Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

'SISTEMA DE CONTROL DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO. Control de la Energía, Comunicaciones y Sistema de Arranque'

Autor: Ana María Illescas Villarán

Tutor: Javier Payán Somet

Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

SISTEMA DE CONTROL DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO. Control de la Energía, Comunicaciones y Sistema de Arranque'

Autor:

Ana María Illescas Villarán

Tutor:

Javier Payán Somet

Profesor titular

Dep. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Carrera: SISTEMA DE CONTROL DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO. Control de la Energía, Comunicaciones y Sistema de Arranque'

Autor: Ana María Illescas Villarán

Tutor: Javier Payán Somet

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

En primer lugar, mis agradecimientos van para la empresa MDU. (Militärtecnologie, Dienst und Überwachung, S.A.), en la que sigo trabajando en la actualidad, por darme la oportunidad de participar en este proyecto. A Francisco Javier Payán por su extraordinaria atención y comprensión. Sin el apoyo y ánimo de mis hijos y resto de mi familia no hubiera sido posible, muchísimas gracias a ellos también.

Índice

AGRADECIMIENTOS 1

ÍNDICE 3

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 6

ÍNDICE DE TABLAS 8

ACRÓNIMOS 10

1. INTRODUCCIÓN 11

1.1 EXPECTATIVAS INICIALES DEL PROYECTO 11
1.2 OBJETO Y DISPOSICIÓN DEL TRABAJO 11

2. ANÁLISIS INICIAL 13

2.1 VEHÍCULOS HÍBRIDOS 13
2.1.1 DEFINICIÓN 13
2.1.2 SISTEMA DE PROPULSIÓN HÍBRIDO-ELÉCTRICO 14
2.1.3 CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS 17
2.1.4 MOTORES 22
2.2 ELEMENTOS SUMINISTRADORES DE ENERGÍA 25
2.2.1 ULTRACONDENSADORES. ¿QUÉ SON? ¿CÓMO FUNCIONAN? 25
2.2.2 DIFERENCIA ENTRE BATERÍAS Y ULTRACONDENSADORES 26
2.2.3 ULTRACONDENSADORES EN EL MERCADO DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS 27
2.2.4 MODOS DE CONEXIÓN DE BATERÍAS 28
2.2.5 MODOS DE CONEXIÓN DE ULTRACONDENSADORES 30
2.2.6 INTERCONEXIONADO BATERÍAS-ULTRACONDENSADORES Y FRENADO REGENERATIVO 31
2.3 ANÁLISIS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CONSUMIDORES 34
2.3.1 SISTEMA DE PROPULSIÓN O TRACCIÓN 34
2.3.2 SISTEMA DE DIRECCIÓN 34
2.3.3 SISTEMA DE FRENADO 35
2.3.4 SISTEMA DE SUSPENSIÓN 37
2.3.5 SISTEMA DE VISIÓN 37
2.3.6 SISTEMA DE COMUNICACIÓN 38
2.3.7 SISTEMA DE ILUMINACIÓN 39
2.3.8 SISTEMA DE VENTILACIÓN 39
2.3.9 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN 39
2.3.10 CONSIDERACIONES A LOS GENERADORES DE ENERGÍA 40

2.3.11 CONSIDERACIONES A LOS ALMACENADORES DE ENERGÍA 41
2.4 MODELADO DE LA INFLUENCIA DE LOS ESCENARIOS EN LA DEMANDA 43
2.4.1 ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS MÁS UTILIZADOS 44
2.4.2 POSIBLES ESCENARIOS PARA LA SIMULACIÓN DEL VEHÍCULO 56
2.4.3 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS ESCENARIOS EN LA DEMANDA 58
2.5 ANÁLISIS DE MERCADO DEL PROYECTO 60
2.5.1 DEMANDA ESTIMADA 60
2.5.2 VOLÚMENES DE MERCADO Y CRECIMIENTO 61

3. EMS (ENERGY MANAGEMENT SYSTEM) 63

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS 63
3.1.1 HARDWARE 63
3.1.2 SOFTWARE 63
3.2 ALCANCE DEL ALGORITMO 64
3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL 64
3.3.1 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES 64
3.3.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA 65
3.4 DIAGRAMA DE ESTADOS 67
3.4.1 DIAGRAMA 68
3.4.2 DESCRIPCIÓN 71

4. INTERFACES DE COMUNICACIÓN 75

4.1 ESQUEMA GENERAL DE LA COMUNICACIÓN EN EL VEHÍCULO 75
4.2 PROTOCOLO CAN BUS 76
4.3 DISEÑO DE LAS INTERFACES DE COMUNICACIÓN 77
4.3.1 VCS Y TSCS 77
4.3.1.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA 77
4.3.2 CONVERTIDORES DC/DC 80
4.3.2.1 LAZO DE COMUNICACIÓN 80
4.3.3 ULTRACONDENSADORES 82
4.3.3.1 LAZO DE COMUNICACIÓN 82
4.3.4 BATERÍAS 84
4.3.4.1 LAZO DE COMUNICACIÓN 84
4.3.5 MOTOR, GENERADOR Y SISTEMA DE ARRANQUE 86
4.3.5.1 LAZO DE COMUNICACIÓN 86

5. SISTEMA DE ARRANQUE 88

5.1 REQUISITOS GENERALES DEL SISTEMA 88
5.2 DISEÑO HARDWARE 88

6. CONCLUSIONES 90

7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 92

8. ANEXOS 93

8.1 ANEXO A: INTERFACES DE COMUNICACIÓN 93
8.1.1 VCS Y TSCS 93
8.1.1.1 PROTOCOLO 93
8.1.2 CONVERTIDORES DC/DC 99
8.1.2.1 PROTOCOLO 100
8.1.3 ULTRACONDENSADORES 105
8.1.3.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN 106
8.1.3.2 TIPOS DE MENSAJES 107
8.1.4 BATERÍAS 113
8.1.4.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN 113
8.1.4.2 MENSAJES 114
8.1.5 MOTOR, GENERADOR Y SISTEMA DE ARRANQUE 118
8.1.5.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN 118
8.1.5.2 MENSAJES 120
8.2 ANEXO B: CLASIFICACIÓN DE ERRORES MONITORIZABLES 138
8.3 ANEXO C: PLANOS CORRESPONDIENTES AL DISEÑO DEL SUBRACK DE ARRANQUE 141

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Gráfica del funcionamiento normal de un vehículo híbrido 13
Ilustración 2: Eficiencia de vehículos híbridos 14
Ilustración 3: Evolución de la producción y el consumo de petróleo..... 15
Ilustración 4: Suministro global de energía..... 15
Ilustración 5: Escenario CO2 16
Ilustración 6: Reducción de CO2 en vehículos híbridos 17
Ilustración 7: Clasificación vehículos híbridos 17
Ilustración 8: Esquema arquitectura vehículo híbrido serie 18
Ilustración 9: Vehículo híbrido serie 19
Ilustración 10: Esquema arquitectura vehículo híbrido paralelo 20
Ilustración 11: Vehículo híbrido paralelo..... 20
Ilustración 12: Esquema Vehículo Híbrido Paralelo-Serie 21
Ilustración 13: Gráfica del ratio de funcionamiento motor eléctrico/motor térmico..... 21
Ilustración 14: Motor “Honda Civic Hybrid”..... 23
Ilustración 15: Baterías..... 24
Ilustración 16: Baterías en un vehículo híbrido..... 25
Ilustración 17: Modelo de un ultracondensador 26
Ilustración 18: Conexionado serie de baterías..... 28
Ilustración 19: Conexionado paralelo baterías 28
Ilustración 20: Ejemplo de conexión mixta..... 29
Ilustración 21: Modos de conexionado de ultracondensadores, serie y paralelo 30
Ilustración 22: Topología de la conexión pasiva en paralelo 31
Ilustración 23: Topología con convertidores DC-DC bidireccionales 32
Ilustración 24: Topología con convertidores DC-DC bidireccionales de doble entrada..... 32
Ilustración 25: Conexionado batería y UC en la topología de convertidores bidireccionales de doble entrada 33
Ilustración 26: Sistema de dirección 35
Ilustración 27: Sistema de frenado 35
Ilustración 28: Evolución consumo del sistema de frenado 36
Ilustración 29: Ejemplo sistema de visión..... 37
Ilustración 30: Modelado Consumo Sistema de Visión 38
Ilustración 31: Modelo propuesto para la batería en simulaciones de HEV a temperatura constante..... 41
Ilustración 32: Ciclo 15 ECE 47
Ilustración 33: Ciclo 15 EUDC 47
Ilustración 34: Ciclo ESC..... 49
Ilustración 35: Ciclo ELR 50
Ilustración 36: Ciclo ETC- Velocidad del vehículo 51
Ilustración 37: Ciclo ETC- Velocidad del motor 51
Ilustración 38: Ciclo ETC- Par motor 52
Ilustración 39: Ciclo NEDC 56
Ilustración 40: Ciclo ETC 57

Ilustración 41: Ciclo especializado para el HY88 58
Ilustración 42: Diagrama de actividades EMS 64
Ilustración 43: Máquina de estados EMS 66
Ilustración 44: Diagrama de Estados Funcionamiento NORMAL para una demanda de tracción+dirección positiva 69
Ilustración 45: Diagrama de Estados Funcionamiento NORMAL para una demanda de tracción+dirección nula 70
Ilustración 46: Diagrama de Estados Funcionamiento NORMAL para una demanda de tracción+dirección negativa 70
Ilustración 47: Diagrama de estados general de Funcionamiento 73
Ilustración 48: Esquema de comunicaciones del vehículo 75
Ilustración 49 - Diseño general de la HMI-EMS 77
Ilustración 50: Diseño de la pantalla de alarmas de la HMI-EMS 80
Ilustración 51: Lazo de comunicación EMS – Convertidores DC/DC 81
Ilustración 52: Lazo de Comunicación EMS - Ultracondensadores 83
Ilustración 53: Lazo de comunicación EMS - Baterías 85
Ilustración 54: Lazo de comunicación EMS – Motor/Generador/Sistema de Arranque 87
Ilustración 55: Frontal Sistema de Arranque 89
Ilustración 56: Interior Sistema de Arranque 89

Índice de tablas

Tabla 1: Comparativa Baterías/Ultracondensadores/Condensador Convencional 27
Tabla 2: Parámetros del ciclo ECE/EUDC 48
Tabla 3: Parámetros del ciclo ESC 48
Tabla 4: Atributos del ciclo de conducción 53
Tabla 5: Identificadores de los tipos de error 65
Tabla 6: Definición de los puntos de funcionamiento 67
Tabla 7: Potencia, Par y RPM fijados para los puntos de funcionamiento del motor 68
Tabla 8: Nomenclatura de mensajes CAN entre EMS y puesto de conducción 93
Tabla 9: Distribución de señales en el mensaje M_EMS_VCS_1 94
Tabla 10: Definición de parámetros del mensaje M_EMS_VCS_1 95
Tabla 11: Distribución de señales en el mensaje M_EMS_VCS_2 95
Tabla 12: Definición de parámetros del mensaje M_EMS_VCS_2 95
Tabla 13: Byte 4. Alertas mensaje M_EMS_VCS_2 96
Tabla 14: Bytes 5, 6 y 7. Alertas mensaje M_EMS_VCS_2 96
Tabla 15: Descripción códigos de alarmas mensaje M_EMS_VCS_2 97
Tabla 16: Distribución de señales en el mensaje M_VCS_EMS 98
Tabla 17: Definición de señales del mensaje M_VCS_EMS 98
Tabla 18: Tipos de mensajes de los convertidores DC/DC 100
Tabla 19: Formato de los mensajes de los convertidores DC/DC 100
Tabla 20: Descripción parámetros mensajes convertidores DC/DC 101
Tabla 21: Fallos y Warnings mensajes convertidores DC/DC 102
Tabla 22: Mensaje de activación convertidor DC/DC 1 102
Tabla 23: Mensaje de activación convertidor DC/DC 2 102
Tabla 24: Mensaje de activación de Modo broadcast convertidores DC/DC 104
Tabla 25: Formato mensajes cíclicos convertidores DC/DC 104
Tabla 26: Parámetros necesarios mensajes cíclicos de convertidores DC/DC 104
Tabla 27: Formato mensaje de error convertidores DC/DC 105
Tabla 28: Códigos de error en mensaje de convertidores DC/DC 105
Tabla 29: Identificador de 11 bits de mensajes de Ultracondensadores 106
Tabla 30: Identificador de 11 bits de mensajes de Ultracondensadores 106
Tabla 31: Tipos de mensajes de Ultracondensadores 107
Tabla 32: Características mensaje cíclico 1 de Ultracondensadores 108
Tabla 33: Formato mensaje cíclico 1 de Ultracondensadores 108
Tabla 34: Comando GetBoardSerialNumber de Ultracondensadores 109
Tabla 35: Comando GetModuleSerialNumber de Ultracondensadores 110
Tabla 36: Comando SetUCMNodeID de Ultracondesadores 110
Tabla 37: Parámetros del comando SetUCMNodeID de Ultracondesadores 110
Tabla 38: Comando SetModuleID de Ultracondesadores 111
Tabla 39: Parámetros del comando SetModuleID de Ultracondesadores 111
Tabla 40: Comando SetBaudRate de Ultracondesadores 111
Tabla 41: Parámetro BaudRate de Ultracondensadores 111

Tabla 42: Comando SetInterval de Ultracondesadores 112
Tabla 43: Parámetros del comando SetInterval de Ultracondesadores 112
Tabla 44: Comando ErrorMessage de Ultracondesadores 112
Tabla 45: Comando Restart de Ultracondesadores 113
Tabla 46: Distribución direcciones baterías 114
Tabla 47: Formato mensaje 1 baterías 114
Tabla 48: Campo de datos del mensaje 1 de baterías 115
Tabla 49: Formato mensaje 2 baterías 115
Tabla 50: Campo datos mensaje 2 de baterías 115
Tabla 51: Byte STATUS del campo de datos del mensaje 2 de baterías 116
Tabla 52: Formato mensaje 3 baterías 116
Tabla 53: Campo de datos del mensaje 3 de baterías 117
Tabla 54: Byte STATUS del campo de datos del mensaje 3 de baterías 117
Tabla 55: Formato de mensajes RS485 120
Tabla 56: Formato mensaje Torque Speed Control – TSC1 121
Tabla 57: Formato mensaje Request PGN 122
Tabla 58: Formato mensaje Shutdown 123
Tabla 59: Formato mensaje Electronic Engine Controller 1 – EEC1 124
Tabla 60: Formato mensaje Engine Temperature – ET1 124
Tabla 61: Formato mensaje Engine Fluid Level/Pressure – EFL/P1 125
Tabla 62: Formato mensaje Fuel Economy – LFE 126
Tabla 63: Mensaje diagnóstico DM1 127
Tabla 64: Estado de luces según DTC 127
Tabla 65: Listado de SPN controlables 130
Tabla 66: Primer mensaje protocolo BAM 130
Tabla 67: Mensaje protocolo BAM 131
Tabla 68: Mensaje diagnóstico DM3 132
Tabla 69: Mensaje asentimiento ECU Engine 132
Tabla 70: Representación tasa de baudios 133
Tabla 71: Parámetros de configuración de la EEPROM 135
Tabla 72: Mensajes periódicos Generador→EMS 136
Tabla 73: Mensaje Fault Codes Generador→EMS 136
Tabla 74: Mensaje Current Information Generador→EMS 137
Tabla 75: Mensaje Voltage Information Generador→EMS 137
Tabla 76: Mensaje de orden EMS→Generador 137
Tabla 77: Errores monitorizables por EMS 140

Acrónimos

ECE: equivale a UDC, **U**rban **D**riving **C**ycle.

ECU: **E**lectronic **C**ontrol **U**nit.

ELR: **E**uropean **L**oad **R**esponse.

EMS: **E**nergy **M**anagement **S**ystem.

EPA: **E**nvironmental **P**rotection **A**gency.

ESC: **E**uropean **S**tationary **C**ycle.

ETC: **E**uropean **T**ransient **C**ycle

EUDC: **E**xtra-**U**rban **D**riving Cycle.

HMI: **H**uman **M**achine **I**nterface.

HY88: **Hy**brid **8x8**.

NEDC: **N**ew **E**uropean **D**riving **C**ycle.

NRTC: **N**on **R**oad **T**ransient **C**ycle.

NTC: **N**ew **T**ransient **C**ycle.

OSI: **O**pen **S**ystems **I**nterconnection.

PP: **P**ower **P**ack.

SOC: **S**tate **O**f **C**harge.

TSCS: **T**raction and **S**teering **C**ontrol **S**ystem

UC: **U**ltra **C**aps

UCM: **U**ltra **C**aps **M**odule

VCS: **V**ehicle **C**ontrol **S**ystem

WHSC: **W**orld **H**armonized **S**tationary **C**ycle

WHTC: **W**orld **H**armonized **T**ransient **C**ycle

1. Introducción

1.1 Expectativas iniciales del proyecto

El trabajo que se desarrolla en este documento se corresponde con una de las partes fundamentales del proyecto "Vehículo 8x8 de propulsión híbrida-eléctrica. HY88", proyecto iniciado a finales del año 2009. El desarrollo general de este proyecto tendrá por objeto cubrir las carencias tecnológicas contempladas en vehículos industriales o militares pesados tales como:

- Rigidez de diseño en la arquitectura de los vehículos, que hace muy costosa o inviable su adaptación a diferentes usos o su escalabilidad.
- Elevado coste de uso y mantenimiento.
- Vulnerabilidad ante fallos o agresiones exteriores.
- Maniobrabilidad deficiente
- Arquitectura electrónica inapropiada para evolucionar con bajo coste hacia una integración de nuevos sistemas.

El fin del proyecto será desarrollar un vehículo de propulsión híbrida-eléctrica 100% español que pueda ser plataforma básica adaptable a vehículos de gama media y pesada con múltiples aplicaciones tanto en uso civil como militar incorporando también tecnologías como la de suspensión inteligente (suspensión activa) y sistemas drive-by-wire.

El resultado será la realización de un vehículo pesado de tracción 8x8 que será un demostrador tecnológico que nos permita evaluar tanto el sistema de propulsión y gestión de la energía híbrido-eléctrico como sistemas de suspensión activa y sistemas drive-by-wire.

Para tratar de abordar este trabajo, se genera en España un Consorcio capaz de responder a las necesidades asociadas a esta ruptura tecnológica sin necesidad de depender de tecnología e intereses no españoles. El objeto de este documento será por tanto desarrollar el diseño del sistema de gestión de la energía del demostrador, así como la comunicación de éste con el resto de componentes del vehículo y el sistema de arranque del mismo.

1.2 Objeto y disposición del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es presentar el desarrollo del Sistema de Gestión de Energía del vehículo híbrido HY88. De aquí en adelante lo nombraremos como EMS, Energy Management System. Los requisitos a seguir para el diseño del EMS serán los siguientes:

- Debe gestionar la energía del vehículo de forma que éste se comporte como un vehículo híbrido, optimizando su consumo de combustible.
- El EMS será el encargado del arranque del motor.

- El sistema podrá controlar y monitorizar los siguientes elementos: Puesto de conducción (VCS), Sistema de tracción y dirección (TSCS), Baterías y Ultracondensadores (Power Pack, PP), Motor de Combustión, Generador, Convertidores DC/DC y Sistema de Arranque.
- Existirán dos interfaces CAN Bus a través de las cuales el EMS se comunicará con el resto de elementos. La comunicación con el motor de combustión interna se realizará a través del protocolo J1939 que, a su vez, se implementa sobre CAN Bus. El control del sistema de arranque será a través de RS485.

Partiendo de estas líneas iniciales se desarrollará el proyecto, de forma que se dispondrá el contenido de este documento de la siguiente forma:

- En primer lugar, en el siguiente apartado, se desarrollarán una serie de nociones básicas acerca de los vehículos híbridos y los elementos suministradores de energía, necesarias para la comprensión del resto del proyecto.
- En el segundo capítulo se presentarán las tecnologías seleccionadas para la implementación del EMS, tanto hardware como software.
- El propio algoritmo de gestión energética lo encontraremos en el capítulo tres, detallando los estados por los que pasará éste y las decisiones tomadas a consecuencia de los impedimentos que han sucedido durante el desarrollo del proyecto.
- En el cuarto capítulo se desarrollarán las interfaces de comunicación con cada uno de los elementos exteriores al EMS. Se explicará el protocolo a seguir con cada uno de estos elementos, los tipos de mensajes que se intercambiarán y el lazo de comunicación con cada uno de ellos.
- Como otro objetivo de este trabajo tenemos el desarrollo del sistema de arranque del vehículo. En el quinto capítulo se explicará el motivo de desarrollar un sistema independiente para el arranque del vehículo, así como sus características hardware y su funcionalidad software.
- Para finalizar, en los capítulos 6, 7 y 8 se incluirán las conclusiones, referencias y documentos anexos al proyecto, que nos ayudarán una mejor comprensión del trabajo y a complementar el contenido de este texto.

2. Análisis inicial

2.1 Vehículos híbridos

2.1.1 Definición

Un vehículo híbrido es un vehículo de propulsión alternativa combinando un motor movido por energía eléctrica y un motor de combustión interna.

A nivel mundial en 2009 ya circulaban más de 2,5 millones de vehículos híbridos eléctricos livianos, liderados por Estados Unidos con 1,6 millones, seguido por Japón (más de 640 mil) y Europa (más de 235 mil).

Una de las grandes ventajas de los híbridos es que permiten aprovechar un 30% de la energía que generan, mientras que un vehículo convencional de gasolina tan sólo utiliza un 19%. Esta mejora de la eficiencia se consigue mediante las baterías, que almacenan energía que en los sistemas convencionales de propulsión se pierde, como la energía cinética, que se escapa en forma de calor al frenar. Muchos sistemas híbridos permiten recoger y reutilizar esta energía convirtiéndola en energía eléctrica gracias a los llamados frenos regenerativos. El motor híbrido junto con el diesel o gasolina son una importante opción a tener en cuenta a la hora de comprar un coche. La eficiencia consiste en que duran más, son más limpios. Su eficacia o rendimiento es sobresaliente.

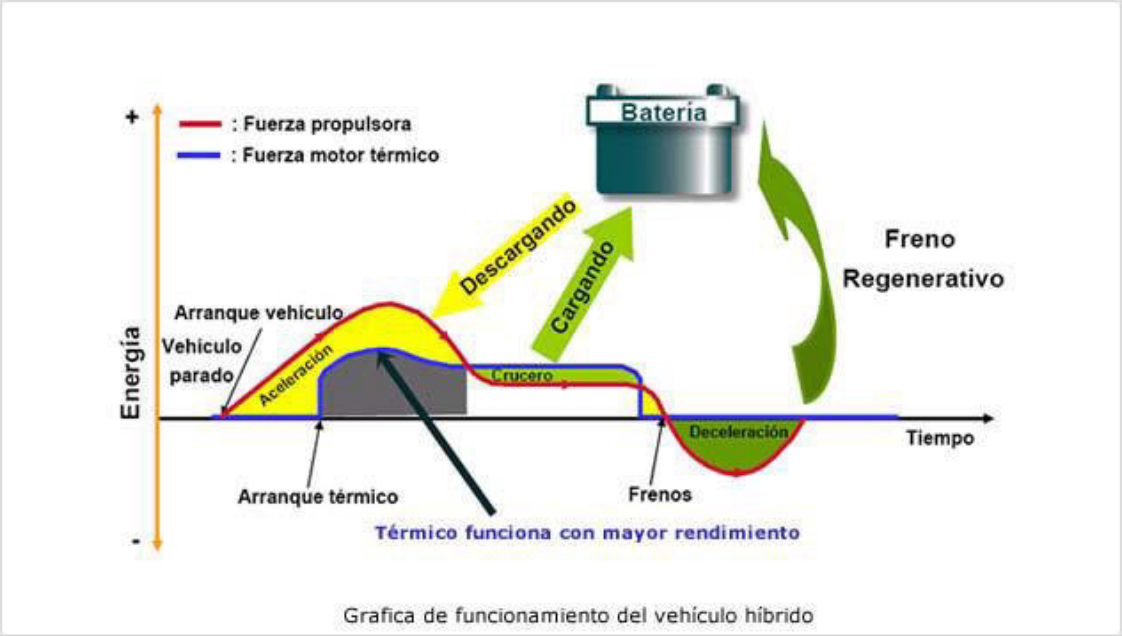


Ilustración 1: Gráfica del funcionamiento normal de un vehículo híbrido

La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficiencia, y la recuperación de energía del frenado (útil especialmente en los tramos cortos), hace que estos vehículos alcancen un mejor rendimiento que los vehículos convencionales o de determinada época, especialmente en carreteras muy transitadas, donde se concentra la mayor parte del tráfico, de forma que se reducen significativamente tanto el consumo de combustible como las emisiones contaminantes. Se dispone de un sistema electrónico para determinar qué motor usar y cuándo hacerlo.

Ilustración 2: Eficiencia de vehículos híbridos

2.1.2 Sistema de propulsión híbrido-eléctrico

Una línea importante de investigación actual, aplicada entre otros campos al del transporte por carretera, va enfocada a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. El interés va ligado de una forma directa al ahorro de un producto como es el petróleo, cuyo precio aumenta constantemente y siendo además un recurso limitado; a esto habría que añadir los condicionantes estratégicos de dependencia con países productores de petróleo.

El gráfico siguiente muestra la evolución en el tiempo de la producción y consumo de petróleo según diversos escenarios, aunque en todos ellos la tasa de aumento es una constante.

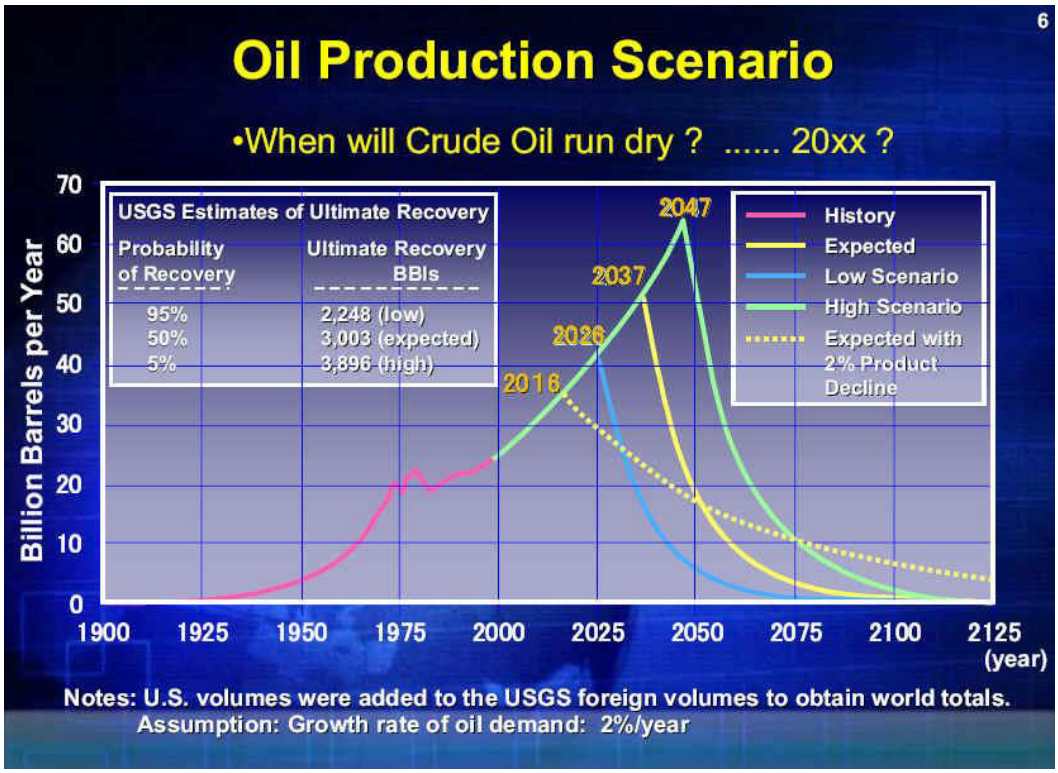


Ilustración 3: Evolución de la producción y el consumo de petróleo

La proyección en el tiempo del consumo de petróleo indica que las reservas existentes no podrán satisfacer indefinidamente todas las necesidades y en particular las de la automoción, lo que obligará a buscas alternativas de sustitución.

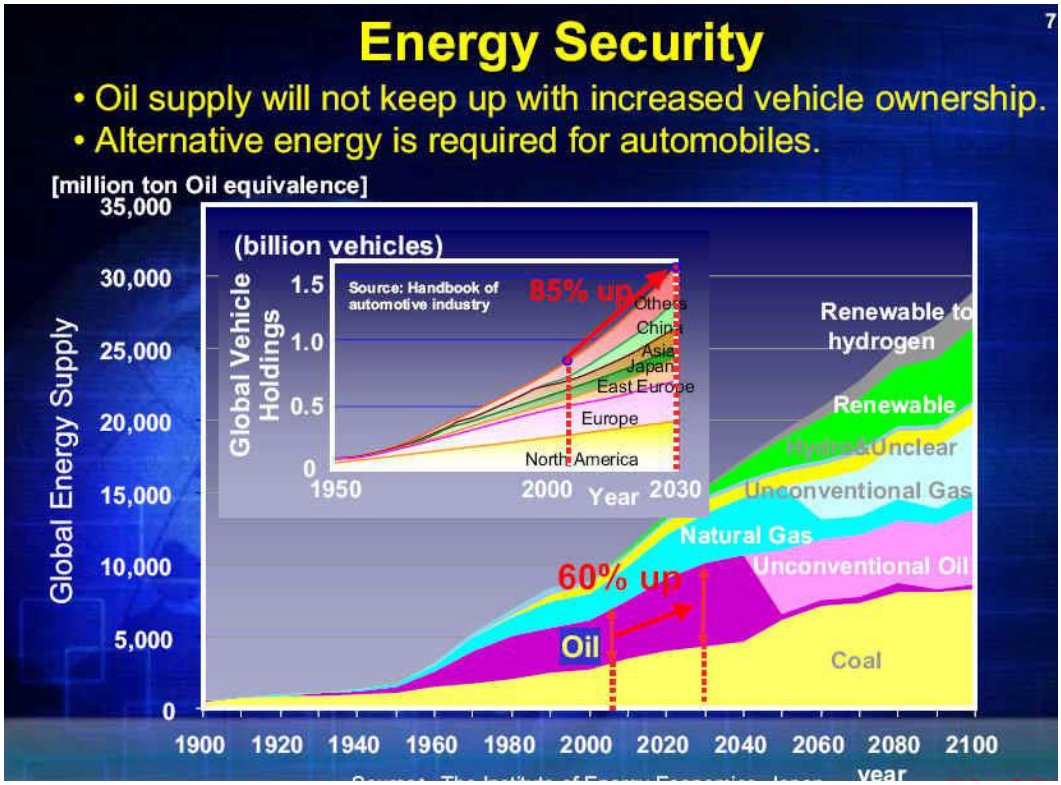


Ilustración 4: Suministro global de energía

Por otro lado, el respeto al medio ambiente se ha convertido en otro eje de actuación estratégica mundial. Las vías principales de investigación van enfocadas a la reducción de emisiones de CO2 responsables directas del efecto invernadero, además de la reducción de emisiones contaminantes – HC, NOx y CO - que afectan directamente a la salud de la población.

Dentro de éste campo, tampoco es despreciable el interés en la reducción de ruidos que afecta igualmente al bienestar de las personas o bien la reducción de materiales desechables que dan lugar a un volumen importante de residuos industriales.

El gráfico siguiente muestra las vías posibles de reducción de emisiones de CO2 entre las cuales significamos por su relevancia, la disminución del consumo de combustibles.

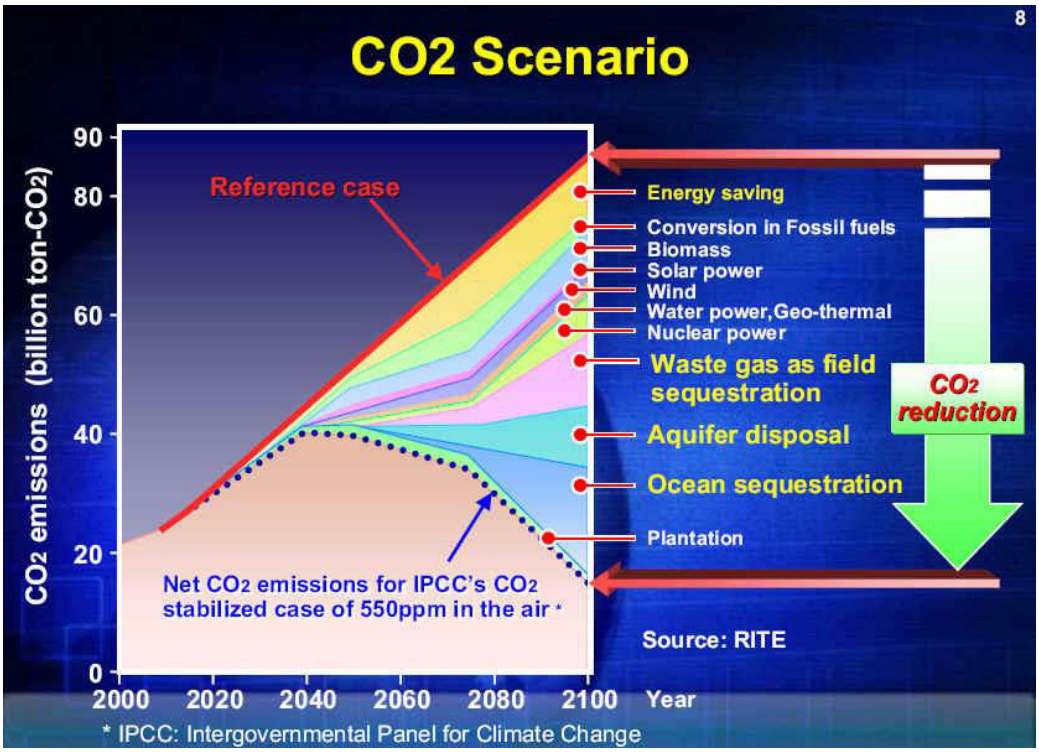


Ilustración 5: Escenario CO2

La tecnología clásica ya no permite mejoras sustanciales tanto en ahorro de combustible como en reducción de CO2 y emisiones contaminantes, por lo que debemos alejarnos de los sistemas y fuentes de energía que actualmente se utilizan y buscar otras alternativas.

Dentro de las líneas de desarrollo actuales, se comprueba que aquella que puede aportar avances tecnológicos importantes y con posibilidades reales de industrialización son los sistemas de propulsión híbrido-eléctricos. Efectivamente, éste sistema permite tanto un ahorro significativo en el consumo de combustible como una reducción importante en las emisiones contaminantes.

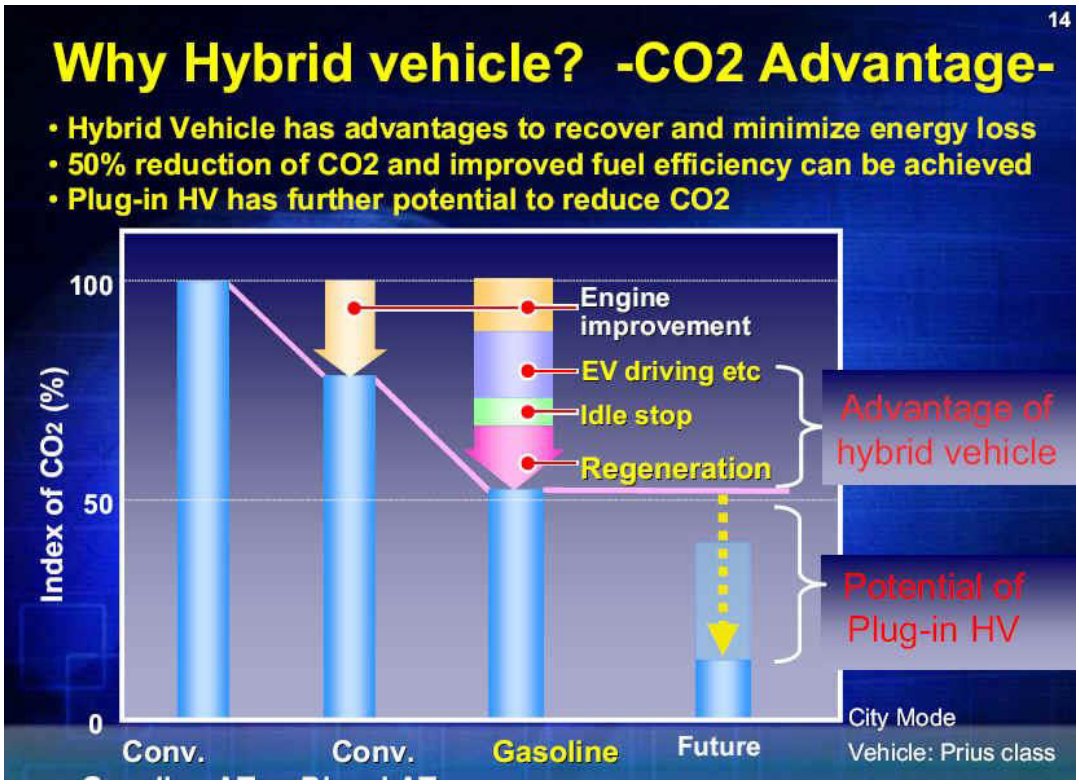


Ilustración 6: Reducción de CO2 en vehículos híbridos

2.1.3 Clasificación de vehículos híbridos

Los híbridos se pueden fabricar en diferentes configuraciones:

- Paralelos: tanto la parte eléctrica como la térmica pueden hacer girar las ruedas.
- En serie: solo la parte eléctrica da tracción, el motor térmico se utiliza para generar electricidad.

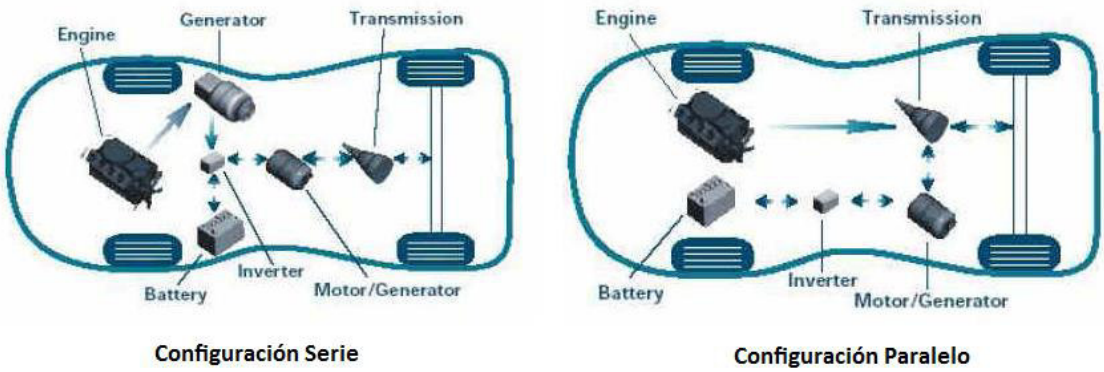


Ilustración 7: Clasificación vehículos híbridos

También se pueden clasificar según sea la carga de las baterías.

- Regulares: se recargan por el funcionamiento normal del vehículo.
- Enchufables: también se recargan conectándose a la red eléctrica.

2.1.3.1 Híbrido en serie

En estos vehículos el motor de combustión proporciona movimiento a un generador que o carga las baterías o suministra la potencia directamente al sistema de propulsión (motor eléctrico) y por lo tanto reduce la demanda a la batería.

El dispositivo generador se utiliza principalmente como un ampliador de prestaciones, por lo que en la mayoría de los kilómetros se circula con las baterías. Cuando la duración del viaje excede a las prestaciones de la batería, el dispositivo generador se enciende.

Para viajes más largos, el dispositivo generador puede ser conectado automáticamente cuando las baterías alcanzan un nivel predeterminado de descarga.

El motor térmico impulsa un generador eléctrico, normalmente un alterador trifásico, que recarga las baterías, una vez rectificada la corriente, y alimenta al motor o motores eléctricos y estos son los que impulsan al vehículo.

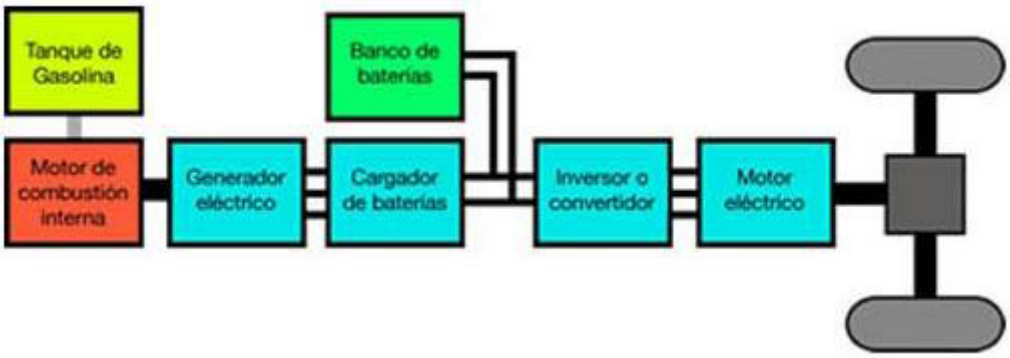


Ilustración 8: Esquema arquitectura vehículo híbrido serie

Dependiendo del rango de velocidades que se quieran ofrecer el dispositivo generador debe ser mayor o menor. En un principio se propusieron soluciones de bajo rango de velocidades, pero la tendencia hoy en día es la de ir a un rango mayor. Esto implica sistemas de generación mucho mayores. La batería se dimensiona en función de los picos de demanda.

Así, a altas velocidades, sólo parte de la energía proviene de las baterías, siendo éstas las que suministran la potencia necesaria para aceleraciones y adelantamientos. A velocidad de crucero, la potencia generada en exceso se utiliza para recargar las baterías.

Este sistema resulta eficiente si el 80% de los kilómetros recorridos son alimentados por la energía de las baterías que se han recargado desde la red. En caso contrario es difícil la justificación de este tipo de propulsión híbrida ya que la energía eléctrica de las baterías proviene en realidad de la combustión del motor térmico.

La principal ventaja que ofrece este diseño frente al de en "paralelo" es la de un diseño mecánico simple. Se dispone de un motor térmico diseñado y optimizado para trabajar siempre en el mismo régimen de revoluciones.

La desventaja de este tipo de vehículos es que toda la energía producida por el motor térmico tiene que atravesar el generador eléctrico sufriendo muchas pérdidas, debido a la transformación de energía mecánica a eléctrica, y toda la energía para la tracción tiene que pasar por el motor eléctrico.

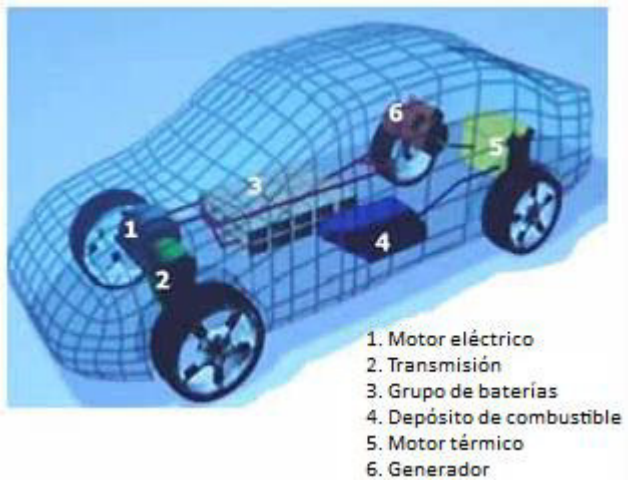


Ilustración 9: Vehículo híbrido serie

2.1.3.2 Híbrido en paralelo

Este tipo de vehículo utiliza dos sistemas de tracción en paralelo. Según esta configuración ambos proveen de potencia a las ruedas de modo que los dos sistemas pueden ser utilizados independientemente o simultáneamente para obtener una potencia máxima.

Aunque mecánicamente más complejo, este método evita las pérdidas inherentes a la conversión de energía mecánica en eléctrica que se da en los híbridos en serie. Además como los picos de demanda de potencia le corresponden al motor de combustión interna, las baterías pueden ser mucho menores.

El motor a gasolina entra en funcionamiento cuando el vehículo necesita más energía. Y al detenerse, el híbrido aprovecha la energía normalmente empleada en frenar para recargar su propia batería (frenado regenerativo).

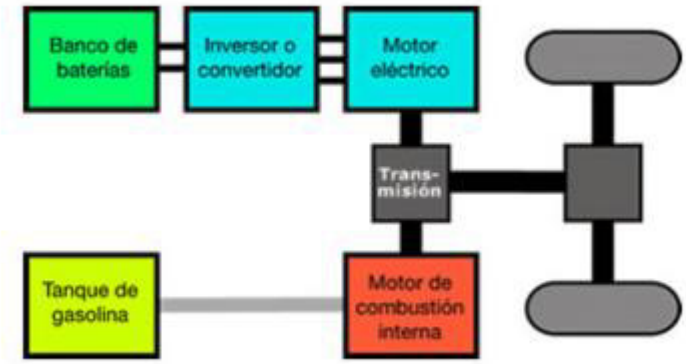


Ilustración 10: Esquema arquitectura vehículo híbrido paralelo

Como los patrones de uso de los automóviles tienden a viajes cortos y frecuentes, un híbrido en paralelo trabajará la mayor parte del tiempo sólo con motor eléctrico (este funcionamiento seria el ideal, aunque la realidad demuestra que actualmente las baterías de los híbridos tienen muy poca autonomía y por lo tanto estos vehículos funcionan mayormente impulsados por el motor térmico).

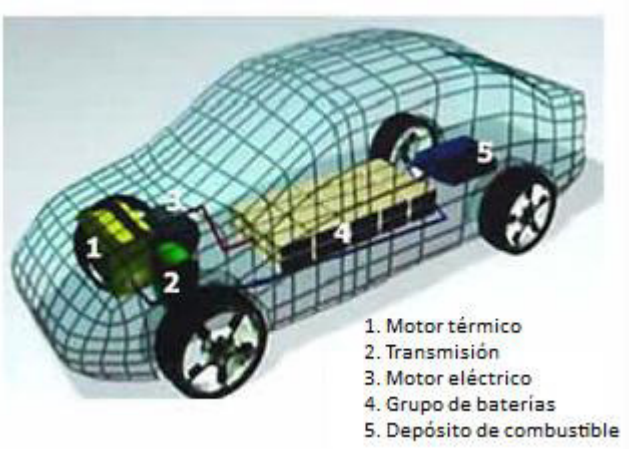


Ilustración 11: Vehículo híbrido paralelo

Dentro de los vehículos híbridos "paralelos" podemos distinguir dos arquitecturas: los que usan un generador independiente para cargar las baterías, o los que aprovechan el motor eléctrico para funcionar también como generador.

Con generador independiente: su inconveniente es que tiene más componentes, el generador, el conversor de corriente alterna a corriente continua y la transmisión ente el motor térmico y el generador por lo que será más pesado y caro. Sin embargo tiene la ventaja que el generador al estar diseñado para funcionar sólo como generador, será más eficiente que el motor funcionando como generador.

Usando el motor eléctrico como generador: se disminuye el número de componentes, pero puede disminuir el rendimiento.

El vehículo híbrido paralelo con generador independiente también se le clasifica como vehículo híbrido "paralelo-serie". Esta configuración combina las ventajas de ambos sistemas y es la más utilizada por los fabricantes de automóviles como por ejemplo: Toyota en su modelo Prius.

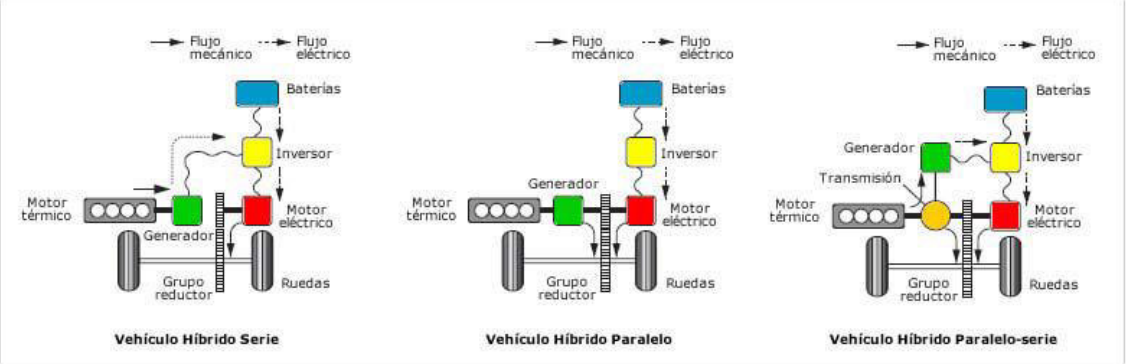


Ilustración 12: Esquema Vehículo Híbrido Paralelo-Serie

Los tiempos de funcionamiento del motor eléctrico (motor) y del motor térmico (engine) se reparten en distinta proporción dependiendo de la configuración del vehículo híbrido. Para verlo más claro tenemos la gráfica inferior donde se ve que en el híbrido "serie" los tiempos de funcionamiento se reparten por igual al 50%, en el híbrido "paralelo" sin embargo funciona mucho mas el motor térmico, en el híbrido "paralelo/serie" funciona más tiempo el motor eléctrico.

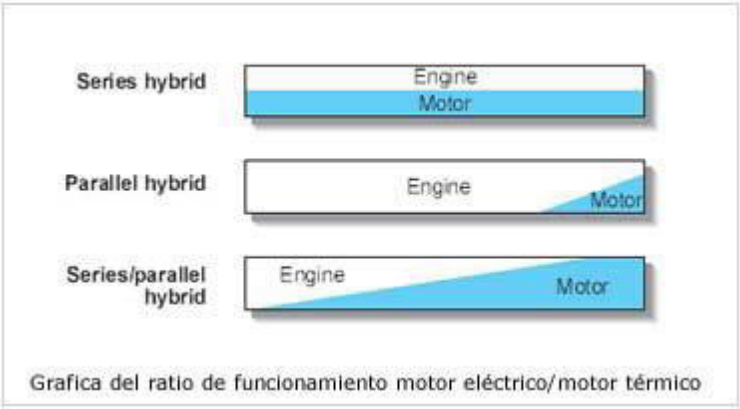


Ilustración 13: Gráfica del ratio de funcionamiento motor eléctrico/motor térmico

En resumen, podemos decir que ambas arquitecturas (serie y paralelo) proporcionan las ventajas de ahorro de combustible y reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, nuestro proyecto abordará el desarrollo del sistema de propulsión híbrido-eléctrico serie, ya que proporciona unas ventajas importantes respecto de la otra alternativa, como son:

- Ausencia de caja de cambios.
- Ausencia de transmisión, lo que disminuye notablemente la peligrosidad en el habitáculo.
- Modularidad en su concepción.

- Fácil redimensionamiento.
- Flexibilidad en la adaptación del vehículo a distintos usos y configuraciones.
- Menor volumen y peso.

2.1.4 Motores

Los automóviles normalmente tienen motores de combustión interna que rondan entre los 60 y 180 CV de potencia máxima. Esta potencia se requiere en situaciones particulares, tales como aceleraciones a fondo, subida de grandes pendientes con gran carga del vehículo y a gran velocidad. El hecho de que la mayoría del tiempo dicha potencia no sea requerida supone un despilfarro de energía, puesto que sobredimensionar el motor para posteriormente emplearlo a un porcentaje muy pequeño de su capacidad, sitúa el punto de funcionamiento en un lugar donde el rendimiento es bastante malo. Un vehículo medio convencional, si se emplea mayoritariamente en ciudad o en recorridos largos y estacionarios a velocidad moderada, ni siquiera necesitará desarrollar 20 caballos.

El hecho de desarrollar una potencia muy inferior a la que el motor puede dar supone un despilfarro por dos motivos: por una parte se incurre en gastos de fabricación del motor superiores a lo que requeriría realmente, y por otra, el rendimiento de un motor que pueda dar 100 caballos cuando da sólo 20 es muy inferior al de otro motor de menor potencia máxima funcionando a plena potencia y dando esos mismos 20 caballos. Este segundo factor es el principal responsable de que el consumo urbano de un mismo vehículo equipado con un motor de gran potencia consuma, en recorridos urbanos, muchísimo más que uno del mismo peso equipado con un motor más pequeño. En conclusión, el motor ha de ser el idóneo para el uso al que se destina.

Otro factor que penaliza el rendimiento brutalmente en recorridos urbanos es la forma de detener el vehículo. Ésta detención se realiza mediante un proceso tan ineficiente cómo es disipar y destruir la energía en forma de movimiento, energía cinética, que lleva el vehículo para transformarla en calor liberado inútilmente al ambiente.

Ilustración 14: Motor "Honda Civic Hybrid"

Sin embargo, tampoco parece razonable limitar la potencia máxima de un motor en demasía en pro de conseguir excelentes consumos, puesto que en ciertas ocasiones es estrictamente necesario disponer de potencia para determinados esfuerzos tan puntuales como inevitables, tales como adelantamientos y aceleraciones en pendiente. He aquí donde el sistema híbrido toma su mayor interés. Por una parte combina un pequeño motor térmico, suficiente para el uso en la inmensa mayoría de las ocasiones, de buen rendimiento y por tanto bajo consumo y emisiones contaminantes, con un sistema eléctrico capaz de realizar dos funciones vitales.

Por una parte desarrolla el suplemento extra de potencia necesario en contadas, pero inevitables, situaciones como las anteriormente citadas. Por otra, no supone en absoluto ningún consumo extra de combustible. Al contrario, supone un ahorro, puesto que la energía eléctrica es obtenida a base de cargar las baterías en frenadas o retenciones del vehículo al descender pendientes, momentos en los que la energía cinética del vehículo se destruiría (transformaría en calor irrecuperable para ser más exactos) con frenos tradicionales.

Además, no sólo aporta potencia extra en momentos de gran demanda de ésta, sino que posibilita emplear solo la propulsión eléctrica en arrancadas tras detenciones prolongadas (semáforos por ejemplo) o aparcamientos y mantener el motor térmico parado en éstas situaciones en las que no es empleado, o se requiere de él una potencia mínima, sin comprometer la capacidad para retomar la marcha instantáneamente. Esto es posible porque tiene la capacidad de arrancar en pocas décimas de segundo el motor térmico en caso de necesidad.

Además de la altísima eficiencia, la posibilidad de emplear los motores eléctricos, exclusivamente, durante un tiempo permite evitar la producción de humos en situaciones molestas, como por ejemplo en garajes.

En conclusión, desde el punto de vista de la eficiencia energética, el vehículo híbrido representa un avance importante tanto en la reducción del consumo de combustible y de la contaminación. Sin embargo, no todos son ventajas actualmente los costes de producción de baterías, el peso de las mismas y la escasa capacidad de almacenamiento limitan aún su empleo generalizado.

El gran problema actual con el que se encuentra el motor eléctrico para sustituir al térmico en el vehículo es la capacidad de acumulación de energía eléctrica, que es muy baja en comparación con la capacidad de acumulación de energía en forma de combustible. Aproximadamente, 1 kg de baterías puede almacenar la energía equivalente de 18 gramos de combustible, si bien este cálculo no tiene en cuenta el escaso aprovechamiento energético de esa energía en un motor de combustión, en comparación con un motor eléctrico. Aun así esto supone una barrera tecnológica importante para un motor eléctrico.

Los motores eléctricos han demostrado capacidades de sobra para impulsar otros tipos de máquinas, como trenes y robots de fábricas, puesto que pueden conectarse sin problemas a líneas de corriente de alta potencia. Sin embargo, las capacidades de almacenamiento energético en un vehículo móvil obligan a los diseñadores a usar una complicada cadena energética multidisciplinar, e híbrida, para sustituir a una sencilla y barata cadena energética clásica depósito-motor-ruedas. La electricidad, como moneda de cambio energética, facilita el uso de tecnologías muy diversas, ya que el motor eléctrico consume electricidad, independientemente de la fuente empleada para generarla.

Ilustración 15: Baterías

Ilustración 16: Baterías en un vehículo híbrido

Como hemos dicho anteriormente, nuestro vehículo híbrido HY88 tendrá una configuración en serie y constará de un motor de combustión interna diesel que funcionará en un estado de alta eficiencia y se verá apoyado por un conjunto de baterías y ultracondensadores. Estos dos últimos elementos serán explicados en el siguiente apartado.

2.2 Elementos suministradores de energía

Como proveedores energéticos de nuestro vehículo tendremos un motor de combustión, un banco de baterías y un banco de ultracondensadores o ultracaps. A la unión formada por los bancos de baterías y ultracondensadores la denominaremos Power Pack (PP).

Podríamos destacar, por tanto, las diferencias básicas entre baterías y ultracondensadores, aprovechando esto para presentar a los segundos, bastante más desconocidos en la cultura general.

2.2.1 Ultracondensadores. ¿Qué son? ¿Cómo funcionan?

Un ultracondensador (también llamado condensador de doble capa, condensador de alta capacidad o supercondensador) es un condensador electroquímico que posee una densidad energética inusualmente alta en comparación con los condensadores comunes, generalmente miles de veces mayor.

Estos dispositivos, no requieren un dieléctrico, por lo que pueden fabricarse casi en cualquier tamaño, desde el de un sello, ideal para móviles, hasta grandes tamaños ideales para vehículos híbridos. Sus componentes son biodegradables y apenas tóxicos (no emplean cobalto como las baterías tradicionales), lo cual permitiría usarlos incluso en marcapasos.

Estos dispositivos funcionan polarizando una solución electrolítica, lo que permite el almacenamiento de energía eléctrica de forma estática. Hay que tener en cuenta que a pesar de que se trata de un dispositivo electroquímico, en su interior no se dan reacciones químicas.

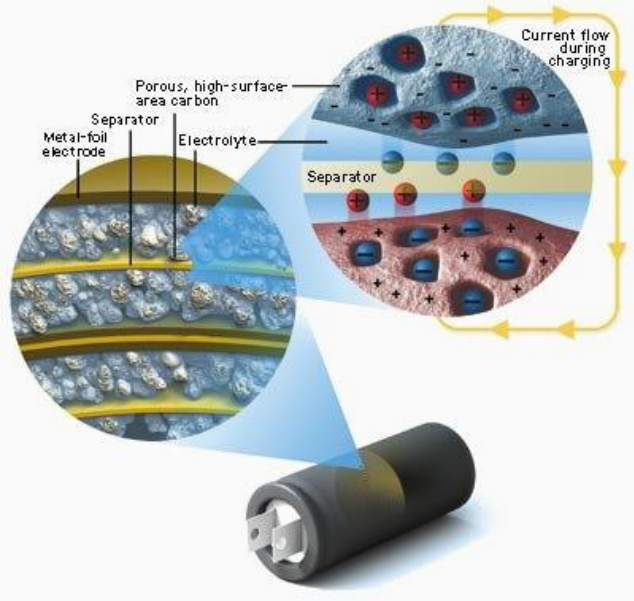


Ilustración 17: Modelo de un ultracondensador

2.2.2 Diferencia entre baterías y ultracondensadores

Aunque el modo de funcionamiento de ambos tipos de sistemas de almacenamiento sea análogo, no son de igual forma parecidas sus características de funcionamiento. Podemos dividir sus diferencias en, básicamente, cinco tipos:

- **Los ciclos de carga**: Los ultracondensadores pueden cargarse y descargarse cientos de miles (incluso millones) de ciclos sin perder rendimiento. Las baterías solo funcionan correctamente con una cantidad limitada de ciclos de carga/descarga. Es el caso de lo que ocurre en nuestros teléfonos móviles, cuanto más tiempo tienen las baterías, menor carga retienen.

- **Los períodos de carga:** Como sabemos, las baterías se basan en reacciones químicas, y el tiempo requerido para su carga suele ser largo. Por el contrario los ultracondensadores se cargan y descargan muy rápidamente.

- **El tamaño y peso:** Las baterías son más grandes y más pesadas que los ultracondensadores los cuales, por el contrario, suelen presentarse en pack

- **Densidad energética:** Normalmente los ultracondensadores almacenan entre una quinta y una décima parte de lo correspondiente a una batería. Aunque este hándicap va mejorando conforme se avanza en el desarrollo de los ultracondensadores.

- **Liberación de energía:** Las baterías liberan la energía de forma lenta y durante un período de tiempo más largo, mientras que los ultracondensadores liberan su carga muy rápidamente. En vehículos eléctricos, estas explosiones energéticas vendrían muy bien para superar obstáculos como las cuestas empinadas.

Si extendemos esta comparativa entre baterías y ultracondensadores a los condensadores comunes, podemos obtener una tabla comparativa, entre estas 3 tecnologías, muy ilustrativa:

	Batería de Plomo-Ácido	Ultracondensador	Condensador Convencional
Tiempo de carga	1 a 5 horas	0,3 a 30 segundos	10^{-3} a 10^{-6} s
Tiempo de descarga	0,3 a 3 horas	0,3 a 30 segundos	10^{-3} a 10^{-6} s
Energía (Wh/Kg)	10 a 100	1 a 10	< 0,1
Ciclos de vida	1.000	> 500.000	> 500.000
Potencia específica (W/Kg)	< 1.000	< 10.000	< 100.000
Eficiencia entre carga/descarga	0,7 a 0,85	0,85 a 0,98	> 0,95

Tabla 1: Comparativa Baterías/Ultracondensadores/Condensador Convencional

2.2.3 Ultracondensadores en el mercado de los vehículos híbridos

De cara a satisfacer el mercado de los vehículos híbridos eléctricos, los fabricantes de automóviles deben proporcionar a los consumidores un triunvirato de valor añadido a las características de los sistemas para promover la migración de los motores tradicionales a los híbridos: larga vida del vehículo, respeto del mismo por el medio ambiente y bajo coste. Todo esto además de las de los requisitos de siempre para un funcionamiento excelente, divertido y seguro.

Los ultracondensadores ayudan a proporcionar estas demandas de la siguiente forma:

- Ofrecen largos ciclos de vida, resistencia a temperaturas extremas y el diseño necesario para alcanzar los picos de carga puntuales.
- Los materiales usados en su fabricación no suponen barreras presupuestarias en lo que a las cantidades típicas del mercado automovilístico se refiere (en 2004 se estimó el coste en 1 centavo de dólar por Faradio).
- Tienen el potencial para conseguir hacer más agradables los trenes de potencia no tradicionales tanto al consumidor medio como al dueño de una fleta de vehículos y, de ese modo, ayudar a hacer realidad la promesa de un vehículo híbrido eficiente, limpio, asequible y divertido.

A mayor escala, los ultracondensadores son adaptables a muchas aplicaciones relacionadas con el transporte. Los ciclos interminables de aceleración seguidos de freno de trenes de transporte de masas, metros y demás sistemas del estilo son contextos ideales para el uso de los ultracondensadores.

Por último, si hablamos de otras tecnologías híbridas, debido a la eficiencia en el uso de la energía estos dispositivos son un elemento prometedor para el desarrollo de medios de transporte que combinen la energía solar con la proveniente de combustibles fósiles. Su aprovechamiento se debe fundamentalmente a que permiten una mejor descarga de energía durante la aceleración del vehículo.

2.2.4 Modos de conexión de baterías

Disponemos de tres formas de conectar un grupo de baterías entre sí. En serie, en paralelo o una conexión mixta serie-paralelo. Dependiendo como lo hagamos, incrementaremos la tensión total, la capacidad o ambas.

2.2.4.1 Conexión en serie

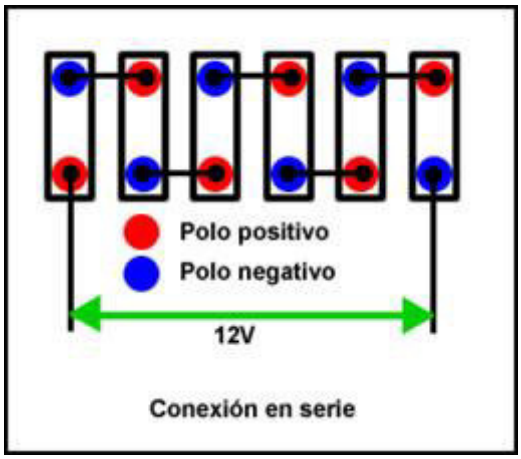


Ilustración 18: Conexionado serie de baterías

Con este tipo de conexión, incrementamos el voltaje total (equivalente a la suma de os voltajes parciales).

2.2.4.2 Conexión en paralelo

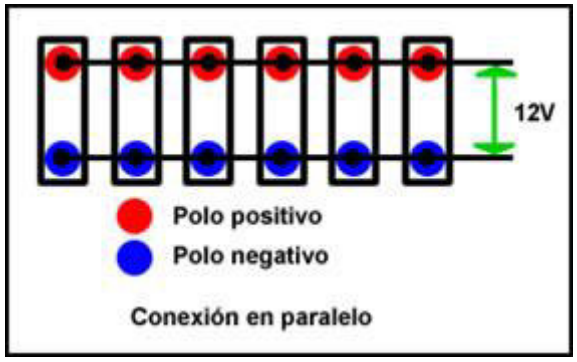


Ilustración 19: Conexionado paralelo baterías

Con este tipo de conexión, incrementamos la capacidad total (igual a la suma de las capacidades de cada batería).

2.2.4.3 Conexión mixta

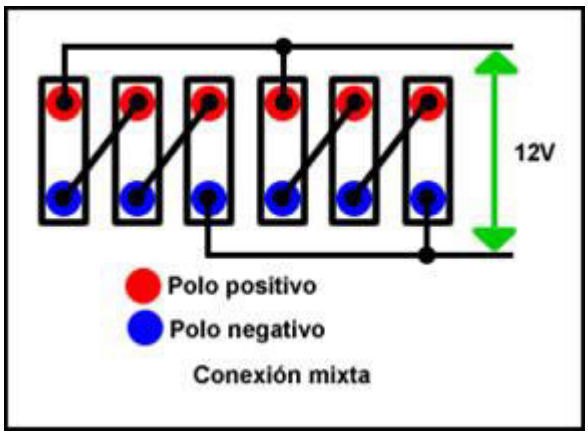


Ilustración 20: Ejemplo de conexión mixta

Con este tipo de conexión, incrementamos la capacidad total y la tensión total (en función del conexionado podremos aumentar uno u otro parámetro en la proporción que deseemos).

Aunque en los tres dibujos estén representados los 12 V, no tienen relación alguna entre sí. Simplemente indican cómo se realizaría la conexión y nada más.

2.2.4.4 Ejemplo de uso

Si tuviéramos 2 baterías de 12 V y 85 Ah de capacidad podrían darse los casos:

- Si se pusieran en serie tendríamos 24 V (12 V + 12 V) mientras que la capacidad es la misma, es decir, 85 Ah.
- Si se pusieran en paralelo tendríamos 12 V mientras que la capacidad de la "batería resultante" seria la suma de las dos, en este caso 170 Ah (85 Ah + 85 Ah).

Visto así, puede parecer que en la conexión en serie, de las dos baterías, la capacidad es la mitad, por lo debe aclararse que lo que hay que ver es "la potencia o energía capaz de suministrar por las dos baterías", que tanto en serie como en paralelo, son las mismas, otra cosa es los Ah o la tensión de uso que necesitemos.

Para hacer los cálculos más fáciles, supongamos que son de 100 Ah y 12 V, por lo que cada una, teóricamente puede suministrar una potencia de 100 Ah x 12 V = 1200Wh por dos baterías = 2400 Wh y esa potencia teórica de 2400 Wh, es la que suministrarán se conecten como se conecten:

- Si las ponemos en serie se suman las tensiones o V y se mantienen los Ah por lo que 12+12 = 24 V que por 100 Ah = 2400 Wh.
- Si las ponemos en paralelo lo que se suman son los Ah por lo que 100+100=200 Ah por 12 V = 2400 Wh.

2.2.5 Modos de conexión de ultracondensadores

Al igual que en el caso de las baterías, existen 2 modos de conexión en el caso de los ultracondensadores: en serie y en paralelo.

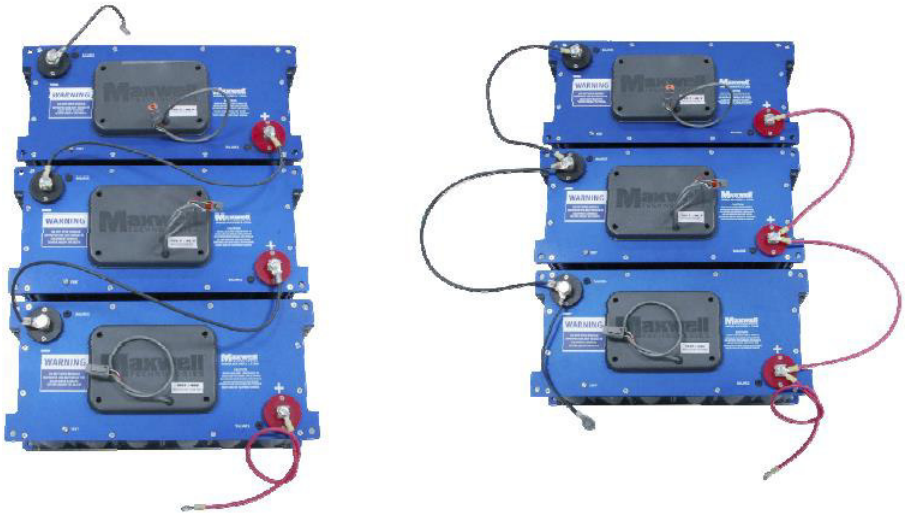
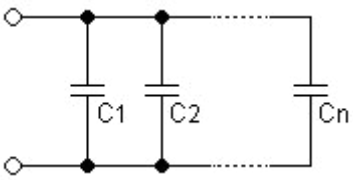


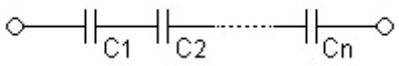
Ilustración 21: Modos de conexionado de ultracondensadores, serie y paralelo

En el caso de la conexión en **paralelo**, la capacidad equivalente total será la suma de las capacidades conectadas, manteniéndose su tensión entre bornas constante.



$$C_{AB} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n = \sum_{k=1}^{n} C_k$$

En el caso de la conexión **serie**, se conseguirá aumentar la tensión entre bornas a costa de reducir su capacidad equivalente a la inversa de la suma de las inversas de las capacidades conectadas.



$$\frac{1}{C_{AB}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{C_k}$$

2.2.6 Interconexionado Baterías-Ultracondensadores y frenado regenerativo

El uso de ultracondensadores en vehículos híbridos, como dijimos en apartados anteriores, se debe a la capacidad de proporcionar una potencia de descarga mucho más rápida que la de las baterías.

No obstante, existen otros motivos cuando tenemos en cuenta otro de los elementos importantes de los vehículos eléctricos: el frenado regenerativo.

Hay que ver cómo se interconectarían los 3 elementos (power pack formado por baterías y ultracondensadores con el frenado regenerativo) de cara a analizar si las baterías podrían recibir toda la energía que el frenado regenerativo proporcionase o si, por el contrario, debería actuar el banco de ultracapacitadores cuando esto ocurriese.

Los motivos para este análisis exhaustivo son:

- Capacidad de carga más rápida en los ultracondensadores: lo cual permitirá asimilar la práctica totalidad de la energía regenerada (teniendo en cuenta que el factor de rendimiento de los UC es prácticamente 1).
- Mayor cantidad de ciclos de carga y descarga de los UC: las baterías acabarían reduciendo su rendimiento demasiado pronto si en cada frenada se cargasen bruscamente.

Veremos diferentes soluciones en forma de topologías existentes o estudiadas y analizaremos las ventajas e inconvenientes de cada una.

2.2.6.1 Conexión pasiva en paralelo

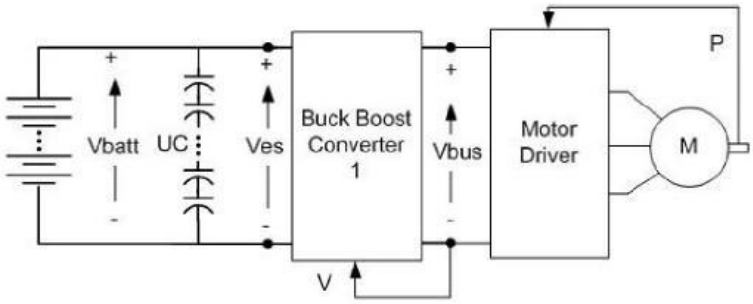


Ilustración 22: Topología de la conexión pasiva en paralelo

El método más simple para combinar dos fuentes energéticas es una conexión en paralelo, mostrado en la Ilustración 13. Puesto que ambas fuentes están conectadas directamente, los voltajes en ambas son iguales. El convertidor Buck-Boost mantiene constante el voltaje sobre el bus proporcionando la potencia demandada por el motor (o los motores). Será el diferente comportamiento dinámico, ya mencionado, de baterías y UC el que determinará la distribución de corriente entre las fuentes.

Se consigue una reducción de los picos en la batería y, por tanto, una mejora de la vida y eficiencia de la batería. Por el contrario, estos resultados pueden ser mejorados si el banco de ultracondensadores está conectado a través de un convertidor y su voltaje puede moverse en un rango mucho más amplio. Si el voltaje está limitado por la batería, la mayoría de la energía almacenada no está disponible.

2.2.6.2 Convertidores DC-DC bidireccionales

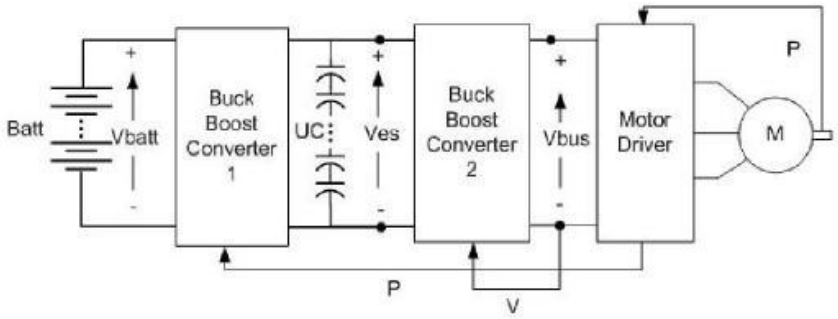


Ilustración 23: Topología con convertidores DC-DC bidireccionales

Este sistema posee un convertidor Buck-Boost entre la batería y los UC. Esto permite que el voltaje de la batería sea diferente al del banco de UC. Es beneficioso poner la batería en el lado de entrada del primer conversor para ser capaz de controlar la corriente de salida y, de esta manera, la tensión en la batería.

Por otro lado, el voltaje del bus (donde estarán conectados los diferentes consumidores) varias según el SoC del banco de UC. Puesto que el voltaje de los UC puede variar sustancialmente, hay un amplio rango de valores de entrada en el convertidor 2.

Así pues, este segundo convertidor ha de ser estable para un amplio rango de valores de entrada. A bajos valores de voltaje de los UC, la corriente de entrada puede ser muy alta llevando a alcanzar pérdidas y a tener una necesidad de interruptores de alta tasa.

2.2.6.3 Convertidores DC-DC bidireccionales de doble entrada

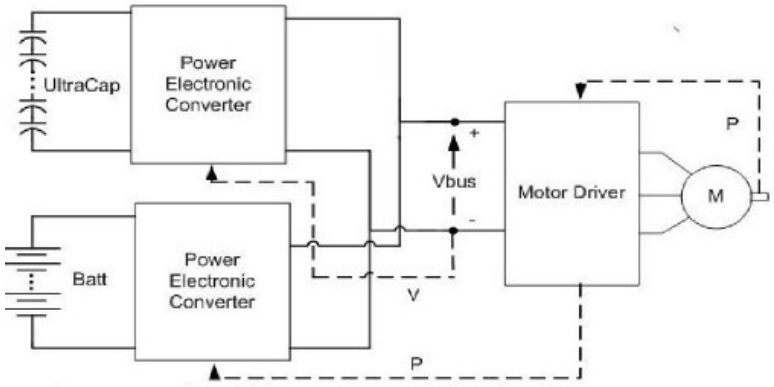


Ilustración 24: Topología con convertidores DC-DC bidireccionales de doble entrada

Esta topología tiene la misma funcionalidad que la anterior con la diferencia que aquí, el convertidor que controla la batería está controlado por corriente, y el que controla los UC es controlado por voltaje.

El sistema funciona de la siguiente manera: la demanda instantánea de potencia viene del motor (o demás elementos consumidores) y, basándose en el estado de la batería y de los UC, el control del convertidor determina la corriente que cada fuente debe proporcionar.

Como podemos ver en los diagramas de bloques de las Ilustraciones 23 y 24, hay el mismo número de convertidores en ambas topologías. Sin embargo, la topología de doble entrada es superior desde los puntos de vista de la estabilidad y de la eficiencia.

Suponiendo que los dos sistemas están en el mismo estado (misma demanda del motor y mismo SoC en baterías y UC), los voltajes de los UC serían los mismos, luego los voltajes de entrada al convertidor 2 será el mismo para ambas topologías. Este voltaje es presumiblemente pequeño para un ancho pulso de potencia de acuerdo a las características propias de los UC.

Por otro lado, la corriente será la suma de las corrientes de salida de los UC y la batería en el caso de topología bidireccional, al contrario que en la bidireccional de doble entrada, en la que sería solo la de los UC.

La operación en el convertidor 1 sería equivalente en ambos casos en el lado de entrada. El voltaje de salida del primer convertidor sería mayor en esta segunda topología, lo que ayudaría a obtener una mejor eficiencia.

La estabilidad también es mejor puesto que, en caso de fallo en una de las dos fuentes, la operación podría continuar en la otra.

Otra representación del modelo completo, con las variables a tener en cuenta, quedaría:

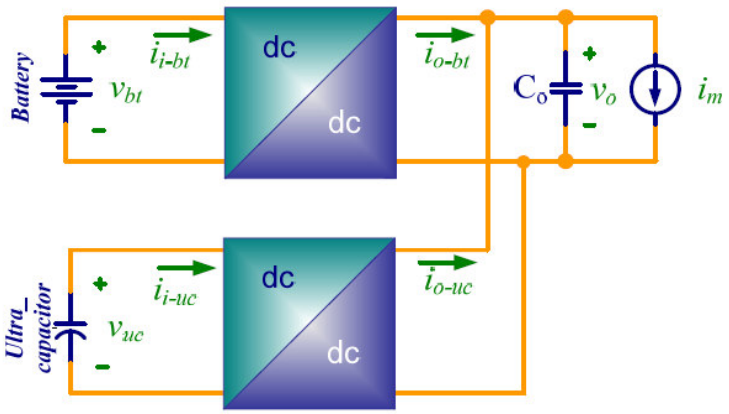


Ilustración 25: Conexionado batería y UC en la topología de convertidores bidireccionales de doble entrada

2.3 Análisis y características de los consumidores

En este apartado pretendemos identificar los principales sistemas y componentes del vehículo HY88 a tener en cuenta desde el punto de vista energético para el diseño del sistema de generación-almacenamiento de energía híbrido-eléctrico a desarrollar. Elaboraremos un primer análisis energético del vehículo, definiendo los elementos consumidores del mismo así como el modelado de los sistemas generadores de potencia.

2.3.1 Sistema de Propulsión o Tracción

El sistema de propulsión empleado en el vehículo está basado en la tecnología híbrida-eléctrica serie. Esto permite suprimir la caja de cambios y el árbol de transmisión empleando motores eléctricos independientes para cada rueda.

Los elementos consumidores de este sistema son:

- Unidad de control. Gestionará la tracción de las ruedas a partir de las consignas recibidas desde el puesto de conducción por el acelerador o cualquier otro sistema que fije la velocidad (por ejemplo un cruise control). Controlará la velocidad y sentido de giro de las ruedas a través de los motores eléctricos y con el feedback de los sensores de las ruedas, que le permitirán además proporcionar ciertos datos de monitorización comunes (velocidad, rpm, etc…).
- Actuadores. En este sistema consideraremos como actuadores los 8 motores eléctricos independientes, uno por cada rueda. En el proyecto se estudiará la opción de usar motores en cubo de rueda o motores en chasis. Estos motores serán el principal consumidor vehículo.
- Sensores. Los sensores empleados en este sistema medirán las revoluciones de cada motor y la velocidad y sentido de cada una de las ruedas, que puede ser diferente debido al skid-steer (inductivos, encoders, etc.).

Dada una pendiente fija, la velocidad apenas influye en la fuerza de tracción necesaria para subirla, sobre todo a velocidades menores a 100%, que es la velocidad máxima del vehículo HY88. Por lo tanto es la pendiente la que dimensiona la fuerza de tracción y no la velocidad. Sin embargo, para el cálculo de la potencia de tracción, sí que influye la velocidad que alcanza el vehículo. Las mayores potencias se necesitan en las frenadas, y no en los periodos de aceleración. Por lo tanto, la condición que dimensiona la potencia de tracción es el régimen transitorio.

2.3.2 Sistema de Dirección

El sistema de dirección se basa en el concepto de Drive-by-Wire, reemplazándose la dirección puramente mecánica por un sistema formado de elementos electromecánicos de precisión basado en sensores y actuadores.

El Steer-by-Wire se basa en desacoplar (desde el punto de vista mecánico) las órdenes de dirección del conductor al volante de la actuación sobre los ejes de las ruedas.

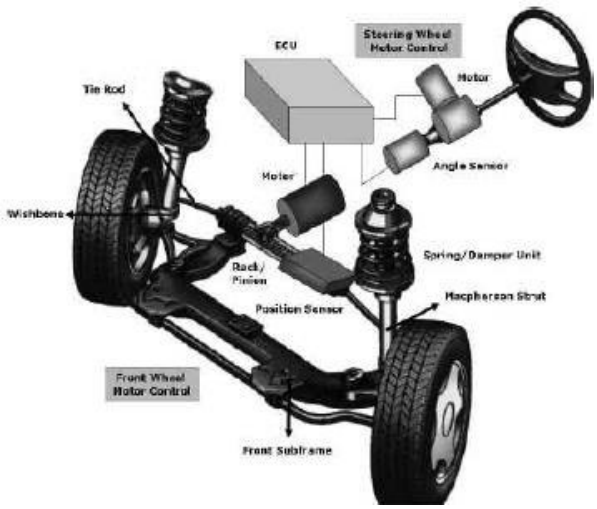


Ilustración 26: Sistema de dirección

El Skid-Steer o dirección híbrida se basa en el giro independiente de las ruedas y la velocidad diferencial entre ruedas.

Los elementos consumidores de este sistema son (en general no presentes en un sistema de dirección convencional):

- ECU (Unidad de Cálculo Electrónico). Controla los actuadores de resistencia del volante y de giro de las ruedas en función de las órdenes y la información recibida de los sensores.
- Actuadores. El motor actuador que simula en el volante la resistencia mecánica a vencer debida al par de giro de las ruedas, y los motores actuadores de posicionamiento de los ejes de las ruedas.
- Sensores. Básicamente, el sensor de ángulo de giro del volante (encoders, RVDT, etc.) y los sensores de posición de los ejes de dirección.

2.3.3 Sistema de Frenado

El sistema de frenado se basa también en el concepto de Drive-by-Wire. El Brake-by-Wire se basa en desacoplar (desde el punto de vista mecánico) las órdenes de dirección del conductor sobre el pedal de freno de la actuación sobre los discos de freno.

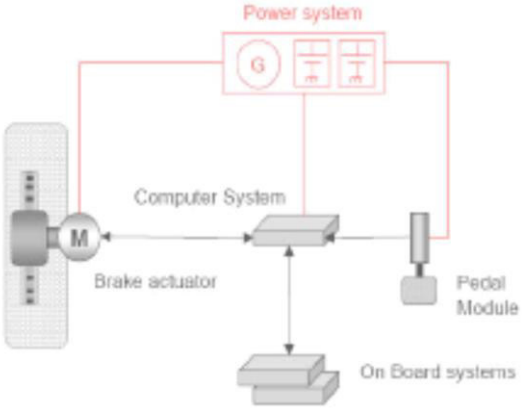


Ilustración 27: Sistema de frenado

Los elementos consumidores de este sistema son (en general, no presentes en un sistema de frenado convencional):

- Computador del sistema. Gestiona el control de los actuadores de frenado a través del sistema de potencia, según las consignas recibidas del pedal de frenado, así como la simulación de la sensación de esfuerzo de frenado en el pedal.
- Actuadores. El actuador que simula en el pedal la resistencia mecánica a vencer convencional (forma parte del módulo pedal), y los frenos independientes de cada rueda.
- Sensores. El sensor que permite interpretar la orden del conductor (forma parte del módulo pedal).

El sistema de frenado en principio solo consumirá energía al arrancar el vehículo y después de cada frenada NO regenerativa. El mayor consumo de energía se producirá cuando deban llenarse los calderines del sistema de frenado desde vacío.

Cuando la aceleración sea positiva ($\frac{v(t)-v(t-\varepsilon)}{\varepsilon} > 0$) tras un instante en el que ha sido negativa y el estado de las baterías sea tal que no ha aplicado una frenada regenerativa, se calcula cuánto ha bajado el nivel de aire en los calderines. La normativa dice que después de 8 frenadas completas, la presión en los calderines debe ser suficiente para tener freno de emergencia (todavía debe haber nivel suficiente para frenar). Para tener una estimación sobredimensionada del consumo, y teniendo en cuenta que la mayor parte de los frenados serán regenerativos, suponemos que a las 12 frenadas completas no regenerativas es necesario llenar los calderines de nuevo desde vacío.

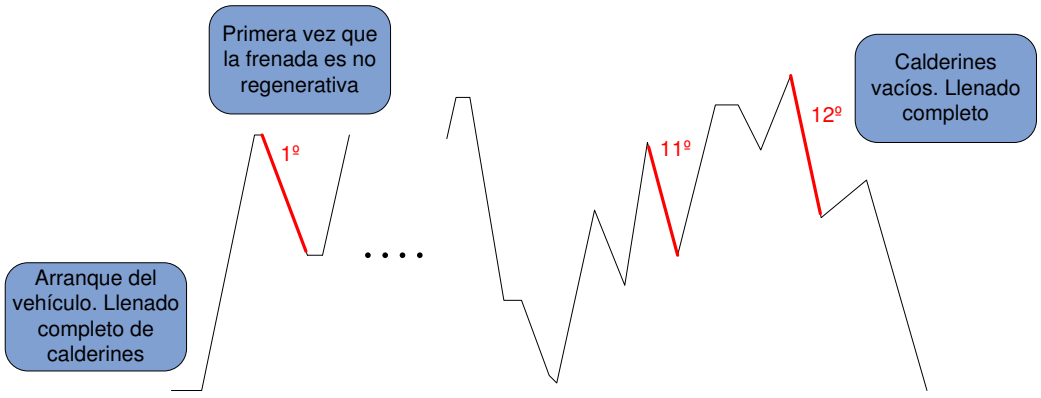


Ilustración 28: Evolución consumo del sistema de frenado

El dato del que disponemos es trabajo (W) necesario. Consideramos que el calderín de frenos dispondrá de una antecámara que permita desbloquear los frenos en un tiempo máximo de 10 segundos contados a partir del momento de la puesta en marcha del motor.

Entonces, la potencia consumida cada vez que se deben llenar los calderines es:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{155.000J}{10s} = 15.500W$$

2.3.4 Sistema de Suspensión

El vehículo 8x8 se va a diseñar con un sistema de suspensión activa. Frente a la suspensión tradicional, compuesta por elementos pasivos sin consumo eléctrico, este tipo de suspensión permite adaptarse en cada instante a las condiciones dinámicas del vehículo y a las características del terreno. Para ello, se emplea un sistema electrohidráulico de alta presión basado en electroválvulas pilotadas y una serie de sensores.

Los elementos consumidores de este sistema son:

- ECU (Unidad de Cálculo Electrónico). Gestiona el control de los actuadores (electroválvulas) que nos permiten adaptar las características de la suspensión en función de la información aportada por los sensores del sistema sobre el vehículo y el terreno.
- Actuadores. Electroválvulas pilotadas (al menos 1 por rueda) que permiten variar la presión en la amortiguación de cada rueda.
- Sensores. Acelerómetros y sensores de medida longitudinal (LVDT) que nos permiten conocer la dinámica del vehículo y las características del terreno en función de las medidas en puntos convenientes del vehículo.

2.3.5 Sistema de Visión

El vehículo dispone de un sistema de visión por cámaras que reemplazan la visión directa del conductor a través de un parabrisas o una escotilla de visión. Este sistema aporta ventajas como la visión diurna y nocturna, la visión panorámica, visión trasera (relacionada con el doble sentido de marcha) entre otras. Sin embargo, este sistema de visión introduce elementos electrónicos consumidores, no presentes en un vehículo convencional.

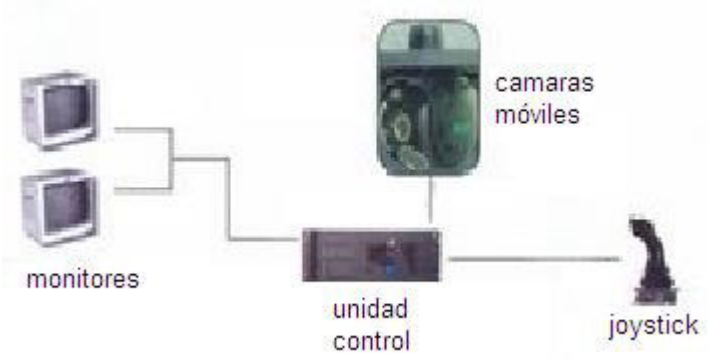


Ilustración 29: Ejemplo sistema de visión

Los elementos consumidores de este sistema son:

- Computador del sistema. Gestiona el control de las cámaras (posicionamiento, visión nocturna/diurna, zoom, selección de cámara delantera/trasera/lateral), así como de las pantallas e imágenes a mostrar. También puede permitir la introducción de técnicas de visión más complejas con procesamiento de imágenes, visión estéreo o visión artificial con otro tipo de sensores.
- Cámaras. Al menos el sistema dispondrá de una cámara frontal y otra trasera con visión diurna y nocturna.
- Actuadores (opcional). Motores para orientar las cámaras (pan&tilt), dando un mayor campo de visión en ciertas situaciones.
- Sensores (opcional). Si se emplean otras técnicas de visión que nos permitan elaborar un mapa 3D del terreno (sondas ultrasonido, IR, sonar, etc.).
- Monitores. Pantallas del puesto del piloto u otro miembro de la tripulación del vehículo.

Todos estos elementos tendrán un modelo de consumo constante en caso de que estén encendidos, y consumo nulo cuando estén apagados, es decir, un esquema como el mostrado en la siguiente figura:

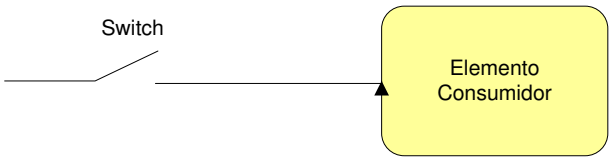


Ilustración 30: Modelado Consumo Sistema de Visión

2.3.6 Sistema de Comunicación

Dentro de este apartado debemos distinguir entre sistemas de comunicación internos y externos.

- Comunicación interna (HS-CAN). Las comunicaciones internas del vehículos se implementaran con una arquitectura sofware abierta basada en HS-CAN bus, que cubre los requisitos impuestos por las altas exigencias del sector militar. Los mismos requisitos obligarán a desarrollar arquitecturas hardware en los sistemas con redundancia de buses de comunicación (e incluso sensores, actuadores y controladores).
- Comunicación externa (Radio, GPS, etc.). Los sistemas de comunicación externos para comunicaciones radio, o sistemas de posicionamiento GPS, no se han especificado aún para nuestro vehículo, pero jugarán un papel importante en el consumo del mismo. El consumo que se tendrá en cuenta para este sistema será un valor constante mientras el vehículo esté arrancado.

2.3.7 Sistema de Iluminación

Este sistema se divide en 2 partes bien diferenciadas: iluminación interna y externa.

Los elementos consumidores de este sistema son:

- Lámparas de iluminación interior.
- Faros exteriores.
- Señalización exterior (intermitentes, luces de posición, etc.).

El consumo de estos elementos también es constante. Tan solo hay que realizar una estimación de la cantidad de potencia requerida por estos sistemas. El modelo será el mismo que el de la ilustración 30 para la iluminación interna, mientras que la iluminación externa corresponde a un consumo fijo siempre que el vehículo esté tripulado.

2.3.8 Sistema de Ventilación

La inclusión de sistemas electrónicos de precisión críticos en el vehículo exigirá un análisis detallado de las características térmicas de los diferentes equipos instalados y el diseño y adaptación de un sistema de ventilación con un consumo considerable y una electrónica de control (basado en termostatos, termopares, termoswitches, etc.).

Este sistema supondrá un consumo fijo siempre que el vehículo esté arrancado.

2.3.9 Sistema de Climatización

Este es un sistema común en cualquier vehículo actual a fin de mejorar las condiciones del habitáculo. Este sistema tiene un impacto considerable en el consumo de combustible en cualquier vehículo moderno, por lo que deberán definirse detalladamente las condiciones de temperatura y humedad del habitáculo. El sistema debe englobar:

- Refrigeración.
- Calefacción.
- Regulación del nivel de humedad.

Como ejemplo, tomamos de la web un modelo de Split usado en caravanas y camper de 7 metros de largo (se ha especificado una longitud para el vehículo HY88 de unos 7,6 m). Se trata del modelo KR40C2A de la marca mexicana PMC, especialista en aire acondicionado y refrigeración para el transporte. Las especificaciones de este modelo son:

- Alimentación: 110 VCA, 60 Hz, 1 fase
- Consumo total de corriente: 13,5 A
- Consumo total: 1500W

- Peso aproximado de la unidad evaporadora y condensadora: 50kg

Para sobredimensionar un poco el sistema, y debido a que se han encontrado varios tipos de Splits con un consumo superior a este, utilizaremos la cantidad de 2kW.

2.3.10 Consideraciones a los Generadores de Energía

La planta energética es el sistema que proporciona energía útil para satisfacer las necesidades de propulsión y auxiliares del vehículo. Está formado por los grupos motor alternativo y alternador; motor/generador, baterías y ultracapacitadores. Convierte, por tanto, la energía química de combustión en energía mecánica, y posteriormente en energía eléctrica, para uso o almacenamiento en las baterías. A continuación se detalla teóricamente el cálculo de la potencia que se genera del motor.

Las ecuaciones que modelan la demanda del vehículo (para propulsión) son resultado de aplicar la ley de Newton. Las fuerzas a tener en cuenta son: inercia, fuerza contra la resistencia aerodinámica, fuerza para vencer la rodadura y fuerza para vencer una subida de pendiente. Vamos a analizar cada una de ellas:

- Inercia:

$$F_a(i) = m_v \cdot a(i)\,,$$

Donde la aceleración $a(i) = \dfrac{v(i) - v(i-1)}{\Delta t}$, se saca del ciclo de conducción empleado.

- Resistencia aerodinámica: necesitamos conocer el valor del C_D o coeficiente de arrastre aerodinámico (0.8), y del A_F o área frontal del vehículo.

$$F_{ra}(i) = \frac{1}{2} C_D A_F \rho_{aire} V^2(i)\,,$$

Donde ρ_{aire} es la densidad de aire, y la tomaremos como 1kg/m^3

- Rodadura: para calcular este dato, es necesario conocer la pendiente α y el coeficiente de rodadura f_r, que tomaremos como 0,015.

$$F_{rod}(i) = f_r m_v g \cdot sn(\alpha)$$

- Existencia de pendiente:

$$F_{pen}(i) = m_v g \cdot sen(\alpha)$$

La potencia total que debe aportar el motor es el sumatorio de todas estas fuerzas multiplicado por la velocidad necesaria para mover el vehículo en cada instante.

$$P = \sum F \cdot V(i)$$

A partir de esta información, se puede calcular el par en la rueda y la velocidad de giro de la rueda, que es la que determina la velocidad de giro de los motores. Las expresiones son las mostradas a continuación:

$$H_{rueda}(i) = \frac{P(i) \cdot R_{rueda}}{V(i)} \quad \text{(a)} \qquad \omega_{rueda}(i) = \frac{V(i)}{R_{rueda}} \quad \text{(b)}$$

(a) Par en la rueda. (b) Velocidad de la rueda

2.3.11 Consideraciones a los Almacenadores de Energía

En este punto, se va a realizar un estudio del funcionamiento eléctrico de los sistemas almacenadores de energía, es decir, de las baterías y los ultracondensadores. Con esto, se pretende encontrar las ecuaciones que modelan la carga y descarga de estos elementos.

2.3.11.1Baterías

Comenzamos definiendo las baterías. El modelo propuesto que aparece en la siguiente figura es usado para predecir el estado de carga (SOC o *State of Charge*), la tensión final y las pérdidas de potencias de baterías de ión-litio, NiMH (Níquel Metal-Hidruro) y ácido-plomo.

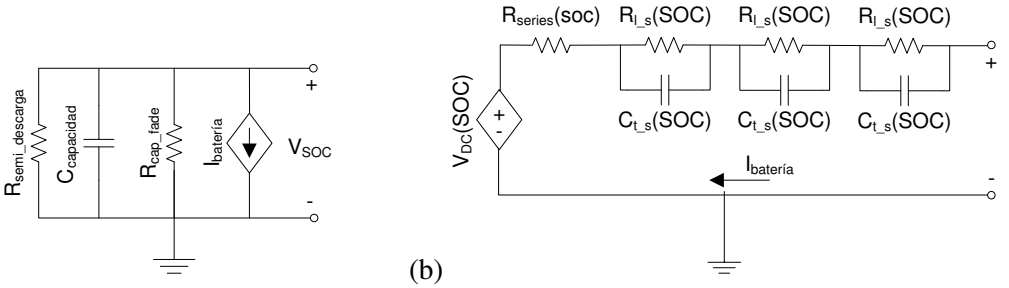


Ilustración 31: Modelo propuesto para la batería en simulaciones de HEV a temperatura constante

Las ecuaciones relativas al SOC y la tensión final son las que se muestran a continuación. Pero antes de eso, se van a definir los parámetros que intervienen en las mismas:

- $i(t)$: Tasa de descarga
- $f_1[i(t)]$: función que relaciona la capacidad de descarga con la tasa de descarga
- $f_2[T(t)]$: función que establece la relación con la temperatura
- $f_3[n_{ciclo}]$: función que establece la relación con el número de ciclo

$$SOC[i(t),T(t),n_{ciclo},t] = SOC_{inicial} + \int_0^t f_1[i(t)] \times f_2[T(t)] \times f_3[n_{ciclo}] \times i(t)dt$$

$$V_{final} = V_{OC}(SOC,T) - i_{bat}(t) \times R_{\text{int}}(SOC,T) + i_{bat}(t) \times R_{transitorio}(\tau_s, \tau_m, \tau h)$$

$$R_{transitorio} = (R_s(SOC)e^{-\frac{1}{R_s(SOC)C_s(SOC)}t} + R_m(SOC)e^{-\frac{1}{R_m(SOC)C_m(SOC)}t} + R_h(SOC)e^{-\frac{1}{R_h(SOC)C_h(SOC)}t})$$

La ecuación para el SOC puede ser modelada como el circuito de la Ilustración(a), donde la temperatura y el número de ciclo son conocidos. La ecuación es normalizada con la capacidad de la batería, así V_{SOC} va desde 0 al 100% y representa el SOC de la batería. $I_{batería}$ es la carga de la batería, modelada como una fuente de corriente, mientras que $R_{semi-descarga}$ y R_{cap_fade} están en paralelo con $C_{capacidad}$ y representan los factores de corrección de la semi-descarga y la capacidad de la batería. V_{final} relaciona los parámetros mostrados en el circuito de la derecha de la ilustración 31 con una aproximación de múltiples constantes de tiempo (τ_{seg}, $\tau_{\min}$ y τ_{hora}) para modelar el comportamiento transitorio de la tensión final, donde cada parámetro es función del SOC.

Cada uno de los parámetros de la Ilustración 31 es una función no lineal. Para el propósito del modelo, se representa como un polinomio función del SOC de orden superior a 6, con coeficientes dados de la siguiente forma:

$$Parámetro = a0 + a1 * SOC + a2 * SOC^2 ...$$

2.3.11.2 Ultracondensadores

Para el dimensionamiento de la cantidad de Ultracapacitores se deben considerar varios aspectos. Los más importantes son la capacidad, la tensión nominal y máxima, la resistencia interna y las corrientes de carga y consumo donde vamos aplicar.

Tenemos que evaluar y considerar las limitaciones del motor, las tensiones con que trabaja y la capacidad que se requiere para lograr el objetivo planteado para el equipo.

Ecuación de la cantidad de energía:

$$\mathbf{E = ½\ C.V^2}$$

Donde E = cantidad de energía (J), C = capacitancia (F), V = tensión máxima que soporta(V).

Por lo tanto, no tiene objeto instalar un banco de ultracaps con una tensión nominal mayor que el voltaje de las baterías, porque parte de su capacidad de almacenar energía siempre permanecerá inutilizada. Por otro lado, si la tensión máxima del paquete de ultracaps es despreciable o demasiado pequeña en relación a la de las baterías, se corre el riesgo de sobrecargar los primeros con su consiguiente destrucción. Entonces es deseable que la tensión máxima de los ultracapacitores sea similar a la tensión mínima de las baterías para tener la menor capacidad inutilizable posible.

Cuando al ultracondensador le aplicamos una diferencia de potencial este se carga, ya que al no estar las dos placas metálicas unidas entre sí directamente, sino por medio de una batería o pila, cada una de las placas se cargará con electricidad positiva o negativa, debido a que una de las placas cederá electrones para que la otra los gane.

Carga de los Ultracapacitadores

La carga se debe a un flujo de electrones que va hacía a una de las placas desde la otra, dando por resultado una placa con carga negativa y otra con carga positiva. Este proceso no es instantáneo sino que se va realizando paulatinamente, dependiendo la mayor o menor rapidez del mismo de la capacidad del ultracapacitador y de la resistencia del circuito.

Descarga de los Ultracapacitadores

Normalmente en un circuito, los ultracapacitores se cargarán y se descargarán a través de resistencias. Esto se produce según una constante de tiempo y dependiendo de la resistencia y de corriente que le administremos según T= R – C.

Siendo T el tiempo, R el valor, R el valor de la resistencia en Ohmios y C el valor del ultracapacitador en Faradios. En una constante de tiempo K el ultracapacitador se carga aproximadamente un 63%, en la segunda constante de tiempo se carga otro 63%, y así sucesivamente, se considera que el ultracapacitador está totalmente cargado en 5 constantes de tiempo. El proceso de descarga es similar al de carga.

Las corrientes de carga y descarga de un Ultracapacitador comienzan con un valor máximo y van declinando a cero a medida que el Ultracapacitador se carga del todo o se descarga. En el caso del Ultracapacitador en carga, las placas descargadas ofrecen poca oposición a la corriente de carga al principio, pero a medida que se van cargando ofrecen más y más oposición, reduciendo el flujo de corriente.

2.4 Modelado de la influencia de los escenarios en la demanda

Este apartado supone un paso más en el estudio inicial para el diseño del vehículo híbrido que nos ocupa; al vincular los dos conceptos fundamentales existentes desde el punto de vista energético, como son la demanda de cada elemento consumidor y la forma de conducción en un determinado escenario.

2.4.1 Estudio y definición de los escenarios más utilizados

Desde hace varios años, se ha desarrollado una metodología para generar ciclos de conducción para vehículos, basados en la misión del vehículo.
Los ciclos de conducción son utilizados para emular la operación del vehículo bajo el control de un conductor, ajustando e iterando cada uno de los parámetros implicados en la conducción. De esa forma, el modelo simulará al vehículo actuando bajo unas condiciones determinadas.
Los datos obtenidos a partir de los ciclos de conducción proporcionan información detallada en intervalos de tiempo de cómo el vehículo en cuestión va a ser utilizado. Posteriormente, los diseñadores usan estos datos para analizar el sistema y diseñar cada uno de los elementos que van a componer el vehículo.
La información necesaria para la creación de los ciclos de conducción está dada en las especificaciones del vehículo y en la lista del tipo de terrenos que se pueden encontrar.

2.4.1.1 Requisitos de un ciclo de conducción

Para que un ciclo de conducción esté completamente parametrizado, es necesario tener en cuenta todos los factores que afectan al consumo de energía y a las condiciones externas que se pueden encontrar en cada instante. Por lo tanto, a la hora de realizar simulaciones, habrá que tener en cuenta los siguientes requisitos:

Requisitos para la misión:

- Velocidad del vehículo y aceleración
- Posición del pedal de aceleración
- Fuerza aplicada al pedal de freno
- Puesto de control de conducción
- Equipamiento eléctrico del vehículo (radios, torreta, sistema de iluminación, etc.)

Requisitos medioambientales:

- Tipos de terreno
- Carreteras primarias y secundarias
- Cross-country (composición del terreno)
- Inclinación del terreno
- Accidentes del terreno
- Temperatura ambiente
- Temperatura en el compartimento de tripulación

El desarrollo de un ciclo de conducción comienza con las siguientes tareas:

- Establecer la instrumentación necesaria y estudiar los datos de uso
- Análisis estadístico que defina el rendimiento del vehículo y de lugar a las entradas para la simulación
- Los diseñadores usarán estas simulaciones para modelar el consumo eléctrico durante el desarrollo de sistema híbrido.

2.4.1.2 Tipos de ciclos de conducción

Según la Web www.dieselnet.com, existen ciclos de testeado con dinamómetro de vehículos usados para medir las emisiones y el gasto de combustible. Estos ciclos están acondicionados a la región en la que se van a utilizar los vehículos. A continuación se listan los ciclos utilizados en la actualidad tanto a nivel internacional como a nivel europeo.

Internacional:

- World Harmonized Stationary Cycle (WHSC)

Un ciclo de secuencias fijadas para motores de alto rendimiento, para ser usadas para certificaciones futuras de emisiones del motor. Aprobado internacionalmente.

- Word Harmonized Transient Cycle (WHTC)

Un ciclo variable para motores de alto rendimiento, para ser usadas para certificaciones futuras de emisiones del motor. Aprobado internacionalmente.

- NonroaD Transient Cycle (NRTC)

Un ciclo variable para motores utilizados en zonas no asfaltadas, para ser usadas para certificaciones de emisiones del motor. Aprobado en Estados Unidos y en la Unión Europea.

- ISO 8178

Ciclo de testeo compuesto de varios modos de testeo fijo. Usado para aplicaciones del motor fuera de carreteras en Europa, Estados Unidos y Japón.

Unión Europea

- ECE+EUDC/NEDC

Un testeo combinado de dinamómetro de chasis usado para testear y certificar las emisiones en Europa. Está compuesto por cuatro ECE Ciclos de conducción urbana, simulando la conducción por ciudad, y un Ciclo de conducción extra-urbano (EUDC), simulando la conducción en condiciones de autovía. La primera versión del test, introducida en 2000, también se conoce como Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (New European Driving Cycle o NEDC).

- ECE R49

Ciclo fijo para motores de camiones de alto rendimiento. Consiste en una secuencia de 13 modos de test de dinamómetro de motor. Usado para certificaciones de emisión de motores de alto rendimiento de antes del año 2000.

- ESC (OICA)

Nuevo ciclo fijo para motores de camiones o autobuses. Efectivo a partir del año 2000, el test ESC es usado para certificaciones de emisión de motores diesel de alto rendimiento.

- ELR

Efectivo a partir del año 2000, el test ELR es usado para la certificación de la determinación de la opacidad de humos durante las emisiones de motores diesel de alto rendimiento.

- ETC (FIGE Transient)

Nuevo ciclo variable para motores de autobuses y camiones. Es usado, junto con el ESC, para la certificación de de emisiones en motores de alto rendimiento.

- Braunschweig Cycle

Test variable de dinamómetro de chasis simulando la ruta urbana de un autobús.

2.4.1.3 Estudio de los ciclos y determinación de características

En un primer estudio se van a considerar únicamente los estándares europeos, debido a que el objetivo del proyecto es un vehículo 100% español y en principio su uso está previsto para el territorio europeo. A continuación, se analizarán los requisitos de los estándares internacionales con objeto de comprobar la utilidad de las mismas para la adaptabilidad del vehículo HY88 a territorio intercontinental.

El ciclo ECE R49 está en desuso y el ciclo Braunschweig Cycle se usa para autobuses, luego estos no serán objeto de estudio.

ECE+EUDC/NEDC

El ciclo completo está formado por cuatro segmentos ECE repetidos sin interrupción, seguidos de un segmento EUDC. Antes del testeo, el vehículo puede someterse al menos durante 6 horas a un testeo de temperatura de 20-30º. Es entonces cuando comienza.

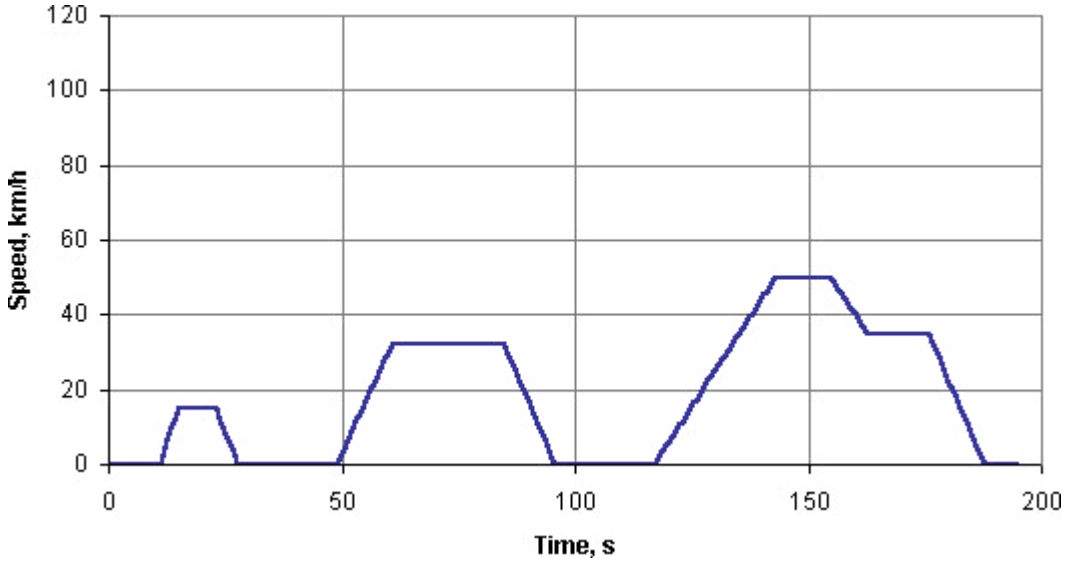


Ilustración 32: Ciclo 15 ECE

El ciclo ECE es un ciclo urbano, para representar las condiciones de conducción en ciudad. Es caracterizado por una baja velocidad, baja carga del motor y baja temperatura del gas.

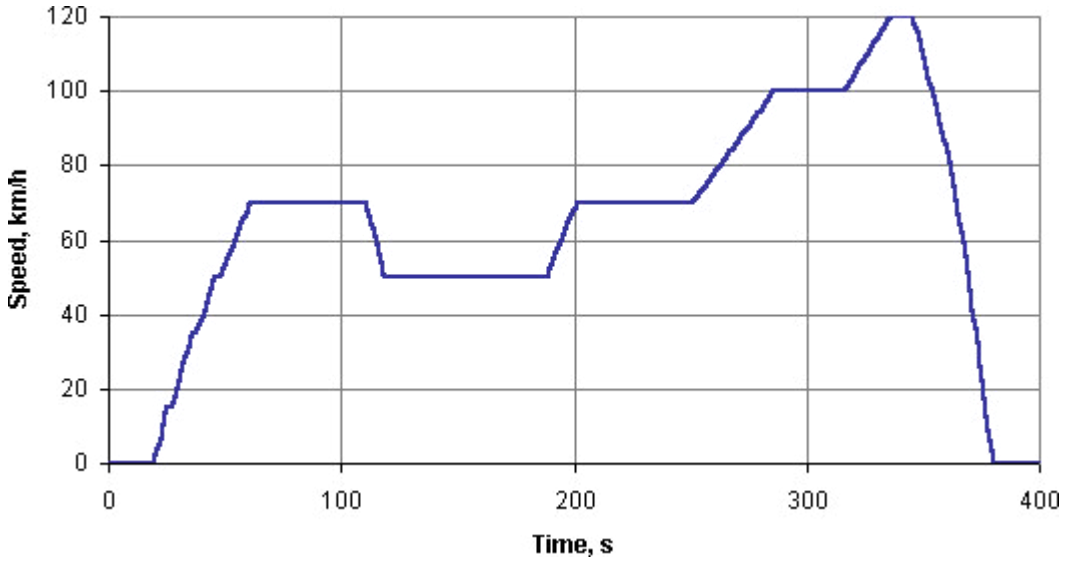


Ilustración 33: Ciclo 15 EUDC

El segmento EUDC ha sido añadido tras cuatro ciclos ECE para computar una velocidad más alta y una agresividad superior en el modo de conducción. La máxima velocidad alcanzada por este ciclo es 120km/h (para un turismo).

La siguiente tabla incluye un sumario de los parámetros para ambos ciclos ECE y EUDC:

Características	Unidad	ECE 15	EUDC
Distancia	Km	4x1,013=4,052	6.955
Duración	S	4x195=780	400
Velocidad media	Km/g	18,7	62,6
Velocidad máxima	Km/h	50	120

Tabla 2: Parámetros del ciclo ECE/EUDC

European Stationary Cicle (ESC)

Este test está formado por 13 modos fijos de conducción que sustituyen al R49. El motor es testeado en un dinamómetro de motor siguiendo una secuencia de estados fijos. La máquina debe estar operativa el tiempo establecido en cada modo, completando la velocidad y los cambios de carga en los primeros 20 segundos. Las especificaciones de velocidad deben estar entre +/- 50 rpm y el par de torsión especificado debe estar en +/- 2% del máximo par a la velocidad de testeo.

Modo	Velocidad del motor	% Carga	Factor Mesurable %	Duración
1	Ralentí	0	15	4 minutos
2	A	100	8	2 minutos
3	B	50	10	2 minutos
4	B	75	10	2 minutos
5	A	50	5	2 minutos
6	A	75	5	2 minutos
7	A	25	5	2 minutos
8	B	100	9	2 minutos
9	B	25	10	2 minutos
10	C	100	8	2 minutos
11	C	25	5	2 minutos
12	C	75	5	2 minutos
13	C	50	5	2 minutos

Tabla 3: Parámetros del ciclo ESC

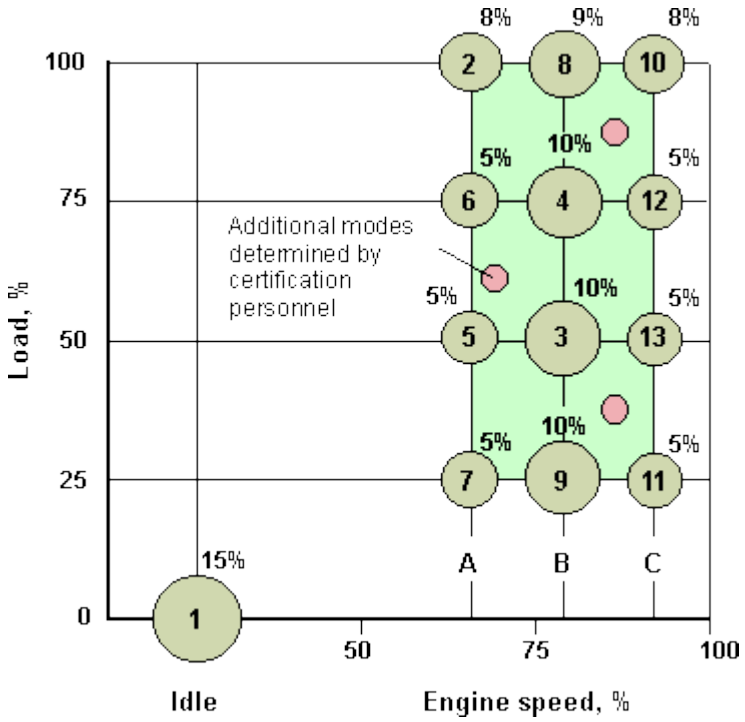


Ilustración 34: Ciclo ESC

La velocidad del motor está definida como sigue:

1. La velocidad máxima n_{hi} está determinada calculando el 70% de la potencia neta máxima declarada. La velocidad del motor máxima donde se da este valor de potencia en la curva de potencia se define como n_{hi}.
2. La velocidad más baja n_{lo} es determinando el 50% de la potencia neta máxima declarada. La velocidad más baja en la que se da este valor de potencia en la curva de potencia se define como n_{lo}.
3. Las velocidades del motor A, B y C para ser usadas durante el test son calculadas siguiendo las siguientes fórmulas:

$$A = n_{lo} + 0{,}25(n_{hi} - n_{hlo})$$

$$B = n_{lo} + 0{,}50(n_{hi} - n_{hlo})$$

$$C = n_{lo} + 0{,}75(n_{hi} - n_{hlo})$$

European Load Response (ELR)

Ciclo efectivo desde el año 2000, proporciona una medida de la opacidad del humo en motores diesel de alto rendimiento.

El test consiste en una secuencia de tres pasos de carga a cada una de las tres velocidades del motor A (ciclo 1), B (ciclo 2) y C (ciclo 3), seguido de un ciclo 4 a una velocidad entre la velocidad A y la C, y una carga entre el 10% y el 100%, seleccionada mediante certificación personal.

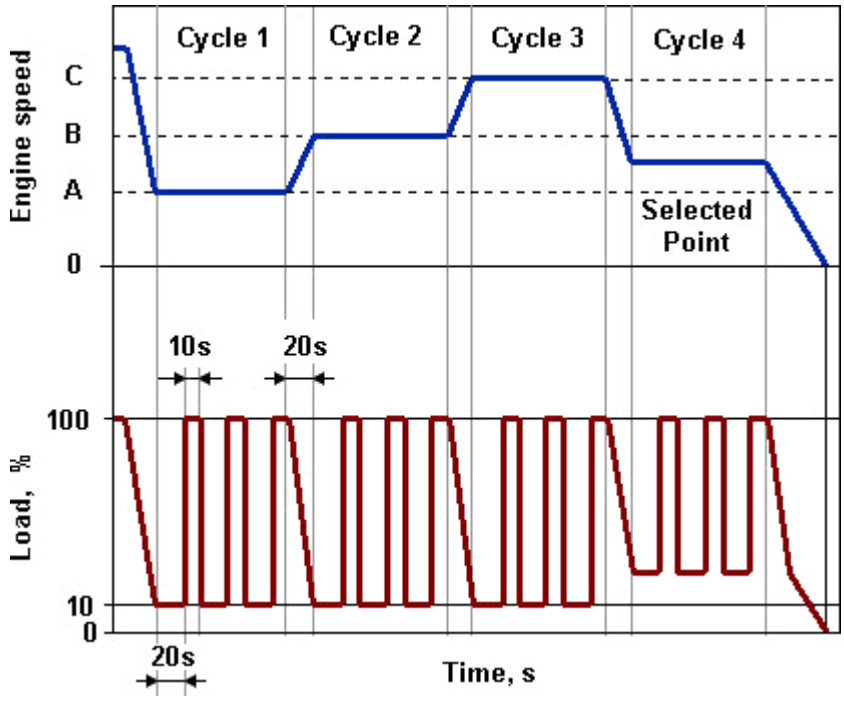


Ilustración 35: Ciclo ELR

European Transient Cycle (ETC)

En conjunto con el ESC, proporcionan una certificación de las emisiones en motores diesel de alto rendimiento en Europa a partir del año 2000. Este ciclo representa diferentes condiciones de conducción, incluyendo zona urbana, rural y en autopistas.

- La primera parte representa conducción por ciudad a una velocidad máxima de 50km/h, frecuentes arranques, paradas y tramos a ralentí.
- La segunda parte representa conducción por zona rural, comenzando con un segmento de aceleración de la velocidad. La velocidad media es de 72km/h.
- La tercera parte consiste en conducción por autopista, con una velocidad media de 80km/h.

En la ilustración 36 se muestra la velocidad del vehículo respecto a la duración del ciclo. Para la certificación del motor, el ciclo ETC se mide con un dinamómetro de motor. Las pertinentes curvas de velocidad del vehículo con respecto al par se muestran en las ilustraciones 37 y 38.

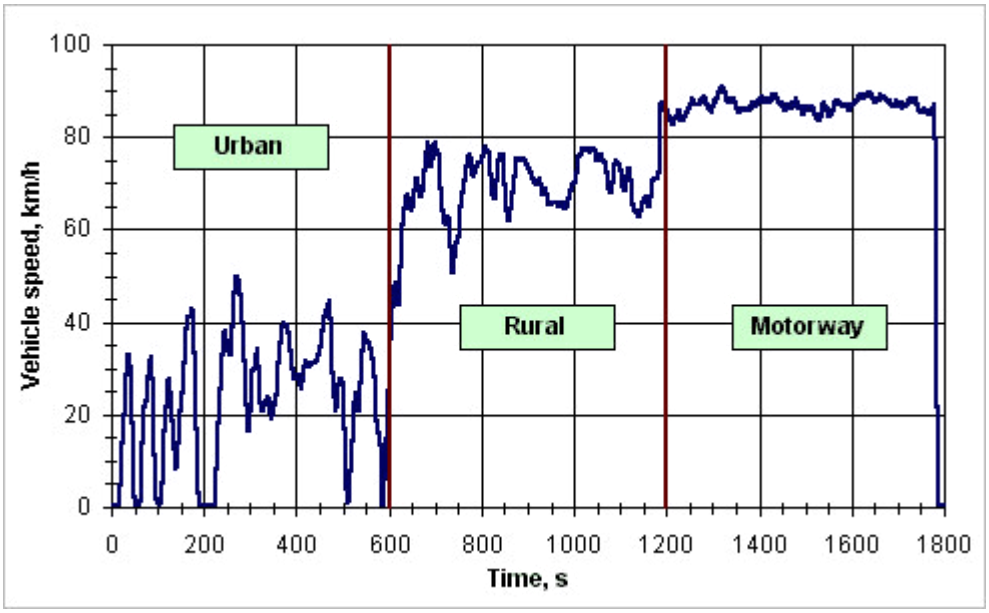


Ilustración 36: Ciclo ETC- Velocidad del vehículo

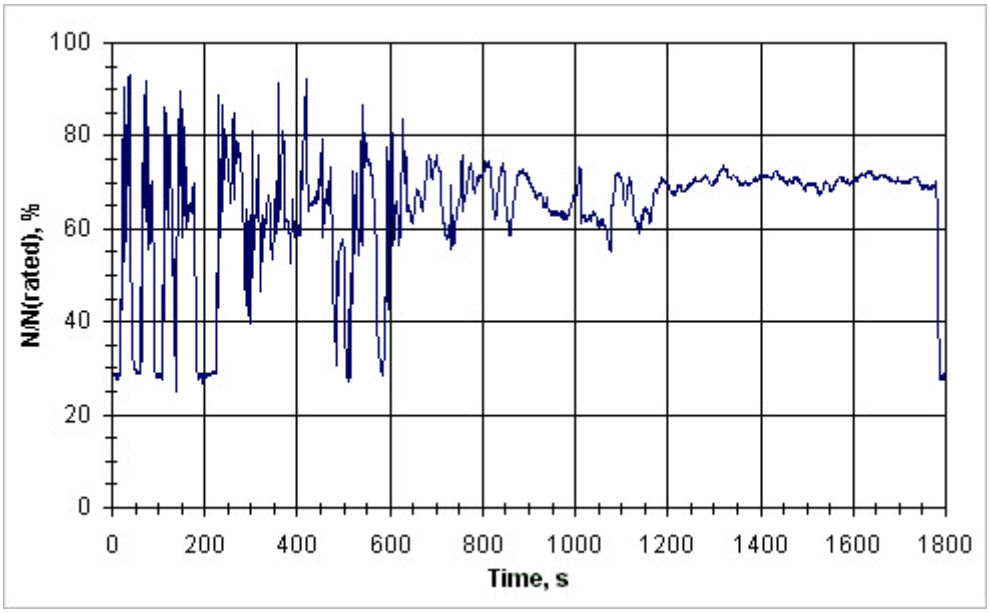


Ilustración 37: Ciclo ETC- Velocidad del motor

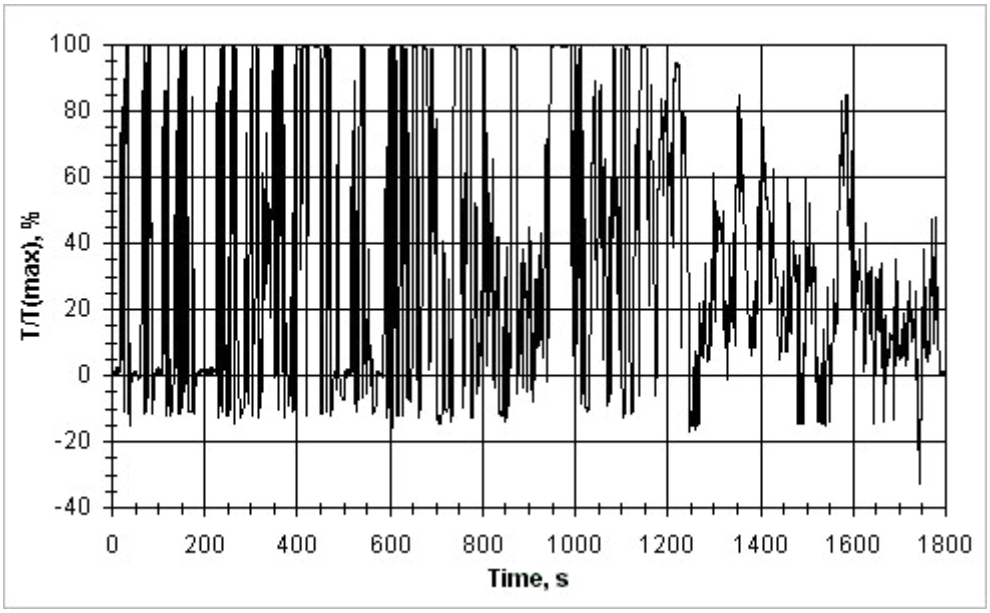


Ilustración 38: Ciclo ETC- Par motor

2.4.1.4 Diseño del ciclo de conducción

Se van a realizar dos tipos de ciclos conducción:

- Ciclos largos en los cuales se van a evaluar las necesidades de autonomía del vehículo. En ellos se verifica que con una carga de combustible se pueda recorrer una cierta distancia a una cierta velocidad, o que el vehículo puede estar estacionado con los sistemas no motrices en funcionamiento un tiempo determinado.

- Ciclos cortos en los cuales, se emula el comportamiento del vehículo en zonas urbanas, carreteras o autopistas y zonas todo terreno. Estos son los ciclos apropiados para realizar las simulaciones de consumo energético. Para el desarrollo de estos ciclos nos basaremos en los detallados en el apartado anterior, modificándolos a conveniencia de la misión a la que estará sometido el vehículo.

Los ciclos se forman desarrollando un ciclo independiente para cada tipo de terreno dentro del perfil de la misión. Finalmente, todos los segmentos diseñados se unen formando un ciclo de conducción final.

Los inconvenientes de este tipo de ciclos son que no se tiene en cuenta el grado de accidentalidad del terreno, ni el factor humano, como es la limitación en velocidad debido a la agresividad en la conducción. Asumir que la deceleración del vehículo es inversa a la aceleración, lleva a una deceleración más lenta y menos violenta de lo que puede ser en la realidad. Por último, los ciclos lineales ignoran los pequeños cambios en la velocidad que son críticos para determinar con precisión el consumo de combustible.

Ciclo básico

La siguiente tabla está basada en la metodología utilizada por la agencia de protección del medioambiente (Environmental Protection Agency o EPA) para determinar el consumo de combustible en ciclos de conducción urbanos y en autopistas, aunque los valores están modificados para cumplir las especificaciones establecidas. Además, se usan tres test adicionales para altas velocidades, uso del aire acondicionado y bajas temperaturas. A continuación se muestran los parámetros con los que se construirán los segmentos del ciclo:

	Atributos de testeo				
	Ciudad	**Autopista**	**Alta velocidad**	**AC**	**Baja temperatura**
Tipo de circulación	Baja velocidad en tráfico urbano stop-and-go	Tráfico fluido a altas velocidades	Velocidades límite con aceleración y frenado brusco	AC usado en condiciones de alta temperatura ambiente	Testeo por ciudad con baja temperatura ambiente
Velocidad máxima	50 km/h	80km/h	100km/h	45km/h	50km/h
Velocidad media	30 km/h	70km/h	70km/h	30km/h	30km/h
Aceleración máxima	2,5km/h·s	2,5km/h·s	6km/h·s	3,5km/h·s	2,5km/h·s
Distancia recorrida	- km	- km	- km	- km	- km
Tiempo	5min	3,3min	5min	3,5min	3min
Arranque del motor	18% tiempo	No	7% del tiempo	19% del tiempo	18% del tiempo
Temperatura	Frío	Templado	Templado	Templado	Frío
Temp. Lab	20º-30º C	20º-30º C	20º-30º C	35ºC	-5ºC
AC en vehículo	Apagado	Apagado	Apagado	Encendido	Apagado

Tabla 4: Atributos del ciclo de conducción

Por su actualidad y por ser el método más completo dentro de los desarrollados en la Unión Europea, ya que consta de segmentos por ciclo urbano, rural y autopista, vamos a utilizar como base el ciclo ETC. Así mismo, se emplearán datos y situaciones señaladas

en la tabla 4. Como conjunto de toda esta información, siempre sin perder de vista la misión del HY88, se propone el siguiente ciclo de conducción:

- Terreno asfaltado o camino levemente accidentado.
- Vehículo en carga media. Se hace una estimación de 18 t (aproximadamente un 80% del peso en carga máxima).
- Temperatura ambiente de entre 20º y 30ºC.
- Comprobar que el tanque de fuel se encuentra entre ¼ y ¾ de su capacidad.
- Arrancar el vehículo en frío (30ºC) y encender el aire acondicionado y los sistemas de control y monitorización. Esperar durante 2-3 minutos.
- Apagar el aire acondicionado y todas las otras cargas. Pisar el pedal del acelerador hasta llegar a 50km/h en 20 segundos (aproximadamente una aceleración constante de 2,5km/h·s).
- Al cabo de ese tiempo, y aunque no se hayan alcanzado los 50km/h, comenzar a frenar hasta llegar a 5km/h.
- Circulación a velocidad mínima de 5km/h durante 5 segundos y volver a acelerar hasta los 50km/h.
- Continuar el segmento de simulación en zona urbana durante 300 segundos, con un ciclo de frecuentes arrancadas-frenadas y periodos a ralentí. No superar en ningún caso los 50km/h.
- A continuación, comienza el ciclo rural. La velocidad media de este ciclo será de 70km/h. La velocidad mínima será de 50km/h y la máxima, 80km/h. Habrá periodos de arrancadas-frenadas moderados. Periodos a velocidad sostenida más frecuentes que en el ciclo urbano. Continuidad del ciclo durante 200 segundos y paso a ciclo a altas velocidades.
- Comienza entonces un ciclo de 600s corresponde al ciclo por autopista a gran velocidad. Se mantiene una velocidad sostenida de 80km/h. Se producen mínimas modificaciones en la velocidad.
- Superado este ciclo, se realiza una deceleración por frenado de aproximadamente 3km/h·s, hasta alcanzar los 50km/h.
- La temperatura exterior debe ser de entre 35º y 40ºC.
- Se mantiene el vehículo a ralentí durante 5 segundos, y se enciende el aire acondicionado.
- Segmento de ciclo urbano con el AC encendido. La duración del segmento será de 190 segundos, y las aceleraciones serán algo más bruscas que en el ciclo urbano anterior (3,5 km/h·s).
- Desaceleración del vehículo dejándolo en punto muerto. Detención.

Ciclo Extremo

A continuación se detallará un ciclo propuesto no para realizar simulaciones para el consumo energético con vistas al diseño del motor, sino para el diseño del sistema de almacenamiento, ya que este debe ser capaz de proporcionar al vehículo una autonomía descrita en este y en los siguientes apartados.

- Terreno asfaltado o autopista.
- Vehículo en carga máxima de 22 toneladas.
- Comprobar que el tanque de fuel se encuentra superior a ¾ de su capacidad.
- Arrancar el vehículo en frío (30ºC) y encender el aire acondicionado y los sistemas de control y monitorización. Esperar durante 2-3 minutos.
- Apagar el aire acondicionado y todas las otras cargas. Pisar el pedal del acelerador ½ de su recorrido, hasta llegar a 80km/h.

- Permanecer a velocidad sostenida durante 7,5 horas (recorrido de 600km).
- Desaceleración sin pisar el freno, dejando el vehículo en punto muerto. Con esto se consigue ver la autonomía en caso de mal funcionamiento de los frenos regenerativos.
- Comprobar que el tanque de fuel esté próximo a ¼ de su capacidad.

Generalmente los ciclos de conducción deben durar entre 15 y 20 minutos. Sin embargo, este ciclo es usado para comprobar la capacidad de almacenamiento de energía y velocidad de consumo de la misma.

Ciclo autonomía en movimiento

- Terreno asfaltado o camino con leve grado de accidentalidad del terreno.
- Vehículo en carga moderada.
- Comprobar que el tanque de combustible se encuentra superior a ¾ de su capacidad.
- Arranque en frío. Temperatura inferior a 30ºC (86ºF).
- A ralentí. El motor deberá funcionar durante dos minutos con los sistemas de iluminación internos, el aire acondicionado y los dispositivos de control y monitorización encendidos.
- Acelerar pisando el pedal de aceleración ¼ de su capacidad hasta alcanzar 60km/h.
- Circular a velocidad sostenida durante 100km.
- Levantar el pie del acelerador. Circular en punto muerto hasta alcanzar una velocidad de 40km/h.
- Circular a velocidad sostenida durante 40km.
- Levantar el pie del acelerador. Circular en punto muerto hasta llegar a una velocidad de 5km/h.
- Frenar hasta ir a velocidad 0.
- En camino altamente accidentado, circular durante 4 horas a velocidad de 10km/h.
- Comprobar que el tanque de fuel esté próximo a ¼ de su capacidad.

Ciclo autonomía en estado estacionado

- Camino con grado medio de accidentalidad del terreno.
- Vehículo en carga moderada.
- Comprobar que el tanque de fuel se encuentra superior a ¾ de su capacidad.
- Encender los sistemas no motrices del vehículo. Debe permanecer estacionado 12h.
- Arrancar el vehículo y pisar el pedal del acelerador ¼ de su recorrido, hasta alcanzar los 30km/h.
- Permanecer a velocidad sostenida durante 30 minutos. Terreno asfaltado o camino con leve grado de accidentalidad del terreno. Vehículo en carga moderada.
- Desaceleración sin pisar el freno, dejando el vehículo en punto muerto. Con esto se consigue ver la autonomía en caso de mal funcionamiento de los frenos regenerativos.
- Comprobar que el tanque de fuel esté próximo a ¼ de su capacidad.

2.4.2 Posibles escenarios para la simulación del vehículo

Tras el estudio realizado de los escenarios más utilizados a nivel europeo del apartado anterior, llegamos a la conclusión de que, de los escenarios estándares que existen, el más útil para nuestro caso es el *European Transient Cycle* o ETC. Basándose en este, en la metodología utilizada por la Agencia de Protección del Medioambiente (*Environmental Protection Agency* o EPA) y en las especificaciones iniciales del vehículo HY88 proponemos una serie de escenarios en los que se plantean una gran variedad de situaciones.

2.4.2.1 New European Driving Cycle (NEDC)

Este ciclo consiste en cuatro repeticiones consecutivas del ciclo ECE-15 y un ciclo de conducción que representa una etapa fuera de ciudad, el EUDC. El escenario NEDC supuestamente representa el uso típico de un vehículo en Europa y generalmente es usado para controlar los niveles de emisión de los motores. Su duración total es de 1200s y la gráfica que relaciona la velocidad con el tiempo tiene la siguiente forma:

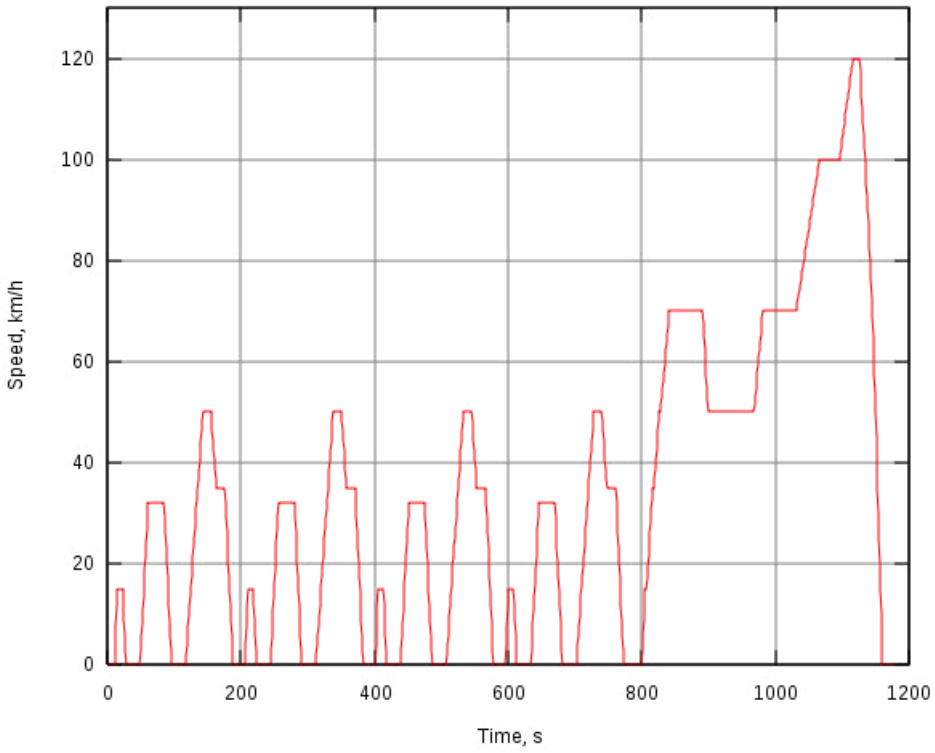


Ilustración 39: Ciclo NEDC

Este es un ciclo muy sencillo que no servirá para obtener datos representativos ya que las velocidades en la práctica son generalmente mayores y más dinámicas. Así, este ciclo simplemente será útil para realizar las primeras simulaciones, y comprobar que el modelo de los elementos consumidores del vehículo se comporta adecuadamente en las transiciones del ciclo y en los cambios de velocidad.

2.4.2.2 New Transient Cycle (NTC)

Este ciclo se trata de un escenario más completo, siendo uno de los que se usan actualmente a la hora de realizar pruebas en un vehículo a nivel europeo. Consiste en un ciclo de 1800s en total divididos en tres tramos de 600s cada uno, que son:

- El primero es un ciclo referido a la conducción en tramos urbanos (dentro de cuidad), en los que se producen continuos arranques y frenadas; la velocidad máxima no supera los 50km/h y la velocidad media es de unos 25km/h.
- El segundo es un ciclo referido a la conducción en tramos rurales, en los que la velocidad es más sostenida que en el tramo anterior; la velocidad máxima no supera los 80km/h y la velocidad media suele ser de unos 70km/h.
- El tercero y último es un ciclo referido a la conducción en tramos de autopista. En él, la velocidad es prácticamente constante (las aceleraciones y frenadas son muy escasas), la velocidad máxima está algo por encima de los 80km/h y la velocidad media es de 80km/h aproximadamente.

La gráfica que relaciona la velocidad con el instante de tiempo tiene la forma que se muestra a continuación:

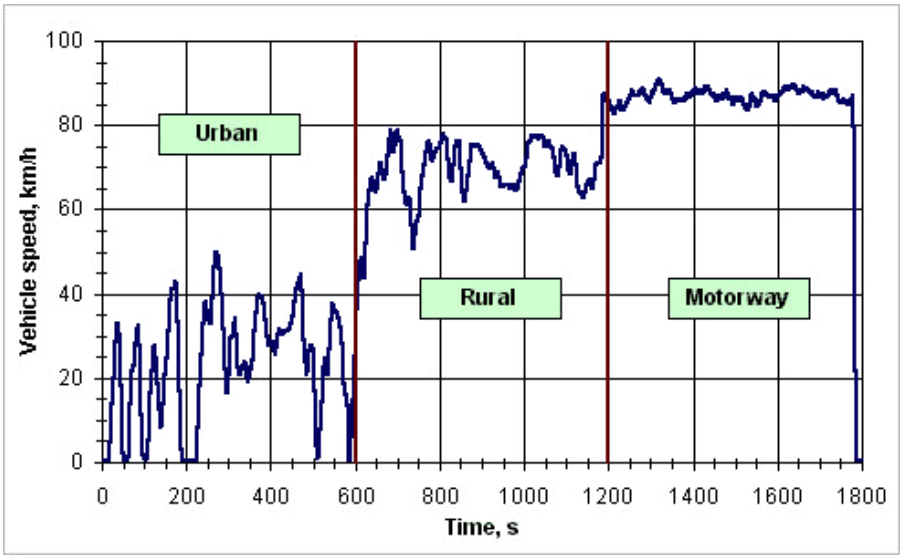


Ilustración 40: Ciclo ETC

Este escenario es mucho más realista que el anterior, cuya representación se adapta bastante a la conducción real de un vehículo. Además, la ventaja de este ciclo es que representa tres situaciones bien diferenciadas, para estudiar el consumo en cada uno de los tres contextos explicados.

Uno de las carencias del ciclo ETC es que la velocidad máxima en autopista no llega a 100km/h, que es la velocidad máxima que el vehículo HY88 que nos ocupa puede alcanzar según sus especificaciones. Por esto, se crea un nuevo ciclo, muy parecido a este, pero con algunas condiciones más.

2.4.2.3 Ciclo especializado para el HY88

Este ciclo tiene una estructura similar a la del ciclo ETC. Se trata de un recorrido total de 1800s divididos en tres tramos que se corresponden con los mismos que se explicaron en el punto anterior: recorrido urbano, recorrido rural y recorrido por autopista.

Las diferencias fundamentales con respecto al ciclo ETC son:

- En el tramo de recorrido por autovía, el vehículo alcanza los 100km/h, que es la velocidad máxima a la que puede circular el vehículo HY88 según especificaciones.
- Al comienzo del ciclo hay una etapa en la que el vehículo no comienza a circular y se hacen pruebas de iluminación y encendido de consumidores como el split de aire acondicionado, cámaras de vídeo y monitores.
- A lo largo del recorrido se establece un circuito de encendido y apagado de algunos elementos como los nombrados en el anterior punto, para comprobar los picos de consumo que estas acciones llevan asociadas. Esto no se puede mostrar en una gráfica como la de la Ilustración 40, sino que está asociado a la función de MATLAB correspondiente a este ciclo.

La gráfica que relaciona la velocidad con el tiempo es la siguiente:

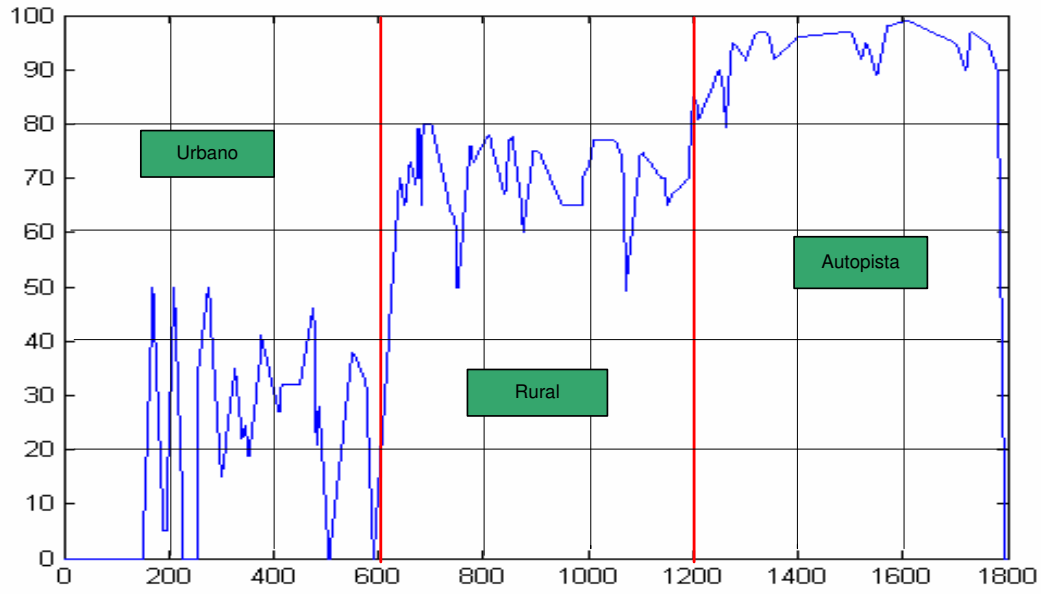


Ilustración 41: Ciclo especializado para el HY88

2.4.3 Estudio de la influencia de los escenarios en la demanda

Para estimar la potencia que consume un vehículo, no solo hay que saber qué tipos de elementos consumidores componen el mismo y cuánta potencia requieren. También hay que conocer el terreno y las condiciones bajo las cuales se está conduciendo. Recientes estudios estiman que se puede ahorrar hasta un 20% de combustible realizando una

conducción adecuada. En este apartado se expone de qué manera afecta el escenario por el que se esté circulando en la demanda energética.

La demanda de combustible por parte del motor de combustión y de los motores eléctricos para la propulsión del vehículo es la más importante en el cómputo total. Para modelar la dinámica del vehículo es necesario tener en cuenta que hay que vencer una fuerza inercial, la fuerza que supone la resistencia aerodinámica, la resistencia a la rodadura y la subida de alguna pendiente. La gran parte de estos elementos los da el escenario en el que se encuentre. En un estudio teórico realizado para los casos 100km/h y 0% de inclinación; 80km/h y 3% de inclinación; y 5km/h con un 60% de inclinación, a temperatura ambiente de 27ºC, resulta que el mayor consumo se da en el segundo caso (80km/h y 3% de inclinación). El siguiente caso en orden de mayor a menor demanda es el tercero (5km/h y 60%), con lo que podemos suponer que a pendientes pequeñas, la velocidad es la que marca el consumo, pero a medida que sube la inclinación, es ésta la determinante de la potencia requerida.

En cuanto a la suspensión del vehículo, la velocidad no es un factor determinante, sino el tipo de terreno. Es decir, en un recorrido rural, la suspensión consumirá más que en el caso urbano o la conducción por autovía.

No ocurre así con el sistema de frenado. En este caso, el freno regenerativo no solo no consume potencia, sino que la aporta a las baterías con la ayuda de los supercapacitadores. Por lo tanto, en un recorrido urbano, en el que hay múltiples frenadas, se está produciendo una recuperación importante de la potencia consumida en las arrancadas. Debido a esto, puede ocurrir que no sea necesario utilizar el motor de combustión en zona rural (toda la potencia la ceden las baterías). No obstante, el freno convencional sí consume potencia, sobre todo en la carga completa de los calderines que componen el sistema de frenos (si se trata de freno neumático), pero debido a que este sistema no tendrá un uso prioritario en la conducción del vehículo, no será un consumidor importante.

Las condiciones meteorológicas y ambientales también afectan al consumo del vehículo. A medida que se va haciendo de noche se requerirá el uso de las cámaras de visión nocturna y el sistema de iluminación exterior. En función de la temperatura, se requerirá la activación del aire acondicionado o no, y el sistema de refrigeración tendrá que actuar con más o menos intensidad, etc.

Por otro lado, hay sistemas cuya demanda no dependerá del escenario, como el sistema de visión, el cuadro de mandos, el sistema de dirección, la electrónica del vehículo, entre otros.

2.5 Análisis de mercado del proyecto

2.5.1 Demanda estimada

Conceptualmente, el desarrollo que se pretende con el demostrador HY88 ha de buscar la mayor flexibilidad para adaptarse a los múltiples requerimientos de los posibles usuarios.
En los párrafos siguientes y sin carácter limitativo, se detallan campos y casos de aplicación de una solución de éste tipo con el objeto de dar una visión amplia de las aplicaciones potenciales más probables.

USOS CIVILES

El uso de la tecnología híbrida-eléctrica en aplicaciones civiles busca principalmente la ventaja de sus reducidas emisiones contaminantes. Efectivamente, puesto que el motor térmico trabaja siempre a régimen de máximo rendimiento, éste es el punto en el cual emite menos NOx y partículas de carbón. Además, el motor se para automáticamente cuando éste no es necesario.

Las emisiones sonoras son sensiblemente inferiores a los vehículos convencionales ya que el motor térmico, como principal fuente de ruido, no funciona constantemente y cuando lo hace es a régimen constante sin aceleraciones intempestivas. También se reduce la firma sonora en el frenado ya que habitualmente se emplearán los frenos en fase regenerativa o de disipación de energía en resistencias de carga. En estos casos el ruido emitido es nulo en contraposición al uso convencional de zapatas o pastillas de frenos que tienen tendencia a vibrar emitiendo ruidos estridentes y desagradables según las condiciones de operación.

Estas características constituyen dos ventajas particularmente interesantes en su aplicación en entorno urbano y sobre todo en uso nocturno.

Finalmente, y además de un consumo energético reducido, la propulsión híbrida eléctrica utiliza componentes con menor exigencia de mantenimiento que los sistemas convencionales. En efecto, un motor eléctrico del tipo con imanes permanentes, puede funcionar miles de horas con sólo un mínimo de mantenimiento. El motor térmico funciona sólo cuando es necesario y a régimen constante en lugar de funcionar continuamente y con cambios constantes de régimen con lo que se alarga significativamente su vida útil. Los frenos eléctricos no precisan apenas mantenimiento en comparación con los sistemas convencionales por fricción, evitando así la reposición de elementos de desgaste como las pastillas o zapatas de frenos.

USOS DE DEFENSA

El *fsct* es el futuro sistema de armas que sustituya a los vehículos blindados ligeros sobre ruedas de combate hoy en servicio en los ejércitos de la Otan. Será una familia de vehículos blindados que cubrirá todas las funciones de combate terrestre que, en su momento, sean establecidas por las autoridades correspondientes. Dicho vehículo será, con el soldado de infantería, la piedra angular del combate terrestre futuro.

Dentro de las propiedades exigibles al *fsct* se considera fundamental que el coste de su ciclo de vida sea económicamente aceptable para lo cual es necesario que la familia de vehículos mantenga las mínimas diferencias entre sus miembros, simplificando su

fabricación y su apoyo logístico, y que el rendimiento de su planta propulsora sea el más elevado posible. Para que esto se cumpla, es necesario optar por la propulsión híbrida-eléctrica ya que libera de la rigidez que imponen las transmisiones mecánicas y permite el diseño de una planta energética más adecuada a las potencias que el vehículo, en sus diferentes situaciones de funcionamiento, necesita.

Hasta el momento, los vehículos blindados ligeros han tenido como función de combate principal la de movilidad. Su misión era aproximar la fuerza de infantería, utilizando el pelotón como unidad, a la zona de combate cuerpo a cuerpo. A estos vehículos se les exigía una velocidad de desplazamiento semejante a la del blindado pesado al que acompañaban, y una protección contra proyectiles de pequeño calibre.

Éste tipo de vehículos, como los blindados pesados, estaba concebido para el combate en terreno abierto, y contra fuerzas regulares. En la actualidad, la guerra asimétrica ha alterado completamente el escenario de combate, y la fuerza terrestre deberá estar preparada para combatir y ejecutar las misiones que se le encomienden fundamentalmente en un escenario urbano, y procurando afectar lo menos posible a la población no combatiente que, por ello, precisa de mantener su rutina diaria lo menos alterada posible.

El sistema de combate (*fsct*) que pueda cumplir esa misión deberá ser interoperable con los de las naciones aliadas dado que la mayoría de las misiones que actualmente se encomiendan a los diferentes ejércitos de una nación, son misiones compartidas.

Por otra parte, un programa de desarrollo nacional no se justifica económicamente con las necesidades de la propia nación. Si bien en la actualidad no se evidencia la voluntad de las naciones occidentales en cooperar en éste tipo de programas, la entrada en servicio del *fsct* norteamericano hará más perentoria la necesidad de las naciones europeas en converger en un programa común. La puesta en marcha del *fsct* tiene como objetivo, a medio plazo, la capacitación de la industria de defensa nacional para competir, con sus productos, en el mercado europeo cuando tenga lugar la inevitable convergencia entre programas de blindados ligeros europeos.

2.5.2 Volúmenes de mercado y crecimiento

En el ámbito militar, los vehículos con alta movilidad que incluyen sistemas de protección balística (AFVs) seguirán siendo de vital importancia estratégica en los ejércitos de tierra. Esto representa un reto tecnológico para conseguir una alta protección reduciendo a la vez su peso. Se busca también reducir los costes logísticos de transporte de combustible a las zonas de operaciones con lo cual son necesarias las innovaciones tecnológicas que permitan el ahorro de combustible. Finalmente, la reducción del número de piezas inventariadas para reparación de equipos y vehículos simplifica en la misma medida el coste logístico de mantenimiento.

La tecnología a propulsión híbrida proporciona estos objetivos, por lo que sería especialmente interesante su aplicación a los vehículos blindados (AFVs).

Hay una gran variedad de configuraciones de vehículos blindados en servicio en los Ejércitos europeos, algunos de los cuales tienen chasis y carrocerías con más de 50 años de antigüedad, siendo en total más de 20,000 unidades.

- Vehículos de Infantería (IFVs). Su demanda para la próxima década es relativamente baja – no más de 1,000 unidades – y la mayoría de ellos están ya

adjudicados. Existen no obstante un propósito de evolución de estos vehículos hacia una nueva generación que incorpore altas tecnologías aunque no representarán más de algún centenar de unidades.

- Vehículo de transporte de tropas (APCs). Hay previstos pedidos para unos 2500 vehículos nuevos además de otras 700 unidades a corto plazo pedidas por tres países europeos con sus propios programas militares. Es muy probable un desarrollo futuro de los APCs con una progresiva incorporación del concepto de modularidad y el uso de elementos comerciales COTS.

- Próxima generación de Vehículo de transporte de tropas (APCs). Hay una necesidad de unas 5000 unidades de dichos vehículos con una entrada en servicio en los primeros años de la próxima década. El propósito general es lograr unas mejoras significativas en aerotransportabilidad, protección, interoperabilidad en comunicaciones y modularidad. La mayor parte de la demanda recaerá en plataformas tipo APCs ya que tienen una gran variedad de configuraciones adaptadas para cada misión.

Globalmente, podemos identificar unas necesidades para los ejércitos en Europa de al menos 10000 vehículos a lo largo de los próximos diez años, siendo la mayoría de ellos sobre ruedas más que sobre cadenas. La cifra de negocios para éste mercado se estima entre 20.000 y 30.000 millones de euros.

3. EMS (Energy Management System)

3.1 Descripción de las tecnologías

A continuación se definen en detalle los distintos elementos que darán soporte a la aplicación.

3.1.1 Hardware

El resultado final del sistema gestor de energía (EMS) irá instalado en un PC embebido industrial de características las siguientes:

- Intel ® Core ™ i7 sin ventilador incorporado IPC.
- Soporta 2xGbE, eSATA, seis puertos USB 2.0, audio y 3 puertos COM .
- Disco duro 32 Gb SSD.
- 2X2Gb RAM DDR3
- 2 Interfaces PCI simple
- Alimentación: 12 VDC.

Para la comunicación con el sistema de arranque del vehículo, el PC embebido cuenta con un puerto serie con capacidad de comunicación a través de RS-485 (configurable mediante BIOS).

Para las comunicaciones con los buses CAN se instalará en el PC una tarjeta CAN-PCI con 2 puertos capaz de implementar tanto el protocolo CAN 2.0A, como 2.0B y J1939.

Esta tarjeta se cableará al bus a través de su conector DB9 macho.

3.1.2 Software

- Se realizará la codificación interna del algoritmo en lenguaje C++.
- Sistema operativo: Se desarrollará sobre un entorno Unix, concretamente sobre una distribución Xubuntu parcheada en tiempo real.
- API's: las tarjetas CAN contarán con un entorno de programación / librerías adaptables a los diferentes protocolos de comunicación mencionados en el apartado anterior (CAN 2.01, CAN 2.0B, J1939).
- Multihilo: la aplicación final dedicará un hilo a cada subsistema o conjunto de subsistemas de forma que el programa resultante posea 1 hilo principal de ejecución y otros corriendo en paralelo.
- Arranque automático: se programará la aplicación para arrancar directamente justo al arranque del sistema operativo. Para ello bastará con configurar adecuadamente las aplicaciones a ejecutar al inicio en el panel de control de nuestro sistema operativo Xubuntu.

3.2 Alcance del algoritmo

El Algoritmo de Gestión Energética se considera en un principio la función fundamental del EMS. Será el encargado de controlar los flujos de energía de forma que decidirá las cargas y descargas de los elementos proveedores de energía del vehículo así como las correspondientes paradas/arranques del motor en los casos en que sea necesario. Para ello es clave la comunicación con el resto de elementos del sistema, para recibir datos de demanda energética, estados de carga etc. Esta será la segunda función importante a desarrollar por el EMS, establecer las comunicaciones con los subsistemas, función que será transparente para el Algoritmo de Gestión Energética.

3.3 Descripción general

3.3.1 Diagrama de actividades

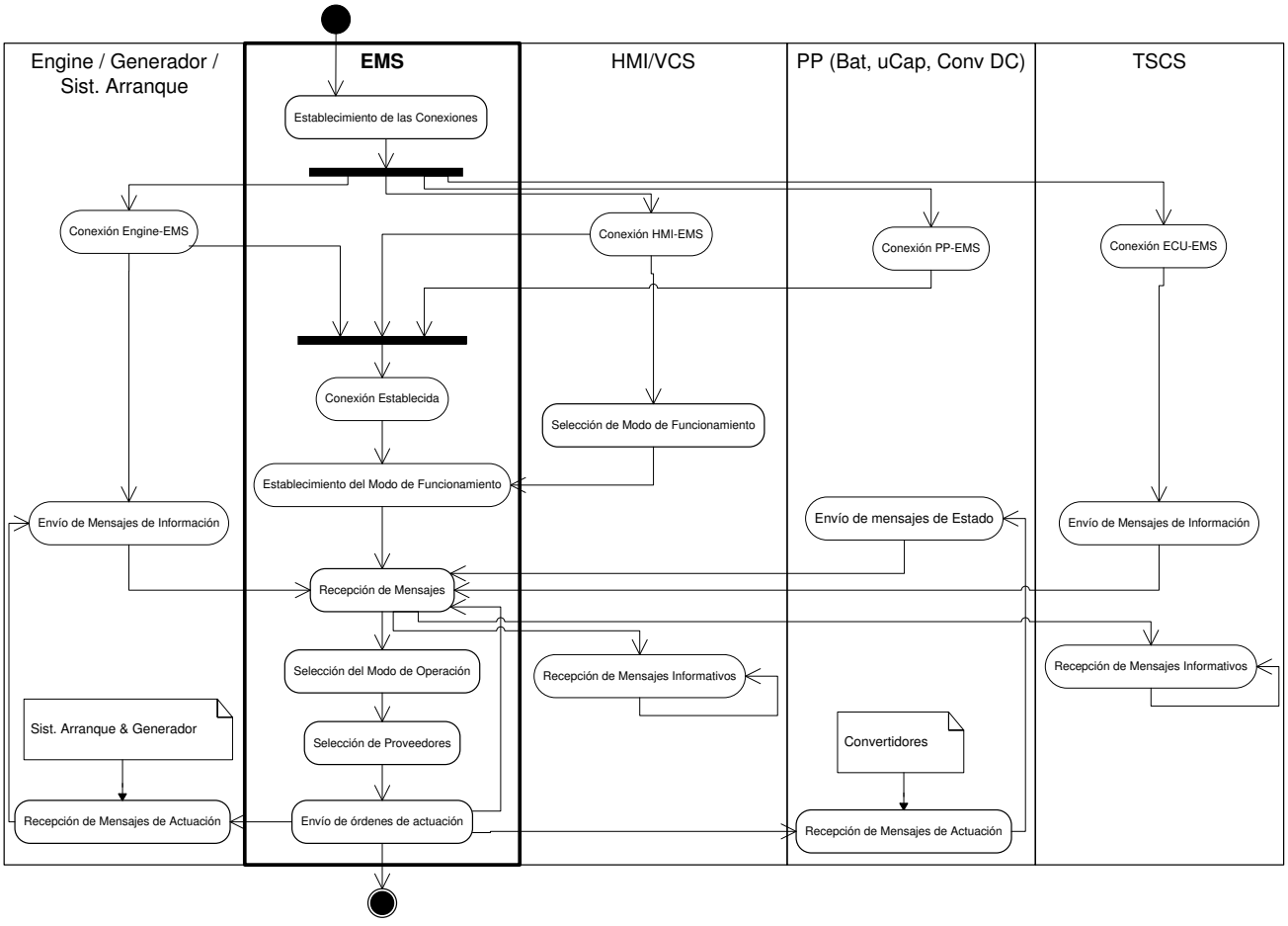


Ilustración 42: Diagrama de actividades EMS

3.3.2 Descripción detallada

En este diagrama se detallan los procesos a realizar y la relación entre ellos. De igual forma, dichas actividades se presentan en orden de realización así como incluidas en cada uno de los subsistemas en los que se ejecutará (TSCS, Sistema de arranque, HMI/VCS, EMS, motor de combustión, generador o PP).

Explicamos de forma más detallada los pasos a seguir:

- **Paso 1**: Establecer el estado inicial. A realizar solo en la primera pasada del programa. Comprende el establecimiento de cada una de las conexiones.
- **Paso 2**: Comprobación de los errores de cada conexión, implementado en la función *CheckErrors ()*. Para ver una tabla detallada de la clasificación de los fallos monitorizables por nuestro sistema dirigirse al Anexo B.

Tendremos un identificador para cada tipo de error de la forma siguiente:

DESCRIPCIÓN	**IDENTIFICADIR DE ERROR (binario)**	**VARIABLE**
NORMAL	0000 (0d)	ERR_NO
BATERÍA + CONVERTIDOR	0001 (1d)	ERR_BAT
UC + CONVERTIDOR	0010 (2d)	ERR_UC
MOTOR + GENERADOR	0100 (4d)	ERR_MOT
COMUNICACIÓN	1000 (8d)	ERR_COMM

Tabla 5: Identificadores de los tipos de error

Calcularemos el error por tanto con la siguiente expresión:

ERR= (ERR_BAT) OR (ERR_UC) OR (ERR_MOT) OR (ERR_COMM)

Tomaremos como hipótesis las siguientes afirmaciones:

- Se supondrán errores no recuperables.

- Para los errores cuyo nivel de criticidad se desconozca se tomará el nivel de criticidad de STOP.

- Para los WARNINGS se establecerá un “timer” según el tipo de error. Si transcurrido el tiempo del “timer” el error no ha desaparecido el error pasará a nivel de STOP.

Presentamos ahora la máquina de estados que hará a los errores de tipo STOP. Los cambios de estado no se ven afectados por los WARNING o MALFUNCTION.

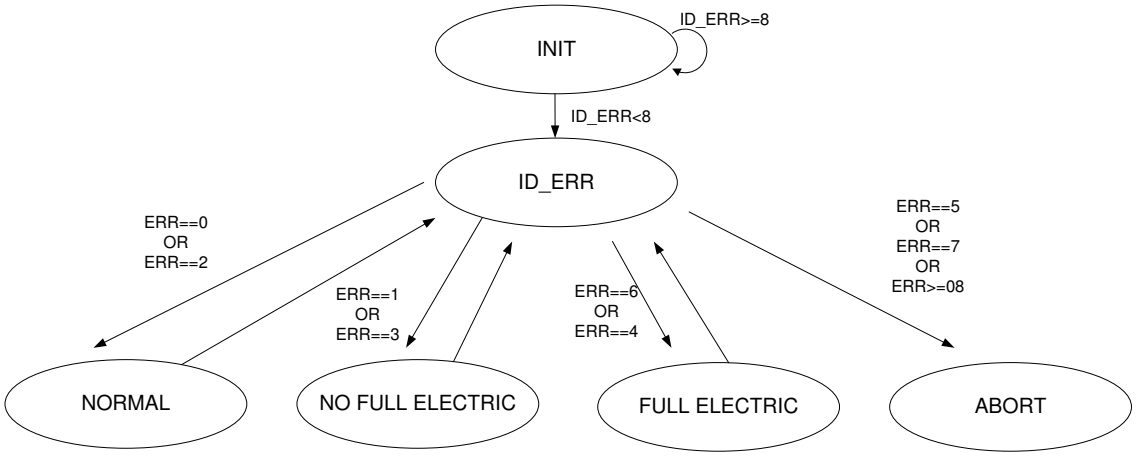


Ilustración 43: Máquina de estados EMS

INIT: Inicialización de EMS. Si no se logra establecer la comunicación se volverá a intentar hasta 3 veces.

ID_ERR: Se calcula el tipo de error como la suma de las variables error de cada tipo y se pasa al estado correspondiente. Existen 16 combinaciones diferentes para los tipos de errores.

NORMAL: si no hay ningún error (ERR=0) o fallan los UC (ERR=2). Se usaría el algoritmo genérico, con la salvedad de cuando fallan los UC. Si fallan los UC (stop) y no es un fallo de comunicación se desactivará el convertidor de los UC.

NO FULL ELECTRIC: Si no funciona la batería (ERR= 1 ó 3) sólo se puede funcionar con el motor y el generador, es decir, el algoritmo consistirá en elegir el punto de funcionamiento que es capaz de dar la potencia requerida. Para evitar posibles sobrecargas se desactivarán los convertidores.

FULL ELECTRIC: Si no funciona el motor o el generador (ERR=6 ó 4) sólo se puede funcionar en modo FULL ELECTRIC. No hay algoritmo sólo se puede funcionar con las baterías. Se debe desactivar el motor y el generador.

ABORT: si no funcionan ni batería ni motor o generador (ERR= 5 ó 7 u 8) se debe parar el sistema entero (motor, generador, convertidores…). En el caso que sea un error de comunicación se intentará parar igualmente. Una vez en este estado no se puede salir de él a no ser que se reinicie el sistema.

- **Paso 3**: Establecimiento de los modos de funcionamiento y operación. Será el paso 3 para la primera ejecución del programa aunque puede cambiarse en cualquier momento. En un principio iban a existir distintos modos de funcionamiento, actualmente el único modo de funcionamiento a seleccionar será el modo Full Electric. Tendremos un modo de funcionamiento por defecto que no variará a no ser que se seleccione el Full Electric. Este mensaje de cambio de modo de funcionamiento lo recibiremos del puesto de conducción.
- **Paso 4**: Estimar la demanda energética global, *ConsumptionEstimation().* Para este cálculo contamos con una demanda fija y una demanda variable:

  Demanda fija: dato de demanda constante durante todo el programa.

Demanda variable: compuesta por varios sumandos. Por un lado estará la demanda de tracción y dirección, dato que recibiremos del TSCS. Por otro lado tendremos la demanda de las luces, esta será un valor fijo que contabilizaremos siempre que las luces estén encendidas. Por tanto necesitaremos saber el estado de las luces en cada momento, este dato lo recibiremos del puesto de conducción.

- **Paso 5**: Toma de decisiones de control de la energía, función *EnergyManagement().* Este será el propio Algoritmo de Gestión de la Energía.

Se definirán 16 puntos de funcionamiento para el motor teniendo en cuenta que:
- El ralentí se sitúa en las 800 rpm, por lo que la velocidad de giro mínima en servicio se establecerá en las 1150 rpm para favorecer una operación suave y asegurar que el motor no se pare en condiciones de baja potencia.
- La omisión del intercooler supone reducciones en las prestaciones del motor en cuanto a potencia máxima respecto de las indicadas nominalmente para el caso en el que sí se dispone de él. Por ello, la velocidad de giro máxima se fijará en 1700 rpm para la potencia máxima de 100 KW. Con ello, se evitan condiciones de operación cercanas a las de potencia límite al mismo tiempo que respuestas excesivamente sensibles al cambio de régimen de giro.
- Por las mismas razones, el régimen de giro para los 50 KW de potencia será de 1300 rpm.
- El resto de puntos de operación se situarán teniendo en cuenta una evolución de la potencia máxima similar a la ofrecida por Caterpillar para su funcionamiento con intercooler.
- La idoneidad de los puntos de operación definidos anteriormente debe corroborarse una vez dispuesto el motor en el banco de ensayo, de modo que en caso de existir algún tipo de inestabilidad, sean reajustados.

Velocidad de giro (rpm)	800	1230	1260	1300	1330	1360	1400	1430	1460	1500	1530	1560	1600	1630	1660	1700
Potencia (kW)	Ralentí	41,3	45	50	53,8	57,5	62,5	66,3	70	75	78,8	82,5	87,5	91,3	95	100

Tabla 6: Definición de los puntos de funcionamiento

- **Paso 6**: Dar órdenes al conjunto motor-generador, función *EngineUpdate().* Al motor se le definirá una consigna de rpm, esto se hará a través del sistema de arranque, estableciendo el punto de funcionamiento que corresponda y al generador se le dará su correspondiente consigna de par.

Pasamos ahora a lo que es en sí el diseño del Algoritmo de Gestión Energética, es decir, de la función *EnergyManagement().*

3.4 Diagrama de estados

Antes de desarrollar el diagrama de estados del algoritmo vamos a detallar los parámetros ya conocidos que usaremos:

- Wtotal: Demanda energética total del vehículo para cada instante de tiempo. Esta demanda se corresponde con la suma Wtscs+Waux.

- Wtscs: Demanda energética de tracción y dirección. Indicada por el TSCS para cada instante de tiempo.

- Waux: Demanda energética de auxiliares. Correspondiente a la demanda fija + demanda variable (luces y suspensión) de auxiliares. Por tanto será un valor variable para cada instante de tiempo.

- Wreg: Demanda regenerativa. Será igual al valor absoluto de Wtscs.

- SoCbat, SoCuc, SoCPP: estado de carga de batería, ultracaps y Power Pack (conjunto batería+ultracaps).

- W0, W1, W2, W3, W4, W5, W6: potencias definidas para los puntos de funcionamiento del motor. Limitaremos el motor para que funcione como máximo a 62.5 KW. Los valores de estas potencias se corresponderán con un determinado par y rpm:

Pto. funcionamiento	**W0**	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**
Potencia(KW)	Ralentí	41,3	45	50	53,8	57,5	62,5
Par (N.m)	0	320,63	341,04	367,27	386,27	403,73	426,30
RPM	800	1230	1260	1300	1330	1360	1400

Tabla 7: Potencia, Par y RPM fijados para los puntos de funcionamiento del motor

El algoritmo se basará en decidir en qué punto de funcionamiento pondremos al conjunto motor-generador, dándoles su correspondiente consigna de par y rpm.

3.4.1 Diagrama

Presentamos el diagrama de estados del algoritmo genérico, para el caso de un funcionamiento NORMAL.

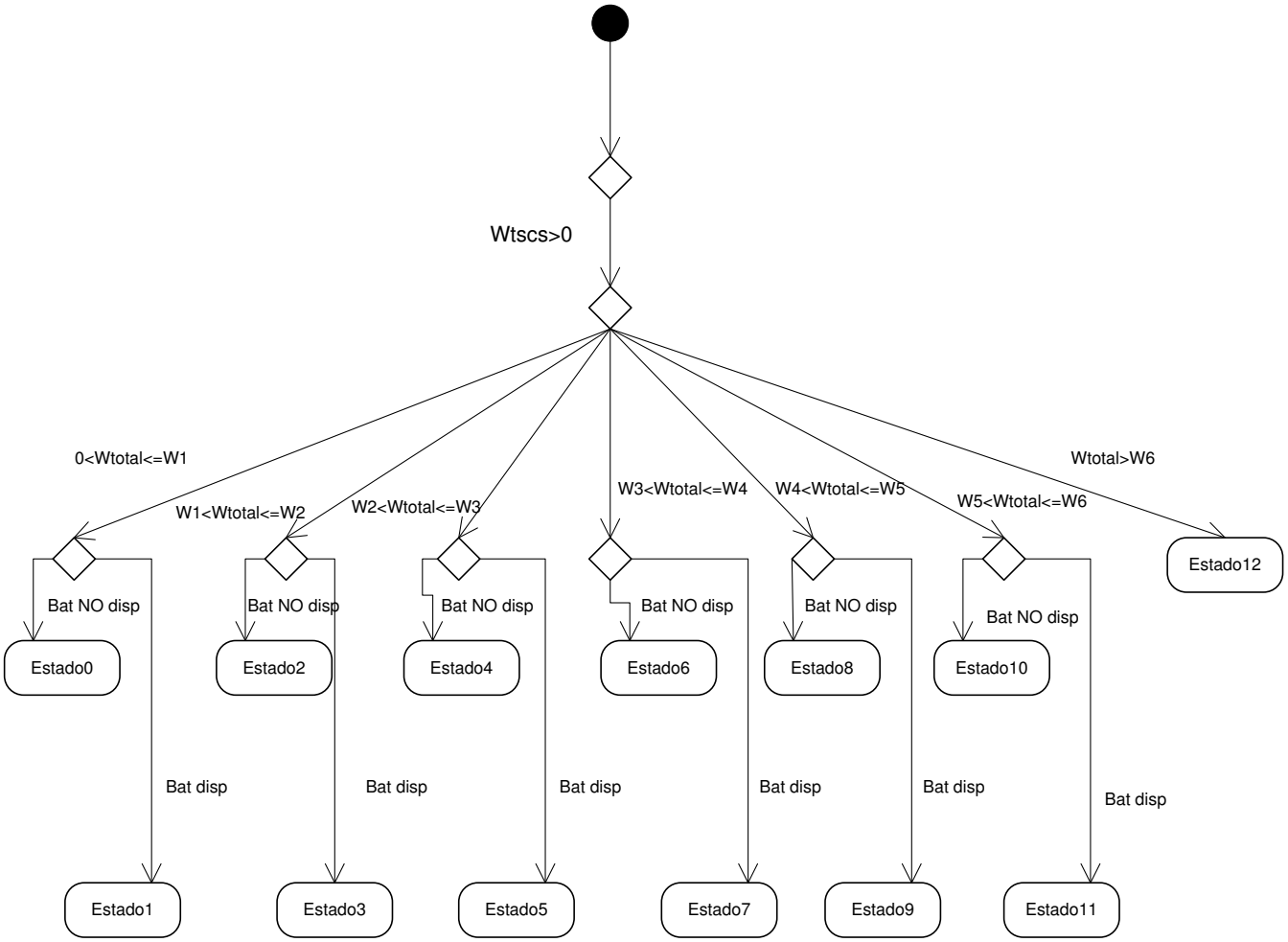


Ilustración 44: Diagrama de Estados Funcionamiento NORMAL para una demanda de tracción+dirección positiva

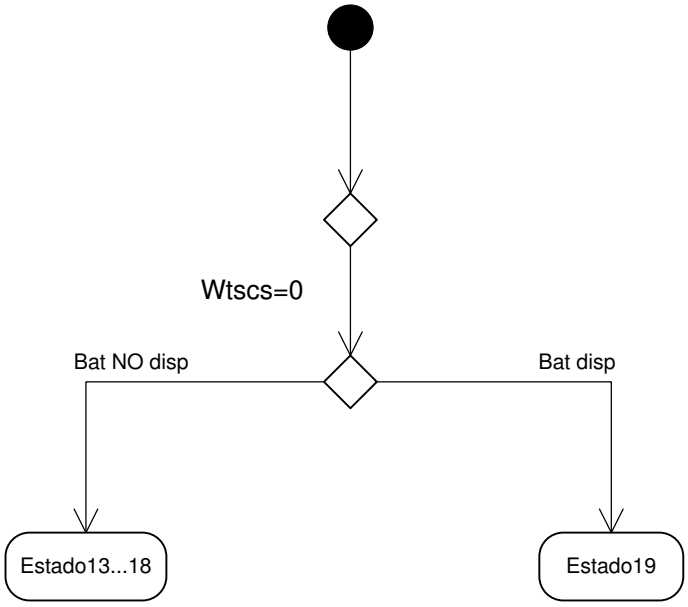


Ilustración 45: Diagrama de Estados Funcionamiento NORMAL para una demanda de tracción+dirección nula

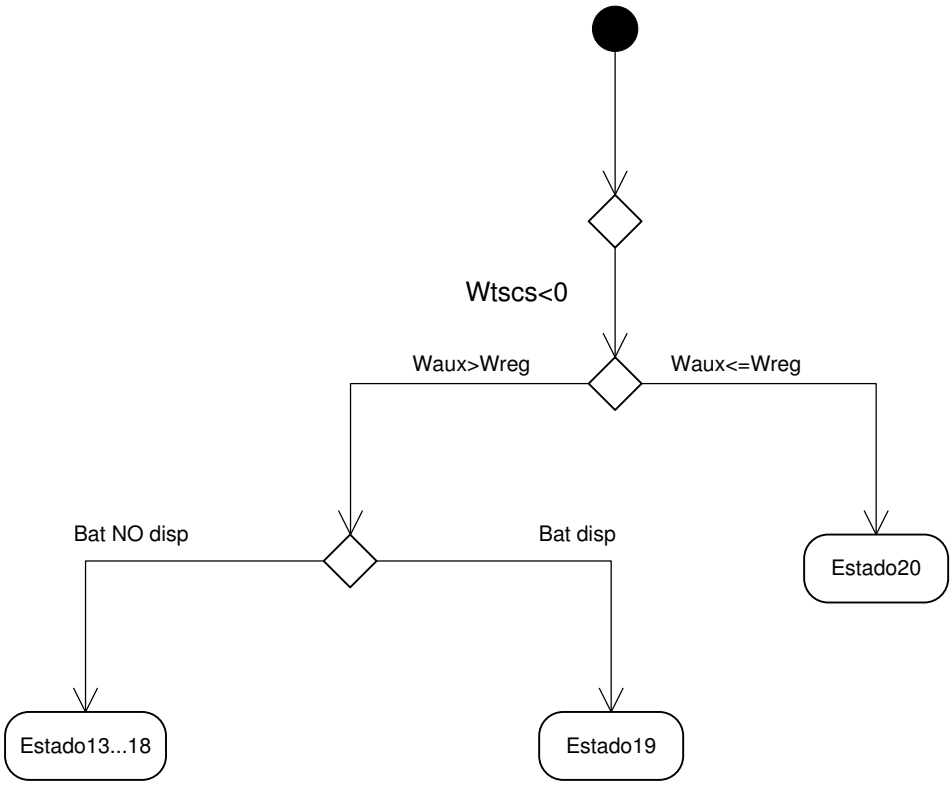


Ilustración 46: Diagrama de Estados Funcionamiento NORMAL para una demanda de tracción+dirección negativa

3.4.2 Descripción

Describimos la actuación en cada uno de los estados en los que finalizará el algoritmo:

- Estado 0: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W0. El Power Pack (Batería+Ucaps) suministrará la potencia total demandada (Wtotal).
- Estado 1: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W1. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 2: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W1. El Power Pack suministrará lo que quede hasta la Wtotal.
- Estado 3: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W2. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 4: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W2. El Power Pack suministrará lo que quede hasta la Wtotal.
- Estado 5: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W3. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 6: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W3. El Power Pack suministrará lo que quede hasta la Wtotal.
- Estado 7: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W4. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 8: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W4. El Power Pack suministrará lo que quede hasta la Wtotal.
- Estado 9: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W5. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 10: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W5. El Power Pack suministrará lo que quede hasta la Wtotal.
- Estado 11: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W6. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 12: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W5. El Power Pack suministrará lo que sea posible en ese momento.
- Estado 13… 18: Se pone el motor en el punto de funcionamiento Wi por encima y más cercano a Waux. De esta forma tenemos los 6 estados con la siguiente correspondecia: Estado 13 → W1, Estado 14 → W2, Estado 15 → W3, Estado 16 → W4, Estado 17 → W5, Estado 18 → W6. Se cargará el Power Pack con la energía sobrante.
- Estado 19: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W0 porque estamos frenando. El Power Pack suministrará Waux.
- Estado 20: Se pone el motor en el punto de funcionamiento W0 porque estamos frenando.

  Teniendo en cuenta que no es tarea nuestra la actuación sobre batería ucaps, es decir, que serán los convertidores DC/DC de cada uno de ellos los que decidan libremente como actuar sobre ellos según su configuración inicial, esta lista de estados podría reducirse bastante y basarse sólo en el punto de funcionamiento en el que pondremos el motor en cada momento. De esta forma solo tendríamos 7 estados para cada Wi, i = 0…6.

  De la misma forma, podríamos simplificar el diagrama sin distinguir entre los casos Wtscs>0, Wtscs=0 y Wtscs<0. Es decir, nos saltaríamos esta distinción y entraríamos directamente en comparar la Wtotal, de forma que la primera comparación sería Wtotal<=41,3 donde englobamos los casos en los que Wtscs<=0. Nos sería útil también, considerar en el algoritmo los 16 puntos de funcionamiento, pensando en usos

futuros en el que el motor no se encuentre tan limitado en potencia. Dejaremos los puntos de funcionamiento programados, solo que limitaremos para este caso el funcionamiento de los estados de forma que los 10 últimos trabajarán de la misma forma, a una potencia máxima de 62,5 KW. El diagrama quedaría de la siguiente forma:

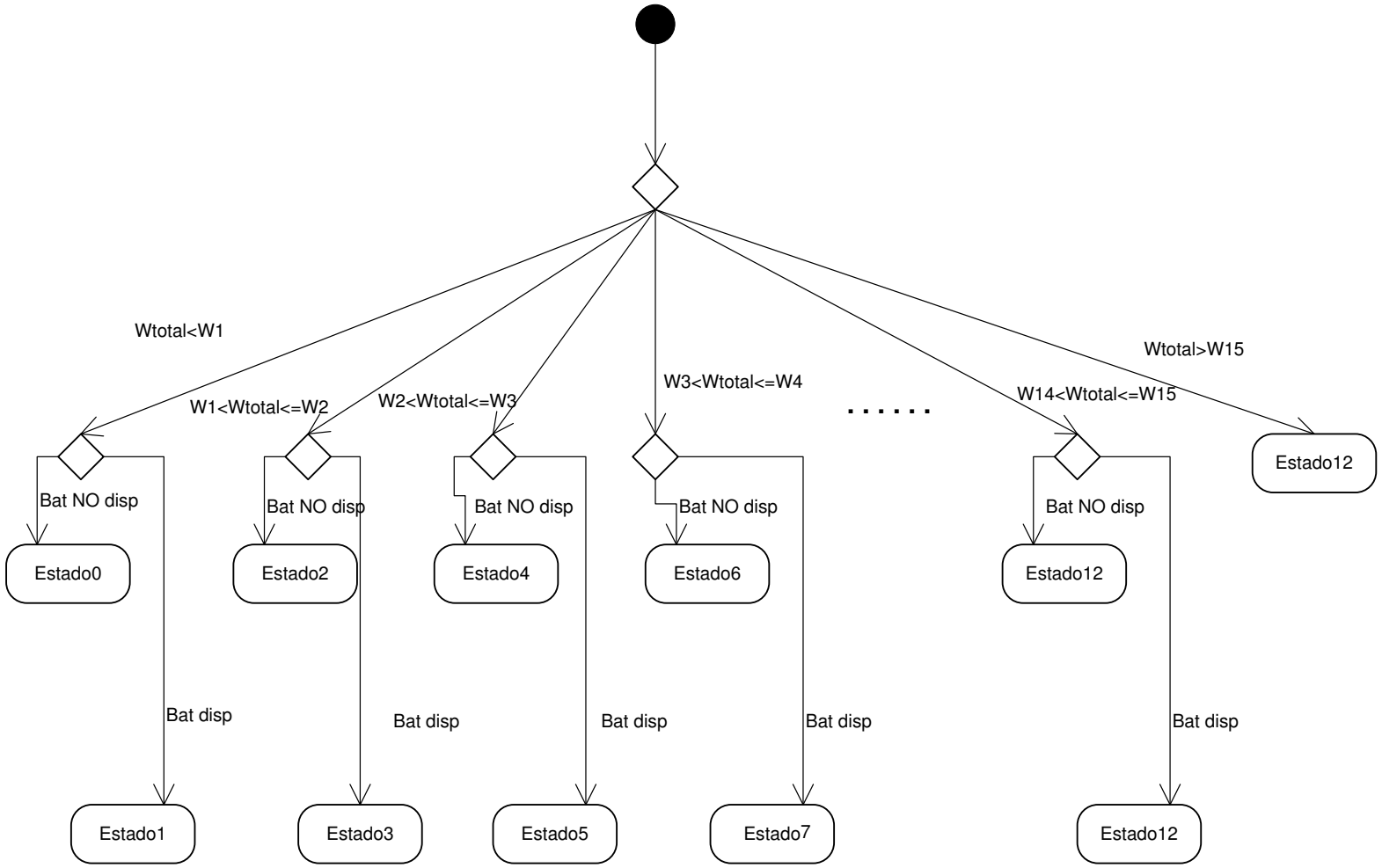


Ilustración 47: Diagrama de estados general de Funcionamiento

Las condiciones BatNOdisp y Batdisp estarán fijadas en un SocBat del 70%. Es decir consideraremos que la batería está disponible para un estado de carga mayor del 70%. A partir de este valor, se implementará una histéresis del 10%, por lo que una vez dentro de uno de los rangos no saldremos del mismo hasta que estemos por debajo o por encima del 70%±10%.

Además de todo esto, se impondrá una histéresis de ±5% entre los rangos de valores de potencia. Es decir, los límites se encontrarán en los valores de potencia W0, W1, W2… pero dentro ya de estos rangos entraremos o saldremos de ellos considerando siempre valores de potencia de Wx±5%, con x=0,1,2,3…15.

Para los casos en los que el funcionamiento no es NORMAL, si no que se ha producido algún tipo de error importante la forma de actuar cambiaría.

Tenemos el caso en el que falla la batería, funcionamiento NO FULL ELECTRIC. Solo funcionaremos con el motor y el generador. Se pondrá el punto de funcionamiento más cercano a la Wtotal demandada, siempre por encima.

Por otro lado, para el caso de fallo en el motor, la forma de funcionar sería la FULL ELECTRIC, para este caso no se considerará algoritmo de ningún tipo, se funcionará únicamente con baterías y Ucaps y se gestionarán ellos mismos.

4. Interfaces de comunicación

4.1 Esquema general de la comunicación en el vehículo

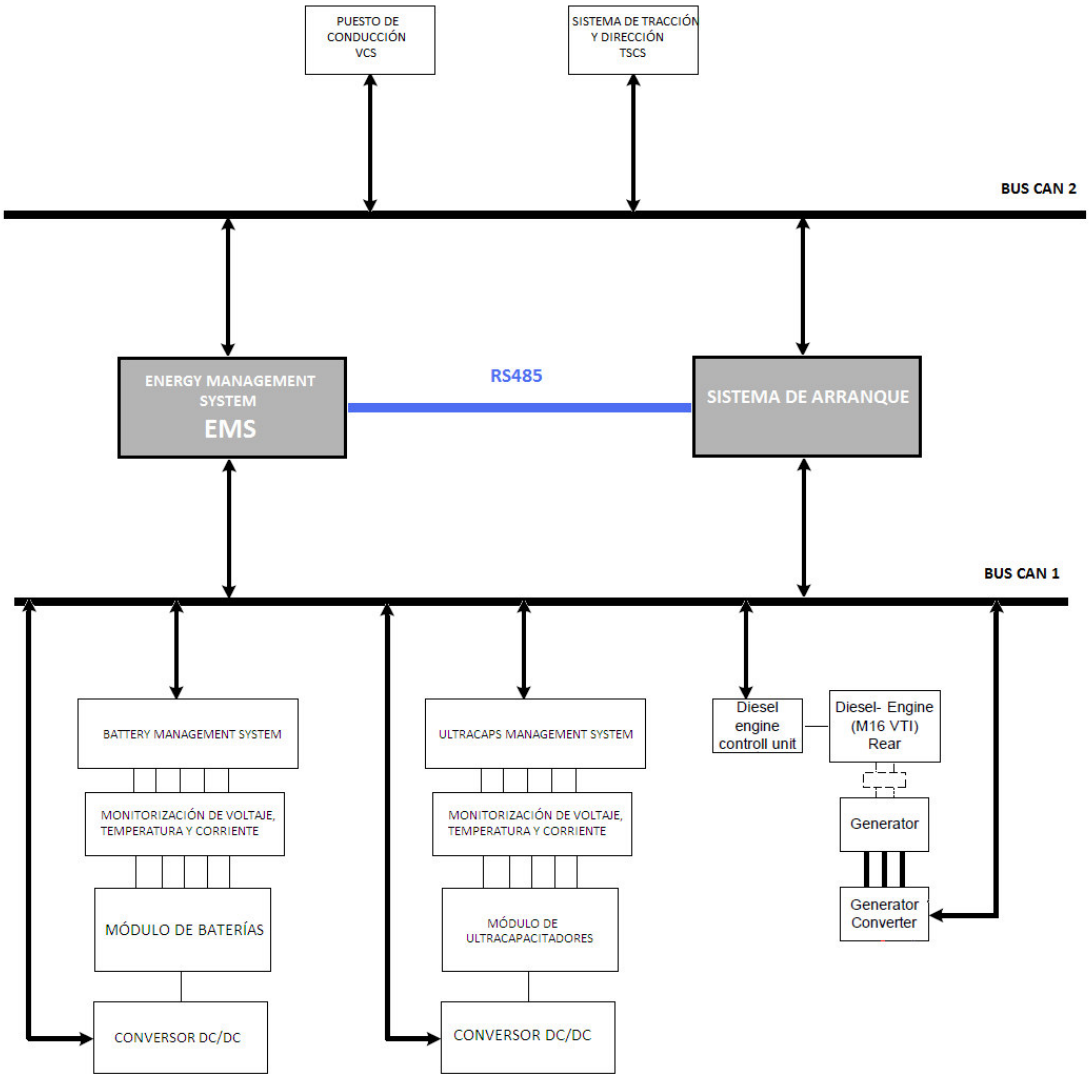


Ilustración 48: Esquema de comunicaciones del vehículo

Como ya se ha comentado anteriormente, las comunicaciones en el vehículo serán a través del protocolo CAN Bus. Para la comunicación con el motor nos basaremos en el protocolo J1939 que a su vez se implementa sobre CAN Bus. El control del Sistema de Arranque del vehículo por parte del EMS se realizará a través del protocolo del puerto serie RS485, este sistema se comunicará con el resto del vehículo a través de CAN Bus.

4.2 Protocolo Can Bus

CAN es un protocolo de comunicaciones serie que soporta control distribuido en tiempo real con un alto nivel de seguridad y multiplexación.

El establecimiento de una red CAN para interconectar los dispositivos electrónicos internos de un vehículo tiene la finalidad de sustituir o eliminar el cableado. Las ECUs, sensores, sistemas antideslizantes, etc. se conectan mediante una red CAN a velocidades de transferencia de datos de hasta 1 Mbps.

De acuerdo al modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection, Modelo de interconexión de sistemas abiertos), la arquitectura de protocolos CAN incluye tres capas: física, de enlace de datos y aplicación, además de una capa especial para gestión y control del nodo llamada capa de supervisor.

Cuando un nodo necesita enviar información a través de una red CAN, puede ocurrir que varios nodos intenten transmitir simultáneamente. CAN resuelve lo anterior al asignar prioridades mediante el identificador de cada mensaje, donde dicha asignación se realiza durante el diseño del sistema en forma de números binarios y no puede modificarse dinámicamente. El identificador con el menor número binario es el que tiene mayor prioridad.

El método de acceso al medio utilizado es el de Acceso Múltiple por Detección de Portadora, con Detección de Colisiones y Arbitraje por Prioridad de Mensaje (CSMA/CD+AMP, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection and Arbitration Message Priority). De acuerdo con este método, los nodos en la red que necesitan transmitir información deben esperar a que el bus esté libre (detección de portadora); cuando se cumple esta condición, dichos nodos transmiten un bit de inicio (acceso múltiple). Cada nodo lee el bus bit a bit durante la transmisión de la trama y comparan el valor transmitido con el valor recibido; mientras los valores sean idénticos, el nodo continúa con la transmisión; si se detecta una diferencia en los valores de los bits, se lleva a cabo el mecanismo de arbitraje.

CAN establece dos formatos de tramas de datos (data frame) que difieren en la longitud del campo del identificador, las tramas estándares (standard frame) con un identificador de 11 bits definidas en la especificación CAN 2.0A, y las tramas extendidas (extended frame) con un identificador de 29 bits definidas en la especificación CAN 2.0B.

Para la transmisión y control de mensajes CAN, se definen cuatro tipos de tramas: de datos, remota (remote frame), de error (error frame) y de sobrecarga (overload frame). Las tramas remotas también se establecen en ambos formatos, estándar y extendido, y tanto las tramas de datos como las remotas se separan de tramas precedentes mediante espacios entre tramas (interframe space).

En cuanto a la detección y manejo de errores, un controlador CAN cuenta con la capacidad de detectar y manejar los errores que surjan en una red. Todo error detectado por un nodo, se notifica inmediatamente al resto de los nodos.

Para la comunicación con el motor se utilizará el protocolo J1939 sobre CAN bus.

J1939 corresponde a una de las normas de la Sociedad de Ingeniería Automotriz SAE para el envío de datos por un bus CAN bus en vehículos pesados. Muchas marcas ya están siguiendo esta norma como por ejemplo MAN AG, Volvo, Renault, Scania, John Deere, etc.

Esta norma define el significado de los paquetes ordenados por código PGN presente en estos vehículos, el cual debe ser interpretado respecto al documento oficial SAE J1939/71 A partir del 2006 se espere que todos los nuevos vehículos pesados cumplan este estándar, por lo que se volverá universal.

4.3 Diseño de las interfaces de comunicación

En este apartado presentaremos un esquema del lazo de comunicación seguido para cada uno de los elementos con los que se comunica nuestro sistema EMS. Para más detalle del protocolo de comunicación y los mensajes compartidos ver el Anexo A.

4.3.1 VCS y TSCS

Como se comenta en el párrafo anterior, la interfaz de comunicación de estos dos elementos se detalla en el Anexo A. Explicamos sin embargo le interfaz gráfica diseñada para el puesto de conducción (VCS) en el apartado siguiente.

4.3.1.1 Representación gráfica

Pasaremos a detallar a continuación el diseño gráfico de la HMI del puesto de conducción (VCS) correspondiente a la EMS.

El esquema general de la pantalla encargada de comunicarse con la EMS desde el puesto de conducción sería como presentamos a continuación:

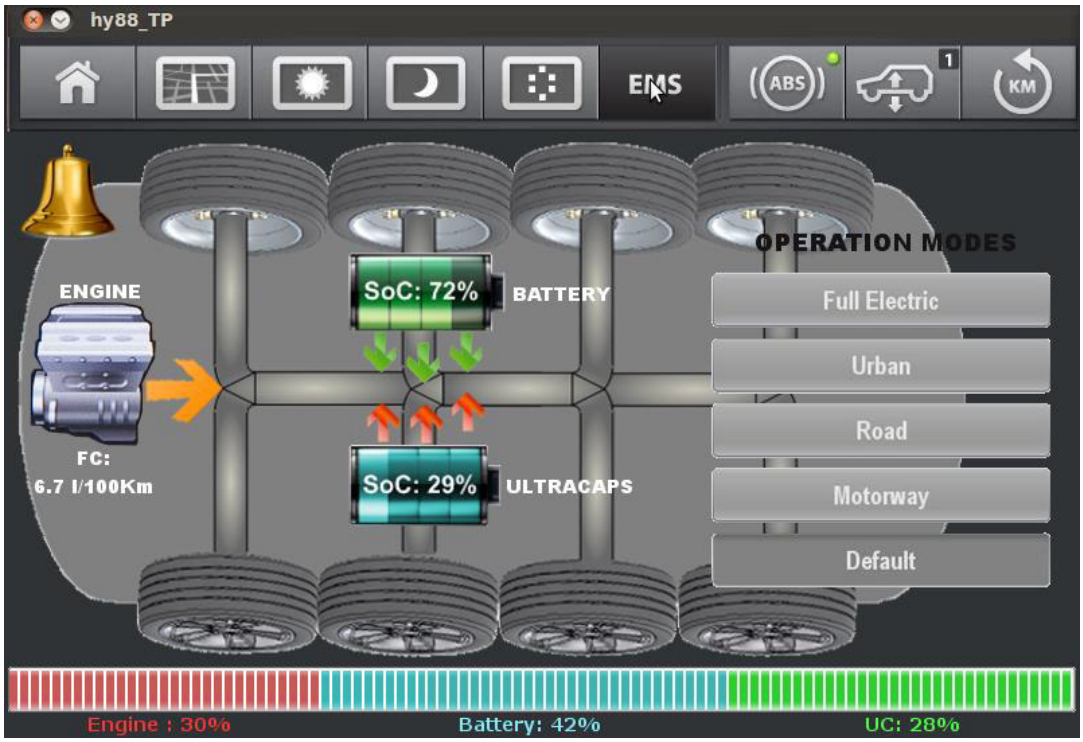


Ilustración 49 - Diseño general de la HMI-EMS

- **Elementos dinámicos**

Los elementos dinámicos más destacables de este esquema general son los siguientes:

→ **Indicadores de estado del Motor.** Sin imagen para el caso de motor en OFF, flecha cruzada en caso de ralentí y flecha simple en caso de providing.

→ **Indicadores de estado para baterías y ultracondensadores.** Siguiendo las siguientes directrices:

→ OFF: sin imagen

→ Providing: imagen verde, alternando las 3 existentes para dar sensación de movimiento (vertical hacia arriba para baterías y hacia abajo para ultracondensadores).

→ Charging: imagen roja/naranja, alternando las 3 existentes para dar sensación de movimiento (vertical hacia arriba para baterías y hacia abajo para ultracondensadores).

→ **Indicadores de Estado de Carga (SoC) de baterías**. Para valores entre 0-10%, 11-35%, 36-65%, 66-85%, 86-100%.

→ **Indicadores de Estado de Carga (SoC) de ultracondensadores**. Para valores entre 0-10%, 11-35%, 36-65%, 66-85%, 86-100%.

→ **Barra de contribución.** Contiene 99 barras de marcado equivalentes al porcentaje de provisión energética de cada elemento (la barra que falta se dejará de dibujar del color del mayor de los valores).

- **Elementos táctiles**

Los elementos táctiles de nuestro diseño serán:

Botonera: solo uno de los elementos podrá estar pulsado de forma simultánea. En caso de pulsación en uno de los botones inactivos se generará un mensaje de cambio de modo de operación a la EMS.

Alarmas: en caso de estar activo cualquier bit de alarma, ésta se mostrará con su correspondiente icono (de nuevo, simulando movimiento).

Al pulsar dicho icono se trasladará al usuario a otra pantalla con el fondo base (planta del 8x8) en la que solo aparecerán en texto plano las descripciones de las alarmas activas en ese instante.

Dicha pantalla contendrá la descripción de las alarmas (en rojo), warnings (en naranja) o malfuncionamientos (en amarillo) activos en cada subsistema. Podemos ver un ejemplo en la página siguiente.

Para volver a la pantalla general no habrá más que pulsar el botón táctil destinado a volver atrás:

Ilustración 50: Diseño de la pantalla de alarmas de la HMI-EMS

4.3.2 Convertidores DC/DC

Cabe destacar que existirán en el vehículo HY88 2 convertidores de este tipo, cada uno de ellos gestionado de igual forma pero con direcciones/identificadores ligeramente diferentes.

4.3.2.1 Lazo de comunicación

Mostramos el orden seguido por el sistema en su comunicación (establecimiento, configuración, funcionamiento y gestión de warnings y errores) con los convertidores DC/DC.
Básicamente es el representado en el gráfico siguiente:

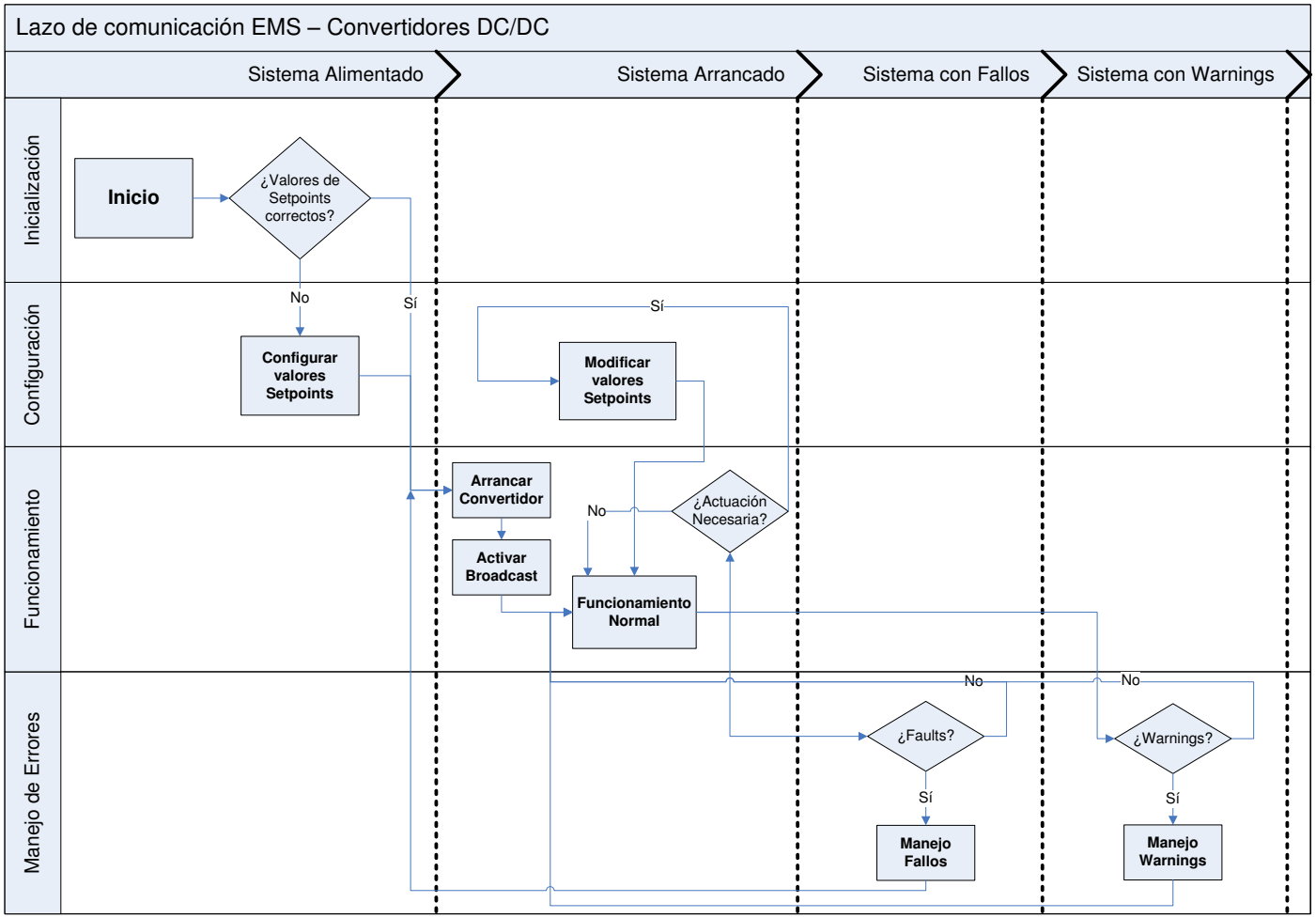


Ilustración 51: Lazo de comunicación EMS – Convertidores DC/DC

4.3.3 Ultracondensadores

Cabe destacar que existirán en el vehículo HY88 4 módulos de este tipo conectados en serie.

4.3.3.1 Lazo de comunicación

El orden seguido por el sistema en su comunicación (establecimiento, configuración, funcionamiento y gestión de warnings y errores) con los ultracondensadores es el siguiente:

1º - Obtener los números de serie de cada UCM (Ultracaps Module) con GetBoardSerialNumber
2º - Una vez obtenidos establecer el ModuleID de cada uno mediante SetModuleID
3º - Establecer el intervalo entre mensajes cíclicos (SetInterval)
4º - Comenzar a funcionar prestando la atención necesaria a los mensajes de estado (warnings)

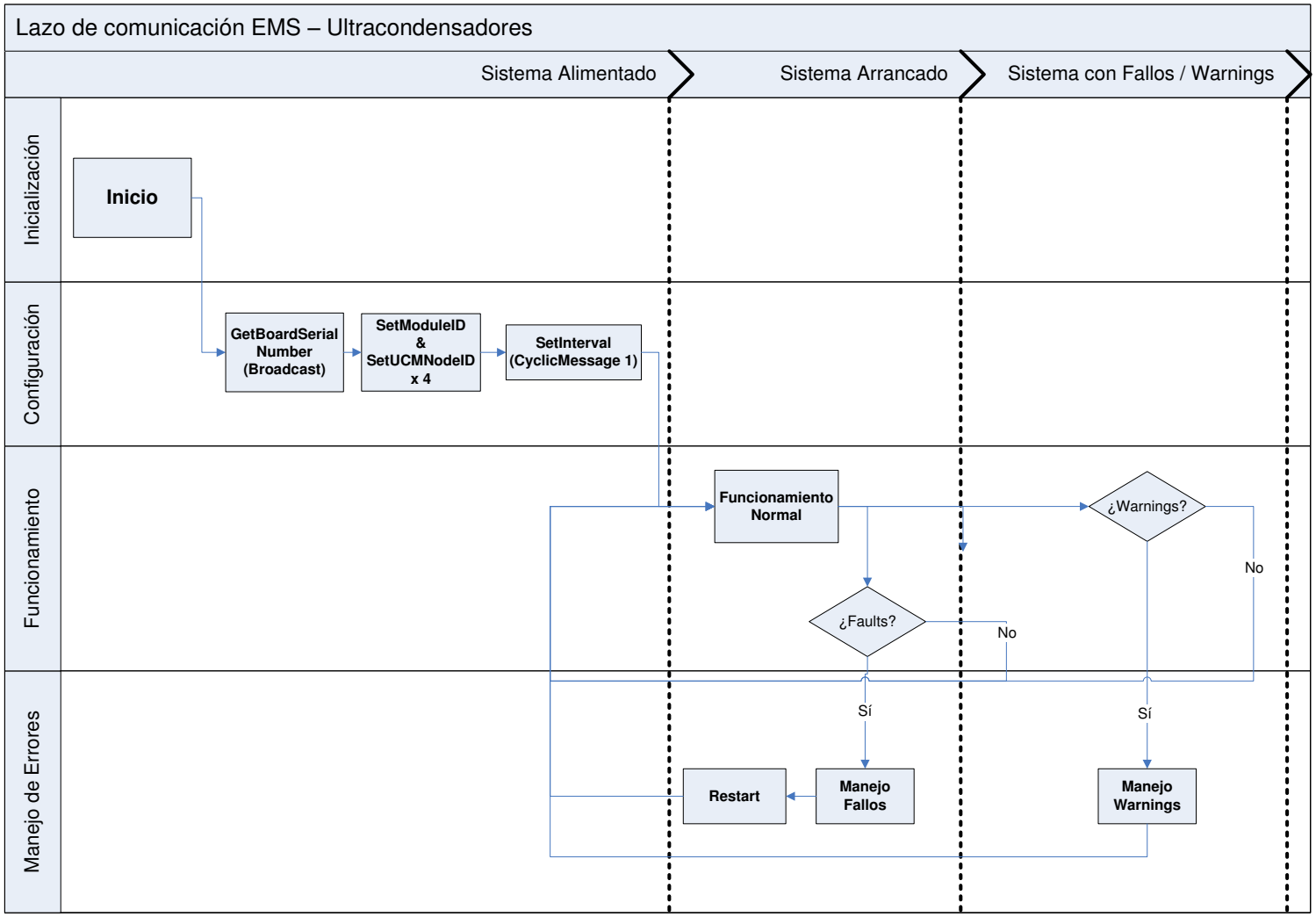


Ilustración 52: Lazo de Comunicación EMS - Ultracondensadores

4.3.4 Baterías

La comunicación será con un elemento denominado BMS encargado de la gestión del banco de baterías completo.

4.3.4.1 Lazo de comunicación

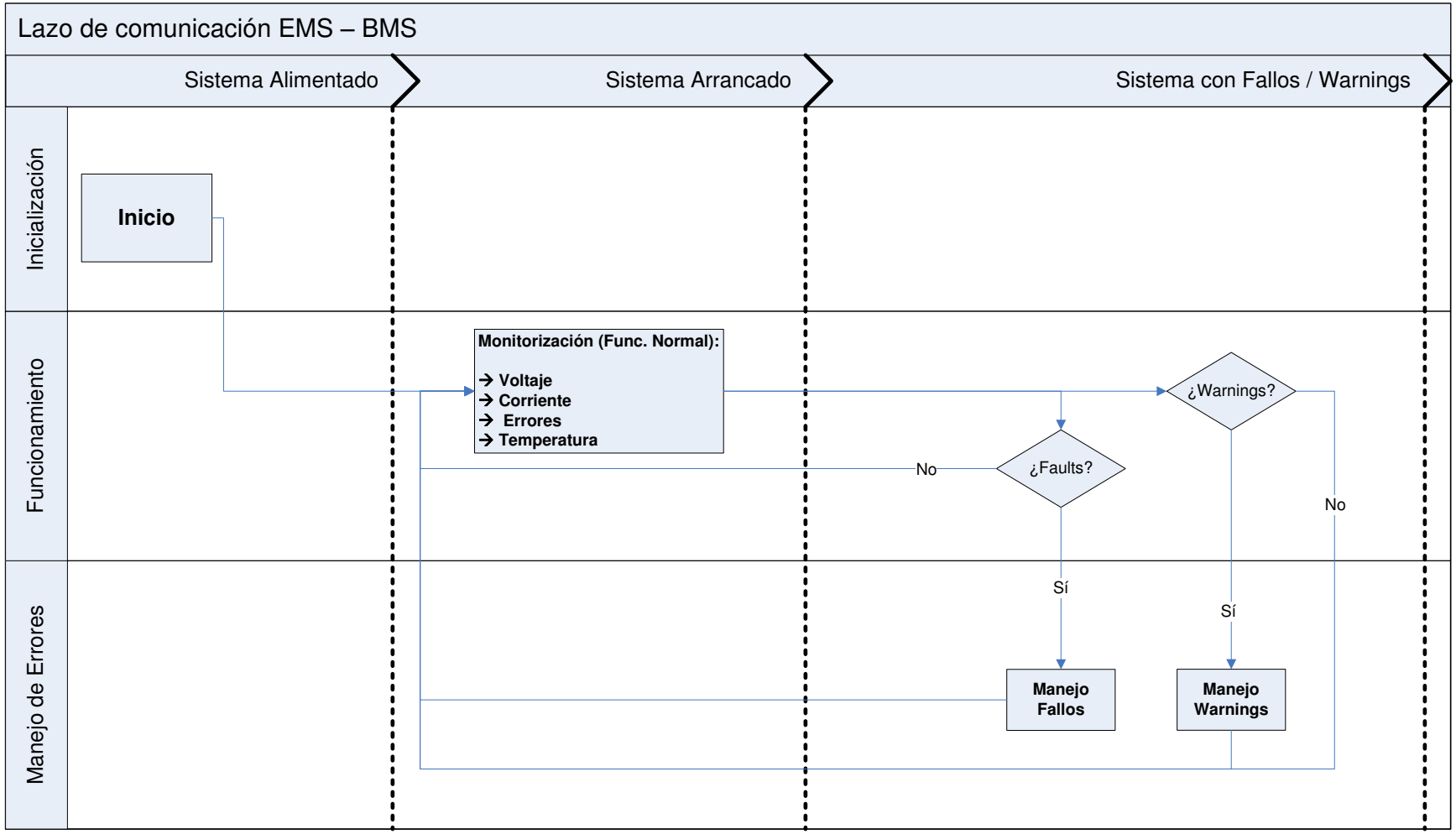


Ilustración 53: Lazo de comunicación EMS - Baterías

4.3.5 Motor, generador y sistema de arranque

Toda la comunicación con el Motor irá sobre el protocolo J1939 (que a su vez va sobre CAN), los mensajes compartidos con el generador sobre CAN y los comandos para arrancar y cambiar el punto de funcionamiento del motor (sistema de arranque) irán físicamente sobre un puerto serie RS-485.

4.3.5.1 Lazo de comunicación

En este apartado mostraremos el orden seguido por el sistema en su comunicación (establecimiento, configuración, funcionamiento y gestión de warnings y errores) con el motor de combustión y el resto de elementos relacionados con él (sistema de arranque y generador).
Podría resumirse en el gráfico de la página siguiente:

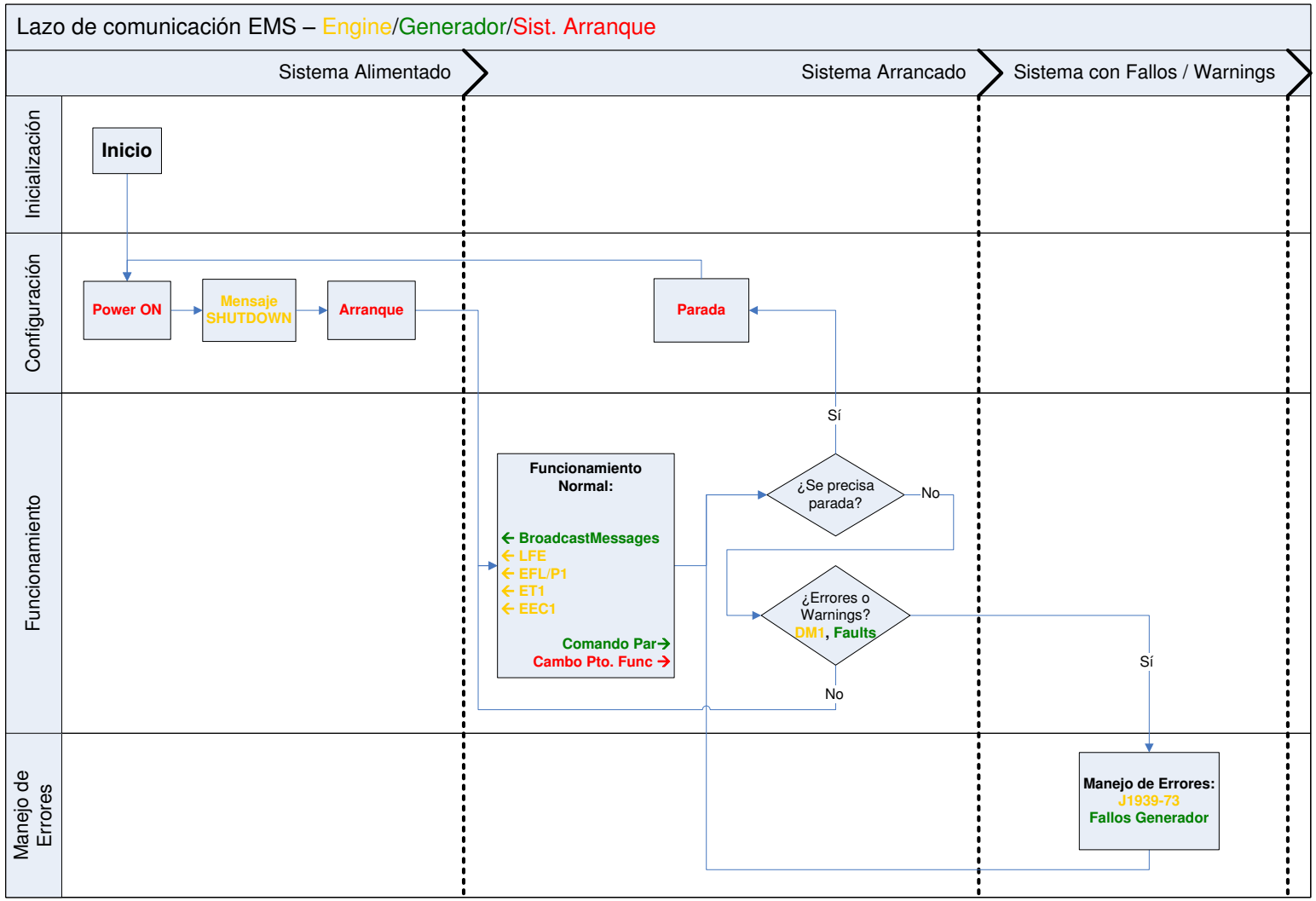


Ilustración 54: Lazo de comunicación EMS – Motor/Generador/Sistema de Arranque

5. Sistema de arranque

5.1 Requisitos generales del sistema

Debido a la imposibilidad de gestionar el arranque y el cambio de puntos de funcionamiento del motor mediante software, a través de los mensajes definidos en el protocolo de comunicación con el motor, hemos tenido que desarrollar un dispositivo de intermediación entre la EMS y el motor para este propósito. Este será el denominado Sistema de arranque, que formará parte del vehículo como un elemento más.

Como requisitos generales que nos planteamos para el diseño de este sistema serán que se encargue de controlar el arranque y el cambio de punto de funcionamiento del motor, tanto de forma software a través de comandos enviados desde el EMS, como de forma manual, a través de un Keyswitch instalado en el sistema. Este sistema se comunicará directamente con el motor por un mazo de cables que se conectará al conector J1 de la ECU del motor.

5.2 Diseño hardware

Este dispositivo estará constituido por un Subrack de 3U de altura en el que se alojan los siguientes elementos:

- Módulo ADAM-4069: encargado de convertir señales de RS-485 a salidas relés que controlarán el arranque y el cambio de punto de funcionamiento del motor.
- Indicadores luminosos: nos da información sobre el estado del motor.
- Keyswitch: para el arranque manual del vehículo.
- Minihembrillas: asociadas a las señales del motor, para posibles pruebas.
- Interfaces CAN y RS485. Para la conexión al bus CAN del vehículo y al EMS.
- Entrada de alimentación: Conector en el panel trasero del subrack por el que se alimentará a 12 V.
- Conector para el motor: conector en el que se enchufará el mazo de cables que va hacia la ECU del motor.
- Conector para el STARTER: conector que da salida a las señales de entrada al STARTER del motor.

En las siguientes ilustraciones se puede observar el resultado final del sistema de arranque:

Ilustración 55: Frontal Sistema de Arranque

Ilustración 56: Interior Sistema de Arranque

Para una información más detallada acerca del conexionado del Subrack se adjuntan en el apartado de Anexos los planos correspondientes a su diseño.

6. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto se planteó con la necesidad de cubrir ciertas carencias tecnológicas en vehículos pesados, en el ámbito industrial o militar. Es por ello que hemos abordado el trabajo con los siguientes aspectos fundamentales que afectan a nuestra labor dentro del marco global del HY88:

- **Estructura modular**: tanto nuestro EMS como el Subrack de arranque, son elementos independientes al resto de elementos mecánicos del vehículo, lo principal es poder albergar cada elemento donde más convenga en el vehículo en función de sus características particulares.
  Como objetivos concretos se logran:
  - Flexibilidad en la adaptación del vehículo a distintos usos o configuraciones.
  - Economía de diseño al reutilizar módulos ya definidos.
  - Fácil redimensionamiento.

- **Coste de ciclo vida optimizado**: Punto fundamental para la optimización del coste del ciclo vida es el derivado de la aplicación de la tecnología híbrida-eléctrica, ya que permite dimensionar la planta de energía con el criterio de máximo rendimiento global e incluso escalar dicha planta en función de las diferentes situaciones de funcionamiento. El algoritmo que hemos diseñado para nuestro EMS establece al motor en su punto de funcionamiento óptimo según el estado de carga del Power Pack. Es a señalar en este punto, las limitaciones encontradas con el motor de Caterpillar, al adquirirse sin intercooler, impidiéndonos explotar al máximo las prestaciones del mismo, y provocando una potencia máxima de funcionamiento para el motor de 62.5 KW.
  En cualquier caso, esta forma de gestión de la energía nos aportará las siguientes ventajas, objetivos fundamentales del proyecto:
  - Reducción de costes de mantenimiento.
  - Ahorro de combustible.

- **Mejora de la supervivencia**. Los vehículos convencionales están equipados de un solo sistema de generación de energía de forma que son relativamente vulnerables ante posibles averías o agresiones del exterior.
  Basándonos en el concepto de modularidad anteriormente mencionado, la planta energética de nuestro vehículo se compondrá de dos plantas independientes generadoras de energía, motor de combustión y Power Pack, de forma que en operación normal funcionen conjuntamente y a su vez resulte un sistema redundante ante el posible fallo de una de ellas.

  Debido a la envergadura del proyecto, y la limitación en tiempo para su desarrollo, nuestro algoritmo se encuentra diseñado contemplando únicamente el modo de funcionamiento *Full Electric*, basado en el uso de las capacidades máximas del PowerPack, en el que se minimiza en la medida de lo posible el gasto de energía del motor de combustión. Sería una línea interesante para trabajar a futuro, desarrollar los algoritmos necesarios para los distintos modos de funcionamiento posibles y permitir al usuario su elección.

- **Arquitectura abierta**. Los vehículos convencionales están constituidos a base de sistemas independientes que limitan sus posibilidades de evolución o modernización. La concepción de los sistemas a partir de una "arquitectura abierta" basada en el empleo de buses de comunicaciones CAN nos permitirá integrar con bajo costo de adaptación nuevos sistemas embarcados resultado de un cambio de uso o bien la aplicación de nuevas tecnologías.

En la actualidad, la tecnología híbrida-eléctrica está comercializada de forma muy limitada para vehículos utilitarios y algún modelo de autobús; no obstante, en ambos casos se trata de la aplicación de la tecnología híbrida eléctrica en configuración paralelo.

En cuanto al sistema en configuración serie preconizado en el HY88, no existen vehículos comerciales sino proyectos I&D enfocados a su aplicación en vehículos militares por las importantes ventajas que ésta tecnología presenta. Dichos proyectos se centran principalmente en el desarrollo de la tecnología híbrida-eléctrica, no contemplando en todos los casos la integración de otros subsistemas de tecnología puntera como suspensión inteligente, steer-by-wire, etc. Es por ello que este proyecto representa un importante reto de desarrollo e integración, en el que juega un papel muy importante el Sistema de Gestión de la Energía.
La integración de cada uno de los subsistemas en una plataforma única, concebida con un criterio modular, permitirá la aplicación de las ya nombradas tecnologías punteras a una amplia gama de vehículos adaptados a diversos usos y aplicaciones.

7. Bibliografía y referencias

http://es.wikipedia.org/wiki/Vehículo_híbrido_eléctrico

http://www.mecanicavirtual.org/hibridos.htm

Bohn T. (2009), Active Combination of Ultracapacitors and Batteries for PHEV ESS (Argonne National Laboratory).

Dixon J., Nakashima I., Arcos E.F., Ortuzar M. (2010), Electric Vehicle Using a Combination of Ultracapacitors and ZEBRA Battery (IEEE Transactions on Industrial Electronics, Marzo 2010, Vol: 57 Issue: 3, 943-949.

Faggioli E., Renaa P., Danel V., Andrieu X., Mallant R., Kahlen H. (1999), Supercapacitors for the Energy Management of Electric Vehicles (Journal of Power Sources, Volume 84, Issue 2, 261-269).

http://www.dieselnet.com

http://www.asepa.es/pdf/INSIA_JML.pdf

http://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN

8. Anexos

8.1 Anexo A: Interfaces de comunicación

8.1.1 VCS y TSCS

A continuación se define en detalle cómo se realizará la comunicación entre el puesto de conducción (VCS), el sistema de control de tracción y dirección (TSCS) y la EMS en términos de protocolo de comunicación, mensajes compartidos y parámetros necesarios para su representación gráfica.

8.1.1.1 Protocolo

- **Mensajes a enviar al VCS**

El sistema gestor de energía (EMS) deberá intercambiar parámetros como los siguientes con el puesto de conducción (VCS):

- Estado de carga de las Baterías (0-100%) y Ultracondensadores (0-100%).
- Aporte del motor (0-100%), baterías (0-100%) y Ultracondensadores (0-100%).
- Alerta (Alerta leve, alerta crítica, en baterías, Ultracondensadores, motor, EMS).
- Modo de funcionamiento activo (Default, Urban, Road, Motorway, Full Electric).

Los parámetros descritos anteriormente podrían introducirse en varias tramas CAN de 64 bits de datos cada una.

En cuanto a la interfaz hombre-máquina (HMI), nuestros objetivos para la gestión energética serán principalmente la posibilidad de cambio de modo de funcionamiento entre los 5 descritos anteriormente (Default, Urban, Road, Motorway, Full Electric).

A la hora de codificar esto seguirá siendo así, pero en la realidad nos moveremos solo en dos modos de funcionamiento, Default y Full Electric, de forma que la selección de cualquier otro modo se traducirá en el modo Default.

De igual forma, la forma de recibir el cambio en el modo de funcionamiento por parte de la HMI no necesitará más de 1 mensaje.

Mensaje	ID	ECU Emisora	ECU Receptora
m_EMS_VCS_1	0x70	EMS	VCS
m_EMS_VCS_2	0x80	EMS	VCS
m_VCS_EMS	0x60	VCS/HMI	EMS

Tabla 8: Nomenclatura de mensajes CAN entre EMS y puesto de conducción

	7	6	5	4	3	2	1	0
0	SoC-B							
1			SoC-UC					
2					EngState		BatState	
3	UCState		Mode			Consumption		
4								
5	EngProv							
6	BatProv							
7	UCProv							

Tabla 9: Distribución de señales en el mensaje M_EMS_VCS_1

Parámetro	Descripción	Valores
SoC-B	Estado de carga de las baterías (en porcentaje)	De 0 a 100 (resolución de 0,09766)
SoC-UC	Estado de carga de los ultracondensadores (en porcentaje)	De 0 a 100 (resolución de 0,09766)
BatState	Estado de baterías	0: OFF 1: Providing 2: Charging
UCState	Estado de ultracondensadores	0: OFF 1: Providing 2: Charging
EngState	Estado del motor	0: OFF 1: Providing 2: Ralentí
Consumption	Consumo de combustible instantáneo (en litros/100Km)	De 0 a 100 (resolución de 0,0488)

EngProv	Aporte del motor sobre el total demandado (en porcentaje)	De 0 a 100 (resolución de 0,3906)
BatProv	Aporte de las baterías sobre el total demandado (en porcentaje)	De 0 a 100 (resolución de 0,3906)
UCProv	Aporte de los ultracaps sobre el total demandado (en porcentaje)	De 0 a 100 (resolución de 0,3906)
Mode*	Modo de funcionamiento en uso	0: Default 1: Urban 2: Road 3: Motorway 4: Full Electric

Tabla 10: Definición de parámetros del mensaje M_EMS_VCS_1

* Finalmente los modos de funcionamiento solo serán Default y Full Electric, aunque en el VCS esté la opción de elegir entre los 5 modos establecidos. El sistema actuará en todos los casos como Default a excepción del modo Full Electric.

	7	6	5	4	3	2	1	0
0	FuelLevel							
1	OilLevel							
2	OilTemp							
3								
4	AlertIndicator							
5	AlertCodes							
6								
7								

Tabla 11: Distribución de señales en el mensaje M_EMS_VCS_2

Parámetro	Descripción	Valores
FuelLevel	% de gasolina en el depósito	De 0 a 100 (resolución 0,4)
OilLevel	% de aceite en el motor	De 0 a 100 (resolución 0,4)
OilTemp	Temperatura del aceite en el motor	De -273 a 1735 (resolución 0,0306)

Tabla 12: Definición de parámetros del mensaje M_EMS_VCS_2

Y las alertas que se describen a continuación:

En el primer byte, se informará (en caso de haberlo) el responsable/s de las alarmas activas, así como el nivel de alarma asociado al mismo.

Byte 4 (M_EMS_VCS_2)

	Bit 0	Bit 1	Bit 2-3	Bit 4-5	Bit 6-7
AlertIndicator	Preheat	EMS	Engine	Battery	Ultracap

Tabla 13: Byte 4. Alertas mensaje M_EMS_VCS_2

Cabe destacar que el precalentamiento diesel (preheat) puede tratarse por separado ignorando los niveles de alerta.

El resto se configurará de la siguiente forma:

Bit 2 → *EMS (si hay error siempre es grave)*

Bits 3-4 → *Engine (00-Sin error, 01-Malfunction, 10-Warning, 11-Stop)*

Bits 5-6 → *Baterías (00-Sin error, 01-Malfunction, 10-Warning, 11-Stop)*

Bits 7-8 → *Ultracaps (00-Sin error, 01-Malfunction, 10-Warning, 11-Stop)*

Bytes 5, 6 y 7 – AlertCodes – (M_EMS_VCS_2)

En el caso de los 3 primeros se podrán activar 1 ó más bits para indicar alarmas activas. En el caso del motor se representará mediante un código de 16 bits la alarma prioritaria.

5	EMS		Battery			Ucaps		
6	EngineError							
7								

Tabla 14: Bytes 5, 6 y 7. Alertas mensaje M_EMS_VCS_2

	Alarmas / Warning
EMS	Bit 0: Imposible establecer comunicación CAN0 (Engine, Ucaps, Battery) Bit 1: Imposible establecer comunicación CAN1 (ECU, VCS) *
Baterías	Bit 0: Imposible establecer comunicación CAN con baterías Bit 1: Estado de Carga Si Warning, SoC fuera del rango deseado de funcionamiento. Si Stop, SoC fuera del rango (máximo/mínimo) permitido. Bit 2: Temperatura Si Warning, Temperatura fuera del rango deseado de funcionamiento. Si Stop, Temperatura fuera del rango (máximo/mínimo) permitido.
Ucaps	Bit 0: Imposible establecer comunicación CAN con Ucaps Bit 1: Estado de Carga Si Warning, SoC fuera del rango deseado de funcionamiento. Si Stop, SoC fuera del rango (máximo/mínimo) permitido. Bit 2: Temperatura Si Warning, Temperatura fuera del rango deseado de funcionamiento. Si Stop, Temperatura fuera del rango (máximo/mínimo) permitido.

Tabla 15: Descripción códigos de alarmas mensaje M_EMS_VCS_2

* Este fallo podría no ser detectado, al tratarse de error en la conexión con el puesto de conducción

Los códigos de error del motor estarán relacionados directamente con su SPN (suspect parameter number), que es el parámetro de J1939 encargado de identificar los parámetros y su FMI (encargado de definir el error concreto de dicho parámetro).

La lista de posibles valores se presentará en el apartado 9.1.5 en el que se detalla la interfaz de comunicación con el motor de combustión.

- **Mensajes a enviar al TSCS**

En principio el TSCS debe conocer la capacidad energética restante en Baterías y Ultracondensadores para poder inyectar la cantidad correcta de energía cuando tenga lugar una frenada regenerativa.
No obstante, puesto que este dato es inyectado en el bus por nosotros dentro del mensaje m_EMS_VCS_1 con destino VCS, supondremos que no es necesario realizar ninguna otra tarea.

- **Mensajes a recibir del VCS**

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	Mode			MDPWC	MDSAG			
1 – 7								

Tabla 16: Distribución de señales en el mensaje M_VCS_EMS

Parámetro	Descripción	Valores
Mode	Modo de funcionamiento seleccionado (*)	0: Default 1: Urban 2: Road 3: Motorway 4: Full Electric
MDPWC	Power On/Off	Siempre valdrá 1 (ON)
MDSAG	Stop&Go	0: Stop // 1: Go

Tabla 17: Definición de señales del mensaje M_VCS_EMS

(*) Cabe destacar que, en nuestra aplicación final, los modos de funcionamiento 0-3 no se diferenciarán debido a restricciones de tiempo y funcionamiento del sistema finalmente diseñado. Habrá pues 4 modos seleccionables aunque solo 2 modos de operación: default (selección de valores entre 0 y 3) y full-electric (si se selecciona dicho modo).

- **Mensajes a recibir del TSCS**

El mensaje principal que tendremos que recibir será el que nos informe de la demanda energética del sistema de tracción y dirección.
Será responsabilidad del TSCS el informarnos con este parámetro ya sea de forma completa (tracción+dirección con signo) con la que podamos concluir con dicho valor la situación actual (frenada, aceleración, ausencia de aceleración/frenada) o mediante varios parámetros que nos indiquen lo necesario de forma simple (demanda de tracción, demanda de dirección, signo de la demanda).
El mensaje tendrá un ID = 0x50 y el formato del parámetro "demanda de tracción y dirección" vendrá incluido en los bytes 0-2 del campo de datos:
-> 24 bits (LSB - Byte [0], MSB - Byte [2] = Intel Format)
-> Valor en KW
-> Resolución: 0,001KW (1W)
-> Rango: desde -8388,608KW hasta +8388,607KW
-> Offset = -8388,608KW

- **Otros mensajes a monitorizar**

Existirán otros mensajes de los que nos interesarán únicamente algunos parámetros ya que, aunque la EMS no sea la receptora directa, podrá ayudarnos a tomar decisiones u optimizar el control.
No obstante, serán menos importantes que los anteriormente descritos. Éstos son:

M_VCS_VIS → Obtendremos el estado de cada una de las luces del vehículo en cada instante, lo que nos ayudará a calcular la demanda variable:
VISFFLS – Antinieblas Frontales
VISHBHS – Carretera
VISRFLS – Antiniebla Posterior
VISBLC – Dirección
VISLBHS – Cruce
VISELVS – Emergencia
VISSLC – Exterior Operaciones
VISDLC – Interior Cabina
VISPLS - Posición

M_TSCS_VCS_1 → Podremos obtener la velocidad del vehículo

M_MD_TSCS → Podremos obtener la marcha del vehículo (D - drive, N - neutral, R - reverse)

8.1.2 Convertidores DC/DC

En este apartado se define cómo se realizará la comunicación entre los convertidores DC/DC y la EMS en términos de protocolo de comunicación, mensajes compartidos y parámetros necesarios. Cabe destacar que existirán en el vehículo HY88 2 convertidores

de este tipo, cada uno de ellos gestionado de igual forma pero con direcciones/identificadores ligeramente diferentes.

8.1.2.1 Protocolo

- **Formato de mensajes**

El sistema gestor de energía (EMS) debe comunicarse con los convertidores DC/DC con el objetivo de poder actuar sobre baterías y ultracondensadores.
El fabricante del convertidor proporciona dicho protocolo en términos de CAN2.0A (identificadores de 11 bits). La tasa nominal será de 250 Kbps.
Los convertidores poseen 4 tipos de mensajes, cada uno con un identificador diferente y cada convertidor con valores diferentes (hard-coded en cada uno de ellos).
Dichos identificadores son los descritos en la siguiente tabla:

Mensaje	ID Convertidor 1	ID Convertidor 2
Converter Receive Packet	0x140	0x240
Converter Transmit Packet	0x141	0x241
Converter Broadcast Packet	0x142	0x242
Converter Transmit Error	0x143	0x243

Tabla 18: Tipos de mensajes de los convertidores DC/DC

El formato de los mensajes será el siguiente:

Mensaje	ID	Longitud	Byte 0	Byte 1	Bytes 2/3	Bytes 4/5	Byte 6
Converter Receive Packet	0x140 / 0x240	7	ID Tipo	ID Nodo	Posición de Memoria	Valor	Lectura / Escritura
Converter Transmit Packet	0x141 / 0x241	7	ID Tipo	ID Nodo	Posición de Memoria	Valor	Lectura / Escritura
Converter Broadcast Packet	0x142 / 0x242	7	ID Tipo	ID Nodo	Posición de Memoria	Valor	Lectura / Escritura
Converter Transmit Error	0x143 / 0x243	2	Error Code				

Tabla 19: Formato de los mensajes de los convertidores DC/DC

Donde los parámetros se describen de la siguiente forma:

ID Tipo: ‘s’ (0x73) para ‘send’ (enviados por el convertidor) y ‘r’ (0x72) para ‘receive’ (recibidos por el convertidor).

ID Nodo: Siempre a 0.

Lectura/Escritura: 0x00 para lectura y 0xFF para Escritura.

Posición de memoria: permite identificar el parámetro adjuntado en el mensaje según la tabla que presentamos a continuación.

Valor: valor del parámetro enviado.

Parameter	Memory Location	r	s	Scaling	Additional Details	Default Value	Upper and Lower Limit
Trip Zone Controller Board Warning Level	105	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	95C (190)	95C-60C
Trip Zone IGBT Warning Level	106	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	125C (250)	125C-60C
Trip Zone Capacitors Warning Level	107	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	95C (190)	95C-60C
Trip Zone Coolant Warning Level	108	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	100C (200)	100C-60C
Trip Zone Inductors Warning Level	109	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	170C (140)	170C-60C
Trip Zone Controller Board Fault Level	110	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	105C (210)	105C-60C
Trip Zone IGBT Fault Level	111	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	135C (270)	135C-60C
Trip Zone Capacitors Fault Level	112	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	105C (210)	105C-60C
Trip Zone Coolant Fault Level	113	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	110C (220)	110C-60C
Trip Zone Inductors Fault Level	114	R/W	R	0.5C/Bit	Temperature Set Point	190C (380)	190C-60C
Status	115	R/W	R	-	Use this to stop and start the converter 0=Disabled, 1=Enabled	Disabled (0)	
Faults 1	116		R	-	Fault flag details below		
Faults 2	117		R	-	Fault flag details below		
Warnings 1	118		R	-	Warning flag details below		
Warnings 2	119		R	-	Warning flag details below		
Maximum Battery Discharge Current	120	R/W	R	0.5A/Bit	Control Set Point	600A (1200)	600A-20A
Maximum Battery Charge Current	121	R/W	R	0.5A/Bit	Control Set Point	600A (1200)	600A-20A
Output Bus Voltage Reference	122	R/W	R	0.5V/Bit	Control Set Point	640V (1280)	700V-540V
Upper Battery Voltage Reference	123	R/W	R	0.5V/Bit	Control Set Point	450V (900)	500V-200V
Lower Battery Voltage Reference	124	R/W	R	0.5V/Bit	Control Set Point	250V (500)	500V-200V
Bus Voltage Measurement	125		R	0.5V/Bit	Value measured by the converter		
Battery Voltage Measurement	126		R	0.5V/Bit	Value measured by the converter		
Battery Current Measurement	127		R	0.5A/Bit	Value measured by the converter		
Bias Voltage Measurement	128		R	0.5V/Bit	Value measured by the converter		
Maximum Bus Voltage Fault Level	129	R/W	R	0.5V/Bit	Fault level set points	800V (1600)	800V-540V
Maximum Battery Voltage Fault Level	130	R/W	R	0.5V/Bit	Fault level set points	500V (1000)	500V-200V
Minimum Battery Voltage Fault Level	131	R/W	R	0.5V/Bit	Fault level set points	200V (400)	200V-0V
Maximum Bias Voltage Fault Level	132	R/W	R	0.5V/Bit	Fault level set points	30V (60)	40V-10V
Minimum Bias Voltage Fault Level	133	R/W	R	0.5V/Bit	Fault level set points	9V (18)	10V-0V
Number of Converters Running	134		R	-	Indicates number of converters currently running		
Clear Warnings	135	R/W	R	-	0=Latch warnings, 1=Clear warnings		
Enable Broadcast Mode	136	R/W	R	-	0=Disabled, 1=Enabled	Disabled (0)	

Tabla 20: Descripción parámetros mensajes convertidores DC/DC

Faults 1		**Warnings 1**	
Bit	**Description**	**Bit**	**Description**
0	Over Voltage Bus	0	Over Temperature Controller

1	Over Current Converter	1	Over Temperature IGBT
2	Under Voltage Bias	2	Over Temperature Capacitor
3	Over Voltage Battery	3	Over Temperature Coolant
4	Over Temperature Inductors	4	Over Temperature Inductors
5	Over Temperature Coolant	5	Upper Battery Regulation
6	Over Temperature Controller	6	Lower Battery Regulation
7	Over Temperature IGBT	7	Discharge Current Regulation
8	Over Temperature Capacitor	8	Charge Current Regulation
9	-	9	-
10	-	10	-
11	-	11	-
12	-	12	-
13	-	13	-
14	-	14	-
15	-	15	-

Tabla 21: Fallos y Warnings mensajes convertidores DC/DC

- **Mensajes de activación**

Primero habrá que activar ambos convertidores que, por defecto, se encontrarán inactivos, para ello habrá que enviar los siguientes mensajes:

1º - Mensaje EMS→Convertidor DC/DC 1

			Posición de Memoria		Valor		Lect/Escr
ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
0x140	'r' (0x72)	0	115		1		0xFF

Tabla 22: Mensaje de activación convertidor DC/DC 1

2º - Mensaje EMS→Convertidor DC/DC 2

			Posición de Memoria		Valor		Lect/Escr
ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
0x240	'r' (0x72)	0	115		1		0xFF

Tabla 23: Mensaje de activación convertidor DC/DC 2

Una vez recibido este mensaje por el convertidor, en caso de ir todo correcto, deberíamos recibir el mismo mensaje (idéntico en contenido) pero desde la dirección (id) de transmisión, es decir, 0x141 / 0x241 respectivamente.
En caso de no recibirlo habrá ocurrido algún error y deberemos retransmitir.
Es destacable que NO ES NECESARIO que éste sea el primer mensaje del lazo de comunicación, siendo posible (y necesario en según qué casos) establecer los Setpoints oportunos previamente si éstos no poseen los valores necesarios.

- **Mensajes de configuración (Setpoints)**

Existen 5 parámetros configurables de los convertidores que son los situados entre las posiciones 0x120 y 0x124 de memoria:

→Corriente máxima de Descarga en las Baterías / Ucaps
→ Corriente máxima de Carga en las Baterías / Ucaps
→ Referencia del voltaje de salida del bus
→ Referencia superior del voltaje de las baterías
→ Referencia inferior del voltaje de las baterías

El formato de los mensajes será análogo al caso anterior cambiando únicamente los valores de "Posición de Memoria" y "Valor". De igual forma, se deberá recibir el mensaje desde las direcciones 0x141/241 para confirmar la correcta configuración.

Cabe destacar que:

→ Los Setpoints deben ser configurados de manera PREVIA al arranque de los convertidores en caso de no poseer los valores deseados.

→ Los parámetros de voltaje del bus y corriente en las baterías pueden ser cambiados en tiempo real.

→ Los correspondientes a límites en el voltaje de las baterías no deberían ser cambiados durante su funcionamiento.

Los valores a los que configuraremos los Setpoints serán diferentes para el DC/DC 1 y el DC/DC 2, de este modo para el DC/DC 1 (baterías), tendremos: Vref Batt Low: 420V, Vref Batt High: 480V, Vref Batt ref: 600V, Ibattmax+ discharge: 360, Ibattmax- charging: 300.

Para el DC/DC 2, correspondiente a los ultracaps:

Vref Batt Low: 250V, Vref Batt High: 500V, Vref Batt ref: 620V, Ibattmax+ discharge: 100, Ibattmax- charging: 600.
También pueden configurarse los niveles que harán saltar las diferentes alarmas y warnings establecidos. Para más información mirar la tabla de posiciones de memoria anteriormente expuesta (0x129-0x133).

- **Mensajes cíclicos**

Los convertidores tienen la capacidad de realizar un envío de forma periódica de diferentes parámetros necesarios para la EMS.

Para ello primero debemos activar el Modo de broadcast de la siguiente forma:

			Posición de Memoria		Valor		Lect/Escr
ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
0x140	'r' (0x72)	0	136		1		0xFF

Tabla 24: Mensaje de activación de Modo broadcast convertidores DC/DC

Una vez activado y recibida la confirmación de activación por parte del convertidor (como siempre, desde las direcciones 0x141/241), comenzarán a recibirse paquetes de forma periódica.

Dichos mensajes tendrán el formato:

			Posición de Memoria		Valor		Lect/Escr
ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
0x142	's' (0x73)	0	****		****		0x00

Tabla 25: Formato mensajes cíclicos convertidores DC/DC

Los parámetros que nos interesará recibir de manera periódica serán:

Parámetro	**Posición de Memoria**
Faults 1	116
Warnings 1	118
Bus Voltage Measurement	125
Battery Voltage Measurement	126
Battery Current Measurement	127
Bias Voltage Measurement	128

Tabla 26: Parámetros necesarios mensajes cíclicos de convertidores DC/DC

- **Mensajes de error**

Existen 2 tipos de errores, los correspondientes a errores en el envío/recepción de mensajes CAN y los relativos a mal uso/funcionamiento del convertidor.

Códigos de error

Aparecen cuando 1 mensaje no es comprendido por el convertidor. En ese momento, el convertidor envía 1 mensaje del tipo:

ID	Longitud	Byte 0	Byte 1
0x143	2	Error Code	

Tabla 27: Formato mensaje de error convertidores DC/DC

Donde la tabla de código de errores que se pueden presentar es la siguiente:

Código de Error	Descripción
0	Read/Write command not recognized
1	Unknown memory location
2	Unknown Node ID
3	Unknown Type ID
4	Could not write to memory

Tabla 28: Códigos de error en mensaje de convertidores DC/DC

Warnings/Alarmas

Si un warning ocurre la bandera correspondiente se activará y el convertidor seguirá funcionando. La bandera seguirá activa hasta que se reciba el mensaje de Clear Warnings (0x135).
Si hay una alarma (fault) la correspondiente bandera se activará y el convertidor se apagará inmediatamente. La bandera seguirá activa hasta que el convertidor reciba un Reset que limpiará todas las banderas. Dicho mensaje consistirá en un mensaje de apagado del equipo, es decir, envío del valor 0 a la posición de memoria 0x115. Después de eso podrá reactivarse el convertidor con un comando de arranque.

8.1.3 Ultracondensadores

El objetivo de este apartado es definir cómo se realizará la comunicación entre el banco de ultracondensadores y la EMS en términos de protocolo de comunicación, mensajes compartidos y parámetros necesarios. Cabe destacar que existirán en el vehículo HY88 4 módulos de este tipo conectados en serie.

8.1.3.1 Protocolo de comunicación

Formato de mensajes

El sistema gestor de energía (EMS) debe comunicarse con los ultracondensadores con el objetivo de poder monitorizarlos.

El fabricante de los ultracondensadores proporciona dicho protocolo en términos de CAN2.0A o CAN2.0B, es decir, con identificadores de 11 bits ó 29 bits en función de las necesidades.

El protocolo posee varios tipos de mensajes de los cuales nos interesarán solamente los que comentaremos más adelante.

La elección de Identificadores de 11 ó 29 bits será tomada más adelante cuando se posean más datos del resto de elementos a integrar en el mismo bus can.

De este modo los identificadores son del tipo:

11bits (CAN2.0A)

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ID Nodo				ID Modulo				ID Servicio		

Tabla 29: Identificador de 11 bits de mensajes de Ultracondensadores

29bits (CAN2.0B)

28	27	…	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ID Nodo						ID Modulo				ID Servicio		

Tabla 30: Identificador de 11 bits de mensajes de Ultracondensadores

- **ID Nodo** (Rango 0x00-0x3FFFFF)

Existen 2 tipos:

Master Node ID: se usa como dirección de origen en los identificadores CAN de los mensajes enviados desde el Master a los UCM. Por defecto: 0x000009

UCM Node ID: es usado como dirección de origen en los identificadores CAN de los mensajes enviados desde los UCM al Master. Por defecto: 0x00000A

- **ID Modulo** (Rango 0x0-0xF)

Es un identificador único para cada UCM dentro de la red.

Es utilizado con valor 0 por el Master para enviar un mensaje de broadcast a todos los nodos.

- **ID Servicio** (Rango 0x0-0x7)

Identifica el tipo de mensaje enviado o recibido por los UCM.

Dichos identificadores son los descritos en la siguiente tabla:

Descripción	ID Servicio	Tx/Rx (UCM)
Mensaje cíclico tipo 1	1	Tx
Mensaje cíclico tipo 2	2	Tx
Mensaje cíclico tipo 3	3	Tx
Mensaje de configuración de Inicio	4	Tx / Rx
Mensaje de Bootloader	6	Tx / Rx
Mensaje de Configuración	7	Tx / Rx

Tabla 31: Tipos de mensajes de Ultracondensadores

Un ejemplo de uso para comprender las diferencias entre los distintos identificadores es el siguiente:

El moduleID identifica al módulo dentro de la red, es decir si hay cuatro módulos, con dicho identificado el Máster podrá saber de qué módulo recibe la información o a que módulo enviar la información.

El nodeID identifica si el mensaje va de UCM a Máster o de Máster a UCM.

Por ejemplo, si nos encontramos con los siguientes mensajes en la red CAN:

0x000009 || *0x3* || *XXXX*

Significará que el Máster envía al nodo 3 un mensaje cuyo objetivo es X.

Si tenemos que:

0x00000A || *0x2* || *XXXXX*

Significará que el módulo 2 envía un mensaje al Máster cuyo objetivo es X.

8.1.3.2 Tipos de mensajes

Desde el encendido de nuestro sistema EMS hasta el apagado del vehículo, los mensajes a compartir con los ultracondensadores pueden ser de diversos tipos. No obstante, como ya introdujimos en el apartado anterior, nos limitaremos a exponer los necesarios para nuestro propósito.

Mensajes cíclicos

Para que los UCM puedan enviar este tipo de mensajes el ID de Módulo y el Contador del Intervalo de Transmisión Cíclico han de ser ambos distintos de 0.

De todos los que existen solo nos interesará el Mensaje Cíclico 1 que posee las siguientes características:

Descripción	Valor
ID Servicio	**1**
DLC (Data Length Code)	**8**
Intervalo Cíclico	**N x 50 ms***

Tabla 32: Características mensaje cíclico 1 de Ultracondensadores

* N es el valor del Contador del Intervalo de Transmisión Cíclico que debe configurarse previamente.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
UCM	**Status 1**	**Status 2**	**Status 3**	**Temp 1**	**Voltaje Total**		**Medio Voltaje**	

Tabla 33: Formato mensaje cíclico 1 de Ultracondensadores

Los parámetros del tipo Status son indicadores de alertas relacionadas con voltaje o temperatura (por encima del límite, por debajo, etc.).

Temp 1 representa el valor de temperatura en grados Celsius desde -40ºC hasta 166ºC con una resolución de 1ºC por bit.

Voltaje total es el voltaje correspondiente al banco de ultracondensadores completo medido en VDC entre 0 y 140VDC con una resolución de 0.05V/bit.

El denominado "Medio Voltaje" es el voltaje de la primera mitad de ultracondensadores correspondientes del banco medido entre 0 y 70VDC con la misma resolución que antes.

También puede obtenerse los voltajes en diferentes puntos del UCM con el objetivo de monitorizar las posibles diferencias entre el estado de los condensadores que lo forman.

Gracias al Voltaje Total podremos estimar el SoC (Estado de Carga o State of Charge) del sistema de la siguiente manera:

$$\mathbf{SoC = V_t / V_{max}}$$

Donde Vt sería el Voltaje Total y Vmax el voltaje máximo (o nominal) del sistema, en nuestro caso 125VDC.

Mensajes de órdenes

Los comandos son procesados en los UCM solo si el emisor es su Master definido después de lo cual asienten con la correspondiente respuesta.

Todos los mensajes de este tipo en envían y se responden con el mismo ID Servicio → **ServiceID = 7**. El comando es transferido en el byte 0 y el contenido de los otros 7 depende del comando. Los UCM escuchan Identificadores de los siguientes tipos:

- CAN ID desde el Master con TODAS estas características:
  - ID Nodo igual al configurado en la UCM
  - ID Módulo igual al configurado en la UCM
  - ID Servicio de Mensajes de Configuración (7)
- CAN ID desde el Master con TODAS estas características:
  - ID Nodo igual al configurado en la UCM
  - ID Módulo igual a 0
  - ID Servicio de Mensajes de Configuración (7)
- CAN ID igual a 0x7FC (en caso de ID de 11 bits) o a 0x1FFFFFFC (en caso de ID de 29 bits). Este identificador solo ejecutará el LoadDefault. Esto es usado para comenzar a utilizar el sistema cuando los parámetros de configuración son desconocidos. Este mensaje cargará los parámetros por defecto en TODOS los UCM's conectados a la red. **En este supuesto, el ServiceID es 4 (primeros 2 segundos).**

Los mensajes destacables son los siguientes (en los cuales los bytes vacíos contendrán realmente 0xFF).

GetBoardSerialNumber

Con este comando se obtiene el número de serie de cada tarjeta incluso si la solicitud por parte del Master incluye un ModuleID igual a 0.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0x02							IDModulo
UCM	0x02	LsSer#	Ser#2	Ser#3	Ser#4	Ser#5	MsSer#	IDModulo

Tabla 34: Comando GetBoardSerialNumber de Ultracondensadores

GetModuleSerialNumber

Lee el número de serie del módulo.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0xB1							IDModulo
UCM	0xB1	LsSer#0	Ser#1	Ser#2	Ser#3	Ser#4	Ser#5	IDModulo

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0xB2							IDModulo
UCM	0xB2	LsSer#6	Ser#7	Ser#8	Ser#9	Ser#10	Ser#11	IDModulo

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0xB3							IDModulo
UCM	0xB3	LsSer#12	Ser#13	Ser#14	Ser#15	MsSer#16		IDModulo

Tabla 35: Comando GetModuleSerialNumber de Ultracondensadores

SetUCMNodeID

Establece el identificador de nodo a una UCM. Una vez establecido será necesario un evento de reinicio para que funcione.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0x0B	Format	LsNodeId	NodeId2	MsNodeId			IDModulo
UCM	0x0B							IDModulo

Tabla 36: Comando SetUCMNodeID de Ultracondesadores

Donde:

Parámetro	Rango	Valor por defecto	Descripción
Format	0x00	0	ID 11 bit
	0x01-0xFF		ID 29 bit
ID Nodo	0x00-0x0F	0x0A	ID 11 bit
	0x00000-0x3FFFFF		ID 29 bit

Tabla 37: Parámetros del comando SetUCMNodeID de Ultracondesadores

SetModuleID

Establece el identificador de Modulo. El UCM compara el número de serie internamente almacenado y, si coincide con el recibido, el nuevo identificador de módulo es almacenado siendo el cambio activado inmediatamente y enviando el UCM un mensaje de confirmación.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0x0C	LsSer#	Ser#2	Ser#3	Ser#4	Ser#5	MsSer#	IDModulo
UCM	0x0C							IDModulo

Tabla 38: Comando SetModuleID de Ultracondesadores

Parámetro	Rango	Valor por defecto
ID Modulo	0x00-0x0F	0

Tabla 39: Parámetros del comando SetModuleID de Ultracondesadores

SetBaudRate

Establece la tasa de datos. Una vez establecida no es activada hasta que no se ejecuta un evento de reinicio.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0x0D	LsBitRate	MsBitRate					IDModulo
UCM	0x0D							IDModulo

Tabla 40: Comando SetBaudRate de Ultracondesadores

Parámetro	Rango	Valor por defecto
BaudRate	125, 250 o 500 kbit/s	250 kbit/s

Tabla 41: Parámetro BaudRate de Ultracondensadores

SetInterval

Establece el intervalo de transmisión de los mensajes cíclicos. El intervalo será un múltiplo de 50ms que, en caso de valer 0, desactiva el envío cíclico.

También establece qué mensajes cíclicos, de los 3 existentes se enviarán cuando el envío cíclico se active lo cual será necesario al inicio porque ambos parámetros se encontrarán a 0.

Una vez recibido los cambios son aplicados de forma inmediata.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	0x10	Interval Count	Mask					IDModulo

UCM	**0x10**							**IDModulo**

Tabla 42: Comando SetInterval de Ultracondesadores

Parámetro	**Rango**	**Valor por defecto**
Contador Intervalo	**0x00-0xFF**	**0**
Mask	**0x00-0x07**	**0**

Tabla 43: Parámetros del comando SetInterval de Ultracondesadores

Donde en la máscara los bits se representarán de la siguiente forma:

- Bit 0 – Mensaje cíclico 1
- Bit 1 – Mensaje cíclico 2
- Bit 2 – Mensaje cíclico 3

ErrorMessage

En caso de que algún error ocurra o no pueda ejecutarse una orden determinada el UCM responderá con un mensaje donde indicará la fuente del error (ID del comando que lo ha provocado) y el tipo de error.

Emisor	**Byte 0**	**Byte 1**	**Byte 2**	**Byte 3**	**Byte 4**	**Byte 5**	**Byte 6**	**Byte 7**
UCM	**0xEE**	**Source**	**Code**					**IDModulo**

Tabla 44: Comando ErrorMessage de Ultracondesadores

El código del tipo de error tomará los valores:

- 1 – Formato Inválido de comando
- 2 – Comando no implementado
- 3 – Valor de parámetro Inválido
- 4 – Fallo en la validación de programa
- 5 – Fallo en la validación EeData
- 6 – Fallo en el comando

Restart

Es el comando utilizado para resetear el módulo. Después de la utilización de algunos comandos puede ser necesario realizarlo para la ejecución de los mismos.

Existen 2 tipos de reseteos: WarmBoot y ColdBoot.

Emisor	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Master	**0xA0**	**0x1E**	**0xEE**	**0xE1**	**0xEE**	**0x1E**	**Restart Alt**	**IDModulo**
UCM	**0xA0**	**LsSer#**	**Ser#2**	**Ser#3**	**Ser#4**	**Ser#5**	**MsSer#**	**IDModulo**

Tabla 45: Comando Restart de Ultracondesadores

Los expertos de Maxwell recomiendan hacer siempre el ColdBoot porque incluye el chequeo de la aplicación.

8.1.4 Baterías

En este apartado se detalla el diseño de la comunicación entre el conjunto de baterías y la EMS en términos de protocolo de comunicación, mensajes compartidos y parámetros necesarios. La comunicación será con un elemento denominado BMS encargado de la gestión del banco de baterías completo.

8.1.4.1 Protocolo de comunicación

Formato de Mensajes

El sistema gestor de energía (EMS) debe comunicarse con las baterías con el objetivo de poder monitorizarlas.

El fabricante de la BMS proporciona dicho protocolo en términos de CAN2.0B, es decir, con identificadores de 29 bits. La comunicación tendrá una velocidad de 250Kbps.

Los identificadores, por lo tanto, son del tipo:

29bits (CAN2.0B)

28	27	26	25	24	23	…	16	15	…	8	7	…	0
Priority			**R**	**DP**	**PDU Format**			**PDU Specific**			**Source Address**		

Dónde:

→ Prioridad: son 3 bits con lo que puede haber 8 prioridades.

→ R y DP: normalmente están fijados a 0.

→ PDU Format (PF): es el código del mensaje.

→ PDU Specific (PS): es el objetivo / destino.

→ Source Address (SA): es la dirección de origen del mensaje.

La forma de distribuir las direcciones (origen y destino) es la siguiente:

Nodo	Source Address
Motor y Controlador	239 (0xEF)
BMS (Battery Management System)	244 (0xF4)
CCS (Charging Control System)	229 (0xE5)
BCA (Broadcasting Address)	80 (0x50)

Tabla 46: Distribución direcciones baterías

8.1.4.2 Mensajes

Desde el encendido de nuestro sistema EMS hasta el apagado del vehículo, los mensajes a compartir con la BMS serán los 3 mostrados a continuación.

Mensaje 1

El mensaje tendrá el siguiente formato:

Priority	R	DP	PDU Format	PS (Destino)	SA (Origen)
6	**0**	**0**	**6**	**CCS**	**BMS**

Tabla 47: Formato mensaje 1 baterías

ID: 0x1806E5F4 **Tasa: 1000 ms**

La información de la parte de datos será la siguiente:

Byte	Información	Resolución
1	Voltaje Máximo Carga (Byte alto)	0.1 V/bit Offset: 0
2	Voltaje Máximo Carga (Byte bajo)	
3	Corriente Máximo Carga (Byte alto)	0.1 A/bit Offset: 0
4	Corriente Máximo Carga (Byte bajo)	
5	Control	0: Cargador comienza a cargar 1: batería protegida, cargador apagado

6	Reservado	-
7	Reservado	-
8	Reservado	-

Tabla 48: Campo de datos del mensaje 1 de baterías

Mensaje 2

El mensaje tendrá el siguiente formato:

Priority	R	DP	PDU Format	PS (Destino)	SA (Origen)
6	**0**	**0**	**0xFF**	**BCA**	**CCS**

Tabla 49: Formato mensaje 2 baterías

ID: 0x18FF50E5 Tasa: 1000 ms

La información de la parte de datos será la siguiente:

Byte	Información	Resolución
1	Voltaje Salida (Byte alto)	0.1 V/bit Offset: 0
2	Voltaje Salida (Byte bajo)	
3	Corriente Salida (Byte alto)	0.1 A/bit Offset: 0
4	Corriente Salida (Byte bajo)	
5	STATUS	Cada bit tiene un significado *
6	Reservado	-
7	Reservado	-
8	Reservado	-

Tabla 50: Campo datos mensaje 2 de baterías

STATUS	Identifier	Description
Bit 0	Fallo Hardware	0: Normal 1: Fallo Hardware
Bit 1	Temperatura Cargador	0: Normal 1: Protección sobre temperatura cargador
Bit 2	Voltaje de Entrada	0: Voltaje de entrada es normal 1: Voltaje de entrada es incorrecto, cargador deja de funcionar
Bit 3	Estado Inicio	0: Cargador detecta el voltaje de la batería e introduce el estado inicial 1: Estatus de cierre
Bit 4	Estado Comunicación	0: Comunicación Normal 1: Recepción de la comunicación fuera de tiempo
Bit 5	Reservado	-
Bit 6	Reservado	-
Bit 7	Reservado	-

Tabla 51: Byte STATUS del campo de datos del mensaje 2 de baterías

Mensaje 3

El mensaje tendrá el siguiente formato:

Priority	R	DP	PDU Format	PS (Destino)	SA (Origen)
6	**0**	**0**	**0xC0**	**Motor & Controller**	**BMS**

Tabla 52: Formato mensaje 3 baterías

ID: 0x18C0EFF4 **Tasa: 1000 ms**

La información de la parte de datos será la siguiente:

Byte	Información	Resolución
1	Voltaje Total	Resolución: 1 V/bit

2		Offset: 0 Rango: 0~1000V
3	Corriente Total	Resolución: 0.1A/bit Offset: 0 Rango: -350~350A Bit superior: 0 (descarga), 1 (carga)
4		
5	Temperatura Máxima Batería	Resolución: 1 ºC/bit Offset: -40ºC Rango: -40ºC~210º
6	**Battery SOC**	**Resolución: 1%** **Offset: 0** **Rango: 0%~105%**
7	**Status**	**-**
8	Reservado	-

Tabla 53: Campo de datos del mensaje 3 de baterías

STATUS	Valor	Physical Description
Bit 0	0-1 (0: normal, 1: anormal)	Voltaje de 1 celda demasiado alto
Bit 1	0-1	Voltaje de 1 celda demasiado bajo
Bit 2	0-1	Pico de descarga de corriente demasiado alto
Bit 3	0-1	Temperatura límite sobrepasada
Bit 4	0-1	Error en nodo (comunicación)
Bit 5	0-1	Reservado
Bit 6	0-1	Reservado
Bit 7	0-1	Reservado

Tabla 54: Byte STATUS del campo de datos del mensaje 3 de baterías

8.1.5 Motor, generador y sistema de arranque

En este apartado se define cómo se realizará la comunicación entre el subsistema formado por el motor de combustión interna (Engine), el generador, el sistema de arranque y la EMS en términos de protocolo de comunicación, mensajes compartidos y parámetros necesarios.
Cabe destacar que toda la comunicación con el *Engine* irá sobre el protocolo J1939 (que a su vez va sobre CAN), los mensajes compartidos con el generador sobre CAN y los comandos para arrancar y cambiar el punto de funcionamiento del motor (sistema de arranque) irán físicamente sobre un puerto serie RS-485.

8.1.5.1 Protocolo de comunicación

Introducción
Los protocolos de comunicación, como describimos en el párrafo anterior, serán:

- J1939 Un estándar de la SAE que va sobre CAN 2.0B.
- RS485

Durante toda la comunicación en J1939 la dirección tomada por la ECU del motor será la 00, no cambiando ésta durante el proceso de arbitraje que se lleva a cabo a la hora de establecer este tipo de comunicaciones. De este modo, si se recibe un mensaje que controle la funcionalidad del motor, solo responderá en caso de que éste tenga como dirección de destino la 00.

La tasa será, como está definida en el estándar, de 250 Kbit/s.

En la comunicación con el Generador se utilizará también una tasa de 250Kbps y no existe dirección alguna bajo CAN Bus.

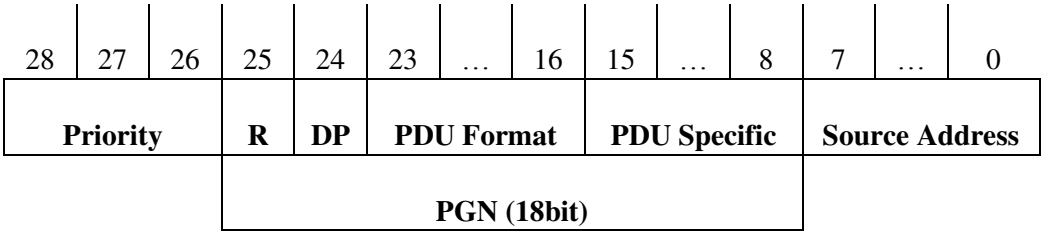
En el caso de RS485 la tasa será de 38400bps y la dirección utilizada por la ADAM-4069 será de valor 00.

Formato de Mensajes J1939

El sistema gestor de energía (EMS) debe comunicarse con el motor con el objetivo, tanto de poder monitorizarlo, como de poder actuar sobre él.

El fabricante del motor implementa los mensajes de la forma que define el estándar descrito, que consiste en lo siguiente:

29bits (CAN2.0B – J1939)



Dónde:

→ Prioridad: son 3 bits con lo que puede haber 8 prioridades. El valor 7 indica la menor prioridad posible, 0 la mayor.

→ R (Reservado), DP (Data Page): ambos 0 por ahora.

→ PGN (Parameter Group Number): es el número que representa al grupo de parámetros que contiene. Cada uno de estos parámetros contenidos posee a su vez un SPN (Suspect Parameter Number).

→ PDU Specific (PS): es el objetivo / destino (forma parte del PGN y deberá ser 00 en los mensajes enviados a la ECU del motor).

→ Source Address (SA): es la dirección de origen del mensaje (00 en caso de mensaje enviado por la ECU del motor).

Los mensajes serán enviados por el motor siempre en modo broadcasting (difusión, a todas las direcciones) existiendo 2 tipos de mensajes, los periódicos, y los enviados bajo demanda.

Existirán también los correspondientes mensajes de actuación que enviará la EMS a la ECU del motor.

Formato de Mensajes CAN

Los mensajes a compartir con el generador seguirán la forma típica de los mensajes CAN. En principio podremos trabajar con identificadores de 11 ó 29 bits, aunque por simplicidad se utilizará CAN2.0A.

Así pues, contarán con un identificador de 11 bits seguido de 8 bytes de datos.

Formato de Mensajes RS485

Los mensajes compartidos con el sistema de arranque seguirán el estándar definido para la familia de módulos ADAM-4000 que consiste en mandar cadenas de caracteres reconocibles por el dispositivo utilizado a través de la interfaz serie RS485.

Los mensajes seguirán los siguientes formatos según su objetivo (los detalles del significado de cada parámetro serán descritos en el siguiente apartado – en negrita los más importantes):

Command Syntax	Description
%AANNTTCCFF	**Sets the address, input range, baud rate, and/or checksum status to a digital I/O module**
$AA6	Returns the values of digital I/O channels of the addressed module

#AABB(data)	**Writes specified values to either a single channel or all channels simultaneously**
$AA2	Returns the configuration parameters for the specified digital I/O module
$AA5	Indicates whether a specified digital I/O module was reset after the last time the $AA5 command was issued
$AAF	Return firmware version code from the specified digital I/O module
$AAM	Return the module name from the specified digital I/O module
$AAX0TTTTDDDD	Force the DO channels to safety status when communication is time-out and over pre-defined period.
$AAX1	Read the time-out setting and pre-defined safety status of DO channels.
$AAP	The command requests the module at address AA to return the low power status of module
$AAS	The command requests the module at address AA to set and return the low power mode of module

Tabla 55: Formato de mensajes RS485

8.1.5.2 Mensajes

Desde el encendido de nuestro sistema EMS hasta el apagado del vehículo, los mensajes a compartir con el motor de combustión interna son muchos. No obstante, en este documento nos limitaremos a exponer los necesarios para nuestro propósito.

Mensajes EMS→ENGINE

Torque Speed Control – TSC1

Este mensaje permitiría a la EMS requerir o limitar la velocidad del motor.

El tiempo de respuesta de la ECU a este mensaje está en torno a 52ms.

Si no existe ningún error activo, este mensaje tendrá la prioridad más alta en el bus J1939 en el que se encuentre.

Su formato es el siguiente:

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
0C 00 00 xx	10	000000	3	0	0	See notes	00

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
	X	Override Control Mode (spn 695)	1	1	2						
	X	Override Disabled				00					
	X	Speed Control				01					
		Torque Control				10					
	X	Speed/Torque Limit Control				11					
		Requested Speed Control Conditions (spn 696)		3	2						
	X	Override Control Mode Priority (spn 897)		5	2						A
	X	Highest Priority				00					A
	X	High Priority				01					A
	X	Medium Priority				10					A
	X	Low Priority				11					A
		Not Defined		7.8							
	X	Requested Speed/Speed Limit (spn 898)	2	1	16		Rpm	0.125	0	8032	
	X	Requested Torque/Torque Limit	4	1	8		%	1	-125	+125	B

Tabla 56: Formato mensaje Torque Speed Control – TSC1

Parámetros:

Todos los bits no definidos irán a ‘1’ lógico, ‘F’ en caso de bytes completos.

Override Control Mode (spn 695): define el tipo de orden que será usada.

00 - Override disabled.
01 - Speed control - Govern speed to the included “desired speed” value.
10 - Torque control - Control torque to the included “desired torque” value.
11 - Speed/torque limit control - Limit speed and/or torque to limit values.

Requested Speed Control Conditions (spn 696): especifica el tipo de control realizado durante el control de velocidad.

00* - Transient Optimized for driveline disengaged and non-lockup conditions
01* - Stability Optimized for driveline disengaged and non-lockup conditions
10 - Stability Optimized for driveline engaged and/or in lockup condition 1
11 - Stability Optimized for driveline engaged and/or in lockup condition 2

*00b - This speed governor gain selection is adjusted to provide **rapid transition between speed setpoints**. RPM overshoot and undershoot may be greater than what is seen when the “speed control characteristic” is set to be stability optimized.*

*01b - This control condition has been optimized to **minimize rpm overshoot and undershoot** given an expected plant consisting of the engine and its accessory loads. This characteristic is most appropriate when no driveline is connected.*

Override Control Mode Priority (spn 897): indica la prioridad del parámetro spn 695 enviado en este mismo mensaje.

00 - Highest Priority - Used for situations that require immediate action by the receiving device in order to provide safe vehicle operation (i.e., braking systems). This level of priority should only be used in safety critical conditions.

01 - High Priority - Used for control situations that require prompt action in order to provide safe vehicle operation. An example is when the transmission is performing a shift and requires control of the engine in order to control driveline reengagement.

10 - Medium Priority - Used for powertrain control operations which are related to assuring that the vehicle is in a stable operating condition. An example is when the traction control system is commanding the engine in order to achieve traction stability.

11 - Low Priority - Used to indicate that the associated command desires powertrain control but is needed for function which improves the driver comfort which may be overridden by other devices. An example is cruise control or the noncritical part of a transmission shift to a new gear.

Request Speed/Speed Limit (spn 898): es la velocidad a la que se espera el motor si está activo el modo de control de la velocidad o el límite que no debe superarse en caso de que esté activo el límite de la misma.

Resolution: 0.125 rpm/bit, 0 offset Data Range: 0 to 8,031.875 rpm

Requested Torque/Torque Limit (spn 518): es el par de salida al que deseamos limitar/controlar el motor.

Resolution:	1 %/bit
Offset:	-125 %
Data Range:	-125 to 125 %
Operational Range:	0 to 125% engine torque requests, 125% to 0% for retarder torque requests

Request PGN

Mensaje utilizado para solicitar al motor el envío de un mensaje concreto (pgn) que solo es enviado bajo demanda (on request).

En principio no nos sería necesario, pero es interesante implementarlo por si, más adelante, necesitamos algún parámetro que no podamos capturar de forma periódica.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
18EA00xx	—	EA00	6	0	0	—	00

Tabla 57: Formato mensaje Request PGN

El PGN solicitado iría (según el documento SAE J1939-21) en los 3 primeros bytes del mensaje, teniendo éste una longitud (DLC) igual a 3.

Por ejemplo, para solicitar el mensaje sobre consumo de combustible total, al ser del tipo "On Request", habría que enviar este mensaje y en sus 3 primeros bytes de datos escribir 00FEE9.

Mensajes ENGINE →EMS

Shutdown

Este mensaje expresa el estado del precalentamiento previo al encendido del motor. Será necesario esperar hasta que se indique que puede realizarse el arranque.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
18 FE E4 00	1000	FEE4	6	0	0	00	—

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
		Idle Shutdown Has Shut Down Engine	1	1	2						
		Idle Shutdown Driver Alert Mode		3	2						
		Idle Shutdown Timer Override		5	2						
		Idle Shutdown Timer State		7	2						
		Idle Shutdown Timer Function		7	2						
		A/C High Pressure Fan Switch	3	1	2						
		Refrigerant Low Pressure Switch		3	2						
		Refrigerant High Pressure Switch		5	2						
X		Wait-to-Start Lamp (spn 1081)	4	1	2						
X		Off				00					
X		On				01					
		Engine Protection System Has Shut Down Engine	5	1	2						
		Engine Protection System Approaching Shutdown		3	2						
		Engine Protection System Timer Override		5	2						
		Engine Protection System Timer State		7	2						
		Engine Protection System Configuration		7	2						

Tabla 58: Formato mensaje Shutdown

Parámetros de interés:

Todos los bits no definidos irán a '1' lógico, 'F' en caso de bytes completos. El único parámetro que nos interesará observar será el siguiente.

Wait-to-Start-Lamp (spn 1081): indica que el motor está frío para arrancar y el conductor debe esperar hasta que la señal se vuelva inactiva (off).

00 – Off => Entonces podrá arrancar
01 – On => El conductor debe esperar
10 – Error
11 – Not available

Electronic Engine Controller 1 – EEC1

Incluye los valores de rpm y par actual del motor (en porcentaje) y es enviado de forma periódica cada 20ms.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
0C F0 04 00	20 A	00F004	3	0	0	00	—

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
		Engine Torque Mode	1	1	4						
		Drivers Demand Engine — Percent Torque	2	1	8		%	1			
X		Actual Engine — Percent Torque	3	1	8		%	1			
X		Engine Speed	4	1	16		rpm	.125			B
		Source Address of Controlling Device for Engine Control	6	1	8		None	1	0	253	
		Engine Starter Mode	7	1	4						

Tabla 59: Formato mensaje Electronic Engine Controller 1 – EEC1

Parámetros de interés:

Todos los bits no definidos irán a '1' lógico, 'F' en caso de bytes completos.

Actual Engine – Percent Torque: par actual del motor

Resolution: 1%
Offset: 0
Data/Operational Range: 0 – 100%

Engine speed: velocidad actual del motor

Resolution: 0.125 rpm
Offset: 0
Data/Operational Range: 0 to 8,031.875 rpm

Engine Temperatura – ET1

Contiene (entre otros) el valor de la temperatura del aceite del motor.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
18 FE EE 00	1000	FEEE	6	0	0	00	—

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
X		Engine Coolant Temperature (spn 110)	1	1	8		deg C	1	-40	210	
		Fuel Temperature	2	1	8		deg C	1	-40	210	
		Engine Oil Temperature	3	1	16		deg C	.03125	-273	1735	
		Turbo Oil Temperature	5	1	16		deg C	.03125	-273	1735	
		Engine Intercooler Temperature	7	1	8		deg C	1	-40	210	
		Engine Intercooler Thermostat Opening	8	1	8		%	.4	0	100	

Tabla 60: Formato mensaje Engine Temperature – ET1

Parámetros de interés:

Todos los bits no definidos irán a '1' lógico, 'F' en caso de bytes completos. El único parámetro que nos interesará observar será el siguiente.

Engine Oil Temperature (spn 175): temperatura del aceite del motor

Resolution: 0.03125 deg C/bit
Offset: -273 deg C
Data/Operational Range: -273 to 1734.96875 deg C

Engine Fluid Level/Pressure – EFL/P1

Entre otros parámetros de interés, contiene el nivel de aceite en porcentaje:

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
18 FE EF 00	500	FEEF	6	0	0	00	—

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
		Fuel Delivery Pressure	1	1	8		KPA	4	0	1000	
		Extended Crankcase Blow-by Pressure	2								
		Engine Oil Level	3	1	8		%	.4	0	100	
X		Engine Oil Pressure (spn 100)	4	1	8		KPA	4	0	1000	
		Crankcase Pressure	5	1	16						
		Coolant Pressure	7	1	8		KPA	2	0	500	
		Coolant Level	8	1	8		%	.4	0	100	

Tabla 61: Formato mensaje Engine Fluid Level/Pressure – EFL/P1

Parámetros de interés:

Todos los bits no definidos irán a '1' lógico, 'F' en caso de bytes completos. El único parámetro que nos interesará observar será el siguiente.

Engine Oil Level (spn 98): nivel de aceite en porcentaje.

Resolution: 0.4 %/bit
Offset: 0
Data/Operational Range: 0 to 100 %

Fuel Economy - LFE

En este mensaje se nos informa del consumo instantáneo de combustible del vehículo.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
18 FE F200	100	FEF2	6	0	0	00	—

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
X		Fuel Rate (spn 183)	1	1	16		L/hr	.05	0	3212	A
		Instantaneous Fuel Economy	3	1	16		km/kg	1/512	0	125.5	
		Average Fuel Economy	5	1	16		km/kg	1/512	0	125.5	
		Throttle Position	7	1	8		%	.4	0	100	

Tabla 62: Formato mensaje Fuel Economy – LFE

Será necesario transformar este dato al comúnmente conocido de litros/100Km. Para ello será necesario conocer la densidad del combustible utilizado.

Parámetros de interés:

Todos los bits no definidos irán a '1' lógico, 'F' en caso de bytes completos. El único parámetro que nos interesará observar será el siguiente.

Instantaneous Fuel Economy (spn 184): consumo instantáneo de combustible.

Resolution: 1/512 km/L per bit
Offset: 0
Data/Operational Range: 0 to 125.5 km/L

Mensaje de combustible disponible

Se tomará como pauta de programación el mensaje existente en el protocolo J1939 con PGN = 65276. Este mensaje es el implementado por el equipo FuelCAN de Murphy.

PGN	65276 ($00FEFC_{16}$)
Message data length	8 bytes
Relevant byte	#2 (fuel level)
Data page	0
PDU format	254
PDU specific	252
Resolution	0.4%/bit gain, 0% offset
Data range	0 to 100%

MENSAJES DE DIAGNÓSTICO (J1939-73)

Active Diagnostic Trouble Codes – DM1

La información proporcionada por DM1 se limit a los códigos de error activos en cada instante. Se enviará cuando un DTC (Diagnostic Trouble Code) se active y una vez por segundo posteriormente.

El mensaje DM1 no es enviado si no hay fallos activos en dicho instante.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
See Note A	See note B	00FECA	6	0	0	00	—

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
		Malfunction Indicator Lamp									A
		Protect Lamp									A
		Stop Lamp									A
		Warning Lamp									A
X		SPN (Suspect Parameter Number)									
X		FMI (Failure Mode Identifier)									
X		Occurrence Count									
X		SPN Conversion Method									

Tabla 63: Mensaje diagnóstico DM1

- ***Niveles de alarma***

A través de las luces, podremos clasificar los DTC en tres niveles denominados WCI (warning category indicators):

WCI	Protect Lamp	Warning Lamp	Shutdown Lamp
1	ON	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF
3	ON	ON	ON

Tabla 64: Estado de luces según DTC

- El nivel 1 será el más liviano (correspondiente, por ejemplo, a temperaturas límite alcanzadas).

- El nivel 3 será el más restrictivo e implicará que es necesario parar el vehículo.

- El nivel 2, un nivel intermedio que represente eventos que puedan provocar una disminución en el rendimiento y vida del motor.

- ***Lista de SPN controlables***

Existen miles de posibles errores de los que informar, se detallará una lista de los más destacables. Los códigos de error del motor estarán relacionados directamente con su SPN (suspect parameter number), que es el parámetro de J1939 encargado de identificar los parámetros y su FMI (encargado de definir el error concreto de dicho parámetro).

La lista de posibles valores es la siguiente:

SPN (11 bits)	FMI (5	Descripción
651	2	Cylinder #1 Injector Erratic, Intermittent, or Incorrect
651	5	Cylinder #1 Injector Current Below Normal
651	6	Cylinder #1 Injector Current Above Normal
651	7	Cylinder #1 Injector Not Responding Properly
652	2	Cylinder #2 Injector Erratic, Intermittent, or Incorrect
652	5	Cylinder #2 Injector Current Below Normal
652	6	Cylinder #2 Injector Current Above Normal
652	7	Cylinder #2 Injector Not Responding Properly
653	2	Cylinder #3 Injector Erratic, Intermittent, or Incorrect
653	5	Cylinder #3 Injector Current Below Normal
653	6	Cylinder #3 Injector Current Above Normal
653	7	Cylinder #3 Injector Not Responding
654	2	Cylinder #4 Injector Erratic, Intermittent, or Incorrect
654	5	Cylinder #4 Injector Current Below Normal
654	6	Cylinder #4 Injector Current Above Normal
654	7	Cylinder #4 Injector Not Responding Properly
655	2	Cylinder #5 Injector Erratic, Intermittent, or Incorrect
655	5	Cylinder #5 Injector Current Below Normal
655	6	Cylinder #5 Injector Current Above Normal
655	7	Cylinder #5 Injector Not Responding Properly
656	2	Cylinder #6 Injector Erratic, Intermittent, or Incorrect
656	5	Cylinder #6 Injector Current Below Normal
656	6	Cylinder #6 Injector Current Above Normal
656	7	Cylinder #6 Injector Not Responding Properly
678	3	8 Volt DC Supply Voltage Above Normal
678	4	8 Volt DC Supply Voltage Below Normal
91	2	Throttle Position Sensor Erratic, Intermittent, or Incorrect
91	3	Throttle Position Sensor Voltage Above Normal
91	4	Throttle Position Sensor Voltage Below Normal
91	8	Throttle Position Sensor Abnormal Frequency, Pulse Width, or Period
100	3	Engine Oil Pressure Sensor Voltage Above Normal
100	4	Engine Oil Pressure Sensor Voltage Below Normal
100	10	Engine Oil Pressure Sensor Abnormal Rate of Change
110	3	Engine Coolant Temperature Sensor Voltage Above Normal

110	4	Engine Coolant Temperature Sensor Voltage Below Normal
168	0	Electrical System Voltage High
168	1	Electrical System Voltage Low
168	2	Electrical System Voltage Erratic, Intermittent, or Incorrect
105	3	Intake Manifold Air Temperature Sensor Voltage Above Normal
105	4	Intake Manifold Air Temperature Sensor Voltage Below Normal
190	8	Engine Speed Sensor Abnormal Frequency, Pulse Width, or Period
631	2	Personality Module Erratic, Intermittent, or Incorrect
637	11	Engine Timing Offset Fault
1079	3	5 Volt Sensor DC Power Supply Voltage Above Normal
1079	4	5 Volt Sensor DC Power Supply Voltage Below Normal
630	2	Programmed Parameter Fault Erratic, Intermittent, or Incorrect
723	8	Secondary Engine Speed Sensor Abnormal Frequency, Pulse Width, or Period
1188	5	Turbo Wastegate Drive Current Below Normal
1188	6	Turbo Wastegate Drive Current Above Normal
1188	7	Turbo Wastegate Drive Not Responding Properly
29	2	Secondary Throttle Position Sensor Erratic, Intermittent, or Incorrect
29	3	Secondary Throttle Position Sensor Voltage Above Normal
29	4	Secondary Throttle Position Sensor Voltage Below Normal
29	8	Secondary Throttle Position Sensor Abnormal Frequency, Pulse Width, or
1196	9	Machine Security System Module Abnormal Update Rate
2882*	2	Engine Operation Mode Selector Switch Erratic, Intermittent, or Incorrect
1347	5	Fuel Rail #1 Pressure Valve Solenoid Current Below Normal
1347	6	Fuel Rail #1 Pressure Valve Solenoid Current Above Normal
102	3	Intake Manifold Pressure Sensor Voltage Above Normal
102	4	Intake Manifold Pressure Sensor Voltage Below Normal
102	10	Intake Manifold Pressure Sensor Abnormal Rate of Change
157	3	Fuel Rail Pressure Sensor Voltage Above Normal
157	4	Fuel Rail Pressure Sensor Voltage Below Normal
158	2	Ignition Keyswitch Loss of Signal
676	6	Glow Plug Start Aid Relay Current Above Normal
107	15	High Air Filter Restriction
173	15	High Exhaust Temperature
97	15	High Fuel/Water Separator Water Level
100	17	Low Oil Pressure — Warning

100	1	Low Oil Pressure — Shutdown
110	15	High Engine Coolant Temperature — Warning
110	16	High Engine Coolant Temperature — Derate
110	0	High Engine Coolant Temperature — Shutdown
190	15	Engine Overspeed
157	0	High Fuel Rail Pressure
157	1	Low Fuel Rail Pressure
105	15	High Intake Manifold Air Temperature — Warning
105	16	High Intake Manifold Air Temperature — Derate
111	1	Low Engine Coolant Level

Tabla 65: Listado de SPN controlables

- ***Más de 1 DTC activo: Protocolo BAM***

En caso de que en 1 cierto instante solo haya activo un DTC, el mensaje se transmitirá con el identificador FECA y los 2 últimos bytes de datos con valor FF.

En caso contrario (más de 1 DTC simultáneamente), el mensaje DM1 deberá ser más largo de 8 bytes, luego será necesario hacer uso del protocolo BAM.

Utilizará primero un mensaje que informe al destino de que su longitud será superior a 8 bytes:

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
1CECFF00	—	EC00	7	0	0	—	—

Tabla 66: Primer mensaje protocolo BAM

Parameter Group Name	Transport Protocol – Connection Management (TP.CM)
Parameter Group Number	60416 ($00EC00_{hex}$)
Definition	Used for Communication Management flow-control (e.g. Broadcast Announce Message).
Transmission Rate	According to the Parameter Group Number to be transferred
Data Length	8 bytes
Extended Data Page (R)	0
Data Page	0
PDU Format	236
PDU Specific	Destination Address (= 255 for broadcast)
Default Priority	7
Data Description	(For Broadcast Announce Message only)
Byte	1 - Control Byte = 32 2,3 – Message Size (Number of bytes) 4 – Total number of packages 5 – Reserved (should be filled with FF_{hex}) 6-8 – Parameter Group Number of the multi-packet message (6=LSB, 8=MSB)

Y, una vez informado:

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
1CEBFF00	See Note A	EB00	7	0	0	—	—

Tabla 67: Mensaje protocolo BAM

Parameter Group Name	Transport Protocol – Data Transfer (TP.DT)
Parameter Group Number	60160 ($00EB00_{hex}$)
Definition	Data Transfer of Multi-Packet Messages
Transmission Rate	According to the Parameter Group Number to be transferred
Data Length	8 bytes
Extended Data Page (R)	0
Data Page	0
PDU Format	235
PDU Specific	Destination Address
Default Priority	7
Data Description	
Byte	1 – Sequence Number (1 to 255) 2-8 - Data

El último mensaje, si requiere menos de los 8 bytes de datos, irá relleno con 0xFF (255).

Diagnostic Data Clear – DM3

Es un mensaje encargado de solicitar el reseteo de todos los DTCs activos previamente.

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
See Note A	On Req	FECC	6	0	0	—	00

Send	Receive	Parameter Name	Byte	Bit	Length	State	Units	Resolution (unit/bit)	Range		Note
									Min	Max	
X		Request to Clear Fault Codes									

Tabla 68: Mensaje diagnóstico DM3

La ECU del motor responderá con un asentimiento (ACK), cuando complete la acción:

Identifier	Rate (msec)	PGN	Default Priority	R1	DP	Source	Destination
18E8xxxx	—	E800	6	0	0	—	—

Tabla 69: Mensaje asentimiento ECU Engine

Mensajes RS485

Los mensajes con el sistema de arranque serán exclusivos en la dirección EMS→Sistema de Arranque. Se recibirán caracteres de confirmación de recepción, pero nada más en sentido inverso.

Mensaje de Configuración

Puede ser necesario en algunos casos configurar ciertos parámetros en el sistema de arranque. Para ello se utilizará el siguiente mensaje:

%AANNTTCCFF

Nombre: Mensaje de configuración
Descripción: Configura la dirección, tasa de baudios y otros parámetros del módulo de entrada/salida.
Sintaxis: %AANNTTCCFF(cr)

% es un carácter delimitador de inicio.

AA (rango 00-FF) representa la dirección hexadecimal que va a ser configurada.

NN representa la nueva dirección del módulo (rango desde 00h hasta FFh).

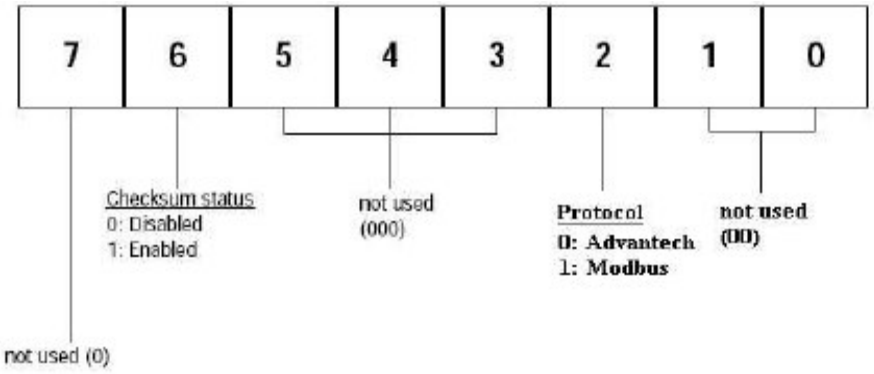
TT representa el tipo de código (siempre valdrá 40 en nuestro caso).

CC representa la tasa de baudios:

Baud Rate Code (Hex)	Baud Rate
03	1200 bps
04	2400 bps
05	4800 bps
06	9600 bps
07	19.2 kbps
08	38.4 kbps
09	57.6 kbps
0A	115.2 kbps

Tabla 70: Representación tasa de baudios

FF es una cifra hexadecimal que equivale a un parámetro de 8 bits que representa el status del checksum y el protocolo:



(cr) es un carácter de finalización, retorno de carro (0Dh).

Respuesta

!AA (cr) si el comando es válido.
?AA(cr) si se ha introducido un parámetro inválido o el terminal INIT* no se ha llevado a tierra habiéndose intentado cambiar la tasa de baudios o parámetros de checksum.

No habrá respuesta si el módulo detecta un error de sintaxis o comunicación o incluso si la dirección especificada no existe.

! es un carácter delimitador que indica la recepción de un comando válido.
? es un carácter delimitador que indica la recepción de un comando inválido.
AA (rango 00-FF) representa la dirección hexadecimal que va a ser configurada.
(cr) es un carácter de finalización, retorno de carro (0Dh).

Cambio de punto de funcionamiento / Arranque

Habrá que activar o desactivar determinadas salidas a relés en función del cambio deseado. Así pues el formato del mensaje a enviar será el siguiente:

#AABB

Nombre: Comando de salida digital de datos

Descripción: Establece la salida digital de uno o todos los canales (relés activos/inactivos) simultáneamente.
Sintaxis: #AABB(data)(cr)

es un carácter delimitador de inicio.

AA (rango 00-FF) dirección hexadecimal a la que va dirigida el comando.

BB es utilizado para indicar si se establecerá el valor de uno o todos los canales. En caso de tratar todos los canales el valor será 00, en caso de tratar solo 1 canal el primer carácter valdrá 1 y el segundo corresponderá a la salida a relé correspondiente (rango entre 0h-Bh).

(data) es el valor en hexadecimal del dato de salida (01 – abrir, 00 – cerrar)

(cr) es un carácter de finalización, retorno de carro (0Dh).

Respuesta

>(cr) si el comando es válido.
?AA(cr) si el comando recibido es inválido.

No habrá respuesta si el módulo detecta un error de sintaxis o comunicación o incluso si la dirección especificada no existe.

> es un carácter delimitador que indica la recepción de un comando válido.
? es un carácter delimitador que indica la recepción de un comando inválido.
AA (rango 00-FF) representa la dirección hexadecimal del módulo.
(cr) es un carácter de finalización, retorno de carro (0Dh).

Este mensaje será el que se utilice para ambas acciones de la siguiente forma:

Power ON / Power OFF: consiste en alimentar la ECU de la ignición del motor (señal 40 del conector J1 del motor, IGNITION KEY). Es básicamente:

Abrir relé 4 → Power ON
Cerrar relé 4 → Power OFF

Esta señal estará activa siempre, solo se desactivará para parar el motor.

Arranque: teniendo en cuenta el conexionado de nuestro sistema de arranque bastará con:

Abrir relé 5
→ (esperar entre 0.5-1 segundos)
→ Cerrar relé 5

Cambio de pto. Funcionamiento: en función del punto a utilizar, se deberán conmutar las siguientes salidas:

Pto. funcionamiento X (0-16)

→ *Transformar X a binario (4 bits)*
→ *Cerrar relés (0-3) correspondientes a bits con valor 0*

Mensajes Generador

A falta de conocer con mayor detalle la interfaz con el generador, parece lógico suponer que el equipo nos llegará correctamente configurado.

No obstante, los parámetros de configuración de la EEPROM que deberíamos tener prefijados serían:

Address	Name	Format	Description
140	Pre-charge Bypassed	Boolean	0 = Pre-charge is in effect 1 = Pre-charge is bypassed
142	Inverter Run Mode	Boolean	**0 = Torque Mode** 1 = Speed Mode
143	Inverter Command Mode	Boolean	In VSM mode, broadcast messages are still sent out over the CAN lines. In CAN mode, both GUI and CAN interfaces are active and can be used to monitor and modify parameters. Any inputs from the vehicle state machine will be ignored. **0 = CAN Mode** 1 = VSM Mode (Default)
170	Pre-charge Output	Unsigned integer	At the end of the pre-charge process, Pre-charge Output is shut off. This parameter can be used to keep this output on all the time. 0 = Shut off this output at the end of pre-charge process. 1 = Keep the output on at all times after PM100 power up.
141	CAN ID Offset	Unsigned integer	This parameter allows the user to choose their own set of contiguous CAN message identifiers starting with the value in CAN ID Offset. This offset covers a range of 0 – 0x7C0. The default offset is 0x0A0. The default range is 0x0A0 – 0x0CF. This feature is especially useful when there are more than one PM100 controllers on the same CAN network.
144	CAN Extended Message Identifier	Boolean	**0 = Standard CAN Messages** 1 = Extended CAN Messages
171	CAN J1939 Option Active	Boolean	**0 = J1939 formatting is not active** 1 = J1939 formatting is active
145	CAN Term Resistor Present	Boolean	In order to use CAN communication, the CAN bus needs to be terminated with a 120 Ohm resistor. RMS PM100 units are equipped with this resistor which is activated through this parameter. 0 = Term. Resistor not active 1 = Term. Resistor active (Default)
146	CAN Command Message Active	Boolean	RMS CAN requires a ―heartbeat command message to be sent out every 500 milliseconds. In the absence of a regular broadcast of this message, PM100 will assume there is a problem and will flag a fault unless the fault has been deactivated by setting this parameter to 0. 0 = The command message 0xC0 is **not** sent every half a second. **1 = The command message 0xC0 is sent every half a second. (Default)**
147	CAN Bit Rate	Unsigned integer	125 = 125Kbps **250 = 250 Kbps (Default)** 500 = 500 Kbps 1000 = 1Mbps
148	CAN Active Messages Word	Unsigned long integer (32-bits)	Each bit represents a CAN Message broadcast status as follows: 0 = CAN Messages broadcast disabled 1 = CAN Message broadcast enabled (Default) **(*)**

Tabla 71: Parámetros de configuración de la EEPROM

(*) **Ver tabla a continuación.**

Mensajes periódicos (Generador→EMS)

La siguiente tabla muestra los diferentes parámetros que el generador puede enviarnos periódicamente.

Address	Frequency	Content	CAN Active Messages (High Word)	CAN ActiveMessages (Low Word)
0x0A0	10 Hz	Temperatures #1	0x0000	0x0001
0x0A1	10 Hz	Temperatures #2	0x0000	0x0002
0x0A2	10 Hz	Temperatures #3	0x0000	0x0004
0x0A3	100 Hz	Analog Inputs Voltages	0x0000	0x0008
0x0A4	100 Hz	Digital Input Status	0x0000	0x0010
0x0A5	100 Hz	Motor Position Information	0x0000	0x0020
0x0A6	**100 Hz**	**Current Information**	**0x0000**	**0x0040**
0x0A7	**100 Hz**	**Voltage Information**	**0x0000**	**0x0080**
0x0A8	100 Hz	Flux Information	0x0000	0x0100
0x0A9	10 Hz	Internal Voltages	0x0000	0x0200
0x0AA	10 Hz	Internal States	0x0000	0x0400
0x0AB	**10 Hz**	**Fault Codes**	**0x0000**	**0x0800**
0x0AC	100 Hz	Torque & Timer Information	0x0000	0x1000
0x0AD	100 Hz	Modulation Index & Flux Weakening Output Information	0x0000	0x2000

Tabla 72: Mensajes periódicos Generador→EMS

De esta tabla se seleccionarían, poniendo a '1' lógico los bits correspondientes a cada mensaje en el parámetro CAN Active Messages Word, aquellos que se deseasen recibir con la frecuencia definida en la columna correspondiente (donde 1 Hz es equivalente a 1 envío por segundo). Éstos se recibirían con un ID igual a la columna address y un formato diferente para cada uno. De ellos, será interesante analizar los siguientes:

0x0AB – Fault Codes

Byte #	Name	Format	Description
0,1	POST Fault Lo	Internal	Each bit represents a fault
2,3	POST Fault Hi	Internal	Each bit represents a fault
4,5	Run Fault Lo	Internal	Each bit represents a fault
6,7	Run Fault Hi	Internal	Each bit represents a fault

Tabla 73: Mensaje Fault Codes Generador→EMS

Para una descripción más detallada de cada error, puede consultarse el documento PM100 User's Manual.

0x0A6 – Current Information

Byte #	Name	Format	Description
0,1	Phase A Current	Current	The measured value of Phase A current.
2,3	Phase B Current	Current	The measured value of Phase B current
4,5	Phase C Current	Current	The measured value of Phase C current
6,7	DC Bus Current	Current	The calculated DC Bus current.

Tabla 74: Mensaje Current Information Generador→EMS

0x0A7 – Voltage Information

Byte #	Name	Format	Description
0,1	DC Bus Voltage	High Voltage	The actual measured value of the DC bus voltage.
2,3	Output Voltage	High Voltage	The calculated value of the output voltage, in peak line-neutral volts.
4,5	Phase AB Voltage	High Voltage	Measured value of the voltage between Phase A and Phase B
6,7	Phase BC Voltage	High Voltage	Measured value of the voltage between Phase B and Phase C

Tabla 75: Mensaje Voltage Information Generador→EMS

Así pues, con todo esto definido, el mensaje más importante a definir en sentido contrario será el relacionado con la consigna de par.

Mensaje de orden (EMS→Generador)

Con este mensaje podremos imponer un determinado par al generador (o rpm en caso de que funcionásemos en *speed mode*, aunque no utilizaremos este modo).

En principio supondremos que, para desconectar el generador del bus de continua, bastará con dar una consigna de par igual a 0.

CAN ID: 0x0C0

Byte #	Nombre	Formato	Descripción
0,1	Torque Command	Torque	Torque command used when in torque mode.
2,3	Speed Command	Angular Velocity	Speed command used when in speed mode.
4	Direction	Boolean	0 = CW, 1 = CCW as viewed from the shaft end of the motor.
5	Enable	Boolean	0 = inverter off, 1 = inverter on

Tabla 76: Mensaje de orden EMS→Generador

Será necesario reenviar este mensaje cada 500ms o más rápido.

8.2 Anexo B: Clasificación de errores monitorizables

Subsistema	Mensaje asociado	Descripción	Nivel	Tipo	Actuación	Timers
Baterías	**m_CCS_BCA**	Status: Hardware Failure	Warning	Comunicaciones	Se presentaría al usuario y se monitorizaría durante 5 segundos hasta elevarlo a nivel STOP en caso de mantenerse. En caso de activar el nivel stop **se desconectará el convertidor asociado a la batería** quedando ésta inutilizable durante el resto de la ejecución. El vehículo se comportará como un vehículo diésel al uso.	Se establecen 5 segundos como valor más restrictivo de los mostrados en: 0905003\Protocolos de Comunicación\BMS-CAN Protocol Between BMS And Motor Controller
		Status: Charger Temperature	Warning	Temperatura		
		Status: Input Voltage	Warning	Estado de Carga		
		Status: Communication Status	Warning	Comunicaciones		
	m_BMS_Controller	Status: Single voltage is too high	Warning	Estado de Carga		
		Status: Single voltage is too low	Warning	Estado de Carga		
		Status: Peak Discharge Current is too high	Warning	Estado de Carga		
		Status: Over limited temperature	Warning	Temperatura		
		Status: Node error	Warning	Comunicaciones		
Convertidor Baterías	**Warnings 1**	Over Temperature Controller	Malfunction	Temperatura	En caso de Malfunction se presentaría al usuario a través del puesto de conducción. En caso de Warning se presentaría al usuario y se monitorizaría durante 5 segundos hasta elevarlo a nivel STOP en caso de mantenerse. En caso de activar el nivel stop **se desconectará el convertidor del bus de manera SW**.	No hay referencias temporales en el datasheet, luego se tomará un consideración temporal restrictiva de 5 segundos
		Over Temperature IGBT	Malfunction	Temperatura		
		Over Temperature Capacitor	Malfunction	Temperatura		
		Over Temperature Coolant	Malfunction	Temperatura		
		Over Temperature Inductors	Malfunction	Temperatura		
	Faults 1	Over Voltage Bus	Stop	Estado de Carga		
		Over Current Converter	Stop	Estado de Carga		
		Out of Range Bias Voltage	Stop	Estado de Carga		
		Over Voltage Battery	Stop	Estado de Carga		
		Over Temperature Inductors	Warning	Temperatura		
		Over Temperature Coolant	Warning	Temperatura		
		Over Temperature Controller	Warning	Temperatura		
		Over Temperature IGBT	Warning	Temperatura		
		Over Temperature Capacitors	Warning	Temperatura		
		Other Internal Fault	Warning	Comunicaciones		

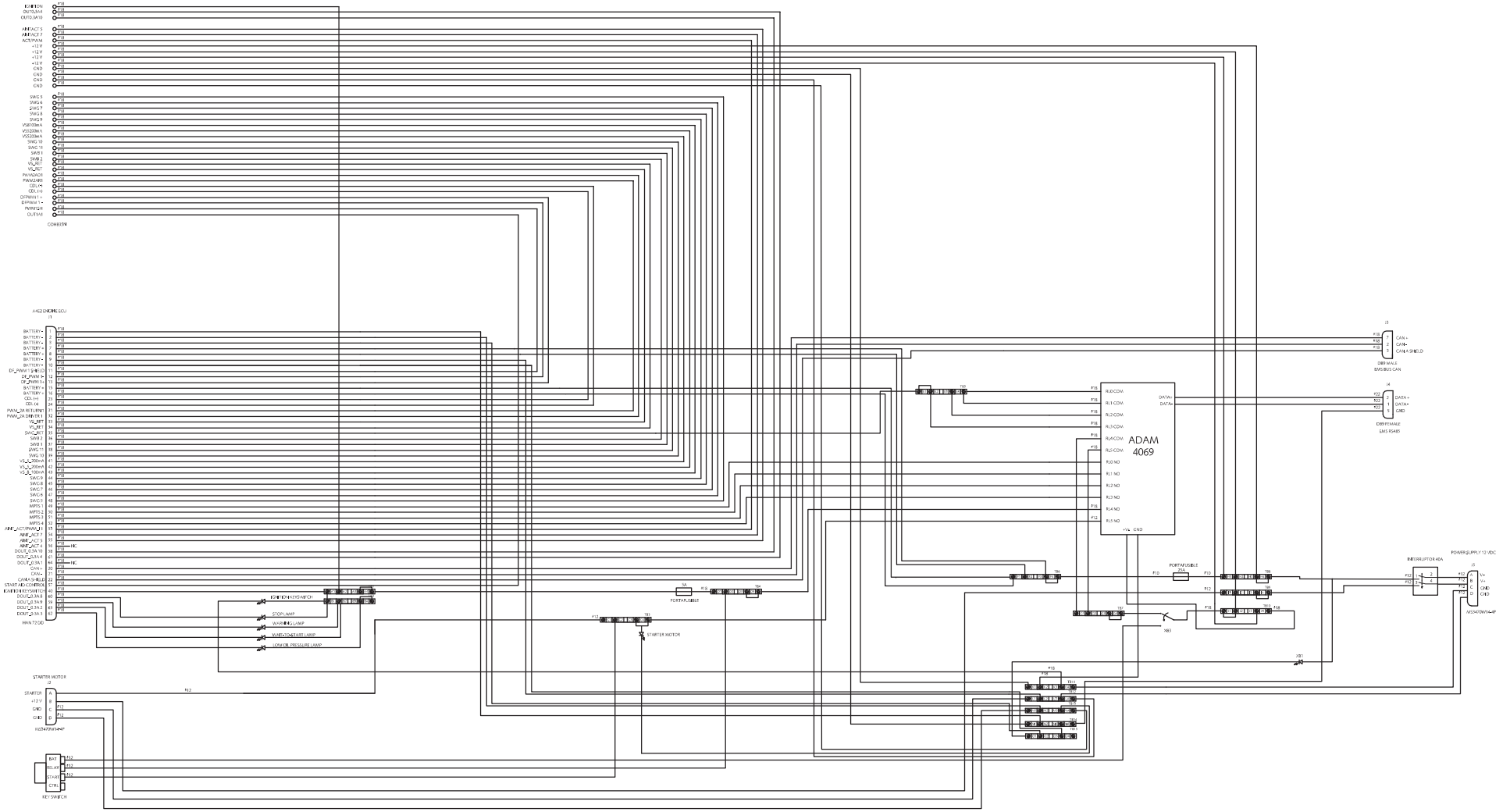
Ucaps	**Cyclic Message 1**	Status 1: Temperature below Low Limit	Malfunction	Temperatura	En caso de Malfunction se presentaría al usuario a través del puesto de conducción. En caso de Warning se presentaría al usuario y se monitorizaría durante 5 segundos hasta elevarlo a nivel STOP en caso de mantenerse. En caso de activar el nivel stop **se desconectará el convertidor asociado a los ultracaps** quedando éstos inutilizable durante el resto de la ejecución.	En el manual asociado se india que no es recomendable funcionar bajo las condiciones establecidas en Status 2. Decidimos usar 5 segundos al suponer consecuencias y comportamientos análogos a las baterías.
		Status 1: Temperature above High Limit	Malfunction	Temperatura		
		Status 1: Full Voltage below Low Limit	Malfunction	Estado de Carga		
		Status 1: Full Voltage above High Limit	Malfunction	Estado de Carga		
		Status 2: Temperature below Minimum Limit	Warning	Temperatura		
		Status 2: Temperature above Maximum Limit	Warning	Temperatura		
		Status 2: Full Voltage above Maximum Limit	Warning	Estado de Carga		
	ErrorMessage	Invalid Command Format	Warning	Comunicaciones		
		Not Implemented Command	Warning	Comunicaciones		
		Invalid Parameter Value	Warning	Comunicaciones		
		Program Validation Failure	Warning	Comunicaciones		
		EeData Validation Failure	Warning	Comunicaciones		
		Command failed	Warning	Comunicaciones		
Convertidor Ucaps	**Warnings 1**	Over Temperature Controller	Malfunction	Temperatura	En caso de Malfunction se presentaría al usuario a través del puesto de conducción. En caso de Warning se presentaría al usuario y se monitorizaría durante 5 segundos hasta elevarlo a nivel STOP en caso de mantenerse. En caso de activar el nivel stop **se desconectará el convertidor del bus de manera SW**.	No hay referencias temporales en el datasheet, luego se tomará un consideración temporal restrictiva de 5 segundos
		Over Temperature IGBT	Malfunction	Temperatura		
		Over Temperature Capacitor	Malfunction	Temperatura		
		Over Temperature Coolant	Malfunction	Temperatura		
		Over Temperature Inductors	Malfunction	Temperatura		
	Faults 1	Over Voltage Bus	Stop	Estado de Carga		
		Over Current Converter	Stop	Estado de Carga		
		Out of Range Bias Voltage	Stop	Estado de Carga		
		Over Voltage Battery	Stop	Estado de Carga		
		Over Temperature Inductors	Warning	Temperatura		
		Over Temperature Coolant	Warning	Temperatura		
		Over Temperature Controller	Warning	Temperatura		
		Over Temperature IGBT	Warning	Temperatura		
		Over Temperature Capacitors	Warning	Temperatura		
		Other Internal Fault	Warning	Comunicaciones		

Motor de combustión	**DM1**	En función del SPN recibido el error será uno u otro de la lista de más de 80 descrita en el diseño del proyecto.	Stop	Según ID	Debido a la falta de capacidad de monitorizar el nivel de alarma se tratarán todas como de nivel máximo. Es decir, se presentará por pantalla y, en consecuencia, **se parará el motor en caso de estar arrancado.** A partir de ese instante, el funcionamiento será análogo al modo Full-Electric.	N/A
Alternador / Generador	**Fault Codes**	POST: 32 errores descritos en el User's Manual RUN: 15 errores descritos en el User's Manual	Stop Stop	Según ID Según ID	No podemos presentarlos por pantalla puesto que el protocolo con el VCS está definido y entregado. Por ello se actuará sin informar al usuario, en caso de warning monitorizando durante X segundos y en caso de stop **parando el motor en caso de estar arrancado.**	N/A
Comunicaciones EMS	**N / A**	Fallo al establecer comunicación CAN0 Fallo al establecer comunicación CAN1 Fallo al establecer comunicación J1939 (CAN1) Fallo al establecer comunicación Serie RS-485	Stop Stop Stop Stop	Comunicaciones Comunicaciones Comunicaciones Comunicaciones	Son errores que pueden ocurrir al comienzo de la ejecución del programa. Se reintentará un máximo de 3 veces antes de **salir de la ejecución del mismo de forma definitiva.**	N/A
		Pérdida comunicación Baterías+Conv Pérdida comunicación UC+Conv Pérdida comunicación Motor+Generador Pérdida comunicación Sistema Arranque	Stop Stop Stop Stop	Comunicaciones Comunicaciones Comunicaciones Comunicaciones	Si se pierde la comunicación con alguna de las partes que forman los subsistemas descritos, **se desconectará/apagará dicho subsistema de forma definitiva**	Se supondrá una comunicación como perdida cuando, una vez correctamente establecidas, pasen más de 3 segundos sin recibirse notificación alguna.
TSCS	**No se han concretado errores entre TSCS y EMS**					

Tabla 77: Errores monitorizables por EMS

8.3 Anexo C: Planos correspondientes al diseño del Subrack de Arranque

Plano eléctrico general - 0905003EL001A-H01.
Plano de mazos 2, 3 y 4 - 0905003EL001A-H02.
Plano de mazo 5 - 0905003EL001A-H03.
Plano de mazo 1 - 0905003EL001A-H04.
Plano de mazo 6 - 0905003EL001A-H05.



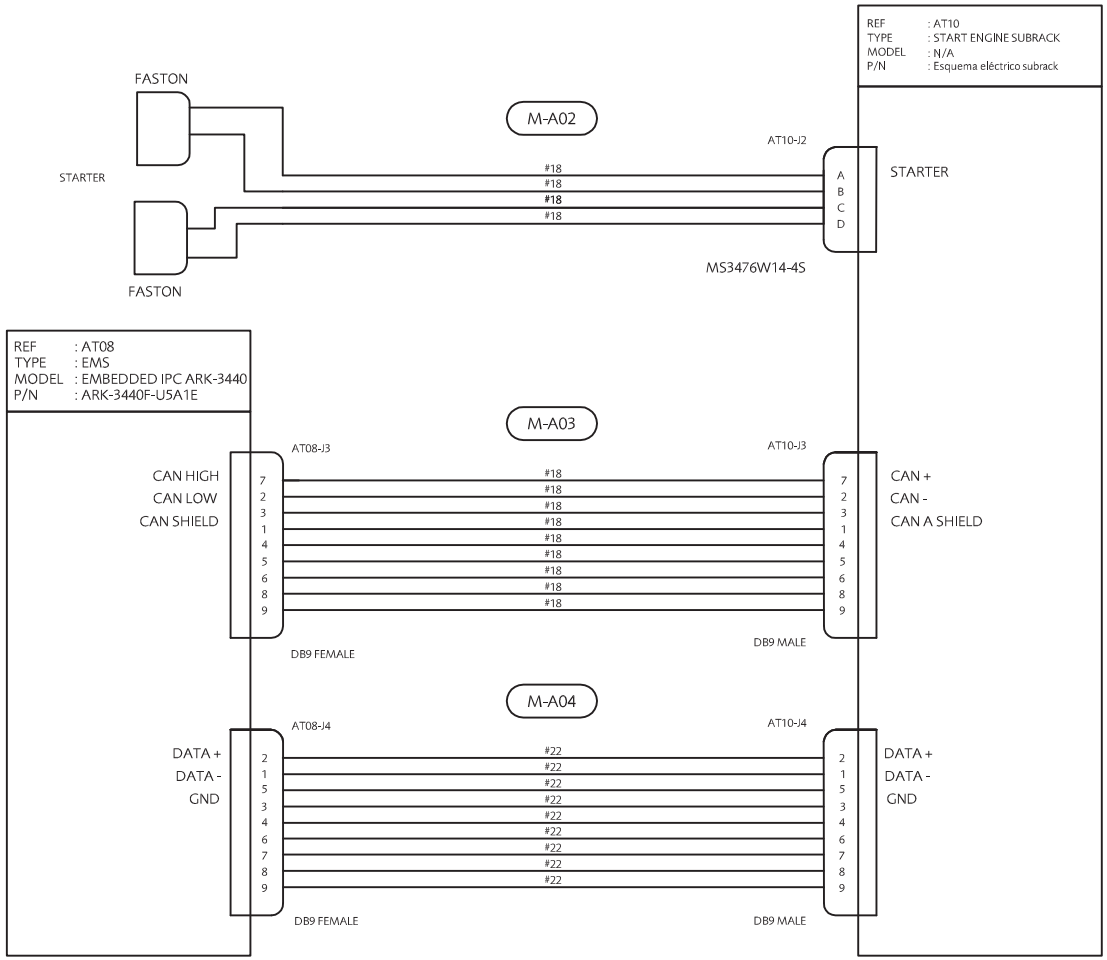
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE MDU-SA
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

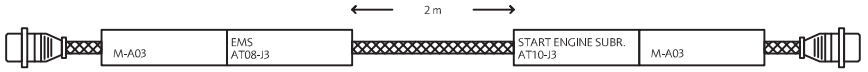
THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF MDU-SA
WHICH RESERVES ALL RIGHTS

FECHA DATE	03/09/2001				
PROYECCION PROYECTION	DIBUJ. DRN		COMP. CHKD		RESIT. STRESS			
	APROB APPD	M. Gutiérrez	VERIF. SYST		PESO WT			A
ESCALA SCALE	COLECC COLLEC	DESIGNACION: TITLE: 0905003EL001A-H01			Nº Nº			INDICE/ISSUE
					Nº DE HOJAS Nº OF SHEETS 5		HOJA SHEET 1	

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
MILIMETROS
MILLIMETER

FORMATO REAL A3





ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE MDU-SA
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF MDU-SA
WHICH RESERVES ALL RIGHTS

FECHA / DATE: 03/09/2011

PROYECCION / PROYECTION

DIBUJ. DRN		COMP. CHKD		RESIT. STRESS		
APROB APPD		VERIF. SYST		PESO WT		

ESCALA / SCALE | COLECC / COLLEC

DESIGNACION: / TITLE: 0905003EL001A-H02

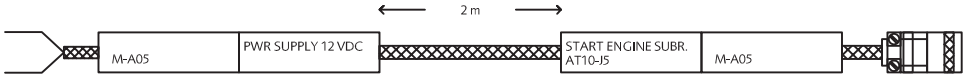
Nº / Nº

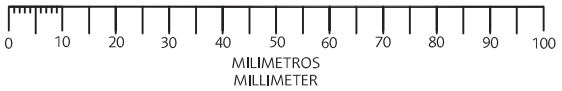
Nº DE HOJAS / Nº OF SHEETS: 5 — HOJA / SHEET: 2

INDICE/ISSUE: A

FORMATO REAL A3

REF	: AT10
TYPE	: START ENGINE SUBRACK
MODEL	: N/A
P/N	: Esquema eléctrico subrack





ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE MDU-SA
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF MDU-SA
WHICH RESERVES ALL RIGHTS

FECHA DATE	03/10/2011						
PROYECCION PROYECTION	DIBUJ. DRN		COMP. CHKD		RESIT. STRESS		
	APROB APPD		VERIF. SYST		PESO WT		
ESCALA SCALE	COLECC COLLEC	DESIGNACION: TITLE: 0905003EL001A-H03			Nº Nº		INDICE/ISSUE A
					Nº DE HOJAS Nº OF SHEETS 5	HOJA SHEET 3	

FORMATO REAL A3

REF	: AT11
TYPE	: ENGINE
MODEL	: N/A
P/N	: CATERPILLAR C6.6

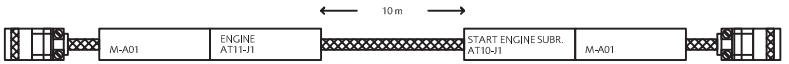
REF	: AT10
TYPE	: START ENGINE SUBRACK
MODEL	: N/A
P/N	: Esquema eléctrico subrack

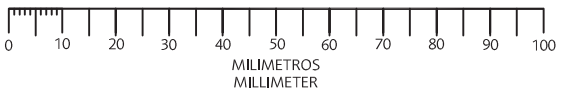
M-A01

EQP-06-J1			AT10-J1	
BATTERY -	1	#18	1	BATTERY -
BATTERY -	2	#18	2	BATTERY -
BATTERY -	3	#18	3	BATTERY -
BATTERY +	7	#18	7	BATTERY +
BATTERY +	8	#18	8	BATTERY +
BATTERY -	9	#18	9	BATTERY -
BATTERY -	10	#18	10	BATTERY -
DF_PWM 1 SHIELD	11	#18	11	DF_PWM 1 SHIELD
DF_PWM 1-	12	#18	12	DF_PWM 1-
DF_PWM 1+	13	#18	13	DF_PWM 1+
BATTERY +	15	#18	15	BATTERY +
BATTERY +	16	#18	16	BATTERY +
CAN +	20	#18	20	CAN +
CAN -	21	#18	21	CAN -
CAN SHIELD	22	#18	22	CAN SHIELD
CDL (+)	23	#18	23	CDL (+)
CDL (-)	24	#18	24	CDL (-)
PWM_2A RETURN 1	31	#18	31	PWM_2A RETURN 1
PWM_2A DRIVER 1	32	#18	32	PWM_2A DRIVER 1
VS_RET	33	#18	33	VS_RET
VS_RET	34	#18	34	VS_RET
SWG_RET	35	#18	35	SWG_RET
SWB 2	36	#18	36	SWB 2
SWB 1	37	#18	37	SWB 1
SWG 11	38	#18	38	SWG 11
SWG 10	39	#18	39	SWG 10
IGNITION KEYSWITCH	40	#18	40	IGNITION KEYSWITCH
VS_5_200mA	41	#18	41	VS_5_200mA
VS_5_200mA	42	#18	42	VS_5_200mA
VS_8_100mA	43	#18	43	VS_8_100mA
SWG 9	44	#18	44	SWG 9
SWG 8	45	#18	45	SWG 8
SWG 7	46	#18	46	SWG 7
SWG 6	47	#18	47	SWG 6
SWG 5	48	#18	48	SWG 5
MPTS 1	49	#18	49	MPTS 1
MPTS 2	50	#18	50	MPTS 2
MPTS 3	51	#18	51	MPTS 3
MPTS 4	52	#18	52	MPTS 4
AINT_ACT/PWM_I1	53	#18	53	AINT_ACT/PWM_I1
AINT_ACT 7	54	#18	54	AINT_ACT 7
AINT_ACT 5	55	#18	55	AINT_ACT 5
AINT_ACT 4	56	#18	56	AINT_ACT 4
START AID CONTROL	57	#18	57	START AID CONTROL
DOUT_0.3A 10	58	#18	58	DOUT_0.3A 10
DOUT_0.3A 9	59	#18	59	DOUT_0.3A 9
DOUT_0.3A 8	60	#18	60	DOUT_0.3A 8
DOUT_0.3A 4	61	#18	61	DOUT_0.3A 4
DOUT_0.3A 3	62	#18	62	DOUT_0.3A 3
DOUT_0.3A 2	63	#18	63	DOUT_0.3A 2
DOUT_0.3A 1	64	#18	64	DOUT_0.3A 1

DELPHI 245-1042

HAN 72 DD





ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE MDU-SA
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF MDU-SA
WHICH RESERVES ALL RIGHTS

FECHA / DATE: 14/11/2011

PROYECCION / PROYECTION

DIBUJ. DRN		COMP. CHKD		RESIT. STRESS			
APROB APPD		VERIF. SYST		PESO WT			

ESCALA / SCALE | COLECC / COLLEC

DESIGNACION: / TITLE: 0905003EL001A-H04

Nº
Nº

Nº DE HOJAS / Nº OF SHEETS: 5
HOJA / SHEET: 4

INDICE/ISSUE: A

FORMATO REAL A3

REF :
TYPE : MESSENGER DISPLAY
MODEL :
P/N :

M-A06

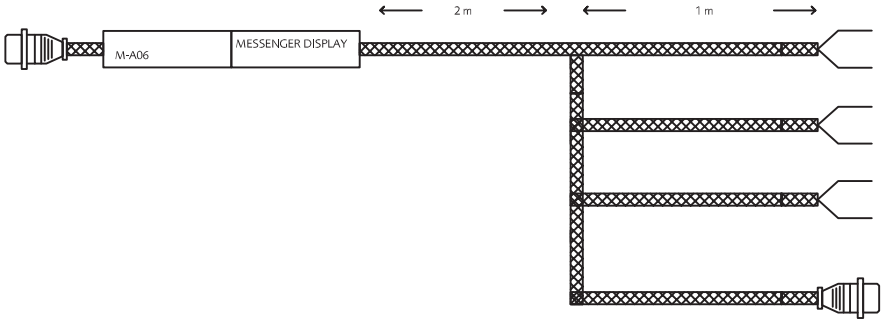
+BATTERY	1	#18
-BATTERY	2	#18
KEYSWITCH	3	#18
J1939+	7	#18
J1939-	8	#18

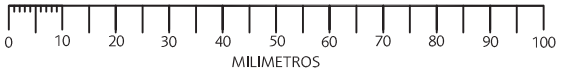
DT0608S

BANANA
BANANA
BANANA

7
2

DB9 MALE





ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE MDU-SA
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF MDU-SA
WHICH RESERVES ALL RIGHTS

FECHA / DATE: 23/10/2011

PROYECCION / PROYECTION

DIBUJ. DRN		COMP. CHKD		RESIT. STRESS	
APROB APPD		VERIF. SYST		PESO WT	

ESCALA / SCALE | COLECC / COLLEC

DESIGNACION / TITLE: 0905003EL001A-H05

Nº
Nº

Nº DE HOJAS / Nº OF SHEETS: 5
HOJA / SHEET: 5

INDICE/ISSUE: A

FORMATO REAL A3