de Tia Portal [47]. ....	107
Fig. 3. 56. Gateway PN/CAN [48]. ....	108
Fig. 3. 57. Bloque CHAdeMO de Tia Portal [49]. ....	108



Fig. 3. 58. Ejemplo de configuración de una estación de carga con el estándar CCS [12].	109
Fig. 3. 59. Módulos UMEV01 y UMEV02 [50].	110
Fig. 3. 60. Módulos convertidores DPM1000/30CV y DPM1000/30C [51].	111
Fig. 3. 61. Curva de corriente de salida vs voltaje de salida.	112
Fig. 3. 62. Módulo convertidor de potencia UR100030-SW [52].	115
Fig. 3. 63. Curva de corriente de salida vs tensión de salida en el modo de alto voltaje.	116
Fig. 3. 64. Curva de corriente de salida vs tensión de salida en el modo de bajo voltaje.	116
Fig. 4. 1. Ventas de vehículos eléctricos por año en Ecuador.	120
Fig. 4. 2. Mapa de distribución de estaciones de carga en Ecuador [54].	121
Fig. 4. 3. Vista satelital del laboratorio microrred.	124
Fig. 4. 4. Exterior del laboratorio microrred.	124
Fig. 4. 5. Diagrama de flujo del proceso de producción.	126
Fig. 4. 6. Costo del módulo controlador vSECC.	129
Fig. 4. 7. Costo de los módulos convertidores de potencia.	130



## Índice de tablas

Tabla 2. 1. Estados de carga de vehículo [13] .....	25
Tabla 2. 2. Potencia de las versiones del estándar CHadeMO [21] .....	43
Tabla 3. 1. Corrientes nominales estándar para fusibles y breakers [29] .....	82
Tabla 3. 2. Clasificación de los equipos en base a la tensión de impulso que soportan [32] .....	83
Tabla 3. 3. Corrientes nominales de fusibles en sobretensión [37] .....	84
Tabla 3. 4. Calibres de cables de cobre [35] .....	87
Tabla 3. 5. Características de carga del Kia Soul [36] .....	89
Tabla 3. 6. Mensajes CAN de Estado 1 [45] .....	102
Tabla 3. 7. Mensajes CAN de Estado 2 [45] .....	102
Tabla 3. 8. Mensajes CAN de Límites 1 [45] .....	103
Tabla 3. 9. Mensajes CAN de Límites 2 [45] .....	103
Tabla 3. 10. Características de hardware de los módulos UMEV01 y UMEV02 [50] .....	110
Tabla 3. 11. Valores para el campo MSGTYPE [47] .....	113
Tabla 3. 12. Valores del campo ErrType [47] .....	114
Tabla 3. 13. Valor del campo VALUETYPE .....	115
Tabla 3. 14. Tipos de mensaje [53] .....	118
Tabla 3. 15. Tipos de comando [53] .....	118
Tabla 4. 1. Tipos y número de estaciones de carga distribuidas en el país [54] .....	121
Tabla 4. 2. Costos totales .....	131
Tabla 4. 3. Inversión inicial .....	133
Tabla 4. 4. Condiciones generales .....	133
Tabla 4. 5. Condiciones del escenario 1 .....	134
Tabla 4. 6. Valores VAN del escenario 1 .....	134
Tabla 4. 7. Valor TIR del escenario 1 .....	134
Tabla 4. 8. Condiciones del escenario 2 .....	134
Tabla 4. 9. Valores VAN del escenario 2 .....	134
Tabla 4. 10. Valor TIR del escenario 2 .....	135
Tabla 4. 11. Condiciones del escenario 3 .....	135
Tabla 4. 12. Valores VAN del escenario 3 .....	135
Tabla 4. 13. Valor TIR del escenario 3 .....	135



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Yo, Sebastián Alejandro Rea Asmal en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Ingeniería inversa y estudio de prefactibilidad para el diseño y construcción de una estación de carga de corriente continua de vehículos eléctricos multiconector”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 14 de abril de 2021

Sebastián Alejandro Rea Asmal

0105561989



Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Sebastián Alejandro Rea Asmal en calidad de autor del trabajo de titulación "Ingeniería inversa y estudio de prefactibilidad para el diseño y construcción de una estación de carga de corriente continua de vehículos eléctricos multiconector", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de abril de 2021



---

Sebastián Alejandro Rea Asmal

0105561989



Certifico

Que el presente proyecto de tesis: "Ingeniería inversa y estudio de prefactibilidad para el diseño y construcción de una estación de carga de corriente continua para vehículos eléctricos multiconector", fue dirigido y revisado por mi persona.

---

Ing. Luis González Morales, PhD

Director de Tesis



## Dedicatoria

Dedicado a todas aquellas personas que me acompañaron durante este proceso, Ing. Luis González, Pablo Delgado, David Llivicura, Frank Torres, Alexis Vintimilla, Juan Moscoso, Ivania Aguirre.

Sebastián Alejandro Rea Asmal



## Agradecimientos

Al Ing. Luis González, que con su apoyo no habría sido posible el desarrollo del presente trabajo. Un excelente profesional y persona que siempre motiva a sus alumnos a dar lo mejor sí.

A Pablo Delgado, por su constante predisposición a ayudar, por su sabiduría y consejos sobre la vida. Los tendré siempre presente.

Al laboratorio Micro Red, por brindarme la oportunidad y los recursos para culminar este proyecto.

A mi padre y mis hermanas, por su apoyo durante toda la carrera.

A los compañeros del laboratorio, David Llivicura, Frank Torres, Alexis Vintimilla, Juan Moscoso e Ivania Aguirre. Todos hemos trabajado duro para alcanzar esta meta.

A todas las personas que estuvieron presentes durante el transcurso de esta etapa universitaria, con quienes compartí buenos momentos: María José Molina, Soraya Bueno, Gabriela Asmal, Bryan Baquerizo, Jorge Veloz, Ivan Cabrera y Cynthia Romero.

Sebastián Alejandro Rea Asmal



## Capítulo 1: Introducción

### 1.1 Introducción

La movilidad basada en vehículos de combustión interna tiene impacto negativo, debido a la emisión de CO<sub>2</sub>, en el medio ambiente. En este contexto, una alternativa tecnológica que reduce la emisión de gases de efecto invernadero implica el reemplazo de los vehículos tradicionales por vehículos eléctricos [1].

La base del funcionamiento de un vehículo eléctrico (VE) radica en los motores eléctricos, que propulsan al vehículo tomando energía provista por un banco de baterías. Esta fuente de energía, al ser de naturaleza electroquímica, necesitan recargarse periódicamente. Esto es análogo a lo que sucede con los vehículos con motores de combustión interna, que necesitan recargar su tanque de combustible para su funcionamiento.

Por lo tanto, el desarrollo y despliegue de estaciones de carga es tan importante como el desarrollo de los vehículos eléctricos. De esta manera, los gobiernos están trabajando cada vez más para promover la infraestructura de carga. Por ejemplo, Estados Unidos trabaja con las subvenciones para financiar estaciones de carga públicas. Japón realiza el proyecto de promoción de implementación de infraestructura de carga de vehículos de próxima generación en Japón [2].

Hasta la actualidad existen dos tipos de estaciones de carga de vehículos eléctricos que emplean carga conducida por cables: las que suministran corriente alterna (AC) y las estaciones que suministran corriente continua (DC).

Ambas poseen ciertas ventajas y desventajas. Las estaciones AC son más baratas, pero tienen cierta limitación en cuanto a la velocidad a la cual pueden completar la carga de una batería. Las estaciones en DC son más costosas y más complejas debido a los elementos y protocolos de comunicación que manejan, pero permiten una carga completa en un tiempo menor al de las estaciones en AC.



## 1.2 Descripción del problema

La tecnología para la recarga de energía de los vehículos eléctricos avanza constantemente. Esto, junto con el incremento de los VE en el Ecuador, hacen que sea necesaria una estructura de carga capaz de restablecer la energía de un vehículo en el menor tiempo posible.

El proceso de integración de los vehículos eléctricos en la sociedad debe enfrentar varios obstáculos. La autonomía de la batería, su vida útil y los tiempos de recarga son factores que influyen de forma negativa en la adquisición de un VE [3].

La investigación centrada en las estaciones de carga de nivel 1 (potencia de 3,3 kW) y nivel 2 (potencias de hasta 14,4 kW) ha demostrado que la viabilidad y beneficio medioambiental de los vehículos eléctricos pueden aumentarse mediante el uso de infraestructura de carga pública. Las estaciones de nivel 3 (carga rápida de hasta 240 kW) pueden recargar el 80 % del estado de carga de un vehículo en una fracción de tiempo típica de los niveles 1 o 2, reduciendo las preocupaciones sobre los tiempos de carga [4].

Países como China comenzaron con el proceso de integración de los VE invirtiendo en investigación, tanto de desarrollo de baterías como de sistemas de carga [5].

Estudios realizados en Noruega aseguran que la carga rápida aumenta la distancia recorrida por los vehículos, así como el mercado. La carga rápida no anula las garantías de la batería del vehículo. Pruebas realizadas en climas cálidos, han demostrado que la carga rápida de dos autos Nissan Leaf al día, después de 50000 millas resultaron en una caída de alcance de 3 millas en comparación con la carga de 3,3 kW [6].

De acuerdo a [7], hasta el año 2017, se vendieron alrededor de 3,2 millones de vehículos eléctricos alrededor del mundo. A este hecho le acompaña de instalación de más de 400000 estaciones de carga pública instaladas. Esto relaciona la instalación de las estaciones de carga con la adquisición de VE.

De esta manera, la integración de la electromovilidad en una determinada región se vincula con la infraestructura de carga presente. La adquisición de los sistemas de carga resulta costosa, si se recurre a proveedores internacionales. Debido a estos factores, se propone el análisis para la construcción de una estación de carga rápida. Este análisis debe considerar el estudio de los componentes que integran una estación de carga rápida, así como una evaluación de factibilidad para su posible construcción.



### 1.3 Alcance

El desarrollo del presente tema de titulación propone un estudio que consiste en un proceso de ingeniería inversa a una estación de carga en DC multiconector. El propósito de este estudio es la identificación de los componentes principales por los que está conformado el cargador. Luego, realizar un estudio económico preliminar de dichos componentes mediante el contacto con las empresas fabricantes. Con esta información se procede a la evaluación de la factibilidad para el diseño y construcción de la estación de carga.

### 1.4 Objetivos

#### 1.4.1 Objetivo general

Realizar un estudio de prefactibilidad de diseño y construcción de una estación de carga de corriente continua de vehículos eléctricos multiconector.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el estado del arte y estándares correspondientes a las estaciones de carga rápida multiconector.
- Conocer los componentes principales de una estación de carga en DC.
- Dimensionar los componentes por los que va a estar formada la estación de carga.
- Comprender el proceso de comunicación entre los módulos de potencia y el módulo controlador de comunicación.
- Establecer un diseño preliminar de la estación de carga en DC.
- Simular la etapa de transferencia energética desde la estación hacia la batería del vehículo.

## Capítulo 2: Estado del Arte

### 2.1 Sistemas de carga para vehículos eléctricos

Un sistema de carga para vehículos eléctricos es un conjunto de elementos que trabajan de forma coordinada para suministrar energía a la batería de un vehículo eléctrico. La Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) han establecido sus propias clasificaciones de sistemas de carga respectivamente.

#### 2.1.1 Clasificación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos según la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

La Comisión Electrotécnica Internacional define cuatro modos de carga basados en diferentes niveles de potencia, sistemas de protección y tipos de conector.

**Modo 1:** Se trata de una carga lenta en AC, ya que la energía se transfiere desde un tomacorriente normalizado doméstico como se muestra en la Fig. 2. 1. Sus niveles de corriente no deben exceder los 16 A. Sus niveles de voltaje no exceden los 250 V AC en sistemas monofásicos o los 480 V AC en sistemas trifásicos. En este modo se debe incluir protección diferencial y una línea de protección a tierra desde el tomacorriente hasta el conector del vehículo. No existe ningún tipo de comunicación entre la estación y el vehículo[8].



Fig. 2. 1. Modo 1 de carga [9].

**Modo 2:** Al igual que el modo 1, es una carga lenta desde un tomacorriente normalizado doméstico, pero con un dispositivo de control y protección en el cable. Este dispositivo, presentado en la Fig. 2. 2, se comunica con el vehículo mediante una señal denominada piloto de control (CP) a través de una línea dedicada. Esta señal de control se emplea para confirmar la conexión del conductor de protección y la conexión hacia el cargador, para verificar que la estación esté o no enviando energía y para transmitir al vehículo la corriente máxima que se puede proporcionar [10]. La corriente que puede suministrar se limita a 32 A. El voltaje máximo, en caso de sistemas monofásicos es de 250 V AC y en caso de sistemas triásicos es de

480 V AC[8]. Debe disponer de protección contra sobrecorriente, protección diferencial y de corriente residual.

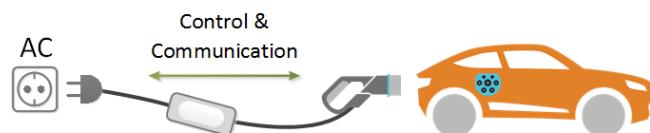


Fig. 2. 2. Modo 2 de carga [9].

**Modo 3:** Se emplea en domicilios y en áreas públicas. Permite tanto carga lenta como rápida. En la Fig. 2. 3 se presenta esta infraestructura, la cual requiere permanecer fija, conectada a la red de suministro, con elementos pensados para la transferencia de energía eléctrica hacia el vehículo. Este modo también integra la función de CP que va desde la estación de carga hasta el vehículo[8]. Las estaciones de este modo pueden incluir cables de carga permanentemente conectados a la estación o cables desmontables tanto del lado de la estación como del vehículo[10]. Este modo permite una potencia de hasta 184.4 kW con una corriente máxima de 250 A.

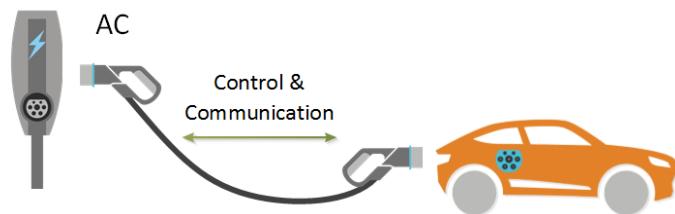


Fig. 2. 3. Modo 3 de carga [9].

**Modo 4:** La Fig. 2. 4 muestra una infraestructura de carga modo 4. Se trata de carga rápida, empleando un sistema de carga en DC. Al igual que los modos 2 y 3, emplea el mecanismo de CP, que va desde el sistema de carga hasta el vehículo. La potencia máxima que puede suministrar es de 240 kW con una corriente de 400 A. Para obtener corriente continua se requiere de una conversión AC/DC dentro del propio cargador. Estas estaciones se comunican de forma más compleja con el vehículo mediante protocolos más desarrollados, por lo que se precisan líneas dedicadas para este proceso. Tanto la sección AC como la de DC necesitan de su protección respectiva y de manera general requiere protección contra sobrecorriente e interruptores de puesta a tierra[10].

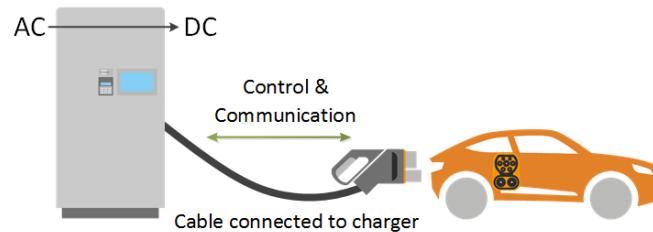


Fig. 2. 4. Modo 4 de carga [9].

### 2.1.2 Clasificación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos según la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE)

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) ha clasificado a las estaciones de carga en tres niveles, dependiendo de las tasas de potencia, voltaje y corriente:

**Nivel 1:** Este nivel usa los 120 V AC provenientes de los tomacorrientes domésticos como se observa en la Fig. 2. 5, con una corriente de entre 12 A a 16 A. Se emplea un conector de tipo SAE J1772 en el lado del vehículo[8]. En este nivel se pueden obtener potencias entre 1.4 kW – 1.9 kW dependiendo de la corriente. El nivel 1 es más barato y conveniente para domicilios y no requiere una infraestructura adicional[11].



Fig. 2. 5. Nivel 1 de carga [12].

**Nivel 2:** Este nivel emplea un voltaje de entre 208 a 240 V AC monofásico con una corriente de entre 12 a 80 A. En este nivel se puede suministrar 2.5 kW – 19.2 kW de potencia. Requiere equipo dedicado para la carga en hogares y en espacios públicos[11] como muestra la Fig. 2. 6.



Fig. 2. 6. Nivel 2 de carga [12].

**Nivel 3:** Emplea la carga rápida en DC. La conversión de AC a DC se lleva a cabo en un cargador ubicado fuera del vehículo. Esta conversión toma voltajes entre 208 – 480 V AC de un sistema trifásico, obteniendo a la salida tensiones continuas en el rango de 300 V DC a 600 V DC con corrientes de hasta 400 A, logrando una potencia máxima de 240 kW[11]. La Fig. 2. 7 muestra una estación de carga de nivel 3.



Fig. 2. 7. Nivel 3 de carga [12].

### 2.1.3 Clasificación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos según el tipo de corriente de salida

Los sistemas de carga también se clasifican en base al tipo de corriente que suministran al vehículo, de esta manera, las estaciones pueden ser de corriente alterna (AC) y de corriente continua (DC).



### 2.1.3.1 Estaciones de carga en corriente alterna (AC)

Las estaciones de carga en corriente alterna, son aquellos sistemas que transfieren corriente de la red de suministro directamente al vehículo. El convertidor de potencia en este tipo de sistema, se encuentra dentro del vehículo (Cargador *On-board*).

Hasta la actualidad, existen tres tipos de sistemas para la carga en AC, cada uno con sus respectivos tipos de conectores y valores máximos de tensión y corriente que pueden suministrar:

- Cargador Tipo 1 SAE J1772
- Cargador IEC 62196 Tipo 2 MENNEKES
- Cargador Tesla Dual para AC y DC.

#### 2.1.3.1.1 Cargador SAE J1772

El estándar SAE J1772 de una sola fase se emplea en Estados Unidos y otros países de América para carga en AC. Este conector posee dos pines de potencia correspondientes a Fase (L1) y Neutro (N). En cuanto a la comunicación, lleva dos pines para esta tarea: uno para el piloto de control (CP) y otro para la detección de proximidad (PD). Así mismo, lleva un pin para la conexión a tierra (PE).

Los eventos que acontecen durante el proceso de carga son controlados mediante la comunicación entre la estación de carga y el vehículo. El medio principal por el que se lleva a cabo la comunicación es el circuito de CP. Este circuito se compone de dos partes, ubicadas en la estación y en el vehículo respectivamente, como se observa en la Fig. 2. 8. Cuando el conector se enchufa en el puerto de carga del vehículo, ambas partes del circuito se conectan por medio de los pines de CP (4) y de PE (3). La señal de CP se genera en el lado de la estación de carga y puede ser de tipo constante o una señal PWM.

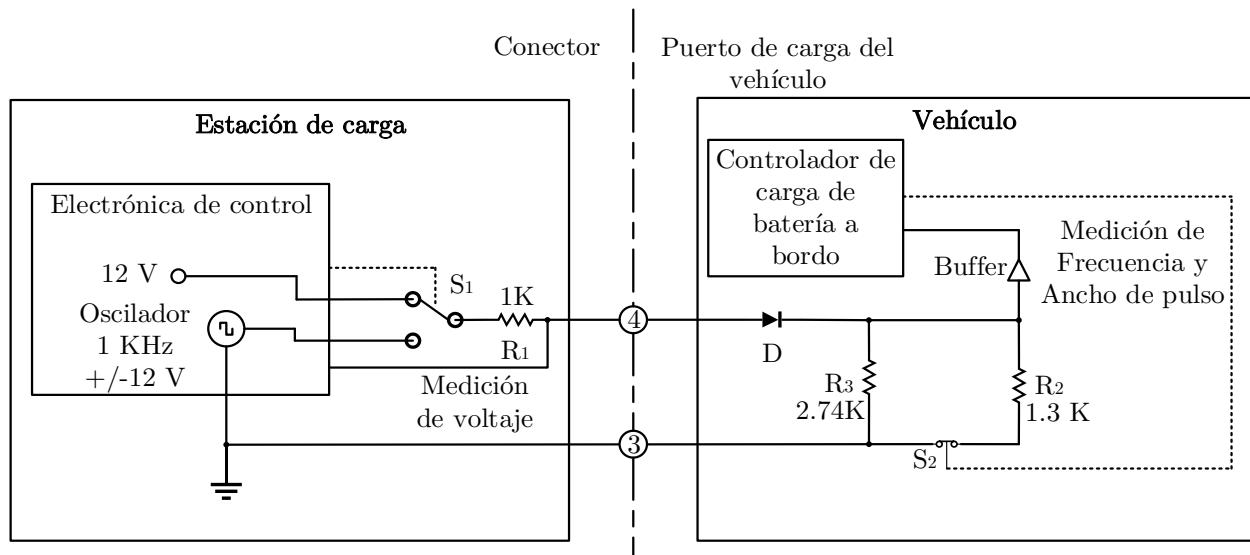


Fig. 2. 8. Diagrama del circuito de piloto de control [13].

El CP cumple con las siguientes funciones:

- Determinar si el conector ha sido enchufado en el puerto de carga del vehículo.
- Informar al vehículo que la estación está lista para suministrar energía.
- Comunicar a la estación que el vehículo está listo para recibir energía.
- Establecer si el vehículo requiere ventilación en el área interior de carga.
- Comunicar al vehículo la capacidad máxima de corriente que la estación puede suministrar.

### Modulación por Acho de Pulso (PWM)

La señal modulada por ancho de pulso es un tipo de señal de voltaje periódica, donde se modifica el ciclo de trabajo. Estas señales suelen ser de tipo cuadrado, donde se les cambia el tiempo que la señal permanece en alto, sin modificar el periodo [14].

El ciclo de trabajo está dado por la siguiente expresión:

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T} * 100\%$$



Donde:

$T_{on}$  es el tiempo que la señal se mantiene en alto.

$T$  es el periodo de la señal.

### Estados de carga del vehículo

El cambio de la señal constante a PWM o el cambio del voltaje máximo en la señal PWM indican la transición de un estado de carga a otro.

A continuación, se presentan los eventos o estados por los que atraviesa el circuito de CP durante el proceso de carga. En la Tabla 2. 1 se presenta el estado de carga, el voltaje de la señal, el tipo de la señal y una descripción del estado.

Estado	Voltaje	Tipo de señal	Descripción
Estado A	12.0	Constante	Vehículo no conectado
Estado B	9.0	Primero constante, luego PWM	Vehículo conectado, no listo para recibir energía
Estado C	6.0	PWM	Vehículo conectado, listo para recibir energía y ventilación en el área interior de carga no requerida
Estado D	3.0	PWM	Vehículo conectado, listo para recibir energía y ventilación en el área interior de carga requerida
Estado E	0	Constante	Estación de carga desconectada, energía de la red de suministro no disponible o algún otro problema en la estación
Estado F	-12.0	Constante	Estación de carga no disponible o algún otro problema en la estación

Tabla 2. 1. Estados de carga de vehículo [13].

### Conecotor SAEJ1772 tipo 1

La Fig. 2. 9 muestra la forma del conector SAE J1772 junto con los pines correspondientes a Fase (L1), Neutro (N), tierra (PE), piloto de control (CP) y detección de proximidad (PD):



Fig. 2. 9. Diagrama de pines del conector SAE J1772.

### Proceso de carga:

A continuación, se explicarán los pasos y las funciones de los elementos involucrados en el proceso de carga según el estándar SAE J1772, tomando como referencia la Fig. 2. 10.

Una vez que el conector ha sido enchufado en el puerto de caga del vehículo, inicia el proceso de carga. El CP activa el controlador de carga del vehículo, mientras que el detector de proximidad activa el bloqueo de manejo del vehículo.

La estación detecta la conexión con el vehículo al captar el cambio del estado A a B. Durante el estado A, la estación genera una señal constante de 12 V. En el estado B, cuando se enchufa el conector con el puerto de carga del vehículo, se conecta la carga resistiva  $R_3$  del circuito de CP, por lo que la tensión medida baja a 9 V.

La estación le indica al vehículo que está lista para suministrar energía encendiendo el oscilador, generando una onda PWM de 1 kHz de frecuencia, que el circuito de CP del lado del vehículo recibe.

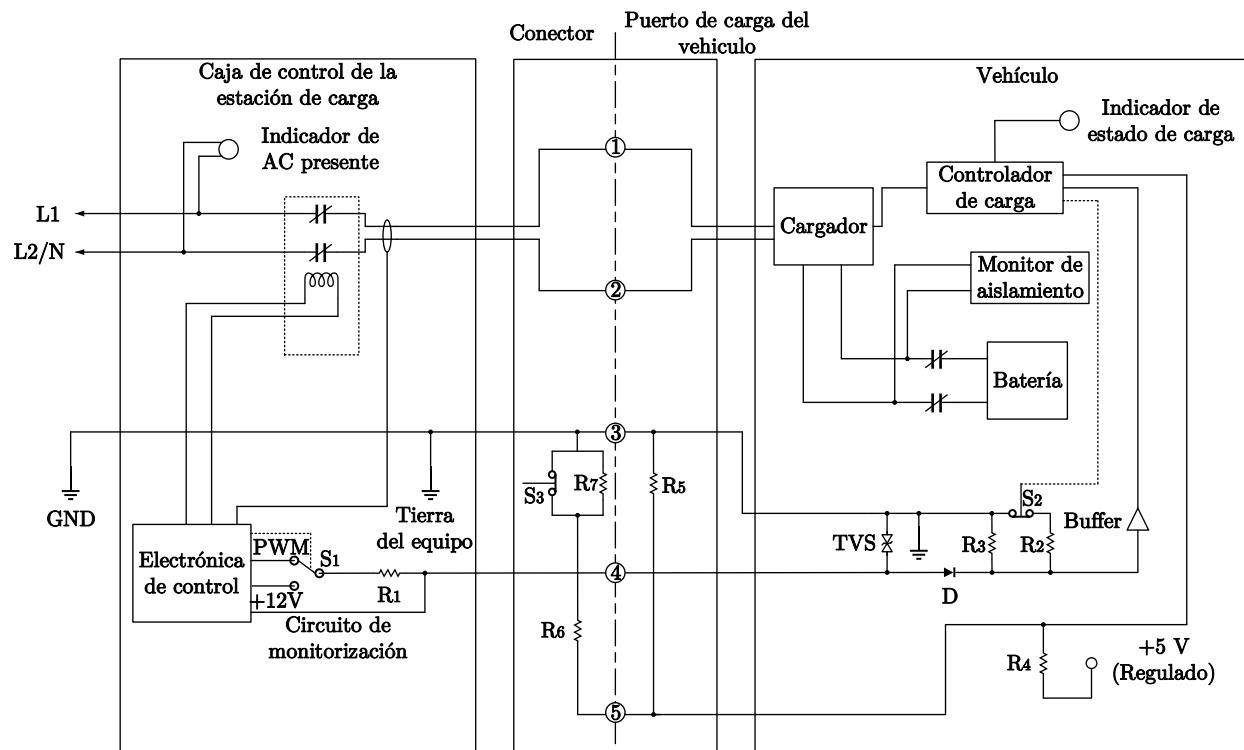


Fig. 2. 10. Configuración de un sistema de carga de nivel 2 [13].

El vehículo comunica a la estación que está listo para recibir energía, conectando la resistencia  $R_2$  al cerrar el switch  $S_2$  y proporcionando información sobre la ventilación en el vehículo con los estados C o D.

El cargador establece si se requiere de ventilación en el área interior de carga midiendo el valor del voltaje de la señal PWM como indica la Tabla 2. 1. Si la ventilación es necesaria, la estación suministra una señal para activar el sistema de ventilación.

Luego, la estación determina la corriente disponible y ajusta el ciclo de trabajo para indicar al vehículo el valor de corriente de salida.

Si el ciclo de trabajo de la señal se encuentra entre el 10 % y 96 % se calcula la corriente disponible dependiendo del ciclo de trabajo.

$$I(A) = (\text{ciclo de trabalho \%}) * 0,6$$

Si el vehículo lee un ciclo de trabajo mayor al 85.0%, la corriente se define por la siguiente fórmula:

$$I(A) = (ciclo\ de\ trabajo\ \% - 64) * 2,5$$

Si el ciclo de trabajo de la señal se encuentra entre 3% y 7% se obtiene la corriente disponible mediante la comunicación digital, que se emplea en estaciones de carga en DC.

En estas condiciones, la estación de carga puede suministrar energía, cerrando el contactor principal.

La señal de CP será monitorizada y la corriente de carga se ajustará de acuerdo a ella. Si la señal piloto se pierde o si el ciclo de trabajo no entra en ninguno de los rangos, la estación termina el proceso de carga de forma inmediata, abriendo el contactor y apagando el oscilador.

#### 2.1.3.1.2 Cargador IEC 62196 tipo 2 MENNEKES

El conector IEC 62196 Tipo 2, también denominado MENNEKES, de una y tres fases se emplea en Europa para la carga en AC.

El proceso de carga es el mismo que el del estándar SAE J1772. El conector emplea siete pines en total, cuatro pines de potencia, dos pines de comunicación y un pin de tierra (PE). Entre los pines de potencia se encuentran: L1, L2, L3 y Neutro (N). Las líneas L1, L2 y L3 corresponden a los terminales de un sistema trifásico. Entre los pines de comunicación, se encuentran: piloto de control (CP) y el detector de proximidad (PD). Los tipos de señal que usa el CP, así como los valores de frecuencia, ciclo de trabajo y tensiones, corresponden a los señalados en el estándar SAE J1772. La Fig. 2. 11 muestra el diagrama de pines del conector IEC 62196 tipo 2:

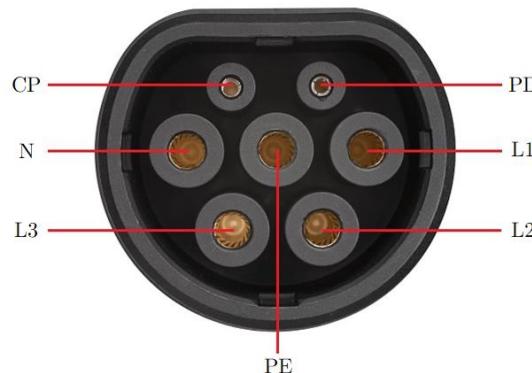


Fig. 2. 11. Diagrama de pines del conector IEC 62196 tipo 2.



### 2.1.3.1.3 Cargador Tesla Dual para AC y DC

La empresa Tesla se dedica al diseño y fabricación tanto de autos eléctricos como de estaciones de carga. Los sistemas de carga de Tesla son de uso exclusivo para vehículos de la misma marca, aunque se pueden emplear adaptadores para los conectores SAE J1772, IEC 62196 tipo 2 y CHAdeMO.

Tesla cuenta con tres tipos de cargadores, basados en los niveles 1, 2 y 3.

**Cargadores Tesla nivel 1:** Los sistemas de carga nivel 1 de Tesla usan los tomacorrientes normalizados de 120 V, por lo que pueden cargarse casi en cualquier lugar. Los propietarios de un vehículo Tesla reciben este tipo de cargadores sin ningún costo adicional. La desventaja más notable es que toma varias horas en completar la carga de la batería del vehículo[15].

**Cargadores Tesla nivel 2:** Los cargadores nivel 2 de Tesla se conectan a un sistema de fase dividida de 240 V, por lo que ofrece cargas 15 veces más rápidas que los cargadores de nivel 1. Se puede encontrar cargadores de pared y cargadores públicos que pertenezcan a este nivel. La velocidad con la que pueden cargar la batería de un vehículo depende de la potencia que el cargador pueda suministrar, siendo 3.3 kW la mínima potencia y 17.2 kW la máxima potencia. También depende de la máxima potencia que la batería del vehículo puede soportar. Dependiendo del modelo, las baterías de Tesla pueden soportar entre 11.5 kW y 17.2 kW. Por último, la corriente que el panel doméstico soporta también puede ser un factor que intervenga en la velocidad de carga de la batería del vehículo[15].

**Cargadores Tesla nivel 3 o Supercargadores:** Las estaciones Tesla nivel 3 entran en la categoría de cargadores de corriente continua y serán explicados más adelante en su sección correspondiente.

#### Conecotor Tesla

El conector empleado por las estaciones de carga de Tesla se muestra en la Fig. 2. 12. En ella se diferencian cinco pines, de los cuales, dos son dedicados a potencia, dos a comunicación y uno a tierra.

A diferencia de los demás estándares, este sistema permite la carga, tanto de corriente alterna como continua, empleando el mismo tipo de conector[8].

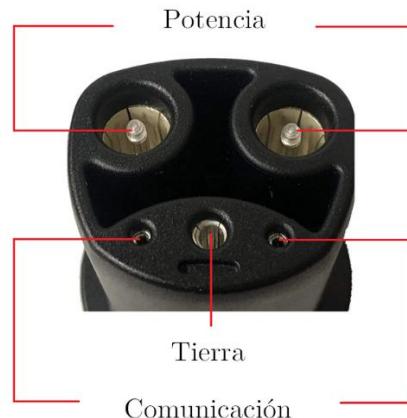


Fig. 2. 12. Diagrama de pines del conector de una estación Tesla.

### 2.1.3.2 Estaciones de carga en corriente continua (DC)

La función de una estación de carga de corriente continua es la de entregar una corriente o tensión en DC de forma regulada, según lo solicite el vehículo. En este tipo de estación, la conversión de corriente alterna a continua se realiza dentro del sistema de carga, por lo que la energía se suministra directamente hacia a la batería.

#### 2.1.3.2.1 Configuración típica del sistema de carga en DC

Según el estándar IEC 61851-23, las estaciones de carga en DC están constituidas por los bloques listados en la Fig. 2. 13.

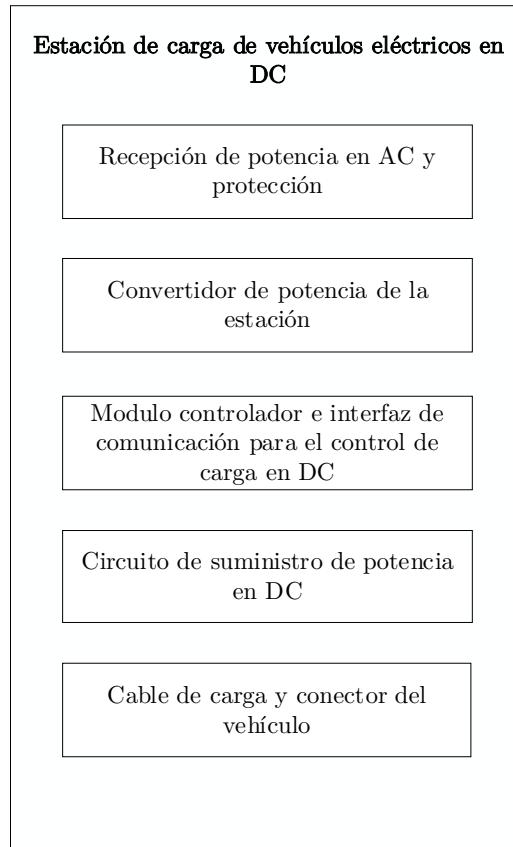


Fig. 2. 13. Configuración de una estación de carga en DC.

#### **Recepción de potencia en AC y protección**

Sección comprendida por conectores que enlazan la infraestructura a la red de suministro AC. Además, contiene elementos de protección para el sistema en general y para el usuario.

#### **Convertidor de potencia de la estación**

Al tratarse de una estación de carga en DC, la conversión de corriente alterna a continua no se realiza dentro del vehículo. Se efectúa dentro de la misma estación (*Off-Board*), por componentes que se encargan de llevar a cabo la función de rectificación, filtrado y regulación.

#### **Módulo controlador e Interfaz de comunicación para el control de carga en DC**

Una estación de carga en DC maneja una comunicación más sofisticada con el vehículo, en comparación con los otros tipos de estaciones. Para este tipo de comunicación se vuelve necesario el uso de protocolos específicos, pues, se transfieren más parámetros entre el cargador y el vehículo. Esta información se genera dentro de las unidades de control y son transmitidos desde circuitos dedicados ubicados tanto en la estación como en el vehículo que se enlazan a



través de líneas exclusivas tanto del conector de la estación como del puerto de carga del vehículo.

### **Círculo de suministro de potencia en DC**

Esta sección está conformada por elementos de alta potencia con la capacidad de permitir o bloquear el paso de la corriente de la estación al vehículo. Su función también es la de proteger a la estación tanto de inversiones de corriente como de corrientes de irrupción.

### **Cable de carga y conector del vehículo**

El cable de carga es una extensión de la estación que permite conectarla al vehículo y establecer una conexión con él, de forma cómoda y segura.

En la parte terminal del cable de carga se ubica el conector, el cual se enchufa al puerto de carga del vehículo. Esta conexión cierra los circuitos de potencia para la transferencia de energía y los circuitos de comunicación, para el intercambio de información entre ambas entidades.

#### **2.1.3.2.2 Funciones de la carga en DC**

De acuerdo al estándar 61851\_23 un sistema de carga en DC debe cumplir, de forma obligatoria, con las siguientes funciones:

**Verificación de conexión con el vehículo:** La estación debe ser capaz de confirmar que el vehículo esté correctamente conectado a la estación, detectando la continuidad del circuito del CP.

**Comprobación de la continuidad del conductor de protección:** Durante la carga, la estación debe supervisar de forma permanente la continuidad del conductor de protección entre la estación de carga y el vehículo. Para la tensión asignada de 60 V en DC o superior, la estación debe realizar una parada de emergencia dentro de los 10 s posteriores a la pérdida de continuidad si el sistema tiene aislamiento eléctrico entre la sección de AC y DC; caso contrario, la estación sin aislamiento debe desconectarse de la red de suministro de AC. Para la tensión de 60 V o superior, la estación debe realizar una parada de emergencia entre los 5 s siguientes a la pérdida de continuidad del conductor de protección.

**Energización del sistema:** El conector de la estación no debe energizarse mientras que no se haya validado la transferencia de energía mediante la comunicación digital entre la estación y el vehículo.



**Desenergización del sistema:** En caso de fallo del circuito de control de la estación de carga debido a cortocircuitos, fugas a tierra, falla del CPU o exceso de temperatura, la estación debe finalizar el suministro de corriente y desenergizar el circuito de control. Adicionalmente, se desconecta de su alimentación al conector en el que la falla ha sido detectada.

**Alimentación en DC para el vehículo:** La estación debe suministrar tensión y corriente en DC reguladas a la batería del vehículo, sin superar las características máximas asignadas de la estación, siendo el vehículo quien pueda cambiar el valor de la corriente y tensión demandadas.

**Medida de la corriente y la tensión:** La estación de carga debe medir la corriente y tensión de salida.

**Retención/liberación del acoplador:** Se debe proporcionar un medio para retener y liberar el acoplador del vehículo. Este medio puede ser mecánico, enclavamiento eléctrico o una combinación de enclavamiento y retención.

**Bloqueo del acoplador:** Se debe bloquear el conector en el puerto de carga del vehículo cuando la tensión sea mayor a 60 V.

El bloqueo puede estar o bien en el conector de la estación o en el puerto de carga del vehículo, dependiendo de la configuración.

Si la estación de carga ha producido un bloqueo producido, esta debe contar con las siguientes funciones:

- Función de bloqueo eléctrico o mecánico para retener el conector.
- Función para detectar la desconexión de los circuitos eléctricos para la función de bloqueo.

**Evaluación de compatibilidad:** Se debe verificar la compatibilidad entre la estación de carga y el vehículo con la información intercambiada en la fase de inicialización.

**Ensayo de aislamiento antes de la carga:** La estación de carga debe validar la resistencia de aislamiento entre el circuito de salida en DC y el conductor de protección hacia el chasis del vehículo, incluyendo la carcasa de la estación de carga, antes de que se cierren los contactores del vehículo.

Si el valor no se cumple, no se puede iniciar la carga.

Los relés del circuito de salida en DC deben permanecer cerrados durante el ensayo.

El valor de resistencia de aislamiento debe satisfacer la siguiente fórmula:

$$R \geq 100 \Omega/V \times U$$



Donde:

*U*: Es la tensión de salida asignada de la estación de carga.

*R*: Es la resistencia de aislamiento.

**Protección contra sobretensión en la batería:** Si la tensión de salida supera el límite de tensión máxima enviado por el vehículo, la estación debe realizar una parada de emergencia y desconectarse de su alimentación.

**Verificación de la tensión del conector del vehículo:** se aplica únicamente en estaciones de carga que producen el bloqueo del conector del vehículo (CHAdeMO, GB/T 20234). La estación de carga no debe energizar el cable de carga cuando el conector del vehículo no está bloqueado. El conector se desbloquea cuando la tensión sea menor a 60 V.

**Integridad de la alimentación del circuito de control:** Si se detecta una falla a tierra, un cortocircuito o una sobreintensidad en el circuito de salida de la estación de carga, se debe desconectar el circuito de potencia de su alimentación sin interrumpir la alimentación del circuito de control.

**Ensayo de cortocircuito antes de la carga:** La estación debe tener un medio para comprobar si existe un cortocircuito entre el polo positivo y el negativo del circuito de salida de DC, cuando el vehículo esté conectado a la estación.

**Parada iniciada por el usuario:** La estación de carga debe tener un medio para que el usuario pueda parar el proceso de carga voluntariamente.

**Protección contra sobrecarga para conductores paralelos:** Si se utiliza más de un cable o más de un conector en paralelo para la carga de un vehículo, la estación de carga debe tener un medio para confirmar que ninguno de los conductores se sobrecargue.

**Protección contra la sobretensión temporal:** Para estaciones que brindan una tensión de salida máxima de hasta 500 V, no debe haber ninguna tensión por encima de 550 V entre el polo positivo DC+ y el PE o entre el polo negativo DC- y el PE.

Para estaciones que suministran una tensión de salida entre 500 V y 1000 V, no debe producirse ninguna tensión por encima del 110% de la tensión de salida durante más de 5 s entre el polo DC+ y el PE o entre el polo DC- y el PE.

La estación de carga debe terminar el suministro de corriente y desconectar el circuito de potencia de su alimentación en un lapso de 5 s.

Para la tensión mínima de salida  $U_n$ , la estación de carga debe limitar la tensión entre DC+/- y PE al menor valor de:



$$(2U_n + 1000) * 1.41 \text{ o}$$

$$(U_n + 1200) * 1.41$$

**Parada de emergencia:** En situaciones poco comunes, la estación debe brindar mecanismos para un apagado de emergencia, para así garantizar seguridad.

La carga se detiene mediante:

- Interrupción acelerada controlada de la corriente o tensión de carga, en donde la corriente desciende con una pendiente controlada y señalización adecuada hacia el vehículo.
- Fin repentino no controlado de la carga, donde no existe ningún control de corriente y donde el vehículo puede no ser informado a tiempo.

Bajo condiciones específicas se requiere la desconexión de acuerdo a las situaciones anormales siguientes:

- Desconexión de la alimentación al conductor en el que se detecta una fuga a tierra.
- Desconexión del conductor en el que se detecta una sobreintensidad.
- Desconexión del circuito de potencia en DC desde la fuente si se detecta un fallo de aislamiento.

### Tensión de salida y tolerancia de corriente

**Regulación de corriente de salida:** La tolerancia entre la corriente de salida de la estación, con respecto al valor solicitado por el vehículo debe ser de 2,5 A para corrientes demandadas menores a 50 A y 5% del valor demandado para 50 A o mayor.

**Regulación de la tensión de salida:** La tolerancia entre la tensión de salida de la estación, en comparación con el valor solicitado por el vehículo, en régimen permanente, no debe ser mayor que el 2% de la tensión máxima asignada de la estación de carga.

**Retardo de control de corriente de carga:** Si la diferencia entre la corriente solicitada por el vehículo y la corriente de salida de la estación es menor o igual a 20 A, la corriente de salida debe estar dentro de los límites de tolerancia con un tiempo de retardo de 1 s.

Si la diferencia entre la corriente demandada y la corriente de salida es mayor a 20 A, la corriente de salida debe estar dentro de los límites de tolerancia con un tiempo de retardo  $T_d$  dado por la formula y de acuerdo a lo que muestra la Fig. 2. 14.

$$T_d \leq \frac{|I_N - I_0|}{dl_{min}}$$

Donde:

$T_d$ : Es el retardo de control de la corriente de carga.

$I_N$ : Es el valor de la corriente solicitada por el vehículo.

$I_0$ : Es el valor de la corriente de salida en el momento de la nueva solicitud.

$dl_{min}$ : Es la tasa mínima de cambio de la corriente.

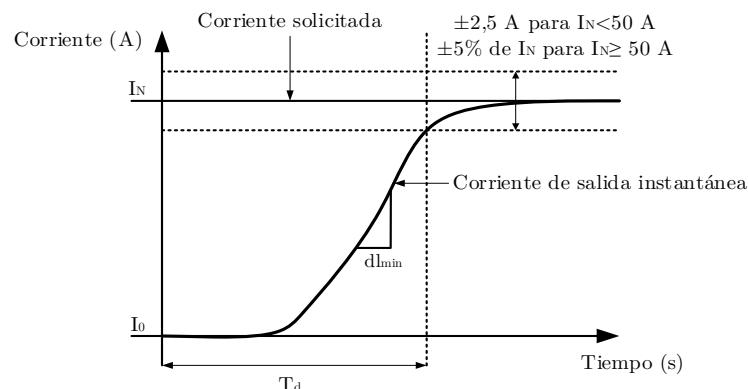


Fig. 2. 14. Respuesta en escalón para control de valor constante.

#### Tasa de disminución de la corriente de carga

La estación de carga debe ser capaz de reducir la corriente con una tasa de disminución de 100 A/s o mayor. Para paradas de emergencia son necesarias tasas de disminución mayores.

#### Regulación de la corriente de salida en DC

Cuando el cargador suministra corriente continua al vehículo, el error permitido máximo entre la corriente en DC promedio real y el valor de la corriente solicitada por el vehículo debe ser:

- $\pm 150$  mA cuando el valor de la corriente solicitada es menor o igual a 5 A.
- $\pm 1,5$  A cuando el valor de la corriente solicitada es mayor que 5 A pero menor o igual a 50 A.
- 3 % de la salida de corriente máxima de la estación cuando el valor de la corriente solicitada es mayor que 50 A.



#### 2.1.3.2.3 Comunicación entre el vehículo y la estación de carga en DC

Las baterías de los vehículos eléctricos están fabricadas con diferentes tecnologías y voltajes por lo que el proceso de carga debe gestionarse desde el vehículo para asegurar la compatibilidad de los distintos tipos de almacenamiento de energía. Dicho de otra manera, es el vehículo el que debe controlar los parámetros de carga de la estación en DC.

La comunicación entre la estación de carga y el vehículo puede establecerse de dos maneras: comunicación básica y comunicación de alto nivel.

Mediante la comunicación básica, con intercambio de señales por medio de las líneas del CP, se administra la etapa inicial de la carga y el apagado normal o de emergencia.

La comunicación de alto nivel permite el intercambio de parámetros de control de carga entre la estación y el vehículo, a través de medios de comunicación digital.

#### 2.1.3.2.4 Proceso de control de carga

El proceso de control de carga incluye las siguientes etapas:

- Inicialización
- Transferencia de energía
- Parada

El proceso de control se debe sincronizar mutuamente entre la estación de carga y el vehículo por medio de:

- Señales a través del circuito piloto del conductor piloto.
- Parámetros a través del circuito de comunicación digital.
- Valores de medida como niveles de tensión y corriente del circuito de carga.

##### **Etapa de inicialización**

En esta etapa, el vehículo y la estación intercambian parámetros para el control de carga y valores límite, como la tensión de la batería del vehículo, corriente de carga máxima, etc. Se mide la tensión del circuito para verificar que la batería y la estación de carga estén conectadas antes del inicio de la carga y para comprobar que no haya conexión entre ellas al finalizar el proceso de carga. Se verifica la compatibilidad con el vehículo. En caso de que la estación y vehículo no sean compatibles, no se procede a la siguiente etapa del proceso. Se bloquea el conector en el puerto de carga. Se efectúa el ensayo de aislamiento entre las líneas de potencia y la carcasa, incluyendo el chasis del vehículo.



### **Etapa de transferencia de energía**

En esta etapa del proceso de carga, el vehículo envía mensajes con valores de ajuste de corriente o tensión de carga a la estación de acuerdo a la siguiente:

A lo largo del proceso de carga, la estación recibe el valor de la corriente o tensión de carga que el vehículo solicita.

La estación ajusta su salida de tensión o de corriente conforme a lo comandado por el vehículo.

Los mensajes de ajuste de tensión y corriente deben enviarse a la estación a intervalos regulares.

### **Etapa de parada**

La parada normal se lleva a cabo cuando la capacidad de la batería ha alcanzado cierto límite o cuando el usuario le indica a la estación que detenga el proceso.

La parada de emergencia se produce cuando ocurre una falla.

El vehículo notifica a la estación para que finalice la carga, reduciendo la corriente de carga cero.

Los contactores del lado del vehículo se abren. Después de que la tensión en la conexión de entrada alcance el nivel de seguridad, el conector puede desbloquearse, permitiendo al usuario extraerlo del puerto de carga del vehículo de forma segura.

#### **2.1.3.2.5 Tipos de carga en DC**

Los cuatro tipos de sistemas de carga en DC son:

- Cargador CCS/COMBO
- Cargador CHAdeMO
- Cargador GBT/20234 en DC
- Cargador Tesla Dual para AC de una sola fase y DC

#### **2.1.3.2.6 Cargador CCS/COMBO**

CCS (*Combined Charging System*) es un estándar para la carga en DC que utiliza una combinación de las entradas de carga AC y DC, compartiendo los pines de comunicación. El Sistema de Carga Combinado es un sistema internacional estandarizado abierto y es usado por

fabricantes como Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche y Volkswagen.

CCS emplea comunicación de bajo nivel y de alto nivel entre el vehículo y la estación de carga. La comunicación de bajo nivel utiliza la modulación por ancho de pulso, al igual que el estándar SAE J1772 y su equivalente europeo. La comunicación de alto nivel se lleva a cabo a través de *Power Line Communication* (PLC) para el intercambio de parámetros de carga entre la estación y el vehículo y está basado en el modelo OSI (*Open System Interconnection*)[16].

Hasta la actualidad, la potencia máxima que estos cargadores pueden suministrar es de 400 kW, con un voltaje y corriente de hasta 1000 V y 400 A respectivamente[17].

### Conektor CCS

Existen dos tipos de conectores CCS, los cuales se clasifican en CCS1 y CCS2. En ambos tipos de conectores, el diseño de los pines de DC es igual, así como los protocolos de comunicación. La variante entre ambos conectores es la disposición de los pines de AC y de comunicación. Esta disposición es la misma que la del estándar de carga en AC SAE J1772 para Estados Unidos para el CCS1 y la del conector Tipo 2 especificado en el estándar IEC 62196-2 para el CCS2 [18].

La Fig. 2. 15 muestra la configuración de pines del conector CCS1, donde se observa que en la parte superior se encuentra el enchufe del estándar SAE J1772, con la variación de que no posee los conductores de los pines correspondientes a L1 y a N; solo incluye los conductores de los pines de comunicación (PD y CP) y tierra (PE). La parte inferior comprende los dos pines para el suministro de corriente en DC (DC+ y DC-).

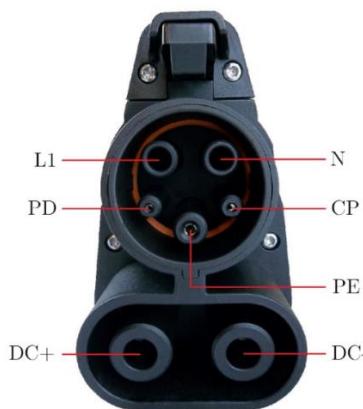


Fig. 2. 15. Diagrama de pines de un conector CCS1.

La Fig. 2. 16 muestra la forma de un puerto de entrada de carga de un vehículo. Se advierte que en el puerto de entrada se puede colocar tanto un conector del estándar SAE J1772 para carga en alterna, así como un conector CCS1 para la carga en continua.



Fig. 2. 16. Puerto de carga CCS1 del vehículo[19].

La configuración de pines del conector CCS2 se presenta en la Fig. 2. 17. En la parte superior se destacan los pines de comunicación de la configuración del conector IEC 62196 tipo 2 y en la parte inferior se ubican los pines de potencia DC+ y DC-.



Fig. 2. 17. Diagrama de pines de un conector CCS2.

De la misma manera, en la Fig. 2. 18 se presenta el puerto de entrada CCS2 de un vehículo. De forma equivalente a lo que ocurre con el conector CCS1, en el puerto de entrada CCS2 se puede colocar un enchufe del estándar IEC 62196 tipo 2 para la carga en AC o un conector CCS2 para la carga en DC.



Fig. 2. 18. Puerto de carga CCS2 del vehículo[20].

### Esquema del cargador

En la Fig. 2. 19 se presenta el esquema de una estación de carga que emplea el protocolo CCS. En ella se observa la sección de control, conformada por las unidades de control de la estación y del vehículo, conectadas por medio de los puertos PD y CP. Cada extremo lleva consigo un modem PLC, ambos vinculándose entre sí para la comunicación digital, a través de los pines CP y PE. El objeto, denotado por  $\vartheta$  en el lado del conector, es utilizado por la estación de carga para la supervisión de la temperatura del conector.

En la sección de potencia la corriente de entrada se transforma a corriente continua por medio de la unidad de conversión. Seguido a esto, el valor de la corriente se mide con el sensor  $I_{DC}$ . A continuación, se identifica la sección de precarga conformada por la resistencia de precarga  $R_{pre}$  y un conmutador. En las líneas DC+ y DC- se mide el valor de la tensión con  $V_{DC}$ .

Entre el conector y el puerto de carga del vehículo se ubica el bloqueador del conector, identificado con CCL (*Correct Contact & Locking*).

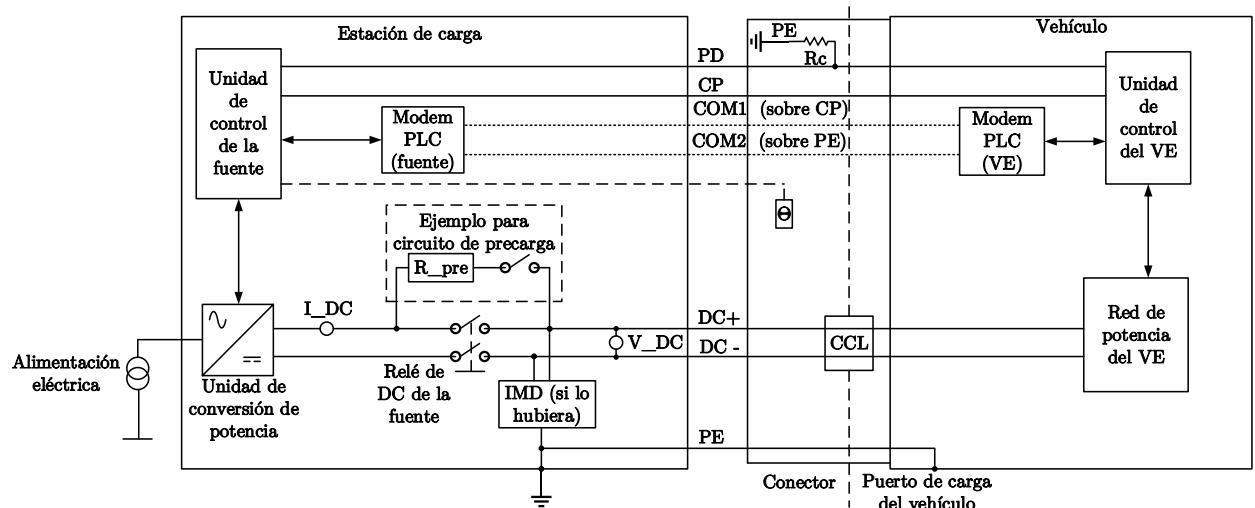


Fig. 2. 19. Esquema de una estación con el estándar CCS.



### Proceso de carga bajo el estándar CCS

El proceso de carga se inicia al enchufar el conector en el puerto de carga del vehículo. El CP cambia del estado A al estado B.

Se inicia la comunicación entre la estación de carga y el vehículo empleando el protocolo PLC, a través del cable CP y PE. En esta etapa se inicia el diálogo intercambiando los parámetros de carga y la estación verifica que la tensión de salida sea menor a 60 V para continuar con el proceso, caso contrario lo finaliza.

El vehículo envía mensajes a la estación, indicando cuanta tensión y corriente de salida es capaz de soportar.

El vehículo bloquea al conector en el puerto de carga.

La estación le indica al vehículo cuáles son sus magnitudes de alimentación máximas y comprueba el aislamiento interno mientras no se aplique ninguna tensión al conductor.

Si el vehículo y el cargador no llegarán a ser compatibles, la estación hará una transición hacia la secuencia de parada normal.

El estado CP cambia de B al estado C/D, cerrando el switch  $S_2$  y el estado del vehículo cambia a “Listo” terminando la fase de inicialización.

Después de que el vehículo haya confirmado el bloqueo del conector, solicita la comprobación del cable y aislamiento. La estación informa al vehículo el estado de aislamiento de AT de forma continua.

La estación verifica el aislamiento midiendo la resistencia de aislamiento. Esta debe tener un valor mayor a  $100\text{ k}\Omega$ . Cuando este proceso termine, la estación cambia el estado del aislamiento a “válido”.

A continuación, el estado del cargador cambia a “Listo” y comienza la fase de precarga, donde el vehículo envía los valores de corriente y tensión de precarga.

La estación regula su salida de tensión al valor solicitado y ajusta su corriente de salida a un máximo de 2 A.

El vehículo detiene la verificación de aislamiento y de ser necesario, envía mensajes a la estación para que el valor de la desviación de la tensión de salida de la tensión de la batería del vehículo sea menor a 20 V, para luego cerrar su dispositivo de desconexión.

El vehículo cambia su estado Listo para Cargar a “Verdadero” para que el cargador habilite su salida de potencia.

La estación regula su tensión de salida y corriente a los valores solicitados y los comunica al vehículo junto con los límites de tensión y corriente actuales y el estado actual de carga.



La secuencia de parada inicia cuando el vehículo disminuye el valor de la corriente requerida. La estación responde a la petición de disminución de corriente con un retardo de tiempo. El vehículo solicita al cargador que deshabilite su salida cambiando el estado de Listo para Cargar a “Falso” y una vez que la corriente de salida este por debajo de 1 A, puede abrir su dispositivo de desconexión y abrir sus contactores.

La estación habilita un circuito para descargar las capacidades internas y cambia su estado a “No Preparado” y se lo informa al vehículo.

El vehículo cambia el CP al estado B después de pasado cierto tiempo, para asegurarse de que la estación haya descargado su salida o cuando haya recibido un mensaje con el estado de “No Preparado” y envía varias solicitudes para que la estación lea su tensión de salida.

El vehículo comienza con la supervisión de aislamiento y desbloquea el conector cuando la tensión de salida sea menor a 60 V.

Se solicita terminar la comunicación PLC y una vez que se desenchufa el conector del vehículo, el estado CP cambia a A.

#### 2.1.3.2.7 Cargador CHAdeMO

CHAdeMO es un estándar para la carga en DC de vehículos eléctricos que fue desarrollado por la Asociación CHAdeMO, la cual se encarga de la certificación que garantiza la compatibilidad entre el vehículo y la estación de carga. A esta asociación se encuentran afiliadas marcas reconocidas de vehículos tales como Toyota, Mitsubishi, Hyundai, Mazda, Suzuki, Tesla entre otros.

CHAdeMO implementa el protocolo CAN (*Controller Area Network*) para la comunicación entre la estación de carga y el vehículo. Mediante los paquetes CAN se transmiten los parámetros de carga.

El estándar CHAdeMO cuenta con varias versiones, con diferentes niveles de potencia que la estación puede suministrar a un vehículo, según muestra la Tabla 2. 2.

Versión	Potencia
CHAdeMO 0.9/1.0/1.1	62.5 kW (125 A x 500 V)
CHAdeMO 1.2	200 kW (400 A x 500 V)
CHAdeMO 2.0	400 kW (400 A x 1000 V)

Tabla 2. 2. Potencia de las versiones del estándar CHAdeMO [21].

### Conecotor CHAdeMO

El conector característico del estándar CHAdeMO contiene 9 pines. Estos se dividen en dos pines de potencia, dos pines de comunicación CAN, cuatro pines analógicos y un pin de tierra. Por los pines de comunicación se transmiten las señales digitales referentes al protocolo CAN. Por los pines analógicos circulan señales para informar, ya sea a la estación o al vehículo, que ciertas tareas del proceso de carga pueden iniciar o deben terminar.

La Fig. 2. 20 muestra la disposición de pines de un conector CHAdeMO. En ella se aprecia los pines DC+ y DC- destinados a la transferencia de energía. Los pines CP, CP2, CP3 y CS se utilizan para la trasmisión de señales analógicas; mientras que los pines COM1 y COM2 sirven para el intercambio de paquetes CAN mediante señales digitales.



Fig. 2. 20. Diagrama de pines del conector CHAdeMO.

### Esquema del cargador CHAdeMO

El diagrama de un sistema de carga CHAdeMO está dado por la Fig. 2. 21, donde se muestran los componentes de carga de la estación y del vehículo. De esta se observa que, la estación y el vehículo cuentan con una unidad de control de carga, que se conectan entre sí a través de los conectores CP, CP2, CP3 y CS. Los identificados como transceptores CAN, conectados a la unidad de carga en cada extremo, intercambian información mediante comunicación digital, a través de los puertos COM1 y COM2. El objeto identificado con la etiqueta CL, se trata del sistema de enclavamiento del conector en el puerto de carga del vehículo y es gestionado por la unidad de carga de la estación.

La unidad de conversión de potencia convierta la corriente alterna de entrada en corriente continua, que atraviesa un sensor de corriente denominado Acc, un dispositivo de protección contra cortocircuitos U y un dispositivo de prevención de inversiones de corriente Di. Antes de salir de la estación, el valor de la tensión DC+ y DC- es medida con Vcc.

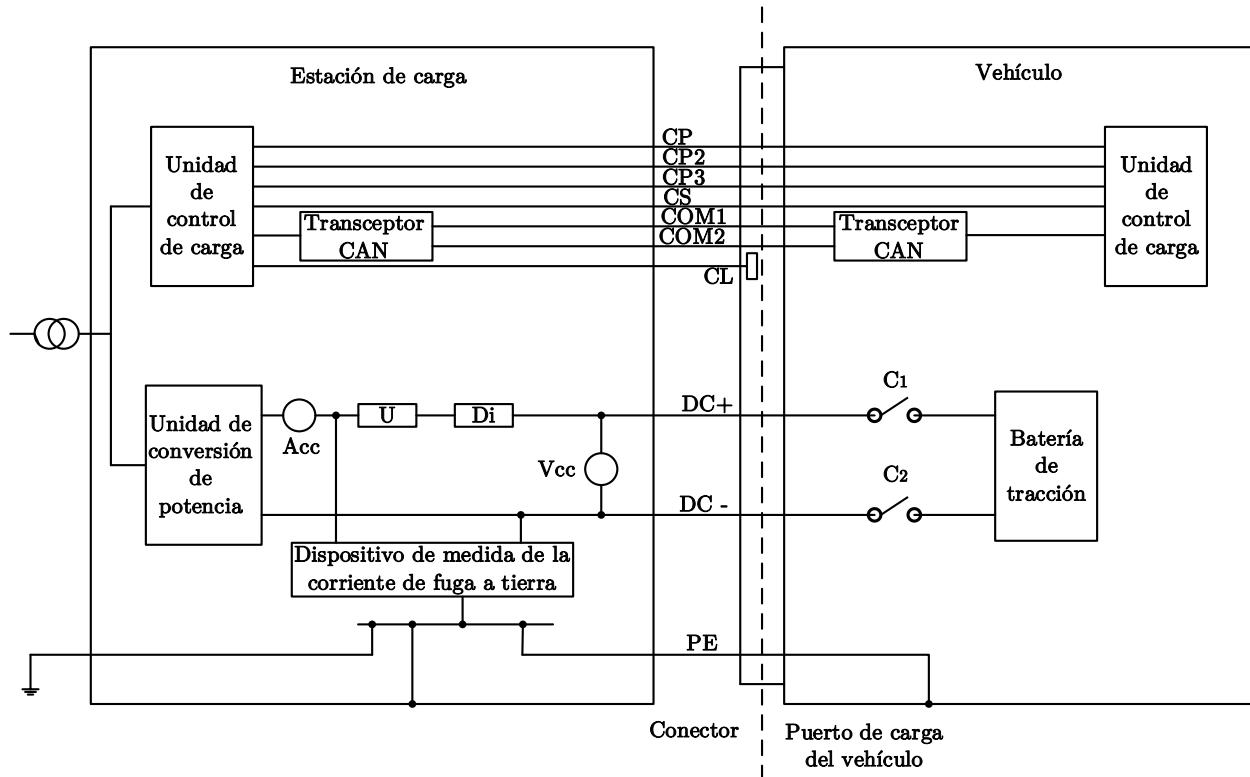


Fig. 2. 21. Esquema de una estación de carga CHAdeMO [22].

### Proceso de carga bajo el estándar CHADEMO

El proceso de carga que se explica a continuación se apoya en el diagrama de la Fig. 2. 22 que contiene el circuito de la interfaz de carga de una estación y de un vehículo compatibles con el estándar CHAdeMO.

Una vez que se le ha indicado a la estación que inicie el proceso de carga, el sistema cierra el switch d1 (CP), lo que aplica una tensión de 12 V al dispositivo de detección de estado de d1 (f).

Se establece la comunicación digital y empieza la transmisión de parámetros de carga como la corriente y voltaje máximos de la estación, capacidad de la batería, estado de carga, etc. a través de los buses CAN (COM1 y COM2). Se comprueba la compatibilidad entre la estación de carga y la batería del vehículo conectado.

A continuación, se realiza un ensayo de aislamiento antes de la carga. Este ensayo comienza cuando la estación brinda señales de permiso a través de la comunicación digital y a través de la línea CP3 al poner el estado del conmutador de permiso de carga (k) en On. Este estado es identificado por el dispositivo de detección de señal de permiso de carga (j). El conector se bloquea y la estación se lo informa al vehículo.



El ensayo se lleva a cabo según lo especificado en la sección y según lo siguiente:

La estación mide la tensión de la línea de potencia en DC para verificar que los contactores del vehículo estén abiertos. El voltaje en esta línea debe ser menor a 10 V, caso contrario el proceso de carga se detiene.

La tensión  $U$  que se aplica en la línea de potencia en DC debe ser el voltaje máximo de la estación.

Tras el ensayo, se confirma si la tensión en la línea DC es menor que 20 V. De ser así, la estación informa al vehículo que el ensayo ha finalizado al cerrar el switch  $d_2$  (CP2) cerrando el circuito del dispositivo de detección de señal de estado de  $d_2$  (g).

Con los switch  $d_1$  y  $d_2$  cerrados, el vehículo puede cerrar los contactores  $C_1$  y  $C_2$  para permitir la conexión entre las líneas de potencia DC de la estación y la batería (DC+ y DC-).

El vehículo envía paquetes a la estación con la corriente requerida, en un periodo de 0.1 segundos a través del bus CAN.

El vehículo monitoriza constantemente los parámetros del banco de baterías como el voltaje, corriente, temperatura, etc. En caso de ocurrir algún problema, el vehículo puede detener el suministro de corriente de cuatro formas:

- Solicitando un valor de corriente igual a cero a través del bus CAN
- Enviando un mensaje de error a través del bus CAN
- Cambiando el estado del conmutador  $k$ , que deja de proporcionar la señal de permiso de carga del vehículo
- Abriendo el contactor de la batería del vehículo

La estación también mide su propio voltaje, corriente y temperatura para que, en caso de ocurrir algún error, esta pueda enviar al vehículo una señal de error y detener la carga de forma inmediata.

Para finalizar la carga de forma normal, la estación envía mensajes de parada al vehículo mediante la comunicación digital. El vehículo solicita una corriente de valor de cero a través de la conexión CAN, entonces, la estación reduce la corriente de salida a 5 A o menos.

Una vez que el vehículo confirme que el flujo de corriente es de cero, cambia el estado del conmutador de permiso de carga ( $k$ ) a off.

Los switches  $d_1$  y  $d_2$  no se abren hasta que el vehículo haya finalizado la detección de soldadura de los contactores.

Una vez que  $d_1$  y  $d_2$  se hayan abierto, se abren los contactores del vehículo y se verifica que la tensión de salida DC sea menor a 10 V, para desbloquear el conector del puerto de carga y finalizar la comunicación CAN [23].

### 2.1.3.2.8 Cargador GB/T 20234 en DC

GB/T 20234 es un estándar para la carga de vehículos eléctricos en DC, usado principalmente en China. Emplea CAN como el protocolo de control al igual que en CHAdeMO.

Hasta la actualidad, GB/T 20234 permite un suministro de hasta 237.5 kW de potencia con un voltaje y corriente máximos de 950 V y 250 A respectivamente.

### Conector GB/T 20234 en DC

La Fig. 2. 23 muestra el conector de estándar chino GB/T20234 que contiene dos pines de potencia, dos pines etiquetados como CC1 y CC2 para controlar la conexión entre el cargador y el vehículo. Las líneas A+ y A- sirven para alimentación auxiliar. Los pines S- y S+ se emplean para comunicar información de control.

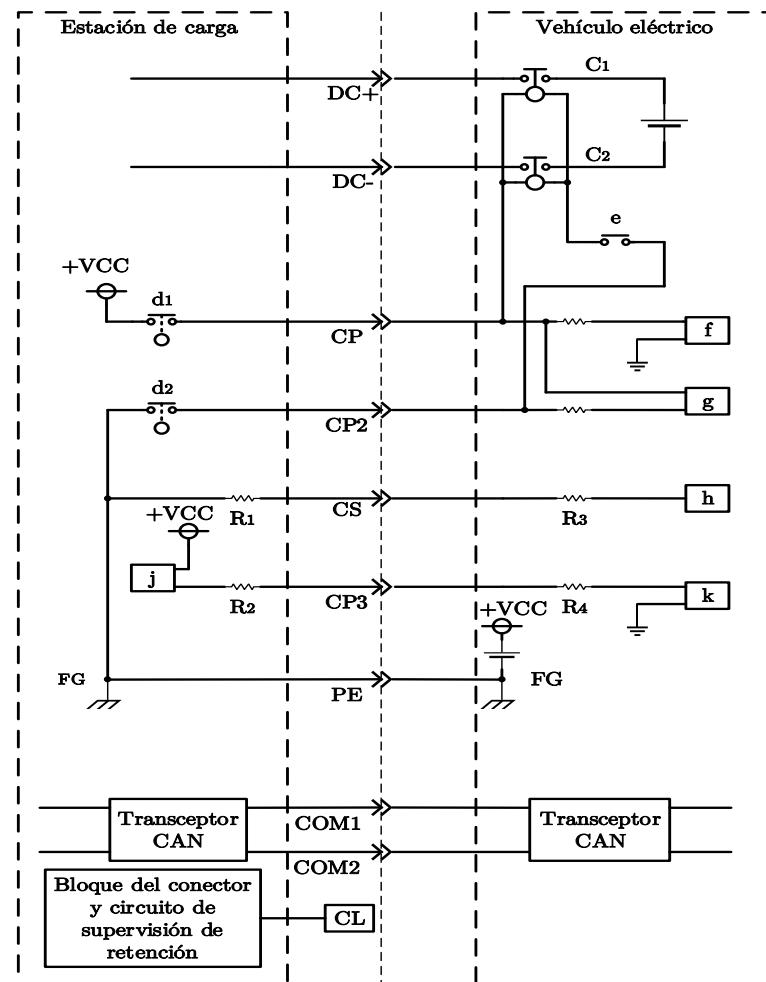


Fig. 2. 22. Circuito de interfaz para el control de carga de una estación CHAdeMO [22].

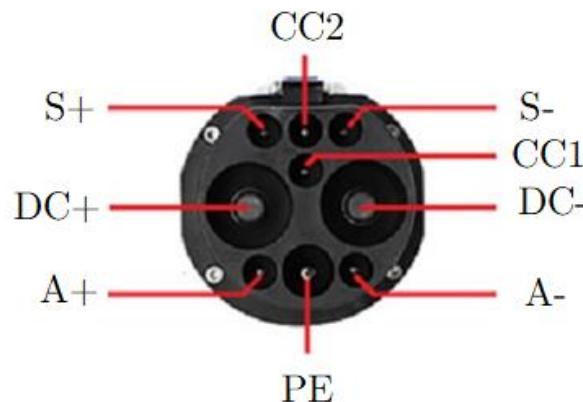


Fig. 2. 23. Diagrama de pines de un conector GB/T 20234 en DC.

#### Proceso de carga bajo el estándar GB/T 20234 en DC

En la Fig. 2. 24 se presenta el esquema de un cargador GB/T 20234 junto con los conductores del conector y del puerto de carga del vehículo:

Cuando el conector está enchufado en el puerto de carga del vehículo, inicia la configuración de carga de la estación y la unidad de control del cargador mide el voltaje en el punto de detección 1 (CC1). Para determinar que el conector esté correctamente enchufado, el voltaje en el punto de detección 1 debe ser de 4 V. Una vez que se ha confirmado que el conector esté colocado adecuadamente, la unidad de control retiene el enclavamiento eléctrico.

Cuando el proceso de detección del conector en el puerto de carga del vehículo y la supervisión de aislamiento hayan terminado, se cierran los contactores  $K_3$  y  $K_4$  ( $A+$  y  $A-$ ) para que el circuito de alimentación auxiliar de baja tensión energice la Unidad de control del vehículo. Mientras tanto, se envía periódicamente el mensaje de difusión de identificación del cargador ( $S+$  y  $S-$ ).

Cuando la Unidad de control del vehículo haya recibido energía, este determina si el conector ha sido ingresado correctamente en el puerto de carga del vehículo midiendo la tensión en el punto de detección 2 (CC2). Si dicha tensión tiene el valor de 6 V, entonces el vehículo confirma que el conector está enchufado correctamente y entonces la unidad de control del vehículo comienza a enviar de forma periódica el mensaje de difusión de identificación de la unidad de control del vehículo ( $S+$  y  $S-$ ).

A continuación, inicia la comunicación entre el controlador de la estación y el controlador del vehículo, utilizando para ello paquetes CAN, que viajan a través de las líneas de comunicación  $S+$  y  $S-$ . Cuando la configuración tanto de la unidad de control del vehículo como de la unidad de control de la estación termine, el vehículo cierra los contactores  $K_5$  y  $K_6$ , mientras que la estación cierra los contactores  $K_1$  y  $K_2$ , para permitir el paso de energía desde la estación a la batería del vehículo a través de los pines  $DC+$  y  $DC-$  del conector.

Mientras se lleva a cabo la carga, el controlador del vehículo envía paquetes con el requisito del nivel de carga de la batería. El controlador de la estación regula la tensión y la corriente de acuerdo a lo que necesite la batería del vehículo.

La unidad de control del vehículo decide cuando parar la carga, teniendo en cuenta el estado de carga de la batería o si hay un mensaje de Finalización de demanda/respuesta del cargador, desde la estación de carga. Cuando cualquiera de estos escenarios ocurre, el controlador del vehículo empieza a enviar de forma periódica “La unidad de control de vehículo finaliza la solicitud/respuesta del cargador”. El cargador, entonces, detiene el suministro de energía, para luego poder abrir los contactores  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_5$  y  $K_6$ . Cuando la comunicación haya finalizado, se abren los contactores  $K_3$  y  $K_4$  y se desbloquea al conector del puerto de carga del vehículo para poder desenchufarlo y dar por finalizado el proceso de carga.

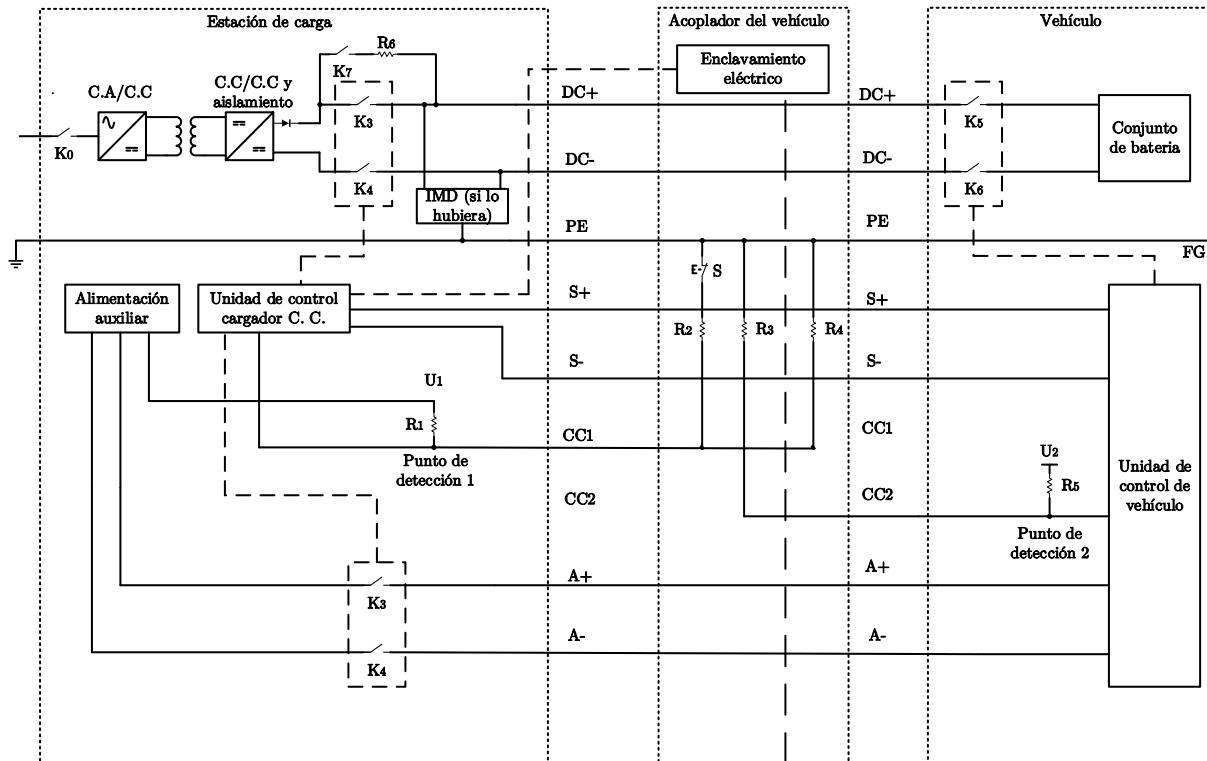


Fig. 2. 24. Diagrama esquemático de un sistema de carga GB/T 20234 en DC [22].

### 2.1.3.2.9 Cargador Tesla Dual para AC de una sola fase y DC

Los cargadores Tesla de niveles 1 y 2 corresponden a la carga en corriente alterna. Los cargadores de nivel 3 ya entregan corriente continua a los vehículos durante la carga como se aclara a continuación:



**Cargadores Tesla nivel 3 o Supercargadores:** Los cargadores nivel 3, también denominados supercargadores, son sistemas de carga en DC. Pueden suministrar hasta 140 kW de potencia, brindando al vehículo hasta 170 millas en tan solo 30 minutos. Con un supercargador, la batería puede alcanzar el 80% del total de carga alrededor de 40 minutos; a partir de este punto, la velocidad de carga disminuye para proteger a la batería [15].



Fig. 2. 25. Supercargadores Tesla [24].

## 2.2 Protocolo de Punto de Carga Abierto (OCPP)

OCPP son las siglas de *Open Charge Point Protocol*. Es un estándar de comunicación abierto entre la estación de carga y un sistema de gestión de carga (CSMS). Fue desarrollado en 2009 por *E-Laad foundation* (ahora ElaadNL) y es mantenida por *Open Charge Alliance* en Países Bajos. Puede adaptarse a los estándares de carga GB/T, CHAdeMO y CCS.

CSMS es un sistema *backend* basado en la nube administrado por la empresa operadora de la estación de carga. La estación se comunica con el CSMS para ayudar a los conductores a localizar estaciones de carga, reservar espacios, obtener autorización y realizar el pago. Ayuda a la empresa mediante la fiscalización de la tarifa a cobrar, genera informes, ejecuta diagnósticos y seguimiento de la estación.

## Operaciones

Algunas de las operaciones básicas soportadas por OCPP son:

- Autorizar a los usuarios el inicio del proceso de carga
- Modificación remota de la configuración de la estación
- Transferencia de datos de carga en tiempo real hacia la central de gestión.
- Control remoto de la sesión de carga
- Diagnóstico de fallas de la estación
- Reserva de tiempo de carga
- Carga inteligente



- Gestión del firmware de las estaciones
- Desbloqueo remoto del conector

### Beneficios del protocolo OCPP

Los beneficios que la inclusión de la comunicación OCPP entre un sistema de gestión y la estación de carga son:

Posibilidad de conectar cualquier CSMS con cualquier estación de carga independientemente del vendedor.

El protocolo abierto brinda flexibilidad de adquirir equipos de carga de varios proveedores.

Es independiente de la técnica de carga: CHAdeMO, CCS, GB/T.

Permite acceso uniforme de las estaciones de carga, *roaming* y servicios de facturación para los clientes de vehículos eléctricos

Se pueden agregar nuevas características con relativa facilidad gracias a que es un protocolo abierto.

La carga inteligente habilita el control sobre la potencia y corriente suministrada a un vehículo específico o a un grupo de vehículos conectados al mismo tiempo. Esto se puede llevar a cabo imponiendo límites sobre la máxima potencia que se puede suministrar a cada pistola de carga.

Además, al programar la carga de los vehículos eléctricos en función de la tarifa de la hora del día y la disponibilidad de acceso abierto a la energía renovable, los propietarios de vehículos eléctricos y los operadores de flotas pueden ahorrar en el costo por unidad de energía entregada al vehículo [25].

### Versiones

Hasta la fecha, existen tres versiones del protocolo OCPP:

- OCPP 1.5
- OCPP 1.6
- OCPP 2.0.1

#### 2.2.1 Descripción del OCPP Versión 1.5

Esta versión de OCPP hace uso del protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*) que permite el envío y recepción de mensajes a través de internet. El contenido de un mensaje

SOAP se elabora de acuerdo al estándar XML (*Extensible Markup Language*). La comunicación entre el punto de carga y el sistema central inicia siempre con una solicitud que el destinatario debe responder con una confirmación.

Dentro de OCPP 1.5 se describen 25 operaciones. Diez operaciones iniciadas por la estación de carga y 15 por el sistema central [26].

**Operaciones iniciadas por el sistema de carga:** Autorización, notificación de arranque, transferencia de datos, notificación del estado de diagnóstico, notificación del estado de *firmware*, *heartbeat*, valores del medidor, inicio de transacción, notificación de estado y notificación de parada.

**Operaciones iniciadas por el sistema central:** Cancelación de reservación, disponibilidad de cambio, configuración de cambio, limpiar caché, transferencia de datos, obtener configuración, obtener diagnóstico, obtener versión de la lista local, iniciar transacción remota, detener transacción remota, reservar ahora, reiniciar, enviar lista local, desbloquear el conector y actualizar *firmware*.

En OCPP, las solicitudes y confirmaciones tienen el formato `nombredeoperacion.req()` y `nombredeoperacion.conf()` respectivamente.

La Fig. 2. 26 presenta el flujo para la operación de autorización. En él se muestra como la estación o punto de carga envía un mensaje `Autorization.req()` al sistema central y recibe la confirmación con el mensaje `Autorization.conf()`.

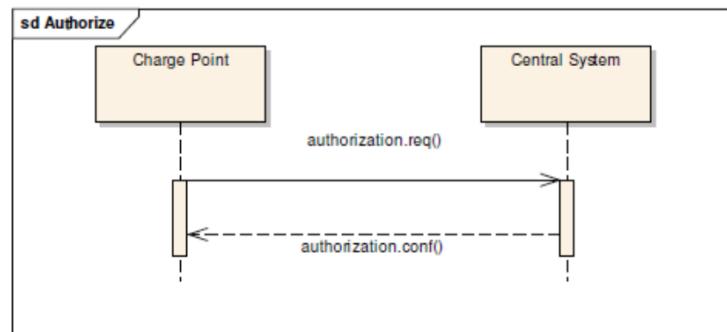


Fig. 2. 26. Intercambio de mensajes OCPP [26].



### 2.2.2 Descripción del OCPP Versión 1.6

OCPP 1.6 incluye las mismas funcionalidades de OCPP 1.5, por lo que soporta SOAP y además integra compatibilidad con JSON sobre websockets. Esta versión de OCPP añade además nuevas características como:

- Carga inteligente para que el sistema central sea capaz de influenciar la potencia o la corriente de carga de un vehículo específico o en el consumo de energía permitida de una estación o un grupo de puntos de carga. Esto se basa en los límites de transferencia de energía en momentos específicos. Los límites se combinan en un perfil de carga. Los perfiles de carga contienen una lista de intervalos de tiempo con su potencia o corriente de carga máxima.
- Brinda información más específica sobre el estado de carga, añadiendo las fases: preparando, cargando, estación suspendida, vehículo suspendido y finalizado.
- Se abre la posibilidad para los fabricantes de puntos de carga de enviar nueva información al sistema central, por ejemplo, el estado de carga del vehículo.

### 2.2.3 Descripción del OCPP Versión 2.0.1

OCPP 2.0.1 soporta únicamente JSON sobre *websockets*. Las mejoras que OCPP 2.0.1 ha realizado en comparación OCPP 1.6 son:

- Funciones para obtener y establecer configuraciones y monitorear estaciones de carga.
- Manejo de transacciones mejorado. Útil para operadores que gestionan un gran número de estaciones de carga y transacciones.
- Adición de actualizaciones de firmware segura, registro de seguridad y notificación de eventos, perfiles de seguridad para autenticación y comunicación segura (TLS).
- Soporte de visualización y mensajería, para proporcionar al conductor del VE información en la pantalla, por ejemplo, sobre tarifas.

## 2.3 Técnicas para la carga de baterías

A continuación, se describen los métodos de carga por corriente constante, carga por voltaje constante y el método de carga de dos etapas [27].

### 2.3.1 Carga por corriente constante

En este método, la corriente de carga es menor que la corriente nominal. Se necesita de un tiempo estimado de carga. La desventaja de este método es el sobrecalentamiento, lo que reduce la vida útil de la batería. La carga finaliza cuando la batería alcanza el 80% del estado de carga.

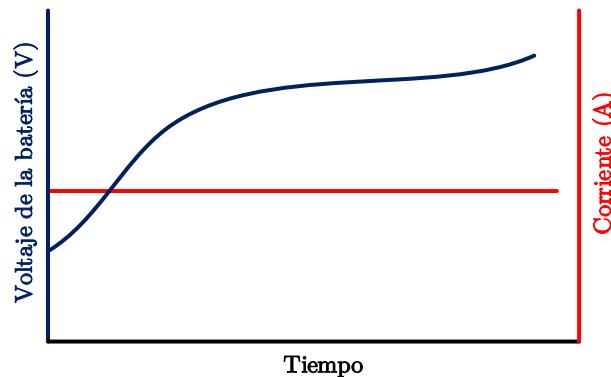


Fig. 2. 27. Curva de carga por corriente constante.

### 2.3.2 Carga por voltaje constante

Se aplica una tensión constante. Una corriente fluye a la batería, que durante la etapa inicial de carga es alta y disminuye durante el transcurso del tiempo. Se emplea en aplicaciones que requieren periodos prolongados para alcanzar la carga completa, por lo que puede provocar aumentos de temperatura, reduciendo la vida útil de la batería [28].

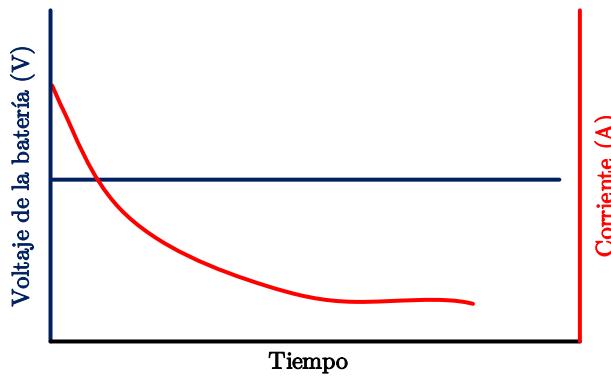


Fig. 2. 28. Curva de carga por voltaje constante.

### 2.3.3 Método de dos etapas

En la primera etapa de este método, se envía una corriente constante a la batería, hasta que el voltaje alcance un cierto valor. En la segunda etapa, el voltaje es constante y la corriente disminuye hasta que la batería alcanza la carga completa.

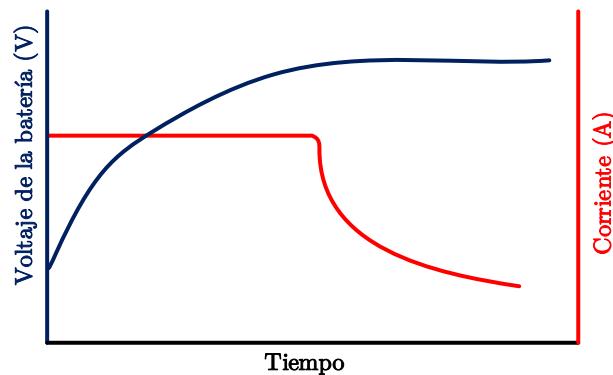


Fig. 2. 29. Curva de carga del método de dos etapas.



## Capítulo 3: Identificación de los componentes de una estación de carga en DC multiconector

Dentro del laboratorio microrred de la Universidad de Cuenca, se encuentra una estación de carga de vehículos eléctricos multiconector a la que se le ha realizado un proceso de ingeniería inversa, siendo el primer paso la identificación de sus componentes externos e internos.

En la Fig. 3. 1 se presenta una vista general de la parte exterior de la estación de carga multiconector de la marca PNE cuyas dimensiones son: 180 cm de alto, 70 cm largo y 73 cm de profundidad.



Fig. 3. 1. Estación de carga multiconector ubicado en el laboratorio microrred de la Universidad de Cuenca.

El proceso de identificación ha sido dividido en dos partes:

- Identificación de componentes externos
- Identificación de componentes internos

### 3.1 Identificación de componentes típicos externos de una estación de carga multiconector

Los componentes externos son aquellos que se pueden observar a simple vista y con los que un usuario puede interactuar de forma directa.

La Fig. 3. 2 muestra la parte frontal de la estación, donde se identifica un HMI (*Human-Machine Interface*), dos botones para el inicio y fin del proceso de carga, un botón de emergencia, un lector RFID y tres cajones para la retención de los conectores. En cada cajón se aprecia la imagen del tipo de conector que retiene. También se visibiliza una manija para abrir la estación y acceder a sus componentes internos.

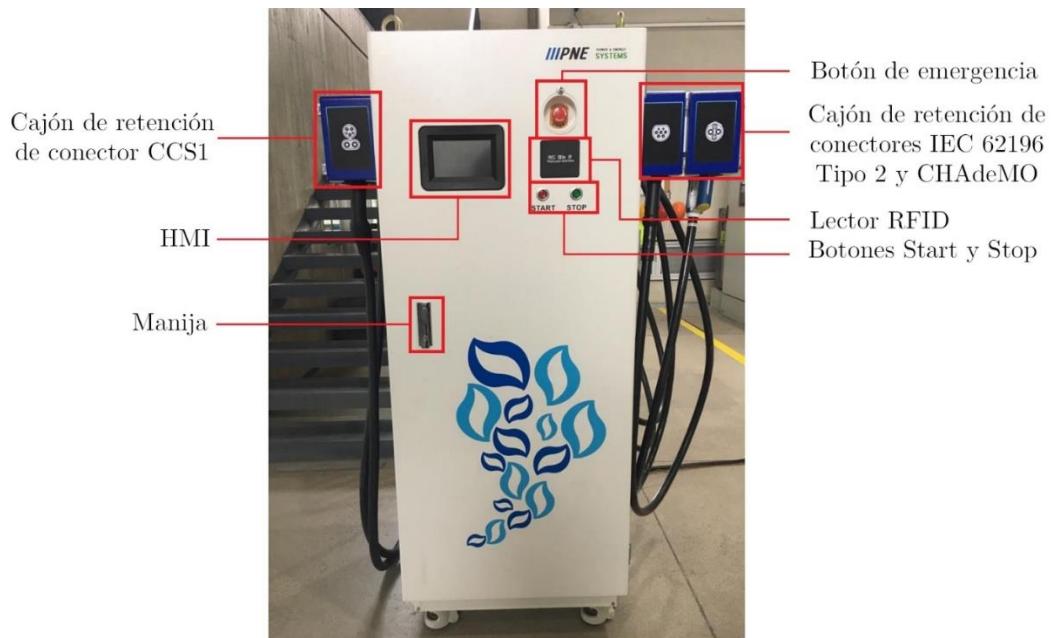


Fig. 3. 2. Sección frontal de la estación de carga.

La función principal del HMI es brindarle al usuario la capacidad de interactuar con la estación de carga. Consta de una pantalla táctil, donde el cliente puede seleccionar el tipo de conector que necesita para cargar su vehículo, como muestra la Fig. 3. 3.



Fig. 3. 3. HMI de la estación de carga.

El lector RFID sirve como un medio de identificación del cliente, para gestionar el cobro de la carga del vehículo. Cada usuario posee una tarjeta personal, que debe colocarse frente al lector, que detecta que la tarjeta pertenezca a una persona registrada para dar permiso de proseguir con la carga.

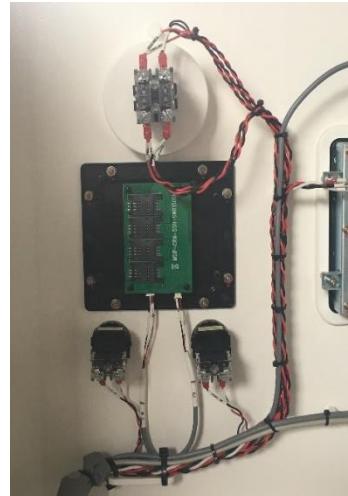


Fig. 3. 4. Circuito del HMI.



Fig. 3. 5. Lector RFID y botones.

La Fig. 3. 4 muestra el circuito y conexión del lector RFID, así como de los botones de Inicio (*Start*), Parada (*Stop*) y Emergencia (*Emergency*), mientras que en la Fig. 3. 5 se aprecia la tarjeta de control del HMI. En ella se retiene una tarjeta SD, la cual contiene la programación respectiva a la interfaz de usuario.

En la Fig. 3. 6 se expone la sección lateral derecha y la sección lateral izquierda de la estación. Estos sectores constan de una puerta con rejillas de ventilación, un gancho para colgar los cables de carga y los cajones donde se depositan los conectores cuando no se están utilizando.



Fig. 3. 6. Vista lateral derecha e izquierda de la estación de carga.

La Fig. 3. 7 presenta la sección posterior del cargador, que consta únicamente de una puerta con unas rejillas de ventilación junto con una manija para acceder al interior.



Fig. 3. 7. Vista posterior de la estación de carga.

La parte inferior incluye cuatro ruedas, una en cada esquina, para facilitar su movilidad, tal y como indica la Fig. 3. 8.



Fig. 3. 8. Vista inferior de la estación de carga.

### 3.2 Identificación de componentes internos

Los componentes internos de la estación son aquellos a los que se puede acceder al abrir las puertas del cargador. Un usuario no puede interactuar con estos componentes. Únicamente los técnicos autorizados pueden hacerlo en situaciones de averías o de mantenimiento.

Los componentes internos identificados han sido clasificados de acuerdo a la configuración típica de una estación de carga en DC visto en la sección 2.1.3.2.1. Cada elemento cumple con una tarea específica, las cuales se describirán a continuación.

#### 3.2.1 Recepción de potencia en AC y protección

La sección de recepción y protección consta de los componentes que se identifican en la Fig. 3. 9 y que se describen a continuación:

##### Bornes de conexión

Las bornes de conexión o puertos de entrada de la estación se conectan de forma permanente a la red de suministro AC. A estas clavijas llegan las líneas R, S, T y N correspondientes a un sistema trifásico.

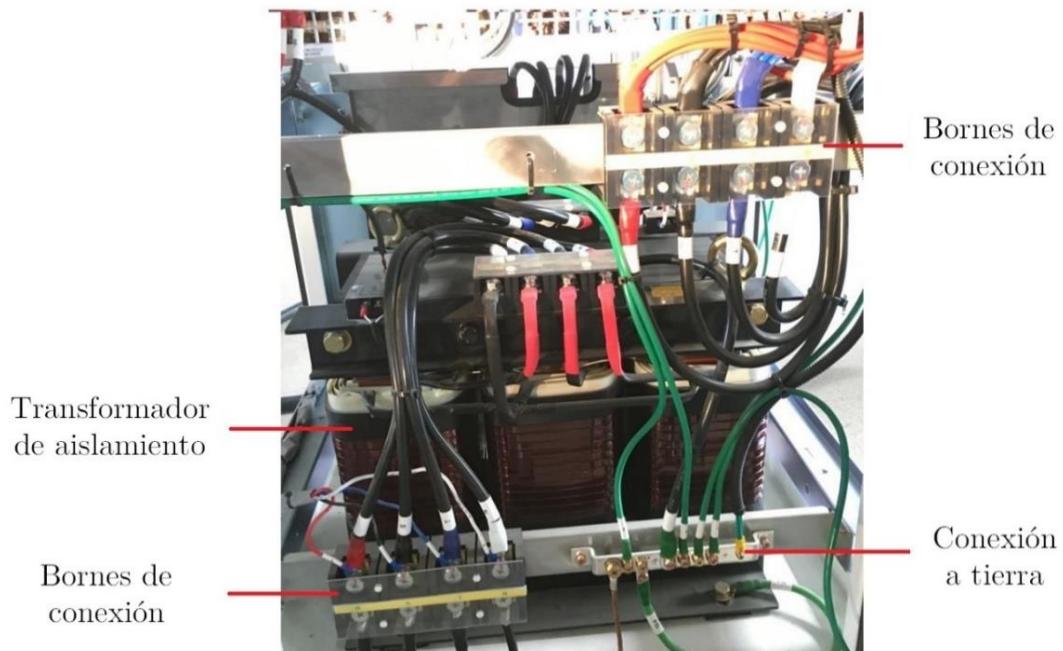


Fig. 3. 9. Recepción de potencia en AC.

#### Transformador de aislamiento 50 kva.

El transformador brinda una función de aislamiento galvánico gracias a su relación de vueltas de uno a uno, es decir, no aumenta ni disminuye el voltaje en su devanado secundario, lo que brinda protección a los usuarios en caso de fallas a tierra, ya que aísla la red de suministro del sistema, sin impedir la transferencia de energía.

Este transformador también está dotado con un sensor que mide su temperatura y luego la envía al módulo controlador por medio de un puerto específico como se indica en la Fig. 3. 10.

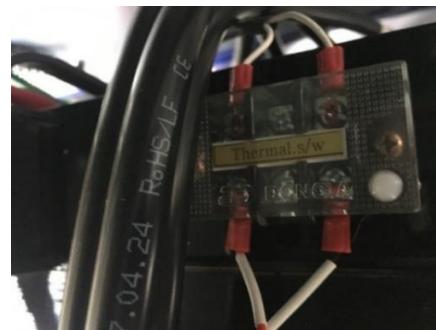


Fig. 3. 10. Terminales del sensor de temperatura del transformador.

Adicionalmente, el transformador cuenta con dos bornes que suministra una fase de 220 V y un neutro respectivamente en el lado del devanado secundario. La estación de carga emplea

este puerto, presentado en la Fig. 3. 11, para tomar la energía necesaria para alimentar el módulo controlador. Desde este punto, el circuito atraviesa un interruptor ELCB (interruptor de fujas a tierra) para llegar al módulo controlador.



Fig. 3. 11. Terminales de suministro de una fase del transformador.

Los elementos que se describen a continuación entran en la categoría de protección. La Fig. 3. 12 muestra los elementos de protección presentes en la estación de carga.

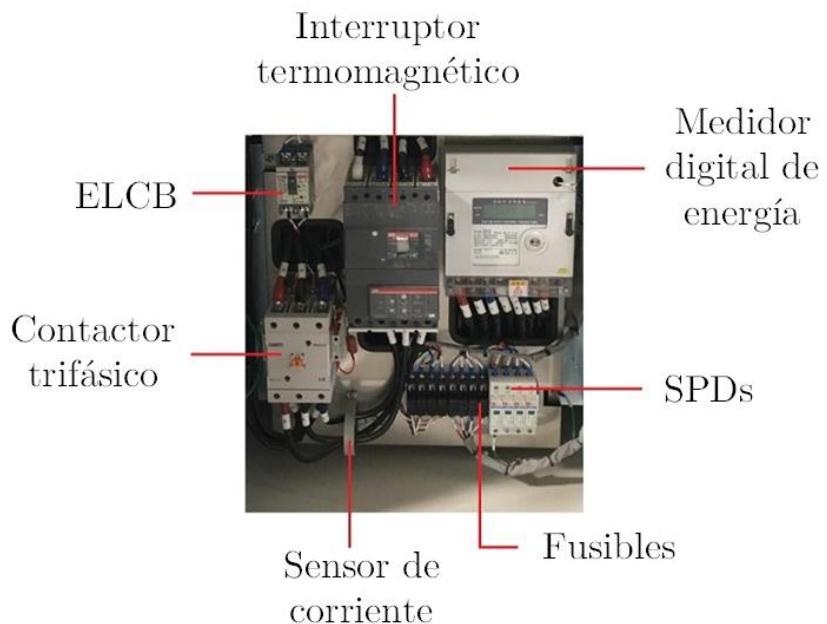


Fig. 3. 12. Protección de la estación de carga.

### Medidor digital de energía

El medidor de energía permite registrar y monitorizar el consumo del cargador. Este artefacto, observado en la Fig. 3. 13, posibilita comunicar sus datos registrados mediante el protocolo

RS-485. En la estación de carga, el puerto de comunicaciones RS-485 del medidor se conecta a un convertidor de RS-485 a USB. Este conector USB a su vez permanece conectado a la placa electrónica de la interfaz de usuario de la Fig. 3. 3, que recibe los datos del medidor.



Fig. 3. 13. Convertidor de RS-485 a USB.

### **Interruptor termomagnético**

El interruptor termomagnético protege a la estación cortando la energía cuando la temperatura de los conductores es muy elevada, producto de una sobrecarga o a través de un disparador magnético en caso de un cortocircuito [29]. Este interruptor debe permanecer cerrado para permitir el paso de la corriente de carga.

### **Interruptor de fugas a tierra (ELCB)**

El interruptor de fugas a tierra colocado en la estación se emplea para permitir o bloquear el paso de la corriente hacia el módulo controlador. Es decir, este interruptor debe estar cerrado para que la estación de carga esté operativa. La corriente de alimentación es tomada del puerto de 220 V monofásico adicional del transformador, en su devanado secundario

### **Protectores de sobretensión (SPD)**

Los protectores contra sobretensiones son los encargados de proteger los equipos de la estación al dirigir la corriente a tierra cuando el voltaje nominal de estos dispositivos es superado, por ejemplo, durante una tormenta eléctrica[30].

### **Fusibles desconectores de protectores de sobretensión**

Los fusibles desconectores de protectores de sobretensión se conectan en serie a los SPDs y tienen la tarea de separar a los protectores averiados del sistema. Los dispositivos de protección de sobretensión llegan al final de su vida útil cuando han alcanzado su número máximo de desviación de sobretensiones o cuando les ha golpeado una sobretensión cuya magnitud



sobrepasa sus valores nominales. Como consecuencia, un SPD averiado provoca un cortocircuito. Por lo que, los SPDs deben ser desconectados para impedir que una sobrecorriente dañe a los demás componentes.

### **Fusibles de protección del módulo de control**

Los fusibles previenen de daños al módulo controlador, en caso de que la corriente sobrepase los niveles que puede tolerar.

### **Sensor de corriente no invasivo de la sección de potencia en AC**

El sensor de corriente mide las magnitudes de corriente disponible en el sistema de alimentación de entrada, de tal manera que la estación pueda comunicar al vehículo su capacidad disponible de corriente de carga en un determinado momento.

### **Contactor trifásico**

El contactor trifásico permite el paso de la corriente hacia los módulos convertidores de potencia. Este contactor se cierra únicamente si es que el usuario ha seleccionado alguno de los conectores de carga en DC de la estación para iniciar la carga de su vehículo.

### **3.2.2 Convertidor de potencia de la estación**

Esta sección está conformada principalmente por los módulos convertidores de potencia. Este bloque dentro de la estación es lo que diferencia a los sistemas de carga en AC de los sistemas de carga en DC. Este elemento es el responsable de la transformación de corriente alterna en corriente continua. La potencia de la estación depende de la potencia de los módulos y de la cantidad que se hayan colocado, ya que la potencia total corresponde a la suma de las potencias individuales de cada convertidor. A la entrada de los módulos convertidores llegan las líneas R, S, T y N y a su salida se obtiene la tensión y corriente en DC solicitada por el vehículo. La estación de carga cuenta con un total de cinco módulos con sus salidas en DC conectadas en paralelo, capaces de suministrar una potencia de 10 kW cada una, por lo que la potencia total equivale a 50 kW.

En la Fig. 3. 14 se muestra la parte frontal de los módulos convertidores, mientras que en la Fig. 3. 15 se muestra la parte posterior, donde se visualiza las entradas de corriente AC y las salidas de corriente DC, además de los canales de comunicación que el módulo controlador utiliza para indicarle a cada módulo convertidor la tensión y corriente que deben suministrar al vehículo.



Fig. 3. 14. Vista frontal y posterior de los módulos convertidores de potencia.

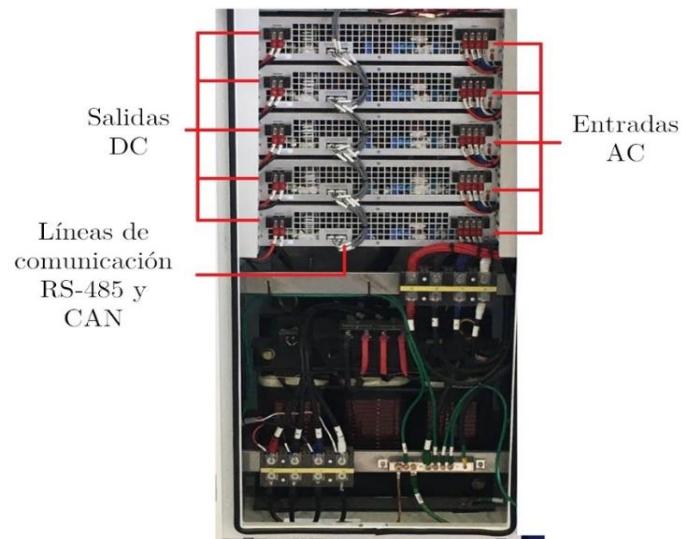


Fig. 3. 15. Vista posterior de los convertidores de potencia.

### 3.2.3 Circuito de suministro de potencia

La estación de carga posee dos tipos de circuito de suministro de potencia, pues proporciona carga tanto en AC como en DC.

El circuito de suministro de potencia en DC se compone por los siguientes elementos, mostrados en la Fig. 3. 16.

### Sensor de corriente de la sección de potencia en DC

La corriente resultante de la conversión AC/DC se dirige hacia el conector de la estación atravesando un sensor que obtiene los valores de la corriente de salida que serán enviados al vehículo durante el proceso de carga.

### Fusible de la sección de potencia en DC

A continuación del sensor de corriente, se encuentra un fusible de acción rápida para evitar cortocircuitos en caso de que el cable de carga se haya conectado en polaridad inversa.

### Indicador de estado de fusible

El indicador de estado de fusible se coloca en la parte superior del fusible e indica si este se encuentra operativo o si se encuentra abierto. Posee dos puertos que se conectan al módulo controlador.

### Contactores de DC

A la salida del fusible se ubican los contactores responsables de bloquear el paso de la corriente en las etapas iniciales y finales del proceso de carga y de permitir la circulación de la corriente hacia el vehículo durante la carga.



Fig. 3. 16. Circuito de suministro de potencia.

### Diodos de potencia (Transferencia unidireccional de energía)

El elemento final que atraviesa la corriente antes de llegar al conector es un diodo de prevención de corriente inversa para evitar que la corriente fluya desde la batería del vehículo hacia la

estación. Este diodo se conecta en la línea positiva DC+ en cada conector de corriente continua de la estación, por lo que se dispone de dos de ellos.

Estos diodos tienden a sobrecalentarse, por lo que necesitan de un sistema de disipación y ventilación adecuado. De este modo, en la base de los diodos se ubica un disipador de calor. Si el disipador de calor alcanza una temperatura determinada, medida por el sensor mostrado en la Fig. 3. 17, entonces se activa un ventilador de la Fig. 3. 18.



Fig. 3. 17. Medidor de temperatura del disipador de calor.



Fig. 3. 18. Ventilación del disipador de calor.

### Círculo de precarga

Paralelo al bus de DC se ubica un circuito conformado por dos resistores de  $1\text{ k}\Omega$  y de 300 W de potencia, ambos en configuración en paralelo, cuyo extremo se conecta a un relé de cuatro polos que a su vez está conectado en paralelo a una configuración en serie de capacitores, de acuerdo al circuito de la Fig. 3. 19:

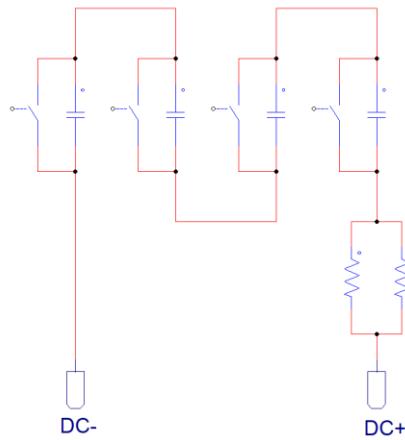


Fig. 3. 19. Esquema de circuito de precarga.

Los componentes del circuito de precarga instalados en la estación se muestran en la Fig. 3. 20.

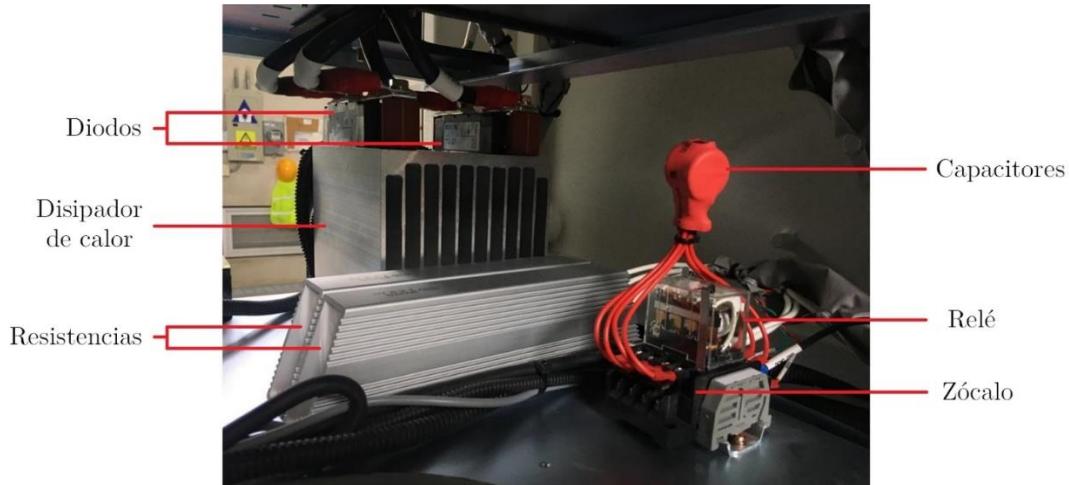


Fig. 3. 20. Circuito de precarga de la estación.

La función de este circuito es la de establecer una fase de precarga, para limitar la corriente de irrupción generada al encender los convertidores de potencia y evitar sobrecargas que pudiesen dañar la batería del vehículo. Al finalizar la carga, el relé cortocircuita los capacitores, dejando únicamente las resistencias, que se encargan de descargar cualquier corriente residual.

### Mediciones

En la Fig. 3. 21 se observa la forma de onda de la tensión en el bus DC al iniciar el proceso de carga, medido con un osciloscopio. Al inicio se observa un amortiguamiento de la onda de

voltaje provocado por el circuito de precarga. A continuación, la tensión se estabiliza en un valor que depende del estado de carga de la batería del vehículo. Dicho valor incrementará a medida que transcurra el proceso de carga.

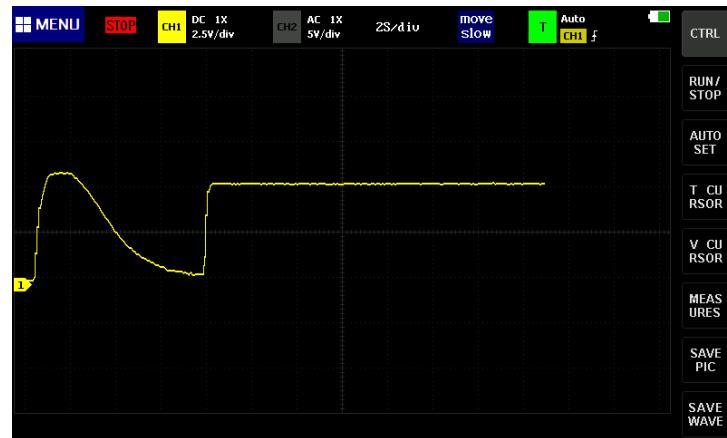


Fig. 3. 21. Onda de tensión en el bus DC.

La Fig. 3. 22 muestra la onda de tensión medida en la resistencia de precarga. Al encenderse los convertidores de potencia e iniciar la transferencia de energía, se produce un pico de tensión que debe ser limitado por el capacitor de precarga y posteriormente descargado por la resistencia de precarga.

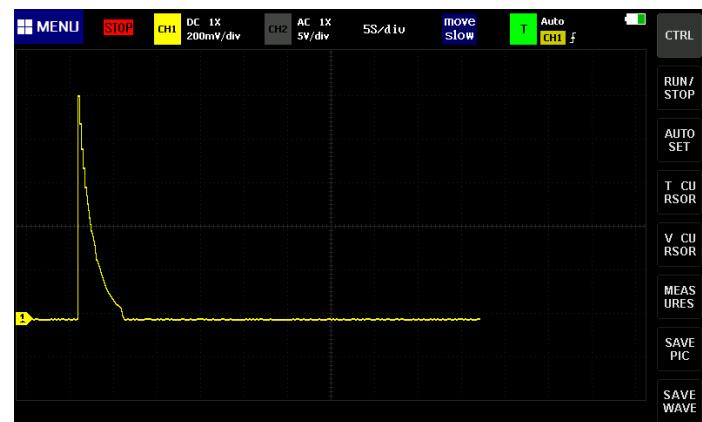


Fig. 3. 22. Onda de tensión en la resistencia de precarga.

El circuito de suministro de potencia en AC se compone por un contactor trifásico de la Fig. 3. 23, encargado de permitir o bloquear el paso de la corriente hacia el conector IEC 62196 tipo 2 para la carga en alterna.



Fig. 3. 23. Contactor de suministro de potencia en AC.

### 3.2.4 Módulo controlador e interfaz de comunicación de carga en DC

Uno de los elementos más importantes de la estación de carga en DC es el circuito controlador, el cual gestiona cada acción que se lleva a cabo durante cada etapa del proceso de carga. Debido al manejo de potencias altas, se requiere tener un mayor control y cuidado durante este proceso. Por ello, es necesario que tanto la estación como el vehículo compartan información entre sí. Estos datos viajan a través de la interfaz de comunicación entre el cargador y el vehículo.

La estación maneja múltiples estándares, por lo que engloba el circuito de CP, el modem PLC y el circuito de comunicación CAN. Los estándares SAE J1772, IEC 62196 tipo 2 y CCS utilizan el circuito de CP. El estándar CCS, adicionalmente, requiere de un modem PLC compatible para comunicarse con el vehículo. El estándar CHAdeMO emplea los circuitos de comunicación CAN para la transmisión y recepción de señales digitales.

En la Fig. 3. 24 se visualizan los puertos conectados al módulo controlador. En esta sección se encuentran entradas y salidas de datos, así como señales de control y alimentación.

Entre las salidas de control se encuentran los conductores que transmiten las señales responsables de permitir la conducción y el bloqueo de corriente a través de los contactores, tanto los trifásicos como los de DC, además del relé del circuito de precarga. También se incluyen los cables conectados a solenoides, que controlan la apertura de los seguros de las puertas que retienen a los conectores.



Los cables de comunicación digital y control piloto de los conectores de carga también se ubican en esta sección; así como los conductores a través de los cuales, el módulo controlador se comunica con los módulos de potencia.

Entre las entradas de datos se encuentran aquellos por donde ingresan las señales enviadas por el dispositivo indicador de estado de fusible, por los botones de inicio, parada y emergencia o por los sensores de la estación, como el sensor de temperatura del disipador de calor de los diodos y el sensor de temperatura del transformador; al igual que los sensores de corriente, tanto el de la sección de potencia AC como el de DC. Varios conductores provenientes de las salidas de DC+ y DC- también acceden al módulo controlador para la medición de tensión entre las mencionadas líneas.



Fig. 3. 24. Puertos de entrada y salida del módulo controlador.

Desde los puertos de comunicación del módulo controlador, las líneas dedicadas a comunicación se enlazan en los bornes mostrados en la Fig. 3. 25. A partir de aquí, se dirigen hacia cada uno de los conectores, dependiendo del estándar.



Fig. 3. 25. Bornes de líneas de comunicación.

## Mediciones

La Fig. 3. 26 muestra la forma de las señales digitales que el vehículo envía hacia la estación a través de las líneas de comunicación CAN. De esta figura se observa que la tensión de diferencia entre los estados alto y bajo de la señal digital es de 2,5 V, así como la duración de esta trama es de 228  $\mu$ s. Estos mensajes son enviados periódicamente por el vehículo hasta que reciba un mensaje de respuesta por parte de una estación de carga. Este mensaje contiene información con respecto a la versión del protocolo de control que maneja el vehículo [31].

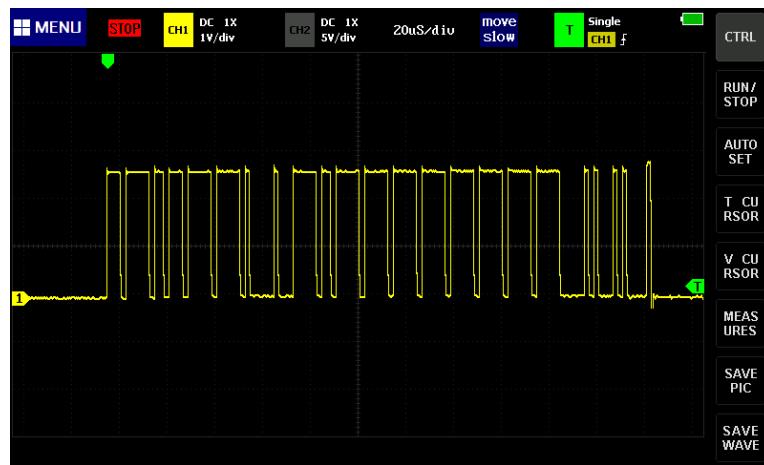


Fig. 3. 26. Señal digital CAN enviada por un vehículo eléctrico.

### 3.2.5 Cable de carga y conector del vehículo

La estación cuenta con tres cables de carga y tres conectores diferentes entre los que constan: IEC 62196 tipo 2, CCS1 y CHAdMO.

El cable de carga está conformado por un conjunto de conductores que sirven para el suministro de energía a la batería del vehículo y otro conjunto para la comunicación entre el vehículo y la estación. La Fig. 3. 27 muestra los cables de carga que la estación dispone.



Fig. 3. 27. Cables de carga y conectores.

Los conductores de transmisión de energía deben ser capaces de tolerar las grandes cantidades de corriente que la estación puede suministrar.

En cada estándar se dispone de dos líneas para la transmisión de energía de la estación al vehículo; mientras que la cantidad de conductores para la comunicación dependen del estándar empleado, que, a su vez, determina la configuración de pines y forma del conector. La Fig. 3. 28 muestra la configuración de pines de los conectores IEC 62196 tipo 2 a la izquierda, CHAdeMO al centro y CCS1 a la derecha.



Fig. 3. 28. Conectores de la estación de carga.

### 3.2.6 Sistema de ventilación

Adicionalmente a los bloques funcionales de la estación de carga mencionados anteriormente, el sistema cuenta con una estructura dedicada a proveer de aire a los equipos más susceptibles de sobrecalentamiento.

Este sistema de ventilación se ubica en la puerta de la sección lateral derecha de la estación como se expone en la Fig. 3. 29, de tal forma que el aire se abastezca al transformador de aislamiento y al interior de los módulos convertidores de potencia, a través de sus propias rejillas de ventilación y consiste de un arreglo de diez ventiladores dispuestos en dos columnas con cinco ventiladores en cada una.



Fig. 3. 29. Sistema de ventilación de la estación de carga.

Los ventiladores se energizan mediante dos fuentes de alimentación las cuales muestra la Fig. 3. 30. Cada una de ellas funciona con tres terminales de entrada correspondientes a la fase de 220 V, al neutro y a una conexión a tierra. A la salida se obtienen cuatro bornes: dos que proporcionan 24 V y dos para la referencia.



Fig. 3. 30. Fuentes de voltaje para ventilación.

Las fuentes de tensión se energizan siempre y cuando la ventilación sea necesaria. Cuando se requiere ventilación un relé que conecta las fuentes de tensión con la línea de 220 V y neutro se activa, permitiendo el paso de la corriente para tal propósito. En la Fig. 3. 31 se presenta el relé responsable del encendido y apagado de las fuentes de tensión de ventilación.



Fig. 3. 31. Relé de encendido de fuentes de tensión.

### 3.3 Propuesta de diseño de una estación de carga de corriente continua de vehículos eléctricos multiconector

Para el diseño de la estación de carga multiconector, se debe tomar en consideración dos parámetros específicos: la potencia nominal de la estación y los estándares que esta incorporará.



### 3.3.1 Potencia

Se trata de la potencia máxima que la estación de carga es capaz de suministrar a la batería del vehículo. Se ha designado una potencia de 120 kW para la estación. En el mercado, los módulos convertidores alcanzan 30 kW, por lo que se requiere de un total de cuatro.

### 3.3.2 Estándares

La estación ha sido designada para suministrar únicamente corriente continua. Los estándares seleccionados han sido CCS y CHAdeMO debido a que los valores máximos de potencia que cada estándar es capaz de suministrar son los más altos en la categoría de carga rápida en corriente continua.

El estándar CHAdeMO cuenta con varias versiones, por lo que se ha seleccionada la 2.0 por ser la más actual y por su nivel de potencia, el cual ronda los 400 kW, con una tensión máxima de 1000 V y corriente máxima de 400 A.

Por otro lado, el estándar CCS tiene dos versiones, la CCS1 y CCS2. Se ha seleccionado la versión CCS2 ya que, en Sudamérica, países como Chile, Argentina y Brasil han adaptado esta misma versión [32].

### 3.3.3 Esquemas de diseño de una estación de carga de corriente continua multiconector

El diseño de la estación de carga propuesta estará basado en los esquemas expuestos a continuación.

La Fig. 3. 32 muestra el diagrama de bloques del diseño general de la estación, en ella constan las secciones de recepción de potencia, conversión de potencia, el circuito de suministro de potencia, el cable de carga y conector. A través de dichos bloques se transfiere la energía necesaria para suministrar la carga a la batería del vehículo.

Cada uno de los bloques anteriormente mencionados se conectan al módulo controlador, puesto que cada uno de ellos cuenta con algún o varios componentes, cuyas acciones deben ser gestionadas por un procesador, por ejemplo, contactores, módulos convertidores de potencia, sensores, etc.

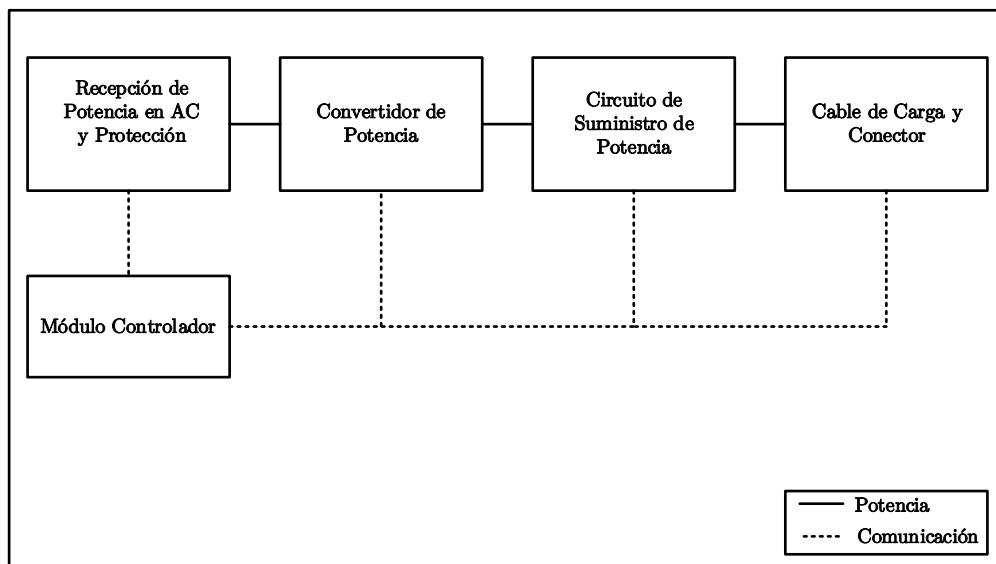


Fig. 3. 32. Diagrama de bloques general de la estación de carga rápida.

La Fig. 3. 33 muestra de manera más detallada el bloque de recepción de potencia en AC y protección. En ella se distingue la configuración de la conexión de los puertos R, S, T y N de entrada para la red de suministro, el transformador de aislamiento, el medidor digital de energía, el interruptor termomagnético, el sensor de corriente y el contactor trifásico, todos ellos conectados en serie. Los fusibles desconectores y los dispositivos de protección contra sobretensiones, conformados por los fusibles desconectores, se ubican en paralelo al devanado primario del transformador.

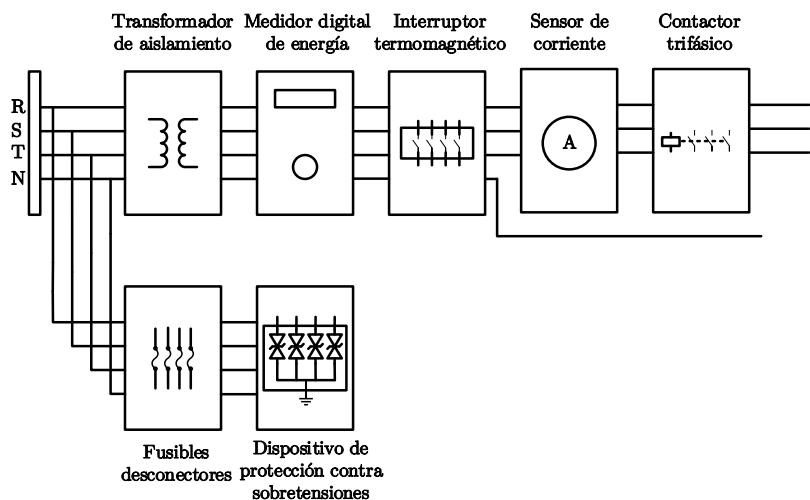


Fig. 3. 33. Diagrama de bloques del sistema de recepción de potencia y protección.

A los módulos de convertidores de potencia ingresan las líneas R, S, T y N provenientes del contactor trifásico del bloque de recepción de potencia y protección. Las salidas de los convertidores se conectan entre sí, dando como resultado una conexión en paralelo. Se requiere de cuatro módulos de 30 kW para obtener la potencia de 120 kW como muestra la Fig. 3. 34.

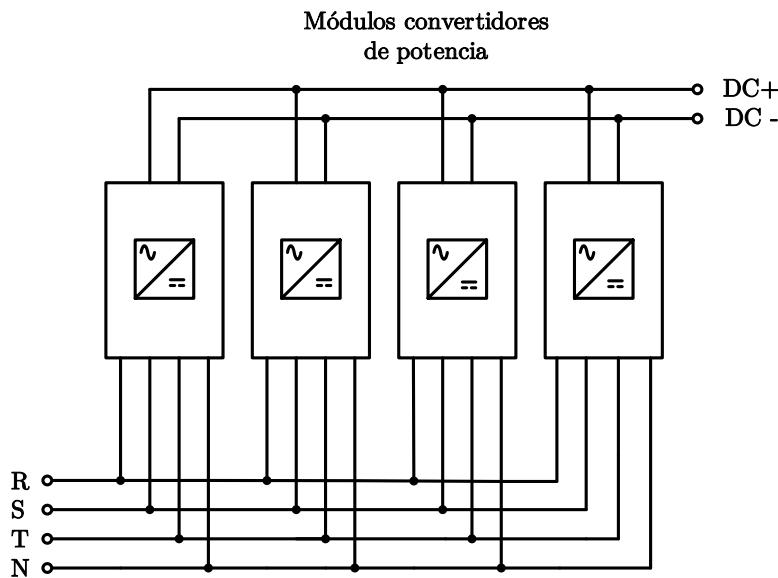


Fig. 3. 34. Diagrama de bloques de la conexión de los módulos convertidores.

La corriente continua obtenida de los módulos convertidores de potencia se transfiere al vehículo a través del circuito de suministro de potencia de la Fig. 3. 35. Este bloque está conformado por un sensor de corriente, un fusible de acción rápida desde donde, a partir de este punto la conexión se bifurca hacia los contactores de un solo polo. Finalmente, las líneas de tensión DC+ y DC- llegan al conector. A diferencia de la estación analizada en la sección 3.1, los diodos de prevención de inversión de corriente no se incluyen, ya que el estándar CHAdeMO 2.0 permite la bidireccionalidad de la energía eléctrica.

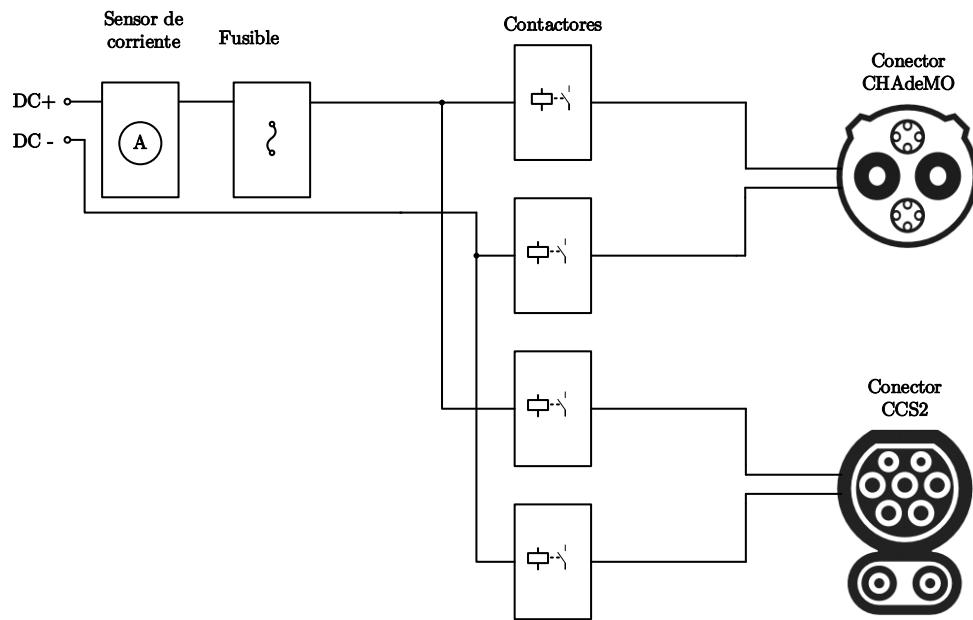


Fig. 3. 35. Diagrama de bloques del circuito de suministro de potencia.

La Fig. 3. 36 muestra el esquema de comunicación en la que interviene el módulo controlador de la estación de carga. En el contexto de la comunicación con el vehículo, en este módulo se ubican los circuitos transceptores para la comunicación CAN y los circuitos de piloto de control del estándar CHAdeMO, de los cuales surgen los puertos para el control de carga CP, CP2, CP3, CS y los puertos de comunicación COM1 y COM2. En esta sección también se encuentran los circuitos de CP y PD del estándar CCS.

Dentro de la estación, el controlador se comunica con la interfaz de usuario (HMI) de tal forma que él sea quien decida el tipo de conector que va a emplear durante la carga. El lector RFID se emplea para identificar a los usuarios.

El CSMS se comunica con el módulo controlador mediante el protocolo OCPP, por medio del cual se intercambian mensajes para gestionar la carga, ya sea autenticando a los usuarios o gestionando el sistema de cobro.

La conexión para la comunicación entre el módulo controlador, la interfaz de usuario y el módulo lector RFID depende del fabricante, aunque generalmente emplean RS-232.

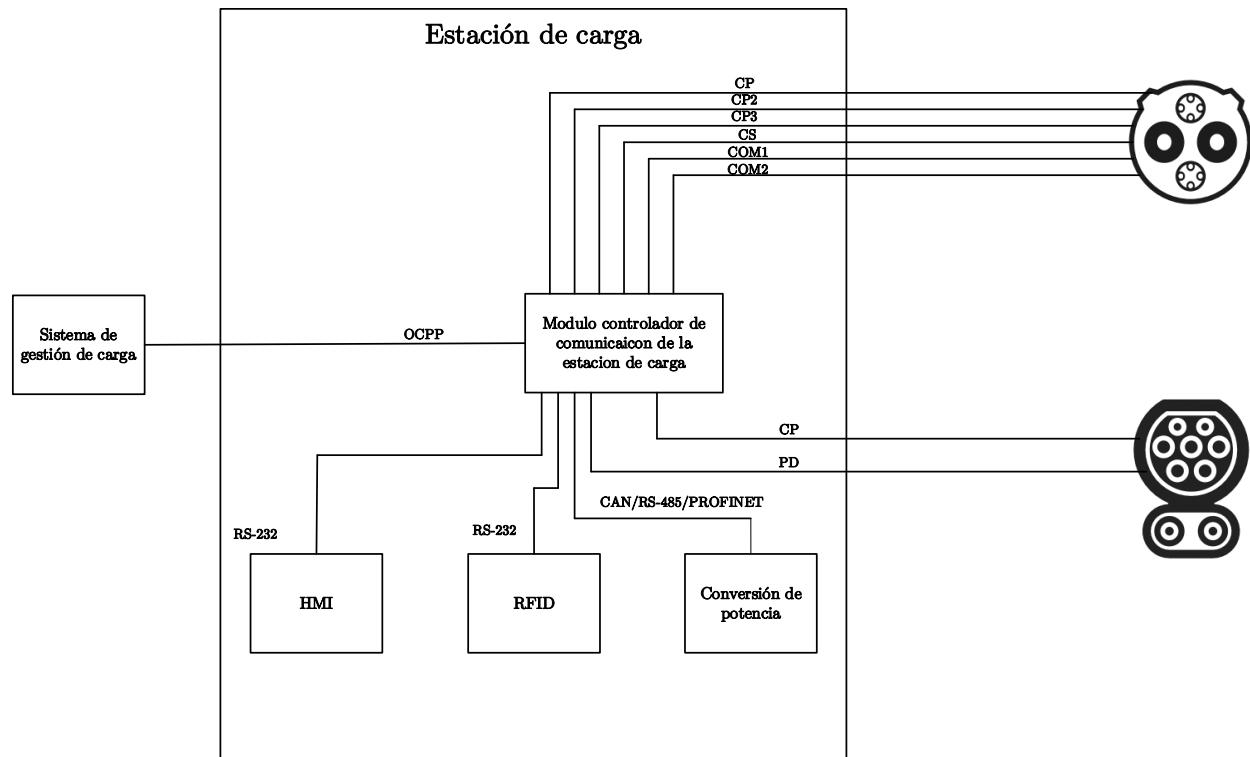


Fig. 3. 36. Esquema de comunicación de la estación de carga.

### 3.4 Caracterización y dimensionamiento de los componentes principales de la estación de carga

Las estaciones de carga rápida, dado que incluyen la etapa de conversión AC/DC *Off-Board*, permiten eliminar las limitaciones de potencia que los cargadores a bordo imponían. Esto, junto con la potencia que los estándares de carga en DC pueden suministrar, han contribuido a la disminución en el tiempo de carga de las baterías de los vehículos eléctricos.

Sin embargo, debido a las altas potencias que los cargadores en DC manejan, se requieren elementos capaces de soportar tales niveles de voltaje y corriente sin averiarse. Además, el uso de equipos costosos y delicados hace que sea imprescindible el empleo de sistemas de protección debidamente dimensionados, de tal forma que exista una debida reacción ante los distintos eventos que podrían causar daños severos tanto a los dispositivos de la estación como a los usuarios.

En este capítulo se dimensionan los diferentes dispositivos de protección de la estación de carga y los elementos del circuito de suministro de potencia.



### 3.4.1 Dimensionamiento de los dispositivos de protección

#### 3.4.1.1 Cálculo de la corriente entrada del sistema

La corriente de entrada, expresada en función de la potencia máxima de un sistema trifásico está dada por la ecuación (1).

$$I_L = \frac{P_T}{\sqrt{3} * V_F} \quad (1)$$

Donde:

$I_L$  es la corriente de línea del sistema trifásico de alimentación.

$V_L$  es el voltaje de línea a línea del sistema trifásico de alimentación.

$P_T$  es la potencia total del sistema.

La corriente de entrada del sistema, capaz de suministrar hasta 120 kW de potencia y con un voltaje de línea de 381 V tiene un valor igual a:

$$I_L = \frac{P_T}{\sqrt{3} * V_L} = \frac{120 \times 10^3}{\sqrt{3} * 381} = 181.84 \text{ A}$$

#### 3.4.1.2 Cálculo de la capacidad del interruptor termomagnético

El tamaño apropiado de un interruptor termomagnético o breaker esta dado por la ecuación (2). Se recomienda elegir un valor con un 20% o 25% adicional a la corriente nominal[33].

$$I_B = I_L * 1.25 \quad (2)$$

Donde:

$I_L$  es la corriente de línea del sistema trifásico de alimentación.

$I_B$  es valor de corriente del breaker.



El tamaño del breaker de protección para la corriente del sistema debe ser de:

$$I_B = 111.84 * 1.25 = 227.3 \text{ A}$$

El valor estándar de corriente para breaker más cercano según la Tabla 3. 1 es de 250 A.

15	20	25	30	35
40	45	50	60	70
80	90	100	110	125
150	175	200	225	250
300	350	400	450	500
600	700	800	1000	1200
1600	2000	2500	3000	4000
5000	6000	-	-	-

Tabla 3. 1. Corrientes nominales estándar para fusibles y breakers [29].

### 3.4.1.3 Dispositivo de protección de sobretensiones

El dispositivo de protección de sobretensiones o SPD se encarga de proteger a los equipos cuando se da un pico de tensión por encima del voltaje nominal del sistema.

Las características del SPD son:

- Tipo
- Voltaje máximo de operación continua
- Nivel de protección de voltaje
- Corriente de descarga nominal

#### 3.4.1.3.1 Elección del tipo de dispositivo de protección de sobretensiones

El tipo de SPD depende de la estructura a la que se debe proteger, por lo que la selección para la estación de carga corresponde al tipo 2, el cual está destinado a actuar contra sobretensiones ocasionados de manera indirecta y que están caracterizadas por una onda con un tiempo de subida y una duración de sobretensión de 8/20  $\mu\text{s}$  [34].

#### 3.4.1.3.2 Cálculo del voltaje máximo de operación continua ( $U_e$ )

Este es valor del voltaje máximo de operación continua por encima del cual se activa el SPD y se elige de acuerdo a la tensión nominal del sistema el cual es de 220 V.



### 3.4.1.3.3 Nivel de protección de voltaje ( $U_p$ )

Este es el voltaje máximo en los terminales cuando el SPD está activo y la corriente que fluye es igual a  $I_n$  [35]. El estándar IEC 60364-4-443 clasifica a los equipos en cuatro categorías en función de la tensión de impulso que son capaces de soportar, según muestra la Tabla 3. 2.

Voltaje nominal de la instalación	Resistencia a la tensión de impulso requerida para kV			
Sistema trifásico	Equipo en el origen de la instalación (soporta sobretensión de Categoría IV)	Equipo de distribución y circuito final (soporta sobretensión de Categoría III)	Aparatos (soporta sobretensiones de Categoría II)	Equipo especialmente protegido (soporta sobretensión de Categoría I)
120-230	4	2,5	1,5	0,8
230/400 277/480	6	4	2,5	1,5
400/690	8	6	4	2,5
1000	12	8	6	4

Tabla 3. 2. Clasificación de los equipos en base a la tensión de impulso que soportan [32].

Dado que el sistema es de categoría II y el voltaje nominal de la instalación es aproximadamente 220 V, por lo que el nivel de protección de voltaje debe ser menor a 1,5 kV.

### 3.4.1.3.4 Corriente de descarga nominal ( $I_n$ )

Esta es el valor del pico de corriente una onda de 8/20  $\mu$ s que el SPD puede descargar como mínimo 19 veces. Puesto que la estación de carga esta propensa a recibir sobretensiones indirectas, se pueden esperar corrientes de 10 kA de ondas de 8/20  $\mu$ s según [36]. Sin embargo, para brindar un margen de seguridad y un tiempo de vida útil mayor, se considera una corriente de descarga igual a 50 kA.

### 3.4.1.4 Fusibles desconectores de protectores de sobretensión

Los dispositivos de protección contra sobretensiones pueden fallar como en casos de desperfectos en el suministro externo o local o a causa de otros eventos que provoquen sobrecorrientes que sobrepasen los valores que el SPD puede soportar. Por esta razón se requiere de un elemento capaz de resistir a la sobretensión, pero capaz de dispararse al momento de presentarse una falla real para limitar el daño al SPD.



El valor de la corriente nominal del fusible debe ser cercano al de la corriente de alimentación, según se indica en [37].

En la sección 4.1.2 se obtuvo una corriente de:

$$I_B = 227.3 \text{ A}$$

De acuerdo a la Tabla 3. 3, la corriente más cercana es de 250 A, que resiste hasta 120 kA de corriente producida durante una sobretensión transitoria.

Corriente nominal de trabajo del fusible (A)	Corriente nominal de trabajo del fusible durante sobretensión (kA)
32	7.5
40	15
50	17.5
63	20
80	25
100	40
125	60
160	65
200	100
250	120
315	130
400	200
500	240
630	260

Tabla 3. 3. Corrientes nominales de fusibles en sobretensión [37].



### 3.4.1.5 Fusible de protección del circuito de suministro de potencia

La corriente nominal del fusible de protección del suministro de potencia debe dimensionarse de acuerdo a la corriente máxima que los estándares CHAdeMO y CCS son capaces de proporcionar, la cual es de 400 A. por lo tanto:

$$I_B = 400 * 1.25 = 500 A$$

De la misma forma, la tensión del fusible debe ser mayor o igual a la que proporcionan los estándares, de modo que una tensión mayor o igual a 1000 V será la más indicada.

### 3.4.2 Dimensionamiento de los dispositivos de conmutación

#### 3.4.2.1 Contactores del circuito de suministro de potencia en DC

Los contactores del suministro de potencia son los encargados de permitir el paso de la corriente hacia la batería del vehículo, por lo que los valores de tensión y de corriente nominales deben ser seleccionados de acuerdo a lo establecido en los estándares CHAdeMO y CCS.

Puesto que la potencia máxima que dichos estándares permiten es de 400 kW (1 kV y 400 A), los contactores deben ser capaces de tolerar como mínimo corrientes de 400 A y tensiones de 1000 V.

### 3.4.3 Dimensionamiento de los dispositivos de medición

#### 3.4.3.1 Medidor de energía en AC

El medidor de energía debe tolerar las tensiones de la red de suministro, así como la corriente calculada con la ecuación 1. Por ende, las tensiones mínimas de fase y línea que el medidor debe soportar son de 220 V y 380 V respectivamente. En cuanto a la corriente, el medidor debe resistir corrientes de mínimo 181.84 A, según lo calculado en la ecuación 1.



### 3.4.3.2 Sensores de corriente

#### 3.4.3.2.1 Sensor de corriente del circuito de suministro de potencia en DC

El sensor de corriente empleado en esta zona, debe ser capaz de medir como mínimo la corriente de línea obtenida con la ecuación 1:

$$I_L = 181.84 \text{ A}$$

#### 3.4.3.2.2 Sensor de corriente del circuito de recepción de potencia en AC

El sensor de corriente del circuito de suministro de potencia debe medir las magnitudes de corriente que cada estándar es capaz de suministrar. Los dos tipos de conectores brindan hasta 400 A de corriente, por lo que este debe ser el valor mínimo que el sensor debe leer.

### 3.4.4 Dimensionamiento del calibre de conductores

Los conductores son el medio por el cual se transporta la corriente eléctrica, ya sea para la transferencia de energía desde la estación al vehículo o para el envío y recepción de señales de comunicación.

El calibre de los cables será dimensionado de acuerdo a los valores de la Tabla 3. 4.

La corriente de carga del vehículo, debe atravesar la sección de recepción de potencia en AC y protección de la estación hasta llegar a los módulos convertidores de potencia. En este sentido, la corriente que circula en esta sección del cargador tiene un valor máximo de 181,84 A.

Según la Tabla 3. 4 el valor superior más próximo a esta corriente es el de 195 A para un conductor con aislamiento TW (Termoplástico, resistente al agua y humedad), por lo que el calibre del cable de esta sección debe ser 4/0.

El conductor de la sección de recepción y protección debe diversificarse en cuatro trayectos previo al ingreso a la sección de conversión de potencia.

La corriente en cada uno de estos cables tiene valor de 45,46 A, por lo que el calibre de cable al ingreso de los módulos convertidores de potencia debe ser de 6.



Nivel de temperatura	60° C	75° C	90° C
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2
Calibre del cable	Ampersaje soportado		
14	15 A	15 A	15 A
12	20 A	20 A	20 A
10	30 A	30 A	30 A
8	40 A	50 A	55 A
6	55 A	65 A	75 A
4	70 A	85 A	95 A
3	85 A	100 A	115 A
2	95 A	115 A	130 A
1	110 A	130 A	145 A
1/0	125 A	150 A	170 A
2/0	145 A	175 A	195 A
3/0	165 A	200 A	225 A
4/0	195 A	230 A	260 A
250	215 A	255 A	290 A
300	240 A	285 A	320 A
400	280 A	335 A	380 A
500	320 A	380 A	430 A
600	350 A	420 A	475 A
700	385 A	460 A	520 A
750	400 A	475 A	535 A
800	410 A	490 A	555 A
900	435 A	520 A	585 A
1000	455 A	545 A	615 A

Tabla 3. 4. Calibres de cables de cobre [35].

A la salida de los convertidores de potencia, se obtiene una corriente continua, cuyo valor máximo depende de la corriente máxima asignada a la estación. Puesto que se designó el valor de corriente máximo de los estándares CHAdeMO y CCS de 400 A, la corriente que circulará a la salida de cada convertidor equivale a 100 A, por lo cual el calibre de cable es de 1/0.

Los cables que viajan hacia el conector de carga transportan un máximo de 400 A, por lo que el calibre de cable en esta sección debe ser de 800.

### 3.5 Simulación de la etapa de transferencia energética desde la estación de carga hacia el vehículo

A continuación, se presentan el diagrama y los resultados de una simulación de la sección de potencia de una estación de carga rápida implementada en el software *PSim*<sup>®</sup>. La función principal de este bloque es la transferencia de energía desde la red de suministro hacia la batería del vehículo.

La etapa de transferencia de energía está conformada por una etapa de rectificación controlada y posteriormente una etapa de regulación de tensión efectuada por un convertidor DC-DC.

### 3.5.1 Rectificador trifásico controlado

El rectificador trifásico controlado, presentado en la Fig. 3. 37, se encarga de transformar la corriente alterna, tomada de un sistema trifásico, en continua. Está compuesto por tres pares de transistores IGBT, cada uno con un diodo en antiparalelo. Esta topología es conocida como *Voltage Source Inverted* (VSI) [38]. El sistema es capaz de brindar hasta 120 kW de potencia.

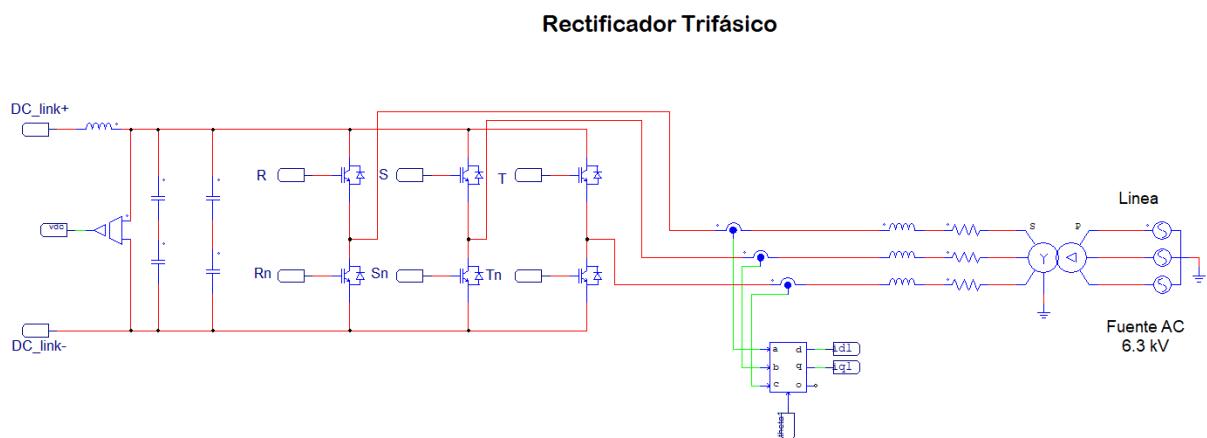


Fig. 3. 37. Esquema del rectificador trifásico.

### 3.5.2 Convertidor DC-DC

A la salida del rectificador trifásico se obtiene un voltaje continuo de 1200 V que ingresa a la entrada del convertidor DC-DC.

El convertidor DC-DC, mostrado en la Fig. 3. 38, se encarga de variar la amplitud del voltaje obtenido a la salida del rectificador VSI de acuerdo a la tensión de la batería del vehículo.

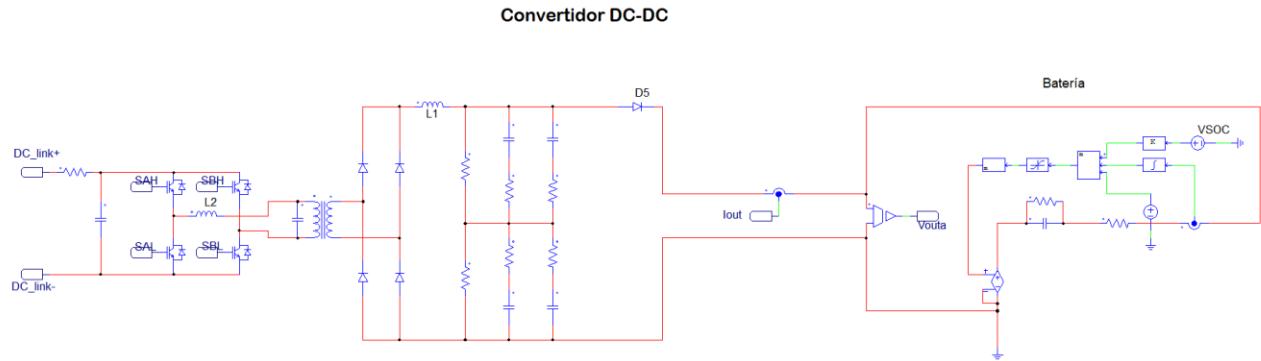


Fig. 3. 38. Esquema del convertidor DC-DC y batería.

### 3.5.3 Resultados de la simulación

La simulación ha sido adaptada para la carga de la batería de un vehículo Kia Soul cuyas características se muestran en la Tabla 3. 5.

<b>Tipo:</b>	Polímero-Litio
<b>Voltaje Nominal:</b>	360V
<b>Voltaje de cada celda:</b>	3.7V
<b>Máxima Corriente de Carga:</b>	231V
<b>Máximo Voltaje de Carga:</b>	413V
<b>Potencia Usable:</b>	77Ah
<b>Energía Usable:</b>	27kWh

Tabla 3. 5. Características de carga del Kia Soul [36].

En la Fig. 3. 39 se muestran las cuatro graficas resultantes de una simulación con una corriente de carga de 125 A. En la primera, se ilustra la curva de corriente de salida ( $I_{out\_bateria}$ ), en la segunda, la tensión de salida hacia la batería ( $V_{out\_bateria}$ ), en la tercera gráfica, se bosqueja la potencia de salida a la batería (Potencia\_salida\_bateria) y la cuarta curva representa el estado de carga de la batería (SOC). El programa ha sido ajustado para que las curvas resultantes de la simulación estén escaladas en el tiempo, a un valor de un segundo.

Cuando el estado de carga de la batería alcanza un valor aproximado del 80 %, la potencia de salida alcanza un valor próximo a 50 kW. La curva de corriente se mantiene en un valor de 125 A mientras la tensión incrementa hasta que alcanza los 413 V y entonces la corriente comienza a disminuir, mientras que la curva de tensión se estabiliza.

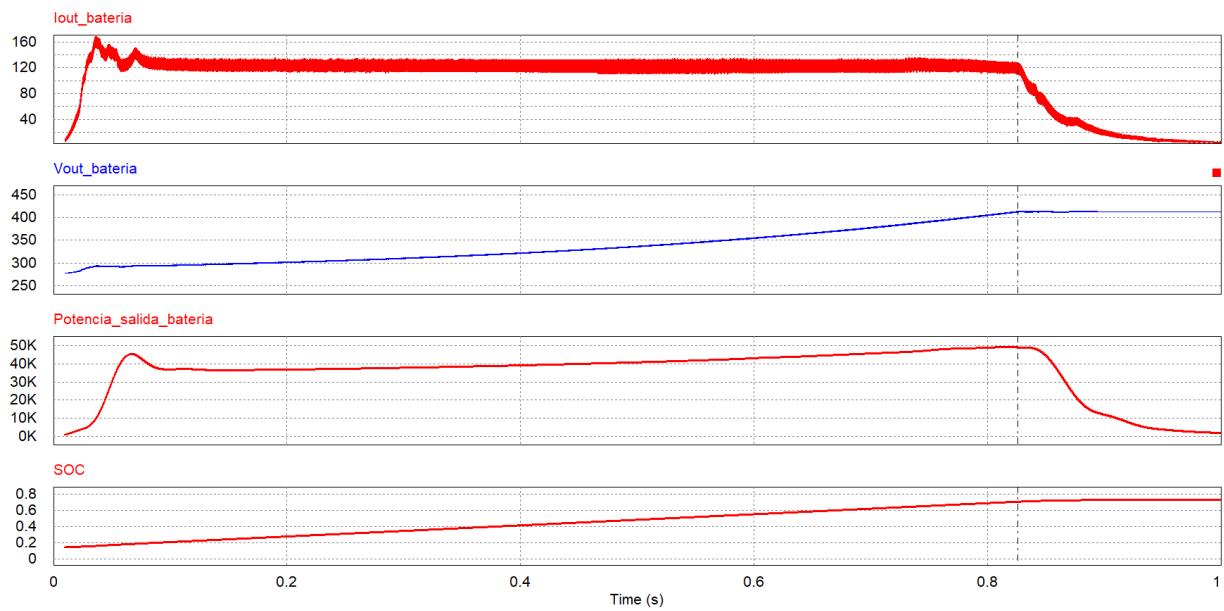


Fig. 3. 39. Curvas de carga de la batería para 125 A de corriente de salida.

La Fig. 3. 40 muestra las curvas de carga para una corriente de salida de 200 A. El comportamiento de las curvas es similar al de la . El 80 % del estado de carga es alcanzado en un tiempo menor con respecto a la carga con 125 A. Adicionalmente, en este punto, la potencia de salida alcanza el valor de 80 kW.

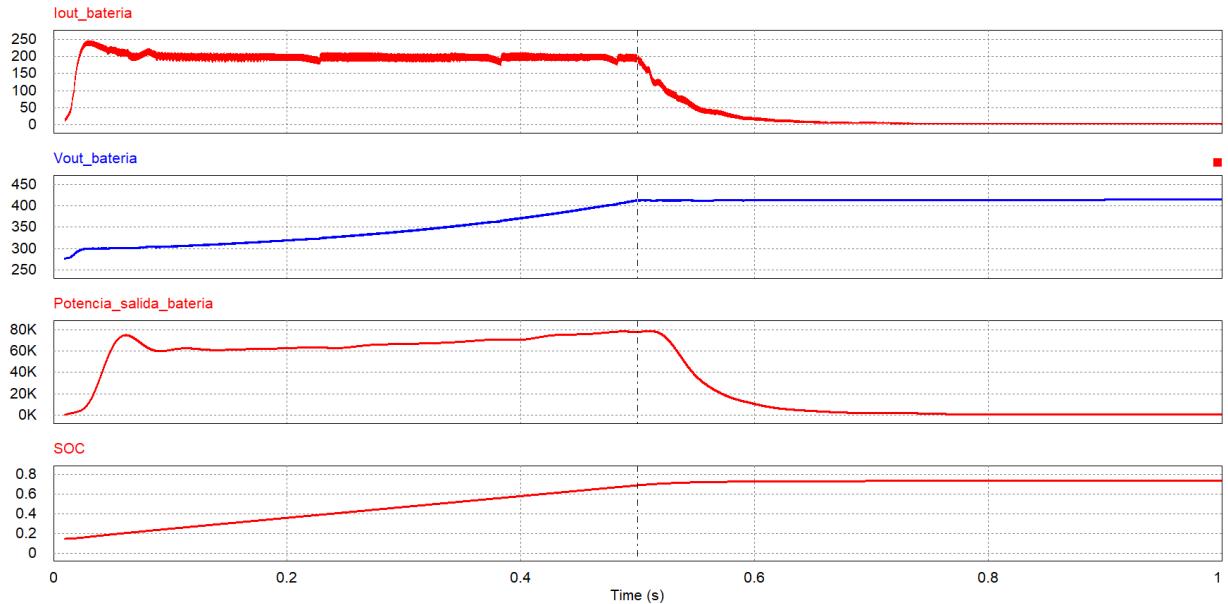


Fig. 3. 40. Curvas de carga de la batería para 200 A de corriente de salida.

La Fig. 3. 41 muestra las curvas de carga para la corriente máxima de carga de la batería que es de 230 A, como se observa en la curva de corriente de salida. En esta carga, la potencia

máxima de salida se acerca a los 100 kW, el cual corresponde al valor de la potencia máxima de carga tolerada por la batería. El estado de carga de 80 % es alcanzado en menor tiempo que la cargas con 125 A y con 200 A.

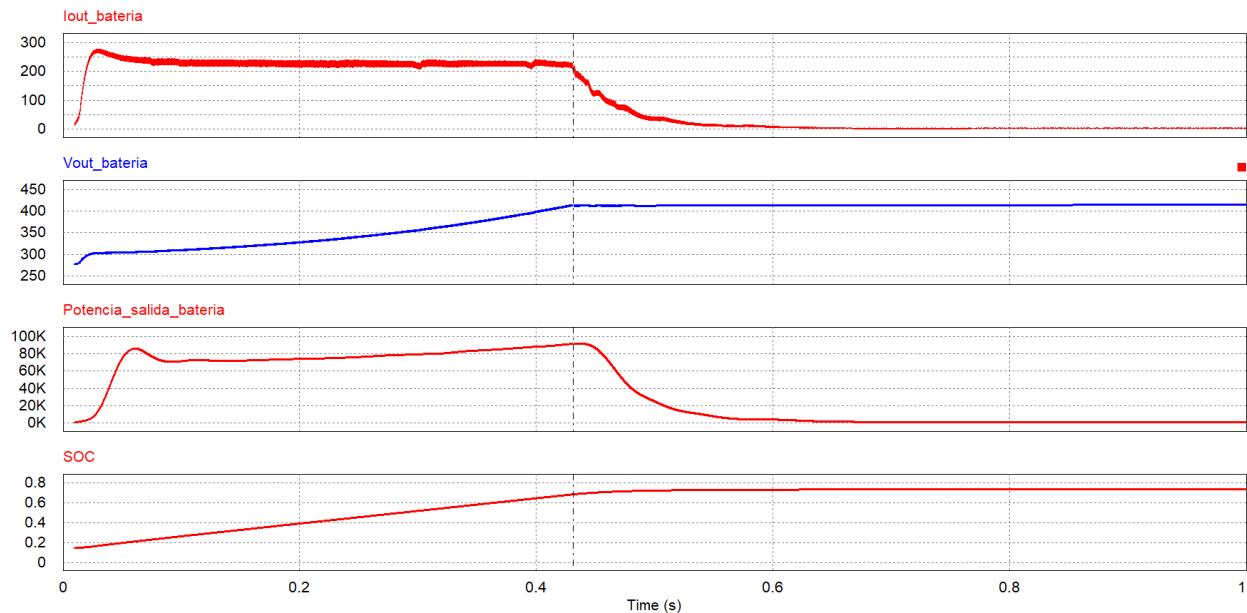


Fig. 3. 41. Curvas de carga de la batería para 230 A de corriente de salida.

### 3.5.4 Curvas de carga de los vehículos Kia Soul y Hyundai Ioniq

La Fig. 3. 42 muestra la curva de potencia de salida de carga del vehículo Kia Soul y la Fig. 3. 43 muestra la curva de un vehículo Hyundai Ioniq, cargados con un conector CHAdeMO. En ambos casos la potencia máxima fue de aproximadamente 52 kW. El Kia Soul tarda aproximadamente 24 minutos en completar su carga, mientras que el Hyundai Ioniq se demora alrededor de 40 min.

Al iniciar la carga, la corriente se mantiene constante y la tensión incrementa, de esa forma la potencia también aumenta. Una vez que la batería ha alcanzado el 80 % del estado de carga (SOC), la corriente disminuye mientras la tensión se mantiene constante. Desde este punto, el valor de la potencia también disminuye.

La curva de potencia de carga de un Hyundai Ioniq muestra un descenso de potencia antes de un corto periodo en el que se mantiene casi constante, para luego disminuir definitivamente hasta cero. Esto ocurre cuando la batería recibe la potencia máxima que la estación es capaz de suministrar, antes de alcanzar el 80 % del estado de carga, por lo que la corriente debe disminuir su valor para que la carga continúe.

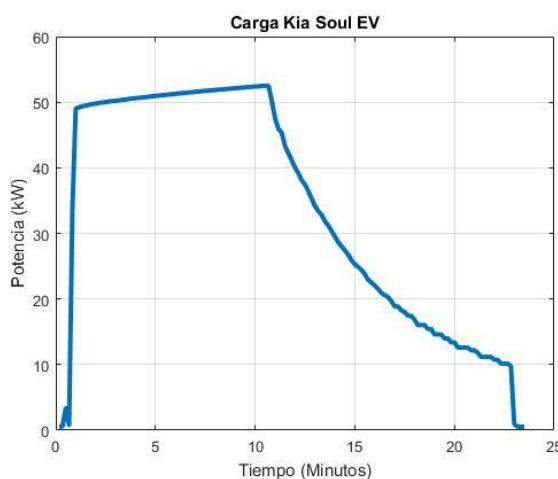


Fig. 3. 42. Curva de potencia de carga de un Kia Soul EV.

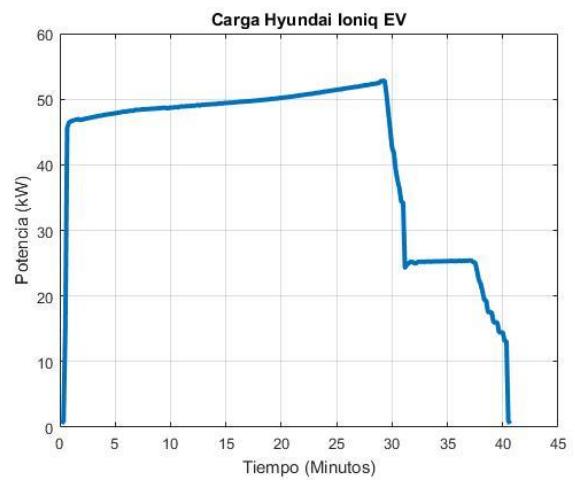


Fig. 3. 43. Curva de potencia de carga de un Hyundai Ioniq EV.

### 3.6 Comunicación entre los módulos convertidores de potencia y el módulo controlador de la estación de carga

Durante el proceso de carga, el controlador de comunicaciones de la estación, transmite al vehículo mensajes referentes a la tensión y corriente máxima que se le puede suministrar. De la misma manera, el controlador de comunicación del vehículo envía a la estación la corriente y tensión máxima de carga de la batería. Gracias a este intercambio de mensajes, la estación y el vehículo llegan a un acuerdo sobre los niveles de tensión y corriente que se le va a proporcionar a la batería del vehículo durante el proceso de carga.

Dentro del misma estación de carga, el controlador de comunicaciones es quien debe transmitir las solicitudes de tensión y corriente del vehículo hacia los módulos convertidores de potencia, para que estos sean capaces de regular sus magnitudes de salida de acuerdo a los requerimientos del vehículo.

A continuación, se presenta las características y análisis de hardware y protocolos de comunicación de los módulos controladores de las marcas VECTOR y SIEMENS y de los módulos convertidores de potencia, de las empresas Ark Tech y SCU.

De acuerdo a las características de los módulos controladores y de potencia señalados, los protocolos de comunicación interna empleados son CAN, PROFINET y RS485.

### 3.6.1 CAN (Controller Area Network)

CAN o *Controller Area Network*, es un bus de comunicación en serie, *half-duplex* y de alta velocidad definido por la ISO (Organización Internacional de Estandarización) para la industria automotriz, con el fin de reemplazar el cableado complejo por un bus de dos cables denominados CAN\_H y CAN\_L, terminados por una resistencia de  $120 \Omega$  en cada extremo [39], como se observa en la Fig. 3. 44

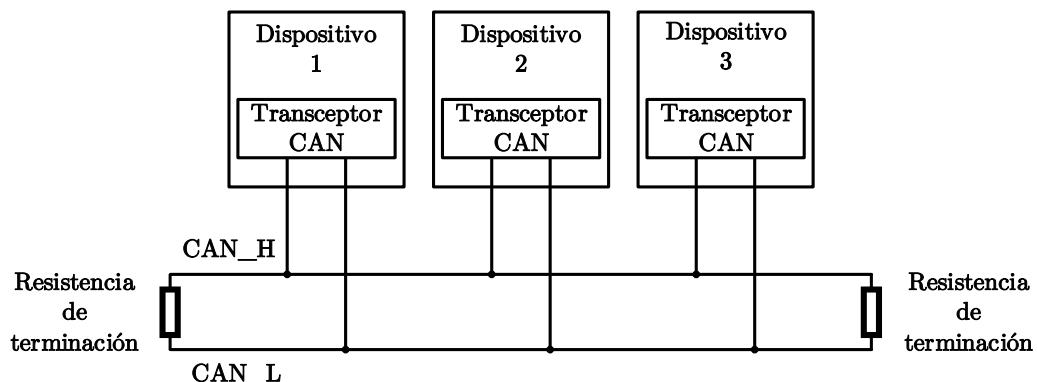


Fig. 3. 44. Red CAN.

CAN es un protocolo de acceso múltiple con detección de portadora con detección de colisiones y arbitraje en la prioridad del mensaje (CSMA/CD + AMP). Esto implica que cada nodo conectado al bus debe permanecer inactivo un tiempo prescrito antes de intentar enviar un mensaje. Las colisiones se resuelven mediante un arbitraje bit a bit, basado en una prioridad preprogramada en cada mensaje con su campo identificador. El identificador con mayor prioridad siempre gana el acceso al medio.

Los mensajes CAN transmitidos no contienen direcciones, ni del nodo de origen ni de los receptores. Solo se ingresa un número de identificación único. Cada nodo en la red recibe la trama y de acuerdo al número del identificador, cada nodo decide si aceptar o no el mensaje [40].

El bus CAN tiene dos estados lógicos: dominante y recesivo. En el estado recesivo, las líneas del bus CAN\_H y CAN\_L están polarizados al mismo nivel, que es de 2.5V. Durante el estado dominante, la línea CAN\_H está polarizada a un potencial de más alto (3,5 V) y la línea del bus CAN\_L está polarizada a un potencial más bajo (1,5 V) como muestra la Fig. 3. 45. Restando el potencial de ambas líneas se puede determinar el estado lógico del bus  $V_{diff}$ .

Cuando el valor de  $V_{diff}$  en el bus es menor que 0.5V, se considera que el bus está en un estado recesivo. Cuando  $V_{diff}$  es superior a 0,9 V, el bus está en un estado dominante. Por último, para valores de  $V_{diff}$  entre 0,5 V y 0,9 V, el estado del bus no está definido [41].

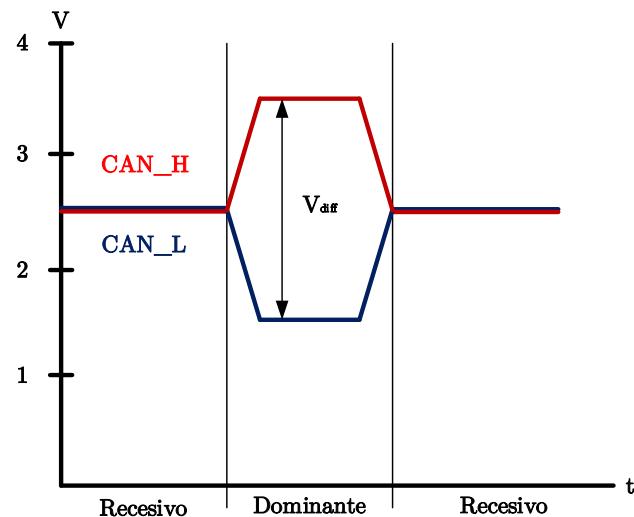


Fig. 3. 45. Señales CAN.

El protocolo CAN con el identificador estándar de 11 bits proporciona velocidades de señalización de 125 kbps hasta 1 Mbps.

Posteriormente el estándar se modificó con el identificador extendido de 29 bits.

La estructura de la trama CAN estándar se muestra a continuación [42]:

SOF	Identificador de 11 bits	RTR	IDE	r0	DLC	Datos	CRC	ACK	EOF	IFS
-----	--------------------------	-----	-----	----	-----	-------	-----	-----	-----	-----

**SOF:** Bit dominante (0) de inicio de trama (SOF) marca el inicio de un mensaje.



**Identificador:** el identificador CAN estándar de 11 bits establece la prioridad del mensaje. Cuanto menor sea el valor binario, mayor será su prioridad.

**RTR:** El bit de solicitud de transmisión remota (RTR) es dominante (0) cuando se requiere información de otro nodo. Todos los nodos reciben la solicitud, pero el identificador determina el nodo especificado. Los datos que responden también son recibidos por todos los nodos y utilizados por cualquier nodo interesado.

**IDE:** Bit de extensión de identificador único dominante (IDE) permite diferenciar entre el protocolo CAN estándar y CAN extendido.

**r0:** bit reservado, para posible uso en el futuro.

**DLC:** Código de longitud de datos de 4 bits. Contiene el número de bytes de datos que se transmiten.

**Datos:** se pueden transmitir hasta 64 bits de datos.

**CRC:** la verificación de redundancia cíclica (CRC) de 16 bits (15 bits más delimitador) contiene la suma de verificación (número de bits transmitidos) de los datos de la aplicación anterior para la detección de errores.

**ACK:** cada nodo que recibe un mensaje correctamente, sobrescribe este bit recesivo (1) en el mensaje original con un bit de dominio (0), lo que indica que se ha enviado un mensaje sin errores. Si un nodo receptor detecta un error y deja este bit recesivo, descarta el mensaje y el nodo emisor repite el mensaje. De esta forma, cada nodo reconoce la integridad de sus datos. ACK es un campo de 2 bits, uno es el bit de reconocimiento y el segundo es un delimitador.

**EOF:** este campo de 7 bits de fin de trama (EOF) marca el final de una trama CAN (mensaje) y desactiva el relleno de bits, lo que indica un error de relleno cuando es dominante. Cuando se producen sucesivamente 5 bits del mismo nivel lógico durante el funcionamiento normal, se introduce un bit del nivel lógico opuesto en los datos.

**IFS:** este espacio entre tramas (IFS) de 7 bits contiene el tiempo requerido por el controlador para mover una trama recibida correctamente a su posición adecuada en un área de búfer de mensajes.

La trama CAN extendida se muestra a continuación:

SOF	Identificador de 11 bits	SRR	IDE	Identificador de 18 bits	RTR	r1	r0	DLC	Datos	CRC	ACK	EOF	IFS
-----	--------------------------	-----	-----	--------------------------	-----	----	----	-----	-------	-----	-----	-----	-----



**SRR:** el bit de solicitud remota sustitutiva (SRR) reemplaza al bit RTR en la ubicación del mensaje estándar como un marcador de posición en el formato extendido.

**IDE:** un bit recesivo en la extensión de identificador (IDE) indica que siguen más bits de identificador. La extensión de 18 bits sigue a IDE.

**r1:** después de los bits RTR y r0, se ha incluido un bit de reserva adicional antes del bit DLC.

### 3.6.1.1 Tipos de mensajes

**Paquetes de datos:** El paquete de datos es el tipo de mensaje más común y comprende el campo de identificación, el campo RTR con valor dominante (0), el campo de datos, el campo CRC y el campo ACK.

**Paquete remoto:** El propósito de la trama remota es la solicitud de transmisión de datos desde otro nodo. El campo RTR se llena con un bit recesivo (1) y no contiene datos.

**Paquete de error:** Este paquete se transmite cuando se detecta un error en un mensaje y hace que todos los nodos de la red envíen también una trama de error, así, el transmisor retransmite el mensaje.

**Paquetes de sobrecarga:** Se transmite por un nodo demasiado ocupado y se emplea para proporcionar un retraso adicional entre mensajes.

### 3.6.2 PROFINET

PROFINET es un protocolo abierto para el intercambio de datos entre controladores y dispositivos en un entorno de automatización. Para la conexión entre dichos dispositivos, se emplea el estándar Ethernet como medio de comunicación.

Se distinguen tres tipos de estaciones [43]:

**Controlador IO:** es una estación central inteligente, como por ejemplo un PLC. es responsable de la configuración de sus dispositivos asociados y controla la transferencia de datos procesados.

**Dispositivo IO:** es un dispositivo de campo, como una unidad de entradas analógicas. transmite de manera cíclica, datos recogidos al controlador IO y viceversa.

**Supervisor IO:** es una estación de ingeniería para programación, configuración o diagnóstico, por ejemplo, una herramienta de programación PLC.



PROFINET debe garantizar que los mensajes sean entregados con la velocidad adecuada de acuerdo a la tarea.

Para garantizar un rendimiento adecuado, PROFINET envía datos a través de los siguientes canales de comunicación [44]:

- PROFINET Non-Real-Time (NRT)
- PROFINET Real-Time (RT)
- PROFINET Isochronous Real-Time (IRT)

PROFINET NRT puede emplear la comunicación TCP/IP o UDP/IP para tareas no críticas en el tiempo. Debido a la latencia y la fluctuación adicionales asociadas con la comunicación basada en IP, este método no es adecuado para tareas que requieren de tiempo crítico.

ETH DST	ETH SRC	ETH TYPE	IP HEAD	IP SRC	IP DST	UDP SRC	UDP DST	UDP LEN	UDP CHK	RPC DATA	PROFINET
18 bytes								108 bytes			0-1392 bytes

PROFINET en tiempo real: Al llegar al nodo de destino, la trama se dirige inmediatamente a la aplicación PROFINET. Los datos van directamente de Ethernet, capa 2, a PROFINET, capa 7, omitiendo las capas TCP/IP. El rendimiento general dependerá del diseño de su red, pero en general, puede lograr tiempos de ciclo de 250  $\mu$ s a 512 ms.

ETH DST	ETH SRC	ETH TYPE	PROFINET
18 bytes			46-1500 bytes

PROFINET IRT: Se eliminan los retrasos de datos variables mejorando las reglas utilizadas para cambiar el tráfico Ethernet y creando reglas especiales para el tráfico PROFINET. Cumple con todos los requisitos de sincronización y permite una comunicación determinista con tiempos de ciclo de hasta 31,25  $\mu$ s y hasta 1  $\mu$ s de retardo esperado. PROFINET IRT es opcional y solo se requiere en aplicaciones específicas de alto rendimiento, como máquinas de embalaje y prensas de impresión.

### 3.6.3 RS-485

La interfaz RS-485 es un estándar de capa física de comunicación. La capa física es el canal de comunicación y el método de transmisión de la señal.

La red de comunicación RS-485 consta de transceptores conectados mediante un cable de par trenzado. El principio básico de la comunicación RS-485 es la transmisión de datos de forma diferencial, es decir, la señal se transporta por dos cables; uno lleva la señal original, mientras el otro lleva la copia invertida como muestra la Fig. 3. 46.

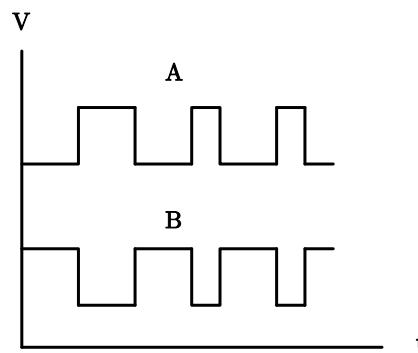


Fig. 3. 46. Señales diferenciales.

La red RS-485 permite la conexión de hasta nodos en el mismo bus y emplea half-duplex como forma de control del flujo como muestra la Fig. 3. 47.

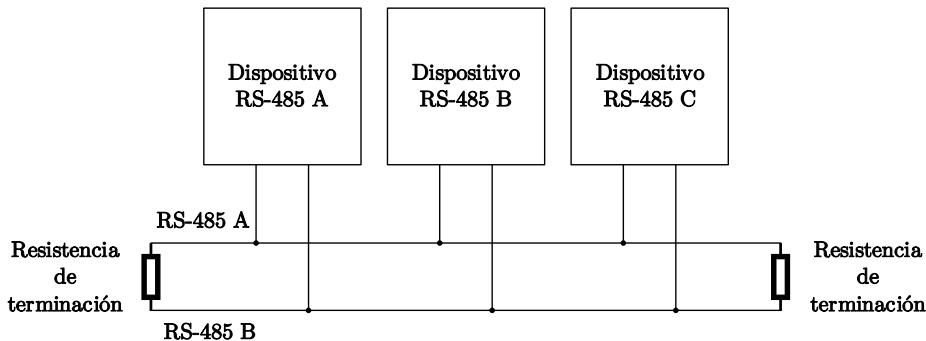


Fig. 3. 47. Red RS-485.

Las tramas están conformadas por un bit de inicio, ocho bits de datos, un bit de paridad y dos bits de parada:

0	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	P	S1	S2
Bit de inicio	Datos								Bit de paridad	Bits de parada	



### 3.6.4 Módulos controladores de una estación de carga

#### 3.6.4.1 VECTOR-vSECC

La empresa VECTOR provee el controlador de comunicación de carga vSECC (*Supply Equipment Communication Controller*). vSECC es una interfaz de comunicación entre el vehículo, el sistema de gestión de la estación de carga (CSMS) y los elementos de electrónica de potencia. Este controlador es compatible con los estándares CCS o Sistema de Carga Combinado, CHAdeMO y GB/T. Controla la electrónica de potencia mediante Ethernet y CAN.

El controlador vSECC está dirigido a quienes desarrollan la electrónica de potencia o ensamblan los sistemas de carga, sin profundizar en los detalles de los protocolos de comunicación entre la estación y el vehículo [45].

##### 3.6.4.1.1 Hardware

La Fig. 3. 48 muestra la forma del controlador y la disposición de sus puertos, cuya función se describirá a continuación.

##### Entradas analógicas

Estos conectores contienen dos puertos que soportan tensiones entre 0 a 10 V y 9 puertos para sensores de temperatura externos.

##### Salidas de seguridad

Este conector es usado para propósitos de seguridad. Proporciona acceso a salidas especializadas que agregan una capa de seguridad. Están diseñados para conectarse a las entradas de los circuitos de electrónica de potencia. Brindan seguridad a las salidas de los conectores 1, 2, GB/T y CHAdeMO mediante detección de pérdidas y supervisión del piloto de control.

##### Entradas/salidas digitales

En este puerto se ubican 8 entradas digitales, 16 salidas digitales, una salida de 24 V y una de tierra.

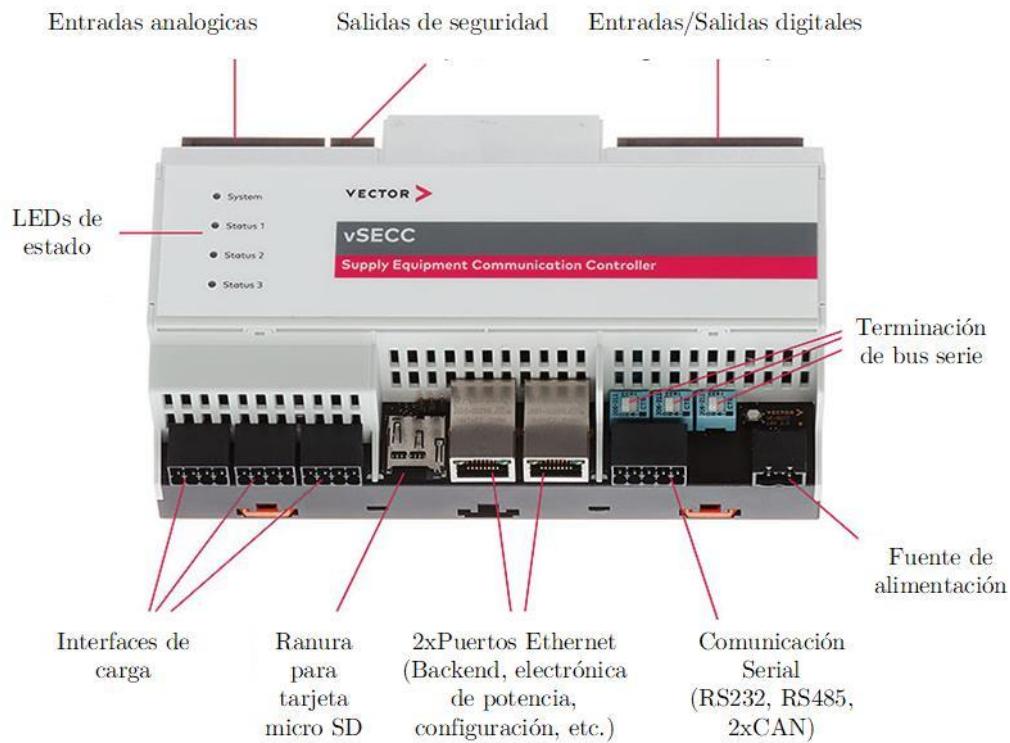


Fig. 3. 48. Puertos del controlador vSECC [44].

### Fuente de alimentación

Este conector es usado para energizar al controlador con una fuente de tensión de 24 V y que proporcione al menos una corriente de 200 mA.

### Terminación de bus serie

Consta de tres interruptores que activan o desactivan los resistores de terminación, relacionados con los dos puertos CAN y el puerto RS485.

### Comunicación serial

Contiene dos pares de conectores para la comunicación CAN, un puerto para RS485 y un puerto para RS232. La función de los puertos RS232 y RS485 aún se encuentra en desarrollo.

### Puertos ethernet

Los dos puertos ethernet permiten al controlador conectarse a un CSMS o la electrónica de potencia.

### Interfaces de carga

Está conformado por tres puertos para la comunicación con el vehículo durante el proceso de carga. Un puerto para el estándar CHAdeMO y GB/T y dos puertos para el estándar CCS.

### Leds de estado

Los tres leds indican el estado actual del puerto de carga respectivo.

#### 3.6.4.1.2 Firmware

A medida que nuevos mecanismos se implementan, el firmware se actualiza para permitir el uso de nuevas funcionalidades.

El firmware se actualiza a través de mensajes OCPP. La actualización se descargará desde una URL especificada en CSMS.

#### 3.6.4.1.3 Conectividad del controlador vSECC

La Fig. 3. 49 muestra el esquema de conexiones que admite el controlador vSECC. En ella se observa la comunicación correspondiente a los estándares de carga CCS, GB/T y CHAdeMO; la comunicación con el CSMS mediante el protocolo OCPP y la comunicación entre el controlador vSECC y los módulos convertidores de potencia a través de mensajes CAN o mediante el protocolo PEP (*Power Electronics Protocol*).

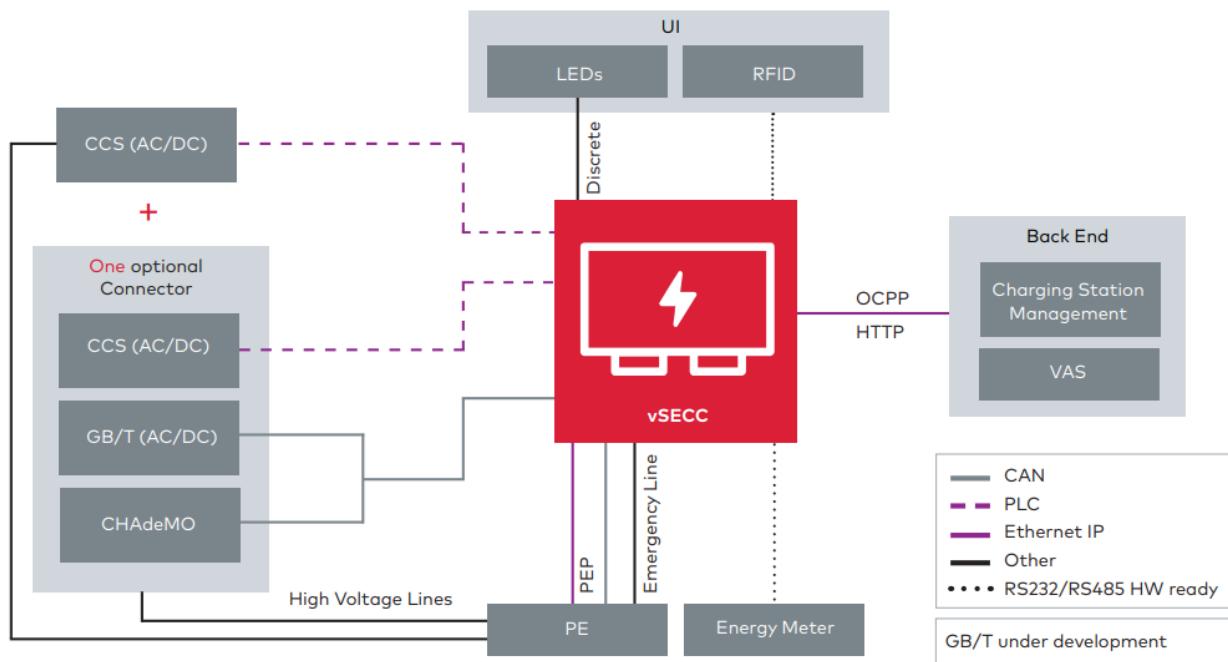


Fig. 3. 49. Esquema de conexiones del controlador vSECC [44].



### 3.6.4.1.3.1 Protocolo de electrónica de potencia (PEP)

Este protocolo ha sido desarrollado por la empresa VECTOR para la comunicación entre el controlador vSECC y los módulos de potencia, mediante una conexión ethernet. La comunicación que emplea el protocolo PEP se basa en websockets con intercambio de datos JSON.

Las salidas y entradas digitales, así como las entradas analógicas y los puertos para sensores de temperatura pueden ser controladas a través de Ethernet, con los mensajes getInput y setOutput del protocolo PEP.

### 3.6.4.1.3.2 Mensajes CAN

El controlador vSECC también permite el intercambio de mensajes CAN a una velocidad de transmisión de 500 kbps. Los mensajes están inspirados en el protocolo PEP, por lo que las señales en los mensajes CAN tienen el mismo significado que su contraparte en el protocolo PEP.

Los mensajes CAN que el controlador intercambia con los módulos convertidores de potencia son:

#### Estado 1 (0x302)

Nombre	Bit de inicio	Longitud	Tipo	Factor	Min	Max	Unidad	Valor de tabla
drivenVoltage	8	16	Unsigned	0,1	0	6553,5	V	None
drivenCurrent	24	16	Signed	0,1	-3276,8	3276,7	A	None
temperature	40	16	Signed	0,1	-3276,8	3276,7	°C	None

Tabla 3. 6. Mensajes CAN de Estado 1 [45].

#### Estado 2 (0x303)

Nombre	Bit de inicio	Longitud	Tipo	Factor	Min	Max	Unidad	Valor de tabla
measuredVoltage	0	16	Unsigned	0,1	0	6553,5	V	None
measuredCurrent	16	16	Signed	0,1	-3276,8	3276,7	A	None
status	32	16	Unsigned	1	0	65535	None	None

Tabla 3. 7. Mensajes CAN de Estado 2 [45].



### Límites 1 (0x304)

Nombre	Bit de inicio	Longitud	Tipo	Factor	Min	Max	Unidad	Valor de tabla
limitVoltageMin	0	16	Unsigned	0,1	0	6553,5	V	None
limitVoltageMax	16	16	Unsigned	0,1	0	6553,5	V	None
limitPowerMax	32	16	Unsigned	10	0	655350	W	None

Tabla 3. 8. Mensajes CAN de Límites 1 [45].

### Límites 2 (0x305)

Nombre	Bit de inicio	Longitud	Tipo	Factor	Min	Max	Unidad	Valor de tabla
limitCurrentMin	0	16	Signed	0,1	-3276,8	3276,7	V	None
limitCurrentMax	16	16	Signed	0,1	-3276,8	3276,7	V	None

Tabla 3. 9. Mensajes CAN de Límites 2 [45].

#### 3.6.4.1.3.3 Conectividad del controlador con el sistema de gestión de carga

El protocolo empleado para la conexión entre el controlador vSECC y un CSMS es OCPP 2.0.1 utilizando JSON sobre WebSockets. A través de la conexión con un CSMS mediante OCPP, pueden llevar a cabo tareas como:

- Actualización de la contraseña de la estación de carga.
- Arranque la estación de carga.
- Configuración de la estación de carga.
- Reinicio de la estación de carga.
- Autorización mediante un botón de inicio y un medio de identificación externa.
- Iniciar y detener transacciones mientras la estación de carga está fuera de línea y finalizar el proceso de carga.
- Detección remota de transacciones y cobro.
- Cambio e informe de la disponibilidad de la estación y sus conectores.
- Envío de valores medidos relacionados con la transacción.
- Carga inteligente general.



## Configuración OCPP

Para la conexión inicial a un CSMS, se debe especificar su URI en la configuración de vSECC mediante la interfaz web. La variable correspondiente se denomina BaseUri y se puede encontrar dentro de la sección ChargingStation como señala la Fig. 3. 50.

El controlador vSECC usa los mensajes OCPP SetVariables, GetVariables y GetBaseReport para el intercambio de datos de configuración con el CSMS.

The screenshot shows the vSECC configuration interface. At the top, there are three buttons: 'Open previous configuration', 'Reset changes', and 'Reboot vSECC'. Below these is a section titled 'Standard Components' with the sub-instruction 'View and edit configuration variables.' Under this, there are three collapsed sections: 'AuthCtrlr', 'ChargingCommunicationCtrlr', and 'ChargingStation'. The 'ChargingStation' section is expanded, showing configuration variables in a table:

BaseUri	<input type="text" value="https://192.168.3.1:443/ocpp"/>
BootReason	<input type="text" value="LocalReset"/>
FirmwareVersion	<input type="text" value="1.2.0"/>
Identity	<input type="text" value="vectorTest1"/>
Model	<input type="text" value="vSECC"/>
SerialNumber	<input type="text" value="0"/>
VendorName	<input type="text" value="Vector"/>

Below the table are two more collapsed sections: 'DeviceDataCtrlr' and 'OCPPCommCtrlr'.

Fig. 3. 50. Configuración del sistema de gestión de carga [43].

### 3.6.4.2 SIEMENS

La empresa SIEMENS ofrece una línea de productos para la construcción de una estación de carga, tanto en AC como en DC. Dichos componentes y su interconexión se presentan en la figura. En ella se observa el esquema para un cargador que incorpora los estándares CHAdeMO y CCS para el suministro de corriente continua, así como el estándar para la carga en corriente alterna.

De acuerdo a la numeración en los componentes de la Fig. 3. 51, la estación de carga está conformada por:

- 1) CPU para el control de carga.
- 2) Panel de interfaz de cliente.
- 3) Switch ethernet para la conexión con el backend.

- 4) Lector RFID para identificación.
- 5) Medidor de energía para el registro de datos.
- 6) Combinación del módulo convertidor de potencia, con un Gateway PN/CAN para la implementación del estándar de carga CHAdeMO.
- 7) Módulo para la carga en AC.
- 8) Módulo para la carga en DC implementando el estándar CCS.
- 9) Contactores y fusibles para asegurar una conexión y desconexión segura de la potencia de carga

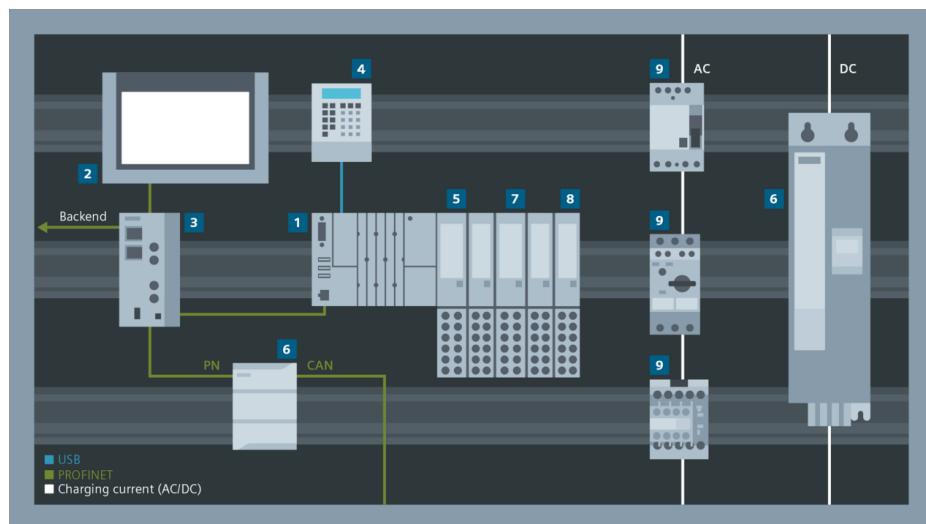


Fig. 3. 51. Componentes SIEMENS que conforman una estación de carga [46].

A continuación, se presenta la descripción de los elementos involucrados en el proceso de control, comunicación y conversión de potencia durante el proceso de carga.

### 3.6.4.2.1 Control de carga y módulos de comunicación SIEMENS

#### 3.6.4.2.1.1 Controlador abierto SIMATIC ET 200 SP

SIEMENS ofrece el controlador abierto SIMATIC ET 200 SP con el sistema operativo Windows integrado además permite una conexión backend mediante OCPP. La capacidad de conexión central con los módulos SIMATIC ET 200 SP permite la supervisión de todos los procesos de carga.



Combina las funciones de un controlador de software basado en PC con visualización, aplicaciones de PC y E/S centrales en un solo dispositivo compacto.

Las interfaces USB incluidas permiten una conexión directa de lectores RFID para la identificación de usuarios.

Para la configuración de los módulos se emplea el software TIA Portal cuyo programa se guarda en la memoria SD.



Fig. 3. 52. Controlador abierto ET200ESP [42].

### 3.6.4.2.1.2 Módulo de comunicación SIMATIC ET200SP TM ECC PL ST

El módulo de comunicación CCS llamado SIMATIC ET200SP TM ECC PL ST, presentado en la Fig. 3. 53 ha sido desarrollado sobre la base de SIMATIC ET 200SP y controla la carga conductiva de acuerdo a los estándares IEC 61851 y DIN70121.

El módulo posee dos salidas digitales (DQ T y DQ P) para el control de dispositivos desconectores, la salida de la señal de control piloto (CP), un puerto para el detector de proximidad (PP) y dos conectores para alimentación a una tensión de 24 V, como se observa en la Fig. 3. 54.



Fig. 3. 53. Módulo de carga  
CCS de SIEMENS  
[55].

Designación	Nombre de E/S	Vista	Nombre de E/S	Designación
DQ para línea TRIP	DQ T 1		2 -	No usado
DQ para PP	DQ P 3		4 -	No usado
Piloto de control	CP 5		6 -	No usado
Conector de señal presente	PP 7		8 -	Reservado
No usado	- 9		10 -	No usado
No usado	- 11		12 -	No usado
Entrada de fuente de alimentación externa de 24 V CC Los pines 13 y 15 están conectados internamente.	L+ 13 15		14 FE	FE y tierra para tensión de alimentación Los pines 14 y 16 están conectados internamente.
			16 M	

Fig. 3. 54. Designación de pines del módulo de comunicación CCS de SIEMENS [47].

La configuración del módulo se lleva a cabo a través el bloque de funciones asociado, en el software TIA Portal.

El bloque DIN 70121\_DB de la Fig. 3. 55, verifica el voltaje en el cable de carga, controla el convertidor de potencia para la verificación del cable y evalúa el resultado de la medición de corriente asociada. En la fase Precarga, la tensión del convertidor de potencia aumenta de forma correspondiente. En la fase de demanda de corriente el convertidor de potencia se controla de acuerdo con las especificaciones reales de corriente y tensión del vehículo y se supervisa si el convertidor de ha seguido las especificaciones del vehículo dentro de un tiempo de respuesta definido.

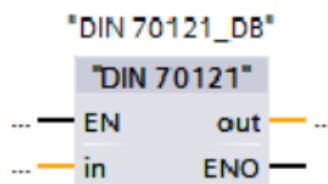


Fig. 3. 55. Bloque DIN 70121\_DB de Tia Portal [47].

### 3.6.4.2.1.3 Gateway PN/CAN

El gateway PN/CAN mostrado en la Fig. 3. 56 permite implementar el estándar de carga CHAdeMO gracias a que sirve de interfaz para los mensajes PROFINET que maneja el CPU y los mensajes CAN que la estación debe intercambiar con el vehículo.



Fig. 3. 56. Gateway PN/CAN [48].

La configuración para el intercambio de mensajes se realiza con el bloque de funciones FB\_CHAdeMO de Tia Portal que se presenta en la Fig. 3. 57; este sirve como enlace entre la aplicación de la estación de carga y un VE, que se puede cargar de acuerdo con las versiones 0.9.1 o 2.0 de CHAdeMO y comprende las funcionalidades como: inicialización, lectura de entradas de la aplicación de carga, actualización de salidas a la aplicación de carga, actualización del estado de la comunicación CAN, lectura de datos de entrada CAN desde el vehículo, transmisión de datos de salida CAN al vehículo eléctrico, actualización del estado de error, realización de la prueba de aislamiento P-N (una vez antes de la carga), actualizar el estado del conector CHAdeMO, y la actualización del estado de carga de la máquina.

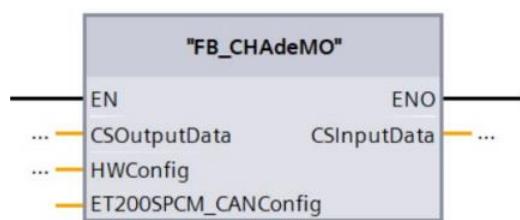


Fig. 3. 57. Bloque CHAdeMO de Tia Portal [49].

### 3.6.4.2.2 Convertidor SINAMICS DCP

El convertidor SINAMICS DCP DC-DC es un convertidor reductor y elevador bidireccional altamente eficiente que ofrece un rendimiento escalable. Permite que la corriente fluya en ambas direcciones a niveles de voltaje variables, lo que lo convierte en una solución ideal para la carga y descarga de baterías y supercondensadores sin sobrecargarlos ni descargarlos profundamente. Adicionalmente, requiere de un espacio mínimo dentro de la estación de carga.

El modelo de 30 kW brinda salidas de tensión de hasta 1000 V. Su corriente máxima de salida, es de 50 A con una tensión de 600 V.

El modelo de 120 kW proporciona una salida máxima de tensión de 920 V. La corriente máxima de salida es igual a 200 A, cuando la tensión es igual a 600 V.

El módulo emplea PROFIBUS como interfaz de comunicación estándar, aunque es posible añadir una interfaz PROFINET, el cual es el protocolo recomendado por SIEMENS para el intercambio de datos dentro de las estaciones de carga.

En la Fig. 3. 58 se muestra un ejemplo de configuración de una estación de carga que emplea el estándar CCS. En ella se observa el flujo de potencia desde una toma trifásica, que atraviesa un convertidor AC/DC separado del módulo convertidor DC-DC SINAMICS DCP. Las líneas de intercambio de datos, a su vez, interconectan al convertidor DC-DC con los módulos controladores de carga, mediante una conexión Ethernet, por sobre la cual, circulan mensajes del protocolo PROFINET.

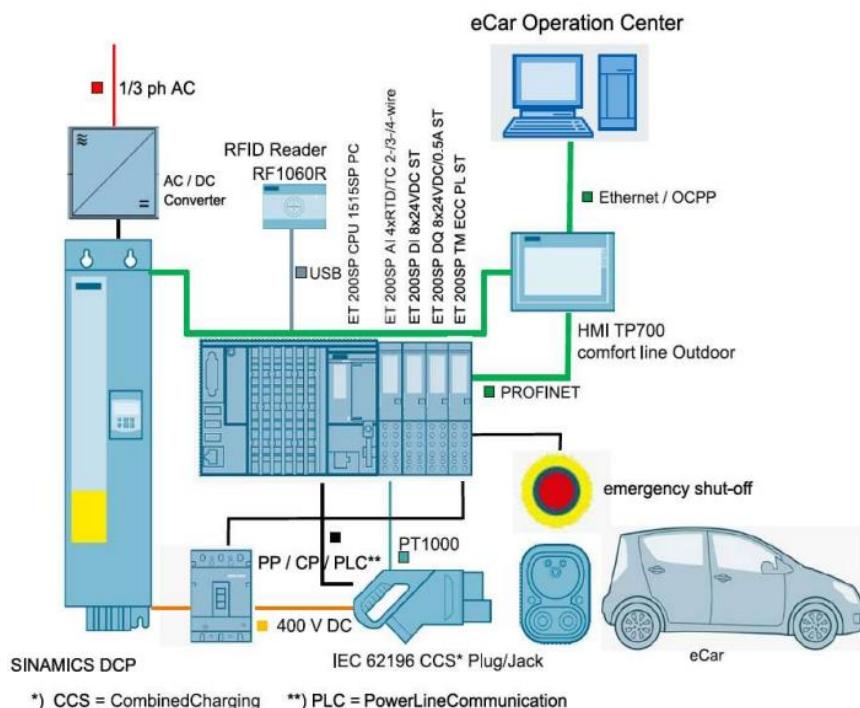


Fig. 3. 58. Ejemplo de configuración de una estación de carga con el estándar CCS [12].

### 3.6.4.3 Módulo monitor de carga en DC UMEV01/UMEV02

Los módulos UMEV01 y UMEV02 de los fabricantes UUGreenPower, que se muestran en la Fig. 3. 59, son las unidades responsables del control y monitoreo de carga. Cuentan con una pantalla LCD táctil, diseñadas específicamente para estaciones de carga de vehículos eléctricos. Se comunica con el BMS de la batería del vehículo y controla el módulo de carga; tiene varias funciones como facturación, lectura de tarjetas, redes, registro de datos y alarma de fallas. Soporta los estándares de carga CCS y CHAdeMO, así como OCPP 1.6 para la conexión con CSMS [46].



Fig. 3. 59. Módulos UMEV01 y UMEV02 [50].

La diferencia entre los módulos UMEV01 y UMEV02 radica en su hardware, como muestra la Tabla 3. 10.

UMEV01	UMEV02	Descripción
3 CAN	2 CAN	Conexión con el BMS del vehículo y módulos de potencia
2 RS232	2 RS232	Conexión con el lector de tarjetas y con la pantalla LCD
2 RS485	1 RS485	Conexión con el medidor de electricidad y voltímetro
2 RS485	2 RS485	Conexión con módulos de potencia y unidad de detección de aislamiento
2 RS485	1 RS485	Módulos 2G/3G/4G
8 Muestreo de temperatura	3 Muestreo de temperatura	Registro de la temperatura de los conectores de carga
20 Contactos de entrada	10 contactos de entrada	Detección de señales como de parada de emergencia estado de bloqueo del conector
19 Contactos de salida	9 Contactos de salida	Control de contactores AC y DC, fuentes de alimentación auxiliares del BMS, bloqueo electrónico de conectores de carga, etc.

Tabla 3. 10. Características de hardware de los módulos UMEV01 y UMEV02 [50].



### 3.6.5 Módulos convertidores de potencia de una estación de carga

#### 3.6.5.1 Módulo convertidor de potencia DPM1000/30

El módulo convertidor de potencia DPM1000/30 de la marca SCU, provee un suministro de energía ininterrumpida para salas de computación, sistemas de control inteligente, sistemas de gestión, interruptores, dispositivos de comunicación, iluminación de emergencia, etc.

La empresa SCU ofrece dos versiones del módulo DPM1000/30, la versión DPM1000/30C para montaje horizontal y la versión DPM1000/30CV para montaje en vertical. La Fig. 3. 60 muestra las dos versiones de dichos convertidores de potencia.



Fig. 3. 60. Módulos convertidores DPM1000/30CV y DPM1000/30C [51].

El módulo DPM1000/30 permite una tensión de entrada mínima de 260 V AC, con valores típicos de 380 V AC y soporta tensiones máximas de 480 V AC a una frecuencia típica de 50/60 Hz, con valores mínimos de 45 Hz y máximos de 65 Hz. Tolera una corriente máxima de entrada de hasta 60,4 A.

Su tensión de salida es de hasta de 50 a 1000 V DC; su corriente se encuentra en el rango de 30 a 100 A. La potencia máxima del módulo es de 30 kW.

La Fig. 3. 61 muestra la curva de corriente de salida vs la tensión de salida del módulo DPM1000/30.

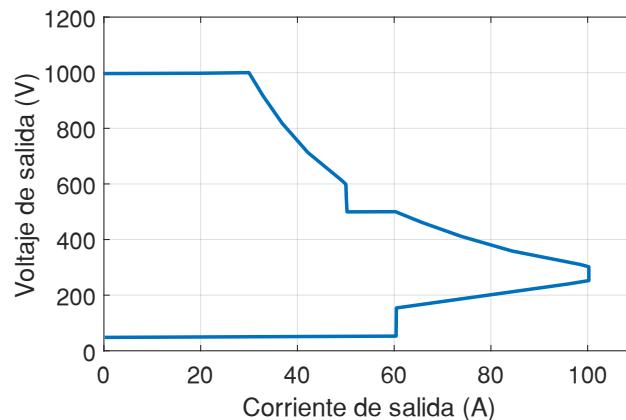


Fig. 3. 61. Curva de corriente de salida vs voltaje de salida.

### 3.6.5.1.1 Comunicación del módulo DPM1000/30 con el módulo controlador

El módulo convertidor de potencia de la serie DPM de 30 kW de potencia, emplea CAN 2.0B para la comunicación con el controlador de la estación de carga. Los mensajes intercambiados pertenecen al protocolo *DPM serial communication protocol*, desarrollado por los mismos fabricantes.

Los mensajes se transfieren a partir del byte superior y luego el byte inferior a una tasa de 125 kbps.

#### Formato de mensajes

La estructura de los mensajes CAN gestionados por este convertidor se muestran en la tabla.

Carácter de inicio	Campo de arbitraje	Código de control	Campo de datos	Código de verificación	Marca final
1 bit	29 bits	6 bits	8 bytes	2 bits	7 bits

A partir de dicha trama, los campos usados por los usuarios son el campo de arbitraje y el campo de datos.

#### Campo de arbitraje

El campo de arbitraje se divide en los campos que muestra a continuación:



28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
001100000								PTP	DSTADDR														SRCADDR	CNT	1	1		

El valor de 001100000 indica que el mensaje se intercambia con otros módulos.

**PTP:** Bits peer-to-peer. Si el campo PTP=1, dentro de los bits del 11 al 18 se colocará la dirección de destino. Si el valor es PTP=0, no existe comunicación peer-to-peer. Si se desea transmitir a todos los nodos, PTP=0 y la dirección de destino es igual a 0xFF.

**DSTADDR:** Dirección de destino del monitor (0x00-0x07F).

**SRCADDR:** Dirección del módulo (0xF0-0xFE). En todos los tipos de comunicación, los bits del 3 al 10 se usan para indicar la dirección de la fuente de información del bus.

**CNT:** Identificador de datos subsecuentes. Indica los datos que contiene la siguiente trama y si la dirección de origen y el protocolo son los mismos. El valor CNT=0, se refiere a que la trama contiene la parte final de los datos.

Si el paquete solo necesita un frame, entonces CNT=0.

### Campo de datos

El campo de datos se descompone en los campos mostrados a continuación.

ERR	MSGTYPE	ErrType	Data Information
1 bit	7 bits	1 byte	6 bytes

**ERR:** Bit de error. Si el formato de los paquetes recibidos no corresponde al del protocolo.

**MSGTYPE:** Indica el tipo de información que proporcionan los paquetes. La Tabla 3. 11 muestra el tipo de información que admite el sistema.

MSGTYPE	Información
0x00	Establecimiento de datos de solicitud
0x01	Solicitud de bytes de datos
0x41	Respuesta a solicitud
0x03	Establecimiento de datos
0x43	Configuración de respuesta

Tabla 3. 11. Valores para el campo MSGTYPE [47].



**ErrType:** Tipo de error. Indica la razón de los errores de datos. La Tabla 3. 12 muestra los tipos de errores que el sistema puede presentar.

ErrType	Información
0xF0	No hay error
0xF1	Dirección de nodo invalida
0XF2	Comando invalido
0XF3	Falla en la verificación de datos
0XF4	En proceso de reconocimiento de direcciones

Tabla 3. 12. Valores del campo ErrType [47].

#### Campo *Data Information* para establecer solicitud de datos (0x00)

El campo *Data Information* en una trama para establecer solicitar datos está conformado por los campos mostrados a continuación:

VALUETYPE		VALUE				
2 bytes		4 bytes				
Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	
De acuerdo al byte	0x80	0x00	0x00	0x00	0x00	

#### Definición de Byte2

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Encender o apagar los módulos de configuración					Desconectar relé de entrada		
0: Encendido 1: Apagado	0	0	0	0	0: Cerrar 1: Desconectar	0	0



### Solicitud de bytes de datos (0x01)

El campo VALUETYPE puede tomar los valores de la Tabla 3. 13.

VALUETYPE	Significado	Formato
0x0001	Leer voltaje del módulo	Numero flotante de 4 bytes
0x0002	Leer valor real de la corriente del módulo	Numero flotante de 4 bytes
0x0021	Establecer voltaje del módulo	Numero flotante de 4 bytes

Tabla 3. 13. Valor del campo VALUETYPE.

#### 3.6.5.2 Módulo convertidor de potencia UR100030-SW

El módulo convertidor de potencia UR100030-SW de ArkTech mostrado en la Fig. 3. 62, se emplea especialmente en cargadores de vehículos eléctricos; cuenta con las ventajas de corrección de factor de alta potencia, brinda una eficiencia del 95% y proporciona una pequeña ocupación debido a sus dimensiones de 300 mm de alto, 84 mm de ancho y 437,5 mm de profundidad. Cuenta con funciones de protección y alarma contra sobretensiones y bajos voltajes de entrada, sobrecorriente, sobrecalentamiento, protección contra cortocircuito. También dispone de un circuito de protección con corriente inversa y un circuito de descarga en el interior. Posee puertos de comunicación CAN y RS-485, con la capacidad de conectarse, hasta con 60 módulos en paralelo.



Fig. 3. 62. Módulo convertidor de potencia UR100030-SW [52].

A la entrada, permite una tensión de línea de 400 V AC con una variación de  $\pm 20\%$ , a una frecuencia de 50 Hz con una variación de  $+10/-5$  Hz.

La corriente máxima de entrada que puede soportar es de hasta 46 A.

Posee dos modos de salida: modo de alto voltaje y modo de bajo voltaje.

### Modo de alto voltaje

En el modo de alto voltaje, permite salidas de tensión de 1000 V DC, con una corriente máxima de 30 A; salidas de 750 V DC con una corriente máxima de 40 A. La Fig. 3. 63 muestra la curva de la salida de corriente vs la salida de tensión del módulo cuando opera en modo de alto voltaje.

### Modo de bajo voltaje

En el modo de bajo voltaje, la salida de tensión puede tomar el valor de 150 V DC, con una corriente de 100 A; una salida de 300 V DC con corrientes de hasta 100 A y salidas de 500 V DC con una máxima corriente de 60 A. La Fig. 3. 64 muestra la curva de salida de corriente vs la salida de tensión, cuando el módulo convertidor funciona en modo de bajo voltaje.

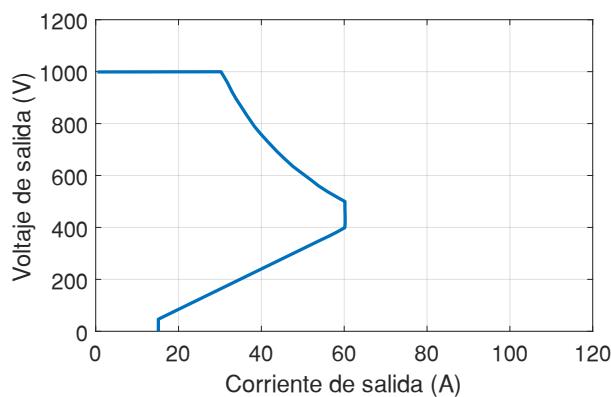


Fig. 3. 63. Curva de corriente de salida vs tensión de salida en el modo de alto voltaje.

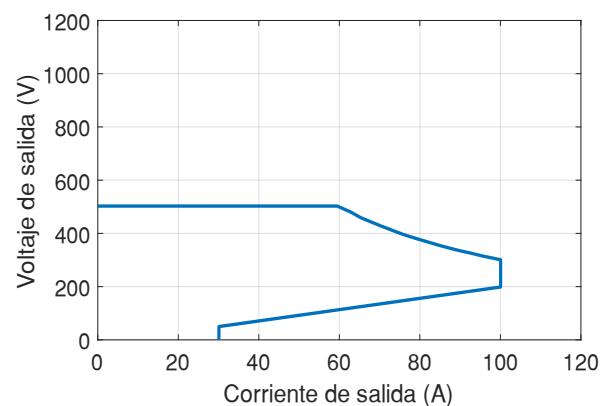


Fig. 3. 64. Curva de corriente de salida vs tensión de salida en el modo de bajo voltaje.

### 3.6.5.2.3 Comunicación del módulo UR100030-SW con el módulo controlador

El módulo de potencia UR100030-SW, cuenta con un puerto CAN por medio del cual se intercambian mensajes de comunicación con el controlador carga.



### Formato de mensajes

De acuerdo al formato CAN extendido, una trama está conformada por un campo de identificación de 29 Bits y el campo de datos de 8 Bytes.

Campo de identificación	Campo de datos
29 bits	8 bytes

#### Campo de identificación

La estructura del campo de identificación se muestra a continuación:

28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Protocolo				Dirección del monitor				Dirección del Módulo							Fecha de producción				Parte inferior del número de serie									

**Protocolo (4 bits):** Número de tipo de protocolo (0x01). Indica el número de protocolo de comunicación entre el módulo de potencia y el módulo de monitorización.

**Dirección del monitor (4 bits):** Indica la dirección de la unidad de monitorización. Las direcciones van desde 0x01 hasta 0x0F y 0x01 es la dirección por defecto. La dirección 0x00 se emplea para la transmisión a todas las unidades de monitorización.

**Dirección del módulo rectificador (7 bits):** Indica la dirección del módulo rectificador. La dirección se encuentra en el rango de 0x01-0x0F. La dirección 0x00 se utiliza para difusión a todos los módulos de potencia.

**Fecha de producción (5bits):** Es la fecha de producción del módulo de potencia. Es opcional y su valor puede establecerse en 0.

**Parte inferior del número de serie (9 bits):** Es la parte inferior del número de serie del producto. Es opcional y se puede llenar con 0.

#### Campo de datos

Byte 0		Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Dirección de grupo		Tipo de mensaje	Tipo de Comando	Reservado		Datos de comando		



## Byte 0

El byte 0 se divide en dos campos. Los 4 bits más significativos representan la dirección de grupo y los 4 bits menos significados corresponden al tipo de mensaje.

**Dirección de grupo:** El rango de direcciones de grupo es de 0x01-0x09 y 0x00 para transmitir a todos los grupos.

**Tipo de mensaje:** Los cuatro tipos de mensaje se muestran en la Tabla 3. 14.

Tipo de mensaje	Descripción
0x00	Establecer datos
0x01	Establecer datos de respuesta
0x02	Leer datos
0x03	Leer datos de respuesta

Tabla 3. 14. Tipos de mensaje [53].

## Byte 1

Algunos de los tipos de comando empleados en este cambo se muestra en la Tabla 3. 15.

Tipo de comando	Descripción	Lectura/Escritura de datos
0	Voltaje de salida del módulo	Lectura
1	Corriente de salida del módulo	Lectura
2	Voltaje de referencia de salida del módulo	Lectura/Escritura

Tabla 3. 15. Tipos de comando [53].

## Bytes 2 y 3

Estos bytes son reservados para futuros usos, por lo que deben ser completados con 0.

## Bytes 4 a 7

Los bytes del 4 al 7 se denominan datos de comando y su valor depende del tipo de comando establecido en el byte 1. Por ejemplo, si el campo del tipo de comando toma un valor de 0, y el voltaje de salida es igual a 412,547 V, el dato de comando se ocupará con el entero 412547.



## Capítulo 4: Estudio de prefactibilidad de diseño y construcción de una estación de carga rápida multiconector

En este capítulo se realiza un estudio de prefactibilidad de diseño y construcción de una estación de carga rápida multiconector. En él se lleva a cabo un estudio de mercado, examinando la situación de la circulación de los vehículos eléctricos en el país, así como la de los puntos de carga y electrolineras instaladas a los que el público en general tiene acceso. En el estudio técnico se define la localización y el tamaño de la planta, el proceso de producción, los materiales y las herramientas que se planea utilizar en el desarrollo del proyecto. El impacto social analiza la reacción de la población ante el presente proyecto y los beneficios que podría traer a largo plazo. Finalmente, el impacto ambiental establece el nivel de los distintos tipos de contaminación, producto del trabajo en la planta, que pueda afectar la calidad de vida de las personas que habitan el sector.

### 4.1 Perfil del proyecto

La idea principal del proyecto es el diseño y construcción de una estación de carga rápida de vehículos eléctricos multiconector. Actualmente, en el país no existen industrias de tecnología dedicadas a la construcción de estaciones de carga para vehículos eléctricos. Por lo que la adquisición de los cargadores debe efectuarse por medio de compañías extranjeras, lo que implicaría costos adicionales debido a la importación y al ensamblaje en fábricas exteriores. Estos altos precios dificultan la adquisición de los equipos, debido a que, no existen muchas empresas dispuestas a realizar una inversión de este tipo. De esta forma, se produce una escasez de puntos de abastecimiento, provocando un impacto negativo en la confianza de los usuarios, dificultando la integración de la electromovilidad en el país, pues no consideran viable la compra de un VE, si no cuentan con lugares adecuados donde recargar la energía necesaria para que funcione su vehículo.

## 4.2 Estudio de mercado

### 4.2.1 Estudio del sector

El estudio del sector se enfoca en el análisis de la situación, tanto de la concurrencia de los vehículos eléctricos, así como la de las estaciones de carga y electrolineras en el país, a través de datos estadísticos publicados.

#### 4.2.1.1 Mercado de vehículos eléctricos en el Ecuador

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), en el Ecuador, las marcas que registran importaciones de vehículos eléctricos son: Dayang, Kia, BYD, Renault y BMW. La AEADE también manifiesta que las ventas de los vehículos eléctricos dentro del país iniciaron en el año 2016. La Fig. 4. 1 muestra la cantidad de vehículos eléctricos vendidos en el país a partir de dicho año, hasta el 2020, habiendo un total de 545 vehículos eléctricos vendidos registrados en el país.

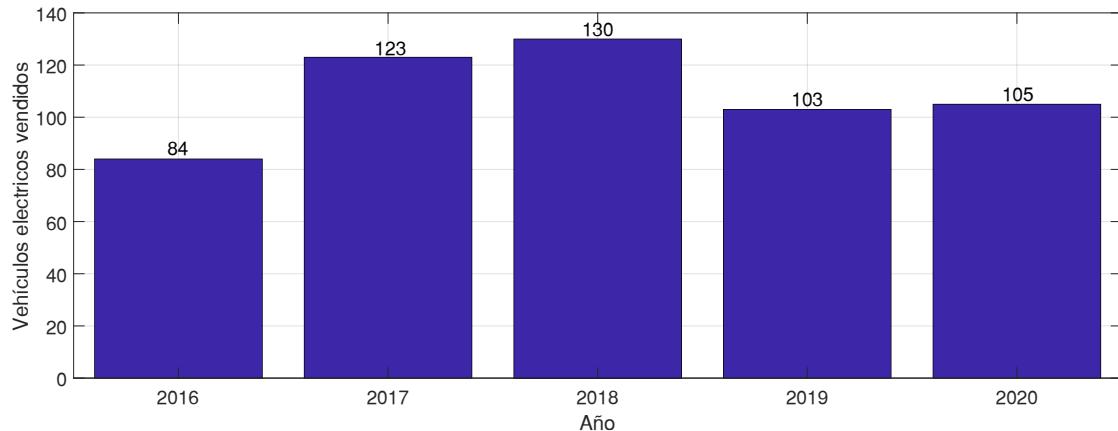


Fig. 4. 1. Ventas de vehículos eléctricos por año en Ecuador.

#### 4.2.1.2 Estaciones de carga de vehículos eléctricos

De acuerdo a la AEADE, en el país existen un total de 32 estaciones de carga instaladas y abiertas al público. Estas estaciones de carga se encuentran distribuidas en seis ciudades: Quito, Guayaquil, Cuenca, Puerto Ayora, Puerto Baquerizo y Loja. Siendo Quito y Guayaquil las ciudades con mayor número de estaciones de carga en todo el país.

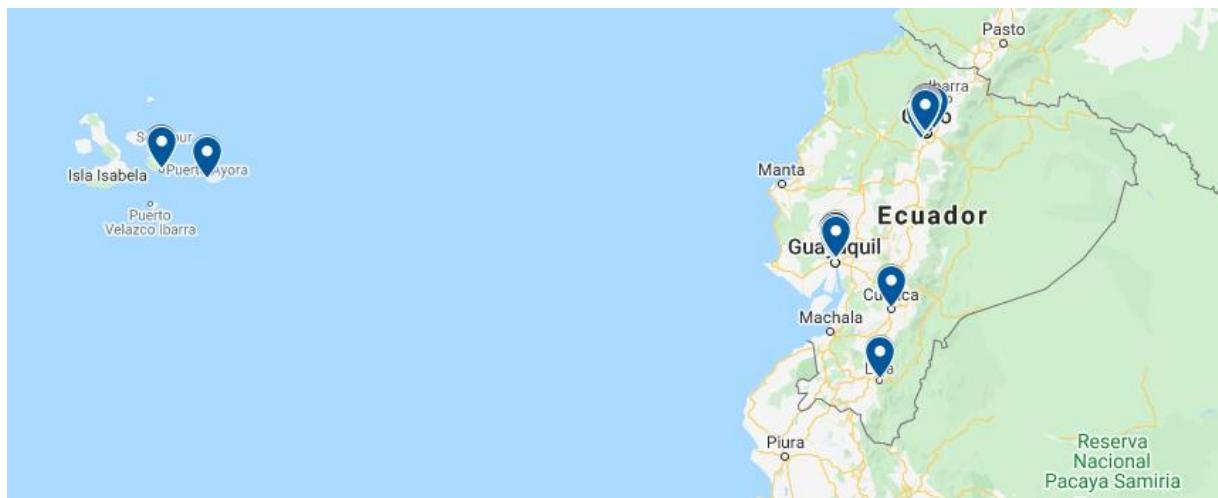


Fig. 4. 2. Mapa de distribución de estaciones de carga en Ecuador [54].

Los estándares que las estaciones manejan son: SAE J1772, MENNEKES y GB/T, lo que implica que la corriente de salida que proveen a la batería del vehículo es de tipo de AC, es decir generalmente carga lenta, excepto para el caso del conector Mennekes de 43kw. En la Tabla 4. 1 se presentan las ciudades en las que se han instalado las estaciones de carga, junto con el número de estaciones de cada uno de los estándares antes mencionados.

Ciudad	Provincia	SAE J1772 (7,2 kW)	MENNEKES (40/80 kW)	GB/T (40 kW)
Quito	Pichincha	19	1	0
Guayaquil	Guayas	5	2	0
Cuenca	Azuay	1	0	0
Puerto Ayora	Galápagos	2	0	0
Puerto Baquerizo	Galápagos	1	0	0
Loja	Loja	0	0	1

Tabla 4. 1. Tipos y número de estaciones de carga distribuidas en el país [54].

La mayoría de estaciones de carga corresponden al estándar SAE J1772 con una potencia máxima de 7,2 kW. La estación que mayor potencia es capaz de suministrar, es la que se encuentra ubicada en el Parque Samanes de Guayaquil, que utiliza el estándar IEC 62196 tipo 2 o MENNEKES y proporciona hasta 80 kW de potencia.

No hay estaciones de carga rápida que incluyan los estándares en DC (CCS, CHAdeMO, GB/T 20234) que estén abiertas al público.



#### 4.2.2 Demanda y Consumidor

Actualmente, en el país circulan aproximadamente 545 vehículos eléctricos. La demanda está directamente relacionada con la cantidad de vehículos eléctricos que circulan en el país, pues, a mayor número de vehículos eléctricos activos, más estaciones de carga son necesarias.

Los usuarios finales son aquellos conductores que utilizan vehículos eléctricos, sin embargo, debido a las altas potencias que se requiere para que la carga rápida funcione y a los altos costos de los materiales y componentes, no es viable colocar un cargador de este tipo en las viviendas. De este modo, las estaciones de carga rápida deben instalarse en lugares donde varios vehículos puedan permanecer por unos varios minutos sin problema. Estas zonas pueden ser parques, parqueaderos de centros comerciales o cualquier área pública donde sea posible estacionar un vehículo.

Por lo tanto, los clientes objetivo, a quienes va dirigido el presente proyecto, son los encargados o propietarios del uso de los espacios, entre quienes están entidades públicas como municipios o empresas privadas como concesionarias de automóviles o dueños de centros comerciales.

#### 4.2.3 Competencia y oferta en el mercado

Actualmente, dentro del país, no es posible adquirir una estación de carga rápida multiconector. El procedimiento para obtener estos equipos implica importaciones desde empresas ubicadas en países extranjeros. Algunas de estas empresas son: ABB, Circutor, PNE, Kreisel Electric, OKAYA, EVgo, Ark Tech, entre otros.

Algunas instituciones de educación superior en el país han aportado con el estudios, construcción e instalación de estaciones de carga en corriente alterna. En Cuenca, la construcción y la instalación de la estación de carga ubicada en el parque de la Madre, fue obra de estudiantes de la Universidad Estatal de Cuenca y de la Universidad Católica de Cuenca.

En el año 2020, la Universidad Estatal de Cuenca presentó a la empresa BYD una estación de carga en AC con una potencia de 43 kW, elaborada por los investigadores de la facultad de ingeniería.

Por otra parte, el desarrollo de varias electrolineras ha contado con la intervención de municipios en convenios con empresas automotrices privadas. La electrolinera ubicada en el parque Samanes en Guayaquil, considerada la segunda electrolinera más grande de Sudamérica, fue entregada por la empresa privada BYD en el año 2019, en convenio con el gobierno central, el municipio de Guayaquil, el gremio de transportistas y la banca pública.



#### 4.3 Estudio Técnico

##### 4.3.1 Diseño del producto

El diseño de las estaciones de carga sigue las especificaciones y diagramas establecidos en la sección 3.3.3 y 4.

##### 4.3.2 Características del producto

Las características físicas de la estación de carga y los estándares admitidos son los siguientes.:

**Forma:** rectangular, con cuatro puertas

**Dimensiones:** 180 cm de alto, 70 cm largo y 73 cm de profundidad

**Potencia máxima:** 120 kW

**Estándares:** CCS2 y CHAdeMO

##### 4.3.3 Localización

Todo proyecto requiere de un espacio con condiciones de trabajo aceptables y que cuente con los recursos necesarios, de tal forma que la producción del artículo o conjunto de artículos no se vea retrasada o en el peor de los casos, cancelada debido a la carencia de un lugar que cumpla con las demandas, ya sea de los trabajadores o del producto en sí mismo.

Por ello, la planta del proyecto estará situada en el laboratorio microrred, ubicado en el campus Balzay de la Universidad de Cuenca. El laboratorio cuenta con los servicios básicos de infraestructura, internet y electricidad, indispensables para mantener el aseo del lugar y permitir el acceso a la información y la intercomunicación a toda hora.

Dispone del espacio suficiente para realizar el proceso de construcción y albergar el producto final, resguardándolo de condiciones climáticas, hurtos y acciones por parte de terceros que pudieran afectar la integridad de la estación.

Al ubicarse dentro de un campus universitario, es fácil para los interesados ingresar a las instalaciones y conocer la estación de carga y ser testigos de su funcionamiento.

El laboratorio posee la infraestructura eléctrica para generar energía mediante paneles solares y alimentar a la estación con un sistema trifásico, sin depender de la red de distribución del país, lo que evita el gasto de consumo eléctrico.



Además, es propietario de un vehículo eléctrico compatible con el estándar CHAdeMO, de modo que no sería necesario solicitar préstamos a empresas o personas externas, facilitando la ejecución de las pruebas de funcionamiento entre la estación y el vehículo en cualquier momento.

La Fig. 4. 3 muestra la vista satelital del laboratorio microrred en el campus Balzay de la Universidad de Cuenca y en la Fig. 4. 4 se presenta la vista exterior del laboratorio.



Fig. 4. 3. Vista satelital del laboratorio microrred.



Fig. 4. 4. Exterior del laboratorio microrred.



#### 4.3.4 Tamaño

El tamaño del proyecto debe responder a la demanda, es decir, a la cantidad de vehículos eléctricos que circulen en el país. A mayor número de vehículos, mayores puntos de recarga serán necesarios. Actualmente existen aproximadamente 545 vehículos eléctricos en circulación en el país, de modo que, por lo pronto, el tamaño del proyecto debe considerarse bajo.

Una vez completada la construcción del primer prototipo de la estación de carga junto con su correspondiente fase de pruebas, se podrá determinar el tiempo de producción de una unidad y de esa manera calcular la cantidad inicial de unidades que se producirán por año.

#### 4.3.5 Herramientas

Se refiere a los equipos, maquinaria e instrumentos con los cuales se ha de llevar a cabo el proceso de producción.

Para la construcción de la estación de carga, se requiere de herramientas que permitan interactuar, montar o conectar componentes eléctricos como: destornilladores, cuchillas, pinzas, cortafríos, etc.

A lo largo de la producción, será necesario realizar mediciones de variables de carácter eléctrico, por lo que se recomienda tener al alcance un multímetro y un osciloscopio con sondas adecuadas para trabajar con 120 kW de potencia. El osciloscopio, facilita la visualización de las formas de onda de las señales eléctricas, lo que es útil para comprobar el valor de la tensión que la estación suministra a la batería del vehículo, por ejemplo.

El multímetro permite obtener valores numéricos de factores como la tensión, corriente y resistencia. También puede emplearse para comprobar la continuidad eléctrica entre los componentes para constatar que estén adecuadamente conectados y que no exista contacto con elementos incorrectos.

#### 4.3.6 Proceso de producción

El proceso de producción sigue el flujo mostrado en la Fig. 4. 5.

Cada una de las fases del proceso de producción se describe a continuación.

**Instalación de componentes eléctricos:** Montaje de todos los elementos dentro de la carcasa de la estación. Esto incluye los dispositivos de protección, sensores, los módulos convertidores, el módulo controlador, componentes de suministro de potencia, etc.

**Instalación de componentes de disipación:** Ubicación de ventiladores y disipadores junto a los dispositivos que presenten riesgo de sobrecalentamiento como por ejemplo diodos de prevención de inversiones de corriente y los módulos de potencia.

**Cableado de los componentes:** Interconexión de los componentes mediante conductores eléctricos, ya sea para la circulación de corriente a través de los elementos de potencia para la transferencia de energía o la circulación de señales para comunicación y control.

**Configuración del módulo controlador:** Establecimiento de parámetros de carga, tales como la potencia máxima, los estándares de carga que va a incorporar, etc.

**Control de calidad:** Verificación de que cada componente haya sido debidamente instalado, las conexiones sean correctas y que cada elemento funcione correctamente.

**Test de funcionamiento:** Pruebas del funcionamiento del sistema de carga completamente ensamblado.

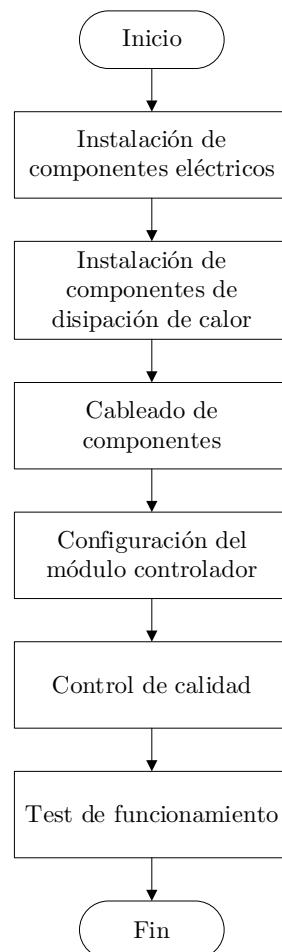


Fig. 4. 5. Diagrama de flujo del proceso de producción.



#### 4.4 Impacto social

Uno de los factores que dificultan la incorporación de los vehículos eléctricos en el país es la falta de infraestructura de carga. Los conductores no sienten la confianza para adquirir un VE, si no tienen acceso a los equipos que posibiliten la recarga de la batería del vehículo de forma rápida y segura.

Mostrar a los ciudadanos que se están construyendo estaciones de carga rápida dentro país, les brindará más seguridad, pues se disiparán varios de los temores y aversiones que les impiden obtener un VE.

Una de las inquietudes más persistentes se relaciona con el tiempo de recarga del vehículo, que anteriormente, podían tardar horas enteras en completar el 100% de carga de la batería.

Con las estaciones de carga rápida, el tiempo de carga se ve significativamente disminuido, permitiendo dejar al vehículo cargando, ya sea en un centro comercial o en algún otro punto de carga, mientras se llevan a cabo las diligencias cotidianas.

#### 4.5 Impacto Ambiental

Las actividades productivas para la construcción de las estaciones de carga tendrán un impacto mínimo sobre el medio ambiente, ya que no se emplea ni se desecha sustancias altamente contaminantes para el agua o para el aire.

La estación utiliza únicamente energía eléctrica para su funcionamiento, por lo que, hasta la fase de pruebas finales y demostraciones, se valdrá de la energía producida por paneles solares en el mismo laboratorio.

Se espera que en el grupo de desechos se encuentren pedazos de metal, secciones de cables o elementos electrónicos. Estos materiales sobrantes pueden ser resultado de dispositivos eléctricos averiados que no pudiesen ser reparados o pueden ser residuos del proceso de construcción en general. Todos estos desechos deben ser descartados o reciclados de manera adecuada.

En el proceso de producción no se utiliza maquinaria pesada, por lo que la contaminación auditiva y vibraciones se considerará nula.



#### 4.6 Análisis económico

A continuación, se presenta un análisis económico para determinar si es factible la construcción de una estación de carga multiconector para vehículos eléctricos, para lo cual se analiza el costo de cada uno de los componentes, resaltado que los módulos convertidores de potencia y el módulo controlador fueron cotizados directamente con las empresas fabricantes.

##### 4.6.1 Costo del módulo controlador y de los módulos convertidores de potencia

Se realizó la cotización con la empresa fabricantes VECTOR y Ark Tech. La empresa VECTOR, fabricantes del módulo controlador vSECC, brindan un precio especial cuando el controlador vSECC es adquirido con propósitos de investigación. La Fig. 4. 6 muestra el precio ofrecido en euros, cuyo valor aproximado en dólares es US\$891,37.

La empresa Ark Tech, fabricantes de los módulos convertidores de potencia, ofrecen el precio mostrado en la Fig. 4. 7 para una cantidad de hasta 10 unidades.

##### 4.6.2 Costo de materiales

En la Tabla 4. 2 se presentan los materiales que se emplearan para la construcción de la estación de carga. En ella se incluyen los precios de los módulos controlador y convertidores de potencia y el costo total, considerando un 20 % para el costo de importación.



## Quote

Vector Informatik GmbH - Ingenheimer Str.24 - D-70499 Stuttgart  
Universidad de Cuenca  
Av. 12 de Abril y Agustín Cueva  
Ciudadela Universitaria  
01203 Cuenca  
Ecuador

Document no.: **20164101**  
Date: 2020-11-24  
Customer no.: 57870  
Vector contact: Mr. Daniel Yamamoto  
Phone: +55 11 5180 -4553

Contact person: Mr. Sebastian Rea  
E-Mail: sebastian.rea2406@ucuenca.edu.ec  
Location: Cuenca  
Terms of payment: Payment in advance  
Delivery condition: EXW Stuttgart  
Shipping condition: See Footer  
Delivery date: Approximately 4 weeks after receipt of order if not specified in item line.

Dear Mr. Rea,

Thank you for your request. Please find below our quotation:

Please send your order to [orders@vector.com](mailto:orders@vector.com) and refer to our quotation number.

No.	Part No.	Description	Quantity	Price/EUR	Total/EUR
1000	49057	vSECC Evaluation Sample	1 PCS	599,00	599,00
"vSECC Basic Hardware. Hardware for delivery with vSECC. Sample only for customer evaluation in development projects. The technical details are described in the document ""Technical Fact Sheet vSECC# at <a href="http://www.vector.com/vsecc">www.vector.com/vsecc</a> . Our ""Terms and Conditions for the Delivery of Electronic Control Units for Evaluation and Development Purposes"" at <a href="http://www.vector.com/terms">www.vector.com/terms</a> apply.					
2000	98914	vSECC CHAdE MO Port	1 PCS	151,00	151,00
		vSECC Option CHAdE MO Port. Embedded Software for delivery with vSECC. An additional interface DC charging according to standard CHAdE MO 1.1. HS-Code: 8523 49			
<b>Net total items</b>					<b>750,00 EUR</b>

Shipping condition AIRFREIGHT for No.: 1000  
Shipping condition Electronical delivery/Services for No.: 2000

Page 1 / 2

Phone: +49 711/80670-0  
Fax: +49 711/80670-111  
Trade register Stuttgart HRB 17317  
Vector Informatik GmbH is certified according to ISO 9001:2015

BW Bank BIC: SOLADES1000  
IBAN: DE20 6005 0101 00022245 85  
Deutsche Bank Stuttgart BIC: DEUTDESSXXX  
IBAN: DE87 6007 0570 01614080 00

Managing directors:  
Dr. Thomas Beck, Thomas Regraf

Fig. 4. 6. Costo del módulo controlador vSECC.

**ARK Nanjing Ark Tech Co., Ltd.**

Lishui Economic Development Zone, Nanjing, Jiangsu Province, P.R.C 211200

Ambitious Revolution Through Key Tech For Clean World

W: [www.cnarktech.com](http://www.cnarktech.com)E: [info@cnarktech.com](mailto:info@cnarktech.com)

T: +86-025-56601542

F: +86-025-56601542

Offer To  
University of Cuenca  
Address  
Ecuador

Attn: Sebastian Rea

Issued by  
**Nanjing Ark Tech Co., Ltd.**

Address

Lishui Economic Development Zone, Nanjing 211200  
Jiangsu Province, China

Attn: Foyle Pang Tel: +8602556601542

**Quotation  
Proforma**List No.: AQT-201104  
List Date: 2020/11/20  
PO Ref No.:

Item	Product Description	Part Number	Qty	Unit	Unit Price	Amount		
1	EV charging module, 30kW, 150-1000V, constant output CE certificate	UR100030-SW	1-10	Piece	US\$1,450.00			
					<b>Total:</b>	<b>pieces</b>		
					<b>Say US Dollars</b>			
<b>Terms:</b>								
1. Terms of Payment: 50% down payment in advance, balance upon shipment.			2. Terms of Delivery: FOB China.					
3. Lead time: 15 days counted from the date down payment receipt.			4. Country of Origin: China.					
5. Validity: 30 days counted from the date of this quotation issued.			6. Packing: Carton.					
7. Warranty: Two years counted from the date of delivery.								
<b>Quotation to be confirmed by all parties involved.</b>		Bank:	AGRICULTURAL BANK OF CHINA, JIANGSU BRANCH					
		Swift Code:	ABOCCNBJ100					
		Account No.:	10127014040003104					
<b>Confidential, don't distribute.</b>		Account Name:	Nanjing Ark Tech Co., Ltd.					
		Currency:	USD					
					<b>Issued by Nanjing Ark Tech Co., Ltd.</b>			
					<b>Registration No.: 91320117MA1W52QY44</b>			

Fig. 4. 7. Costo de los módulos convertidores de potencia.



Componente	Precio por unidad	Cantidad	Total
Transformador de aislamiento	\$5000	1	\$5000
Medidor digital de energía	\$36	1	\$36
Interruptor termomagnético	\$36,36	1	\$36,36
Dispositivos de protección contra sobretensiones	\$18	1	\$18
Fusibles	\$166	4	\$664
Contactor trifásico	\$263,08	1	\$263,08
Sensor de corriente (AC)	\$6,2	3	\$18,6
Sensor de corriente (DC)	\$6,2	1	\$6,2
Fusible de acción rápida	\$47,23	1	\$47,23
Contactor DC	\$120	4	\$480
Conector CHAdeMO y cable	\$680	1	\$680
Conector CCS2 y cable	\$402	1	\$402
Cable 4/0	\$1,82	2	\$3,64
Cable 6	\$0,27	2	\$0,54
Cable 1/0	\$0,97	2	\$1,94
Cable 800	\$8,53	2	\$17,06
Lector RFID	\$82	1	\$82
Raspberry Pi + panel	\$696	1	\$696
Botón de emergencia	\$1,29	1	\$1,29
Ventiladores	\$2,7	10	\$27
Fuentes de tensión	\$7,21	2	\$14,42
Carcasa metálica	\$800	1	\$800
Módulo convertidor de potencia de 30 kW	\$1450	4	\$5800
Módulo controlador	\$891,37	1	\$891,37
	Suma		\$15986,73
	Impuestos de importación		20%
	Total		\$19184,076

Tabla 4. 2. Costos totales.



#### 4.6.3 Análisis VAN y TIR

Los indicadores VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) se emplean para determinar la rentabilidad de un proyecto.

El valor actual neto esta dado por la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

$I_0$ : representa la inversión inicial.

$F_t$ : son los flujos de caja de cada periodo.

$n$ : es el numero de periodos de tiempo.

$k$ : es la tasa de interés.

El valor resultante del VAN sirva para tomar decisiones sobre si invertir o no en un proyecto de acuerdo a:

$VAN > 0$ : El proyecto generará beneficios.

$VAN = 0$ : El proyecto no generará ni beneficios ni perdidas.

$VAN < 0$ : El proyecto generará perdidas.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Se define como el valor de la tasa de interés cuando el valor del VAN es igual a cero como muestra la siguiente expresión:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t}$$



El valor resultante TIR se compara con la tasa de interés  $k$  elegida para el cálculo del VAN, por lo que:

$TIR > k$ : El proyecto generará beneficios.

$TIR = k$ : El proyecto no generará ni beneficios ni perdidas.

$TIR < k$ : El proyecto generará perdidas.

#### 4.6.3.1 Análisis de rentabilidad

La puesta en operación de la estación previamente diseñada considera varios escenarios para determinar su rentabilidad.

La inversión inicial se determina mediante la obtención del costo de fabricación de una estación de carga junto con el costo de adecuaciones, como, por ejemplo, la ubicación de un transformador, instalación de cables, etc. La Tabla 4. 3 muestra el valor considerado para la inversión inicial.

<b>Costo de fabricación de la estación de carga</b>	\$19184,076
<b>Costo de adecuaciones</b>	\$10000
<b>Inversión inicial</b>	\$29184,076

Tabla 4. 3. Inversión inicial.

Para determinar el VAN y TIR se plantean tres escenarios donde se analiza el impacto del cambio de la cantidad de horas que una estación de carga se encuentra suministrando energía.

La Tabla 4. 4 las condiciones generales, con las cuales se determinará los egresos e ingresos anuales para los proveedores del servicio.

<b>Tiempo de carga por vehículo</b>	30 minutos
<b>Intervalo de recarga</b>	5 días
<b>Costo del kWh</b>	\$0,09
<b>Cobro por kWh</b>	\$0,15
<b>kWh consumidos</b>	50
<b>Tasa de interés</b>	10,21%

Tabla 4. 4. Condiciones generales.



### Escenario 1

Al considerar un numero de 20 vehículos que circulan por la ciudad, producen 730 horas de carga, por lo que el costo de energía anual para los proveedores es de \$3285, como muestra la Tabla 4. 5.

<b>Número de vehículos</b>	20
<b>Horas de carga anuales</b>	730
<b>Costo de energía anual</b>	\$3285

Tabla 4. 5. Condiciones del escenario 1.

La Tabla 4. 6 muestra los valores VAN resultantes, dando a entender que se requieren de mas de 10 años para que este valor se torne positivo.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VAN	-27196,9	-25393,9	-23757,9	-22273,5	-20926,5	-19704,4	-18595,5	-17589,3	-16676,4	-15848,01

Tabla 4. 6. Valores VAN del escenario 1.

El valor TIR de la Tabla 4. 7 confirma el hecho de que este escenario no resulta rentable la operación de la estación de carga.

<b>TIR</b>	-5%
------------	-----

Tabla 4. 7. Valor TIR del escenario 1.

### Escenario 2

El escenario 2 toma en consideración las cifras de vehículos, las horas de carga y el costo anual de energía mostrados en la Tabla 4. 8.

<b>Número de vehículos</b>	50
<b>Horas de carga anuales</b>	1825
<b>Costo de energía anual</b>	\$8212,5

Tabla 4. 8. Condiciones del escenario 2.

La Tabla 4. 9 muestra que los valores VAN resultantes tienen valores negativos hasta el noveno año.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VAN	-24216,2	-19708,7	-15618,7	-11907,6	-8540,3	-5485,05	-2712,77	-197,32	2085,09

Tabla 4. 9. Valores VAN del escenario 2.



El valor TIR mostrado en la Tabla 4. 10 demuestra que el escenario 2 tampoco se puede considerar rentable.

<b>TIR</b>	-2%
------------	-----

Tabla 4. 10. Valor TIR del escenario 2.

### Escenario 3

El escenario 3 considera los valores de la Tabla 4. 11 para el cálculo del VAN y TIR.

<b>Número de vehículos</b>	100
<b>Horas de carga anuales</b>	3650
<b>Costo de energía anual</b>	\$16425

Tabla 4. 11. Condiciones del escenario 3.

La Tabla 4. 12 muestra que el VAN se torna positivo a partir del cuarto año.

<b>Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>VAN</b>	-19248,4985	-10233,366	-2053,40724	5368,7493

Tabla 4. 12. Valores VAN del escenario 3.

El valor TIR de la Tabla 4. 13 resulta ser mayor al de la tasa de interés, por lo que el proyecto puede considerarse rentable en este escenario.

<b>TIR</b>	18%
------------	-----

Tabla 4. 13. Valor TIR del escenario 3.



## Capítulo 5: Conclusiones y trabajos futuros

### 5.1 Conclusiones

La carga rápida emplea el método de dos etapas; siendo los módulos de potencia los que inyectan una corriente constante hasta que la tensión de la batería haya alcanzado generalmente el 80% del estado de carga, para luego disminuir la corriente y mantener la tensión constante.

Mientras mayor sea la corriente de carga, más rápido se alcanzará el 80 % del SOC de la batería.

Una estación de carga en DC, está conformada típicamente por elementos de protección, módulos convertidores de potencia y el módulo controlador de comunicación. Siendo los módulos convertidores de potencia quienes transforman la corriente alterna en continua y suministran este tipo de energía a la batería del vehículo; el módulo controlador es quien gestiona el proceso de carga a través de comunicación digital, intercambiando mensajes con el vehículo y con los módulos convertidores de potencia.

La potencia total de la estación de carga depende de la potencia de los módulos convertidores que contenga. Por ejemplo, una estación de 120 kW debe contener 4 convertidores paralelizados de 30 kW de potencia cada uno.

En el estudio realizado, se observa que, los equipos en el mercado, emplean los protocolos CAN, PROFINET y RS-485 para la comunicación entre el módulo controlador y los módulos convertidores de potencia.

El módulo controlador vSECC estudiado se comunica con los módulos de potencia mediante Ethernet con su protocolo propietario PEP (*Power Electronis Protocol*) o con sus puertos CAN.

Este controlador, permite emplear dos conectores en paralelo: por defecto uno debe ser CCS tipo 1 o tipo 2 y el otro puede ser un conector CHAdeMO o un segundo conector CCS tipo 1 o tipo 2.

Una estación cliente OCPP requiere de la URI del servidor para establecer la conexión, por lo tanto, cualquier estación de cualquier fabricante puede conectarse al CSMS.

La conexión con un servidor OCPP habilita las funciones de carga inteligente para cargar dos vehículos al mismo tiempo, enviando mensajes a la estación para limitar la corriente en cada uno de los conectores.

Los elementos de carga estudiados de SIEMENS emplean el protocolo PROFINET a través de Ethernet, por lo cual no es posible añadir elementos que no utilicen este protocolo.



Los módulos de CCS y Gateway PN/CAN del controlador SIEMENS pueden añadirse conforme a la necesidad, lo que implica que es posible gestionar más puntos de carga con una sola estación en comparación con el controlador vSECC.

Los módulos convertidores de potencia UR100030-SW estudiados pueden conectarse a los buses de comunicación en paralelo hasta con otros 59 módulos a través de sus puertos RS-485 o CAN.

Este módulo de potencia puede operar en dos modos: modo de alto voltaje y modo de bajo voltaje. En modo de alto voltaje puede tomar tensiones máximas de salida de hasta 1000 V a una corriente de 30 A y corrientes máximas de salida de 60 A a tensiones de entre 400 y 500 V. En modo de bajo voltaje puede tomar una tensión máxima de salida de 400 V a una corriente de hasta 60 A y una corriente de salida máxima de 100 A a un voltaje de entre 200 y 300 V. Por lo que el modo de bajo voltaje lo hace la mejor opción para la carga de baterías cuyo rango de tensión varíe de entre 300 y 400 V.

Si bien los módulos convertidores de potencia emplean protocolos estandarizados, el contenido de los campos de datos de sus mensajes depende del fabricante.

Los protocolos CAN y RS-485 son similares en lo que respecta a señalización, ya que ambos emplean señales diferenciales.

RS-485 es un estándar que especifica la capa física, mientras CAN es un protocolo más desarrollado, que incluye bits de prioridad, control de colisiones, CRC checksum, etc.

De acuerdo a los valores VAN obtenidos, para que la operación de la estación de carga diseñada sea rentable, este debe operar, por lo menos, durante 10 horas cada día, suministrado una potencia de mínimo 50 kW.

## 5.2 Trabajos futuros

La implementación física de una estación de carga rápida multiconector en la ciudad de Cuenca, para comenzar con el proceso de integración de la electromovilidad y brindar a los ciudadanos la confianza de adquirir un vehículo eléctrico.

En caso de que los módulos convertidores y el módulo controlador hayan sido adquiridos de distintos fabricantes, es necesaria la implementación de una interfaz capaz de comprender los mensajes que cada uno de ellos envía, para posteriormente, reenviarlo a su destino.



## Bibliografía

- [1] H. Das, M. Rahman, S. Li, and C. Tan, “Electric vehicle standards, charging infrastructure and impact on grid integration: A technological review,” 2019.
- [2] D. Hall and N. Lutsey, “Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure,” 2017.
- [3] B. Junquera, B. Moreno, and R. Álvarez, “Analyzing consumer attitudes towards electric vehicle purchasing intentions in Spain: Technological limitations and vehicle confidence,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 109, pp. 6–14, 2016.
- [4] R. J. Flores, B. P. Shaffer, and J. Brouwer, “Electricity costs for a Level 3 electric vehicle fueling station integrated with a building,” *Appl. Energy*, vol. 191, pp. 367–384, 2017.
- [5] Y. Song, X. Yang, and Z. Lu, “Integration of plug-in hybrid and electric vehicles: Experience from China,” *IEEE PES Gen. Meet. PES 2010*, pp. 1–6, 2010.
- [6] E. Figenbaum, T. Assum, and M. Kolbenstvedt, “Electromobility in Norway: Experiences and Opportunities,” *Res. Transp. Econ.*, vol. 50, pp. 29–38, 2015.
- [7] M. Nicholas and D. Hall, “Lessons Learned on Early Fast Electric Vehicle Charging Systems,” *White Pap. - Int. Counc. Clean Transp.*, no. July, 2018.
- [8] M. Longo *et al.*, “Recharge stations: A review,” *2016 11th Int. Conf. Ecol. Veh. Renew. Energies, EVER 2016*, 2016.
- [9] “Charging Modes,” *Deltrix*. [Online]. Available: <https://deltrixchargers.com/about-emobility/charging-modes/>. [Accessed: 04-Jan-2021].
- [10] “Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos Parte 1: Requisitos generales (IEC 61851-1).” 2020.
- [11] M. C. Falvo, D. Sbordone, I. S. Bayram, and M. Devetsikiotis, “EV charging stations and modes: International standards,” *2014 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion, SPEEDAM 2014*, pp. 1134–1139, 2014.
- [12] P. Paulraj, “CHARGING BASICS 102: Electric Vehicle Charging Levels, Modes and Types Explained | North America Vs. Europe Charging cables and plug types,” *E-Mobility Simplified*, 2019. [Online]. Available: <https://www.emobilitysimplified.com/2019/10/ev-charging-levels-modes-types-explained.html>. [Accessed: 04-Jan-2021].
- [13] “SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler (SAE J1772).” 2010.
- [14] E. Gómez, “Que es PWM y para que sirve,” 2017. [Online]. Available: <https://www.rinconingenieril.es/que-es-pwm-y-para-que-sirve/>. [Accessed: 14-Dec-2020].



- [15] M. Yamauchi, “Tesla charging: The complete guide to charging at home, in public and autonomously,” *Plugless*. [Online]. Available: <https://www.pluglesspower.com/learn/tesla-model-s-charging-home-public-autonomously/>. [Accessed: 13-Dec-2020].
- [16] CCS, “Design Guide for Combined Charging System,” 2015.
- [17] E. Simatic, “E-Charging con SIMATIC,” 2019.
- [18] B. Gaton, “What is CCS charging?,” *The Driven*, 2018. [Online]. Available: <https://thedriver.io/2018/12/10/what-is-ccs-charging/>. [Accessed: 21-Dec-2020].
- [19] “Welcome to 2009, SAE Officially Approves New Fast-Charging Combo: Coupler Standard (SAE J1772) for Plug-In EVs,” *InsideEVs*, 2012. [Online]. Available: <https://insideevs.com/news/316874/welcome-to-2009-sae-officially-approves-new-fast-charging-combo-coupler-standard-sae-j1772-for-plug/>. [Accessed: 30-Dec-2020].
- [20] “EVSE-casquillos de carga macho para coche eléctrico, Combo 2, CCS tipo 2, enchufe IEC 2011-3, DC150A 62196 V AC 63A 850V,” *AliExpress*. [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/32961870830.html>. [Accessed: 30-Dec-2020].
- [21] T. Blech, “CHAdeMO DC charging standard: evolution strategy and new challenges,” no. April, 2019.
- [22] “Sistema conductor de carga para vehículos eléctricos Parte 23: Estación de carga en corriente continua para vehículos eléctricos (IEC 61851-23).” 2015.
- [23] B. Jar, N. Watson, and A. Miller, “Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger,” in *EEA Conference & Exhibition*, 2016, no. August, pp. 1–17.
- [24] “Supercharger Superguide,” *TeslaTap*, 2020. [Online]. Available: <https://teslatap.com/articles/supercharger-superguide/>. [Accessed: 04-Jan-2021].
- [25] “Understanding OCPP and its significance to EV charging,” *EVreporter*, 2020. [Online]. Available: <https://evreporter.com/ocpp-and-ev-charging/>. [Accessed: 08-Feb-2021].
- [26] “Open Charge Point Protocol 1.5,” *Open Charge Alliance*. [Online]. Available: <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-15/>. [Accessed: 09-Feb-2021].
- [27] H. A. Serhan and E. M. Ahmed, “Effect of the different charging techniques on battery life-time: Review,” *Proc. 2018 Int. Conf. Innov. Trends Comput. Eng. ITCE 2018*, vol. 2018-March, pp. 421–426, 2018.
- [28] E. Banguero, A. Correcher, Á. Pérez-Navarro, F. Morant, and A. Aristizabal, “A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems,” *Energies*, vol. 11, no. 4, pp. 1–15, 2018.
- [29] R. Alvarado, “Interruptores termomagnéticos para uso domiciliario,” *ELECTROINDUSTRIA*, 2011. [Online]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1741>. [Accessed: 05-Jan-2021].
- [30] E. Nieto, “Protección contra sobretensiones transitorias y permanentes,” *fidestec*, 2016.



- [Online]. Available: <https://fidestec.com/blog/proteccion-contra-sobretensiones-transitorias-y-permanentes/>. [Accessed: 05-Jan-2021].
- [31] “Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos Parte 24: Comunicación digital entre una estación de carga en corriente continua para vehículos eléctricos y un vehículo eléctrico, para el control de la carga en corriente continua (IEC 61851-24).” 2015.
- [32] “Charging Interface Initiative e . V . A harmonized connector approach per geographical region facilitates EV market uptake,” pp. 1–2.
- [33] “How to Find the Proper Size of Circuit Breaker? Breaker Calculator & Examples,” *Electrical Technology*. [Online]. Available: <https://www.electricaltechnology.org/2020/02/calculate-circuit-breaker-size.html>. [Accessed: 13-Jan-2021].
- [34] “Characterization of the lightning wave,” *Electrical Installation*. [Online]. Available: [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Characterization\\_of\\_the\\_lightning\\_wave](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Characterization_of_the_lightning_wave). [Accessed: 12-Jan-2021].
- [35] “The Surge Protection Device (SPD),” *Electrical Installation*. [Online]. Available: [https://www.electrical-installation.org/enwiki/The\\_Surge\\_Protection\\_Device\\_\(SPD\)](https://www.electrical-installation.org/enwiki/The_Surge_Protection_Device_(SPD)). [Accessed: 12-Jan-2021].
- [36] W. Beech, “Selecting & Installing Service Entrance SPDs,” pp. 6–11.
- [37] J. Point, “WHITE PAPER Proportioning Surge Protection and Fusing - Fuse selection for surge applications,” 2006.
- [38] S. Siavichay, “Modelado de estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos y sus efectos en un sistema de distribución de energía eléctrica,” Universidad de Cuenca, 2017.
- [39] K. M. Lynch, N. Marchuk, and M. L. Elwin, “Controller Area Network (CAN),” *Embed. Comput. Mechatronics with PIC32*, no. logic 0, pp. 249–265, 2016.
- [40] “Introducción a Can,” *National Instruments*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/06/controller-area-network--can--overview.html>.
- [41] J. Griffith, “Can bus signals,” *Texas Instruments*, 2015. [Online]. Available: [https://e2e.ti.com/blogs/\\_b/industrial\\_strength/posts/what-do-can-bus-signals-look-like](https://e2e.ti.com/blogs/_b/industrial_strength/posts/what-do-can-bus-signals-look-like).
- [42] S. Corrigan, “Introduction to the Controller Area Network (CAN) Application Report Introduction to the Controller Area Network (CAN),” no. May, pp. 1–17, 2002.
- [43] H. Kleines, S. Detert, M. Drochner, and F. Suxdorf, “Performance aspects of PROFINET IO,” *2007 15th IEEE-NPSS Real-Time Conf. RT*, vol. 55, no. 1, pp. 290–294, 2007.



- [44] “Canales de comunicación en PROFINET,” *Universidad PROFINET*. [Online]. Available: <https://profinetuniversity.com/profinet-basico/canales-de-comunicacion-en-profinet/>.
- [45] “User Manual vSECC.” VECTOR, pp. 1–54.
- [46] “UUGreenPower Charging Module Product Catalogue,” *UUGreenPower*. .