

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CARGADOR PARA VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS AC TIPO 2 CON PROTOCOLO DE  
INTEROPERABILIDAD OCPP 1.6**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico**

**AUTOR:**

Sebastian Jadyr Herrera Albarracin

**ASESOR:**

Edwin Alberto Zorrilla Vargas

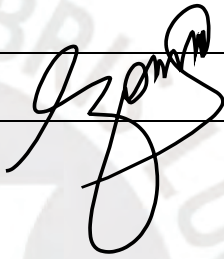
Lima, Mayo, 2024

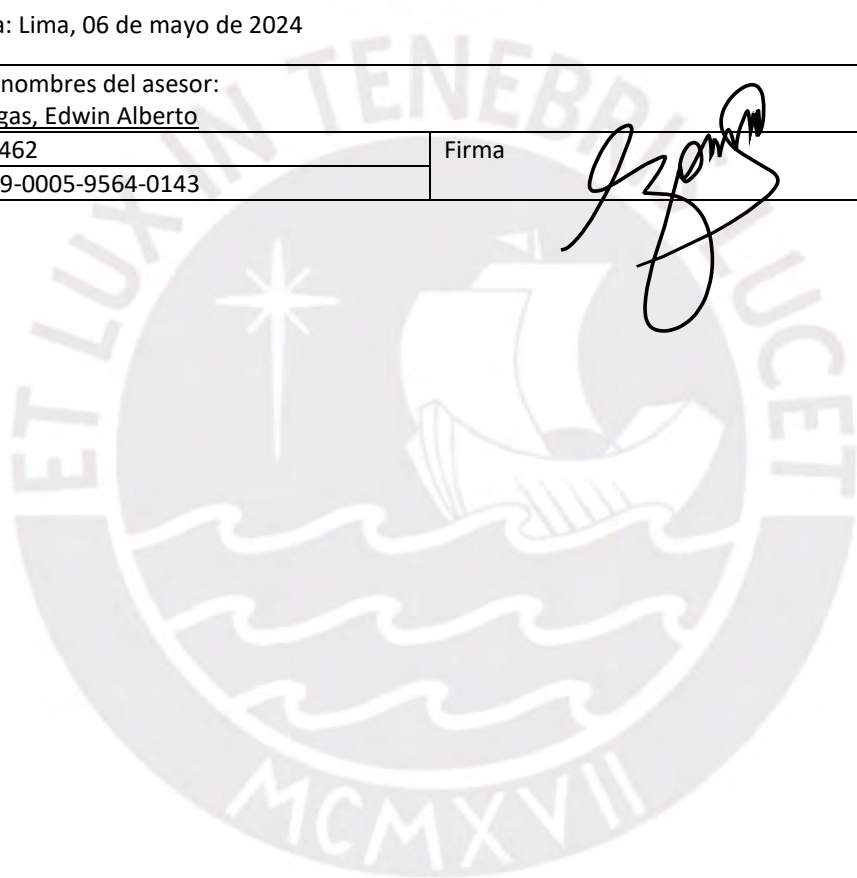
### Informe de Similitud

Yo, Edwin Alberto Zorrilla Vargas, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada "Diseño y simulación de un Cargador para vehículos eléctricos AC Tipo 2 con protocolo de interoperabilidad OCPP 1.6", del autor Sebastián Jadyr Herrera Albarracin, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 02/05/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 06 de mayo de 2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>Zorrilla Vargas, Edwin Alberto</u>	
DNI: 10347462	Firma 
ORCID: 0009-0005-9564-0143	



# Resumen

Gran parte de la contaminación del planeta se debe a las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la combustión de hidrocarburos producto de los vehículos a combustión interna. En contra parte, un vehículo eléctrico genera mucha menos cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero considerando toda la cadena de producción de energía y a lo largo de su vida útil gracias a su mayor eficiencia energética y al uso de electricidad cada vez más sostenible en lugar de combustibles fósiles. Es debido a esto que la adopción de la electromovilidad, como parte de la transición energética, será de vital importancia para la disminución de la contaminación en el planeta. Esto trae consigo el reto de gestionar la energía que será suministrada para cargar las baterías de este tipo de vehículos, teniendo en cuenta que la mayor parte de la carga es en corriente alterna (AC) y se realiza en casa, oficinas o centros comerciales.

La presente tesis tiene como objetivo desarrollar un cargador AC para vehículos eléctricos que sea capaz de ser gestionado por medio de un protocolo de interoperabilidad. Para lograrlo, se diseñará el control para la carga del vehículo según las normas NTP-IEC 61851 y NTP-IEC 62196-2, en donde se establecen el tipo de comunicación (PWM) y el estándar de carga (AC Tipo 2) que se utilizarán. Además, se toma en consideración el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica publicado por el Ministerio de Energía y Minas con el objetivo de definir las especificaciones técnicas y las condiciones de instalación que deben cumplir los sistemas de carga en distintos tipos de entorno. Para comprender los conceptos, ventajas y beneficios relacionados con la interoperabilidad, se describen los componentes, entidades y protocolos de comunicación que conforman actualmente el ecosistema de la movilidad eléctrica, así como los intercambios de información, funciones y servicios que se brindan dentro del mismo. Como parte principal del diseño del cargador, se adicionará una capa superior de comunicación a través del protocolo OCPP 1.6, que permitirá gestionar el cargador desde un sistema central, y además, podrá ser incluido dentro de una red de cargadores.

# Dedicatoria

Dedicado a mi madre María “Meche” y a mi abuelo Juan “Tata” por su paciencia, palabras de aliento, consejos e infinito apoyo.



# Agradecimiento

Agradezco a todas aquellas personas que me acompañaron en esta travesía. En especial a mi familia que ha estado pendiente de mi desarrollo personal, académico y profesional.

Agradezco a mi asesor Edwin por la paciencia, la confianza y las enseñanzas.



# Índice general

Resumen.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas .....	x
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>2</b>
1.1. Estado del arte.....	2
1.1.1. Vehículos eléctricos .....	2
1.1.2. Infraestructura de carga.....	4
1.1.3. Interoperabilidad .....	7
1.1.4. Antecedentes .....	8
1.1.4.1. Infraestructura de carga e interoperabilidad.....	8
1.1.4.2. Evolución de los cargadores para EV .....	9
1.1.4.3. Infraestructura de carga en el Perú.....	10
1.2. Problemática .....	12
1.2.1. Cambio climático y desarrollo sostenible .....	12
1.2.2. La electromovilidad y sus desafíos .....	14
1.3. Justificación .....	17
1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo general.....	19
1.4.2. Objetivos específicos .....	19
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>20</b>
2.1. Regulación y normativa aplicable.....	20
2.2. Estándar y modo de carga .....	22
2.2.1. Estándar Europeo AC Tipo 2 .....	22
2.2.1.1. Contactos, esquemas de conexión y parámetros .....	22
2.2.1.2. Sistemas de comunicación .....	25
I. Modulación por ancho de pulsos (PWM) .....	25
II. Red de interconexión local (LIN) .....	28
2.2.2. Estandarización del modo de carga 3 en el Perú.....	30

2.3. Redes eléctricas inteligentes (Smart Grid).....	32
2.3.1. Smart Grid Architecture Model (SGAM).....	32
2.3.1.1. Zonas.....	33
2.3.1.2. Dominios.....	33
2.3.1.3. Capas de interoperabilidad.....	34
2.3.2. Vehicle to Grid (V2G) .....	35
2.4. Modelos de interoperabilidad para la electromovilidad.....	36
2.4.1. Electric Mobility Systems Architecture (EMSA).....	36
2.4.1.1. Zonas.....	36
2.4.1.2. Dominios.....	37
2.4.1.3. Capas de interoperabilidad.....	37
2.4.2. Protocolo de comunicación de interoperabilidad.....	40
2.4.2.1. OCPP-J.....	42
2.4.2.2. OCPP-S.....	44
2.4.3. Integración al modelo OSI, protocolos y roles.....	45
2.4.3.1. Modelo OSI.....	45
2.4.3.2. Protocolos y roles en el modelo de interoperabilidad .....	45
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>48</b>
3.1. Alcance del diseño y especificaciones técnicas generales .....	48
3.2. Diseño del EVSE .....	52
3.2.1. Selección del controlador.....	52
3.2.2. Circuito para el acondicionamiento del Piloto de Control (CP).....	53
3.2.2.1. Circuito .....	54
3.2.2.2. Justificación, cálculos y consideraciones.....	54
3.2.3. Circuito para el acondicionamiento del Piloto de Proximidad (PP).....	57
3.2.3.1. Circuito .....	57
3.2.3.2. Justificación, cálculos y consideraciones.....	57
3.2.4. Circuito comparador y habilitador de carga.....	58
3.2.4.1 Circuito .....	59
3.2.4.2 Justificación, cálculos y consideraciones.....	59
3.2.5. Medición de corriente .....	62
3.2.5.1. Circuito .....	62
3.2.5.2 Justificación, cálculos y consideraciones.....	62
3.2.6. Alimentación.....	64
3.2.7. Tarifas .....	64
3.2.7.1. BT5B.....	64
3.2.7.2. BT5F .....	64
3.2.7.3. Cálculo del Precio Unitario (S/ kWh) real .....	65

3.2.8. Distribución de componentes interactivos .....	66
3.2.9. Lista de componentes.....	67
3.2.10. Diagrama eléctrico .....	68
3.2.11. Esquema de señales y conexiones del controlador.....	69
3.2.12. Diagrama de flujo para la comunicación EV – EVSE .....	70
3.3. Diseño de la comunicación del protocolo OCPP 1.6 .....	71
3.3.1. Selección del software para el EVSE.....	71
3.3.2. Selección del simulador del CPO.....	74
3.3.3. Arquitectura de red.....	77
3.3.4. Diagrama de flujo para la comunicación EVSE – CPO.....	78
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>79</b>
4.1. Simulación y resultados de la sesión de carga EV – EVSE.....	79
4.1.1. Lógica de carga .....	79
4.1.1.1. Lado del cargador .....	79
4.1.1.2. Lado del vehículo.....	81
4.1.1.3. Simulaciones y resultados.....	82
4.1.2. Simulación de circuitos.....	86
4.1.2.1. Piloto de Control (CP) .....	86
4.1.2.2. Piloto de Proximidad (PP), comparador y habilitador de carga.....	88
4.1.2.3. Medidor de corriente.....	90
4.2. Simulación y resultados de la sesión de carga EVSE – CPO .....	91
4.2.1. Configuración del EVSE.....	91
4.2.2. Configuración del CPO.....	92
4.2.3. Pruebas.....	94
4.2.3.1. Conexión con el servidor (BootNotification / StatusNotification) .....	94
4.2.3.2. Autorización e inicio de transacción (Authorize / StartTransaction).....	95
4.2.3.3. Autorización y parada de transacción (Authorize / StopTransaction) .....	96
4.2.3.4. Inicio y parada de transacción remota (RemoteStart / Remote Stop Transaction) .....	97
4.2.3.5. Cambio de disponibilidad (ChangeAvailability) .....	99
4.2.3.6. Reinicio forzado (Reset) .....	101
4.3. Costos del diseño .....	103
<b>Conclusiones.....</b>	<b>105</b>
<b>Recomendaciones y trabajos futuros.....</b>	<b>107</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>109</b>



# Índice de figuras

Figura 1: Tipos de vehículos según fuente de energía y medio de propulsión [1].....	2
Figura 2: Modalidades de transporte eléctrico [5] .....	3
Figura 3: Modos de carga [7].....	4
Figura 4: Cantidad de cargadores rápidos (izquierda) y lentos (derecha) [3] .....	7
Figura 5: Mapa de Helsinki con los cargadores disponibles de Virta [15] .....	8
Figura 6: Mapa de Atlanta con los cargadores disponibles y tarifas de Electrify America [16].....	8
Figura 7: <i>EVLink Parking</i> [17].....	9
Figura 8: Cargadores en el Perú.....	11
Figura 9: Producción interna de energía primaria 2020 [27] .....	12
Figura 10: Consumo final de energía 2020 [27] .....	13
Figura 11: Participación de sectores en emisiones de CO2 2020 [27].....	13
Figura 12: Concepto de eficiencia Well-to-Wheel [1] .....	15
Figura 13: Emisiones de gases de efecto invernadero [11].....	17
Figura 14: Proyección de cantidad de vehículos eléctricos [3].....	18
Figura 15: Proyección de cantidad y tipo de cargadores eléctricos [3].....	18
Figura 16: Normas ISO e IEC agrupadas por ámbito de aplicación [35] .....	21
Figura 17: Lado del EV (A y B) y lado de la estación de carga (C y D) [37].....	22
Figura 18: Conexión completa entre el EV y la estación de carga [37].....	22
Figura 19: Esquema del piloto de control CP para PWM [6] .....	23
Figura 20: Esquema del piloto de control CP para LIN [6] .....	23
Figura 21: Esquema general [6].....	24
Figura 22: Transiciones [6].....	26
Figura 23: Diagrama de estados [6].....	27
Figura 24: Diagrama de estados simplificado [6] .....	27
Figura 25: Secuencia de carga LIN [6] .....	28
Figura 26: Diagrama de estados LIN [6] .....	29
Figura 27: Diagrama unifilar para el Modo 3 [4][8].....	31
Figura 28: SGAM framework [39] .....	32
Figura 29: Curva de carga normal y V2G [1] .....	35
Figura 30: EMSA infraestructure [41] .....	36
Figura 31: Component layer [41].....	37
Figura 32: Communication layer [41].....	38
Figura 33: Information layer [41] .....	38

Figura 34: Function layer [41] .....	39
Figura 35: Business layer [41] .....	39
Figura 36: Proceso de transacción básico [43].....	41
Figura 37: Petición (izquierda) y respuesta (derecha) [45].....	42
Figura 38: Ejemplo para Call [45] .....	43
Figura 39: Ejemplo para CallResult [45] .....	43
Figura 40: Ejemplo para CallError [45].....	43
Figura 41: Ejemplos SOAP.....	44
Figura 42: Protocolos y roles [51].....	45
Figura 43: Diagrama de bloques .....	50
Figura 44: Distribución de pines del módulo ESP32 [56] .....	53
Figura 45: Circuito de acondicionamiento del CP .....	54
Figura 46: Circuito de acondicionamiento del PP.....	57
Figura 47: Circuito comparador.....	59
Figura 48: Circuito del habilitador de carga .....	59
Figura 49: Circuito de medición de corriente .....	62
Figura 50: Vista lateral y frontal del EVSE .....	66
Figura 51: Diagrama eléctrico .....	68
Figura 52: Esquema de señales y conexiones del controlador.....	69
Figura 53: Diagrama de flujo para la comunicación EV – EVSE.....	70
Figura 54: Pantalla principal de SteVe [81].....	74
Figura 55: Estado del conector [81].....	74
Figura 56: Información de cargadores [81].....	75
Figura 57: Información de usuarios [81].....	75
Figura 58: Información de identificaciones [81].....	75
Figura 59: Información de reservas [81].....	76
Figura 60: Información de transacciones [81] .....	76
Figura 61: Operaciones OCPP [81] .....	76
Figura 62: Configuraciones adicionales de SteVe [81].....	77
Figura 63: Arquitectura de red.....	77
Figura 64: Diagrama de flujo para la comunicación EVSE – CPO .....	78
Figura 65: Lado del cargador .....	80
Figura 66: Lado del vehículo .....	81
Figura 67: Simulación de carga normal .....	82
Figura 68: Valores medidos y calculados en una sesión de carga .....	83
Figura 69: Interrupción de carga por botón de parada .....	84
Figura 70: Interrupción de carga por desconexión del EVSE.....	84

Figura 71: Interrupción de carga por desconexión del EV .....	85
Figura 72: Esquemático del piloto de control .....	86
Figura 73: Simulación con la señal PWM activada .....	87
Figura 74: Simulación con la señal PWM desactivada .....	87
Figura 75: Esquemático del piloto de proximidad .....	88
Figura 76: Esquemático del circuito comparador y habilitador .....	89
Figura 77: Simulación del piloto de proximidad y habilitación de carga .....	89
Figura 78: Esquemático del medidor de corriente .....	90
Figura 79: Simulación del circuito medidor de corriente.....	90
Figura 80: Entorno de pruebas para el cargador .....	91
Figura 81: Configuración del EVSE .....	91
Figura 82: Ejecución del servidor OCPP SteVe .....	92
Figura 83: Inclusión del identificador del cargador en SteVe.....	92
Figura 84: Identificadores RFID .....	92
Figura 85: Inclusión de los identificadores RFID en SteVe .....	93
Figura 86: Configuración de SteVe .....	93
Figura 87: Conexión exitosa con SteVe.....	94
Figura 88: Mensajes BootNotification y StatusNotification en el terminal .....	94
Figura 89: Interfaz de SteVe al establecer la conexión con el cargador .....	95
Figura 90: Autorización y comienzo de transacción.....	95
Figura 91: Mensajes Authorize y StartTransaction en el terminal.....	96
Figura 92: Interfaz de SteVe al iniciar la transacción .....	96
Figura 93: Autorización y detención de transacción.....	97
Figura 94: Mensajes Authorize y StopTransaction en el terminal .....	97
Figura 95: Petición de comienzo de transacción.....	98
Figura 96: Respuesta de la petición de comienzo de transacción .....	98
Figura 97: Petición de detención de transacción.....	98
Figura 98: Respuesta a la petición de detención de transacción .....	99
Figura 99: Cargador inoperativo .....	99
Figura 100: Petición de cambio de disponibilidad.....	100
Figura 101: Respuesta a la petición de cambio de disponibilidad .....	100
Figura 102: Interfaz de SteVe al cambiar de disponibilidad.....	100
Figura 103: Mensaje de disponibilidad en el terminal .....	101
Figura 104: Petición de reinicio .....	101
Figura 105: Respuesta a la petición de reinicio .....	101
Figura 106: Mensaje Reset en el terminal.....	102

# Índice de tablas

Tabla 1: Modos de carga [4][6].....	4
Tabla 2: Estándares de carga [4][6][8][9][10] .....	5
Tabla 3: Niveles de carga [11] .....	5
Tabla 4: Especificaciones técnicas del <i>EVLink Parking</i> [17] .....	9
Tabla 5: Características de cargadores en el Perú [20][21][22][23] .....	10
Tabla 6: Contactos del estándar AC Tipo 2 [4][9][6] .....	23
Tabla 7: Parámetros para el circuito del CP [6] .....	24
Tabla 8: Parámetros para el circuito del PP [6] .....	24
Tabla 9: Estados de carga para comunicación PWM [6] .....	25
Tabla 10: Ciclo de trabajo y corriente máxima [6] .....	27
Tabla 11: Voltaje Va del CP [6].....	28
Tabla 12: Descripción de horarios LIN y marcos requeridos [6].....	29
Tabla 13: Requerimientos para el EVSE en Modo 3 [4][8].....	30
Tabla 14: Leyenda del diagrama unifilar para el Modo 3 [4][8].....	31
Tabla 15: Perfiles del OCPP 1.6 [43].....	40
Tabla 16: Mensajes disponibles para cada perfil [43].....	41
Tabla 17: Códigos de error para OCPP-J [45] .....	43
Tabla 18: Esquema para el mensaje SOAP en XML .....	44
Tabla 19: Modelo OSI [49][50] .....	45
Tabla 20: Ejemplos de roles existentes .....	46
Tabla 21: Especificaciones de carga de EV comerciales [55] .....	49
Tabla 22: Especificaciones técnicas generales del cargador.....	50
Tabla 23: Características del módulo ESP32 [56][57][58].....	53
Tabla 24: Resistencia de codificación Rc [6].....	58
Tabla 25: Ejemplo de recibo de consumo eléctrico mensual.....	65
Tabla 26: Lista de componentes.....	67
Tabla 27: Arduino OCPP Core profile [79].....	71
Tabla 28: Arduino OCPP Smart charging profile [79] .....	72
Tabla 29: Arduino OCPP Remote trigger profile [79].....	72
Tabla 30: Arduino OCPP Firmware management [79].....	72
Tabla 31: Costos por mano de obra .....	103
Tabla 32: Costos por consumo de energía, implementación y otros.....	104

# Introducción

El cambio climático es uno de los problemas más críticos que aqueja al mundo entero. Gran parte de este ocurre debido a la contaminación generada por la dependencia de los hidrocarburos utilizados como fuente de energía del sector transporte. Según el reporte “Energy Technology Perspectives 2020” de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el 26% de la energía producida en el mundo es consumida por este sector, mientras genera 24% del total de emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso de Perú, según el Balance Nacional de Energía del 2020, el 40% de la energía producida es consumida por el sector transporte, el cual produce el 47% del total de emisiones de gases de efecto invernadero. Por esta razón la electromovilidad juega un rol relevante como parte de las estrategias de transición energética, que permitirá afrontar y aminorar la crisis mundial del cambio climático.

A medida que la adopción de los vehículos eléctricos siga incrementándose, la IEA proyecta que para el año 2030 la cantidad de vehículos eléctricos superarán las 275 millones de unidades en todo el mundo, lo cual incluye a los cargadores que serán los responsables de cargar sus baterías. Es importante resaltar que poco más del 80% de la carga se realizará en casas, oficinas o establecimientos públicos mediante sistemas de carga AC. Por ello será necesaria la gestión de la carga de los vehículos conectados a la red eléctrica con el fin de optimizar la potencia disponible que los cargadores podrán suministrar a los vehículos dependiendo del estado de la demanda y el consumo en un momento determinado. Esto será posible mediante el concepto de interoperabilidad que describe la comunicación que existe entre los diversos roles o actores dentro del ecosistema de la electromovilidad.

Según lo expuesto anteriormente, la presente tesis tiene como objetivo principal diseñar y simular un cargador para vehículos eléctricos bajo el estándar AC Tipo 2 que soporte la gestión de interoperabilidad a través del protocolo OCPP 1.6 requerido en el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica.

# Capítulo 1

## Presente y futuro de la electromovilidad con miras a su masificación e impacto en el cambio climático

### 1.1. Estado del arte

#### 1.1.1. Vehículos eléctricos

Los vehículos en general se pueden clasificar según la fuente de energía y el medio de propulsión, tal como se muestra en la Figura 1. Por un lado, el vehículo de combustión interna (ICEV) utiliza combustibles fósiles, como gasolina o diésel, como fuente de energía. Este cuenta con un motor que transforma la energía generada por la combustión en energía mecánica hacia las ruedas. Por otro lado, los vehículos eléctricos (EV) pueden ser totalmente eléctricos (BEV o PEV), híbridos (HEV) o de celdas de combustible (FEV). Estos incluyen motores eléctricos en lugar de motores de combustión interna y se alimentan con electricidad, pero su diseño no es el mismo y existen diversos tipos. Un FEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*) emplea celdas de hidrógeno para generar electricidad y se impulsa con motores eléctricos. Un PEV funciona enteramente con electricidad y motores eléctricos. Un HEV se alimenta con gasolina o diésel, y electricidad e incluye un motor eléctrico y uno de combustión interna [1][2].

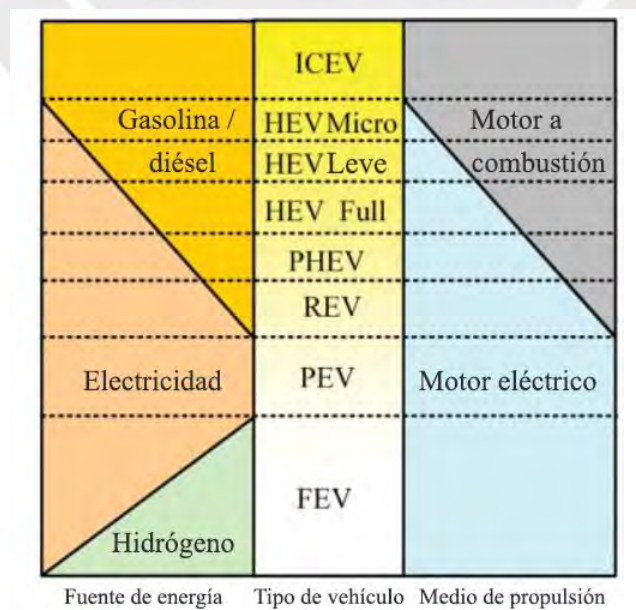


Figura 1: Tipos de vehículos según fuente de energía y medio de propulsión [1]

Los HEV se pueden seguir subdividiendo en dos grupos: no enchufables y enchufables. Los HEV se abastecen solo con gasolina o diésel, mientras que un enchufable PHEV, además de ser abastecido por gasolina o diésel, cuenta con una batería que le brinda cierta autonomía y puede recargarse a través de un cargador AC o DC. Algunas subdivisiones de estos grupos incluyen a los HEV de rango extendido (REV), enchufables (PHEV) y, según la influencia de su fuente de energía y propulsión, pueden ser Full, Leve o Micro [1].

Los EV presentan diferentes clasificaciones según la modalidad de transporte, de las cuales destacan los vehículos livianos para pasajeros (PLDV) en la Figura 2a, los vehículos livianos comerciales (LCV) en la Figura 2b y los vehículos pesados, como buses y camiones (HDV) en la Figura 2c [3]. Además, existen otros tipos de EV que se encuentran dentro de la categoría de micromovilidad. Se trata de los vehículos de tres o menos ruedas, como las bicicletas eléctricas, monopatines eléctricos, los triciclos eléctricos, entre otros [3][4] (Figura 2d). La alta popularidad de estos vehículos menores se debe a que son fáciles de convertir y, ya que las distancias que recorren son cortas, no necesitan baterías de gran tamaño, lo que disminuye la necesidad de cargadores especiales [3][5].

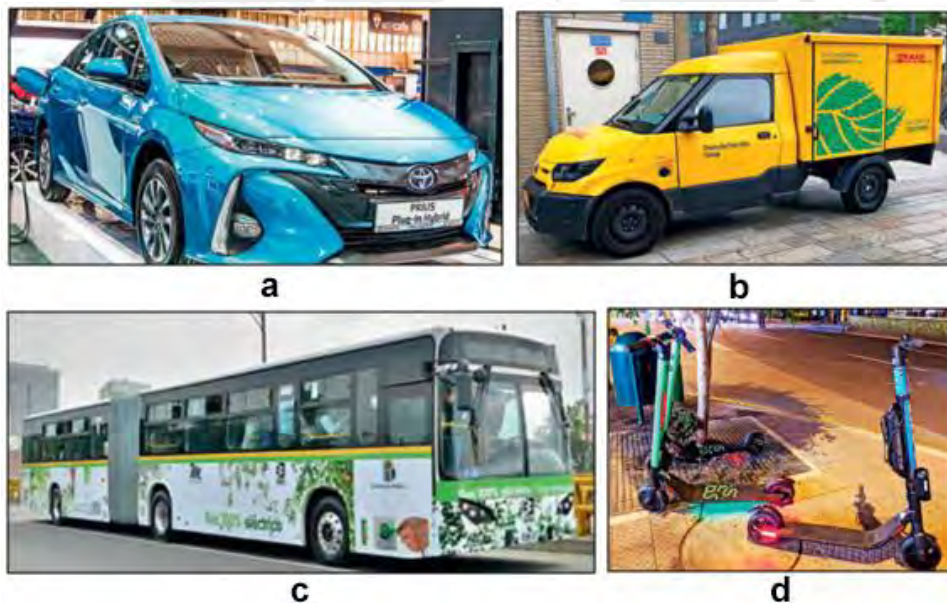


Figura 2: Modalidades de transporte eléctrico [5]

### 1.1.2. Infraestructura de carga

A diferencia de los vehículos a combustión interna que se abastecen con combustible, los vehículos eléctricos deben recargar sus baterías para seguir circulando. La carga se puede dividir en dos grupos: carga de corriente alterna (carga AC) y carga de corriente directa (carga DC) [5]. Además, se han establecido distintos estándares con respecto a los modos, estándares y niveles de carga, los cuales se muestran en la Tabla 1, Figura 3, Tabla 2 y Tabla 3. Estos estándares se rigen bajo las Normas Técnicas Peruanas (NTP), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica [4].

Tabla 1: Modos de carga [4][6]

Modo	Capacidad máxima		Características
1	16 A / 220 V AC monofásico	3.52 kW	El EV se conecta a una red AC a través de un tomacorriente estándar. No existen contactos auxiliares o piloto, pero debe existir conexión a tierra. Solo está permitido para micromovilidad.
	16 A / 380 V AC trifásico	10.53 kW	
2	16 A / 220 V AC monofásico	3.52 kW	El EV se conecta a una red AC a través de un tomacorriente estándar. Entre el enchufe y el EV debe existir un contacto piloto, protección ante descarga eléctrica y conexión a tierra.
	16 A / 380 V AC trifásico	10.53 kW	
3	63 A / 220 V AC monofásico	13.86 kW	El EV se conecta a un equipo de suministro AC permanente. Este equipo debe contar con conexión a tierra, una función piloto y protección eléctrica adicional.
	32 A / 380 V AC trifásico	21.06 kW	
4	Limitado por el estándar de carga DC (Tabla 2) y la instalación eléctrica		El EV se conecta a un equipo de suministro DC permanente. Este equipo debe contar con conexión a tierra, una función piloto y protección eléctrica.

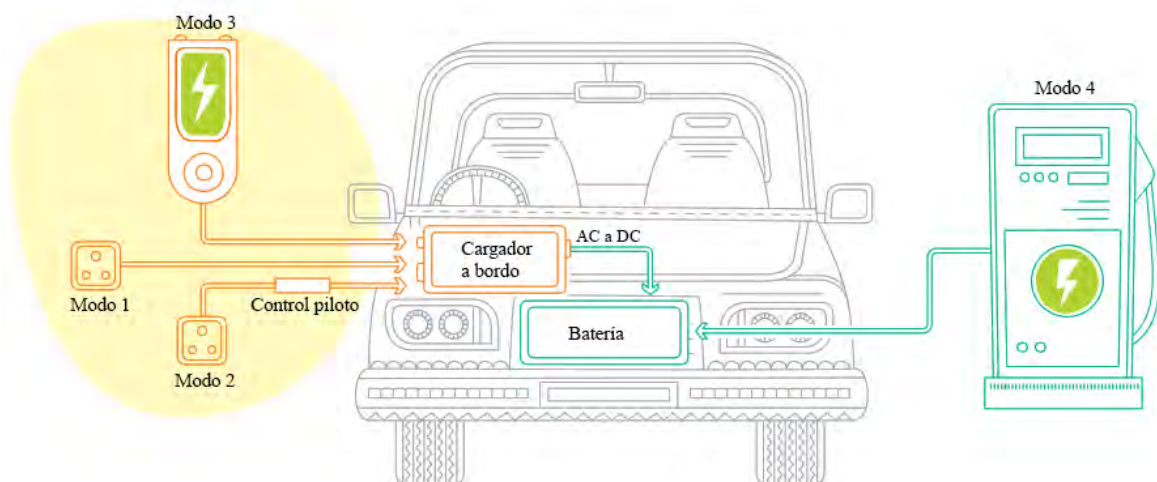


Figura 3: Modos de carga [7]



Tabla 2: Estándares de carga [4][6][8][9][10]




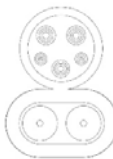
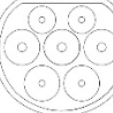

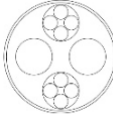

Estándar de carga	Conector		Modo	Corriente y voltaje máximos	Símbolo
-	Tomacorriente tipo Schuko	AC	1 y 2	16 A / 220 V Monofásico	
-	Tomacorriente industrial trifásico	DC		16 A / 380 V Trifásico	
Estadounidense (SAE)	Tipo 1 (SAE J1772)	AC	3	32 A / 250 V Monofásico	
	CCS Combo 1 (EE)	DC	4	200 A / 600 V	
Europeo (IEC)	Tipo 2	AC	3	70 A / 250 V Monofásico 63 A / 480 V Trifásico	
	CCS Combo 2 (FF)	DC		4	
Chino (GB/T)	Tipo GB/T	AC	3	70 A / 250 V Monofásico 63 A / 480 V Trifásico	
	GB/T (BB)	DC		3 y 4	
Japonés	CHAdeMO (AA)	DC	4	200 A / 600 V	
Tesla	Tesla	AC	3 y 4	-	
		DC			

Tabla 3: Niveles de carga [11]

	Carga lenta		Carga rápida
<b>Nivel</b>	1	2	3
<b>Corriente</b>	AC		DC
<b>Potencia</b>	< 3.7 kW	> 3.7 kW y < 22 kW	> 22 kW y < 400 kW

Cabe notar que para los modos 1, 2 y 3 (carga AC), el vehículo utiliza su cargador interno o a bordo para transformar la corriente alterna proveniente de la red eléctrica en corriente directa que realiza la recarga hacia las baterías. En cambio, la carga DC permite que las baterías sean recargadas a través de un rectificador externo que generalmente es de mayor potencia que el que se puede instalar a bordo con lo cual se puede reducir drásticamente el tiempo de carga. En ambos casos, la velocidad de carga la determina el eslabón más débil dentro de la cadena de carga. Por ejemplo, el cargador a bordo del EV Soul 2020 tiene una potencia de 7.2 kW [12]. Si se utilizara el Modo 2 con un tomacorriente monofásico, la carga estaría limitada a 3.52 kW; en cambio, si se utilizara el Modo 3 con conectores trifásicos que permiten una potencia mayor a 21 kW, la carga estaría limitada a 7.2 kW. Además, los estándares de carga incluyen un protocolo de comunicación a través de los pines de control piloto que permiten la regulación de la velocidad de carga, no siendo imprescindible la utilización de un protocolo de comunicación en específico. Por otro lado, para la carga DC, los conectores incluyen el protocolo CAN (*Control Area Network*) o PLC (*Power Line Communication*) [11].

Por otra parte, los Modos de carga están categorizados para ser utilizados en ambientes privados o públicos:

- Carga privada

Se permite el uso de los Modos 1, 2, 3 y/o 4 para la carga de vehículos o flotas privadas. Aplica a electroterminales<sup>1</sup>, edificios, viviendas, oficinas, centros comerciales, centros industriales, entre otros [4].

- Carga pública

Se permite el uso de los Modos 3 y/o 4 que permita la carga de EV a cualquier usuario sin ninguna limitación. Aplica a electrolineras<sup>2</sup>, estaciones de servicio, zonas de parqueo, entre otros [4].

---

<sup>1</sup> Infraestructura de carga de EV dedicada a la carga de flotas de buses eléctricos o flotas de EV para el sector público o privado [4]

<sup>2</sup> Infraestructura de carga de EV que brinda el servicio de carga del EV mediante algún método de pago y que cuenta con protocolo de comunicación de alto nivel OCPP 1.6 o similar [4]

### 1.1.3. Interoperabilidad

La interoperabilidad es una capa adicional de intercambio de información que se añade sobre los estándares de carga, para permitir que la infraestructura de carga pueda ser geolocalizada, identificada, reservada y utilizada por todos los usuarios de vehículos eléctricos [13][14]. Los vehículos, las estaciones de carga y las redes de carga deben funcionar bajo un sistema que les permita relacionarse eficazmente y sin dificultades. Esto proporciona una serie de ventajas, como mejorar la experiencia del usuario, optimizar la integración de los EV a la red e incentivar la adopción de la electromovilidad [13]. Según el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica [4], las electrolineras y estaciones de servicio de Modos 3 y 4 requieren el protocolo de comunicación OCPP1.6<sup>3</sup> o superior que permita la comunicación con el controlador de carga del vehículo, la comunicación entre el sistema de carga y el sistema u operador central, y el despliegue de información sobre las estaciones de carga.

El aumento de la cantidad de vehículos eléctricos va de la mano con el aumento de la cantidad de equipamiento para la infraestructura de carga. Esto ocasiona que la interoperabilidad cobre mayor relevancia. En la Figura 4, se muestra la cantidad total de cargadores disponibles a nivel mundial. Los cargadores rápidos alcanzan la suma de 590 000 unidades, mientras que los cargadores lentos alcanzan las 1 200 000 unidades para el año 2021.

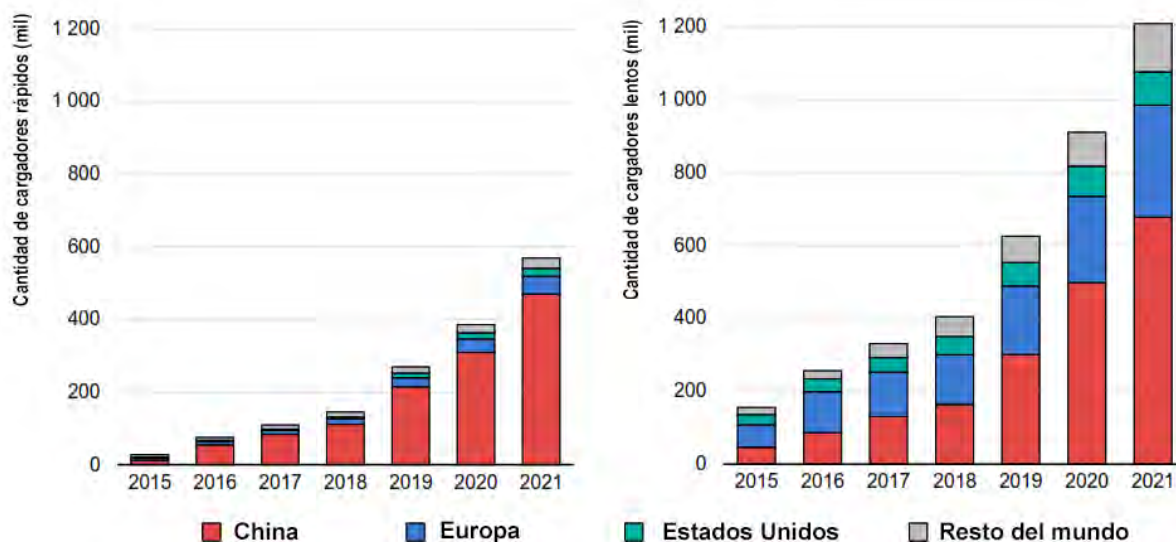


Figura 4: Cantidad de cargadores rápidos (izquierda) y lentos (derecha) [3]

<sup>3</sup> Open Charge Point Protocol

## 1.1.4. Antecedentes

### 1.1.4.1. Infraestructura de carga e interoperabilidad

Conforme ha ido aumentando la adopción de vehículos eléctricos en regiones, como Europa y Estados Unidos, han aparecido empresas dedicadas a la operación de redes de infraestructura de carga, como Virta [15] y Electrify America [16]. Estos operadores se encuentran probando o implementando tecnología que impulsa la interoperabilidad, mediante aplicaciones Web o para dispositivos móviles que le permite al usuario buscar el cargador público más cercano. Además, muestra las características del cargador, como el código de identificación, tipo de conector (Conector convencional, Tipo 2, CHAdeMO, etc.), potencia máxima (carga lenta o carga rápida) y la tarifa según la moneda local por kWh. Para acceder a los cargadores, el usuario debe registrarse con una aplicación o una tarjeta RFID, y el pago se puede realizar con una tarjeta de crédito. La aplicación web de Virta se puede apreciar en la Figura 5 y la de Electrify America en la Figura 6.

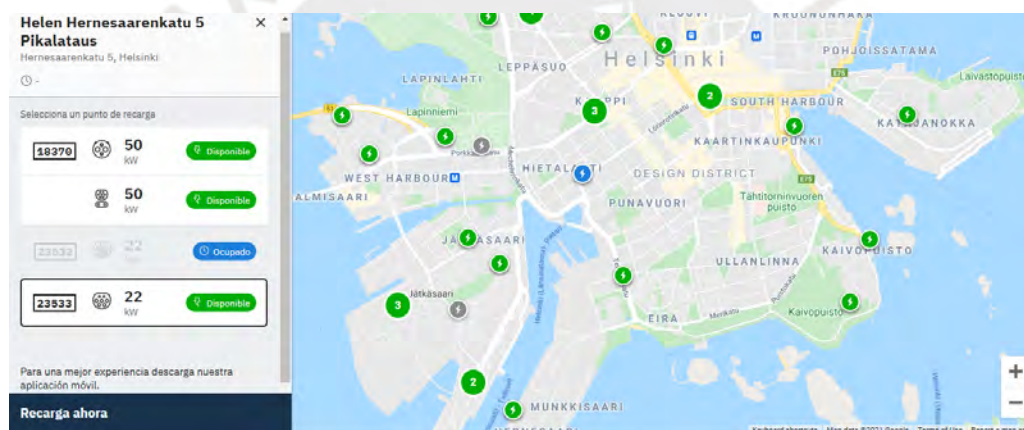


Figura 5: Mapa de Helsinki con los cargadores disponibles de Virta [15]

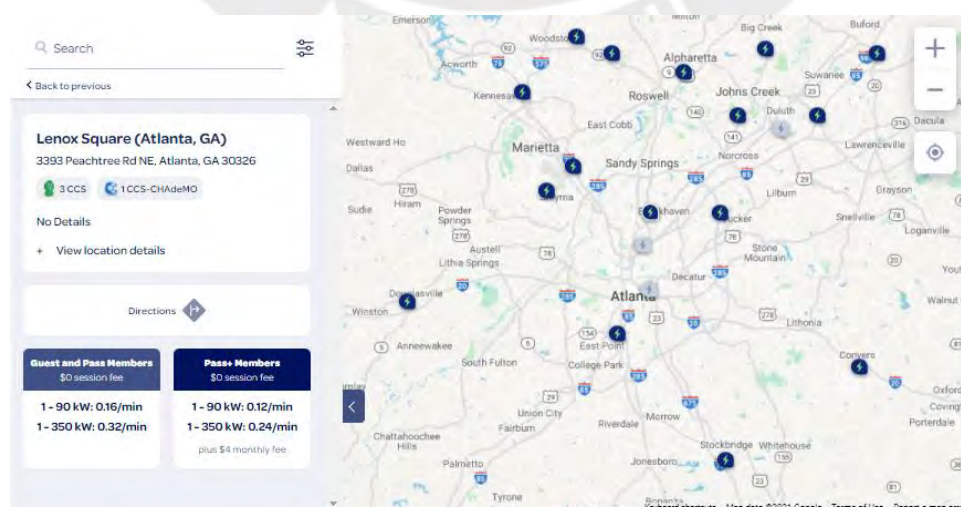


Figura 6: Mapa de Atlanta con los cargadores disponibles y tarifas de Electrify America [16]

### 1.1.4.2. Evolución de los cargadores para EV

Las capacidades de interoperabilidad en la infraestructura de carga aparecieron a partir del año 2009 con el desarrollo del protocolo OCPP. Como un ejemplo de un cargador AC que soporta protocolos de interoperabilidad se puede mencionar el modelo *EVLink Parking* [17] (ver Figura 7) de la empresa Schneider Electric. Este cuenta con diversas características, como el acceso a través de una aplicación móvil, capacidad para integrarse a una red de cargadores, comunicación flexible, administración de la carga por medio del protocolo OCPP, entre otros. Las especificaciones técnicas de este cargador se muestran en la Tabla 4.



Figura 7: *EVLink Parking* [17]

Tabla 4: Especificaciones técnicas del *EVLink Parking* [17]

<b>Modos y estándares de carga</b>	
Modo 2	Conexión doméstica
Modo 3	Tipo 2
<b>Diseño eléctrico del Modo 2</b>	
Fuente de poder	Monofásico: 220-230 V / 10 A
Potencia de salida	Monofásico: 2.3 kW
Frecuencia	50/60 Hz
<b>Diseño eléctrico del Modo 3</b>	
Fuente de poder	Monofásico: 220-230 V / 32 A, Trifásico: 380-415 V / 32 A
Potencia máxima	Monofásico: 7.4 kW, Trifásico: 22 kW
Corriente	Configurable de 6 A a 32 A
Frecuencia	50/60 Hz
<b>Comunicaciones</b>	
Conexión	TCP/IP, FTP, SMTP, HTTP
Operaciones	Autenticación remota, Monitoreo de estado y de comandos
Identificación	Tarjetas RFID de 13.56 MHz, Aplicación móvil
Supervisión	OCPP 1.5, OCPP 1.6, Modbus TCP/IP
<b>Detalles mecánicos y ambientales</b>	
IP e IK	IP 54, IK10
Medidas	1146 mm x 413 mm x 220 mm
Estándares IEC	61851-1, 61851-22

### 1.1.4.3. Infraestructura de carga en el Perú

En la actualidad, el Perú no cuenta con redes ni operadores de carga como sucede en países como Chile y Colombia que cuentan con unas redes de electrolineras Copec Voltex [18] y Terpel Voltex [19] respectivamente. Todas las estaciones de carga existentes son producto de iniciativas de promoción y proyectos piloto, por lo que casi la totalidad de ellas no cobran por el servicio de recarga hasta el momento.

Es importante destacar que la variedad de estaciones de carga que se vienen desplegando por medio de distintas empresas demuestra la necesidad de contar con plataformas de integración e interoperabilidad que le permitan a los usuarios utilizarlas adecuadamente. En la Tabla 5 y Figura 8 se presentan algunos de los cargadores instalados en el Perú.

Tabla 5: Características de cargadores en el Perú [20][21][22][23]

Empresa	Tipo	Estándar/Modo	Potencia	Localización	Figura
ENGIE	AC	Tipo 2 Europeo Modo 3	22 kW Carga lenta	Rambla San Borja - Lima Jockey Plaza - Lima	8a, 8d
Schell	DC	CCS1 CHAdEMO Modo 4	50 kW Carga rápida	Estación de servicio Primax Castaños - Lima	8b
Schneider Electric	AC	Tipo 2 Europeo Modo 3	7 kW Carga lenta	Plaza Vea Caminos del Inca - Lima	8c
Luz del Sur	AC	Tipo 2 Europeo Modo 3	7 kW Carga lenta	Estación de servicio Primax Armendáriz - Lima	8e
	DC	CCS2 GB/T Modo 4	60 kW Carga rápida		
Petroperu	DC	CHAdEMO CCS2 Modo 4	60 kW Carga rápida	Estación de servicio KIO – Lurin Estación de servicio San Pedro - Mala	8f
ENEL X	AC	Tipo 2 Europeo Modo 3	11 kW Carga lenta	Puno, Cusco, Ayacucho, Cerro de Pasco, Ancash, Piura, entre otros	8g
Electrodunas	DC	CCS2 Modo 4	100 kW Carga rápida	Oficinas de Electrodunas - Ica	8h
ENEL X	AC	Tipo 2 Europeo Modo 3	11 kW Carga lenta	Autopista del Norte (Aunor). Tramo Pativilca-Santa-Puerto Salaverry	8i
	DC	CHAdEMO CCS2 Modo 4	60 kW Carga rápida		



a



b



c



d



e



f



g



h



i

Figura 8: Cargadores en el Perú

## 1.2. Problemática

### 1.2.1. Cambio climático y desarrollo sostenible

En las últimas décadas, los efectos del cambio climático se han intensificado notablemente. Esto ha impulsado diversas iniciativas a nivel mundial con el objetivo de mitigar estos efectos. El Acuerdo de París, adoptado por más de 195 países en el 2015, es uno de los más importantes [24]. Este se centra en tres directivas principales: mantener el aumento de la temperatura promedio del planeta por debajo de los 2 °C, mejorar la adaptación ante los efectos del cambio climático y migrar hacia una economía con bajas emisiones de gases de efecto invernadero [25]. Perú, al ser parte de este acuerdo, se encuentra comprometido con los lineamientos antes mencionados; sin embargo, los resultados aún no son lo suficientemente ambiciosos para la situación en la que se encuentra [26].

En el año 2020, casi el 73% de la producción de energía en el Perú provino de hidrocarburos (petróleo y gas natural principalmente), poco más del 40% del total fue destinado al sector transporte y casi el 50% de emisiones de CO<sub>2</sub> provino del mismo sector, tal como se muestra en la Figura 9, la Figura 10 y la Figura 11 respectivamente. El balance nacional de energía del año 2020 [27] muestra la alta dependencia de hidrocarburos de la matriz energética peruana, lo cual provoca el aumento de los gases de efecto invernadero que desencadenan el incremento de la temperatura promedio del planeta y la contaminación excesiva del medio ambiente. Según la OMS [28], las partículas provenientes de procesos de combustión que están por debajo de los 2.5  $\mu\text{m}$  de diámetro (MP<sub>2.5</sub>) no pueden sobrepasar los 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración media anual en el aire. Se ha demostrado que al sobrepasar este valor, los efectos negativos en la salud pueden intensificarse, como fallas cardiovasculares o problemas respiratorios. Un estudio realizado por IQAir en el año 2021 [29] revela que el Perú se encuentra en el puesto 26 de 117 países con una concentración media anual de 29.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de MP<sub>2.5</sub>.

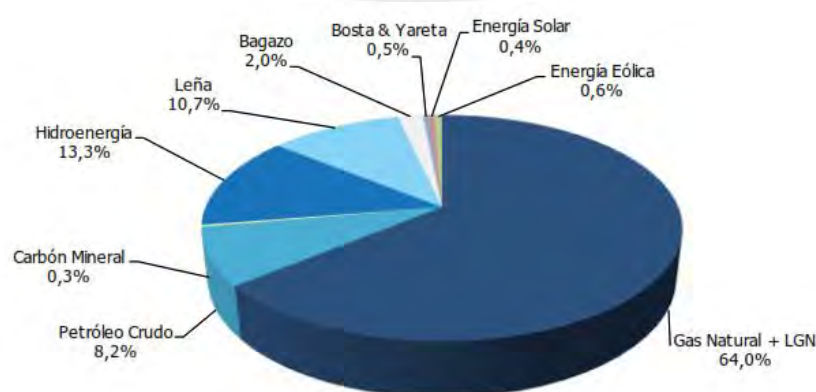


Figura 9: Producción interna de energía primaria 2020 [27]



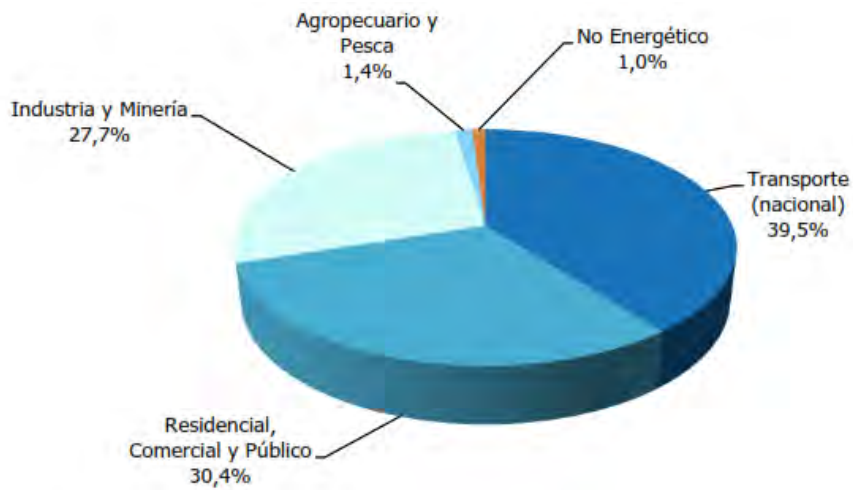


Figura 10: Consumo final de energía 2020 [27]

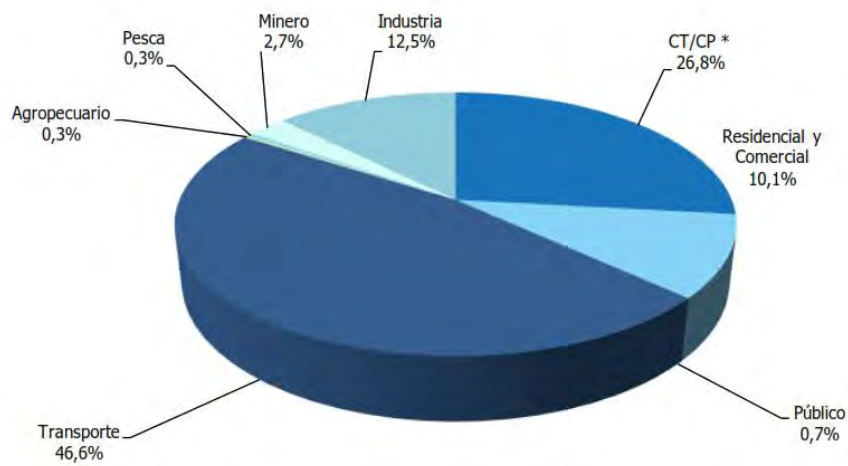


Figura 11: Participación de sectores en emisiones de CO2 2020 [27]

### 1.2.2. La electromovilidad y sus desafíos

La transición energética es una tendencia que tiene como objetivo reducir la dependencia de los hidrocarburos. La electromovilidad, o electrificación del transporte, es parte importante de esta transición debido a que el sector transporte consume el 26% de energía y produce el 24% de emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo [30]. La electromovilidad busca reemplazar progresivamente los vehículos a combustión interna por vehículos parcial o totalmente eléctricos. Para lograr este objetivo, la IEA describe dos campañas: EV30@30 y *Drive to Zero* [3]. La primera, presentada en el año 2017, tiene como misión alcanzar el 30% en ventas de vehículos eléctricos para el año 2030 a nivel mundial. La segunda, presentada en el año 2018, se enfoca en el despliegue de políticas y programas que brindan soporte a los gobiernos y empresas para alcanzar en menor tiempo la producción de vehículos eléctricos comerciales con cero emisiones. A nivel local, la Resolución Ministerial N° 250-2019-MINEM [31], el Decreto Supremo N° 022-2020-EM [32] y el Decreto Supremo N° 036-2023-EM [4] disponen facilidades para la adopción de vehículos eléctricos e híbridos enchufables, así como su infraestructura de abastecimiento, al territorio nacional. Estas campañas, políticas e iniciativas, han permitido que para el año 2021 el mercado mundial de vehículos eléctricos se expanda a más de 16 millones de unidades [3].

Cabe resaltar que, mientras aumente la participación de energías renovables en la matriz energética mundial, como las energías eólica, solar, geotérmica, etc., los beneficios de la electromovilidad irán alcanzando su máximo potencial. Sin embargo, aun en el caso en que la electricidad no provenga de fuentes totalmente renovables, los vehículos eléctricos reducen emisiones de gases de efecto invernadero debido a su mayor eficiencia *Well-to-Wheel* (Pozo a Rueda). La Figura 12 muestra la diferencia en eficiencia *Well-to-Wheel* de 18% para un vehículo eléctrico en comparación al 13% que alcanza un vehículo a combustión. Es importante notar que esta comparación corresponde al peor de los casos para un vehículo eléctrico en que la generación eléctrica se produce con petróleo en una planta de ciclo simple<sup>4</sup> [33].

---

<sup>4</sup> Las plantas de generación térmica de ciclo simple alcanzan el 35% y las de ciclo combinado alcanzan el 54% de eficiencia aproximadamente [33]

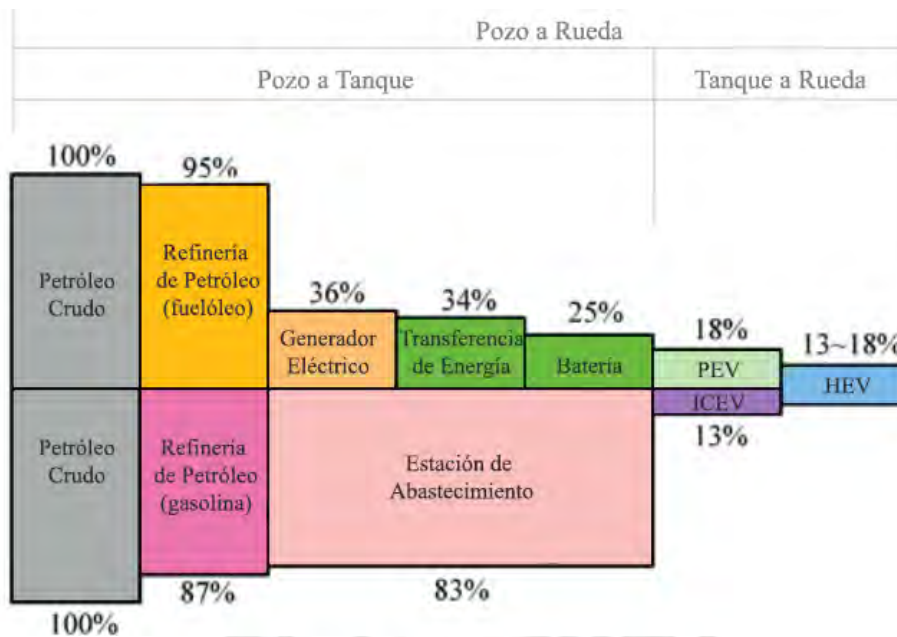


Figura 12: Concepto de eficiencia Well-to-Wheel [1]

Como se puede apreciar, la electromovilidad aporta grandes beneficios. Sin embargo, aún existen algunos desafíos [34] que se explicarán brevemente a continuación:

- Despliegue de infraestructura de carga e interoperabilidad

Por recomendación de la AFID<sup>5</sup> (*Alternative Fuel Infrastructure Directive*), el objetivo es contar con 1 cargador público por cada 10 vehículos eléctricos. Esta meta fue alcanzada por algunos países, como Italia, Japón, Brasil, Noruega, Dinamarca, Alemania y Nueva Zelanda [3]. Además del despliegue de infraestructura de carga necesaria, se requiere que la misma pueda ser geolocalizada, reservada y utilizada por la mayor cantidad de usuarios de vehículos eléctricos.

- Variedad de vehículos eléctricos

Se necesita mayor acceso a versiones eléctricas de vehículos comerciales ligeros y vehículos pesados (camiones y autobuses). El primero registra 850000 unidades, y el segundo registra 736000 unidades a nivel mundial [3].

- Costo de adquisición de un vehículo eléctrico

La diferencia de precios entre un vehículo a combustión interna y uno eléctrico de características similares es bastante marcada, pero es importante recalcar que el costo

<sup>5</sup> La AFID regula el uso de equipamiento para vehículos eléctricos dentro de la Unión Europea

total de propiedad (TCO<sup>6</sup>) de un auto eléctrico con respecto a uno de combustión interna es mucho menor debido a los considerablemente menores gastos de operación y mantenimiento que demanda a lo largo de su vida útil [5].

- Tiempo de recarga

Según el nivel de carga a utilizar, el tiempo de recarga total promedio podría oscilar entre las 0.5 y 20 horas [5]. En contraparte, recargar combustible en un puesto de servicio solo toma unos pocos minutos.

- Reglamentación e incentivos

Se requiere mayor compromiso en las políticas pensadas para la masificación de la electromovilidad, así como mayor flexibilidad con respecto a los subsidios e incentivos para los futuros compradores o dueños de vehículos eléctricos. Estos pueden ser económicos: subvención en los puestos de venta, exoneración de impuestos y descuento postcompra, o no económicos: acceso a carriles exclusivos en las autopistas, acceso permanente a cargadores, exoneración de restricciones a la circulación (“pico y placa”) y estacionamientos gratuitos [5].

De acuerdo con la IEA, el 95% de puntos de carga de vehículos eléctricos se desplegará a nivel residencial, en estacionamientos de edificios, oficinas o centros comerciales (carga en el destino o cuando los vehículos están estacionados) [3][14]. Además, con la tendencia creciente en la adopción de EV, será necesaria una red inteligente que permita la gestión de los cargadores, para su geolocalización, reserva, autenticación de usuario, control de carga y gestión de las transacciones comerciales. Por esta razón, el desarrollo de infraestructura de carga AC de Modo 3 pública y privada con funciones de interoperabilidad constituye un factor clave para el desarrollo de la electromovilidad.

---

<sup>6</sup> Total Cost of Ownership (TCO) es un medio de comparación económica entre vehículos de diferentes características. Esta comparación contempla el costo de compra y los gastos operacionales [11]

### 1.3. Justificación

La IEA identifica dos escenarios para el desarrollo de la electromovilidad, uno para las políticas actuales y el otro para el EV30@30. Este último escenario es relevante y necesario para revertir los efectos del cambio climático a través de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el sector transporte (ver Figura 13).

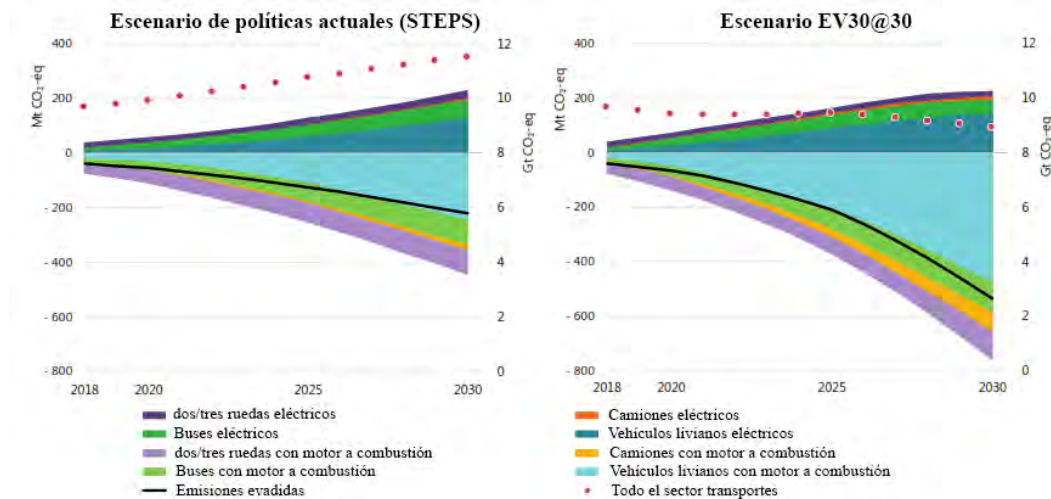


Figura 13: Emisiones de gases de efecto invernadero [11]

A medida que se superen los desafíos y se persiga la meta del EV30@30, la acogida de la electromovilidad traerá consigo el gran reto de gestionar el abastecimiento de energía para la flota de vehículos eléctricos, proyectando la cantidad de 275 millones de EV y 220 millones de cargadores para el año 2030 a nivel mundial [3], tal como se muestra en la Figuras 14 y Figura 15. Para lograrlo, será necesaria una red interconectada de cargadores para poder monitorear y regular la recarga de vehículos eléctricos, así como la interacción entre el usuario y el sistema. Esto tiene la finalidad de adaptar la red eléctrica a las nuevas necesidades de consumo y mantener un estándar de comunicación entre los consumidores, los cargadores, los vehículos y el resto de componentes que conforman la infraestructura de carga [13].

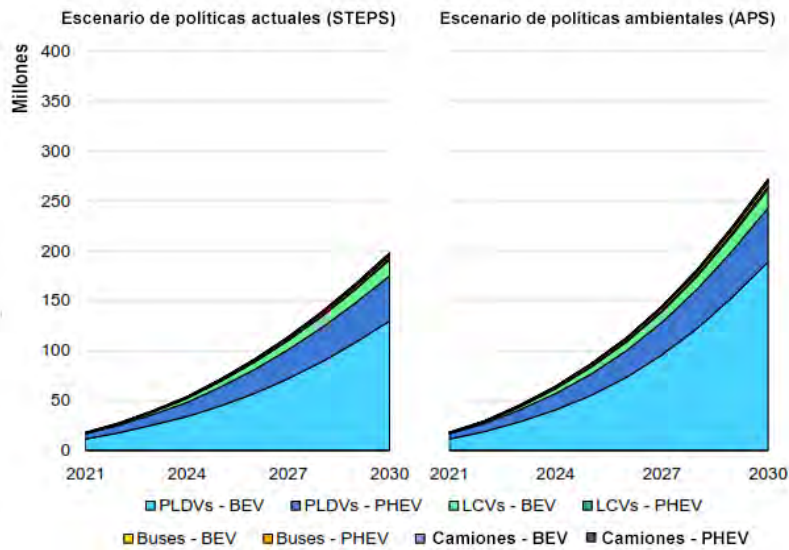


Figura 14: Proyección de cantidad de vehículos eléctricos [3]

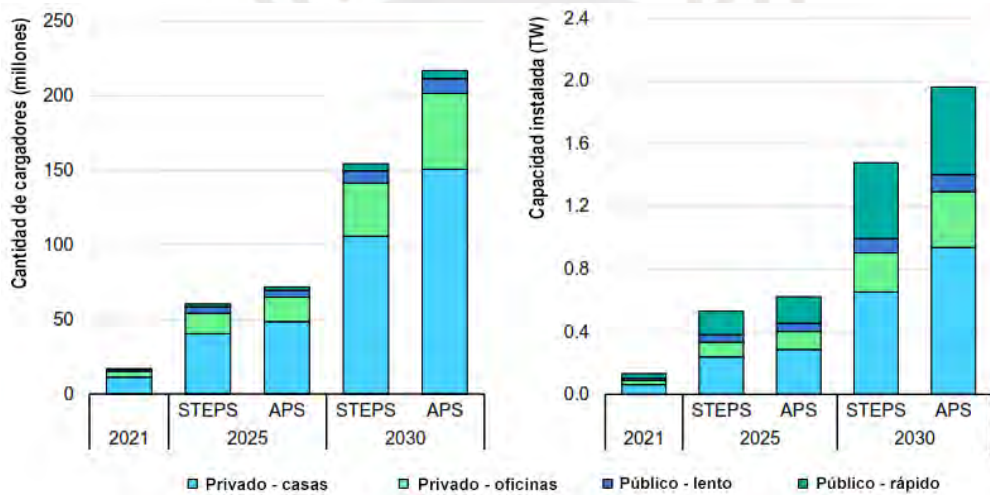


Figura 15: Proyección de cantidad y tipo de cargadores eléctricos [3]

Con lo expuesto anteriormente, es evidente que la interoperabilidad será de vital importancia para el futuro de la electromovilidad debido a que esta funcionalidad permitirá gestionar el incremento de capacidad y energía eléctrica requerida. Por esta razón, se considera la incorporación de una capa de transferencia de información de alto nivel a través del protocolo OCPP 1.6 a un cargador eléctrico. El estándar que se empleará es el Europeo AC Tipo 2, ya que es el más utilizado en todo el mundo, el que ha sido seleccionado como estándar base en el caso de Perú (de acuerdo con el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica), y además, existen adaptadores que permiten la compatibilidad con otros estándares, incrementando el alcance de este cargador.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar y simular un cargador para vehículos eléctricos bajo el estándar AC Tipo 2 que soporte la gestión de interoperabilidad a través del protocolo OCPP 1.6 requerido en el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar los requerimientos técnicos que debe tener un cargador AC Tipo 2 de acuerdo con el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica para ser considerado en los criterios de diseño.
- Desarrollar y simular el hardware, circuitos de protección y control para realizar la carga a través del estándar AC Tipo 2.
- Desarrollar y simular el circuito de medición para el cálculo de los kW/h transferidos hacia el vehículo, considerando las opciones tarifarias de acuerdo con la normativa local
- Identificar los protocolos y las distintas capas o niveles de comunicaciones que se utilizan para la interoperabilidad de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos, de acuerdo con el modelo OSI.
- Implementar y simular el protocolo OCPP 1.6 para la gestión de interoperabilidad del cargador AC a diseñar.

## Capítulo 2

### Teorías y conceptos para el diseño de un cargador AC Tipo 2 para vehículos eléctricos con funciones de interoperabilidad

#### 2.1. Regulación y normativa aplicable

A continuación, se presenta una breve descripción de algunas de las normas que se tendrán en cuenta para el diseño del cargador y otras que son relevantes para su instalación [35][36]. En la Figura 16, se muestran algunas de las normas según la aplicación que poseen.

- **NTP-IEC 60364:** Instalación en baja tensión. **Parte 6:** Verificación.
- **NTP-IEC 61851:** Sistema de carga para un vehículo eléctrico. **Parte 1:** Requisitos generales. **Parte 21-1:** Requisitos de EMC del cargador a bordo de un vehículo eléctrico. **Parte 21-2:** Requisitos de EMC del cargador externo para un vehículo eléctrico. **Parte 23:** Cargador DC. **Parte 24:** Comunicación entre el vehículo eléctrico y la estación de carga DC.
- **NTP-IEC 62196:** Enchufes, tomacorrientes y conectores de un vehículo eléctrico. **Parte 1:** Requisitos generales. **Parte 2:** Requisitos para los accesorios en corriente alterna. **Parte 3:** Requisitos para los accesorios en corriente continua.
- **NTP-IEC 61000:** Compatibilidad electromagnética (EMC). **Parte 3:** Límites de emisiones de armónicos.
- **IEC 60364:** Instalación en baja tensión. **Parte 7:** Suministro para vehículos eléctricos.
- **IEC 60529:** Grados de protección IP.
- **IEC 61140:** Protección contra descargas eléctricas.
- **IEC 61439:** Ensamblado de equipos de bajo voltaje para lugares públicos.
- **IEC 61850:** Redes de comunicación para la automatización de la energía.
- **IEC 61851:** Sistema de carga para un vehículo eléctrico. **Parte 22:** Cargador AC.



- **IEC 61980:** Transferencia de energía inalámbrica para vehículos eléctricos.
- **IEC 62040:** Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS).
- **ISO 6493:** Especificaciones de seguridad para vehículos eléctricos. **Parte 3:** Protección ante descargas eléctricas.
- **ISO-IEC 15118:** Interface de comunicación vehículo a la red (V2G). **Parte 1:** información general. **Parte2:** Requisitos para los protocolos de la capa de red y la capa de aplicación. **Parte 3:** Requisitos para los protocolos de la capa física y la capa de enlace.
- **DS-022-2020-EM:** Decreto Supremo que aprueba disposiciones sobre la infraestructura de carga y abastecimiento de energía eléctrica para la movilidad eléctrica
- **DS-036-2023-EM:** Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica.
- **R-230-2021-OS/CD:** Resolución del consejo directivo del Osinergmin que modifica los artículos 5, 6, 7.1 y 25 de la norma Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final.

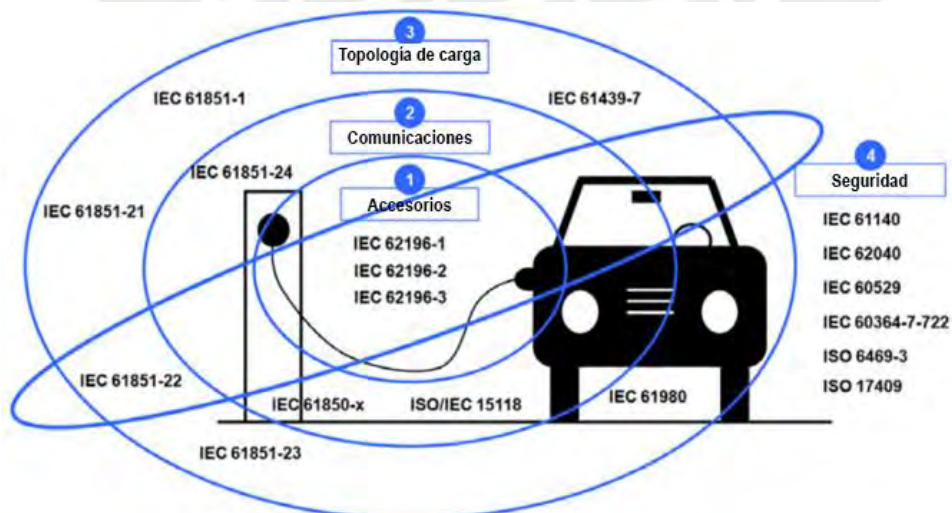


Figura 16: Normas ISO e IEC agrupadas por ámbito de aplicación [35]

## 2.2. Estándar y modo de carga

### 2.2.1. Estándar Europeo AC Tipo 2

#### 2.2.1.1. Contactos, esquemas de conexión y parámetros

El estándar Europeo AC Tipo 2 es utilizado para el Modo de carga 3. La distribución de contactos dependerá del suministro AC para el cual ha sido diseñado. Por un lado, si el suministro es AC trifásico, el estándar contará con cinco contactos de poder y dos de control. Entre los contactos de poder se encuentran las fases (L1, L2, L3), el neutro (N) y la puesta a tierra (PE), y entre los contactos de control se encuentran el piloto de control (CP) y el piloto de proximidad (PP). Por otro lado, si el suministro es AC monofásico, el estándar contará con tres contactos de poder y dos de control. Se mantienen los contactos L1, N, PE, CP y PP en la misma posición que el caso trifásico, pero se omiten L2 y L3 [4][9][37]. La Figura 17 y la Figura 18 muestran la conexión del EV y la estación de carga, donde A es el conector hembra del EV, B es el conector macho del cable de carga, C es el conector hembra del cable de carga y D es el socket de la estación de carga. La Tabla 6 describe las características de cada contacto.

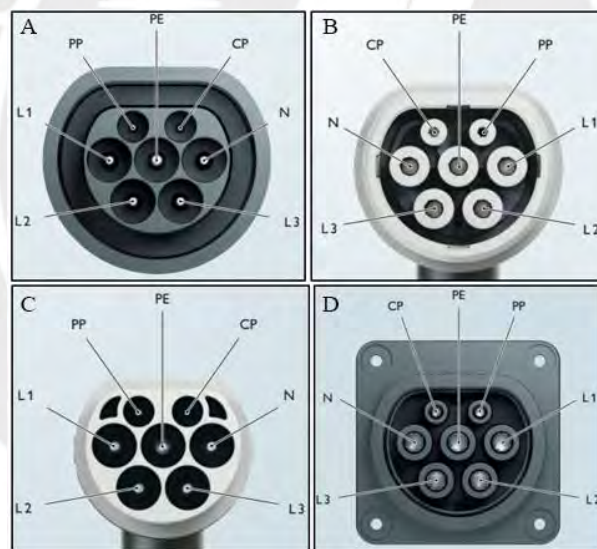


Figura 17: Lado del EV (A y B) y lado de la estación de carga (C y D) [37]

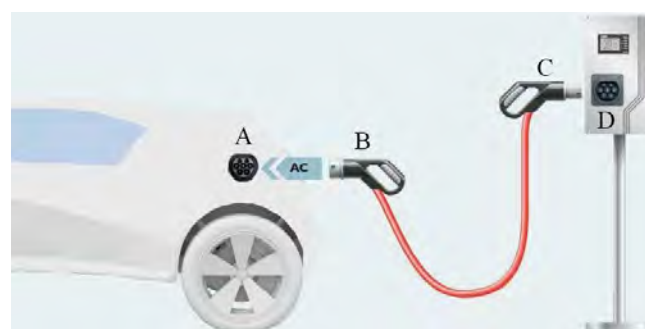


Figura 18: Conexión completa entre el EV y la estación de carga [37]

Tabla 6: Contactos del estándar AC Tipo 2 [4][9][6]

Contacto	Voltaje y corriente máximos	Características
L1	480 V / 63 A AC	Fase utilizada en monofásico y trifásico
L2		Fase utilizada solo en trifásico
L3		Fase utilizada solo en trifásico
N		Utilizado en monofásico y trifásico
PE	-	Sirve de protección y se asigna a alguna falla
CP	30 V / 2 A AC	Permite la interacción y comunicación entre el EVSE y el EV a través de una señal PWM o LIN
PP		Permite identificar el estado de sujeción del cable de carga al vehículo y a la estación de carga. Además, es utilizado para la codificación de la corriente máxima que pueden soportar los conductores por medio de una resistencia $R_c$

Para entender con mayor claridad la implementación del estándar AC Tipo 2, se presenta el esquema de conexión del piloto de control en la Figura 19 y Figura 20. Además, la Figura 21 muestra un esquema que involucran a los circuitos para el piloto de control y piloto de proximidad. La Tabla 7 y la Tabla 8 describen los componentes de los esquemas.

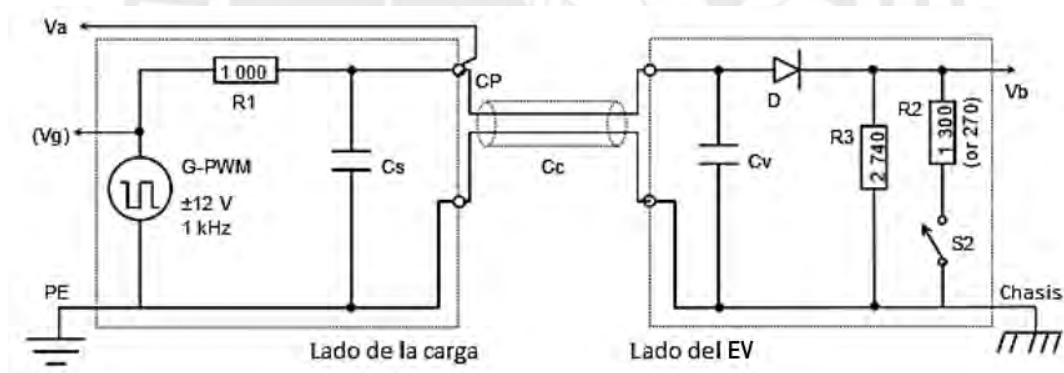


Figura 19: Esquema del piloto de control CP para PWM [6]

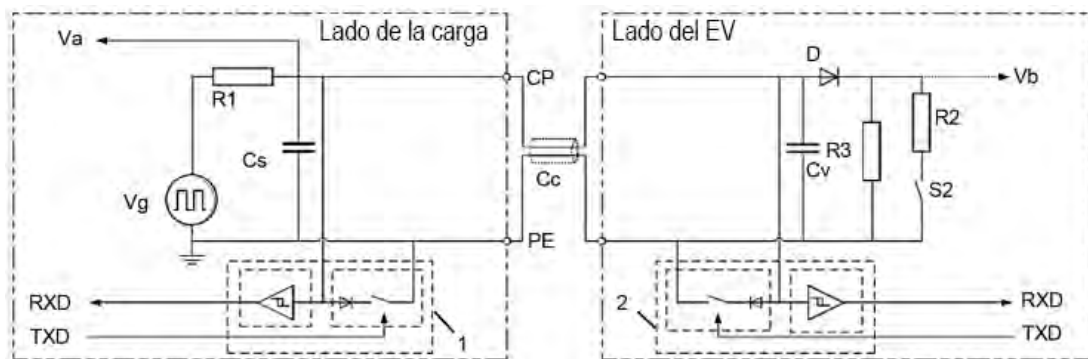


Figura 20: Esquema del piloto de control CP para LIN [6]

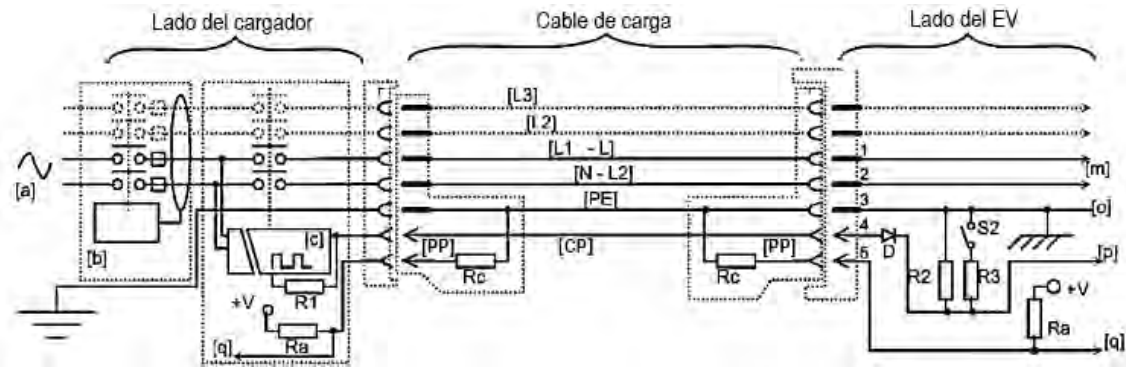


Figura 21: Esquema general [6]

Tabla 7: Parámetros para el circuito del CP [6]

Parámetro	Símbolo	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo	Unidad	
<b>Cargador y generador de onda cuadrada</b>						
Voltaje positivo	Voch	11.4	12	12.6	V	
Voltaje negativo	Vocl	-12.6	-12	-11.4	V	
Frecuencia	Fo	908	1000	1020	Hz	
Ancho del pulso	Pwo	0	-	100	%	
Resistencia de fuente	R1	970	1000	1030	$\Omega$	
Capacitancia del cargador	Cs	300	-	1600	pF	
Capacitancia del cable	c.c.	-	-	1500	pF	
Transmisión y recepción LIN <sup>7</sup>	TXD/RXD	-	-	-	-	
<b>EV</b>						
Resistencia permanente	R3	2658	2740	2822	$\Omega$	
Resistencia conmutada	Sin ventilación	R2	1261	1300	1339	$\Omega$
	Con ventilación		261.9	270	278.1	
Resistencia equivalente	Sin ventilación	Re	856	882	908	$\Omega$
	Con ventilación		239	246	253	
Caída de tensión del diodo	Vd	0.55	0.7	0.85	V	
Capacitancia de entrada	Cv	-	-	2400	pF	
Interruptor en el EV	S2	-	-	-	-	
Transmisión y recepción LIN	TXD/RXD	-	-	-	-	

Tabla 8: Parámetros para el circuito del PP [6]

Parámetro	Símbolo	Valor
Voltaje de pull-up	+V	5 V
Resistencia de codificación con tolerancia de $\pm 3\%$	Rc <sup>8</sup>	1500 $\Omega$ / 0.5W para 13 A de capacidad del cable
		680 $\Omega$ / 0.5 W para 20 A de capacidad del cable
		220 $\Omega$ / 1W para 32 A de capacidad del cable
		100 $\Omega$ / 1W para 63 A de capacidad de cable
Resistencia de pull-up	Ra	330 $\Omega$

<sup>7</sup> LIN-CP utiliza el mismo circuito que PWM-CP

<sup>8</sup> Para valores de Rc mayores a 4500  $\Omega$  o menores a 60  $\Omega$  el cargador debe interrumpir la carga

### 2.2.1.2. Sistemas de comunicación

#### I. Modulación por ancho de pulsos (PWM)

La modulación PWM permite que la estación de carga se comuniqué con el EV a través de una señal cuadrada variable. Esta señal tiene una amplitud máxima de +/- 12 V y una frecuencia de 1 kHz. La comunicación incluye la modificación de la amplitud, el ciclo de trabajo y la desactivación o activación de la misma señal. Cada una de estas modificaciones determinará un estado dentro del proceso de carga [6]. La Tabla 9 resume todos los estados posibles, la Figura 22 muestra las transiciones entre los estados, y la Figura 23 y la Figura 24 presentan los diagramas de estados junto con las transiciones.

Tabla 9: Estados de carga para comunicación PWM [6]

Va (V)			Estado PWM	Estado del sistema	EV conectado	S2	EV listo	Estación de carga lista	
Nivel Bajo	Nominal	Nivel Alto							
11	12	13	Off <sup>9</sup>	A1	No	N/A	No	No	
11	12	13	On <sup>10</sup>	A2			No	Sí	
10		11	On u Off	Ax o Bx <sup>11</sup>	No o Sí	abierto	No	Estado dependiente	
8	9	10	Off	B1	Sí	Abierto	No	No	
8	9	10	On	B2			No	Sí	
7		8	On u Off	Bx o Cx		Abierto o cerrado	Estado dependiente		
5	6	7	Off	C1		Cerrado	Sí	No	
5	6	7	On	C2			Sí	Sí	
4		5	On u Off	Cx o Dx			Sí	Estado dependiente	
2	3	4	Off	D1			Sí	No	
2	3	4	On	D2			Sí	Sí	
1	N/A	2	On u Off	Dx o E			Abierto o cerrado	Estado dependiente	
-1	0	1	Off	E		N/A	N/A	N/A	No
-10			On u Off	Inválido	N/A	N/A	N/A		
-11		-10	Off	F	N/A	N/A	N/A	No	
-13	-12	-11	Off	F	N/A	N/A	N/A	No	
-11		-10	On	x2 o inválido	No o Sí	Abierto o cerrado	Estado dependiente		
-13	-12	-11	On	x2	N/A	N/A	Estado dependiente		

<sup>9</sup> Un estado On corresponde a la señal PWM activada con voltaje positivo Va y negativo -12 V

<sup>10</sup> Un estado Off corresponde a la señal DC a Va

<sup>11</sup> La letra x en Ax, Bx, Cx o Dx puede ser 1 o 2 y en x1 y x2 puede ser A, B, C o D

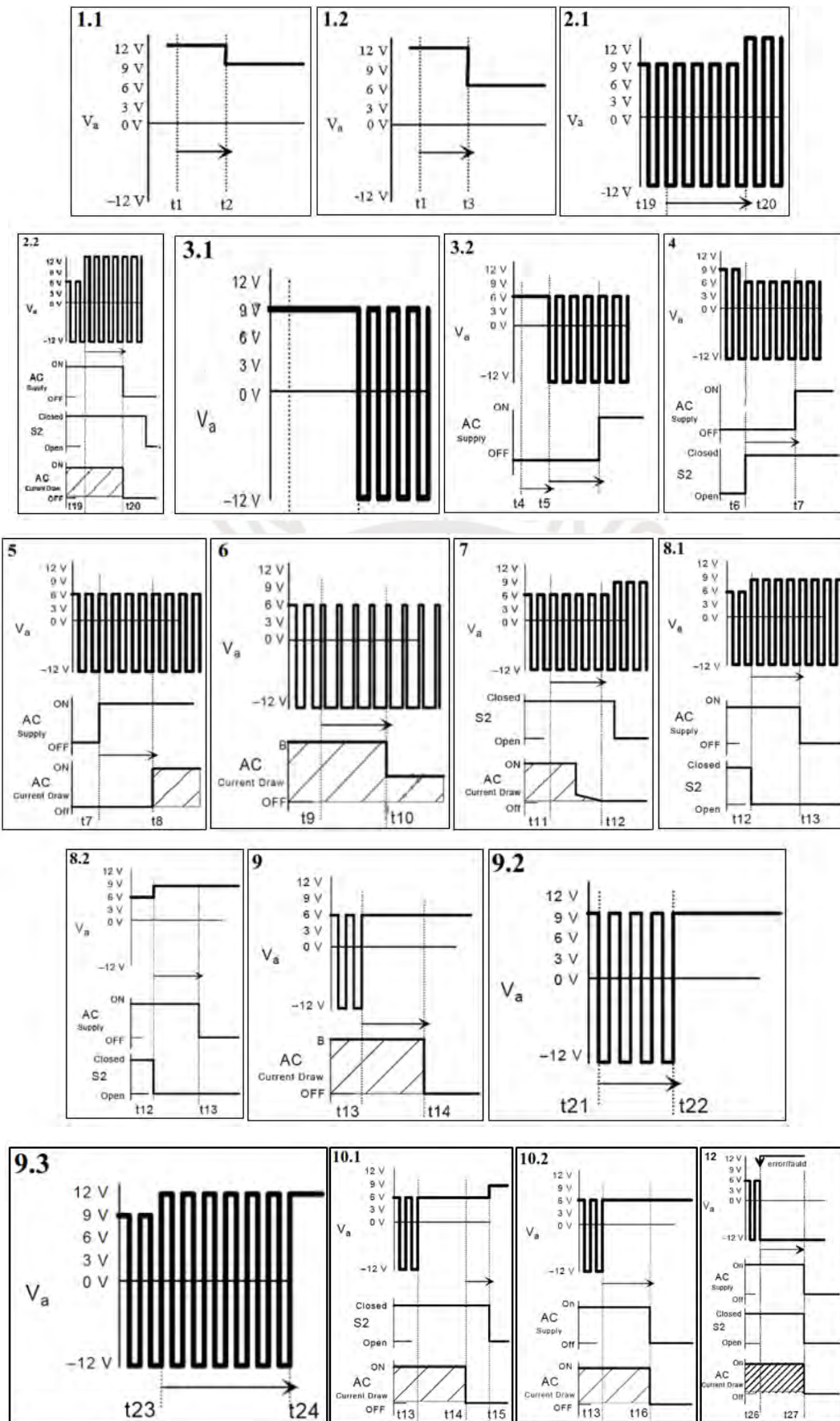


Figura 22: Transiciones [6]

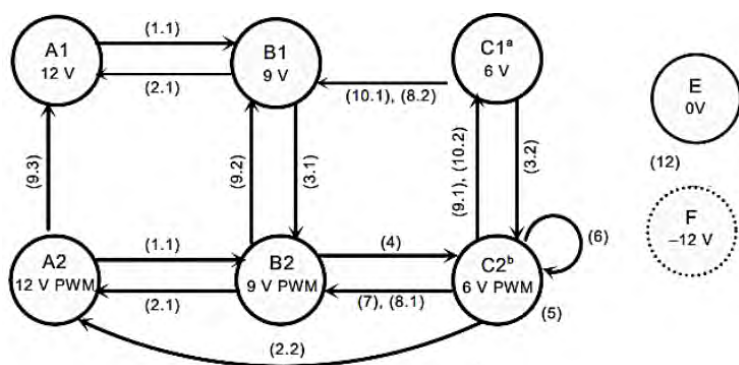


Figura 23: Diagrama de estados [6]

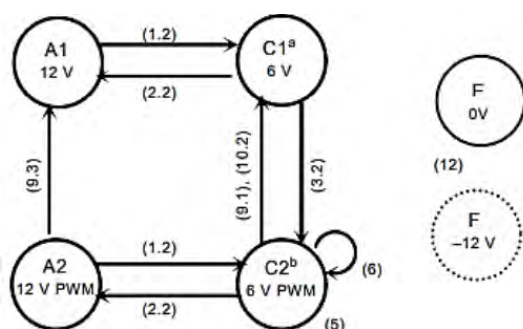


Figura 24: Diagrama de estados simplificado [6]

Los cambios entre A, B, C o D son realizados por el EV o el usuario, mientras que los cambios entre  $x_1$  y  $x_2$  son ocasionados por el cargador. Este último indica que el equipo está disponible ( $x_1$ ) o no disponible ( $x_2$ ) [6]. En el momento en que la estación de carga es habilitada para suministrar energía al EV, la corriente es regulada por el cargador a bordo del EV y controlada por la estación de carga a través de la variación del ciclo de trabajo de la señal PWM presentada en la Tabla 10. Cabe resaltar que la versión simplificada significa que el interruptor S2 no existe dentro del EV.

Tabla 10: Ciclo de trabajo y corriente máxima [6]

Ciclo de trabajo $D_N$	Corriente máxima (A)	Descripción
$D_N < 3\%$	0	Corriente no permitida
$3\% \leq D_N \leq 7\%$	Según comunicación digital	Cuando $D_N$ es menor al 5% se requiere de comunicación digital especificada en la ISO/IEC 15118 o IEC 61851-24.
$7\% < D_N \leq 8\%$	0	Corriente no permitida
$8\% < D_N \leq 10\%$	6	-
$10\% < D_N \leq 85\%$	$(0.6)D_N$	-
$85\% < D_N \leq 96\%$	$(2.5)(D_N - 64)$	-
$96\% < D_N \leq 97\%$	80	-
$97\% < D_N \leq 100\%$	0	Corriente no permitida

## II. Red de interconexión local (LIN)

El protocolo LIN permite establecer una comunicación digital entre el EV y la estación de carga. Algunas características incluyen la comunicación bidireccional, la posibilidad de controlar los límites de corriente por fase y el intercambio de diagnósticos. El EV puede indicar la corriente que necesita y el enlace se realiza a 20 kbit/s (solo voltajes positivos). Para entablar la comunicación, tanto el EV como la estación de carga deben contar con un transceptor LIN que sea capaz de interpretar los comandos propios del protocolo [6]. La Tabla 11 muestra los niveles de voltaje DC en el contacto CP, la Figura 25 muestra las secuencias de carga.

Tabla 11: Voltaje Va del CP [6]

Nivel de voltaje CP	Circuito CP conectado	Interruptor S2 cerrado	Va (V)		
			Mínimo	Nominal	Máximo
A	No	No conectado	11.4	12	12.6
B	Sí	No	8.37	9	9.59
C	Sí	Sí	5.47	6	6.53
D	Sí	Sí	2.59	3	3.28
E	Definido		Indefinido		

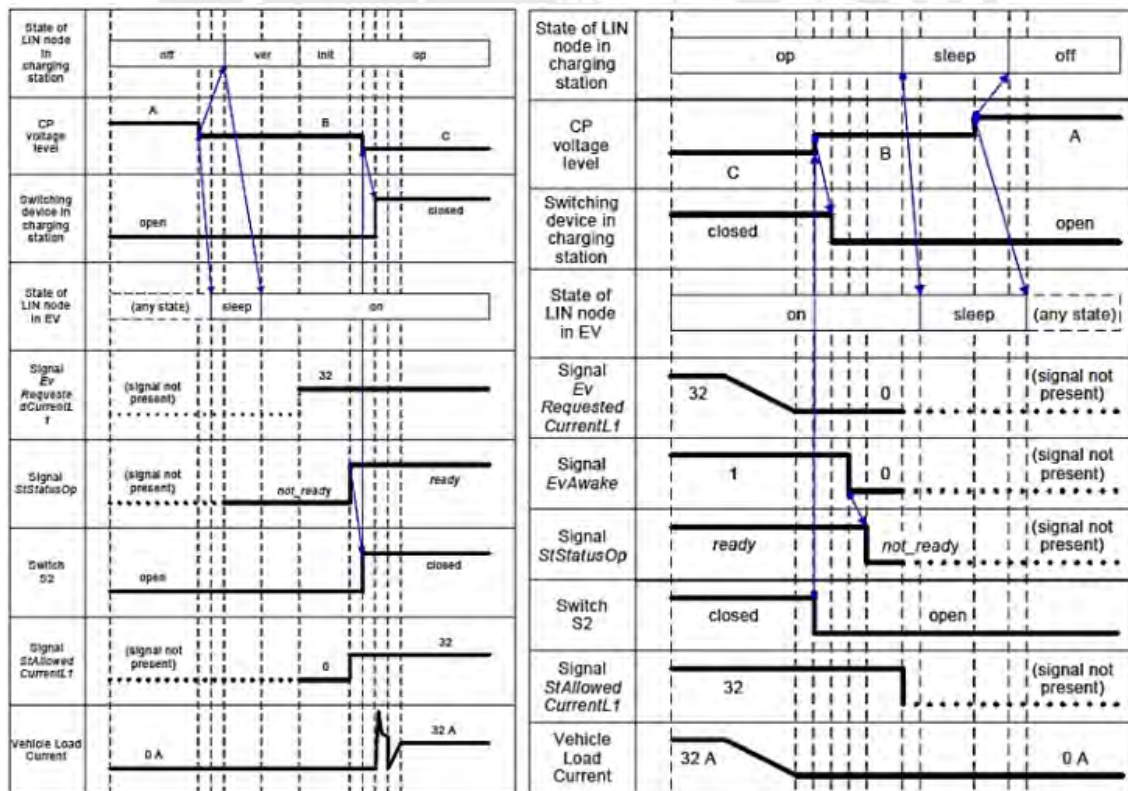


Figura 25: Secuencia de carga LIN [6]



La comunicación digital se realiza por medio de tramas de carga. Cada uno posee cierta cantidad de bytes, que a su vez se dividen en diferentes funciones, como *StStatusOp*, *StAllowedCurrentL1*, *EvAwake*, entre otros. Por otra parte, el protocolo LIN cumple con los horarios *off*, *ver*, *init*, *op*, *err* y *sleep* mostrados en la Figura 26 y en la Tabla 12 se describe cada uno de ellos.

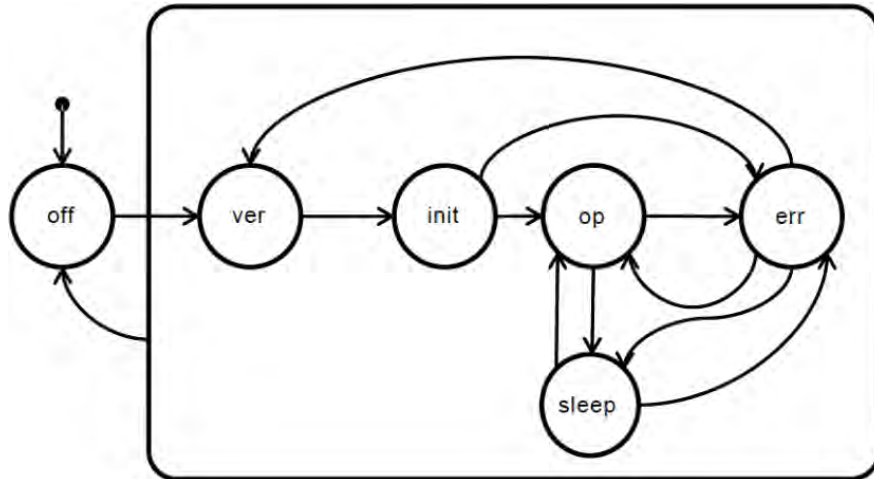


Figura 26: Diagrama de estados LIN [6]

Tabla 12: Descripción de horarios LIN y marcos requeridos [6]

Estado	Marcos requeridos	Descripción
<i>Off</i>	Ninguna	Comunicación desactivada
<i>Ver</i>	<i>StVersionList</i> , <i>EvVersionList</i>	Configuración de la comunicación y detección de la versión. El EV selecciona la versión a utilizar.
<i>Init</i>	<i>StStatus</i> , <i>EvStatus</i> , <i>StVoltages</i> , <i>StMaxCurrents</i> , <i>EvMaxVoltages</i> , <i>EvMinVoltages</i> , <i>EvMaxMinCurrents</i> <i>CaProperties</i>	Inicialización del sistema de carga. Se intercambia la información sobre la fuente de suministro y el EV.
<i>Op</i>	<i>StStatus</i> , <i>EvStatus</i> , <i>StNotReadyList</i> , <i>EvS2OpenList</i> , <i>EvPresentCurrents</i>	Utilizado cuando la inicialización ha sido correcta
<i>Err</i>	<i>StStatus</i> , <i>EvStatus</i> , <i>StNotReadyList</i> , <i>EvS2OpenList</i> , <i>EvPresentCurrents</i> , <i>StErrorList</i> , <i>EvErrorList</i>	Se gestionan los errores
<i>sleep</i>	Ninguna	Establece los transceptores LIN a dormir. No existe comunicación.

### 2.2.2. Estandarización del modo de carga 3 en el Perú

La utilización del Modo 3 de carga está permitido en ambientes privados y públicos en donde exista suministro AC hacia el vehículo mediante el conector Tipo 2 y, de forma opcional, un conector extra Tipo 1, Tipo 2 o Tipo GB/T. El equipo de suministro para vehículos eléctricos (EVSE), el cual consiste de una estación de carga (CS) y un cable de carga, que opere bajo este modo debe obedecer la norma IEC 61000-6-3 clase B residencial [4]. El cumplimiento de estas normas determina que la manipulación de los dispositivos de carga pueda ser realizada por personal sin instrucción técnica ni equipos de protección, y limitan las emisiones EMC y armónicos de los dispositivos de carga hacia otros equipos y la red. Los requisitos adicionales se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13: Requerimientos para el EVSE en Modo 3 [4][8]

Parámetro	Requisito
Suministro en AC	Transformador de aislamiento en configuración delta/estrella para la conexión de tres fases, neutro y tierra
	Hasta 63 A / 220 V monofásico o a partir de 32 A / 380 V trifásico
Esquema de conexión a tierra	TN-S o TT
Protección diferencial	Tipo A y Tipo B distribuidos entre el EVSE y el tablero eléctrico con sensibilidad máxima de 30 mA
Protección termomagnética	Según dimensionamiento del cargador
Grado de protección	IP41 en interiores
	IP 54 en exteriores
Grado de resistencia	IK08 en exteriores
	IK10 para bienes de dominio público
Cable de carga	El calibre debe coincidir con la salida del EVSE y debe tener una longitud de 3 m a 7.5 m
Contactos	Piloto de control(CP) y piloto de proximidad (PP) con enclavamiento mecánico o electrónico
Desconexión de seguridad	El EVSE se debe desconectar luego de 100 ms de interrumpido el suministro
	El EVSE se debe desconectar 3 s después de perdida la continuidad del conductor
	El EVSE se debe desconectar ante fugas de 6 mA de corriente continua a través de un equipo de protección diferencial adicional
Protocolo de interoperabilidad	OCPP 1.6 o superior
Otros	Se debe instalar un sistema de gestión de carga (SGE) cuando la potencia de la infraestructura de carga sea mayor a la contratada

En la Figura 27, se presentan todas las combinaciones posibles del diagrama unifilar para el Modo 3 y en la Tabla 14 se muestra su respectiva leyenda.

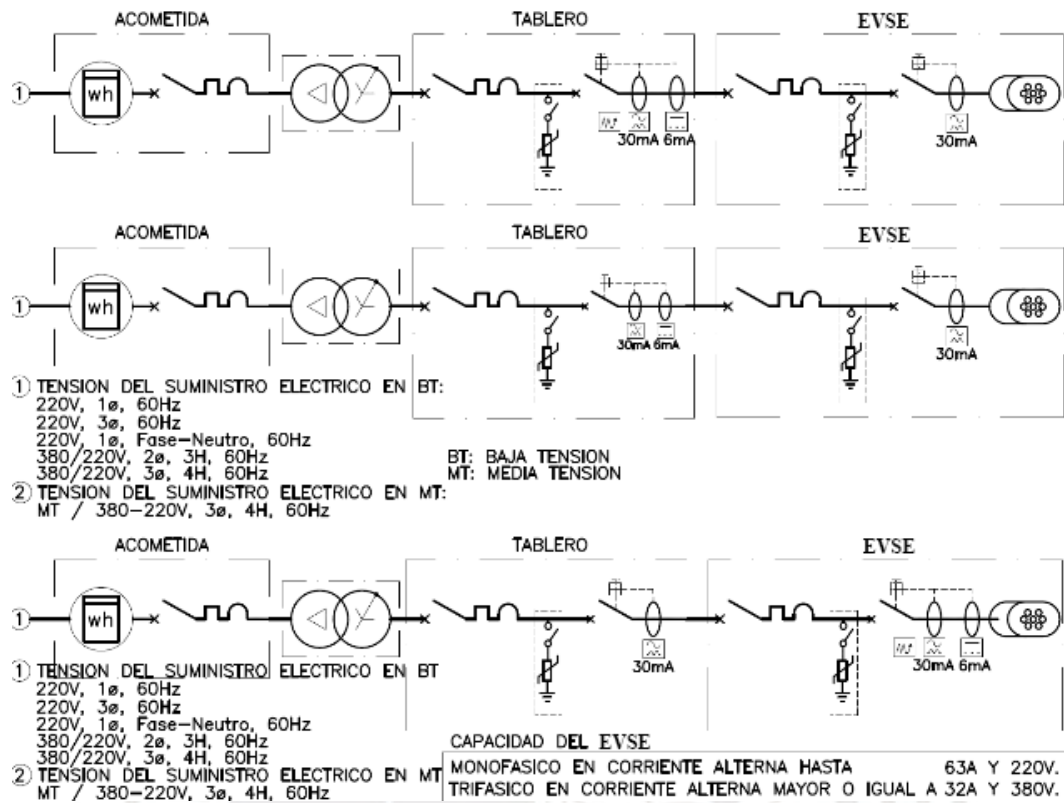


Figura 27: Diagrama unifilar para el Modo 3 [4][8]

Tabla 14: Leyenda del diagrama unifilar para el Modo 3 [4][8]

Símbolo	Descripción
	Medidor de energía
	Interruptor termomagnético
	Interruptor diferencial Tipo A con sensibilidad de 30 mA. Opera con corriente alterna y pulsante.
	Interruptor diferencial Tipo A con sensibilidad de 30 mA. Opera con corriente alterna y pulsante. Además, cuenta con desconexión activada por fugas de corriente continua de 6 mA.
	Interruptor diferencial Tipo B con sensibilidad de 30 mA. Opera con corriente alterna y pulsante. Además, cuenta con protección a fugas de corriente continua y compuestas
	Supresor de transitorios de voltaje
	Conector de vehículo eléctrico en AC
	Transformador de aislamiento 380 V trifásico (220 V entre fase y neutro), 4 hilos, 60 Hz

## 2.3. Redes eléctricas inteligentes (Smart Grid)

Se denominan redes inteligentes (Smart Grids) a la evolución que vienen teniendo los sistemas de distribución eléctrica para conseguir una gestión eficiente de la energía y la demanda. Estas permiten la transferencia bidireccional de energía, la incorporación de nuevos recursos de generación distribuidos y la transferencia de información entre todos los componentes que integran la red. Se caracterizan por lo siguiente: integración de tecnologías de medición inteligentes (AMI), el consumidor participa de forma activa al entregar el exceso de energía que posee, la demanda es monitorizada e incluso controlada en tiempo real, se empiezan a incorporar los vehículos eléctricos a la red (V2G), se potencia y gestiona la generación distribuida y se generan nuevos modelos para el mercado de comercialización de la energía [38].

### 2.3.1. Smart Grid Architecture Model (SGAM)

Para explicar la arquitectura de una Smart Grid se utilizará la Figura 28 y el modelo SGAM descrito en [39]. El modelo fusiona las capas de interoperabilidad con el plano del Smart Grid. Este último se subdivide en zonas, las cuales corresponden con los niveles jerárquicos para la gestión de la cadena de producción de energía, y dominios, los cuales corresponden con los componentes físicos del proceso de producción de energía.

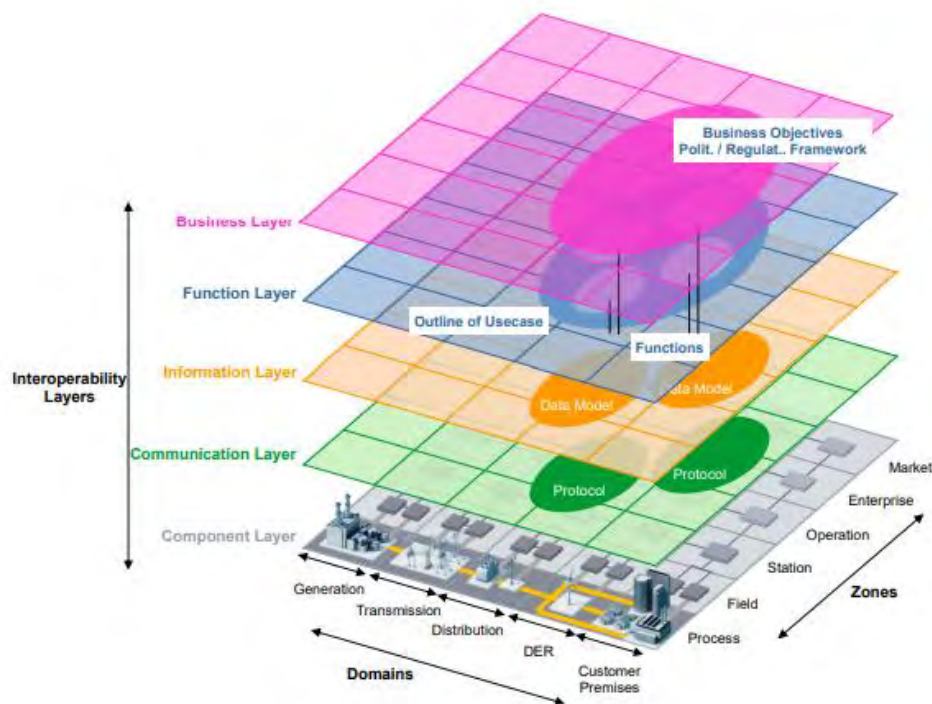


Figura 28: SGAM framework [39]

### 2.3.1.1. Zonas

Las zonas del modelo SGAM representan los niveles delimitados en la gestión de la energía. Cada una de estas zonas es descrita a continuación:

- *Process*: incluye el proceso mismo de generación de energía, como procesos físicos, químicos o cinéticos, y el equipo necesario para conseguirlo, como generadores, transformadores, cables, etc.
- *Field*: relacionado con los equipos que controlan y monitorean el sistema eléctrico, como interruptores de protección, estaciones de control o cualquier dispositivo electrónico que recibe información del sistema.
- *Station*: es un nivel adicional para la zona de campo. Incluye supervisión de planta, concentración de datos y automatización.
- *Operation*: son las operaciones para el control y gestión de los sistemas de energía, como la gestión de distribución, la gestión de la transmisión, la gestión de carga de vehículos eléctricos, entre otros.
- *Enterprise*: incluye actividades relacionadas a procesos comerciales y organizacionales relacionadas a servicios e infraestructura para proveedores y vendedores de energía.
- *Market*: corresponde con las operaciones de venta de energía a lo largo de toda la cadena de producción.

### 2.3.1.2. Dominios

Los dominios del modelo SGAM representan a la parte física de la red eléctrica y se encuentran distribuidos de acuerdo con la cadena de conversión de energía. Cada uno de estos dominios es descrito a continuación:

- *Generation*: generación de electricidad a través de hidrocarburos, energía nuclear, energía solar, turbinas hidráulicas o a vapor, etc., que se conectan a la red de transmisión.
- *Transmission*: transporte a grandes distancias de la electricidad generada
- *Distribution*: distribución de la electricidad hacia el consumidor final
- *DER*: se refiere a la distribución de recursos energéticos. Implica la distribución descentralizada de la generación eléctrica a baja escala (3 kW a 10 MW).

- *Customer Premises*: incluye a los usuarios finales y a los pequeños productores de electricidad, como aeropuertos, centros comerciales, casas, vehículos eléctricos, baterías, microgeneradores, entre otros.

### **2.3.1.3. Capas de interoperabilidad**

Las capas de interoperabilidad del modelo SGAM provienen de las categorías de interoperabilidad establecidas por GridWise Architecture Council en el año 2008. Estas capas permiten el intercambio de información entre zonas y dominios con el fin de cumplir funciones específicas. Cada una de estas capas es descrita a continuación:

- *Component Layer*: corresponde a todos los componentes físicos que componen a la Smart Grid. Incluye los equipos de energía, las computadoras, los equipos de telecomunicaciones, entre otros. Es conocido también como plano del Smart Grid.
- *Communication Layer*: describe protocolos y medios para el intercambio de información entre los componentes interoperables.
- *Information Layer*: corresponde con la información que circula entre funciones, servicios y el resto de componentes.
- *Function Layer*: describe funciones y servicios independientes de quienes los ejecutan y de la implementación física que requieren.
- *Business Layer*: consiste en el intercambio de información relacionado con los negocios respecto a las Smart Grids.

### 2.3.2. Vehicle to Grid (V2G)

La tecnología V2G permite la transferencia de energía bidireccional entre los EV y la red eléctrica, así como su integración con las tecnologías de la información. Esta establece la comunicación de los vehículos con la red, permitiéndoles vender parte de la energía almacenada en sus baterías y controlar la carga de sus baterías a través de los cargadores diseñados con esta tecnología. V2G hace posible la coordinación de la carga de los EV, la disminución de las fluctuaciones abruptas en la demanda, la regulación de la energía y la atenuación de anomalías en el sistema eléctrico. Además, si se prevé la integración de las energías renovables en la matriz energética, V2G será necesaria para compensar la intermitencia natural de estos tipos de generación [1][40]. En la Figura 29, se muestran las curvas de carga durante un día completo. Se aprecia que la curva normal de carga es más abrupta en comparación a la curva con V2G. Esto evidencia que las baterías de los EV se convertirán en una parte importante de la generación distribuida de energía (DER).

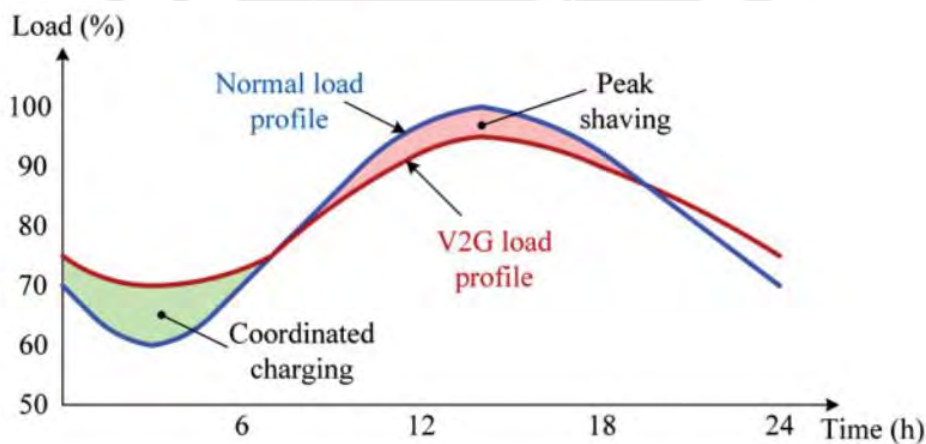


Figura 29: Curva de carga normal y V2G [1]

## 2.4. Modelos de interoperabilidad para la electromovilidad

### 2.4.1. Electric Mobility Systems Architecture (EMSA)

EMSA es un modelo totalmente compatible con el modelo SGAM que incluye a la electromovilidad dentro de su estructura, tal como se muestra en la Figura 30. Al igual que SGAM, EMSA se subdivide en zonas y dominios, las cuales son integradas por las capas de interoperabilidad. Las zonas representan los niveles jerárquicos para la gestión de la electromovilidad y los dominios corresponden con la cadena de procesos involucrados en la electromovilidad. Algunos términos mantienen los mismos nombres, pero sus definiciones fueron adaptadas para darles el mismo enfoque [41].

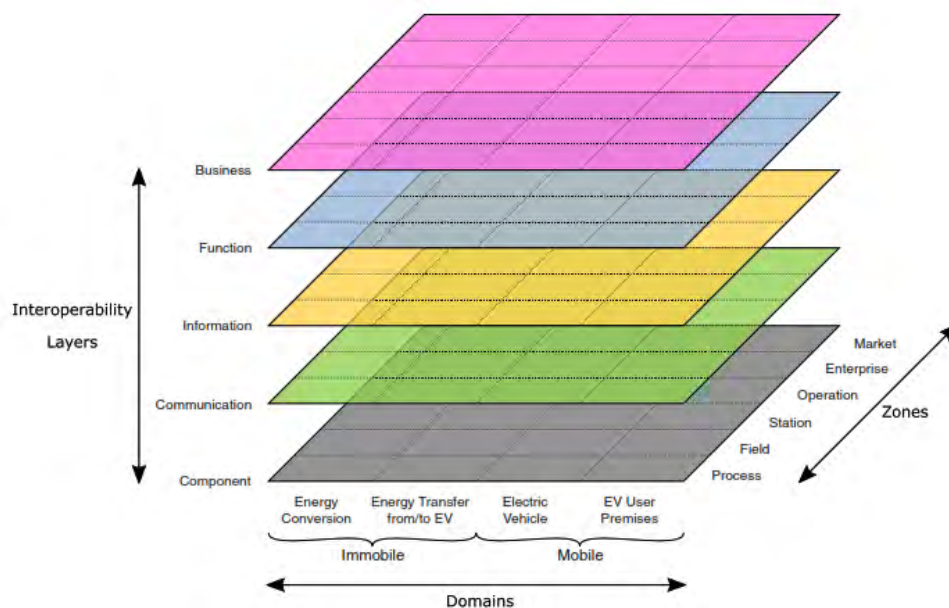


Figura 30: EMSA infraestructura [41]

#### 2.4.1.1. Zonas

Las zonas en SGAM y EMSA son idénticas entre sí. Solo se añaden algunos detalles a las definiciones ya establecidas en 2.3.1.1. La zona *Process* incluye a la infraestructura de carga, los EV y otros dispositivos asociados a la electromovilidad. La zona *Field* incluye equipos de mediciones y de protección para los sistemas de carga y EV. La zona *Station* comprende las áreas con múltiples cargadores o los sistemas de control de los vehículos donde existe transferencia de información. La zona *Operation* incluye gestión de la energía en la red, gestión de los sistemas de carga y las interfaces de usuario. La zona *Enterprise* son los procesos y servicios que están relacionados a la logística, a los proveedores de servicios, servicio al cliente y tarifas. La zona *Market* corresponde con las redes de servicio de carga, los proveedores de servicios para vehículos eléctricos, la venta de vehículos eléctricos y la venta de energía.



### 2.4.1.2. Dominios

Los dominios del modelo EMSA representan la cadena de procesos de la electromovilidad. Cada uno de estos dominios es descrito a continuación:

- *Energy conversion*: contiene todos los niveles de producción de energía, como generación, transmisión, distribución y DER.
- *Energy transfer from/to EV*: se refiere a la infraestructura de carga necesaria para lograr transferir energía de la red al EV o viceversa.
- *Electric vehicle*: incluye a los vehículos eléctricos particulares, pesados y micromovilidad, además de sus baterías y sistemas de recarga de baterías.
- *EV users premises*: son las interfaces de usuarios que sirven para gestionar los EV dentro de la red o realizar reservaciones de los cargadores. Estas interfaces pueden ser aplicaciones de celular, tarjetas RFID o computadores personales.

### 2.4.1.3. Capas de interoperabilidad

La presentación de cada capa será desde la inferior hasta la superior. Además, solo se utilizará el esquema para los vehículos eléctricos puros y se mencionará la información más resaltante en cada una de ellas. Las áreas de colores corresponden con el sector de aplicación y las intersecciones de estas significan que existe comunicación entre ellas.

- *Component*: esta capa contiene a los componentes físicos que requiere la electromovilidad.

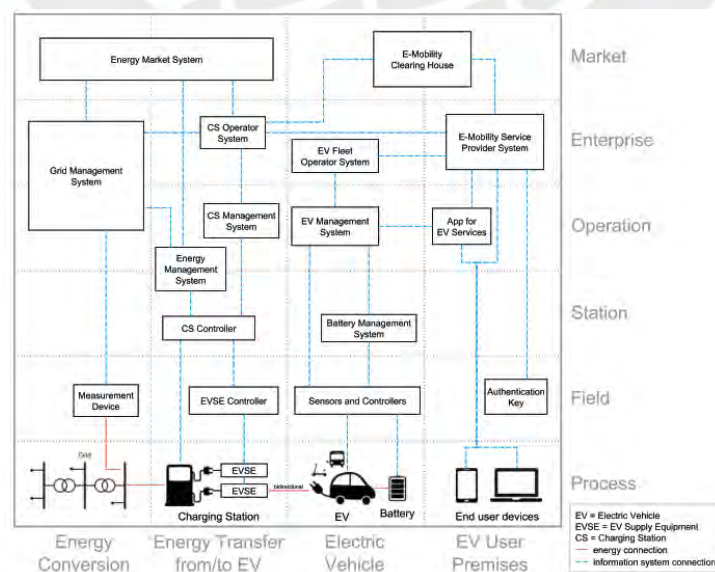


Figura 31: Component layer [41]

- *Communication*: esta capa muestra los protocolos y tecnologías para la red de comunicaciones. Gran parte del modelo utiliza Web Services basados en HTTP y TCP/IP. La comunicación entre los EV y los EVSE se realiza a través de señales PWM o CAN. Además, ethernet o wifi son usados para el envío de información.

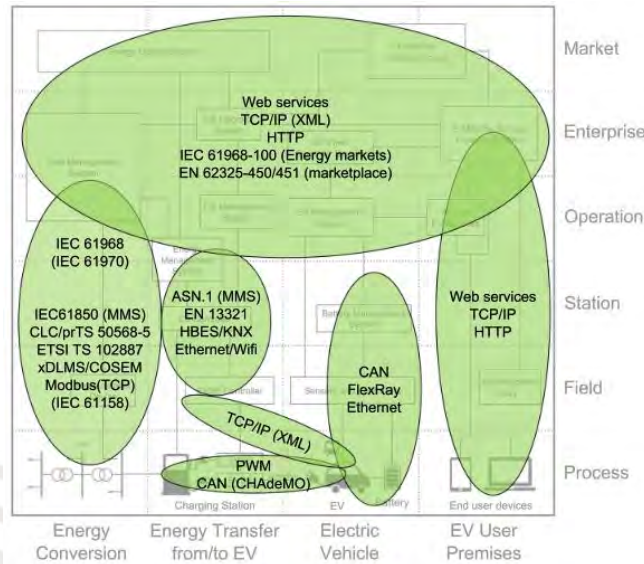


Figura 32: Communication layer [41]

- *Information*: esta capa proporciona las interfaces necesarias para el intercambio y gestión de la información. Se utilizan los protocolos de acceso restringido estipulados en la ISO-IEC 15118, la IEC 61851 y la IEC 61850. Además, se utilizan protocolos de libre acceso como el Open Charge Point Protocol (OCPP) y el Open Smart Charging Protocol (OSCP).

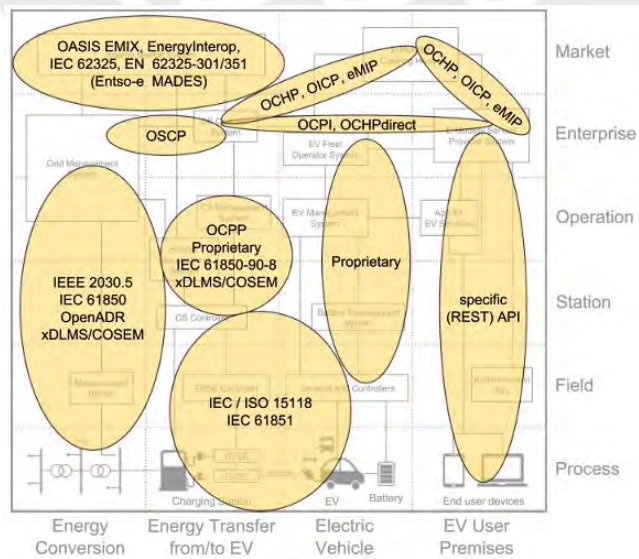


Figura 33: Information layer [41]

- *Function*: esta capa materializa la capa Business a través de funciones generales. Se pueden mencionar algunas como la gestión de los EVSE y EV, los servicios para el usuario, la gestión de carga de los EV en casas o edificios, entre otros.

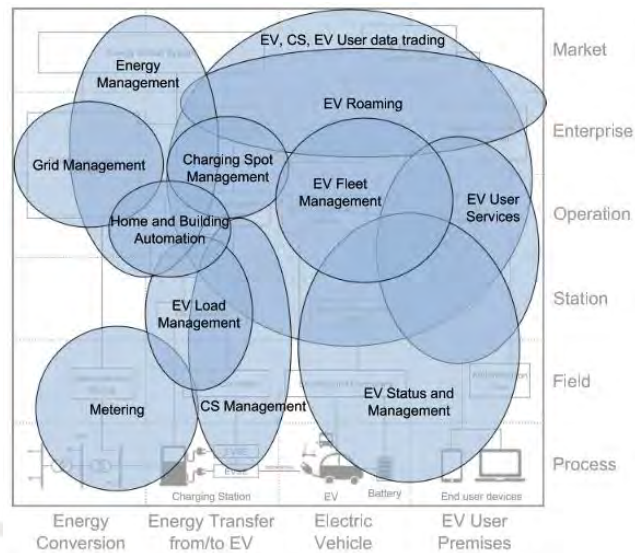


Figura 34: Function layer [41]

- *Business*: esta capa proporciona servicios y procesos para la electromovilidad. Se presentan los principales roles, como el usuario de EV, el operador de carga (CPO), el proveedor de servicios de electromovilidad (eMSP), el operador del sistema de distribución (DSO), el EV Clearing House, entre otros.

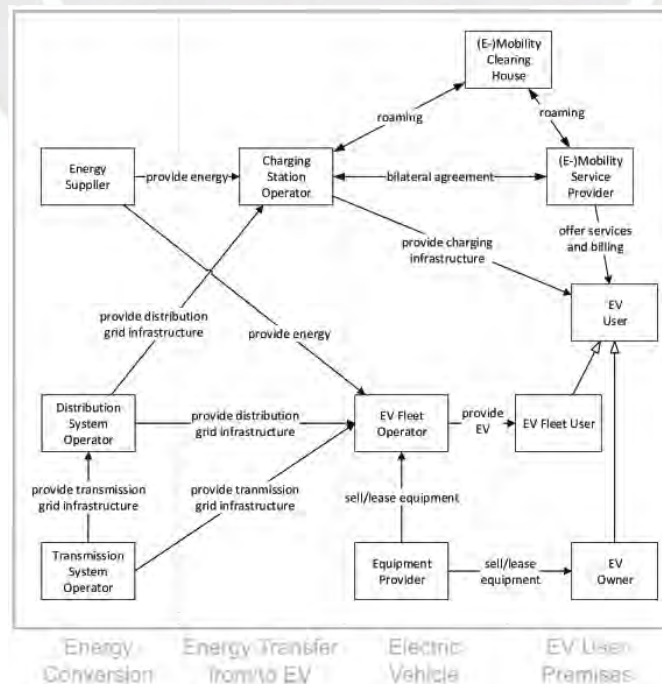


Figura 35: Business layer [41]

### 2.4.2. Protocolo de comunicación de interoperabilidad

El *Open Charge Point Protocol* u OCPP es un protocolo de libre acceso utilizado para la interoperabilidad entre las estaciones de carga y los operadores de carga. Esto permite que, sin importar la marca del cargador o algún operador en específico, la comunicación entre el EVSE y el operador de carga se pueda establecer mientras que ambos soporten el protocolo. Fue creado por Elaad en el 2009 y traspasado al *Open Charge Alliance* (OCA) en el 2014. Desde entonces, OCA se ha dedicado a la mejora del protocolo según las necesidades de la industria y la experiencia de sus desarrolladores. Su principal misión es fomentar el despliegue de los protocolos de comunicación dedicados a las infraestructuras de carga para vehículos eléctricos [42].

En la actualidad, la versión más utilizada es el OCPP 1.6. Este protocolo cuenta con 56 mensajes, de los cuales 28 son de transmisión (*.req*) y los otros 28 son de respuesta (*.conf*). Estos mensajes pueden ser iniciados por la estación de carga (10 mensajes) o el sistema central (19 mensajes), y contienen campos específicos que pueden estar constituidos por alguno de los 49 tipos de datos que existen en el protocolo. Además, cuenta con 43 llaves de configuración que permitirán establecer las funciones opcionales y obligatorias que las estaciones de carga poseen a través de los mensaje *GetConfiguration.req* y *GetConfiguration.conf* [43]. Estas especificaciones se encuentran agrupadas en los perfiles mostrados en la Tabla 15. En la Tabla 16 se muestran los mensajes asociados a cada perfil y, en la Figura 36 se muestra un diagrama de secuencias simplificado.

Tabla 15: Perfiles del OCPP 1.6 [43]

Perfil	Descripción
<i>Core</i>	Es la funcionalidad básica del protocolo
<i>Firmware Management</i>	Permite la actualización del firmware y la descarga de archivos de diagnóstico
<i>Local Auth List Management</i>	Gestiona la lista de autorización local de las estaciones de carga
<i>Reservation</i>	Permite la reservación de la estación de carga
<i>Smart Charging</i>	Admite la compatibilidad con la carga inteligente a través del piloto de control
<i>Remote Trigger</i>	Permite la gestión de los mensajes de inicialización de la estación de carga de manera remota

Tabla 16: Mensajes disponibles para cada perfil [43]

Mensaje	Core	Firmware Management	Local Auth List Management	Remote Trigger	Reservation	Smart Charging
Authorize						
BootNotification						
ChangeAvailability						
ChangeConfiguration						
ClearCache						
DataTransfer						
GetConfiguration						
HeartBeat						
MeterValues						
RemoteStartTransaction						
RemoteStopTransaction						
Reset						
StartTransaction						
StatusNotification						
StopTransaction						
UnlockConnector						
GetDiagnostics						
DiagnosticsStatusNotification						
FirmwareStatusNotification						
UpdateFirmware						
GetLocalListVersion						
SendLocalList						
CancelReservation						
ReserveNow						
ClearChargingProfile						
GetCompositeSchedule						
SetChargingProfile						
TriggerMessage						

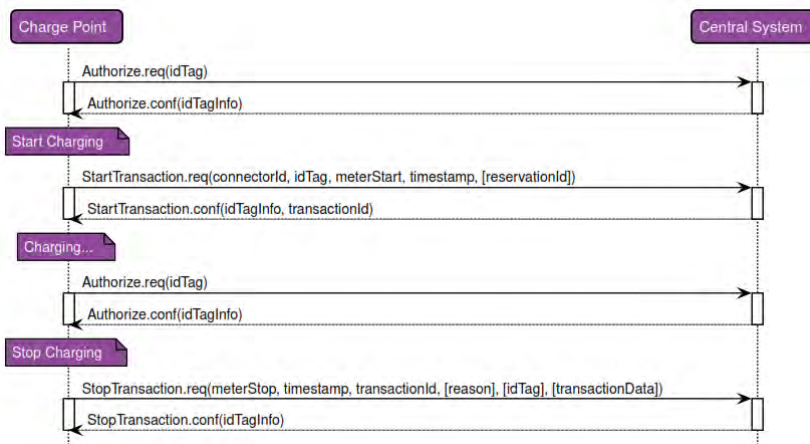


Figura 36: Proceso de transacción básico [43]

Existen dos tipos de OCPP. Uno es implementado en formato JSON sobre Web Sockets (OCPP-J) y el otro es implementado con el protocolo SOAP (OCPP-S).

#### 2.4.2.1. OCPP-J

JavaScript Object Notation (JSON) es un formato de texto para el intercambio de datos que consisten en combinaciones de llaves y valores dentro de su estructura [44]. Un Web Socket es un tipo de conexión bidireccional (Full-duplex) que utiliza el protocolo Web Application Messaging protocol (WAMP) para comunicarse a través de peticiones y respuestas de forma asíncrona [45].

La comunicación por WebSockets comienza con la conexión a un enlace URL, el cual es único para cada estación de carga. El CPO es el encargado de suministrar este URL al EVSE que comienza la comunicación con una petición por HTTP. En la Figura 37 se muestra una petición de ejemplo en donde la URL es `ws://some.server.com:33033/webServices/ocpp/CP3211`. Esto significa que el identificador único para el EVSE es CP3211 y como se muestra en la petición, el protocolo soportado es el OCPP 1.5 y OCPP 1.6. Además, en la misma imagen, se muestra la respuesta del CPO en donde acepta la comunicación luego de reconocido al EVSE con el protocolo OCPP 1.6.

GET /webServices/ocpp/CP3211 HTTP/1.1	<b>HTTP/1.1 101 Switching Protocols</b>
Host: some.server.com:33033	<b>Upgrade: websocket</b>
Upgrade: websocket	<b>Connection: Upgrade</b>
Connection: Upgrade	<b>Sec-WebSocket-Accept: s3pPLMBiTxaQ9kY</b>
Sec-WebSocket-Key: x3JJHMbDL1EzLkh9GBhXDw==	<b>Sec-WebSocket-Protocol: ocpp1.6</b>
Sec-WebSocket-Protocol: ocpp1.6, ocpp1.5	
Sec-WebSocket-Version: 13	

Figura 37: Petición (izquierda) y respuesta (derecha) [45]

Durante la comunicación existen tres tipos de mensajes identificados con los números 2 para CALL, 3 para CALL RESULT y 4 para CALL ERROR. El primero sucede desde el cliente al servidor (llamada) y los otros dos ocurren desde el servidor al cliente (respuesta). Para todos los casos el *UniqueId* relaciona llamadas con sus respectivas respuestas por lo que deben ser iguales. *Action* es el tipo de mensaje que proviene de OCPP y su contenido se incluye en *Payload*. Con respecto a los errores, *errorCode* es un código que identifica el error, la descripción se incluye en *errorDescription* y otros detalles se encuentran en *errorDetails*. Cada llamada utiliza un formato distinto que se presentan con un ejemplo a continuación:

- *Call*

[<MessageTypeId>, "<UniqueId>", "<Action>", {<Payload>}]

```
[2,
  "19223201",
  "BootNotification",
  {"chargePointVendor": "VendorX", "chargePointModel": "SingleSocketCharger"}
]
```

Figura 38: Ejemplo para Call [45]

- *CallResult*

[<MessageTypeId>, "<UniqueId>", {<Payload>}]

```
[3,
  "19223201",
  {"status": "Accepted", "currentTime": "2013-02-01T20:53:32.486Z", "heartbeatInterval": 300}
]
```

Figura 39: Ejemplo para CallResult [45]

- *CallError*

[<MessageTypeId>, "<UniqueId>", "<errorCode>", "errorDescription", {<errorDetails>}]

```
[4,
  "19223201",
  "ProtocolError",
  "Payload for Action is incomplete",
  {"No other details"}
]
```

Figura 40: Ejemplo para CallError [45]

Tabla 17: Códigos de error para OCPP-J [45]

<b>Código del error</b>	<b>Descripción</b>
<i>NotImplemented</i>	No se reconoce la solicitud del Action
<i>NotSupported</i>	Se reconoce Action, pero no es soportada
<i>InternalError</i>	La petición no procede debido a un error interno
<i>ProtocolError</i>	Payload está incompleto
<i>SecurityError</i>	No se completa Action debido a un problema con la seguridad
<i>FormationViolation</i>	Payload no escrito correctamente
<i>PropertyConstraintViolation</i>	Payload contiene al menos un dato erróneo
<i>OccurrenceConstraintViolation</i>	Payload contiene un dato no compatible
<i>TypeConstraintViolation</i>	Payload contiene un tipo de dato erróneo
<i>GenericError</i>	Se refiere a cualquier error no clasificado

### 2.4.2.2. OCPP-S

Simple Object Access Protocol (SOAP) es un protocolo de comunicación que, en comparación de JSON, ya posee su propia estructura para el envío de información a través del formato XML. Este se divide en *Envelope*, *Header* y *Body* [46][47]. Un Web Services Addressing (WSA) otorga mecanismos para enlazar servicios Web y mensajes con esquemas basados en XML de forma síncrona [48]. Esta establece los elementos que conforman el esquema del mensaje SOAP adaptado para la compatibilidad con OCPP según la Tabla 18 y la Figura 41.

Tabla 18: Esquema para el mensaje SOAP en XML

Línea de código para Figura 41	Elemento	Descripción
1	Declaración XML	No es parte del mensaje SOAP, pero es necesario para su interpretación. Se coloca antes del envelope
3 - 6	Charge Point Identity	El identificador del cargador es enviado por el header para que el CPO lo identifique
8 - 9	Action	Contiene el tipo de mensaje OCPP y sus parámetros se encuentran en el body
-	MessageID	Es el identificador único de la comunicación que relaciona los mensajes de petición y respuesta
-	RelatesTo	No se utiliza para peticiones. Solo incluye al MessageID
11 - 13	From	Permite que el CPO identifique los mensajes iniciados por el servidor al EVSE
15 - 19	ReplyTo	Contiene el enlace: <a href="http://www.w3.org/2005/08/addressing/anonymous">http://www.w3.org/2005/08/addressing/anonymous</a>
21 - 23	To	Debe contener la dirección del destinatario

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <!-- Header with the identifier of the sending Charge Point -->
4 <!-- xmlns:se="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope" -->
5 <!-- xmlns:cs="urn://Ocpp/Cs/2015/10/" -->
6 <cs:chargeBoxIdentity se:mustUnderstand="true">CP1234</cs:chargeBoxIdentity>
7
8 <!-- xmlns:se="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope" -->
9 <wsa5:Action se:mustUnderstand="true">/Heartbeat</wsa5:Action>
10
11 <wsa5:From>
12 <wsa5:Address>http://62.133.94.210:12345</wsa5:Address>
13 </wsa5:From>
14
15 <wsa5:ReplyTo SOAP-ENV:mustUnderstand="true">
16 <wsa5:Address>
17 http://www.w3.org/2005/08/addressing/anonymous
18 </wsa5:Address>
19 </wsa5:ReplyTo>
20
21 <wsa5:To SOAP-ENV:mustUnderstand="true">
22 http://some.backoffice.com/ocpp/v1/5
23 </wsa5:To>

```

Figura 41: Ejemplos SOAP



### 2.4.3. Integración al modelo OSI, protocolos y roles

#### 2.4.3.1. Modelo OSI

Luego de haber realizado la descripción de modelos como SGAM y EMSA, es conveniente presentar el modelo OSI adaptado a la electromovilidad. Para este caso, el modelo OSI de la Tabla 19 se basa en las especificaciones de la norma ISO/IEC 15118, a la cual se le añadieron los protocolos especificados en IEC 61851 (PWM, LIN, CAN) y en OCPP 1.6 (SOAP, JSON).

Tabla 19: Modelo OSI [49][50]

Capa OSI	Protocolos	
7	Aplicación	V2G, SOAP, DNS, SDP, Web Sockets
6	Presentación	EXI, XML, JSON
5	Sesión	V2GTP
4	Transporte	TCP, UDP
3	Red	IPv6, ND, ICMP, DHCP
2	Enlace de datos	MAC, LLC
1	Física	IEC 61851: PWM, CAN

#### 2.4.3.2. Protocolos y roles en el modelo de interoperabilidad

En la Figura 42 se pueden apreciar los protocolos y roles para la interoperabilidad en la electromovilidad. Las líneas continuas corresponden con los protocolos de uso específico y las líneas discontinuas corresponden con protocolos más genéricos. Además, las áreas de aplicación se dividen en cuatro: EV / EVSE, EVSE / CPO, Roaming y Smart Charging [51][52][7]. La Tabla 20 proporciona algunos ejemplos de roles existentes.

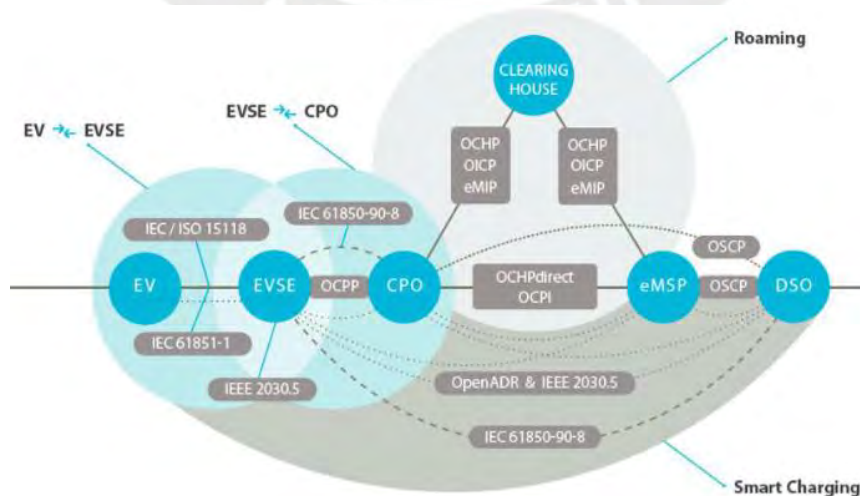


Figura 42: Protocolos y roles [51]

- EV (Vehículo eléctrico): son los vehículos que utilizan baterías como principal fuente de energía y motores eléctricos como medio de propulsión.
- EVSE (Equipo de suministro para EV): también se les conoce como puntos de carga, estaciones de carga o cargadores para EV. Suministran energía AC o DC al EV para cargar sus baterías.
- CPO (Operador de punto de carga): se encarga de suministrar, mantener y operar la infraestructura de carga, la cual incluye a los EVSE.
- eMSP (Proveedor de servicios de electromovilidad): provee servicios como pago de energía, localización y reservación de EVSE. Estos servicios se ofrecen a los usuarios de EV a través de plataformas digitales, como páginas web o aplicaciones móviles.
- Clearing House: permite la comunicación entre diferentes CPO y eMSP. Establece un espacio para el intercambio de información referida a las transacciones, autorizaciones y los EVSE. Evita la creación de múltiples conexiones punto a punto entre CPO y eMSP.
- DSO (Operador del servicio de distribución eléctrica): permite el acceso a la red de suministro eléctrico. Se encarga de mantenerla y gestionarla. El DSO como responsable de la operación de las redes de distribución eléctrica puede utilizar la información disponible en el ecosistema para gestionar la demanda agregada de la infraestructura de carga y notificar a los CPO sobre contingencias o mantenimientos programados, que permiten minimizar la afectación del servicio de recarga a los usuarios. Por otro lado el DSO puede solicitar y gestionar también el flujo inverso de energía con la tecnología V2G para utilizar las baterías de los EV como sistemas de almacenamiento bajo esquemas de generación distribuida.

Tabla 20: Ejemplos de roles existentes

<b>Roles</b>	<b>Ejemplos</b>
EV	Kia Soul EV, Tesla Model X, Hyundai Ioniq
EVSE	Schneider EV Link, Enel X Juice Box, Siemens Versicharge
CPO	Virta, IONITY, EV Go, Electrify America
eMSP	Virta, IONITY, EV Go, Electrify America, Plug Share, Electromaps
Clearing House	Hubject, e-clearing.net
DSO	Enel, Luz del Sur

- EV / EVSE: esta zona abarca la comunicación entre el vehículo eléctrico y el equipo de suministro para vehículo eléctrico a través de protocolos descritos en la IEC 61851 (PWM, LIN, CAN) o en la ISO-IEC 15118. El vehículo y el cargador deben contar con el mismo estándar de carga sin importar el fabricante de ambos.
- EVSE / CPO: esta zona abarca la comunicación entre el equipo de suministro para vehículo eléctrico y el operador de carga a través de protocolos, como OCPP (Open Charge Point Protocol) o la IEC 61850. Es importante notar que el CPO es responsable de proporcionar y mantener un grupo de estaciones de carga. Estas pueden ser de diferentes fabricantes, pero deben operar bajo el mismo protocolo como OCPP 1.6 JSON.
- Roaming: esta zona permite el intercambio de información entre diferentes CPO y/o eMSP, es decir que permite la interoperabilidad entre redes de carga distintas. Para lograrlo, los CPO se pueden comunicar con los eMSP directamente por medio del protocolo Open Charge Point Interface (OCPI) u Open Clearing House Protocol Direct (OCHP Direct), o también utilizando un Clearing House de mediador a través de los protocolos Open Clearing House Protocol (OCHP), Open Interchange Protocol (OICP) o eMobility Inter-Operational Protocol. Un eMSP puede brindar servicios y comercializar la energía de recarga sin contar con ninguna estación física (tal como se hace en los nuevos modelos de negocios digitales como Uber o AirBnB), para lo cual se comunica e interactúa con distintos CPO, para que los usuarios puedan ubicar, reservar y realizar la recarga en sus estaciones. Sin embargo, un CPO puede ofrecer sus propios servicios y abarcar ambos roles [53]. El Roaming permite que el usuario pueda utilizar las estaciones de carga de cualquier CPO con las mismas credenciales.
- Smart Charging: esta zona está destinada al control de la potencia de carga para vehículos eléctricos según la capacidad y la demanda de la red eléctrica (horas punta y horas fuera de punta). El DSO se encarga de informar sobre el estado de la red eléctrica y se comunica a través de protocolos como el Open Smart Charging Protocol (OSCP), Open Automated Demand Response (OpenADR) y la IEC 61850-90-8.

# Capítulo 3

## Diseño y especificaciones de un cargador AC para vehículos eléctricos

### 3.1. Alcance del diseño y especificaciones técnicas generales

En el Capítulo 1 y Capítulo 2 se establecieron el contexto y las bases teóricas para el desarrollo de tecnología relacionada a la infraestructura de carga para la electromovilidad. En base a la información documentada en ambos capítulos, el Capítulo 3 se centrará en el diseño de un cargador AC para vehículos eléctricos con funciones de interoperabilidad. Para lograrlo, se establecen algunos puntos que explican el alcance del diseño:

- Se realizará el diseño del EVSE en donde se incluirán los sistemas eléctricos y electrónicos junto con la distribución de componentes necesarios para que el EVSE pueda funcionar correctamente. Cabe resaltar que en este punto se presentará el protocolo de carga PWM descrito en la norma NTP-IEC 61851-1.
- Se realizará el diseño de la comunicación del protocolo OCPP-J 1.6, como parte del cual se escogerá el software necesario para lograr establecer la comunicación entre la estación de carga y un operador central de carga.
- El protocolo de carga PWM y el protocolo de interoperabilidad OCPP-J 1.6 serán diseñados de manera independiente. Es decir que los diagramas de flujo se presentarán de forma separada y no se integrarán en un solo sistema.
- Para comprobar el funcionamiento del protocolo de interoperabilidad OCPP-J 1.6 será necesaria una pequeña implementación, ya que se requiere demostrar si el protocolo puede ejecutarse sobre un sistema embebido.
- A excepción del protocolo de interoperabilidad OCPP-J 1.6, el resto de las partes podrán ser comprobadas por medio de simulaciones. Estas pretenden demostrar el concepto de funcionamiento de cada una de las partes que conforman todo el sistema a diseñar.

Antes de continuar a la presentación de las especificaciones técnicas se añaden unas consideraciones adicionales relacionadas con la potencia que será capaz de suministrar el cargador y el tipo de instalación teniendo en cuenta las limitaciones de los componentes de la infraestructura de carga descritos a continuación:

- La instalación eléctrica

Según el Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE), la alimentación en baja tensión para instalaciones privadas o públicas debe ser trifásico 380/220 V – 4 hilos, monofásico de 220 V – 2 hilos o trifásico de 220 V – 3 hilos [54].

- El cable de carga y el conector

Según la NTP-IEC 62196-2 [9] el conector Tipo 2 puede soportar hasta 480 VAC a 63 A con suministro trifásico o 250 VAC a 70 A en monofásico. En cambio, el cable de carga puede variar según la potencia y el calibre necesario. Los valores comerciales son 16 A y 32 A por conductor [37]. EL EV y el EVSE deben medir la resistencia de codificación  $R_c$  que permitirá determinar la corriente máxima de los conductores del cable.

- El cargador a bordo del vehículo

Según la Tabla 21, los cargadores a bordo más comunes tienen una potencia de 7.4 kW en monofásico y 11 kW en trifásico. Algunos pueden ser de 3.3 kW o 6.6 kW, e incluso pueden alcanzar hasta los 22 kW.

Tabla 21: Especificaciones de carga de EV comerciales [55]

Marca y Modelo	Características				
	Capacidad de la batería	Potencia del cargador a bordo	Estándar de carga		Tiempo de carga
Tesla Model 3	75 kWh	7.4 kW monofásico 11 kW trifásico	Tesla	CCS2 (Tipo 2)	10h
Volkswagen ID.3	62 kWh				8h
Hyundai Ioniq	38 kWh	7.2 kW monofásico	CCS 1 (Tipo 1)	CCS2 (Tipo 2)	5h15m
		7.2 kW trifásico			5h15m
Renault Zoe	52 kWh	7.4 kW monofásico	CCS2 (Tipo 2)		7h
		22 kW trifásico			2h15m
Nissan Leaf	40 kWh	6.6 kW monofásico 6.6 kW trifásico	Tipo 1 CHAdeMO	Tipo 2 CHAdeMO	8h30m
KIA Soul Electric	33 kWh				5h

Luego de lo descrito anteriormente, se establecen las especificaciones técnicas generales mostradas en la Tabla 22.

Tabla 22: Especificaciones técnicas generales del cargador

Característica	Descripción
Modo de carga	Modo 3
Estándar de carga	AC Tipo 2 (Europeo)
Nivel de carga (Potencia)	Nivel 2 (Hasta 7.4 kW)
Capacidad	220 V Monofásico
Protocolo de carga EV – EVSE	PWM (+/- 12 V)
Protocolo de interoperabilidad EVSE – CPO	OCPP 1.6J
Normas aplicables	NTP-IEC 62196-2, NTP-IEC 61851-1

Además, la Figura 43 muestra el diagrama de bloques con los componentes principales. Tanto el diagrama como la descripción de sus componentes se presentan a continuación:

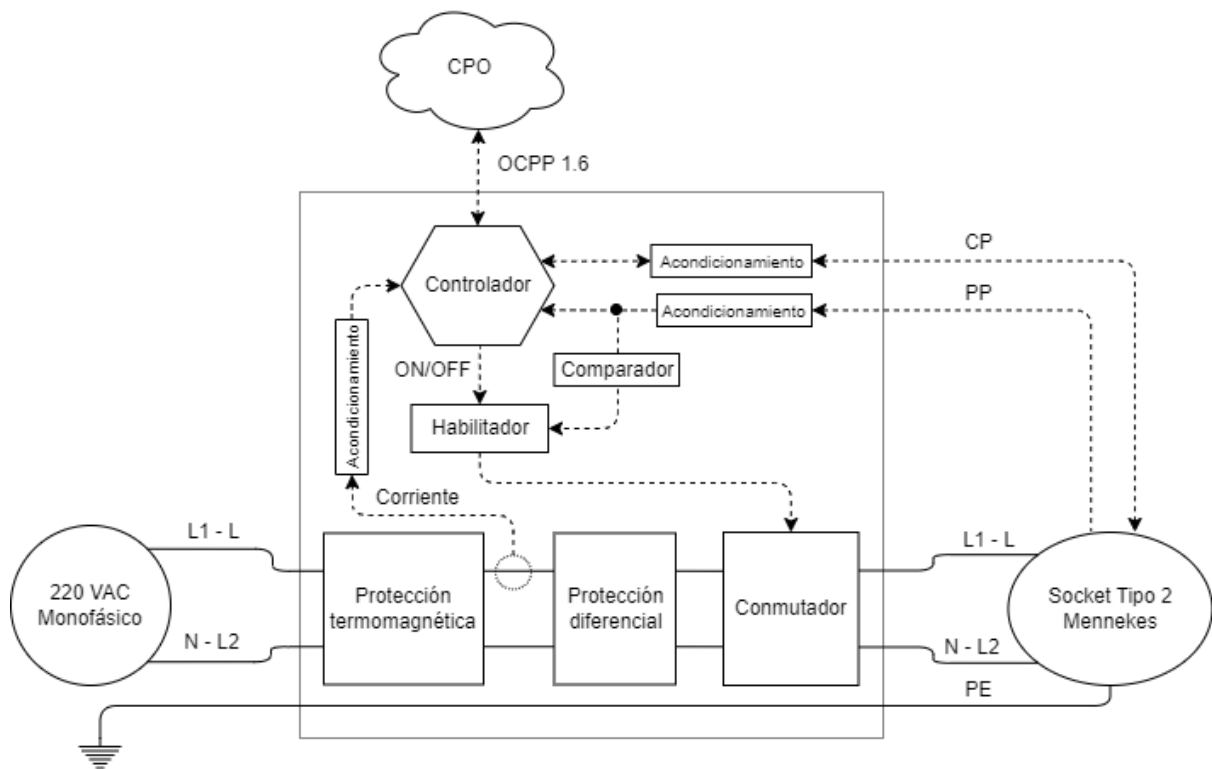


Figura 43: Diagrama de bloques

- El Operador Central de Carga (CPO) es quien se conecta al Controlador de la Estación de Carga (EVSE) a través del protocolo OCPP-J 1.6 para gestionar la carga de forma remota.
- El controlador recibe señales del Piloto de Control (CP), Piloto de Proximidad (PP) y Corriente, las cuales deben ser correctamente acondicionadas para su procesamiento.
- El Conmutador depende de la señal del Controlador y del Comparador para poder ser activado desde el Habilitador. Su activación determina el inicio del paso de corriente al vehículo eléctrico (EV) a través del Socket Tipo 2.
- Se provee la seguridad al usuario con la inclusión de protección diferencial y a la integridad física del sistema eléctrico con la protección termomagnética.



## 3.2. Diseño del EVSE

El diseño del EVSE contempla las siguientes actividades:

- Selección del controlador.
- Diseño del circuito del piloto de control que es necesaria para la comunicación por PWM con el vehículo.
- Diseño del circuito del piloto de proximidad, que determinará la correcta sujeción del cable de carga al cargador y la corriente máxima que pueden soportar los conductores.
- Diseño del circuito del comparador y habilitador de carga que serán los responsables de suministrar energía directamente al vehículo.
- Diseño del circuito de medición de corriente que servirá para el cálculo de la energía consumida.
- Descripción de la alimentación de todos los componentes.
- Cálculo de las tarifas BT5B y BT5F residenciales.
- Distribución de los componentes interactivos que estarán en contacto directo con el usuario.
- Elaboración de la lista de componentes preliminares.
- Elaboración del diagrama eléctrico
- Elaboración del esquema de señales y conexiones del controlador
- Elaboración del diagrama de flujo para la comunicación EV – EVSE

### 3.2.1. Selección del controlador

La tarjeta de desarrollo escogida es la DOIT ESP32 DevKit V1 [56], la cual cuenta con un microcontrolador ESPRESSIF ESP32 WROOM-32E [57][58]. Es muy importante destacar que esta tarjeta debe ser capaz de conectarse a una red LAN, además de contar con periféricos, como 3xADC, 1xSPI, 1xI2C y 5xGPIO como mínimo. La distribución de pines se muestra en la Figura 44 y las características del módulo/microcontrolador se muestran en la Tabla 23.



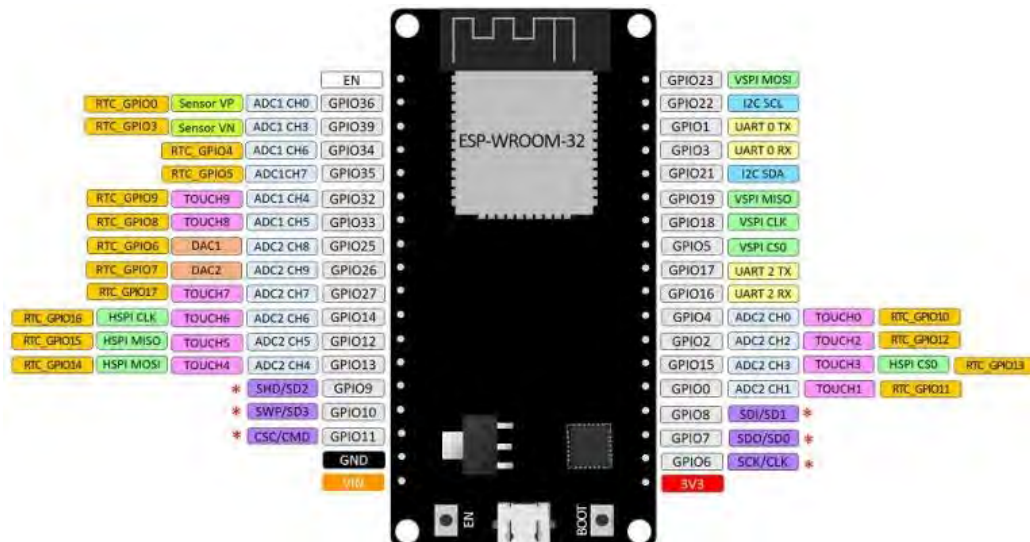


Figura 44: Distribución de pines del módulo ESP32 [56]

Tabla 23: Características del módulo ESP32 [56][57][58]

<b>Número de núcleos</b>	2
<b>Wi-Fi</b>	2.4 GHz hasta 150 Mbps
<b>Bluetooth</b>	BLE (Bluetooth de bajo consumo) y Bluetooth 4.2
<b>Arquitectura</b>	32 bits
<b>Frecuencia de reloj</b>	Hasta 240 MHz por núcleo. 40 MHz para Wi-Fi y Bluetooth
<b>Cantidad de pines</b>	36
<b>Periféricos</b>	34 x GPIO, 18 x ADC 12-bits, 2 x 8-bit DAC, 4 x SPI, 2 x I2C, 2 x I2S, 3 x UART, 16 x LED PWM, Motor PWM, CAN 2.0
<b>Alimentación</b>	USB 5V, VIN hasta 15V (regulador interno), 3.3V regulados

### 3.2.2. Circuito para el acondicionamiento del Piloto de Control (CP)

Según la norma NTP-IEC 61851-1 [6], el generador de señal PWM tiene las siguientes características:

- Voltaje positivo:  $12 \pm 0.6$  V
- Voltaje negativo:  $-12 \pm 0.6$  V
- Frecuencia:  $1000 \pm 20$  Hz
- Tiempo de subida (10% a 90%) y bajada (90% a 10%): 2 us
- Tiempo de establecimiento al 95 %: 3us
- Resistencia de fuente:  $1000 \Omega \pm 1\%$

Es importante destacar que el generador de señal PWM debe ser capaz de cambiar a una señal DC de 12 V, ya que la transición de estados de carga contempla la generación de señal PWM y voltaje DC.

### 3.2.2.1. Circuito

El amplificador operacional es alimentado por 12 V positivos y negativos. Este debe ser de tipo *Rail-to-Rail*, lo que permitirá que en la salida se aproveche todo el rango de la alimentación. La configuración usada es de comparación entre la mitad de la alimentación del microcontrolador (entrada inversora) y una señal PWM proveniente del mismo microcontrolador (entrada no inversora). Esto quiere decir que el rango de voltaje por el lado de la comparación es de 0 V a 3.3 V.

Mientras que la señal en la entrada no inversora sea mayor a la señal de la entrada inversora, la salida saturará a 12 V positivos, caso contrario, saturará a 12 V negativos. Es importante resaltar que la señal PWM puede ser modificada a una señal DC estable en cualquier momento, lo que se reflejaría en la salida como 12 V positivos o negativos estables.

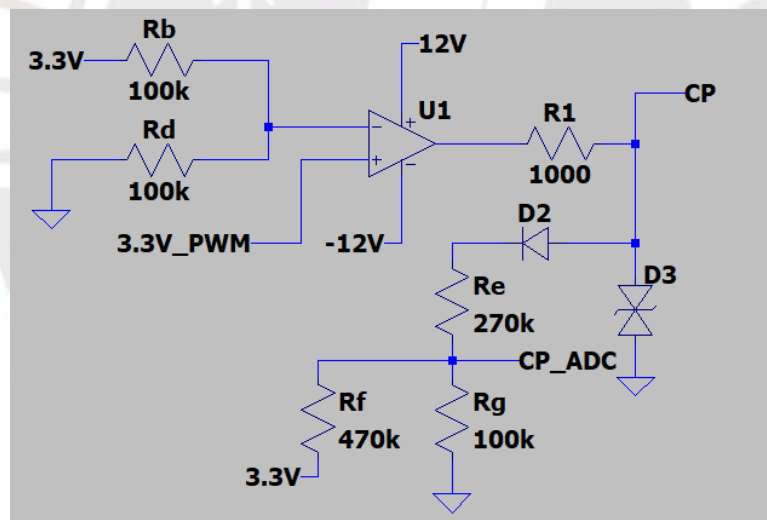


Figura 45: Circuito de acondicionamiento del CP

### 3.2.2.2. Justificación, cálculos y consideraciones

- Resistencias  $R_b$  y  $R_d$ : debido a que solo se necesita comparar la mitad del voltaje de alimentación del microcontrolador (3.3 V) se pueden utilizar dos resistencias iguales entre 100 k $\Omega$  y 100 k $\Omega$ .

$$10 \text{ k}\Omega \leq R_b \leq 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_b = R_d = 100 \text{ k}\Omega$$

$$V^- = 3.3V \left( \frac{100k\Omega}{100k\Omega + 100k\Omega} \right) = 1.65 V$$

$$V^+ = \pm 3.3 V$$

- Resistencia  $R1$ : ya se encuentra especificada en la norma NTP-IEC 61851-1.

$$R1 = 1000 \Omega \pm 1\%$$

- Diodo  $D2$ : protege la entrada ADC del microcontrolador contra voltajes inversos y debe ser capaz de conmutar señales de hasta 1 kHz.
- Diodo  $D3$ : el diodo TVS protege al vehículo y a la estación de carga contra picos de voltajes. Se determinan el pico máximo de voltaje ( $V_{RWM}$ ) y el voltaje de ruptura ( $V_{BR}$ ).

$$V_{RWM} > 12 V$$

$$V_{BR} > V_{RWM}$$

- Resistencias  $R_e$ ,  $R_f$  y  $R_g$ : estas resistencias establecerán el rango de medición del ADC. Para evitar los extremos de 0 V y 3.3 V, se plantea un rango intermedio para obtener mediciones más confiables.

Por el método de superposición, se calcularán los valores de las resistencias asumiendo que el voltaje del diodo es de 0.7 V.  $CP\_ADC_a$  corresponde con el voltaje parcial generado por la fuente de 3.3 V.  $CP\_ADC_b$  corresponde con el voltaje parcial luego del diodo cuando la salida del Opamp es positiva.  $CP\_ADC_c$  corresponde con el voltaje parcial cuando la salida del Opamp es negativa. Debido a que el diodo bloquea la señal inversa, no existe corriente a través de  $R_e$ , por lo que  $CP\_ADC_c$  se convierte en un divisor de voltaje entre  $R_f$  y  $R_g$ .

$$CP\_ADC_a = (3.3V) \left( \frac{R_e // R_g}{R_e // R_g + R_f} \right)$$

$$CP\_ADC_b = (12V - 0.7V) \left( \frac{R_f // R_g}{R_f // R_g + R_e} \right)$$

$$CP\_ADC_c = (3.3V) \left( \frac{R_g}{R_f + R_g} \right)$$

$$R_e // R_g = \frac{(R_e)(R_g)}{R_e + R_g}$$

$$Rf // Rg = \frac{(Rf)(Rg)}{Rf + Rg}$$

Se escogen algunos valores para completar las ecuaciones. Algunos de estos no serán comerciales, ya que requiere calibración. Para este caso, se podrían utilizar resistencias variables.

$$Re = 270 \text{ k}\Omega \quad Rf = 470 \text{ k}\Omega \quad Rg = 100 \text{ k}\Omega$$

Cuando la salida del Opamp es negativa se obtiene el límite inferior de la medición:

$$CP\_ADC_{INF} = CP\_ADC_c$$

$$CP\_ADC_{INF} = 0.58 \text{ V}$$

Cuando la salida del Opamp es positiva se obtiene el límite superior de la medición:

$$CP\_ADC_{SUP} = CP\_ADC_a + CP\_ADC_b = 0.44\text{V} + 2.64\text{V}$$

$$CP\_ADC_{SUP} = 3.08 \text{ V}$$

- Opamp U1: el Opamp debe ser capaz de conmutar una señal de -12 V a 12 V (Rail-to-Rail) a una frecuencia de 1 KHz en el rango de 0% a 100% de ciclo de trabajo idealmente. Por esta razón se realizará un cálculo aproximado del ancho de banda necesario para que la señal no se distorsione. Para este cálculo es necesario conocer el tiempo de subida o bajada de la señal cuadrada. Según la norma NTP-IEC 61851, se pide un tiempo de subida de 2us. Además, hay que considerar el Slew Rate que está muy relacionado con el ancho de banda. En este caso, se cambia de -12 V a 12 V, siendo esta una diferencia de 24 V. Cabe resaltar que el Slew Rate debe ser mayor, ya que con los cálculos se obtiene el mínimo valor antes de que empiece a distorsionarse (señal cuadrada a señal triangular).

$$BW \geq \frac{0.35}{t_{subida}} = \frac{0.35}{2us}$$

$$BW \geq 175 \text{ kHz}$$

$$SlewRate > \frac{24V}{2us}$$

$$SlewRate > 12 \text{ V/us}$$

### 3.2.3. Circuito para el acondicionamiento del Piloto de Proximidad (PP)

El Piloto de Proximidad es responsable de detectar la correcta sujeción del cable de carga a la estación de carga. La resistencia  $R_c$  es conocida como resistencia de codificación, ya que su valor determinará la corriente máxima que pueden soportar los conductores del cable de carga. Esta resistencia no es parte del diseño, pero es necesaria para realizar los cálculos respectivos.

El circuito funciona a través de un divisor de voltaje, el cual es medido por el microcontrolador que posteriormente traduce en corriente máxima. Si bien se pudo haber conectado el punto de medición directamente entre  $R_a$  y  $R_c$ , se añade  $R_h$  y  $D4$  como protección para evitar los picos de corriente generados por la conexión misma del cable de carga.

#### 3.2.3.1. Circuito

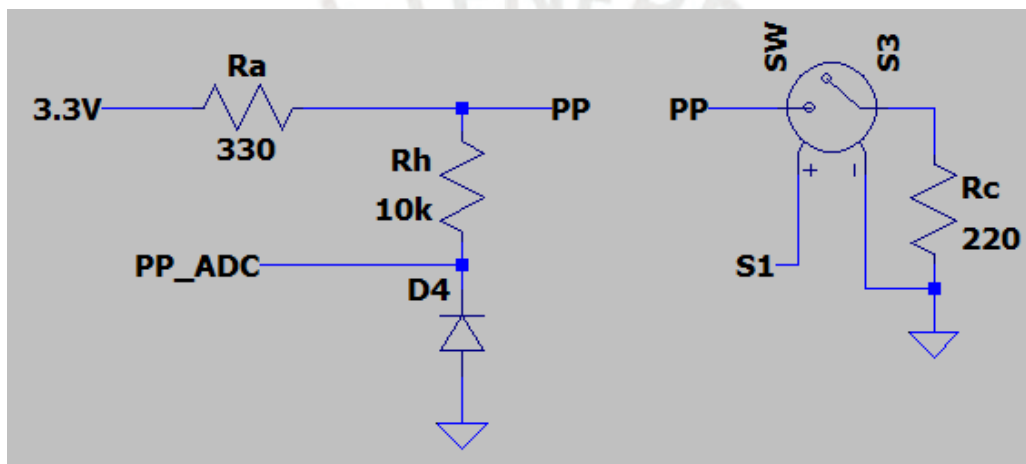


Figura 46: Circuito de acondicionamiento del PP

#### 3.2.3.2. Justificación, cálculos y consideraciones

- Resistencia  $R_a$ : en base a la norma NTP-IEC 61581, se escoge lo siguiente

$$R_a = 330 \Omega \pm 5\%$$

- Resistencia  $R_h$  y diodo  $D4$ : se toma de ejemplo lo implementado por Open EVSE [59]. Para el caso del diodo, se necesita uno de acción rápida.

$$R_h = 10 \text{ k}\Omega$$

La resistencia  $R_c$  ya se encuentra especificada en la norma NTP-IEC 61851-1 y tiene un valor entre  $80 \Omega$  y  $2460 \Omega$  con una tolerancia de 3% según la Tabla 24. Otros valores se consideran errores o desconexión. Esta se acopla al momento de conectar la estación al cable de carga, lo cual genera un divisor de voltaje. Como se planea alcanzar los 32 A se considera el rango de  $164 \Omega$  a  $2460 \Omega$ .

Tabla 24: Resistencia de codificación  $R_c$  [6]

Capacidad del cable (A)	Resistencia nominal de $R_c$ ( $\Omega$ )	Disipación mínima de potencia (W)	Rango de medición para EVSE ( $\Omega$ )
	Condición de error o desconexión		> 4500
13	1500	0.5	1100 – 2460
20	680	0.5	400 – 936
32	220	1	164 – 308
63	100	1	80 – 140
	Condición de error		< 60

Límite inferior cuando  $R_c = 164 \Omega$

$$PP\_ADC_{INF} = 3.3V \left( \frac{164\Omega}{164\Omega + 330\Omega} \right) = 1.09 V$$

Límite superior cuando  $R_c = 2460 \Omega$

$$PP\_ADC_{SUP} = 3.3V \left( \frac{2460\Omega}{2460\Omega + 330\Omega} \right) = 2.91 V$$

### 3.2.4. Circuito comparador y habilitador de carga

Estos circuitos permitirán alimentar al vehículo con la red eléctrica. La única forma de que esto ocurra es que la carga sea habilitada por el controlador (EN\_CARGA) y que el cable de carga (EN\_PP) sea detectado correctamente por el circuito comparador.

Por un lado, el circuito comparador consta de una compuerta NAND A1 dedicada a la comparación de  $VH$  y  $VL$  con  $PP\_ADC$ , y una compuerta NAND A2 inversora. Esta inversión es necesaria debido a que la lógica debe ser negada para que funcione la habilitación solo dentro del rango de  $VH$  y  $VL$ . Por otro lado, el circuito del habilitador de carga consta de una compuerta NAND A3 para la operación de las señales EN\_PP y EN\_CARGA, y una compuerta NAND A4 para la inversión del resultado de la operación. La consideración de cuatro compuertas NAND aprovecha el uso de un solo circuito integrado, como el 74LS132 [60].

La señal EN\_CARGA, proveniente del controlador, se pondrá a 3.3 V según el algoritmo del programa. La señal EN\_PP, proveniente de la compuerta lógica A2, se pondrá a 5 V en caso el nivel de voltaje proveniente de la señal  $PP\_ADC$  se encuentre entre el rango de  $VH$  y  $VL$ . Por lo tanto, la bobina del habilitador, accionada por un transistor, se activará solo cuando

EN\_CARGA sea igual 3.3 V y EN\_PP sea igual a 5 V. Para otros casos, la bobina permanecerá desactivada. Además, es necesario saber que el conmutador se encuentra en serie con la protección diferencial y termomagnética, los cuales deben estar habilitados para que se pueda cargar el vehículo. Estos últimos no se contemplan en el circuito, pero sí en los diagramas y en los cálculos.

### 3.2.4.1 Circuito

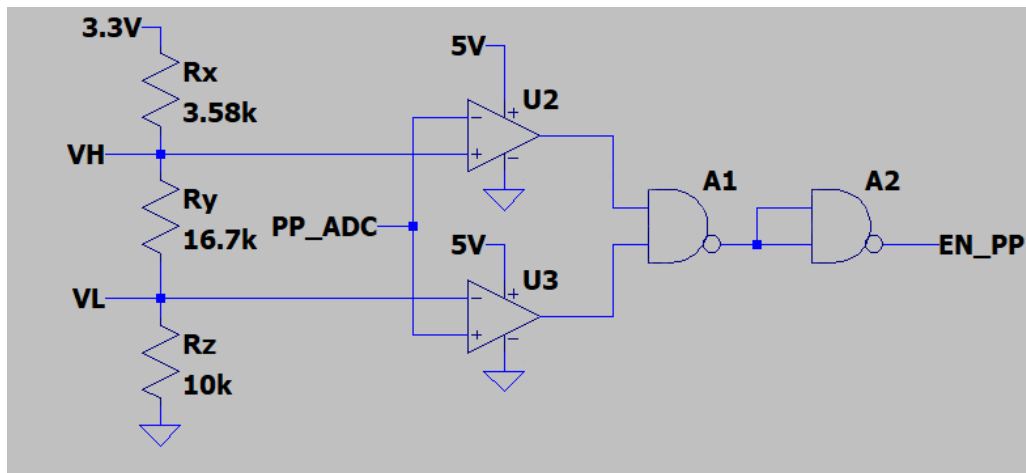


Figura 47: Circuito comparador

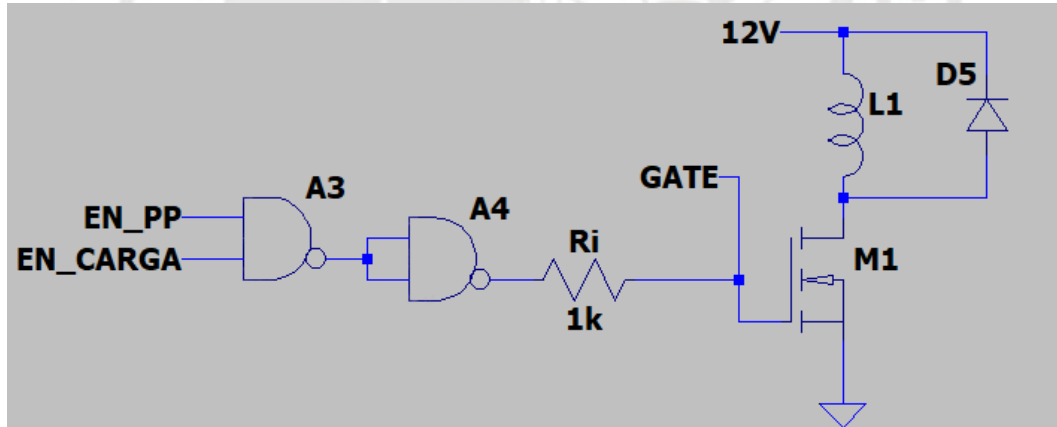


Figura 48: Circuito del habilitador de carga

### 3.2.4.2 Justificación, cálculos y consideraciones

- Opamp comparador U2 y U3: se conmutará entre 0 V y 5 V en la salida de U2 y U3. Los límites superior  $VH$  e inferior  $VL$  son los que se calcularon para  $PP\_ADC$ .

$$VL = 1.09 V$$

$$VH = 2.91 V$$

- Resistencias  $R_x$ ,  $R_y$  y  $R_z$ : la resistencia  $R_z$  es fija, mientras que  $R_x$  y  $R_y$  deberán ser variables para poder cumplir con  $V_H$  y  $V_L$  lo más preciso posible.

$$2.91V = 3.3V \left( \frac{R_y + R_z}{R_x + R_y + R_z} \right)$$

$$1.09V = 3.3V \left( \frac{R_z}{R_x + R_y + R_z} \right)$$

$$\frac{2.91V}{1.09V} = \frac{3.3V \left( \frac{R_y + R_z}{R_x + R_y + R_z} \right)}{3.3V \left( \frac{R_z}{R_x + R_y + R_z} \right)}$$

$$\frac{2.91}{1.09} = \frac{R_y + R_z}{R_z}$$

$$R_y = \left( \frac{2.91}{1.09} \right) R_z - R_z \dots (A1)$$

$$(R_x + R_y + R_z) = \left( \frac{3.3V}{1.09V} \right) R_z$$

$$R_x = \left( \frac{3.3V}{1.09V} \right) R_z - R_y - R_z \dots (A2)$$

Se asigna un valor a  $R_Z$  para calcular  $R_X$  y  $R_Y$  en  $A1$  y  $A2$

$$R_z = 10 \text{ k}\Omega \quad R_y = 16.7 \text{ k}\Omega \quad R_x = 3.58 \text{ k}\Omega$$

- Resistencia  $R_i$ : esta resistencia protege la salida de la compuerta lógica debido a la corriente pico que se genera al encender el Mosfet. Esto sucede debido a la capacitancia propia del transistor.

$$5V - (5mA)R_i = 0$$

$$R_i = 1 \text{ k}\Omega$$

- Diodo  $D5$ : protege la bobina  $L1$  al descargarse. Debe soportar un voltaje inverso de 12 V como mínimo.
- Mosfet  $M1$ : según la hoja de datos de un relevador común, una bobina accionada por voltaje continuo puede llegar a consumir hasta 106 mA.

Se calcula la corriente que soportará el Mosfet según la bobina del relevador



$$R_{L1} = 47 \Omega$$

$$I_{M1} = I_{L1} = 106 \text{ mA}$$

Se calcula la corriente máxima sin disipador y se determina que no lo necesitará según la corriente de la bobina del relevador. Para esto se considera la resistencia térmica de  $62^\circ\text{C}/\text{W}$  del mosfet IRF530 [61].

$$I^2(0.16\Omega) = \frac{50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{62^\circ\text{C}/\text{W}}$$

$$I = 1.3 \text{ A}$$

- Compuerta lógica A1, A2, A3 y A4: la salida debe ser capaz de activar la puerta del Mosfet. Para esto se utilizará una compuerta con niveles de voltaje TTL, ya que las entradas se activarán con 3.3 V o 5 V y la alimentación será de 5 V. Un voltaje mayor a 2 V se considera 1 lógico y un voltaje menor a 0.8 V se considera un 0 lógico. Además, se considera que sea Schmitt Trigger para mejorar la inmunidad al ruido.
- Protección diferencial y termomagnética: Por un lado, el interruptor diferencial se encuentra especificado en el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica, el cual puede ser de Tipo A o Tipo B según el tablero eléctrico que alimenta al cargador. Por otro lado, el dimensionamiento del interruptor termomagnético considera un factor de 1.25, el cual será el mismo para el interruptor diferencial.

$$I_{diferencial} = 30 \text{ mA}$$

$$I_{interruptores} = (1.25)(32\text{A})$$

$$I_{interruptores} = 40 \text{ A}$$

- Conmutador (Contactor): este componente se encarga de energizar el vehículo a través de una señal de control proveniente del habilitador.

$$I_{conmutador} = I_{interruptores} = 40 \text{ A}$$

- Habilitador (Relevador): este componente energizará la bobina del conmutador a través de dos señales provenientes del circuito comparador y del microcontrolador.

$$I_{Habilitador} = I_{L_{conmutador}}$$

### 3.2.5. Medición de corriente

El diseño del circuito de medición de corriente permitirá calcular la potencia y la energía en un determinado tiempo, lo que será de gran importancia para los cálculos de las tarifas eléctricas que dependen de esta información. El sensor que se utilizará es un sensor no invasivo de corriente que tiene el mismo principio de un transformador reductor, en donde el sensor es la bobina secundaria y el cable es la primaria, por lo que el acople es magnético y no eléctrico. Esto aísla al circuito de la red eléctrica.

#### 3.2.5.1. Circuito

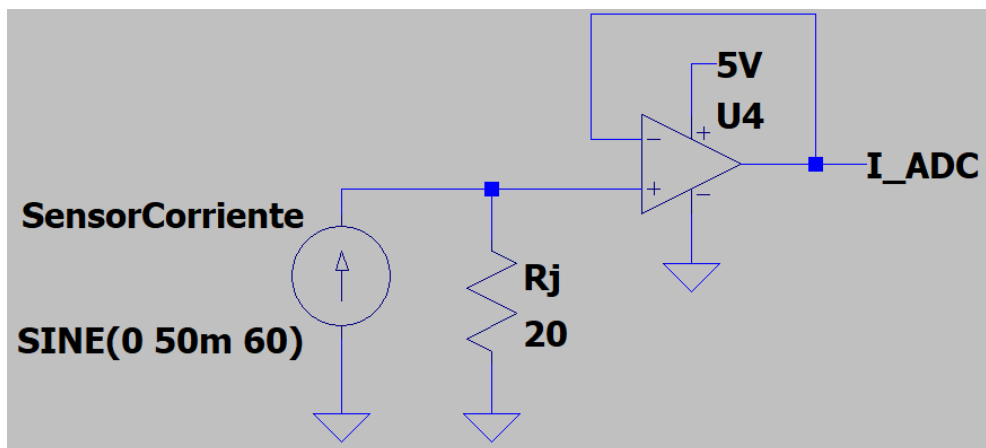


Figura 49: Circuito de medición de corriente

#### 3.2.5.2 Justificación, cálculos y consideraciones

- Resistencia  $R_j$ : esta resistencia convierte la señal de corriente en señal de voltaje. El sensor puede incluir esta resistencia, pero se asume que no. Los modelos disponibles, como el SCT013-100 [62], generan corriente alterna de 50 mA de amplitud o, si incluye la resistencia, generan voltaje alterno de 1 V de amplitud.

$$R_j = 20 \Omega$$

$$I_{ADC} = (50mA)(20\Omega)$$

$$I_{ADC} = 1 V_p = 2 V_{p-p}$$

- Opamp U4: se utiliza en modo seguidor de voltaje. Recibirá la señal de 1 V alterna y la pondrá en la salida. Debido a que solo se alimentará por un lado, la parte negativa de la señal es cortada para que el microcontrolador no tenga problemas al medir. El Opamp LM358 [63] fue escogido para este diseño, ya que se puede alimentar con una fuente simple o dual. Con esto se consigue recortar la onda sin dañar el componente.

- Como se mencionó en el punto anterior, lo que se medirá será la señal alterna de 1 V rectificada de medio ciclo. Además, debido a que se realizarán las pruebas en un microcontrolador, es importante determinar el tiempo de muestreo y la cantidad de muestras para realizar los cálculos.

Para el cálculo de la corriente RMS discreta se tiene lo siguiente:

$$\frac{I_{RMS}}{2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i+1}^N i_n^2}$$

Donde N es la cantidad de muestras que tendrán un intervalo entre dato y dato ( $i_n$ ) de por lo menos la cuarta o décima parte del periodo de la frecuencia de la red eléctrica. En este caso se escoge un tiempo de muestreo de 1 ms para una muestra de aproximadamente 16 datos, dando un total de 16.6 ms por muestra, es decir, un periodo completo de la señal de la red eléctrica. El resultado se multiplica por dos, ya que solo se está calculando la onda rectificada y no la onda completa.

$$T_{red} = \frac{1}{60Hz} = 16.16 \text{ ms}$$

$$\frac{T_{red}}{10} \leq T_{muestreo} \leq \frac{T_{red}}{4}$$

$$1.6 \text{ ms} \leq T_{muestreo} \leq 4 \text{ ms}$$

Para un tiempo de muestreo de 1 ms:

$$T_{muestra} \geq T_{red}$$

$$N \geq \frac{T_{muestra}}{1ms} \geq 16.6 \text{ datos}$$

Es importante recordar que la medición de corriente representa la corriente real para la alimentación del vehículo. Este parámetro es diferente a la corriente de carga determinada por la señal PWM del cargador. Las ecuaciones para determinar la corriente de carga (IRMS) por medio del ciclo de trabajo (Dn) de la señal PWM son las siguientes:

$$6A \leq I_{RMS} \leq 51A: D_N = I_{RMS}/0.6A$$

$$51A \leq I_{RMS} \leq 81A: D_N = I_{RMS}/2.5A + 64$$

### 3.2.6. Alimentación

No se considera el diseño de la fuente de alimentación, pero se describe lo que se necesitaría para alimentar todos los componentes.

- Para poder generar la señal PWM de  $\pm 12$  V se necesita un convertidor DC/DC que pueda generar una señal de 12 V negativa y una señal de 12 V positiva a partir de una sola fuente de alimentación positiva.
- Los circuitos DC necesitan un convertidor AC/DC de 12 V.
- Los conversores AC/DC y los componentes AC, como la bobina del contactor, necesitan una fuente AC monofásica de 220 V @ 60 Hz.
- Las señales de 3.3 V y 5 V necesitan convertidores DC/DC o reguladores lineales.

### 3.2.7. Tarifas

Para el estudio de las tarifas a utilizar es necesario situar el contexto en el que el cargador podría ser instalado. Por esta razón, se da prioridad a las zonas privadas o residenciales, las cuales aplican las tarifas BT5B y BT5F residenciales. Estas a su vez se subdividen en tres grupos según la energía consumida al mes: 0 – 30 kWh, 31 – 100 kWh y mayor a 100 kWh. Los costos variarán dependiendo de la empresa distribuidora de energía y aumentarán conforme se acumule la energía consumida.

#### 3.2.7.1. BT5B

La tarifa BT5B se encuentra en la norma Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas de Usuario Final según la Resolución del Consejo Directivo del Osinergmin N° 206-2013-OS/CD [64]. Esta tarifa considera un cargo fijo mensual y el cargo variable por energía activa. El primero será calculado e incluido en el precio unitario real teniendo en cuenta todos los cargos fijos dentro de una facturación por consumo eléctrico.

$$\text{Costo}(S/.) = \text{Energía}(kWh) * \text{PrecioUnitario\_Real}(S/ kWh)$$

#### 3.2.7.2. BT5F

La tarifa BT5F fue añadida en el año 2021 como parte de la norma antes mencionada. La cual fue modificada con la Resolución del Consejo Directivo del Osinergmin N° 230-2021-OS/CD [65]. Esta tarifa considera un cargo fijo mensual, el cargo variable por energía activa en horas de punta (HP) y el cargo variable por energía activa en horas fuera de punta (HFP). Al igual que para la tarifa BT5B, el precio unitario real incluye los cargos fijos. Cabe resaltar que el

horario de punta se encuentra entre las 18:00h y las 23:00h, el resto del día se consideran horas fuera de punta.

$$\text{CostoHP}(S/.) = \text{EnergíaHP}(kWh) * \text{PrecioUnitarioHP\_Real}(S/ kWh)$$

$$\text{CostoHFP}(S/.) = \text{EnergíaHFP}(kWh) * \text{PrecioUnitarioHFP\_Real}(S/ kWh)$$

$$\text{Costo}(S/.) = \text{CostoHP}(S/.) + \text{CostoHFP}(S/.)$$

### 3.2.7.3. Cálculo del Precio Unitario (S/ kWh) real

El Precio Unitario real está sujeto a los cargos fijos y al consumo en kWh durante un mes. En cambio, el Precio Unitario solo está sujeto al consumo en kWh. Por esta razón es necesario establecer un nuevo precio unitario para obtener el valor real del costo que incluya los cargos fijos. En la Tabla 25 se presentan datos que serán necesarios para realizar los cálculos. Estos provienen de un recibo de luz de la empresa ENEL con tarifa BT5B del 28 de setiembre del 2020 y corresponden a un departamento de dos pisos habitado por cinco personas. Cabe mencionar que se añadirá un consumo de 100 kWh que simbolice el consumo de un vehículo eléctrico. El cálculo será realizado solo para la tarifa BT5B, pero puede ser extendida hacia la tarifa BT5F.

Tabla 25: Ejemplo de recibo de consumo eléctrico mensual

<b>Consumo de vivienda</b>	347 kWh
<b>Consumo del EV</b>	100 kWh
<b>Precio Unitario</b>	S/ 0.5716 kWh
<b>Mantenimiento</b>	S/ 1.55
<b>Cargo Fijo</b>	S/ 2.66
<b>Costo por Energía</b>	S/ 255.51
<b>Alumbrado Público</b>	S/ 16.80
<b>Total del mes con I.G.V.</b>	S/ 326.29

$$\text{ConsumoTotal} = \text{ConsumoCasa} + \text{ConsumoEV}$$

$$\text{CostoEnergía} = \text{ConsumoTotal} * \text{PrecioUnitario}$$

$$\text{TotalMes} = (\text{Mantenimiento} + \text{CargoFijo} + \text{CargoEnergía} + \text{Alumbrado}) * 1.18$$

$$\text{PrecioUnitarioReal} = \frac{\text{TotalMes}}{\text{ConsumoTotal}} = \frac{S/ 326.29}{447 kWh}$$

$$\text{PrecioUnitarioReal} = S/ 0.73 kWh$$

### 3.2.8. Distribución de componentes interactivos

La distribución de componentes interactivos se presenta en la Figura 50 y es descrita a continuación:

- Una pantalla para mostrar información relevante con respecto a la carga de un vehículo.
- Un botón de parada de emergencia que detendrá el flujo de corriente hacia el vehículo inhabilitando el contactor.
- Un botón de detención forzada que podrá ser utilizado en cualquier momento para detener la carga. Esto no inhabilita el contactor, detiene la carga al forzar un estado dentro del vehículo y será utilizado para realizar algunas pruebas. Además, al contar con iluminación LED, se utilizará como indicador de estados para el cargador.
- Un lector RFID que permita al usuario identificarse antes de cargar su vehículo.



Figura 50: Vista lateral y frontal del EVSE

### 3.2.9. Lista de componentes

En la lista de la Tabla 26 se colocan los componentes necesarios para los cálculos previamente realizados. Cabe resaltar que estos no representan a los componentes finales. Los componentes pasivos, como resistencias, capacitores o bobinas no se están considerando, ya que los valores son establecidos directamente.

Tabla 26: Lista de componentes

Referencia	Código	Descripción	Hoja de datos
D2 y D4	1N4148	Diodo de conmutación rápida	[66]
D3	1.5SMBJ13CA	Diodo supresor de transitorios de voltaje	[67]
U1	AD823	Amplificador operacional Rail-to-Rail y entrada JFET	[68]
U2 y U3	LM358	Amplificador operacional de uso general	[63]
U4	LM358	Amplificador operacional de uso general	[63]
D5	1N4001	Diodo de propósito general y baja potencia	[69]
M1	IRF530	Mosfet de potencia	[61]
A1, A2, A3 y A4	74LS132	Compuerta NAND TTL de dos entradas Schmitt trigger	[60]
Relevador	833H-1A-F-V 12V	Relevador de propósito general	[70]
Diferencial	A9R51240	Interruptor diferencial de dos polos a 30 mA Tipo A	[71]
Termomagnético	A9F83240	Interruptor termomagnético de dos polos a 40 A	[72]
Contactador	A9C20642	Contactador de dos polos a 40 A	[73]
Sensor de corriente	SCT013-050	Transformador de corriente no invasivo	[62]
Pantalla	204G CC BC-3LP	Pantalla LCD 20x4	[74]
Botón de parada	A01ES-DSP3	Botón de parada de emergencia	[75]
Botón de detención	MPB16-CARE-RGB-JR-6V	Pulsador con LED RGB integrado	[76]
Lector RFID	RFID-RC522	Lector RFID de 13.56 MHz	[77]
Conector AC Tipo 2	EVSE-T2S	Conector Mennekes Tipo 2 para estación de carga de 32 A	[78]

### 3.2.10. Diagrama eléctrico

El diagrama eléctrico muestra las conexiones que se deben realizar desde la fuente al tablero de distribución de suministro, del tablero de distribución a la estación de carga y de la estación de carga al conector Tipo 2 europeo. Este diagrama debe cumplir con el Reglamento para la instalación y operación de la infraestructura de carga de la movilidad eléctrica. El dimensionamiento se realizó en las secciones de cálculos del Capítulo 3.

Por un lado, el tablero de distribución debe contar con un interruptor termomagnético de 40 A (T1) y un interruptor diferencial tipo A con 6 mA DC o tipo B (D1). Por otro lado, la estación de carga debe contar con un interruptor termomagnético de 40 A (T2) y un interruptor diferencial de 30 mA (D2). Cabe resaltar que el cable de tierra pasa por el tablero de distribución y se conecta directamente al conector europeo sin ninguna interrupción. Además, este es necesario como referencia para el controlador, dado que al momento de conectar el vehículo, tanto la tierra del sistema eléctrico como la masa del vehículo se unen.

El controlador es presentado como una caja negra en este diagrama y será profundizado en el esquema de señales y conexiones del controlador. Sin embargo, se puede señalar la presencia del sensor de corriente que envuelve una de las fases de la alimentación al vehículo. Además, el botón de emergencia (S) está colocado en serie con la bobina del contactor K1. Los otros contactos, como el piloto de proximidad y el piloto de control son cableados hacia el conector Tipo 2 europeo, al igual que el contactor y la tierra antes mencionados.

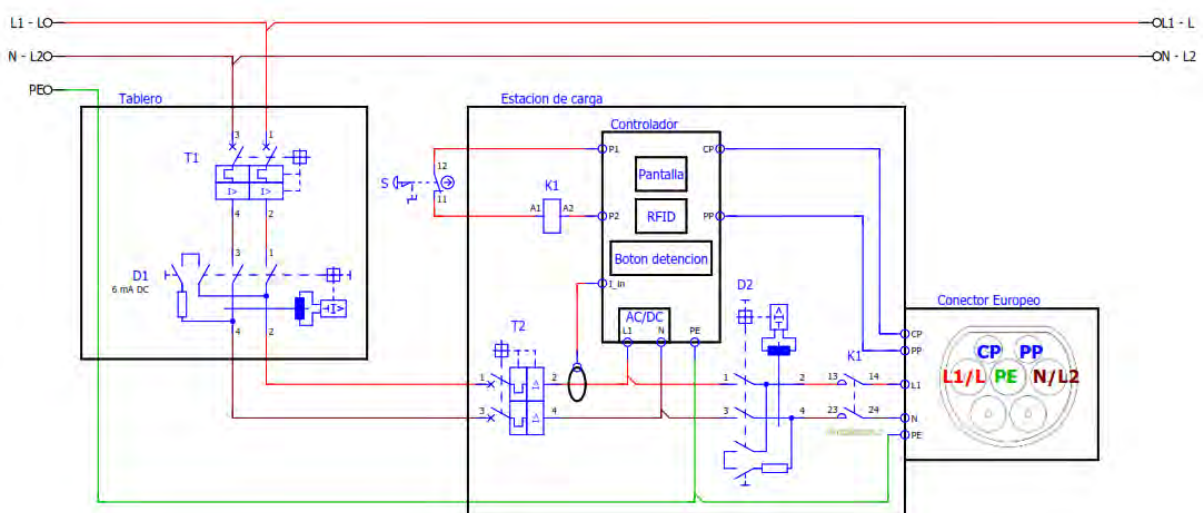


Figura 51: Diagrama eléctrico



### 3.2.11. Esquema de señales y conexiones del controlador

El esquema de señales y conexiones de la Figura 52 es un complemento al diagrama eléctrico, ya que en aquella sección se le consideró como si fuera una caja negra. Sirve de referencia para determinar la cantidad de periféricos y pines que se necesitarán. Para este caso, la pantalla LCD necesita 2 pines (SCL y SDA), el lector RFID necesita 4 pines (SDA, MOSI, MISO, SCK), el pulsador necesita 3 pines para los tres LED RGB (GPIO), el circuito comparador con habilitador de carga necesita 1 pin (GPIO), el circuito de acondicionamiento del piloto de control necesita 1 pin (ADC), el circuito de acondicionamiento del piloto de proximidad necesita 1 pin (ADC) y el circuito de acondicionamiento para el sensor de corriente necesita 1 pin (ADC).

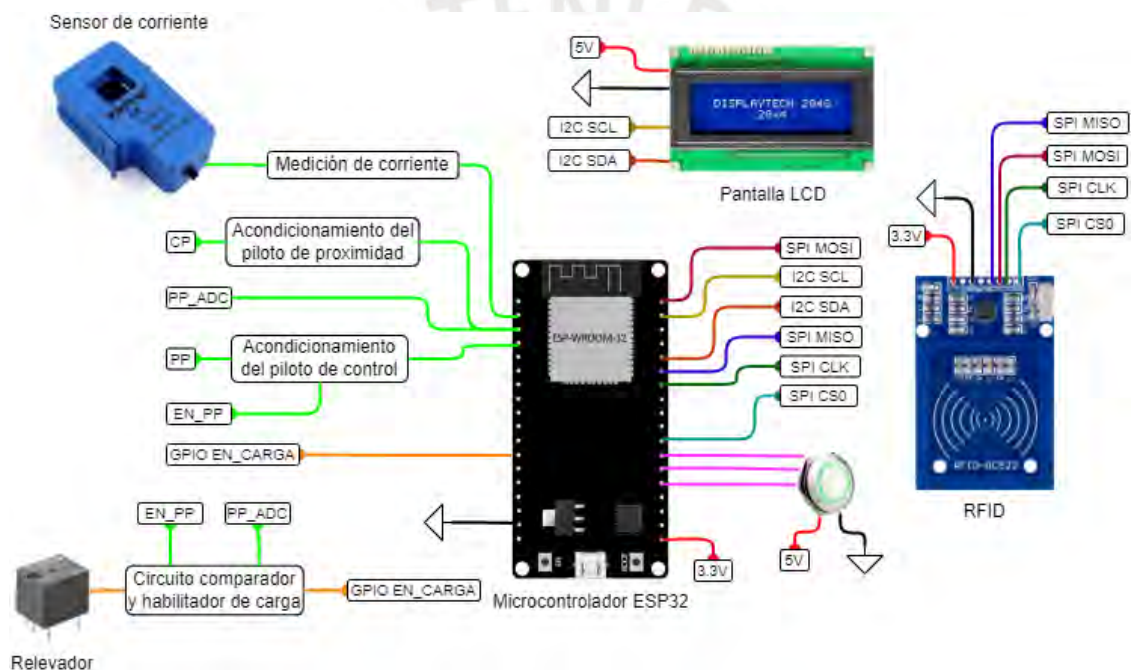


Figura 52: Esquema de señales y conexiones del controlador

### 3.2.12. Diagrama de flujo para la comunicación EV – EVSE

El diagrama de flujo para la comunicación EV – EVSE contempla las especificaciones de la norma NTP-IEC 61851-1. Además, se añadieron otras funciones necesarias para el proceso de carga en sí.

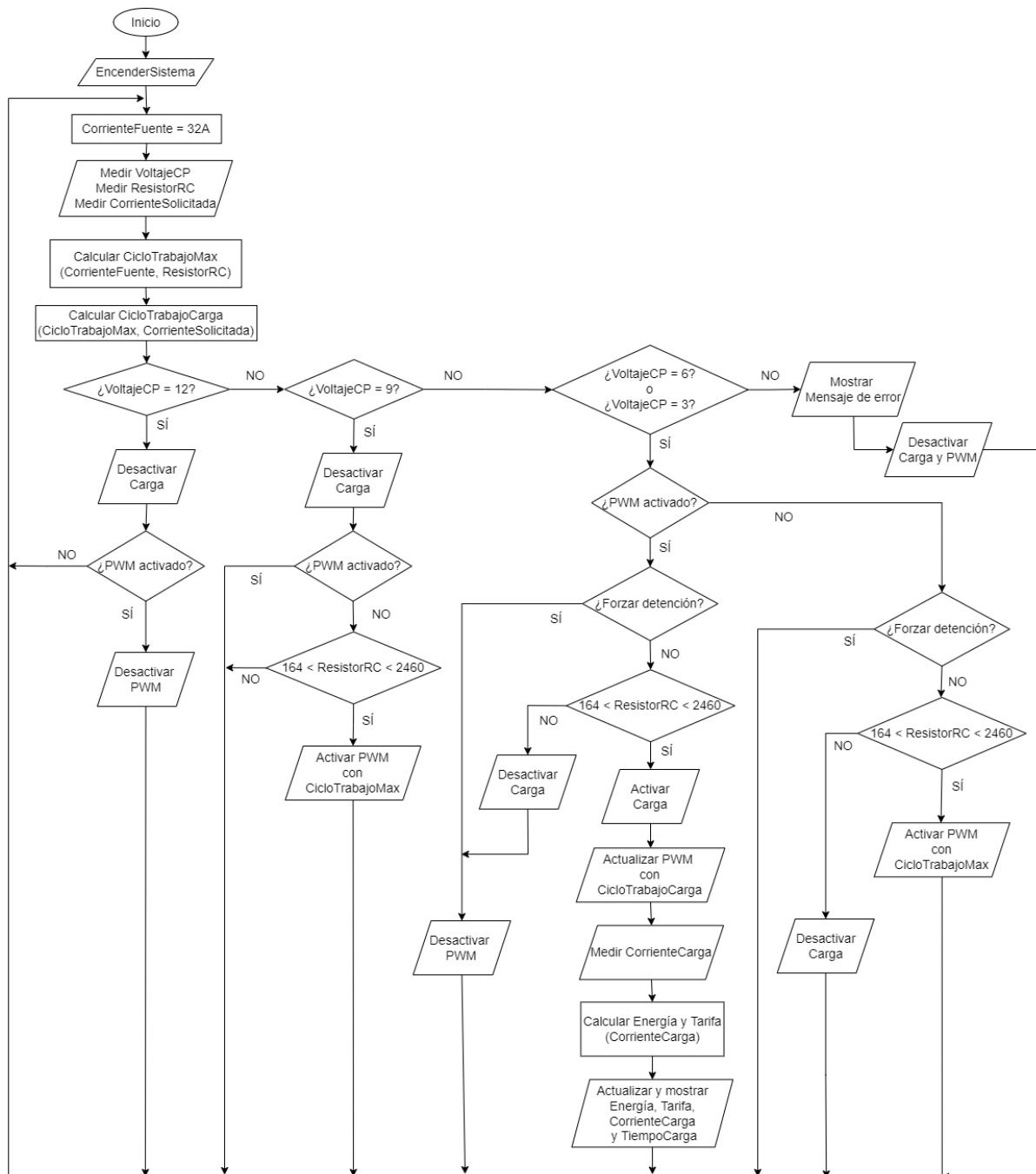


Figura 53: Diagrama de flujo para la comunicación EV – EVSE

### 3.3. Diseño de la comunicación del protocolo OCPP 1.6

Para poder probar la comunicación entre la estación de carga y un operador central de carga se han explorado y encontrado algunas herramientas que permitirán comprobar el envío y recepción de mensajes OCPP 1.6 a través de Websockets. Además, es necesario demostrar que el protocolo es capaz de ser ejecutado sobre un sistema embebido, ya que el cargador contará con su propia unidad de procesamiento con capacidad de acceso a internet.

#### 3.3.1. Selección del software para el EVSE

Para la elección del controlador se tuvo en cuenta la necesidad de establecer una conexión con una red LAN. Para las pruebas se prefiere que sea inalámbrica y que sea compatible con librerías preexistentes que permitan probar el protocolo OCPP. Teniendo esto en consideración, se utilizarán las librerías incluidas en Arduino OCPP, las cuales son compatibles con los módulos que incluyen el microcontrolador ESP8266 o ESP32.

Arduino OCPP brinda las bases para la integración del protocolo OCPP a estaciones de carga que aún no la soporten [79]. Actualmente se encuentra en constante actualización y la versión más estable es la OCPP-J 1.6. Este grupo de librerías permitirá que la estación de carga pueda comunicarse con un operador de carga y gestionar su funcionamiento. En las Tablas 27, 28, 29 y 30 se muestran las operaciones según los perfiles del protocolo que soporta Arduino OCPP.

Tabla 27: Arduino OCPP Core profile [79]

<i>Core profile</i>			
<b>Operación o mensaje</b>	<b>Soportado</b>	<b>En progreso</b>	<b>No soportado</b>
<i>Authorize</i>			
<i>BootNotification</i>			
<i>ChangeAvailability</i>			
<i>ChangeConfiguration</i>			
<i>ClearCache</i>			
<i>DataTransfer</i>			
<i>GetConfiguration</i>			
<i>HeartBeat</i>			
<i>MeterValues</i>			
<i>RemoteStartTransaction</i>			
<i>RemoteStopTransaction</i>			
<i>Reset</i>			
<i>StartTransaction</i>			
<i>StatusNotification</i>			
<i>StopTransaction</i>			
<i>UnlockConnector</i>			

Tabla 28: Arduino OCPP Smart charging profile [79]

<b>Smart charging profile</b>			
<b>Operación o mensaje</b>	<b>Soportado</b>	<b>En progreso</b>	<b>No soportado</b>
<i>ClearChargingProfile</i>			
<i>GetCompositeSchedule</i>			
<i>SetChargingProfile</i>			

Tabla 29: Arduino OCPP Remote trigger profile [79]

<b>Remote trigger profile</b>			
<b>Operación o mensaje</b>	<b>Soportado</b>	<b>En progreso</b>	<b>No soportado</b>
<i>TriggerMessage</i>			

Tabla 30: Arduino OCPP Firmware management [79]

<b>Firmware management</b>			
<b>Operación o mensaje</b>	<b>Soportado</b>	<b>En progreso</b>	<b>No soportado</b>
<i>GetDiagnostics</i>			
<i>DiagnosticsStatusNotification</i>			
<i>FirmwareStatusNotification</i>			
<i>UpdateFirmware</i>			

Para fines del diseño, no se utilizarán todas las funciones disponibles. Solo se utilizarán las funciones básicas que permitan gestionar la carga de un vehículo eléctrico. A continuación se explicarán las funciones a utilizar:

- *BootNotification* es una petición que realiza el EVSE al CPO para poder conectarse con su servidor. En caso sea aceptado, se procede a enviar un *StatusNotification*, caso contrario, el EVSE es inhabilitado.
- *StatusNotification*: es una petición que realiza el EVSE al CPO que notifica el estado del cargador y sus conectores. El conector número cero identifica a todo el cargador, mientras que los conectores numerados a partir de 1, corresponden directamente con los conectores de manera individual.
- *Authorize*: es una petición que realiza el EVSE al CPO que solicita comenzar o detener una transacción de carga. Esta autorización solo será otorgada si los identificadores se encuentran registrados en la base de datos del servidor OCPP.

- *StartTransaction*: es una petición que realiza el EVSE al CPO solicitando el comienzo de una transacción de carga. Solo podrá ser solicitada si el usuario es previamente autorizado.
- *StopTransaction*: es una petición que realiza el EVSE al CPO solicitando el término de una transacción de carga. Solo podrá ser solicitada si el usuario es previamente autorizado y existe una transacción en curso.
- *RemoteStartTransaction*: es una petición que realiza el CPO al EVSE solicitando el inicio de una transacción. No es necesario realizar una autorización, porque el mismo CPO es quién la está iniciando.
- *RemoteStopTransaction*: es una petición que realiza el CPO al EVSE solicitando el fin de una transacción. No es necesario realizar una autorización, porque el mismo CPO es quién la está deteniendo.
- *ChangeAvailability*: es una petición que realiza el CPO al EVSE solicitando el cambio de disponibilidad del cargador. El cargador puede estar operativo o inoperativo.
- *Reset*: es una petición que realiza el CPO al EVSE solicitando el reinicio del cargador. Este reinicio corresponde con el hardware, es decir, con el microcontrolador.

### 3.3.2. Selección del simulador del CPO

Para simular la comunicación entre la estación de carga y un CPO se necesita un servidor OCPP que gestione cargadores como clientes. Open Charge Alliance ofrece su propia herramienta llamada OCPP Compliance Testing Tool (OCTT) [80]; sin embargo, el precio es elevado por lo que se encontró una versión de acceso libre llamada SteVe [81].

SteVe fue desarrollado en la Universidad Técnica de Aquisgrán de Alemania. Su nombre significa *Steckdosenverwaltung* en alemán o *Socket Administration* en inglés. Su principal objetivo es fomentar el despliegue y popularidad de la electromovilidad gracias a su facilidad de instalación y uso [81].

La versión de SteVe a utilizar es la 3.4.9 y es compatible con Arduino OCPP. Soporta las versiones OCPP 1.2, OCPP 1.5 y OCPP 1.6, tanto SOAP como JSON. Requiere de una base de datos MariaDB 10.2.1 o superior, se ejecuta en Maven desde Java con JDK 11 y puede ser visualizado desde cualquier navegador web con el enlace proporcionado luego de levantado el servidor. Algunas funciones se presentan a continuación a través de capturas de pantalla de la interfaz de SteVe.

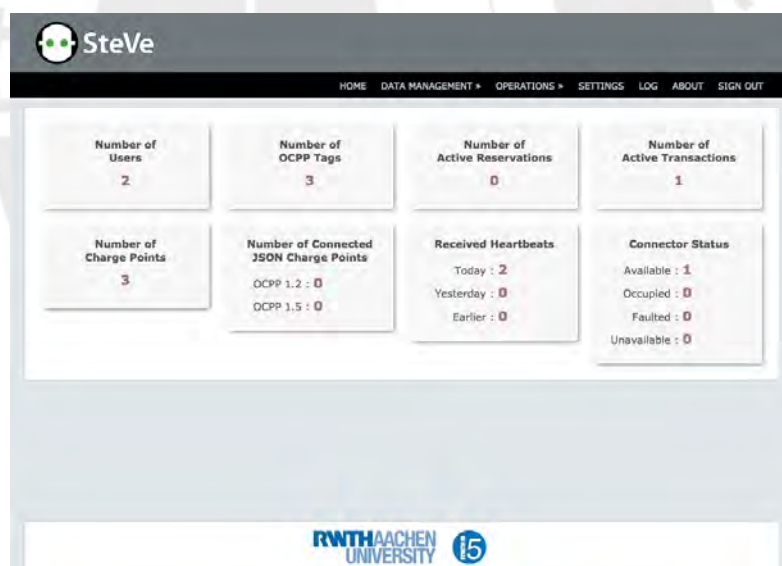


Figura 54: Pantalla principal de SteVe [81]

- Estado del conector

Connector Status ⓘ				
ChargeBox ID	Connector ID	Date/Time	Status	Error Code
REE001	1	2015-07-21 at 21:16	Available	NoError

Figura 55: Estado del conector [81]

- Gestión de la información de los cargadores

Charge Point Overview

Description:

Ocpp Version: All

Heartbeat Period: All

Get

ChargeBox ID	Description	Ocpp Protocol	Last Heartbeat	
REE001	dummy charge point	ocpp1.2S	Today at 14:56	<a href="#">Delete</a>
REE002		ocpp1.5J	Today at 10:28	<a href="#">Delete</a>
REE003				<a href="#">Delete</a>

Add New

Figura 56: Información de cargadores [81]

- Gestión de la información de los usuarios

User Overview

User ID:

Ocpp ID Tag:

Name:

E-Mail:

Get

User ID	Ocpp ID Tag	Name	Phone	E-Mail	
1	AABBCC1	Max Ackerman	05185 56 65 41	mustermann@dot.com	<a href="#">Delete</a>
3		Julia Mustermann			<a href="#">Delete</a>

Add New

Figura 57: Información de usuarios [81]

- Gestión de la información de las identificaciones

User Overview

User ID:

Ocpp ID Tag:

Name:

E-Mail:

Get

User ID	Ocpp ID Tag	Name	Phone	E-Mail	
1	AABBCC1	Max Ackerman	05185 56 65 41	mustermann@dot.com	<a href="#">Delete</a>
3		Julia Mustermann			<a href="#">Delete</a>

Add New

Figura 58: Información de identificaciones [81]

- Gestión de la información de las reservas

Figura 59: Información de reservas [81]

- Gestión de la información de las transacciones

Transaction ID	ChargeBox ID	Connector ID	User ID Tag	Start Date/Time	Start Value	Stop Date/Time	Stop Value
1	REE001	1	AABBC1	2015-11-20 at 13:29	391185		

Figura 60: Información de transacciones [81]

- Operaciones OCPP

Figura 61: Operaciones OCPP [81]



- Configuraciones adicionales

The screenshot displays the configuration interface for SteVe, divided into two main sections:

- OCPP Settings:**
  - Heartbeat Interval:** 240. Description: "The time interval in **minutes** for how often a charge point should request the current time from SteVe."
  - Expiration:** 1. Description: "The amount of time in **hours** for how long a charge point should store the authorization info of an idTag in its local white list."
- Mail Notification Setting:**
  - Enable Notifications?:**
  - Protocol:** smtp
  - Host:** smtp.gmail.com
  - Port:** 587
  - From:** testChangeMe@gmail.com
  - User name:** testChangeMe
  - Password:** testChangeMe
  - Recipients:** recipient1ChangeMe@gmail.com, recipient2ChangeMe@gmail.com
  - Notify when...:**
    - a charging station sends a boot notification
    - a connector gets faulted

Buttons at the bottom include "Change" and "Send Test Mail".

Figura 62: Configuraciones adicionales de SteVe [81]

### 3.3.3. Arquitectura de red

La conexión de los dispositivos será realizada en una Red de Área Local (LAN). Las direcciones IP son provistas por el Equipo Local del Cliente (CPE) que funciona como servidor DHCP. SteVe será ejecutado en una laptop y el programa basado en Arduino OCPP será ejecutado en el Módulo ESP32. El Punto de Acceso Inalámbrico genera la señal wifi necesaria para la comunicación inalámbrica entre ambos dispositivos.



Figura 63: Arquitectura de red

### 3.3.4. Diagrama de flujo para la comunicación EVSE – CPO

El diagrama de flujo para la comunicación EVSE – CPO contempla las especificaciones del protocolo OCPP-J 1.6, el cual incluye la autorización de usuario. Además, se encuentra orientado a la implementación en un sistema embebido, como lo es el módulo ESP32.

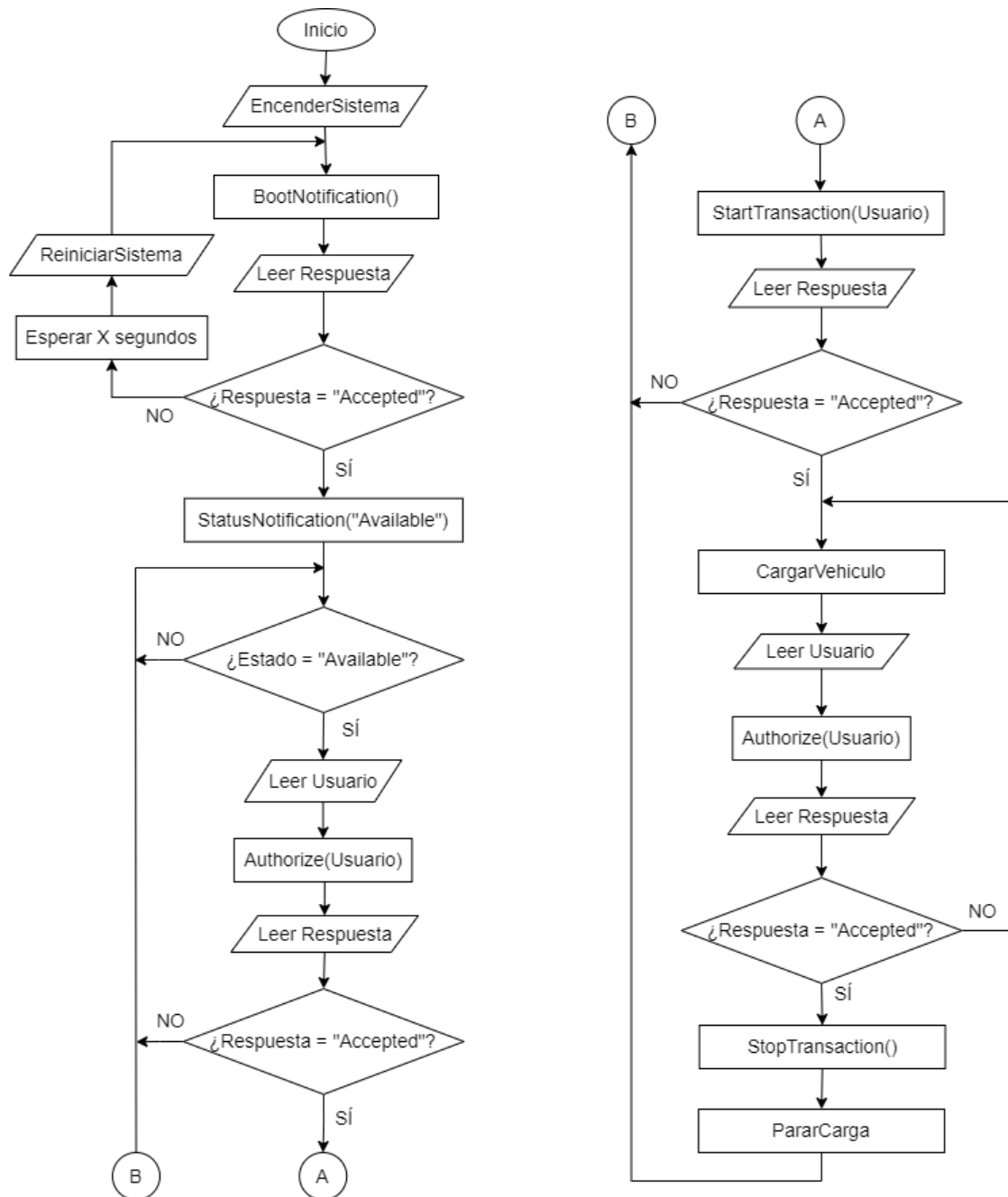


Figura 64: Diagrama de flujo para la comunicación EVSE – CPO

# Capítulo 4

## Simulaciones y resultados

### 4.1. Simulación y resultados de la sesión de carga EV – EVSE

#### 4.1.1. Lógica de carga

La simulación de la lógica de carga se desarrolló en Matlab/Simulink en donde se comprobó que el diagrama de flujo de la Figura 53 funciona correctamente para la mayoría de los estados descritos en la norma NTP-IEC 61851-1 presentados en la Figura 23. Para esto se diseñó la lógica del cargador con bloques que pudieran replicar su funcionamiento. Además, fue necesario realizar un diseño simple de lo que podría ser el cargador a bordo de un vehículo eléctrico. Para ambos casos se considera el conector AC Tipo 2 como un conmutador de múltiples polos que simulan la conexión física entre el EV y el EVSE.

##### 4.1.1.1. Lado del cargador

Gran parte de la lógica proveniente del diagrama de bloques se encuentra dentro del bloque “Lógica del Controlador”. Cabe resaltar que la frecuencia en la simulación es reducida debido a limitaciones de hardware y por comodidad con respecto a la visualización de las gráficas. Para el funcionamiento total del cargador, el bloque antes mencionado se apoya y relaciona con otros bloques a través de sus entradas y salidas:

- *en\_carga* habilita la carga. Sin embargo, el conmutador es accionado solo si el bloque comparador/habilitador detecta correctamente el piloto de control además del habilitador de carga.
- *energía*, *tiempo*, *bt5b*, *potencia* y *corriente* son los parámetros de carga que podrán ser visualizados. Estos se muestran en kWh, horas, S/, kW y A respectivamente. Todos estos datos se basan en la medición de corriente proveniente de los bloques RMS y sensor de corriente en *i\_LL*.
- *ciclo\_trabajo* y *en\_pwm* determinan el estado de la carga. El primero establece el ciclo de trabajo de la señal PWM y el segundo la activa o desactiva según sea el caso.

- $v_{cp}$  mide el voltaje en el piloto de control. Se utilizan unos bloques que miden el máximo valor de un set de 125 datos con un tiempo de muestreo igual al periodo del bloque de la lógica (1 ms), por lo que se medirá un periodo de la señal (125 ms) para determinar el voltaje del piloto de proximidad.
- $v_{pp}$  mide el voltaje en el piloto de proximidad a través de una resistencia de  $330\Omega$ . Es utilizada para calcular la corriente nominal del conductor del cable de carga.
- *corrienteFuente* es la corriente máxima que podrá suministrar la estación de carga.
- *corrienteSol* es la corriente solicitada. Esta puede regular la de carga de forma dinámica. Se encuentra limitada por la corriente medida por  $v_{pp}$  y *corrienteFuente*. Es utilizada para simular la carga variable del vehículo.
- *parada* es un estímulo que fuerza un estado dentro del sistema. Este estado permite detener la carga sin desconectar físicamente el EV o la EVSE.

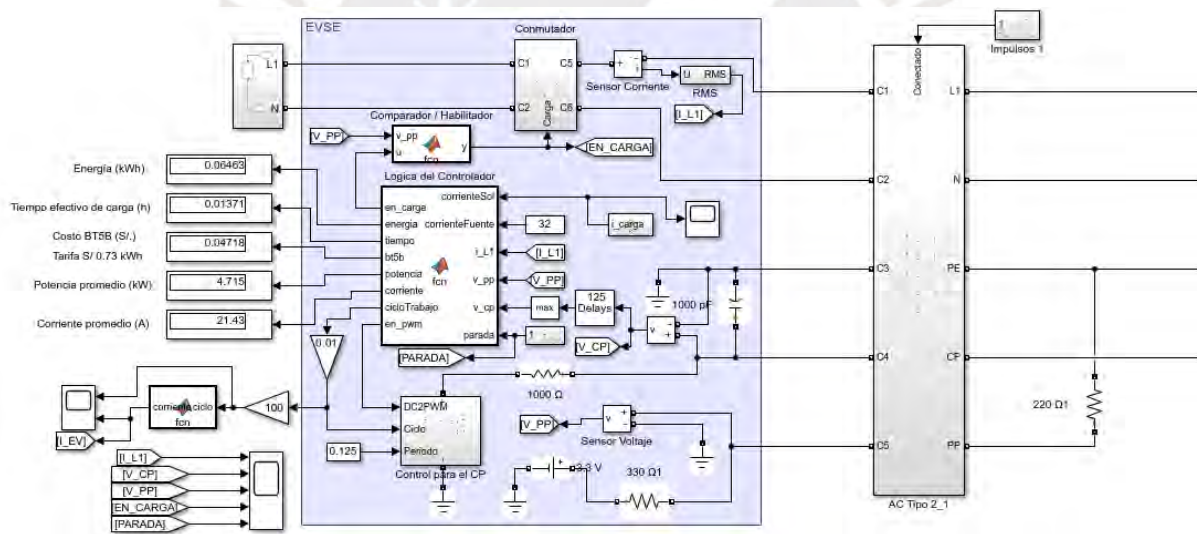


Figura 65: Lado del cargador

#### 4.1.1.2. Lado del vehículo

La lógica del lado del vehículo se basa en la norma NTP-IEC 61851-1. Parte de los estados son determinados por un bloque de impulsos que cierran o abren el interruptor S2, el cual añade una resistencia de 1300  $\Omega$  al divisor de voltaje entre la resistencia de 1000  $\Omega$  del lado del cargador y la de 2740  $\Omega$  del lado del vehículo. El piloto de proximidad se mide igual que en el lado del cargador, pero en este caso no existe un controlador, ya que se cuenta con los impulsos antes mencionados. Por otro lado, para simular la carga se utiliza una resistencia variable que es activada cuando se habilita la carga desde el lado del cargador y transforma la corriente de carga en valor de resistencia según la Tabla 10. Notar que esta corriente es la medida por el cargador.

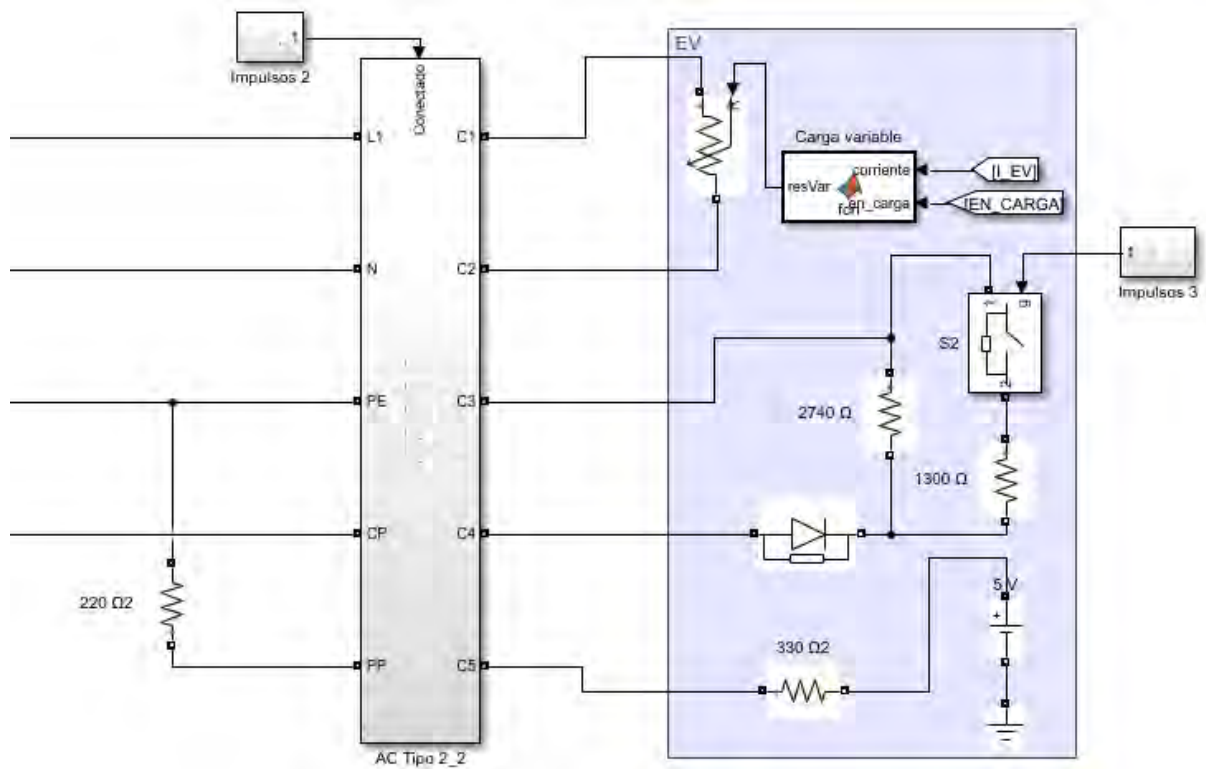


Figura 66: Lado del vehículo

#### 4.1.1.3. Simulaciones y resultados

- Proceso de carga normal

La Figura 67 presenta la simulación de un proceso de carga normal, en donde la señal de color rojo corresponde con la corriente RMS, la señal de color amarillo corresponde con el voltaje en el piloto de control, la señal de color verde corresponde con el voltaje en el piloto de proximidad y la señal de color celeste corresponde con el habilitador de carga proveniente del comparador.

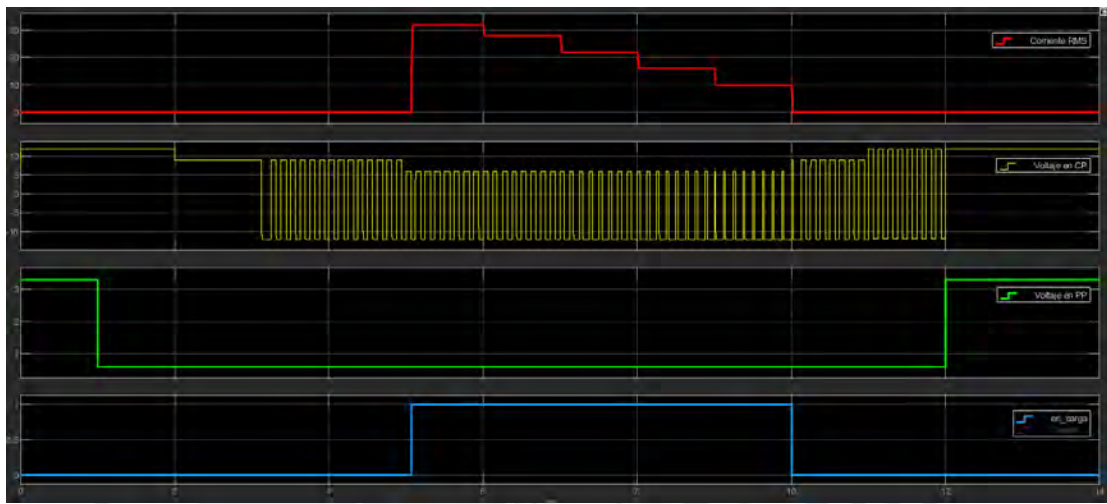


Figura 67: Simulación de carga normal

El proceso comienza cuando se conecta el cable de carga a la estación (segundo 1); esto se refleja en la caída de voltaje del piloto de proximidad. Luego, el otro extremo del cable es conectado al vehículo y el voltaje del piloto de control baja de 12 V a 9 V (segundo 2). La estación de carga detecta este cambio y envía una señal PWM con el ciclo de trabajo correspondiente a la corriente máxima que puede suministrar (segundo 3). Si el vehículo acepta la carga, cierra su interruptor S2 y el voltaje del piloto de control desciende a 6 V (segundo 5). Entonces la estación habilita la carga del vehículo regulando el ciclo de trabajo de la señal PWM (entre el segundo 5 y 10). Cuando termina de cargar, el vehículo abre su interruptor y el voltaje en el piloto de control vuelve a subir a 9 V (segundo 10). Se desconecta el vehículo y el voltaje vuelve a subir a 12 V (segundo 11). Debido a que el cargador no detecta la presencia del vehículo y el cable de carga ha sido desconectado, se desactiva la señal PWM (entre el segundo 12 y 14).

Es importante resaltar que las transiciones entre los estados de carga tardan un periodo de tiempo determinado según el algoritmo del EVSE. Por ejemplo, entre los segundos 3 y 5, la señal PWM de 9 V será activada solo por 2.5 segundos, si el vehículo no acepta la carga, la señal cambiará a una señal DC de 9 V que durará 1.5 segundos hasta antes de volver a activar la señal PWM. Esto mismo ocurre entre el segundo 11 y 12 en donde la señal PWM es de 12 V. El tiempo máximo de espera es de 3 segundos para ambos casos según la norma NTP-IEC 61851-1, y se debe principalmente a que el cargador debe esperar a que el vehículo cambie su estado utilizando el interruptor S2 o para compensar algún falso contacto al momento de la conexión. Los otros tiempos que involucran la apertura del conmutador no deben durar menos de 100 ms, pero el cierre puede tardar hasta 3 segundos. Por lo que se prioriza la desenergización en caso no se cumplan las condiciones de carga con tal de proteger al usuario y al vehículo.

La Figura 68 muestra los valores luego de terminada una sesión de carga. Como se puede apreciar, se consumieron 0.06463 kWh y el costo fue de S/. 0.04718 para un costo unitario real de S/. 0.73. Además, la potencia promedio alcanza los 4.72 kW y la corriente promedio los 21.43 A aproximadamente. Estos últimos pueden variar dependiendo de la resistencia  $R_c$ , el límite de corriente de la alimentación de la estación de carga y el comportamiento del EV durante la sesión de carga.

Energía (kWh)	0.06463
Tiempo efectivo de carga (h)	0.01371
Costo BT5B (S/.) Tarifa S/ 0.73 kWh	0.04718
Potencia promedio (kW)	4.715
Corriente promedio (A)	21.43

Figura 68: Valores medidos y calculados en una sesión de carga

- Detención forzada por botón de parada

En este caso, el botón de parada es utilizado para detener e inhabilitar la carga al desactivar la señal PWM. Esto se puede apreciar en los segundos 7.5 y 10 de la Figura 69. Es decir que mientras se mantenga presionado este botón, el vehículo no se cargará por más que este lo permita cerrando el interruptor S2. Tomar en cuenta que el cargador espera un tiempo de 0.5 s luego de presionado el botón antes de abrir el conmutador.

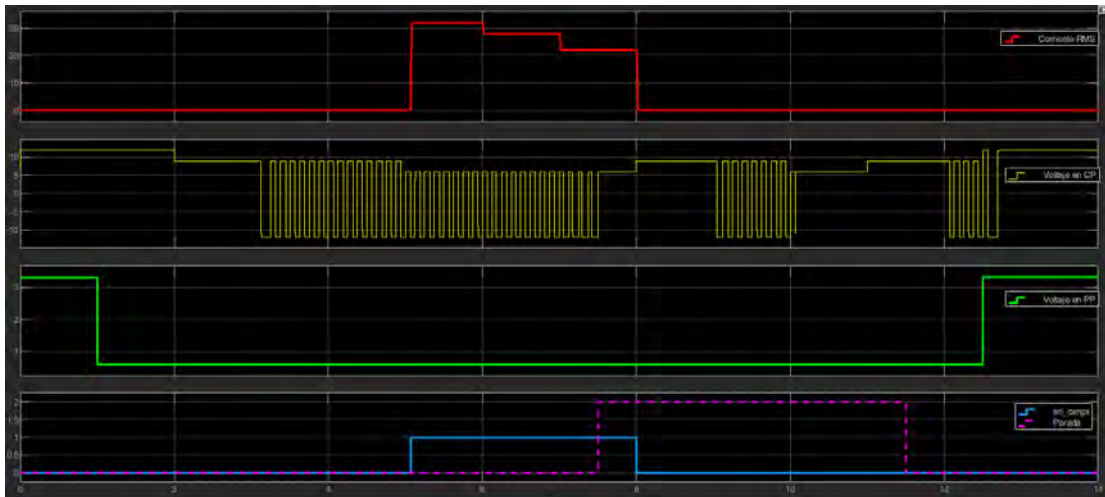


Figura 69: Interrupción de carga por botón de parada

- Interrupción de carga por desconexión del EVSE

Como se puede apreciar en la Figura 70, el voltaje en PP cambia a 3.3 V en el segundo 7.5. Esto indica que el cable de carga fue desconectado de la estación de carga. Como este evento sucedió durante la carga, esta se interrumpe automáticamente al no detectar el piloto de proximidad y se abre el conmutador.

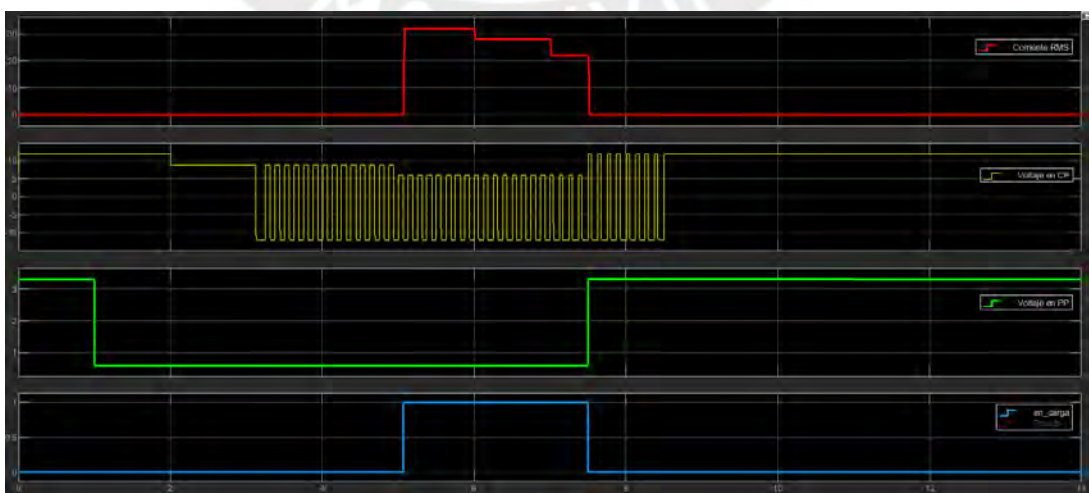


Figura 70: Interrupción de carga por desconexión del EVSE



- Interrupción de carga por desconexión del EV

Como se puede apreciar en la Figura 71, el voltaje en CP cambia a 12 V en el segundo 7.5. Esto indica que el cable de carga fue desconectado del vehículo. Como este evento sucedió durante la carga, esta se interrumpe automáticamente al no detectar algún vehículo al otro extremo del cable y se abre el conmutador. Cabe resaltar, que el voltaje en PP no varía, puesto que en ese instante el cable de carga no fue extraído del cargador, solo del vehículo.

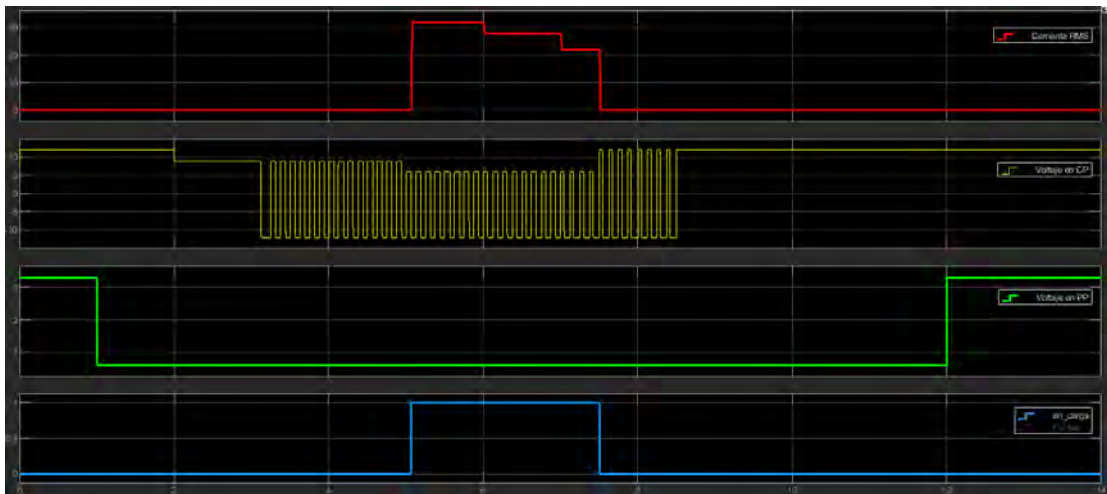


Figura 71: Interrupción de carga por desconexión del EV

## 4.1.2. Simulación de circuitos

### 4.1.2.1. Piloto de Control (CP)

Se realizó la simulación con la señal PWM activada y otra con la señal PWM desactivada. Para ambos casos, el interruptor S1 simula la conexión física del contacto de Piloto de Control y el interruptor S2 simula el interruptor interno de un vehículo, el cual se cierra cuando acepta la carga o abre cuando aún no está listo para cargar. Esto se aprecia en el esquemático de la Figura 72.

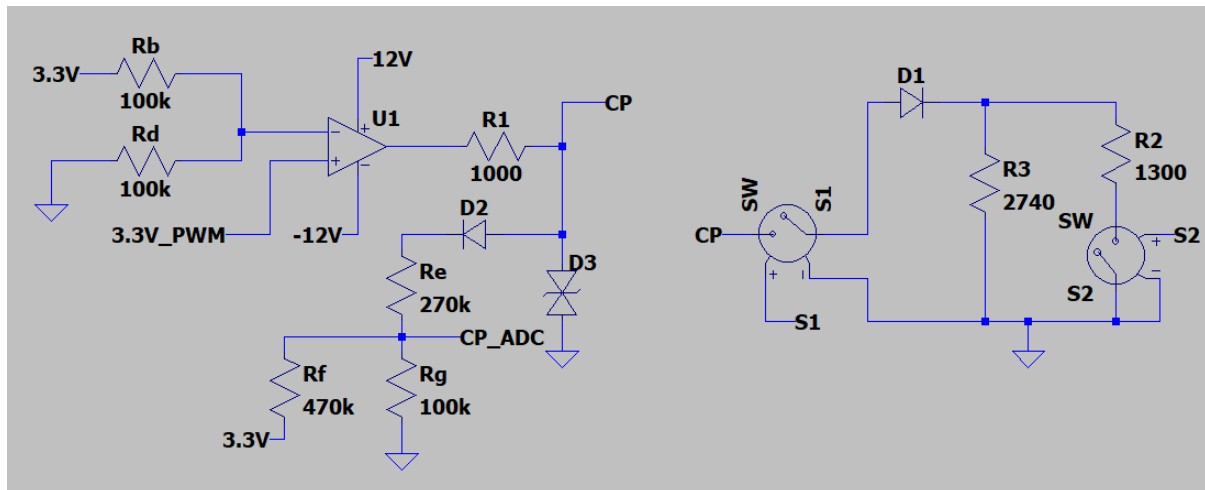


Figura 72: Esquemático del piloto de control

La Figura 73 muestra la simulación en LTSpice con la señal PWM activada y la Figura 74 muestra la simulación con la señal PWM desactivada. La señal de color azul corresponde con el voltaje de la salida del microcontrolador, la señal de color amarillo corresponde con un voltaje de referencia utilizado para la comparación, la señal de color verde es el voltaje del piloto de control, la señal de color rojo es el voltaje acondicionado para el microcontrolador proveniente del piloto de control, y las señales de color celeste y morado corresponden con los interruptores S1 y S2 respectivamente.

Para la comparación, mientras que la señal azul sea mayor a la señal de referencia, la salida del opamp será de 12 V positivos, caso contrario será de 12 V negativos. Además, a medida que se cierran los interruptores, el divisor de voltaje varía sus propiedades, lo que hace que el voltaje disminuya de 12 V a 9 V (S1 cerrado) y a 6 V (S1 y S2 cerrados). Este último nivel de voltaje puede ser de 3 V dependiendo del vehículo y de algunas condiciones mencionadas en la norma NTP-IEC 61851-1.

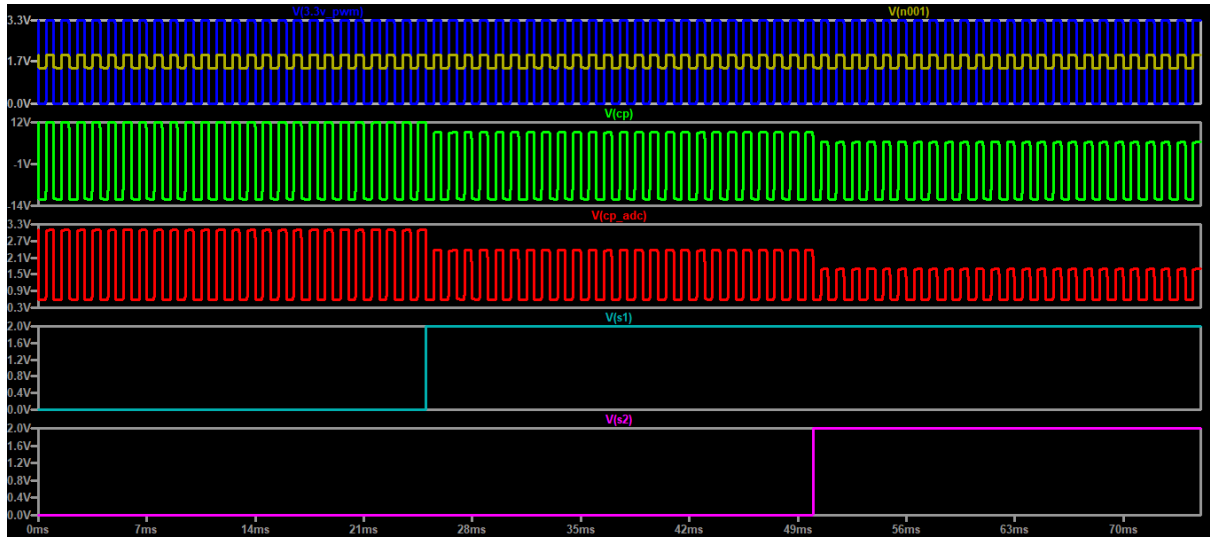


Figura 73: Simulación con la señal PWM activada

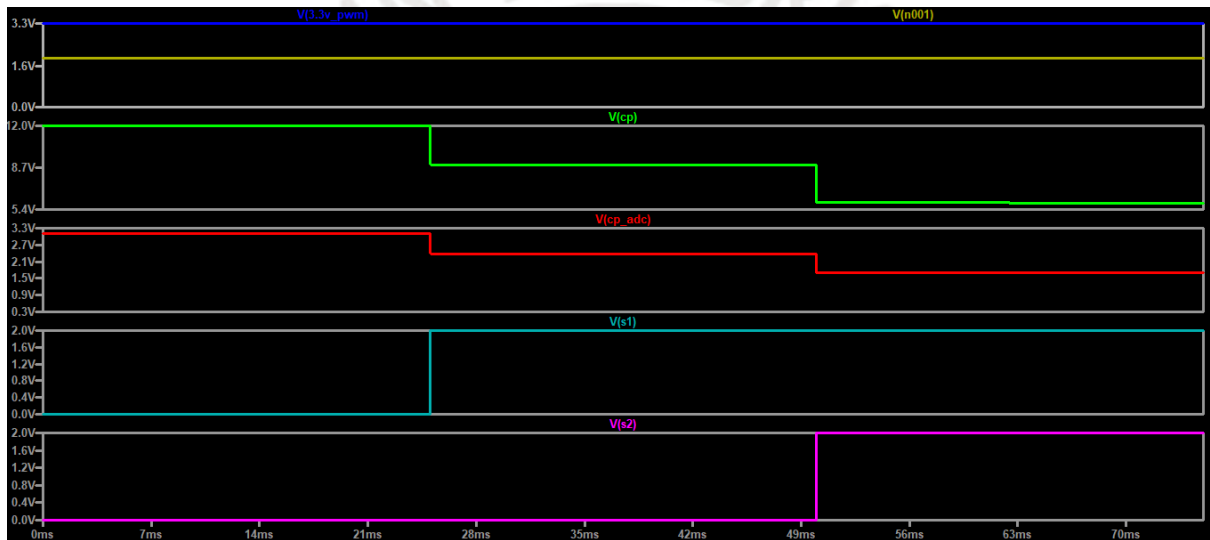


Figura 74: Simulación con la señal PWM desactivada

#### 4.1.2.2. Piloto de Proximidad (PP), comparador y habilitador de carga

En la Figura 75 se presenta el esquemático del circuito del piloto de proximidad, en donde el interruptor S3 simula la conexión física del contacto de Piloto de Proximidad. La medición de la resistencia  $R_c$  se hace por medio de un divisor de voltaje entre la resistencia  $R_a$  del lado del cargador y la resistencia  $R_c$  incluida en el conector del cable de carga.

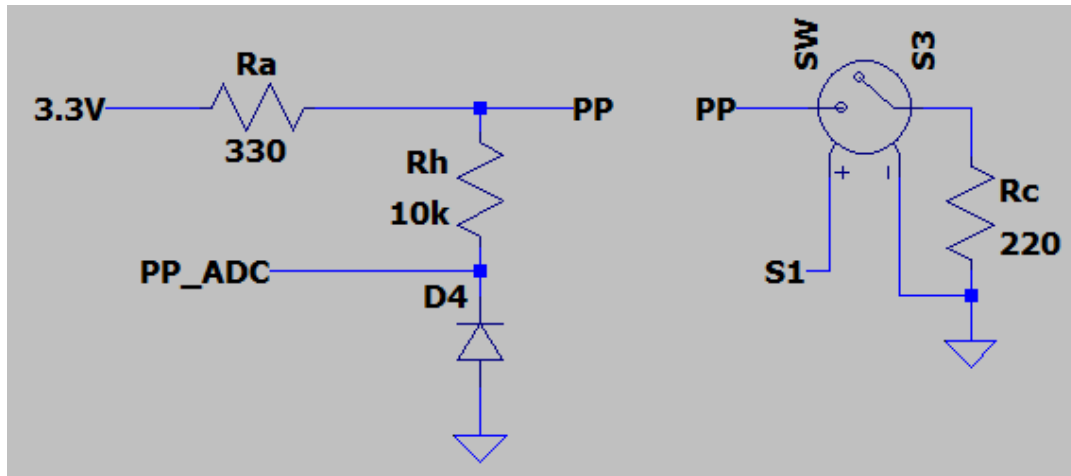


Figura 75: Esquemático del piloto de proximidad

La medición captada en la entrada del convertidor analógico digital del microcontrolador (PP\_ADC) también es derivada hacia un circuito comparador según la Figura 76. Esta es comparada por dos voltajes de referencia  $V_L$  y  $V_H$ , los cuales se encuentran entre 1.1 V y 2.9 V respectivamente. Solo si el voltaje en PP\_ADC se encuentra en ese rango, la salida del circuito comparador pondrá en 5 V su salida. Finalmente, solo si EN\_CARGA, proveniente de una salida digital del microcontrolador, y EN\_PP, como detector del Piloto de Proximidad, estén en alta, se activará el mosfet y en consecuencia la bobina de un relevador que acciona al contactor encargado de energizar al vehículo según las condiciones dadas.

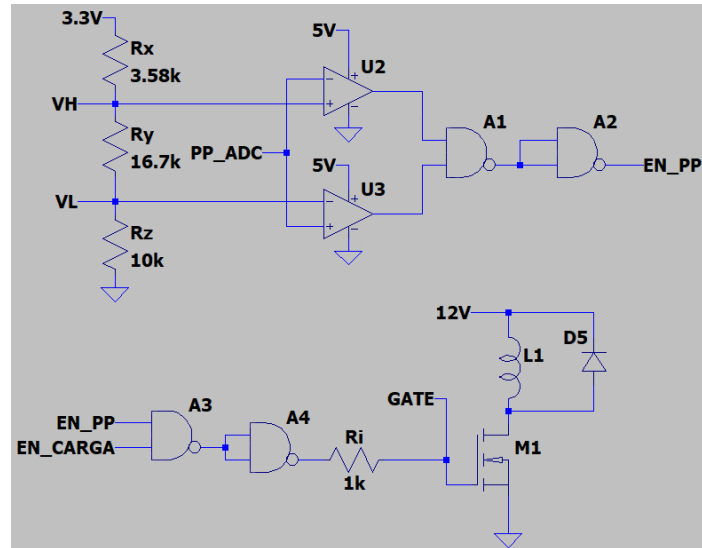


Figura 76: Esquemático del circuito comparador y habilitador

En la simulación en LTSpice de la Figura 77, la señal de color verde corresponde con el voltaje en el piloto de proximidad, las señales azul y roja son los límites superior e inferior respectivamente, la señal de color mostaza corresponde con la detección del piloto de proximidad proveniente del comparador, la señal de color rosado es la señal de habilitación de carga del microcontrolador y la señal celeste corresponde con la salida de la compuerta lógica que activa el mosfet.

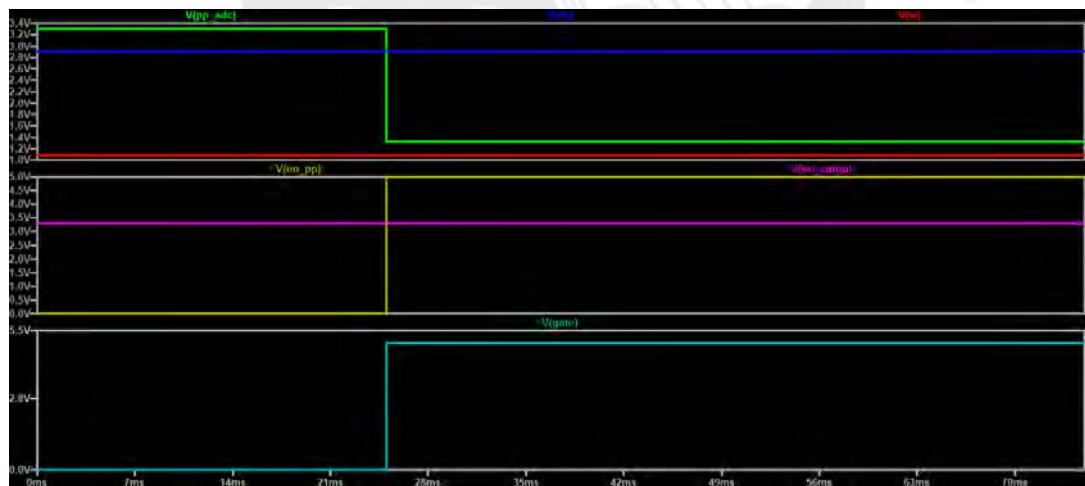


Figura 77: Simulación del piloto de proximidad y habilitación de carga

Se demuestra que la comparación se realiza de manera efectiva a los 25 ms, ya que el voltaje en el piloto de proximidad se sitúa dentro de los límites antes mencionados. En consecuencia, el habilitador cambia a 3.3 V. Es importante destacar que la salida de la compuerta lógica es la única que cuenta con alimentación de 5 V. Esto se debe a que la puerta del mosfet se activa a partir de los 3.3 V, por lo que con 5 V se asegura su correcto funcionamiento.

### 4.1.2.3. Medidor de corriente

El sensor de corriente es simulado con una fuente de corriente constante, tal como se muestra en la Figura 78. Según la hoja de datos del mismo, la amplitud máxima de la señal es de 50 mA o 1 V según el tipo de variable a sensar. En este caso se necesita medir voltaje a través del convertidor analógico digital del microcontrolador por lo que la señal de corriente es fácilmente modificable a una de voltaje con una resistencia.

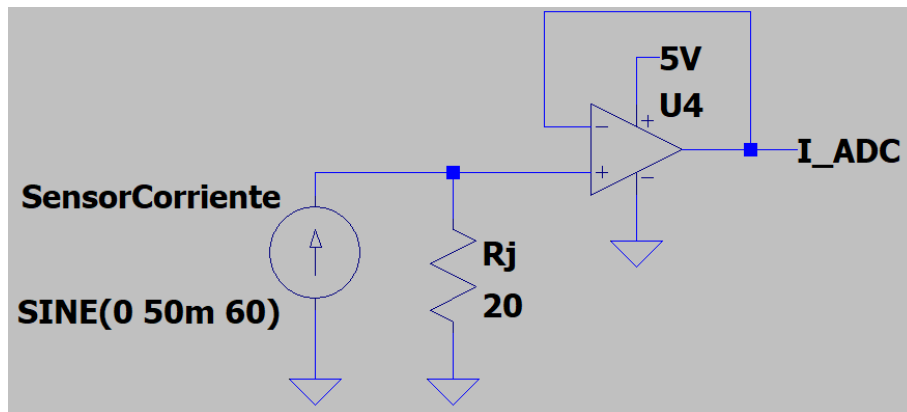


Figura 78: Esquemático del medidor de corriente

La simulación en LTSpice de la Figura 79 muestra el funcionamiento del circuito. La señal de color rojo es la corriente generada por la medición de la fase de la alimentación del vehículo. Esta se encuentra escalada según la cantidad de vueltas que tenga la bobina del sensor. La señal de color verde es la señal roja transformada a voltaje y la señal de color azul es la que finalmente se conecta al convertidor analógico digital del microcontrolador. Esta última es una señal de media onda rectificada por el opamp, lo que evita que el microcontrolador se averíe.

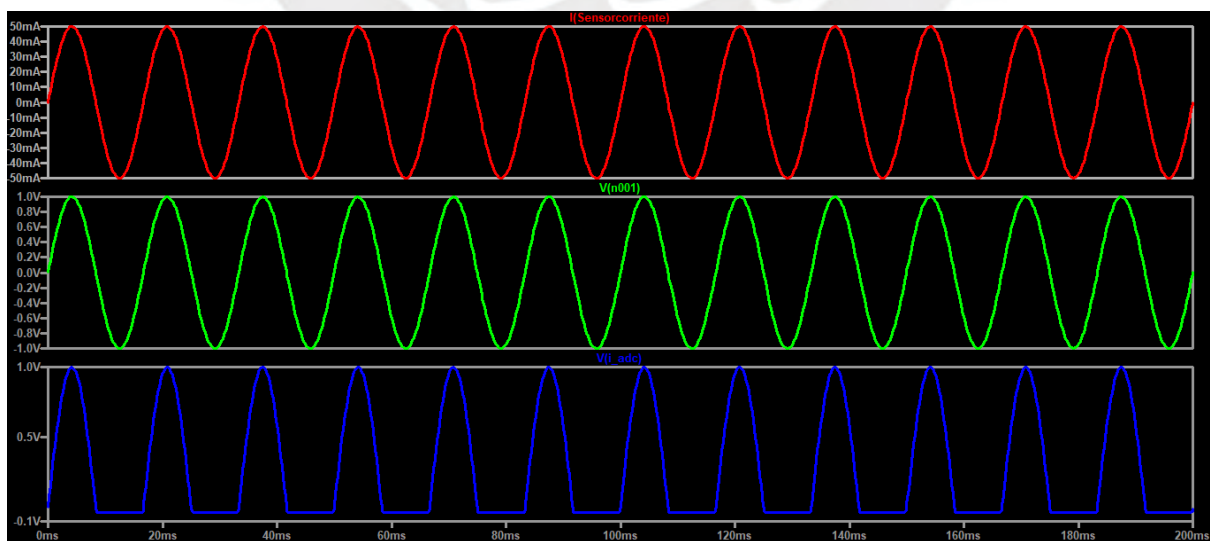


Figura 79: Simulación del circuito medidor de corriente

## 4.2. Simulación y resultados de la sesión de carga EVSE – CPO

La simulación de la comunicación entre el cargador (EVSE) y un operador central de carga (CPO) requiere de una red LAN en la cual exista un servidor y cliente OCPP. Se presentarán algunas de las funciones OCPP disponibles y necesarias para realizar la gestión de carga inteligente, ya que no todas han sido implementadas en el servidor o en el cliente.

### 4.2.1. Configuración del EVSE

La estación de carga será representada por la implementación de la Figura 80. En ella se puede apreciar el lector RFID de color azul, la tarjeta de desarrollo de color negro y tres LED. Estos últimos serán utilizados para visualizar los estados del protocolo OCPP según el diagrama de flujo de la Figura 64. El LED rojo indica que la estación de carga se encuentra inoperativa, el LED amarillo indica que el vehículo se está cargando y el LED azul indica que la estación se conectó con éxito al servidor.

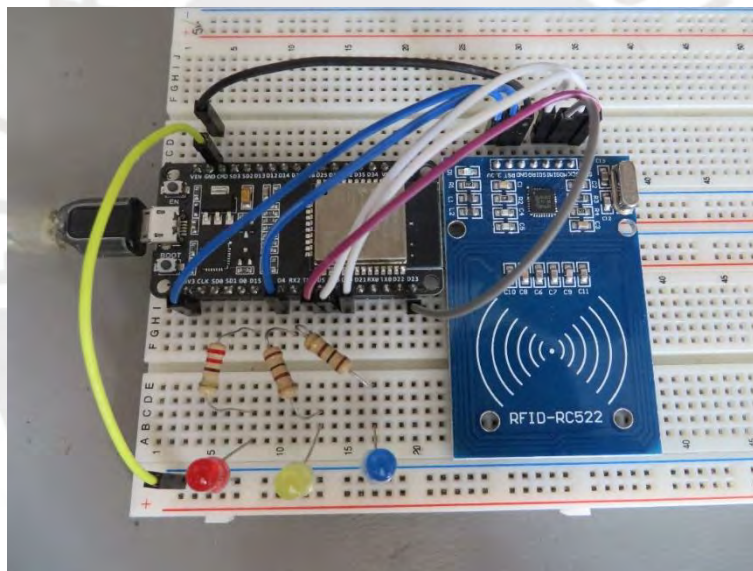


Figura 80: Entorno de pruebas para el cargador

Dentro del código del microcontrolador se debe especificar la dirección IP del host, el puerto de enlace y la URL para la comunicación por websockets con el servidor (ver Figura 81). La dirección IP y el puerto identifican al servidor, mientras que la URL es generada por el mismo para que el EVSE se pueda conectar.

```
#define OCPP_HOST "192.168.1.28"  
#define OCPP_PORT 8086  
#define OCPP_URL "ws://192.168.1.28:8086/steve/websocket/CentralSystemService/EVSE-Peru"
```

Figura 81: Configuración del EVSE

#### 4.2.2. Configuración del CPO

El servidor SteVe será levantado en una computadora local, así como se muestra en la Figura 82. Al acceder a la interfaz web con el enlace (JSON Endpoint for OCPP), es necesario agregar el ID del cargador, el cual será EVSE-Peru (ver Figura 83). Si el cargador no se agrega al servidor, este se encontrará imposibilitado de realizar cualquier función. Además, se agregan algunos identificadores RFID que se utilizarán para la identificación del usuario. En la Figura 84 se muestran los identificadores a utilizar y en la Figura 85 se muestra la interfaz con los identificadores agregados. La única forma de que el usuario empiece la carga es que su identificador se encuentre en la base de datos del servidor, caso contrario no podrá ser autorizado.

```
PS C:\SEB\Programas\OCPP\steve-3.4.9> java -jar target/steve.jar
Log file: C:\Users\Seb\logs\steve.log
Starting..... Done!
Hint: You can stop the application by pressing CTRL+C

Access the web interface using
- http://192.168.1.28:8086/steve/manager/home
SOAP endpoint for OCPP
- http://192.168.1.28:8086/steve/services/CentralSystemService
WebSocket/JSON endpoint for OCPP
- ws://192.168.1.28:8086/steve/websocket/CentralSystemService/(chargeBoxId)
```

Figura 82: Ejecución del servidor OCPP SteVe

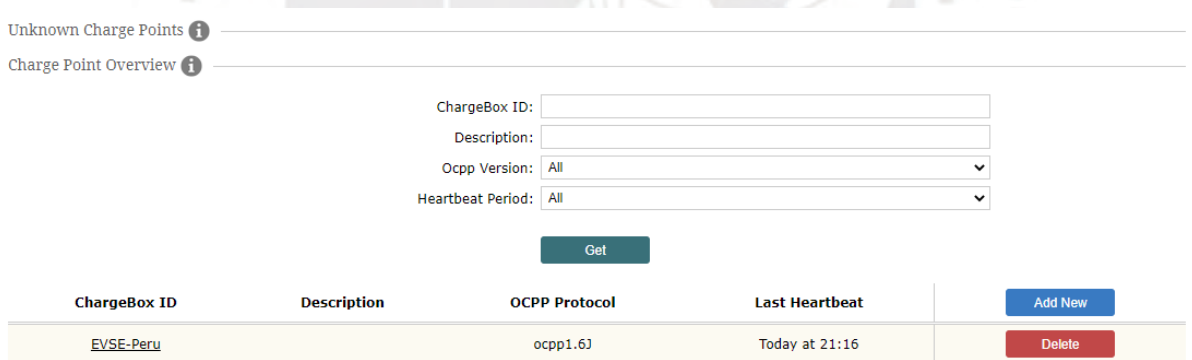




Figura 83: Inclusión del identificador del cargador en SteVe





Figura 84: Identificadores RFID




ID Tag:  

Parent ID Tag:  

Expired?:  

In Transaction?:  

Blocked?:  

ID Tag	Parent ID Tag	Expiry Date/Time	In Transaction?	Blocked?	<input type="button" value="Add New"/>
<a href="#">190A0721</a>			false	false	<input type="button" value="Delete"/>
<a href="#">FA16B680</a>			false	false	<input type="button" value="Delete"/>
<a href="#">F50F8F11</a>			false	false	<input type="button" value="Delete"/>

Figura 85: Inclusión de los identificadores RFID en SteVe

Es importante tener en cuenta las configuraciones de los servidores OCPP y base de datos. Por un lado, el servidor OCPP se configura con: usuario, contraseña, dirección IP del host y el puerto. Por otro lado, el servidor de la base de datos se configura con: la dirección IP, el puerto, el nombre de la tabla, el usuario y la contraseña. Además, el servidor y la base de datos deben coincidir en el huso horario, el cual es UTC+00:00 para ambos.

```
# Database configuration
#
db.ip = localhost
db.port = 3306
db.schema = stevedb
db.user = steve
db.password = root

# Credentials for Web interface access
#
auth.user = admin
auth.password = 1234

# Jetty configuration
#
server.host = 192.168.1.28
server.gzip.enabled = true

# Jetty HTTP configuration
#
http.enabled = true
http.port = 8086
```

Figura 86: Configuración de SteVe

### 4.2.3. Pruebas

Para las pruebas se utilizará el terminal de PlatformIO en donde se apreciarán los mensajes según los eventos generados desde que el cargador es encendido. Cabe resaltar que estos mensajes se dividen en AO, mensajes generados por Arduino OCPP, y mensajes MAIN, mensajes generados en el programa principal.

#### 4.2.3.1. Conexión con el servidor (BootNotification / StatusNotification)

En la Figura 87 se aprecia que el cargador se encuentra enlazado con el servidor, ya que el LED de color azul está encendido. En el terminal de la Figura 88 se puede notar el cargador sigue los siguientes pasos: apertura del canal de comunicación mediante el URL, BootNotification para la conexión con el servidor OCPP y envío del estado del cargador mediante StatusNotification. El resultado de esta primera interacción se muestra en el panel de SteVe de la Figura 89, en donde el cargador aparece como disponible.

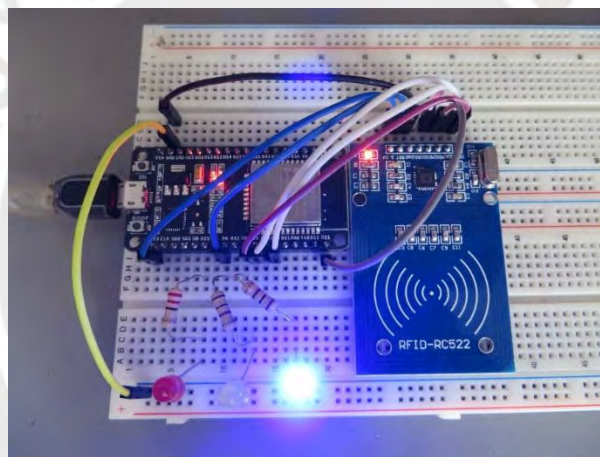


Figura 87: Conexión exitosa con SteVe

```
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\ArduinoOcpp\src\ArduinoOcpp\Core\OcppSocket.cpp:34): Connected to url: ws://192.168.1.28:8086/steve/websocket/CentralSystemService/EV5E-Peru
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\ArduinoOcpp\src\ArduinoOcpp\MessagesV16\BootNotification.cpp:94): Request has been accepted
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\ArduinoOcpp\src\ArduinoOcpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Available
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\ArduinoOcpp\src\ArduinoOcpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Available
```

Figura 88: Mensajes BootNotification y StatusNotification en el terminal

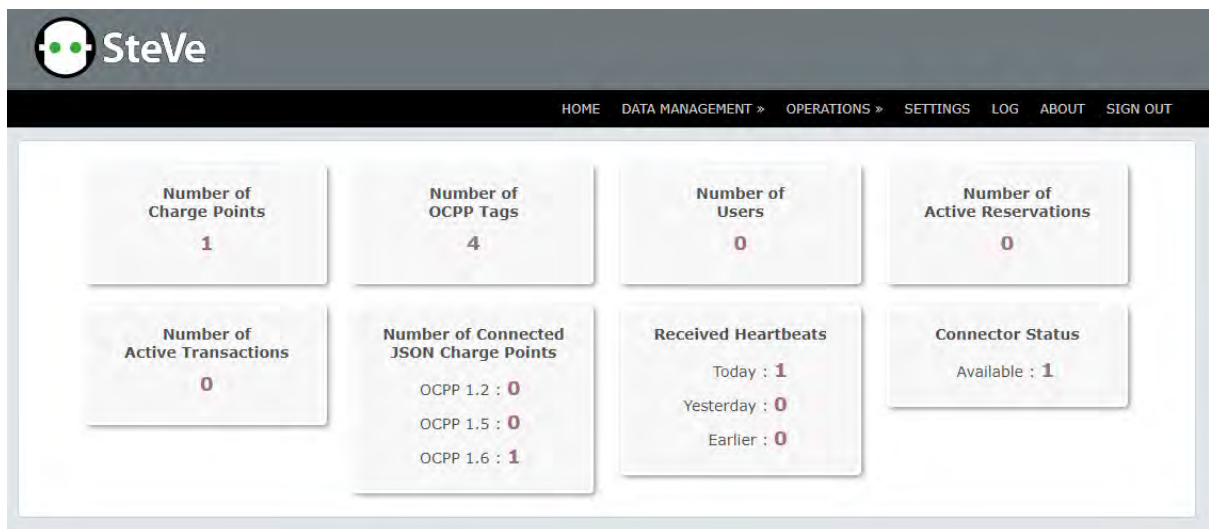


Figura 89: Interfaz de SteVe al establecer la conexión con el cargador

#### 4.2.3.2. Autorización e inicio de transacción (Authorize / StartTransaction)

En la Figura 90 se aprecia que el LED de color amarillo está encendido, por lo que el cargador está suministrando energía al vehículo. Para lograr esto, se debe utilizar un identificador RFID y posicionarlo brevemente sobre el sensor RFID. Si el identificador no se encuentra en la base de datos, el LED no encenderá y en el terminal se mostrará un mensaje de autorización denegada, pero si el identificador sí se encuentra en la base de datos, el LED encenderá, comenzará la transacción y se asignará un identificador único para esa sesión de carga, tal como se muestra en la Figura 91. Si la carga inicia, en el panel de SteVe de la Figura 92 aparecerá el estado de “Cargando” para el conector correspondiente.

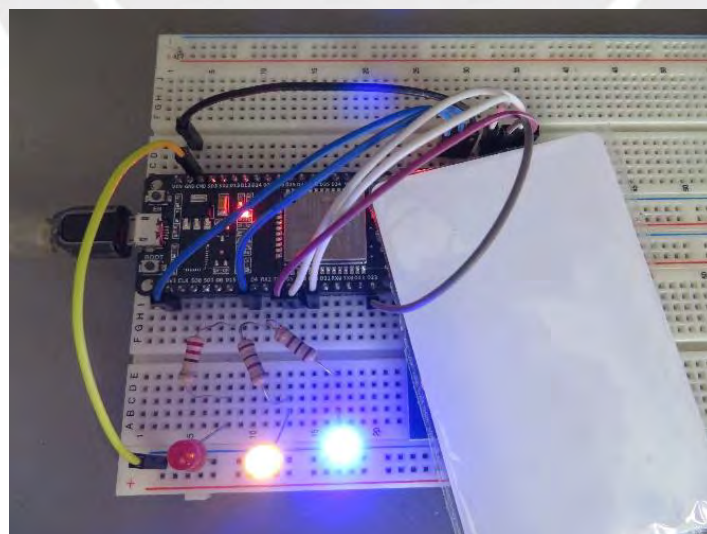


Figura 90: Autorización y comienzo de transacción

```

UID: CA687D7F
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\Authorize.cpp:46): Request has been denied. Reason: Invalid
[main] Autorización para cargar denegada.

UID: F50F8F11
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\Authorize.cpp:41): Request has been accepted
[main] Autorización para cargar aceptada.

[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\StartTransaction.cpp:66): StartTransaction initiated
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Preparing
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\StartTransaction.cpp:102): Request has been accepted
[main] Transacción iniciada.

[main] idTagInicio: F50F8F11
[main] ID de transacción: 109

[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Charging

```

Figura 91: Mensajes Authorize y StartTransaction en el terminal

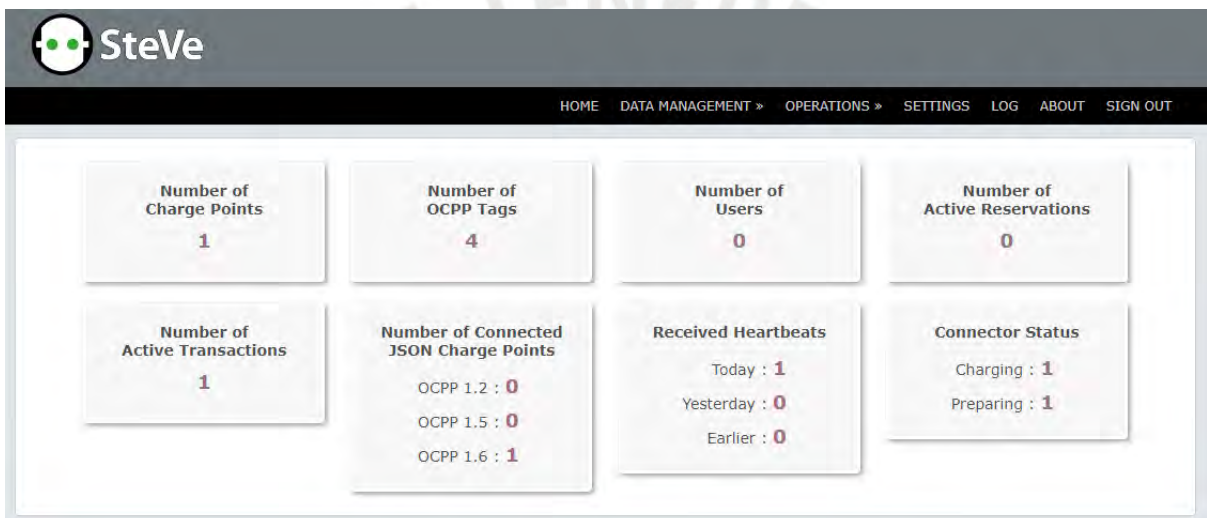


Figura 92: Interfaz de SteVe al iniciar la transacción

#### 4.2.3.3. Autorización y parada de transacción (Authorize / StopTransaction)

En la Figura 93 se aprecia que el LED de color amarillo está apagado, por lo que el cargador no está suministrando energía al vehículo. Para lograr esto, se debe utilizar un identificador RFID y posicionarlo brevemente sobre el sensor RFID. Si el identificador no se encuentra en la base de datos el LED no se apagará y en el terminal se mostrará un mensaje de autorización denegada, pero si el identificador sí se encuentra en la base de datos, el LED se apagará, se detendrá la transacción y se archivará el identificador de la sesión de carga utilizado al comenzarla, tal como se muestra en la Figura 94. Si la carga se detiene, en el panel de SteVe de la Figura 95 aparecerá el estado de disponible para el conector correspondiente.

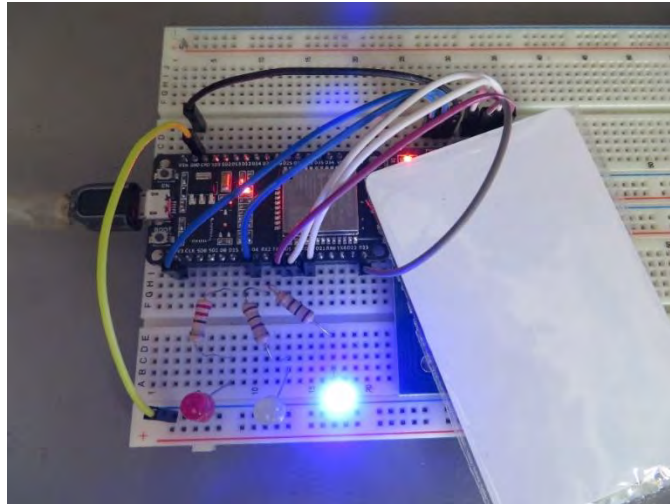


Figura 93: Autorización y detención de transacción

```

UID: CA687D7F
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\Authorize.cpp:46): Request has been denied. Reason: Invalid
[main] Autorización para detener carga denegada.

UID: F50F8F11
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\Authorize.cpp:41): Request has been accepted
[main] Autorización para detener carga aceptada.
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\StopTransaction.cpp:43): StopTransaction initiated!
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Available
[AO] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\StopTransaction.cpp:74): Request has been accepted!
[main] Transacción finalizada
[main] idTagFinal: F50F8F11

```

Figura 94: Mensajes Authorize y StopTransaction en el terminal

#### 4.2.3.4. Inicio y parada de transacción remota (RemoteStart / Remote Stop Transaction)

El inicio y parada de una transacción pueden ser ejecutados de forma remota directamente desde el CPO sin necesidad de utilizar los identificadores RFID físicos. Por un lado, el proceso de inicio remoto se muestra en la Figura 95 y 96, en donde se envía una solicitud con un identificador RFID previamente registrado. Al cabo de un tiempo, se recibe la respuesta aceptando el inicio de la transacción y se asigna un identificador único para la sesión de carga. Por otro lado, el proceso de parada remota se muestra en la Figura 97 y 98, en donde se envía una solicitud con el identificador único de sesión de carga generado anteriormente. Al cabo de un tiempo, se recibe la respuesta aceptando la detención de la transacción. Los mensajes en el terminal no son presentados, ya que son los mismos para los casos anteriores que sí incluyen el identificador RFID físico.

SteVe

HOME DATA MANAGEMENT » OPERATIONS » SETTINGS LOG ABOUT SIGN OUT

Change Availability  
Change Configuration  
Clear Cache  
Get Diagnostics  
**Remote Start Transaction**  
Remote Stop Transaction  
Reset  
Unlock Connector  
Update Firmware

Charge Points with OCPP v1.6

Select one: EVSE-Peru

Parameters

Connector ID: 1  
OCPP ID Tag: F50F8F11

Perform

Figura 95: Petición de comienzo de transacción

SteVe

HOME DATA MANAGEMENT » OPERATIONS » SETTINGS LOG ABOUT SIGN OUT

**Task Details**

Operation name	ocpp1.6 / Remote Start Transaction
Origin	INTERNAL (SteVe)
Start timestamp	2022-06-10T16:14:11.611Z
End timestamp	2022-06-10T16:14:11.859Z
# of charge point requests	1
# of responses	1
# of errors	0

Task Result

ChargeBox ID	Response	Error
EVSE-Peru	Accepted	

Figura 96: Respuesta de la petición de comienzo de transacción

SteVe

HOME DATA MANAGEMENT » OPERATIONS » SETTINGS LOG ABOUT SIGN OUT

Change Availability  
Change Configuration  
Clear Cache  
Get Diagnostics  
**Remote Stop Transaction**  
Remote Start Transaction  
Reset  
Unlock Connector  
Update Firmware

Charge Points with OCPP v1.6

Select one: EVSE-Peru

Parameters

ID of the Active Transaction: 110

Perform

Figura 97: Petición de detención de transacción

Task Details		
Operation name	ocpp1.6 / Remote Stop Transaction	
Origin	INTERNAL (SteVe)	
Start timestamp	2022-06-10T16:15:03.003Z	
End timestamp	2022-06-10T16:15:03.237Z	
# of charge point requests	1	
# of responses	1	
# of errors	0	

Task Result		
ChargeBox ID	Response	Error
EVSE-Peru	Accepted	

Figura 98: Respuesta a la petición de detención de transacción

#### 4.2.3.5. Cambio de disponibilidad (ChangeAvailability)

En la Figura 99 se aprecia que el cargador se encuentra inoperativo, ya que el LED de color rojo está encendido. La petición es realizada en la Figura 100, en donde se escoge el cargador y el conector a modificar. En la Figura 101 se recibe la respuesta y el estado del cargador pasa a inoperativo demostrado en el panel de SteVe de la Figura 102. El resultado de esta interacción aparece en el terminal de la Figura 103 como un nuevo estado. Cabe resaltar, que al estar inoperativo, el cargador no podrá gestionar la carga y todas sus funciones quedan detenidas.

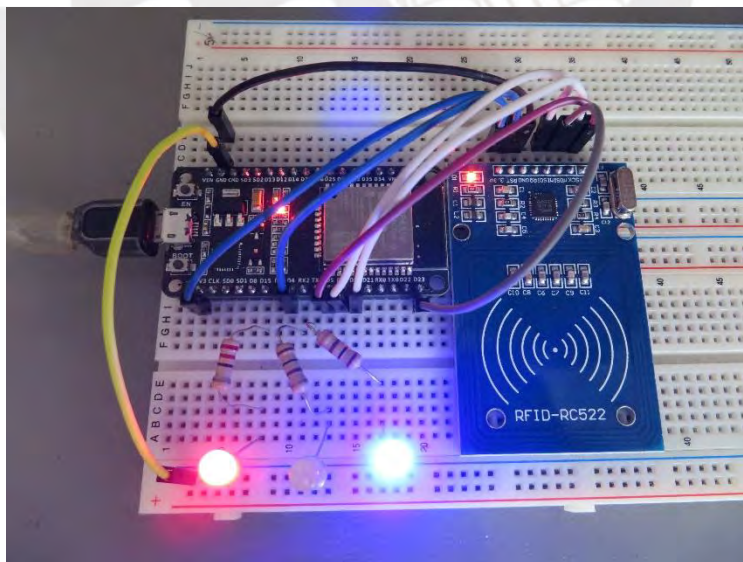


Figura 99: Cargador inoperativo

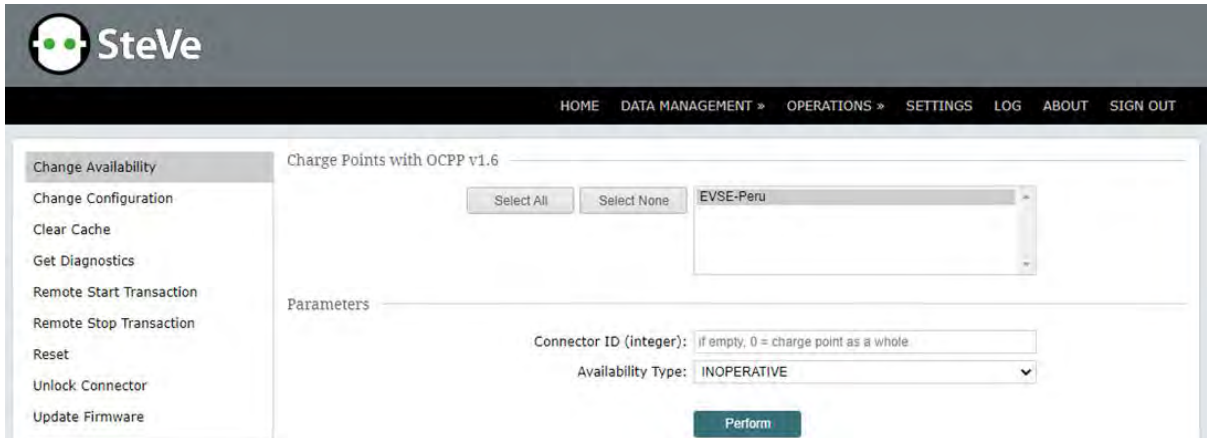


Figura 100: Petición de cambio de disponibilidad

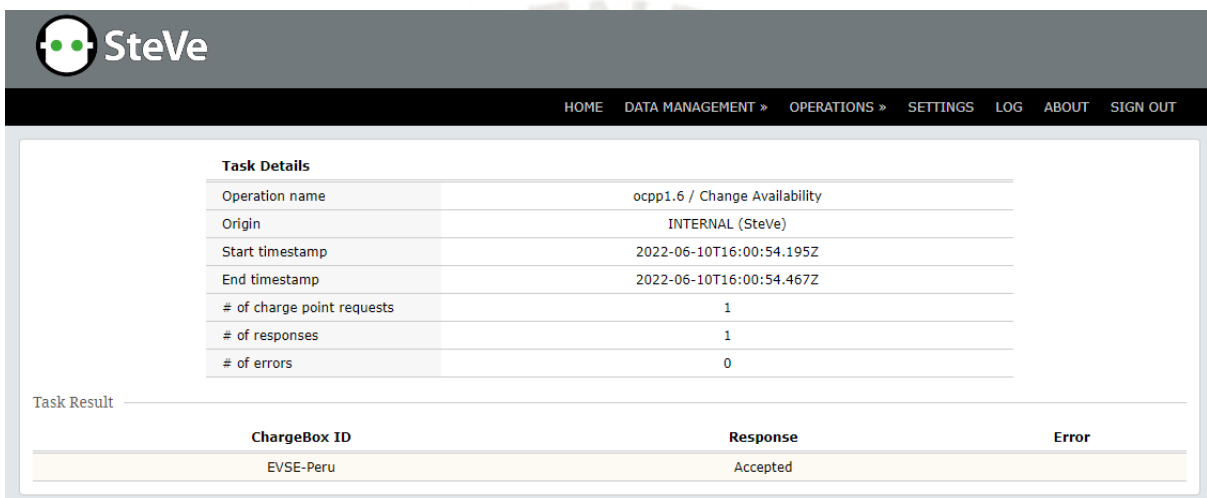


Figura 101: Respuesta a la petición de cambio de disponibilidad

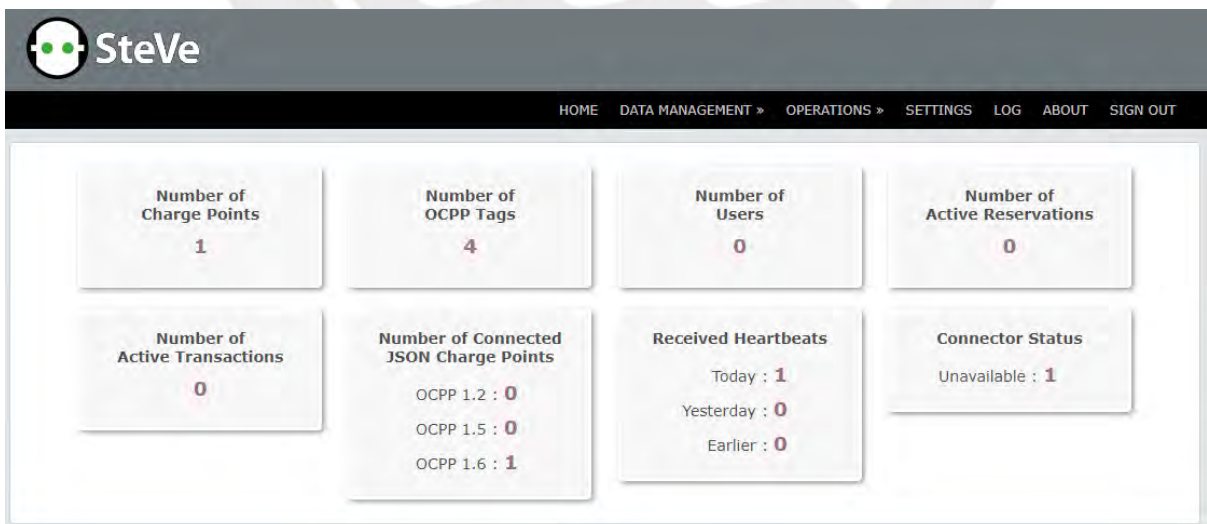


Figura 102: Interfaz de SteVe al cambiar de disponibilidad



```
[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\ArduinoOcpp\src\ArduinoOcpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Unavailable
[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\ArduinoOcpp\src\ArduinoOcpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Unavailable
```

Figura 103: Mensaje de disponibilidad en el terminal

#### 4.2.3.6. Reinicio forzado (Reset)

El microcontrolador posee un pin y un pulsador de reinicio embebidos, pero además, el protocolo OCPP cuenta con una función que permite reiniciar el sistema de manera remota. En la Figura 104 se realiza la petición al escoger el cargador y el tipo de reinicio. Para este caso, el tipo de reinicio puede ser cualquiera, ya que dentro del microcontrolador, la función de reinicio local es la misma. La respuesta es recibida en la Figura 105 y en la Figura 106 se aprecia el momento en que el microcontrolador es reiniciado.

Figura 104: Petición de reinicio

Task Details	
Operation name	ocpp1.6 / Reset
Origin	INTERNAL (SteVe)
Start timestamp	2022-06-10T16:16:40.633Z
End timestamp	2022-06-10T16:16:40.770Z
# of charge point requests	1
# of responses	1
# of errors	0

Task Result		
ChargeBox ID	Response	Error
EVSE-Peru	Accepted	

Figura 105: Respuesta a la petición de reinicio

```
REINICIANDO....  
ets Jun  8 2016 00:22:57  
  
rst:0xc (SW_CPU_RESET),boot:0x17 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)  
confgsfp: 0, SPIWP:0xee  
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00  
mode:DIO, clock div:2  
load:0x3fff0018,len:4  
load:0x3fff001c,len:1044  
load:0x40078000,len:10124  
load:0x40080400,len:5828  
entry 0x400806a8  
.....[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\Core\Configuration.cpp:103): init new configurations container on f  
lash filesystem: /volatile  
[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\Core\OcppSocket.cpp:34): Connected to url: ws://192.168.1.28:8086/steve/w  
ebsocket/CentralSystemService/EVSE-Peru  
[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16\BootNotification.cpp:94): Request has been accepted  
[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Available  
[A0] info (.pio\libdeps\esp32doit-devkit-v1\Arduino0cpp\src\Arduino0cpp\MessagesV16>StatusNotification.cpp:48): New status: Available
```

Figura 106: Mensaje Reset en el terminal



### 4.3. Costos del diseño

Los costos contemplan todo aquello que se realizó para poder completar los objetivos de este trabajo de tesis. Se incluyen el costo de la mano de obra, el costo por consumo de energía eléctrica, el costo en materiales y otros costos adicionales.

Los costos por mano de obra se subdividirán en dos: costos por investigación y costos por diseño, en donde el segundo tendrá un factor multiplicativo poco mayor a uno para poder diferenciar cada uno de ellos. Para poder establecer un valor a la hora trabajada se calcula el costo de oportunidad, que refleja lo que se ganaría en capital si el diseñador (tesista) se dedicara a otra actividad, como la realización de las prácticas preprofesionales. Esta última se establece como un régimen semanal de 30 horas por 5 días. Por lo que en la Tabla 31 se obtiene lo siguiente:

Tabla 31: Costos por mano de obra

Sueldo promedio	S/. 1200
Horas trabajadas en un mes	120
Pago en horas	S/. 10
Meses dedicados a la tesis	10
Horas dedicadas por investigación	300
Horas dedicadas al diseño	300
Costo por mano de obra	S/. 7200

$$PagoHoras = \frac{S/. 1200}{120} = S/. 10$$

$$HorasInvestigación = \frac{(10)(4)(5)(3)}{2} = 300 \text{ horas}$$

$$HorasInvestigación = HorasDiseño = 300 \text{ horas}$$

$$CostoManoObra = (S/. 10)[(1)(300) + (1.4)(300)] = S/. 7200$$

El costo relacionado al consumo eléctrico se presenta en la Tabla 32 junto con los costos por implementación y otros costos. Este último representan la movilidad, viáticos u otro costo que haya involucrado el desarrollo de la tesis. Además, se agrega el costo por depreciación de la laptop, que considera las 600 horas dedicadas a la tesis, 3 años de vida útil y un costo de adquisición de S/. 2500. Para los años de vida útil se consideran 5 días a la semana con 3 horas diarias de uso.

Tabla 32: Costos por consumo de energía, implementación y otros

Horas dedicadas por investigación y diseño	600
Potencia máxima de la laptop	65 W
Potencia máxima de luminaria	12 W
Costo unitario real	S/. 0.73 kWh
Costo del consumo de energía	S/. 34
Costo por depreciación de la laptop	S/. 348
Costos por implementación	S/. 100
Otros gastos	S/. 40

$$\text{CostoConsumoEnergía} = (600 \text{ horas})(65W + 12W)(S/. 0.73 \text{ kWh}) = S/. 34$$

$$\text{CostoDepreciacion} = \left(\frac{1}{2}\right) \frac{\text{HorasUso}}{\text{VidaUtil}} (\text{CostoLaptopNueva})$$

$$\text{CostoDepreciacion} = \left(\frac{1}{2}\right) \frac{600 \text{ horas}}{(4 \text{ semanas})(15 \text{ horas/semana})(36 \text{ meses})} (S/. 2500)$$

$$\text{CostoDepreciacion} = S/. 348$$

$$\text{CostoTotal} = \text{CostoManoObra} + \text{CostoConsumoEnergía} + \text{Otros}$$

$$\text{CostoTotal} = S/. 7200 + S/. 34 + S/. 348 + S/. 100 + S/. 40 = S/. 7722$$

# Conclusiones

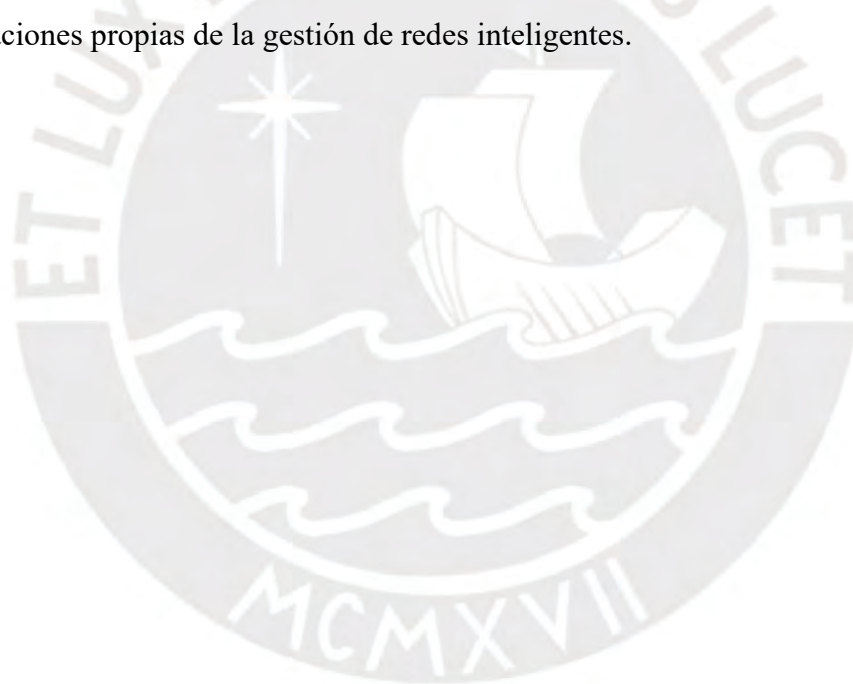
- El diseño del cargador AC Tipo 2 contempla los principales requerimientos técnicos establecidos por el Reglamento para la Instalación y Operación de la Infraestructura de Carga de la Movilidad Eléctrica.
- Con respecto al diseño eléctrico del cargador de acuerdo con el estándar AC Tipo 2, se consiguió simular el circuito del piloto de control, el circuito del piloto de proximidad y el circuito del habilitador de carga, los cuales cumplen la función de control y una parte de la protección de todo el sistema. Sin embargo, no se pudo simular parte de los circuitos eléctricos, como los contactores junto con el botón de emergencia, los interruptores diferenciales y los interruptores termomagnéticos.
- Con respecto al circuito de medición de energía, se consideraron las opciones tarifarias residenciales BT5B y BT5F. En las simulaciones de la lógica de carga solo se simuló la opción tarifaria BT5B que considera un costo fijo y un costo variable por energía consumida. En Simulink se utilizó un bloque RMS que mide la corriente directamente. El bloque RMS se simuló en LTSpice con el circuito de medición de corriente que se compone por un sensor de corriente no invasivo y un circuito de acondicionamiento hacia el microcontrolador. Este último, al igual que el bloque RMS, se encargó de medir la corriente discreta a partir de un periodo de la señal. Por lo tanto, es posible realizar la medición de la energía considerando que la señal de corriente debe ser acondicionada y muestreada correctamente.
- El estudio realizado sobre la interoperabilidad en la movilidad eléctrica ha permitido entender la relación entre los distintos elementos que la conforman. Existen capas de interoperabilidad que cumplen distintas funciones relacionadas al intercambio de información, y además, existen agentes que utilizan y gestionan estas capas para conformar un solo ecosistema interconectado. En medio de toda esta interacción aparecen los protocolos de comunicación, como el protocolo de carga PWM y el protocolo de interoperabilidad OCPP, los cuales ocupan un espacio dentro del modelo OSI y modelo EMSA. Gracias a este estudio se puede comprender mejor cómo interactúan los agentes dentro del ecosistema para poder proveer los servicios como geolocalización, disponibilidad, reserva, pago, etc. a los usuarios.

- El protocolo OCPP-J 1.6 fue implementado y simulado de manera exitosa. Las funciones permitieron simular la gestión de la carga de un vehículo eléctrico utilizando un microcontrolador. Se consiguió iniciar y detener la carga, inhabilitar y habilitar el cargador, e identificar tanto al equipo como al usuario en un servidor OCPP de pruebas (SteVe).
- Se ha verificado con las simulaciones que es factible realizar una gestión remota del cargador a través del protocolo OCPP mediante la configuración de perfiles de carga que se transfieren al equipo mediante los comandos *BootNotification*, *StatusNotification*, *Authorize*, *StartTransaction*, *StopTransaction*, *RemoteStartTransaction*, *RemoteStopTransaction*, *RemoteStopTransaction*, *ChangeAvailability* y *Reset*.
- Es factible utilizar el servidor de libre acceso SteVe para las pruebas de comunicaciones de cargadores con soporte de interoperabilidad. Al momento de su utilización para la presente tesis, la mayoría de operaciones OCPP son soportadas por este servidor, lo cual hizo posible obtener los resultados presentados. Cabe mencionar que este servidor se encuentra en permanente evolución por lo cual se espera que en algún momento soporte el 100% de las operaciones del protocolo OCPP.
- Es factible utilizar las librerías Arduino OCPP para las pruebas de comunicaciones con un operador central de carga. Al momento de su utilización para la presente tesis, la mayoría de operaciones OCPP son soportadas por esta librería, lo cual hizo posible obtener los resultados presentados. Cabe mencionar que Arduino OCPP se encuentra en permanente evolución por lo cual se espera que en algún momento soporte el 100% de las operaciones del protocolo OCPP.
- La utilización del protocolo de interoperabilidad OCPP es indispensable para la gestión de la demanda agregada de la infraestructura de carga que se deberá instalar para soportar el crecimiento de la electromovilidad y para desarrollar los casos de aplicación de la gestión de redes inteligentes o “Smart Grids”, entre los cuales cabe mencionar la gestión de la inyección de energía proveniente de las baterías de los EVs mediante la tecnología V2G para aplicaciones como recorte de picos de potencia o “peak shaving”. Los DSO que hasta ahora no se han integrado a ecosistemas de electromovilidad deberán desarrollar estas aplicaciones y jugar un rol más relevante para soportar esta transición a un transporte más eficiente, más sostenible y mucho más digitalizado.

## Recomendaciones y trabajos futuros

- Actualmente, en los modelos estudiados como EMSA el ecosistema de la electromovilidad no cuenta con un agente regulador o fiscalizador que supervise todos los roles o actores y su interacción entre sí. Teniendo en cuenta que la infraestructura de carga debe cumplir con las regulaciones de seguridad y de los sistemas eléctricos, sería factible utilizar la información disponible y algunos comandos de deshabilitación para que las entidades fiscalizadoras (OSINERGMIN en el caso del Perú) puedan intervenir en la operación de estaciones de carga cuando sea necesario.
- En el Perú no se han conformado aun redes de infraestructura de carga, cuya gestión se encuentra centralizada por lo cual tampoco existen operadores que gestionen los EVSE de forma inteligente.
- Conforme aparezcan distintos operadores de infraestructura de carga, se recomienda la adición de un Clearing House para evitar múltiples conexiones punto a punto entre eMSP/CPO y asegurar la escalabilidad del ecosistema.
- De acuerdo con los resultados de las simulaciones realizadas, se pueden realizar pruebas piloto de integración de cargadores de distintos fabricantes instalados actualmente en el Perú, bajo el protocolo OCPP y mediante un servidor como el utilizado en el presente trabajo (SteVe).
- Se recomienda la integración de los modelos para el protocolo de carga PWM y el protocolo de interoperabilidad OCPP con el fin de obtener un diseño totalmente funcional.
- En base a los resultados obtenidos de las simulaciones, el circuito de carga AC Tipo 2 diseñado estaría listo para ser implementado y probado en un vehículo eléctrico real.
- En base a los resultados obtenidos de las simulaciones, un siguiente paso sería probar la lógica implementada para el protocolo OCPP 1.6 con un eMSP/CPO real.

- Con respecto a la medición de corriente, se puede mejorar la precisión en el cálculo del costo de electricidad tomando en cuenta el consumo promedio de la vivienda y el consumo esperado de un EV. Ambos valores serían variables en el tiempo y se aplicaría una corrección sobre ambos cada 6 meses según el consumo real.
- Se recomienda que la universidad promueva trabajos adicionales del campo de la interoperabilidad de los sistemas de carga de los vehículos eléctricos con el objetivo de implementar aplicaciones relacionadas con los servicios de este ecosistema, como por ejemplo la implementación de un Clearing House a nivel de país o región.
- Se recomienda continuar este primer avance en el manejo de protocolos de interoperabilidad para el ecosistema de la electromovilidad, con el desarrollo de aplicaciones para la gestión de carga inteligente y la gestión de la inyección de energía proveniente de las baterías de EV mediante la tecnología V2G, así como otras aplicaciones propias de la gestión de redes inteligentes.





# Bibliografía

- [1] K. Chau, *Electric Vehicles Machines and Drives*. Hong Kong, 2015.
- [2] H. Zakaria, M. Hamid, E. M. Abdellatif, y A. Imane, “Recent Advancements and Developments for Electric Vehicle Technology”, 2019, doi: 10.1109/ICCSRE.2019.8807726.
- [3] IEA, “Global EV Outlook 2022”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>.
- [4] MINEM, “Reglamento para la instalación y operación de la infraestructura de carga de la movilidad eléctrica”, Lima, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6010633/5325447-ds-036-2023-em-reglamento-icme.PDF?v=1709847912>.
- [5] Osinergmin, “ELECTROMOVILIDAD: Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú”, Lima, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Electromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidas-para-el-Peru.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Electromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidas-para-el-Peru.pdf).
- [6] NTP-IEC 61851-1, *Sistema conductivo de carga para vehículo eléctrico. Parte 1: Requisitos generales*. 2020.
- [7] R. Singh *et al.*, *Handbook of Electric Vehicle Charging Infrastructure Implementation*. 2021.
- [8] MINEM, “Prepublicación de reglamento de la ICME”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5285368/4747809-proyecto-de-reglamento-de-instalacion-y-operacion-de-movilidad-electrica.pdf?v=1697482999>.
- [9] NTP-IEC 62196-2, *Enchufes, tomacorrientes, conectores de vehículo y entradas de corriente de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 2: Requisitos de compatibilidad dimensional y de intercambiabilidad para los accesorios de espiga y punto de conexión par*. 2020.
- [10] NTP-IEC 62196-3, *Enchufes, tomacorrientes, conectores de vehículo y entradas de corriente de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 3: Requisitos de compatibilidad dimensional y de intercambiabilidad para acopladores de espiga y punto de conexión de veh*. 2020.

- [11] IEA, “Global EV Outlook 2019”, Paris, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7d7e049e-ce64-4c3f-8f23-6e2f529f31a8/Global\\_EV\\_Outlook\\_2019.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7d7e049e-ce64-4c3f-8f23-6e2f529f31a8/Global_EV_Outlook_2019.pdf).
- [12] KIA, “SOUL EV 2020”. [En línea]. Disponible en: [https://www.kia.ca/content/vehicles/2020vmp/2020-soulev/brochures/MY20\\_Soul\\_EV\\_EN.pdf](https://www.kia.ca/content/vehicles/2020vmp/2020-soulev/brochures/MY20_Soul_EV_EN.pdf).
- [13] Electric Power Research Institute, “Interoperability of electric vehicle charging infrastructure”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.eei.org/issuesandpolicy/electrictransportation/Documents/Final Joint Interoperability Paper.pdf>.
- [14] CleanTechnica, “ELECTRIC VEHICLE CHARGING Guidelines for Cities”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.drivegreen.nj.gov/GuidelinesforCities.pdf>.
- [15] Virta, “Station Map”. [En línea]. Disponible en: <https://www.virta.global/ev-drivers/>.
- [16] Electrify America, “Locate a charger”. Consultado: oct. 12, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.electrifyamerica.com/>.
- [17] Schneider Electric, “EVlink”, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=COM-POWER-VE-CA3-EN+%28web%29.pdf&p\\_Doc\\_Ref=COM-POWER-VE-CA3-EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=COM-POWER-VE-CA3-EN+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=COM-POWER-VE-CA3-EN).
- [18] Copec Voltex, “Red de carga pública”, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://copecvoltex.cl/pages/red-de-carga-publica>.
- [19] Terpel, “Terpel Voltex”, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.terpel.com/nueva-movilidad-y-energias/terpel-voltex>.
- [20] W. Sciutto, “Electrodunas impulsa la movilidad Eléctrica en la Región Ica”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/electrodunas-impulsa-la-movilidad-eléctrica-en-región-walter-sciutto>.
- [21] Enel, “Día del Vehículo Eléctrico: Enel X Perú instala primera red de electrolineras del país”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.enel.pe/es/conoce-enel/prensa/press/d202009-dia-del-vehiculo-electrico--enel-x-peru-instala-primera-red-de-e.html>.
- [22] Petroperú, “Petroperú y Enel X Way fortalecen red electrolinera en el sur de Lima”, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.petroperu.com.pe/petroperu-y-enel-x-way-fortalecen-red-electrolinera-en-el-sur-de-lima>.

- [23] DesdeAdentro, “Acuerdo entre Enel X Way Perú y autopista del norte para instalar primera red de carga eléctrica”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.desdeadentro.pe/2022/11/acuerdo-entre-enel-x-way-peru-y-autopista-del-norte-para-instalar-primera-red-de-carga-electrica/>.
- [24] M. Pulgar-vidal, *El Acuerdo de París: El largo proceso hacia el éxito. Rol, retos y oportunidades para el Perú*. 2016.
- [25] Naciones Unidas, *Acuerdo de París*. 2015.
- [26] MINAM, “Logros y resultados del Perú obtenidos en la vigésimo quinta Conferencia de las Partes COP25”, 2019. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2020/01/Perú\\_COP25\\_Documento-informativo.pdf](http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2020/01/Perú_COP25_Documento-informativo.pdf).
- [27] MINEM, “Balance Nacional de la Energía 2020”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=653](https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=653).
- [28] OMS, “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre”, 2005. [En línea]. Disponible en:  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf;jsessionid=EA1A8A2DEE545761FA2FD1D0B83C7030?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=EA1A8A2DEE545761FA2FD1D0B83C7030?sequence=1).
- [29] IQAir, “World Air Quality Report”, 2021. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.iqair.com/world-air-quality-report>.
- [30] IEA, “Energy Technology Perspectives”, 2020. [En línea]. Disponible en:  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy\\_Technology\\_Perspectives\\_2020\\_PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf).
- [31] MINEM, “Resolución Ministerial N° 250-2019-MINEM/DM”. Lima, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/292281-250-2019-minem-dm>.
- [32] MINEM, “Decreto Supremo N° 022-2020-EM”. Lima, 2020, [En línea]. Disponible en:  
<https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/1115052-022-2020-em>.
- [33] General Electric, “9E gas turbine”. [En línea]. Disponible en: <https://www.ge.com/gas-power/products/gas-turbines/9e>.
- [34] Climate Group, “Progress and Insights Report”, 2021. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-02/EV100 Progress and Insights Report.pdf](https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-02/EV100%20Progress%20and%20Insights%20Report.pdf).

- [35] DIN, “Overview of Electromobility Standards”. [En línea]. Disponible en: <https://www.din.de/blob/71592/8f14594082a9ec0dab86e7e6b1d0d4b0/overview-emobility-standards-data.pdf>.
- [36] INACAL, “Catálogo de normas técnicas peruanas”. [En línea]. Disponible en: <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/catalogo-bibliografico>.
- [37] PHOENIX CONTACT, “Solutions for E-Mobility”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.com/pdfdocs/PhoenixContactsolutionsbrochurefore-mobility.pdf>.
- [38] J. López, “Estudio de la situación actual de las Smart Grids”, tesis de licenciatura, Universidad de Cantabria, Cantabria, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9143/386883.pdf>.
- [39] CEN-CENELEC, “Smart Grid Reference Architecture Report 2.0”, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert\\_group1\\_reference\\_architecture.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf).
- [40] JRC, “E-mobility and smart grids at the JRC”, 2011. [En línea]. Disponible en: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc\\_2011\\_electromobility\\_leaflet.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc_2011_electromobility_leaflet.pdf).
- [41] B. Kirpes, P. Danner, R. Basmadjian, H. de Meer, y C. Becker, “E-Mobility Systems Architecture: a model-based framework for managing complexity and interoperability”, *Energy Informatics*, vol. 2, núm. 1, p. 15, dic. 2019, doi: 10.1186/s42162-019-0072-4.
- [42] OCA, “OCPP”. [En línea]. Disponible en: <https://www.openchargealliance.org/>.
- [43] OCA, “Open Charge Point Protocol 1.6 Edition 2 FINAL”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.openchargealliance.org/downloads/>.
- [44] “JSON”. [En línea]. Disponible en: <https://www.json.org/json-en.html>.
- [45] OCA, “Open Charge Point Protocol JSON 1.6, OCPP-J 1.6 Specification”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.openchargealliance.org/downloads/>.
- [46] W3C, “SOAP 1.2”. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/soap12-part1/>.
- [47] OCA, “Open Charge Point Protocol SOAP 1.6, OCPP-S 1.6 Specification”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.openchargealliance.org/downloads/>.
- [48] W3C, “Web Services Addressing 1.0 - Core”, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/ws-addr-core/>.

- [49] U. Willrett, “Standards for Implementing Smart Charging”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://link-springer-com.ezproxybib.pucp.edu.pe/content/pdf/10.1007/s38313-020-0325-4.pdf>.
- [50] M. Shin, H. Kim, H. Kim, y H. Jang, “Building an interoperability test system for electric vehicle chargers based on ISO/IEC 15118 and IEC 61850 standards”, 2016. doi: 10.3390/app6060165.
- [51] ElaadNL; Marcel Nahapiet, “EV related protocol overview v1.1”. [En línea]. Disponible en: <https://www.elaad.nl/research/ev-related-protocol-study/>.
- [52] CEN-CENELEC, “E-Mobility Smart Charging”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/ElectricVehicles/ReportSmartCharging.pdf>.
- [53] Virta, “How to Build a Business from EV Charging”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.virta.global/blog/the-two-sides-of-ev-charging-network-operators>.
- [54] MINEM, “Código Nacional de Electricidad - Utilización”. [En línea]. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/Código\\_Nacional\\_de\\_Electricidad\\_Utilización\\_.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/Código_Nacional_de_Electricidad_Utilización_.pdf).
- [55] Pod Point, “Electric vehicle guides”. [En línea]. Disponible en: <https://pod-point.com/guides/vehicles?>
- [56] R. Santos, “Getting Started with the ESP32 Development Board”. [En línea]. Disponible en: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>.
- [57] Espressif Systems, “ESP-32 Series”, 2022. [En línea]. Disponible en: [https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).
- [58] Espressif Systems, “ESP32-WROOM-32E”, 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e\\_esp32-wroom-32ue\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf).
- [59] OpenEVSE, “OpenEVSE\_PLUS”, 2018. [https://github.com/OpenEVSE/OpenEVSE\\_PLUS/tree/master/OpenEVSE\\_PLUS\\_v5](https://github.com/OpenEVSE/OpenEVSE_PLUS/tree/master/OpenEVSE_PLUS_v5).
- [60] Texas Instruments, “Quadruple 2-Input Positive-NAND Schmitt Triggers”. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/SN74LS132N?qs=SL3LIuy2dWwicVI9J1F0sw%3D%3D>.
- [61] Vishay Siliconix, “IRF530 Power MOSFET”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.pe/datasheet/2/427/irf530-1768291.pdf>.

- [62] YHDC, “Split core current transformer”. [En línea]. Disponible en:  
<https://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html>.
- [63] Texas Instruments, “LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers”.
- [64] Osinergmin, “Resolución de Consejo Directivo N° 206-2013-OS/CD”. 2013, [En línea].  
Disponible en:  
<http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/NrmasAprbdasOSIAPlcblesRglcionTrfria/DistribucionElectrica/OSINERGMIN.No.206-2013-OS-CD.pdf>.
- [65] Osinergmin, “Resolución de Consejo Directivo N° 230-2021-OS/CD”, Lima, 2021. [En línea].  
Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-los-articulos-5-6-71-y-25-de-la-norma-opciones-resolucion-n-230-2021-oscd-2006559-1/>.
- [66] Vishay Siliconix, “Small Signal Fast Switching Diodes”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.mouser.pe/datasheet/2/427/1n4148-1766759.pdf>.
- [67] Bourns, “1.5SMBJ Transient Voltage Suppressor Diode Series”, 2021. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.mouser.pe/datasheet/2/54/BOURNS\\_1\\_5SMBJ\\_datasheet-2530221.pdf](https://www.mouser.pe/datasheet/2/54/BOURNS_1_5SMBJ_datasheet-2530221.pdf).
- [68] Analog Devices, “Dual, 16 MHz, Rail-to-Rail FET Input Amplifier”.
- [69] Onsemi, “Axial-Lead Glass Passivated Standard Recovery Rectifiers”, 2021. [En línea].  
Disponible en: [https://www.mouser.pe/datasheet/2/308/1N4001\\_D-2309631.pdf](https://www.mouser.pe/datasheet/2/308/1N4001_D-2309631.pdf).
- [70] Song Chuan, “833H”. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.mouser.pe/datasheet/2/378/20119191320287145-4912.pdf>.
- [71] Schneider Electric, “Interruptor Diferencial Acti9 Tipo A”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.se.com/pe/es/product/A9R51240/interruptor-diferencial-acti9-tipo-a-2p-40-a-30ma/?node=12144438694-interruptor-diferencial&range=7559-interruptor-diferencial-acti-iiid&selected-node-id=12144438694>.
- [72] Schneider Electric, “Interruptor Termomagnético Riel Acti 9”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.se.com/pe/es/product/A9F83240/interruptor-termomagnético-riel-acti-9-ic60h-2p-40-a-b-curve-10-ka-iec-608981-15-ka-iec-609472/>.
- [73] Schneider Electric, “Contactor miniatura para Riel Din”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.se.com/pe/es/product/A9C20642/contactor-miniatura-para-riel-din-ict-40a-2no-220240v-60hz/?node=12143453995-contactor-modular&range=7563-acti-9-ict&selected-node-id=12143453995>.
- [74] Displaytech, “Character LCD Module”, 2019. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.mouser.pe/datasheet/2/1015/204G-CC-BC-3LP-Displaytech-Spec-1664794.pdf>.

- [75] Apem, “A01-D Series”. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.mouser.com/datasheet/2/26/apem\\_03162018\\_A01ESD-1313895.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/26/apem_03162018_A01ESD-1313895.pdf).
- [76] Dailywell, “MPB16 Series”. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.mouser.com/datasheet/2/979/Dailywell\\_01102020\\_MPB16\\_Series-1708755.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/979/Dailywell_01102020_MPB16_Series-1708755.pdf).
- [77] “Módulo Lector RFID 13.56MHz RC522”. [En línea]. Disponible en:  
<https://naylampmechatronics.com/rfid-nfc/80-modulo-lector-rfid-1356mhz-rc522.html>.
- [78] GWL, “EVSE EV Connector”. [En línea]. Disponible en: <https://shop.gwl.eu/Electric-Cars/EV-conector-EVSE-Menekes-Type-2-Socket.html>.
- [79] M. Akstaller, “ArduinoOCPP”. [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino-ocpp.com/>.
- [80] OCA, “OCTT1.6”, 2022. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.openchargealliance.org/uploads/files/OCTT1.6\\_2022.pdf](https://www.openchargealliance.org/uploads/files/OCTT1.6_2022.pdf).
- [81] RWTH Aachen University, “SteVe”, Alemania. [En línea]. Disponible en:  
<https://github.com/RWTH-i5-IDSG/steve#readme>.

