



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de

Electrónica y Telecomunicaciones

“Diseño e implementación de un sistema de pruebas en estaciones de carga para vehículos eléctricos en líneas de producción”

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones*

Autor:

Bryan Alexis Vintimilla Matute
ale-vinti@hotmail.com

C.I. 0301753679

Director:

Ing. Luis Gerardo González Morales, Ph.D.

C.I. 1729711059

CUENCA – ECUADOR

13 de abril de 2021

Resumen

Dentro de este trabajo de titulación se explica y detalla el diseño e implementación de un sistema de pruebas de estaciones de carga de modo 2 para vehículos eléctricos (EV's) donde se estudia su correcto funcionamiento simulando las etapas o estados de carga en los que se puede encontrar un EV. En la implementación del sistema de pruebas se incorporan estándares y protocolos ya establecidos en la industria automotriz de vehículos eléctricos y estaciones de carga para su conexión y comunicación. De igual manera se insertan dispositivos de protección y seguridad en el sistema para cuidar la integridad de los operadores y equipos conectados.

Se realiza un estudio previo a detalle a las Normas Internacionales SAE J1772 e IEC 61851 que describen los tipos de conectores que se utilizan, características de modos de carga, configuraciones de conexión y requisitos de seguridad para implementaciones específicas en estaciones de carga/suministro de vehículos eléctricos (EVSE).

Se estudia también la normativa IEC 62196, donde se especifica los conectores, acopladores y entradas de vehículos eléctricos con su respectiva carga conductiva.

El sistema de pruebas de estaciones de carga se diseña con la ayuda del equipo PLC (controlador lógico programable) modelo Schneider TM251MESE y una interfaz máquina-humano (HMI) modelo Schneider Magelis HMIGTO4310 el cual maneja todo el esquema de control y contactos secos (interruptores) mediante su pantalla táctil y comunicación a través del protocolo TCP/IP con el PLC.

Para la comunicación del vehículo con la estación de carga monofásica en modo 2, se diseñó un circuito de control piloto establecido en los estándares SAE J1772 e IEC 61581-1 para la comunicación entre el EVSE y el EV, el cual presenta todos los estados de conexión del vehículo con la estación.

El objetivo de esta implementación resulta en comprobar el funcionamiento de las estaciones de carga empezando por la etapa de conexión, reconocimiento de presencia de vehículo (PP), seguido por la comunicación con el mismo e inicio del proceso de carga sujeto a la capacidad máxima de suministro de corriente de la estación de carga de acuerdo al calibre de cable que se utiliza. Además de implementar un esquema de dispositivo de detección de corrientes residuales



(RCD) para simular fugas de corriente hacia tierra las cuales deben ser detectadas por la estación de carga y detener el proceso de carga por completo.

Palabras Clave: Vehículo Eléctrico. Estación de Carga. PLC. IEC 61581. IEC 62196

Abstract

This thesis details the design and implementation of a mode 2 charging station test system for electric vehicles (EVs). The correct operation of EVs is studied by a simulation of their stages of charge. In the implementation of the test system, standards and protocols already established in the automotive industry of EVs and charging stations are incorporated for their connection and communication. In the same way, protection and safety devices are inserted into the system to maintain the integrity of the operators and connected equipment.

Two different international standards provide bases for the design of the test system. The first one, IEC 61851, describes the types of connectors used, characteristics of charging modes, connection configurations and safety requirements for specific implementations in electric vehicle supply equipment (EVSE). The second one, IEC 62196, specifies the connectors, couplers and inputs of electric vehicles with their respective conductive load.

The charging station test system is designed with the Schneider TM251MESE model programmable logic controller (PLC) and a Schneider Magelis HMIGTO4310 model human-machine interface (HMI) which manages the entire control scheme and dry contacts (switches) through its touch screen and communications taking place through the TCP/IP protocol with the PLC.

For the communication of the vehicle with the single-phase charging station in mode 2, a circuit diagram of the control pilot established in the IEC 61581-1 standard was designed between the EVSE and the EV, which presents all connection states of the vehicle with the station.

The purpose of this implementation is to check the correct operation of the charging stations which starts with the connection stage, vehicle plug-in presence (PP), communication with the EV and start of the charging process at the maximum power supply capacity of the charging station according to the gauge of wire used. In addition, a residual current device (RCD) scheme is implemented to simulate current leakage to ground which must be detected by the charging station to proceed to disconnection.

Keywords: Electric Vehicle. Charging Station. PLC. IEC 61581. IEC 62196



Índice General

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
DEDICATORIA.....	13
AGRADECIMIENTOS	15
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMO.....	16
CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN	18
1.1 INTRODUCCIÓN.....	18
1.2 ANTECEDENTES.....	18
1.3 ALCANCE.....	19
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	20
CAPÍTULO 2 : ESTADO DEL ARTE	22
2.1 ESTÁNDARES Y PROTOCOLOS PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL EV	22
2.1.1 SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler	22
2.1.1.1 Definición	22
2.1.1.2 Descripción General de los Sistemas de Carga Conductiva	22
2.1.1.2.1 Funciones de las Interfaces de los Niveles 1 y 2 en AC	23
2.1.1.2.2 Carga de Nivel 1 en AC	25
2.1.1.2.3 Carga de Nivel 2 en AC	25
2.1.1.3 Control y Datos	26
2.1.1.3.1 Circuito del Control Piloto	26
2.1.1.3.2 Funciones del Control Piloto	27
2.1.1.3.2.1 Verificación de la Conexión del Vehículo	28
2.1.1.3.2.2 EVSE Lista Para Suministrar Energía.....	28
2.1.1.3.2.3 EV/PHEV Listo para Recibir Energía.....	28
2.1.1.3.2.4 Determinación de Ventilación Interna	29
2.1.1.3.2.5 Capacidad de Corriente de la EVSE.....	29
2.1.1.3.2.6 Verificación de Continuidad del Equipamiento de Conexión a Tierra.....	30
2.1.1.3.3 Detección de Proximidad o Presencia del Vehículo	30
2.1.1.4 Requisitos Generales del EV/PHEV	31
2.1.1.4.1 Coordinación de Dimensionamiento de Cable para EV/PHEV	31
2.1.1.5 Requisitos Generales de los Acopladores de Carga.....	31



2.1.1.5.1	Compatibilidad del Conector Interno del Vehículo.....	31
2.1.1.5.2	Requisitos Ergonómicos.....	32
2.1.1.5.3	Requisitos de Seguridad	32
2.1.1.5.4	Requisitos de Desempeño.....	32
2.1.1.5.5	Requisitos Ambientales	33
2.1.1.5.6	Descripción Física General del Acoplador.....	33
2.1.1.5.6.1	Requisitos Generales del Conector de Entrada del vehículo	33
2.1.1.5.6.2	Requisitos Generales del Acoplador de Carga.....	34
2.1.1.5.7	Requisitos Dimensionales	34
2.1.1.5.7.1	Dimensionamiento de los Contactos de la Interfaz	35
2.1.2	IEC 61851-1 – Sistema Conductivo de Carga para Vehículos Eléctricos	35
2.1.2.1	Definición	35
2.1.2.2	Requisitos Generales	35
2.1.2.3	Modos y Funciones de Carga.....	36
2.1.2.3.1	Modos de Carga	36
2.1.2.3.1.1	Modo 1	37
2.1.2.3.1.2	Modo 2	37
2.1.2.3.1.3	Modo 3	38
2.1.2.3.1.4	Modo 4	38
2.1.2.3.2	Funciones Obligatorias en Modo 2, 3 y 4.....	38
2.1.2.3.2.1	Circuito de Control Piloto.....	38
2.1.2.3.2.2	Comprobación Permanente de la Continuidad del Conductor de Protección.....	44
2.1.2.3.2.3	Verificación de Conexión Correcta entre el EV y la EVSE	45
2.1.2.3.2.4	Energización de la Fuente de Alimentación hacia el EV	45
2.1.2.3.2.5	Des-energización de la Fuente de Alimentación hacia el EV	45
2.1.2.3.2.6	Corriente Máxima Admisible	46
2.1.2.3.3	Funciones Opcionales en Modo 2, 3 y 4.....	46
2.1.2.3.3.1	Ventilación Durante la Alimentación de Energía.....	46
2.1.2.3.3.2	Desconexión Intencionada y No Intencionada del Conector de vehículo y/o la Clavija del EV	46
2.1.2.4	Protección Frente a Choque Eléctrico	47
2.1.2.4.1	Conductor de Protección.....	47
2.1.2.4.2	Dispositivos de Protección Frente a Corriente Residual.....	47
2.1.2.4.2.1	Tipos de RCD	47
2.1.2.4.2.1.1	RCD Tipo AC	48
2.1.2.4.2.1.2	RCD Tipo A	48
2.1.2.4.2.1.3	RCD Tipo B	48
2.1.2.5	Circuitos de Detección de Proximidad y de Codificación de la Corriente del Cable para la Interfaz Básica.....	48
2.1.2.5.1	Diagrama de Circuito para Acoplamientos de vehículo que Utilizan un Interruptor Auxiliar con el Contacto de Detección de Proximidad	49
2.1.2.5.2	Circuito para Detección de Proximidad y Codificación de Corriente Simultáneos.....	50



CAPÍTULO 3 : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBAS EN ESTACIONES DE CARGA PARA EV'S	52
3.1 DEFINICIÓN DEL DISEÑO.....	52
3.2 NORMAS Y PROTOCOLOS PARA LOS CONECTORES DE LA ESTACIÓN DE CARGA Y DE ENTRADA DEL VEHÍCULO	53
3.2.1 IEC 62196-2 – Compatibilidad Dimensional y Requisitos de Intercambiabilidad para los Accesorios de Espigas y Alvéolos en CA	53
3.2.1.1 Definición	53
3.2.1.2 Características Asignadas	53
3.2.1.3 Conexión entre la Fuente de Poder y el EV	54
3.2.1.4 Configuraciones de Accesorios o Conectores y Entradas de Vehículos	54
3.2.1.4.1 Conector de Tipo 2 Monofásico	54
3.2.1.4.2 Dimensionamiento del Conector de Tipo 2 Monofásico	56
3.2.1.4.2.1 Dimensiones del Conector de Vehículo o Acoplador Para Modo de Carga 2.....	56
3.2.1.4.2.2 Dimensiones del Conector de Entrada de Vehículo Para Modo de Carga 2	58
3.2.1.4.3 Construcción del Conector de Entrada de Vehículo Para Modo de Carga 2.....	60
3.3 DISPOSITIVOS DE CONTROL Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD.....	61
3.3.1 Controlador Lógico Programable (PLC)	61
3.3.1.1 Módulos de Expansión para el PLC	62
3.3.1.1.1 Módulo Digital TM3DQ8R	62
3.3.1.1.2 Módulo Analógico TM3AM6.....	63
3.3.2 Interfaz Humano – Máquina (HMI)	65
3.3.3 Fuentes de Alimentación del Sistema.....	65
3.3.4 Módulos de Relés de Estado Sólido	66
3.3.4.1 Relés SONGLE 24 V DC / 10 A	66
3.3.4.2 Módulos Relés WEIDMULLER 24VDC 2CO LD/PB / 8 A	67
3.3.5 Contactor y Dispositivos de Seguridad.....	67
3.4 CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL PILOTO	69
3.5 MÓDULO DE LECTURA DEL CIRCUITO DE CONTROL PILOTO	70
3.5.1 Cálculos para el Módulo de Lectura del Circuito de Control Piloto	70
3.5.2 Construcción del Módulo de Lectura del Circuito del Control Piloto y Detección de Proximidad	73
3.6 MÓDULO DE DETECCIÓN DE CORRIENTES RESIDUALES (RCD)	74
3.6.1 Simulación en Multisim del Módulo RCD.....	76
3.6.2 Construcción del Módulo RCD	77
3.7 PROGRAMACIÓN DE LOS CONTROLADORES DEL SISTEMA DE PRUEBAS EN ESTACIONES DE CARGA ...	78
3.7.1 Programación del PLC Schneider TM251	78
3.7.2 Programación de la Pantalla Schneider HMIGTO43	80
CAPÍTULO 4 : RESULTADOS DE FASE DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	86
4.1 CONSIDERACIONES INICIALES DEL PROCESO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	86



4.2 ESCENARIO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN UNA ESTACIÓN DE CARGA MONOFÁSICA DE NIVEL 2.....	87
4.2.1 Estado A: Vehículo Desconectado de la EVSE	88
4.2.2 Estado B: Vehículo Conectado a una EVSE no Lista	90
4.2.3 Estado C: Vehículo Conectado a una EVSE Lista sin Iniciar el Proceso de Carga	91
4.2.4 Estado D: Vehículo Conectado a una EVSE Lista Iniciando el Proceso de Carga	93
4.2.4.1 Proceso de Carga sin Ventilación en el Sistema	94
4.2.4.2 Proceso de Carga con Ventilación en el Sistema	96
4.2.5 Estado E: Vehículo Desconectado de la EVSE Deteniendo el Proceso de Carga.....	98
4.3 ESCENARIO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA EVSE FRENTE A LA DETECCIÓN DE CORRIENTES RESIDUALES (RCD)	99
4.3.1 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de Corriente Menor a 30 mA.....	101
4.3.2 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de Corriente Aproximado a 30 mA	102
4.3.3 Pruebas de Tolerancia con Valores de Fugas de Corriente Mayores a 30 mA	105
4.3.3.1 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de 95 mA	105
4.3.3.2 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de 139 mA.....	107
CAPÍTULO 5 : CONCLUSIONES.....	111
5.1 CONCLUSIONES	111
5.2 TRABAJOS FUTUROS.....	112
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS.....	115
A.1 PROGRAMA DEL MÓDULO DE LECTURA DEL CONTROL PILOTO EN EL ARDUINO	115
A.2 PROGRAMA EN LADDER DIAGRAM DEL PLC	118
A.3 TABLA DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBAS EN ESTACIONES DE CARGA	120
A.4 PROTOTIPO DE SISTEMAS DE PRUEBAS EN ESTACIONES DE CARGA TERMINADO	121



Índice de Figuras

Figura 1.1 – Diagrama Unifilar de la Implementación del Emulador de EV	20
Figura 2.1 - Arquitectura del Sistema de Carga Conductiva de EV's/PHEV's.....	23
Figura 2.2 - Funciones de las Interfaces y Contactos de los Acopladores Conductivos de los Niveles 1 y 2 en AC.	24
Figura 2.3 - Configuración del Sistema de Carga Nivel 1 en AC.....	25
Figura 2.4 - Configuración del Sistema de Carga Nivel 2 en AC.....	26
Figura 2.5 - Circuito Típico del Control Piloto.....	27
Figura 2.6 Tasa de Suministro de Corriente vs. Ciclo de Trabajo del Circuito Piloto.	28
Figura 2.7 Circuito Típico de Detección de Proximidad o Presencia del vehículo.....	30
Figura 2.8 Conexión de los Vehículos Según el Caso; a) Caso A, b) Caso B, c) Caso C.....	36
Figura 2.9 Circuito de Control Piloto Típico.....	39
Figura 2.10 Circuito de Control Piloto Simplificado.....	39
Figura 2.11 Diagrama de Circuito Equivalente para la Función de PP Utilizando un Interruptor Auxiliar y Ninguna Codificación de Corriente	49
Figura 2.12 Diagrama de Circuito Equivalente para Detección de Proximidad y Codificación de Corriente.	50
Figura 3.1 Esquema General del Diseño	52
Figura 3.2 Medidas del Conector de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2 ...	57
Figura 3.3 Medidas del Conector de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2 ...	58
Figura 3.4 Medidas del Conector de Entrada de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2.	59
Figura 3.5 Medidas del Conector de Entrada de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2.	60
Figura 3.6 Impresión del Conector de Entrada de Vehículo para Modo de Carga 2: a) Vista Frontal, b) Vista de Perfil.	61
Figura 3.7 Diagramas de Conexión del módulo TM3DQ8R; a) Diagrama de Cableado con Lógica Positiva, b) Diagrama de Cableado con Lógica Negativa	63
Figura 3.8 Circuito Típico del Control Piloto de Acuerdo a la Norma IEC 61851-1. [29]	69
Figura 3.9 Circuito del Control Piloto	69
Figura 3.10 Circuito Acondicionador de Señal para Lectura del Circuito del Control Piloto	70
Figura 3.11 Circuito Acondicionador de Señal como Restador de Señales.....	72
Figura 3.12 Simulación del Circuito Acondicionador de Señal en Multisim 14	73
Figura 3.13 Modulo de Lectura del Circuito del Control Piloto y Detección de Proximidad.....	74
Figura 3.14 Simulación del Módulo RCD en Multisim 14	76
Figura 3.15 Simulación en Multisim del Funcionamiento del Módulo RCD.....	76
Figura 3.16 Módulo RCD.....	77
Figura 3.17 Configuración y Selección del PLC a Programar en SoMachine.....	79
Figura 3.18 Casilla de Inicio Para el Diseño de la Aplicación del PLC	79
Figura 3.19 Creación del POU (programa) y Selección del Lenguaje de Programación	80
Figura 3.20 Configuración y Selección del HMI a Programar en SoMachine.....	81



Figura 3.21 Casilla de Inicio Para el Diseño de la Aplicación del HMI	82
Figura 3.22 Panel Base en Blanco de Diseño de la Aplicación de la Interfaz Gráfica HMI.....	82
Figura 3.23 Diseño Final del Panel Base.....	83
Figura 3.24 Diseño Final de las Ventanas Emergentes: a) Ventana ENCENIDO, b) Ventana RCD y c) Ventana CONTACTOS	84
Figura 4.1 Niquelina de 240 V a 6000 W	86
Figura 4.2 Estación de Carga Monofásica de Nivel 2.....	87
Figura 4.3 Estado A del Proceso de Carga: a) Estación en Espera, b) Pantalla HMI en Espera con Detección de Proximidad	89
Figura 4.4 Ondas Resultantes del Estado A de Carga: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal de Corriente	90
Figura 4.5 Onda Transitoria del Control Piloto	91
Figura 4.6 Estado C del Proceso de Carga: a) Estación Lista, b) Pantalla HMI en Espera con Detección de Proximidad	92
Figura 4.7 Ondas Resultantes del Estado C de Carga: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal de Corriente	93
Figura 4.8 Estado D del Proceso de Carga: a) Estación Suministrando Energía, b) Pantalla HMI en Proceso de Carga.....	94
Figura 4.9 Proceso de Carga del EV sin Ventilación en el Sistema	95
Figura 4.10 Ondas Resultantes del Estado D sin Ventilación: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal Senoidal de Corriente.....	96
Figura 4.11 Proceso de Carga del EV con Ventilación en el Sistema	97
Figura 4.12 Ondas Resultantes del Estado D con Ventilación: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal Senoidal de Corriente.....	97
Figura 4.13 Estado E del Proceso de Carga: a) Estación en Espera de Señal de EV, b) Pantalla de CONTACTOS.....	98
Figura 4.14 Ondas Resultantes del Estado E de Carga: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal Senoidal de Corriente.....	99
Figura 4.15 Transformador Magnético de Corriente: a) Transformador TRIAD CST-1030, b) Esquema de Conexión para Medición de Voltaje	100
Figura 4.16 Datos Importantes del Transformador TRIAD CST-1030: a) Especificaciones Eléctricas a 20 °C, b) Curva de Respuesta con una Carga de 100 Ω	100
Figura 4.17 Cierre del Contacto S6 del Módulo RCD.....	101
Figura 4.18 Señal de Corriente de Fuga Debido al Cierre del Contacto S6.....	102
Figura 4.19 Cierre del Contacto S7 del Módulo RCD.....	103
Figura 4.20 Señal de Corriente de Fuga y Carga Detenida Debido al Cierre del Contacto S7.....	104
Figura 4.21 Estado de Error en la EVSE, Protección Contra Fugas de Corriente	104
Figura 4.22 Cierre del Contacto S4 del Módulo RCD.....	106
Figura 4.23 Señal de Corriente de Fuga y Carga Detenida Debido al Cierre del Contacto S4.....	106
Figura 4.24 Estado de Error en la EVSE, Protección Contra Fugas de Corriente	107
Figura 4.25 Cierre del Contacto S5 del Módulo RCD.....	108
Figura 4.26 Señal de Corriente de Fuga y Carga Detenida Debido al Cierre del Contacto S4.....	109



Figura 4.27 Estado de Error en la EVSE, Protección Contra Fugas de Corriente	109
--	-----

Índice de Tablas

Tabla 2.1 - Clasificación Eléctrica del Método de Carga	23
Tabla 2.2 - Funciones de los Contactos de los Acopladores Conductivos de los Niveles 1 y 2 en AC.....	24
Tabla 2.3 - Definición de los Estados del Vehículo.	27
Tabla 2.4 Ciclo de Trabajo Nominal del Piloto de Control de la EVSE	29
Tabla 2.5 Interpretación del Ciclo de Trabajo del Control Piloto del EV Basado en $\pm 2\%$ de Tolerancia en General	29
Tabla 2.6 Parámetros del Circuito de Detección de Proximidad o Presencia del Vehículo	31
Tabla 2.7 Requisitos de los Contactos del Conector de Entrada del vehículo	34
Tabla 2.8 Requisitos de los Contactos del Acoplador o Conector de Carga	34
Tabla 2.9 Dimensionamiento de Contactos y Rango de Corriente	35
Tabla 2.10 Valores Máximos Asignados para el Modo de Carga 1	37
Tabla 2.11 Valores Máximos Asignados para el Modo de Carga 2	37
Tabla 2.12 Parámetros del Circuito de Control Piloto y Valores para la EVSE	40
Tabla 2.13 Valores y Parámetros del Circuito de Control Piloto del EV	41
Tabla 2.14 Estados del Sistema Detectados por la EVSE.....	41
Tabla 2.15 Comportamientos Según el Estado	43
Tabla 2.16 Ciclo de Servicio por PWM Proporcionado por la EVSE	43
Tabla 2.17 Corriente Máxima a Consumir por el Vehículo	44
Tabla 2.18 Valores de los Componentes del Circuito de Proximidad sin Codificación de Corriente	49
Tabla 2.19 Resistencia de Codificación de Corriente para Clavija del EV y Conector de Vehículo.....	51
Tabla 3.1 Tensiones de Funcionamiento	53
Tabla 3.2 Configuraciones y Valores de Tensiones Asignados	54
Tabla 3.3 Interoperabilidad de los Accesorios del Tipo de Configuración 2	55
Tabla 3.4 Visión General de la Interfaz Básica de Vehículo, Tipos de Configuración 2 y 3, Trifásico y Monofásico.....	55
Tabla 3.5 Ficha Técnica del PLC M251 Schneider	61
Tabla 3.6 Ficha Técnica del Módulo TM3DQ8R Schneider	63
Tabla 3.7 Ficha Técnica del Módulo TM3AM6 Schneider	64
Tabla 3.8 Ficha Técnica del Interfaz Humano – Maquina HMIGTO4310 Schneider	65
Tabla 3.9 Ficha Técnica de la Fuente de Alimentación UNO-PS/1 AC/24 DC/60 W	66
Tabla 3.10 Ficha Técnica del Relé Songle SRD-24VDC-SL-C.....	67
Tabla 3.11 Ficha Técnica del Módulo Relé WeidMuller 254 VDC 2CO LD/PB	67
Tabla 3.12 Ficha Técnica del Contactor TeSys D LC1D50AU7.....	68
Tabla 3.13 Efectos Estimados de Corrientes AC a 60 Hz Sobre el Cuerpo Humano.....	75
Tabla 4.1 Estados de Prueba de Carga del EV.....	88



Cláusula de Licencia y Autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Bryan Alexis Vintimilla Matute en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño e implementación de un sistema de pruebas en estaciones de carga para vehículos eléctricos en líneas de producción", de conformidad con el Art. 114 del Código ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 13 de abril de 2021

Bryan Alexis Vintimilla Matute

0301753679



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Bryan Alexis Vintimilla Matute en calidad de autor de la tesis "Diseño e implementación de un sistema de pruebas en estaciones de carga para vehículos eléctricos en líneas de producción", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusividad responsabilidad de su autor.

Cuenca, 13 de abril de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Bryan Alexis Vintimilla Matute", written over a horizontal line.

Bryan Alexis Vintimilla Matute

0301753679



Certifico

Que el presente proyecto de tesis: "Diseño e implementación de un sistema de pruebas en estaciones de carga para vehículos eléctricos en líneas de producción", fue dirigido y revisado por mi persona.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis González Morales'.

Ing. Luis González Morales, PhD

Director de Tesis



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi padre Oscar, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo y que no hay nada más importante que la educación y la salud. También está dedicado a mi madre Marivel, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

A mis hermanos Juliano y Mayra, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia por su paciencia, consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona con expectativas muy altas.

A mi abuelo Efraín, que desde el cielo me brinda su apoyo, fuerza y motivación para permanecer con la frente en alto y los pies en la tierra.



Agradecimientos

A la Universidad de Cuenca y a toda la Facultad de Ingeniería, en especial a la escuela de Electrónica y Telecomunicaciones.

Al Ing. Luis González, por su gran labor como tutor, quien con su motivación, ayuda, confianza y amistad brindada, me permitió culminar con éxito este trabajo de titulación.

Al laboratorio de Micro-Red, integrantes y compañeros, por permitirme aprender y experimentar en un ambiente de tecnología e innovación, por el generoso apoyo brindado.

A todas las personas que formaron parte en la realización de este trabajo, que me brindaron su apoyo, paciencia y motivación gracias.



Abreviaciones y Acrónimo

B

BMS

Battery Management System

C

CA

Corriente Alterna

CC

Corriente Continua

CP

Control Piloto

E

EV

Electric Vehicle (vehículo eléctrico)

EVSE

Electric Vehicle Supply Equipment (Equipo de suministro de vehículo eléctrico / Estación de carga)

ELV

Extra Low Voltage

I

ICCB

In-Cable Control Box o Caja de Función

L

LD

Ladder Diagram

N

NC

Normally Closed

NO

Normally Open



P

PE

Protective Earth

PHEV

Plug in Hybrid Electric Vehicles

POU

Programmable Organization Unit

R

RCD

Residual Current Device

Capítulo 1 : Introducción

1.1 Introducción

Uno de los problemas que con mayor atención se observa en la actualidad es la volatilidad en los precios de combustibles fósiles como el petróleo, además de problemas en su importación que aumenta las preocupaciones de seguridad y produce un aumento en el interés sobre la búsqueda de tecnologías vehiculares alternativas que son más eficientes que las tradicionales [1], el transporte convencional utiliza motores de combustión interna (ICE) que son los principales causantes de la contaminación del aire y producción de los gases de efecto invernadero [2], es aquí donde se presenta la tecnología de los EV como una solución para reducir estos efectos y resolver los problemas presentes con los combustibles fósiles, los EV tienen un reto muy importante con los costos de las baterías que utilizan que llegan a costar aproximadamente un tercio del valor del EV. [3]

Considerando las limitaciones de los EV respecto a la autonomía, tiempo de carga elevado, la deficiencia de infraestructuras de estaciones de carga y los requerimientos para mejorar la eficiencia en el ámbito del transporte [4], son algunos de los mayores desafíos que presentan los sistemas de transporte de EV's, creando un aumento en el interés de gestionar el sistema de transporte, dimensionamiento de baterías, planificación de rutas que busquen la optimización entre energía - eficiencia y operación de las infraestructuras de carga [5].

1.2 Antecedentes

Con el creciente interés sobre la tecnología vehicular de los EV, en el país se presenta un incremento en el número de estos bienes móviles al igual que sus infraestructuras de carga [6], los cuales sin duda conformarán gran parte dentro del sistema de transporte y movilidad dentro de las ciudades del Ecuador [7] y resulta necesario conocer sobre el funcionamiento de los mismos y de sus estaciones de carga para cuidar el bienestar de los usuarios y personal técnico de mantenimiento de los EV's y EVSE's [8].

1.3 Alcance

El desarrollo del tema de titulación propone el diseño e implementación de un sistema de pruebas para estaciones de carga en modo 2 con el uso del conector IEC 62196 tipo 2 (Mennekes)[9], el sistema contará con sus respectivas protecciones manejadas por el PLC: Schneider TM251MESE y una pantalla HMI: HMIGTO4310, además de dispositivos de seguridad contra fallos y cortocircuitos. Se desarrollan las etapas de conexión y comunicación de forma manual y automática las cuales ayudarán a detectar si existe la presencia de algún fallo en la estación al momento de conectar el EV, se implementa también un sistema RCD para comprobar la seguridad de la EVSE contra fugas de corriente del sistema de carga del EV [10], fallos en el conector y descargas eléctricas hacia los usuarios [11]. El sistema de pruebas incluye mediciones en tiempo real de voltaje del circuito de control piloto, corriente máxima soportada por el cable del conector y verificación de los estados de carga de la EVSE de acuerdo a cada etapa de conexión presentada en los estándares IEC 62196 y SAE J1772.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de emulación de un EV nivel 2 para realizar pruebas de estaciones de carga en líneas de producción y servicios de mantenimiento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar del estado del arte en el proceso de carga de EV's nivel 2.
- Emular los procesos de carga de un vehículo eléctrico en diferentes etapas mediante el microcontrolador programable.
- Desarrollar un prototipo del sistema de pruebas de estaciones de carga.
- Probar las distintas situaciones o fallos de carga para comprobar la detección y respuesta en el equipo.

1.5 Metodología del Trabajo Experimental

Para cumplir con los objetivos de este trabajo de titulación se realiza un estudio a profundidad de los estándares SAE J1772 (Americano), IEC 61851 e IEC 62196 (Europeos) y protocolos definidos para la electromovilidad, donde se presentan las etapas de conexión entre el EV y la estación de carga, además de las condiciones y escenarios de conexión y comunicación que se deben cumplir para el funcionamiento de los equipos que intervienen en todo el proceso de carga de un EV y el funcionamiento del EVSE.

Las estaciones de carga que se pretenden probar y evaluar corresponden a equipos monofásicos en modo 2 (IEC 61851-1) [12] con una tasa máxima de corriente de 32 A con un conector del tipo 2 (IEC-62196-2). El sistema de pruebas consiste en emular un EV mediante un equipo físico con capacidad de integrar en sus componentes los circuitos definidos para el Control Piloto (CP) en el estándar IEC 61851-1

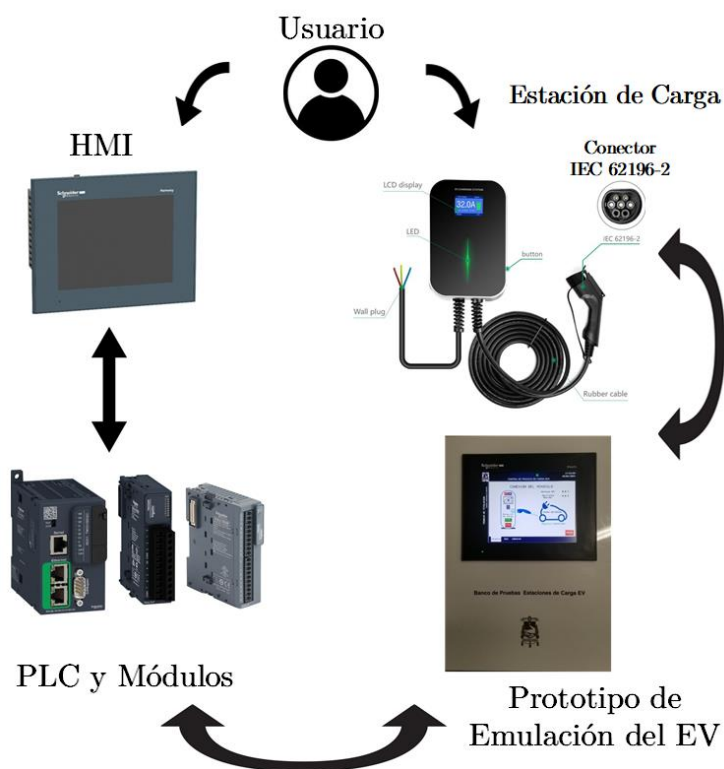


Figura 1.1 – Diagrama Unifilar de la Implementación del Emulador de EV

La señal de comunicación que envía la estación de carga hacia el EV entre CP y PE es de tipo cuadrada de 1KHz de frecuencia y un rango de voltaje $\pm 12V$ a $\pm 0.4V$ donde se utiliza su ciclo de trabajo para enviar información entre el EV y el EVSE para determinar la corriente máxima

que soporta el cable del conector y definir límites sobre la tasa de carga [13]. Los circuitos encargados de realizar este proceso de comunicación se integran con electrónica analógica y digital además de acondicionamiento de señales para que los estados de conexión y carga puedan ser leídos, procesados y ejecutados [14].

El sistema de pruebas que emula el EV posee un controlador automático a cargo de la conexión/desconexión. Un evento de conexión exitoso, libre de fallas, inicia el proceso de carga, mientras que la presencia de alguna falla implica iniciar este proceso manualmente luego de identificar la falla. Este proceso de conexión permite emular a través de varios interruptores, los siguientes procesos:

1. Conexión del EV y presencia de señal testigo de +12 V DC;
2. Reconocimiento del EV y conexión de la EVSE a través de la señal PWM +9V, -12V a 1 kHz;
3. Aceptación de la comunicación e inicio de proceso de carga a través de una onda corta PWM +6V, -12V . [15]

Los EV's cuentan con sensores de temperatura para sus baterías [16], cuando inicia en el proceso de carga y se presenta un aumento de temperatura en los bancos de baterías, la BMS del EV procede a realizar los siguientes procesos:

1. El EV envía una señal por medio del ciclo de trabajo de la EVSE para comunicar que se requiere de ventilación para enfriar las baterías;
2. La EVSE responde reduciendo su rango de voltaje de la señal PWM a +3V, -12V [17], este requerimiento también estará presente en el sistema de pruebas de estaciones de carga.

Finalmente se diseñará un sistema RCD con lo cual el sistema de pruebas simulará fugas de corriente hacia tierra que deben ser reconocidas y controladas por la EVSE realizando un proceso de parada de suministro de energía hacia al EV para evitar daños en el sistema, en el EV o causar lesiones a sus usuarios.

Capítulo 2 : Estado del Arte

2.1 Estándares y Protocolos Para el Sistema de Alimentación del EV

2.1.1 SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler

2.1.1.1 Definición

Es un estándar internacional empleado en América del Norte que especifica y abarca los requerimientos físicos, eléctricos, funcionales y de rendimiento para el manejo de carga para vehículos EV's y PHEV's, se incluyen diferentes métodos para cargar los vehículos implementando estaciones de carga que cumplen con sus requerimientos operacionales, funcionales y dimensionales para los conectores de los vehículos y sus acoplamientos en las estaciones.

2.1.1.2 Descripción General de los Sistemas de Carga Conductiva

Estos sistemas se resumen en 3 funciones fundamentales, 2 eléctricas y 1 mecánica que deben estar presentes para poder iniciar el proceso de carga de las baterías de los EV's y los PHEV's desde su estación, la red de suministro eléctrico a la cual se encuentra conectada trabaja con AC y con varios voltajes nominales (rms) con una frecuencia de 60 Hz, las funciones son las siguientes:

1. La primera función eléctrica realiza la conversión AC a DC conocida como rectificación debido a que las baterías del vehículo son dispositivos DC que operan a diferentes voltajes dependiendo del voltaje nominal de la batería, conocida como *estado de carga* y a su tasa de carga/descarga;
2. La segunda función eléctrica consiste en el control y regulación del voltaje que se suministra al EV llevándolo a un nivel donde sea posible una carga controlada basada en las características del banco de baterías;
3. La función mecánica por otro lado, consiste en el acoplamiento físico del conector del EV a la EVSE mediante la ayuda del usuario.

Las dos funciones eléctricas combinadas son la base de funcionamiento de la estación y el sistema completo con las 3 funciones, corresponde al nombre de sistema de carga conductiva con diferentes

niveles y tasas de carga. La arquitectura del sistema de carga conductiva de la Fig 2.1 se basa en los valores eléctricos de la Tabla 2.1 para su correcto funcionamiento.

Tabla 2.1 - Clasificación Eléctrica del Método de Carga

Método de Carga	Suministro de Voltaje Nominal (Voltios)	Corriente Máxima (Amps – continuos)	Rango de Tolerancia de Apertura del Circuito (Amps)
Nivel 1 en AC	120 V AC, una fase	12 A	15 A (mínimo)
	120 V AC, una fase	16 A	20 A
Nivel 2 en AC	208 a 240 V AC, una fase	≤ 80 A	De acuerdo al NEC 625
Carga en DC	0 a 600 V	400 A	

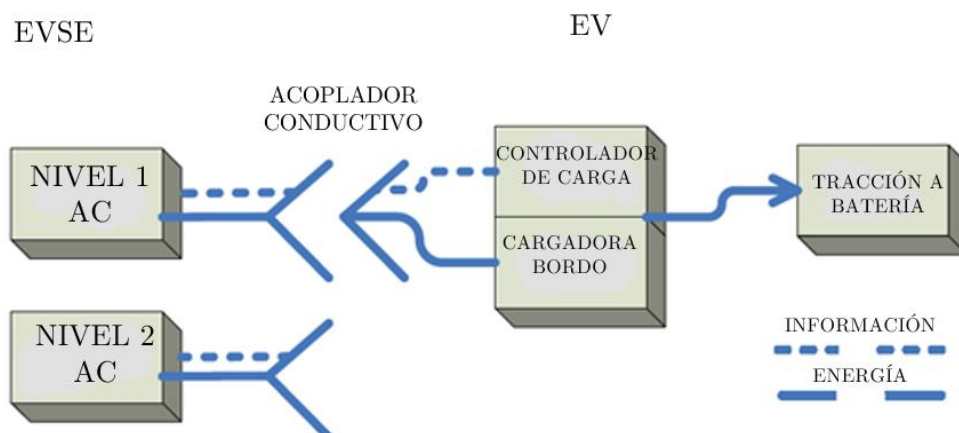


Figura 2.1 - Arquitectura del Sistema de Carga Conductiva de EV's/PHEV's

Ilustración tomada de [18]

2.1.1.2.1 Funciones de las Interfaces de los Niveles 1 y 2 en AC

El sistema de acople consiste en un combo conector/entrada del vehículo con contactos electromecánicos incrustados un aislante y con sus piezas de acoplamiento contenidas dentro de una carcasa, estos contactos proveen la conexión de los terminales de carga, contacto de conexión a tierra, y contacto de piloto de control entre el EV y el EVSE.

Está presente también el contacto de presencia de vehículo (PP) o sensor de detección de proximidad entre el EV y el conector de carga (pistola); resumiéndose en 5 interfaces o contactos con sus funciones que se presentan en la Fig.2.2

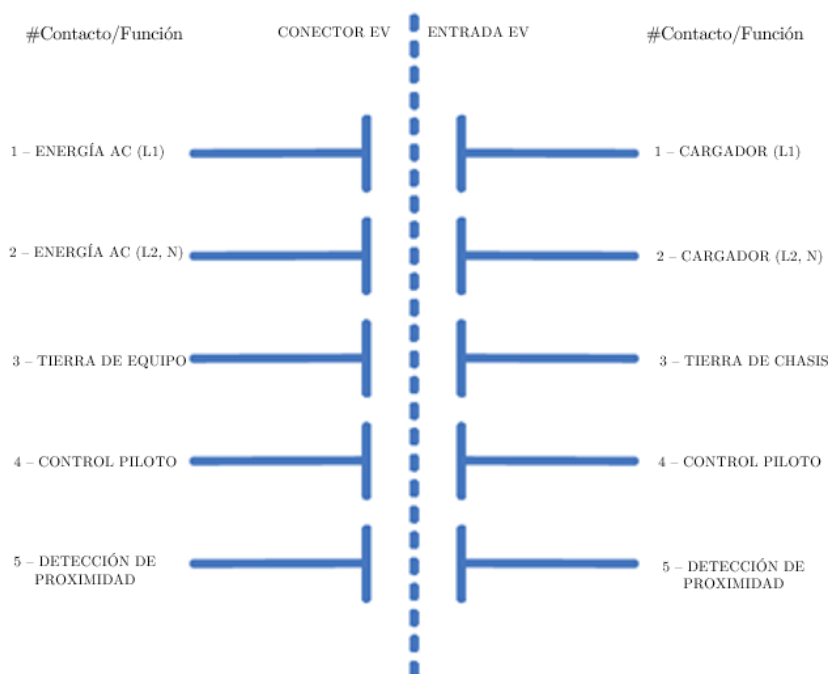


Figura 2.2 - Funciones de las Interfaces y Contactos de los Acopladores Conductivos de los Niveles 1 y 2 en AC.

Ilustración tomada de [18]

La descripción de las funciones de cada uno de los 5 contactos del acoplador de carga se resume en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 - Funciones de los Contactos de los Acopladores Conductivos de los Niveles 1 y 2 en AC.

# Contacto	Función del Conector	Función del Conector de Entrada del Vehículo	Descripción
1	Energía AC (L1)	Cargador 1	Energía en AC para los Niveles 1 y 2
2	Energía AC (L2)	Cargador 2	Energía en AC para los Niveles 1 y 2
3	Conexión a Tierra	Conexión chasis - tierra	Conexión del contacto a tierra del EVSE al chasis del EV durante la carga
4	Control Piloto	Control Piloto	Control de Conductor Primario
5	Presencia del Vehículo	Presencia del Vehículo	Permite al EV detectar la presencia del conector de Carga

2.1.1.2.2 Carga de Nivel 1 en AC

Consiste en un método para cargar los EV's/PHEV's haciendo uso de los terminales de las tomas eléctricas de las redes domésticas más comunes, realizando una conexión apropiada y directa hasta los cargadores a bordo de los vehículos como se muestra en la Fig. 2.3 y utilizando los valores eléctricos que se presentan en la Tabla 2.1

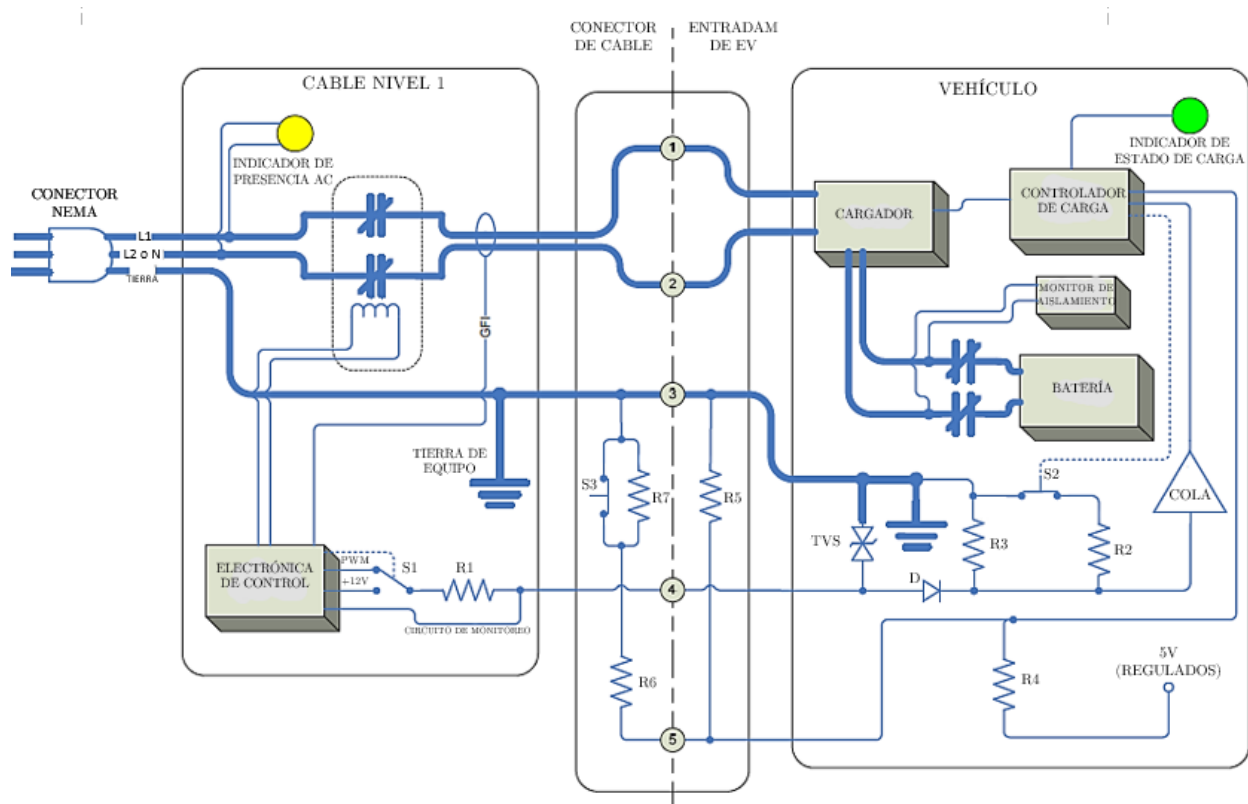


Figura 2.3 - Configuración del Sistema de Carga Nivel 1 en AC

Ilustración tomada de [18]

2.1.1.2.3 Carga de Nivel 2 en AC

Este método consiste en utilizar una fuente de carga dedicada conocida como EVSE que utiliza energía en AC desde el suministro eléctrico y lo envía a un cargador a bordo del vehículo, el esquema de esta conexión se presenta en la figura 2.4. El nivel de carga 2 utiliza también los valores eléctricos que se presentan en la Tabla 2.1, con la diferencia que aquí se amplía su uso para residencias, lugares de trabajo y facilidades de carga para EV's/PHEV's en espacios públicos.

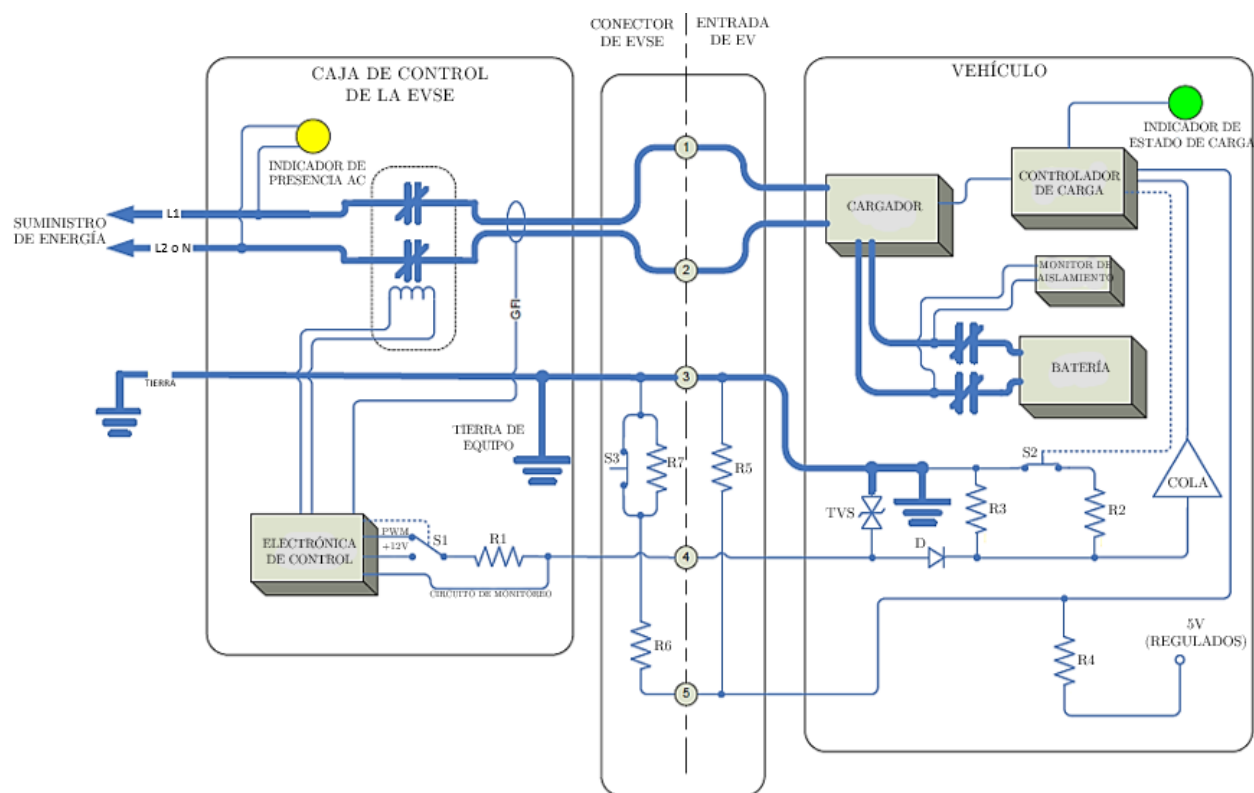


Figura 2.4 - Configuración del Sistema de Carga Nivel 2 en AC

Ilustración tomada de [18]

2.1.1.3 Control y Datos

Las estaciones de carga utilizan principalmente un circuito conocido como *Control Piloto (CP)* el cual se asegura que exista una operación de carga apropiada cuando se conecta el EV/PHEV a la EVSE.

2.1.1.3.1 Circuito del Control Piloto

Uno de los circuitos típicos de este sistema de control se muestra en la Fig. 2.5

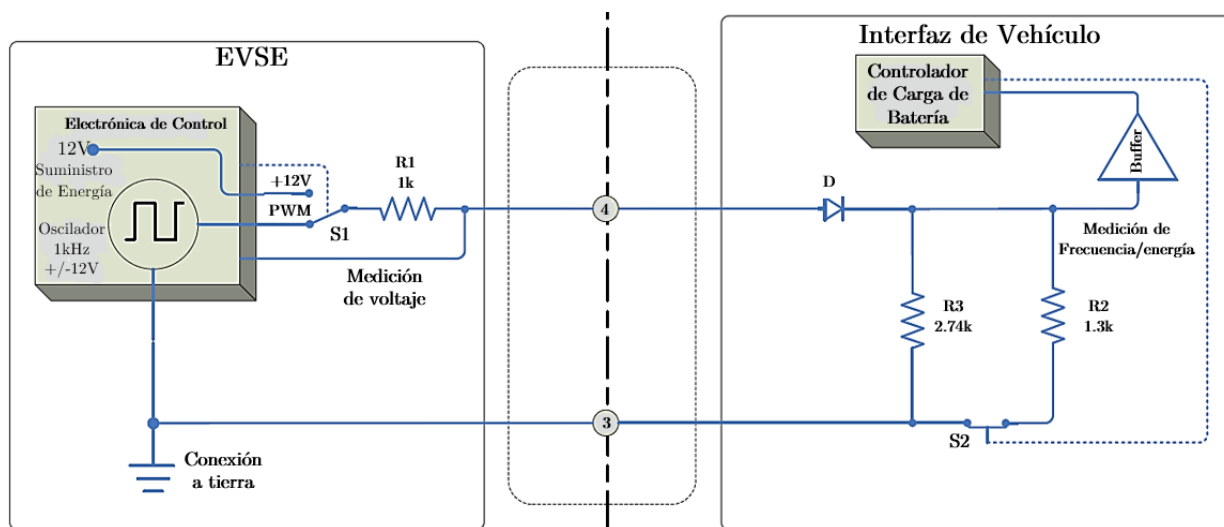


Figura 2.5 - Circuito Típico del Control Piloto.

Ilustración tomada de [18]

El circuito presentado en la Fig.2.5 puede configurarse de diferentes formas dependiendo del estado actual en el cual se encuentra el vehículo al momento de conectarlo con la EVSE. En la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 - Definición de los Estados del Vehículo.

Designación del Estado del Vehículo	Voltaje (vdc Nominal)	Descripción del Estado del Vehículo
Estado A	12.0 ⁽¹⁾	Vehículo no conectado
Estado B	9.0 ² ³	Vehículo conectado / No está listo para recibir carga
Estado C	6.0 ²	Vehículo conectado / listo para recibir carga / no se requiere de ventilación en el área de carga
Estado D	3.0 ²	Vehículo conectado / listo para recibir carga / se requiere de ventilación en el área de carga
Estado E	0	EVSE desconectada, no existe presencia de energía utilitaria / problemas en la EVSE
Estado F	-12.0 ¹	EVSE no disponible / otro problema en la EVSE

1. Voltaje estático.
2. Porción positiva de la onda cuadrada a 1KHz, medición luego de haber sucedido una transición completa.
3. Desde la transición del Estado A al Estado B se empieza con un voltaje estático DC donde la transición a la onda PWM inicia la detección de conexión del vehículo / vehículo no está listo para recibir carga,

2.1.1.3.2 Funciones del Control Piloto

El sistema de control piloto realiza las siguientes funciones.

2.1.1.3.2.1 Verificación de la Conexión del Vehículo

La EVSE se encarga de verificar que el conector de carga se encuentra debidamente conectado e insertado en el conector de entrada del vehículo, para esto, realiza una medición de la resistencia R_3 que se muestra en las Figuras. 2.3, 2.4, y 2.5. Además, se encuentra presente un diodo rectificador D1 que ayuda a determinar que es el vehículo el que se encuentra conectado en lugar de cualquier otro valor carga considerable de baja impedancia.

2.1.1.3.2.2 EVSE Lista Para Suministrar Energía

La EVSE comunica al EV/PHEV que se encuentra lista para suministrar energía encendiendo el oscilador que genera la señal de onda cuadrada. En cada uno de los estados que se muestran en la Tabla 2.3, la EVSE enviará una señal piloto en DC o una señal PWM dependiendo del estado en el que se encuentre el vehículo, se utiliza normalmente la señal PWM en los estados B, C o D

2.1.1.3.2.3 EV/PHEV Listo para Recibir Energía

El vehículo indica que se encuentra listo para recibir la carga desde la EVSE, cerrando el contacto S2 que se presentan en las Figuras. 2.3, 2.4 y 2.5, cuando el oscilador del control piloto detecta el perfil de corriente que se muestra en la Fig 2.6. El EV/PHEV es capaz de detener la carga abriendo el contacto S2 lo que des-energiza a la EVSE en cualquier momento.

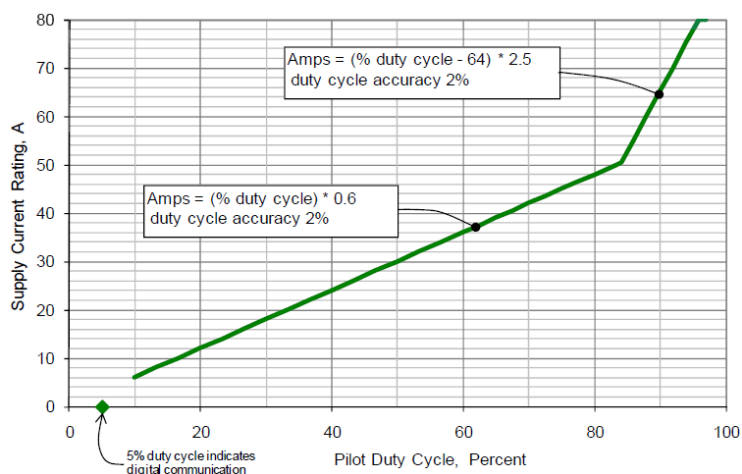


Figura 2.6 Tasa de Suministro de Corriente vs. Ciclo de Trabajo del Circuito Piloto.

Ilustración tomada de [18]

2.1.1.3.2.4 Determinación de Ventilación Interna

La EVSE es capaz de determinar si el vehículo requiere de ventilación interna de carga para sus baterías midiendo el voltaje que se especifica en la Tabla 2.3. De ser necesario la EVSE envía una señal para encender el sistema del área de ventilación interna de carga.

2.1.1.3.2.5 Capacidad de Corriente de la EVSE

La EVSE comunica al EV/PHEV la capacidad máxima disponible de corriente continua mediante la modulación del ciclo de trabajo de la onda PWM del piloto de control que se describe en la Tabla 2.4 y la Fig 2.6.

Tabla 2.4 Ciclo de Trabajo Nominal del Piloto de Control de la EVSE

Ciclo de Trabajo Nominal de la EVSE	Corriente Máxima Comandada por la EVSE
Ciclo de Trabajo < 5%	Error de estado, no se permite carga
Ciclo de Trabajo = 5%	Indica que es necesaria una comunicación digital
5% < Ciclo de Trabajo < 10%	Error de estado, no se permite carga
10% ≤ Ciclo de Trabajo ≤ 85%	Corriente disponible = (Ciclo de Trabajo %) x 0.6
85% < Ciclo de Trabajo ≤ 95%	Corriente disponible = (Ciclo de Trabajo % - 64) x 2.5
Ciclo de Trabajo > 96%	Error de estado, no se permite carga

En general la tolerancia del piloto de control entre el EVSE y el EV/PHEV no debe exceder los $\pm 2\%$, este valor de tolerancia se distribuye entre un $\pm 0.5\%$ para la EVSE y un 1.5% para el EV/PHEV. En el caso de presentarse escenarios con solapamiento de valores, un estado válido llega a tener prioridad sobre un estado de error. El detalle del ciclo de trabajo con una tolerancia de $\pm 2\%$ se describe en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Interpretación del Ciclo de Trabajo del Control Piloto del EV Basado en $\pm 2\%$ de Tolerancia en General

Interpretación del Ciclo de Trabajo del EV	Corriente Máxima a Ser Manejada por el Vehículo
Ciclo de Trabajo < 3%	Error de estado, no se permite carga
3% ≤ Ciclo de Trabajo ≤ 7%	Indica que es necesaria una comunicación digital
7% < Ciclo de Trabajo < 8%	Error de estado, no se permite carga
8% ≤ Ciclo de Trabajo < 10%	6A
10% ≤ Ciclo de Trabajo ≤ 85%	Corriente disponible = (Ciclo de Trabajo %) x 0.6
85% < Ciclo de Trabajo ≤ 96%	Corriente disponible = (Ciclo de Trabajo % - 64) x 2.5

$96\% < \text{Ciclo de Trabajo} \leq 97\%$	80A
$\text{Ciclo de Trabajo} > 97\%$	Error de estado, no se permite carga

2.1.1.3.2.6 Verificación de Continuidad del Equipamiento de Conexión a Tierra

El equipamiento conductor de conexión a tierra provee un camino de retorno para la corriente del control piloto lo que asegura que la conexión de descarga a tierra de la EVSE se encuentre conectada de forma correcta y segura al chasis del EV/PHEV mientras el proceso de carga se encuentre activo, si se pierde la señal de conexión a tierra la EVSE se des-energiza automáticamente por seguridad.

2.1.1.3.3 Detección de Proximidad o Presencia del Vehículo

Los acopladores o conectores presentan un medio para detectar que el EV/PHEV se encuentra conectado a la EVSE mediante un contacto de los acopladores de carga del vehículo y de la EVSE, existe un circuito para cada uno y cuando el conector de carga se inserta en el conector de entrada del EV si se detecta la presencia del vehículo como se presenta en la Fig. 2.7 y se detalla en la Tabla 2.6.

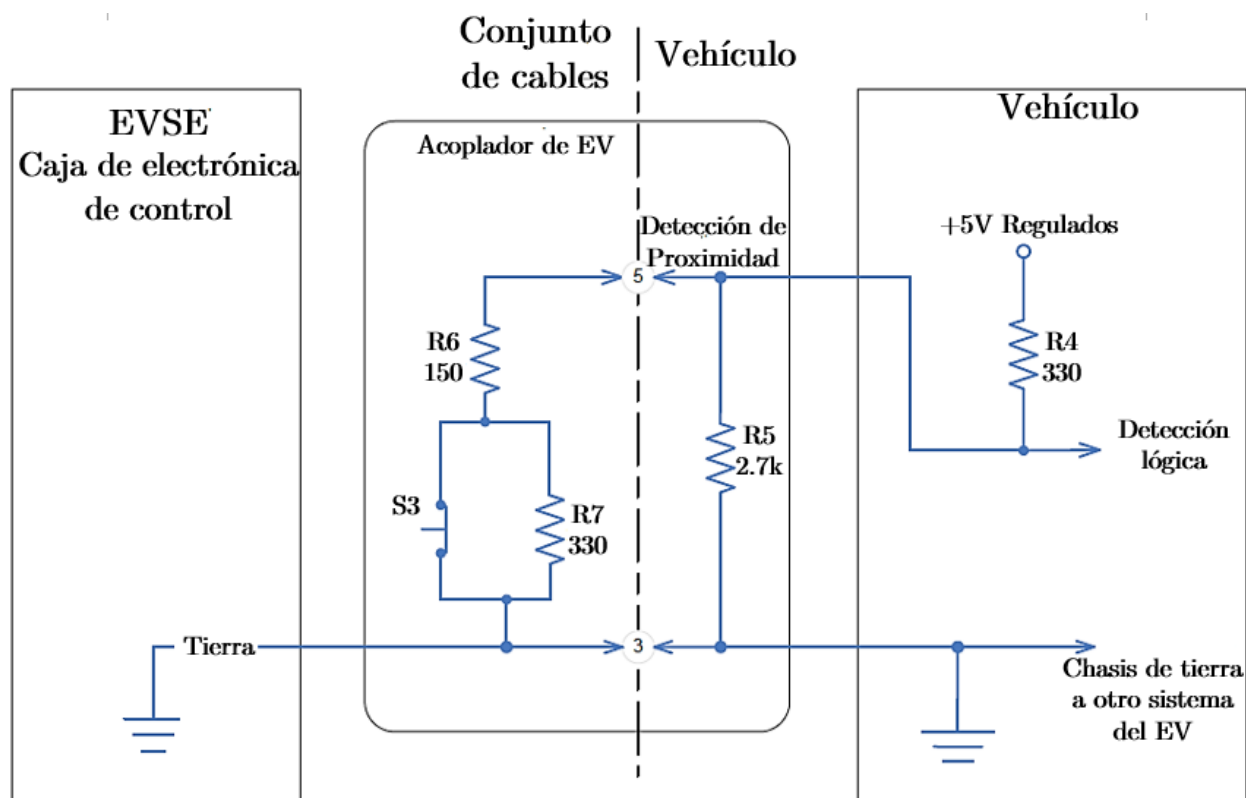


Figura 2.7 Circuito Típico de Detección de Proximidad o Presencia del vehículo

*Ilustración tomada de [18]**Tabla 2.6 Parámetros del Circuito de Detección de Proximidad o Presencia del Vehículo*

Parámetro ¹	Símbolo	Unidad	Valor Nominal	Valor Máximo	Valor Mínimo
Resistencia de Carga Equivalente	R4	Ohms	330	363 ⁽²⁾	291 ⁽²⁾
Resistencia de Carga Equivalente	R5	Ohms	2700	2970 ²	2430 ⁽²⁾
Resistencia de Carga Equivalente	R6	Ohms	150	165 ²	135 ⁽²⁾
Resistencia de Carga Equivalente	R7	Ohms	330	363 ⁽²⁾	297 ⁽²⁾

1. Tolerancias a ser mantenidas en todas las condiciones ambientales y vida útil como especifica el fabricante.
2. Valores máximos y mínimos de las resistencias con una tolerancia $\pm 10\%$ del valor nominal.

2.1.1.4 Requisitos Generales del EV/PHEV

2.1.1.4.1 Coordinación de Dimensionamiento de Cable para EV/PHEV

El cableado del vehículo utilizado para la carga en AC y seguridad de descarga a tierra debe encontrarse en coordinación con la entrada del suministro de energía de la EVSE (conocido del ciclo de trabajo del control piloto), a continuación se presentan algunos de los posibles métodos de coordinación que se pueden llevar a cabo.

1. Dimensionar los cables para tolerar el valor máximo de suministro de energía de alimentación de la EVSE.
2. Integrar protecciones para los circuitos como fusibles para el cableado.
3. No permitir que la EVSE suministre energía al vehículo cuando la capacidad máxima de su alimentación supere la capacidad máxima del cable del EV.

2.1.1.5 Requisitos Generales de los Acopladores de Carga

2.1.1.5.1 Compatibilidad del Conector Interno del Vehículo

Los conectores o acopladores del vehículo deben contemplar una configuración física común la cual sea capaz de aceptar las configuraciones físicas comunes de los niveles de carga 1 y 2 en AC con conectores del lado del vehículo construidos por el mismo fabricante en distintas épocas o por distintos fabricantes de conectores o acopladores para vehículos y estaciones.

2.1.1.5.2 Requisitos Ergonómicos

Son necesarios ciertos requisitos ergonómicos generales para el diseño y construcción de los conectores de carga, los cuales facilitan el manejo y uso de estos acopladores como el caso de que durante la conexión o desconexión de conector no se requiera una fuerza mayor a **60N (Newtons)** ejercida por el usuario, valor típico obtenido de un estudio de capacidades físicas de la población adulta y personas con limitaciones físicas. Además, durante la inserción o extracción del conector debe ser completamente obvia y permitir múltiples orientaciones y configuraciones de carga para los niveles 1 y 2 en AC.

Debe estar presente, de igual forma, la característica de alineación automática del conector durante su inserción o extracción e incorporar retroalimentación táctil y/o audible al usuario cuando esté completamente acoplado. Se incorpora un mecanismo de enganche para el conector para evitar el desacoplamiento accidental o inadvertido, este mecanismo debe contemplar un medio para desconectar el circuito de detección de proximidad cuando se desconecte el vehículo del conector.

2.1.1.5.3 Requisitos de Seguridad

El conector de entrada o acoplador debe cumplir en todo momento con los requisitos, uno de ellos es el aislamiento eléctrico el cual indica que los contactos de alimentación deben estar aislados del voltaje de la batería del vehículo cuando el conector de entrada se desconecte del EV/PHEV. El conector de entrada y el conector de la EVSE deben estar diseñados de forma que se evite el contacto directo con “partes vivas” y deben ser contruidos con materiales que cumplen los requerimientos de temperatura de contacto externo, esta no debe tener un valor mayor a **60 °C** cuando la temperatura ambiente alcance los **40 °C** de acuerdo al UL 2251 (enchufes, receptáculos y conectores de EV's). Además, debe estar libre de bordes afilados y protuberancias que sean potencialmente dañinas para los usuarios de acuerdo al UL 1439 (determinación de la nitidez de los bordes del equipo).

Otro requerimiento se centra en que el conector debe estar diseñado para evitar o mitigar condiciones peligrosas como: fuego, descarga eléctrica, lesiones a los usuarios. Se puede agregar, de forma opcional, un bloqueo de acoplador de carga en lugares públicos sin supervisión para evitar el acceso no autorizado cuando se quiera desconectar el EV/PHEV de la EVSE.

2.1.1.5.4 Requisitos de Desempeño

De igual manera los conectores de entrada y acopladores deben presentar la característica de ser muy duraderos dentro de operación, se requiere que soporte un mínimo de 10000 ciclos de operación mecánica los cuales no deben verse afectados por las condiciones ambientales. Deben ser resistentes a golpes y caídas sobre concreto con alturas mayores a 1m y poder continuar con

su operación normal, además al ser arrollado por un vehículo, dada la situación, deberá poder continuar funcionando de manera correcta o fallar de forma segura como se especifica en el estándar UL 2251 (enchufes, receptáculos y conectores de EV's).

2.1.1.5.5 Requisitos Ambientales

Se toma en cuenta algunas consideraciones ambientales generales para los conectores de entrada y acopladores, como que las condiciones de 2.1.1.5.4 se deben cumplir aun en escenarios bajo el agua y ciertas condiciones especificadas por el fabricante automotriz. Los acopladores deben soportar temperaturas ambientales en el rango continuo de -30°C a $+50^{\circ}\text{C}$ durante la operación de carga con la EVSE y un rango continuo entre -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$ durante el transporte o mientras se ensamblan sus componentes ya sea en la EVSE o en el conector de entrada del vehículo.

De igual forma sus contactos eléctricos deben ser capaces de soportar en su diseño temperaturas máximas de 50°C sobre el valor de la temperatura ambiente en un proceso de carga nominal, el aislamiento del cableado debe soportar temperaturas alrededor de los 105°C . Además de proveer resistencia en su aislamiento, los conectores deben ser resistentes a fluidos, no deben verse afectados al estar en contacto con lubricantes automotrices, solventes y combustibles.

2.1.1.5.6 Descripción Física General del Acoplador

Los diseños de los conectores de entrada del vehículo deben contar con una configuración física común la cual es capaz de aceptar las configuraciones físicas de los acopladores para los niveles de carga 1 y 2. Los requisitos físicos deben asegurar la compatibilidad de acopladores y conectores de entrada del vehículo construidas por el mismo fabricante y entre otros fabricantes en cualquier punto en el tiempo. Se necesitan requisitos generales para los conectores de entrada del vehículo que se presentan en el siguiente apartado.

2.1.1.5.6.1 Requisitos Generales del Conector de Entrada del vehículo

Los requisitos de los contactos de los conectores se presentan en la Tabla 2.7, debe existir una configuración estándar que sea capaz de aceptar cargas en AC de nivel 1 y 2.

Tabla 2.7 Requisitos de los Contactos del Conector de Entrada del vehículo

# Contacto	Función	Carga estándar(1) en AC de Nivel 1 y 2
1	Cargador 1	X
2	Cargador 2	X
3	Tierra del chasis	X
4	Control piloto	X
5	Proximidad	X

1. Nota: X = Requerido, O = Opcional.

2.1.1.5.6.2 Requisitos Generales del Acoplador de Carga

Los acopladores deben considerar que la intensidad de energía que atraviesa sus contactos, deben estar equipados con un cable correspondiente que soporte su uso y cumpla con los requisitos mencionados en los apartados anteriores. En la Tabla 2.8 se muestran los requisitos de los acopladores.

Tabla 2.8 Requisitos de los Contactos del Acoplador o Conector de Carga

# Contacto	Función	Carga estándar(1) en AC de Nivel 1 y 2
1	Energía en AC	X
2	Energía en AC	X
3	Tierra del equipo	X
4	Control piloto	X
5	Proximidad	X

1. Nota: X = Requerido, O = Opcional.

2.1.1.5.7 Requisitos Dimensionales

Los acopladores requieren un dimensionamiento específico clave en su diseño y que se especifica a continuación

2.1.1.5.7.1 Dimensionamiento de los Contactos de la Interfaz

En la Tabla 2.9 se especifica de forma general el dimensionamiento que deben respetar cada uno de los contactos de los acopladores de carga.

Tabla 2.9 Dimensionamiento de Contactos y Rango de Corriente

# Contacto	Función	Diámetro (mm)	Rango de Amperaje	Rango de Voltaje
1	Energía en AC	3.6	Hasta los 80 A	300 vac
2	Energía en AC	3.6	Hasta los 80 A	300 vac
3	Tierra del equipo/chasis	2.8	Fault rated	
4	Control piloto	1.5	2 A	30 vdc
5	Proximidad	1.5	2 A	30 vdc

Toda la información presentada en este apartado, incluido imágenes y especificaciones resumidas en Tablas, se obtuvo de la Normativa SAE J1771 referenciada en [18]

2.1.2 IEC 61851-1 – Sistema Conductivo de Carga para Vehículos Eléctricos

2.1.2.1 Definición

Es un estándar de la Comisión Electrotécnica Internacional que proporciona los requisitos generales para suministrar energía eléctrica a los vehículos de carretera eléctricos, define el sistema completo cubierto por un número de normas IEC e ISO entre el EV y el sistema de alimentación conocida como EVSE, presenta los requisitos mecánicos, eléctricos, de comunicaciones y de funcionamiento de los sistemas de alimentación de los EV (EVSE) que se utilizan para cargar las baterías de los EV's incluidos los de tipo “ligero”.

2.1.2.2 Requisitos Generales

El sistema de alimentación del EV (EVSE) debe diseñarse y construirse de modo tal que pueda conectarse al EV donde la transferencia de energía se realice de manera segura, fiable y se minimice el riesgo y peligro para los usuarios o el ambiente en condiciones normales de uso.

2.1.2.3 Modos y Funciones de Carga

2.1.2.3.1 Modos de Carga

Son métodos para la conexión de un EV a la red de suministro para entregar energía al vehículo y recargar sus baterías.

El Caso A representa el método de conexión al EV con una clavija y un cable incorporado permanentemente en el EV. El Caso B representa el método de conexión de un EV a la red de suministro con un cable de carga extraíble en ambos extremos y el Caso C representa el método de conexión de un EV a la red de suministro utilizando un cable y un conector de vehículo incorporado permanentemente a la estación de carga (Fig 2.8).

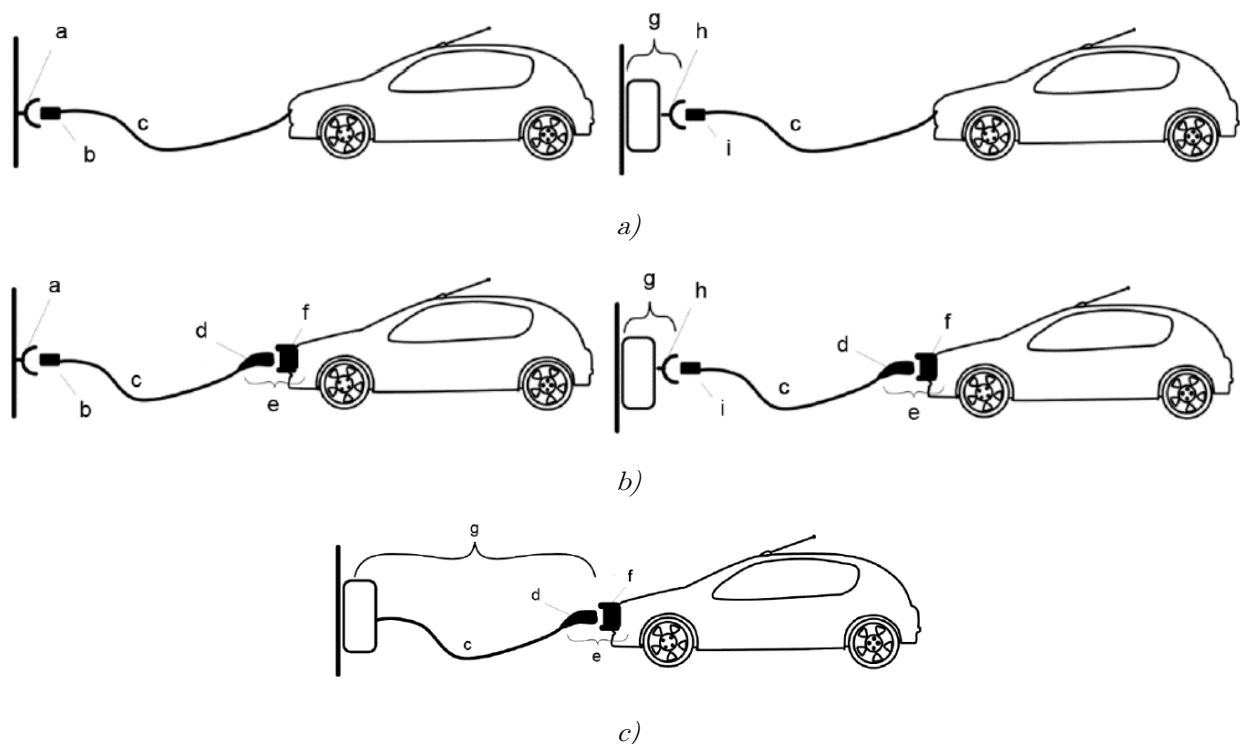


Figura 2.8 Conexión de los Vehículos Según el Caso; a) Caso A, b) Caso B, c) Caso C.

Ilustración tomada de [19]

Leyenda

(a)	Base de toma de corriente	(f)	Conexión de entrada de vehículo
(b)	Clavija	(g)	Estación de carga
(c)	Cable	(h)	Base de toma de corriente de EV
(d)	Conector de vehículo	(i)	Clavija de EV
(e)	Acoplamiento de vehículo		

2.1.2.3.1.1 Modo 1

Este modo utiliza directamente la salida de una toma corriente doméstico normalizado de la red de suministro, se conecta directamente el EV mediante un cable y una clavija, en este modo no existen sistemas de comunicación o procesos de conexión y no se encuentra equipado el sistema de control piloto o auxiliar. Generalmente el único sistema de protección es la presencia de un conductor a tierra de protección desde la clavija normalizada del domicilio al conector del EV.

Este modo tiene valores máximos asignados de operación, lo que se presenta en la Tabla 2.10

Tabla 2.10 Valores Máximos Asignados para el Modo de Carga 1

Modo 1 / Sistemas	Voltaje Máximo en AC	Corriente Máxima en AC
Monofásicos	250 V	16 A
Trifásicos	480 V	16 A

Sin embargo, dentro de este modo se debe considerar las recomendaciones presentadas por las normas IEC 60309-1, IEC 60309-2 o IEC 60884-1, que indica “*Las bases de toma de corriente y las clavijas diseñadas para uso doméstico y similar podrían no estar diseñadas para consumir corrientes extendidas o para utilización permanente a corrientes asignadas máximas y podrían estar sujetas a reglamentación y normativa nacionales para el suministro de energía a un EV*”

2.1.2.3.1.2 Modo 2

El modo 2 es un método más seguro que utiliza un sistema de alimentación conocido como EVSE el cual se alimenta desde una base de toma de corriente normalizada de una red de suministro de AC, aquí se implementa un cable con función de control piloto y sistema de protección contra choques eléctricos ubicados entre la clavija normalizada y el EV.

Sus limitaciones de corriente se encuentran sujetas a las recomendaciones descritas en el apartado 2.1.2.3.1.1 (modo 1). La EVSE destinada a este modo de carga contar con un conductor de puesta a tierra de protección (PE) y en caso de ser dispositivos destinados a ser montados en paredes, pero extraíbles, deben utilizar equipos de protección para el usuario, lo que se especifica en la Norma IEC 62752

Este modo tiene valores máximos asignados de operación, lo que se presenta en la Tabla 2.11

Tabla 2.11 Valores Máximos Asignados para el Modo de Carga 2

Modo 2 / Sistemas	Voltaje Máximo en AC	Corriente Máxima en AC
Monofásicos	250 V	32 A
Trifásicos	480 V	32 A

2.1.2.3.1.3 Modo 3

Este modo presenta un método para conectar el EV a un sistema de alimentación (EVSE) en AC, el cual está permanentemente conectado a una red de suministro en AC, con funciones de control piloto y detección de proximidad integradas y de igual manera que en los modos 1 y 2, se debe proporcionar un conductor de puesta a tierra de protección (PE) a la base de toma corriente del EV (conector de entrada del vehículo).

2.1.2.3.1.4 Modo 4

El modo 4 presenta un método de conexión para el EV a la red de suministro en AC o DC utilizando una EVSE en DC que integra las funciones de control piloto y detección de proximidad comprendidos desde el sistema de alimentación en DC hasta el EV. Los equipos de este modo pueden encontrarse ya sea permanentemente conectados o bien conectados mediante un sistema cable-clavija a la red de suministro con la integración de un conductor de puesta a tierra de protección (PE) a la base de toma corriente del EV (conector de entrada del vehículo).

2.1.2.3.2 Funciones Obligatorias en Modo 2, 3 y 4

El sistema de alimentación del EV diseñado para el modo 2 y modo 3, utilizando el conductor piloto de control y utilizando accesorios de acuerdo a la norma IEC 62196-2, debe estar provisto con función de control piloto como se detalla en el siguiente apartado.

2.1.2.3.2.1 Circuito de Control Piloto

La función del control piloto se realiza a través de un circuito de control utilizando la modulación por ancho de pulsos (PWM) para modo 2, modo 3 y modo 4. Existen 2 tipos de función de control piloto: simplificado y típico que se detallaran más adelante, los parámetros del circuito y la secuencia de eventos para las funciones de control piloto que se escogen para esta Norma aseguran la interoperabilidad con los sistemas diseñados de acuerdo a la Norma SAE J1772.

En la Fig 2.9 se presenta el circuito de control piloto típico que se utiliza para el sistema de alimentación del EV y en la Fig 2.10 el circuito de control piloto simplificado.

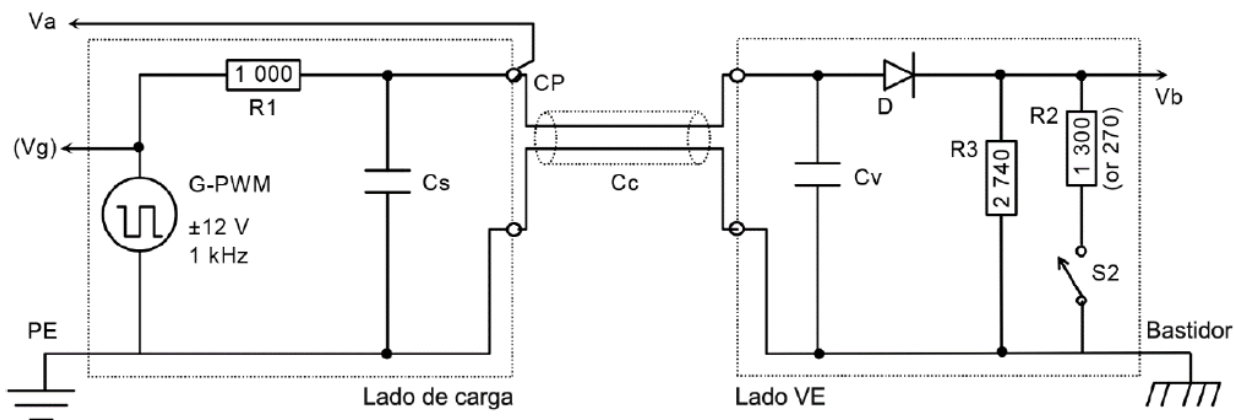


Figura 2.9 Circuito de Control Piloto Típico

Ilustración tomada de [19]

Leyenda

G-PWM	Generadores de señal PWM para función piloto	Vb	Medida del EV de tensión, ciclo de servicio y frecuencia
Va	Tensión del hilo piloto, medida en la salida de la EVSE	CP	Contacto del control piloto
Vg	Tensión interna del generador de señal PWM	Bastidor	Conexión del bastidor del vehículo
R1, Cs	Ver Tabla 2.12		
R2, R3, Cv, D	Ver Tabla 2.13		

El circuito de control piloto simplificado hace referencia al valor total obtenido de la combinación de resistencias en paralelo del lado del EV, donde de acuerdo a su valor indica a la EVSE si se requiere de ventilación durante el proceso de carga.

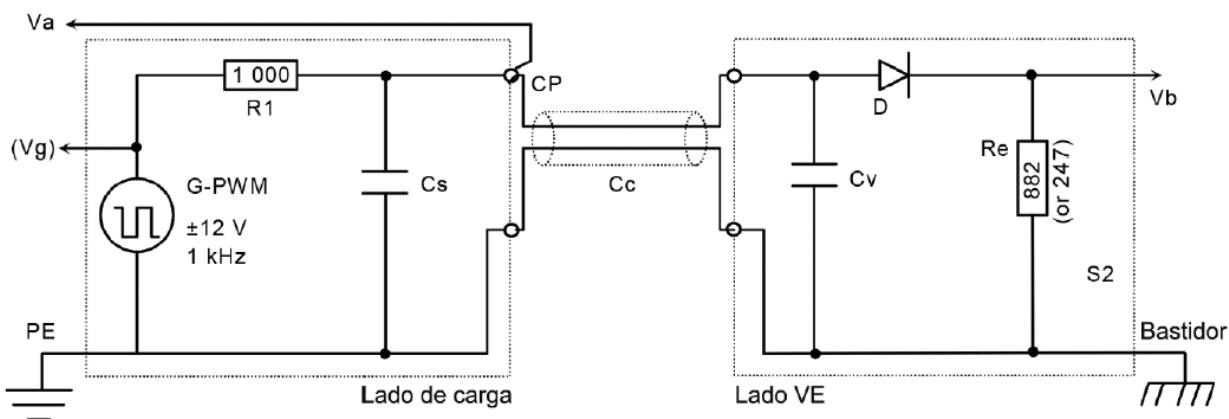


Figura 2.10 Circuito de Control Piloto Simplificado

Ilustración tomada de [19]

Leyenda

G-PWM	Generados de señal PWM para función piloto	Vb	Medida del EV de tensión, ciclo de servicio y frecuencia
Va	Tensión del hilo piloto, medida en la salida de la EVSE	CP	Contacto del control piloto
Vg	Tensión interna del generador de señal PWM	Bastidor	Conexión del bastidor del vehículo
R1, Cs	Ver Tabla 2.12		
Re, Cv, D	Ver Tabla 2.13		

El sistema de la EVSE se comunica con el EV mediante el establecimiento del ciclo de servicio de una señal PWM o una señal permanente de tensión en DC (ver Tabla 2.16), este ciclo de servicio puede ser cambiado por la estación en cualquier momento y el EV deberá responder mediante la aplicación de cargas resistivas a la semionda positiva del circuito del control piloto, en la Tabla 2.12 se presentan los valores y parámetros del circuito de control piloto para la EVSE y en la Tabla 2.13 se presentan los valores y parámetros del circuito de control piloto para el EV

Tabla 2.12 Parámetros del Circuito de Control Piloto y Valores para la EVSE

Parámetro ^a	Símbolo	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo	Unidad
Tensión positiva en circuito abierto del generador ^c	Voch	11.4	12	12.6	V
Tensión negativa en circuito abierto del generador ^c	Vocl	+12.6	-12	-11.4	V
Salida del generador de frecuencia	Fo	980	1000	1020	Hz
Ancho de pulso ^{b c}	Pwo	5	-	+5	μs
Tiempo de subida (10% a 90%)	Trg	-		2	μs
Tiempo de caída (10% a 90%)	Tfg	-		2	μs
Tiempo de establecimiento al 95% del régimen permanente	Tsg	-		3	μs
Resistencia equivalente de la fuente al 1%	R1	970	1000	1030	Ω
Capacitor de la EVSE ^d	Cs	300	-	1600	pF
Capacitor del cable	Cc	-	-	1500	pF

- Tolerancias a ser mantenidas a lo largo de la vida útil completa y bajo condiciones ambientales según lo especificado por el fabricante.
- En el paso por 0 V de la señal de 12 V.
- En el punto Vg según lo indicado en la figura 2.8 (a medirse en la salida a circuito abierto)
- Para el modo 3, la capacitancia equivalente máxima es el total Cc + Cs.

Tabla 2.13 Valores y Parámetros del Circuito de Control Piloto del EV

Parámetro	Símbolo	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo	Unidad
Valor de la resistencia permanente (Fig 2.9)	R3	2658	2740	2822	Ω
Valor de la resistencia conmutada para vehículos que no requieran ventilación (Fig 2.9)	R2 Estado Cx	1261	1300	1339	Ω
Valor de la resistencia conmutada para vehículos que requieran ventilación (Fig 2.9)	R2 Estado Dx	261.9	270	278.1	Ω
Valor de la resistencia total equivalente sin ventilación (Fig 2.10)	Re Estado Cx	856	882	908	Ω
Valor de la resistencia total equivalente con ventilación (Fig 2.10)	Re Estado Dx	239	246	253	Ω
Caída de tensión en el diodo (D) (2,75 – 10 mA, –40 °C a +85 °C)	Vd	0.55	0.7	0.85	V
Tiempo de recuperación inversa	Tr	-	-	200	ns
Capacitancia de entrada equivalente total	Cv	-	-	2400	pF

a. Para el modo 3, la capacitancia equivalente máxima es el total de $C_c + C_v$, C_c se proporciona en la Tabla 2.12

Los rangos de valores deben mantenerse durante toda la vida útil completa y considerando las condiciones ambientales de diseño, además, se recomienda para esta aplicación utilizar resistencias con 1% de tolerancia.

En la Tabla 2.14 se muestran los rangos de las tensiones del piloto en base a los componentes de las Tablas 2.12 y 2.13, se incorporan un margen de tensión incrementado para V_a que permite tolerancias de medida del sistema de alimentación del EV.

Tabla 2.14 Estados del Sistema Detectados por la EVSE

Va ^a			Estado PWM ^b	Estado del sistema	EV conectado a la EVSE	S2 ^d	EV listo para recibir energía ^e	EVSE lista para suministrar energía	Observación
Nivel inferior V	Nominal V	Nivel superior V							
11	12	13	“Off”	A1	No	N/A	No	No listo	Vb = 0
11	12	13	“On”	A2 ^g			No	Listo	
10		11	“on” u “off”	Ax o Bx ^h	No / si	Abierto	No	Dependiente del estado	
8	9	10	“Off”	B1	Si	Abierto	No	No listo	Re = R3 = 2.74 kΩ detectado
8	9	10	“On”	B2 ^g			No	Listo	
7		8	“on” u “off”	Bx o Cx ^h		Abierto /cerrad o	Dependiente del estado		



5	6	7	“Off”	C1			Cerrado	Si	No listo	$Re = 882\ \Omega$ detectado EV no requiere ventilación en la zona de carga	
5	6	7	“On”	C2 ^{cg}				Si	Listo		
4		5	“on” u “off”	Cx o Dx ^h				Si	Dependiente del estado		$Re = 246\ \Omega$ detectado EV requiere ventilación en la zona de carga
2	3	4	“Off”	D1				Si	No listo		
2	3	4	“On”	D2 ^{cg}				Si	Listo		
1	N/A	2	“on” u “off”	Dx o E _h	Abierto o Dependiente del estado cerrado						
-1	0	1	“Off”	E	N/A	N/A	N/A	No listo			
-10		-1	“on” u “off”	Invalido _o ^c	N/A	N/A	N/A		Falta un circuito de control		
-11		-10	“Off”	F o invalido	N/A	N/A	N/A	No listo			
-13	-12	-11	“Off”	F	N/A	N/A	N/A	No listo			
-11		-10	“On”	X2 o invalido _h	No / si	Abierto /cerrado o	Dependiente del estado				
-13	-12	-11	“On”	X2 ^c	N/A	N/A	Dependiente del estado		Cota inferior de la señal PWM ^c		

- Todas las tensiones se miden tras el periodo de estabilización, se recomienda para la EVSE que utilice V_g como referencia para la medida de V_a .
- Estado de PWM “on” describe una tensión de onda cuadrada generada de ± 12 V.
Estado de PWM “off” describe una tensión de DC de régimen permanente.
- La EVSE debe comprobar el estado inferior de la señal PWM de -12 V, la presencia de diodo, al menos una vez antes del cierre de dispositivo de maniobra de la alimentación sobre la EVSE.
- S2 = interruptor en el EV (ver Fig 2.9).
- EV listo para recibir energía = EV listo para la transferencia de energía mediante el cierre de los contactos S2.
- EVSE lista para suministrar energía = listo \rightarrow estado PWM “on”, no listo \rightarrow estado PWM “off”.
- Las tolerancias del rango de tensiones negativas de la señal PWM se definen mediante la fila “cota inferior de la señal PWM” (última fila de la Tabla 2.14).
- Un circuito de control piloto define su propio nivel de disparo para separar los estados dentro de este rango de tensiones, se recomienda utilizar un nivel de disparo distinto del sentido de cambio de estado para incluir el comportamiento de histéresis.

Cabe recalcar que para la señal PWM no existe ningún rango de tensiones no definido entre las transiciones de los estados del sistema, se considera un estado válido si está dentro de los valores presentados en la Tabla 2.14. La detección de estado debe ser resistente al ruido y señales de alta frecuencia en el circuito de control piloto y además se recomienda aplicar el cálculo de los valores promedio de la medida a lo largo de varios ciclos PWM (ms).

La EVSE debe verificar que la conexión con el EV sea la adecuada, antes de energizar el sistema, mediante la detección de presencia del diodo (D) en el circuito del control piloto, esta verificación se realiza en la transición de x_1 a x_2 (estados), esta presencia de diodo se logra detectar cuando la cota inferior de la señal PWM está dentro del rango definido en la Tabla 2.14 (última fila).

Los cambios de estado entre A, B, C y D son originados por le EV o el usuario, mientras que para la EVSE crea los cambios de estado entre x_1 y x_2 . Un resumen a detalle de estas transiciones de estados se presenta en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Comportamientos Según el Estado

Estados	Descripción	Comportamiento
x_1^a	EVSE no entregara energía, por ejemplo:	
	<ul style="list-style-type: none"> Debido a la falta de potencia disponible en la red para suministro. La EVSE ha parado intencionalmente debido a intermitencias u otras limitaciones en el suministro de potencia. 	Si la energía está disponible, la EVSE cambiará a x_2^b . El EV puede utilizar esta transición como un disparador para empezar o reanudar la carga
Estado E	Estado generalmente causado por una condición de error por ejemplo:	
	<ul style="list-style-type: none"> No hay potencia hacia la EVSE. Cortocircuito entre el control piloto y el conductor de protección. 	La EVSE desprende / desbloquea la base de toma de corriente en un máximo de 30 s, si la hubiera.
Estado F	Este estado no debe utilizarse intencionalmente por la EVSE para señalización.	
	Estado fijado intencionalmente por la EVSE para señalar una condición de falta, por ejemplo:	La EVSE desprende / desbloquea la base de toma de corriente en un máximo de 30 s, si la hubiera.

a. Se puede referir al estado x_1 como estado A1 o estado B1 o estado C1 o estado D1.

b. Se puede referir al estado x_2 como estado B2 o estado C2 o estado D2.

Tabla 2.16 Ciclo de Servicio por PWM Proporcionado por la EVSE

Corriente máxima I_{av}	Ciclo de servicio del control piloto nominal D_N	Descripción
$I_{av} = 0 A$	$D_N = 0\%$	-12 V permanente, EVSE no disponible; estado F
	$D_N = 100\%$	Ninguna corriente disponible – estado x_1 (ver Tabla 2.15)
La corriente máxima se indica a través de la comunicación digital	$D_N = 5\%$	Un ciclo de servicio del 5% indica que se requiere comunicación digital y debe

establecerse entre la EVSE y el EV antes de permitir el suministro de energía.

Si no se puede establecer la comunicación digital, la EVSE debe:

- Permanecer en 5% de ciclo de servicio o
- Cambiar a x1 (100% de ciclo de servicio) durante al menos 3 s o
- Cambiar a x1 (100% de ciclo de servicio) durante al menos 3 s y entonces cambiara a un ciclo de servicio entre 10% y 96%.

$6 A \leq I_{av} \leq 51 A$	$D_N = I_{av} / 0,6 A$	$10\% \leq D_N \leq 85\%$
$51 A \leq I_{av} \leq 80 A$	$D_N = (I_{av} / 2,5 A + 64)$	$85\% \leq D_N \leq 96\%$

De acuerdo a las especificaciones y valores del ciclo de servicio se definen los rangos de corriente máxima permisible a consumir por el EV, estos valores se resumen en la Tablas 2.17.

Tabla 2.17 Corriente Máxima a Consumir por el Vehículo

Ciclo de servicio del control piloto D_{in} en la clavija del EV (caso A) o en la conexión de entrada del EV	Corriente máxima I_{max} a consumir por el vehículo	Descripción
Ciclo de servicio $< 3\%$	0 A	No se permite el consumo de corriente
$3\% \leq D_{in} \leq 7\%$	Según lo indicado por la comunicación digital	Un ciclo de servicio del 5% indica que se requiere de comunicación digital y debe establecerse entre la EVSE y el EV antes del suministro de energía
$7\% \leq D_{in} \leq 8\%$	0 A	No se permite el consumo de corriente
$8\% \leq D_{in} \leq 10\%$	6 A	
$10\% \leq D_{in} \leq 85\%$	$D_{in} \times 0.6 A$	
$85\% < D_{in} \leq 96\%$	$(D_{in} - 64) \times 2.5 A$	
$96\% < D_{in} \leq 97\%$	80 A	
$97\% < D_{in} \leq 100\%$	0 A	No se permite consumo de corriente

2.1.2.3.2 Comprobación Permanente de la Continuidad del Conductor de Protección

Durante el proceso de carga en modo 2, el ICCB (In-cable control box) debe supervisar de forma permanente que exista continuidad eléctrica del conductor de puesta a tierra de protección entre el ICCB y el contacto del EV respectivo.

En el proceso de carga en modo 3 la EVSE debe supervisar de forma permanente que exista continuidad eléctrica del conductor de puesta a tierra de protección entre la EVSE y el contacto del EV respectivo.

De igual forma en el modo de carga 4, el sistema de alimentación del EV debe supervisar de forma permanente que exista continuidad eléctrica del conductor de puesta a tierra de protección entre la estación de carga del EV y el contacto del EV respectivo.

El sistema de alimentación del EV debe des-energizar el proceso de carga hacia el EV si se presentan los siguientes casos:

- Pérdida de la continuidad eléctrica del conductor de protección (circuito de CP abierto), en 100 ms.
- Incapacidad para verificar la continuidad del conductor de protección en 3 s.

2.1.2.3.2.3 Verificación de Conexión Correcta entre el EV y la EVSE

La EVSE debe tener las capacidades necesarias para determinar que el EV se encuentre conectado correctamente al sistema de alimentación, se detecta que el acoplador de carga está completamente insertado en el conector de entrada del vehículo cuando existe presencia de continuidad del circuito del control piloto.

2.1.2.3.2.4 Energización de la Fuente de Alimentación hacia el EV

La base de toma de corriente del EV o el conector de entrada del vehículo no deben ser energizados a menos que la función de conexión y comunicación del control piloto entre la EVSE y el EV se hayan establecido de forma correcta con los estados de señal para dar paso a la energización, sin embargo, la presencia de estos estados no implica que la energía se transferirá entre la EVSE y el EV ya que este proceso se encuentra sujeto a otras condiciones externas como el sistema de gestión de energía.

Si durante el proceso de carga el EV requiere de ventilación, la EVSE debe energizar únicamente el sistema si la instalación de las estaciones de carga proporciona esta característica de ventilación.

2.1.2.3.2.5 Des-energización de la Fuente de Alimentación hacia el EV

Durante el proceso de carga, si todo el sistema funciona correctamente, la señal del control piloto no debe ser interrumpida, si esto sucede la EVSE interrumpe el suministro de energía hacia el EV, lo que se indica en el apartado **2.1.2.3.2.2.**

Si el estado en el que se encuentra la señal del control piloto no permite ya la energización, se interrumpe el suministro de energía hacia el EV pero puede permanecer en funcionamiento la señalización del control piloto.

2.1.2.3.2.6 Corriente Máxima Admisible

Se debe proporcionar un medio para informar al EV del valor de la corriente máxima que está permitido consumir, este valor debe ser transmitido y no debe superar cualquiera de las siguientes condiciones:

- La corriente de salida asignada de la EVSE
- La corriente asignada del cable de carga (incluidos los cables de carga de modo 2 y modo 3).

El valor que se transmite puede cambiar para adaptarse a las limitaciones de potencia siempre y cuando no se exceda la corriente máxima admisible. La EVSE puede interrumpir la alimentación de energía si la corriente que consume el EV supera el valor transmitido.

2.1.2.3.3 Funciones Opcionales en Modo 2, 3 y 4

2.1.2.3.3.1 Ventilación Durante la Alimentación de Energía

La EVSE puede intercambiar información, mediante la función del control piloto, con la instalación acerca de la demanda y presencia del sistema de ventilación, sin embargo, estos requisitos pueden estar sujetos a normativas locales o nacionales ya que este sistema se considera un requisito especialmente para cargas en interiores.

2.1.2.3.3.2 Desconexión Intencionada y No Intencionada del Conector de vehículo y/o la Clavija del EV

Se debe proporcionar un medio mecánico o electromecánico para evitar la desconexión intencionada y no intencionada del acoplador de carga del EV de acuerdo con la Norma IEC 62196-1 donde se definen tres niveles de prevención de desconexión según lo siguiente:

- Prevención de la desconexión no intencionada -> medios de retención;
- Prevención de la desconexión intencionada y no intencionada -> medios de anclaje;
- Prevención de la desconexión intencionada, no intencionada y anclaje -> mecanismo de bloqueo.

2.1.2.4 Protección Frente a Choque Eléctrico

2.1.2.4.1 Conductor de Protección

El conductor de puesta a tierra de protección y el conductor de protección deben tener las características asignadas suficientes según los requisitos de la especificación técnica IEC 61439-7. Para los modos 1, 2 y 3 se debe proporcionar un conductor de puesta a tierra de protección entre borne y puesta a tierra de la entrada de alimentación en AC de la EVSE y del EV. Con los sistemas de alimentación del EV permanentemente conectados de modo 3 y 4, los conductores de puesta a tierra de protección no se deben conmutar.

2.1.2.4.2 Dispositivos de Protección Frente a Corriente Residual.

La EVSE puede tener uno o más puntos de conexión para suministrar energía a los EV, cuando estos puntos de conexión se utilizan simultáneamente y están conectados a un borne de entrada común de la EVSE, deben tener una protección individual incorporada en el sistema de alimentación del EV.

Si este sistema tiene más de un punto de conexión que no puede utilizarse simultáneamente, entonces estos puntos de conexión pueden tener dispositivos de protección comunes. La EVSE que incluye un RCD (Residual Current Device) y que no utiliza la medida de protección de separación eléctrica debe cumplir con lo siguiente:

- El punto de conexión de la EVSE debe protegerse mediante una RCD que tenga una corriente de funcionamiento residual asignada que no supere los 30 mA;
- Los RCD que protejan los puntos de conexión deben ser por lo menos de tipo A;
- Los RCD deben desconectar todos los conductores activos.

Cuando la EVSE se encuentra equipada con una base de toma de corriente o conector para uso en AC de acuerdo con la Norma IEC 62196 (todas las partes), se deben tomar medidas de protección contra corrientes de falta en DC. Las medidas de protección deben ser:

- RCD tipo B o
- RCD tipo A y equipos apropiados que aseguren la desconexión de la alimentación en caso de una corriente de falta en DC por encima de 6 mA.

2.1.2.4.2.1 Tipos de RCD

Las corrientes residuales de falla pueden presentarse de diferentes tipos y tomar varias formas de onda que dependen directamente de las características de la carga, los tipos de RCD se definen en



la Norma IEC 60755 (Requisitos de seguridad generales para corrientes residuales), para brindar las protecciones adecuadas para las diferentes formas de corrientes residuales.

2.1.2.4.2.1.1 RCD Tipo AC

Los RCD de tipo AC son capaces de detectar corrientes alternas residuales de forma sinusoidales, son adecuados para uso generales y logran cubrir la mayoría de requisitos de las aplicaciones en práctica.

2.1.2.4.2.1.2 RCD Tipo A

Este tipo de RCD son capaces de detectar las corrientes pulsantes en DC, estas formas de onda pueden ser generadas por diodos o circuitos rectificadores de tiristores en cargas electrónicas, los RCD de tipo A están diseñados específicamente para ser usados con cargas monofásicas de clase 1.

2.1.2.4.2.1.3 RCD Tipo B

Este tipo de RCD es capaz de detectar señales de tipo AC sinusoidal, pulsantes en DC, compuestas de multifrecuencia y de tipo DC suaves con condiciones de disparo a diferentes frecuencias entre 50 Hz y 1 kHz. En las redes de distribución eléctrica de AC, se pueden generar corrientes residuales de DC pura principalmente a partir de circuitos rectificadores trifásicos y de algunos rectificadores monofásicos en específico.

Estos RCD tipo B son diseñados para ser utilizados con cargas de rectificadores trifásicos como las utilizadas en estaciones de carga de vehículos eléctricos.

2.1.2.5 Circuitos de Detección de Proximidad y de Codificación de la Corriente del Cable para la Interfaz Básica

La función de proximidad es el medio eléctrico o mecánico que indica el EV el estado de inserción del conector de vehículo en la conexión de entrada del vehículo para indicar el estado de inserción de la clavija en la base de toma de corriente de la EVSE.

2.1.2.5.1 Diagrama de Circuito para Acoplamientos de vehículo que Utilizan un Interruptor Auxiliar con el Contacto de Detección de Proximidad

Los acoplamientos de vehículo que utilizan el contacto de proximidad con un interruptor auxiliar y sin codificación de la corriente admisible del cable de carga, deben utilizar el diagrama de circuito que se presenta en la Fig 2.12 junto con los valores de la Tabla 2.18.

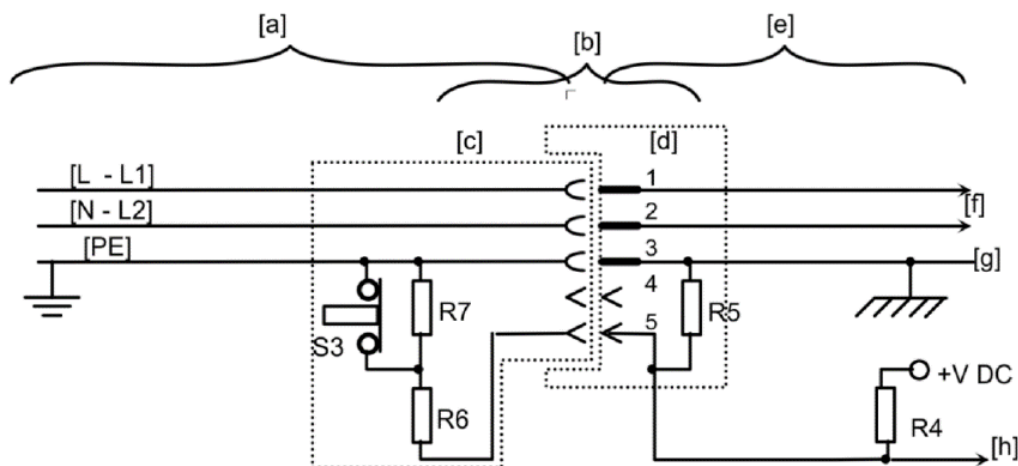


Figura 2.11 Diagrama de Circuito Equivalente para la Función de PP Utilizando un Interruptor Auxiliar y Ninguna Codificación de Corriente
Ilustración tomada de [19]

Leyenda

a	Cable de carga	f	Alimentación de AC hacia el vehículo
b	Acoplamiento de vehículo	g	Conexión del bastidor del vehículo
c	Conector de vehículo	h	Circuito para la detección de proximidad
d	Conexión de entrada del vehículo	S3	Interruptor auxiliar
e	Circuito en el vehículo	R4, R5, R6, R7	Se define en la Tabla 2.18

El interruptor S3 se puede utilizar par prevención de desconexión en tensión no intencionada y este esquema se utiliza para el conector de vehículo de tipo 1 según se define en la Norma IEC 62196-2. En la Tabla 2.18 se especifican los valores de los componentes del circuito de PP (presencia de vehículo) sin la codificación de corriente.

Tabla 2.18 Valores de los Componentes del Circuito de Proximidad sin Codificación de Corriente

	Valor	Tolerancia
R4 ^a	330 Ω	$\pm 10\%$
R5 ^a	2700 Ω	$\pm 10\%$
R6	150 Ω	$\pm 10\% \geq 0.5 W$
R7	330 Ω	$\pm 10\% \geq 0.5 W$

+V DC ^a	5 V	±15%
--------------------	-----	------

a. Estos son valores recomendados.

2.1.2.5.2 Circuito para Detección de Proximidad y Codificación de Corriente Simultáneos

Los conectores de vehículo y las clavijas que utilizan el contacto de proximidad para la detección de la misma y la codificación de corriente admisible del cable de carga simultáneas deben tener una resistencia conectada eléctricamente entre el contacto PP y el contacto PE (Fig 2.12) con los valores que se indican en la Tabla 2.19.

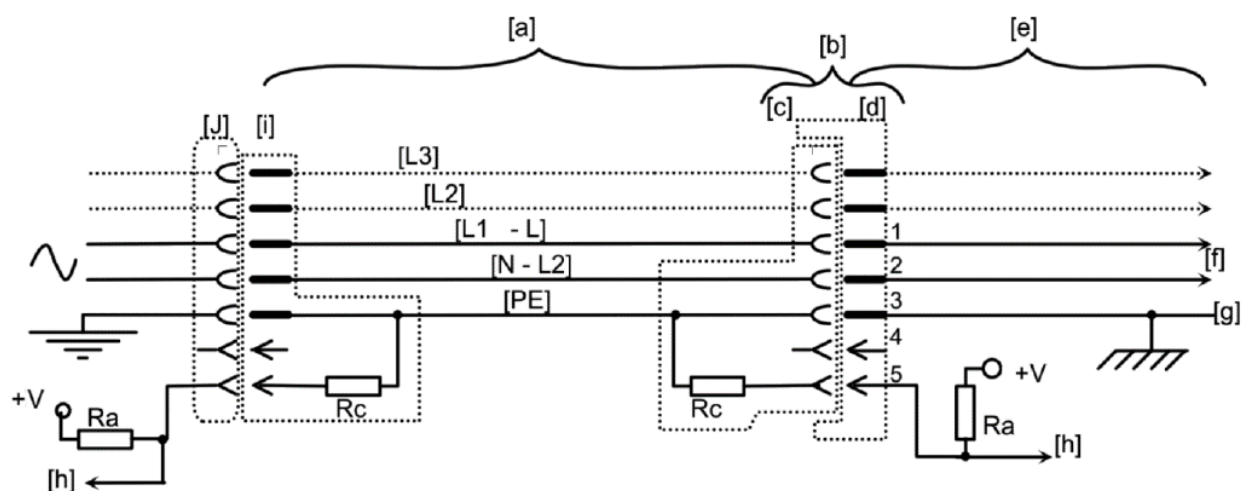


Figura 2.12 Diagrama de Circuito Equivalente para Detección de Proximidad y Codificación de Corriente.

Ilustración tomada de [19]

Leyenda

a	Cable de carga	g	Conexión del bastidor del vehículo
b	Acoplamiento de vehículo	h	Hacia el circuito para la detección de proximidad
c	Conector de vehículo	j	Base de toma de corriente del EV
d	Conexión de entrada del vehículo	i	Clavija del EV
e	Circuito en el vehículo	Ra, Rc	Se define en la Tabla 2.19
f	Alimentación de AC hacia el vehículo		

Tabla 2.19 Resistencia de Codificación de Corriente para Clavija del EV y Conector de Vehículo

Corriente Admisible del Cable de Carga (A)	Resistencia Nominal de Rc Tolerancia $\pm 3\%$ ^c (Ω)	Características Asignadas de Disipación Mínimas de las Resistencias ^{a, b} (W)	Rango de Resistencia Rc para Interpretación por Parte de la EVSE (Ω)
Condición de error ^d o clavija desconectada			> 4500
13	1500	0.5	1100 - 2460
20	680	0.5	400 - 936
32	220	1	164 - 308
63 (trifásica) / 70 (monofásica)	100	1	80-140
Condición de error ^d			> 60

- La disipación de potencia de la resistencia causada por el circuito de detección no debe superar el valor proporcionado anteriormente. El valor de la resistencia de actuación Ra debe elegirse en consecuencia.
- Las resistencias utilizadas deberían fallar preferiblemente en modo fallo a circuito abierto. Las resistencias de lámina metálica muestran habitualmente propiedades aceptables para esta aplicación. Los valores asignados de disipación se eligen para evitar la destrucción en el caso de falta hacia la alimentación +12 V.
- Tolerancias a conservar a lo largo de la vida útil completa bajo las condiciones ambientales específicas por el fabricante.
- La EVSE no debe proporcionar energía.

Toda la información presentada en este apartado, incluido imágenes y especificaciones resumidas en Tablas, se obtuvo de la Normativa IEC 61851-1 referenciada en [19].

Capítulo 3 : Diseño y Construcción del Sistema de Pruebas en Estaciones de Carga para EV's

3.1 Definición del Diseño

El diseño del sistema de pruebas para EVSE's construido debe considerar todos los requisitos de las Normativas técnicas descritos en el Capítulo 2, por lo que su diseño cumple con los requisitos constructivos, de seguridad, de comunicación y de protección contra choques eléctricos previamente discutidos. El sistema utiliza un controlador lógico programable (PLC) junto con una interfaz humano-maquina (HMI) táctil que son los encargados de manejar las rutinas de prueba como los circuitos del control piloto presentados en las Figuras 2.5 y 2.9 y los circuitos de detección de proximidad que se muestra en las Figuras 2.7 y 2.11.

La construcción se realizó sobre un cajetín eléctrico con la disposición de riel DIN para colocar los dispositivos de control y protección que se detallarán más adelante. El dispositivo de pruebas de estaciones de carga en elaboración utiliza el conector tipo 2 conocido como “Mennekes” que se especifica en la Norma Europea IEC 62196-2, el cual funciona como conector de entrada de vehículo (macho) y realizará todas las funciones de conexión y comunicación dentro de los estados que se presentan en la Tabla 2.3 y 2.14 para el proceso de carga del EV.

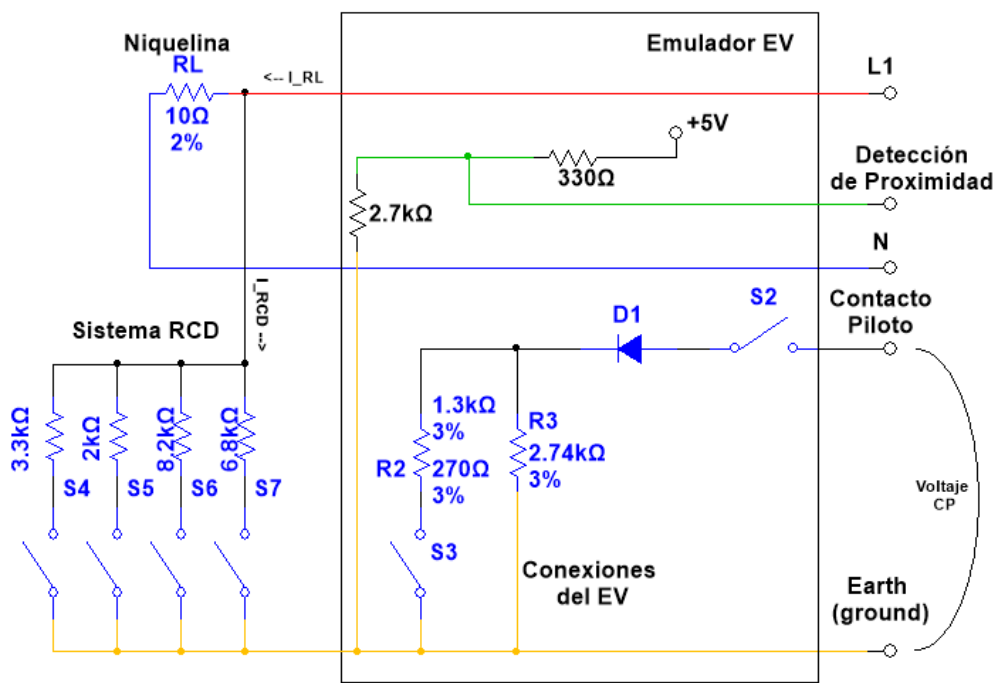


Figura 3.1 Esquema General del Diseño

3.2 Normas y Protocolos para los Conectores de la Estación de Carga y de Entrada del Vehículo

3.2.1 IEC 62196-2 – Compatibilidad Dimensional y Requisitos de Intercambiabilidad para los Accesorios de Espigas y Alvéolos en CA

3.2.1.1 Definición

Esta segunda parte de la Norma se aplica a las clavijas, bases de toma de corriente, conectores y entradas de vehículo con espigas y alvéolos de configuraciones normalizadas para su uso en cargas conductivas de EV's. Las cuales no superan los 480 V de tensión de funcionamiento en AC en ninguna de sus versiones de potencia, valores de frecuencia entre 50 Hz y 60 Hz y una corriente asignada que no excede los 63 A en sistemas trifásicos y 70 A en sistemas monofásicos.

La Norma cubre los aspectos básicos de la interfaz para la alimentación del EV y está destinada a que se utilice en sistemas de carga conductiva para los circuitos especificados en la Norma IEC 61851-1 (Capítulo 2), que funcionan a diferentes tensiones y frecuencias; que además pueden incluir señales de tensión extra baja (ELV) y de comunicación. Estos accesorios no se pueden utilizar para la transmisión bidireccional de potencia y requieren temperaturas ambiente entre -30 °C y +50 °C con destino a conectarse solo mediante cables conductores de cobre o de aleación de cobre.

Las entradas y conectores de vehículos de esta Norma están destinados a utilizarse para carga en los modos 1, 2 y 3 (apartado 2.1.2.3.1), casos B y C (Fig 2.8).

3.2.1.2 Características Asignadas

En la Tabla 3.1 se muestran las tensiones máximas de funcionamiento asignadas para los conectores y entradas de vehículos.

Tabla 3.1 Tensiones de Funcionamiento

Sistemas / Tensiones	Señalización o Control	Energización en AC
Voltaje	30 V	250 V
		480 V
Corriente	2 A	13 A (monofásico)
		16 A (monofásico y trifásico)
		20 A (monofásico y trifásico)
		30 A o 32 A (monofásico y trifásico)
		60 A o 63 A (monofásico y trifásico)
		70 A (únicamente monofásico)

3.2.1.3 Conexión entre la Fuente de Poder y el EV

En este apartado se explica la descripción de los requisitos de la interfaz física eléctrica conductiva entre el EV y la EVSE, lo que permite el diseño de la interfaz del vehículo:

- Una interfaz básica que proporciona intensidades asignadas de hasta 63 A en AC para sistemas trifásicos y de hasta 70 A en AC para sistemas monofásicos (Tabla 3.1)

Los diferentes tipos de configuración de la interfaz pueden permitir aplicaciones distintas de modo e intensidades asignadas. Para nuestro prototipo se utilizarán las interfaces básicas para el acoplador y conector de entrada del vehículo.

Esta interfaz puede contener hasta 7 contactos de señal o alimentación, con configuraciones físicas únicas de las posiciones de los contactos para sistemas monofásicos y trifásicos

3.2.1.4 Configuraciones de Accesorios o Conectores y Entradas de Vehículos

Cada entrada de vehículo solo se debe complementar con el correspondiente tipo de conector de vehículo, en la Tabla 3.2 se resumen las configuraciones existentes y los valores de tensiones admisibles para su funcionamiento.

Tabla 3.2 Configuraciones y Valores de Tensiones Asignados

Configuración	Voltaje Asignado	Corriente Asignada
Tipo 1	250 V	32 A (monofásico)
Tipo 2	• 250 V	• 13 A, o 20 A, o 32 A, o 60 A o 70 A (monofásico) • 13 A o 20 A, o 32 A o 60 A (trifásico)
	• 480 V	
Tipo 3	• 250 V	• 13 A o 32 A (monofásico) • 32 A o 63 A (trifásico)
	• 480 V	

En nuestro diseño se utiliza el conector o entrada de vehículo de tipo 2, con una tensión máxima de 250 V y un valor de corriente alterna de hasta 32 A para un sistema monofásico.

3.2.1.4.1 Conector de Tipo 2 Monofásico

Esta configuración lleva consigo las siguientes especificaciones:

- El enclavamiento (medios mecánicos o electromecánicos y retención de los accesorios es obligatorio para evitar la separación involuntaria y la desconexión en carga;

- El enclavamiento (medios mecánicos o electromecánicos) se debe asegurar que la transmisión de energía se detiene antes de la separación;
- Los medios de enclavamiento deben ofrecer información que demuestre que el mecanismo esta acoplado correctamente provisto por al menos un dispositivo de retención;
- La función de piloto debe llevarse a cabo mediante un circuito de control piloto usando la modulación PWM y un cable de control piloto (ver apartados [2.1.1.3.2](#) y [2.1.2.3.2.1](#)).
- La detección de proximidad y la codificación de corriente deben llevarse a cabo de acuerdo con los apartados [2.1.1.3.3](#) y [2.1.2.5](#).
- La interoperabilidad de los accesorios del tipo de configuración 2 se muestran en a Tabla 3.3 y los modos de carga se detallan en el apartado [2.1.2.3.1](#)

Tabla 3.3 Interoperabilidad de los Accesorios del Tipo de Configuración 2

Accesorio ^a	Clavija (modo 3)	Entrada (todos los modos)	Entrada (modos 2 y 3)
Base de toma de corriente (modo 3)	Si	n.a ^d	n.a ^d
Conector (modo 1)	No ^b	Si	No ^b
Conector (modos 2 y 3)	No ^c	Si	Si

- Los accesorios del tipo 2 únicamente se deben utilizar en los modos que se relacionen en esta tabla.
- Interoperabilidad excluida por la codificación mecánica.
- Interoperabilidad excluida por una separación física en el circuito de control piloto.
- Los accesorios fijos no se pueden conectar juntos.

Un breve resumen se presenta en la Tabla 3.4 donde se presenta las funciones y valores admisibles de funcionamiento de los conectores y entradas de vehículo con tipos de configuración 2 y 3 en sistemas monofásicos y trifásicos.

Tabla 3.4 Visión General de la Interfaz Básica de Vehículo, Tipos de Configuración 2 y 3, Trifásico y Monofásico

Numero de posición ^f	Trifásico		Monofásico		Funciones	
	U_{max}	I_{max}^a	I_{max}^a			
	V AC	A	A			
		Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2 ^b		Tipo 3
1	480	63		70	63	L1 (alimentación) ^b
2	480	63		- ^c	- ^c	L2 (alimentación)
3	480	63		- ^c	- ^c	L3 (alimentación)
4	480	63		70	63	N (neutro) ^{b, e}
5	-	Asignado para fallo				PE (puesta a tierra)
6	30	2				CP (Control piloto)
7	30	2				PP (Proximidad) ^d o CS (Interruptor de conexión) ^d

- Los accesorios del tipo 2 únicamente se deben utilizar en los modos que se relacionen en esta tabla.

- b. Para la carga en monofásico, se deben utilizar los contactos 1 y 4,
- c. No es necesario que se instalen los contactos que no se utilicen,
- d. No se prevé en la hoja de normativa para el tipo de configuración 3,
- e. En los sistemas de alimentación monofásicos fase a fase, este contacto se puede utilizar para L2 (alimentación 2),
- f. El número de posición no se refiere a la localización y/o identificación del contacto en el accesorio.

3.2.1.4.2 Dimensionamiento del Conector de Tipo 2 Monofásico

Para este conector de tipo de configuración 2, se deben considerar las siguientes especificaciones:

- El enclavamiento y retención de los accesorios es obligatorio para evitar la separación involuntaria y la desconexión en carga. este enclavamiento asegura que la transmisión de energía se detiene antes de la separación,
- Los medios de enclavamiento deben ofrecer información para demostrar que el mecanismo está acoplado correctamente,
- La función del control piloto debe llevarse a cabo mediante lo descrito en la sección 2.1.2.3.2.1,
- La detección de proximidad y la codificación de corriente se debe llevar a cabo de acuerdo a lo descrito en la sección 2.1.2.5
- La interoperabilidad de los accesorios del tipo de configuración 2 se explica en la Tabla 3.3.

3.2.1.4.2.1 Dimensiones del Conector de Vehículo o Acoplador Para Modo de Carga 2

Todas las medidas de las Fig 3.2 y 3.3 se encuentran en milímetros (mm)

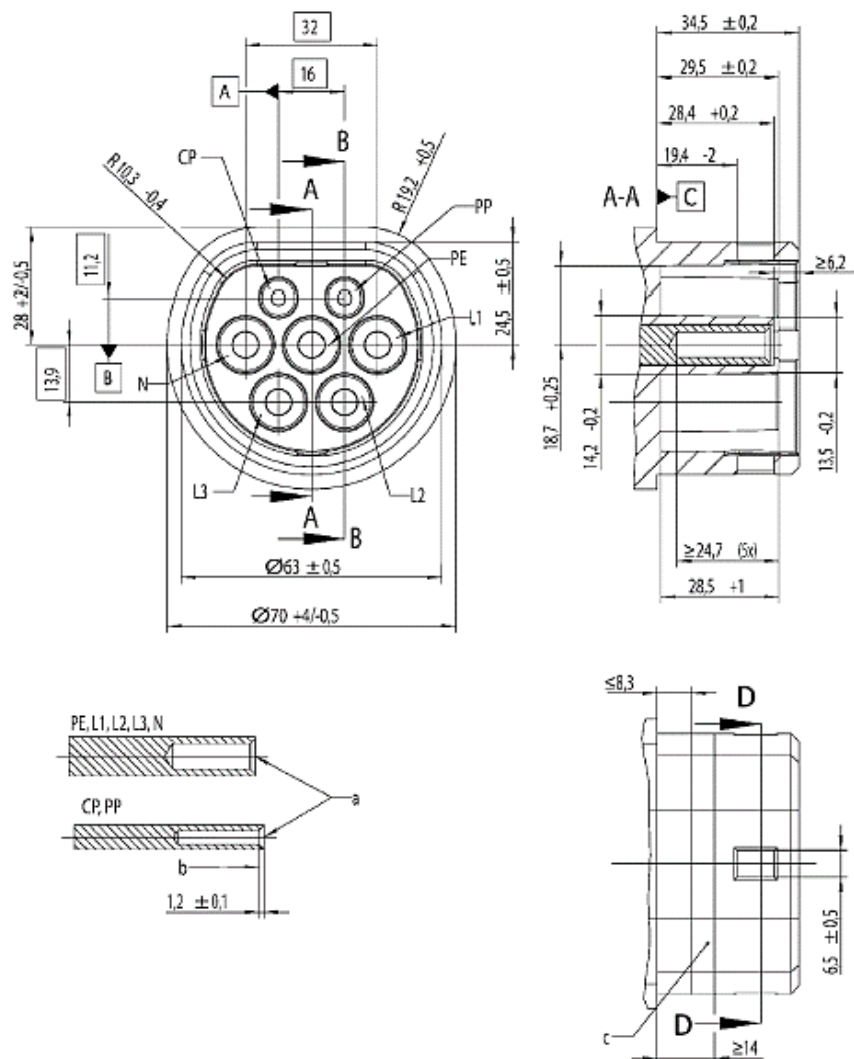


Figura 3.2 Medidas del Conector de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2
Ilustración tomada de [20]

Radios no acotados: R 0,5 mm a 0,7 mm,

- Extremos de los contactos achatados para facilitar la inserción,
- Punto de contacto,
- Zona de estanquidad, sin concavidades, ni cortes de herramientas ni eyectores,

Rugosidad superficial en la zona de estanquidad: $R_a = 0,7 \mu\text{m}$

Para conectores monofásicos los contactos L2 y L3 incluyendo el aislamiento de alrededor pueden ser omitidos.

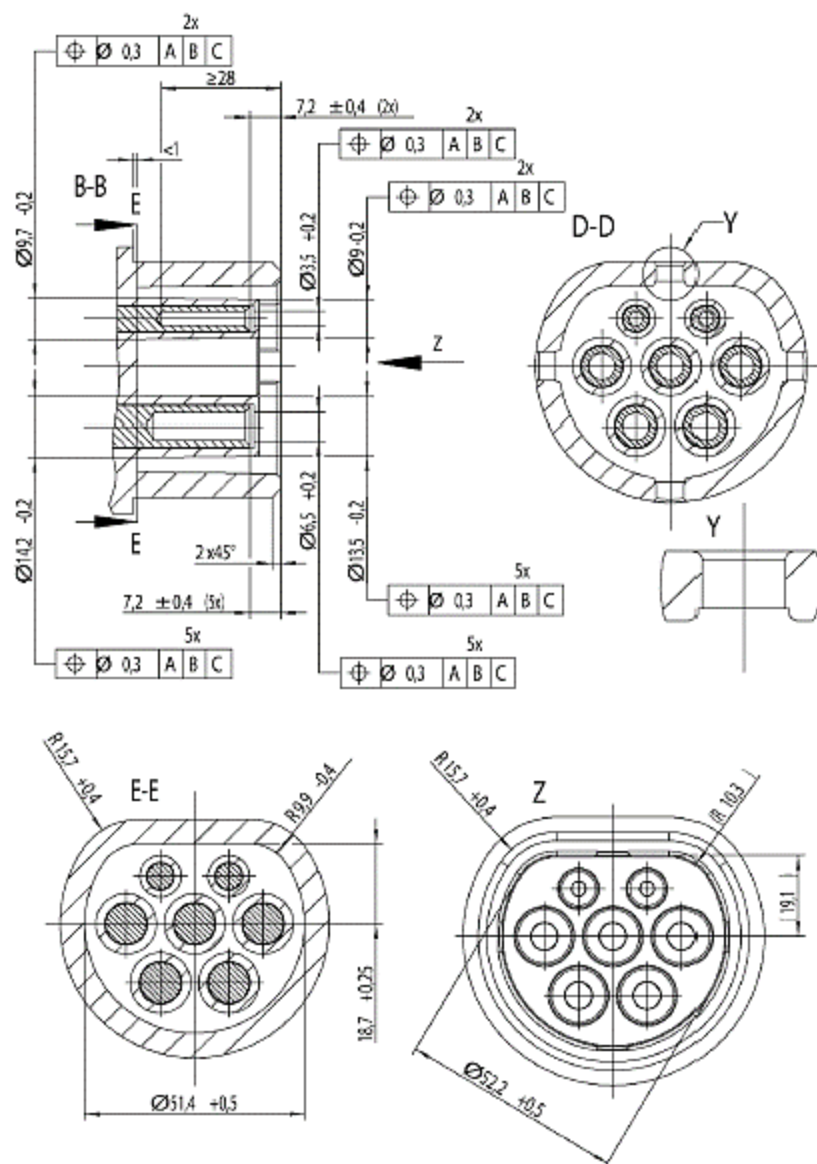


Figura 3.3 Medidas del Conector de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2
Ilustración tomada de [20]

Radios no acotados: R 0,5 mm a 0,7 mm,

3.2.1.4.2.2 Dimensiones del Conector de Entrada de Vehículo Para Modo de Carga 2

Todas las medidas de las Fig 3.4 y 3.5 se encuentran en milímetros (mm)

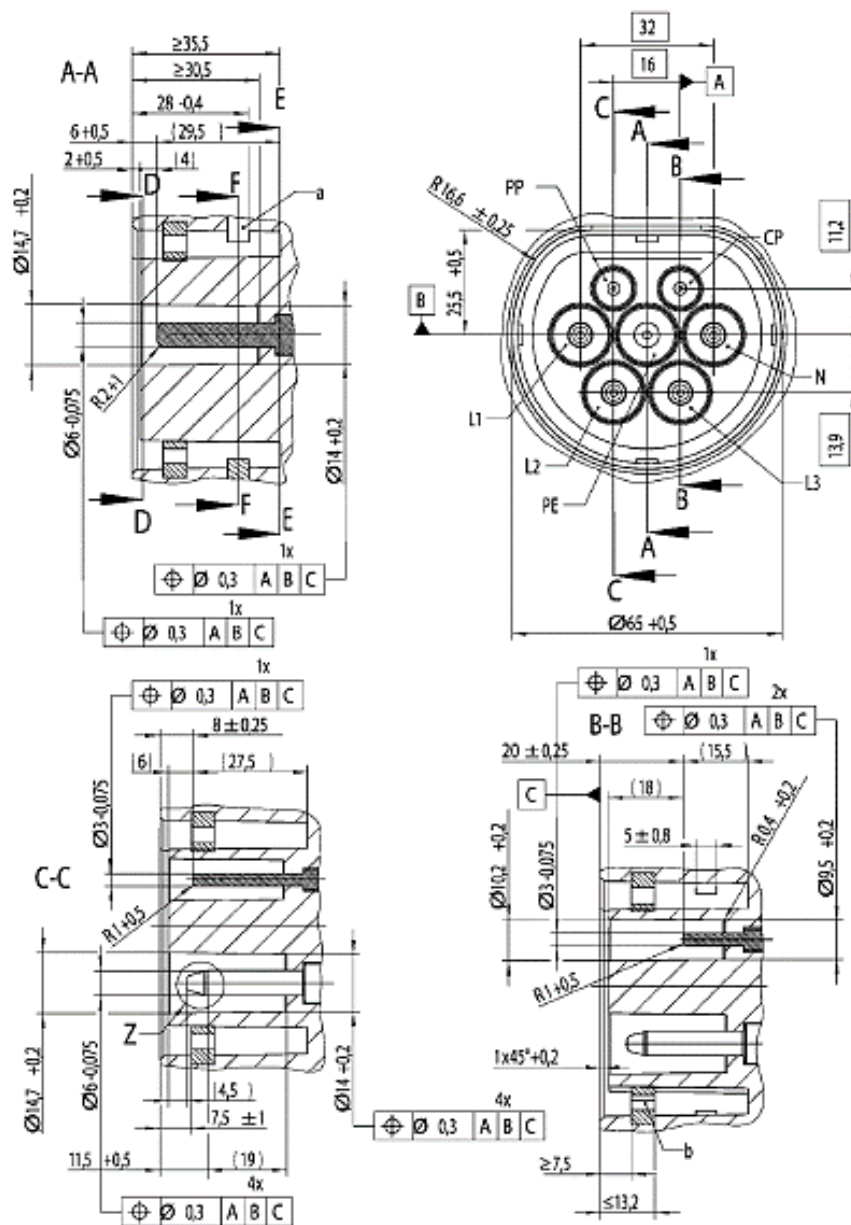


Figura 3.4 Medidas del Conector de Entrada de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2.

Ilustración tomada de [20]

Radios no acotados: R 0,5 mm a 0,7 mm,

- Construcción de los medios de retención según decisión del cliente,
 - Zona de estanquidad (estanquidad opcional),
- Para tomas de corriente monofásicas, se pueden omitir los contactos L2 y L3.

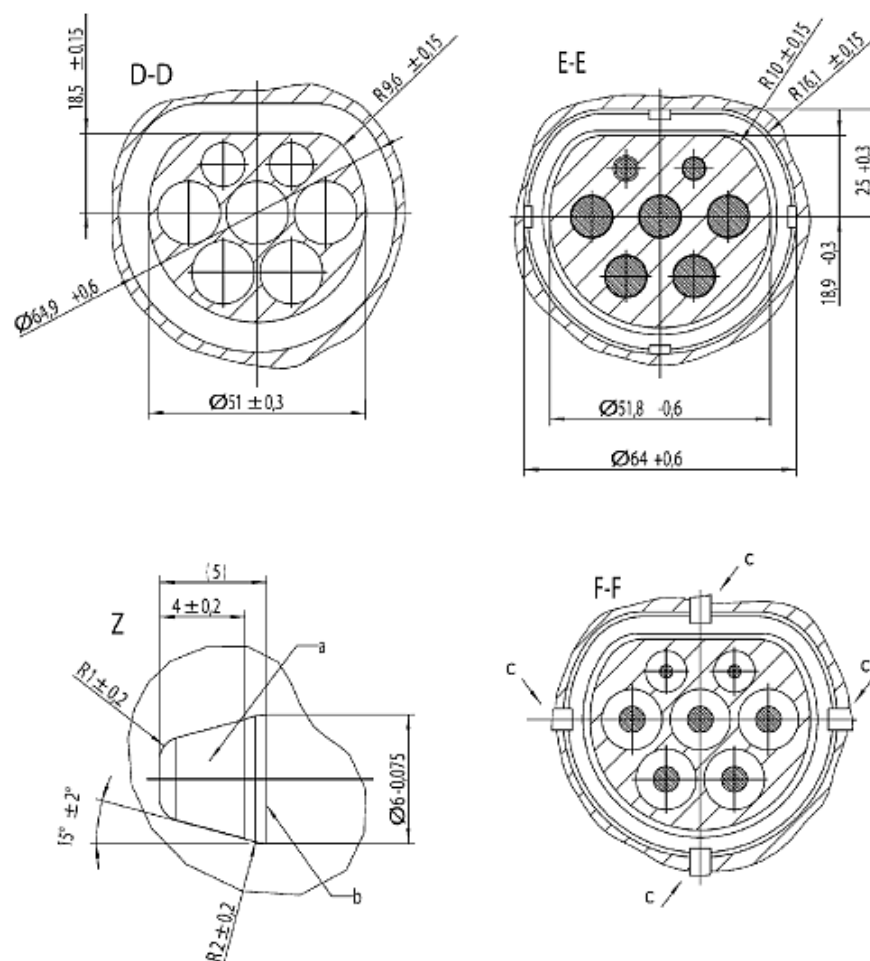


Figura 3.5 Medidas del Conector de Entrada de Vehículo para Modo 2 (monofásico) con Tipo de Configuración 2.

Ilustración tomada de [20]

Radios no acotados: R 0,5 mm a 0,7 mm,

- a. Capuchón aislado,
- b. No se aceptan aristas cortantes en la zona de transición,
- c. Posiciones de los medios de retención, se debe proveer al menos un medio de retención.

Toda la información presentada en este apartado, incluido imágenes y especificaciones resumidas en Tablas, se obtuvo de la Normativa IEC 62196-2 referenciada en [20].

3.2.1.4.3 Construcción del Conector de Entrada de Vehículo Para Modo de Carga 2

Dentro del diseño del prototipo de pruebas para estaciones de carga se dispone implementar el conector de entrada de vehículo conocido como “conector macho” en base al dimensionamiento que se especifica en el anterior apartado.

Utilizando una impresora 3D y un software de diseño computarizado se obtuvo un conector que cumple de igual forma con los requerimientos presentados en el apartado 2.1.1.5.6.1, en la Fig 3.6 se presenta el resultado de la impresión del conector de entrada del vehículo con sus pines de control piloto, detección de presencia y energización monofásica.



Figura 3.6 Impresión del Conector de Entrada de Vehículo para Modo de Carga 2: a) Vista Frontal, b) Vista de Perfil.

Referencia tomada de [20]

3.3 Dispositivos de Control y Accesorios de Seguridad

3.3.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

En nuestro sistema de pruebas se utilizará el PLC de marca Schneider Electric, modelo Modicon M251 (TM251MESE) que es de tipo controlador lógico con capacidades de expansión de hasta 7 módulos locales de E/S y de 14 módulos remotos de E/S. Este modelo de PLC es de tipo robusto y compacto, diseñado para manejar la automatización de máquinas avanzadas como maestro de comunicaciones. Cuenta con soporte de doble canal para comunicaciones basadas en serie, Ethernet y CANopen que manejan comunicaciones ascendentes y descendentes y su principal función es controlar dispositivos como variadores, de movimiento, E/S remotas y HMI (Human Machine Interface). Además cuenta con diferentes tipos de conexiones integradas como:

- Conector de puerto USB de tipo mini B USB 2.0,
- Enlace serial no aislado para RJ45 RS232/RS485,
- Puerto dual de “Ethernet 1” con RJ45,
- Puerto Ethernet de tipo “Ethernet 2” con RJ45. [21]

Tabla 3.5 Ficha Técnica del PLC M251 Schneider



Ficha Técnica	
Voltaje de Alimentación	24 V DC
Límites de voltaje de alimentación	20,4 ... 28,8 V DC
Corriente de entrada	50 A
Consumo de energía	32,6 ... 40,4 W
Capacidad de memoria	8 MB de programa 64 MB de memoria RAM del sistema
Tiempo de ejecución de mil instrucciones	0,3 ms para eventos y tareas periódicas 0,7 ms para otras instrucciones
Tiempo de ejecución por instrucción	0,022 μ s

3.3.1.1 Módulos de Expansión para el PLC

Para realizar nuestro prototipo se requiere de módulos de E/S para lectura, adquisición de datos y control de contactos desde la EVSE hasta nuestro PLC, por lo que utilizamos 2 módulos de expansión para este propósito que se detallan en los apartados a continuación.

3.3.1.1.1 Módulo Digital TM3DQ8R

Este módulo digital de salidas discretas de relés es compatible con el modelo del PLC Schneider Modicon M251, se comunican mediante un bus de datos de conexión el cual será el encargado de manejar los relés de los contactos S2 de la Fig 2.5, el contacto S3 de la Fig 3.1 y todos los demás relés (S4, S5, S6 y S7) del sistema RCD (Fig 3.1) que se explicara más adelante.

Los relés dentro de este módulo son de tipo NO (Normally Open) y cuenta con 8 salidas discretas con lógica de valores de salida positivos o negativos. [22]

Tabla 3.6 Ficha Técnica del Módulo TM3DQ8R Schneider



Ficha Técnica	
Voltaje de Alimentación	24 V DC
Voltaje de salida discreta	24 V DC para salida de relé 240 V AC
Corriente de salida discreta	2000 mA para salida de relé
Consumo de energía	0 mA en 24 V DC (en estado desactivado)
	40 mA en 24 V DC (en estado activado)
Tiempo de respuesta	10 ms (Encendido)
	5 ms (Apagado)
Durabilidad mecánica	20000000 ciclos
Carga mínima	10 mA a 5 V DC para salida de relé

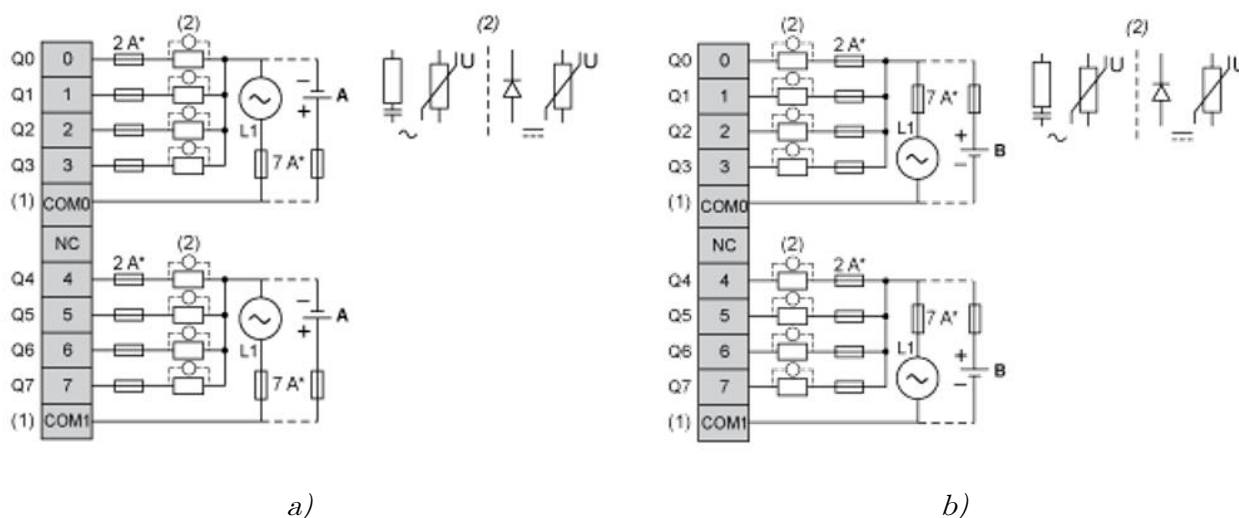


Figura 3.7 Diagramas de Conexión del módulo TM3DQ8R; a) Diagrama de Cableado con Lógica Positiva, b) Diagrama de Cableado con Lógica Negativa

Los contactos (1) COM0 y (2) COM1 son terminales que no se encuentran conectados internamente.

3.3.1.1.2 Módulo Analógico TM3AM6

Este es módulo de E/S analógico que es compatible con el modelo del PLC Schneider Modicon M251 mediante un bus de datos de conexión, será utilizado especialmente para lectura de los estados de la EVSE mediante la medición del voltaje medio de la onda PWM del control piloto y

de la señal de proximidad o presencia de vehículo con codificación de cable. El modulo está compuesto por 4 entradas analógicas con diferentes tipos de entrada como:

- Entrada de corriente entre 4 y 20 mA,
- Entrada de corriente entre 0 y 20 mA,
- Entrada de voltaje entre 0 y 10 V,
- Entrada de voltaje entre -10 y 10 V.

Y por 2 salidas analógicas del siguiente tipo:

- Salida de corriente entre 4 y 20 mA,
- Salida de corriente entre 0 y 20 mA,
- Salida de voltaje entre 0 y 10 V,
- Salida de voltaje entre -10 y 10 V. [23]

Tabla 3.7 Ficha Técnica del Módulo TM3AM6 Schneider



Ficha Técnica	
Voltaje de Alimentación	24 V DC
Límite de voltaje de alimentación	20,4 ... 28,8 V DC
Resolución de entrada analógica	12 bits 11 bits + bit de señal
Resolución de salida analógica	12 bits 11 bits + bit de señal
Sobrecarga continua permisible	13 V, tipo de entrada analógica: Voltaje 40 mA, tipo de entrada analógica Corriente
Impedancia de entrada	$\leq 50 \Omega$ para corriente $\geq 1 M\Omega$ para voltaje
Consumo de energía	45 mA a 5 V DC vía bus de datos sin carga
	55 mA a 5 V DC vía bus de datos con carga máxima
	55 mA a 24 V DC vía suministro externo son carga 100 mA a 24 V DC vía suministro externo con carga máxima
Tiempo de estabilización	1 ms
Tiempo de conversión	1 ms + 1 ms por canal + 1 tiempo de ciclo del controlador
Duración de muestreo	1 ms
	10 ms
Carga mínima	10 mA a 5 V DC para salida de relé

3.3.2 Interfaz Humano – Maquina (HMI)

El sistema del PLC se maneja directamente con la pantalla táctil avanzada modelo HMIGTO4310 de la marca Schneider con dimensiones 640 x 480 píxeles de 7.5". Esta pantalla se encargará de manejar el sistema de contactos e interruptores del control piloto para conexión y comunicación con la EVSE a través de la comunicación vía Ethernet con el PLC utilizando el protocolo Modbus TCP/IP. [24]

La programación de esta pantalla se realiza en conjunto con el PLC utilizando el software *SoMachine V4.3* que es de tipo privativo de la marca Schneider y cuenta con subprogramas para los diseños en la pantalla HMI y en el PLC.

Tabla 3.8 Ficha Técnica del Interfaz Humano – Maquina HMIGTO4310 Schneider



Ficha Técnica	
Voltaje de Alimentación	24 V DC
Límite de voltaje de alimentación	19,2 ... 28,8 V
Corriente de entrada	30 A
Consumo de energía máximo	8 W cuando no se energiza dispositivos externos,
	5 W cuando la luz de fondo está apagada,
	5,5 W cuando la luz de fondo está atenuada
	12 W
Designación de software	Vijeo Designer >= V6.1

3.3.3 Fuentes de Alimentación del Sistema

Nuestro sistema de control se encontrará energizado por 2 fuentes de alimentación conmutada en primario a todos los equipos que utilizan corriente directa, el modelo óptimo para el funcionamiento de los equipos son los UNO-PS/1AC/24DC/60W – 2902992 de la marca UNO POWER, estos equipos pueden ser montados sobre riel DIN y utilizan sistemas monofásicos. [25]

Tabla 3.9 Ficha Técnica de la Fuente de Alimentación UNO-PS/1 AC/24 DC/60 W



Ficha Técnica	
Tensión nominal de entrada	100 V AC ... 240 V AC
Rango de tensión de entrada	85 V AC ... 264 V AC
Gama de frecuencias AC	50Hz ... 60 Hz
Absorción de corriente	1,3 A (100 V AC) 0,6 A (240 V AC)
Tensión nominal de salida	24 V DC $\pm 1\%$
Corriente nominal de salida	2,5 A
Potencia de salida	60 W

3.3.4 Módulos de Relés de Estado Sólido

En la Fig 3.1 se puede apreciar los contactos S2 y S3 para la conexión del control piloto y también los contactos S4, S5, S6 y S7 para el circuito de RCD, estos contactos secos serán manejados por módulos relé para su conexión y desconexión de forma manual o automática cuando se requiera iniciar el proceso de carga y realizar pruebas de fugas de corriente dentro del sistema.

Los contactos del control piloto serán relés de marca SONGLE 24 V DC de 2 canales de bajo nivel con un valor máximo de corriente de 10 A y los contactos del circuito RCD serán manejados por relés de marca WEIDMULLER de 24 V DC y un máximo de 8 A montados sobre un kit de relé con riel DIN que permite la circulación de tensiones hasta 240 V AC y 8 A.

3.3.4.1 Relés SONGLE 24 V DC / 10 A

Son relés de señales de baja potencia que se definen como interruptores y que se accionan eléctricamente. La principal función de estos relés en el circuito es la conexión y desconexión del control piloto mediante el cierre del lazo del circuito entre CP y PE, además hay otro relé que se encarga de seleccionar la resistencia de carga o resistencia de ventilación para indicar a la EVSE que se requiere de ventilación en la zona de carga (ver apartado 2.1.2.3.2.1). [26]

Tabla 3.10 Ficha Técnica del Relé Songle SRD-24VDC-SL-C



Ficha Técnica	
Tensión nominal de entrada	24 V DC de 2 canales
Tensión de relé de alta corriente	250 V AC / 10 A 30 V DC / 10 A
Capacidad de contactos	10 A 28 V DC 10 A 250 V AC
Voltaje máximo permisible	250 V AC / 110 V DC
Potencia máxima permitida	1200 VA / 300 W
Tiempo de operación	Máximo 10 ms
Tiempo de liberación	Máximo 5 ms

3.3.4.2 Módulos Relés WEIDMULLER 24VDC 2CO LD/PB / 8 A

Este módulo relé está diseñado para que a través de los contactos de su kit, fluyan mayores tensiones cuando su bobina se active, el relé solo por su cuenta funciona a una baja potencia con una tensión de 24 V DC a 8 A, mientras que por sus contactos del kit puede circular potencias más altas de hasta 400 V AC y 15 A lo que le hace óptimo para ser usado en nuestro circuito RCD y simular fugas de corrientes cuando se activan estos relés. [27]

Tabla 3.11 Ficha Técnica del Módulo Relé WeidMuller 254 VDC 2CO LD/PB



Ficha Técnica	
Tensión nominal de entrada	24 V DC
Tensión de conexión/desconexión	16,8 V / 2.4 V
Potencia máxima de conmutación AC	2000 VA
Potencia máxima de conmutación DC	192 W @ 24 V
Intensidad de conexión	15 A / 4 s
Retardo de conexión	≤ 10 ms
Retardo de desconexión	≤ 6 ms
Tensión de conexión máxima en AC	400 V
Tensión de conexión nominal	250 V AC

3.3.5 Contactor y Dispositivos de Seguridad

Este dispositivo será de mucha importancia dentro del prototipo de pruebas en estaciones de carga de EV's debido a que es el encargado de accionar el transcurso de energía desde la EVSE hasta la

carga del dispositivo cuando todos los procesos de comunicación y conexión se hayan llevado a cabo.

Este equipo será utilizado como dispositivo seguridad y de control de la carga mediante un botón de acción manejado desde la interfaz HMI. Se usará un contactor compuesto de 3 contactos de marca Schneider TeSys D LC1D50AU7. [28]

A demás se prevé de otros dispositivos de seguridad para sobrecargas dentro del sistema como fusibles, breakers para operar dentro del rango permitido, el sistema contara también con un botón de parada de emergencia para cortar toda energía al sistema en caso de emergencia.

Tabla 3.12 Ficha Técnica del Contactor TeSys D LC1D50AU7



Ficha Técnica	
Tensión nominal de entrada de bobina	240 V AC 50/60 Hz
Tasa de corriente operacional	50 A a ≤ 440 V AC de 3 fases para el circuito de energía 80 A a ≤ 440 V AC de 1 fase para el circuito de energía
Potencia máxima del circuito	15 kW 220 ... 230 V AC 50/60 Hz trifásico 22 kW a 380 ... 400 V AC 50/60 Hz trifásico 30 kW a 440 V AC 50/60 Hz trifásico
Disipación de energía por polo	3.7 W 3 polos 9.6 W 1 polo
Intensidad de conexión	15 A / 4 s
Retardo de conexión	4 ... 19 ms
Retardo de desconexión	12 ... 23 ms
Tensión de conexión máxima en AC	690 V

3.4 Construcción del Circuito de Control Piloto

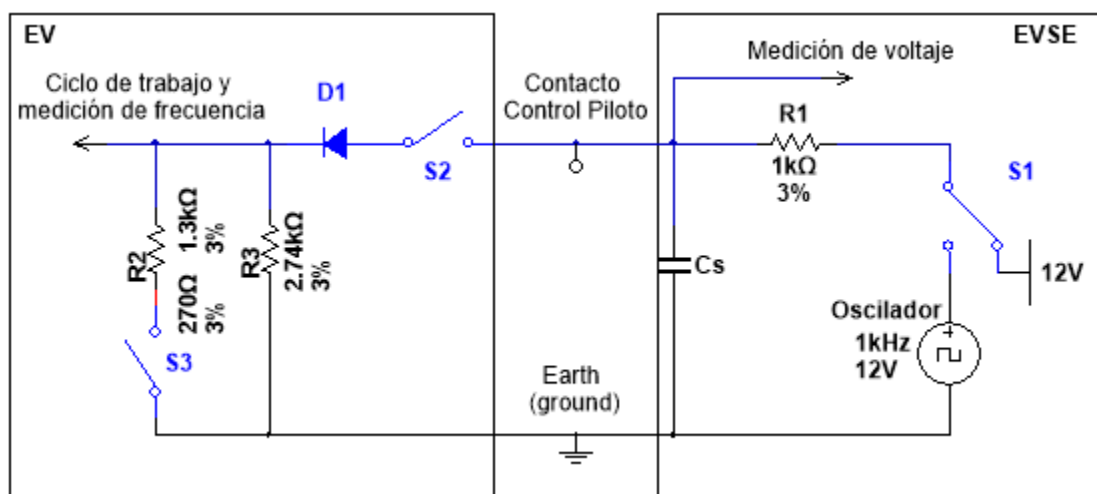


Figura 3.8 Circuito Típico del Control Piloto de Acuerdo a la Norma IEC 61851-1. [29]

Tomando como referencia las especificaciones y referencias del apartado 2.1.2.3.2.1 se construye el circuito del control piloto en base a las Normativas sobre una placa perforada, el circuito se construye con resistencias de precisión ($\pm 1\%$), un diodo rectificador 2N4001 y con los relés presentados en 3.3.4.1, dando como resultado lo siguiente.



Figura 3.9 Circuito del Control Piloto

3.5 Módulo de Lectura del Circuito de Control Piloto

Este módulo de lectura tendrá como propósito leer los valores y estados del control piloto debido a que el PLC y sus módulos de expansión para lecturas analógicas tienen capacidades limitadas como un máximo de valores de tensión de ± 10 V DC y muestreo máximo de periodos 1 ms (ver sección 3.3.1.1.2), el circuito del control piloto opera con tensiones para la onda PWM de ± 12 V DC a una frecuencia de 1 kHz a (ver sección 2.1.2.3.2.1).

Para cuidar la integridad del módulo de expansión se realizará el diseño y construcción de este módulo para adaptar los voltajes de la onda cuadrada PWM de ± 12 V DC a 5 V DC mediante el circuito de acondicionamiento de señal que se presenta en la Fig 3.10

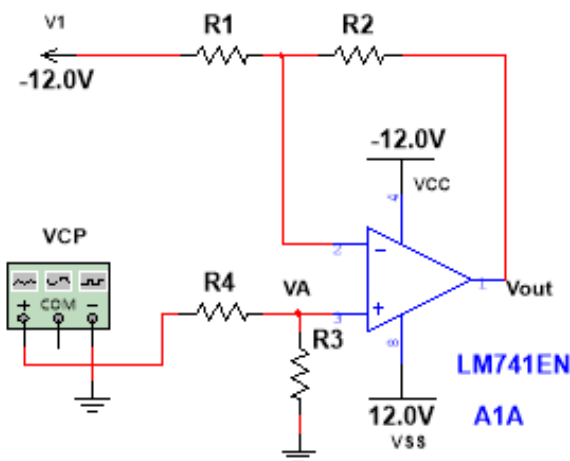


Figura 3.10 Circuito Acondicionador de Señal para Lectura del Circuito del Control Piloto

Este circuito es conocido como circuito restador de señales y adapta los valores positivos máximos de la onda PWM a un rango máximo de +5 V DC para lectura del módulo analógico del PLC mediante la siguiente ecuación (1) para el voltaje de salida:

$$(1) \quad V_{out} = VCP \times \frac{R3}{R2} - V1 \times \frac{R3}{R1}$$

3.5.1 Cálculos para el Módulo de Lectura del Circuito de Control Piloto

De acuerdo a la ecuación (1) se tiene que calcular los valores de las resistencias para que cumplan con las condiciones descritas de funcionamiento, para eso procedemos a calcular el voltaje VA de la Fig 3.9 con la siguiente ecuación:

$$(2) \quad VA = \frac{VCP}{R3+R4} \times R3$$

$$(3) \quad V_{out} = VA - R2 \times \left(\frac{V1-VA}{R1} \right)$$

Y ahora reemplazando (1) en (2):

$$(4) \quad V_{out} = \frac{V_{CP} \times R_3}{R_4 + R_3} - \frac{R_2}{R_1} \times V_1 + \frac{R_2}{R_1} \times \frac{V_{CP} \times R_3}{R_3 + R_4}$$

Se deben considerar las siguientes condiciones para poder reducir las ecuaciones:

- $R_4 + R_3 > 40 \text{ k}\Omega$
- $\Delta V_{CP} = 24 \text{ V}$ y $\Delta V_{out} = 5 \text{ V}$
- V_{CP} es la onda PWM del control piloto con valores máximos de tensión de $\pm 12 \text{ V}$
- V_1 se considera en modo offset con 0 V
 - Si: $V_{CP} = +12 \text{ V} \rightarrow V_{out} = 5 \text{ V}$
 - Si: $V_{CP} = -12 \text{ V} \rightarrow V_{out} = 0 \text{ V}$

$$(5) \quad V_{out} = \frac{V_{CP} \times R_3}{R_4 + R_3} - \frac{R_2}{R_1} \times V_1 + \frac{R_2}{R_1} \times \frac{V_{CP} \times R_3}{R_3 + R_4}$$

La ecuación (5) se reduce a:

$$(6) \quad V_{out} = \frac{V_{CP} \times R_3}{R_4 + R_3} + \frac{R_2}{R_1} \times \frac{V_{CP} \times R_3}{R_3 + R_4}$$

Imponiéndonos un valor de $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ y reemplazando las condiciones en la ecuación (2)

tenemos lo siguiente:

$$(7) \quad V_{out} = \frac{V_{CP} \times 10 \text{ k}}{40 \text{ k}}$$

$$(8) \quad V_{out} = \frac{V_{CP} \times 10 \text{ k}}{61 \text{ k}}$$

Y obtenemos:

$$(9) \quad R_3 = 10 \text{ k}\Omega \text{ y } R_4 = 51 \text{ k}\Omega$$

Ahora considerando a V_{CP} en modo offset = 0 V y $V_1 = -12 \text{ V}$ tenemos:

$$(10) \quad 2.5 \text{ V} = R2 \times I \rightarrow 2.5 \text{ V} = -\frac{R2 \times V1}{R1}$$

$$(11) \quad 2.5 \text{ V} = 12 \times \frac{R2}{R1}$$

$$(12) \quad \frac{R1}{R2} = \frac{12}{2.5} = 4.8$$

Dando como resultado:

$$(13) \quad R1 = 12 \text{ k}\Omega \text{ y } R2 = 2.5 \text{ k}\Omega$$

Y se procede a armar la simulación del circuito con los valores obtenidos para las resistencias del circuito que se presenta en la Fig 3.11.

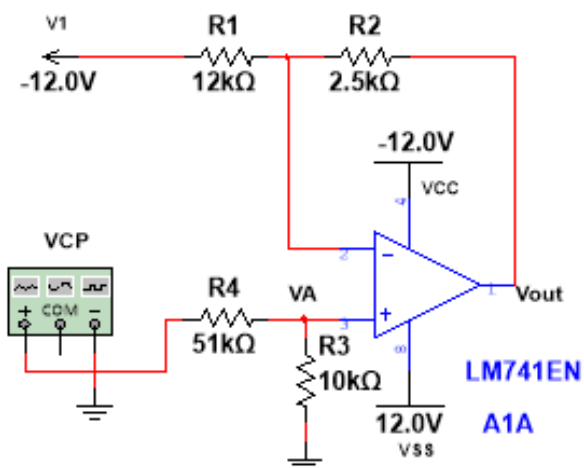


Figura 3.11 Circuito Acondicionador de Señal como Restador de Señales

Realizando una sencilla simulación dentro del software Multisim 14, obtuvimos en la Fig 3.12 las gráficas de la onda PWM de entrada **VCP** (color azul) vs la onda PWM de salida trasladada al rango de +5 V DC **Vout** (color rojo).

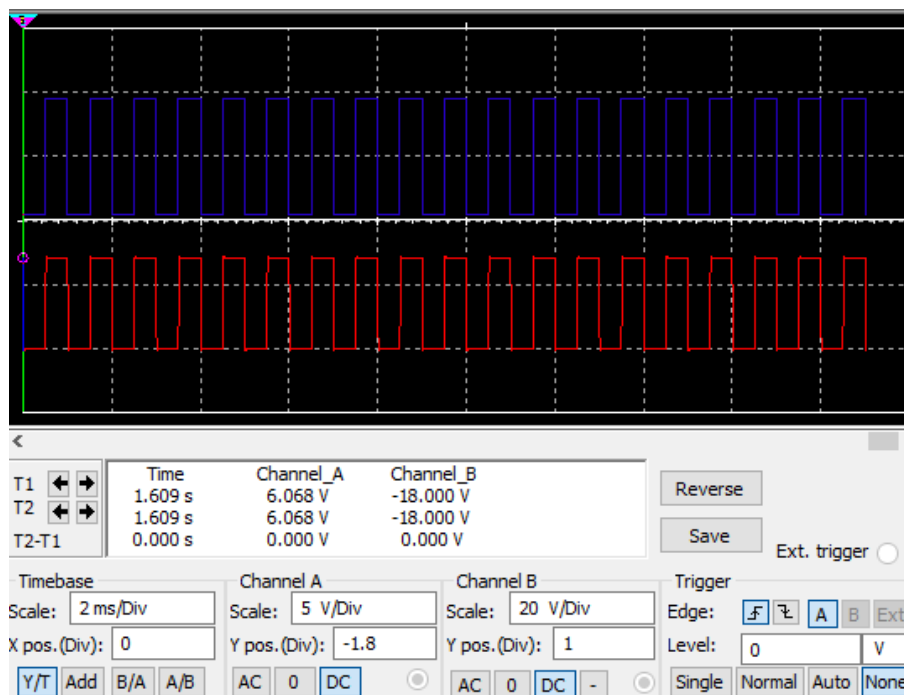


Figura 3.12 Simulación del Circuito Acondicionador de Señal en Multisim 14

3.5.2 Construcción del Módulo de Lectura del Circuito del Control Piloto y Detección de Proximidad

En base a los cálculos realizados en el apartado anterior, se realizará la construcción del circuito sobre una placa perforada. Con el objetivo de conseguir la mayor eficiencia de uso de los dispositivos del prototipo, las fuentes de alimentación que se especifican en el apartado 3.3.3, se utilizarán para energizar el módulo de lectura del control piloto; además, se implementará una tarjeta de desarrollo Arduino Nano para complementar la velocidad de lectura del módulo analógico del PLC.

El circuito de detección de proximidad se construye de igual forma sobre la placa perforada para optimizar el espacio, su construcción se basa en los diseños presentados dentro de las Normativas de los apartados 2.1.1.3.3 y 2.1.2.5.1.

Debido que la fuente de alimentación entrega 24V DC, se usarán reguladores de voltaje tipo L7812 y L7912, para obtener +12V DC y -12V DC respectivamente para alimentar los pines de colector de voltaje (VCC) y voltaje de fuente (VSS) del amplificador operacional LM741 de la Fig 3.11. La construcción del módulo de lectura utilizará resistencias de precisión ($\pm 1\%$) para cumplir con lo que se especifica en la Tabla 2.13, el resultado es el siguiente.

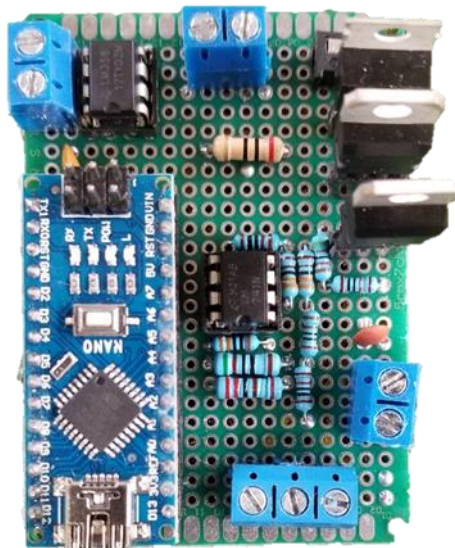


Figura 3.13 Módulo de Lectura del Circuito del Control Piloto y Detección de Proximidad

3.6 Módulo de Detección de Corrientes Residuales (RCD)

Este dispositivo será de gran utilidad para realizar pruebas en las estaciones de carga y su respuesta con respecto a la seguridad e integridad de los usuarios frente a fugas de corriente.

Su diseño se basa específicamente en el uso de resistencias o cargas de diferente valor por donde se desviará parte de la corriente de carga previamente calculada, con la finalidad de encontrar la tolerancia de fugas de corriente de las EVSE's. Las estaciones de carga cuentan con un sistema de medición de corriente que detectan si existe alguna diferencia mayor a la referencia entre el valor de corriente suministrada versus la que retorna por el circuito cerrado de carga, de ser así, el sistema de protección de la estación abre el contactor por el cual atraviesa la energía que se suministra al vehículo cuando se supera la tolerancia máxima permitida.

La tolerancia se encuentra alrededor de 30 mA (ver apartado [2.1.2.4.2](#)) basada en los valores que causen afecciones desde niveles leves a severas para el cuerpo humano.

En el artículo [30] los autores hablan sobre cómo se conduce la corriente eléctrica alterna a 60 Hz a través del cuerpo humano al entrar en contacto con materiales conductivos como el cobre, cuál es su tolerancia y los efectos que presentan a niveles internos como en los músculos y órganos; en la Tabla 3.13 se resume los efectos en el cuerpo humano a diferentes valores de corriente eléctrica.

Tabla 3.13 Efectos Estimados de Corrientes AC a 60 Hz Sobre el Cuerpo Humano

Referencia tomada de [30] y de NIOSH (Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional) [31]

Valores de Corriente en AC	Efectos Sobre el Cuerpo Humano
1 mA	Apenas perceptible
16 mA	Corriente máxima que una persona promedio puede detectar y “soltar”
20 mA	Parálisis de los músculos respiratorios ^a
100 mA	Umbral de fibrilación ventricular
2 A	Paro cardíaco y daño en órganos internos
15/20 A	Disyuntor común de fusible abre el circuito ^b

- a. El contacto con 20 mA de corriente puede llegar a ser fatal.
b. Como marco de referencia, los disyuntores comunes en los hogares están diseñados para tolerar 15, 20 y 30 A.

Teniendo como referencia los valores de tolerancia presentados por la NIOSH, se puede diseñar el módulo RCD con cálculos de corriente que se encuentren dentro del rango tolerable para el cuerpo humano; se debe recordar que el sistema de pruebas para estaciones de carga se realizará para estaciones de caso C, modo de carga 2 (ver apartado [2.1.2.3.1](#)) y con conectores de configuración de tipo de 2 (ver apartado [3.2.1.4.1](#)) que toleran un máximo de 32 A de corriente AC.

En base a una carga aproximada de $10\ \Omega$ y un valor de tensión de la estación de carga 223 V AC, se obtiene el valor de corriente máxima que circulará por el sistema de carga con la siguiente ecuación de la ley de Ohm:

$$(14) \quad I = \frac{V}{R} = \frac{223\ V}{10\ \Omega} = 22,3\ A$$

En función al resultado de la ecuación (14) si suponemos valores aleatorios de corriente que se encuentren dentro del rango de valores presentados en la Tabla 3.13, se puede aproximar a valores de resistencias comerciales disponibles en el mercado: Ω

- Para un valor de 25 mA y un voltaje de 223 V AC se tiene un valor de resistencia:

$$(15) \quad R = \frac{V}{I} = \frac{223}{25 \times 10^{-3}} = 8.92\ k\Omega \rightarrow \text{se aproxima a } 8.2\ k\Omega \text{ (valor comercial)}$$

- Para un valor de 33 mA y un voltaje de 223 V AC se tiene un valor de resistencia:

$$(16) \quad R = \frac{V}{I} = \frac{223}{32 \times 10^{-3}} = 6.97\ k\Omega \rightarrow \text{se aproxima a } 6.8\ k\Omega \text{ (valor comercial)}$$

- Para un valor de 65 mA y un voltaje de 223 V AC se tiene un valor de resistencia:

$$(17) \quad R = \frac{V}{I} = \frac{223}{65 \times 10^{-3}} = 3.43\ k\Omega \rightarrow \text{se aproxima a } 3.3\ k\Omega \text{ (valor comercial)}$$

- Para un valor de 110 mA y un voltaje de 223 V AC se tiene un valor de resistencia:

$$(18) \quad R = \frac{V}{I} = \frac{223}{110 \times 10^{-3}} = 2.02\ k\Omega \rightarrow \text{se aproxima a } 2\ k\Omega \text{ (valor comercial)}$$

3.6.1 Simulación en Multisim del Módulo RCD

Procedemos a armar el circuito del módulo RCD para observar su comportamiento en el software Multisim 14 y se obtuvo los siguientes resultados:

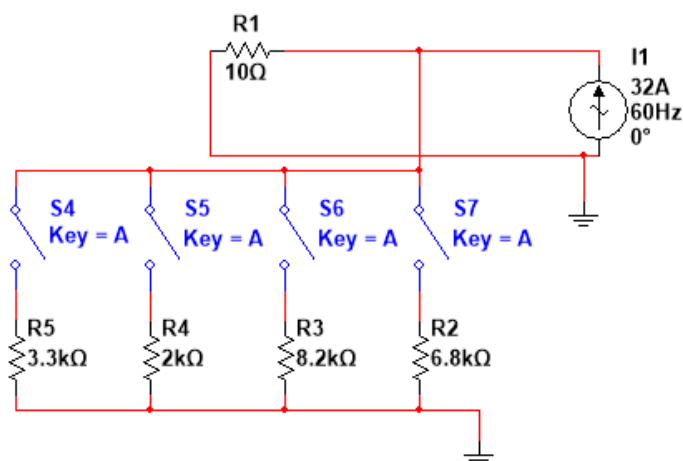


Figura 3.14 Simulación del Módulo RCD en Multisim 14

Iniciando la simulación se colocan varios medidores de corriente y de tensión para observar el funcionamiento del módulo RCD dentro del circuito de carga del EV, los resultados se presentan en la Fig 3.15

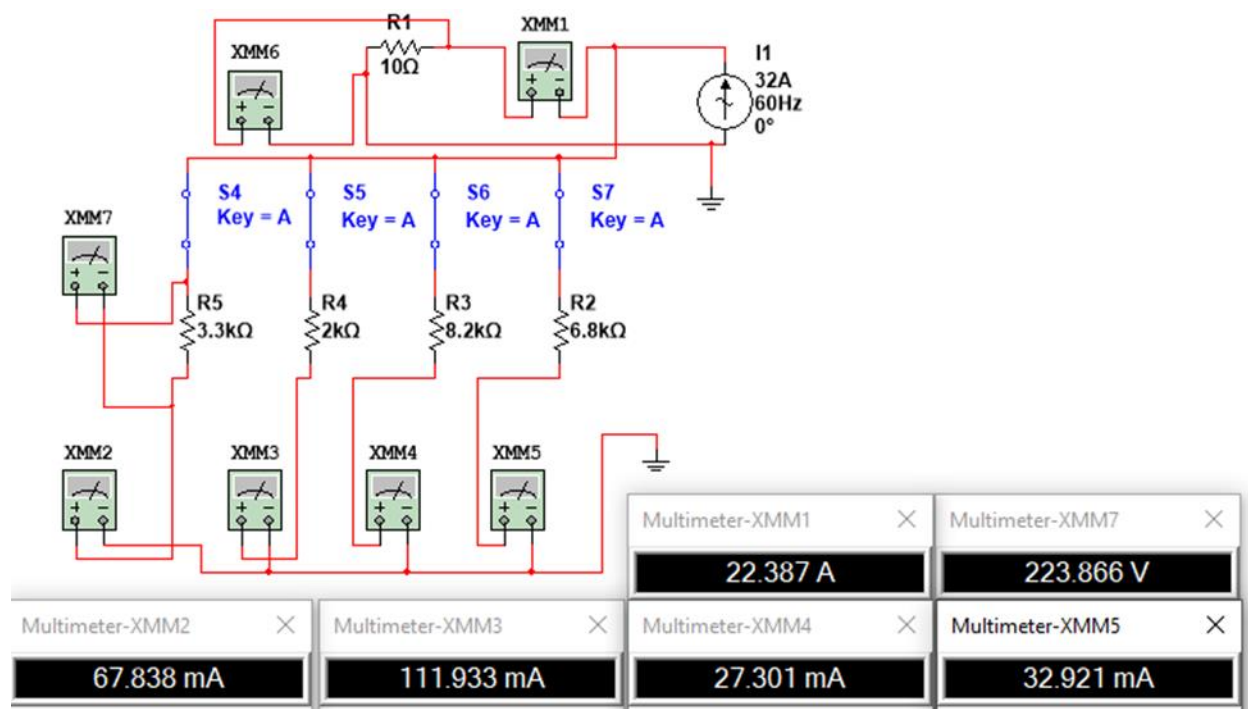


Figura 3.15 Simulación en Multisim del Funcionamiento del Módulo RCD

Se aprecia que los valores de corriente son consistentes con los cálculos de las resistencias, en base a la información de la Tabla 3.13 y el apartado 2.1.2.4.2, el cierre del contacto S6 (27.3 mA) deberá ser el único permitido por la EVSE ya que respeta el valor de corriente de fuga máxima, cualquier cierre de los otros contactos deberá des-energizar el sistema de carga debido a que se supera el límite permitido establecido por la Norma IEC 62851-1.

En función a que cada cuerpo humano actúa y tolera tensiones de diferente manera, el valor máximo de corriente fuga que permite el circuito RCD será la suma de las 4 corrientes de fuga con un total de $I_t = 239.3 \text{ mA}$ valor que se encuentra fuera de los límites permitidos para el correcto funcionamiento de cualquier EVSE.

3.6.2 Construcción del Módulo RCD

La construcción del módulo RCD utilizará resistencias de potencia con tolerancia de $\pm 5\%$ y que soportan hasta 5W de carga, estas resistencias están asociadas con los relés S4 a S7 de la Fig 3.1 como se indica:

- El contacto **S4** cierra la conexión del circuito con la resistencia $R5 = 3.3 \text{ k}\Omega$
- El contacto **S5** cierra la conexión del circuito con la resistencia $R4 = 2 \text{ k}\Omega$
- El contacto **S6** cierra la conexión del circuito con la resistencia $R3 = 8.2 \text{ k}\Omega$
- El contacto **S7** cierra la conexión del circuito con la resistencia $R2 = 6.8 \text{ k}\Omega$

Con la ayuda de una placa perforada se construyó el siguiente modulo:



Figura 3.16 Módulo RCD



3.7 Programación de los Controladores del Sistema de Pruebas en Estaciones de Carga

El software de programación lógica utilizado es SoMachine V4.3, que es de gran utilidad para configurar y programar los dispositivos de control de la marca Schneider ya que cuenta con las licencias y firmware necesarios para el reconocimiento y validación de los equipos. Cuenta con subprogramas específicos para diseñar el programa de cada dispositivo y la interacción que tendrá con el usuario, además de configurar la comunicación entre los dispositivos mediante diferentes protocolos que se incluyen en el software.

En el diseño del prototipo especifica que el sistema de control será manejado desde la pantalla HMI, existe una comunicación bidireccional entre el PLC y el HMI mediante el protocolo Modbus TCP/IP para verificar los procesos y la validación de estados sobre el control piloto y el proceso de carga del EV. En los apartados siguientes se explica a detalle la programación y configuración de los sistemas del PLC y de la pantalla HMI.

3.7.1 Programación del PLC Schneider TM251

Para poder empezar con la configuración del dispositivo dentro del software de SoMachine, se debe buscar con el nombre del mismo en la casilla de “configuración” y dentro de la lista de controladores lógicos disponibles seleccionar el modelo de PLC que se utilizará, en este caso es el modelo TM251MESE.

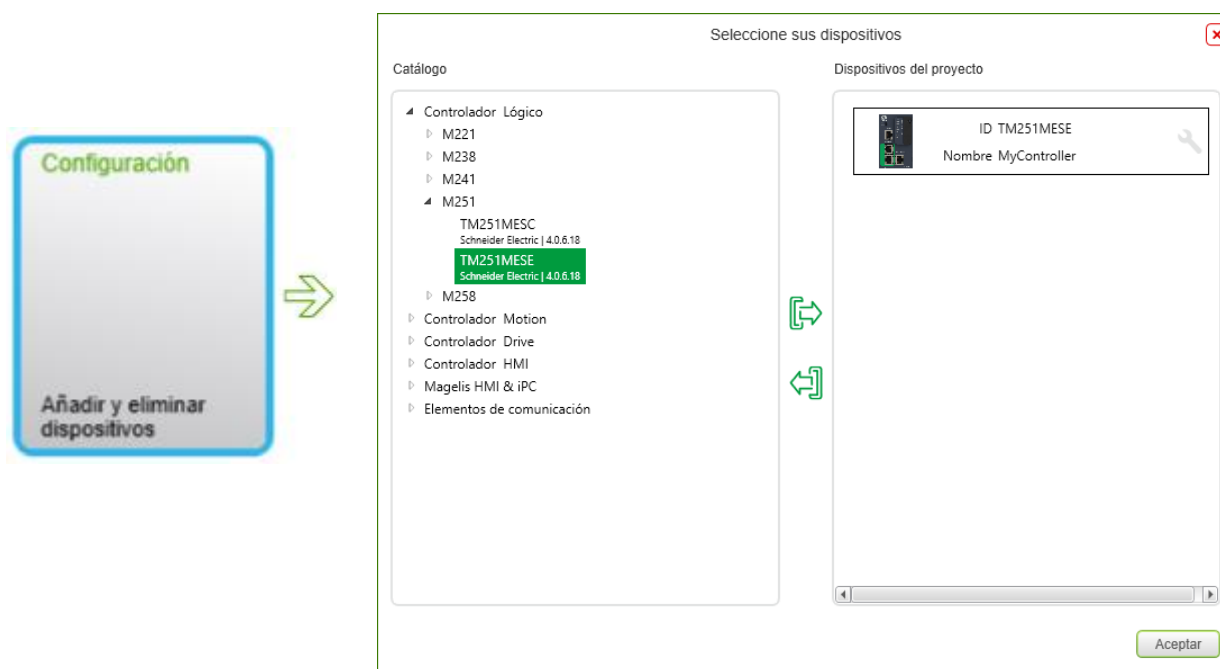


Figura 3.17 Configuración y Selección del PLC a Programar en SoMachine

El sistema se configura automáticamente para la programación del dispositivo seleccionado y de ser necesario se actualizará el firmware del PLC dependiendo de la versión del software que se esté utilizando. Se procede con el diseño de la aplicación y con el programa del dispositivo seleccionado la casilla disponible en la ventana que se presenta en la Fig 3.18.



Figura 3.18 Casilla de Inicio Para el Diseño de la Aplicación del PLC

Dentro de esta casilla se puede abrir el controlador lógico para agregar o modificar los objetos lógicos, las visualizaciones incorporadas o realizar diagnósticos online de las aplicaciones propias.

A continuación, dentro de “Application” se crea un POU (Programmable Organization Unit), que se refiere a todo bloque que se ejecutará dentro del PLC, se escoge también el modo de programa y el lenguaje de implementación que será “diagrama de contactos o Ladder diagram (LD)” que es un lenguaje gráfico utilizado para autómatas programables debido a que se basa en esquemas eléctricos de los control clásicos, siendo un lenguaje popular y estandarizado dentro de la Norma IEC 61131-3.

Se crea luego una llamada de programa de POU dentro del “MAST” y se puede empezar con el diseño de programa con diagrama de contactos haciendo doble clic en “POU (PRG)”.

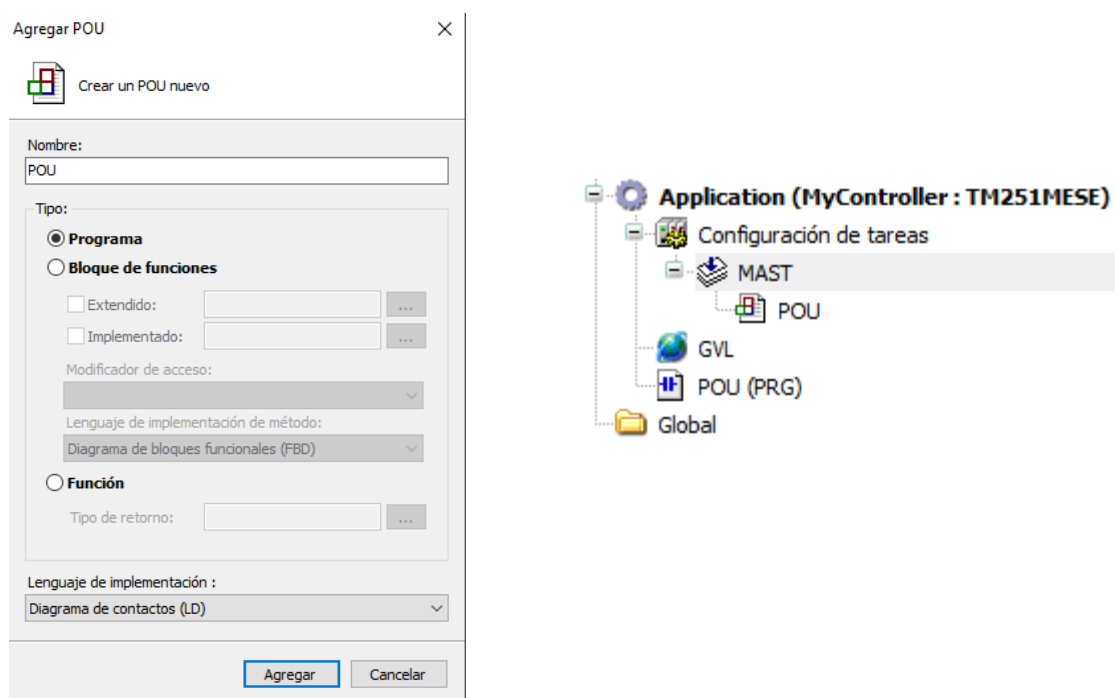


Figura 3.19 Creación del POU (programa) y Selección del Lenguaje de Programación

El programa diseñado para la aplicación del sistema de pruebas en estaciones de carga se presenta en el Anexo [A.1](#).

3.7.2 Programación de la Pantalla Schneider HMIGTO43

La configuración del software para la selección de la interfaz HMI es similar que en el apartado anterior, con la diferencia que el software SoMachine cuenta con un subprograma propio llamado “Vijeo Designer” para el diseño de aplicaciones en pantallas HMI.

Se escoge el modelo “HMIGTO4310” que es de la pantalla a utilizar dentro del listado que se presenta en la Fig 3.20

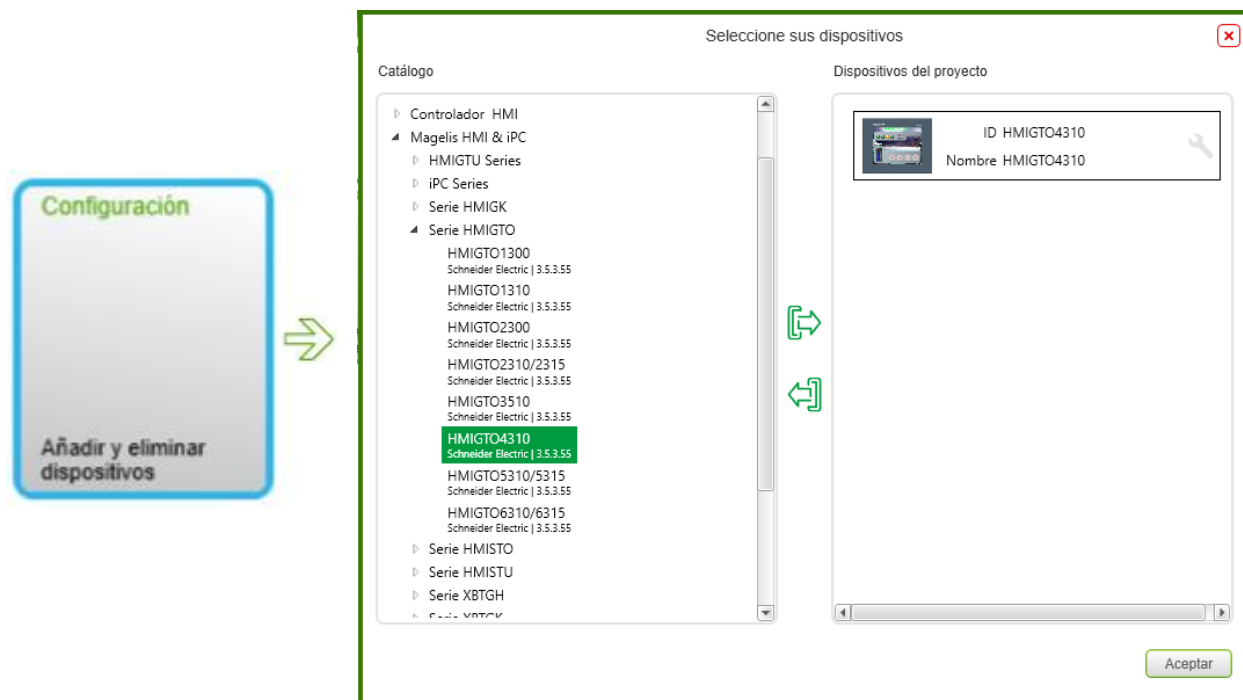


Figura 3.20 Configuración y Selección del HMI a Programar en SoMachine

Una vez seleccionado el dispositivo correcto, se pulsa aceptar y el software se configura automáticamente para trabajar sobre la pantalla HMI escogida. El software reconoce el dispositivo como un panel HMI y procede a habilitar la pestaña específica para poder diseñar la aplicación que el usuario requiera dentro del diseño de aplicaciones seleccionando la opción “HMI”



Figura 3.21 Casilla de Inicio Para el Diseño de la Aplicación del HMI

Se abrirá automáticamente el subprograma de *Vijeo Designer* con una presentación en blanco como se muestra en la Fig. 3.22. Existen diferentes formas de crear las aplicaciones para la interfaz gráfica, en nuestro caso se hará uso de un panel base y de varias ventanas emergentes que permitirán acceder a varias opciones para operar el sistema de pruebas en estaciones de carga.

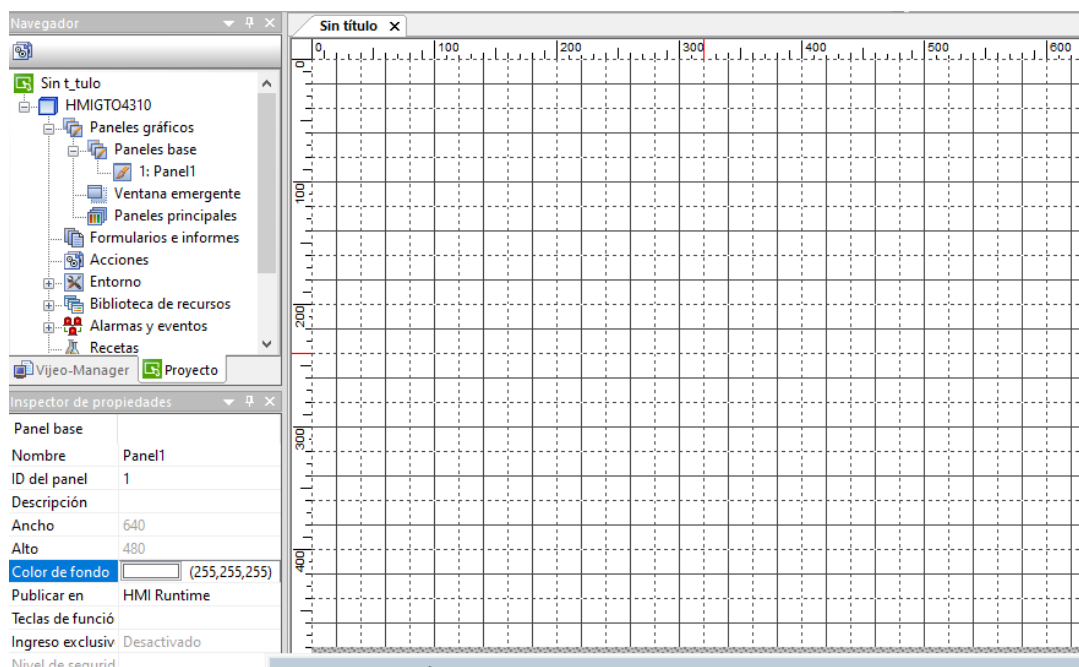


Figura 3.22 Panel Base en Blanco de Diseño de la Aplicación de la Interfaz Gráfica HMI

El panel principal que se colocará como base, llevará un diseño informativo y de selección de menús mediante botones para acceder a las diferentes ventanas emergentes que se diseñarán

conforme las necesidades del prototipo de pruebas, en la Fig 3.23 se presenta el diseño final obtenido del panel base.



Figura 3.23 Diseño Final del Panel Base

En este diseño se contempla la conexión correcta con el PLC mediante el indicador “Connected” en la parte superior y el piloto de color verde, además de indicar hora y fecha, se indica en la parte inferior los botones para cambiar entre ventanas, los botones se diseñan en base a lo que cada ventana emergente contenga para el manejo del usuario. Siendo diseñados con los siguientes requisitos:

- **ENCENDIDO:** este botón abrirá la ventana de conexión con el EV e inicio automatizado del proceso de carga.
- **RCD:** dentro de este botón se presentará el diseño del circuito RCD para realizar las pruebas necesarias de fugas de corriente cuando el proceso de carga haya comenzado.
- **CONTACTOS:** aquí se presentará el sistema de conexión manual con el EV para iniciar el proceso de carga, haciendo que la EVSE se conecte y reconozca al EV mediante el cierre voluntario de contactos manejados por el usuario. De esta forma se podrá realizar pruebas sobre el sistema del control piloto de la estación conectando y desconectando el vehículo a propósito en diferentes etapas del proceso de carga.

En la Fig 3.24 se presentan las 3 ventanas emergentes diseñadas en base a los requisitos presentados anteriormente.

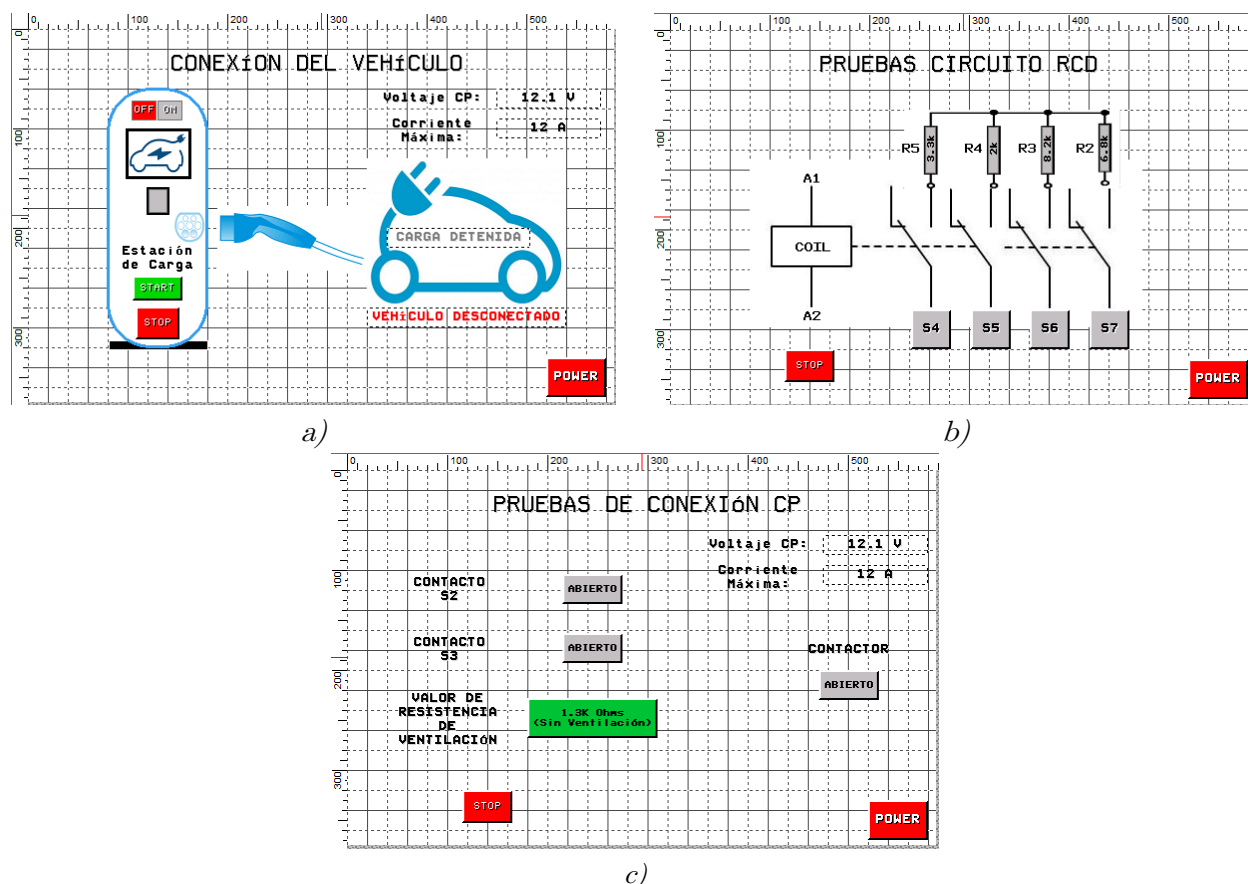


Figura 3.24 Diseño Final de las Ventanas Emergentes: a) Ventana ENCENDIDO, b) Ventana RCD y c) Ventana CONTACTOS

Por seguridad del sistema y del usuario se colocó un botón "POWER" en cada ventana que hace la función de un interruptor de energización del sistema, en caso de cualquier fallo se presiona este botón y el sistema se apaga dejando sin acción a la pantalla y al PLC hasta que se vuelva a pulsar y activar.

A continuación se explica a detalle cada botón implementado en las ventanas emergentes y su funcionalidad:

- **Ventana de ENCENDIDO:** dentro de esta ventana se estableció un sistema de inicio del proceso de carga automático, el usuario pulsa el botón de "START" y el PLC realiza la lectura de los valores del circuito de control piloto y de la detección de proximidad, y los comprueba con los estados de carga de la Tabla 2.14. Si las lecturas son correctas el sistema se activa cerrando los contactos necesarios y se inicia el proceso de carga.
- **Ventana de RCD:** mientras el proceso de carga se haya iniciado, el usuario puede realizar pruebas de fugas de carga sobre la estación, cada contacto desde a S4 a S7 se encarga de

cerrar un relé y provocando un desvío de corriente hacia tierra, los valores de resistencia asociados a los contactos son los que se indican en el apartado 3.6.2.

- **Ventana CONTACTOS:** esta ventana permite realizar una conexión manual con la estación de carga mediante el cierre voluntario de los contactos S2, S3 y Contactor que corresponden a los contactos del circuito del control piloto y al contacto de paso de energía (contactor) hacia la resistencia de carga respectivamente, además aquí se puede probar la respuesta del sistema de la EVSE frente al cambio provocado en el valor de la resistencia de ventilación de $1.3\text{ k}\Omega$ a $270\ \Omega$ (ver Tabla 2.13), que indica a la estación que el sistema requiere ventilación para las baterías del EV y su respuesta deberá ser acorde a los estados presentados en la Tabla 2.14 reduciendo el voltaje medio de la onda PWM a 3 V.

Cada botón y piloto insertado en las ventanas emergentes tienen una programación bidireccional con el PLC mediante el uso de variables, es decir, el usuario interactúa con la pantalla táctil y sus botones mientras el PLC recibe la señal de cada botón, verifica y comprueba los procesos, y responde activando el circuito correspondiente.

Se agregaron también dos variables de lectura que corresponden al voltaje del control piloto “Voltaje CP”, el cual es medido mediante el módulo de lectura del circuito de CP y a la detección de proximidad ambos presentados en el apartado 3.5.2. Una operación extra del circuito de detección de proximidad es que debe medir el valor de la resistencia interna de la pistola de carga mediante su lectura de voltaje en el pin PP y estimar el valor máximo de corriente “Corriente Máxima” que puede entregar la estación de carga de acuerdo al calibre de cable utilizado, estos valores se resumen en la Tabla 2.19.

Capítulo 4 : Resultados de Fase de Pruebas de Funcionamiento

4.1 Consideraciones Iniciales del Proceso de Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizarán sobre una estación de carga monofásica de nivel 2 que opera a 220 V AC y entrega un máximo de corriente de 32 A, la cual cuenta con el acoplador de carga tipo 2 presentado en el apartado 3.2.1.4.1 correspondiente a la Norma IEC 62196-2.

El sistema de pruebas en estaciones de carga construido tiene la característica de interoperabilidad de sus accesorios ya que puede funcionar con diferentes marcas y modelos de estaciones de carga pudiendo ser monofásicas o trifásicas, al igual que con acopladores construidos por diferentes fabricantes, siendo esta una característica muy importante dentro de la realización de pruebas en las estaciones dentro de líneas de producción cumpliendo con el objetivo principal del diseño de este trabajo de titulación.

Una vez dimensionadas las tensiones y rangos de operación del sistema de carga de acuerdo a las prestaciones de las estaciones de carga monofásicas de nivel 2 revisadas en la Tabla 2.11 del apartado 2.1.2.3.1.2, se procede a utilizar como resistencia de carga una niquelina de 6 kW de potencia que opera a 240 V máximo, su resistencia interna es $\sim 10 \Omega$ que concuerda con los cálculos realizados en el apartado 3.6 en la ecuación (14), obteniendo un valor de corriente 22,3 A dando como resultado una potencia:

$$(19) \quad P = V * I = 220 \text{ V} * 22.3 \text{ A} = 4906 \text{ W} \sim 5 \text{ kW}$$

Por lo tanto la niquelina adquirida soporta los valores de operación de la estación de carga a probar, siendo la niquelina la que se presenta en la Fig 4.1



Figura 4.1 Niquelina de 240 V a 6000 W

La niquelina requiere estar sumergida completamente en agua debido a la gran cantidad de calor de disipa en ella, para que se active el paso de energía desde la EVSE hasta la carga, el sistema verifica los estados de carga del control piloto y la continuidad eléctrica en el pin de detección de proximidad para poder cerrar el contactor dando paso a energizar la niquelina y consumir energía en forma de disipación de calor.

4.2 Escenario de Pruebas de Funcionamiento en una Estación de Carga Monofásica de Nivel 2

Se procede a armar el circuito de carga con los equipos necesarios que son el sistema de pruebas en estaciones de carga, la EVSE y la niquelina sumergida en agua, una vez listo el escenario procedemos a encender la estación de carga con el acoplador desconectado



Figura 4.2 Estación de Carga Monofásica de Nivel 2

En la Fig 4.2 se presenta la estación de carga que se utilizará para realizar pruebas y verificar su funcionamiento, la EVSE se encuentra en estado de espera a que el usuario inserte el acoplador de carga al conector de entrada del vehículo, en este caso, al sistema de pruebas.

La Tabla 4.1 indica los estados de carga del EV en los cuales puntualizaremos las pruebas de funcionamiento de la estación de carga basándonos en lo que especifican las Normativas SAE J1772 e IEC 61851-1 que se resumen en las Tablas 2.3 y 2.14 respectivamente. Se explicará a detalle el funcionamiento de la estación y de sistema de pruebas en cada uno de ellos.

Tabla 4.1 Estados de Prueba de Carga del EV

Estados	Contactos			Descripción del Estado
	S1 (EVSE)	S2 (EV)	S3 (EV)	
A	OFF	OFF	OFF	Vehículo desconectado, la EVSE genera una onda continua en el contacto piloto de +12 V DC
B	OFF	ON	OFF	La EVSE no se encuentra lista para generar una onda PWM, se recibe una onda continua en el contacto piloto de +9 V DC. Aquí se encuentra insertado el acoplador de carga al EV
C	ON	ON	OFF	La EVSE está lista y genera una onda PWM en el contacto piloto de (+9 V - -12 V)
D	ON	ON	ON	El EV está listo y se inicia el proceso de carga, el voltaje positivo de la señal PWM depende del valor de resistencia de ventilación R2 (Fig 2.9). Si no se requiere ventilación en el área de carga, $R2 = 1.3\text{ k}\Omega$ y el valor del voltaje positivo de la onda PWM es +6 V. Si se requiere ventilación en el área de carga, $R2 = 270\text{ k}\Omega$ y el valor del voltaje positivo de la onda PWM es +3 V
E	ON	ON	OFF	EV no listo, se detiene por completo el proceso de carga y la EVSE espera a que se restablezca la comunicación con el EV, se retorna al estado C de carga.

4.2.1 Estado A: Vehículo Desconectado de la EVSE

Este estado hace referencia a que el contacto S2 se encuentra abierto, por lo tanto, no hay continuidad una vez insertado el acoplador de carga en el EV, la estación envía una señal continua con un valor de voltaje CP de ~12 V. El sistema de pruebas detecta que el acoplador de carga se encuentra correctamente insertado en el conector de entrada mostrando un mensaje en color verde en la pantalla HMI y la estación de carga muestra un estado de espera hasta que se cierre el contacto S2, esto se muestra en la Fig 4.3.



a)



b)

Figura 4.3 Estado A del Proceso de Carga: a) Estación en Espera, b) Pantalla HMI en Espera con Detección de Proximidad

Con la ayuda de un osciloscopio digital logramos obtener la forma de onda que se percibe en el pin del control piloto enviada por la EVSE, en la Fig 4.4 se puede apreciar a onda continua de color azul que representa a forma de onda de CP con un valor de + 11.9 V, la señal de color amarillo indica la corriente que atraviesa el sistema hasta llegar a la resistencia de carga, debido a que aún no se inicia el proceso de carga, este valor se encuentra en cero.

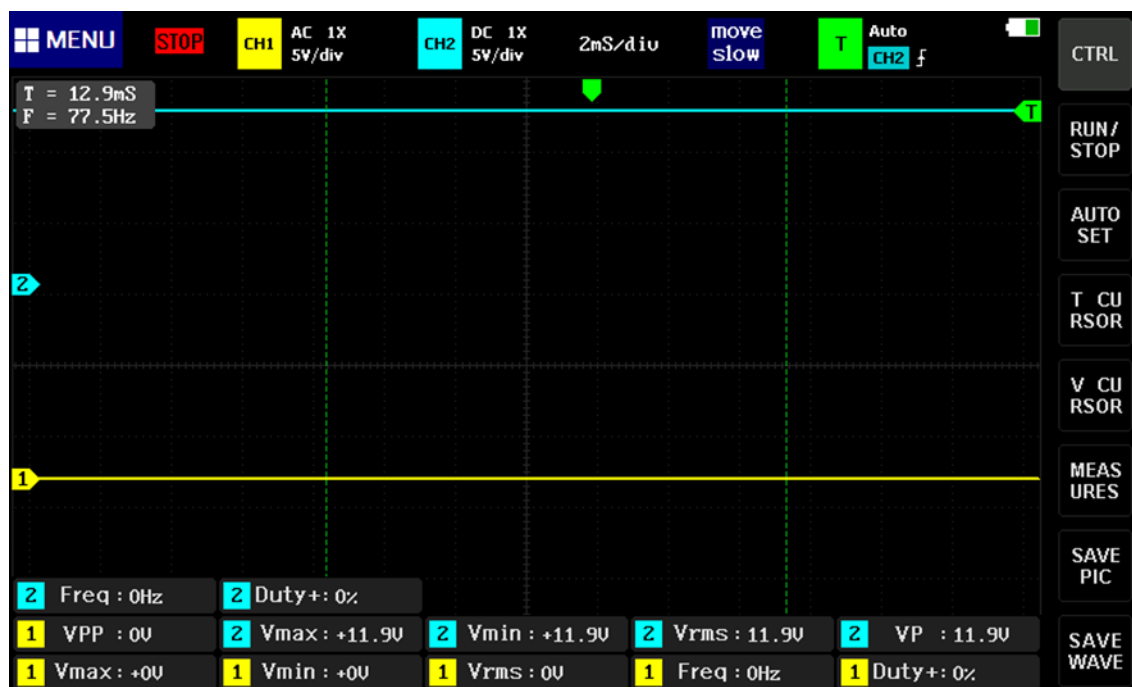


Figura 4.4 Ondas Resultantes del Estado A de Carga: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal de Corriente

4.2.2 Estado B: Vehículo Conectado a una EVSE no Lista

Este estado dura algunos milisegundos solamente, debido al retardo que existe entre la comunicación de la EVSE con el EV para que se detecte el cambio del contacto S2, durante un periodo de tiempo muy corto, el sistema detecta una onda continua con un valor de +9 V DC en el contacto piloto para que luego la estación genere la onda PWM (+9 V - -12 V) cerrando el contacto S1.

Para poder apreciar el cambio rápido de este contacto y momentos antes que se encienda el generador de onda cuadrada, fue necesario utilizar un osciloscopio de altas prestaciones para poder identificar este cambio, el resultado se presenta en la Fig 4.5

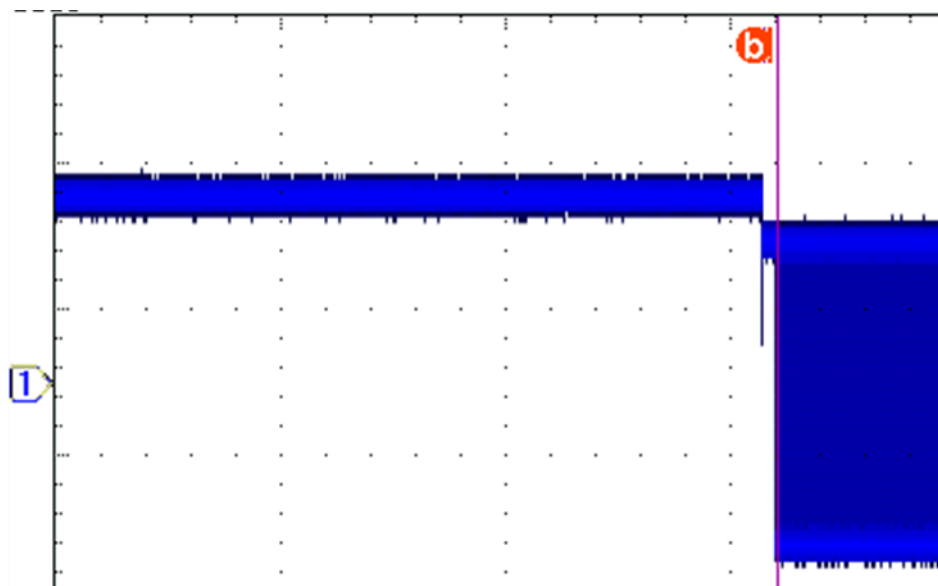


Figura 4.5 Onda Transitoria del Control Piloto

El cursor “1” indica la lectura de la forma de onda del circuito de control piloto, se puede observar que la lectura inicia con +12 V que corresponden al estado A, luego al cambiar la posición del contacto S1 existe el cambio de voltaje a +9 V sin generar la onda PWM, este cambio se aprecia en la Fig 4.5 justo antes del marcador “b”, donde se genera la onda cuadrada (PWM) dando lugar al estado C que se presenta a continuación.

4.2.3 Estado C: Vehículo Conectado a una EVSE Lista sin Iniciar el Proceso de Carga

En este estado los contactos S1 y S2 se encuentran cerrados, la EVSE se encuentra generando una onda PWM (+9 V - -12 V) a una frecuencia de 1 kHz y un ciclo de servicio del 50 % que es lo establecido en las Normativas SAE J1772 e IEC 61851-1, esto se resume en la Tabla 2.16 que detalla el funcionamiento adecuado de las estaciones de carga y la corriente máxima admisible del sistema.

Aquí la estación de carga indica al vehículo que se encuentra lista para suministrar energía encendiendo el oscilador que genera la señal onda cuadrada (PWM), el sistema de pruebas no permite iniciar el proceso de carga hasta que se cierre el contacto S3 del circuito del control piloto cerrando todo el sistema y dando paso a proceso de carga. Esto significa que la estación espera la respuesta de EV para poder iniciar el proceso de carga.



a)



b)

Figura 4.6 Estado C del Proceso de Carga: a) Estación Lista, b) Pantalla HMI en Espera con Detección de Proximidad

En la Fig 4.6 a), se aprecia que la estación está lista para suministrar energía mientras que en la pantalla HMI se aprecia la lectura del voltaje CP en +9 V, lo que indica un estado de espera hasta que el sistema de carga cierre el último contacto S3 que completaría el circuito del control piloto. En este estado se puede comprobar la comunicación bilateral de la EVSE con el EV donde el proceso debe ser verificado por ambas partes antes de comenzar la carga, como lo indica las Normativas antes mencionadas, por cuestiones de seguridad.

Con el osciloscopio digital se puede observar más a detalle el funcionamiento de sistema y las formas de onda que envía, cabe recalcar, que la corriente aún no se transfiere al sistema por lo que la onda de color amarillo (corriente) de la Fig 4.7 tiene medición de cero.

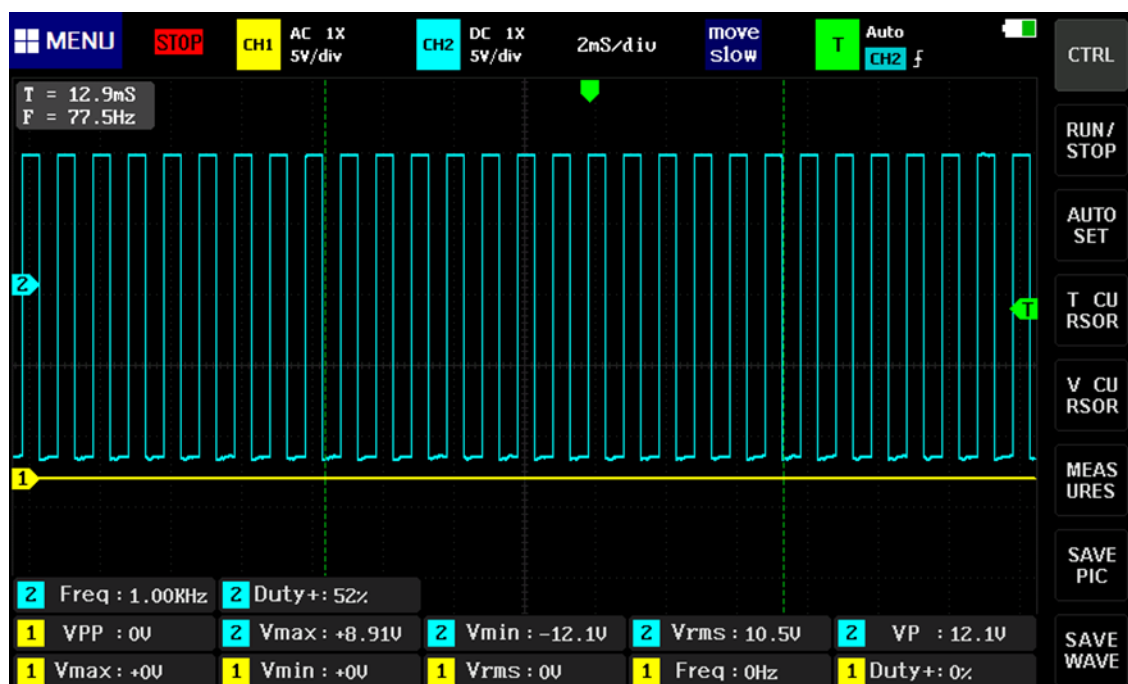


Figura 4.7 Ondas Resultantes del Estado C de Carga: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal de Corriente

La onda de color azul corresponde a la señal PWM generada por la estación y que se mide en el pin del control piloto, en el estado C de carga, se aprecia que se obtiene un valor máximo de + 8.91 V, una frecuencia de 1 kHz y un ciclo de servicio de 52 %; estos valores son los correctos comparándolos con las Tablas 2.3 y 2.14 y verificando de forma visual la operación interna de la EVSE y la respuesta del EV.

4.2.4 Estado D: Vehículo Conectado a una EVSE Lista Iniciando el Proceso de Carga

Estado donde se inicia el proceso de carga, en este punto, el lazo del circuito del control piloto se encuentra completo luego de cerrar el contacto S3, la EVSE reconoce este cambio que indica que el EV se encuentra listo para recibir energía. La estación entrega los 23 A a la resistencia de carga (niquelina) mediante la verificación del valor de voltaje máximo de la onda PWM en el pin de contacto del control piloto.



a)



b)

Figura 4.8 Estado D del Proceso de Carga: a) Estación Suministrando Energía, b) Pantalla HMI en Proceso de Carga

La estación muestra en su pantalla que se suministra 23.1A al EV, dicha energía es directamente entregada a la resistencia de carga, la potencia que se entrega y el tiempo de carga que ha transcurrido también se muestra en la pantalla de la estación, sin embargo, se hace uso del osciloscopio digital para verificar los valores y formas de onda que llegan a sistema de pruebas.

4.2.4.1 Proceso de Carga sin Ventilación en el Sistema

El sistema de carga no requiere activar el sistema de ventilación cuando se inicia este proceso, por lo tanto el valor de la resistencia del circuito del control piloto es $R2 = 1.3 \text{ k}\Omega$ e indica a la estación que el valor positivo máximo de voltaje de la onda cuadrada (PWM) deberá ser de +6 V, con una frecuencia de 1 kHz y un ciclo de servicio del 50%.

El sistema de prueba realiza una medición de estos valores y los compara con los valores dentro de su programación verificando que sean los correctos, de ser así, se da inicio al proceso de carga como se muestra en la Fig 4.9.

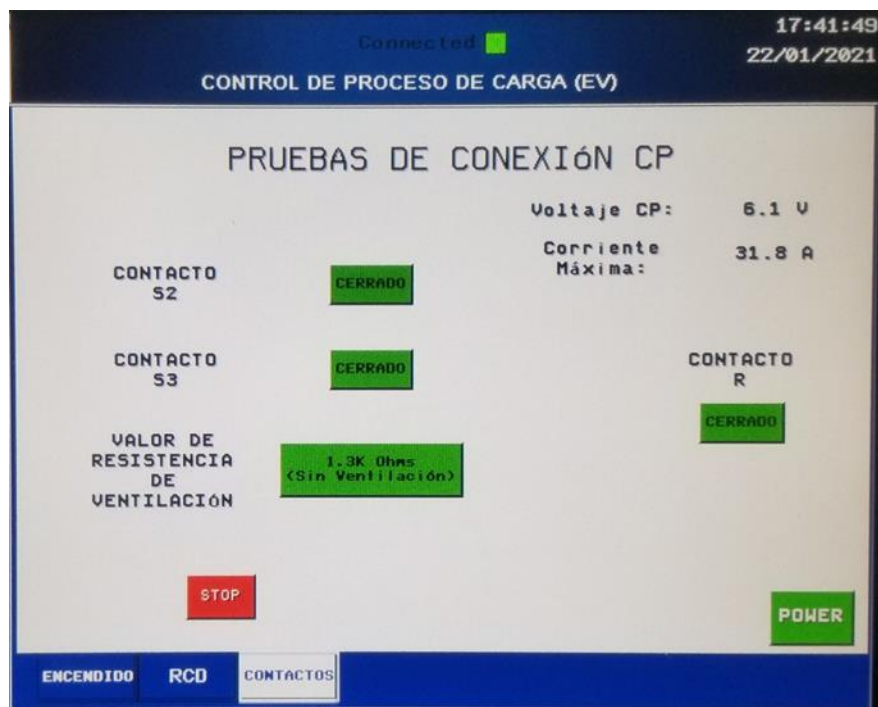


Figura 4.9 Proceso de Carga del EV sin Ventilación en el Sistema

En el menú CONTACTOS se puede verificar los contactos cerrados S2 y S3, el valor de la resistencia R2 que puede ser escogida por el usuario si requiere activar el sistema de ventilación o no, el voltaje máximo de la onda PWM del control piloto y la corriente máxima que puede suministrar la EVSE al vehículo.

Mientras que, por otro lado, con el osciloscopio digital se puede observar la forma de onda de corriente que atraviesa el sistema y llega hasta la carga, la cual es senoidal con voltaje de 223 V AC y de la onda PWM medida en el contacto del control piloto mientras el proceso de carga se encuentra activo; las ondas obtenidas del sistema se muestran en la Fig 4.10.

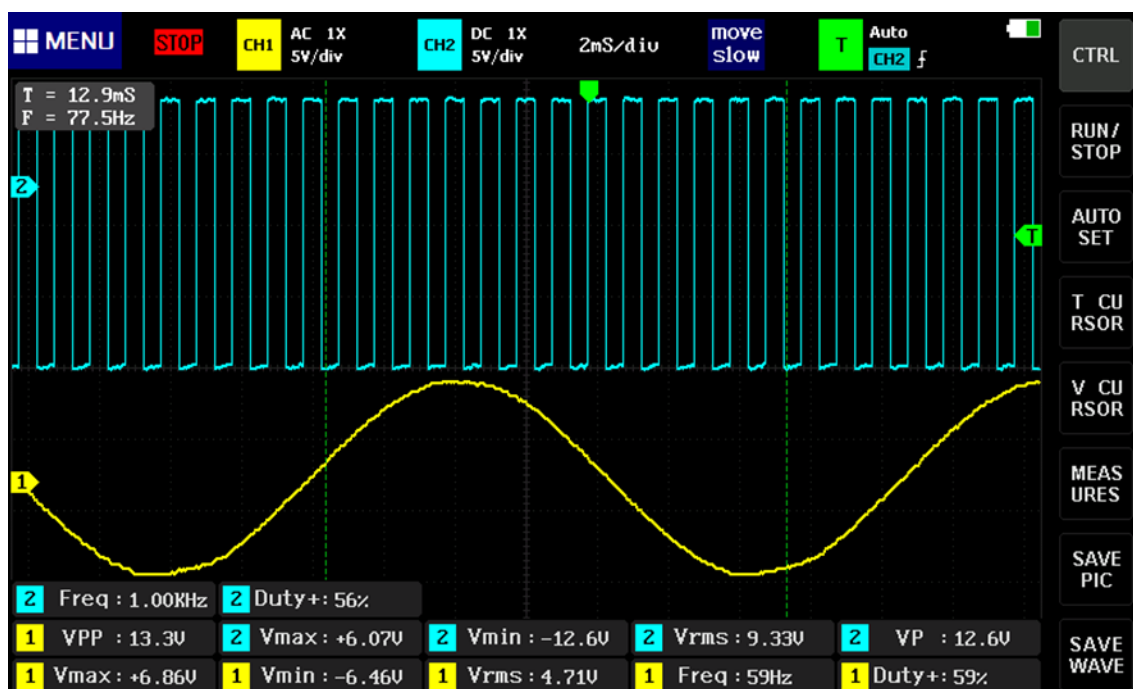


Figura 4.10 Ondas Resultantes del Estado D sin Ventilación: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal Senoidal de Corriente

Se puede apreciar que el valor máximo de voltaje de la onda Azul es +6.07 V, con una frecuencia de 1 kHz y un ciclo de servicio de 56% que corresponde a una operación normal y controlada de la EVSE; para poder observar la onda de color amarillo se utilizó una sonda de medición de corriente con una relación de **5A/1V**, el resultado en el osciloscopio representa un valor de voltaje máximo de +6.86 V y un valor Vrms de 4.71 V, de acuerdo a la relación de corriente/voltaje y a la escala del osciloscopio de **5V/división**, este valor corresponde a $I = 4.71 * 5 = 23.5 A$ y una frecuencia de 59 Hz.

4.2.4.2 Proceso de Carga con Ventilación en el Sistema

Ahora se procede a realizar las pruebas cuando se requiere ventilación dentro del área de carga, como se aprecia en la descripción de estado de la Tabla 4.1, el valor de la resistencia R2 del sistema de pruebas cambia a 270Ω indicando a la estación que reduzca el voltaje máximo de la onda PWM a +3 V como lo indica las Normativas, este cambio debe ser detectado por el EV y encender los ventiladores en el área de las baterías para bajar su temperatura mientras continua el proceso de carga, en el menú CONTACTOS de la Fig 4.11 se puede apreciar el cambio de

resistencia de ventilación y la reducción del voltaje CP a 2.8 V y en la Fig 4.12 se aprecian los resultados del osciloscopio digital.

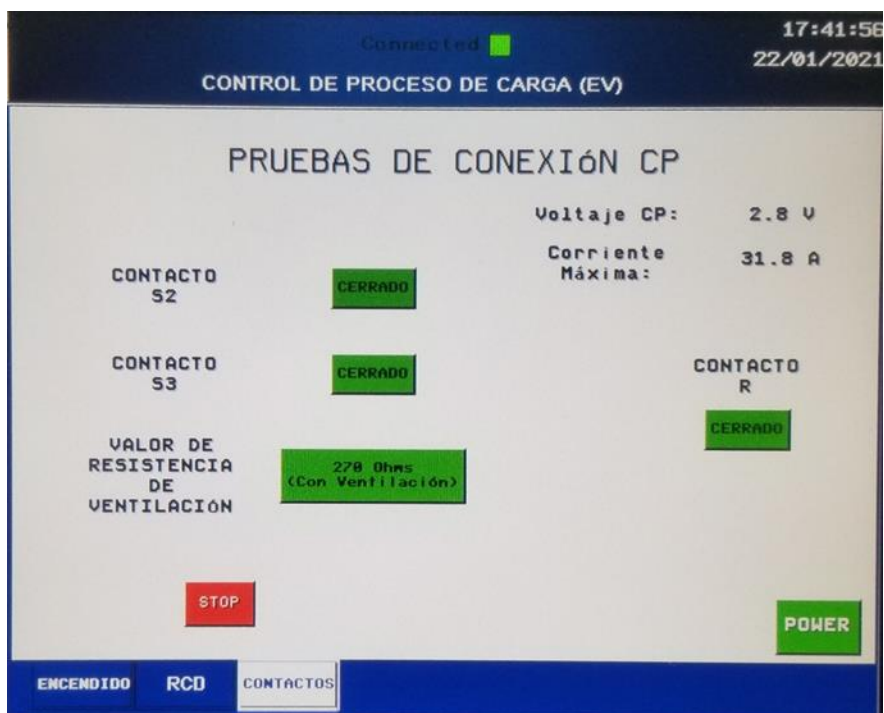


Figura 4.11 Proceso de Carga del EV con Ventilación en el Sistema

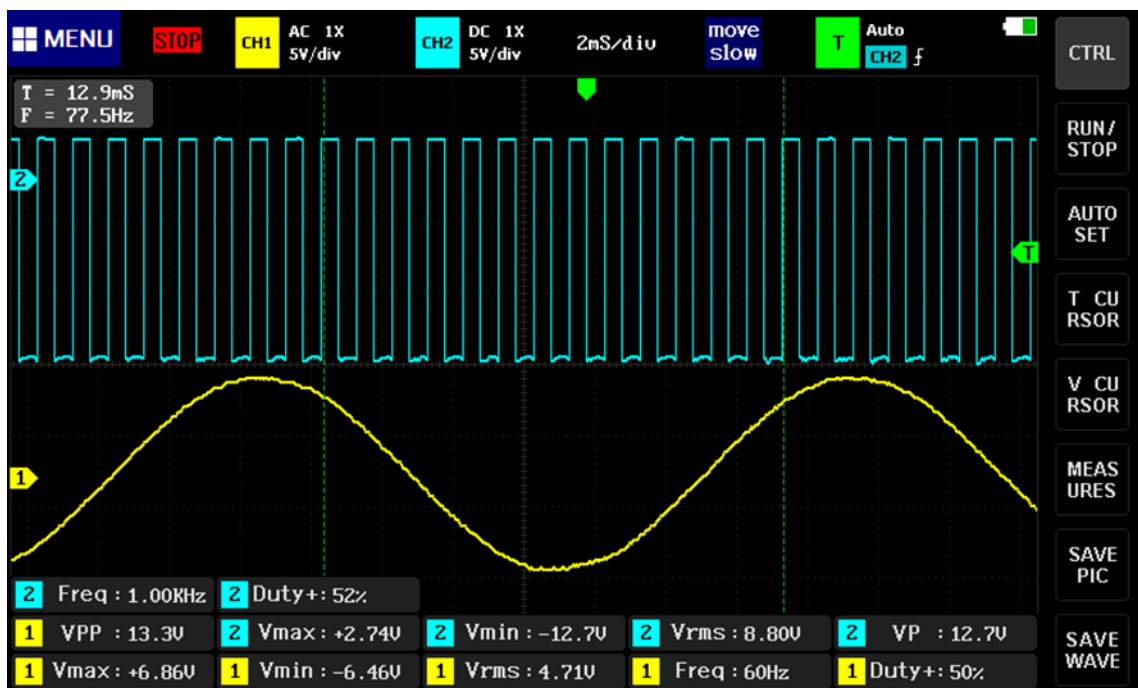


Figura 4.12 Ondas Resultantes del Estado D con Ventilación: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal Senoidal de Corriente

Se puede verificar que la onda de color azul (PWM) si presenta una disminución en su valor máximo de voltaje de +6.07 V a + 2.74 V aproximadamente con frecuencia de 1 kHz y ciclo de servicio de 52%. Mientras que la onda de corriente (color amarillo) no presenta alteraciones en su forma ni valores respecto a la Fig 4.10 por lo que se concluye que al encender el sistema de ventilación, el valor de corriente que se suministra al vehículo no varía.

4.2.5 Estado E: Vehículo Desconectado de la EVSE Deteniendo el Proceso de Carga

De acuerdo a la Tabla 4.1, este estado trata sobre desconectar el EV de la EVSE mediante la apertura del contacto S3 del circuito de control piloto, lo que provocaría una respuesta inmediata en el sistema deteniendo el proceso de carga e indicando que no se detecta la señal del vehículo, esta respuesta por parte de la estación de carga se puede observar en la Fig 4.13



Figura 4.13 Estado E del Proceso de Carga: a) Estación en Espera de Señal de EV, b) Pantalla de CONTACTOS

El resultado de esta desconexión cambia de estado a la estación, retornando al estado C donde se genera la onda PWM (+9 V - -12 V), la apertura del contacto S3 desconecta el circuito del control piloto, y esto, la estación lo detecta como desconexión del vehículo y procede a detener por completo el proceso de carga hasta que se vuelva a activar la señal de que el EV se encuentra conectado, esto es, hasta que se vuelva a cerrar el contacto S3.

Con el osciloscopio se verifica el estado de la EVSE y la onda PWM que se detecta en el pin del control piloto, los resultados se presentan en la Fig 4.14.

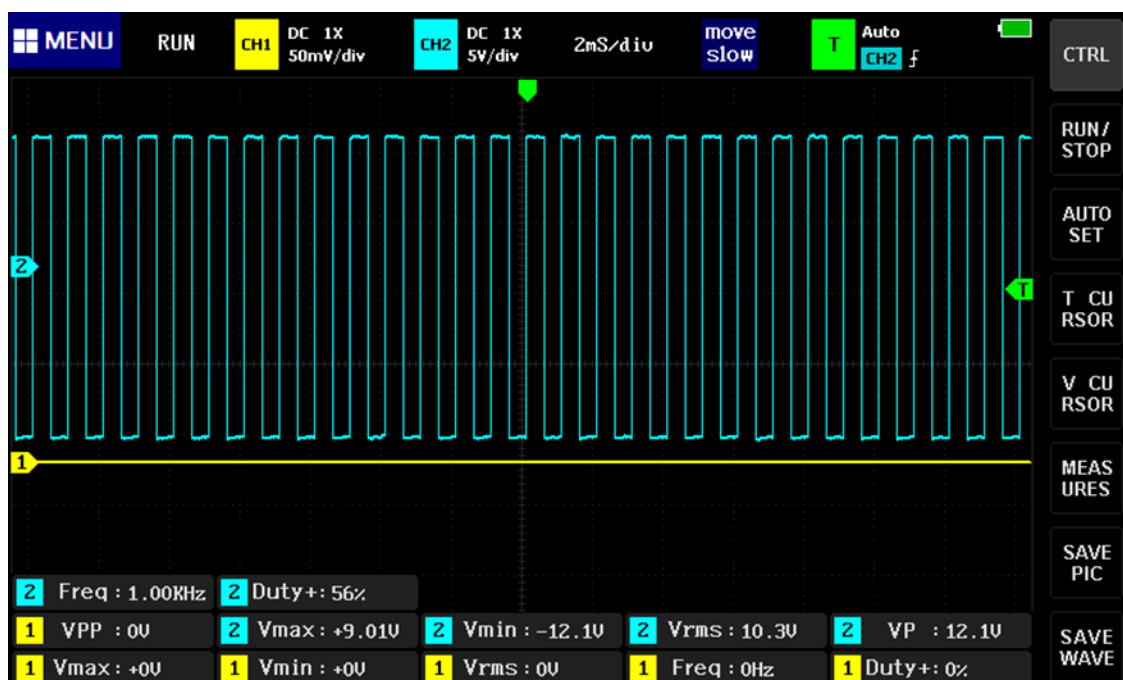


Figura 4.14 Ondas Resultantes del Estado E de Carga: a) Señal Azul: Señal PWM del Control Piloto, b) Señal Amarilla: Señal Senoidal de Corriente

Observamos que la onda PWM tiene la misma forma que en el estado C, con un valor de voltaje máximo de +9.01 V, la frecuencia de 1 kHz y el ciclo de servicio del 56%; mostrando también que la señal de corriente se detiene por completo, lo que indica que se detuvo el proceso de carga y se espera nuevamente un cambio de estado al D para poder retomar el suministro de energía al EV.

4.3 Escenario de Pruebas de Funcionamiento de la EVSE Frente a la Detección de Corrientes Residuales (RCD)

Para poder realizar las pruebas necesarias del funcionamiento del dispositivo de detección de corrientes residuales de la estación de carga, es necesario que el sistema se encuentre dentro de un proceso de carga del EV activo, es decir, que la estación se encuentre en el estado D de carga suministrando energía al vehículo.

El diseño de nuestro circuito RCD tiene como finalidad desviar valores de corriente, previamente calculados en el apartado 3.6, desde la línea de suministro de energía hacia tierra generando un desbalance en el valor del corriente que retorna a la estación de carga, la estación debe detectar dicha “fuga” de corriente y compararla con el valor de tolerancia de 30 mA (ver apartado 2.1.2.4.2).

Para poder realizar las mediciones de fugas de corriente se utilizó un transformador magnético de corriente **CST-1030** de la marca **TRIAD** que se muestra en la Fig 4.15 a), este dispositivo es de gran utilidad para transformar los valores de corriente de 50/60 Hz en valores de voltaje mediante una relación de Volts/Amp que depende de la resistencia de carga, el esquema del transformador y su conexión para poder realizar la medición de voltaje se presenta en la Fig 4.15 b).

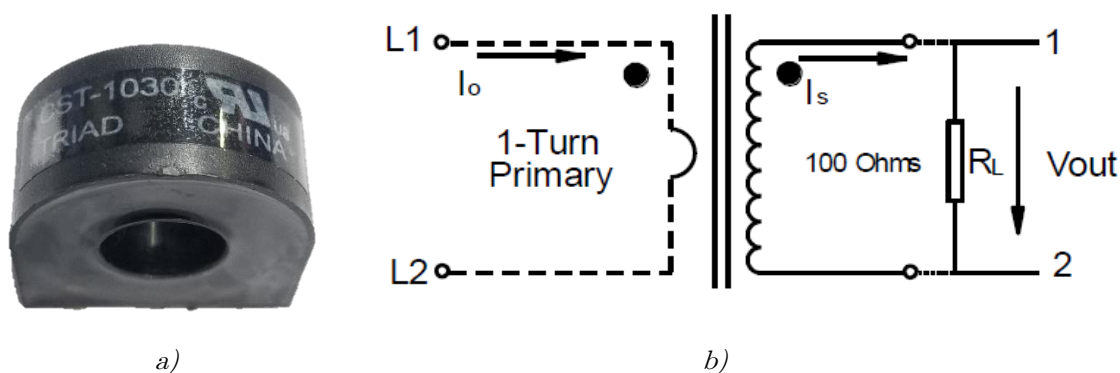
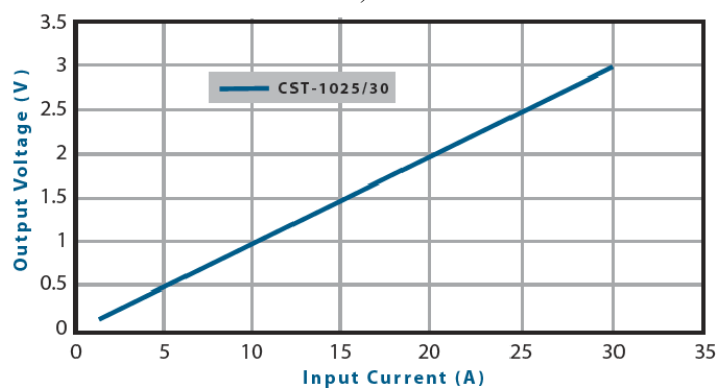


Figura 4.15 Transformador Magnético de Corriente: a) Transformador TRIAD CST-1030, b) Esquema de Conexión para Medición de Voltaje

Nuestras mediciones de corriente se encuentran en la escala de miliamperios (ver apartado 3.6.1), por lo tanto es necesario aproximar estos valores en el osciloscopio con una curva de respuesta, el datasheet [32] del dispositivo indica las especificaciones eléctricas y valores importantes del producto que se deben considerar al momento de realizar las pruebas del circuito RCD, las especificaciones técnicas y la curva de respuesta son las siguientes:

IP Amps	Turns Ratio	Terminating Resistor		DCR (Ω) Nominal	Volts/Amp@ rated IP for various loads (Ω)				Net Weight Grams
		Ohms	Watts		100	500	2K	5K	
30	1000:1	100	.09	46	.0977	.4160	.6710	.8750	30

a)



b)

Figura 4.16 Datos Importantes del Transformador TRIAD CST-1030: a) Especificaciones Eléctricas a 20 °C, b) Curva de Respuesta con una Carga de 100 Ω

4.3.1 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de Corriente Menor a 30 mA

De acuerdo a las simulaciones y valores calculados del apartado [3.6.1](#), el contacto S6 del módulo RCD, es el que provocara una fuga de corriente $< 30 \text{ mA}$ que deberá ser ignorada por la estación de carga ya que se encuentra dentro del rango permitido. En la pantalla HMI accedemos al menú “RCD” donde se puede escoger cualquier contacto para probar el funcionamiento de la EVSE, en este caso se escoge cerrar el contacto S6 que corresponde a la resistencia $R3 = 8.2k\Omega$.

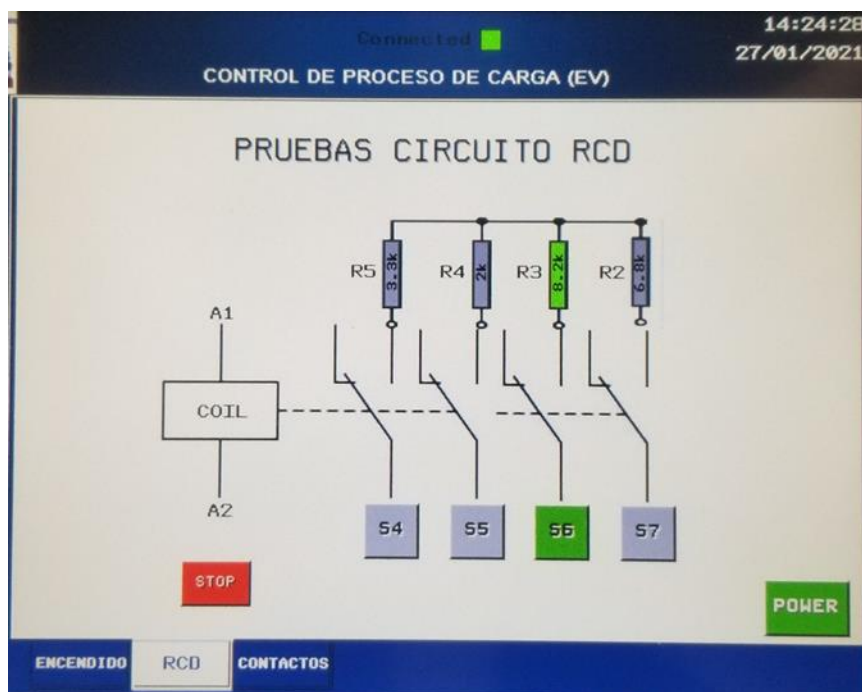


Figura 4.17 Cierre del Contacto S6 del Módulo RCD

La estación de carga continua en operación mientras la fuga de corriente se encuentra activa, por lo tanto, se verifica que el módulo RCD de la EVSE respeta la tolerancia de desbalance de carga, para poder analizar la onda de corriente de fuga se utilizó el osciloscopio digital que nos muestra la siguiente señal de corriente:

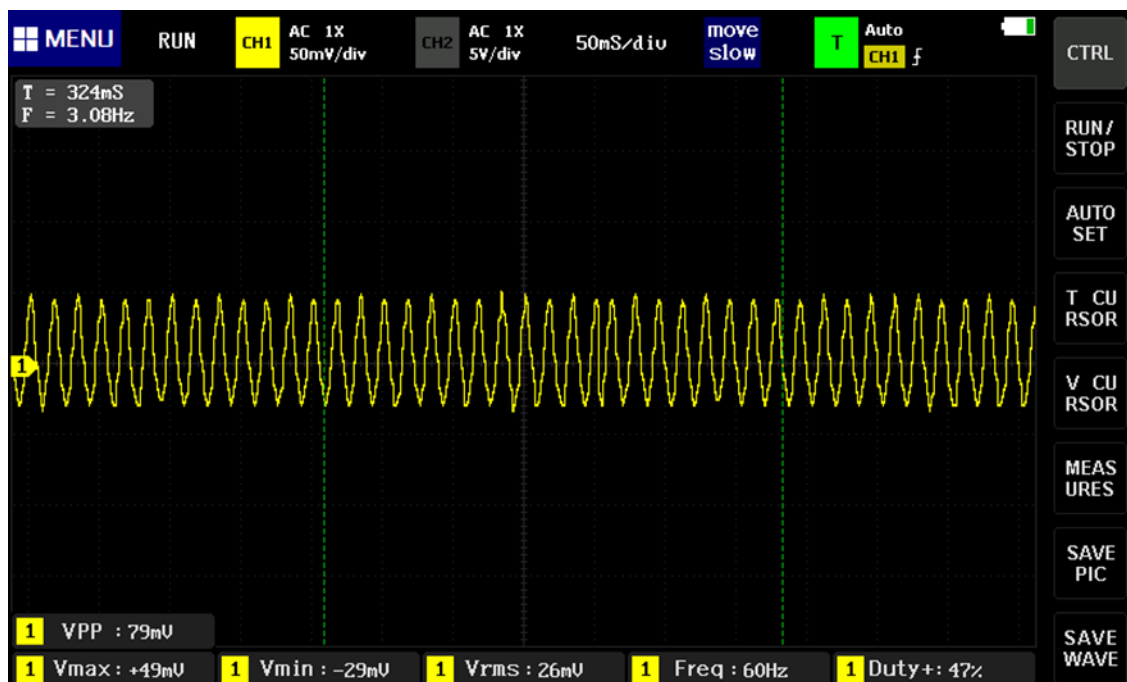


Figura 4.18 Señal de Corriente de Fuga Debido al Cierre del Contacto S6

Se utilizó una carga de $3.3 \text{ k}\Omega$ a la salida del transformador para poder obtener una relación aceptable de escala de Volts/Amp, la relación aproximada es $\text{Volts}/\text{Amp} = 0.9523$, de los valores obtenidos en el osciloscopio, V_{max} corresponde a un valor de $+49 \text{ mV}$ y $V_{\text{rms}} = 26 \text{ mV}$ se obtiene que:

$$(20) \quad \text{Amp} = 26 \times 10^{-3} / 0.9523 = 27.3 \text{ mA}$$

Este valor de corriente coincide con el obtenido en la simulación del circuito RCD del apartado 3.6.1 respetando la tolerancia de corriente presentado en las Normativas. Con este resultado es posible realizar pruebas con los siguientes contactos del circuito RCD, manteniendo activo el contacto S6, nos permite observar el cambio de la forma de onda resultante cuando se cierran de los otros contactos comparándolo con el valor de corriente que respeta la tolerancia permitida.

4.3.2 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de Corriente Aproximado a 30 mA

Acorde a las simulaciones, el contacto S7 cierra el paso de corriente a la resistencia $R2 = 6.8 \text{ k}\Omega$ generando una corriente de aproximadamente 32 mA, este valor supera por muy poco al valor de tolerancia lo cual deberá provocar que se detenga por completo el proceso de carga de la estación. Para poder realizar esta prueba nos dirigimos nuevamente al menú RCD en la pantalla HMI (Fig 4.19) y seleccionamos el contacto S7 manteniendo el contacto S6 encendido.

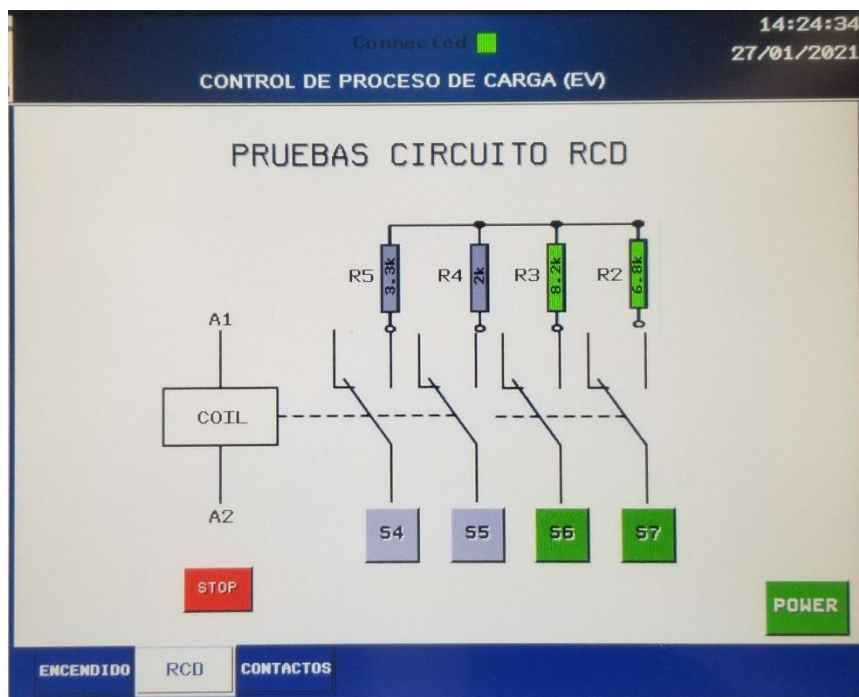


Figura 4.19 Cierre del Contacto S7 del Módulo RCD

Al momento de activar el contacto S7, automáticamente el contactor de la estación de carga detiene el suministro de energía abriendo sus contactos, esto debido a que se superó la tolerancia de 30 mA debido a la fuga de corriente generada, en el osciloscopio se puede observar que, manteniendo encendido el contacto S6, el proceso de carga se detiene inmediatamente cuando se detecta un valor de corriente superior que corresponde al cierre del contacto S7, en la Fig 4.20 se puede apreciar un pequeño incremento en la señal de corriente antes de detenerse y adquirir un valor de cero deteniendo el proceso de carga.

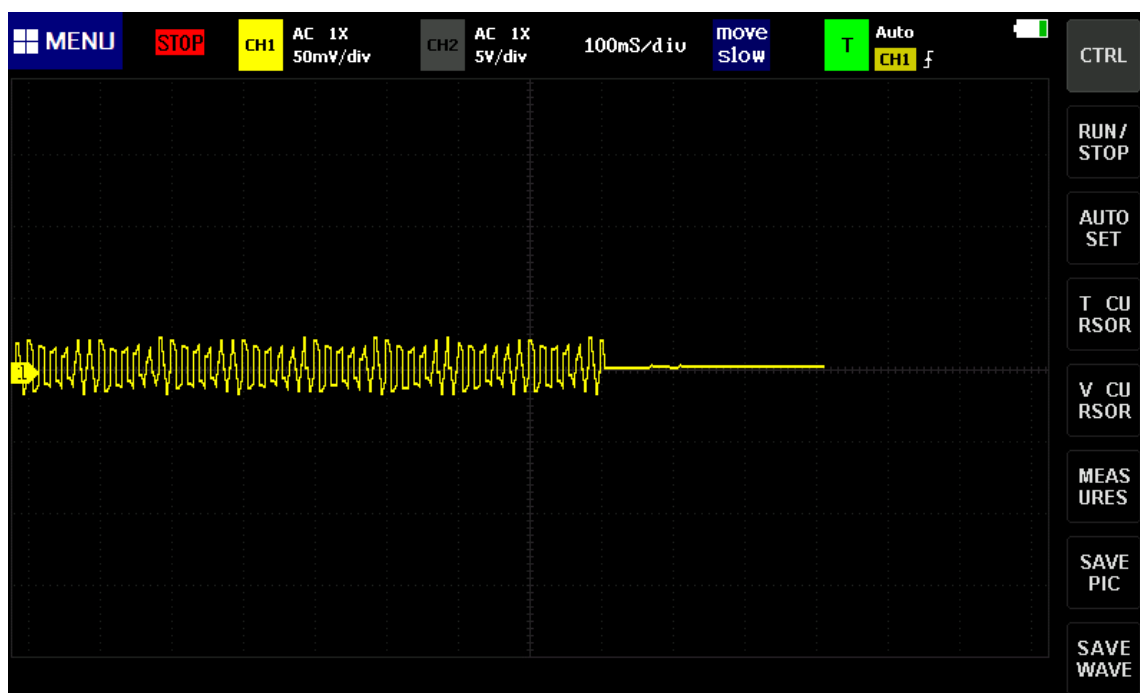


Figura 4.20 Señal de Corriente de Fuga y Carga Detenida Debido al Cierre del Contacto S7

La estación presenta en su pantalla un mensaje de “FAULT” (falla) que es un estado de error e indica que se activó la protección contra fugas (leakage protection) (Fig 4.21), este estado se mantiene hasta que el sistema retorna al estado A de carga en el EV, luego la estación de carga realiza un reinicio de su sistema para poder retomar desde el inicio con el proceso de carga.

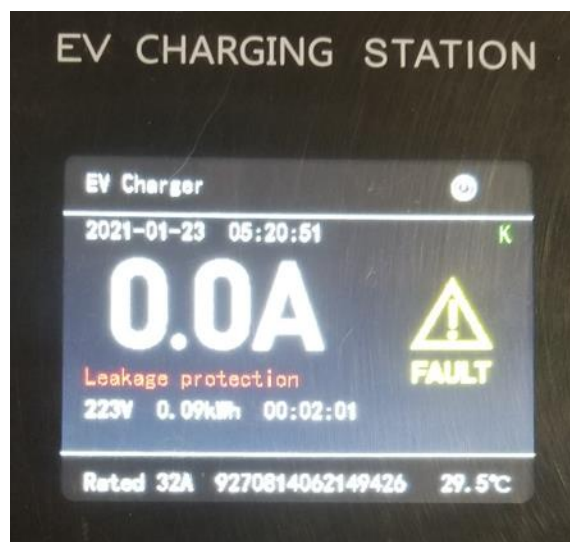


Figura 4.21 Estado de Error en la EVSE, Protección Contra Fugas de Corriente

A la estación de carga le toma alrededor de 8 segundos en reiniciarse y volver a encender su sistema, este tipo de pruebas son necesarias para conocer el grado de protección de las EVSE

frente a un caso de fuga de corriente, en el sistema estas fugas tienen como propósito generar una simulación en el caso de que una persona pueda estar en contacto con la energía que se suministra al EV y en su peor caso, electrocutándose.

4.3.3 Pruebas de Tolerancia con Valores de Fugas de Corriente Mayores a 30 mA

Como se pudo comprobar en el apartado anterior, el sistema de protección de la EVSE frente a fugas de corriente (RCD) opera correctamente respetando el valor de tolerancia de 30 mA como lo indican las Normativas, resulta evidente que, si el proceso de carga se detiene al superar por poco la tolerancia del valor de la fuga de corriente, funcionará de igual forma para valores más elevado, sin embargo, se probará el sistema de protección para diferentes valores de fuga que se encuentran fuera de los límites para verificar el funcionamiento y comportamiento de la estación de carga.

4.3.3.1 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de 95 mA

El cierre del contacto S4 genera por su cuenta una fuga de corriente aproximada a 67.8 mA (fuera del límite) cerrando el paso de corriente a la resistencia $R5 = 3.3k\Omega$, mientras se mantiene el contacto S6 cerrado el cual genera otra fuga aproximada a 27.3 mA, estos dos valores sumados dan como total 95.1 mA. En la Fig 4.22 se presenta el menú RCD con estos dos contactos cerrados y las resistencias respectivas por donde se desvía la corriente hacia tierra.

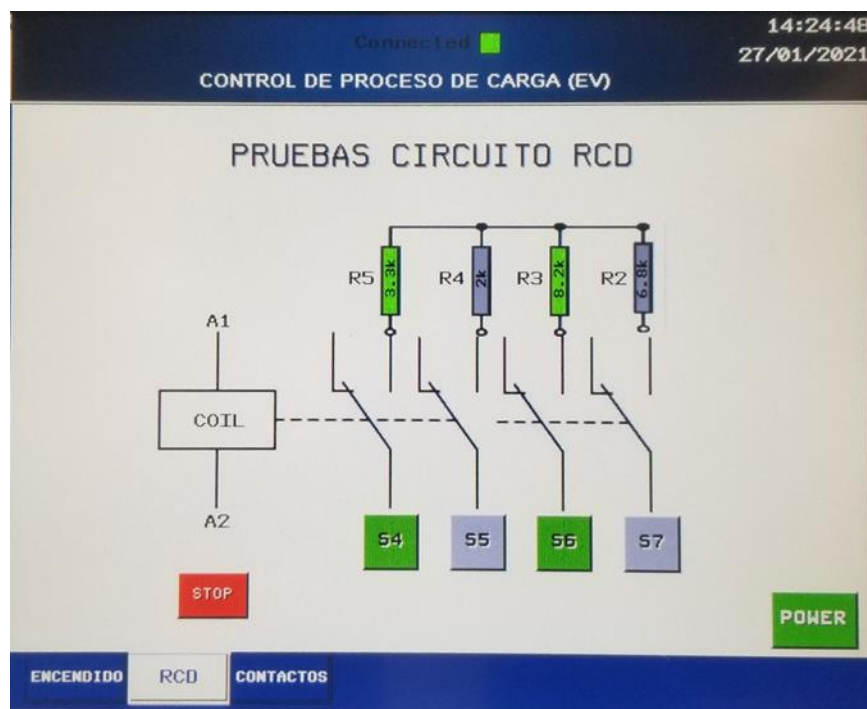


Figura 4.22 Cierre del Contacto S4 del Módulo RCD

Para analizar el comportamiento de onda de corriente de fuga, necesitamos mantener encendido el contacto S6 para tener una referencia del valor de tolerancia y su límite, con el osciloscopio se pudo apreciar el funcionamiento del dispositivo RCD de la estación, como se aprecia en la Fig 4.23, observamos un cambio momentáneo donde la onda de corriente aumenta su valor para luego proceder a apagarse por completo, la estación demora solo algunos milisegundos en reaccionar y detener el proceso de carga.

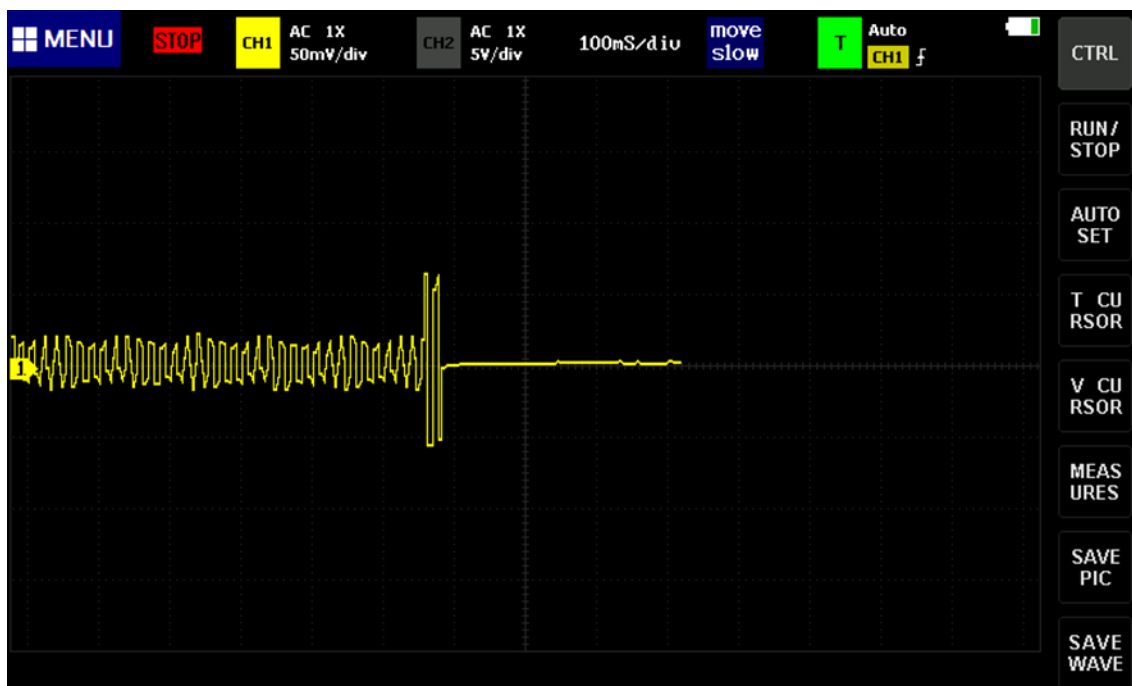


Figura 4.23 Señal de Corriente de Fuga y Carga Detenida Debido al Cierre del Contacto S4

Una vez detenido el proceso de carga, se presenta nuevamente el mensaje de fallo “FAULT” en la estación, se muestra que se activó la protección contra fugas des-energizando el sistema, de igual forma que en el anterior caso, se requiere que el EV regrese al estado A de carga para que la EVSE reinicie su sistema y pueda retomar el proceso de carga nuevamente.



Figura 4.24 Estado de Error en la EVSE, Protección Contra Fugas de Corriente

4.3.3.2 Prueba de Tolerancia con un Valor de Fuga de 139 mA

A continuación realizamos la última prueba con un valor de fuga de corriente mucho más alto, en este caso, cerramos el contacto S5 que da paso a la corriente por la resistencia $R4 = 2k\Omega$ que genera una fuga de aproximada de 111.9 mA encontrándose por mucho fuera del rango de tolerancia de las EVSE, sumándole la fuga que genera el contacto S6 que se aproxima a 27.3 mA se tiene un total de 139.2 mA. En el menú RCD de la Fig 4.25 escogemos cerrar ahora el contacto S5 y mantenemos cerrado el contacto S6 para poder observar inicialmente la onda de corriente que se desvía hacia tierra.

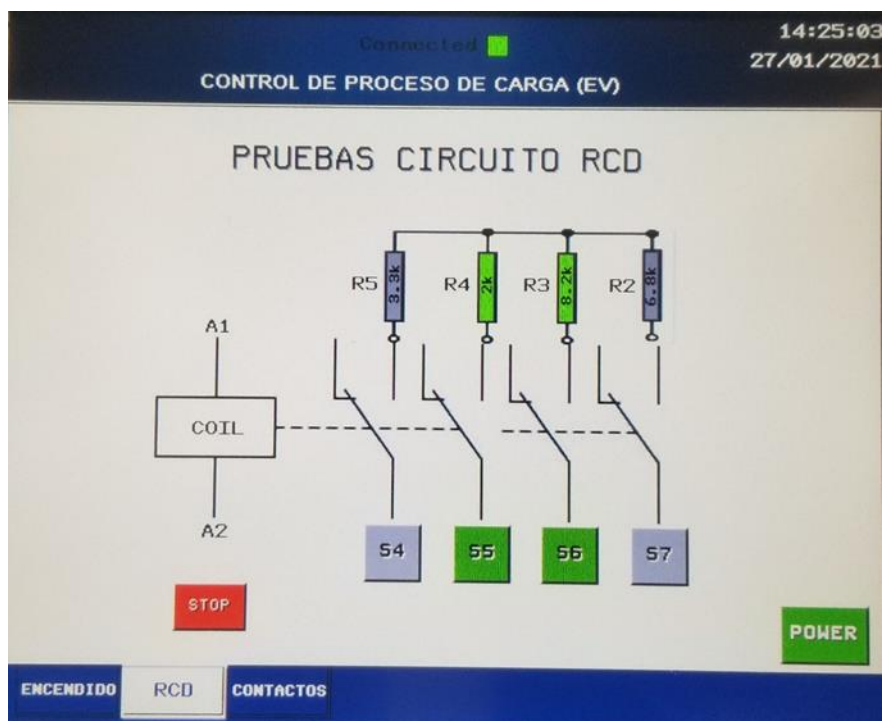


Figura 4.25 Cierre del Contacto S5 del Módulo RCD

Una vez pulsado el contacto S5 en la pantalla, a la estación de carga le toma solo algunos milisegundos en detener la carga abriendo el contactor en su interior, utilizando el osciloscopio podemos apreciar en la Fig 4.26 la onda de corriente generada por el paso de corriente a través del contacto S6, una vez pulsado el botón del contacto S5 se puede observar el gran incremento momentáneo de la onda de corriente para luego reducir su valor a cero, lo que significa que la estación detuvo el proceso de carga al detectar que la fuga de corriente estaba muy por encima de los límites de tolerancia.

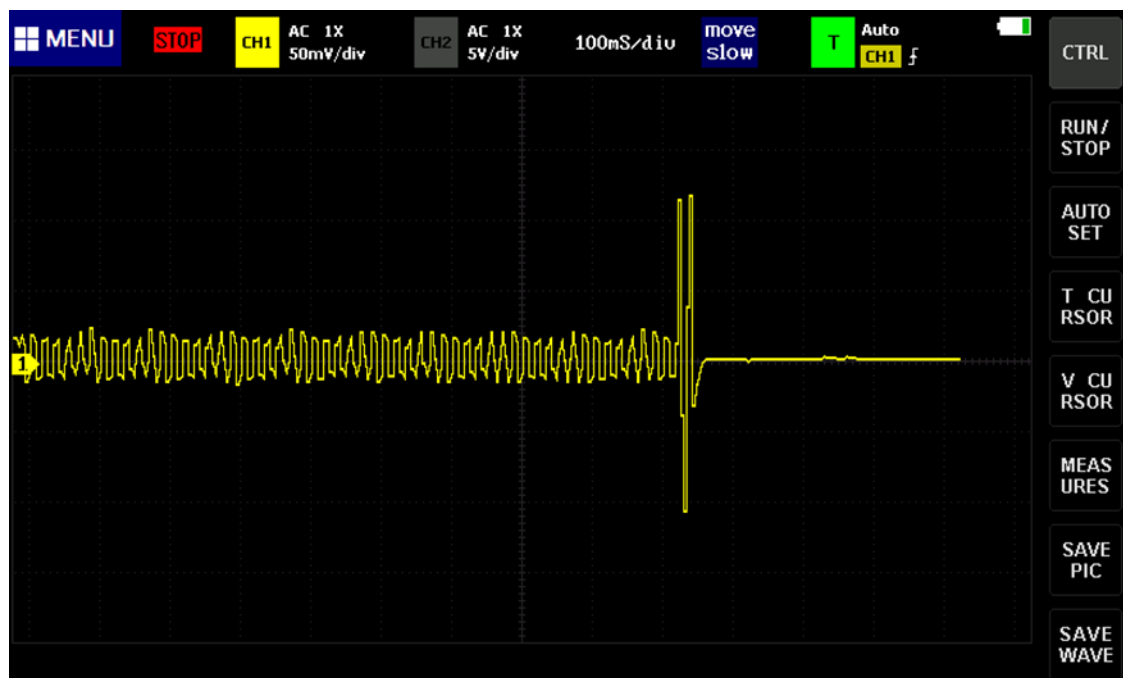


Figura 4.26 Señal de Corriente de Fuga y Carga Detenida Debido al Cierre del Contacto S4

Una vez más la estación de carga responde correctamente detectando una fuga de corriente y activando la protección contra fugas (ver Fig 4.27), lo que provoca que se detenga el proceso de carga, se regrese al EV al estado A de carga y esperar el reinicio de la EVSE para poder retomar el suministro de energía.



Figura 4.27 Estado de Error en la EVSE, Protección Contra Fugas de Corriente



Así queda demostrado que la estación de carga monofásica de 32 A y 230 V AC utilizada en el proceso de pruebas, funciona correctamente respetando todo lo que se indica en las Normativas SAE J1772 e IEC 61851-1 respecto a conectividad, comunicación, reconocimiento del EV, protección del equipo, protección y seguridad al usuario.

Capítulo 5 : Conclusiones

5.1 Conclusiones

Como se analizó en el estado del arte del Capítulo 2, existe gran cantidad de información sobre el funcionamiento de estaciones de carga de nivel 2 y de vehículos eléctricos basados en Normativas, que se encuentran listas para ser adoptas por el país brindando oportunidades de desarrollo y producción propias, con una visión de conseguir un mercado propio de estaciones de carga y EV's que sean capaces de competir a nivel mundial contra diferentes organizaciones.

El sistema de pruebas en estaciones de carga de nivel 2 logró emular todos los procesos de carga de un EV respetando y comprobando los estados de conexión y comunicación con su estación de carga, dichos estados fueron procesados, comparados y ejecutados por el PLC, y presentados por su interfaz gráfica HMI como se resume en el Capítulo 4, donde se presentan todas las pruebas realizadas por el prototipo y la respuesta de la EVSE frente a las necesidades del usuario u operador del sistema.

En el Capítulo 3 se explica a detalle los componentes y equipos que se utilizaron en el sistema de pruebas en estaciones de carga, su instalación, configuración y las funciones que cumple cada dispositivo, además de la programación del PLC y de la interfaz HMI que se encuentra explicado a detalle en el apartado 3.7 y en el Anexo A.2. También se resumen los costos resultantes de la implementación de este trabajo de titulación en el Anexo A.3.

Las pruebas de seguridad y protección del sistema frente a corrientes residuales se presentaron en el Capítulo 4 apartado 4.3, donde se realizaron varias simulaciones de fugas de corriente hacia tierra para comprobar la tolerancia de la estación de carga frente al valor de corriente residual, las pruebas consideraron escalas de fugas de corriente que respetaran la tolerancia y en otras que estos valores se encuentran fuera de los límites que especifican las Normativas, con el propósito de analizar y comprobar la respuesta de la EVSE frente a casos de desbalance de corrientes que retornan a la estación de carga (EVSE).

5.2 Trabajos Futuros

El sistema de pruebas en estaciones de carga de nivel 2 está construido en base a las Normativas SAE J1772, IEC 61851-1 e IEC 62196-2, consideran un modo de carga 2 caso C (ver apartado [2.1.2.3.1](#)), pero debido a que el prototipo considera la compatibilidad de accesorios acorde a las Normativas, es posible considerar realizar a futuro una siguiente versión de este trabajo de titulación, considerando implementar un modo 3 de carga que utiliza el mismo conector (Mennekes) con la diferencia de que para este modo se carga se utilizan 3 líneas de suministro de energía.

Una extensión de este trabajo de titulación sería considerar un sistema de carga dinámica en lugar de una niquelina, que simule el proceso de cargar un banco de baterías real de un EV donde inicie el proceso de carga con el máximo de energía que pueda suministrar la EVSE, llegando a disminuir este valor cuando se considere que las baterías se encuentren próximas a completar el proceso de carga.

Es posible también instalar en el prototipo el conector que especifica la Norma SAE J1772 para realizar pruebas en estaciones de carga que cuenten con este tipo de conector debido a que utiliza el mismo sistema de control piloto y detección de proximidad.

Bibliografía

- [1] S. F. Tie and C. W. Tan, “A review of energy sources and energy management system in electric vehicles,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 20, pp. 82–102, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.11.077.
- [2] J. Zhang, Z. Wang, P. Liu, and Z. Zhang, “Energy consumption analysis and prediction of electric vehicles based on real-world driving data,” *Appl. Energy*, vol. 275, no. 5, p. 115408, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115408.
- [3] M. Yilmaz and P. T. Krein, “Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169, 2013, doi: 10.1109/TPEL.2012.2212917.

- [4] S. S. Williamson, A. K. Rathore, and F. Musavi, "Industrial Electronics for Electric Transportation: Current State-of-the-Art and Future Challenges," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 5, pp. 3021–3032, May 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2409052.
- [5] M. Muratori *et al.*, "Technology solutions to mitigate electricity cost for electric vehicle DC fast charging," *Appl. Energy*, vol. 242, pp. 415–423, May 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.061.
- [6] H. S. Das, M. M. Rahman, S. Li, and C. W. Tan, "Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109618.
- [7] V. Vergara Naranjo, "ÓPTIMA GESTIÓN DE LA DEMANDA PARA ESTACIONES DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN MICROREDES INTELIGENTES," UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito, 2017.
- [8] C. C. Chan and K. T. Chau, "An overview of power electronics in electric vehicles," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 44, no. 1, pp. 3–13, 1997, doi: 10.1109/41.557493.
- [9] "Norma IEC 62196 - Exposición - BESEN-Group." <http://es.besen-group.com/info/iec-62196-standard-27427596.html> (accessed Jun. 16, 2020).
- [10] T. Winkler, P. Komarnicki, G. Mueller, G. Heideck, M. Heuer, and Z. A. Styczynski, "Electric vehicle charging stations in Magdeburg," *5th IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC '09*, pp. 60–65, 2009, doi: 10.1109/VPPC.2009.5289871.
- [11] D. Wellisch, J. Lenz, A. Faschingbauer, R. Pöschl, and S. Kunze, "Vehicle-to-grid AC charging station: An approach for smart charging development," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 4, pp. 55–60, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.07.007.
- [12] A. Di Giorgio, F. Liberati, and S. Canale, "IEC 61851 compliant electric vehicle charging control in smartgrids," *2013 21st Mediterr. Conf. Control Autom. MED 2013 - Conf. Proc.*, pp. 1329–1335, 2013, doi: 10.1109/MED.2013.6608892.
- [13] Y. Gao, X. Zhang, Q. Cheng, B. Guo, and J. Yang, "Classification and Review of the Charging Strategies for Commercial Lithium-Ion Batteries," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 43511–43524, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906117.
- [14] S. Rivera and B. Wu, "Electric Vehicle Charging Station With an Energy Storage Stage for Split-DC Bus Voltage Balancing," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 3, pp. 2376–2386, Mar. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2016.2568039.
- [15] J. A. Domínguez-Navarro, R. Dufo-López, J. M. Yusta-Loyo, J. S. Artal-Sevil, and J. L. Bernal-Agustín, "Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 105, pp. 46–58, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.08.001.
- [16] S. G. Li, S. M. Sharkh, F. C. Walsh, and C. N. Zhang, "Energy and battery management of a plug-in series hybrid electric vehicle using fuzzy logic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 8, pp. 3571–3585, 2011, doi: 10.1109/TVT.2011.2165571.
- [17] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M. Y. Chow, "Battery management system: An

- overview of its application in the smart grid and electric vehicles,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 7, no. 2, pp. 4–16, 2013, doi: 10.1109/MIE.2013.2250351.
- [18] SAE, “J1771- Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler,” no. 724, 2010.
- [19] U. IEC, “Norma Española IEC 61851 Parte 1 : Requisitos generales,” 2020.
- [20] C. técnico C. 201 A. y accesorios de baja tensión AFME, “Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo Carga conductiva de vehículos eléctricos Parte 2: Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para los accesorios de espigas y alvéolos en corriente alterna (IEC 62196-2),” 2017.
- [21] Schneider Electric USA, “TM251MESE - controller M251 2x Ethernet.” <https://www.se.com/us/en/product/TM251MESE/controller-m251-2x-ethernet/?range=62130-modicon-m251-micro-plc-with-dual-channel-comm.&selected-node-id=12692224736> (accessed Feb. 01, 2021).
- [22] Schneider Electric USA, “TM3DQ8R - Modicon TM3 - 8 relay outputs (screw) 24Vdc.” <https://www.se.com/us/en/product/TM3DQ8R/modicon-tm3---8-relay-outputs-%28screw%29-24vdc/> (accessed Feb. 01, 2021).
- [23] Schneider Electric USA, “TM3AM6 - Modicon TM3 - 4 analog inputs, 2 analog output (screw) 24Vdc.” <https://www.se.com/us/en/product/TM3AM6/modicon-tm3---4-analog-inputs%2C-2-analog-output-%28screw%29-24vdc/> (accessed Feb. 01, 2021).
- [24] Schneider Electric USA, “HMIGTO4310 - advanced touchscreen panel 640 x 480 pixels VGA- 7.5" - TFT - 96 MB.” <https://www.se.com/us/en/product/HMIGTO4310/advanced-touchscreen-panel-640-x-480-pixels-vga--7.5%22---tft---96-mb/> (accessed Feb. 01, 2021).
- [25] PHOENIX CONTACT, “Alimentación de corriente - UNO-PS/1AC/24DC/ 60W - 2902992.”
- [26] “Módulo Relé De 24v 2 Canales Bajo Nivel Arduino - Emakers.” <https://www.emakers.com.ar/tienda/actuadores-y-motores/relays/modulo-rele-de-24v-2-canales-bajo-nivel-arduino> (accessed Feb. 01, 2021).
- [27] Weidmüller, “RCIKIT 24VDC 2CO LD/PB | Catálogo de productos.” [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp?sessionId=A9384A5DABAE30994562C99443C4367E?productId=\(%5B8881610000%5D\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp?sessionId=A9384A5DABAE30994562C99443C4367E?productId=(%5B8881610000%5D)&page=Product) (accessed Feb. 01, 2021).
- [28] Schneider Electric Global, “LC1D50AU7 - TeSys D contactor - 3P(3 NO) - AC-3 - <= 440 V 50 A - 240 V AC 50/60 Hz coil,” Accessed: Feb. 01, 2021. [Online]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/LC1D50AU7/tesys-d-contactor---3p%283-no%29---ac-3---%3C%3D-440-v-50-a---240-v-ac-50-60-hz-coil/>.
- [29] M. Rata *et al.*, “The electrical vehicle simulator for charging station in mode 3 of IEC 61851-1 standard,” *Energies*, vol. 13, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.3390/en13010176.
- [30] R. M. Fish and L. A. Geddes, “Conduction of Electrical Current to and Through the Human Body: A Review,” 2009.



- [31] NIOSH, “Seguridad Eléctrica - Salud y seguridad para los oficios eléctricos,” pp. 1–27, 2009.
- [32] TRIAD Magnetics, “CST-1030 Datasheet,” 2019.

Anexos

A.1 Programa del Módulo de Lectura del Control Piloto en el Arduino

```
float voltaje_entrada;  
  
const int out_pwm = 3 ; // Usamos salida PWM en pin D3  
  
int adc_cp = 0 ; // Usamos entrada ADC en pin A0  
  
int adc_cp_1 = 0 ; // Guardamos la última lectura del ADC  
  
int adc_pp = 0 ; // Usamos entrada ADC en pin A0  
  
int adc_pp_1 = 0 ; // Guardamos la última lectura del ADC
```



```
void setup() {  
    // Configuramos el pin A0 como entrada  
    Serial.begin(9600);  
  
    // Configuramos pwm como salida  
    pinMode(out_pwm, OUTPUT) ;  
}  
  
void loop() {  
    // Leemos el valor del ADC en el pin A0 y A5  
    adc_cp = analogRead(0) ;  
    voltaje_entrada = (adc_cp* 4.73) / 1024; //Lee el voltaje de entrada  
  
    // Ajustamos el valor leído en A0 y A5 para adaptarlo al rango  
    // del PWM. Se adapta la escala de 0-1023 a 0-255  
  
    adc_cp = map(adc_cp, 0, 1023, 0, 255);  
  
    if (adc_cp != adc_cp_1) {  
        // Actualiza la lectura del ADC de CP  
        adc_cp_1 = adc_cp;  
    }  
  
    // Condicional para voltaje +12V (mayores a 4.45V)  
    if (adc_cp >= 240){  
        analogWrite(out_pwm, 216);  
    }  
}
```



```
// Condicional para voltaje +9V (menor a 4.45V y mayor a 4.17V)

else if (adc_cp < 240 && adc_cp >= 225 ) {

    analogWrite(out_pwm, 162);

}

// Condicional para voltaje +6V (menor a 4.17V y mayor a 3.6V)

else if (adc_cp < 225 && adc_cp >= 194 ) {

    analogWrite(out_pwm, 108);

}

// Condicional para voltaje +3V (menor a 3.6V y mayor a 3V)

else if (adc_cp < 194 && adc_cp >= 161 ) {

    analogWrite(out_pwm, 54);

}

// Condicional para los 0V

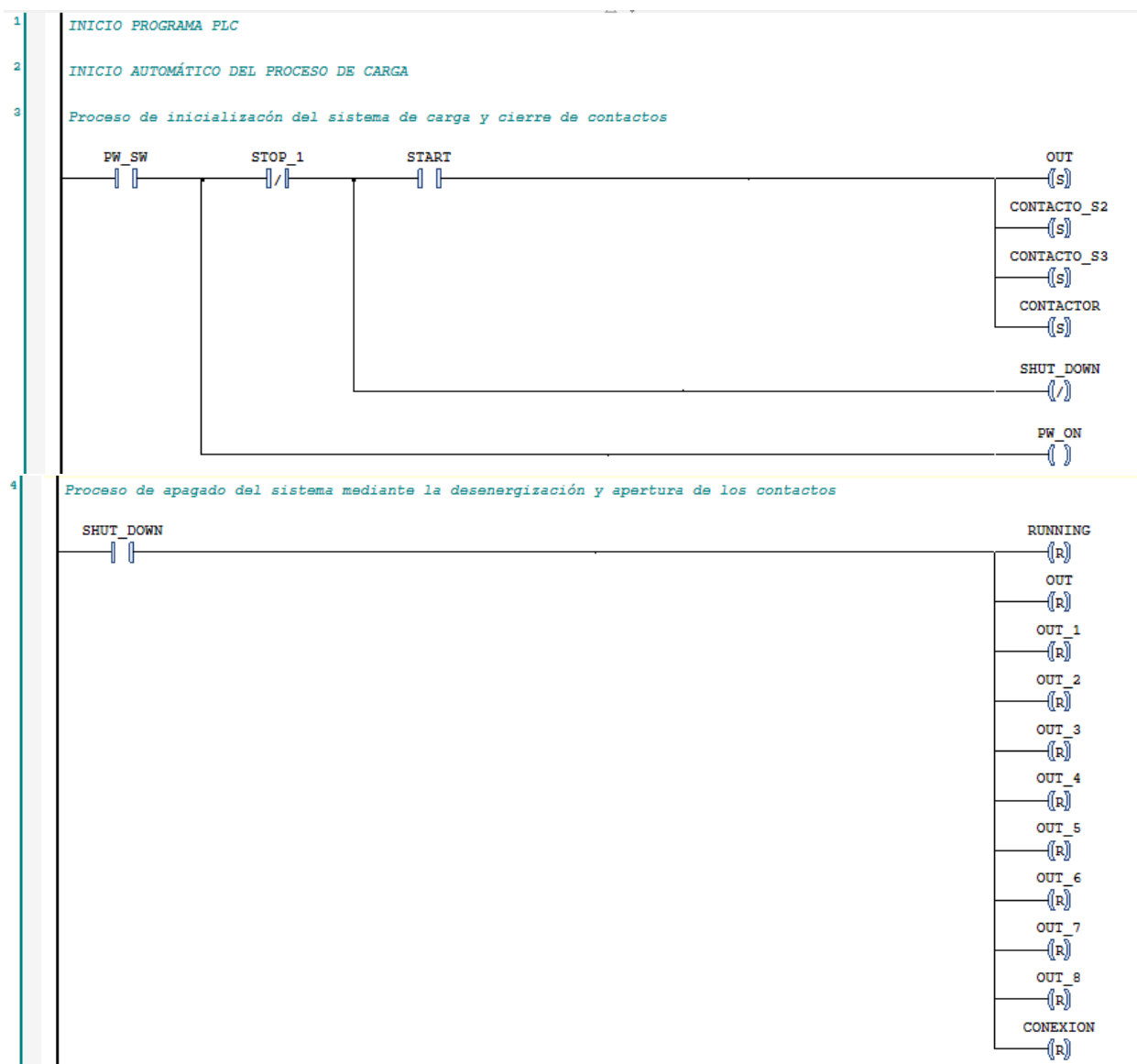
else if (adc_cp < 161 && adc_cp >= 50 ){

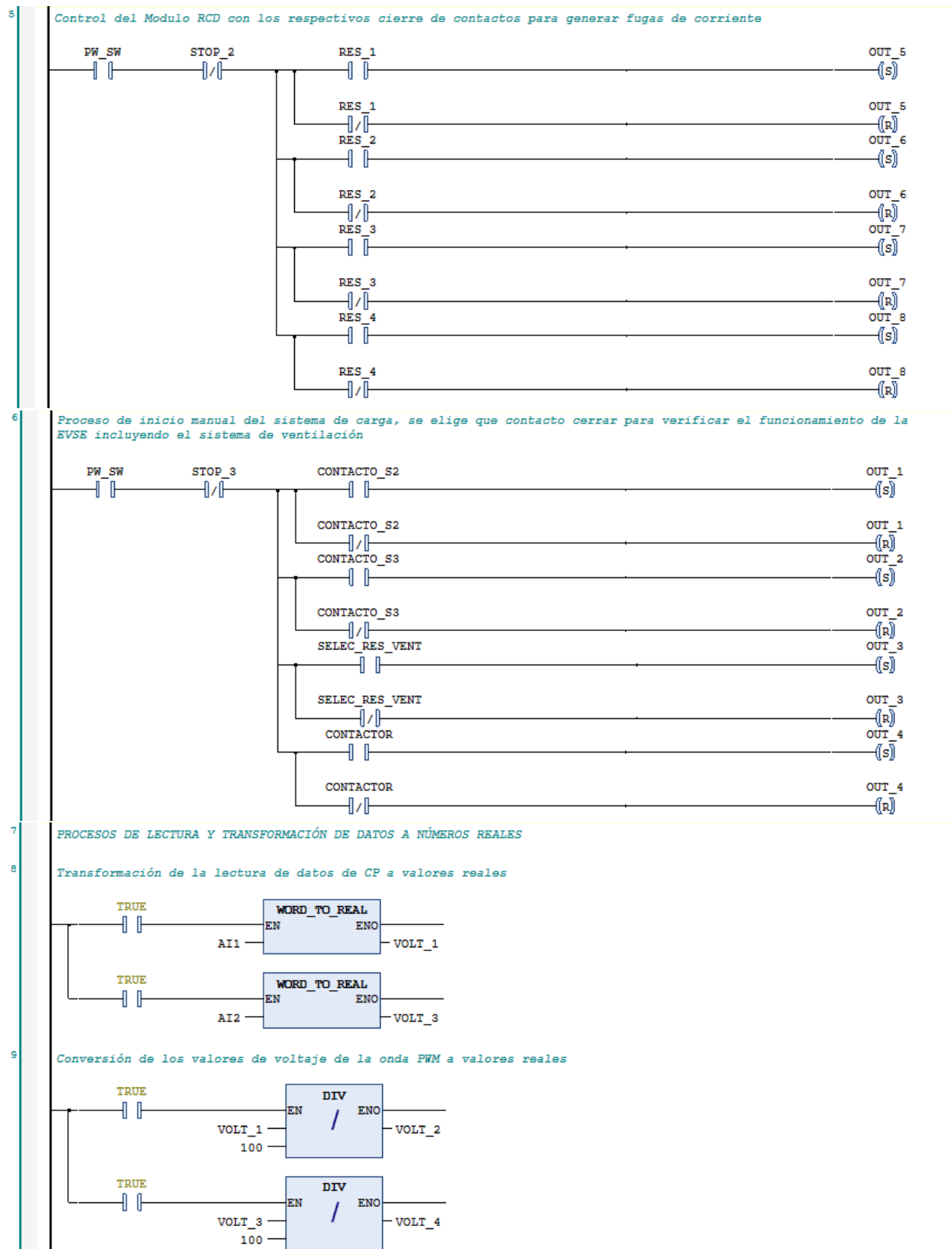
    analogWrite(out_pwm, 0);

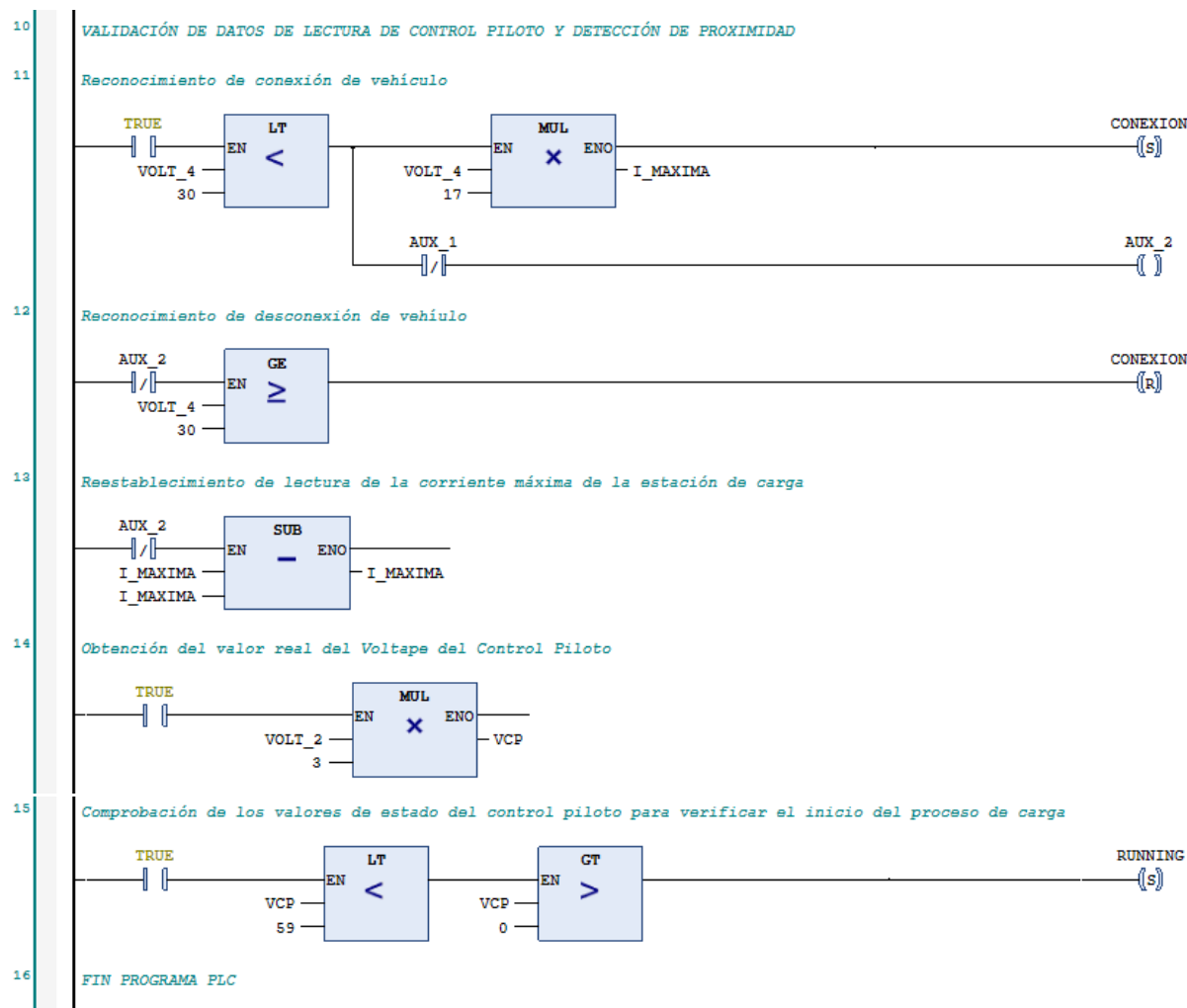
}

}
```

A.2 Programa en Ladder Diagram del PLC







A.3 Tabla de Costos de la Implementación del Sistema de Pruebas en Estaciones de Carga

Tabla A.3 Costos del Prototipo de Pruebas en Estaciones de Carga

Dispositivo/Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
PLC M251 Schneider	1	\$ 519,00	\$ 519,00
Modulo Digital TM3DQ8R	1	\$ 119,00	\$ 119,00
Módulo Analógico TM3AM6	1	\$ 259,00	\$ 259,00
Pantalla HMIGTO4310	1	\$ 3.110,00	\$ 3.110,00
Fuente de 24 V DC UNO-PS	2	\$ 74,98	\$ 149,96
Relés SONGLE 24 V DC	3	\$ 2,49	\$ 7,47
Relés WEIDMULLER 24 VDC	5	\$ 27,82	\$ 139,10
Contactador TeSys D LC1D50AU7	1	\$ 246,00	\$ 246,00
Conector de Entrada de Vehículo "Mennekes"	1	\$ 30,00	\$ 30,00

Niquelina de 6000 W a 240 V	1	\$	29,00	\$	29,00
Tarjeta Perforada	3	\$	2,50	\$	7,50
Resistencias Varias	23	\$	0,65	\$	14,95
Cable AWG 12 (tierra)	2,5	\$	1,60	\$	4,00
Cable AWG 14	4	\$	1,25	\$	5,00
Cable AWG 16	7	\$	1,15	\$	8,05
Amplificadores Operacionales	2	\$	1,00	\$	2,00
Dispositivos Electrónicos Varios	1	\$	15,00	\$	15,00
Cajetín Eléctrico	1	\$	60,00	\$	60,00
Botón de Emergencia	1	\$	6,00	\$	6,00
Fusibles 5 Amperios	2	\$	2,00	\$	4,00
Terminales redondos (pqt)	1	\$	3,50	\$	3,50
			Total	\$	4.738,53

A.4 Prototipo de Sistemas de Pruebas en Estaciones de Carga Terminado



