

David Perez Caelles

**Desenvolupament d'un banc automàtic d'assajos per a
carregadors de bateries embarcats en vehicles elèctrics**

Treball Fi de Màster
dirigit pels Dr. ROBERTO GIRAL CASTILLON,
Dr. ABDELALI EL AROUDI CHAOUI

Màster en Tecnologies del Vehicle Elèctric



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2022

Índex

1	Glossari.....	7
2	Introducció.....	9
3	Objectius	10
4	Arquitectura del OBC a testejar	11
	4.1 Anàlisis d'alt nivell d'un OBC de referencia.....	11
	4.2 Paral·lelització de convertidors	14
	4.3 Anàlisis de l'OBC a ser assajat en el banc dissenyat.....	14
5	Assajos a realitzar, la ISO 16750	15
	5.1 Anàlisis de la normativa	15
	5.2 Pla de validació	20
	5.3 Requisits del banc d'assaig	21
6	Disseny del banc d'assajos.....	26
	6.1 Introducció al disseny del banc per a l'OBC.....	26
	6.2 Disseny del Banc Paramètric.....	30
	6.2.1 Elements del banc.....	31
	6.2.2 Assignació de requisits	41
	6.2.3 Pressupost del banc	42
	6.3 Disseny del Banc Durabilitat	42
	6.3.1 Elements del banc.....	42
	6.3.2 Assignació de requisits	53
	6.3.3 Pressupost del banc	53
	6.4 Disseny HW d'un EVSE Mode 3.....	53
	6.4.1 Senyal <i>Control Pilot</i>	55
	6.4.2 Funcionalitat de gestió de la carrega	57
7	Desenvolupament dels casos de test	61
	7.1 Eina base i entorn de desenvolupament	61
	7.1.1 La Configuració de CANoe	62
	7.1.2 Controls de la instrumentació en el CANoe	64
	7.2 Casos de test per al banc paramètric	69
	7.2.1 APT per a l'FT1 i l'FT2	69
	7.2.2 Full APT	76
	7.3 Modes d'operació per al banc durabilitat.....	79
	7.3.1 L'eina S-LCAT	80
	7.3.2 Afegit del control per al sistema de refrigeració líquida en l'eina S-LCAT ..	85

7.3.3 Afegit de passos temporitzats per a l'eina S-LCAT	85
7.4 Desenvolupament <i>software</i> d'un EVSE Mode 3 per a l'assaig d'OBCs	88
8 Conclusions	92
9 Agraïments.....	92
10 Bibliografia.....	93
11 Annex 1: Punts rellevants del pla de validació	94
12 Annex 2: Llistat de requisits per als bancs.....	94
13 Annex 3: Codi dels casos de test FT1 i FT2	96

Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1. Diagrama de blocs de l'arquitectura típica d'un OBC.....	11
Il·lustració 2. Diagrama de blocs de l'arquitectura típica per a la primera etapa de conversió d'un OBC.....	12
Il·lustració 3. Diagrama de blocs de l'arquitectura típica per a la segona etapa de conversió d'un OBC.....	13
Il·lustració 4. Diagrama de blocs de l'arquitectura del OBC de l'empresa del sector de l'automació per a la primera etapa de conversió.....	14
Il·lustració 5. Diagrama de blocs de l'arquitectura del OBC de l'empresa del sector de l'automació per a la segona etapa de conversió.....	15
Il·lustració 6. Esquema de voltatges alimentació Ub i Ua.	19
Il·lustració 7. Flux del pla de validació.....	21
Il·lustració 8. Secció 4 del pla de validació - Modes d'operació.....	22
Il·lustració 9. Secció 8.2 del pla de validació - Exemple de seqüència de test.....	23
Il·lustració 10. Secció 10 del pla de validació - Adquisició de dades.	23
Il·lustració 11. Secció 11 del pla de validació - Test Funcional.	24
Il·lustració 12. Secció 12.5 del pla de validació - Test cicle tèrmic.....	25
Il·lustració 13. Secció 12.18 del pla de validació - Test de durabilitat a alta temperatura.	26
Il·lustració 14. Diagrama d'alt nivell d'un OBC en un vehicle.	27
Il·lustració 15. Diagrama d'alt nivell d'un banc assajos per a un OBC genèric.....	29
Il·lustració 16. Esquema de potència del banc d'assajos paramètric.....	37
Il·lustració 17. Esquema de controls i sistema de seguretat del banc d'assajos paramètric.	39
Il·lustració 18. Esquema distribució elèctric del banc d'assajos paramètric.....	39
Il·lustració 19. Fotografia del banc d'assajos paramètric identificant els equips que el conformen.	41
Il·lustració 20. Diagrama esquemàtic PCB LV Box del banc de durabilitat; circuits elèctrics per a la gestió dels senyals.....	44
Il·lustració 21. Diagrama esquemàtic PCB LV Box del banc de durabilitat; connectors amb els OBCs i el MUX.	44
Il·lustració 22. Fotografia de la instal·lació de les mesures de temperatura i cabal pel circuit de refrigeració dels OBCs.....	48
Il·lustració 23. Esquema de potència del banc de durabilitat.	49
Il·lustració 24. Esquema de controls i sistema de seguretat del banc de durabilitat.	50
Il·lustració 25. Esquema distribució elèctric del banc de durabilitat.	51
Il·lustració 26. Fotografia del banc d'assajos de durabilitat identificant els equips que el conformen.	52
Il·lustració 27. Circuit esquemàtic del Control Pilot PCB V1.....	55
Il·lustració 28. Fotografia de 3 controls pilot PCBs instal·lades en un banc durabilitat.	56
Il·lustració 29. Captures d'oscil·loscopi de la control pilot PCB funcionat al 50% del cicle de treball.	56
Il·lustració 30. Esquema d'alt nivell del circuit proposat en la IEC 61851 per a les senyals control pilot i proximitat detecció.	58
Il·lustració 31. Esquema del connexionat de l'EVSE amb la LV Box.	60
Il·lustració 32. Fotografia de l'LV Box més EVSE identificant els elements que conformen el conjunt.	61

Il·lustració 33. Captura de la configuració CANoe en mode execució amb la visualització del tràfic en el bus.....	62
Il·lustració 34. Finestra Simulation Setup del CANoe.....	63
Il·lustració 35. Interfície gràfica node Simulation.....	64
Il·lustració 36. Flux de controls d'instrumentació CANoe - LabView.	66
Il·lustració 37. Captura codi CAPL del .cin per enviar el control d'un canal en l'equip MUX.	67
Il·lustració 38. Captura codi LabView per al controlador de l'equip MUX NI-6513.	68
Il·lustració 39. Captura codi CAPL del .cin per a detectar l'execució del control d'un canal en l'equip MUX.	69
Il·lustració 40. Flux de desenvolupament amb el vTestStudio.....	71
Il·lustració 41. Captura del detall de 4 caso de test del FT2 extreta del pla de validació.	73
Il·lustració 42. Captura de la seqüència principal per als testos FT1 i FT2.....	74
Il·lustració 43. Captura de la seqüència secundària PM TEST per als testos FT1 i FT2.....	75
Il·lustració 44. Captura de la unió entre un cas de test programat i la seqüència principal.	76
Il·lustració 45. Taula dels casos de test per al grup LV TEST.	76
Il·lustració 46. Captures del panell dinàmic per a l'eina FAPT.	77
Il·lustració 47. Captura de la finestra simulation setup de la integració del FAPT en el projecte utilitzant el CAN virtual.	78
Il·lustració 48. Interfície gràfic principal del S-LCAT.....	81
Il·lustració 49. Captura del codi de les funcions per posar el mode d'operació E en l'S-LCAT.	82
Il·lustració 50. Captura del codi de les funcions per posar el mode d'operació B en l'S-LCAT.	83
Il·lustració 51. Captura dels Simulations Setups per a les 3 configuracions del mode "ciclat" ordenades de l'OBC1 a l'OBC3 per al banc de durabilitat.	84
Il·lustració 52. Captura de la interfície gràfica per al control del líquid refrigerant en el S-LCAT.	85
Il·lustració 53. Flux de l'eina Add On Time Step.	86
Il·lustració 54. Estructura de dades i processat per a l'eina Add On Time Steps.	87
Il·lustració 55. Preconfiguració dels paràmetres de l'arxiu .cin i el timer del codi principal per a l'eina Add On Time Steps.	87
Il·lustració 56. Fitxers amb perfils realitzats per a l'eina Add On Time Steps.	88
Il·lustració 57. Codi LabView de l'aplicació pricipal de l'AC EVSE Mode 3.	89
Il·lustració 58. Interfície grafica de l'aplicació principal de l'AC EVSE Mode 3.	90
Il·lustració 59. Codi LabView de la FPGA de l'AC EVSE Mode 3.	91

1 Glossari

BCM: Sigles en anglès *Boundary Conduction Mode* que signifiquen mode de conducció de frontera en referència al mode de control de convertidores de potència on el corrent de l'inductor esta en la frontera entre el CCM i el DCM.

BDU: Sigles en anglès *Battery Disconnection Unit* que signifiquen unitat de desconnexió de bateries d'alta tensió.

BJT: Sigles en anglès *Bipolar Junction Transistor* que signifiquen transistor d'unió bipolar.

BMS: Sigles en anglès *Battery Management System* que signifiquen sistema de gestió batries d'alta tensió.

BNC: Sigles en anglès Bayonet Neill-Concelman és un tipus de connector ràpid de 2 fils molt utilitzat en cables coaxials.

CAN: Sigles en anglès *Controller Area Network* és un protocol de comunicacions de tipologia bus molt utilitzat en la indústria de l'automoció.

CAN FD: Sigles en anglès *Controller Area Network Flexible data rate* és la evolució d'un protocol de comunicacions de tipologia bus molt utilitzat en la indústria de l'automoció millorat l'ample de banda en la transmissió de dades que el CAN estàndard.

CCM: Sigles en anglès *Continous Conduction Mode* que signifiquen mode de conducció contínua en referència al mode de control de convertidores de potència on el corrent de l'inductor no es 0 en cap tram del període de commutació.

CMM: Sigles en anglès *Current Consumption Measurement* que signifiquen mesura del corrent de consum i en aquest projecte fan referencia a un equip per a la mesura del consum d'alimentació.

DC-DC: Convertidor de potència de corrent directa a corrent directa.

DCM: Sigles en anglès *Discontinuous Conduction Mode* que signifiquen mode de conducció discontinua en referència al mode de control de convertidores de potència on el corrent de l'inductor és 0 en algun tram del període de commutació.

DHCP: Sigles en anglès *Dynamic Host Configuration Protocol* que signifiquen protocols de configuració dinàmica clientes en una xarxa Ethernet.

DPR: Sigles en anglès *Design Product Requirements* que signifiquen requeriments per al disseny d'un producte.

DUT: Sigles en anglès *Device Under Test* que signifiquen sistema / dispositiu a ser testejat.

EMC: Sigles en anglès *Electromagnetic Compatibility* signifiquen compatibilitat electromagnètica.

EVSE: Sigles en anglès *Electric Vehicle Supply Equipment* que signifiquen equip de subministrament de vehicles elèctrics.

FPGA: Sigles en anglès *Field-Programmable Gate Array* que signifiquen matriu de portes lògiques programable.

GUI: Sigles en anglès *Graphical User Interface* que signifiquen interfície gràfica d'usuari.

HiPot: Sigles en anglès *High Potential* que signifiquen alt potèncials i fa referència a un test per mesurar resistència dielèctrica.

ICT: Interruptor de control de potència habitualment magnètic utilitzat per obrir-se automàticament si és supera la potència dimensionada d'aquest.

INLET: Nom en anglès del port de carrega d'un vehicle elèctric.

IP: Sigles en anglès *Ingress Protection* que signifiquen protecció contra penetració.

IR: Sigles en anglès *Insulation Resistance* que signifiquen resistència d'aïllament elèctric i fan referència a un test per mesurar la resistència d'aïllament.

LV: Sigles en anglès *Low Voltage* que signifiquen baix voltatge i s'utilitzarà per nombrar els sistemes de baixa tensió del vehicle que deriven de la bateria de servei de 12V.

OBC: Sigles en anglès *On Board Charger* que signifiquen carregador embarcat en un vehicle elèctric.

OEM: Sigles en anglès *Original Equipment Manufacturer* que signifiquen fabricant d'equipament original i el projecte s'utilitzarà per anomenar al fabricant de vehicles.

PCB: Sigles en anglès *Printed Circuit Board* que signifiquen placa de circuit imprès.

PCI: Sigles en anglès *Peripheral Component Interconnect* que signifiquen interconnexió de components perifèrics. Fa referència a un bus estàndard en la informàtica i els ordenadors per a connectar components perifèrics al ordenador.

PFC: Sigles en anglès *Power Factor Correction* signifiquen corrector del factor de potència.

SCPI: Sigles en anglès de *Standard Commands for Programmable Instruments* que signifiquen comandes estàndard per instrumentació programable.

SoC: Sigles en anglès *State of Charge* que signifiquen estat de carga i s'utilitza en bateries per quantificar l'energia que conté la mateixa.

TTL: Sigles en anglès de *Transistor-Transistor Logic* que signifiquen lògica transistor-transistor. Són unes sigles mol utilitzades en el camp de l'electrònica per identifica els nivells de tensió als qual funcionen les portes de la lògiques implementades amb transistors bipolars als quals fan referència les sigles.

uC: Mico controlador.

VISA: Sigles en anglès *Virtual Instrumentes Software Architecture* que signifiquen arquitectura *software* virtual per a instrumentació.

ZVS: Sigles en anglès *Zero Voltage Switching* que signifiquen canvi d'estat a voltatge 0 en referència a una tècnica de control de convertidors de potència.

2 Introducció

El treball de final de màster està realitzat en dins d'una empresa del sector de l'automoció, per tant, contindrà informació que serà tractada de forma confidencial.

L'empresa del sector de l'automoció on s'ha fet el projecte és una multinacional americana dedicada al disseny i fabricació de components per a l'indústria de l'automoció. L'empresa te tres grans línies de productes: seients, cablejat i caixes electròniques. El centre d'enginyeria en el qual s'ha desenvolupat el projecte, pertany a la diviso de caixes electròniques i es considerat centre d'excel·lència en electrificació i el que anomenem "core electronics" que serien les centraletes electròniques encarregades del control de l'equipament de confort en el vehicle i la distribució de la potència a baixa tensió.

Quant a l'electrificació hi ha un departament que està en ple creixement degut a la situació sociopolítica actual i està centrat en mòduls de distribució i conversió de potència per a vehicles electrificats. Actualment el portafolis de producte seria: carregadors embarcats per a vehicles elèctrics (OBC) de fins a 22 kW, convertidors bidireccionals per transferir potència entre els sistemes d'alta i baixa tensió(DC-DC), caixes passives per a la distribució de la línia d'alta tensió del vehicle, sistemes per la desconexió de la bateria d'alta tensió (BDU) i sistemes electrònics de gestió de la bateria d'alta tensió (BMS).

L'empresa necessita desenvolupar els bancs d'assaig per al departament de test climàtic, on s'encarreguen de l'execució dels d'assajos de la ISO 16750 en els productes desenvolupats i fabricats per la companyia. L'objectiu és verificar que compleixen els requisits de condicions de funcionament i durabilitat exigits per a cada producte.

Per dur a terme aquesta tasca es requereix un sistema, el banc d'assajos, per simular la resta del vehicle i que permeti operar l'OBC en les mateixes condicions de càrrega que en el vehicle. L'automatització dels assajos i el desenvolupament dels diferents casos de test és un punt crític. Els assajos de durabilitat solen tenir llarga duració i freqüentment s'han de repetir (inclús en paral·lel) en diverses mostres. Per tant, l'automatització es clau per a la optimització dels recursos de l'empresa. En resum, es proporcionarà una solució completa per permetre l'execució dels assajos per part dels enginyers de test.

3 Objectius

El principal objectiu del projecte es proporcionar una solució de test integral claus en ma per a la validació climàtica d'un OBC trifàsic de 11 kW de potència elèctrica d'entrada. Per aconseguir-ho, aquest objectiu és dividirà en 3 objectius més específics.

El primer és el disseny del banc d'assaig i la selecció dels equips necessaris per executar els assajos requerits. Quan a la fabricació dels mateixos es delegarà a un proveïdor del que l'empresa del sector de l'automoció disposa. Com a objectiu secundari es farà el disseny genèric que permeti testejar diferents OBCs de fins a 22 kW amb mínims canvis en el banc d'assajos.

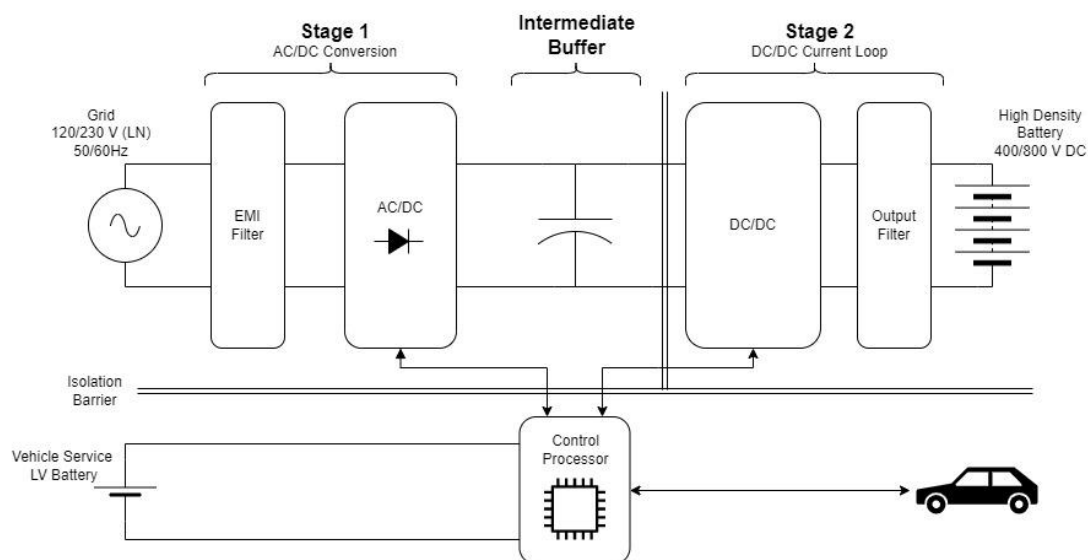
El segon objectiu del projecte és el desenvolupament de les eines *software* o programari que permetin la utilització dels banc d'assajos. En aquest objectiu també s'inclou el desenvolupament de les eines *software* per controlar l'OBC mitjançant els busos de comunicacions dels que disposa.

El tercer objectiu serà el desenvolupament dels casos de test per a l'execució des assajos. Els casos de test han de ser completament automatitzats i permetre l'execució les 24 hores 7 dies a la setmana, sense una supervisió continua. Els assajos han de ser executats automàticament i l'enginyer de test serà el responsable de la posada en marxa i la monitorització dels mateixos, verificat les dades enregistrades.

En els objectius 2 i 3 també es buscaran les possibilitats de reutilització de les eines *software* i de casos de test. L'objectiu serà desenvolupar blocs de *software* genèric per un OBC i posteriorment adaptar-los al producte a testejar, minimitzant els components *software* específics. Respecte a la reutilització del banc d'assajos dissenyat, l'objectiu de l'empresa és realitzar la validació de un OBC que s'ha dissenyar per a un client específic. A mig termini els bancs d'assaig dissenyats i fabricats estaran destinats a executar validacions per a aquest producte concret bloquejant la possibilitat de que en el mateix banc es puguin assajar altres productes. Per tant, el concepte de re-utilització s'aplicarà només en el disseny, no en el hardware. S'intentarà que el disseny sigui genèric per a un OBC separant les particularitats del OBC en el qual s'implementarà.

4 Arquitectura del OBC a testejar

En aquesta secció s'analitzarà l'arquitectura de l'OBC per al qual es dissenyarà el banc d'assajos. Un OBC o carregador embarcat per a vehicles elèctrics és un mòdul que converteix l'energia de la xarxa elèctrica AC domèstica a una tensió contínua per carregar la bateria d'alta tensió del vehicle. Per realitzar aquest procés l'estat de l'art dels OBCs produïts en sèrie és realitzar-lo en 2 etapes, en la primera es transforma la tensió alterna a una tensió contínua i s'emmagatzema l'energia en un buffer intermedi. La segona etapa és un convertidor de corrent continu a corrent continu el qual actua com a font de corrent, el convertidor eleva la tensió del buffer intermedi fins al nivell de la bateria regulant el corrent que injecta a la bateria no el nivell de tensió, ja que aquest està imposat per la bateria.



Il·lustració 1. Diagrama de blocs de l'arquitectura típica d'un OBC.

En aquest tipus de mòduls electrònics que interactuen amb sistemes que operen a diferents nivells de tensió és molt important que es mantinguin els sistemes elèctricament aïllats. Per tant, és normatiu que existeixi un aïllament entre l'entrada AC de la xarxa elèctrica i la sortida DC de la bateria d'alta tensió del vehicle. Aquest aïllament també aplicarà en la tensió contínua de baix voltatge utilitzada per alimentar l'electrònica de control del convertidor.

Igualment que en el cas de l'aïllament entre els diferents sistemes, és necessari introduir xarxes de filtratge en l'entrada AC i la sortida DC per complir amb les normatives EMCs que imposa el sector de l'automoció. En la majoria dels casos es tracta d'una xarxa passiva per a complir amb els nivells d'emissions electromagnètiques.

4.1 Anàlisis d'alt nivell d'un OBC de referència

En aquesta secció s'analitzaran més en detall l'arquitectura i les tècniques utilitzades actualment en un OBC d'automoció pensat per a la seva producció en grans sèries. Per dur aquesta tasca és partirà del diagrama de blocs bàsic d'un OBC presentat en la Il·lustració 1, el qual desglossarà per identificar cadascuna de les parts analitzant les tècniques emprades.

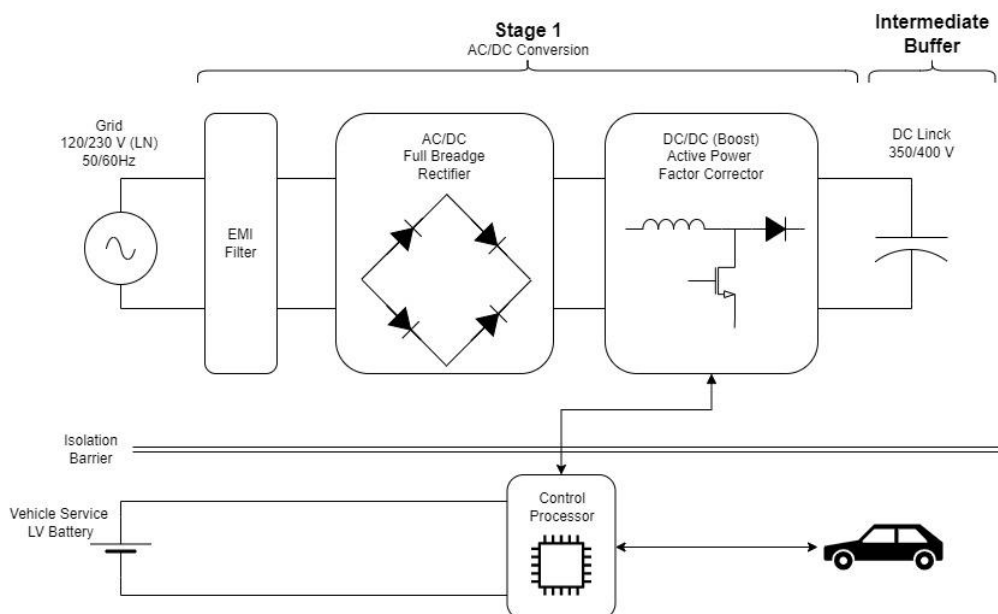
Com s'ha vist en la introducció, la càrrega de la bateria es realitza en 2 etapes, en la primera es realitzarà la conversió d'AC a DC transferint la potència a un buffer intermedi

conegut com a DC *link*. La conversió es dur a terme a través d'un rectificador format per un pont complet de díodes, els quals en arquitectures més avançades poden ser substituïts per elements actius com tristor o altres elements actius. Quant al DC *link* és un o varis condensadors en paral·lel per aconseguir una capacitat més o menys elevada la qual estabilitzi el l'arriament generat per la conversió AC/DC i emmagatzemi la suficient energia perquè la segona etapa pugui operar.

En aquesta etapa és molt important introduir entre el rectificador i el DC *link* un PFC o corrector del factor de potència. L'objectiu del PFC es posar en fase l'ona de tensió i la de corrent per tenir un factor de potència igual a 1, evitant tenir potències reactives, i que es transfereixi tota la potència des de l'entrada a la sortida minimitzant les pèrdues. Un factor de potència reactiu fa que part del potència instantània no es transmeti a la sortida i retorni cap a l'entrada. Això incrementa el corrent total que processa el mòdul per a una determinada potència de sortida augmentant les pèrdues del mòdul i empitjorant l'eficiència d'aquest.

Un segon objectiu per al PFC és no introduir distorsió en la xarxa elèctrica; un punt molt importat perquè la distorsió que es pot arribar a introduir en la xarxa elèctrica està regulada i els OBCs en ser dispositius que s'hi connecten, a Europa almenys, han de passar l'homologació domèstica IEC 61000 com si es tractés d'un electrodomèstic més. L'IEC 6100 és un conjunt de moltes normes les quals no apliquen totes a l'OBC i com no és objectiu d'aquest projecte no s'entrarà en el detall. El PFC s'implementa a través d'un convertidor DC/DC de la tipologia *boost* o elevador. La tendència actual és utilitzar un PFC actiu (APFC) que fa servir un llaç de control exterior per a la tensió de sortida i un llaç interior més ràpid per al control del corrent d'entrada perquè en tot moment estigui en fase amb la tensió. Fent ús d'un APFC s'obtenen 2 avantatges, obtenir la possibilitat de controlar el nivell la tensió del DC *link* i tenir un millor control del corrent d'entrada.

En la Il·lustració 2 es troba un diagrama de blocs de l'arquitectura típica de l'OBC per a la primera fase de conversió en la qual apareixen els elements mencionats en l'explicació realitzada.



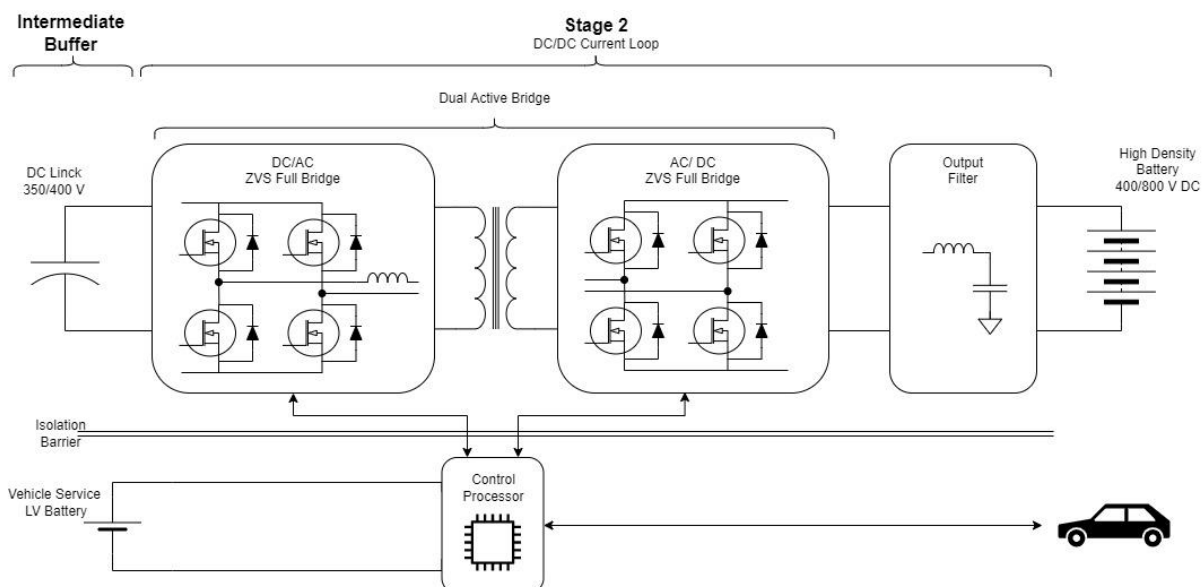
Il·lustració 2. Diagrama de blocs de l'arquitectura típica per a la primera etapa de conversió d'un OBC.

La segona etapa de la conversió per a un OBC típic és un convertidor DC/DC que té la missió de regular el corrent que s'introdueix en el paquet de bateries. Per carregar el paquet de bateries del vehicle, com que el nivell de tensió ve donat pel SoC (estat de càrrega de la bateria) i la química de les cel·les que formen el paquet de bateries, l'OBC regularà el corrent de càrrega.

Tenint en compte el mode de càrrega es podria determinar que la tipologia de convertidor seria *buck-boost* o elevador-reductor regulat com a font de corrent. Aquest convertidor permetria elevar o disminuir la tensió del DC *link* per anivellar-la amb la del paquet de bateries. Aquesta tipologia de convertidor té un gran inconvenient, no permet aïllar elèctricament l'entrada de la sortida, un requeriment crític per l'OBC. Com es requereix un aïllament elèctric entre la xarxa AC d'entrada i la sortida DC de la bateria s'ha de fer servir altres alternatives més complexes.

L'estratègia seguida per aconseguir l'aïllament és utilitzar un transformador juntament amb un convertidor DC/AC al davant i un AC/DC després del transformador ambdós d'alta freqüència. Aquesta tipologia es coneix com a pont doble o *dual bridge* fent servir habitualment un pont doble actiu per tenir un millor control d'aquest. La tipologia de pont actiu feta servir és la *ZVS Full bridge (zero voltage switching)* que seria un pont format per 4 transistors fent ús d'una tècnica de control on el convertidor opera en DCM o BCM i realitza els canvis d'estat dels transistors quan la tensió o el corrent és 0 (o quasi 0). Aquesta tècnica té com a objectiu minimitza les pèrdues en la commutació dels transistors, ja que aquestes pèrdues són el resultat de multiplicar la tensió del mateix pel corrent que hi circula, per tant, si una de les dues magnituds és pràcticament 0, el valor resultat tendeix a ser també pràcticament 0.

En la Il·lustració 3 es troba el diagrama de blocs d'alt nivell per a l'arquitectura de la segona etapa de conversió explicada. És important mencionar que ha d'existir un aïllament elèctric també en la regió de baixa tensió entre l'AC i la DC tenint les tres regions elèctricament aïllades. Aquest fet implicarà un repte més en el control, ja que s'haurà de realitzar una adaptació dels senyals.



Il·lustració 3. Diagrama de blocs de l'arquitectura típica per a la segona etapa de conversió d'un OBC.

4.2 Paral·lelització de convertidors

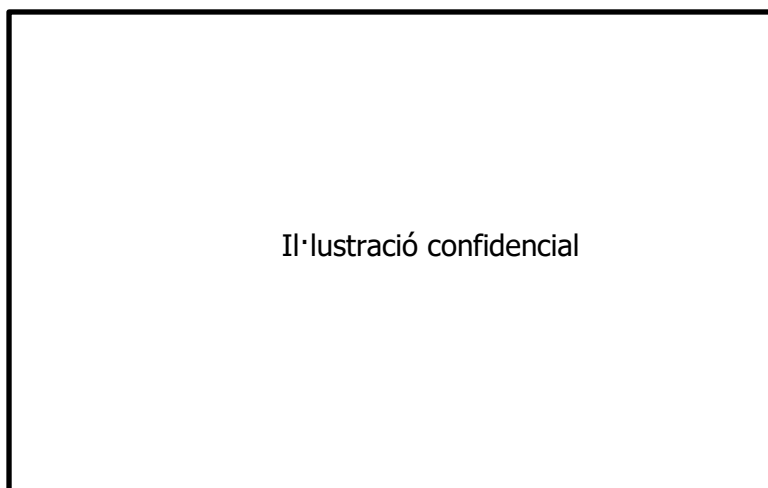
La tendència en la indústria és la paral·lelització de convertidors. La idea és dissenyar convertidors amb una menor capacitat de processament de potència amb l'objectiu de reduir el tamany dels inductors i poder utilitzar elements de potència més petits. Seria el mateix concepte que utilitza varies inductors en paral·lel o varis transistor i governats per a mateixa senyal de control. Per obtenir un convertidor de major potència és tan simple com empaquetar varis d'aquests petits convertidors en un de més gran sumant les potències. El concepte de la divisió dels inductors no és incompatible amb la paral·lelització d'aquests.

La modularitat és el punt positiu d'aquesta tipologia. En aquest tipus de convertidors s'introdueix una capa més en el control, ja que es realitzarà una gestió individualitzada de cadascuna de les petites unitats que el conformen i una gestió general de tots els mòduls. Això incrementa la complexitat, però és una avantatge quan no es requereix entregar tota la potència, pel fet que permet fer treballar els convertidors petits en els punts de més eficiència apagant els mòduls no necessaris.

En aquest punt entra el concepte del *interleaving* en convertidores de potència. Aquest concepte és bàsicament el desfasament dels senyals de controls entre els diferents petits convertidors. Aquest desfasament reparteix els 360° entre el nombre de convertidors. En un convertidor *boost* format per tres de més petits, els senyals de controls dels MOSFET es desfasaran 120° (360° entre 3). Es pot demostrar matemàticament, a través d'una descomposició en sèries de Fourier, que si s'utilitza un valor complementari per al cicle de treball es produeix l'efecte d'una cancel·lació harmònica en la tensió de sortida, minimitzant sobre manera el seu arriament. En el cas del *boost* de tres fases, els valors del cicle de treball per a obtenir la cancel·lació harmònica perfecta poden ser $1/3$ i $2/3$.

4.3 Anàlisis de l'OBC a ser assajat en el banc dissenyat

Aquesta secció serà confidencials per a l'empresa del sector automoció.



Il·lustració 4. Diagrama de blocs de l'arquitectura del OBC de l'empresa del sector de l'automoció per a la primera etapa de conversió.



Il·lustració 5. Diagrama de blocs de l'arquitectura del OBC de l'empresa del sector de l'automoció per a la segona etapa de conversió.

5 Assajos a realitzar, la ISO 16750

L'objectiu principal del projecte és entregar el banc o bancs d'assaig per realitzar la validació climàtica d'un OBC. En aquesta secció s'explicarà en què consisteix aquesta validació i la normativa que hi ha al darrere. Finalment, s'acabaran extraient els requeriments per al disseny del banc d'assajos i el desenvolupament de les eines *software* per executar els assajos.

La validació climàtica és un conjunt d'assajos de llarga duració aplicant condicions climàtiques canviants i hostils per al funcionament de l'electrònica. L'objectiu principal és verificar el correcte funcionament del mòdul electrònic en condicions climàtiques extremes i el seu cicle de vida per garantir una determinada quantitat de quilòmetres del vehicle.

El cicle de vida és un punt molt estudiat pels diferents fabricants de vehicles (OEM). Als assajos es pretén produir un desgast prematur al mòdul electrònic per verificar que continua sent operatiu i mesurar el desgast elèctric que ha tingut durant el temps. En aquest punt tradicionalment s'han observat diferents tipus d'assaig i duracions segons el país de procedència del OEM, però en els darrers anys sembla que l'assaig dels OEM alemanys guanya protagonisme internacional. L'assaig alemany sotmet el mòdul a una alta temperatura ambient i funcionant a plena càrrega durant mesos. Existeixen diversos estudis que relacionen la temperatura i duració de l'assaig amb els quilòmetres o anys de vida del mòdul en el vehicle.

El conjunt d'assajos a realitzar i la seva motivació queden recollits en varies normatives internacionals genèriques i altres promogudes per grans empreses i els diferents OEMs. Aquí veurem l'ISO 16750 que és la base sobre la qual moltes altres parteixen.

5.1 Anàlisi de la normativa

L'ISO 16750 descriu les condicions ambientals i d'assaig de productes elèctrics i electrònics instal·lats en vehicles de producció que han de circular per les vies públiques. L'abast de la norma va des de components electrònics fins a sistemes complets del vehicle, però deixa fora l'assaig del vehicle complet.

La pràctica habitual en la indústria és assajar des del nivell de component fins al nivell sistema segons la severitat mínima objectiu. Per exemple, en un sistema electrònic format per una sola ECU, els components electrònics han estat prèviament certificats sota l'ISO 16750.

Aquest pas no és obligatori, però sí molt recomanable per minimitzar el risc a l'hora de superar el nivell de severitat objectiu requerit per l'OEM en una ECU.

La missió de la ISO es servir de base i assistir en un conjunt de condicions climàtiques, assajos i modes d'operació estàndards i acceptats internacionalment. Per al seu desenvolupament s'han tingut en compte una sèrie de factors que, segons el nivell de severitat desitjat en cadascun, requeriran modificar els rangs a aplicar en un assaig o directament quins assajos s'han d'executar.

Els factors considerats en la generació de la norma serien: els diferents climes del planeta i com el vehicle s'adapta a cadascun d'ells, el tipus de vehicle, ja que pot anar des d'una motocicleta a un camió pesat, les condicions d'ús i el cicle de vida desitjat, perquè la ponderació del tipus d'ús té una afectació en hores de test en cadascun dels modes d'operació i en la durabilitat del component. L'últim factor seria la posició que ocupa el mòdul o sistema electrònic en el vehicle, ja que les condicions ambientals de temperatura i d'exposició al clima són diferents. En l'ISO s'especifiquen la severitat recomanada per a cadascun dels assajos segons la ubicació del mòdul o sistema en el vehicle.

Com l'abast de la norma és gran està dividida en diverses seccions, a continuació es resumiran breument:

- ISO 16750-1 Condicions generals:
 - En aquesta secció es troben les definicions generals per als punts que es comentaven en el paràgraf anterior, es classifiquen les diferents posicions en el vehicle, es defineixen els diferents modes d'operació i es realitza una classificació de l'estat funcional del DUT durant i al final dels assajos. Aquesta classificació funcional s'utilitzarà per determinar la codificació del nivell de severitat superat en cadascuna de les seccions de l'ISO.
- ISO 16750-2 Càrregues elèctriques:
 - En la segona part especifica les característiques elèctriques de la línia d'alimentació del DUT, es busca la robustesa enfront de les perturbacions més típiques que es poden donar en l'entorn del vehicle. Els assajos a realitzar serien sobre tensions, curtcircuits, canvis en el tensió d'alimentació (tant lents com ràpids), pèrdues de massa o discontinuïtats en la tensió d'alimentació entre altres. En aquest cas el nivell de severitat especifica la tensió mínima necessària en la línia d'alimentació perquè el mòdul sigui operatiu.
 - El banc que es dissenyarà en aquest projecte no aplicarà per a l'execució d'aquests assajos, en l'empresa del sector de l'automoció estan sota una altra secció i utilitzen uns altres bancs d'assaig.
- ISO 16750-3 Càrregues mecàniques:
 - La tercera secció especifica les càrregues mecàniques a les quals s'ha de sotmetre el DUT. La norma defineix 5 tipus de càrregues i els assajos a realitzar per a cadascuna d'elles. El codi de severitat defineix els assajos a dur a terme i els perfils de test utilitzat, ja que hi ha assajos on la norma defineix dos perfils de severitat. A continuació es resumiran breument els diferents tipus de càrregues mecàniques:
 - Vibració: Es sotmet al mòdul a uns nivells de vibració equivalents als d'un vehicle en moviment, els perfils poden anar acompanyats de diferents condicions de temperatura. En aquest grup d'assajos

- també és contemplem les vibracions produïdes pels motors de combustió interna.
- Xocs mecànics: Es sotmet al mòdul a una seqüència de desceleracions sobtades. Per exemple, el "cop" que provoca el tancament de les portes. Segons la ubicació del mode en el vehicle varia els testos a realitzar.
 - Caiguda lliure: es deixa caure el DUT sobre una superfície controlada a una altura definida, posteriorment es verifica si s'ha trencat o no funciona correctament.
 - Resistència a ser ratllat: Aquest assaig és un acord entre el fabricant i el comprador sobre quines superfícies del DUT i amb quins elements es ratlla el DUT. Dins d'aquesta secció és contempla la verificació del DUT a la abrasió contra una superfície acordada.
 - Bombardeig de grava: Es verifica la resistència davant la propulsió de grava o petites pedres al DUT. L'assaig només aplica si el DUT està muntat en una àrea exposada a la grava de la carretera, com seria el frontal del vehicle.
- ISO 16750-4 Càrregues climàtiques:
 - La quarta secció defineix les càrregues de temperatura i humitat a les quals s'ha de sotmetre el DUT. Per a aquesta secció el codi de severitat fa referència a les temperatures mínima i màxima a què el DUT ha de ser capaç d'operar. La norma defineix una bateria d'assajos per verificar la correcta operació del DUT en les diferents condicions ambientals. Es defineix també els modes d'operació en què el DUT ha d'estar en cada assaig fent referència a la primera part de l'ISO. El resum dels assajos a realitzar seria:
 - Testos a temperatura constant (màxima i mínima).
 - Test de passos de temperatura. Verifica la correcta operació del DUT en tot el rang de temperatura (entre la mínima i la màxima temperatura d'operació).
 - Testos de temperatura ciclada (canvis de temperatura lents i ràpids).
 - Xocs tèrmics amb aigua gelada. Per simular la conducció per carreteres molles a l'hivern se li esquitxa aigua freda al DUT a temperatura màxima.
 - Test de boira salina (resistència a la corrosió esdevinguda per la sal marina).
 - Test d'humitat i temperatura canviants.
 - Test de calor humida constant (alta temperatura i alta humitat constants).
 - Test de corrosió per barreja de gasos.
 - Test de radiació solar.
 - Test de pols. Ser robust a la penetració de pols en el mòdul.
 - Aquest test pot ser substituït pels definits en l'ISO 20653 que es veurà més endavant en aquesta secció de la memòria, aquesta ISO està dedicada a aquest propòsit.
 - ISO 16750-5 Càrregues químiques:

- La quinta part té com a objectiu determinar si el DUT es veu afectat per a l'exposició a d'agents contaminants. El tipus d'agents als quals s'exposarà el DUT varia segons la ubicació del mateix en el vehicle. El tems d'explosió i el mètode van en funció de l'agent. Per exemple, únicament s'exposarà un DUT a líquid de frens si aquest va en el compartiment motor. L'exposició serà durant 22 hores a màxima temperatura i s'utilitzaran 3 mètodes d'exposició diferents.
- El nivell de severitat en aquest cas el defineix la ubicació, per tant, els tipus d'agents als quals s'exposarà. És reserva un codi especial Z per a determinar individualment a quins agents s'exposa i amb quins mètodes.

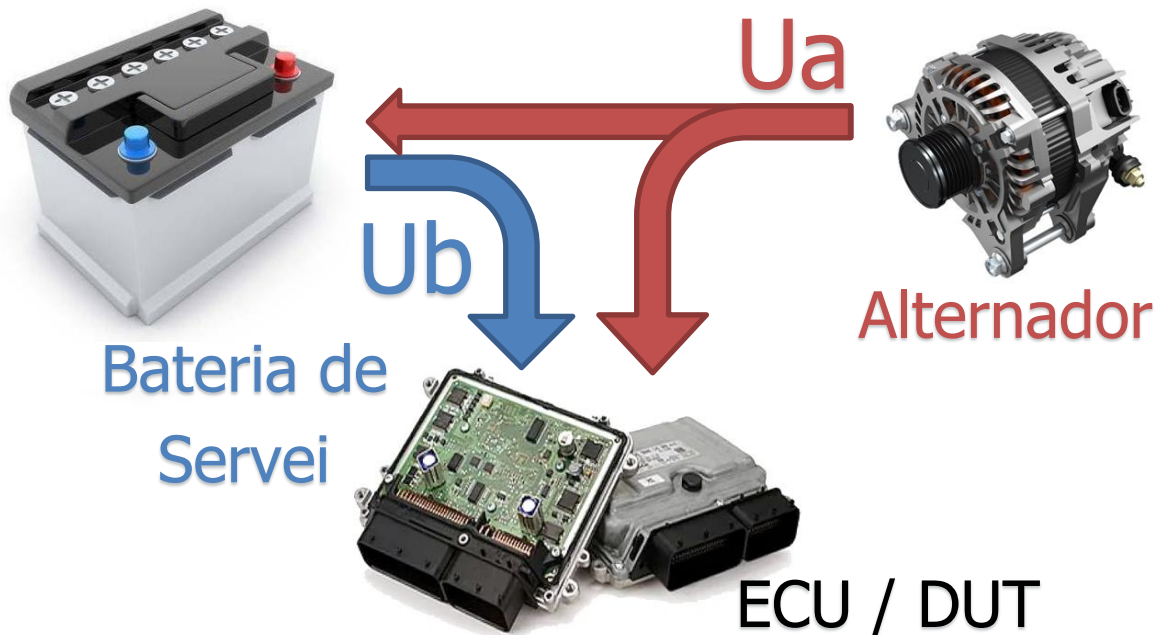
La utilització del bac d'assajos que es dissenyarà en aquest projecte executa els assajos de les parts 3 i 4 de l'ISO.

M'agradaria donar especial atenció en els modes d'operació definits en el punt 5 de la secció 1 de la norma. És importat de cara al compliment dels objectius d'aquest TFM, ja que el banc que es dissenyarà ha de ser capaç de simular el vehicle perquè l'OBC operi en els modes especificats.

L'ISO defineix 3 modes amb 2 variants en cadascun d'ells. A continuació es presentarà una traducció de la definició dels modes descrits en el text de l'ISO juntament amb la interpretació per al cas d'un OBC:

- Mode 1: Al DUT no se li aplicarà voltatge.
 - Mode 1.1: sense connectar el cablejat del vehicle.
 - Mode 1.2: connectant el cablejat simulant la instal·lació del vehicle.

Per als modes 1.1 i 1.2 l'OBC està sense cap classe de tensió, és a dir, els 12 V de la bateria de servei estan apagats, la bateria d'alt voltatge estarà desconnectada i l'entrada d'AC també desconnectada de qualsevol classe de xarxa elèctrica. Aquests modes s'utilitzen en assajos sense la interacció amb altres modes i pretenen simular les condicions de transport i emmagatzematge de l'OBC. La diferència entre els modes és que en el 1.2 el OBC ha de tenir connectat els cablejats que el connecten amb la resta del vehicle.



Il·lustració 6. Esquema de voltatges alimentació U_b i U_a .

- Mode 2: El DUT operarà elèctricament a la tensió U_b simulant un vehicle amb el motor apagat. Totes les connexions elèctriques al DUT estaran connectades.
 - Mode 2.1: El DUT no està activat, els sistemes/components estaran no actius. En el document es cita com a exemple el mode adormit o *sleep mode* en anglès. Aquest és un mode molt típic en les ECUs ja que el microcontrolador està apagat minimitzant el consum de corrent, per tant, l'ECU està alimentada i a l'espera de passar a mode actiu.
 - Per al mode 2.1 en l'OBC s'utilitzarà el *mode sleep*.
 - Mode 2.2: El DUT estarà activat, els sistemes/components operant elèctricament en el mode típic.
 - Per al mode 2.2 l'OBC estarà processant potència per carregar la bateria d'alta tensió. La tensió d'alimentació U_b serà la definida com a tensió nominal de la bateria de servei, entorn els 12,5 V.
- Mode 3: El DUT operarà elèctricament a la tensió U_a amb connexions elèctriques al DUT connectades.
 - Mode 3.1: sistemes i components no actius.
 - Per al mode 3.1 l'OBC estarà inactiu però amb la tensió de la bateria d'alta tensió connectada i els busos de comunicació amb el vehicle en marxa. La tensió d'alimentació serà proporcionada quan el mòdul encarregat de carregar la bateria de servei estarà actiu, entorn els 13,5 / 14 V.
 - Mode 3.2: El DUT estarà activat, els sistemes/components operant elèctricament en el mode típic.
 - Per al mode 3.2 l'OBC operarà exactament igual que en el 2.2 modificant la tensió d'alimentació entorn els 13,5 / 14 V. Aquest nivell correspon al nivell en què el mòdul del vehicle encarregat de carregar la bateria de servei estarà actiu.

Per acabar amb la revisió de la normativa que envolta els assajos a executar amb el banc d'assajos dissenyat en aquest projecte, es revisarà breument el codi de protecció IP. La protecció IP, sigles en anglès de *Ingress Protection*, és una certificació internacional sota la norma ISO 60529 que cataloga el nivell de protecció enfront de la penetració de materials líquids o sòlids dins del dispositiu assajat. És molt habitual la seva utilització en la catalogació de l'embolcall d'equips elèctrics i electrònics o en maquinària industrial. La protecció s'especifica amb la nomenclatura IP seguida de 2 dígits, IP-[[[]]]. El primer especifica la protecció contra objectes sòlids i el segon contra aigua o altres líquids. Com a norma general com més alt és el número més protecció, sent el nivell màxim IP69K.

En la secció 8 de l'ISO 16750-1 s'especifica un sisè nivell de severitat. Com hem vist, els 5 primers fan referència al nivell de severitat de cada una de les seccions de la mateixa 16750, el sisè fa referència al nivell de protecció IP del producte segons l'ISO 20653. Aquesta és una ampliació de la 60529. Està específicament desenvolupada per a vehicles rodats com la 16750. Resumint, és la norma que regeix el nivell de protecció enfront de penetració d'objectes i aigua en productes elèctrics i electrònics en la indústria de l'automoció.

El departament d'assajos climàtics de l'empresa del sector de l'automoció (el sol·licitat del banc d'assajos desenvolupat en aquest projecte) està capacitat per realitzar assajos de la 20653, és més, l'OBC que es testejarà ha de superar el nivell IP53K, el qual implica una protecció de partícules total contra la pols i resistent a ser ruixat amb aigua. Des del punt de vista del disseny del banc no suposa cap requisit addicional i els modes d'operació seran els ja requerits pels assajos de la 16750.

5.2 Pla de validació

En la indústria de l'automoció cadascun dels fabricants de vehicles desenvolupa la seva pròpia normativa en el camp de les condicions ambientals i d'assaig dels productes elèctrics i electrònics. Aquestes normes en la gran majoria dels casos parteixen de l'ISO 16750 i busquen incrementar la severitat dels assajos per tenir un producte més robust. Es modifiquen els assajos basant-se en l'experiència del OEM i els assajos que considerin crítics per al seu producte per l'ús del vehicle en el qual es muntarà el mòdul electrònic. Un segon propòsit de les normes pròpies dels OEM és adaptar la norma genèrica ISO a un tipus de producte detallat millor els diferents modes d'operació.

En aquest treball de final de màster s'ha optat per elaborar una anàlisi l'ISO 16750 en comptes de la norma del client OEM en el qual es realitzaran els assajos del OBC. Els motius serien dos. Primer, com s'ha dit, és la norma mare, per tant, és necessari comprendre-la primer abans d'entrar en les normes més específiques. Dos, tot i que la norma del client és una norma amb el mateix tipus d'accés que l'ISO, és a dir que s'han d'adquirir els drets i no es pot replicar, s'ha preferit mantenir anònim el client per al qual l'empresa del sector de l'automoció proveeix el OBC.

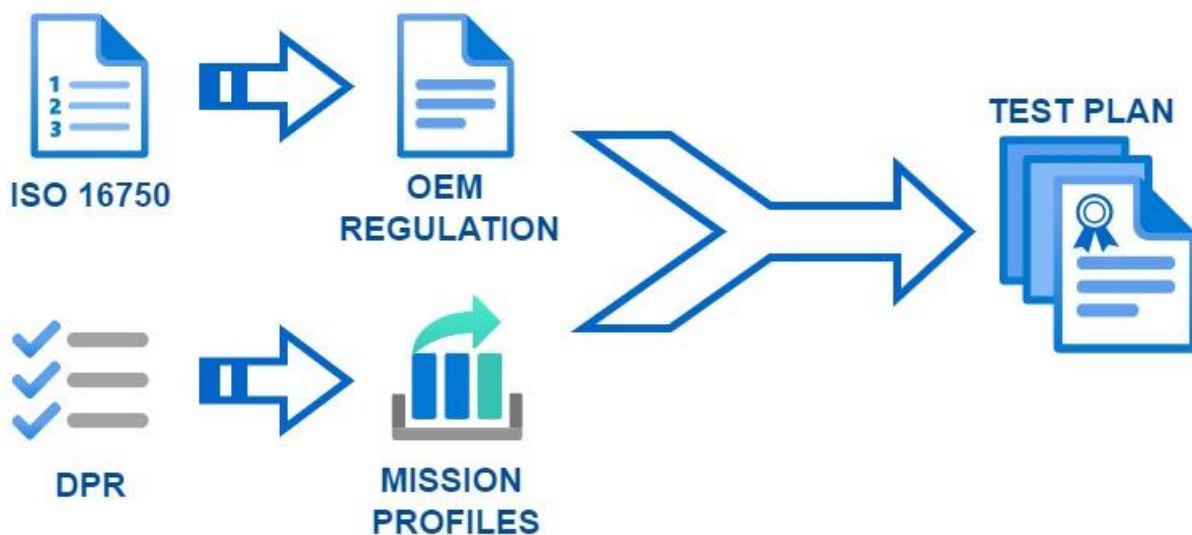
Tot i desenvolupar normes més enllà de l'ISO, la complexitat actual dels mòduls electrònics utilitzats en la indústria de l'automoció és tan enorme que no són suficients per a definir el detall dels assajos. Per aquest motiu és gènere un document anomenat pla d'assajos ambientals. El document és un acord entre el proveïdor/fabricant del producte, en aquest cas l'empresa del sector de l'automoció, i el client/OEM, que es mantindrà confidencial. Aquest acord és un document signat per les 2 parts on s'especifica el detall de què i com s'assajarà. L'estructura habitual del document seria:

1. Descripció del producte i les característiques elèctriques.
2. Definició detallada dels modes d'operació.

3. Descripció dels assajos a realitzar, la seqüència dels mateixos i el número de DUTs sobre els quals s'ha de realitzar els assajos.
4. Descripció detallada del procediment de cada assaig i definició dels modes d'operació que s'aplicarà en cadascun dels assajos.

Els capítols amb més rellevància per al disseny del banc d'assajos i el desenvolupament dels casos de test automatitzats són el 2 i 4. En el primer es detallen els modes de funcionament del producte i en el segon com es combinen en els diferents assajos. Aquesta informació s'utilitzarà com els requeriments que ha de complir la solució de test proporcionada, és a dir, són els requisits tècnics de l'objectiu principal del projecte.

En la Il·lustració 7 es representa un diagrama de flux de l'obtenció del pla de validació. Es parteix de l'ISO 16750, seguidament es passa a la norma de client detallant i ampliant els assajos a realitzar. Per l'altre banda hi ha la documentació referent als requisits del disseny del component electrònic, *Design Product Requirements* (DPR). En aquest document l'OEM especifica els requisits tècnics del producte a dissenyar i fabricar. És importat la seva compleció per la realització del pla de validació, ja que d'ell se n'extreuen els punts 1, 2 i part del 4. En la DPR s'especifiquen els perfils d'utilització (*mission profiles* en anglès) amb els quals es determina la duració i severitat dels assajos.



Il·lustració 7. Flux del pla de validació.

5.3 Requisits del banc d'assaig

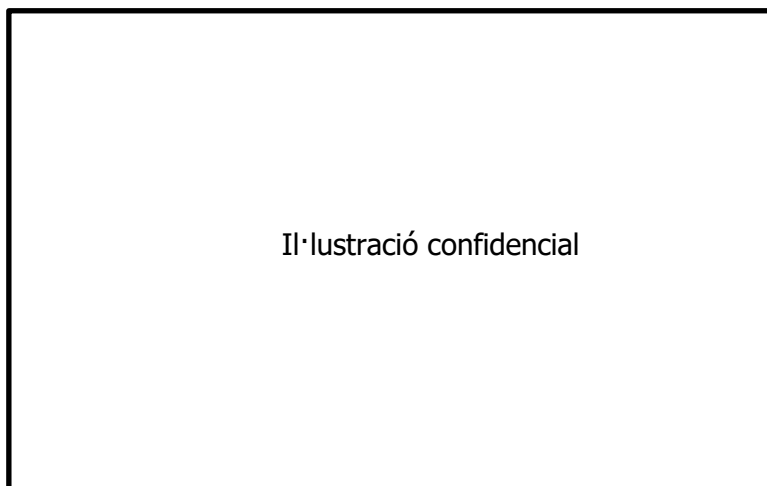
En aquesta secció s'analitzarà el pla de validació de l'OBC i se n'extrauran els requisits tècnics pel posterior disseny del banc d'assajos. En l'Annex 1: Punts rellevants del pla de validació s'adjunten els capítols més rellevants del pla de validació de l'OBC dels quals se n'extrauran fragments per ser analitzats en aquesta secció. Del pla de validació se'n generaran 2 grups de requisits, el primer coorespond als ReqHW i estaran relacionat amb el disseny i els equips del banc d'assajos. El segon coorespond als ReqSWT relacionat amb l'eina software que es desenvoluparà per al banc d'assajos. Continuant amb el propòsit de la traçabilitat en Annex 2: Llistat de requisits per als bancs es llistaran tots els requeriments exposats en aquesta secció. A continuació es procedirà a l'anàlisi.

A la secció 4 del document estan descrits els modes d'operació de l'OBC durant els assajos. En la Il·lustració 8 es mostra el text original. El mode A, que seria l'equivalent del

punt 1.1 en l'ISO, no serà tingut en consideració per als requisits. És un mode que no requereix un banc d'assajos per a la seva aplicació i tampoc és possible la seva automatització, per tant, serà obviat. De la resta de modes definits se n'extreuen els següents requisits:

- Els requisits seran confidencials.

No s'exposa un requisit on s'especifiqui que el banc ha de tenir la possibilitat de canviar entre xarxa monofàsica i trifàsica de manera automatitzada, ja que els modes E1 i E2 mai s'han d'executar en seqüència sobre un mateix OBC. Per tant, la selecció del tipus de xarxa elèctrica d'entrada serà una opció de muntatge de l'OBC en el banc.



Il·lustració 8. Secció 4 del pla del validació - Modes d'operació.

En la secció 8.2 es representa un diagrama de flux dels assajos a realitzar segons l'especificació de test del client, en la Il·lustració 9 es facilita un exemple de seqüència d'assaig. En l'Annex 1: Punts rellevants del pla de validació estan totes les seqüències d'assajos completes. Segons el diagrama es confirma la definició del ReqHW8, no sent necessari un control automatitzat per al tipus de xarxa. Els modes E1 i E2 mai aplicaran sobre el mateix OBC, durant una seqüència el mode E1 o E2 és constant, per tant, serà una estratègia del muntatge de l'assaig no un automatisme del banc. D'aquest punt del document s'extrauran els següents requisits sobre el factor de forma del banc i el número de DUTs que ha de controlar simultàniament:ReqHW10: El banc ha de permetre assajar 3 OBCs de manera simultània i sincronitzada.

Com que les seqüències d'assajos requereixen assajar 3 OBCs, per optimitzar els recursos de l'empresa i minimitzar la duració de la validació els 3 OBCs han de ser assajats en paral·lel.

- Els requisits seran confidencials.



Il·lustració 9. Secció 8.2 del pla de validació - Exemple de seqüència de test.

En la secció 10 s'especifiquen les dades a adquirir durant els assajos, per tant, els requisits per a l'adquisició de dades i equips de mesura en el banc. En la Il·lustració 10 és mostra el text original. Les dades de temperatura i humitat de la cambra climàtica (l'equip utilitzat per simular les condicions climàtiques de l'assaig) seran adquirides directament per al sistema d'adquisició de dades que integra la mateixa cambra. Per les altres dades es tindran els següents requisits:

- Els requisits seran confidencials.

La potència de l'entrada AC serà processada a posteriori utilitzant les dades dels valors eficaços (rms) de voltatge i corrent.



Il·lustració 10. Secció 10 del pla de validació - Adquisició de dades.

En la secció 11 s'introdueix la definició de dos nous assajos, aquest s'anomenen comprovació de les prestacions/funcionals. L'objectiu d'aquests 2 assajos es verificar en detall el funcionament de l'OBC abans i després de cadascun de la resta d'assajos.



Il·lustració 11. Secció 11 del pla de validació - Test Funcional.

En la Il·lustració 11 hi ha el text original amb la definició dels 2 assajos funcionals de l'OBC, els quals s'anomenaran com FT1 i FT2. Aquests assajos apareixen en la seqüència vista en el punt 8.2 del pla de validació i en el punt 11, es defineixen el procediment i les variables a mesurar.

El FT1 és un test funcional curt per verificar que l'OBC processa potència correctament en les condicions nominals de l'entrada AC i la sortida DC. És un test que es realitza entre els assajos d'una mateixa seqüència per tenir evidències que l'OBC és vàlid per continuar amb els assajos. Aquest test està especialment ideat per comprovar el funcionament del mòdul entre assajos que no utilitzin els modes E1 o E2 vistos anteriorment.

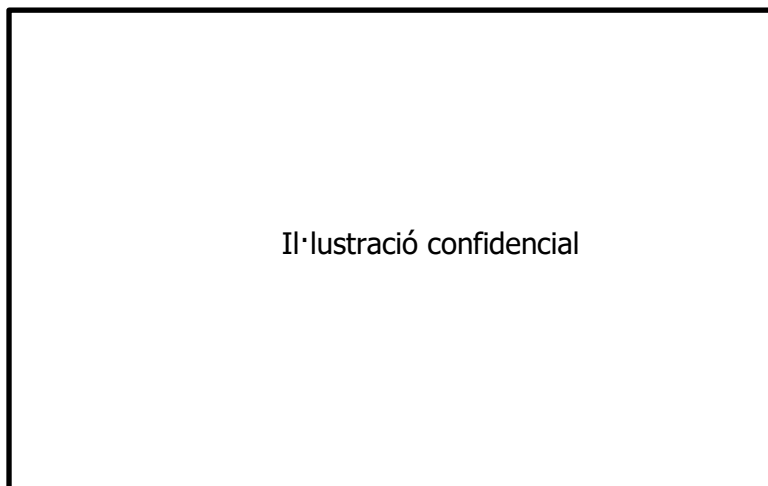
Pel que fa al FT2 és el test funcional complet on es verifiquen tots els paràmetres interns de l'OBC i el processat de potència en varis punts amb la mesura de l'eficiència de conversió. La completa verificació del mòdul es realitza a 3 temperatures, una temperatura ambient estàndard, a temperatura màxima i a temperatura mínima de funcionament. En l'Annex 1: Punts rellevants del pla de validació, hi ha la definició completa de tots els casos de test a dur a terme en un FT2; com a resum s'han d'executar 41 casos de test, en alguns dels quals hi ha diversos punts de test.

Abans de l'exercici d'un FT2 s'ha de realitzar un test de HiPot (*High Potential*) i un de IR (*Insulation Resistance*). El propòsit dels assajos es verificar la seguretat elèctrica d'un mòdul on intervenen diferents sistemes com en l'OBC que tenim: l'entrada AC, la sortida DC d'alt voltatge i el sistema de baixa tensió. El primer verifica la resistència dielèctrica aplicant un alt potèncial i el segon mesura la resistència d'aïllament. Per dur a terme aquests assajos es requereixen uns equips especials, l'empresa del sector de l'automoció ja disposa d'un banc dedicat únicament a aquest fi, per tant, no seran objectiu del projecte.

A continuació es definiran els requeriments per a l'execució dels FT1 i FT2:

- Els requisits seran confidencials.

S'han ajuntat els requisits *hardware* referents a la possibilitat d'executar el FT2 sota els ReqHW23 per facilitar la gestió durant la fase de disseny del banc d'assajos.



Il·lustració 12. Secció 12.5 del pla de validació - Test cicle tèrmic.

La secció 12 del pla de validació descriu cadascun dels assajos a executar durant la validació. Es defineix el propòsit de l'assaig, la norma tècnica d'on s'extreu, el detall dels modes utilitzat en l'assaig, els passos a seguir per executar l'assaig i el criteri d'avaluació d'aquest.

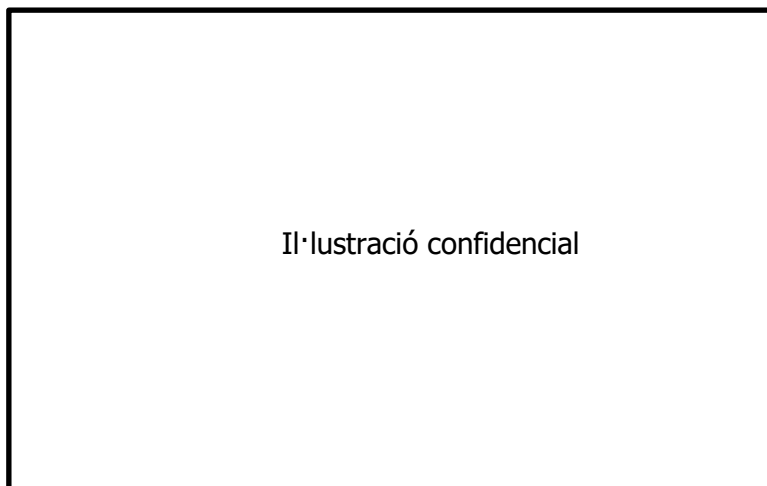
Un exemple seria el punt 12.5 del pla de validació, el test cicle tèrmic, en la Il·lustració 12 hi ha una captura del text original. El test consisteix de 30 cicles de temperatura t_1 a t_2 (mínima i màxima d'operació) on l'OBC opera en períodes de 15 minuts amb el mode E1/E2 durant la pujada i estabilització a t_2 , la resta de l'assaig romandrà en el mode C. Del procediment de cadascun dels assajos sortiran els següents requisits:

- Els requisits seran confidencials.

Finalment, l'última secció a ressaltar és la 12.18, l'assaig de durabilitat a alta temperatura o test de vida del producte. El propòsit d'aquest assaig es verificar el cicle de vida de l'OBC i garantir el seu correcte funcionament duran la vida útil que se li especifiqui al mòdul. Com no és viable realitzar un assaig d'uns quants anys de duració s'apliquen 2 accelerants, el primer un augment de la temperatura i el segon estressar el mòdul amb un mode d'operació continu. Els accelerants generen un envelliment prematur dels components electrònics permetent una reducció considerable de les hores d'assaig. Per l'OBC en aquest test s'ha definit un mode d'operació específic descrit en les taules 11 i 12 del pla de validació. El mode bàsicament és el E1 o E2 modificant la tensió de sortida simulant una corba de càrrega de la bateria d'alta tensió del vehicle. En la Il·lustració 13 és mostra una captura del document amb una de les 2 taules amb el perfil de càrrega. D'aquest assaig és treuen els següents requisits:

- Els requisits seran confidencials.

L'últim requisit, el ReqSWT9 surt de l'assaig d'alta temperatura (secció 12.4 del pla de validació) en el qual es modifiquen els modes E1 i E2 definit tres nivells de potència de sortida sol·licitada per a cadascun dels modes originals.



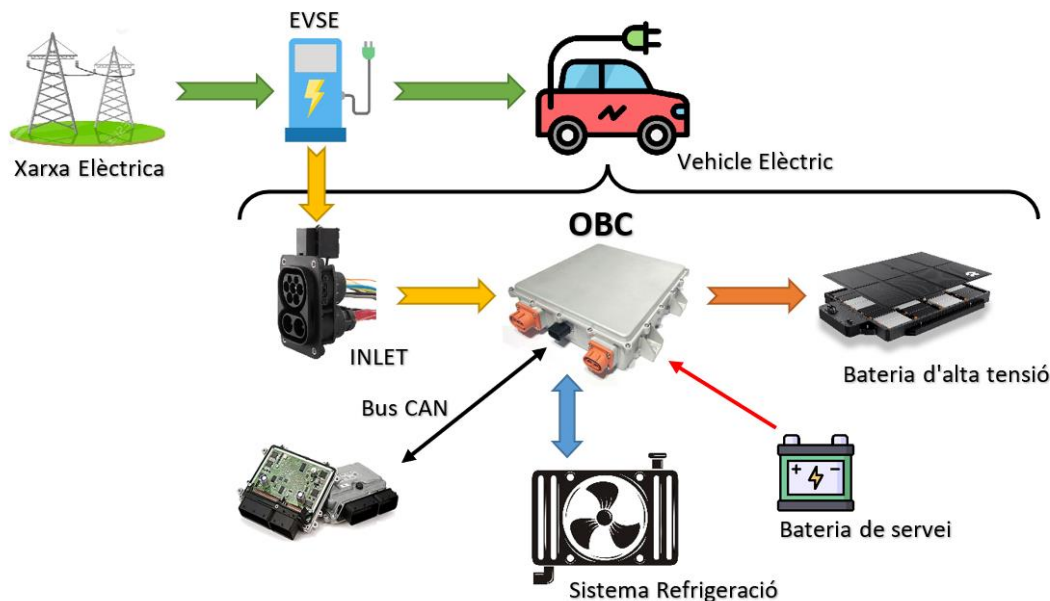
Il·lustració 13. Secció 12.18 del pla de validació - Test de durabilitat a alta temperatura.

6 Disseny del banc d'assajos

En aquest capítol es passa del plec de requeriments provinents del pla de validació al disseny del banc d'assajos. Es començarà per un disseny alt nivell i s'anirà profunditzant en els diferents equips fins a definir els esquemes elèctrics del banc d'assajos.

6.1 Introducció al disseny del banc per a l'OBC

El primer pas en el disseny del banc és analitzar a alt nivell la funció de l'OBC en el vehicle i determinar els elements amb els quals interactua. En la Il·lustració 14 tenim el diagrama d'alt nivell d'un OBC en el vehicle, en ella estan identificats tots els elements amb els quals interactua. Per una banda tenim la xarxa elèctrica, el port d'entrada de potència. Segons la normativa actual, per a Europa l'IEC 61851, no està permès connectar directament el vehicle a la xarxa elèctrica com si és tractes d'un electrodomèstic més. La normativa obliga a integrar un element de protecció que a la vegada té una comunicació amb el vehicle i permet gestionar la càrrega de la bateria del vehicle. Aquest element és l'EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*) i sense ell no és possible iniciar la càrrega de la bateria. A la sortida de l'OBC tenim la bateria d'alta tensió del vehicle. En un vehicle real l'OBC no estaria directament connectat a la bateria, sinó que passaria per una unitat de desconnexió, la qual principalment és montà per raons de seguretat elèctrica. En l'esquema de la Il·lustració 14 s'ha obviat, ja que és transparent per al funcionament de l'OBC. Addicionalment, l'OBC que s'assajarà incorpora un circuit de refrigeració líquida per a l'electrònica de potència, aquest OBC en el vehicle està connectat al circuit de refrigeració del vehicle i requereix un flux constant de líquid mentre està processant potència. Si no és així entra en un mode de protecció i s'apaga. Per acabar, els 2 últims elements serien la connexió a la bateria de 12 V o de servei per alimentar l'electrònica de control de l'OBC i la connexió per permetre la comunicació amb la resta del vehicle a través d'un bus CAN.



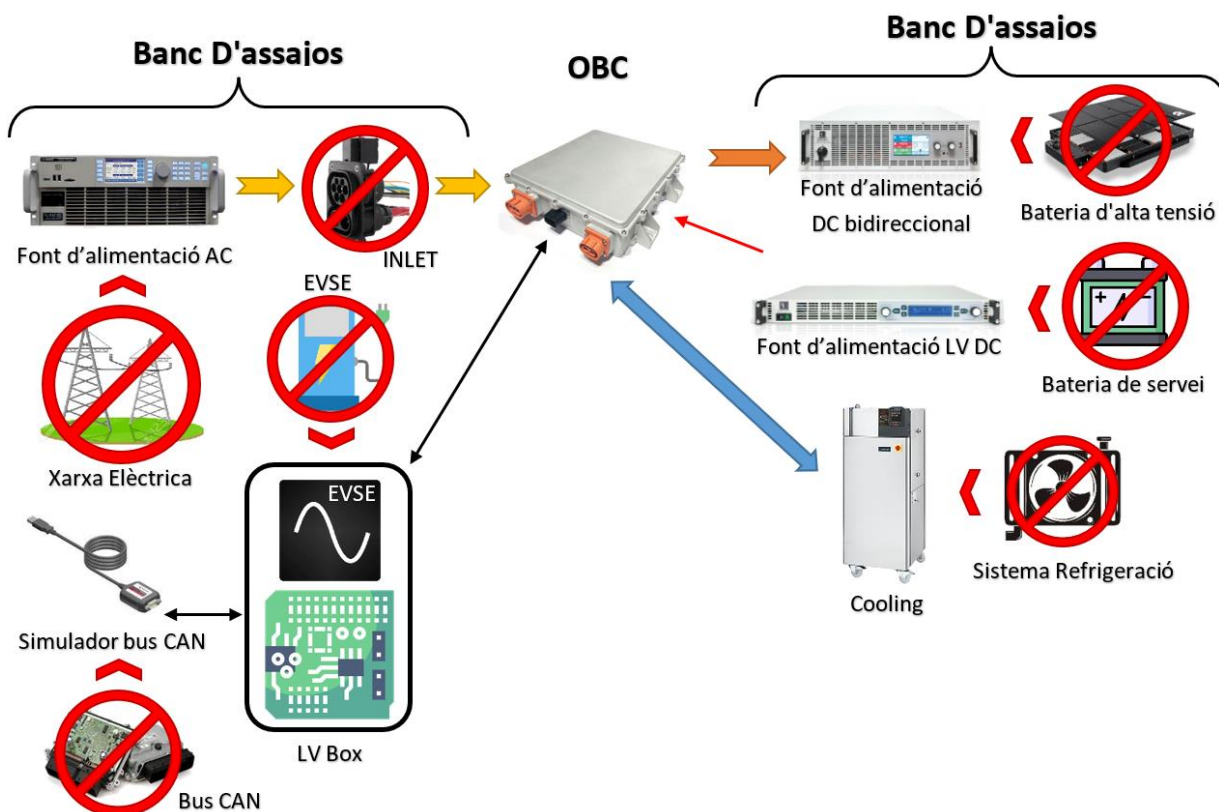
Il·lustració 14. Diagrama d'alt nivell d'un OBC en un vehicle.

El següent pas és extreure l'OBC del vehicle de la Il·lustració 14 i determina els equips necessaris per simular cadascun dels elements descrits en el paràgraf anterior. Aquesta conversió es realitza en la Il·lustració 15, el diagrama de blocs d'alt nivell del banc d'assajos per a un OBC genèric. Els canvis realitzats serien:

- La xarxa elèctrica es substitueix per una font d'alimentació AC programable. La motivació per utilitzar una font quan es podria connectar a la xarxa elèctrica serien:
 - Aporta grans avantatges durant el desenvolupament del producte, davant qualsevol problema en l'OBC fer servir la xarxa pot generar problemes en altres equips i possibles desperfectes en la instal·lació.
 - Permet assajar amb les diferents tipologies de xarxa elèctrica del planeta.
 - Permet generar formes d'ona no ideals, inserir forats en la tensió i altres tipus d'imperficcions.
 - A part es poden generar les formes d'ona definides en les regulacions domèstiques per a equips que és connectin a les xarxes públiques. Es pot realitzar una pre-certificació per a passar la normativa de seguretat elèctrica CE.
- S'ha eliminat la INLET com a element del vehicle al qual es connecta l'EVSE i s'ha substituït per l'element anomenat caixa de baix voltatge (LV BOX). La LV BOX és un element que permet generar tots els senyals de baixa tensió de l'OBC.
- L'EVSE en el banc complirà 2 funcions, la primera serà assignar els requisits relacionats amb els senyals per a la gestió de la càrrega i la segona integrar els elements de protecció elèctrica normatius entre la xarxa AC i l'OBC.
- El bus CAN utilitzarà la LV Box que actuarà com a element passiu de pas. Un dels propòsits de la LV Box és centralitzar tots els senyals de baixa tensió de l'OBC per simplificar el cablejat de baixa tensió. A la LV BOX es connectarà un simulador

del bus CAN, el qual serà l'encarregat de transmetre els missatges CAN per a simular l'entorn del vehicle en l'OBC. El simulador també té la funcionalitat de llegir i interpretar els missatges que envia l'OBC.

- La bateria de baixa tensió s'ha substituït per una font d'alimentació DC de baixa tensió. Per evitar l'ús de qualsevol classe de bateria per alimentar l'electrònica de l'OBC s'ha optat per a utilitzar una font programable de laboratori. Aquest equip compleix 2 finalitats: aportar una estabilitat en la tensió d'alimentació i regular el nivell de tensió al desitjat segons els requisits que tenim.
- La bateria d'alta tensió s'ha substituït per un equip electrònic. Un paquet de bateries d'un vehicle elèctric és voluminós, requereix una gestió constant per part de la BMS i el voltatge és dependent del SoC. Aquestes característiques són uns grans inconvenients i descarten el seu ús en el banc d'assajos i s'ha buscat un equip electrònic que la pugui simular. Per a emular el comportament és necessari un equip que subministri un nivell de tensió fixat i que sigui capaç de treballar en 2 quadrants de les coordenades voltatge/intensitat. El voltatge serà positiu, però el corrent variarà el seu signe segons si la bateria s'està carregant o descarregant. En el cas d'un OBC es podria pensar que únicament amb el sentit de negatiu del corrent (carrega la bateria) seria suficient, per tant, amb un equip del tipus carrega electrònica seria suficient. Aquest últim raonament és totalment erroni, l'OBC ha de "veure" una bateria perquè entri en funcionament, en conseqüència són necessari els 2 quadrants. Aquest equips es coneixen en el sector com fonts d'alimentació bidireccionals i s'equipara el banc d'assajos amb un d'ells.
- El sistema de refrigeració líquida del vehicle ha de ser simulat en el banc d'assajos. El mínim sistema seria incorporar un dipòsit de líquid i una bomba que generi la pressió i cabal requerits per refrigerar l'OBC. En el mercat hi ha solucions tècniques millors i que ofereixen més possibilitats, són els equips de termoregulació dinàmica. Aquests equips ofereixen, entre altres característiques, la capacitat de regular la temperatura del líquid que es bombeja per l'OBC; aquesta característica és clau per complir un dels requisits que tenim, per tant, en el disseny realitzat s'ha optat per adquirir aquest tipus d'equip.



Il·lustració 15. Diagrama d'alt nivell d'un banc assajos per a un OBC genèric.

Un cop identificat quins són els elements principals del banc, es realitzarà una assignació a cada un dels elements els requisits *hardware* que li apliquen:

- Font d'alimentació AC: ReqHW3, ReqHW8 i ReqHW23.5
- Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW1, ReqHW2, ReqHW23.2 i ReqHW24.
- Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
- Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
- LV BOX: ReqHW6 i ReqHW23.4.
- EVSE: ReqHW23.3.
- Simulador de bus CAN: ReqHW7.
- Requeriments no assignats: ReqHW1, ReqHW4, ReqHW10, ReqHW11, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW18, ReqHW19, ReqHW22, ReqHW23.1, ReqHW23.6 i ReqHW23.7.

Utilitzant aquesta primera assignació dels requisits s'arriba a 2 condicions, la primera és que es necessiten afegir més elements o equips en el disseny per assignar el gran grup que no han pogut ser assignats inicialment. La segona seria la necessitat de dissenyar 2 bancs d'assaig diferents, un per a realitzar únicament el FT2 i l'altre per a la resta d'assajos del pla de validació. Aquests dos bancs passaran a ser nomenats com banc paramètric el primer, que executarà el FT2, i banc de durabilitat el segon.

El propòsit d'aquesta decisió és simplificar al màxim possible i abaratir costos en equips en el banc de durabilitat que serà de 3 OBCs. D'aquest banc no només se'n fabricarà un sinó que se'n fabricaran els necessaris perquè tots els grups de la validació es puguin realitzar en paral·lel. Per a l'execució de l'FT2 es necessita una sèrie d'equips que són prescindibles en el banc de durabilitat, per tant, es pot plantejar l'execució del FT2 en un banc i els altres assajos

en un altre. Tanmateix, l'ús del banc paramètric no serà continu durant tota la validació, el FT2 és un assaig de molt poca duració, doncs, les diferents uniat de l'OBC que s'assajaran durant la validació l'executaran en seqüència.

Eliminant els requisits del FT2 en el banc de durabilitat s'elimina el requisit ReqHW23.5 on s'especifica el rang de variació de la tensió AC. Per complir aquest requisit es necessita una font d'alimentació AC com la que s'ha explicat. Sense el ReqHW23.5 és el reqHW3 el que imposa el voltatge d'entrada per al banc de durabilitat. El valor definit en reqHW3 coincideix amb el voltatge nominal de la xarxa elèctrica en la regió geogràfica on s'executarà els assajos de l'OBC, per tant, prenent les mesures adequades es prescindirà de la cara font d'alimentació AC i es connectarà l'OBC a la xarxa elèctrica.

A continuació es presenta l'assignació dels requisits vistos separats per a cadascun dels bancs que es dissenyaran:

- Banc paramètric:
 - Font d'alimentació AC: ReqHW4, ReqHW8 i ReqHW23.5.
 - Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW2, ReqHW23.2.
 - Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
 - Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
 - LV BOX: ReqHW6 i ReqHW23.4.
 - EVSE: ReqHW23.3.
 - Simulador de bus CAN: ReqHW7.
 - Requeriments no assignats: ReqHW22, ReqHW23.7, ReqHW23.1, ReqHW23.6 i ReqHW11.
 - Requeriments que no apliquen en aquest banc d'assajos: ReqHW1, ReqHW3, ReqHW10, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18, ReqHW19 i ReqHW24.
- Banc de durabilitat:
 - Font d'alimentació AC: ReqHW3, ReqHW8.
 - Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW1, ReqHW2, ReqHW10 i ReqHW24.
 - Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
 - Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
 - LV BOX: ReqHW6.
 - Simulador de bus CAN: ReqHW7.
 - Requeriments no assignats: ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18, ReqHW19, ReqHW23.1, ReqHW4 i ReqHW11.
 - Requeriments que no apliquen en aquest banc d'assajos: ReqHW22, ReqHW23.2, ReqHW23.3, ReqHW23.4, ReqHW23.5, ReqHW23.6 i ReqHW23.7.

6.2 Disseny del Banc Paramètric

El banc paramètric serà un banc d'un sol OBC dedicat a l'execució del FT2 i ocasionalment del FT1. Considerant aquesta premissa els següents requeriments no aplicaran: ReqHW1, ReqHW3, ReqHW10, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18, ReqHW19 i ReqHW24. Un cop clarificat els requisits amb la nova condició del banc es prosseguirà amb la selecció dels equips que integrarà el banc i a detallar el disseny a baix nivell del banc.

6.2.1 Elements del banc

6.2.1.1 Font d'alimentació AC

Per a la font d'alimentació AC els requisits del pla de validació són: voltatge de sortida entre els valors definits en el ReqHW23.5. Ha de poder generar una xarxa trifàsica, és a dir generar 3 ones de tensió desfasades 120 graus aportant una potència total d'11 kVA. Això equival a 16 A al voltatge nominal de 230 V per a cadascuna de les 3 línies. Tanmateix, ha de tenir la possibilitat d'entregar per una sola línia la potència especificada en el requeriment ReqHW8.

L'equip utilitzat és del fabricant californià Pacific Power Source, el model és el 3150 AFX. Aquest equip no és exactament el del banc "global", allí hi ha un equip amb el doble de potència i amb totes les possibilitats *software* habilitades. S'ha escollit l'equip del catàleg del fabricant californià més adient als requisits que tenim i s'ha suprimit totes les llicències *software* addicionals, ja que no són requerides.

La Pacific és una font d'alimentació AC i DC completament programable amb una potència de 15 kVA. És capaç de generar una tensió AC de fins a 333 V (L-N) i 425 V en DC. Pot arribar a donar fins a 41,7 A de sortida AC per fase i 21 A en DC.

La font d'alimentació AC seleccionada surt a l'exterior amb una configuració de 3 línies i un neutre. Internament, cada una d'aquestes línies pot entregar fins a 5 kVA i 20 A, per tant, si únicament es connecta l'OBC línia a línia amb l'equip, no es compliria el ReqHW8. Per a poder-lo complir, es configurarà l'equip en mode única línia ajustant el desfasaments entre les fases a 0 graus. Aquesta configuració permet curtcircuitar les 3 línies de sortida perquè treballin com a una sola sumant la potència entregada de cadascuna.

Per acabar amb aquest equip cal comentar el ReqHW4 sobre la desconexió de la tensió AC de l'OBC. La Pacific és un equip programable, per tant, aquesta desconexió es realitzarà apagant la sortida de l'equip. Tanmateix, com es veurà en la secció de la distribució elèctrica, el banc comptarà amb contactors de potència per poder dur a terme també aquesta desconexió.

6.2.1.2 Font d'alimentació DC bidireccional

El simulador de la bateria d'alta tensió, la font d'alimentació bidireccional, ha de complir les característiques que es descriuen a continuació. Ha de tenir la capacitat de regulació del voltatge entre els valors definits en el requeriment ReqHW23.2. Ha de ser capaç d'absorbir, idealment amb un rendiment de l'OBC del 100%, els 11 kW de l'entrada. Tenint en compte aquesta premissa, el corrent màxim esdevindrà a la mínima tensió de sortida, per tant, la font bidireccional ha de ser capaç d'absorbir 45,8 A. En el moment del disseny del banc no es tenia disponible l'objectiu de rendiment de l'OBC, així doncs, es va considerar el 100%.

L'equip que s'ha seleccionat és del fabricant alemany Elektro Automatik. El model seleccionat és la EA PSB 9750-60. En l'ampli catàleg del fabricant alemany hi ha 3 models més compatibles pel que fa als requisits, la EA PSB 9500-90 i els models equivalents de la sèrie superior EA PSB 10750-60 i EA PSB 10500-90. D'entrada la sèrie superior es va descartar, ja que les millores són a nivell *software* i en funcions addicionals de l'equip les quals no es requeren en l'aplicació que tenim entre mans. En referència al model 9500-90 la diferència està en els rangs de tensió i corrent màxim, els dos equips generen una potència màxima de 15 kW, en el model seleccionat arriba als 750 V i 60 A i en el descartat són 500 V i 90 A. La decisió per l'equip amb més rang de tensió de sortida ve motivada per una reutilització del banc i la tendència d'eleva la tensió de les bateries. Igual que en el cas de la font AC l'equip no és el mateix que en el banc del "global", allí es munta un equip del mateix fabricant, però

amb el doble de potència i de la gamma superior. Per tant, la feina realitzada ha estat escollir l'equip del catàleg del fabricant alemany més adient als requisits que es té.

Tota la gamma d'equips bidireccionals de més de 15 kW del fabricant alemany integra una característica addicional molt innovadora, són equips regeneratius, és a dir quan actuen absorbint potència la retornen a la xarxa elèctrica amb un rendiment de fins al 95%. És quasi l'únic fabricant que l'ofereix en el seu rang de preu i amb el grau de compactació de l'empaquetament. És a dir, són equips més petits que els de la competència, el qual ajuda a tenir bancs d'assajos més compactes i mòbils, per tant, ens ve bé per al ReqHW11.

Pel que fa al requisit sobre la desconexió de la tensió de sortida de l'OBC (ReqHW2) es realitzarà mitjançant la programació de l'equip apagant la sortida.

6.2.1.3 Font d'alimentació LV DC

Per a la font d'alimentació de l'electrònica de control de l'OBC el principal requisit és un voltatge de sortida regulable entre valors definits en el requeriment ReqHW20 amb un valor nominal definit en el requeriment ReqHW5. Quant a la potència subministrada no és té cap requisit en el pla de validació, per tant, s'ha llençat la pregunta a l'equip de disseny del producte. L'OBC no consumirà més de 2 A en condicions estàndards i el pic màxim d'arrencada és de 10 A durant alguns ms.

L'equip seleccionat és un altre model del fabricant alemany Elektro Automatik, en aquest cas el model és la font EA PS 9080-50. És un equip que supera molt els requisits, ja que, arriba fins als 80 V i entrega fins a 50 A. S'ha seleccionat perquè és el model més bàsic i de menys prestacions del catàleg amb un factor de forma per muntar en un rack de 19 polsades, és a dir que s'ha seleccionat pensat també en el ReqHW11.

6.2.1.4 Sistema de refrigeració líquida

Per al sistema de refrigeració els requisits provinents del pla de validació són el control del pas de líquid per l'OBC (ReqWH9) i el control de la temperatura del líquid refrigerant (ReqHW21).

El rang exposat en el requeriment és de -30 °C a 65 °C, però en fases inicials del projecte era de -40 °C a 85 °C. L'equip s'ha dimensionat per al segon rang, ja que era el requisit vàlid en el moment del disseny, posteriorment el client va canviar els requisits i al ser inferior no hi ha problema, l'equip continua sent vàlid. Un punt important és el líquid refrigerant utilitzat i que l'equip pugui treballar amb aquest líquid. S'ha especificat en el pla de validació que s'utilitzi glicol amb un 50% d'aigua.

El requisit del control de la temperatura i l'ús d'un líquid refrigerant basat en glicol deriva en adquirir un equip industrial pensat per a aquest fi. L'equip ha de ser capaç de ser controlat remotament per modificar el valor de regulació de temperatura del líquid i ha de permetre aturar la bomba interna remotament.

L'equip seleccionat és el Huber UNISTAT 510, un equip de control dinàmic de la temperatura del líquid en circulació. L'equip permet realitzar el control de la temperatura en el rang de 250 °C als -50 °C i compta amb una potència frigorífica de 5,3 kW fins als 0 °C i 2,8 kW a -20 °C. Permet la realització de rampes controlades i íntegra una pantalla TFT tàctil en la qual es poden representar en temps real els paràmetres de control.

En el cas del banc "global" s'utilitza un equip del fabricant Lauda, el model Pro RP 245 E. En concepte és un equip molt similar al Huber, els rangs de regulació de la temperatura del

líquid entren dins dels requeriments, ja que pot regular des de 200 °C a -40 °C. La gran diferència està en la potència de l'equip, en el Huber tenim 6 kW de potència calorífica i aquest es queda amb 2,5 kW. El problema d'aquest equip és en la potència frigorífica, tenint únicament 0,8 kW a 20 °C en comparació amb els 5,3 kW del Huber, més de 5 vegades més.

Segons l'experiència que tenim en l'empresa del sector de l'automoció provinent de projectes de previs el Lauda no és capaç d'arribar a regular els -40 °C. A 85 °C de temperatura de l'assaig i l'OBC funcionant a plena potència el mateix equip reporta que està utilitzant un 80/90% de la seva capacitat per a mantenir el refrigerant als 65 °C especificats en el pla de validació. En condicions ambient estàndards més favorables és un equip vàlid per a assajar l'OBC, per això en el banc del "global" en fan ús, però és insuficient quant a potència de refrigeració per a les condicions requerides en els assajos climàtics.

6.2.1.5 LV BOX

La *low voltage box* és un element que centralitza tots els senyals de baixa tensió de l'OBC per permetre la seva gestió unificada. El control dels senyals és pot realitzar automàticament a través del seqüenciador de casos de test o manualment mitjançant uns interruptors situats en la part frontal del banc accessibles per a l'usuari.

Segons els requisits que tenim aquesta caixa ha de generar els diferents valors dels senyals *proximity detection* segons la normativa europea (ReqHW26.4) i ha de permetre deixar en circuit obert aquest senyal i el del *control pilot* (ReqHW6). A més a més també comptarà amb un port per connectar el simulador del bus CAN amb l'OBC i les línies d'alimentació també passaran per la caixa. A l'empresa del sector de l'automoció s'ha dissenyat un connector estàndard per a la connexió amb la LV Box per afavorir un disseny genèric dels bancs d'assajos de l'empresa. Per tant, en aquest banc s'utilitzarà aquest connector, però només es muntaran els senyals que requereix aquest projecte, ja que el connector ofereix moltes més possibilitats com es veurà a continuació.

La LV BOX que muntarà el banc paramètric serà exactament la mateixa que utilitza el banc del "global". A causa de unes estrictes limitacions del termini d'entrega respecte a les dates del disseny del banc es va decidir no redissenyar-la i fer servi la mateixa.

La placa de circuit imprès del banc "global" es va dissenyar tenint en compte molts més requisits. El resum ràpid de les seves possibilitats seria:

- Per al senyal *proximity detection* integra a més a més de l'estàndard europeu IEC 61851 l'americà SAE J1772 i el Xinès GBT 20234.
- Afegeix els senyals dels protocols de càrrega ràpida en mode 4, d'acord amb els principals protocols del planeta: Europeu IEC 61851, Americà SAE J1772, Japonès CHAdeMO i Xinès GBT 27930.
- Afegeix fins a 4 línies de bus CAN.
- Integra interfícies internament estandarditzades per integrar altres funcionalitats no estandarditzades que un OBC pot requerir:
 - Sensors de temperatures ubicats en la INLET on l'OBC és el responsable de la seva lectura.
 - Diversos LEDs indicadors ubicats en la INLET i que l'OBC és el responsable de la seva gestió.
 - Botons ubicats en la INLET que l'OBC és el responsable de gestionar.
 - Línies per al control dels dispositius de bloqueig de la menegera de l'EVSE en la INLET del vehicle.
 - Línies auxiliars per a multi-propòsit.

La LV Box aporta els circuits dels senyals, integra els interruptors per al control manual de les mateixes i la possibilitat del control remot, però si es requereix executar casos de test automatitzats, com s'indica en el ReqSWT3, es requerirà la integració en el banc d'un equip addicional entre el seqüenciador i la LV Box per dur a terme aquesta tasca. Aquest equip serà anomenat com a sistema DAQ & MUX i es veuran els seus detalls en una secció més endavant.

6.2.1.6 EVSE

L'EVSE en el banc de test paramètric complirà una funció secundària. La seqüenciació dels senyals serà definida per al cas de test, per tant, només és necessari que generi aquests senyals. Per una banda, tenim el senyal *proximity detection* que és gènere en l'OBC i l'EVSE tanca el circuit elèctric. Com hem vist, això es gestionarà amb la LV Box. Per altra banda, tenim el senyal *control pilot* que és generat per a l'element EVSE. El ReqHW 23.3 assignat a l'EVSE especifica que el banc ha de ser capaç de generar aquest senyal i les seves característiques.

El senyal a generar és una ona quadrada amb un cicle de treball del 50% en cada estat, una tensió pic a pic de 24 V centrada a 0 V i una freqüència d'1 kHz. Aquest senyal ve definit en les diverses normatives (exemple IEC 61851, SAE J1772 i GBT 20234) com el senyal de control de la càrrega per part d'un EVSE. L'EVSE ha de ser capaç de variar el cicle de treball per gestionar la potència de càrrega que és capaç de subministrar. En el cas del pla de validació es demana un cicle del 50%, que segons l'IEC 61851 el corrent màxim que podrà subministrar l'EVSE serà 0,6 A pel cicle de treball, és a dir, 30 A per fase.

L'equip seleccionat per generar el *control pilot* és el Keysight B2901B. L'equip ideal seria un generador de funcions estàndard, però en el moment de la compra els proveïdors de l'empresa del sector de l'automoció no en disposaven de cap en catàleg amb el rang de tensió de 24 pic a pic. L'únic equip trobat capaç de generar la forma d'ona requerida va ser el Keysight B2901B, una font d'alimentació de precisió. L'equip permet generar una tensió d'alimentació i realitza la mesures del consum del corrent d'alimentació d'una forma molt precisa i ràpida, tanmateix, té la possibilitat de programar variacions molt ràpides de la tensió d'alimentació i generar la forma d'ona amb el cicle de treball especificat.

Un EVSE integra elements de protecció elèctrica en les línies d'entrada AC, els quals són normatius i que no s'han obviat. Aquestes proteccions formaran part del banc i no de l'EVSE, ja que l'objectiu d'allò que s'anomena EVSE en el banc d'assajos únicament fa referència a les tasques de gestió d'un EVSE estàndard.

6.2.1.7 Simulador del bus CAN

La interfície amb el bus CAN és un equip que permet enviar i rebre missatges a través d'aquest bus. L'objectiu és que l'equip on s'executaran les eines *software* sigui capaç de recrear per l'OBC la resta del vehicle a nivells de missatgeria CAN. La interfície queda recollida en el ReqHW7 el qual especifica la que el banc ha de tenir la capacitat de controlar la comunicació CAN amb l'OBC, per tant, introduir una interfície programable.

En el laboratori de validació ambiental i en el departament d'enginyeria de desenvolupament de l'empresa del sector de l'automoció per executar la tasca de control del bus CAN s'utilitza un *software* de la companyia alemanya Vector Informatik anomenat CANoe. Aquest *software* està especialment desenvolupat per a la simulació dels busos de comunicació d'ECUs en l'entorn de l'automoció. El *software* permet generar fàcilment la missatgeria CAN de les ECUs, permet integrar codi propi fet en un llenguatge derivat del C, incorpora un seguit d'eines per a l'anàlisi dels busos de comunicació i l'empresa ha creat un seguit d'eines i integracions amb els OEMs que són referència en la indústria. Per a què la

simulació de les comunicacions pogui sortir a l'exterior es requereix una interfície del mateix fabricant el que limita l'oferta de models d'interfícies *hardware*.

Com per al control de la comunicació CAN el *software* és crític, en aquest banc s'utilitzarà Vector CANoe, per tant es requerirà una interfície de Vector. Les necessitats per a la selecció del model d'interfície serien: un port per a bus principal del vehicle a 500 kbit/s, un segon port per al bus CAN de desenvolupament el qual s'encarrega de la recollida de dades de l'OBC per a facilitar el desenvolupament, del producte també a 500 kbit/s, i un tercer port a 1 Mbit/s per a l'equip mesurador de corrent de consum, el qual es veurà en una secció posterior i reporta les mesures a través d'un bus CAN. El model seleccionat és el VN1630A, una interfície de 2 ports CAN fins a 1 Mbit/s o CAN FD fins a 5 Mbit/s més 2 ports addicionals la qual es connecta a l'equip on s'executa el *software* CANoe utilitzant un USB 2.0. Com la necessitat existent és de 3 ports s'ha instal·lat un *piggy* 1057Gcap per habilitar un dels 2 ports addicionals del dispositiu amb un bus CAN de fins a 1 Mbit/s o CAN FD fins a 5 Mbit/s.

6.2.1.8 Sistema DAQ & MUX

L'equip que anomenem DAQ & MUX és un equip modular multi propòsit, per una banda, s'utilitzarà com a sistema d'adquisició de dades (DAQ) per a cobrir el ReqHW22 i, per altra banda, serà el controlador de la LV Box actuant com a sistema de multiplexat (MUX) en el ReqHW6.

L'equip seleccionat per aquesta tasca és el Keysight 34980A un equip modular que permet executar les dues tasques. L'equip està format per un multímetre digital de 6,5 dígits i 22 bits de resolució més un sistema de multiplexat modular de fins a 8 modules.

Per a la funció de DAQ s'ha optat pel mòdul 34921A, una targeta per multiplexar mesures de tensió i temperatura de 40 canals. El ReqHW22 requereix un control o sincronització amb la cambra climàtica, en aquest cas s'ha optat per la sincronització. Es mesurarà la temperatura utilitzant termoparells tipus T en 5 punts de l'interior de la cambra climàtica i es realitzarà una mitjana per a obtenir la temperatura de l'equip de test i que l'eina *software* se sincronitzi a l'hora d'executar els casos de test del FT2.

Un cop cobert el requeriment queden disponibles 35 canals que s'utilitzaran per a afegir mesures extres per obtenir més informació durant el test. S'integraran les mesures dels requeriments ReqHW18 i ReqHW19 que apliquen al banc de durabilitat. Són les mesures de la temperatura del líquid refrigerant a l'entrada i a la sortida de l'OBC i la mesura del cabal de líquid refrigerant.

Per a la funció de MUX s'utilitzaran 2 mòduls 34939A, una targeta de 64 interruptors multi-propòsit utilitzant relés de fins a 1 A i 60 W, potència suficient per controlar els optoacobladors de la LV Box. Tècnicament, segons el HWReq6, 6 canals serien suficients per cobrir els senyals requerits, però com s'ha vist la LV Box és una herència del banc "global", per tant, integra molta més funcionalitat i s'ha volgut que aquesta funcionalitat estigui disponible.

Adicionalment, s'ha afegit un mòdul 34922A, una targeta per multiplexar mesures de tensió de 70 canals. Aquest mòdul no cobreix cap requeriment del banc paramètric, s'ha afegit per adquirir les mesures de tensió de la funcionalitat extra que aporta la LV Box del "global".

6.2.1.9 Analitzador de potència

L'analitzador de potència és un dels equips introduït en el disseny per a cobrir els requeriments no assignats en el primer disseny d'un OBC a alt nivell. La funció de l'analitzador

de potències és fonamentalment realitzar la mesura de l'eficiència de conversió instantània de l'OBC, és a dir cobrir el ReqHW23.7.

La utilització d'aquest equip aporta molta versatilitat al banc, per una banda, s'automatitza el processament de les diferents mesures involucrades en el càlcul obtenint directament el valor per part de l'equip i per l'altra permet als equips de desenvolupament disposar de les mesures detallades de les tensions i corrents d'entrada i sortida de l'OBC.

En el cas de l'OBC a assajar es requerirà mesurar 3 línies AC desfasades 120 graus i una sortida DC. En aquest cas per realitzar el càlcul no es tindrà en compte el consum del mòdul electrònic provinent de la línia de 12 V del vehicle. Introduiria complexitat en l'analitzador innecessàriament, ja que estem parlant d'un consum aproximat de 15 W en relació amb els 11 kW de la potència màxima d'entrada.

L'equip seleccionat és el Newtons4th PPA3500. El mode és el mateix que s'utilitza en el banc del "global" però s'ha variat la configuració per adaptar-lo a aquest banc d'assajos. El "global" és un banc preparat per a 22 kW de potència AC d'entrada i assajar juntament amb l'OBC un convertidor DC-DC. S'ha limitat l'equip a 4 canals de mesura de tensió més corrent, es faran servir els sensors de corrent interns per als canals 2 i 3 i transductors externs per als canals 1 i 4. L'equip pot mesurar fins a 20 A fent ús dels sensors interns, per tant, per les fases 2 i 3 d'entrada és suficient. Per mesurar corrents més elevades o augmentar la precisió de la mesura l'equip té la possibilitat d'incorporar un mòdul extra per a mesura a través de transductors de corrent del fabricant LEM. Per a la fase 1 d'entrada, que en mode monofàsic arriava fins als 32 A, i la sortida DC, que pot arribar fins als 45,8 A, s'utilitzaran transductors de corrent del fabricant LEM, el model IT200S.

La LEM IT200S és un transductor de corrent d'acoblament magnètic d'alta precisió. Utilitza un llaç tancat auto compassat i un detector afinat de zero flux els quals milloren la precisió. El rang de mesura arriba fins els 200 A. Per fer servir LEMs amb el PPA3500 és necessària una interfície addicional del mateix fabricant Newtons4th, la LEM-6 INTERFACE. Aquesta interfície és modular, per tant, en el cas del banc paramètric només requereix 2 mòduls, a més a més és proporcionada juntament amb la LEM, el PPA3500 i una calibració conjunta de tota la cadena de mesura.

6.2.1.10 Mesurador del corrent de consum

El mesurador del corrent de consum o CMM (de l'anglès *current consumption measurement*) s'introdueix en el banc per complir el requisit ReqHW23.1 que demana mesurar el consum de corrent de la línia d'alimentació de l'OBC.

L'equip utilitzat és el model CMM III del fabricant IRS. És un equip específicament dissenyat per mesurar el consum d'un ECU en la indústria de l'automoció, aporta una gran precisió en la mesura durant tot el rang que va dels μA als 160 A. Utilitzant un sol equip permet mesura el consum de tots els modes d'operació d'un ECU. L'OBC no requereix els 160 A, però aquest equip es tracta com a equip de referència en el departament d'assaig climàtic i s'instal·la en tots els bancs en els quals es requereix realitzar la mesura del consum d'alimentació.

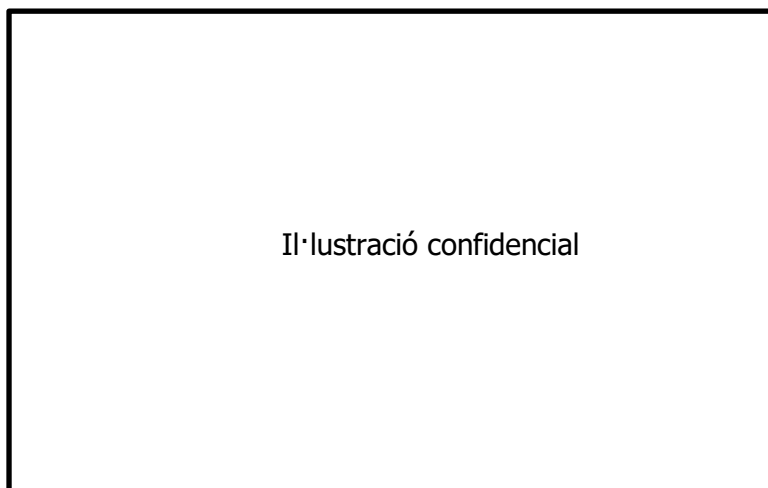
Aquest tipus d'equip no s'integra en el banc del "global", ja que aquesta mesura no és requerida en la seqüenciació de casos de test que s'executen. És l'equip de disseny *hardware* qui introdueix un equip extra en la línia d'alimentació quan requereixen realitzar aquesta mesura.

6.2.1.11 Distribució elèctrica del banc d'assajos

En aquest punt s'exposarà la distribució elèctrica del banc, es veuran els esquemes elèctrics d'alt nivell i s'introduiran els elements necessaris per complir amb els requisits ReqHW4 i ReqHW23.6. Els requisits fan referència a la desconexió de l'entrada de l'OBC (ReqHW4) compartit amb la font d'alimentació AC i amb el control automàtic de tipus de xarxa d'entrada (ReqHW23.6).

Com hem vist en la secció de la font d'alimentació AC, el model seleccionat requerirà un element en el banc capaç de curtcircuitar les 3 fases de sortida de l'equip per a permetre que treballin en fase sumant la potència entregada. Aquest element serà nomenat K3P-1P i serà un contactor Schneider Electric LG1D115. Aquest dispositiu és un contactor d'alta potència configurable i per aquesta aplicació es farà us del model que ajunta les tres fases a la sortida.

En la Il·lustració 16 és mostra l'esquema de potència del banc d'assajos amb l'OBC situat dins de la cambra climàtica en posició d'assaig. Començant per l'esquerra de l'esquema tenim la font d'alimentació AC i seguidament està representat el contactor triple S3P-P que romandrà obert en repòs. Seguidament, després d'aquest element se situaran les proteccions elèctriques, s'instal·larà un diferencial de corba C i 100 A amb 30 mA de corrent de fugues, un magneto tèrmic o ICP trifàsic de 400 V i 100 A i un fusible de 85 A en cada conductor de línia i també en el conductor de neutre.



Il·lustració 16. Esquema de potència del banc d'assajos paramètric.

A continuació es muntaran un seguit de controls del banc. Primer tenim 4 contactors de 85 A (un per fase més el del neutre), els KL1, KL2, KL3 i KN. Aquests s'utilitzaran per realitzar la desconexió de l'entrada de l'OBC tal com indica el ReqHW23.6. Es muntaran contactors individuals per herència del banc "global", els quals permeten dur a terme més casos de test durant el desenvolupament de l'OBC. A la vegada també són recomanables, ja que en el mode monofàsic permet deixar les línies 2 i 3 en circuit obert.

El següent element és un contactor amb 2 posicions, el "SEVSE". Aquest estarà format per 2 contactors trifàsics de 85 A amb un control invers. En el mercat no s'ha localitzat contactor que contingui tant la posició normalment oberta com la normalment tancada. La funció d'aquest element és seleccionar si es fa servir l'EVSE "Emulator" o no, realitzant un *bypass* d'aquest. L'EVSE "Emulator" és un altre element heretat del banc "global", el qual permet assajar els diferents protocols de càrrega automàticament, tan AC com DC. En el cas

del banc paramètric que s'està dissenyant no existeix cap requeriment per muntar l'equip, per tant, com és un equí molt costós s'ha deixat la preinstal·lació, però no es muntarà.

Després de l'EVSE "Emulator" s'instal·laran els connectors de mesura de l'analitzador de potència i uns punts de mesura addicionals situats en el frontal del banc utilitzant bananes de seguretat per poder connectar equips de mesura extres com per exemple oscil·loscopis. D'aquí ja tindrem els punts de sortida del banc que permetran la connexió dels cables de 4 metres que arribaran fins a l'OBC situat dins de l'equip de test. S'instal·laran unes bornes de cargol per a cables de 25 mm². Els cables que van fins a l'OBC són canviats habitualment i aquests són subministraments des de la planta cablejadora del client, per tant, arriben sense cap mena de connexió i el més pràctic és la borna de cargol.

A la sortida de l'OBC tenim els cables de 4 metres que es connectaran al banc utilitzant bornes de cargol. Seguidament, s'instal·laran 2 contactors de potència KHV_BATTERY+ i KHV_BATTERY- del fabricant TE model LEV200A5ANA. El propòsit dels contactors és obrir el circuit en cas d'emergència, actuaran com a elements de seguretat elèctrica. Venen del disseny del banc "global" i s'han mantingut per seguretat tot i no són estrictament necessaris. En el banc del "global" l'OBC no està en una cambra climàtica sinó que està en una cúlpa de metacrilat la qual es pot obrir fàcilment, per tant, si aquesta s'obre el sistema també obrirà els contactors per seguretat.

A continuació dels contactors KHV_BATTERY+ i KHV_BATTERY- es troben els punts de mesura extra i els de l'analitzador de potència. Seguidament, s'instal·laran els elements de seguretat elèctrica, un fusible per a cada línia i un ICP de corrent continu de 100 A. L'esquema acabava amb l'equip que emula la bateria d'alta tensió del vehicle, la font d'alimentació DC bidireccional.

Com hem vist en l'esquema elèctric de potència el banc compta amb un seguit de contactors, el control dels mateixos es realitzarà segons l'esquema de la Il·lustració 17, "Esquema de controls i sistema de seguretat, banc paramètric". Per a cadascuna de les bobines dels contactors hi ha 2 possibles controls, un interruptor manual i un control automàtic provinent del sistema MUX. Això permet dur a terme assajos en mode manual o automatitzar les seqüències de test. A més a més apareixen una sèrie d'interruptors que no s'utilitzaran, ja que són herència del banc "global", d'unes funcionalitats que no són requerides en el banc paramètric.

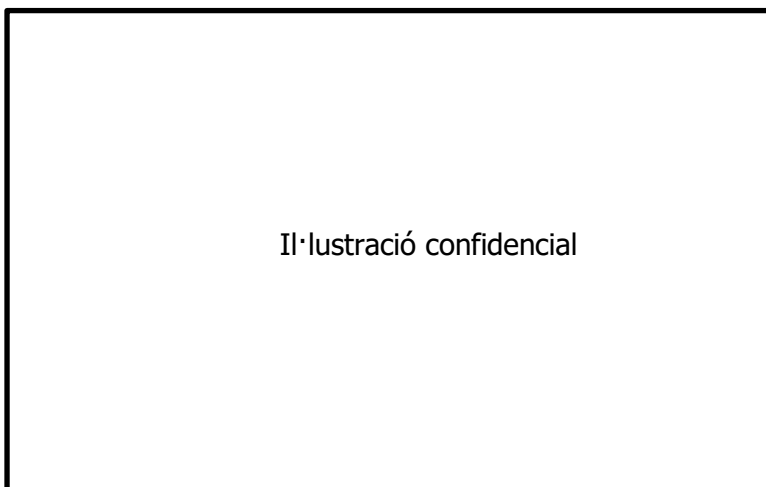
L'alimentació de les bobines dels contactors prové d'una font DC auxiliar amb tensió fixa de 24 V. Entre la font auxiliar i les bobines s'ha integrat un doble sistema PILZ de seguretat. El PILZ és el nom d'una empresa que es dedica a desenvolupar solucions de seguretat elèctrica per a l'automatització de processos i línies de manufactura. En el banc paramètric s'utilitza el PNOZ X2.1 que és un contactor que s'obre si es compleix una condició i per tornar-se a tancar ha de no complir la condició anterior i activar la línia de rearmament del component.



Il·lustració 17. Esquema de controls i sistema de seguretat del banc d'assajos paramètric.

El primer PILZ està connectat al posador d'emergència i el segon a una sèrie de sensors magnètics que detecten l'obertura de les portes i parets del banc. En el banc del "global" els sensors també estan en l'estructura de metacrilat que cobreix l'OBC. Si es prem el polsador d'emergència o es detecta una obertura en algun sensor s'obriran tots els contactors del banc deixant tots els circuits oberts. A la vegada els PILZ actuaran sobre la bobina d'un contactor trifàsic anomenat KEM. El KEM desconnectarà de la xarxa elèctrica els 2 equips principals en la línia de potència de l'OBC, la font d'alimentació AC i la font d'alimentació DC bidireccional. Addicionalment, actuarà sobre les bobines dels contactors que funcionen amb voltatge AC de 230 V. La introducció del KEM en les fonts d'alimentació és una millora respecte al banc "global", per les particularitats del banc paramètric en enfront d'una emergència o a la possible manipulació del banc. Per a major seguretat automàticament es desconnectaran les 2 fonts d'alta tensió del banc en cas d'emergència. En el banc paramètric no es disposa d'un sensor en la cúpula, ja que aquesta és reemplaçada per la cambra climàtica.

Finalment, es presenta l'esquema elèctric de la distribució elèctrica en el banc, l'esquema elèctric es mostra en la Il·lustració 18. El banc disposarà d'una connexió Schuko de 16 A per línia, a l'entrada se situarà un interruptor general de desconnexió el qual haurà de permetre el seu bloqueig en mode apagat per a quan es manipuli el banc.



Il·lustració 18. Esquema distribució elèctric del banc d'assajos paramètric.

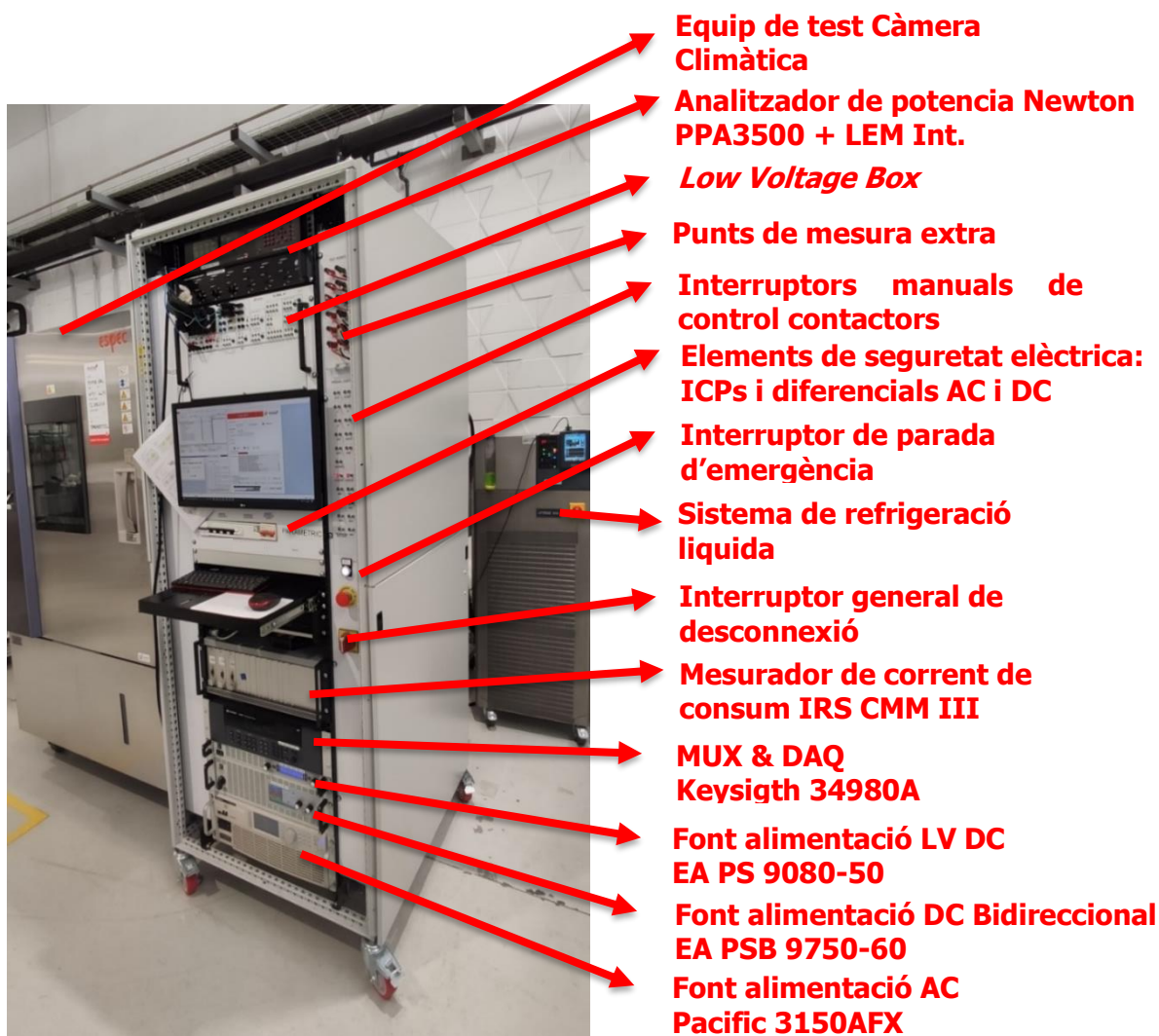
Aigües avall de l'interruptor general hi ha dos subcircuitos, per una banda, tenim els equips que requereixen entrada a xarxa trifàsica de 380 V entre línies, la font AC i la font DC bidireccional. Aquests 2 equips com s'ha vist disposen d'un sistema de desconexió de seguretat, el KEM. Per altra banda, es deriva una línia monofàsica a la qual connectarem la resta d'equipament del banc. Per a aquesta línia s'instal·larà un ICP de 16 A addicional. És molt important que les terres dels equips i del banc estiguin ben connectats per evitar accidents.

Per acabar, l'equip de la refrigeració se situarà externament al banc principal. És un equip de grans dimensions que ja ve preparat per ser un equip mòbil, per tant, no s'integrarà en l'estructura del banc principal. Aquest equip estarà acompanyat d'una petita estructura on es situarà el cabalímetre i la resta de fontaneria necessària juntament amb una font auxiliar de 24 V fixes per alimentar el cabalímetre.

6.2.1.12 Factor de forma del banc

En aquest punt és definirà el factor de forma del banc d'assajos. El banc ha de complir el ReqHW11 el qual implica que ha de ser mòbil sense grans dificultats per part d'una o dos persones dins de la sala de test.

L'estructura del banc serà un armari elèctric de 19 polsades estàndard al qual se li incorporaran 4 rodes per possibilitar el seu moviment. Aquests armaris estan dissenyats per allotjar en el seu interior equips de test d'amplada estàndard de 19 polsades. L'altura dels equips es mesura en unitats de rack o Us, on una U equival a 4,445 cm. En el cas del banc paramètric s'ha seleccionat un armari del fabricant alemany Rittal, un dels millors fabricants en qualitats de materials i construcció. S'utilitzarà un armari de 42U d'altura, 85 cm de fondària i amb un extra de 15 cm per banda extres d'amplada. Els armaris tenen una amplada interior de 19 posades per allotjar els equips, en el cas del banc paramètric entre l'estructura interior i la carcassa exterior tenim 15 cm extra per cada lateral. La finalitat d'aquest espai es deixar l'estructura interior lliure per situar equips de test i instal·lar en els laterals la resta d'elements del banc la resta d'elements del esquema elèctric.



Il·lustració 19. Fotografia del banc d'assajos paramètric identificant els equips que el conformen.

6.2.2 Assignació de requisits

Per acabar amb el disseny del banc paramètric es veurà l'assignació final de requisits en els elements analitzats del banc. El * indica que un requisit aplica diversos elements del banc per complir-lo:

- Font d'alimentació AC: ReqHW4*, ReqHW8* i ReqHW23.5.
- Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW2, ReqHW23.2.
- Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
- Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
- LV BOX: ReqHW6* i ReqHW23.4.
- EVSE: ReqHW23.3.
- Simulador bus CAN: ReqHW7.
- Sistema MUX & DAQ: ReqHW6* i ReqHW22.
- Analitzador de potència: ReqHW23.7.
- Mesurador corrent de consum: ReqHW23.1.
- Distribució elèctrica del banc d'assajos: ReqHW4*, ReqHW8* i ReqHW23.6.
- Factor de forma del banc: ReqHW11.

- Requeriments que no apliquen en aquest banc d'assajos: ReqHW1, ReqHW3, ReqHW10, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18, ReqHW19 i ReqHW24.

6.2.3 Pressupost del banc

El cost del banc d'assajos serà confidencial per a l'empresa del sector de l'automoció.

6.3 Disseny del Banc Durabilitat

El banc de durabilitat serà un banc dedicat a l'execució dels assajos climàtics vistos en el pla de validació i capaç d'assajar varis OBCs al mateix temps. La filosofia de disseny del banc serà diferent de la del banc paramètric, aquest banc treballarà de forma contínua i autònoma durant hores i dies, per tant, s'ha de buscar un disseny simple i molt robust.

Pel que fa a l'assignació de requisits serà diferent de la vista pel banc paramètric. Partint de la primera assignació general realitzada en la secció 6.1 els següents requeriments no aplicaran al banc de durabilitat: ReqHW22, ReqHW23.1, ReqHW23.2, ReqHW23.3, ReqHW23.4, ReqHW23.5, ReqHW23.6 i ReqHW23.7.

6.3.1 Elements del banc

6.3.1.1 Font d'alimentació AC

Els valors per a la tensió d'entrada de l'OBC estan definits en el requeriment ReqHW3. S'ha de poder commutar entre una xarxa trifàsica i una xarxa monofàsica (ReqHW8). Aquestes són les característiques de la xarxa elèctrica Europea per tant, la decisió estratègica que s'ha pres és assajar l'OBC connectant-lo directament a la xarxa elèctrica sense la utilització de cap font d'alimentació. Com es veurà en la secció de la distribució elèctrica, el banc comptarà amb un seguit de proteccions elèctriques per minimitzar les conseqüències en cas d'un accident elèctric provocat per l'OBC.

Pel que fa a la selecció del tipus de xarxa es realitzarà manualment per l'enginyer responsable de l'execució de l'assaig, es connectarà l'OBC al banc d'assajos utilitzant les 3 fases o solament la primera i el neutre. Com s'ha analitzat en el capítol 5.3, el banc ha de ser capaç de funcionar amb tots dos tipus de xarxa, però no es requereix una automatització com en el cas del banc paramètric. La selecció es realitzarà manualment simplificant el banc d'assajos.

6.3.1.2 Font d'alimentació DC bidireccional

Per a l'equip que realitzarà la funció de bateria d'alta tensió del vehicle els requisits assignats per al banc de durabilitat són pràcticament els mateixos que pel paramètric. Els requisits serien: ReqHW1, el ReqHW2 i el ReqHW24 que és equivalent al Req23.2 del banc paramètric. El ReqHW2 especifica la desconexió elèctrica del voltatge d'alta tensió que en aquest banc recaurà al 100% en l'equip seleccionat. El ReqHW1 queda obsolet per al ReqHW24 sempre que no es dugui a terme el disseny d'un tercer banc per a l'assaig *High Temperature Durability* (Durabilitat a alta temperatura), ja que és l'assaig d'on surt el ReqHW24. Aquest no serà el cas d'aquest projecte, el banc de durabilitat podrà executar tots els assajos excepte el FT2 com ja s'ha indicat. En el ReqHW24 es defineix un rang d'operació per al voltatge d'alta

tensió i en el ReqHW1 és fixa un únic punt de treball per aquesta tensió, el qual està dins del rang especificat.

L'equip seleccionat és el mateix que en el banc paramètric, l'EA PSAB 9750-60. Els requisits són els mateixos per als dos bancs, per tant, no s'ha variat l'equip. En aquest cas el banc serà capaç d'assajar 3 OBCs simultàniament, per tant, el banc haurà de tenir 3 equips EA PSAB 9750-60.

6.3.1.3 Font d'alimentació LV DC

Per a la font d'alimentació de baixa tensió es tenen els mateixos requeriments que en el banc paramètric. Com no hi ha variabilitat en els requeriments s'ha seleccionat el mateix equip que en el banc paramètric amb el mateix criteri, la font EA PS 9080-50.

En la selecció d'aquest equip s'ha de tenir en compte el ReqHW10, és a dir que es tindrà 3 OBCs assajant en el mateix banc, per tant, el consum de corrent que es tindrà en aquesta font serà 3 vegades més elevat que en el del banc paramètric. La font pot subministrar fins a 50 A en el rang de tensions especificat i segons les especificacions de l'OBC a assajar el consum serà molt inferior als 10 A, en conseqüència l'equip és perfectament vàlid.

6.3.1.4 Sistema de refrigeració líquida

Els requisits per al sistema de refrigeració són els mateixos que per al banc paramètric, el control del pas del líquid per l'OBC (ReqHW9) i el control de la temperatura del líquid en el rang especificat en el requeriment ReqHW21. Per tant, s'ha seleccionat el mateix equip que en el banc paramètric, el Huber UNISTAT 510.

Per aquest equip, tal i com s'ha realitzat amb la font d'alimentació LV DC, s'ha de considerar si és apte per a ser utilitzat en 3 OBCs simultàniament (ReqHW11). Com s'ha vist, l'equip es va seleccionar perquè era capaç d'arribar als $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ i segons especificacions arriba als $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, per tant, és apte en la part inferior del rang. Pel que fa a referència a la part superior del rang de treball dels OBCs, la dada a analitzar és la potència de refrigeració, ja que els OBCs retornaran el líquid a més temperatura i equip serà l'encarregat de mantenir-lo al valor especificat. El Huber té una potència frigorífica de 5,3 kW en el rang de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ suficient per als 3 OBCs del banc de durabilitat.

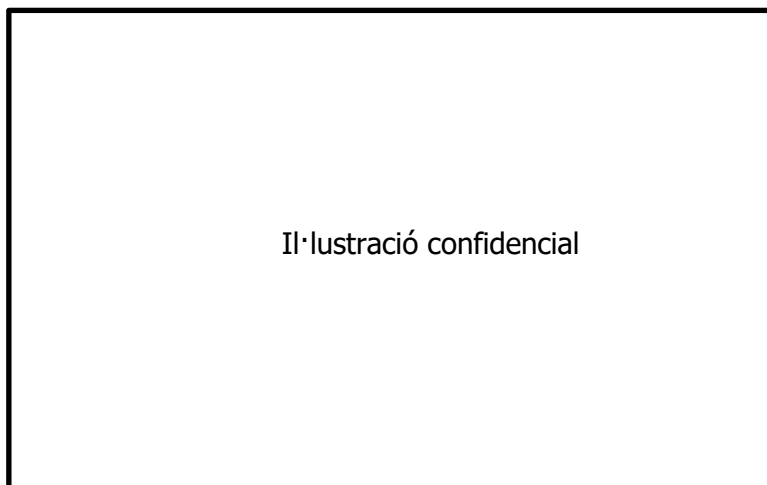
6.3.1.5 LV BOX

La *low voltage box* o caixa de baixa tensió serà l'element que centralitza tots els senyals de baixa tensió entre l'OBC i el banc d'assajos, iguals que en el banc paramètric. Per al banc de durabilitat s'ha realitzat un nou disseny per aquesta caixa únicament tenint en compte els requeriments assignats en aquest banc. Aquests requeriments són tenir el control on/off dels senyals de l'EVSE *proximity detection* i el control pilot (ReqHW6) en 3 OBCs (ReqHW10). Com s'ha vist, el senyal del *control pilot* ha de ser generat per l'EVSE, per tant, es veuran els detalls a la secció següent. Per al senyal de *proximity detection* s'integraran els circuits definits per les normatives IEC 61851-1, la SAE J1772 i la GBT 20234. Són els mateixos estàndards que integra la LV Box del banc paramètric.

Adicionalment, el bus CAN i la línia d'alimentació passaran per aquesta caixa. Per al bus CAN la caixa haurà d'oferir la possibilitat de connectar una resistència de terminació de $120\ \Omega$. Per a la línia d'alimentació s'afegirà un interruptor manual per obrir aquesta línia i apagar l'OBC. Tot el que s'ha explicat estarà per triplicat, ja que es tracta d'un banc de 3 OBCs.



Il·lustració 20. Diagrama esquemàtic PCB LV Box del banc de durabilitat; circuits elèctrics per a la gestió dels senyals.



Il·lustració 21. Diagrama esquemàtic PCB LV Box del banc de durabilitat; connectors amb els OBCs i el MUX.

El disseny d'aquesta caixa comptarà amb els circuits explicats i els interruptors per a la gestió en manual dels senyals, però aquests senyals requereixen una gestió automatitzada per part de l'eina *software* que executarà els modes d'operació en OBC, per tant, es requerirà un equip extra per aquesta tasca, aquest equip serà el MUX el qual és veurà en detall en una secció posterior. Per interactuar amb el MUX, la LV Box comptarà amb un connector de sortida pin a pin amb l'equip MUX.

La LV Box és bàsicament una PCB muntada dins d'una caixa en la qual es modifica la cara frontal per allotjar els interruptors i LEDs indicadors de l'estat de cadascun dels senyals. En la Il·lustració 20 es mostra el diagrama esquemàtic per a la gestió dels senyals descrits, aquesta es repetiria 3 vegades en la PCB canviant el /1 per un /2 i /3 indicant l'OBC als que fa referència. En la Il·lustració 21 es mostren els connectors de sortida amb els 3 OBCs i els connectors amb equip MUX. Els connectors a l'OBC utilitzen el mateix *pinout* que en la LV Box del banc paramètric la qual és estàndard en l'empresa del sector de l'automació perquè els cables siguin intercanviables entre bancs. En aquest cas s'usaran cablejats amb un connector i no bornes, ja que al no passar potència no sofreixen tant desgast com els d'entrada AC o sortida DC i no són reemplaçats amb tanta assiduitat.

6.3.1.6 EVSE

En el cas del banc de durabilitat no es té cap requeriment específic per l'EVSE, el més proper seria el ReqHW6 que especifica un control *on/off* dels senyals de l'EVSE *proximity detection* i *control pilot*. Com s'ha vist en altres seccions d'aquesta memòria, el senyal de *proximity detection* es genera en l'OBC i la LV Box tancarà el circuit elèctric, per tant, no es requereixen més accions. Quant al senyal *control pilot*, en la LV Box estarà situat el control *on/off* requerit, però la generació del senyal recau en l'EVSE, per aquest motiu es considerarà part del ReqHW6 la generació d'aquest senyal.

En el cas del banc de durabilitat no es té cap mena de requisit pel senyal *control pilot*, per tant, s'ha recorregut directament a la normativa vigent a Europa quant la càrrega AC de vehicles elèctrics, l'IEC 61851. Per al cas concret del senyal d'interès en aquest apartat és idèntic per als protocols americà SAE i xinès GB/T, ja que les tres normes utilitzen com a base el senyal proposat en l'ISO 15118. Físicament, el senyal té les mateixes característiques elèctriques en les tres normes regionals, la diferència està en la interpretació i el significat dels diferents estats possibles en el senyal. S'ha escollit el protocol Europeu, pel fet que l'OBC a assajar està focalitzat a aquest mercat.

Segons la norma el senyal a generar és el vist l'EVSE del banc paramètric (6.2.1.6), la diferència és que en el paramètric es tenia un requeriment del cycle de treball. Les característiques elèctriques del senyal són que sigui una ona quadrada amb un cycle de treball variable, una tensió pic a pic de 24 V, valor mitjà nul i una freqüència d'1 kHz. La norma especifica un rang del 5 % al 100% per al cycle de treball, aquest paràmetre indica a l'OBC el tipus de càrrega. Si el cycle de treball té un valor del 5%, significa una càrrega en DC, si el valor és més gran de 8%, serà una càrrega en AC indicant amb el valor del cycle de treball la quantitat de corrent que l'EVSE pot arribar a subministrar. Tornant al cas del banc de durabilitat s'haurà de testejar el cycle de treball amb un valor d'entre el 8 % i 100% amb un error menor a l'1%, ja que únicament es necessita la càrrega en AC.

A l'empresa es va decidir anar un pas més endavant en el cas de l'EVSE del que per requeriments es dissenyaria. Segons la filosofia dels assajos que s'executen en el banc de durabilitat sembla molt lògic que s'utilitzés un EVSE real, és a dir un carregador de vehicles elèctrics comercial. Fer ús d'un model comercial no seria possible perquè es requereix un cert nivell de control i supervisió del que està realitzant l'equip i en un model comercial això no és possible, ja que seria com una caixa negra. En comptes de fer ús un model comercial es va plantejar l'opció de desenvolupar internament en l'empresa un sistema per dur a terme les funcions d'EVSE per a càrrega AC, posant el focus en els assajos de llarga duració que executa el departament de test ambiental. El banc de durabilitat que s'està dissenyant en aquesta memòria serà el projecte pilot que implementarà aquest concepte.

En el capítol 6.4 d'aquesta memòria es detallarà el disseny *hardware* realitzat del EVSE Mode 3. En el 7.4 capítol d'aquesta memòria es veurà l'eina *software* desenvolupada per controlar el dispositiu i que aquest executi les tasques per les quals ha estat dissenyat. El banc de durabilitat incorpora un EVSE Mode 3 per cobrir el requeriment de generar el senyal *control pilot*.

6.3.1.7 Simulador del bus CAN

Pel que fa al simulador del bus CAN s'està en la mateixa situació que en el banc paramètric, tenen el mateix requisit (ReqHW7) el qual especifica que es requereix un dispositiu capaç de controlar aquest bus de comunicació. Com s'ha vist en el banc paramètric en aquest punt cobra més importància l'eina *software* que el *hardware* que s'utilitzarà com a interfície amb el bus. Per a les mateixes raons es farà servir la mateixa eina *software* per simular el bus

CAN, el *software* CANoe de la companya alemanya Vector Informatik. En aquest cas no es farà ús del programa addicional per al disseny dels casos de test, el vTestStudio, sinó que es programaran els diferents modes d'operació mitjançant únicament CANoe.

Tal com es va veure en el banc paramètric el *software* CANoe és compatible únicament amb el *hardware* de la mateixa companya Vector, per tant, s'ha de seleccionar un model del seu catàleg. En aquest banc tindrem 3 OBCs els quals tenen un CAN principal per comunicar amb el vehicle i un de desenvolupament per extreure dades addicionals. Per al banc de durabilitat aquests segons CANs addicionals no s'utilitzaran, ja que quan l'OBC estigui en fabricació aquesta CAN no estarà equipada en el *hardware*. A més a més es requeria un CAN extra per a obtenir les dades d'un dels equips que es veuran en una secció posterior: el mesurador de corrent de consum. En resum, seran necessaris 4 canals de CAN, per tant, es farà servir la VN1630A amb 2 CAN *piggys* extra com en el cas del banc paramètric.

6.3.1.8 Sistema DAQ

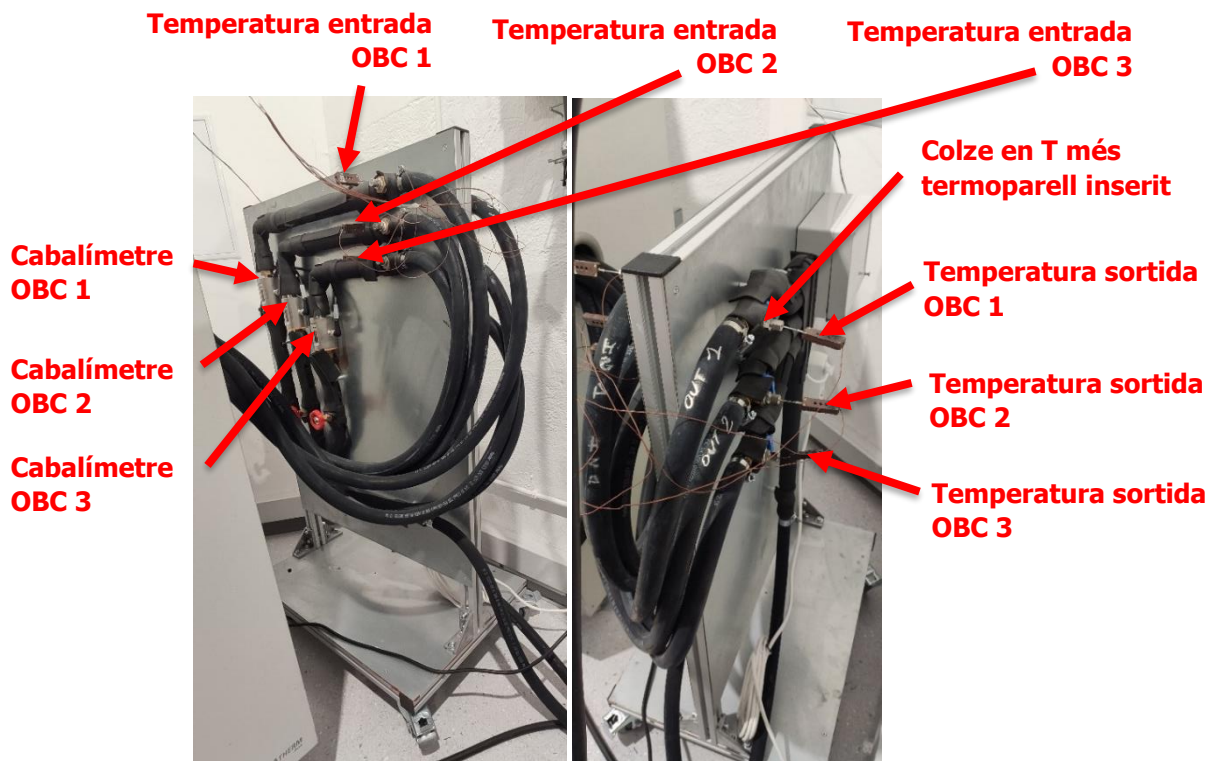
El sistema DAQ fa referència a l'equip d'adquisició de dades el qual està especificat en el ReqHW12, equip per mesurar i enregistrar els voltatges i corrents definits en els ReqHW 13 al 19. Com s'ha vist en altres punts del disseny l'equip DAQ ha de ser capaç d'enregistrar les mesures especificades de 3 OBCs (ReqHW10). L'equip escollit és el Keysight DAQ970A, el model més senzill del catàleg del fabricant americà. Tenim un DMM de 6 dígit i mig amb una precisió del 0.003% en mesures de voltatge DC, fins a 120 canals de mesura dividits en 3 mòduls i una eina per a PC molt completa que permet enregistrar i visualitzar les mesures realitzades. El fabricant compta amb diferents mòduls segons el tipus de mesura requerida, els que s'utilitzaran són els DAQM901A, 20 canals de mesura de voltatge, resistència i temperatura a 2 fils més per 2 mesures de corrent.

A continuació es detallen les mesures a realitzar:

- Mesures de la tensió AC de cadascuna de les línies dels OBCs, ReqHW13. Aquesta mesura es realitzarà directament amb l'equip, ja que disposa d'un rang de fins a 300 V i el valor nominal del OBC és de 230 V entre línia i neutre. La precisió especificada pel fabricant en aquest rang és inferior als 0,1 V del requeriment. S'utilitzaran 12 canals de mesura de voltatge a 2 fils per aquestes mesures.
- Mesures dels corrents AC en cadascuna de les línies d'entrada als OBCs, ReqHW14. El rang de mesura de l'equip i el nombre de canals impossibilita realitzar aquesta mesura directament amb l'equip. S'utilitzaran els transductors de Seneca T201DCH100 per a totes les mesures. Aquets transductors permeten mesurar fins a 100 A amb una precisió del 0,5% i proporcionen la mesura de corrent a través d'una sortida de voltatge lineal de rang 0 a 10 V i 12 bits de resolució. Es faran servir 12 canals de mesura de voltatge a 2 fils per aquestes mesures.
- Mesures del voltatge d'alimentació de baixa tensió dels OBCs, ReqHW15. Aquesta mesura es realitzarà directament amb l'equip i s'utilitzaran 3 canals.
- Mesura de la tensió a la sortida dels OBCs, ReqHW16. El rang màxim de l'equip és 300 V i el requeriment demana 500 V, per tant, no és possible una mesura directa. Per a realitzar aquesta mesura s'utilitzarà el port analògic de la font d'alimentació DC bidireccional. Els equips de la gamma EA PS i PSB 9000 disposen d'un port analògic per monitoritzar i controlar el dispositiu, en aquesta aplicació únicament es farà ús la mesures de la tensió i del corrent que està processant

l'equip. El port estarà configurat per generar una tensió de 0 V a 10 V DC sent 0 V el valor mínim de la tensió en la sortida de l'equip (0 V) i 10 V el valor màxim de tensió que l'equip pot subministrar (750 V). Es farà ús de 3 canals de mesura de voltatge a 2 fils per aquestes mesures.

- Mesura del corrent de sortida de cadascun dels OBCs, REqHW17. L'equip no és capaç de realitzar aquesta mesura, se seguirà la mateixa estratègia que en el cas anterior, utilitzar el port analògic de la font d'alimentació DC bidireccional. En aquest també es tindrà una tensió de 0 V a 10 V que relacionarà el corrent amb el rang de l'equip, 0 V a 0 A i 10 V 60 A. Es farà servir 3 canals de mesura de voltatge a 2 fils per aquestes mesures.
- Mesura de la temperatura del líquid refrigerant a l'entrada i sortida dels OBCs, ReqHW18. L'equip té la capacitat de mesurar la temperatura a través de varis tipus de sensors; per aquesta mesura s'utilitzaran termoparells del tipus T. S'instal·laran uns colzes en T a la entrada i sortida de les canonades que van i tornen del circuit de refrigeració de l'OBC banc de test. En les T s'instal·larà el termoparell utilitzant un tap especial per a aquesta finalitat. En la Il·lustració 22 es mostra aquesta instal·lació. Es farà ús de 6 canals de mesura configurats per mesurar la temperatura.
- Mesura del cabal de líquid refrigerant que circula per l'OBC, ReqHW19. L'equip no és capaç de realitzar mesures de cabal, per aquest propòsit s'ha d'utilitzar un sensor extern que traslladi el cabal a una magnitud elèctrica. Per aquesta finalitat es farà servir el cabalímetre del fabricant ifm SM 7000, un model de la sèrie de mesura magneto inductiu que no interfereix amb el líquid refrigerant. L'equip mesura de 0,2 l/min a 50 l/min amb una resolució de 0,1 l/min dins del rang requerit. L'equip té la capacitat de mesurar la temperatura del líquid, però només equipa una sortida analògica la qual es connectarà al DAQ per mesurar la magnitud seleccionada, per tant, únicament es farà servir per a la mesura del cabal. La mesura en el DAQ es farà a través d'un senyal analògic de 0 V a 10 V per a un cabal de 0 l/min a 50 l/min. En la Il·lustració 22 és mostra una fotografia del banc auxiliar on estan muntades tots els elements de mesura del sistema de refrigeració per als OBCs. Es farà ús de 3 canals de mesura de voltatge a 2 fils per aquestes mesures.
- Addicionalment s'afegiran 5 mesures de temperatura de l'interior de l'equip de test (cambra climàtica) per simplificar la sincronització de dades en la fase d'execució dels assajos. Les mesures es faran amb termoparells de tipus T.



Il·lustració 22. Fotografia de la instal·lació de les mesures de temperatura i cabal pel circuit de refrigeració dels OBCs.

6.3.1.9 Sistema MUX

El sistema MUX és un equip complementari a la LV Box per realitzar el control remot de la mateixa (ReqHW6). La finalitat de fer-ho servir és possibilitar la realització d'una eina automàtica que executi els diferents modes d'operació de l'OBC.

En el banc paramètric un mateix equip executava les tasques de DAQ i MUX, en canvi, al banc de durabilitat són 2 equips separats. Aquesta diferència és deguda a la finalitat de l'equip DAQ en el banc durabilitat. El DAQ és un equip que ha d'estar enregistrant contínuament un seguit de dades, la freqüència d'adquisició estarà entre els 0,2 Hz els 0,033 Hz, però per evitar la pèrdua de dades aquest equip sol opera en mode aïllat o *stand alone*. Utilitza una eina *software* independent a la que gestiona l'OBC. Per aquest motiu en el banc de durabilitat es tindrà un equip per a cada tasca. En el banc paramètric la recollida de dades del DAQ no es crítica, ja que l'objectiu és l'execució del FT2.

L'equip MUX seleccionat és el NI PCI 6513, una targeta PCI que estarà introduïda directament en l'ordinador basat en Windows on s'executaran la majoria d'eines *software* desenvolupades en la secció 6 del projecte. És una targeta de 64 sortides digitals organitzada en 8 port de 8 canals cadascun. La targeta ha de ser capaç de treballar amb una tensió aplicada externament, és a dir, no genera cap nivell de tensió, així com treballar amb una referència externa, en aquest cas el voltatge de la LV Box. Segons el seu fabricant la targeta suporta fins a 30 V i 475 mA per canal, suficient per als acobladors òptics de 12 V de la LV Box.

Existeixen 2 models amb aquestes característiques la 6512 i la 6513, la diferència està si el canal de sortida es connecta a l'emissor o a la col·lector del BJT del *hardware* d'aquesta. En el procés de disseny del banc primer es va dissenyar la LV Box i posteriorment es va seleccionar el model de targeta ja que a causa d'una falta d'informació inicialment no és tènica clar quin model era l'adequat. Degut a això la LV Box incorpora un selector per a configurar

quin model de targeta s'utilitza. La diferència està en els pins COM, VCC (referència de tensió) i GND. En el cas de la 6512 el COM és el GND i en la 6513 el COM és el VCC. En la Il·lustració 21 estan els selectores per a realitzar aquesta diferenciació. Finalment, el model correcte per tancar el circuit de l'acoblador òptic fent ús de la massa és el 6513 en conseqüència s'han configurat els selectores de totes les caixes en aquest mode A, segons la Il·lustració 21.

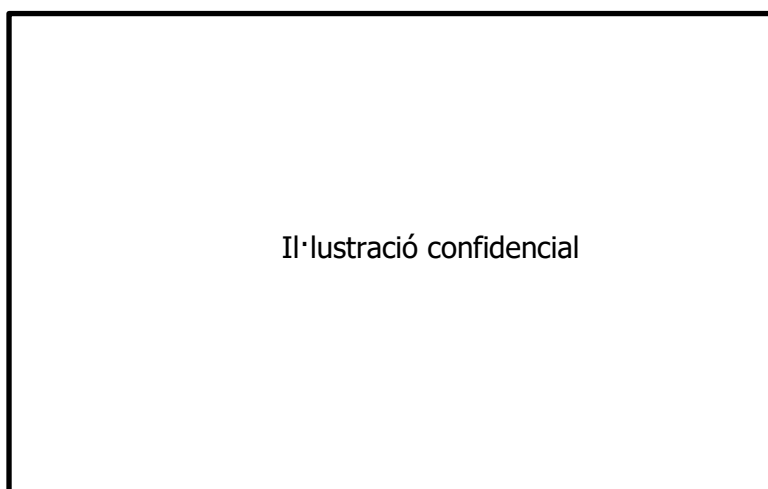
6.3.1.10 Mesurador del corrent de consum

Per al banc de durabilitat, segons el llistat de requisits, no aplica el ReqHW23.1, que demana mesurar el consum de corrent de l'OBC específicament en el test FT2. Tot i no tenir requeriment es muntarà un equip CMM de 3 canals en el banc de durabilitat. L'equip escollit és el mateix que en el banc paramètric, un IRS CMM III. L'equip serà de 3 canals ja en el banc si assajaran 3 OBCs en paral·lel, per tant, és necessari un canal per a mesura cada el consum de cada OBC (ReqHW10).

6.3.1.11 Distribució elèctrica del banc d'assajos

Per al banc de durabilitat s'ha realitzat un nou disseny de la distribució elèctrica i les connexions internes de potència. El propòsit del banc i la utilització de la xarxa elèctrica general com l'entrada AC de l'OBC, prescindint com s'ha vist de la font d'alimentació AC, han comportat dur a terme un disseny nou. El concepte seguit ha sigut la simplicitat com en els altres equips del banc i s'han reaprofitat part dels conceptes del banc paramètric. A tot això, en aquest apartat, cobra molta rellevància el ReqHW10 ja que el banc ha d'assajar 3 OBCs en paral·lel i qual cosa implica triplicar molts dels elements.

Pel que fa als requisits assignats a la distribució elèctrica del banc, tenim el ja mencionat ReqHW10 i el ReqHW4, que fa referència a tenir un control de la connexió elèctrica de la xarxa elèctrica de l'OBC. Per possibilitar aquest requisit s'instal·larà un contactor de potència trifàsic (3 línies més neutre) en l'esquema de potència del banc.



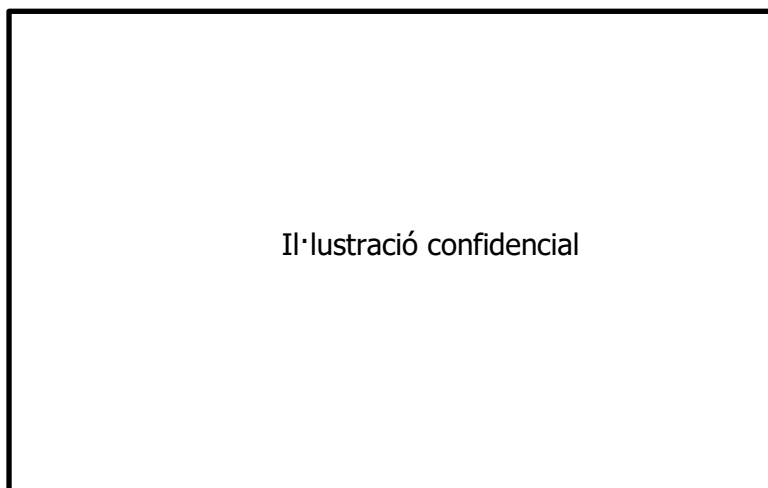
Il·lustració 23. Esquema de potència del banc de durabilitat.

En la Il·lustració 23 és mostra l'esquema de potència del banc de durabilitat. Es parteix de l'entrada AC del banc on primerament se situa el contactor de seguretat el qual actuarà en el cas d'una parada d'emergència. Seguidament, la línia es divideix en 3, una per a cada OBC, i es situen els 2 elements de protecció elèctrica. En el cas del banc de durabilitat s'han simplificat aquests elements de protecció en relació amb el banc paramètric i únicament

s'instal·la un diferencial de 48 A i un interruptor magnetotèrmic o ICP de 48 A. El següent element és el contactor trifàsic per tenir un control de l'estat de connexió de la tensió AC a l'entrada de cadascun dels OBCs. Aquest element és nomenat Kx on la x simbolitza el número de l'OBC sobre el que actuarà.

Aquests contactors són governats per tensió AC i els sistemes de control utilitzats son DC a 24 V, per tant, s'instal·laran uns relés auxiliars la bobina dels quals treballarà a 24V per realitzar el control. En el contacte estarà la tensió AC de 230 V obtenint així un aïllament elèctric entre ambdós nivells de tensió.

Entre el contactor i la sortida del banc se situaran els punts de mesura de la tensió i corrent de les línies AC per a cadascun dels OBCs tal com s'ha vist en la secció del DAQ en el disseny del banc de durabilitat. Cal esmentar que els transductors de corrent han de ser alimentats entre 12 V i 28 V DC i que en aquest banc s'utilitzarà la font de 24V de la qual ja es disposa. Per connectar el cablejat cap als OBCs, a la sortida del banc es faran servir bornes de cargol igual que en el banc paramètric. Són les ideals per la facilitat per canviar els cablejats, el baix preu, la no necessitat de retreballar el cablejat per afegir-hi algun tipus de connector i la molt baixa resistència (mínimes perdudes elèctriques).



Il·lustració 24. Esquema de controls i sistema de seguretat del banc de durabilitat.

Pel que fa a la sortida dels OBCs cap al banc, a l'entrada se situaran igualment bornes de caragol i seguidament els elements de seguretat elèctrica. En aquest banc també s'han minimitzat les proteccions elèctriques i únicament es posarà un ICP de 100 A, el CENOE B1-125. Per acabar amb l'esquema de potència es prescindirà dels contactors de seguretat que van muntats en el banc paramètric i es connectarà la sortida de l'ICP directament a l'equip que dur a terme les tasques de bateria d'alta tensió del vehicle. Per a les mesures de tensió i corrent es connectaran els pins especificats del port analògic de la font d'alimentació bidireccional DC a canals de mesura de voltatge de l'equip DAQ.

En la Il·lustració 24 es mostra l'esquema de controls dels elements de potència del banc de durabilitat. En aquest cas s'ha prescindit del doble sistema de seguretat PILS per motius externs a aquest projecte, però seria convenient muntar-los. El fet és que únicament es disposa d'un polsador per a la parada d'emergència. Aquest actuarà sobre el relé auxiliar dels contactors Kx i sobre el contactor KEM. El contactor KEM tallarà l'alimentació AC dels OBCs i de les fonts d'alimentació bidireccionals DC.



Il·lustració 25. Esquema distribució elèctric del banc de durabilitat.

Pel que fa als controls dels contactors Kx de cadascun dels OBCs es tindran 3 possibilitats. La primera un interruptor manual situant en la part fornal del banc el qual si s'acciona forçarà a *on* l'entrada AC de l'OBC. La segona possibilitat de control serà un control automàtic per part del *software* seqüenciador dels modes d'operació que actuarà a través de l'equip MUX i la LV Box. El tercer control serà per part de l'equip EVSE. Per seleccionar si s'utilitza control per part de l'EVSE s'ha afegit un interruptor el qual permet seleccionar si el contactor es governa a través de l'EVSE o de l'interruptor manual situat en paral·lel amb el control automàtic del MUX. Com es veurà, l'EVSE és un equipament extra del qual no se'n farà ús en tots els assajos amb la qual cosa es podrà seleccionar per part de l'usuari del banc si se li dona el control de l'entrada AC dels OBCs o no.

Per finalitzar amb la distribució elèctrica del banc de durabilitat es veurà la distribució de la xarxa elèctrica en el banc, la qual es mostra en la Il·lustració 25. El banc es connectarà a la instal·lació elèctrica de les sales d'assaig mitjançant una pressa Schuko de 16 A per línia. A l'entrada del banc es situarà un interruptor general de desconexió el qual haurà de permetre el bloqueig en mode apagat. Quan es manipuli el banc l'interruptor s'ha de bloquejar per no permetre que li arribi alimentació i evitar accidents.

De l'interruptor general el circuit es divideix en 2 subcircuits. D'una banda hi ha el contactor de seguretat trifàsic KEM de 80 A i d'altra la línia monofàsica a la qual es connectaran la resta d'equips de test. Per a la línia monofàsica s'instal·larà un ICP de 16 A per a la seva desconexió, aquest no serà accessible des del fontal del banc i se situarà en un dels laterals, ja que habitualment la seva manipulació no serà necessària.

Pel que fa al KEM d'ell penjaran els circuits de potència per a l'entrada dels OBC que s'han vist a l'inici d'aquesta secció i l'alimentació de les fonts d'alimentació bidireccional DC.

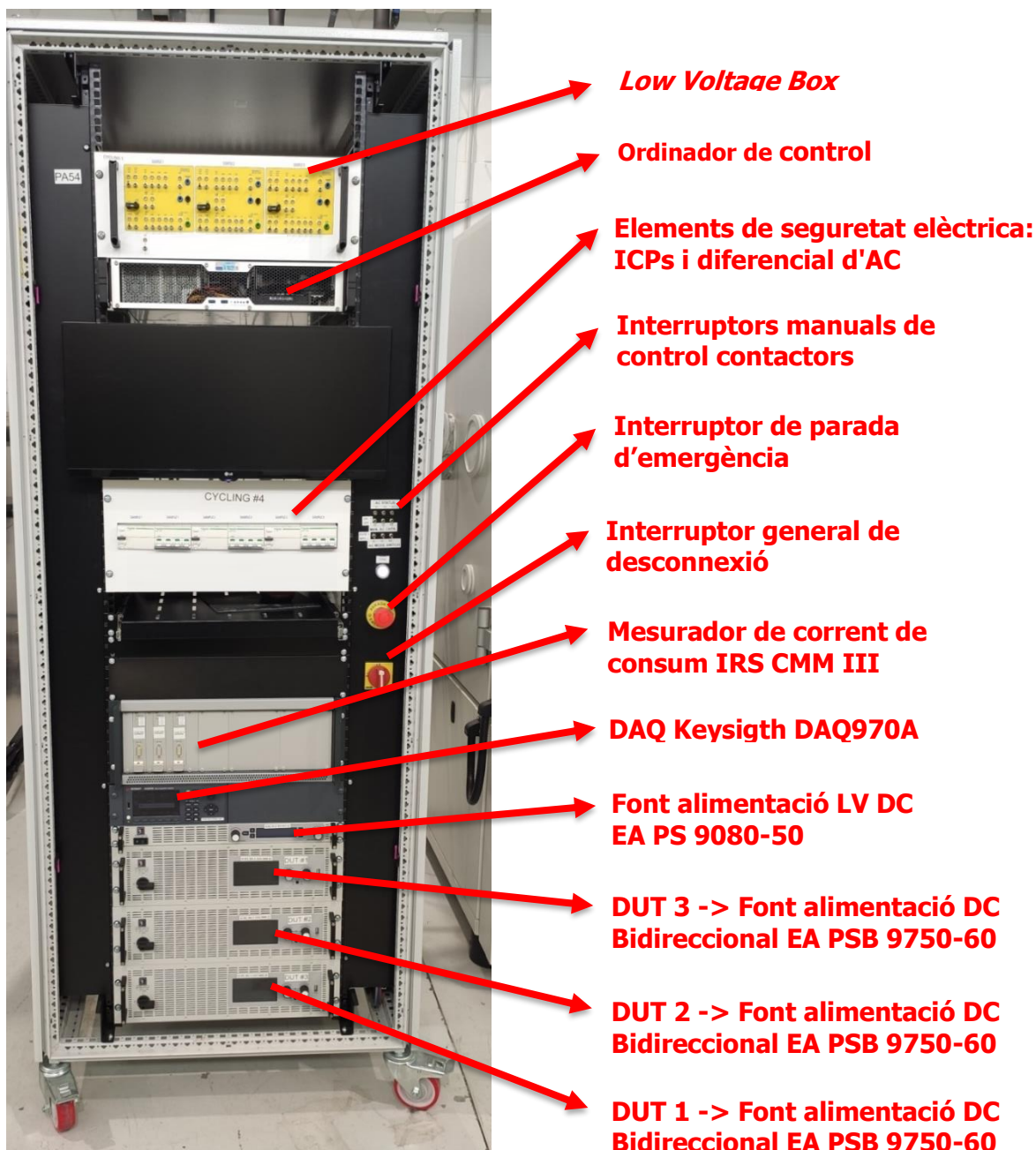
Per acabar s'ha de comentar que igual que en el cas del banc paramètric l'equip de refrigeració se situarà externament al banc, en un banc auxiliar que comptarà amb una font per alimentar els mesuradors del cabal. El banc auxiliar serà exactament igual que el del banc paramètric, però amb la possibilitat de connectar 3 OBCs amb 3 mesuradores de cabal i sondes de temperatura del líquid independents. En la Il·lustració 22 es mostra una fotografia del muntatge d'aquest banc auxiliar.

6.3.1.12 Factor de forma del banc

El factor de forma del banc d'assajos de durabilitat serà exactament el mateix que en el banc paramètric. S'utilitzarà un armari industrial del fabricat Rittal de 19 polsades, 42 U

d'altura, 15 cm d'amplada extra per cada lateral i rodes. El motiu fonamental és la facilitat de desplaçament que aporta aquest tipus d'estructura que és un dels requeriments que ha de complir el banc (ReqHW11).

El muntatge dels elements i equips en l'estructura del banc serà similar. En el centre es muntaran els equips i els perifèrics de l'ordinador de control i en els laterals s'instal·larà el circuit elèctric de potència del banc. En el muntatge d'aquest banc, en la part inferior s'instal·laran sempre els equips/elements més pensats per facilitar el seu desplaçament i evitar que poguï bolcar, és a dir evita accidents.



Il·lustració 26. Fotografia del banc d'assajos de durabilitat identificant els equips que el conformen.

En la Il·lustració 26 es presenta una fotografia de la part frontal d'uns dels diversos bancs de durabilitat que s'han fabricat per executar la validació de l'OBC. En la fotografia estan identificats tots els elements que s'han vist en les seccions anteriors. Els 2 que no són visibles serien el MUX que és una targeta inserida en l'ordinador no és visible des de la part frontal i la interfície CAN que està situada en la part posterior.

6.3.2 Assignació de requisits

Per finalitzar amb la secció del disseny del banc de durabilitat es repassarà el llistat de requisits vist juntament amb l'assignació de l'equip o element del banc que compliran aquesta funció. Es marquen amb un * els requisits que requereixen diversos elements del banc:

- Font d'alimentació AC: ReqHW3, ReqHW8.
- Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW1, ReqHW2, ReqHW10* i ReqHW24.
- Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
- Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
- LV BOX: ReqHW6 i ReqHW10*.
- Simulador de bus CAN: ReqHW7 i ReqHW10*.
- Sistema DAQ: ReqHW10*, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18 i ReqHW19.
- Sistema MUX: ReqHW6*.
- Mesurador del corrent de consum: ReqHW10* i ReqHW23.1.
- Distribució elèctrica del banc d'assajos: ReqHW4 i ReqHW10*.
- Factor de forma del banc: ReqHW11.
- Requeriments que no apliquen en aquest banc d'assajos: ReqHW22, ReqHW23.2, ReqHW23.3, ReqHW23.4, ReqHW23.5, ReqHW23.6 i ReqHW23.7.

6.3.3 Pressupost del banc

El cost del banc d'assajos serà confidencial per a l'empresa del sector de l'automoció.

6.4 Disseny HW d'un EVSE Mode 3

En aquesta secció s'exposarà la motivació i disseny d'un EVSE Mode 3 per a assajos de durabilitat i robustesa en OBCs. Com hem vist en seccions anteriors, en la càrrega del vehicle elèctric l'EVSE és l'equipament que li subministra l'alimentació per carregar la bateria, ja sigui a través de l'OBC o a través d'un EVSE amb carregador extern per la càrrega ultraràpida.

En l'ISO 15118 i l'IEC 61851, es defineixen 4 tipus de modes per realitzar la càrrega segons la situació, és a dir, un EVSE Mode x fa referència a un equip que permet la càrrega segons condicions així definides en la normativa. Els modes serien:

- Mode 1: Càrrega lenta ocasional (AC). Es connecta el vehicle directament en l'endoll domèstic estàndard com si es tractés d'un electrodomèstic més i no compta amb cap protecció addicional. És un mode pensat per a vehicles amb capacitats de bateria molt reduïdes (tipus vehicles de mobilitat personal o ciclomotors elèctrics) o com a càrrega d'emergència, ja que la potència és inferior als 2 kW.
- Mode 2: Càrrega lenta (AC). El vehicle es connecta a la xarxa mitjançant un cable el qual equipa una gestió de la càrrega i elements de seguretat elèctrica. Aquest

mode en la norma europea IEC 61851 està limitat a 32 A per línia i habitualment serà càrrega monofàsica a 7,3 kW de màxima potència. A aquest mode els OEM l'anomenen mode de càrrega d'emergència utilitzant l'EVSE portàtil que subministra amb el vehicle.

- Mode 3: Càrrega estàndard (AC): El vehicle es connecta xarxa mitjançant una piona o estació de càrrega la qual equipa una gestió de la càrrega i elements de seguretat elèctrica més avançats que en el mode 2. És una càrrega en AC com en el mode 2, però la potència de càrrega per a Europa arriba als 63 A per línia, és a dir fins a 44 kW tot i que l'habitual són 11 kW o 22 kW en línia trifàsica. En aquest mode l'estació de càrrega pot arribar a subministrar fins als nivells de potència descrits, però el limitant serà la potència màxima que pot processar el carregador integrat del vehicle, OBC.
- Mode 4: Càrrega ràpida o ultraràpida (DC). És un mode de càrrega a elevada potència des dels 50 kW als 300 kW o més, el limitador aquí és la capacitat de càrrega de la bateria del vehicle. En aquest mode tant el carregador com la piona són externs al vehicle i es connecten directament a la bateria per carregar-la utilitzant tensió continua. El connector és especial per suportar aquests nivells de potència i segons la regió geogràfica aquest canvia significativament igual que el protocol, ja que aquest mode requereix una comunicació digital entre el cotxe i l'estació de càrrega.

Una vegada identificats els diferents modes de càrrega es podrà contextualitzar el concepte d'EVSE que es dissenyarà i els motius per no utilitzar un equip comercial. Es dissenyarà un EVSE per a càrrega en AC a la màxima potència possible, per tant mode 3, però la potencia elèctrica i els elements de protecció no formaran part de l'EVSE. Com s'ha vist en els dissenys dels bancs, aquests elements formen part dels bancs d'assaig. Sense aquests elements a un EVSE li queda la funcionalitat de gestió de la càrrega i és precisament aquesta la finalitat de l'EVSE que es dissenyarà.

En requerir únicament la funcionalitat de gestió de la càrrega, un EVSE comercial s'hauria de retreballar per poder ser integrat en el banc. Tot i això, existeix una altra limitació, el *software* seria una caixa negra inaccessible. Es necessita un *software* pensat per assajar OBCs i poder ser modificat. Els OBCs al ser assajats poden tenir *bugs* i limitacions importants en el *software* durant les fases de desenvolupament, les quals podrien generar un mal funcionament en l'EVSE. És importat poder realitzar petits ajustos en l'EVSE si es requereix.

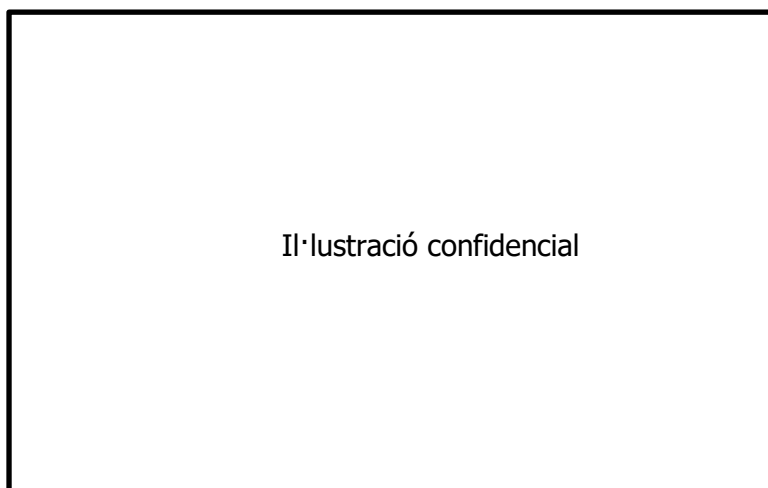
La idea és utilitzar l'EVSE en els assajos de durabilitat o sempre que es requereixi reproduir més fidelment les condicions reals d'un vehicle carregant. Els objectius de l'EVSE seran, per una banda, generar el senyal del *control pilot* sense cap classe de control de la càrrega, com en el banc paramètric. Per l'altra, tenir la capacita d'arrencar en mode automàtic i gestionar la càrrega de forma autònoma, és a dir, reproduir les condicions reals de la càrrega.

Detallant més el segon objectiu, es tracta de la detecció de la connexió de l'EVSE al vehicle mitjançant la lectura del senyal *proximity detection* i d'iniciar el procediment de càrrega, sense aportar cap limitació en potencia, ja que el banc està preparat per assajar els OBCs a plena càrrega i la gestió de la potència entregada recau sobre l'eina de test, que és la responsable de regular els modes d'operació.

A continuació es veurà el disseny de l'equip dividit en 2 seccions una per a cadascun dels objectius marcats.

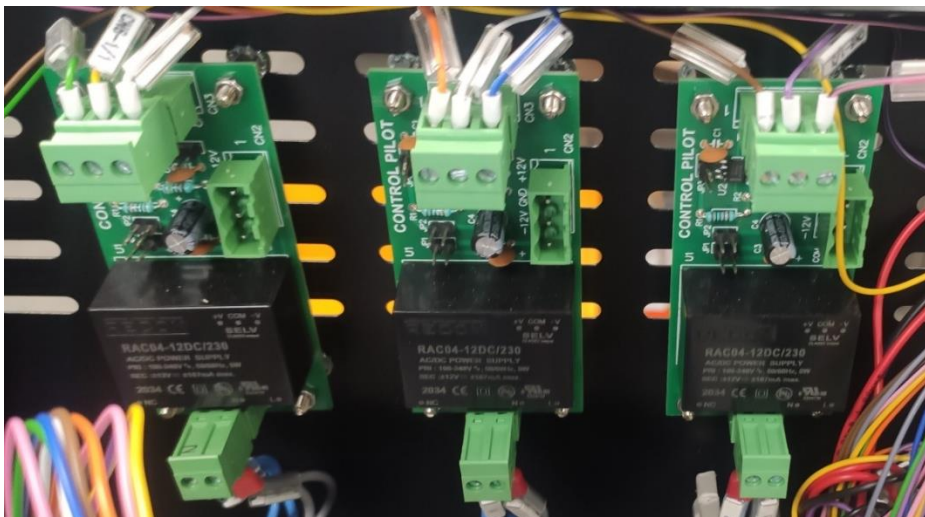
6.4.1 Senyal *Control Pilot*

El disseny de l'EVSE es començarà pel primer objectiu, el senyal *control pilot*. Com a recordatori es tracta d'un senyal polsat de 24 V d'amplitud pic a pic, centrada a 0 V, freqüència 1 kHz i amb cicle de treball variable. Es necessita una solució de baix cost i escalable, ja que cada OBC del banc requereix el seu senyal. En el mercat no hi ha cap solució econòmicament viable, per tant, es va optar per dissenyar un *hardware* propi. L'entrada seria un senyal polsat de la freqüència especificada i cicle de treball desitjat però amb un nivell de tensió 5 V TTL (*Transistor-Transistor Logic*). A la sortida es tindria el mateix senyal pel que fa a freqüència i cicle de treball però amb els nivells de tensió requerits per al senyal *control pilot*. L'arquitectura proposada és una font simètrica de ± 12 V connectada a un amplificador operacional, actuant com a comparador, les entrades del qual serien el senyal polsat i la sortida d'un divisor de tensió regulat a 2,5 V. El model d'amplificador és l'OPA171AID de Texas Instruments, un dels xips més utilitzats en els EVSEs per a aquesta tasca. Pel que fa a la font de sortida de ± 12 V es farà servir una font commutada d'entrada AC i aïllament galvànic entre l'entrada i la sortida. El model seria el RAC04-12DC/230 del fabricant Recom. Quant al divisor de tensió té com a tensió d'entrada els +12V de la Recom i les resistències R1 (10 k Ω) i R2 (2,4 k Ω) s'han seleccionat per a tenir un valor aproximat a la meitat de la tensió polsada d'entrada, 2,32 V teòrics. A aquest disseny se l'ha anomenat control pilot PCB.



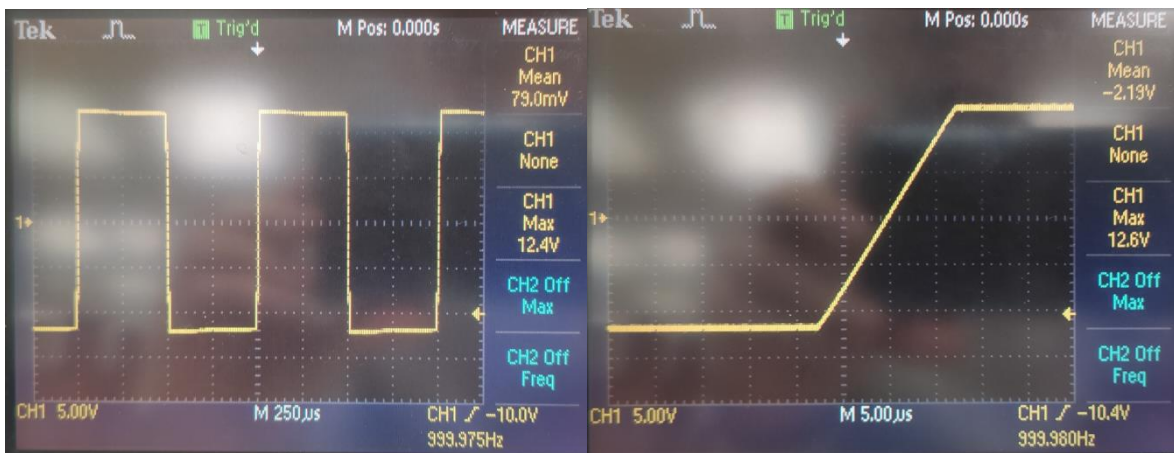
Il·lustració 27. Circuit esquemàtic del Control Pilot PCB V1.

A l'Il·lustració 27 es mostra l'esquemàtic final de la PCB al qual se li han afegit una sèrie de condensadors per estabilitzar senyals en l'operacional. A l'Il·lustració 28 tenim una fotografia de 3 control pilot PCBs instal·lades en un banc de durabilitat. A l'Il·lustració 29 es mostren unes captures realitzades amb un oscil·loscopi del sistema funcionat amb un cicle de treball del 50% i el detall del *sleew-rate* o temps de la rampa de pujada que seria d'aproximadament de 10 μ s, el valor límit de l'error especificat, per tant, seria acceptable, tenint el comportament esperat al límit de l'especificació.



Il·lustració 28. Fotografia de 3 controls pilot PCBs instal·lades en un banc durabilitat.

El concepte de funcionament seria el següent, quan el senyal polsat d'entrada està a nivell alt, és a dir 5V, aquest valor és més elevat que els 2,3 V del divisor de tensió, per tant, en la sortida de l'operacional tenim els +12 V de la Recom. En el moment de la transició de 5 V a 0 V en el senyal d'entrada, quan es creua les 2,3 V del divisor la sortida de l'operacional passa de +12 a -12 V.



Il·lustració 29. Captures d'oscil·loscopi de la control pilot PCB funcionat al 50% del cycle de treball.

Per generar el senyal polsat d'entrada a la control pilot PCB es necessitarà un dispositiu que generi un senyal polsat de 5 V TTL. Aquest senyal té uns nivells de tensió molt comuns i en el mercat hi ha multitud d'opcions per poder generar-la. Per exemple, un generador de funcions bàsic, una placa amb un arduino o mòduls de sortides digitals amb una freqüència de refresc de les sortides ràpida. La velocitat de refresc mínima necessària seria de $50 \mu s \pm 10 \mu s$. Aquest valor surt de poder generar un pols del 5% del cycle de treball amb un error menor a l'1% trasladant en temps aquest error a la forma d'ona d'1 kHz (1 ms).

El dispositiu seleccionat és la targeta de Nacional Instruments NI-9403, un dispositiu de 32 canals configurables d'entrada/sortida a nivell 5 V TTL i amb una freqüència de refresc de 7 µs. És un mòdul de la sèrie compac DAQ o compact RIO de la companya americana, això implica que ha de ser instal·lat en un xassís d'aquesta sèrie per poder ser utilitzada. El fabricant

National Instruments ofereix varies possibilitats, des de models bàsics que proporcionen l'accés a les entrades/sortides de la targeta, passant per models que integren una FPGA, o un controlador a temps real més la FPGA.

Per al tipus d'aplicació, amb el xassís bàsic de la gamma no es pot obtenir la velocitat desitjada en el control de la targeta, per tant, s'ha d'optar per un model amb una FPGA. El programa a implementar no demandarà molta àrea en la FPGA perquè la complexitat és baixa, en conseqüència, s'ha optat pel model amb la FPGA més bàsica de la gamma, el NI-9174. És un xassís de 4 targetes, connexió *ethernet* amb el controlador màster (PC) i una FPGA del fabricant Xilinx, el model Zynq-7000. La FPGA compta amb 106.400 *Flip-Flops*, 53.200 *Look Up Tables* i 4480 kbts de memòria RAM la qual serà més que suficient per emmagatzemar el programa requerit.

6.4.2 Funcionalitat de gestió de la carrega

El segon objectiu, la gestió automàtica de la càrrega, és més un objectiu per a l'eina *software* que del disseny *hardware* de l'equip, però l'eina requereix adquirir certa informació i tenir certs controls per arribar a ser capaç de gestionar la càrrega de manera autònoma. En aquest punt es veurà el *hardware* de mesura i control per aquests senyals i en el punt 7.4 de la memòria es veurà l'eina *software* que ho gestiona de forma autònoma.

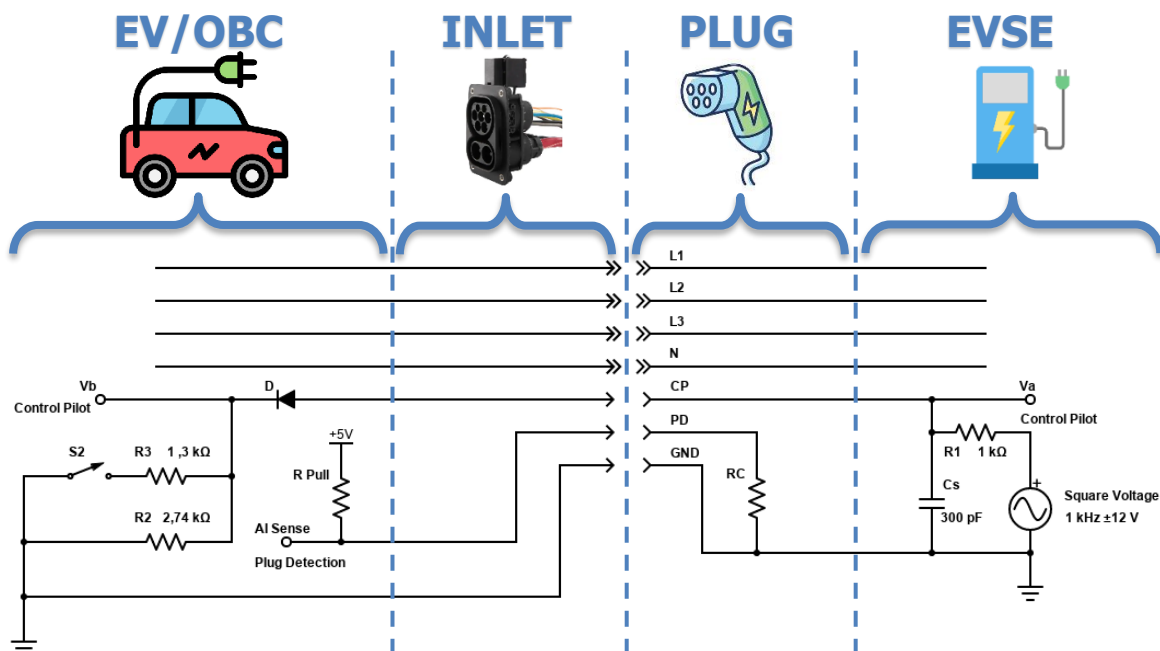
L'EVSE ha de poder controlar el senyal del *control pilot* i el on/off de la tensió d'entrada AC de l'OBC. Per a la primera, queda resolt amb la primera part de l'EVSE, ja que l'eina *software* és l'encarregada de generar el senyal polsat de 5 V d'entrada a la PCB dissenyada.

Per a la segona, s'ha dissenyat l'esquema de potència del banc durabilitat perquè l'EVSE tingui control dels relés auxiliars dels contactors de la tensió AC d'entrada (Kx) que equipa el banc, tal com s'ha vist en la Il·lustració 24. Il·lustració 24. Esquema de controls i sistema de seguretat del banc de durabilitat. Des de l'EVSE és dedicaran els canals restants de la targeta NI-9304 per a aquest propòsit. La targeta disposa de 32 canals de sortida digital a 5 V dels quals 3 es dediquen als senyals polsats d'entrada de les control pilot PBCs, tenint 29 canals sobrants. Aquest control únicament requereix una sortida digital i no té cap requeriment de velocitat, per tant, la targeta es vàlida. La targeta té una sortida a 5 V i el control del banc es realitza a través dels 24VE2 de la sortida del sistema PILZ. A part de ser un senyal de 24 V és la sortida del sistema de parada d'emergència on l'EVSE és part d'aquesta. Per tant, s'ha de fer una traducció del senyal de 5 V a la 24VE2. Això es farà mitjançant uns relés auxiliar on la bobina es connectarà als 5 V de la targeta NI i el contacte als 24VE2. Per aquest control es podria haver plantejat d'integrar una targeta extra al xassís de la NI-9174 per gestionar directament el senyal 24VE2, però com es tenien canals sobrants en la 9403 i era possible la instal·lació del relé auxiliar s'ha apostat per aquesta solució que té un menor cost final.

Pel que fa als senyals que l'EVSE requereix adquirir serien el *proximity deteccion* i el *control pilot*, però a la sortida del banc, no el de sortida de la PCB dissenyada. El propòsit de la mesura del *proximity deteccion* és detectar la connexió de la mànega de carrera al vehicle que ha d'iniciar el procediment de càrrega. L'OBC generarà un senyal de 5 V de tal manera que en tancar el circuit amb la LV Box (en el vehicle seria connectar la mànega de càrrega) s'alimenta un divisor de tensió. En la Il·lustració 30 s'ha dibuixat el circuit que planteja l'IEC 61851 el qual és molt similar al de les altres normatives. Mesurant aquesta tensió es pot determinar si la mànega de càrrega està o no connectada i en el cas que sí aquest nivell de tensió té unes implicacions en el tipus de càrrega que canvien lleugerament segons la norma utilitzada. Segons la normativa aquesta mesura no l'ha de realitzar l'EVSE, però com es tracta d'un EVSE per al desenvolupament d'OBCs el *proximity deteccion* que detecta l'OBC és una dada important a mesurar per poder realitzar accions, si s'escau.

En el cas de l'IEC 61851 es planegen 4 possibles valors per la resistència RC del divisor de tensió els quals repercuteix en 4 nivells de tensió vàlids per procedir amb la càrrega. Aquests nivells de tensió indiquen el corrent màxim AC que admet la mànega utilitzada segons el següent llistat:

- RC = 100 Ω implica fins a 63 A per línia AC trifàsica o 70 A en mode monofàsic.
- RC = 220 Ω implica fins a 32 A per línia AC.
- RC = 680 Ω implica fins a 20 A per línia AC.
- RC = 1k5 Ω implica fins a 13 A per línia AC.



Il·lustració 30. Esquema d'alt nivell del circuit proposat en la IEC 61851 per a les senyals control pilot i proximity detection.

Per a la mesura del senyal *proximity detection* únicament serà necessari un dispositiu capaç de mesura una tensió de 0 a 5 V amb una resolució de 10 mV. Per tant, s'han reaprofitat unes targetes NI-9205 que no estaven en ús. Aquesta targeta és un model compatible amb el xassís ja adquirit el NI-9174 la qual permet mesurar voltatges de fins a ± 10 V a 250k mesures per canal en mode diferencial o massa comuns, poden rejectar un voltatge en mode commou si fos necessari. En aquesta aplicació es connectarà en mode comú, ja que es comparteix massa pel fet que la NI-9403 únicament suporta massa comú. La velocitat de mesura es limitarà a la velocitat en que funcioni l'eina que corra en el PC ja que no es necessari l'ús de la FPGA ni dels 250k mesures per canal de la targeta.

Pel que fa al senyal control pilot l'EVSE és el generador com s'ha explicat, però l'EVSE ha d'estar contínuament monitorant el valor del voltatge positiu d'aquest senyal. L'OBC indicarà l'estat de la càrrega i si requereix accions per part de l'EVSE amb aquest valor de tensió. En la Il·lustració 30 també es mostra el circuit plantejat per la IEC en el cas del senyal *control pilot*. En ell s'han identificat les mesures que ha de realitza tan l'OBC com l'EVSE d'aquest senyal en els punts Va i Vb. Els possibles valors/estats que pot prendre serien:

- Estat A: *Control pilot* a + 12 V. El vehicle no està connectat per no és possible la càrrega.

- En Va es mesurarà els + 12 V que genera i en Vb es mesurarà 0 V ja que no esta connectat.
- Estat B: *Control pilot* a + 9 V. El vehicle està connectat, però no sol·licita habilitar la càrrega, per tant, aquesta no és possible.
 - En Va i Vb es mesurarà els + 9 V degut al divisor de tensió entre R1 i R2.
- Estat C: *Control pilot* a + 6 V. El vehicle està connectat i sol·licita habilitar la càrrega tancant el interruptor S2, per tant, l'EVSE l'ha d'habilitar.
 - En Va i Vb es mesurarà els + 6 V degut al divisor de tensió entre R1 i el paral·lel de R2 amb R3.
- Estat D: *Control pilot* a + 3 V. Mateixes condicions que en l'estat C, però es requereix una ventilació de la zona de càrrega.
 - Aquest estat no esta representat en l'Il·lustració 30.
- Estat E: *Control pilot* a 0 volts. Problema en la línia, per tant, carrega no possible, l'EVSE ha de parar la càrrega si aquesta estava en marxa.
 - En Va es mesurarà els + 0 V ja que el EVSE esta apagat i en Vb es mesurarà 0 V com en l'estat A.
- Estat F: *Control pilot* a - 12 V. L'EVSE no està disponible, per tant, no és possible la carrega.
 - En Va es mesurarà els 0 V degut al díode D i en Vb es mesurarà -12 V.

Per mesurar el senyal del *control pilot* sí que es requerirà un equip que per velocitat de mesura o a través d'un trigger sigui capaç de mesurar el voltatge quan el senyal està en el nivell alt de tensió, que el rang de mesura sigui mínim de ± 12 V i una resolució de 0,05 V. La idea és utilitzar la mateixa plataforma que per a les altres entrades i sortides, la NI-9174. Per tant, s'ha buscat una targeta compatible amb les característiques mencionades. En el portafolis de NI tenien 2 models la NI-9221 i la NI-9229. La primera és més ràpida mesurant, ja que arriba a 800 kilomesures per segon i té fins a 8 canals de mesura, la contra seria la resolució que es queda amb 12 bits o una resolució de 0,03 V fent ús de tot el seu rang de tensió. El segon model té més resolució 24 bits que corresponen a 8 uV de resolució en tot el rang, però té la meitat de canals de mesura, 4 i és més lenta 50 kilomesures per canal i segon. Els 2 models són aptes i el model instal·lat ha sigut la NI-9229 per motius d'estoc, ja que era l'única que es podia entregar en el termini que ens interessava. Des del punt de vista comptable la NI-9221 és un 50% més econòmica i des del punt vista tècnic més escalable, pel fet que en tenir més canals permetria idealment ampliar fins a 8 el número d'OBCs que podria gestionar l'EVSE.

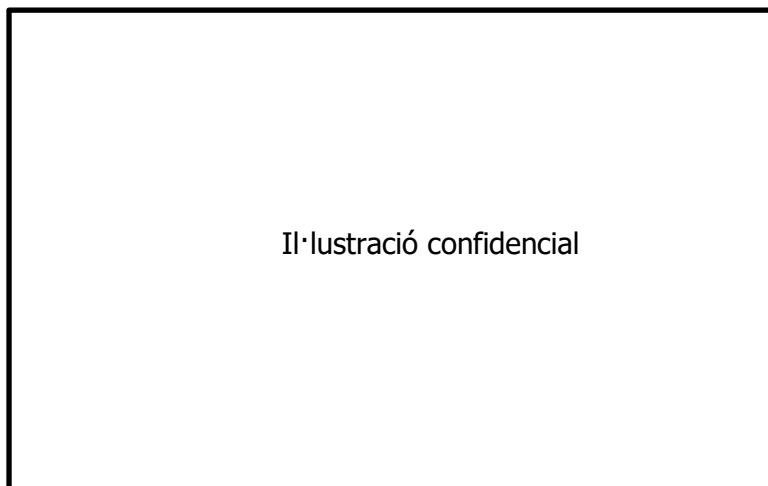


Il·lustració 31. Esquema del connexionat de l'EVSE amb la LV Box.

Per mesurar el senyal del *control pilot* sí que es requerirà un equip que per velocitat de mesura o a través d'un trigger sigui capaç de mesurar el voltatge quan el senyal està en el nivell alt de tensió, que el rang de mesura sigui mínim de $\pm 12\text{V}$ i una resolució de $0,05\text{V}$. La idea és utilitzar la mateixa plataforma que per a les altres entrades i sortides, la NI-9174. Per tant, s'ha buscat una targeta compatible amb les característiques mencionades. En el portafolis de NI tenien 2 models la NI-9221 i la NI-9229. La primera és més ràpida mesurant, ja que arriba a 800 kilomesures per segon i té fins a 8 canals de mesura, la contra seria la resolució que es queda amb 12 bits o una resolució de $0,03\text{V}$ fent ús de tot el seu rang de tensió. El segon model té més resolució 24 bits que corresponen a 8uV de resolució en tot el rang, però té la meitat de canals de mesura, 4 i és més lenta 50 kilomesures per canal i segon. Els 2 models són aptes i el model instal·lat ha sigut la NI-9229 per motius d'estoc, ja que era l'única que es podia entregar en el termini que ens interessava. Des del punt de vista comptable la NI-9221 és un 50% més econòmica i des del punt vista tècnic més escalable, pel fet que en tenir més canals permetria idealment ampliar fins a 8 el número d'OBCs que podria gestionar l'EVSE.

La sortida de la LV Box està preparada per connectar la NI-9229 fàcilment afegint una connexió BCN per a cada OBC la qual es connectarà directament a la targeta a través d'un cable BNC a BNC.

Un cop definits tots els elements de l'EVESE s'ha procedit a la definició del connexionat que es mostra a la Il·lustració 31. El muntatge s'ha realitzat a l'interior de la LV Box per facilitar les connexions i optimitzar el muntatge. En la Il·lustració 32 es mostra una fotografia de l'interior de la LV Box identificant els elements descrits.



Il·lustració 32. Fotografia de l'LV Box més EVSE identificant els elements que conformen el conjunt.

7 Desenvolupament dels casos de test

En el setèim capítol de la memòria es veurà el desenvolupament de les eines *software* que faran possible l'execució dels assajos definits en el pla de validació. Tanmateix, també es veurà l'assignació dels requisits *software* (ReqSW) definits en el capítol 4.3 en les diferents eines desenvolupades per a cadascun dels 2 bancs d'assaig dissenyats.

7.1 Eina base i entorn de desenvolupament

A les seccions 6.2.1.7. i 6.3.1.7 es definia la interfície per al bus CAN en els diferents bancs dissenyats. En aquestes seccions es remarcava la importància del *software* encarregat del control del bus en la selecció d'aquesta interfície. En conseqüència en els 2 bancs s'han seleccionat interfícies del fabricant Vector Informatik amb la finalitat d'utilitzar el *software* Vector CANoe com a controlador del bus CAN.

CANoe és un *software* dissenyat per testejar ECUs i xarxes de comunicació en l'entorn de l'automoció. En aquest projecte CANoe s'utilitzarà com la base on es sustentaran les altres eines *software* que es desenvoluparan per complir amb els requisits *software* i permetre l'execució del pla de validació. Aquesta tasca es realitzarà en 2 parts clarament diferenciades, la primera serà dur a terme el control del bus CAN per l'OBC a ser assajat. Aquesta tasca rep el nom de desenvolupament de la configuració de CANoe. La segona tasca serà desenvolupar les eines que permetran complir amb els requisits *software* definits en el punt 4.3 de la memòria. Per aquesta tasca els requisits se separaran en dos segons el banc d'assajos en el qual s'executarà l'eina. En la següent llista es presentarà aquesta separació i en les seccions "7.2 Casos de test per al banc paramètric" i "7.2 Modes d'operació per al banc durabilitat" on es detallaran el desenvolupament de les eines encarregades de complir amb els requisits.

- Banc paramètric: ReqSWT2, ReqSWT3
- Banc de durabilitat: ReqSWT1, ReqSWT2, ReqSWT4, ReqSWT5, ReqSWT6, ReqSWT7, ReqSWT8 i ReqSWT9.

Entrant en detall de la primera tasca, aquesta consistirà a desenvolupar la simulació de la resta d'ECUs del vehicle que tenen comunicació amb l'OBC. Aquesta simulació ha de permetre controlar els valor dels diferents senyals que viatjaran pel bus CAN cap a l'OBC. Per

a la lectura dels senyals enviats per l'OBC, el mateix programa integra eines per visualitzar-les. A més a més es poden generar interfícies gràfiques personalitzades per l'usuari.

Adicionalment en la configuració base s'afegirà la capa de diagnòstics, aquests s'utilitzen per extreure informació de paràmetres interns de l'OBC o controlar certes funcionalitats no accessibles a través dels senyals CAN. Els diagnòstics son transmesos per al bus CAN sobre una sèrie de protocols avançats els quals no es objectiu d'entrar en aquesta memòria. Aquesta tasca no està definida explícitament en cap dels requisits, però és una petició explícita de l'equip de desenvolupament del projecte la qual s'executarà com a part del mateix.

7.1.1 La Configuració de CANoe

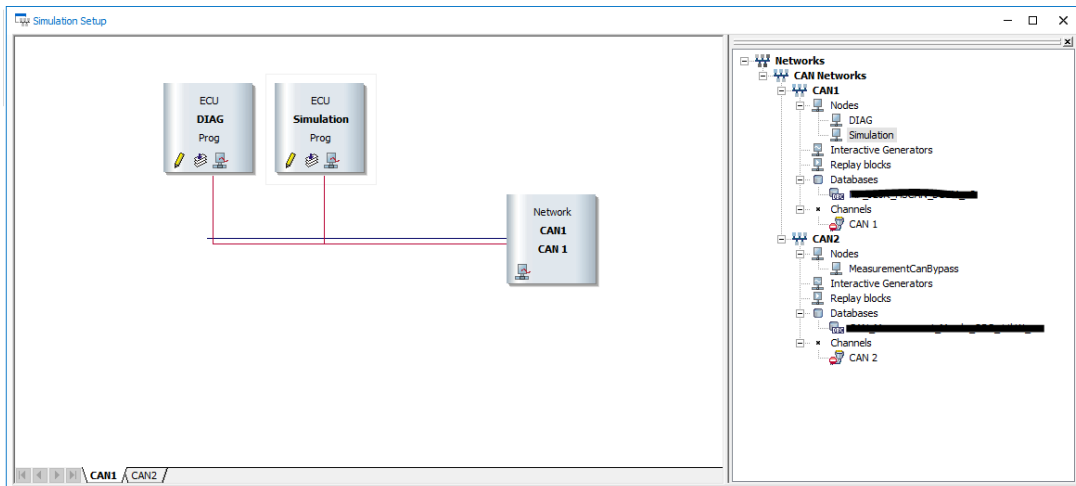
CANoe és un *software* el qual fàcilment permet generar una simulació d'un bus CAN. El programa s'organitza entorn de 2 finestres principals. Per una banda, la finestra *Simulation Setup* on es definiran les simulacions a executar i per l'altra la finestra *Measurement Setup* on es definiran les eines per a l'anàlisi que s'utilitzaran. En aquesta memòria no s'entrarà en més detalls del *Measurement Setup*, ja que l'objectiu es realitzar el control del bus CAN i això es realitza a través del *Simulation Setup*. En la Il·lustració 33 es mostra una captura d'una de les eines d'anàlisi que permet visualitzar els detalls dels missatges que hi ha en el bus i veure el seu històric, la finestra del *trace* de CAN. A grans trets és una taula en la qual es mostren en temps real els missatges que apareixen en el bus, permet visualitzar el contingut detallat dels senyals de cada missatge i ordena els mateixos segons el codi de temps, el nom o la direcció. En la Il·lustració 33 s'ha ordenat per direcció i temps, per tant, tenim en la part superior els missatges que genera i transmet la simulació desenvolupada i en la inferior els que rebem de l'OBC dels quals es mostra el contingut detallat dels senyals.



Il·lustració 33. Captura de la configuració CANoe en mode execució amb la visualització del tràfic en el bus.

En la Il·lustració 34 es mostra finestra *Simulation Setup* definida per aquest projecte. A la part dreta hi ha un resum dels diferents xarxes de comunicació definits, en aquest cas 2 busos CAN on el primer és el de comunicació vehicle OBC i el segons el bus per a dades addicionals per al desenvolupament del producte. Cada un d'aquests 2 busos té assignat una base de dades la qual permet al programa interpreta les dades que rep i envia per al bus.

A la part central tenim una pestanya per a cadascun dels busos que s'han definit. En cada pestanya es representen gràficament els nodes que formen part de la simulació (les ECUs) i el punt d'entrada i sortida de la simulació amb la interfície *hardware*, el bloc central "Network" de l'Il·lustració 34. Per al bus CAN principal entre el vehicle i l'OBC mostrat en la Il·lustració 34, estan definits 2 nodes. El primer, anomenat DIAG, és l'encarregat de la gestió dels diagnòstics amb l'OBC. El segon, anomenat Simulation, serà l'encarregat de generar i enviar els senyals de control de la simulació del vehicle a l'OBC.

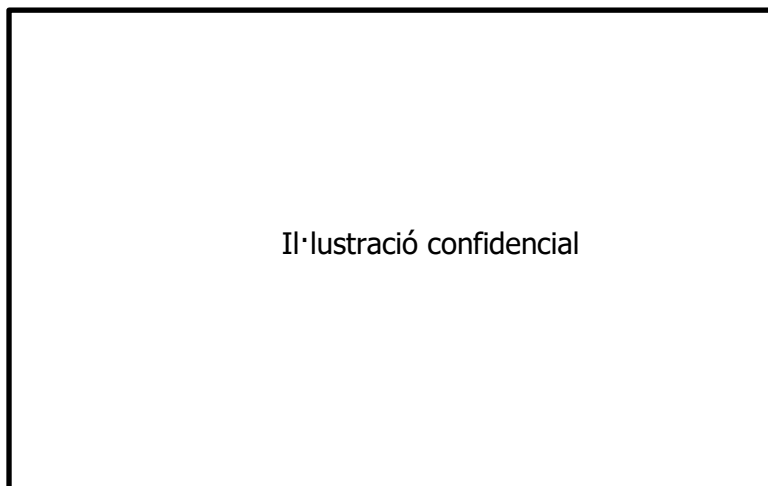


Il·lustració 34. Finestra Simulation Setup del CANoe.

CANoe ofereix diverses opcions per generar el node encarregat de realitzar la simulació del vehicle: l'autogeneració a partir de la base de dades, la programació mitjançant un llenguatge propi derivat del C (el CAPL) o es pot definir un node interactiu on gràficament es defineixen els missatges a transmetre amb el seu contingut i les accions a executar en rebre els missatges. Per a aquest projecte s'ha utilitzat el segon mètode en els 2 casos, és a dir s'ha programat el node.

Pel que fa al node Simulation s'ha programat l'enviament dels missatges del bus que requereix l'OBC per funcionar. La informació dels senyals que s'han de transmetre s'agrupa en missatges els quals incorporen mecanismes per verificar que la informació es transmet correctament pel bus. Aquests han estat programats en el node manualment. Perquè l'usuari de la configuració de CANoe tingui accés al valor dels diferents senyals a enviar, s'ha generat una interfície gràfica personalitzada i mitjançant la creació d'unes variables es realitza la connexió entre la interfície gràfica i el codi. En la Il·lustració 35 es mostra aquesta interfície gràfica.

En el cas del DIAG el procés ha sigut lleugerament diferent, primerament s'ha configurat la funcionalitat de diagnòstics del CANoe perquè gestioni i interpreti el protocol de diagnòstics UCD definit en l'ISO 14229. Configurant aquesta funció, en el node que s'ha programat permet accedir als diagnòstics mitjançant els serveis del protocol UCD i el programa s'encarregarà de la seva gestió a baix nivell, és a dir, d'empaquetar la informació en els missatges i de gestionar l'enviament i la recepció dels missatges associats. El que s'ha programat ha sigut la gestió dels diferents paquets de dades que es llegiran de l'OBC o que es volen transmetre a ell. En aquest cas també s'ha generat una interfície gràfica dedicada mitjançant l'ús d'unes variables com en el cas anterior.



Il·lustració 35. Interfície gràfica node Simulation.

7.1.2 Controls de la instrumentació en el CANoe

La configuració base de CANoe vista en la secció anterior està orientada al test en mode manual per a l'operari, per tant, el tema del control remot de la instrumentació del banc no és necessari. El propòsit dels 2 bancs dissenyats és l'execució automàtica de casos de test i modes d'operació, per aquest propòsit es requereix un control de la instrumentació per part de l'eina *software*.

El *software* encarregat d'executar l'automatització serà el mateix programa CANoe tal com es detallarà en les seccions "6.2 Casos de test per al banc paramètric" i "6.3 Modes d'operació per al banc durabilitat". Nativament, el CANoe disposa d'accés a algun dels protocols de comunicació més utilitzats per a la gestió d'instrumentació, aquests serien GPIB, RS-232 i Ethernet, però té alguns inconvenients associats:

- Per tenir accés al bus Ethernet es requereix una llicència software addicional per habilitar en el CANoe l'entorn de *Automotive Ethernet*.
- L'accés als busos GPIB i RS-232 és únicament via codi CAPL. Si en un codi s'obre la comunicació en un port, fins que aquest no la tanca cap més codi de configuració de CANoe podrà accedir al port.
- No integra cap protocol per a la gestió d'instrumentació estàndard com serien VISA o una llibreria SCPI.

Aquest conjunt d'inconvenients, més el gran esforç d'implementació en temps descarten l'ús del CANoe per controlar la instrumentació del banc.

Primerament, es realitzarà un llistat dels equips amb els quals es requerirà comunicació i tenir accés per a l'automatització. En la llista s'identificarà els busos disponibles en l'equip i el seleccionat en els diferents bancs dissenyats:

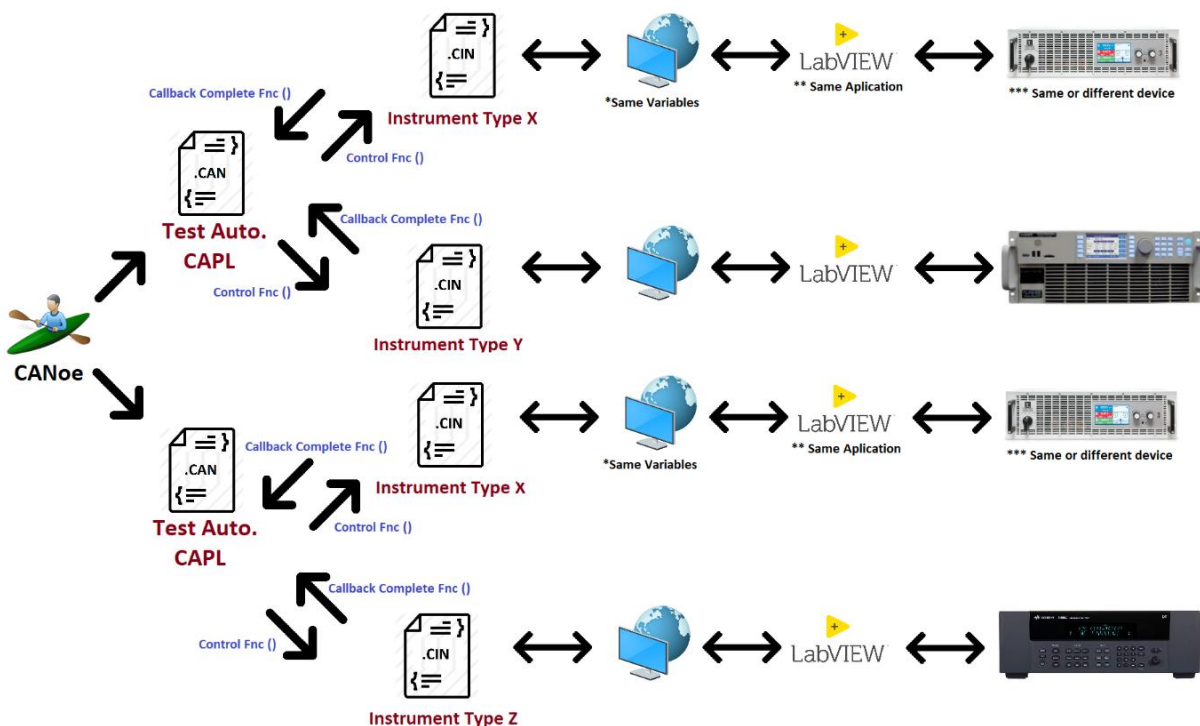
- Banc Paramètric:
 - Font d'alimentació AC: Pacífic 3150 AFX. S'utilitzarà el port Ethernet.
 - Disposa a més a més de ports RS-232, USB i GPIB suportant comandes SCPI.

- Font d'alimentació DC bidireccional EA PSB 9750-60. S'utilitzarà un fals USB. El port físic és un USB, però la comunicació es realitza través d'un protocol sèrie RS-232 o COM.
 - Addicionalment, a través d'una targeta addicional disposa de ports Ethernet, GPIB, CAN, entre altres. Per al banc paramètric no s'ha instal·lat cap targeta addicional.
- Font d'alimentació LV DC: EA PS 9080-50. S'utilitzarà un fals USB.
 - Dispos a més a més de port Ethernet.
- Sistema de refrigeració líquida: Huber UNISTAT 510. S'utilitzarà un fals USB.
- EVSE generació del senyal control pilot: Keysight B2901B. L'equip no estarà connectat al PC s'utilitzarà el mode stand alone.
 - Dispos a més a més de ports Ethernet, USB i GPIB suportant comandes SCPI.
- Simulador bus CAN: VN1630A. Connexió a través d'USB amb el *software* CANoe.
- Sistema DAQ & MUX: Keysight 34980A. S'utilitzarà el port Ethernet.
 - Dispos a més a més de ports USB i GPIB suportant comandes SCPI.
- Analitzador de potència: Newtons4th PPA3500. S'utilitzarà el port Ethernet.
 - Dispos a més a més de ports RS-232, USB i GPIB.
- Mesurador del corrent de consum: IRS CMM III. Es connecta a través d'un canal CAN a la VN1630A.
- Banc de Durabilitat:
 - Font d'alimentació DC bidireccional EA PSB 9750-60. S'utilitzarà un fals USB.
 - Addicionalment a través d'una targeta addicional disposa de ports Ethernet, GPIB, CAN, entre altres. Per al banc de durabilitat no s'ha instal·lat cap targeta addicional.
 - Font d'alimentació LV DC: EA PS 9080-50. S'utilitzarà un fals USB.
 - Dispos a més a més de ports Ethernet.
 - Sistema de refrigeració líquida: Huber UNISTAT 510. S'utilitzarà un fals USB.
 - EVSE: Xassís NI-9174 més les targetes NI-9403, NI-9229 i NI-9205. S'utilitzarà el port Ethernet.
 - Dispos a més a més d'un port USB.
 - Simulador bus CAN: VN1630A. Connexió a través d'USB amb el *software* CANoe.
 - Sistema DAQ: Keysight DAQ970A. S'utilitzarà el port Ethernet.
 - Dispos a més a més d'un port USB i suporta comandes SCPI.
 - Sistema MUX: NI PCI 6513. Es connecta directament a la placa base del PC per PCI.
 - Mesurador del corrent de consum: IRS CMM III. Es connecta a través d'un canal CAN a la VN1630A.

Per a equips que utilitzaran la connexió Ethernet es generarà una xarxa privada utilitzant un *switch* per connectar els diferents equips al PC en el qual s'executarà el CANoe. Es fixaran les adreces IP tant dels equips com del port del de la targeta de xarxa del PC. Els motius són

dos, prescindir d'un DHCP i poder realitzar un mapa estàtic de la direcció per cadascun dels equips i que sempre estiguin en la mateixa direcció. Si en aquest PC es requereix la connexió a internet o a algun servidor de l'empresa s'afegiria una targeta de xarxa extra per aquesta finalitat. Els equips es mantindran sempre en una xarxa independent.

Vistos els inconvenients del CANoe per controlar instrumentació, la quantitat d'equips i la varietat de protocols, és necessària una solució per aquest problema. Aquesta vindrà a través de la possibilitat de connectar el CANoe amb el *software* LabVIEW de National Instrument. En la Il·lustració 36 es mostra el flux dissenyat perquè els diferents CAPLs que realitzaran l'automatització dels casos de test tinguin accés a la instrumentació controlada des d'aplicacions desenvolupades amb el LabVIEW.



Il·lustració 36. Flux de controls d'instrumentació CANoe - LabView.

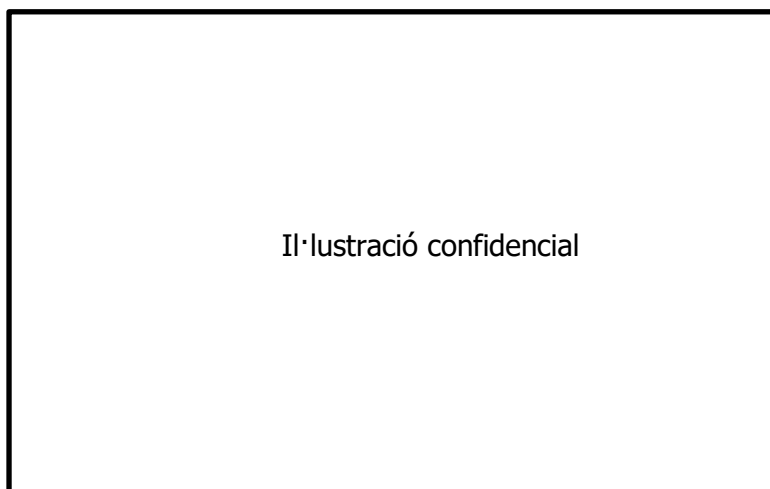
El LabView aporta grans avantatges per al control d'instrumentació, ja que és dels *softwares* més utilitzats on el mateix fabricant de l'equip desenvolupa el controlador per aquesta plataforma, reduint considerablement l'esforç d'implementació d'un controlador.

El *software* CANoe permet realitzar una interacció amb altres programes com MATLAB o LabView entre altres. Per a l'aplicació del control de la instrumentació del banc ens centrarem en la interacció amb el Labview. Els dos programes es comuniquen a través de l'intercanvi de variables mitjançant la targeta de xarxa Ethernet de la màquina on s'executarà l'aplicació Labview. Aquestes variables són definides per al Labview i el CANoe és capaç de llegir i escriure en elles.

En CAPL els fitxers de codi són del format .can el que seria en el llenguatge C el fitxer .C. CAPL també compta amb un format del tipus fitxer de definicions el .cin que seria l'equivalent al .h en llenguatge C.

El concepte seguit per al disseny dels controladors s'explicarà a continuació, on, perquè sigui més simple, s'exemplificarà per al cas d'un equip MUX:

1. Es defineix una estructura de variables perquè el CANoe tingui accés a les funcions de l'equip.
 - Exemple de les funcions per a equip MUX:
 - Control *on/off* d'un canal.
 - Control *on/off* de múltiples canals.
 - Lectura de l'estat d'un canal.
2. Amb l'estructura de variables generada es desenvolupa una aplicació amb el LabView utilitzant el controlador proporcionat pel fabricant el qual interaccionarà amb les variables definides.
 - Exemple de les variables per a equip MUX:
 - Número del canal i estat a controlar.
 - Taules de números dels canals i d'estats a ser controlats.
 - Número del canal i retorn de l'estat a ser llegit.
3. Una vegada està desenvolupada i corrent l'aplicació LabView s'enllacen les variables amb la configuració de CANoe.
4. En aquest punt el CANoe i les diferents eines desenvolupades en CAPL poden interactuar amb les variables i controlar l'equip, però no hi hauria cap classe de control d'accés a aquestes.
5. Per solucionar el problema de la gestió de l'accés al control de l'equip, es desenvolupa un CAPL en format .cin (include file) el qual gestionarà l'accés a les variables afegint un semàfor i una cua de peticions. Per tant, per accedir a l'equip es tindrà una funció per realitzar la petició i una de retorn o *callback* per ser informat que s'ha completat la petició o es retornen els resultats d'aquesta.
 - Exemple de les funcions per a equip MUX:
 - L'exemple serà confidencial per a l'empresa.
6. Aquest CAPL s'inclourà múltiples vegades en la configuració de CANoe, per tant, tindrà un mecanisme d'accés a les variables perquè entre les diferents instàncies no se superposin i es mantingui una correcta gestió d'accessos.



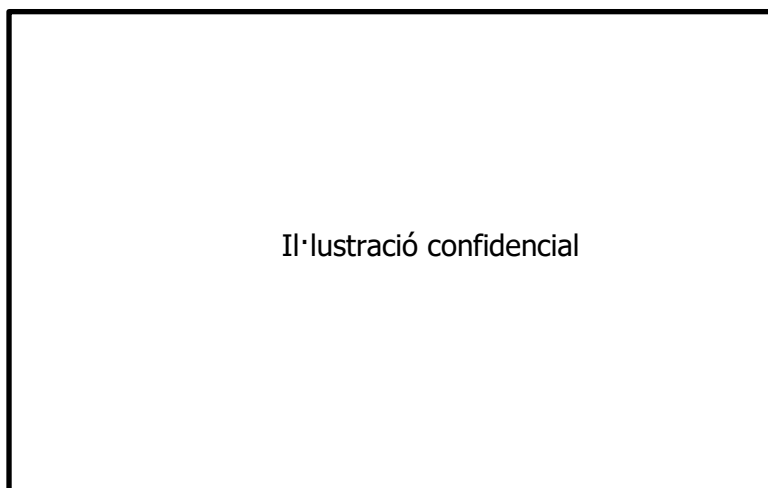
Il·lustració 37. Captura codi CAPL del .cin per enviar el control d'un canal en l'equip MUX.

En la Il·lustració 37 es mostra una captura del codi CAPL per al .cin d'uns dels equips, el MUX. Per aquest equip, tant les funcions com les variables del LabView reben el nom de SWITCH en comptes de MUX. En la línia 207 està la funció pública que s'utilitzarà en l'eina

automàtica per realitzar el control d'un canal. La funció directament posa el control en cua i comença a monitorar les variables per obtenir-ne l'accés. L'accés a l'equip es fa en la funció *timer Switch_Queue()* en la línia 156, on es verificarà si l'equip està disponible. Si no ho està, es tornarà a executar de nou després d'uns ms per comprovar de nou la disponibilitat de l'equip. Un cop l'equip estigui disponible és crida la funció *MultiplexorChannelAccess()* definida a la línia 317 en la qual s'executarà l'ordre en cua.

En la funció cua es defineix la prioritat per a cadascuna de les accions que es poden dur a terme amb l'equip. Per executar l'ordre simplement es tracta d'escriure en les variables del LabView. Les variables que es faran servir per definir que s'està executant una acció, són les anomenades "IN_REQUEST", una per a cada acció disponible en l'equip. El valor "1" indica que el LabView ha d'executar una acció i el valor "0" indica que el LabView ja ha executat una acció i que està a l'espera de la següent.

Quan el LabView detecta que alguna de les "IN_REQUEST" es posa a valor "1" executa l'ordre definida en la funció. En la Il·lustració 38 es mostra el codi LabView que l'executa. El codi LabView és bàsicament un bucle temporitzat per a cada IN_REQUEST amb un semàfor per accedir al control de l'equip. Si la "IN_REQUEST" està a "1" i el semàfor està en verd accedeix a la seqüència. El primer pas és bloquejar el semàfor, un cop fet, processa les dades de l'operació a realitzar i la executa. Per al cas de la Il·lustració 38, la funció que realitza es el control d'un canal del dispositiu. El número del canal i l'estat i a través del bloc proporcionat per fabricant de l'equip se li envia la comanda. Un cop executat es recull si hi ha hagut un error i es procedeix a informar al CANoe de què ha acabat l'execució. Per acabar alliberar el semàfor, però prèviament monitoritza el valor de la "IN_REQUEST" estigui realment a "0". Les variables que es comparteixen tenen un petit temps de refresc per a que en les aplicacions llegeixin al nou valor.



Il·lustració 38. Captura codi LabView per al controlador de l'equip MUX NI-6513.

Mentres el LabView està executant una acció, el CANoe romandrà a l'espera. Quan el LabView posa a "0" el valor de la "IN_REQUEST" indica que l'ha completat. En aquest instant el CANoe ho detecta i s'executa el codi de la línia 179 de la Il·lustració 39 en la qual es determinarà si l'acció que ha finalitzat ha estat generada per la mateixa instància .cin o no. Si és així es cridarà la funció *timer* de la línia 55 on es cridarà a la funció *callback* i el següent element de la cua. Si no, es descartarà i se seguirà intentat accés a l'equip si hi ha algun element en cua. La funció *callback* ha d'estar en el codi CAPL des d'on es crida a la funció

Req_SetMulti.... en la línia 207 de la Il·lustració 37 i les accions que executarà ja no estan dins de l'abast del controlador de l'equip.



Il·lustració 39. Captura codi CAPL del .cin per a detectar l'execució del control d'un canal en l'equip MUX.

7.2 Casos de test per al banc paramètric

En aquesta secció es desenvoluparan les eines per complir amb els requisits *software* assignats al banc paramètric. S'ha de realitzar una eina que executi els casos de test definits a la taula 5 del pla de validació, és a dir executar i reportar els 3 casos de test de l'FT1 (ReqSW2). Aquest requeriment és compartit amb el banc de durabilitat, per tant l'eina ha de poder executar-se en els 2 bancs. El segon i últim requisit es executar i reportar els casos de test de l'FT2 (ReqSW3). Aquest requisit a més a més ha de permetre executar el FT2 automàticament en els punts de la gràfica de la figura 8 del pla de validació.

Es dividiran les tasques entre 2 eines diferents. Per una banda, es realitzarà una eina per executar i reportar els resultats de l'FT1 i l'FT2. Aquesta eina es portarà a cap utilitzant el vTestStudio un *software* de Vector Informatik per dissenyar casos de test i ser integrat al CANoe. Aquesta eina rebrà el nom d'APT (*Automatic Parametric Test*). El propòsit de la segona eina serà executar la seqüència de casos de test realitzats amb la primera eina en els punts requerits. Aquesta eina serà programada CAPL i rebrà el nom de FAPT (*Full Automatic Parametric Test*).

7.2.1 APT per a l'FT1 i l'FT2

Per desenvolupar la seqüència de casos de test definit per a l'FT1 i l'FT2 s'utilitzarà un programa de la companyia Vector, el vTestStudio. Aquest programa és un potent entorn per al desenvolupament de seqüències de test. El *software* facilita i augmenta l'eficiència en el desenvolupament i manteniment de les seqüències de test.

El vTestStudio té una plena interacció amb el CANoe. Per començar a crear un nou projecte s'ha d'importar l'entorn del CANoe (busos de comunicació, bases de dades, variables, diagnòstics, etc.). Una vegada es té l'entorn importat, ofereix múltiples opcions per desenvolupar la seqüència de casos de test. Es poden definir variants dins d'una seqüència, tenir múltiples tests en diverses seqüències en cadascun d'ells i reutilitzar les seqüències

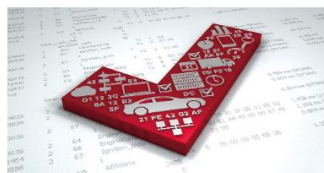
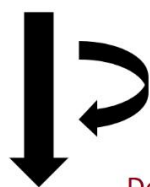
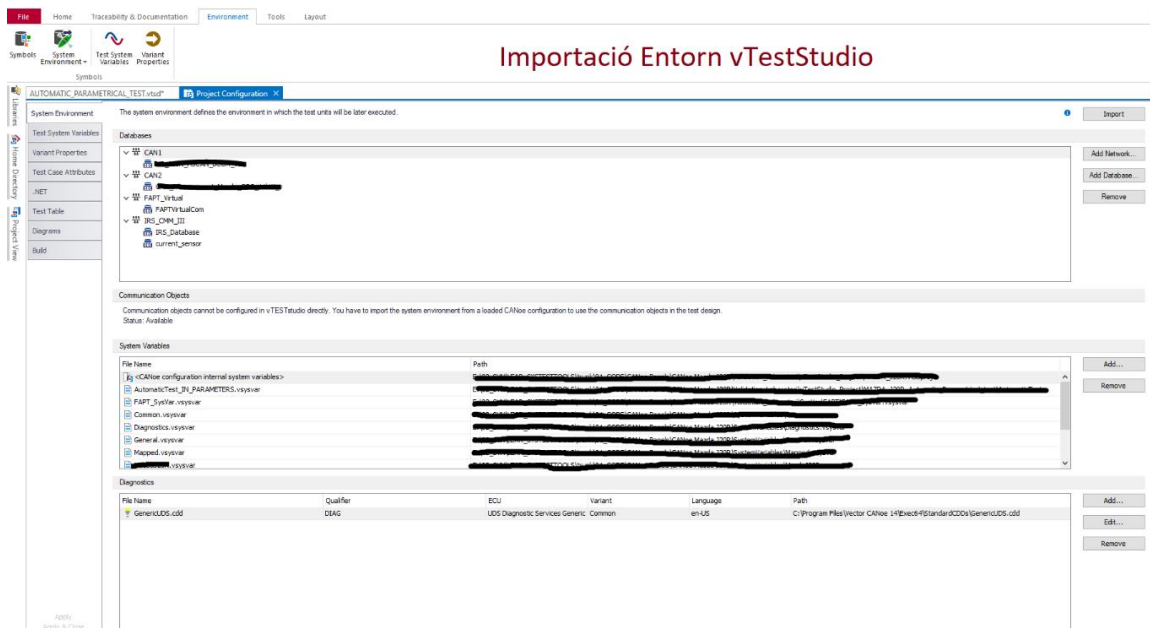
parametritzant-les i mantenint arxius dedicats amb els paràmetres, en resum és una eina molt versàtil i potent. Les seqüències i casos de test es poden generar de 3 maneres:

- La primera: Via un diagrama de seqüència gràfic.
- La segona: En format taula de comandes.
- La tercera: Via la programació de codi amb el llenguatge CAPL. Utilitzant vTestStudio s'integra en el CAPL un conjunt de funcions *software* addicionals per a la gestió dels casos de test.

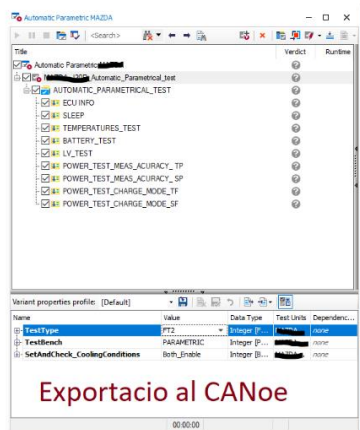
En resum, el flux del desenvolupament seria: importa l'entorn del CANoe, generar les seqüències de test i exporta el test al CANoe perquè l'executi. En la Il·lustració 40 es mostra la importació de l'entorn on es poden observar varis dels elements comentats en la secció 7.1.1 sobre la configuració de CANoe, com les bases de dades dels busos CAN o la descripció de diagnòstics genèrica UCD. En la mateixa il·lustració s'exposa el flux del vTestStudio i la sortida importada en el CANoe on s'executarà i s'obtindrà un report i un resultat per al test.

Per al desenvolupament de les seqüències de test s'ha utilitzat un mètode híbrid, s'han programat els casos de test amb CAPL i s'ha generat la seqüència via diagrama gràfic. El principal objectiu d'aquesta decisió és la reutilització dels casos de test programats en futurs OBCs i permetre una ràpida adaptació de la seqüència general per al nou OBC. L'ús de l'editor gràfic de diagrames aporta visió global i clara dels casos de test i permet realitzar una fàcil gestió d'aquests.

El primer pas ha estat agrupar els casos de test de l'FT1 i l'FT2 en grups segons les accions i avaluacions que requereixen. S'han detectat els següents 5 grups. En l'Annex 3: Codi dels casos de test FT1 i FT2 es presentarà el codi complet per als 5 casos de test desenvolupats, a continuació en la secció **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** es presentarà una descripció del propòsit del test, la seqüència del test, els paràmetres d'entrada i les referències per als testos de l'FT1 i l'FT2 que utilitzaran la seqüència de test.



Desenvolupament amb el vTestStudio



Execució, Report i Resultat del Test

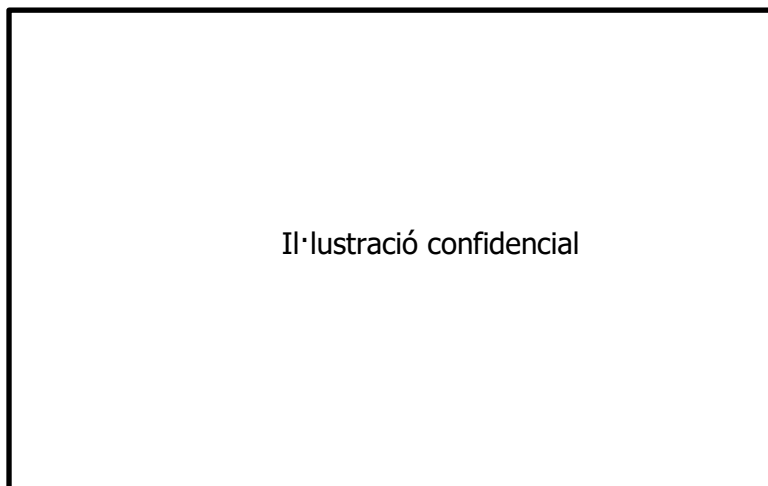


Il·lustració 40. Flux de desenvolupament amb el vTestStudio.

7.2.1.1 Casos de test desenvolupats

- TC_SLEEP: Grup de casos de test que impliquen la mesura del consum de l'OBC en la línia d'alimentació de 12 V i la comprovació del canvi entre 2 modes de consum. En aquest cas els 2 modes vindran prefixat en la seqüència i seran el mode *sleep* (minim consum energètic) i *awake* (consum del mòdul sense processar potencia).
 - Seqüència:
 - La seqüència de cas de test serà confidencial de l'empresa.
 - Paràmetres:
 - Els paràmetres del cas de test seran confidencials de l'empresa.
 - Referències de l'FT1 i l'FT2:

- Les referències seran confidencials de l'empresa.
- TC_PARAM_EVALUATION: En aquest cas de test s'agruparan diversos grups. El propòsit del cas de test desenvolupat serà l'avaluació d'un paràmetre de l'OBC obtingut a través de diagnòstics. L'avaluació es realitzarà abans i després de manipular la LV BOX del banc i d'enviar diagnòstics de control a l'OBC.
 - Seqüència:
 - La seqüència de cas de test serà confidencial de l'empresa.
 - Paràmetres:
 - Els paràmetres del cas de test seran confidencials de l'empresa.
 - Referències de l'FT1 i l'FT2:
 - Les referències seran confidencials de l'empresa.
- TC_BATTERY: Grup de casos de test els quals impliquen la mesura del voltatge d'alimentació i en conseqüència el control de l'equip que el regula.
 - Seqüència:
 - La seqüència de cas de test serà confidencial de l'empresa.
 - Paràmetres:
 - Els paràmetres del cas de test seran confidencials de l'empresa.
 - Referències de l'FT1 i l'FT2:
 - Les referències seran confidencials de l'empresa.
- TC_ACCURACY: Grup de casos de test els quals implica l'avaluació d'un valor de tensió en l'entrada AC o la sortida DC.
 - Seqüència:
 - La seqüència de cas de test serà confidencial de l'empresa.
 - Paràmetres:
 - Els paràmetres del cas de test seran confidencials de l'empresa.
 - Referències de l'FT1 i l'FT2:
 - Les referències seran confidencials de l'empresa.
- TC_PM_TEST: Grup de casos de testos en els quals es requereix que l'OBC processi potència, avaluant el correcte funcionament d'aquest mode i l'eficiència de conversió.
 - Seqüència:
 - La seqüència de cas de test serà confidencial de l'empresa.
 - Paràmetres:
 - Els paràmetres del cas de test seran confidencials de l'empresa.
 - Referències de l'FT1 i l'FT2:
 - Les referències seran confidencials de l'empresa.



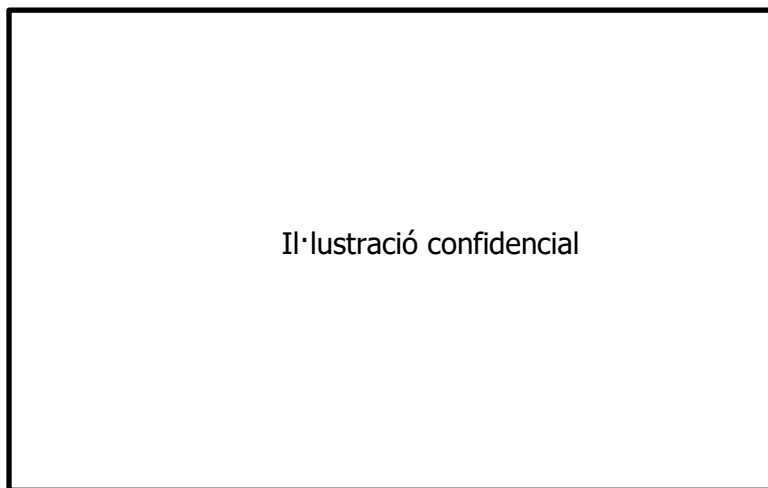
Il·lustració 41. Captura del detall de 4 casos de test del FT2 extreta del pla de validació.

En la Il·lustració 41 es mostren 4 referències de casos de test extrets del pla de validació per a l'FT2. Per exemplificar l'agrupació dels casos de test del pla de validació amb els desenvolupats més genèrics es realitzarà una interpretació i assignació al cas de test:

- Les referències i la assignació seran confidencial.

7.2.1.2 Seqüència de casos de test desenvolupada

Un cop desenvolupats els casos de test es passa al disseny de la seqüència principal amb l'editor gràfic. En la Il·lustració 42 es presenta la distribució principal dels diferents grups de casos de test. En la part superior tenim l'inici del test i en la inferior el final. El programa realitzarà una execució vertical dels elements situats entre l'inici el final. Per a paral·lelitzar les diferents seqüències de casos de test s'utilitzaran les barres negres i grises en els punts desitjats. D'aquesta manera s'executaran d'esquerra a dreta i d'inici al final en seqüència. Com es pot observar s'han introduït 2 elements addicionals. El primer seria el bloc de *Background Check*, aquest element permet executar en segon pla una sèrie de comprovacions. La comprovació configurada ha estat que el bus CAN entre el vehicle i l'OBC operi correctament. El segon element és un bloc de decisió segons el tipus de test, el qual permetrà executar els casos de test de sota si el tipus de test és el FT2. El programa permet definir una sèrie de condicions generals de test per discernir diferents camins d'execució que són seleccionats des del CANoe. En aquest cas s'ha definit l'FT1 i l'FT2 com tipus de test, obtenint 2 camins diferents de casos de test segons que es seleccioni des del CANoe.



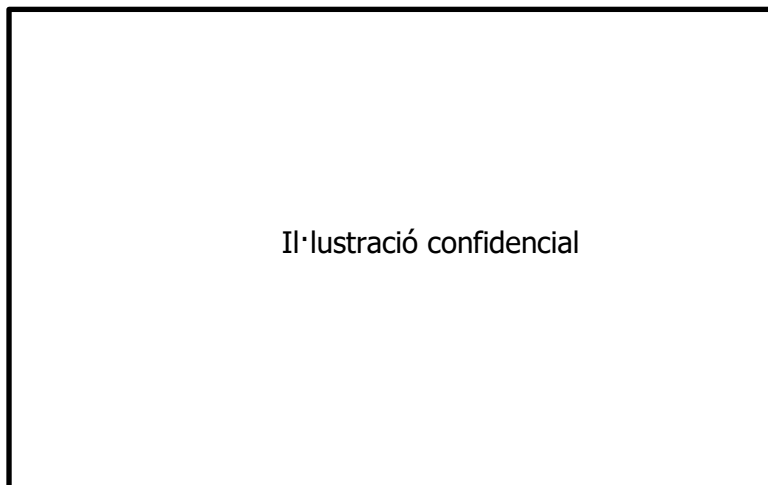
Il·lustració 42. Captura de la seqüència principal per als tests FT1 i FT2.

A continuació es detallaran els diferents grups de casos de test que apareixen en la Il·lustració 42:

- ECU INFO: Aquest cas de test està específicament realitzat per aquest producte. La finalitat és llegir del DUT mitjançant diagnòstics la informació per identificar el DUT i les condicions de test e imprimir-los en el informe. La informació requerida està especiada en l'FT2 i a grans trets seria: número de sèrie del DUT, els codis de construcció tant de client com del proveïdor i les versions de *hardware* i *software* del DUT.
- SLEEP: Agrupació dels casos de test que requereixen la mesura del consum de l'OBC en el mode *sleep* i *awake* juntament amb una comprovació del correcte canvi entre ambdós modes. S'utilitzarà el test TC_SLEEP.
- TEMPERATURE TEST: Agrupació dels casos de test per a l'avaluació de les temperatures mesurades per l'OBC. S'utilitzarà el test TC_PARAM_EVALUATION configurant-lo en mode d'avaluació única sense canvis i el valor objectiu de temperatura serà mesurat prèviament amb l'equip DAQ.
- BATTERY TEST: Agrupació dels casos de test per a l'avaluació de la mesura de la tensió d'alimentació de l'OBC. S'utilitzarà el test TC_BATTERY.
- LV TEST: Agrupació dels casos de test per avaluar paràmetres interns i entrades de baixa tensió de l'OBC, com a exemples serien les alimentacions internes o els senyals *control pilot* i *proximity detection*. S'utilitzarà el test TC_PARAM_EVALUATION.
- PM TEST: Aquest és un grup de test on s'inclouen en una subseqüència tots els casos de test en els quals intervé un control dels elements i equips de potència del banc. En la Il·lustració 43 es mostra el detall d'aquesta. S'ha separat en una subseqüència per tenir una major comoditat en el moment de gestionar el projecte amb el programa.
 - TC_ACCURACY_TF: Agrupació dels casos de test per avaluar les mesures de la tensió i freqüència de l'entrada AC en el mode trifàsic i de la sortida DC. S'utilitzarà el test TC_ACCURACY.
 - TC_ACCURACY_SF: Agrupació dels casos de test per avaluar les mesures de la tensió i freqüència de l'entrada AC en el mode monofàsic. S'utilitzarà el test TC_ACCURACY.

- PM_TEST_TP: Agrupació dels casos de test per avaluar el rendiment i correcte funcionament de l'OBC quan està processant potencia en el mode trifàsic. S'utilitzarà el test TC_PM_TEST.
- PM_TEST_SF: Agrupació dels casos de test per avaluar el rendiment i correcte funcionament de l'OBC quan està processant potencia en el mode monofàsic. S'utilitzarà el test TC_PM_TEST.
- PM_TEST_FT1: Agrupació dels casos de test de l'FT1 que avaluaran el correcte funcionament de l'OBC quan està processant la màxima potencia. S'utilitzarà el test TC_PM_TEST configurat per avaluar únicament el corrent total de sortida de l'OBC.

El pas restant per completar l'eina és la unió entre els diferents grups de test que s'acaben de veure en la seqüència gràfica principal i els casos de test programants. Aquesta unió es portarà a terme mitjançant una petita seqüència visual on a través d'un bucle *for* es cridarà al cas de test programat utilitzant unes taules prèviament generades en els fitxers de paràmetres. En la Il·lustració 44 es mostra una captura de pantalla del vTestStudio per a una d'elles, el cas de LV TEST on es crida al cas de test TC_PARAM_EVALUATION. Les taules tindran tantes entrades com referències de test especificades en l'explicació dels casos de test, que a la vegada s'han extret de la definició dels testos FT1 i FT2 del pla de validació. Cada una de les entrades a la taula contindrà tots els paràmetres requerits per cridar el cas de test. En la Il·lustració 45 es mostra una captura de la taula dels casos de test per al grup LV TEST.



Il·lustració 43. Captura de la seqüència secundària PM TEST per als testos FT1 i FT2.



Il·lustració 44. Captura de la unió entre un cas de test programat i la seqüència principal.

L'exemple exposat de la taules de la Il·lustració 45 serà confidencial.



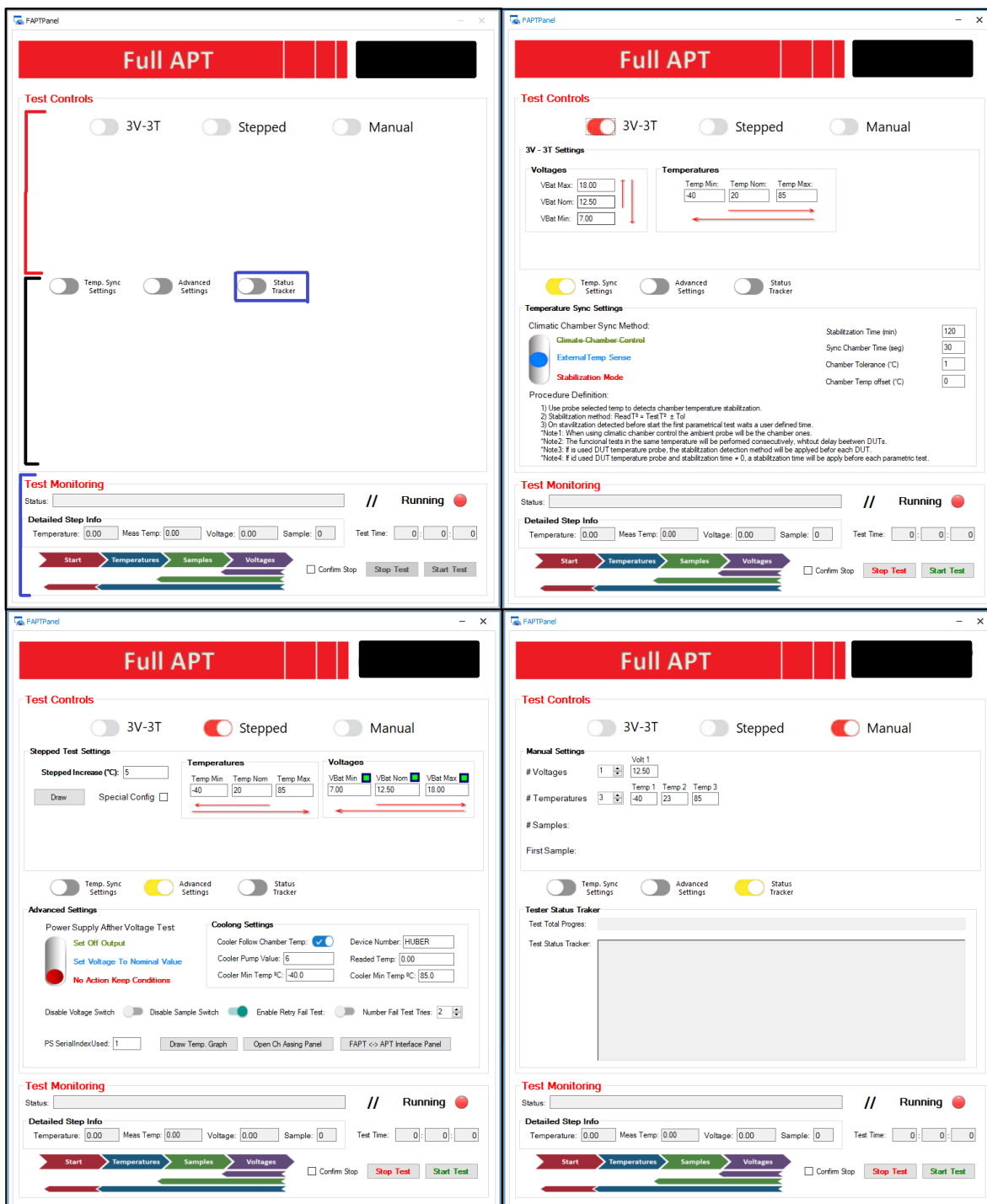
Il·lustració 45. Taula dels casos de test per al grup LV TEST.

7.2.2 Full APT

L'eina FAPT o full automàtic paramètric test no és una eina desenvolupada per aquest projecte específicament, és una eina desenvolupada dins de l'empresa del sector de l'automoció que s'ha estandarditzat en el departament d'assajos climàtics per automatitzar qualsevol test paramètric automàtic. El propòsit de l'eina és automatitzar l'execució de test paramètric en diferents condicions de temperatura, voltatge d'alimentació del DUT i en diferents DUTs.

El seu origen es remunta a 2016 quan es va introduir una eina per a un projecte amb la capacitat de realitzar test funcional automàtic a diverses tensions d'alimentació controlant la font d'alimentació DC de baixa tensió. Des d'aquest punt, l'eina ha anat evolucionat introduint la capacitat de fer els testos funcionals en diverses temperatures i a varis DUTs. A més a més l'eina s'ha deslligat del dels projectes de test funcional automàtic en concret, sent un afegit que es pot incloure en qualsevol projecte i test funcional molt fàcilment.

El FAPT consisteix en un programa principal desenvolupat en CAPL que incorpora el planificador de tasques principal i la gestió de la instrumentació a través dels controladors LabView explicats. A aquest codi l'acompanya un altre que gestiona la interfície gràfica desenvolupada per interactuar amb l'eina. Es tracta d'una interfície gràfica dinàmica i per a facilitar el el manteniment es va decidir mantenir els 2 codis separats.



Il·lustració 46. Captures del panell dinàmic per a l'eina FAPT.

En la Il·lustració 46 es mostren diverses captures de pantalla del dinamisme de la GUI. En la primera captura s'han identificat les tres ares principals. La primera àrea marcada en vermell és on es programa el punt on es realitzaran els testos funcionals. L'eina té 3 modes diferents per entrar les dades de cara a l'usuari: a) 3V-3T farà els testos en els valors nominal mínim i màxim de tensió i temperatura, b) el *Stepped* que farà els testos cada x graus, i c) el mode manual on és l'usuari qui defineix exactament els punts.

Per a aquest projecte s'han precarregat els valors de temperatura i s'ha recomanat a l'usuari que utilitzi el mode c. La segona zona marcada en negre està dedicada a la configuració de l'eina. La tercera, marcada en blau, es fixa, no hi ha moviment dels elements i és on es mostra l'estat de funcionament de l'eina. En la zona de configuració, si se selecciona el botó de *Status Tracker* es mostrarà en un històric dels estats pels quals ha passat l'eina i així poder seguir el flux d'execució.

El FAPT per a interactuar amb l'APT requereix de la implementació d'una interfície entre les 2 eines. Aquesta interfície és molt minimalista i està pensada perquè necessiti un mínim esforç d'implementació. Per minimitzar més l'esforç, es disposa d'una plantilla amb part del codi CAPL ja programat. El FAPT suporta el control de múltiples APTs en múltiples configuracions de CANoe, on cada APT requerirà d'una interfície amb el FAPT diferent.

L'eina FAPT s'executa en una xarxa CAN i s'estableix una comunicació via missatges CAN entre el codi principal del FAPT i les interfícies amb els APTs. Utilitzar aquesta arquitectura permet múltiples opcions en la implementació d'un projecte. Pot estar en la mateixa configuració i funcionar a través d'un port CAN virtual que permet generar el CANoe, pot estar en configuracions separades i continuar funcionant a través d'aquest CAN virtual, o inclús en un altre equip i realitzar la comunicació CAN a través d'un bus real. Aquesta configuració és la que permet que amb un FAPT sigui capaç de governar projectes on es tinguin diversos APTs.

Per a les eines *software* del projecte que s'estan desenvolupant en aquesta memòria, s'ha fet servir la versió 4.2 de l'eina FAPT integrant-la en la configuració de CANoe del APT utilitzant el CAN virtual. En la Il·lustració 47 es mostra una captura del *simulation setup* d'aquests CAN virtuals amb els tres nodes o elements explicats de l'eina FAPT.



Il·lustració 47. Captura de la finestra *simulation setup* de la integració del FAPT en el projecte utilitzant el CAN virtual.

En aquest projecte el FAPT únicament tindrà la funció d'automatitzar l'FT2 en les diferents temperatures del pla de validació. Estaran desactivades les opcions de varis DUTs,

varis APTs i el control de tensió de la font d'alimentació, ja que aquesta implementació implícit en la definició de l'FT2. Per tant, únicament li queda el control de la temperatura. Per aquesta tasca la versió d'APT utilitzada únicament permet realitzar una sincronització amb la de l'equip de test, la cambra climàtica. Per a executar l'assaig, l'enginyer de test programarà la temperatura en la màquina i el FAPT. Aquest a través de la mesura de la temperatura fent ús el DAQ es sincronitzarà amb màquina i executarà el FT2 en les diferents temperatures. Tanmateix, quan el FAPT detecta les temperatures permet programar un temps d'espera per a estabilitzar la temperatura en el DUT. Addicionalment com l'OBC integra refrigeració líquida el FAPT tindrà el control de la temperatura del líquid refrigerant en els períodes en què no s'està executant l'FT2. El control de la temperatura que farà és molt simple, seguirà el valor de la temperatura ambient mesurat perquè les 2 temperatures es mantinguin a la par tal com s'indica en el pla de validació. Al FAPT se li poden posar límits pel que fa a la temperatura màxima i mínima del líquid refrigerant que en aquest projecte s'han posat a 65 °C i -30 °C tal com indica en el pla de validació.

Per tancar amb la secció del FAPT i les eines per al banc paramètric es veurà l'assignació final dels requisits *software* en les 2 eines desenvolupades:

- Banc paramètric:
 - APT Bassat en vTestStudio: ReqSWT2 i ReqSWT3*.
 - FAPT v4.2: ReqSWT3*.

7.3 Modes d'operació per al banc durabilitat

Un cop vist el desenvolupament de les eines per a executar els casos de test del banc paramètric, s'analitzaran els requisits *software* assignats a les eines del banc durabilitat.

Els requeriments assignats al banc durabilitat són: a) un programa per recopilar les dades de les mesures realitzades amb l'equip DAQ (ReqSW1); b) executar també el test FT1 (ReqSW2); c) seqüenciar i automatitzar les transicions entre un seguit de modes d'operació (ReqSW4 i ReqSW5); d) dins dels modes d'operació EX s'ha de poder modificar la tensió de la sortida dels OBCs i la potència de sortida que estan processant (ReqSW7 i ReqSW9); e) les transicions del voltatge han de ser suaus amb salts màxims de 5 V (ReqSW8).

Per al ReqSw01 com es va veure en el del disseny del banc durabilitat, s'ha seleccionat un equip del capaç operar en *stand alone*. A més a més el fabricant disposa d'un *software* que es connecta a l'equip i permet extreure'n les dades enregistrades, el *software* és el Keysight BenchVue DAQ. A part d'extreure les dades i guardar-les en un fitxer en el PC, el programa realitza gràfiques en temps real permetent l'anàlisi de l'estat de l'assaig.

L'execució de l'FT1 en el banc de durabilitat es realitzarà amb la mateixa eina dissenyada per al banc paramètric. El cas de test TC_PM_TEST programat en CAPL està pensat perquè es pugui executar amb els 2 tipus de bancs. S'ha introduït una branca de test específica per a l'FT1 que integrarà una taula de casos de test propis eliminant els paràmetres no necessaris. A més a més, s'ha configurat el cas de test per únicament avaluar el corrent total de sortida de l'OBC, ja que és suficient per comprovar el correcte funcionament de l'OBC que seria el requeriment del pla de validació.

La resta dels requisits *software* fan referència a una eina que permeti executar els diversos assajos definits en el pla de validació. Per aquest motiu es desenvoluparà una eina pròpia per a executar-los, el S-LCAT.

7.3.1 L'eina S-LCAT

Durant els assajos del pla de validació l'OBC operarà dinàmicament segons uns modes prèviament definits. S'entenen com dinàmics que en un mateix assaig el mode variarà segons les condicions d'aquest. Per tant, es requereix una eina capaç d'aplicar aquestes modes en sincronia amb l'assaig, això es coneix en l'equip d'assajos climàtics de l'empresa del sector de l'automoció com l'eina per a "ciclar" el DUT o directament el "ciclat".

Per dur a terme aquesta tasca es va desenvolupar una eina pròpia que s'executa sobre el CANoe. Aquesta eina és el S-LCAT o *Simplified Load Cycle Automatic Test*, que traduït al català seria ciclat de càrregues automàtic simplificat. El nom és heretat de l'eina més antiga LCAT afegint el mot simple. Per a l'S-LCAT es va agafar el concepte de la primera eina, és a dir, "ciclar" les càrregues, però en comptes de càrregues s'ha substituït per modes d'operació els quals s'apliquen automàticament al DUT segons una seqüència definida per l'usuari. Aquesta eina es va desplegar principalment per als projectes d'electrificació que es desenvolupen en l'empresa. Aquests projectes tenen un funcionalment complex com un OBC, però únicament realitzen una funció o un petit grup de funcions dins del vehicle. Per aquest motiu el modes són estàtics eliminat la complexitat de l'anterior eina de gestionar múltiples petites funcionalitats del DUT. Amb aquesta eina es cobriran els requisits ReqSW4 i RewSW5.

L'eina S-LCAT és un seqüenciador temporitzat de fins a 12 modes d'operació, d'6 actius més 6 d'inactius. Està desenvolupada en CAPL i s'executà a través de CANoe afegint-se a la configuració de cadascun dels projectes. Actualment, estan definits 12, però l'estructura del programa és modular, per tant, seria fàcilment ampliable.

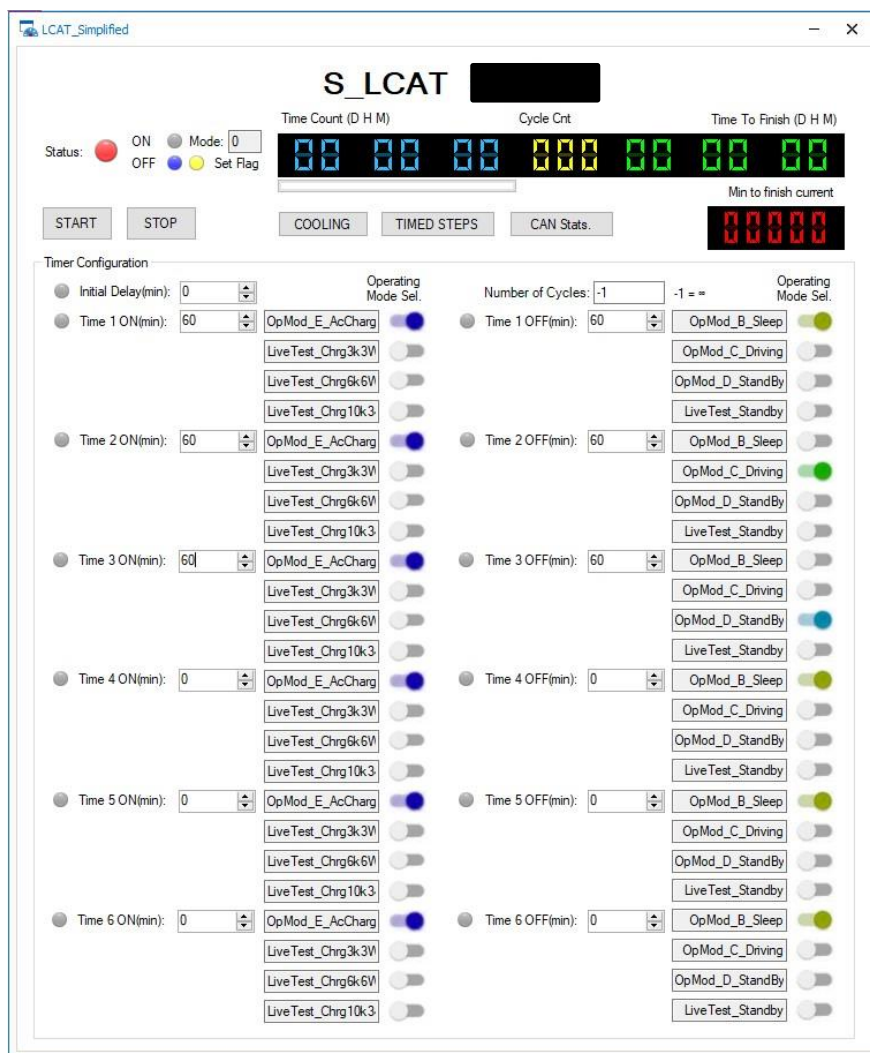
El funcionament intern del codi és basa en un comptador de temps que seqüència cíclicament els modes d'operació i manté cada mode el temps especificat en minuts per part de l'usuari.

La seqüència estàndard és un mode actiu seguit d'un inactiu, però l'eina detecta si el temps assignat a un mode és 0 minuts saltant-se aquests modes i continuant pel següent mode de la seqüència amb un temps assignat vàlid. Es poden programar el nombre de cicles a la seqüència que s'han de realitzar, però per defecte l'eina està en el mode de cicles infinits de tal manera que l'eina no para mai de realitzar cicles a la seqüència definida i ha de ser l'usuari que aturi l'assaig en el moment desitjat. Addicionalment, hi ha l'opció d'introduir un temps mort inicial que únicament s'executarà en la primera iteració. En aquest període l'eina no executa i posa el DUT en cap mode, es deixa perquè l'usuari seleccioni el mode d'operació durant aquest període de forma manual. És un temps que s'utilitza en alguns dels assajos quan el punt de sincronisme entre el control dels DUTs i el control de les condicions del test no és a l'inici de test; hi ha assajos que requereixen un primer període d'aclimatació.

Els modes d'operació del DUT definits en el pla de validació es divideixen en 2 categories, actius o ON si el DUT està operant amb càrrega o inactius o OFF si el dut està sense càrrega. Agafant els modes de l'ISO 16750 vistos en la secció 4 de la memòria, els modes actius serien el 2.2 i el 3.2 i els inactius serien l'1.2, el 2.1 i el 3.1. En el cas de l'OBC serien el mode E1 i E2 l'actiu i la resta B, C i D inactius. En la Il·lustració 48 es mostra la interfície gràfica de l'eina adaptada per a l'OBC d'aquest projecte amb els modes d'operació requerides en el pla de validació.

La divisió entre els modes de funcionament ve determinada per la manera que té l'eina de posar el DUT en el mode seleccionat. Entrant en els detalls de la seva programació tenim un codi principal desenvolupat en CAPL on està el seqüenciador de temps, el qual és comú en totes les implementacions de l'eina. En aquest codi també estan els controls dels modes d'operació, el seqüenciador per canviar d'un mode d'operació actiu a un inactiu (o viceversa) executa 4 blocs de comandes separades durant un temps preprogramat.

Els blocs que s'executen depenen del tipus de transició (d'actiu a inactiu o viceversa) i del mode d'operació destí de la transició. Els blocs d'accions que s'executaran per a cada pas i mode i són fixos, és a dir, que per a una transició al mode actiu 2 s'executaran les funcions SetMode2_Pas1(), SetMode2_Pas2(), SetMode2_Pas3(), i SetMode2_Pas4(). Tota aquesta part del codi forma part del codi principal de l'eina i està en el fitxer principal de l'eina. La definició de les funcions que s'executaran per a cada mode i pas està en un fitxer separat adjunt al principal i des del codi principal es cridarà a una sèrie de funcions amb uns noms estàndards el codi de les quals estarà definit en el fitxer a part.

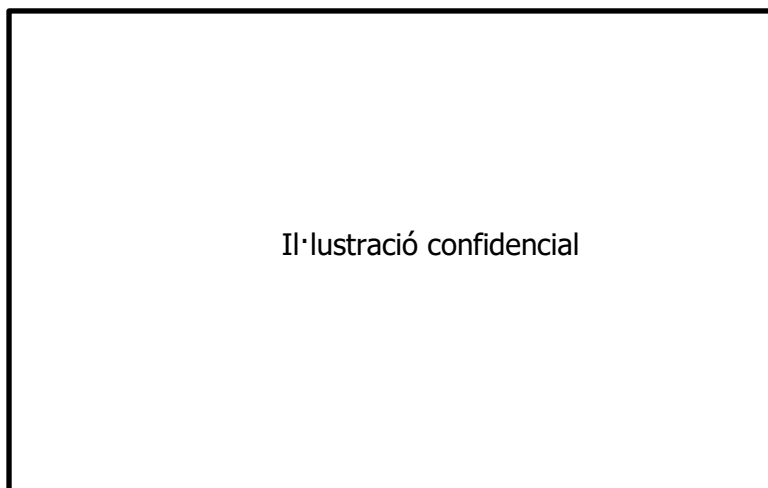


Il·lustració 48. Interfície gràfica principal del S-LCAT.

El codi principal de l'eina està en un fitxer .can i la definició de les funcions que s'executaran per a cada mode i pas en el .cin. L'eina actualment compta amb 4 possibles modes d'operacions actius i 4 d'inactius, per tant, tenim un total de 36 passos definits en el fitxer .cin

La utilització d'aquest sistema de doble fitxer de codi manté 100% independent el codi principal de l'eina amb la implementació realitzada en cada un dels projectes. En aquest fitxer també estan definits el temps d'execució dels diferents passos i qualssevol paràmetre relacionat amb la implementació per a un projecte determinat.

En la Il·lustració 49 es mostra el codi de les 4 funcions per al cas del mode E, és a dir per posar l'OBC en mode càrrega des de qualsevol dels estats definits com a inactius. En la Il·lustració 50 estan les funcions per passar d'un mode actiu al mode B o més conegut com a mode adormit (*sleep mode*). En la part esquerra de les il·lustracions mostra l'estructura del fitxer .cin. Al principi s'inclouen 4 fitxers addicionals, els 2 primers són l'accés al *drivers* per als equips explicats en la secció 7.1.2 (Controls de la instrumentació en el CANoe) els 2 restant són taules amb paràmetres i mapes del *hardware* del banc els quals s'utilitzaran en les funcions.



Il·lustració 49. Captura del codi de les funcions per posar el mode d'operació E en l'S-LCAT.

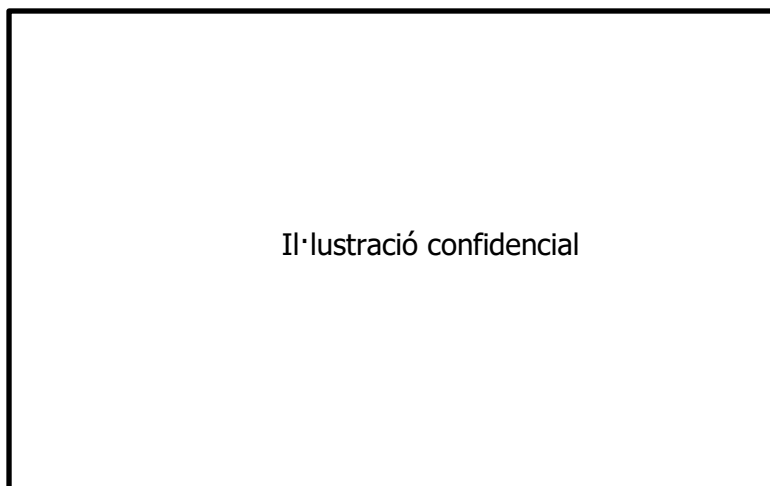
Entrant en el detall de les accions que realitza el codi de la Il·lustració 49 tenim:

- Primera funció o grup d'accions:
 - Habilita que la simulació principal posi en el bus les trames CAN per a simular el vehicle en l'OBC (línia 205). Si es ve d'un mode en el qual ja estava habilitada aquesta acció no tindrà efecte.
 - Posar a la font bidireccional de la sortida de l'OBC en el punt de treball de tensió de 345 V cridant la funció que aporta la interfície per accedir al *driver*. Prèviament en la variable *HVDC_DeviceName* se li ha guardat el codi/nom de l'equip al qual ha d'apuntar.
- Segona funció o grup d'accions executat 10 segons després de l'anterior:
 - Connectar el valor IEC 63A70A en el senyal *proximity detection* cridant a la funció que aporta la interfície per accedir al *driver*.
 - Connectar el senyal *control pilot*, posant en cua aquesta acció en el *driver*.
 - Connectar la tensió AC a l'OBC via el controls del MUX (si es treballa en mode EVSE, aquesta acció no tindrà efecte). Aquest control es posa en cua i es realitzarà després de connectar el *control pilot*.
 - Connectar la sortida de la font bidireccional a la sortida de l'OBC cridant la funció que aporta la interfície per accedir al *driver*.
- Tercera funció o grup d'accions executat 10 segons després de l'anterior:
 - Posar en els senyals de CAN que s'envien a l'OBC els valors perquè passi al mode càrrega.
 - Es requereix a l'OBC que entregui 10,35 kW de potència en la sortida, és a dir potència màxima.

- Es posa el límit de la carrega per a la tensió de la bateria d'alta tensió a un valor més elevat que els límit de l'OBC de tal manera que no interfereixin en la potència de sortida entregada.
- Es posa el límit de la carrega per a la corrent de sortida de l'OBC a un valor més elevat que els límit de l'OBC de tal manera que no interfereixin en la potència de sortida entregada.
- Quarta funció o grup d'accions executat 15 segons després de l'anterior:
 - Per l'OBC no es requereix aquest quart grup d'acció, per tant, no s'executa cap acció. En aquest moment l'OBC ja està processant potència.

Entrant en el detall de les accions que realitza el codi de la Il·lustració 50 tenim:

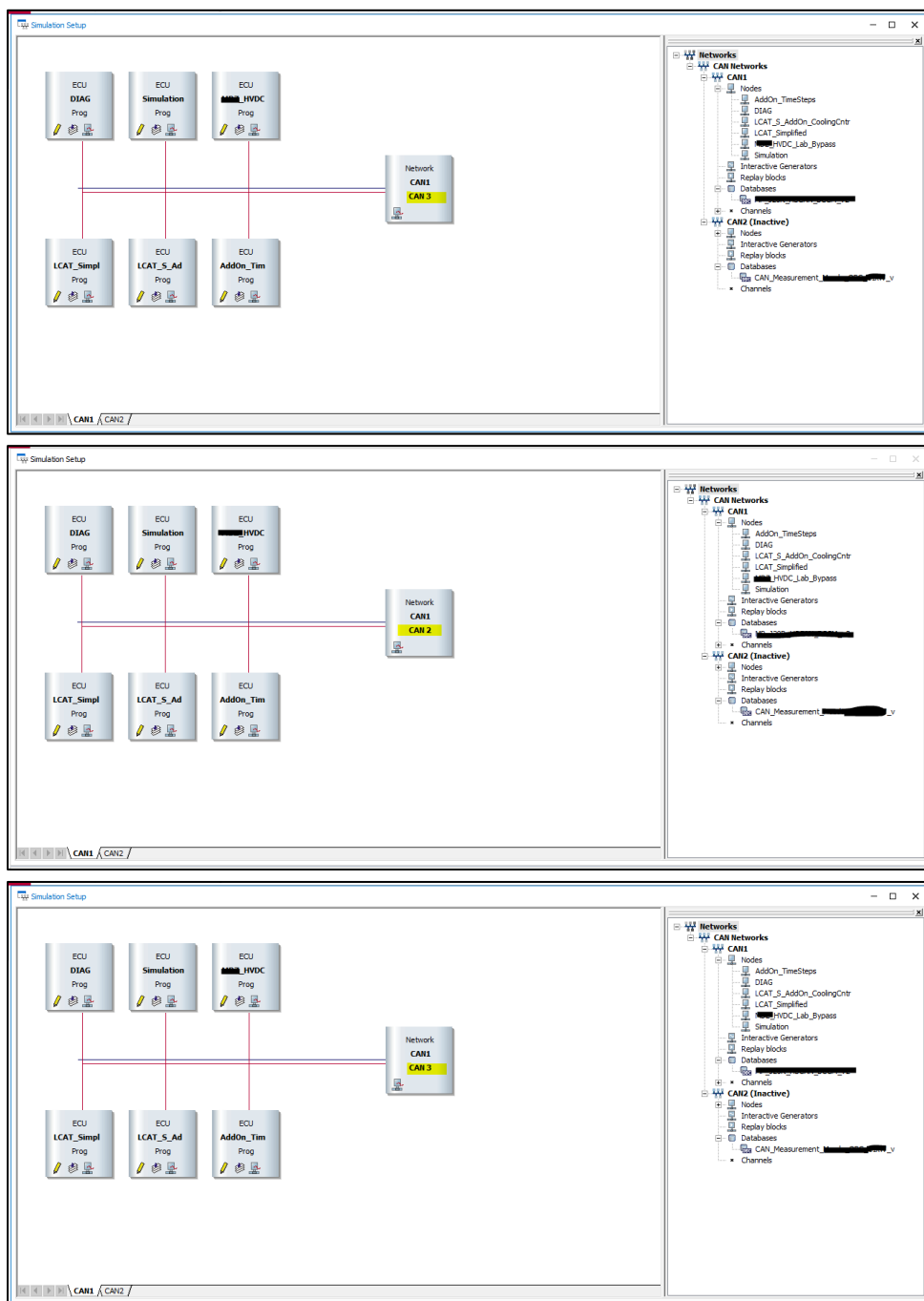
- Primera funció o grup d'accions:
 - S'apaga la càrrega posant 0 kW en el senyal de CAN que controla la potència de sortida sol·licitada a l'OBC.
- Segona funció o grup d'accions executat 10 segons després de l'anterior:
 - Es desconnecta el senyal *proximity detection*.
- Tercera funció o grup d'accions executat 10 segons després de l'anterior:
 - Es desconnecta el senyal *control pilot*.
 - Es desconnecta la tensió AC d'entrada de l'OBC. Petició en cua que s'executarà després de l'anterior.
 - Es para la transmissió dels missatges CAN enviats a l'OBC. En aquest punt l'OBC deixa de tenir raons (*wake up reasons*) per romandre en el mode actual, per tant, entrarà en el *sleep mode* en el període de temps que té establert per *software*.
- Quarta funció o grup d'accions executat 15 segons després de l'anterior:
 - Es desconnecta la tensió de sortida d'alta tensió de l'OBC apagant la sortida de la font cridant la funció que aporta la interfície per accedir al *driver*.



Il·lustració 50. Captura del codi de les funcions per posar el mode d'operació B en l'S-LCAT.

Una vegada analitzat el funcionament de l'eina es veurà l'estratègia seguida per realitzar el control dels 3 OBC del banc. Els banc de durabilitat ha de suportar l'execució dels modes d'operació en els 3 OBCs en paral·lel. Això es durà a terme mitjançant l'execució de 3 instàncies

del programa CANoe en paral·lel en la mateixa màquina. Per aquest propòsit s'han generat 3 configuracions per al mode "ciclat" amb lleugeres diferències en el *simulation setup*. En la Il·lustració 51 es mostren els tres *simulation setups* per a cadascuna de les configuracions generades. Les diferències amb els *simulations setups* vistos en les seccions anteriors serien els 3 nodes en la part inferior del bus, aquest serien els nodes del S-LCAT. El primer és el codi principal de l'eina i els 2 posteriors són uns codis afegits que es veuran en la secció següent. Per diferenciar l'OBC que controlarà cadascuna de les configuracions s'ha assignat el bus a un canal CAN de sortida diferent: OBC 1 al CAN1, OBC 2 al CAN2 i OBC 3 al CAN3. Utilitzant aquesta assignació i una estratègia específica per a la programació tant del node encarregat de la simulació del vehicle com en el .cin del S-LCAT els CAPLs controlaran els diferents OBCs.



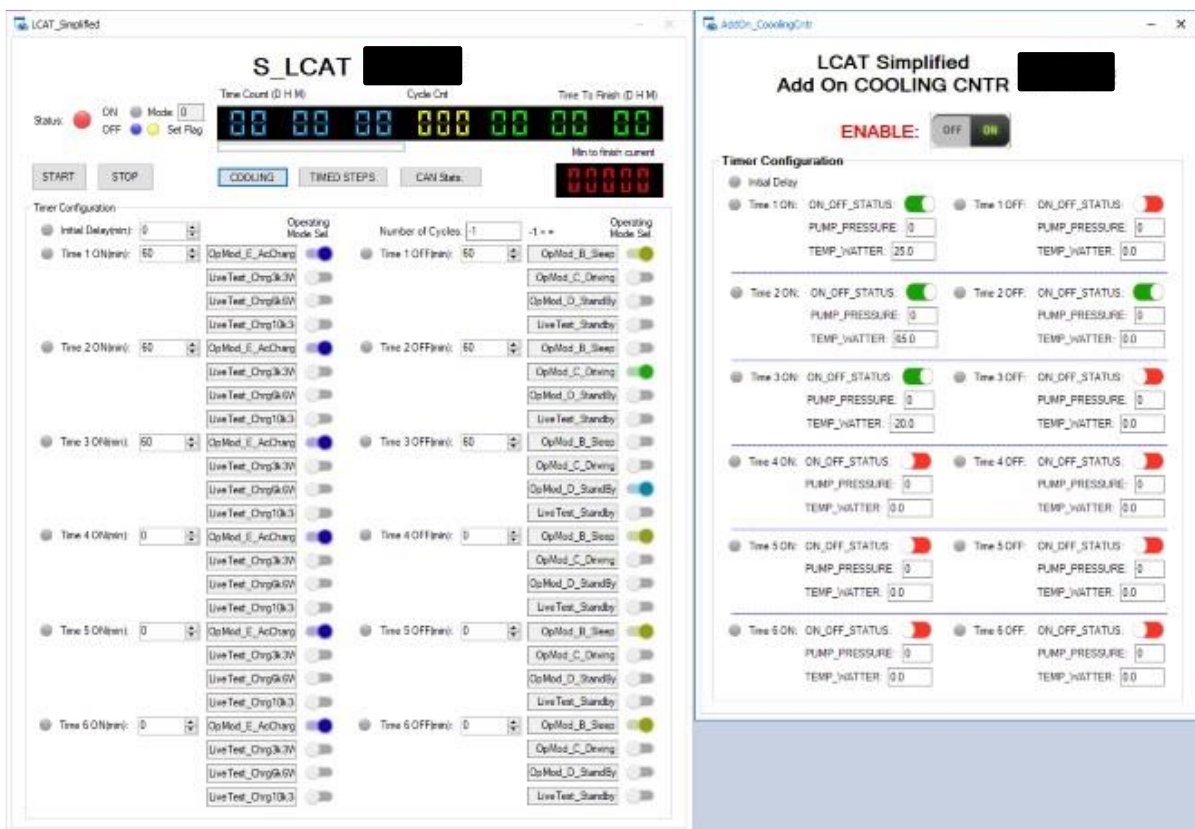
Il·lustració 51. Captura dels Simulations Setups per a les 3 configuracions del mode "ciclat" ordenades de l'OBC1 a l'OBC3 per al banc de durabilitat.

7.3.2 Afegit del control per al sistema de refrigeració líquida en l'eina S-LCAT

L'eina S-LCAT no integra un control del líquid refrigerant, per aquest motiu s'ha desenvolupat un petit afegit a l'eina. Aquest control es realitzarà en un codi CAPL separat per integrar-ho únicament en els DUTs que ho requereixin. En el cas de l'OBC, el ReqSW6 específica tenir control de la temperatura del líquid refrigerant.

El funcionament és simple, a través d'una interfície gràfica independent que s'obrirà prement el botó de COOLING en la interfície del S-LCAT. En aquesta interfície es definirà l'estat de sistema de refrigeració líquida de l'OBC per a cada un dels passos de la eina S-LCAT. El codi CAPL del afegit es sincronitzarà amb l'eina principal aplicant l'estat definit per a cada una dels punts de la seqüència.

Per a l'equip utilitzat en el projecte, es tindrà el control de la temperatura del líquid i de l'estat de la bomba, és a dir si hi ha pas o no del líquid. En la Il·lustració 52 es mostra una captura de les 2 interfícies gràfiques.



Il·lustració 52. Captura de la interfície gràfica per al control del líquid refrigerant en el S-LCAT.

7.3.3 Afegit de passos temporitzats per a l'eina S-LCAT

L'eina S-LCAT s'utilitzarà per seqüenciar els modes d'operació definits per a l'OBC, però en alguns dels assajos es requereix una variabilitat d'alguns dels paràmetres del mode. Aquests paràmetres venen recollits en els requeriments ReqSW7 on s'identifica el voltatge de la font d'alimentació d'alta tensió de la sortida dels OBCs i ReqSW9 en el qual s'identifica la potència

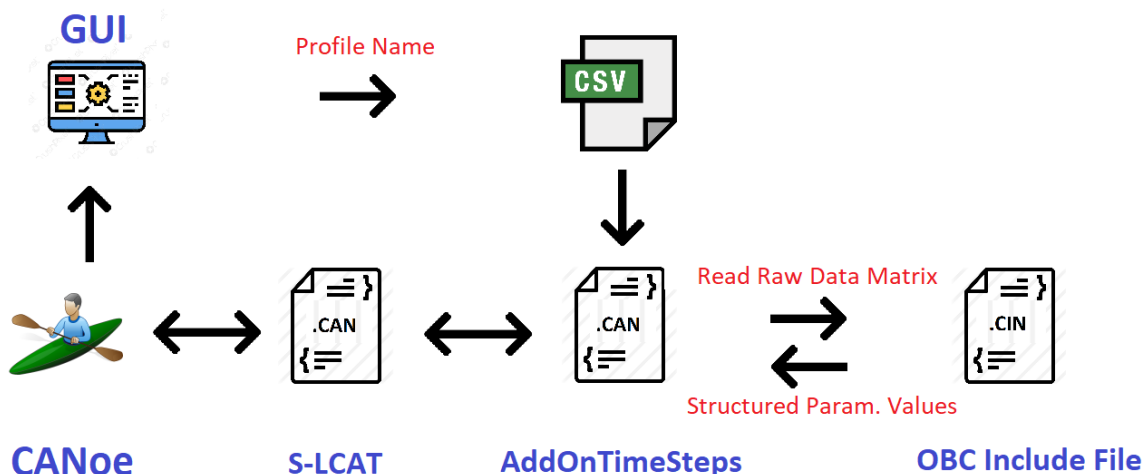
de sortida que processa l'OBC. Addicionalment, tenim un requisit extra que especifica els salts màxims permesos en la tensió de sortida que serien de 5 V (ReqSW8).

Per complir aquest requeriment es necessitarà una eina addicional o un afegit a l'eina S-LCAT com en el cas del control de la temperatura del líquid refrigerant. Per aquest cas no es té cap eina estandarditzada en el portafolis d'eines intern de l'empresa. El que es venia realitzant en projectes similars, era un codi CAPL individualitzat on es programaven els diversos perfils, aquest codi es sincronitzava amb l'S-LCAT per aplicar-los.

Per a la implementació d'aquest projecte es va decidir estandarditzar el codi individualitzat en una petita eina afegida a l'S-LCAT amb el mateix concepte que el control del líquid refrigerant. El nom serà *Add On Time Steps*. Els requisits d'alt nivell per a l'eina serien:

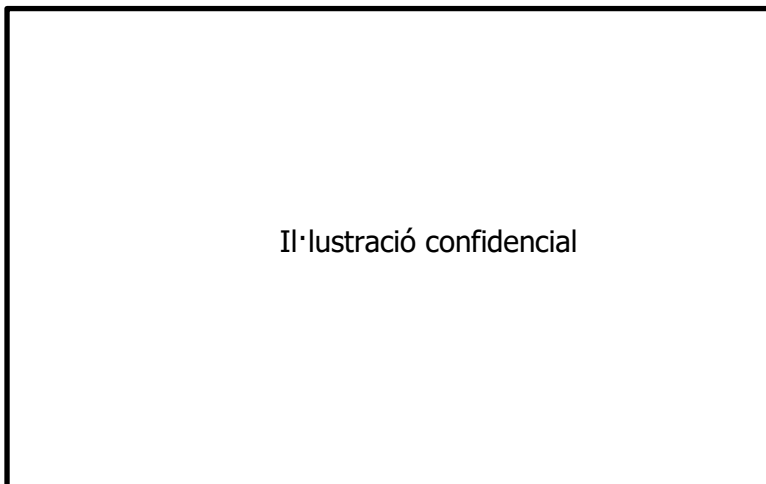
- Capacitat per llegir d'un fitxer de text en format .csv els codis de temps i valors dels paràmetres a ser modificats.
- Possibilitat de tenir diversos fitxers de perfils i seleccionar el perfil a aplicar.
- Sincronització amb l'eina S-LCAT per a l'aplicació del perfil.
- Eina estandarditzada que permeti una ràpida integració als diferents projectes i una fàcil personalització dels paràmetres a ser modificats.
- El tipus de paràmetres a modificar serà: variables i senyals de la configuració de CANoe, canals de l'equip MUX i valors de les fonts d'alimentació i equips similars.

El desenvolupament de l'eina s'ha realitzat seguint la mateixa filosofia que el S-LCAT, es tindrà un codi CAPL principals en un fitxer .can, i mitjançant un fitxer .cin es realitzarà la personalització per a la implementació en cadascun dels projectes. El fitxer cin contindrà 2 funcions, la preconfiguració dels paràmetres i el processament de les dades obtingudes del fitxer de text llegit.



Il·lustració 53. Flux de l'eina Add On Time Step.

En la Il·lustració 53 s'ha descrit el flux de l'eina. A la dreta tenim el CANoe el qual interactuarà amb l'S-LCAT. A la vegada, a través d'una petita interfície gràfica l'usuari introduirà el nom del perfil del test que ha d'executar. L'eina obrirà el fitxer, llegirà la informació i la guardarà en una estructura de dades provisional per files i columnes del fitxer. Aquesta informació la passarà a l'arxiu .cin per ser processada. L'arxiu .cin la retornarà utilitzant una estructura de dades predefinida. En la Il·lustració 54 es mostra codi de l'estructura de dades definida i el processat per al projecte en el qual s'està implementant.



Il·lustració 54. Estructura de dades i processat per a l'eina Add On Time Steps.

Una vegada s'inicia el test amb l'S-LCAT, el *add on time steps* interactuarà amb l'S-LCAT i quan el mode d'operació estigui en marxa, és a dir que s'hagin completat les 4 accions, si existeix un fitxer amb el nom definit per al mode actual el *add on time steps* començarà a aplicar els passos introduïts en l'estructura de dades. L'eina té preconfigurats els paràmetres, per tant, únicament ha de cridar a les funcions d'accés als equips de banc o posar el valor en les variables del CANoe. En la Il·lustració 55 es mostra el codi de la preconfiguració en l'arxiu .cin, en la secció "on Start" de les línies 52 a la 98. En aquesta il·lustració també està el codi encarregat d'executar en cadascun dels passos els canvis dels paràmetres, línies de la 67 a la 111. Aquests canvis estan a la vegada temporitzats, ja que segons la implementació de cada projecte es pot decidir si primer es realitza el canvi en un tipus o en un altre tipus de paràmetre.



Il·lustració 55. Preconfiguració dels paràmetres de l'arxiu .cin i el timer del codi principal per a l'eina Add On Time Steps.

Com a últim punt de l'eina, en la Il·lustració 54 i Il·lustració 55 únicament es controlarà la potència de càrrega de l'OBC i el voltatge en font d'alta tensió de sortida. Addicionalment, s'ha deixat el control del líquid refrigerant, donant opció l'usuari per a utilitzar aquests fitxers en comptes de l'eina dedicada per al seu control. S'han preparat els 5 fitxers del pla de validació

més un d'extra. Tenim les tres taules per al test de vida, un per a cada nivell de càrrega i dos per al test HTO, un per al mode E1 i l'altre per a l'E2. El Fitxer extra és per al test de vida, durant el període en mode D entre els perfils de càrrega la tensió en la font d'alta tensió ha de baixar progressivament per a colpir el ReqSW8. El perfil acaba en la tensió màxima de la càrrega especificada per a l'OBC i el següent s'inicia en la tensió mínima de càrrega, per tant, es necessita que durant aquest període aquesta tensió es redueixi progressivament si no es generarà un salt massa gran i no realista que podria danyar l'OBC. En la Il·lustració 56 és mostren dos dels fitxers: a l'esquerra el perfil de test de vida a plena potència i a la dreta aquest sisè perfil.



Il·lustració 56. Fitxers amb perfils realitzats per a l'eina Add On Time Steps.

Per finalitzar amb la secció de les eines *software* per al banc de durabilitat es veurà l'assignació final dels requisits *software* definits del pla de validació en les eines implementades:

- Banc de durabilitat:
 - *Software* de Keysight BenchVue DAQ: ReqSW1.
 - APT Bassat en vTestStudio: ReqSW2.
 - Eina S-LCAT: ReqSW4 i ReqSW5.
 - Afegit a l'eina S-LCAT Cooling Control: ReqSW6.^o
 - Afegit a l'eina S-LCAT Time Steps: ReqSW7, ReqSW8 i ReqSW9.

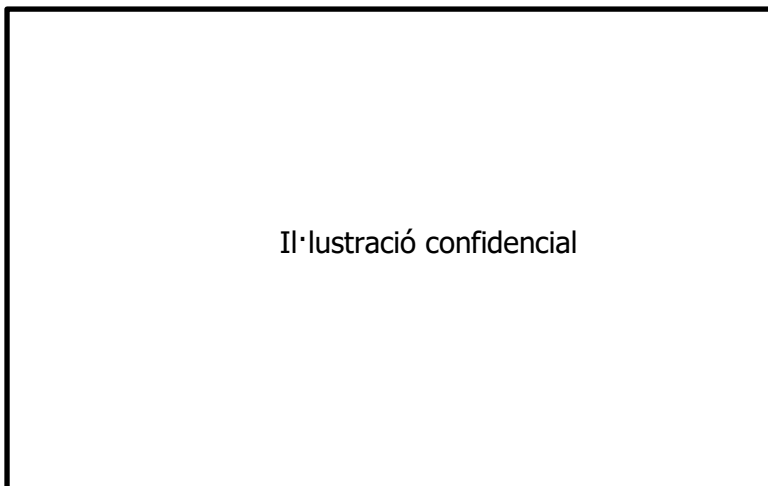
7.4 Desenvolupament *software* d'un EVSE Mode 3 per a l'assaig d'OBCs

En aquesta secció es veurà el desenvolupament de l'eina *software* per a l'EVSE dissenyat en el punt "6.4 - Disseny HW d'un EVSE Mode 3". Per a aquest desenvolupament s'utilitzarà l'entorn LabView, ja que és ideal per a treballar amb els equips de National Instruments en la integració *hardware-software*.

L'eina *software* estarà dividida en 2 parts, per una banda, la generació i adquisició dels senyals que s'executarà en la FPGA del xassís NI-9174 i per l'alta el controlador lògic de l'EVSE que s'executarà en el PC.

A causa d'un problema en el subministrament d'alguns dels components de l'equip *hardware* i d'un termini d'entrega del banc d'assajos de l'equip de test climàtic més curt del

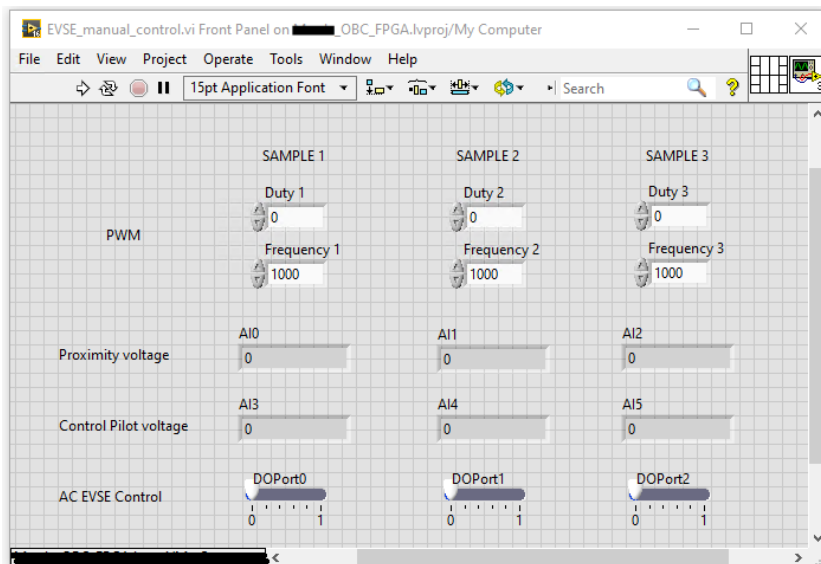
desitjat, el temps que es va disposar per al desenvolupament de l'eina *software* ha estat extremadament curt. Per aquest motiu es va prendre la decisió de prioritzar la implementació de les parts clau perquè el banc d'assajos fos 100% operatiu. La part indispensable és la generació del senyal *control pilot*, ja que és estrictament necessària per posar el mode d'operació E (carrega) en l'OBC. Un cop es té la implementació del senyal polsat per al *control pilot* es va realitzar una implantació parcial de la resta d'entrades i sortides.



Il·lustració 57. Codi LabView de l'aplicació principal de l'AC EVSE Mode 3.

En la Il·lustració 57 es mostra el codi la LabView de l'aplicació principal que s'executarà en el PC. En ell s'inicia la FPGA i s'entra en un bucle temporitzat de 2 segons. Les tasques executades en el bucle són simples, per una banda, es realitza un processament del valor de cicle de treball i la freqüència per generar el senyal polsat del *control pilot*, i per l'altra es mostrarà en la interfície gràfica, Il·lustració 58, el valor de voltatge mesurat per als senyals *proximity detection* i *control pilot*. Addicionalment, es podrà controlar des de la interfície gràfica el port digital que controla el contactor AC per part de l'EVSE.

El codi de la FPGA per generar el senyal polsat del *control pilot*, necessita el nombre de cicles del rellotge als quals ha d'estar la sortida de la targeta a "1" i ha "0". Per tant, es realitza un processament de la freqüència del senyal i de cicle de treball per obtenir aquests 2 nombres enters utilitzant la freqüència de 40 MHz del rellotge de la FPGA. Un cop calculats s'empaqueten en una estructura anomenada PWM i es transmeten a la FPGA.



Il·lustració 58. Interfície gràfica de l'aplicació principal de l'AC EVSE Mode 3.

El codi intern que es compilarà i s'executarà en la FPGA es mostra en la Il·lustració 59. En el codi esta format per a 3 bucles temporitzats. El bucle a) és l'encarregat de generar el senyal PWM del *control pilot*. Es una seqüència de 2 estats on en cada un s'inverteix el valor de la sortida de la targeta NI 9403 de *true* a *false* generant la senyal polsada. La freqüència i cicle de treball es defineixen en el temps que esta en cadascun dels estats, aquest temps esta definit en ticks o períodes de rellotge, els quals s'ha vist el seu càlcul en la Il·lustració 57. Addicionalment s'ha introduït una variable booleana interna nomenada "PWM1 ON" la qual rebrà el mateix valor que la sortida de la 9403. Aquesta variable s'utilitzarà en el bucle b).

En el bucle b) es realitza la mesura del valor de tensió del senyals *control pilot* a través del port AI0 de la NI 9229 i es transmetrà a l'aplicació principal en la variable AI3. Aquesta mesura es realitzarà duran el període on la senyal interna "PWM1 ON" rep el valor *true* i cada 500 *ticks* o 125 μ s, ja que únicament ens interessa el valor positiu de la forma d'ona. Els bucles a) i b) estaran repets 3 vegades una per cadascuna senyals control pilot a generar i mesurar.

El bucle c) s'encarregarà de les 2 tasques restants: controlar la sortida AC EVSE i mesurar el valor de tensió del senyal *proximity detection*. Són dues tasques simples que s'executaran en seqüència cíclicament cada 500 *ticks* o 125 μ s. Per al control de la AC es traslladarà als canals assignats de la NI 9403 el valor especificat en la aplicació principal i per la mesura del *proximity detection* s'escriurà en les variables AI0, AI1 i AI2 el valors mesurats en la targeta NI 9205.



Il·lustració 59. Codi LabView de la FPGA de l'AC EVSE Mode 3.

8 Conclusions

Després de dur a terme el projecte es pot concloure que s'han executat els principals objectius de manera satisfactòria. S'ha realitzat el disseny *hardware* de 2 bancs d'assaig per a OBCs de fins a 11 kW de potència màxima d'entrada i s'han posat en marxa en un període de temps extremadament curt per als estàndards del sector.

El desenvolupament de les eines *software* per possibilitar l'execució del pla de validació d'assajos climàtic per al producte desenvolupat per l'empresa del sector de l'automoció ha sigut un rotund èxit. Per una banda, compleixen l'objectiu inicial de permetre l'execució dels assajos i per l'altra s'ha arribat a un nivell d'estandardització molt satisfactori dins de l'empresa. Tenim casos de test estandarditzats en els quals a través d'unes taules de paràmetres es defineixen els casos de test a ser executats. Per a les eines genèriques està separat el codi de l'eina de la implementació en el projecte, la qual cosa permet reemplaçar i reprogramar l'eina per a diversos projectes d'una manera molt àgil.

Pel que fa a les eines *software* desenvolupades quedaria pendent acabar de desenvolupar l'eina *software* per al concepte d'EVSE mode 3 plantejat en la secció 6.4. Aquest punt ha quedat obert dins de l'empresa i es continuarà el desenvolupament de l'eina per a futurs projectes.

Respecte el disseny dels bancs d'assajos es continuarà treballant en l'estandardització dels components interns i millora de la seguretat elèctrica. Per a futurs projectes s'introduiran millores en el tema de la seguretat elèctrica sobretot pels bancs de durabilitat afegint el doble sistema PILZ del banc paramètric. Una altra millora en aquest camp seria la instal·lació de sensors d'obertura en les càmeres climàtiques, de tal manera que si s'obre per manipular els OBCs, es produeixi una desconexió de l'alta tensió del banc.

Per acabar m'agradaria comentar el gran repte que a sigut el projecte a nivell d'eines *software*. Es domina l'ús del programes LabView, CANoe i vTEstStuido. A més a més s'ha programat en LabView, CAPL generant una interfície pròpia entre els dos programes a través de variable d'entorn.

9 Agraïments

En aquest punt m'agradaria donar un especial agraïment als companys de l'equip de Systems Test Tools que ha contribuït a fer que aquest projecte es dugui a terme en els terminis especificats. A José per a l'ús del seu disseny del banc "global" com a base del banc paramètric, a Cèsar per l'invent del control pilot i a configuració base de CANoe, a Marcel per la seva contribució en el desenvolupament de controladors i petites parts del codi i Rubèn per la seva contribució en innumerables punts i estar allí per a tirar endavant el projecte.

Tot això no hauria estat possible sense el líder de l'equip Eduard amb el seu suport tècnic i la seva magnífica gestió de l'equip i les tasques per a tirar endavant un projecte tan ambiciós en l'empresa com aquest. En últim lloc, no em vull oblidar de l'equip climàtic Jordi i Ignasi les parts clau per a l'execució dels assajos i la selecció dels equips de potència segons les necessitats i pressupost disponible.

10 Bibliografia

- [1] ISO 16750-1:2006; "Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Part 1: General"
- [2] ISO 16750-2:2012; "Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Part 2: Electrical loads"
- [3] ISO 16750-3:2012; "Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Part 3: Mechanical loads"
- [4] ISO 16750-4:2010; "Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Part 4: Climatic loads"
- [5] ISO 16750-4:2010; "Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Part 5: Chemical loads"
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/IP_Code (darrera consulta 06/06/2022)
- [7] Dr. Roberto Giral, et al.; "Lecture 7. Battery Charging Topologies"; Matèria "Energy Conversion and Storage; Master on Electrical Vehicle Technologies; Universitat Rovira i Virgili; any acadèmic 2020/2021.
- [8] Dr. Abdelali El Aroudi, et al.; "Topic 6. Modeling and Simulation of the Electric"; Matèria Electrical Architecture of Vehicles; Master on Electrical Vehicle Technologies; Universitat Rovira i Virgili; any acadèmic 2019/2020.
- [9] IEC 61851-1:2010-11; "Electric vehicle charging System – part 1: General requirements"
- [10] SAE J1772:JAN2010; "SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler"
- [11] GBT 20234.1-2015; "Connection Set for Conductive Charging of Electric Vehicles - Part 1: General Requirements"
- [12] GBT 20234.2-2015; "Connection Set for Conductive Charging of Electric Vehicles - Part 2: AC Charging Coupler"
- [13] <https://www.vector.com/int/en/know-how/capl> (darrera consulta 06/06/2022)
- [14] <https://www.vector.com/int/en/know-how/can> (darrera consulta 06/06/2022)

11 Annex 1: Punts rellevants del pla de validació

En aquest annex es mostraran els punts rellevants al complet del pla de validació del OBC per al qual s'han desenvolupant els bancs d'assaig i les eines *software* de test:

- El pla de validació es un document confidencial.

12 Annex 2: Llistat de requisits per als bancs

En aquest annex es llistarà els requeriment exposats en la secció 5.3 de la memòria:

- Els requisits del bancs seran confidencials de l'empresa del sector automoció.

Seguidament es presseta un resum de l'assignació dels requisits *hardware* als elements en cada un dels bancs dissenyats en les seccions 6.2 Disseny del Banc Paramètric i 6.3 Disseny del Banc Durabilitat:

- Banc paramètric:
 - Font d'alimentació AC: ReqHW4*, ReqHW8* i ReqHW23.5.
 - Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW2, ReqHW23.2.
 - Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
 - Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
 - LV BOX: ReqHW6* i ReqHW23.4.
 - EVSE: ReqHW23.3.
 - Simulador bus del CAN: ReqHW7.
 - Sistema MUX & DAQ: ReqHW6* i ReqHW22.
 - Analitzador de potència: ReqHW23.7.
 - Mesurador corrent de consum: ReqHW23.1.
 - Distribució elèctrica del banc d'assajos: ReqHW4*, ReqHW8* i ReqHW23.6.
 - Factor de forma del banc: ReqHW11.
 - Requeriments que no apliquen en aquest banc d'assajos: ReqHW1, ReqHW3, ReqHW10, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18, ReqHW19 i ReqHW24.
- Banc durabilitat:
 - Font d'alimentació AC: ReqHW3, ReqHW8.
 - Font d'alimentació DC bidireccional: ReqHW1, ReqHW2, ReqHW10* i ReqHW24.
 - Font d'alimentació LV DC: ReqHW5 i ReqHW20.
 - Sistema de refrigeració líquida: ReqHW9 i ReqHW21.
 - LV BOX: ReqHW6 i ReqHW10*.
 - Simulador bus del CAN: ReqHW7 i ReqHW10*.
 - Sistema DAQ: ReqHW10*, ReqHW12, ReqHW13, ReqHW14, ReqHW15, ReqHW16, ReqHW17, ReqHW18 i ReqHW19.
 - Sistema MUX: ReqHW6*.
 - Mesurador corrent de consum: ReqHW10* i ReqHW23.1.
 - Distribució elèctrica del banc d'assajos: ReqHW4 i ReqHW10*.
 - Factor de forma del banc: ReqHW11.

- Requeriments que no apliquen en aquest banc d'assajos: ReqHW22, ReqHW23.2, ReqHW23.3, ReqHW23.4, ReqHW23.5, ReqHW23.6 i ReqHW23.7.

El * indica que un requisit aplica varis elements del banc per a complir-lo.

Assignació dels requisits *software* en les diferents eines desenvolupades e impremtades en les seccions 7.2 Casos de test per al banc paramètric i 7.3 Modes d'operació per al banc durabilitat per a cadascun dels banc:

- Banc paramètric:
 - APT Bassat en vTestStudio: ReqSWT2 i ReqSWT3*.
 - FAPT v4.2: ReqSWT3*.
- Banc durabilitat:
 - *Software* de Keysigt BenchVue DAQ: ReqSW1.
 - APT Bassat en vTestStudio: ReqSWT2.
 - Eina S-LCAT: ReqSWT4 i ReqSWT5.
 - Afegit a l'eina S-LCAT Cooling Control: ReqSWT6.
 - Afegit a l'eina S-LCAT Time Steps: ReqSWT7, ReqSWT8 i ReqSWT9.

El * indica que un requisit aplica varis elements del banc per a complir-lo.

13 Annex 3: Codi dels casos de test FT1 i FT2

En aquest annex es mostrarà el codi programat en llenguatge CAPL dels casos de test desenvolupats per als assajos FT1 i FT2 del pla de validació:

El codi desenvolupat es confidencial de l'empresa del sector automoció.

- Seqüència de test TC_SLEEP:
 - El codi desenvolupat es confidencial de l'empresa del sector automoció.
- Seqüència de test TC_BATTERY_TEST:
 - El codi desenvolupat es confidencial de l'empresa del sector automoció.
- Seqüència de test TC_PARAM_EVALUATE:
 - El codi desenvolupat es confidencial de l'empresa del sector automoció.
- Seqüència de test TC_ACCURACY:
 - El codi desenvolupat es confidencial de l'empresa del sector automoció.
- Seqüència de test TC_PM_TEST:
 - El codi desenvolupat es confidencial de l'empresa del sector automoció.