

Pol Sánchez Fortuny

**DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN
DE CARGADORES AC PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO
CON COMUNICACIÓN DE ALTO NIVEL**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Dirigido por Joan Pere Fibla Biosca

Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2022



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE
CARGADORES AC PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO CON
COMUNICACIÓN DE ALTO NIVEL**

ÍNDICE

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE.....	1
MEMORIA DESCRIPTIVA	0
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
1.1 AUTOR DEL PROYECTO.....	1
2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO	1
2.1 OBJETIVOS.....	2
3. ACRÓNIMOS Y TRADUCCIONES	2
4. INTRODUCCIÓN VEHÍCULO ELÉCTRICO	2
4.1 HISTORIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	2
5. TIPOS DE VEHÍCULO ELÉCTRICO	4
5.1 VEHÍCULO ELÉCTRICO DE BATERÍA	4
5.2 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO	4
5.3 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO ENCHUFABLE	4
5.4 VEHÍCULO ELÉCTRICO DE HIDRÓGENO.....	4
6. FUNCIONAMIENTO VEHÍCULO ELÉCTRICO CON BATERÍA	4
6.1 TOMA DE CORRIENTE	5
6.2 CARGADOR DE ABORDO.....	5
6.3 BATERÍA	6
6.4 CONVERTIDOR DC-DC.....	7
6.5 UNIDAD DE CONTROL DEL MOTOR	8
6.6 MOTOR ELÉCTRICO.....	8
6.7 TRANSMISIÓN.....	8
6.8 BATERÍA AUXILIAR	8
6.9 UNIDAD CENTRAL DE CONTROL	8
7. CARGADORES ELÉCTRICOS.....	8
7.1 TIPOS DE CARGADORES.....	8
7.1.1 <i>Tipos de conexión</i>	8
7.1.1.1 Caso A.....	9
7.1.1.2 Caso B.....	9
7.1.1.3 Caso C.....	9
7.1.2 <i>Tipo de conector</i>	10
7.1.2.1 Conectores AC.....	10
7.1.2.2 Conectores DC.....	11
7.1.3 <i>Velocidad de carga</i>	12
7.1.3.1 Modo 1 (Carga schuko)	12
7.1.3.2 Modo 2 (Carga lenta)	12
7.1.3.3 Modo 3 (Carga semi-rápida).....	12
7.1.3.4 Modo 4 (Carga rápida)	13
7.1.4 <i>Resumen de la tipología de los cargadores</i>	14
8. COMUNICACIÓN VEHÍCULO-CARGADOR.....	15
8.1 LOW LEVEL COMMUNICATION.....	15
8.1.1 <i>PWM</i>	15
8.1.2 <i>CP</i>	16
8.1.3 <i>PP</i>	27
8.2 HIGH LEVEL COMMUNICATION	28
9. PROCESO DE CARGA	35
9.1 CARGA CON CARGADORES DC.....	35
9.2 CARGA CON CARGADORES AC.....	35

10. PROCESO DE VALIDACIÓN DE LA CARGA.....	37
10.1 PROCESO DE VALIDACIÓN EN CARGA AC.....	37
10.2 PROCESO DE VALIDACIÓN EN CARGA DC	38
11.1 SIMULADORES	39
11.1.1 <i>Información general</i>	39
11.2 HARDWARE.....	39
11.2.1 Controlador	39
11.2.2 Simulador de batería	39
11.2.3 Equipo de laboratorio.....	39
11.3 SOFTWARE.....	40
11.3.1 <i>LabView</i>	40
11.3.2 <i>MCTS UI</i>	40
11.3.3 <i>Eclipse</i>	40
11.3.4 <i>WireShark</i>	40
11.4 TEST	40
11.4.1 <i>Test cases</i>	41
11.4.2 <i>Check Sheet</i>	41
12. DISEÑO DE VALIDACIÓN DEL CARGADOR EN AC	41
12.1 SECUENCIA DE LOS MENSAJES	43
12.2 TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE MENSAJES	43
12.3 PROCESO NORMAL DE PARADA.....	46
12.4 PROCESO DE PARADA DE EMERGENCIA.....	47
12.5 CONTENIDO DE LOS MENSAJES	47
CONCLUSIONES.....	48
TRABAJO FUTURO.....	49
BIBLIOGRAFÍA DE LA MEMORIA.....	50
BIBLIOGRAFÍA DE LAS FIGURAS.....	51
ANEXOS	53
1. MÁQUINAS ELÉCTRICAS.....	54
1.1 MOTOR CORRIENTE CONTINUA	54
1.2 MOTOR ASÍNCRONO DE INDUCCIÓN	54
1.3 MOTOR BRUSHLESS	54
1.4 MOTOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES	55
2. BATERÍAS	55
2.1 BATERÍA PLOMO-ÁCIDO	55
2.2 BATERÍA NÍQUEL-CADMIO	55
2.3 BATERÍA NÍQUEL-METAL HIDRURO	55
2.4 BATERÍA DE ION-LITIO.....	55
3. CONVERTIDORES DE POTENCIA	56
3.1 CONVERTIDORES RECTIFICADORES	56
3.2 CONVERTIDORES DC-DC.....	56
3.3 CONVERTIDORES INVERSORES	56
3.4 CONVERTIDORES AC-AC	56
4. LISTA DE TEST CASE	56
5. DISEÑO DE UN TEST CASE	56
6. DOCUMENTACIÓN	57

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	VEHÍCULO ELÉCTRICO EGGHER-LOHNER P1.....	3
FIGURA 2.	ANUNCIO VEHÍCULO ELÉCTRICO FRITCHLE	3
FIGURA 3.	COMPORTAMIENTO DEL VOLTAJE Y INTENSIDAD EN LA OBC.....	5
FIGURA 4.	ESTRUCTURA INTERNA OBC	6
FIGURA 5.	ESTRUCTURA DE UNA BATERÍA DE VEHÍCULO ELÉCTRICO	7
FIGURA 6.	CONEXIÓN VEHÍCULO-CARGADOR CASO A	9
FIGURA 7.	CONEXIÓN VEHÍCULO-CARGADOR CASO B.....	9
FIGURA 8.	CONEXIÓN VEHÍCULO-CARGADOR CASO C.....	9
FIGURA 9.	CARGADOR MODO 3	13
FIGURA 10.	CARGADOR MODO 4	14
FIGURA 11.	RESUMEN TIPO DE CONECTORES	14
FIGURA 12.	CONECTOR Y ENCHUFE TIPO 2.....	15
FIGURA 13.	CIRCUITO CP.....	16
FIGURA 14.	DIAGRAMA DE ESTADOS CP	17
FIGURA 15.	CIRCUITO PP.....	28
FIGURA 16.	DIAGRAMA DE ESTADOS DE UN MODO DE CARGA 4 EN DC CON HLC	34
FIGURA 17.	ESTRUCTURA DEL MENSAJE CHARGINGSTATUSRES SEGÚN ISO 15118-2.....	43
FIGURA 18.	DIAGRAMA EXPLICATIVO DE LOS TIEMPOS DE EJECUCIÓN ENTRE MENSAJES	44
FIGURA 19.	UI DEL SIMULADOR EJECUTANDO EL TEST DE TIMEOUT EN SS	45
FIGURA 20.	UI DEL SIMULADOR EJECUTANDO EL TEST DE CASI TIMEOUT EN SS	46

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.	ESPECIFICACIONES CONECTOR TIPO 1 AC	10
TABLA 2.	ESPECIFICACIONES CONECTOR TIPO 2 AC	10
TABLA 3.	ESPECIFICACIONES CONECTOR GB/T AC	10
TABLA 4.	ESPECIFICACIONES CONECTOR CCS 1 DC.....	11
TABLA 5.	ESPECIFICACIONES CONECTOR CCS 2 DC.....	11
TABLA 6.	ESPECIFICACIONES CONECTOR CHADEMO	11
TABLA 7.	ESPECIFICACIONES CONECTORES GB/T DC.....	12
TABLA 8.	RESUMEN TIPOLOGÍAS DE CARGADORES	14
TABLA 9.	RANGOS DEL CICLO DE TRABAJO DEL PWM EN EL PROCESO DE CARGA.....	16
TABLA 10.	RESUMEN DE LOS ESTADOS DEL CP	17
TABLA 11.	CAMBIO DE ESTADO EN CP AL CONECTAR CARGADOR AL VEHÍCULO	18
TABLA 12.	CAMBIO DE ESTADO EN CP AL DESCONECTAR ANTES DE EMPEZAR LA CARGA	18
TABLA 13.	CAMBIO DE ESTADO EN CP AL DESCONECTAR DURANTE EL PROCESO DE CARGA	19
TABLA 14.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL CARGADOR ESTÁ LISTO DESDE ESTADO B	19
TABLA 15.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL CARGADOR ESTÁ LISTO DESDE ESTADO C	20
TABLA 16.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL VEHÍCULO ESTÁ LISTO PARA LA CARGA	21
TABLA 17.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EMPIEZA EL PROCESO DE CARGA	21
TABLA 18.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CON UNA VARIACIÓN DE CORRIENTE.....	22
TABLA 19.	ECHA DE MCAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL VEHÍCULO PARA LA CARGA	23
TABLA 20.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL VEHÍCULO ABRE S2 CON PWM ON	23
TABLA 21.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL VEHÍCULO ABRE S2 CON PWM OFF	24
TABLA 22.	CAMBIO DE ESTADO DE CP CUANDO EL CARGADOR PIDE ACABAR LA CARGA	24
TABLA 23.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL CARGADOR PARA PWM EN ESTADO B	25
TABLA 24.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL CARGADOR PARA PWM EN ESTADO A	25
TABLA 25.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL VEHÍCULO ACEPTA LA PETICIÓN DE PARAR.....	26
TABLA 26.	CAMBIO DE ESTADO EN CP CUANDO EL VEHÍCULO NO RESPONDE A LA PETICIÓN DE PARAR ..	26
TABLA 27.	CAMBIO DE ESTADO EN CP	27
TABLA 28.	VALORES DE LA RESISTENCIA DEL PROXIMITY POINT	28
TABLA 29.	CAPAS OSI IMPLEMENTADAS EN EL CÓDIGO DEL SIMULADOR.....	30
TABLA 30.	FORMA DE LA DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO DE VALIDACIÓN	42



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE
CARGADORES AC PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO CON
COMUNICACIÓN DE ALTO NIVEL**

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. Identificación del proyecto

1.1 Autor del proyecto

- Autor: Pol Sánchez Fortuny
- Empresa: Applus+ IDIADA
- DNI: 48188147-L
- Correo: polsanchezfortuny@gmail.com

2. Objeto y alcance del proyecto

Es probable que cada vez veamos con más frecuencia vehículos eléctricos circulando por las calles. Esto se debe a que diversos factores que estamos viviendo en la actualidad, como el cambio climático, hagan aparecer alternativas al coche de combustión para combatir la contaminación que producen, ya que representa una quinta parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero [1].

En la cumbre del clima del 2021 (COP21) se llegó a un acuerdo en el que se han sumado más de 30 países y diferentes fabricantes del sector del automóvil para eliminar la producción de vehículos de combustión para 2035 [1]. Este acuerdo parece el principio del fin del vehículo con motor de combustión. En este caso la fuente sigue siendo el primer punto que encontramos en la bibliografía.

La alternativa con más fuerza en el mercado es el vehículo eléctrico y los fabricantes que no pongan sus esfuerzos en electrificar sus modelos perderán importancia en el mercado en un futuro próximo, pero hay mucho trabajo por hacer.

Actualmente se están desarrollando diferentes mejoras, en paralelo, para poder introducir el vehículo eléctrico a la sociedad, como el rendimiento de las baterías, reducción de costes de fabricación o la instalación de infraestructuras necesarias.

Uno de los puntos clave es el proceso de carga de los vehículos eléctricos. Hasta ahora estamos acostumbrados a repostar en una gasolinera en unos pocos minutos y seguir con nuestro camino, mientras que una carga eléctrica puede tardar horas. Es por eso que es totalmente necesario mejorar el proceso de carga y dotarlo de nuevas funciones que hagan la experiencia más atractiva de cara a la sociedad y apuesten por esta alternativa al vehículo de combustión.

Hay diferentes modos de carga, que más adelante explicaremos con profundidad, el más común de ellos es, a la vez, uno de los menos desarrollados a nivel de comunicación y funcionalidades. Hablamos de la carga en AC (corriente alterna), la que podemos usar en nuestra casa o podemos ver en centros comerciales o áreas de servicio. Actualmente hay proyectos en marcha por parte de los fabricantes tanto de vehículos como de cargadores eléctricos para implementar la comunicación digital entre ambos lados para tener un mayor control e introducir notables mejoras en el proceso de carga.

En este proyecto trabajaré en conjunto con el departamento de cargadores eléctricos de IDIADA, donde estoy realizando mis prácticas externas, en desarrollar un proceso de validación de cargadores AC con comunicación digital. Este proceso de validación será el paso previo a que un fabricante lance su modelo al mercado.

Ya que la información utilizada en este proyecto proviene tanto de la empresa, IDIADA, como de diferentes fabricantes que colaboran con la misma, el contenido del proyecto será confidencial.

2.1 Objetivos

- Monitorizar y controlar el estado del proceso de carga entre el vehículo eléctrico y el cargador con comunicación de alto nivel.
- Creación de la documentación necesaria para validar el resultado del proceso.
- Crear diferentes test para comprobar el buen funcionamiento del proceso de carga.
- Realizar el proceso de validación en un proceso simulado.

3. Acrónimos y traducciones

- EV (Electrical Vehicle) - Vehículo eléctrico
- EVSE (Electrical Vehicle Supply Equipment) - Cargador para vehículo eléctrico
- CP (Control Point) - Pin de control
- PP (Proximity Point) - Pin de proximidad
- OBC (On Board Charger) - Cargador de abordo
- PLC (Power Line Comunication) - Comunicación a través de línea de potencia
- HLC (High Level Comunication) - Comunicación de alto nivel
- LLC (Low Level Comunication) - Comunicación de bajo nivel
- SLAC - Signal Level Attenuation Characterization

4. Introducción vehículo eléctrico

4.1 Historia del vehículo eléctrico

Parece que el vehículo eléctrico está cogiendo fuerza desde principios del siglo XXI y está consiguiendo abrirse paso en el mercado y ser una alternativa real al vehículo de combustión, pero lo cierto es que su historia empieza a mediados del siglo XIX [2].

El primer vehículo eléctrico data del 1834, casi 30 años antes que el motor de combustión interna, que se inventó en 1861. La comercialización del vehículo eléctrico empezó en 1852, pero en ese caso las baterías no eran recargables.

También en 1852, Gastón Planté, inventó la batería recargable de plomo y ácido, pero su fabricación a nivel industrial no era posible. En 1880 Camille Faure mejoró la batería de Gastón Plante mediante un procedimiento electroquímico que aumentaba la capacidad de carga. A partir de ese momento la batería se fabricó a nivel industrial e hizo que el mercado de los vehículos eléctricos creciera exponencialmente a principios del siglo XX.

En Europa, un fabricante austriaco llamado Jacob Lohner le encargó a Ferdinand Porsche, un joven ingeniero, la creación de un vehículo eléctrico. En aquel momento los vehículos con motor de combustión generaban muchos humos y ruidos y a mucha gente no les gustaban, por lo contrario, el coche eléctrico era silencioso y muy limpio. Finalmente, en 1898, Ferdinand Porsche sacó al mercado su primer coche, el Egger-Lohner P1. Este vehículo era capaz de llegar a 34 km/h y tenía 79 km de autonomía. El modelo fue todo un éxito y se hicieron muchos más modelos tanto eléctricos como híbridos.

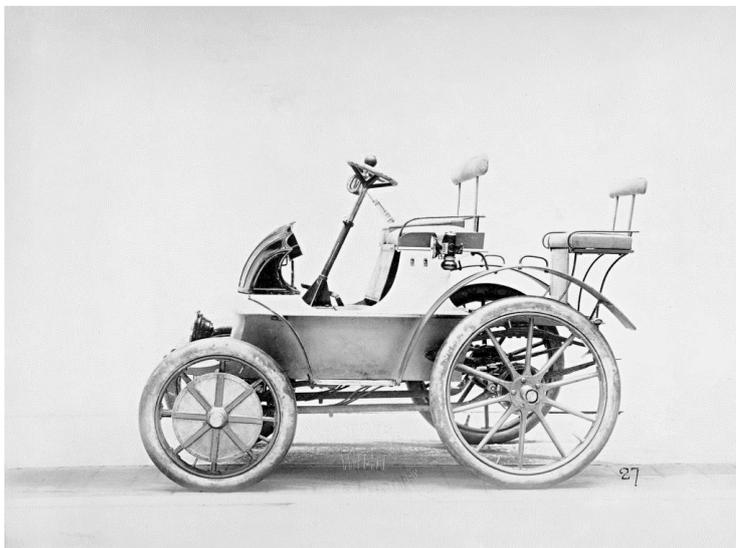


Figura 1. Vehículo eléctrico Egger-Lohner P1.

A principios del siglo XX el líder del mercado era Fritchle, compañía creada en 1908 por el químico Oliver Fritchle. Su coche tenía una autonomía de 160 km en llano, muy superior a sus competidores en aquella época, era espacioso, no hacía ruido ni generaba humos por lo que tuvo mucho éxito en las mujeres de la alta sociedad de entonces. Su precio era casi diez veces superior a los coches con motor de combustión más habituales.

THE 100-MILE FRITCHLE ELECTRIC
Is Guaranteed
to travel 100 miles to the single charge—over city streets or country roads.

We are now ready to close 1909 Agencies. Write for our proposition.

VICTORIA PHAETON \$2000
Complete the business all styles Write for Art Catalogue

CENTRAL GARAGE
1810-12 NEW YORK AVE.
HANDLING AND ELECTRIC CARS STORED AND REPAIRED
WASHINGTON, D. C. December 15, 1908.

STORAGE

TO WHOM IT MAY CONCERN:

This is to certify that we charged Mr. Fritchle's Electric Automobile and maintained in running condition the car.

When the car left the garage, the meter registered 40 1/2 miles and when it returned the next day, it registered 100 miles, showing that 100 miles had been run on one charge.

We are positive that the car was not recharged anywhere in the country.

Roll C. Hughes

The above letter is respectfully submitted as absolute proof of our "100 mile per charge" claim—in this particular instance, however, the mileage having been made by a Fritchle Electric immediately after the completion of an overland tour from Lincoln, Neb., to New York City, thence to Washington, D. C., through hundreds of miles of mud and over the Allegheny mountains.

Art Catalogue showing entire line of open and closed cars mailed on request.

THE FRITCHLE AUTOMOBILE & BATTERY COMPANY
1449-1428 Clarkson Street, DENVER, COLORADO

Figura 2. Anuncio vehículo eléctrico Fritchle

En las principales ciudades americanas, como Nueva York o Chicago, la presencia del vehículo eléctrico era muy fuerte llegando incluso a fabricarse columnas públicas para recargar las baterías de los vehículos, tal y como empezamos a ver otra vez ahora con más frecuencia,

pero al llegar a los años 20 los avances tanto en la sociedad como en el motor de combustión hicieron perder fuerza a los coches eléctricos. Los principales motivos fueron la fabricación en serie de los coches de combustión, cosa que hacía bajar mucho el precio final, se podía repostar de una manera mucho más rápida y fácil y el precio de la gasolina descendió drásticamente al encontrarse petróleo en Texas. A partir de ese momento, salvo algún prototipo o proyecto puntual en los años cincuenta o sesenta, el coche eléctrico cayó totalmente en el olvido hasta los años noventa.

A raíz de la necesidad de los gobiernos de cumplir con políticas ecologistas y de bienestar para el planeta se impulsaron diferentes medidas para favorecer el crecimiento del sector del vehículo eléctrico. Hoy en día, parece que el vehículo eléctrico va a acabar imponiéndose por encima del vehículo de combustión en un futuro no muy lejano. Todas las grandes marcas disponen de algún modelo de vehículo eléctrico y cada vez hay más interés en seguir innovado y desarrollando esta tecnología.

5. Tipos de vehículo eléctrico

5.1 Vehículo eléctrico de batería

Los vehículos eléctricos con batería son completamente eléctricos. La propulsión del vehículo se produce mediante un motor eléctrico que es alimentado por la batería. En este caso, es imprescindible su conexión a la red eléctrica para recargar las baterías.

Es el caso en el que nos vamos a centrar en este proyecto.

5.2 Vehículo eléctrico híbrido

Este tipo de vehículo combina el motor eléctrico con un motor de combustión interna. Las baterías no son enchufables, se recargan con la energía del motor de combustión o con la energía que generan los frenos. Dependiendo de la fase en la que se encuentre el coche, y si hay energía almacenada en las baterías, hace funcionar el motor eléctrico o el motor de combustión.

5.3 Vehículo eléctrico híbrido enchufable

Esta variante del vehículo híbrido permite recargar las baterías del coche enchufándolo a la red eléctrica. Esto hace que tengan mucha más autonomía y el motor eléctrico tenga más presencia en el funcionamiento del coche.

5.4 Vehículo eléctrico de hidrógeno

Este caso es el menos desarrollado actualmente, aún que hay una gran investigación detrás. La fuente de energía que utilizan es el hidrógeno.

Estos vehículos usan una pila de combustible alimentada con hidrógeno para generar energía eléctrica que es usada para alimentar el motor eléctrico. El hidrógeno no genera emisiones contaminantes en este proceso por lo que es una alternativa muy respetuosa con el medio ambiente.

6. Funcionamiento vehículo eléctrico con batería

El funcionamiento interno de un vehículo eléctrico es más sencillo y limpio que el de un vehículo convencional. Consta de nueve elementos clave que son: Toma de corriente, cargador de abordo, batería, inversor, unidad de control del motor, motor eléctrico, transmisión, batería auxiliar y unidad central de control.

6.1 Toma de corriente

La toma de corriente permite conectar el vehículo a un punto de carga, ya puede ser una toma de corriente doméstica, un wallbox o un cargador público. Más adelante se especificará las diferencias entre ellos.

6.2 Cargador de abordo

Cuando conectamos el vehículo a la red eléctrica pública ésta nos da corriente alterna, mientras que la batería trabaja con corriente continua. El cargador de abordo actúa como un rectificador y se encarga de transformar la corriente AC en corriente DC para poder almacenarla en la batería. Cuando la carga del vehículo se hace a través de un cargador DC el cargador de abordo, o OBC por sus siglas en inglés, no se tiene en cuenta, ya que la rectificación de la corriente alterna proveniente de la red pública se produce en el propio cargador público y entra al vehículo directamente en forma de corriente continua.

El OBC tiene como función también cuidar la vida útil de la batería, esto lo consigue controlando la corriente y el voltaje que le suministra.

El cargador de abordo ofrece carga en corriente o voltaje constante. En la carga con corriente constante la eficiencia es muy alta y se consigue una alta velocidad de carga, en contra, existe el riesgo de que la batería se sobrecargue, dañándola y reduciendo su vida útil. En el caso de la carga con voltaje constante existe el riesgo de que la batería reciba una corriente demasiado alta en los primeros instantes del proceso de carga, lo que podría sobrecalentar la batería y dañarla también.

Como solución, el OBC carga inicialmente con corriente constante y cuando la batería llega a cierto nivel de carga le suministra voltaje constante. Con esto conseguimos, en una primera fase, una eficiencia y velocidad elevada y, en la segunda fase, más control y estabilidad para evitar una sobrecarga.

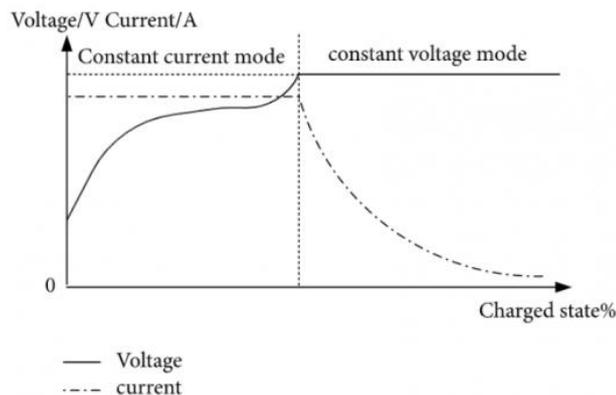


Figura 3. Comportamiento del voltaje y intensidad en la OBC

Como vemos en la figura 3, en la primera fase el vehículo le pide la máxima corriente al cargador mientras el voltaje va ascendiendo. Una vez el nivel de la batería se acerca a su capacidad máxima es el voltaje el que se suministra de manera constante y la corriente va disminuyendo progresivamente. Esto puede conseguirse mediante un controlador PI.

La estructura interna del OBC tiene dos partes diferenciadas, en primer lugar, tenemos el inversor que convierte la corriente alterna de la red pública en corriente continua y la segunda

en la que se amplifica la señal continua mediante otro convertidor y la adapta a lo que la batería necesita en ese momento de la carga.

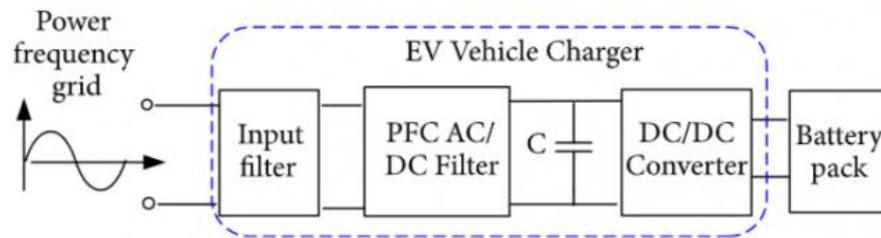


Figura 4. Estructura interna OBC

Tenemos en el mercado diferentes tipos de cargadores de a bordo. Las principales diferencias se basan en el número de fases que pueden usar y en la potencia. Comúnmente ofrecen una potencia de 7,3 kW si trabaja en una sola fase y de 22 kW si la conexión es trifásica, puede haber vehículos que lleven una OBC incorporada que ofrezca una mayor potencia, pero son muy pocos los casos ya que aumenta tanto el tamaño y peso del propio equipo como el precio final del vehículo.

6.3 Batería

La batería es la parte más cara e importante del vehículo eléctrico. Uno de los principales motivos de la no progresión del vehículo eléctrico en el mercado son los problemas que se han ido encontrando con las baterías, ya sea su elevado precio, su vida útil, la necesidad de reemplazo, el tiempo de recarga o el daño en el medio ambiente que produce desecharlas. En la actualidad, muchos de estos inconvenientes están empezando a desaparecer gracias a los rápidos avances que se están haciendo en este campo (Referencia en el punto [3] de la bibliografía).

Cada fabricante produce sus baterías de una manera diferente. Hay diferentes formas de realizar la reacción química dentro de la batería, pero generalmente todas tienen la misma estructura final cuando se implanta en el vehículo.

Actualmente la forma más eficiente en cuanto a rendimiento y espacio es estructurar la batería en un conjunto de módulos formados por muchas pequeñas baterías conectadas en serie en el interior. Estas pequeñas baterías se llaman celdas. Cada fabricante utiliza celdas con una forma diferente con sus ventajas y inconvenientes, pero el resultado acaba siendo el mismo, un pack formado por varios módulos conectados en serie o paralelo.

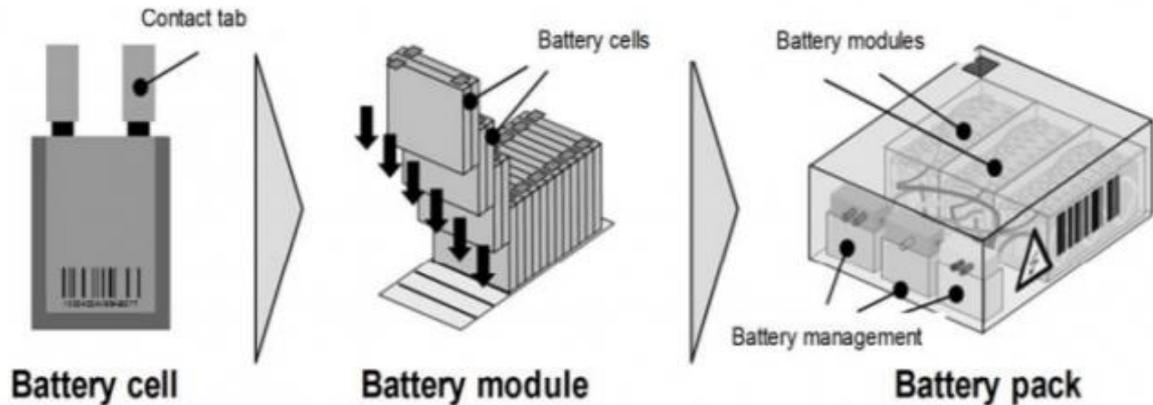


Figura 5. Estructura de una batería de vehículo eléctrico

Los parámetros más importantes en los que los fabricantes se interesan son:

- Densidad de energía (Wh/kg): Es la energía por unidad de peso. Se busca la mayor densidad de energía posible. Algunos fabricantes buscan conseguirlo en las propias celdas y otros buscan como estructurar la forma y la disposición de las celdas para aumentar la densidad en todo el módulo.
- Ciclos de carga: Es la vida útil de la batería. Mide la cantidad de ciclos de carga y de descarga que puede experimentar la batería manteniendo sus propiedades. Por lo general duran una media de entre 1000 y 1500 ciclos, aún que con los avances que se están produciendo este parámetro está creciendo muy rápido.
- Precio: Actualmente el precio de la batería representa el 30% del precio total del vehículo. El precio suele medirse por unidad de energía (kWh). Gracias a los avances tecnológicos y al aumento de la producción hemos pasado de aproximadamente 1000 €/kWh en 2010 a unos 100 €/kWh en la actualidad.
- Autonomía: La autonomía de una batería podemos medirla en la distancia que puede recorrer un vehículo sin recargar. A nivel de prestaciones, depende de la capacidad de la batería (kWh) y del consumo del vehículo. Los fabricantes de vehículos eléctricos buscan el equilibrio entre las prestaciones de la batería y su precio, ya que cuanto más autonomía tenga el vehículo necesitará una batería con mayores prestaciones y el precio final del vehículo aumentará significativamente. Actualmente, tenemos vehículos que ofrecen una autonomía desde 30 km hasta 500 km dependiendo de su capacidad y configuración.

6.4 Convertidor DC-DC

Este inversor actúa como amplificador de tensión. Recibe un voltaje DC proveniente de la batería y lo amplifica, también en DC, para mandarlo a la unidad de control del motor. También existe un segundo inversor que reduce el voltaje para la batería auxiliar.

6.5 Unidad de control del motor

La unidad de control del motor, o inverter, regula la velocidad, par y dirección del motor. Controla el flujo de energía entre la batería y el motor. Generalmente, el motor eléctrico trabajará con corriente alterna así que la unidad de control del motor se encargará de convertir la corriente continua proveniente del rectificador a corriente alterna para hacer girar el motor. Este rectificador trabajará de manera bidireccional, de esta manera puede recuperar energía proveniente del sistema de frenos.

6.6 Motor eléctrico

El motor hace girar las ruedas del vehículo, es decir, convierte la energía eléctrica en movimiento. También es capaz de generar energía en las fases de aceleración y desaceleración. Generalmente los fabricantes usan motores de inducción o de imanes permanentes.

6.7 Transmisión

La transmisión de un vehículo eléctrico es muy sencilla ya que son de únicamente una marcha a excepción de algún caso aislado.

6.8 Batería auxiliar

Existe una batería auxiliar de 12V que alimenta al coche antes de que encienda la batería principal y a los elementos auxiliares del coche, igual que en un vehículo convencional.

6.9 Unidad central de control

Gestiona todos los sistemas del coche, así como el funcionamiento del coche en general. Se encarga del control de estabilidad y tracción, el reparto del par en los dos ejes, controla el flujo de energía, el cargador de abordo y la unidad de gestión de la batería.

7. Cargadores eléctricos

7.1 Tipos de cargadores

Existen diferentes tipos de cargadores para vehículo eléctrico. El fabricante diseñará el vehículo estudiando diferentes factores como el tipo de batería que vaya a tener incorporada, el tiempo máximo de carga o la finalidad del uso del vehículo (uso personal, transporte público, competición, etc.).

Por otro lado, otro aspecto que debe elegir el fabricante es el tipo de conector del vehículo para ser enchufado a los cargadores eléctricos. Esto será determinado principalmente por la región donde vaya a ser utilizado el vehículo.

También veremos que existen cargadores de corriente continua y corriente alterna. A parte de las prestaciones que pueden ofrecer al vehículo, su principal diferencia constructiva es que en el cargador DC el convertidor AC/DC está incorporado dentro de su estructura mientras que en el cargador AC el convertidor AC/DC se encuentra dentro del vehículo (OBC).

7.1.1 Tipos de conexión

Hay tres tipos de conexión entre la red pública y el vehículo. En cada caso sólo se especifica el tipo de conexión en sí, luego podremos ver que cada caso puede tener diferentes tipos

7.1.1.1 Caso A

En este caso el cable que conecta el vehículo con la red tiene un extremo fijo en el vehículo. El cable es retráctil y se extrae cuando se quiere cargar el vehículo. Generalmente este caso está presente en vehículos pequeños como motocicletas.

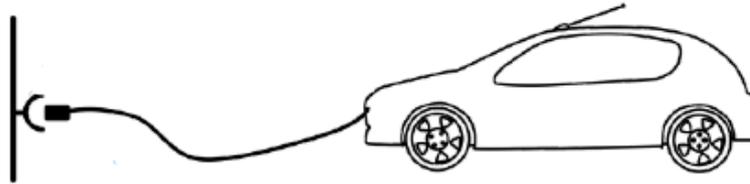


Figura 6. Conexión vehículo-cargador caso A

7.1.1.2 Caso B

En el caso B el cable no está fijo en ninguno de los dos extremos. Cuando se quiere cargar se debe enchufar el cable tanto a la red como al vehículo.

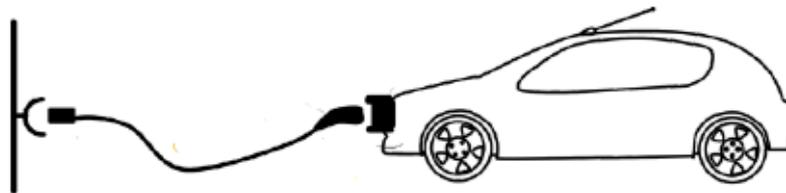


Figura 7. Conexión vehículo-cargador caso B

7.1.1.3 Caso C

En este último caso el extremo que va enchufado a la red es fijo, normalmente a una estación de carga o wallbox, el otro extremo queda libre y se debe conectar al vehículo. Este caso es usado cuando se requiere una mayor potencia de carga o una carga más rápida.

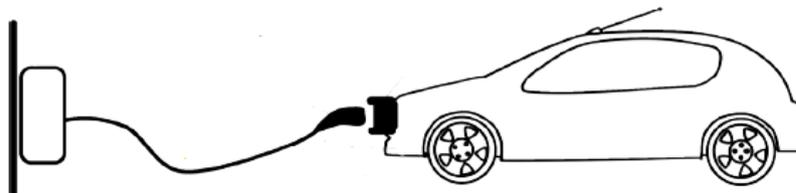


Figura 8. Conexión vehículo-cargador caso C

7.1.2 Tipo de conector

7.1.2.1 Conectores AC

Tipo 1					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1 PH	48 A	240 V	AC	11,5 kW	

Tabla 1. Especificaciones conector tipo 1 AC

Tipo 2					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1/3 PH	32 A	230 V	AC	22 kW	

Tabla 2. Especificaciones conector tipo 2 AC

GB/T AC					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1/3 PH	64 A	440 V	AC	27,7 kW	

Tabla 3. Especificaciones conector GB/T AC

7.1.2.2 Conectores DC

CCS 1					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1 PH	450 A	800 V	DC	350 kW	

Tabla 4. Especificaciones conector CCS 1 DC

CCS 2					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1 PH	300 A	1000 V	DC	300 kW	

Tabla 5. Especificaciones conector CCS 2 DC

CHAdeMO					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1 PH	400 A	1000 V	DC	400 kW	

Tabla 6. Especificaciones conector CHAdeMO

GB/T DC					
Fase	Corriente	Voltaje	Tensión	Potencia	Conector
1 PH	250 A	1000 V	DC	250 kW	

Tabla 7. Especificaciones conectores GB/T DC

7.1.3 Velocidad de carga

7.1.3.1 Modo 1 (Carga schuko)

En este modo de carga el vehículo se conecta a la red a través de un enchufe doméstico, por lo tanto, la potencia suministrada será la de la red doméstica. Este método de carga es el más lento y no incluye ningún tipo de seguridad, no está recomendado para vehículos que requieran mucha potencia.

7.1.3.2 Modo 2 (Carga lenta)

Este tipo de carga también está pensada para ser conectada a la red eléctrica de nuestra casa. El tipo de carga es monofásica con un máximo de 3.7 kWh. La diferencia con el modo 1 es que en este caso sí que precisamos de seguridad y comunicación entre la red y el vehículo así que la conexión incluye un sistema de protección y un interruptor diferencial.

Normalmente, este modo cuenta con una caja de recarga con toma schuko y el cable se conecta desde el vehículo con esta toma.

La recarga es lenta y está pensada para pequeños vehículos como patinetes, híbridos recargables o motocicletas pequeñas.

7.1.3.3 Modo 3 (Carga semi-rápida)

Este modo de carga requiere de un dispositivo externo que hace de intermediario entre la red y el vehículo. Este dispositivo se denomina EVSE, por sus siglas en inglés *Electric Vehicle Supply Equipment*. El modo 3 es un tipo de carga exclusivamente para vehículo eléctrico, no como en el modo 1 o modo 2. El EVSE lleva sistemas de protección necesarios para la instalación eléctrica y del vehículo, un sistema de monitorización para detectar el estado del proceso de carga y también permite la comunicación entre ambos lados.

El modo 3 es obligatorio para los puntos de recarga que sean de uso público según la legislación española actual (ITC-BT-52), lo podemos encontrar en sitios como gasolineras, estaciones de servicio, supermercados, etc. También podemos tener esta instalación en nuestra casa.

Nos permitirá cargar hasta 32 A con una potencia máxima de 7,2 kWh y 230 V en caso de carga monofásica. En trifásica podremos cargar con un máximo de 43 kWh.

Para este modo de carga necesitaremos usar un conector Tipo 1, Tipo 2 o GB/T, dependiendo del que se adapte a nuestro vehículo.

Este modo de carga es en el que nos centraremos para verificar la comunicación de alto nivel.



Figura 9. Cargador modo 3

7.1.3.4 Modo 4 (Carga rápida)

Este modo de carga está destinado a la carga rápida, eso lo consigue alimentando directamente la batería del vehículo con corriente continua gracias al transformador de alterna a continua que lleva incorporado el propio cargador. Los demás modos dependen del rendimiento del transformador de alterna a continua del propio vehículo, por lo tanto, están más limitados.

Igual que en el modo 3, este modo lleva incorporados sistemas de protección para la instalación y el vehículo y la comunicación entre las dos partes es total para controlar en todo momento en que punto del proceso de carga nos encontramos y poder verificar su correcto funcionamiento.

Este cargador nos aporta, como mínimo, 50 kWh, pudiendo llegar hasta 350 kWh en algunos casos. Con esta potencia podríamos recargar nuestro vehículo hasta el 80% de su capacidad en menos de media hora, siempre dependiendo de la capacidad de la batería.

Si queremos utilizar el modo de carga rápida deberemos cargar con el protocolo CCS, CHAdeMO o GB/T.



Figura 10. Cargador modo 4

7.1.4 Resumen de la tipología de los cargadores

Conector	Velocidad de carga	Potencia nominal max	Conexión	Tensión	Caso	Zona de aplicación
Schuko	LENTA	3,5 kW	3 F	AC	A,B	
Tipo 1	SEMI-RÁPIDA	7,4 kW	1 F	AC	B,C	NA
Tipo 2	SEMI-RÁPIDA	43 kW	1 F / 3 F	AC	B,C	EU
CHAdeMO	RÁPIDA	400 kW	1 F	DC	C	Japón
CCS - COMBO 1	RÁPIDA	350 kW	1 F	DC	C	NA
CCS - COMBO 2	RÁPIDA	350 kW	1 F / 3 F	AC / DC	C	EU
GB/T AC	SEMI-RÁPIDA	27,7 kW	1 F / 3 F	AC	C	China
GB/T DC	RÁPIDA	250 kW	1 F	DC	C	China

Tabla 8. Resumen tipologías de cargadores

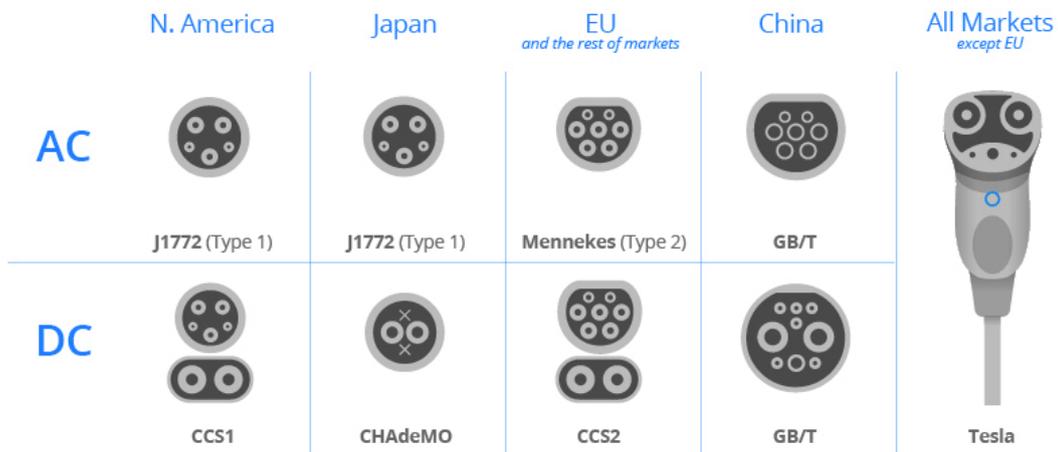


Figura 11. Resumen tipo de conectores

En la figura podemos ver un resumen de todos los conectores existentes en el mercado. Principalmente están diferenciados por el tipo de carga (AC o DC) y la región donde se usa. Tenemos tres estándares a nivel mundial: CCS, GB/T y CHAdeMO.

CCS es un estándar europeo y tiene dos tipos de conectores, el tipo 1 y el tipo 2. CHAdeMO es el estándar de carga japonés y el GB/T es el usado en China.



Figura 12. Conector y enchufe tipo 2

El conector que se utiliza para el modo de carga en el que trabajamos en este proyecto es el mostrado en la figura 12. Vemos como tiene tres pines para la corriente trifásica, el neutro, un pin de proximidad y el pin de control, que explicamos en el apartado 8.

8. Comunicación vehículo-cargador

Podemos dividir la comunicación en dos partes. Comunicación de bajo nivel (Low Level Communication) y comunicación de alto nivel (High Level Communication).

La comunicación de bajo nivel en programación está ligada directamente con el hardware y está condicionado a su propia estructura, como por ejemplo el lenguaje ensamblador. En nuestro caso, podríamos decir que está ligado a una señal física, como el CP y el PWM.

La comunicación en alto nivel es la que utiliza algoritmos que son entendibles a nivel cognitivo humano, de manera que el programador puede interpretar los mensajes.

8.1 Low Level Communication

8.1.1 PWM

La señal PWM juega un papel vital en la comunicación vehículo-cargador. Es la encargada de transmitir los mensajes entre las dos partes.

La primera función de la señal PWM será la de indicarle al vehículo si vamos a cargar en corriente continua o corriente alterna, esto lo va a hacer a través del ciclo de trabajo. Si cargamos en corriente continua el ciclo de trabajo se mantendrá en todo el proceso en un rango de entre 3% y 7% y la comunicación entre las dos partes será de manera digital (High Level Communication). En cambio, para la carga en corriente alterna no disponemos actualmente de esta comunicación digital así que el ciclo de trabajo del PWM también nos indicará la intensidad máxima que puede ofrecer.

Ciclo de trabajo (D_{in}) en el conector del vehículo	Corriente máxima suministrada por el cargador	Descripción
$D_{in} < 3\%$	0 A	No se permite consumo de corriente.
$3\% \leq D_{in} \leq 7\%$	Comunicación digital	El consumo de corriente es controlado mediante la comunicación digital entre el cargador y el vehículo siguiendo las normativas ISO/IEC 15118 o IEC 61851-24.
$7\% \leq D_{in} \leq 8\%$	0 A	No se permite consumo de corriente.
$8\% \leq D_{in} \leq 10\%$	6 A	
$10\% \leq D_{in} \leq 85\%$	$D_{in} * 0,6$ A	
$85\% \leq D_{in} \leq 96\%$	$(D_{in} - 64) * 2,5$ A	
$96\% \leq D_{in} \leq 97\%$	80 A	
$97\% \leq D_{in} \leq 100\%$	0 A	No se permite consumo de corriente.

Tabla 9. Rangos del ciclo de trabajo del PWM en el proceso de carga

En la tabla 9 vemos los diferentes rangos de ciclo de trabajo a los que puede trabajar el cargador.

Una vez la comunicación digital en la carga AC esté implantada en el equipo, que es el objetivo que buscamos, también trabajará en un rango de entre 3% y 7% y mediante este tipo de comunicación las dos partes se informarán sobre el tipo de carga que se va a llevar a cabo.

8.1.2 CP

El *Control Point* no sólo se encarga de la comunicación. También es el encargado de comprobar constantemente la continuidad de la conexión entre vehículo y cargador y de controlar el flujo de energía cuando sea necesario.

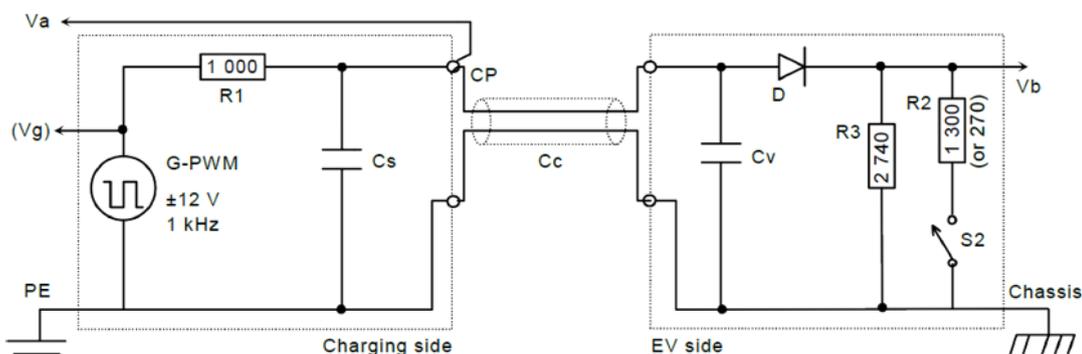


Figura 13. Circuito CP

Para conseguir la comunicación tenemos diferentes estados de acción en los que mediante la caída de tensión se activa, o no, el PWM y éste se encarga de enviar la información dependiendo de su amplitud.

Los diferentes estados del CP son:

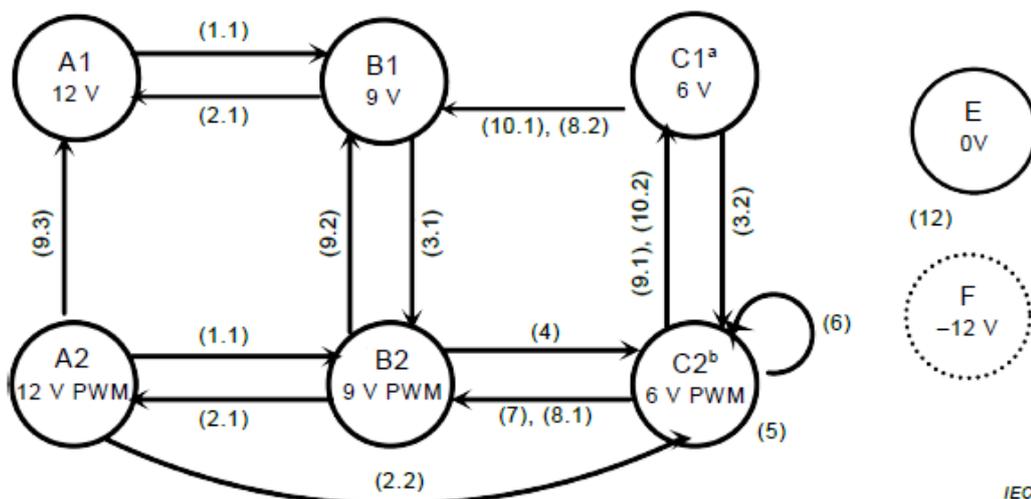


Figura 14. Diagrama de estados CP

Tenemos tres estados diferenciados en todo el proceso. Estaremos en estado A (12 V) cuando el vehículo aún no está conectado al cargador, una vez lo conectamos a causa de la resistencia del propio vehículo pasaremos a estado B (9 V) y finalmente cuando empiece el proceso de carga, el vehículo cierra el switch S2 mostrado en la figura 13, y pasaremos a estado C (6 V).

Estado	Función
A	Reposo
B	Vehículo detectado
C	Cargando
1	PWM OFF
2	PWM ON

Tabla 10. Resumen de los estados del CP

Veremos los cambios de estado más detalladamente:

1.1 Conectamos cargador al vehículo con S2 abierto

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
A1	El vehículo no está conectado (+12 V)	No	
A1 -> B1 A2 -> B2	El cargador está conectado al vehículo (+9 V)	No	

Tabla 11. Cambio de estado en CP al conectar cargador al vehículo

Normalmente, cuando no está conectado el cargador al vehículo siempre estaremos en estado A1, es decir, 12 V y con el PWM en OFF, ya que si el vehículo no está conectado no necesitamos transmitir ningún tipo de información. Aun así, hay fabricantes de cargadores que en el estado A1 ya tienen el PWM activado, pero no es algo común.

Cuando conectamos el cargador al vehículo, debido a su propia resistencia, hay una caída de tensión hasta los 9 V, y pasamos a estado B. Si empezábamos desde A1 nos dirigiremos a B1, si por lo contrario el cargador empieza ya desde A2 la transición será hacia B2.

Para este cambio de estado no hay ningún tiempo máximo preestablecido ya que depende de la acción humana.

2.1 Desconectamos antes de empezar la carga

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
B2 -> A2 B1 -> A1	Se desconecta el conector por la parte del vehículo o del cargador. El cargador, estando ya en estado A y habiendo pasado 5 segundos, nos debería dejar quitar el conector desde su lado (si previamente la desconexión ha sido por la parte del vehículo)	No	<p>2.1</p>

Tabla 12. Cambio de estado en CP al desconectar antes de empezar la carga

Estando en estado B, antes de que el usuario interactúe con el cargador para empezar la carga o antes de que la comunicación entre las dos partes se establezca cortamos la conexión y el CP vuelve a estado A.

Igual que en la transición anterior, el estado A2 no es muy común y por lo general si estamos en B2 primero pasaríamos por B1 para acabar en A1 finalmente.

En este caso tampoco hay tiempo máximo de ejecución para pasar de un estado a otro.

2.2 Desconectamos una vez ya ha empezado el proceso de carga

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C2 -> A2	<p>En caso de fallo del CP o de extraer el conector durante el proceso de carga.</p> <p>El vehículo debe abrir S2.</p>	<p>El suministro de energía debe cortarse en menos de 100 ms desde la desconexión.</p> <p>S2 debe abrir en menos de 3 segundos.</p>	<p>2.2</p>

Tabla 13. Cambio de estado en CP al desconectar durante el proceso de carga

Durante el proceso de carga, si hubiera algún fallo de comunicación o se consiguiera extraer la manguera del vehículo o del cargador, directamente pasaríamos a estar en estado A ya que no hay ninguna caída de tensión con el vehículo desconectado y durante unas milésimas de segundo permaneceríamos en A2 hasta que el cargador desconectara el PWM.

En este caso, una vez ha habido el corte y hemos pasado a estado A2, debe pararse el suministro eléctrico en menos de 100 ms. Por parte del vehículo, se debe cerrar S2 en menos de 3 segundos. Esto es para asegurar que no existe tensión en ninguno de los extremos de la manguera y evitar posibles accidentes al usuario.

3.1 Cargador listo para suministrar energía (Estado B)

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
B1 -> B2	<p>El cargador está listo para suministrar energía si el vehículo lo pide y le indica la corriente máxima de carga a través del PWM.</p>	No	<p>3.1</p>

Tabla 14. Cambio de estado en CP cuando el cargador está listo desde estado B

Cuando el cargador está listo para suministrar energía, activa el PWM para empezar a comunicarse con el vehículo y esperar a que éste le pida energía. Esta secuencia puede hacerse automáticamente al conectar el cargador al vehículo o ser prácticamente imperceptible.

Tampoco hay un tiempo máximo de ejecución para pasar de un estado al otro.

3.2 Cargador listo para suministrar energía (Estado C)

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C1 -> C2	El cargador esta listo para suministrar energía y el vehículo pide empezar el proceso de carga.	$t5-t6= 0s$ $t6-t7= 3 s \text{ max}$	<p>3.2</p> <p>12 V 9 V 6 V 3 V 0 V -12 V</p> <p>V_a</p> <p>ON AC Supply OFF</p> <p>$t4$ $t5$ $t6$ $t7$</p>

Tabla 15. Cambio de estado en CP cuando el cargador está listo desde estado C

El cargador está listo para suministrar energía y enciende el PWM. El vehículo pide empezar el proceso de carga, cierra S2.

Este cambio de estado vendrá precedido de una desconexión por parte del cargador sin que el vehículo abra S2 esperando que el cargador vuelva a suministrar energía. Habitualmente cuando el cargador quitara el PWM, el coche debería abrir S2 y pasaríamos a estado B1, empezando la carga de nuevo si se solicitara.

El PWM debe iniciarse al instante en el que el vehículo está listo para la carga ($t5-t6$) y el suministro de energía por parte del cargador debe iniciarse en menos de 3 segundos ($t6-t7$).

4 Vehículo listo para la carga

En este caso tenemos conectada la manguera del cargador en el vehículo y el cargador tiene encendido el PWM indicando que está listo para cargar. Por su parte, el vehículo cierra S2 para empezar el proceso de carga.

Una vez en C2, el vehículo está cargando hasta que haya algún mensaje que pida lo contrario.

Desde que cierra S2 hasta que el cargador suministra corriente deben pasar 3 segundos como máximo. ($t6-t7$)

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
B2 -> C2	El vehículo está listo para recibir energía, cierra S2. El cargador suministra energía al vehículo.	$t6-t7=3\text{ s max}$	
C2	La carga del vehículo está en marcha	No	

Tabla 16. Cambio de estado en CP cuando el vehículo está listo para la carga

5 El vehículo empieza a cargar

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C2	La demanda de corriente por parte del vehículo estará dentro del límite establecido por el duty cycle del PWM según la normativa.	No	

Tabla 17. Cambio de estado en CP cuando empieza el proceso de carga

Cuando entramos en C2 y el cargador empieza a suministrar energía el vehículo puede tardar cierto tiempo en empezar a consumirla.

El vehículo no debería nunca pedir una intensidad superior a la que pueda aportar el cargador, ni el cargador debería aportar una intensidad superior a la que su ciclo de trabajo indica.

6 Cambio del valor de la corriente

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C2	Se le pide al cargador ajustar el valor de corriente máxima. El cargador modifica el ciclo de trabajo para cambiar el valor de la intensidad.	$t9-t10= 10 \text{ s max}$	

Tabla 18. Cambio de estado en CP con una variación de corriente

Durante la carga se ajusta el valor del duty cycle para cambiar la intensidad máxima que puede aportar el cargador. Normalmente esto no es un parámetro que pueda manipular el usuario, más bien será un suceso forzado por un operario para testear el comportamiento del cargador, alguna anomalía en la red o una limitación por la sección del cable. En este caso, el cargador deberá reajustar el duty cycle y en un máximo de 10 segundos el vehículo haber cambiado el valor de la corriente que pide.

Antes del proceso de carga sí que puede pasar que la sección de la manguera, por ejemplo, no soporte la intensidad máxima que suministra el cargador y al conectarla directamente se reajuste la amplitud.

7 El vehículo para la carga

Si el vehículo decide parar el proceso de carga, abre S2 y pasamos directamente a estado B2, siempre esperando que la demanda de corriente sea inferior a 1 A. En caso de algún caso de emergencia abriría el contactor inmediatamente.

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C2	Cuando se para el proceso de carga el vehículo debe esperar a que la demanda de corriente, por su parte, sea inferior a 1 A antes de abrir S2.	No	
C2 -> B2	El vehículo abre S2	No	

Tabla 19. Cambio de estado en CP cuando el vehículo para la carga

8.1 Respuesta del cargador cuando el vehículo abre S2, con PWM activado

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
B2	Cuando el vehículo cierra S2, con el PWM activado, debemos volver a estado B2.	$t_{12}-t_{13}= 100 \text{ ms max}$	

Tabla 20. Cambio de estado en CP cuando el vehículo abre S2 con PWM on

Cuando el vehículo abre S2, pasamos a estado B2. El PWM seguirá funcionando por parte del cargador.

Desde que se abre S2 el cargador tiene 100 ms para cortar el suministro de energía.

8.2 Respuesta del cargador cuando el vehículo abre S2, con PWM desactivado

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
B1	Cuando el vehículo cierra S2, con el PWM desactivado, debemos volver a estado B1.	$t_{12}-t_{13}= 100 \text{ ms max}$	

Tabla 21. Cambio de estado en CP cuando el vehículo abre S2 con PWM off

Estando en C1, ya que el PWM está desactivado, cuando abre S2 pasaremos a estado B1.

Igual que en la secuencia anterior, desde que se abre S2, el cargador tiene 100 ms para cortar el suministro de energía.

9.1 El cargador pide terminar con el proceso de carga

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C2 -> C1	El cargador quita el PWM para indicar al vehículo que pare de consumir energía.	$t_{14}-t_{13}= 3 \text{ s max}$	
C1	El vehículo se mantiene con S2 cerrado pero detiene la demanda de corriente.		

Tabla 22. Cambio de estado de CP cuando el cargador pide acabar la carga

El cargador para indicar que quiere parar el proceso de carga quita el PWM, con esto pasamos del estado C2 al estado C1. El vehículo por su parte parará de pedir corriente.

9.2 El cargador para el PWM estando en estado B

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
B2 -> B1	El cargador puede parar el PWM en cualquier momento.	No	

Tabla 23. Cambio de estado en CP cuando el cargador para PWM en estado B

El cargador, que como sabemos controla el PWM, podrá pararlo cuando lo crea oportuno. Estando en B2, al parar el PWM pasaremos a B1.

9.3 El cargador para el PWM estando en estado A

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
A2 -> A1	El cargador puede parar el PWM en cualquier momento.	No	

Tabla 24. Cambio de estado en CP cuando el cargador para PWM en estado A

Mismo comportamiento que en la secuencia anterior, pero desde el estado A.

10.1 El vehículo responde a la petición de dejar de cargar

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C1 -> B1	El vehículo abre S2.	$t_{14}-t_{15}= 3 \text{ s max}$	
	Esta secuencia viene precedida de la 9.1 y la seguirá la 8.2.		

Tabla 25. Cambio de estado en CP cuando el vehículo acepta la petición de parar

En la secuencia 9.1 el cargador quita el PWM porque quiere dejar de cargar. En este momento nos encontramos sin PWM y con S2 cerrado, como el vehículo ve que no se le va a suministrar energía deja de pedir corriente y en un máximo de 3 segundos deber abrir S2, pasando a estado B1.

10.2 El vehículo no responde a la petición de dejar de cargar

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
C1	El vehículo no responde a la petición de parar la carga y sigue pidiendo corriente. El cargador para el PWM.	$t_{13}-t_{16}= 6 \text{ s min}$	
	Esta secuencia viene precedida de la 9.1 pero el vehículo no responde como debería (10.1)		

Tabla 26. Cambio de estado en CP cuando el vehículo no responde a la petición de parar

En este caso el cargador quita la señal PWM indicando que quiere parar el proceso de carga. El vehículo no reacciona como debería (10.1) y sigue pidiendo alimentación. El cargador espera durante 6 segundos a que el vehículo abra S2, pero como no lo hace, directamente corta el suministro de energía por su parte.

12 Estados de error o emergencia

Estado o transición	Condición	Tiempo de ejecución	Diagrama
XX -> F XX -> E	Cuando se cambia de cualquier estado a F o E el PWM debe ser desactivado.	$t_{26}-t_{27}= 3 \text{ s max}$	
	El vehículo debe abrir S2	$t_{26}-t_{27}= 3 \text{ s max}$	
	El cargador debe desbloquear el conector	Max 30 s	

Tabla 27. Cambio de estado en CP

Finalmente, tenemos los estados de emergencia o de error. Desde cualquier estado se puede llegar directamente al estado F o al estado E.

Al estado E llegaremos si hay un cortocircuito entre el CP y tierra o un corte de energía en el cargador. A su vez, el estado F depende de la configuración de cada fabricante del cargador, es un estado que indica que en ese momento está inoperable o necesita algún tipo de mantenimiento. Podemos verlo una vez salimos del estado E, por ejemplo.

Siempre que pasemos a uno de estos dos estados, el PWM deberá apagarse en menos de 3 segundos. En el mismo tiempo se deberá abrir S2. Finalmente, en un máximo de 30 segundos el cargador deberá desbloquear la manguera.

8.1.3 PP

El PP, de sus siglas en inglés de *Proximity Point*, se encarga de detectar que el conector de la manguera del cargador está correctamente conectada al vehículo.

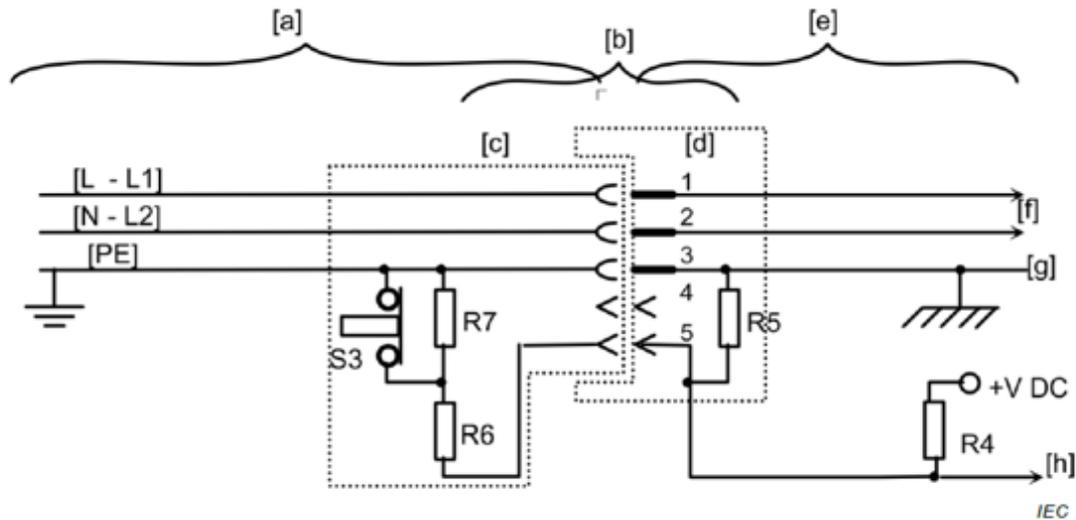


Figura 15. Circuito PP

En la figura 15 podemos ver el circuito del PP. Las diferentes partes que lo forman son:

- a: Cable cargador
- b: Conexión cargador-vehículo
- c: Conector del cargador
- d: socket vehículo
- e: Circuito por la parte del vehículo
- f: Alimentación AC al vehículo
- g: Tierra
- h: Circuito de proximidad

Un elemento clave en este circuito es la resistencia R6, llamada resistencia de proximidad. Esta resistencia es un indicador del límite de corriente máxima a la que podemos alimentar, de esta manera evitamos cargar a intensidades superiores a lo que la sección del cable soportaría.

R6	I_{\max} para AC
1500 Ω	13 A
680 Ω	20 A
220 Ω	32 A
100 Ω	63 A

Tabla 28. Valores de la resistencia del Proximity Point

8.2 High Level Comunication

En el modo 3 de carga AC en la que se basa este proyecto, la comunicación en alto nivel está basada en el estándar ISO 15118-2-2016, que aún que también se contempla para carga AC, hasta ahora sólo se usa para carga en DC de manera comercial.

Con la comunicación de alto nivel se tiene un mayor control entre el cargador y el vehículo. Podemos transmitir mucha información entre las dos partes, así como la monitorización del proceso, control del consumo de potencia, carga bidireccional o el sistema *Plug and Charge* (gestionar el proceso de pago sin necesidad de interacción del usuario).

La información entre las dos partes se consigue vía PLC, de sus siglas en inglés *Power Line Communication*, que nos permite transmitir información acoplada encima de una línea de potencia a una frecuencia mayor. Este tipo de comunicación está basada en el modelo OSI, de sus siglas en inglés *Open System Interconnection-Layer-Model*, que permite que diversos sistemas se comuniquen usando protocolos estándar.

El modelo OSI se divide en siete capas, con una función específica, que se comunican entre ellas para transmitir un paquete de información entre el emisor y el receptor. Las diferentes capas pueden definirse de la siguiente manera:

Capa OSI	Proceso de comunicación OSI
1 Física	<p style="text-align: center;">Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cargador conectado al vehículo - PWM (3%-8%) - Estado B del CP - Home Plug Green PHY modem <p style="text-align: center;">Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecer conexión física entre los pines PE y CP entre las dos partes. <p style="text-align: center;">Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Módulo PLC listo para comunicar a una frecuencia de entre 1,8 MHz y 30 MHz.
2. Enlace de datos	<p style="text-align: center;">Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capa 1 OSI correctamente establecida <p style="text-align: center;">Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Configuración de los nodos del PLC - Se determinan que partes se conectan a través de una misma conexión PLC mediante el proceso de SLAC (<i>Signal Level Attenuation Characterization</i>) - Confirmación del proceso de asociación <ul style="list-style-type: none"> - Configurar red lógica <p style="text-align: center;">Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enlace establecido
3. Red	<p style="text-align: center;">Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capa 2 OSI correctamente establecida <p style="text-align: center;">Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar la IPv6 Protocolo estándar de internet - Se establece la configuración de los parámetros necesarios del protocolo - Usar el protocolo de descubrimiento de vecinos (NDP) para reconocer las diferentes entidades dentro de una misma red - Implementar el ICMPv6 para poder enviar mensajes de error <p style="text-align: center;">Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las diferentes partes reciben direcciones IP válidas.

4. Transporte	<p>Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capa 3 OSI correctamente establecida <p>Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) - Implementar el Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP) <p>Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecer una conexión segura (TCP) y rápida (UDP) entre las partes
5. Sesión	<p>Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capa 4 OSI correctamente establecida <p>Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar el Protocolo de Transferencia V2G - Establecer y confirmar la conexión entre las partes usando la IP y puertos de red <p>Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecer y identificar las conexiones para el intercambio bidireccional
6. Presentación	<p>Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capa 5 OSI correctamente establecida <p>Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Codificar y decodificar desde la aplicación a la red en formato EXI - Establecer entre el vehículo y el cargador un correcto protocolo de comunicación por capas - Implementar una estructura de mensajes entre emisor y receptor con cabecera (IP, ID de la sesión...) y cuerpo (información que se quiere transmitir en el mensaje en sí) <p>Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permite una evaluación simple de la validez de los mensajes - Intercambio de datos compatible entre las partes
7. Aplicación	<p>Pre condición</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capa 6 OSI correctamente establecida <p>Tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las partes del proceso de carga <p>Resultado esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Representar la estructura de mensajes entre vehículo-cargador en base al protocolo de comunicación

Tabla 29. Capas OSI implementadas en el código del simulador

Para el alcance de este proyecto sólo nos centraremos en las capas uno, seis y siete, principalmente.

La primera capa, la capa física, es en la cual nosotros conectamos el cargador al vehículo y se produce la comunicación de bajo nivel. Entramos en estado B, ya que el CP detecta la resistencia del vehículo, y se activa el PWM en un rango de ciclo de trabajo de entre 3% y 7% (Normalmente será del 5%). Esto nos indica que queremos comunicación de alto nivel y los módems de comunicación PLC (HPGP) están listos para enlazarse entre sí.

En este punto, se produce el SLAC (*Signal Level Attenuation Characterization*), este protocolo de comunicación está definido en la especificación HPGP v1.1.1. Se intercambian mensajes

entre los dos módulos (cargador y vehículo) con el fin de identificarse entre sí y conectarse. En este proceso se mide la atenuación (en dBs) de la señal con tal de aislar la comunicación y que no interfiera otro vehículo conectado al mismo cargador, por ejemplo.

Una vez enlazados, entre la capa tres y cinco, se implementa el protocolo de carga de vehículo eléctrico en comunicación de alto nivel, creando una estructura de mensajes que, en la etapa seis, codificaremos y decodificaremos, entre las dos partes, a formato EXI, que es un archivo XML comprimido de manera que es más rápido transportar, para posteriormente poder interpretarlos.

Finalmente, en la última etapa empieza la comunicación entre el vehículo y el cargador. La estructura de los mensajes será en forma de cliente/servidor. El vehículo siempre será el cliente mientras que el cargador hará de servidor.

El primer mensaje siempre lo lanzará el vehículo enviando un *SupportedAppProtocolReq* en el que el vehículo informa al cargador que tipo de protocolos de carga dispone y que prioridad de aplicación tienen. El cargador, responderá con un *SupportedAppProtocolRes* informando que protocolo de carga se va a usar según los datos que ha recibido del vehículo.

Una vez elegido el protocolo de carga, empieza el proceso de carga y la secuencia de mensajes correspondiente. Según qué tipo de carga sea, si AC o DC, tenemos varios protocolos y la secuencia de mensajes tiene pequeñas diferencias.

Si cargamos en DC, disponemos de los protocolos DIN 70121 y ISO 15118-2 con comunicación de alto nivel. Si cargamos en AC, sólo la ISO 15118-2 contempla la comunicación de alto nivel.

Explicamos la secuencia en ambos casos para la carga en DC ya que la documentación y las diferentes pruebas que realizaremos en AC las voy a adaptar desde este modo de carga:

PROCOLO DIN 70121

Tenemos tres fases de comunicación dentro del proceso de carga. Una primera fase para inicializar la comunicación, una segunda fase para saber qué servicios nos ofrece el cargador y qué formas de pago dispone y una tercera fase donde se comunica todo el proceso de carga en si hasta que se finaliza.

- **Primera fase. *Initialization of V2G Communication Session:***
 - o SupportedAppProtocol: El vehículo le transmite al cargador que protocolos puede usar y en qué orden de prioridad los quiere.
 - o SessionSetup: Se establece un número de identificación para la sesión de carga entre el vehículo y el cargador. Cada proceso de carga tendrá un número de sesión único.

- **Segunda fase. *Service Discovery:***
 - o ServiceDiscovery: El cargador comunica los servicios que puede ofrecer al vehículo, ya sea el tipo de carga o pago.
 - o ServiceAndPaymentSelection: Se establece que el servicio a prestar por el cargador y se selecciona el método de pago.
 - o ContractAuthentication: Se verifica toda la información anterior y se comprueba el pago.

- **Tercera fase. *Charge Vehicle:***
 - o Inicialización del proceso de carga:

- *ChargeParameterDiscovery*: El vehículo informa al cargador del estado de la batería y sus parámetros de carga. El cargador responde con su capacidad de carga.
- *CableCheck*: Durante un instante, el cargador aplica una tensión superior a la máxima permitida por el vehículo para comprobar el aislamiento.
- *PreCharge*: Después del *CableCheck* la tensión cae a cero. En el *PreCharge* el cargador vuelve a subir la tensión hasta llegar al valor que le pide el vehículo para empezar a cargar.
- *PowerDelivery*: El coche indica que está listo para empezar a cargar.
- Proceso de carga:
 - *CurrentDemand*: Este mensaje es el que más se repite en todo el proceso. A partir de aquí habrá una secuencia de estos mensajes en los que el vehículo pedirá al cargador corriente y voltaje y el cargador responderá con el valor real que le está aportando.
- Finalización del proceso de carga:
 - *PowerDelivery*: Cuando el proceso de carga ha llegado a su fin volvemos a ver el mensaje *PowerDelivery*, con la diferencia que esta vez el coche transmitirá al cargador que no quiere recibir más energía.
 - *WeldingDetection*:
 - *StopSession*: Se cierra la sesión entre las dos partes y se termina la conexión.

PROTOCOLO ISO 15118-2

La estructura de los mensajes del protocolo ISO 15118-2 es la misma, pero tiene algunos mensajes opcionales adicionales que no dispone la normativa DIN 70121. También hay algunos mensajes que se denominan diferente, aún que la información que transmiten es la misma.

La estructura de este protocolo sería la siguiente:

- **Primera fase. *Initialization of V2G Communication Session*:**
 - *SupportedAppProtocol*:
 - *SessionSetup*:
- **Segunda fase. *Service Discovery*:**
 - *ServiceDiscovery*:
 - *ServiceDetail*: Mensaje opcional.
 - *ServiceAndPaymentSelection*:
 - *CertificateInstallation*: Mensaje opcional.
 - *CertificateUpdate*: Mensaje opcional.
 - *PaymentDetails*: Mensaje opcional.
 - *Authorization*: El nombre es diferente respecto el otro protocolo.
- **Tercera fase. *Charge Vehicle*:**
 - Inicialización del proceso de carga:
 - *ChargeParameterDiscovery*:
 - *CableCheck*:
 - *PreCharge*:
 - *PowerDelivery*:
 - Proceso de carga:
 - *CurrentDemand*:
 - *MeteringReceipt*: Mensaje opcional.
 - Finalización del proceso de carga:
 - *PowerDelivery*:

- *WeldingDetection:*
- *StopSession:*

Vemos que las principales diferencias son algunos mensajes adicionales, aún que estos mensajes son opcionales, es decir, añaden servicios o funciones al proceso de carga, pero no tienen por qué ser utilizados. También el mensaje en DIN 70121 *ContractAuthentication* pasa a denominarse *Authorization* en este protocolo.

Los mensajes *ServiceDetail*, *CertificateUpdate*, *CertificateInstallation* y *PaymentDetails* concretamente van relacionados con el sistema de carga PnC de sus siglas en inglés "*Plug and Charge*". Este sistema está aún en proceso de desenvolvimiento, permitirá que el vehículo y el cargador se reconozcan con sólo conectar la manguera y que el proceso de pago sea automático sin la necesidad de que el usuario tenga que intervenir. De esta manera, *ServiceDetail* se encarga de detectar si este servicio está disponible, *CertificateUpdate* y *CertificateInstallation* identificarán al usuario y *PaymentDetails* gestionará el proceso de pago. Como hemos dicho, este servicio es opcional, así que, si nuestro vehículo o cargador no dispone de él, el proceso se ejecutará de forma normal. Aún que esta tecnología aún no está lo suficientemente avanzada para ser implementada en los vehículos y cargadores actuales el protocolo de comunicación ya lo contempla para cuando se dé el caso.

Los demás mensajes, que son comunes entre los dos protocolos, pueden tener alguna diferencia a nivel interno de como gestionan algunos datos o el nombre de algunas variables, pero transmiten la misma información.

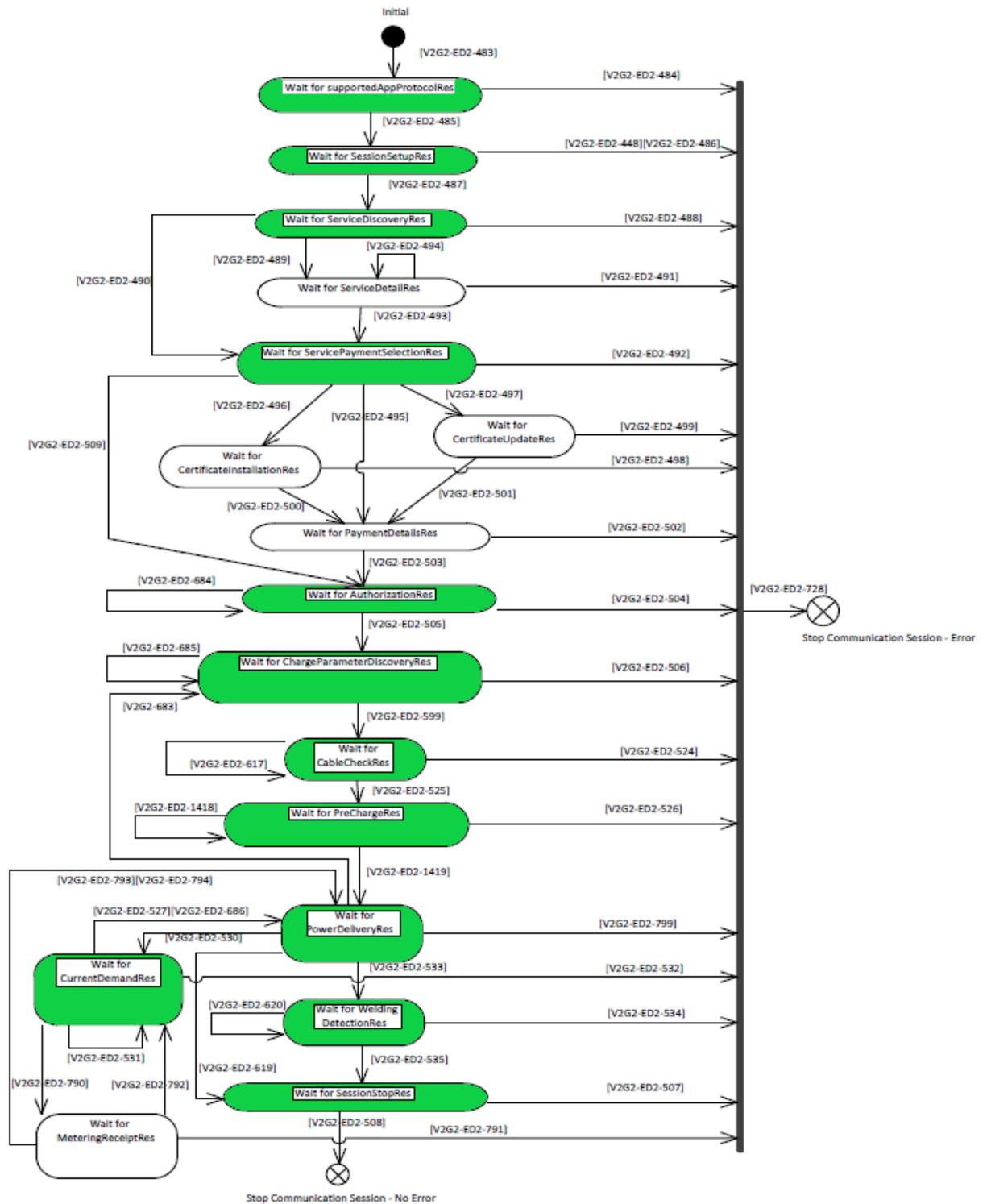


Figura 16. Diagrama de estados de un modo de carga 4 en DC con HLC

En la figura 16, vemos el diagrama de estados del proceso de carga DC usando el protocolo ISO. Como el PnC aún no está implementado como forma de pago, el diagrama seguirá los estados marcados en verde.

Aún que este proyecto se basa en el modo de carga 3 en AC con HLC actualmente este nivel de comunicación sólo está implementado en el mercado en DC y viendo su estructura puede

ayudarnos a entender mejor la comunicación en la carga AC y también podemos aprovechar y adaptar algunos de los procedimientos de validación.

9. Proceso de carga

En la versión original se muestran diferentes imágenes extraídas del osciloscopio del proceso de carga tanto en AC como en DC para ayudar a entender y mostrar su comportamiento. En esta versión no se pueden mostrar ya que el fabricante del vehículo eléctrico es ajeno a este proyecto y es de carácter confidencial.

9.1 Carga con cargadores DC

Cuando queramos cargar nuestro vehículo de la manera más rápida lo haremos con un cargador que nos proporcione corriente continua. Como hemos visto anteriormente, cargaremos en modo 4, cosa que nos obliga a tipo de conexión caso C y, si cargamos en Europa, un conector CCS 2.

Como ya sabemos, este tipo de cargador puede ofrecernos hasta 350 kW, aún que el flujo de energía quedará limitado por el equipo más limitado en cuanto a potencia, en este caso, será el vehículo el que pondrá el límite de demanda de potencia. La mayoría de los vehículos del mercado pueden cargar a una potencia máxima de entre 50 y 100 kW en el mejor de los casos, así que aún que el cargador esté capacitado para dar más, el vehículo no pedirá más de lo que puede soportar. Actualmente, aún que cambia según el modelo, la mayoría de los vehículos eléctricos consiguen cargar la batería del 20% al 80% en un tiempo de entre 15 y 30 minutos usando un cargador en modo de carga rápida.

La principal diferencia por la cual podemos cargar de manera rápida con cargadores DC y no con AC es la limitación que tiene el OBC del vehículo.

En los cargadores DC el rectificador AC-DC está en la propia estructura del cargador, por lo tanto, puede tener una dimensión mayor y a la vez soportar una potencia mayor. La corriente continua resultante alimenta directamente la batería del vehículo y el OBC no interfiere en ningún momento del proceso.

Precisamente porque el OBC no interfiere en ningún momento en todo el proceso, necesitamos que haya comunicación entre las dos partes para que se pueda llevar a cabo con seguridad.

9.2 Carga con cargadores AC

La carga en corriente alterna es el tipo de carga más común y usada, generalmente los cargadores que nos encontramos en sitios públicos como centros comerciales o estaciones de servicio son cargadores AC.

Dentro de la carga en AC podremos cargar en los modos 1, 2 y 3 y dependiendo del cargador también podemos ver tanto caso A, como B y C. El tipo de conector, si cargamos en Europa, generalmente será de tipo 2.

En la carga AC, aún que existen cargadores capaces de suministrar hasta 43 kWh, siempre estará limitada por la OBC del vehículo que es la que se encarga de convertir la corriente alterna a corriente continua para alimentar la batería. Lo común en una OBC trifásica es una potencia de 22 kWh, así que esa será la potencia máxima de carga en AC en la mayoría de los casos.

En un vehículo 100% eléctrico podemos tardar entre 7 y 10 horas en cargar totalmente la batería, esto dependerá de la capacidad de la batería, la potencia del cargador o la red.

Hasta ahora, como el elemento que administra el flujo de corriente entre vehículo y cargador es la propia OBC, que forma parte del vehículo, no necesitábamos comunicación digital. La comunicación hecha a través del ciclo de trabajo del PWM era, y sigue siendo para la mayoría de los casos actualmente, suficiente ya que sólo necesitamos transmitirle al vehículo el valor de la intensidad máxima que puede dejar pasar el cargador.

Actualmente toda la tecnología que envuelve el vehículo eléctrico crece de manera exponencial y vemos grandes progresos en los últimos años, un ejemplo de ello es el sistema de *Plug and Charge*. Con estos avances y nuevas funciones necesitaremos transmitir más información entre las dos partes y no es posible hacerlo con comunicación de bajo nivel.

La secuencia completa de los mensajes será:

- **Primera fase. *Initialization of V2G Communication Session:***
 - o *SupportedAppProtocol*
 - o *SessionSetup*
- **Segunda fase. *Service Discovery:***
 - o *ServiceDiscovery*
 - o *ServiceDetail*
 - o *ServiceAndPaymentSelection*
 - o *CertificateInstallation*: Mensaje opcional.
 - o *CertificateUpdate*: Mensaje opcional.
 - o *PaymentDetails*: Mensaje opcional.
 - o *Authorization*
- **Tercera fase. *Charge Vehicle:***
 - o Inicialización del proceso de carga:
 - *ChargeParameterDiscovery*
 - *PowerDelivery*.
 - o Proceso de carga:
 - *ChargingStatus*
 - *MeteringReceipt*: Mensaje opcional.
 - o Finalización del proceso de carga:
 - *PowerDelivery*
 - *SessionStop*

En comparación con la carga DC vemos que tiene una secuencia más sencilla. Como la gestión de la corriente la hace la OBC desaparecen de la secuencia el *CableCheck*, *PreCharge* y *WeldingDetection* ya que son cosas que el propio vehículo va a comprobar. Durante la carga en DC teníamos el mensaje *CurrentDemand* en el que el vehículo pide cierta intensidad y el cargador responde con la que le está dando, en este caso, como hemos visto en este mismo apartado, el vehículo sólo informa de sus parámetros internos al cargador y él mismo se gestiona, y el mensaje pasa a ser *ChargingStatus*.

Los mensajes opcionales respecto a funciones adicionales tienen la misma función que en el modo de carga DC, explicados en el 9.1.

El trabajo será identificar todas las partes de la normativa que se debe cumplir y comprobar que realmente el equipo que testeamos lo está cumpliendo. Acabamos de ver un ejemplo de ello, pero cada mensaje visto transmite diferente información según su función y la respuesta también será diferente. Además, también deberemos en este caso comprobar el orden de la secuencia de los mensajes y el tiempo de ejecución entre ellos.

10. Proceso de validación de la carga

Una vez conocemos el funcionamiento del proceso de carga podemos definir un procedimiento para validarlo y asegurar que el cargador en cuestión cumple la normativa y a la vez es apto para trabajar con la mayoría de los vehículos eléctricos del mercado. Por parte de los fabricantes de EV también interesa verificar que su modelo es apto y funciona correctamente con una amplia gama de cargadores eléctricos.

Existen diferentes tipos de test. En algunos simplemente comprobaremos el comportamiento del equipo en la fase que se encuentre en el momento de hacer las pruebas, en otras ocasiones y si el cliente lo demanda podremos forzar, haciendo uso de simuladores, comportamientos inusuales para ver la reacción del equipo que testeamos.

Los puntos para verificar en los diferentes test los marcan las normativas vigentes en el mercado europeo. Habrá una documentación independiente para cada una de ellas, que en este caso serán:

- ISO 15118-2: La normativa ISO 15118-2 nos define como debe ser la interfaz de comunicación entre el vehículo y la red eléctrica durante la carga y la descarga. Esta normativa es la única que contempla la comunicación de alto nivel para carga AC.
- DIN 70121: Es una normativa reducida de la ISO. Únicamente contempla la carga DC y se realizó para agilizar el proceso de desarrollo del vehículo eléctrico en Alemania mientras la ISO estaba pendiente de ser aprobada.
- IEC 61851-1: La normativa IEC 61851-1 es la primera normativa que recoge los requerimientos generales para la carga de vehículos eléctricos con energía eléctrica.
- IEC 61851-23: Esta parte de la normativa IEC 61851 define las especificaciones para los cargadores DC de vehículos eléctricos para voltajes de hasta 1500 V.

10.1 Proceso de validación en carga AC

Actualmente, en carga AC sólo se testeará la comunicación bajo la normativa IEC 61851-1, que es la única que incluye la comunicación en bajo nivel para AC. En este test se comprobarán:

- Estados del CP.
- Ciclo de trabajo del PWM.
- Tiempos de ejecución entre estados.
- Bloqueo del conector.

Siempre una de las partes será un simulador. De esta manera podemos forzar comportamientos inusuales como variaciones de tensión o de ciclo de trabajo para ver cómo reacciona la parte que queremos testear.

En cuanto a los test sobre la funcionalidad del equipo, generalmente probando varios cargadores en un mismo vehículo, probaremos funciones básicas y la comunicación de bajo nivel:

- Comportamiento al empezar la carga.
- Comportamiento al finalizar la carga.

- Comportamiento en una carga completa.
- Valores de tensión, frecuencia, ciclo de trabajo y corriente en los diferentes estados del CP.
- Tiempos de ejecución entre estados.
- Bloqueo del conector.
- Seguridad para el usuario.

En este proyecto el objetivo es diseñar un proceso de validación de comunicación de alto nivel basado en la ISO 15118-2-2016 para cargador eléctrico, ya que es el más completo e implica diseñar alguna de las pruebas en LabView. Para hacerlo tomaré como referencia el mismo test para carga DC.

10.2 Proceso de validación en carga DC

Con los cargadores DC podremos hacer test de comunicación de alto nivel para las normativas DIN 70121, ISO 15118-2 e IEC 61851-1. Los puntos principales que vamos a validar son:

- Enlace de la comunicación
- Secuencia de los mensajes
- Tiempo de ejecución entre mensajes
- Proceso de parada normal
- Proceso de parada de emergencia
- Bloqueo de la manguera

El proceso de carga es secuencial, así que primero comprobaremos que después de cada mensaje sucede el siguiente correspondiente. También comprobaremos que los mensajes entre el *request* del vehículo y el *response* del cargador tengan la información correcta.

Hay algunas acciones que por seguridad requieren un tiempo máximo o mínimo de ejecución. Comprobaremos que el tiempo entre algunos mensajes y la respuesta es la adecuada según la normativa.

En el proceso de parada de la carga debemos asegurarnos de que cumple todos los requisitos de seguridad tanto para el usuario como para los equipos. Se ejecutará el proceso de parada comandado desde las dos partes y desde todos los puntos de la secuencia para comprobar el funcionamiento y los tiempos de ejecución. Lo mismo cuando sea parada de emergencia.

Por último, se intentará conectar o extraer la manguera en diferentes puntos del proceso, para confirmar que el bloqueo del conector funciona como debe.

Si realizamos el *Interoperational Test* en este caso validaremos los mismos puntos, pero en este caso viendo cómo responde el equipo, sin forzar internamente ningún parámetro.

11. Elementos del proceso de validación

Para comprobar y testear el comportamiento de un cargador en el proceso de carga, o de un vehículo, necesitamos diferentes elementos tanto de software como de hardware para recopilar información.

Por un lado, utilizaremos software para ejecutar y leer la comunicación entre las dos partes, también utilizaremos un osciloscopio para ver la caída de tensión y el estado del PWM en el CP y por último haremos uso de los simuladores, diseñados por los ingenieros del

departamento de cargadores de vehículo eléctrico de IDIADA, con los cuales podemos simular el comportamiento de un vehículo o de un cargador en el proceso de carga.

11.1 Simuladores

11.1.1 Información general

Los simuladores con los que trabajamos están diseñados, desarrollados y ensamblados por los ingenieros del departamento de cargadores de IDIADA y cada uno tiene sus propias funciones dependiendo de las necesidades de cada cliente.

El simulador nos permite tener validaciones automáticas de procesos de carga tanto para vehículo como cargador, podemos realizar diferentes test viendo el resultado en directo y recopilando todos los datos para reportarlo al fabricante.

11.2 Hardware

11.2.1 Controlador

El controlador será el encargado de gestionar todos los componentes de simulador para poder llevar a cabo los test.

Tendrá que emular el comportamiento de un vehículo o cargador, en nuestro caso nos interesa concretamente usando el protocolo ISO 15118-2-2016, para testear la comunicación de alto nivel y monitorizar todo el proceso a la vez que recopila los datos.

También será el encargado de realizar los test, que explicaremos más adelante, y comunicarse con el simulador de batería para determinar las condiciones necesarias.

En concreto, el controlador que utilizaremos será la CompactRIO Industrial Controller de National Instruments.

Es un controlador muy robusto, lo que lo hace perfecto para control industrial. Está compuesto por un chasis controlador en tiempo real en el que se le pueden añadir diferentes módulos dependiendo de las necesidades, un módulo FPGA para desarrollar, depurar e implementar código en el hardware de National Instruments y otro módulo de entradas y salidas reconfigurable.

Tiene un microprocesador interno en el que se cargará la mayoría del código. También se encarga de gestionar el módulo FPGA y el módulo de entradas/salidas.

11.2.2 Simulador de batería

La simulación de la batería se hace mediante una fuente bidireccional de entre 30 y 500 kW DC que permite la absorción de la potencia entregada por el cargador, o de entregar dicha potencia a un vehículo. También puede hacerlo en carga AC mediante la entrega desde red o la rectificación a DC antes de ser consumida por la fuente.

11.2.3 Equipo de laboratorio

Generalmente se emplean herramientas como:

- Osciloscopio junto con las sondas para la medición de las líneas de comunicación y potencia
- Sniffer PLC para la lectura de la comunicación PLC entre cargador y vehículo basados en la ISO-15118-2

- Break-out Box: Es una caja que conectamos en serie entre el EV y el cargador con diferentes interruptores y elementos de medida que permiten la instrumentación de la carga sin necesidad de desmontar el vehículo ni el cargador.

11.3 Software

Todo el software del simulador no está programado en este proyecto ni forma parte de los objetivos, pero debemos conocer su funcionamiento para poder hacer pequeñas modificaciones, introducir test cases y ejecutarlos.

11.3.1 LabView

LabView (*Laboratory Virtual Insument Engineering Workbench*) es un software de programación con un lenguaje gráfico desarrollado por National Instruments, destaca por su versatilidad y sencillez a la hora de programar.

La programación se basa en la creación de diagramas de bloques. Hay una librería con una gran cantidad de diferentes bloques, desde puertas lógicas simples hasta bloques más complejos con funciones específicas. También se puede crear nuevos bloques directamente en LabView o externamente en otro lenguaje de programación.

Para unir los diferentes bloques se usa un cable que internamente se puede configurar para transportar diferentes tipos de información, desde un valor binario a un conjunto de diferentes variables.

También tenemos disponibles diferentes estructuras preestablecidas para hacer, entre otras, bucles o condicionantes, más similares al lenguaje de programación tradicional.

11.3.2 MCTS UI

Una parte del código se ejecutará desde el ordenador, la interfaz del usuario. Aquí el usuario que controla el simulador elige el tipo de protocolo y test a realizar.

También se puede ver una gráfica a tiempo real de potencia durante la carga.

11.3.3 Eclipse

Una parte del programa está programada en C. Para ello se utiliza Eclipse, un entorno de desarrollo integrado (IDE).

Se han implementado diferentes librerías cuya función es gestionar el contenido de los mensajes de HLC. Si el simulador está haciendo el papel del cargador y lo conectamos a un EV, este interpretará lo que le pide el vehículo y responderá con el mensaje correspondiente según la normativa en la que estemos trabajando implementada en esa librería. Este código se carga en LabView y se ejecuta la acción pertinente. El proceso será el contrario si simula el comportamiento de un vehículo.

11.3.4 WireShark

WireShark es un software utilizado para la lectura de diferentes protocolos de comunicación ethernet. Para interpretar los mensajes, ya que vienen codificados en formato EXI (Efficient XML Interchange) utilizamos un plug-in propio de IDIADA para convertir los mensajes PLC a ethernet y que sean interpretables para el usuario.

11.4 Test

Una vez sabemos cómo sucede el proceso de carga en AC con HLC podemos crear diferentes pruebas para comprobar que cumple con la normativa ISO 15118-2-2016. También podemos

crear algunas pruebas que no serían obligatorias si interpretamos la normativa de manera literal pero que refuerzan algunos apartados que podrían ser ambiguos o incompletos a la práctica o que al margen de la normativa creemos que aumenta la seguridad del equipo.

11.4.1 Test cases

Un *test case* es la prueba en concreto a realizar para verificar algún punto del funcionamiento del EV o del cargador. Los test case no forman parte de la normativa, es decir, la normativa no especifica que pruebas hay que realizar al equipo para determinar si cumple o no, sino que debemos interpretarla y diseñar el test.

Hay ocasiones, en los que el test case no necesita ningún tipo de programación, ya que simplemente testaremos el comportamiento del equipo en sí y no queremos forzar nada. Si queremos probar la comunicación entre vehículo y cargador sí que lo test deberán ser diseñados.

Los test cases están diseñados en el entorno de LabView y también es el encargado de ejecutarlos. No obstante, puede ser que desde LabView llame o modifique alguna de las librerías en C.

11.4.2 Check Sheet

El *check sheet* es la documentación en la que, primero, se definen y enumeran todos los test cases que se van a realizar y en la que, luego, se irá documentando el resultado cuando se realicen las pruebas.

Un test puede tener 3 resultados:

- Pass: El test se ha realizado correctamente y el resultado es satisfactorio.
- No Pass: El resultado del test no es el esperado o no cumple con la normativa.
- NA: No se puede realizar el test o no aplica en el equipo a probar.

Cuando un test se determina como "No Pass" se debe comprobar que este resultado no se debe a un error nuestro al realizar el test o del equipo que lo realiza. Una vez sabemos que el error proviene de parte del fabricante se analiza y se reporta junto a los datos obtenidos.

12. Diseño de validación del cargador en AC

En este apartado se han excluido ejemplos del diseño y del resultado de la ejecución de los test ya que tanto el código como el log, que es de donde se extrae la información del resultado del test, es confidencial y no se puede mostrar en esta versión del documento.

Todo lo explicado anteriormente debemos aplicarlo para diseñar un procedimiento, estandarizado, para validar el modo 3 de carga AC con HLC.

Los pasos a seguir serán:

- Estudiar la normativa ISO 15118-2-2016 para determinar qué puntos concretos hay que validar
- Pensar diferentes pruebas para verificar que el equipo cumple con la normativa
- Crear la documentación para poder reportar los resultados
- Diseñar el test case en LabView
- Probar que cada test case funciona como debería
- Realizar el test
- Documentar los resultados

La normativa ISO 15118-2-2016 es la única normativa en la que está reflejada la comunicación de alto nivel en carga AC. Esta normativa define los requisitos del protocolo de red y aplicación y la interfaz de comunicación entre el vehículo y la red eléctrica.

Podemos resumir su contenido en:

- Portada para identificar el equipo a testear y el ingeniero que realiza el test
- Secuencia de los mensajes
- Tiempo de ejecución entre mensajes
- Proceso normal de parada
- Proceso de parada de emergencia
- Contenido de los mensajes

Una vez tengamos pensadas las pruebas a realizar (Apartado 4 del anexo) crearemos un documento de cálculo, en nuestro caso usaremos Excel, y detallaremos cada prueba con los siguientes datos:

- Número del test
- Nombre
- Breve descripción
- Resultado esperado
- Referencia a la normativa
- Resultado del test
- Observación del ingeniero que realiza el test
- Observaciones generales

Usaré el estilo del documento y el idioma (inglés) acorde con la línea que sigue IDIADA ya que luego se usará para ensayos reales.

La misma versión en DC sobre la que me basaré para hacer la documentación está hecha con una versión anterior a la ISO 15118-2 actual, entonces, aún que algunos puntos son comunes habrá que revisar la referencia porque la nueva tiene más contenido y modificado.

Por lo que a las pruebas se refiere, directamente eliminaré cualquiera que tenga relación con algún mensaje que sólo aplica para DC y añadiré las partes exclusivas de la carga AC.

Finalmente, la forma del documento será la siguiente:

Condition	Item to validate	Ref. Values	V2G2-ED2-AC
EVCC SLAC msg	CM_SLAC_PARM.CNF	Meg is Unicast	Table A.2 - ISO15118-3
		Meg send in less than 100ms after CM_SLAC_PARM.REQ	Table A.1 - ISO15118-3
		Check that the message is implemented according to TableA, 2 of the ISO15118-3	Table A.2 - ISO15118-3
		FunID is the same as in the CM_SLAC_PARAM.REQ	Table A.2 - ISO15118-3

Result	Judgement	Remarks

Tabla 30. Forma de la documentación del proceso de validación

Toda la documentación final creada para este proyecto está en el apartado 6 del anexo.

En total, se han realizado más de 50 test, a continuación, muestro algún ejemplo de cada bloque de cómo debería actuar el test lanzado desde el simulador.

12.1 Secuencia de los mensajes

Podemos ejecutar un proceso de carga normal, de unos pocos minutos, para poder ver todos los mensajes desde principio a fin. A través de WireShark leeremos los datos y comprobaremos que la secuencia es correcta y que los mensajes se transmiten la información correcta.

Si cogemos el ejemplo del mensaje *ChargingStatus*, durante la carga, la normativa nos pide que el mensaje tenga una estructura determinada y que, a la vez, responda con un "ResponseCode: OK" si el proceso de carga funciona como debería.

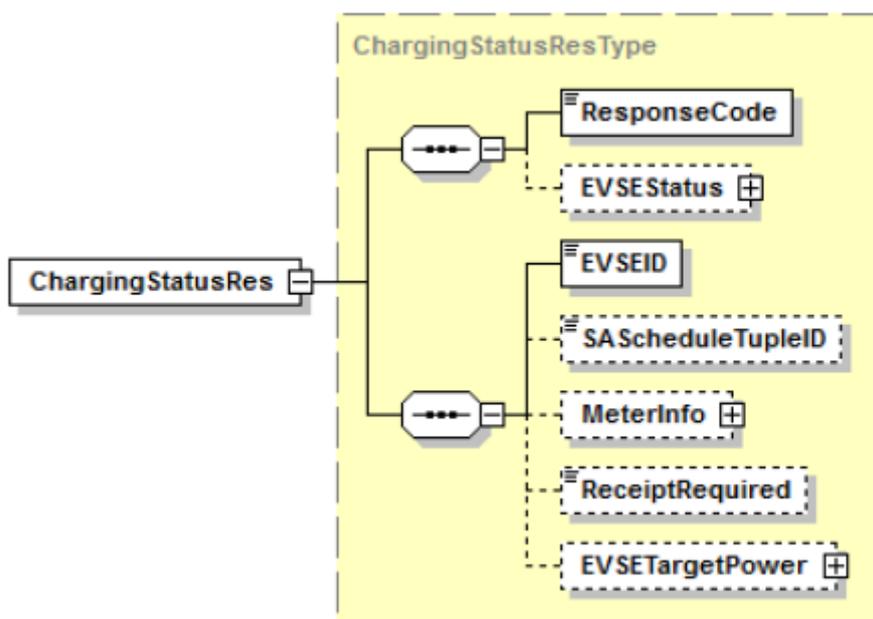


Figura 17. Estructura del mensaje ChargingStatusRes según ISO 15118-2

La estructura del mensaje según la norma ISO debería ser la de la figura 17. Los mensajes delimitados con raya continua son obligatorios, mientras los que están delimitados con raya discontinua son opcionales y añaden funciones extra.

12.2 Tiempo de ejecución entre mensajes

En este bloque queremos comprobar los tiempos de ejecución entre mensajes.

Tenemos diferentes límites de tiempos, podemos ayudar de la figura 18 para explicarlo:

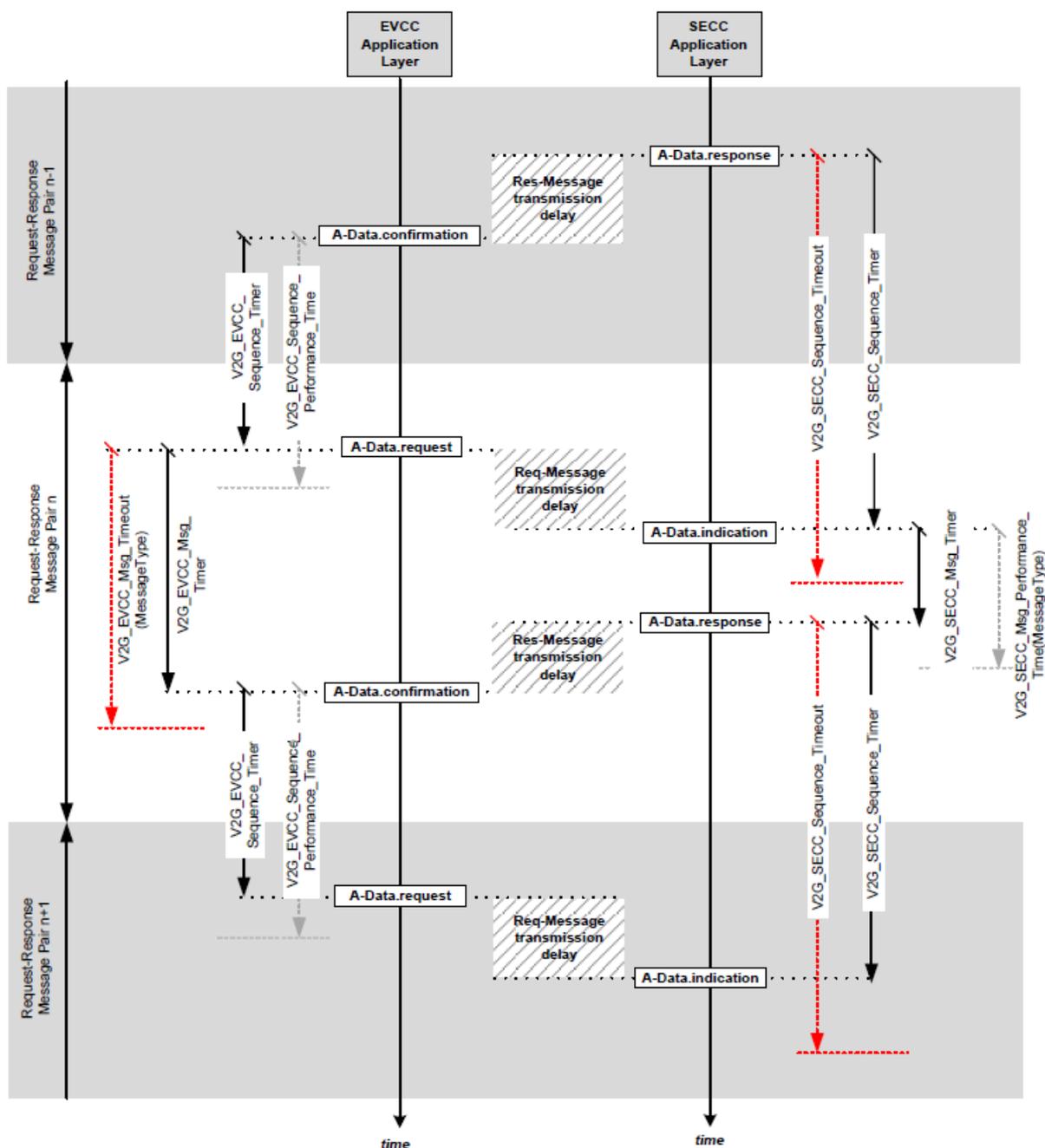


Figura 18. Diagrama explicativo de los tiempos de ejecución entre mensajes

Debemos diferenciar el *Performance Time* y el *Timeout time*. El primero es el tiempo de ejecución que se debe cumplir por normativa, el segundo es el tiempo que tardará el equipo en cerrar conexión si no recibe el mensaje de la otra parte.

De esta manera, el *Timeout* siempre será superior al *Performance* para, aún que no se haya cumplido el tiempo establecido por la ISO, el proceso pueda continuar si se envía un tiempo más tarde, pero razonable.

En cuanto al *Performance Time*, queremos comprobar los tiempos de ejecución entre que el EV envía un mensaje al cargador y este le responde. De esta manera, aún que la información que envía no precise de un tiempo máximo o mínimo a nivel práctico o de funcionamiento, estableciendo un tiempo de ejecución podemos monitorizar el estado de la conexión y detectar

errores. En otros casos, donde el mensaje da la acción sobre algún contactor y estamos trabajando con potencia, el tiempo de ejecución es menor y es totalmente necesario para la seguridad de los equipos y del usuario.

En caso de *Timeout Time*, si no se cumple este tiempo sí que el equipo, en este caso el cargador, debería tomar una acción, que es la de cortar conexión. Así que se forzará el envío del mensaje 1 segundo antes del límite y 1 segundo después del límite. En el primer caso debería avanzar el proceso de carga y en el segundo caso debería cortar la conexión antes de que nos dé tiempo a forzar el envío del mensaje. Como estamos comprobando el lado del cargador, debemos controlar el tiempo que hay entre el mensaje enviado por el cargador y la respuesta del vehículo.

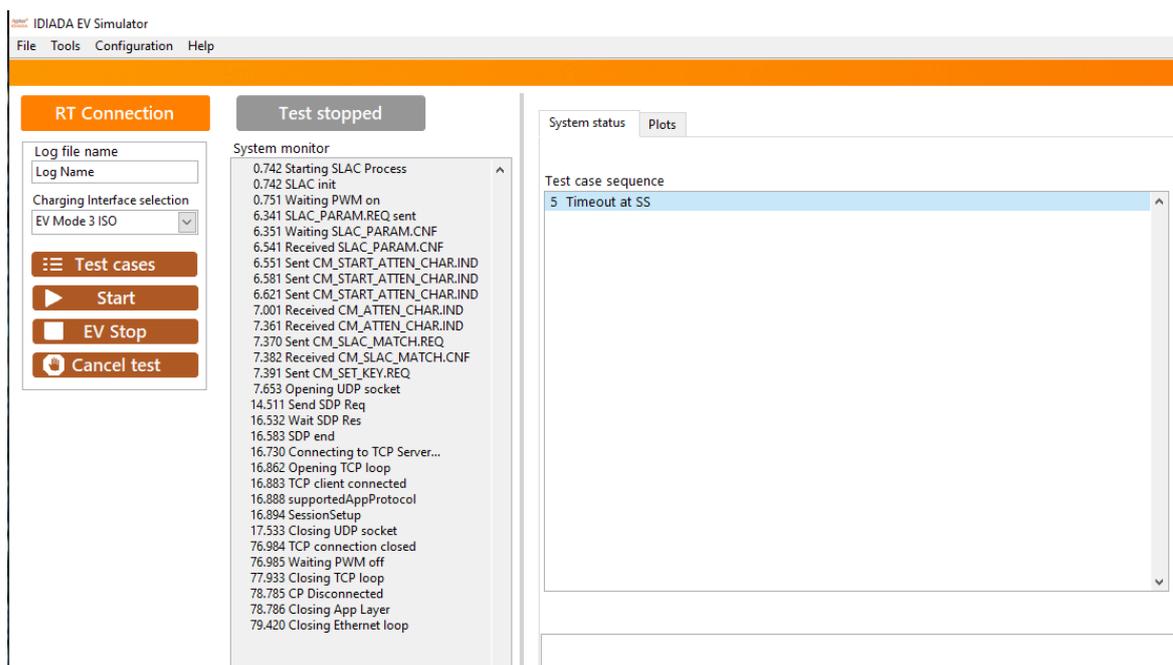


Figura 19. UI del simulador ejecutando el test de timeout en SS

En la figura 19 vemos como desde la interfaz del simulador ejecutamos uno de los test de timeout, concretamente desde *SessionSetup*. El mensaje siguiente a *SupportedAppProtocolRes* es *SessionSetupReq*, que es en el que queremos comprobar que sucede el timeout, así que programaremos un delay de 61 segundos entre ambos.

El otro caso, para ver la diferencia, será con un delay de 59 segundos entre los mismos mensajes.

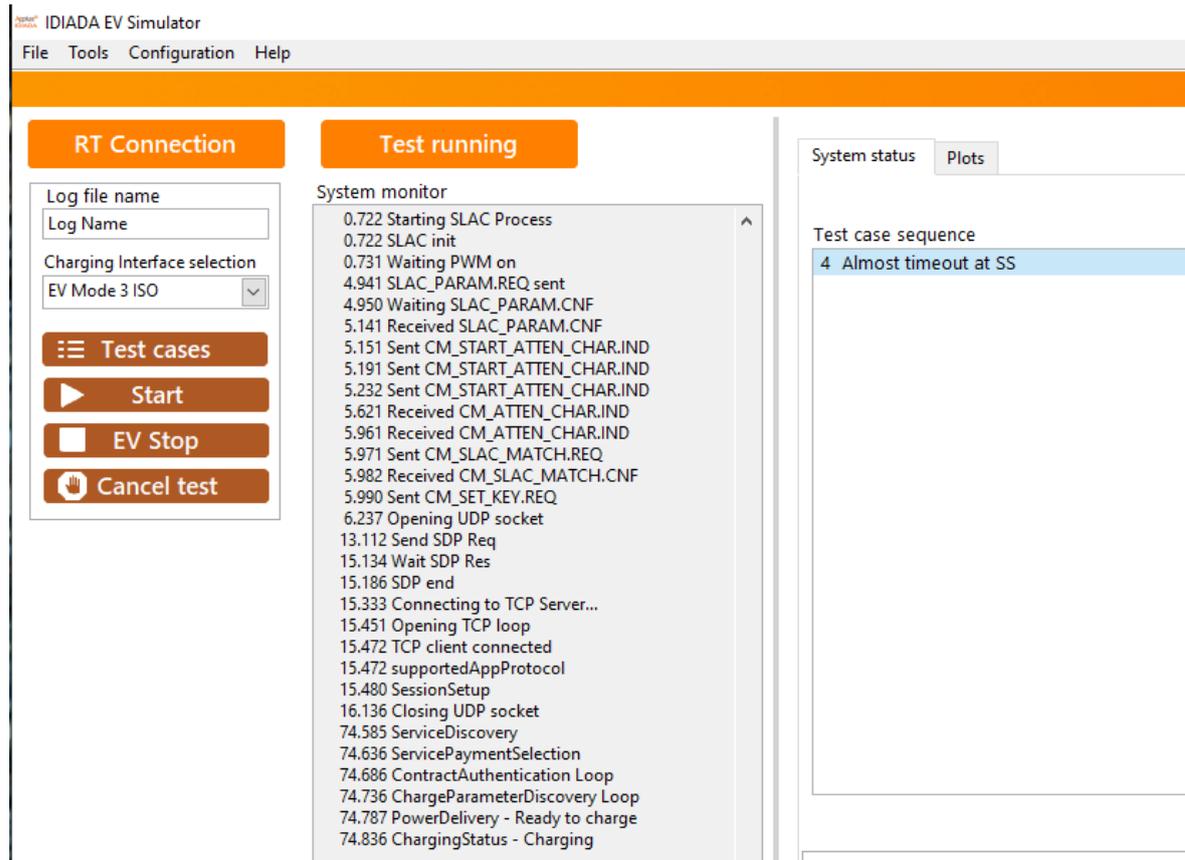


Figura 20. UI del simulador ejecutando el test de casi timeout en SS

Si el cargador cerrara la conexión antes de dejar enviar este mensaje se consideraría el test como no superado.

Los demás test de este bloque se ejecutan y analizan de la misma manera, pudiendo variar el tiempo según la normativa. La implementación del test en Labview puede verse en el apartado 5 del Anexo.

12.3 Proceso normal de parada

En estos dos casos, probamos una parada normal. El proceso de carga puede ser parado por el usuario desde el vehículo o desde el cargador. En ambos casos debemos verificar que efectivamente la carga para y que los mensajes contienen la información correcta.

En el primer caso, cuando el usuario para la carga desde el cargador, en el *ChargingStatusRes*, aparecerá el mensaje "EVSENotification: StopCharging" indicándole al vehículo que quiere parar. El siguiente mensaje será el *PowerDeliveryReq* con el mensaje "ChargeProgress: stop" y la carga se detendrá.

En el segundo caso, cuando el EV pide la parada, primero debe enviar el mensaje "stop" dentro de *PowerDeliveryReq* y el *PowerDeliveryRes* contestará con un "ResponseCode: OK" y "Stop Charging", seguidamente la carga parará.

12.4 Proceso de parada de emergencia

En este caso forzaremos una parada de emergencia desde todos los estados del proceso de carga para verificar que el cargador corta el PWM y se cierra la conexión.

12.5 Contenido de los mensajes

En este tipo de test modificaremos el contenido de un mensaje interno de la secuencia para ver cómo reacciona el otro equipo cuando reciba el mensaje erróneo o modificado.

Por ejemplo, queremos cambiar el contenido de un mensaje, concretamente lo probaremos en *ServiceDiscoveryReq*. El mensaje anterior, *SupportedAppProtocol*, crea un *SessionID* que siempre deberá ser diferente a 0. Al llegar a nuestro mensaje, nosotros forzaremos que cambie a 0 y el cargador debería parar.

Conclusiones

Este proyecto nace con la necesidad de mejorar y de seguir avanzando con toda la tecnología que envuelve al vehículo eléctrico. En concreto, centrado la carga de vehículo eléctrico en modo 3 AC con HLC.

Podemos sacar las conclusiones en vista a los objetivos previamente marcados en el apartado 2.1.

El objetivo principal, al cual no se hubiera podido llegar sin cumplir los demás, era el de estandarizar un proceso de validación para el modo 3 de carga AC con HLC para futuros fabricantes que lo quieran implementar, se ha conseguido.

EL vehículo eléctrico y sus modos de carga no era un ámbito en el que tuviera un conocimiento técnico antes de empezar este proyecto. Ha sido necesario para mi familiarizarme con el funcionamiento interno del vehículo eléctrico y sus modos de carga.

Para entender el funcionamiento de los modos de carga he monitorizado y estudiado diferentes cargas, no sólo en AC, para conocer las diferencias y poder adaptar parte del trabajo ya hecho al modo en concreto en el que he trabajado en este proyecto.

Como se ha visto a lo largo del apartado 12, he podido monitorizar el proceso con la comunicación de alto nivel implementada y mediante los test se ha tomado el control del contenido y la información de los estados del proceso, pudiendo forzar situaciones para comprobar la respuesta del equipo.

Paralelamente, a parte del diseño de los test case en Labview, tal y como se ve en el apartado 4 del anexo, también se ha creado una documentación específica para comprobar el buen cumplimiento de la normativa ISO 15118-2-2016, la cual ha sido necesario revisar en profundidad.

Por último, se ha simulado cada test incluido en la documentación en un proceso de carga entre dos simuladores, uno actuando como EV y el otro como cargador. Esto no nos sirve como para rellenar la documentación, ya que están diseñados para que el funcionamiento sea ideal y no veríamos ningún "No Pass" donde analizar la situación más en concreto. No obstante, con esta simulación sí que hemos podido comprobar que desde la parte que hace de cargador, en la cual hemos diseñado los test case, sí que los ejecuta de manera correcta y están preparados para lanzarse contra un equipo real.

Finalmente, considero que se ha cumplido con los objetivos que se marcaron antes de empezar el proyecto y, a parte, todo este trabajo me ha servido para introducirme en el mundo del vehículo eléctrico, plasmar y mejorar muchos de los conocimientos recibidos durante el grado de manera real e introducirme en el entorno de programación de LabView. Por todas estas cosas, considero haber hecho este trabajo de fin de grado, recomendado por mis compañeros del departamento de cargadores eléctricos de IDIADA, una buena elección personal y con buen resultado.

Trabajo Futuro

Ya que este trabajo tiene una fecha de entrega fijada, no ha sido posible probar todo el procedimiento en un equipo real, así que en el futuro próximo esperamos poder hacerlo para ver el resultado.

Cuando la comunicación de alto nivel en el modo 3 en AC pase de ser una tecnología en desarrollo a una realidad ya implementada en la mayoría de los fabricantes, este procedimiento podrá y deberá ser mejorado creando nuevos test cases en base a la experiencia que poco a poco se irá recopilando. También, podremos incluir los mensajes opcionales vistos en el apartado 9.2 cuando los fabricantes empiecen a incluirlas en sus modelos.

Puede ser que estos nuevos casos vengan directamente por una modificación de la normativa, por la creación de una normativa nueva que recoja este modo de carga o por la propia experiencia tanto de IDIADA como de los fabricantes que hay en el mercado. De todas formas, la base del proceso ha sido creada y es fácil implementar nuevas funcionalidades.

Bibliografía de la memoria

- [1] Manuel Planelles (2021, 10 de Noviembre) 30 países y 6 fabricantes pactan el fin del coche de combustión desde 2035. [Online] Disponible: <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/cambio-climatico/2021-11-10/una-treintena-de-paises-y-6-grandes-fabricantes-se-alian-para-terminar-con-el-coche-de-combustion-en-2035.html>
- [2] Daniel Murias (2021, 12 de Marzo) Historia de los coches eléctricos. [Online] Disponible: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>
- [3] Movilidadeléctrica.com (2021) Baterías de coches eléctricos [Online] No Disponible: <https://movilidadeléctrica.com/baterias-coches-electricos/>
- [4] Miguel Ángel Hita (2021, 12 de Noviembre) Estos son los seis tipos de coches eléctricos y electrificados [Online] Disponible: <https://www.motorpasion.com/compra-coches/conoce-que-tipos-coches-electricos-hay-sus-caracteristicas-estas-buscando-uno-segunda-mano>
- [5] Evexpert.EU (2021) Cargador de a bordo [Online] Disponible: <https://www.evexpert.es/eshop1/centro-de-conocimiento/cargador-de-a-bordo>
- [6] International Organization for Standardization. ISO 15118-2 2016, Road vehicles. Vehicle to grid communication interface. Part 2: Network and application protocol requirements, ISO TC 22/SC 31 N, 2017
- [7] International Organization for Standardization. ISO 15118-2 2016, Road vehicles. Vehicle to grid communication interface. Part 2: Network and application protocol requirements, ISO TC 22/SC 31 N, 2014
- [8] International Electrotechnical Commission. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements, ICS 43.120, 2017
- [9] International Electrotechnical Commission. IEC 61851-23, Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station, 69/523/CD, 2017
- [10] International Electrotechnical Commission. IEC 62196-2, Plugs, socket-outlets and vehicle couplers - Conductive charging of electric vehicles – Part 2: Dimensional interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories, 23H/234A/CD, 2010
- [11] NATIONAL INSTRUMENTS CORP. [Online] Disponible: <https://www.ni.com/es-es.html>

Bibliografía de las figuras

- Figura 1. <https://www.lancelotdigital.com/motor/taycan-el-primer-porsche-cien-por-cien-electrico>
- Figura 2. <https://www.alamy.es/fritchle-coche-electrico-anuncio-1908-disenado-por-el-quimico-y-empresario-estadounidense-oliver-p-fritchle-la-milla-iio-se-refiere-a-su-epica-carrera-de-resistencia-de-lincoln-a-nueva-york-de-1908-en-la-que-cubrio-2900-km-1800-millas-image415159425.html>
- Figura 3. <https://www.evexpert.es/eshop1/centro-de-conocimiento/cargador-de-a-bordo>
- Figura 4. <https://www.evexpert.es/eshop1/centro-de-conocimiento/cargador-de-a-bordo>
- Figura 5. <https://www.evexpert.es/eshop1/centro-de-conocimiento/cargador-de-a-bordo>
- Figura 6. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 7. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 8. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 9. <https://www.tienda24hs.com/Cargador-vehiculo-electrico-22kW-cable-5-m-Wallbox-Plus>
- Figura 10. <https://www.autofacil.es/coches-electricos-e-hibridos/formas-c-argar-coches-electricos/160933.html>
- Figura 11. <https://bestchargers.eu/blog/different-types-of-ev-charging-connectors>
- Figura 12. https://www.google.com/search?q=conectores+vehiculo+electrico&rlz=1C1GCEA_enES1005ES1005&sxsrf=ALiCzsbtr0sLF1-mnWZeQYSY9gMIFqTQ2A:1654001178377&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjgr8fF4on4AhWZ_7sIHSRXD9AQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgrc=IkSaEefndt8obM
- Figura 13. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 14. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 15. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 16. IEC 61851-1, Electric vehicle conductive charging system. Part 1: General requirements
- Figura 17. ISO 15118-2 2016, Road vehicles. Vehicle to grid communication interface. Part 2: Network and application protocol requirements
- Figura 18. ISO 15118-2 2016, Road vehicles. Vehicle to grid communication interface. Part 2: Network and application protocol requirements

Figura 19. Elaboración propia

Figura 20. Elaboración propia

Figura 21. Elaboración propia



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE
CARGADORES AC PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO CON
COMUNICACIÓN DE ALTO NIVEL**

ANEXOS

1. Máquinas eléctricas

Una máquina eléctrica es la que genera, transforma o aprovecha la energía eléctrica. En el caso que genere energía eléctrica a partir de energía mecánica será un generador, por lo contrario, si la máquina aprovecha la energía mecánica para producir energía eléctrica será un motor.

Hay ciertas diferencias a nivel constructivo entre un motor y un generador, pero podemos tener una máquina eléctrica que trabaje bidireccionalmente, es decir, que funcione como motor pero que sea capaz de recuperar energía en ciertas condiciones. En concreto, un motor eléctrico puede funcionar como generador al recuperar energía de la frenada de un vehículo.

Los motores tienen dos partes diferenciadas, el estator y el rotor. El estator es la parte fija del motor que se encarga de crear un campo magnético con el que fuerza el movimiento de la parte móvil, el rotor.

Tenemos varios tipos de motor eléctrico que se usan en el mercado del automóvil. Podemos clasificarnos según el tipo de corriente con el que se alimentan y su principio de funcionamiento.

1.1 Motor corriente continua

El estator suministra un campo magnético constante, la armadura, que es la parte giratoria, es una simple bobina. La armadura está conectada a una fuente de corriente continua a través de un par de anillos de conmutación. Cuando la corriente fluye a través de la bobina una fuerza electromagnética es inducida sobre ésta, de acuerdo con la ley de Lorentz y la hace girar.

A medida que la bobina gira, los anillos del colector se conectan a la fuente de energía con polaridad invertida, esto asegura que la acción del par es siempre en el mismo sentido durante el movimiento.

Si el motor sólo dispone de un devanado, cuando éste está perpendicular al flujo magnético la acción del par tiende a cero. La solución es añadir más bobinas al rotor para que cuando una de las bobinas esté en posición perpendicular al flujo magnético haya otra que aporte el par necesario para seguir girando. Cuantos más devanados tenga el rotor más suave será la rotación del motor.

1.2 Motor asíncrono de inducción

En este caso, la velocidad de giro del campo magnético del estator es diferente a la del rotor, de ahí el nombre. Funciona según el principio de inducción de Faraday, se aplica corriente alterna en las bobinas inductoras para producir un campo magnético giratorio cuya frecuencia será la misma a la corriente de alimentación, el campo magnético inducirá una tensión y corriente en el devanado del rotor, hecho que hará que intente alinearse con el campo magnético del estator.

Entre las velocidades del campo magnético del rotor y del estator habrá una diferencia llamada deslizamiento. La velocidad del rotor siempre será inferior a la del estator, de esta forma los dos campos nunca se podrán alinear.

1.3 Motor brushless

El motor brushless, como el nombre indica, no emplea escobillas para efectuar el cambio de polaridad. La corriente pasa directamente por los bobinados del estator y genera un campo electromagnético que interactúa con el campo magnético creado por los imanes permanentes del rotor, forzando el giro.

Al no disponer de escobillas, colector ni delgas, tendremos un variador electrónico que monitoriza en qué posición está el rotor en cada momento para aplicar tensión a la bobina que corresponda durante el giro.

El motor brushless, comparado con un motor con escobillas, tienen una buena relación velocidad-par, son más eficientes energéticamente, requieren de menos mantenimiento y son más compactos. Todo esto hace que tengan mucha presencia en el sector industrial. Por el contra, su coste es más elevado y se necesita algún controlador o driver para controlar el giro.

1.4 Motor síncrono de imanes permanentes

Este motor al tener imanes permanentes no necesita inducir un campo magnético, con lo cual no tiene pérdidas en el rotor. El rotor está permanentemente magnetizado así que siempre estará sincronizado con el campo magnético rotativo.

Estos motores tienen un tamaño muy reducido y son muy eficientes a bajas revoluciones, pero los imanes tienen un coste muy elevado y un gran impacto medioambiental. Además, precisan sensores de posición y control.

2. Baterías

2.1 Batería Plomo-Ácido

Estas baterías están formadas por un depósito de ácido sulfúrico que contiene placas de plomo dispuestas de forma alterna según su polaridad.

Tiene una alta densidad de potencia, un comportamiento seguro y fiable y su precio no es elevado. A pesar de eso, tienen una baja densidad energética y una vida útil corta, por lo que no es una buena opción para el vehículo eléctrico.

2.2 Batería Níquel-Cadmio

Este tipo de batería está formado por un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de cadmio y un electrolito de hidróxido potásico.

Su principal ventaja es que tienen una baja resistencia interna, por lo que su caída de tensión en la descarga es muy baja. En contra., la tensión de celda también es muy baja, no se pueden cargar a una tensión constante y el cadmio es un elemento tóxico con gran impacto medioambiental. Tampoco es una buena opción para el vehículo eléctrico.

2.3 Batería Níquel-Metal Hidruro

Su estructura consta de un ánodo de hidróxido de níquel y el cátodo de una aleación de hidruro metálico.

Tiene una gran densidad de energía, los materiales no son tóxicos y tiene una vida útil más larga que las otras opciones. Su eficiencia en la carga y descarga y el rendimiento a bajas temperaturas no es bueno por lo que no es una de las baterías más utilizadas, aún que sí que tienen presencia en algún modelo de vehículo eléctrico.

2.4 Batería de Ion-Litio

Este tipo de batería tiene como electrolito una sal de litio que consigue iones necesarios para la reacción electroquímica reversible entre ánodo y cátodo.

Sus características respecto las otras baterías son mucho mejores. Tienen una gran densidad energética y de potencia, también una muy buena eficiencia en la carga y descarga y su vida útil es muy elevada.

Es la opción más usada en el vehículo eléctrico, pero tienen un inconveniente. Estas baterías llegan a calentarse mucho y, en ocasiones, pueden llegar a arder o explotar. Por esa razón, tenemos un sistema de gestión de la batería llamado BMS (*Battery Manage System*). El BMS es un sistema electrónico que monitoriza y protege a la batería.

3. Convertidores de potencia

El convertidor de potencia es un equipo electrónico que se encarga de cambiar los parámetros de una señal eléctrica. De entrada, tenemos una energía eléctrica con unos parámetros y al salir del convertidor obtendremos esa misma energía eléctrica con otros parámetros distintos. Por ejemplo, podríamos tener corriente continua a la entrada del convertidor y obtener corriente alterna a la salida. En el proceso es inevitable obtener pérdidas energéticas.

Hay diferentes tipos de convertidores de potencia según su funcionalidad.

3.1 Convertidores rectificadores

Estos convertidores transforman corriente alterna, tanto monofásica o trifásica, en corriente continua.

3.2 Convertidores DC-DC

Los convertidores DC-DC transforman un valor determinado de corriente continua de entrada en uno distinto a la salida.

3.3 Convertidores inversores

Los inversores convierten corriente continua en corriente alterna, con la posibilidad de poder controlar tanto la frecuencia como el valor eficaz de la tensión o intensidad de salida.

3.4 Convertidores AC-AC

Este tipo de convertidores modifican el valor eficaz de la tensión de entrada conservando su frecuencia, aún que también es capaz de reducir la frecuencia a un submúltiplo del valor de entrada.

4. Lista de test case

En este apartado se enumeran todos los test diseñados y probados para este proyecto, pero al ser contenido confidencial no se pueden incluir en esta versión.

5. Diseño de un test case

En esta versión confidencial no es posible mostrar la estructura del código, ni mostrar ejemplos concretos de cómo modificamos los parámetros de los test case. No obstante, se explica de manera general cual ha sido el procedimiento utilizado.

Para diseñar un test lo haré desde el software de LabView. No ha sido necesario crear ningún VI nuevo, simplemente es necesario modificar el contenido de algunos VI según las necesidades del test.

Primero abrimos el programa, en el main están todos los VI que en conjunto consiguen simular el comportamiento de un EV o de un cargador eléctrico:

- Inicialización de las variables del sistema
- Calibración para una buena lectura del CP
- Conjunto de variables relacionadas con el proceso de carga que pueden ser usadas para parar el proceso o informar de errores.
- Controlador de E/S, donde se calcula el CP, se controlan los contactores y todas las demás salidas se controlan en tiempo real
- Bucle principal donde el modo 3 AC en HLC se desarrolla

En concreto, entraremos en el VI Main Loop Init, donde corre la máquina de estados. No es necesario modificar los demás VI.

Una vez dentro del Main Loop Init, podemos ver un VI llamado "Test Case" en el que se cargan todos los test con los inputs necesarios para posteriormente cambiar los parámetros que se ejecutarán durante cada test.

Una vez seleccionado el protocolo que queremos, en nuestro caso ISO 15118-2-2016 debemos entrar en el Test Case Engine. A la hora de ejecutar el test case, el VI Test Case Engine se encargará de modificar las variables que correspondan en cada test.

Una vez dentro ya podemos seleccionar en un desplegable los diferentes tipos de test. Según para que esté diseñado, dentro nos encontraremos con los diferentes parámetros que pueda modificar (tiempo, contenido de un mensaje, un valor en concreto, etc).

Para modificar los parametros de estas estructuras de test y crear un test con una funcionalidad en concreto, cargamos un archivo .txt, llamado command, en la CompactRIO donde indicamos que variables queremos modificar y que valores le damos.

Para ejecutar el test, el operario lo selecciona desde la MCTS UI y desde el Test Case Engine se cambia las variables que pertenecen antes de entrar en la maquina de estados. Si el archivo .txt con el command no ha sido cargado en el controlador no podremos seleccionarlo en la MCTS UI.

6. Documentación

La documentación final es de carácter confidencial ya que muestra todos los test diseñados y como se ejecutan, no se puede mostrar en esta versión. No obstante, la forma es la mostrada en el apartado 12.1.