



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Trabajo Fin de Grado

TRACCIÓN ELÉCTRICA. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y REGULACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.

Alumno: Rafael Acién Martínez.

Tutor: Ignacio Jesús Pérez Guerrero.

Departamento: Ingeniería Eléctrica.

Octubre de 2015.



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Don Ignacio Jesús Pérez Guerrero, tutor del Trabajo Fin de Grado titulado: Tracción eléctrica. Estado del arte de los sistemas de control y regulación del vehículo eléctrico, que presenta Rafael Acién Martínez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Octubre de 2015

El alumno:

Fdo.: Rafael Acién Martínez.

El tutor:

Fdo.: Ignacio Jesús Pérez Guerrero.

CONTENIDO.

1	ANTECEDENTES.	1
2	OBJETIVOS.	1
3	ARQUITECTURAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	2
3.1	MICRO HYBRID.	2
3.2	MILD HYBRID.	3
3.3	PHEV-RE.	3
3.4	FULL HYBRID.	4
3.4.1	Full Hybrid con configuración en paralelo.	4
3.4.2	Full Hybrid con configuración en serie.	5
3.4.3	Full Hybrid con configuración serie-paralelo.	6
3.4.4	Comparación de las diferentes configuraciones.	7
4	INGENIERÍA DE CONTROL.	9
4.1	FUNDAMENTOS.	9
4.1.1	Principios del control automático.	9
4.1.2	Sistemas físicos y modelos matemáticos.	10
4.1.3	Sistemas de regulación en bucle abierto y en bucle cerrado.	11
4.2	ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA.	13
4.2.1	Electrónica de potencia.	13
4.2.1.1	Chopper de frenado.	15
4.2.2	Electrónica de control.	15
4.2.2.1	Seguridad intrínseca en la electrónica de control.	16
5	REDES MULTIPLEXADAS.	16
5.1	MODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS.	17
5.1.1	Soportes y vías de transmisión.	17
5.1.1.1	Cable de par trenzado.	18
5.1.1.2	Cable coaxial.	19
5.1.1.3	Fibra óptica.	19
5.1.1.4	Ultrasonidos.	21
5.1.1.5	Infrarrojos.	21
5.1.1.6	Láser infrarrojo.	21
5.1.1.7	Radio frecuencia.	22
5.1.1.8	Microondas.	22
5.2	SISTEMA BINARIO. CODIFICACIÓN DE DATOS.	22

5.2.1	<i>Pasar de base decimal a binaria.</i>	23
5.2.2	<i>Codificación de datos.</i>	23
5.2.3	<i>Trama de información digital.</i>	25
5.3	TOPOLOGÍA DE LAS REDES MULTIPLEXADAS.	26
5.3.1	<i>Tipo bus.</i>	26
5.3.2	<i>Tipo árbol-bus.</i>	26
5.3.3	<i>Tipo bus árbol-estrella.</i>	27
5.4	CLASIFICACIÓN DE LAS REDES MULTIPLEXADAS.	27
5.5	PROTOCOLOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS Y APLICACIONES.	29
5.5.1	<i>CAN (Controller Area Network).</i>	29
5.5.1.1	Introducción.	29
5.5.1.2	Componentes.	30
5.5.1.2.1	Cable bus.	30
5.5.1.2.2	Conector CAN.	31
5.5.1.2.3	Unidad de control.	31
5.5.1.2.4	Módulo CAN.	32
5.5.1.2.5	Transceptor.	32
5.5.1.2.6	Resistencia.	36
5.5.1.3	Principio de intercambio de información.	37
5.5.1.4	Estructura del protocolo CAN.	37
5.5.1.4.1	Campo de comienzo del datagrama.	38
5.5.1.4.2	Campo de comienzo del datagrama.	38
5.5.1.4.3	Campo de control.	39
5.5.1.4.4	Campo de datos.	39
5.5.1.4.5	Campo de aseguramiento.	39
5.5.1.4.6	Campo de confirmación.	39
5.5.1.4.7	Campo de fin del datagrama.	39
5.5.1.5	Funcionamiento.	40
5.5.1.6	Prioridad de los mensajes.	42
5.5.1.7	Interferencias.	43
5.5.1.8	Características.	43
5.5.1.9	Gateway.	44
5.5.1.10	Estándar CAN.	45
5.5.1.10.1	Capa física.	46
5.5.1.10.2	Topología del bus.	46
5.5.1.10.3	Nivel de señal.	46
5.5.1.10.4	Conector CAN.	48
5.5.1.10.5	Resistencia del cable del bus.	49
5.5.1.10.6	Terminación del bus.	50
5.5.1.10.7	Estándar normativa SAE-J1939.	51
5.5.2	<i>LIN (Local interconnect).</i>	51

5.5.3	<i>MOST (Media Oriented Systems Transport Corporation)</i>	52
5.5.4	<i>Aplicaciones.</i>	52
5.5.4.1	Seat Altea.....	52
5.5.4.1.1	Introducción.....	52
5.5.4.1.2	Buses de datos.....	53
5.5.4.1.3	LIN-Bus.....	57
5.5.4.1.3.1	Unidad maestra.....	58
5.5.4.1.3.2	Unidad esclava.....	58
5.5.4.1.3.3	Transmisión de datos.....	59
5.5.4.1.3.4	El mensaje.....	61
5.5.4.1.4	Gateway.....	62
5.5.4.1.4.1	Autodiagnos.	63
5.5.4.1.4.2	Codificación.....	64
5.5.4.2	Seat León.....	64
5.5.4.3	Seat León twin drive.....	65
6	NUEVAS TENDENCIAS.	68
6.1	FLEXRAY.....	68
6.1.1	<i>Introducción.</i>	68
6.1.2	<i>Capa física.</i>	69
6.1.2.1	Arquitectura de un nodo.....	69
6.1.2.2	Topologías de red.....	69
6.1.2.2.1	Linear passive bus.....	69
6.1.2.2.2	Topologías con Active stars.....	71
6.1.2.2.3	Topologías híbridas.....	72
6.1.2.3	Morfología de los datos a nivel físico.....	72
6.1.2.3.1	Datos a nivel eléctrico.....	72
6.1.2.3.2	Datos a nivel lógico.....	73
6.1.2.3.3	Trama física.....	73
6.1.2.3.4	Concepto de bus guardián.....	74
6.1.3	<i>Capa lógica.</i>	74
6.1.3.1	Control de Operaciones del Protocolo (POC).....	74
6.1.3.1.1	Coding and decoding.....	75
6.1.3.1.2	Frame and symbol processing.....	75
6.1.3.1.3	Media acces control.....	75
6.1.4	<i>Tecnologías X-by-wire.</i>	75
6.1.4.1.1	Steer-by-wire.....	76
6.1.4.1.2	Brake-by-wire.....	78
6.1.4.1.3	Speed control system.....	79
6.2	ACUMULADORES.....	80
6.2.1	<i>Batería de sodio cloruro de níquel (ZEBRA).</i>	80

6.2.2	Ultracondensadores.....	81
6.3	TECNOLOGÍA HÍBRIDA EN AUTOBUSES.....	83
7	NORMATIVA LEGAL.....	89
7.1	EN ESPAÑA.....	90
7.1.1	<i>Ley de Propiedad Horizontal.....</i>	<i>91</i>
7.1.2	<i>Real Decreto de Gestores de Carga.....</i>	<i>91</i>
7.1.2.1	Real Decreto Tarifa de acceso supervalle.....	92
7.1.3	<i>Real Decreto de Ayudas directas a la compra.....</i>	<i>93</i>
7.1.4	<i>Real Decreto para implantación de la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT</i>	<i>94</i>
52.		
7.2	EN EUROPA.....	102
7.3	EN EL MUNDO.....	104
8	ESTUDIO DE PRECIOS Y VENTAS.....	105
8.1	PRECIOS.....	106
8.2	VENTAS.....	108
9	ANEXO I. MAGNETISMO.....	111
9.1	INTRODUCCIÓN.....	111
9.2	CIRCUITOS MAGNETICOS.....	111
9.2.1	<i>Leyes de los circuitos magnéticos.....</i>	<i>111</i>
9.2.2	<i>Circuito magnético excitado con corriente alterna (c.a).....</i>	<i>119</i>
9.2.3	<i>Circuito magnético excitado con corriente continua (c.c).....</i>	<i>125</i>
9.2.4	Materiales magnéticos.....	125
9.2.5	Origen de las pérdidas en el hierro.....	126
9.2.5.1	Histéresis magnética.....	126
9.2.5.2	Corrientes de Foucault.....	128
9.2.5.3	Medidas correctoras.....	128
10	ANEXO II. MOTORES ELÉCTRICOS.....	129
10.1	INTRODUCCIÓN.....	129
10.2	COMPONENTES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.....	129
10.2.1	<i>Rotor y estator.....</i>	<i>129</i>
10.2.2	<i>Devanados.....</i>	<i>132</i>
10.2.3	<i>Polos magnéticos.....</i>	<i>132</i>
10.2.4	<i>Colector de delgas y colector de anillos.....</i>	<i>134</i>
10.3	REQUISITOS DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	136
10.4	ENTREGA DE PAR.....	137
10.5	TIPOS DE MOTORES.....	138

10.5.1	<i>Motores asíncronos.</i>	138
10.5.1.1	Aspectos constructivos.	138
10.5.1.2	Principio de funcionamiento.	140
10.5.1.3	Circuito equivalente.	144
10.5.1.4	Balance de potencias.	145
10.5.1.5	Par de rotación.	149
10.5.1.6	Curvas par-velocidad.	154
10.5.1.6.1	Puntos notables.	154
10.5.1.6.2	Punto de funcionamiento.	156
10.5.1.6.3	Efectos de variar la tensión de alimentación.	157
10.5.1.6.4	Introducción de resistencias en serie con el rotor.	158
10.5.1.7	Arranque.	159
10.5.1.7.1	Arranque directo.	160
10.5.1.7.2	Arranque con tensión reducida.	161
10.5.1.7.3	Arranque por introducción de resistencias en serie con el rotor.	162
10.5.1.8	Motores de doble jaula y ranura profunda.	162
10.5.1.8.1	Motores de doble jaula.	163
10.5.1.8.2	Motores de ranura profunda.	165
10.5.1.9	Regulación de velocidad.	165
10.5.1.9.1	Regulación por variación del número de polos.	166
10.5.1.9.2	Regulación por variación del deslizamiento.	167
10.5.1.9.3	Regulación por variación de la frecuencia.	167
10.5.1.10	Modos de funcionamiento.	168
10.5.1.10.1	Motor.	169
10.5.1.10.2	Generador.	170
10.5.1.10.3	Freno.	170
10.5.1.11	Frenado.	170
10.5.1.11.1	Frenado por recuperación de energía (frenado regenerativo).	171
10.5.1.11.2	Frenado por contracorriente.	172
10.5.1.11.3	Frenado por inyección de corriente continua (frenado dinámico).	172
10.5.2	<i>Motores de corriente continua (c.c.).</i>	172
10.5.2.1	Aspectos constructivos.	172
10.5.2.2	Reacción de inducido.	174
10.5.2.3	Conmutación.	176
10.5.2.4	Modos de funcionamiento.	178
10.5.2.4.1	Generador.	178
10.5.2.4.1.1	Generador con excitación independiente.	184
10.5.2.4.1.2	Generador con excitación en derivación.	185
10.5.2.4.1.3	Generador con excitación en serie.	186
10.5.2.4.1.4	Generador con excitación compuesta.	186
10.5.2.4.2	Motor.	187
10.5.2.4.2.1	Motor con excitación en derivación.	189

10.5.2.4.2.2	Motor con excitación serie.	189
10.5.2.4.2.3	Motor con excitación compuesta.	190
10.5.2.4.2.4	Motor con excitación independiente (Sistema Ward-Leonard).	190
10.5.3	<i>Motores síncronos.</i>	191
10.5.3.1	Introducción.	191
10.5.3.2	Aspectos constructivos.	191
10.5.3.3	Modos de funcionamiento.	192
11	ANEXO III. ACUMULACIÓN DE ENERGÍA.	192
11.1	LAS BATERÍAS.	192
11.1.1	<i>Historia y evolución de la batería.</i>	192
11.1.2	<i>Componentes básicos.</i>	194
11.1.2.1	Electrodos.	194
11.1.2.1.1	Electrodo negativo.	195
11.1.2.1.2	Electrodo positivo.	195
11.1.2.2	Electrolito.	196
11.1.2.3	Separadores.	196
11.1.3	<i>Clasificación de las baterías.</i>	197
11.1.3.1	Baterías primarias y secundarias.	197
11.1.3.2	Clasificación de acuerdo al tamaño.	198
11.1.4	<i>Parámetros característicos de una batería.</i>	199
11.1.5	<i>Sobrecarga.</i>	201
11.1.6	<i>Descarga profunda.</i>	202
11.1.7	<i>Autodescarga.</i>	203
11.1.8	<i>Carga de las baterías.</i>	203
11.1.8.1	Carga a tensión constante.	203
11.1.8.2	Carga a intensidad y tensión constantes.	204
11.1.8.3	Carga a intensidad constante.	204
11.1.9	<i>Carga con tensión creciente.</i>	205
11.1.10	<i>MANTENIMIENTO DE LAS BATERÍAS.</i>	205
11.1.10.1	Mantenimiento preventivo.	205
11.1.10.2	Mantenimiento correctivo.	206
11.1.11	<i>BATERÍAS UTILIZADAS EN TRACCIÓN.</i>	206
11.1.11.1	Plomo-ácido (Pb-ácido).	207
11.1.11.2	Níquel-cadmio (Ni-Cd).	207
11.1.11.3	Níquel-hidruro metálico (Ni-mh).	207
11.1.11.4	Ión-litio (Li-ion).	208
11.2	CONDENSADORES.	208
11.2.1	<i>Introducción.</i>	208
11.2.2	<i>Características.</i>	210
11.2.2.1	Capacidad.	210

11.2.2.2	Energía.	211
11.2.2.3	Coeficiente de temperatura.	211
11.2.2.4	Corriente de fuga.	211
11.2.2.5	Rigidez dieléctrica.	212
11.2.2.6	Tensión en los condensadores.	212
11.2.3	<i>Influencia de la tensión en el condensador.</i>	213
11.2.3.1	Tensión continua.	213
11.2.3.2	Tensión alterna.	215
11.2.4	<i>Acoplamientos.</i>	215
12	ANEXO IV. ÍNDICES DE ILUSTRACIONES, TABLAS Y ECUACIONES.	217
12.1	ILUSTRACIONES.	217
12.1.1	<i>Documento.</i>	217
12.1.2	<i>Anexo I.</i>	219
12.1.3	<i>Anexo II.</i>	220
12.1.4	<i>Anexo III.</i>	221
12.2	TABLAS.	221
12.2.1	<i>Documento.</i>	221
12.2.2	<i>Anexo I.</i>	221
12.2.3	<i>Anexo III.</i>	221
12.3	ECUACIONES.	221
12.3.1	<i>Documento.</i>	221
12.3.2	<i>Anexo I.</i>	222
12.3.3	<i>Anexo II.</i>	223
12.3.4	<i>Anexo III.</i>	224
13	BIBLIOGRAFÍA.	225

1 ANTECEDENTES.

El vehículo eléctrico parece una innovación, pero no es así, ya que éste y el de combustión fueron inventados en paralelo, lo que ocurrió fue que el vehículo de combustión se antepuso al eléctrico por intereses económicos derivados del petróleo, impidiendo la evolución del eléctrico, en las últimas décadas, debido al cambio climático y a que el petróleo, como fuente de energía no renovable que es, se está agotando, actualmente las tecnologías están evolucionando hasta el vehículo eléctrico. Cada vez son más las marcas de vehículos que utilizan la tecnología híbrida en sus vehículos, con el fin de ahorrar combustible, o incluso existen marcas que ya emplean el motor eléctrico como único elemento para aportar propulsión a sus vehículos.

Sea cual sea la arquitectura del vehículo y los elementos que se instalen en el mismo para que éste sea más eficiente, es necesaria la utilización de sistemas de regulación y control dentro del mismo.

2 OBJETIVOS.

El presente trabajo tiene como objetivos: explicar las distintas arquitecturas del vehículo, así como los sistemas de control y regulación instalados en el mismo, además, dar a conocer las nuevas tendencias en lo que a control y regulación se refiere.

3 ARQUITECTURAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Atendiendo a su definición, un vehículo eléctrico, es todo aquél capaz de avanzar utilizando únicamente un motor eléctrico. Pero esta conversión de energía eléctrica a mecánica no es tan sencilla, debido a su principal problema, las baterías, que es el elemento del cual depende la autonomía del mismo, de modo que son muchas las configuraciones híbridas que actualmente se están empleando, proporcionando una alternativa al empleo de vehículos propulsados únicamente por energías fósiles y, por consiguiente, un paso importante hacia la electrificación de la movilidad.

El funcionamiento de un vehículo híbrido se basa en la combinación de dos tipos de motores, uno eléctrico y otro convencional o de combustión interna, a través de un sofisticado sistema de control híbrido y de un conjunto de baterías.

La principal ventaja de los vehículos híbridos, es que combinan la propulsión de un motor de combustión interna, que está trabajando en su área de mayor eficiencia, y la de un motor eléctrico, alimentado por el conjunto de baterías, además, este último motor tiene la capacidad para recuperar la energía en las frenadas, gracias al frenado regenerativo.

Existen diversos tipos y configuraciones de vehículos híbridos según el grado de aportación del motor eléctrico a la tracción:

3.1 MICRO HYBRID.

En este tipo de configuración el motor eléctrico, no contribuye directamente a la tracción del vehículo, la peculiaridad de esta configuración es que emplea el sistema Start/Stop, que permite la detención del motor de combustión interna cuando el vehículo no está en movimiento, como puede ser el caso de un

semáforo en rojo. El motor eléctrico actúa de arrancador del de combustión, por esta razón, tanto el motor eléctrico y el sistema eléctrico han de estar perfectamente diseñados, pues han de soportar grandes ciclos de arranques, sobretodo en ciudades, además, el motor eléctrico es el que recarga las baterías gracias al frenado regenerativo.

3.2 MILD HYBRID.

En este tipo de configuración, el motor eléctrico participa en la tracción del vehículo, aunque no de forma significativa, ya que su función es la de producir energía eléctrica en cada frenada, almacenarla y utilizarla para ayudar al motor de combustión en aceleraciones o pendientes, evitando así grandes consumos de combustible.

3.3 PHEV-RE.

Realmente es un vehículo eléctrico pero introduce una nueva mejora, que es la de utilizar un pequeño motor térmico para paliar los problemas de autonomía, este motor es tan reducido que carga las baterías a un ritmo menor de lo que éstas se descargan.

La marca Audi, con su modelo A1 e-tron, fue la primera marca en aplicar esta tecnología.

3.4 FULL HYBRID.

Es la configuración que da nombre al vehículo híbrido que puede llegar a moverse empleando la tracción eléctrica, pero necesita al motor de combustión para paliar el problema de la autonomía.

Existen diferentes configuraciones:

3.4.1 Full Hybrid con configuración en paralelo.

Tal y como ocurre con la configuración mild hybrid, tanto el motor de combustión interna como el eléctrico están situados en el mismo eje, en el que se suman los pares producidos por ambos motores, la diferencia, es que en esta configuración el motor eléctrico tiene más importancia, pues no solo sirve como soporte de potencia al de combustión en aceleraciones, pendientes, o cualquier otra circunstancia en la que se precise de una mayor potencia sino que el vehículo es capaz de circular únicamente con el motor eléctrico.

Además, cuando el vehículo es propulsado únicamente por el de combustión interna (el nivel de las baterías está por debajo de un límite), al estar el motor eléctrico acoplado al mismo eje, se aprovecha el movimiento de este último para que el motor actúe como generador y así recargar las baterías.

Salvo el caso del límite de las baterías o necesidad de más potencia, es el conductor el que decide con que motor quiere circular o incluso con los dos a la vez.

En la siguiente ilustración se puede observar el esquema de este tipo de configuración:

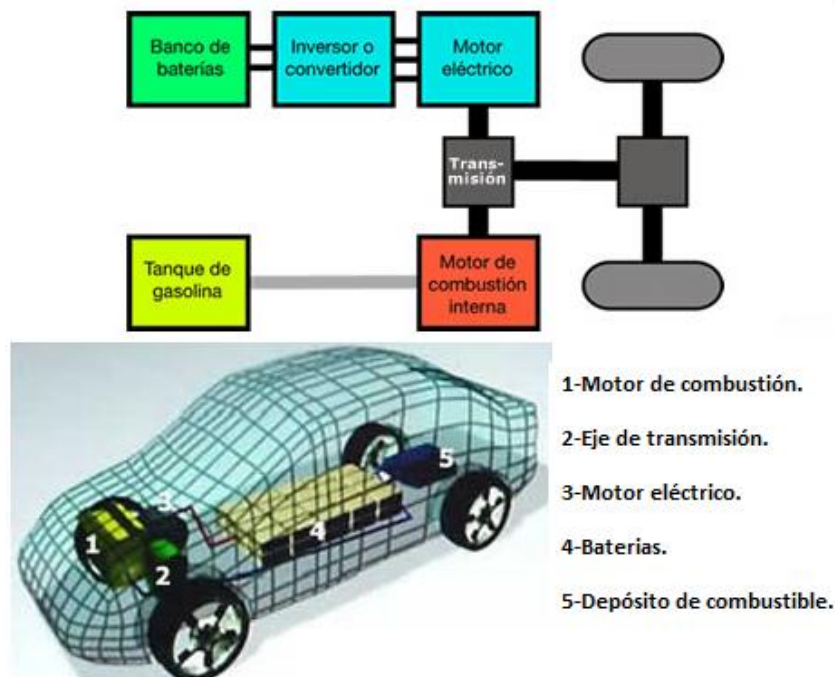


Ilustración 1. Configuración de un vehículo híbrido en paralelo.

3.4.2 Full Hybrid con configuración en serie.

En este caso la tracción del vehículo es puramente eléctrica, pues es el motor eléctrico el único encargado de mover el vehículo, desapareciendo por tanto la caja de cambios y el embrague. La energía mecánica desarrollada por el motor de combustión es empleada para producir energía eléctrica, gracias al generador que tiene acoplado, esta energía eléctrica es almacenada en las baterías o derivada al motor eléctrico. El motor de combustión actúa únicamente cuando el nivel de las baterías está por debajo de un límite, así que el conductor no tiene poder de decisión en este aspecto.

En esta configuración a las baterías no se les exige una alta capacidad, pues en caso de falta de energía eléctrica en las mismas, es generador, que impulsado por el motor de combustión, el que proporciona la energía necesaria,

lo que si se les exige es que tengan una alta densidad de corriente, pues deben ser capaces de absorber toda la energía proveniente de las frenadas.

La siguiente ilustración muestra el esquema de esta configuración:

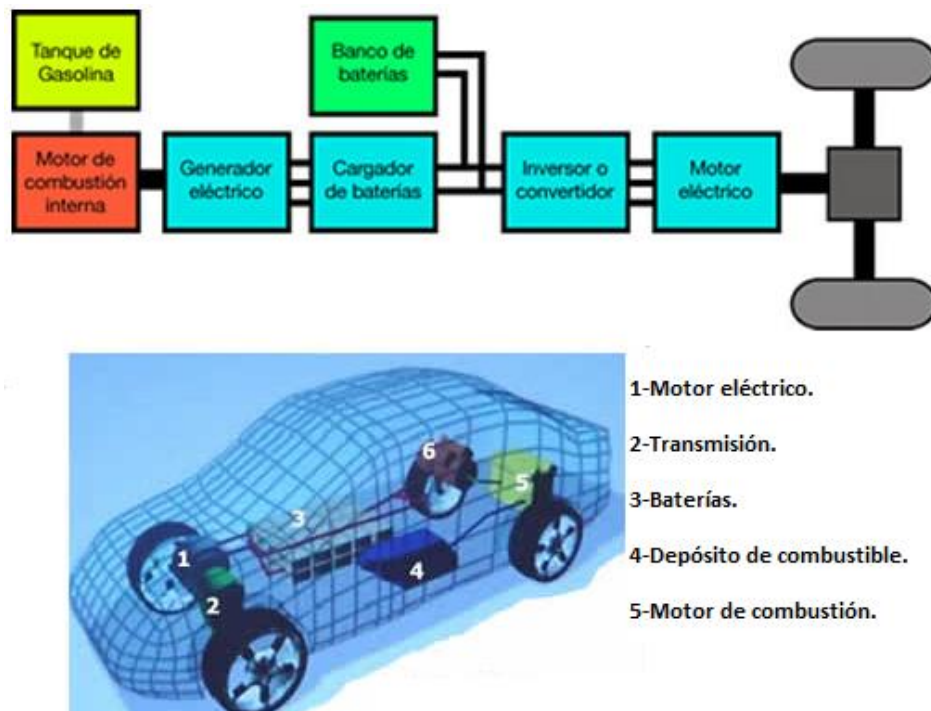


Ilustración 2. Configuración de un vehículo híbrido en serie.

3.4.3 Full Hybrid con configuración serie-paralelo.

Con esta configuración, el motor eléctrico es el que aporta la propulsión al vehículo, en el caso de que se necesite más potencia, tanto el motor eléctrico como el térmico trabajan juntos para proporcionar al vehículo la propulsión necesaria, tal y como ocurre con la configuración paralelo, pero en este caso no es el motor eléctrico el que actúa como generador, sino que al motor de combustión se le acopla un generador, que es el que alimenta a las baterías y al motor eléctrico, tal y como sucede con la configuración serie.

Vehículos como el Volkswagen Twin-Drive o el Toyota Prius incorporan esta configuración.

3.4.4 Comparación de las diferentes configuraciones.

La siguiente ilustración muestra los esquemas de las distintas configuraciones full hybrid:

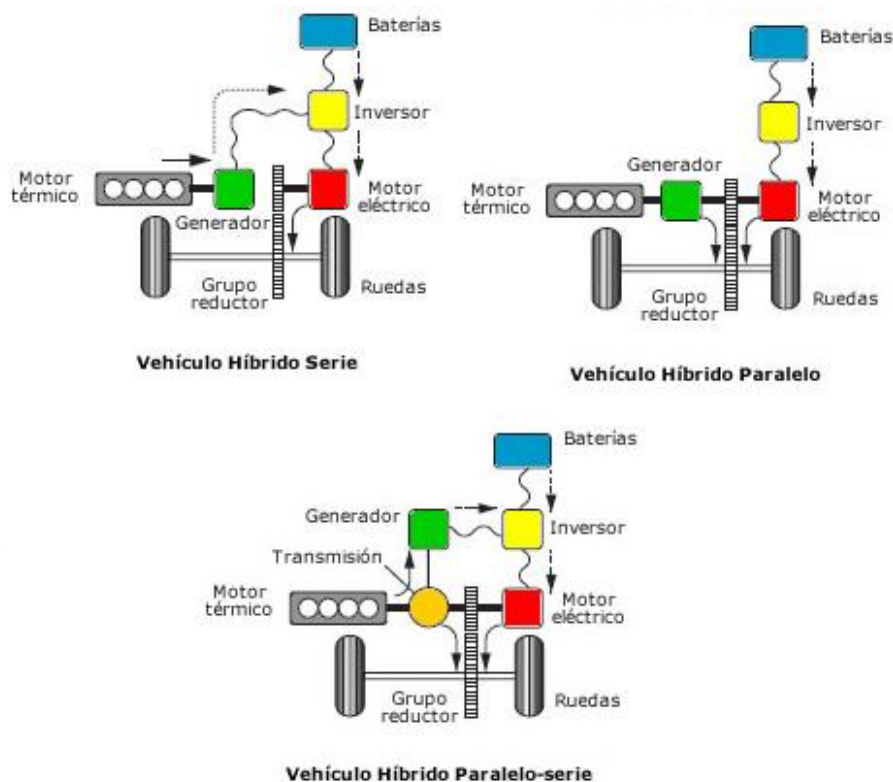


Ilustración 3. Configuraciones full hybrid.

Las ventajas de la configuración paralelo frente a la configuración serie es el tamaño de los motores, y por tanto el peso dentro del vehículo, ya que en esta configuración el vehículo puede llegar a funcionar gracias a la combinación de los pares de ambos motores, razón por la que no se necesitan motores de

grandes dimensiones, mientras que en la configuración serie se necesita un mayor motor eléctrico, pues es el encargado de dar impulso al vehículo, y también un motor térmico y un generador capaz de producir la energía necesaria para el sistema eléctrico, además,

La dificultad que supone el acoplamiento de dos motores a un mismo eje y el hecho de que situar los elementos dentro del vehículo es un procedimiento estricto, es decir, que no hay libertad en cuanto al diseño del vehículo, pues los elementos que componen la configuración debe de colocarse de forma sucesiva, hacen que la configuración paralelo pierda terreno frente a la serie, que ofrece mayor libertad a la hora de diseñar y un mayor rendimiento, ya que el motor de combustión y el eléctrico no están acoplados.

El que el acoplamiento de dos motores sobre un mismo eje tenga o no éxito depende de dispositivos mecánicos (engranajes), los cuales con el paso del tiempo se deterioran, además los motores sufren desgastes que los hacen dar menos par del que debieran, y este desgaste provoca también desajustes en el sistema que hacen que este pierda efectividad.

La configuración serie-paralelo, aunque necesite un mayor número de elementos, estos son de menor tamaño, y como consecuencia del trabajo en conjunto de todos ellos hace que el desgaste y por tanto la pérdida de efectividad del conjunto sea menor que en cualquiera de las anteriores configuraciones.

Como se ha mostrado, los vehículos híbridos presentan diferentes configuraciones, pero además, estos se dividen en dos grandes bloques, que son: los híbridos enchufables y los no enchufables. Los vehículos híbridos no enchufables son tal y como ha quedado expuesto a lo largo de este apartado, así como los enchufables, pero estos, además incorporan una toma de corriente para su recarga, ayudando al aumento de la autonomía de estos vehículos.

4 INGENIERÍA DE CONTROL.

4.1 FUNDAMENTOS.

4.1.1 Principios del control automático.

Se conoce como sistema, al conjunto de elementos físicos o abstractos relacionados entre sí, de tal forma, que la modificación de uno de ellos afecta a los demás. Las magnitudes que definen el funcionamiento del sistema se denominan variables del sistema.

El control automático tiene una primera etapa, que es la de conocer perfectamente el funcionamiento del sistema en cuestión, ya que del conocimiento de dicho sistema, depende el correcto modelado matemático del mismo.

Existen dos tipos de modelos: los modelos axiomáticos y los modelos empíricos. En el primer tipo, el modelado del sistema se realiza a partir de las ecuaciones que lo rigen, como por ejemplo, un circuito eléctrico, que está ligado, entre otras, a la ley de Ohm, sin embargo, el segundo tipo se basa en el modelado del sistema, a partir de datos experimentales obtenidos de su propio comportamiento, a través de las reacciones de entrada y salida.

El modelado empírico no es útil en sistemas de gran envergadura, ya que en estos sistemas hay que tener en cuenta un gran número de variables y de factores que pueden afectarlas, no basta con utilizar unos datos que se han obtenido a partir de ensayos.

Existen dos teorías para realizar los modelados matemáticos: la teoría de control clásica y la teoría de control moderna. Ambas teorías requieren de un extenso conocimiento matemático, en la clásica se utiliza la transformada de Laplace en el dominio de la frecuencia, y la moderna utiliza un cálculo matricial

en el dominio del tiempo, aunque es más exacta, la teoría moderna pierde terreno frente a la clásica, ya que la clásica da menos importancia a las matemáticas y se centra más en el conocimiento del comportamiento del sistema.

4.1.2 Sistemas físicos y modelos matemáticos.

Para poder realizar el análisis de cualquier sistema, es preciso conocer la relación entre las señales de entrada (excitación), y las de salida (respuestas). La siguiente ilustración muestra las distintas variables que influyen en un determinado sistema, así como la dirección de las mismas:

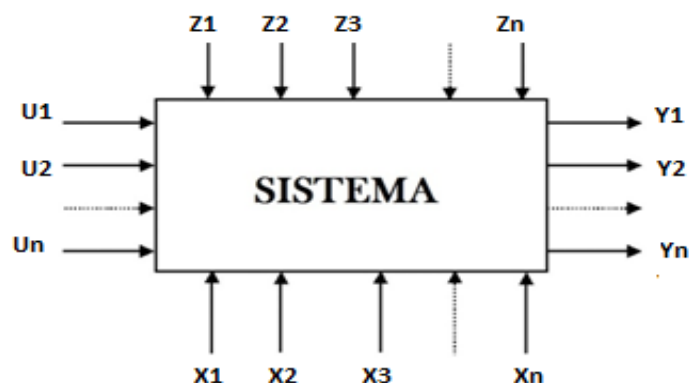


Ilustración 4. Variables que afectan a un sistema.

En el esquema se pueden distinguir cuatro tipos de variables: las de entrada (U_i), las de salida (Y_i), las perturbaciones (Z_i) y las variables de estado (X_i). Tanto las variables de entrada como las de salida, son variables que se pueden llegar a conocer, como por ejemplo, si se conoce el valor de la intensidad que circula por una resistencia (variable de entrada), en este caso, la resistencia es el sistema, por medio de la ley de Ohm, se conoce el valor de la tensión en dicha resistencia (salida), pero este es un ejemplo muy sencillo, ya que no se

han tenido en cuenta los otros dos tipos de variables, por ejemplo, una variable de estado, puede ser la variación de la temperatura de la resistencia con el paso de la corriente, ya que cuanto mayor es la temperatura, mayor es el valor resistivo de la resistencia, una perturbación, puede ser la temperatura del medio donde esté dicha resistencia, es necesario conocer la temperatura del medio, ya que no es lo mismo que la resistencia este al aire libre bajo el sol, que bajo una cubierta, este factor también influye en el comportamiento de la resistencia.

Las variables de entrada son las únicas variables sobre las que se tiene control en el sistema (intensidad que circula por la resistencia), las perturbaciones son totalmente impredecibles (temperatura del ambiente), las variables de estado son predecibles, pero dependen del comportamiento del sistema ante los agentes exteriores (variación de la temperatura de la resistencia en función de la intensidad que circula por ella), las variables de salida (tensión de la resistencia), depende de las otras tres.

4.1.3 Sistemas de regulación en bucle abierto y en bucle cerrado.

Los sistemas de bucle abierto son aquellos que proporcionan una señal de salida en función de una de entrada, sin tener en cuenta las otras dos variables (las variables de estado y las perturbaciones), por ejemplo, el aire acondicionado de los vehículos (vehículos no tan actuales), el usuario pulsa el botón de encendido, seleccionando si quiere más o menos aire fresco (variable de entrada), y el sistema responde proporcionando el aire fresco seleccionado.

Un sistema de bucle cerrado es aquel que tiene en cuenta todas las variables, como por ejemplo la climatización (vehículos actuales), el usuario selecciona la temperatura (variable de entrada), a la que quiere que se encuentre el vehículo, a través de unos sensores de temperatura, se puede conocer la temperatura a la que se encuentra el vehículo (variable de estado), el valor de

esta variable, junto con el valor de la de entrada, ayudan al sistema (sistema de climatización), a tomar las acciones oportunas para que a la salida la temperatura sea la seleccionada.

En este caso (confort en el vehículo), el sistema de bucle cerrado es el más conveniente, pues la temperatura del vehículo se controla automáticamente, mientras que con el bucle abierto el usuario es el que tiene que regular la temperatura, además, en el caso de perturbaciones, como puede ser, la bajada de una ventanilla, el sistema de bucle cerrado no tiene problemas en detectarla y corregirla (gracias a los sensores de temperatura), pero en un sistema con bucle abierto el usuario sigue siendo el que tiene que saber cómo compensar este error.

La siguiente ilustración muestra el bucle cerrado de un sistema de climatización:



Ilustración 5. Bucle cerrado.

La siguiente ilustración muestra un sistema de bucle abierto para controlar la temperatura:



Ilustración 6. Bucle abierto.

4.2 ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA.

En vehículos de combustión interna se puede observar como la electricidad y la electrónica cada vez están más presentes en los mismos: sensor de aparcamiento, sensor de lluvia, inyección electrónica de combustible, etc. En el vehículo eléctrico, además de tener los mismos equipamientos que uno de combustión, hay que añadirle todo lo relacionado con el control del motor eléctrico, así como la gestión del funcionamiento del mismo.

4.2.1 Electrónica de potencia.

En el vehículo eléctrico se emplean motores de corriente alterna trifásicos o motores brushless, en cualquier caso, se necesita de una señal de c.a, pero las baterías proporcionan corriente continua, y es aquí donde la electrónica de control toma importancia, pues es la que se encarga de convertir la señal eléctrica de una forma a otra (de c.c a c.a o viceversa), con el fin de modificar, procesar o controlar alguna de sus características (tensión, intensidad, frecuencia, etc).

Los dispositivos diseñados para llevar a cabo estas operaciones están compuestos por: diodos, tiristores, transistores, bobinas y condensadores. Dichos dispositivos son:

- Rectificador: transforma una señal de tensión constante de c.a en una señal de tensión variable de c.c.
- Regulador de c.a: transforma una señal de tensión constante de c.a en una señal de tensión de c.a variable. Se utiliza para regular la tensión que recibe una carga alimentada con alterna, como es el caso del motor eléctrico, que variando la tensión de alimentación del mismo varía su par, tal y como se muestra en la ecuación AII.29.
- Cicloconvertidor: se utiliza para variar la frecuencia de una señal de c.a, obteniendo a la salida una frecuencia inferior a la de la entrada, de este modo se puede variar la velocidad del motor, tal y como muestra la ecuación AI.1.
- Ondulador o inversor: transforma una señal de tensión constante de c.c a otra señal de tensión variable de c.a, es un elemento imprescindible dentro del vehículo eléctrico, pues es el que gestionan la tensión con la que se alimenta al motor, de modo que se pueda controlar el par que éste entrega, tal y como muestra la ecuación AII.29. Está diseñado para hacer trabajar al motor como generador en caso de que fuera preciso. El ondulador que se utiliza en automoción es el de puente completo con control por ancho de pulso (PWM).
- Convertidor c.c/c.c, troceador o chopper: transforma una señal de tensión constante de c.c a otra señal de tensión variable de c.c. Se utiliza para regular la tensión de entrada/salida de la batería, pues ésta a de trabajar con un determinado valor de tensión constante, evitándose así aumentos de tensión en sus bornes.

4.2.1.1 Chopper de frenado.

Dentro del vehículo es un elemento esencial, pues se utiliza para evacuar la energía generada en las frenadas cuando esta sea imposible de almacenar, ya que se puede dar el caso de una fuerte frenada en la que la energía producida sea tan excesiva que la batería no pueda almacenarla o que la batería esté cargada y se produzca una frenada. Para paliar estos problemas este dispositivo cuenta con una resistencia conectada a un tiristor, de modo que en cualquiera de los casos anteriores, circule la intensidad que a consecuencia de la frenada se ha producido, perdiendo la energía de la misma en forma de calor.

4.2.2 Electrónica de control.

Las instalaciones mecánicas que se encuentran en los vehículos actuales se están haciendo cada día más complejas debido al considerable aumento de los equipos electrónicos que se integran en ellas.

Las unidades electrónicas de gestión del motor, los sistemas de frenado antibloqueo (ABS), climatización, etc. Todos estos sensores han de estar conectados con su correspondiente unidad de control o CPU. Estas unidades de control analizan y actúan acorde a una determinada programación, ante las señales que los distintos sensores les envían.

Las CPUs están distribuidas por el vehículo de modo que cada una controla una parte específica del vehículo, pero este hecho no implica que sean independientes entre sí, pues deben de estar continuamente intercambiando información, de ahí la importancia de que las líneas de comunicación dentro del vehículo posean una gran fiabilidad, por esta razón las redes multiplexadas están tomando importancia cuanto mayor es el desarrollo de las tecnologías.

4.2.2.1 Seguridad intrínseca en la electrónica de control.

Como se ha mostrado, en el vehículo se encuentran diferentes centralitas interconectadas. Estas centralitas son el cerebro de nuestro vehículo y son ellas las que toman las decisiones más importantes a partir de ciertas variables y gracias a unos códigos previamente implementados.

Pero en el vehículo existen varios tipos de buses diferentes para transportar la información, que sumado a la cantidad de centralitas y a posibles interferencias, hacen que el envío y recepción no sea del todo eficaz, aunque la centralita realice bien su función.

Al ser elementos tan importantes, las centralitas disponen de tres niveles de seguridad, y para ello cuenta con dos procesadores independientes. El primero, denominado unidad de cálculo funcional, está dividido en dos niveles: nivel funcional y nivel de supervisión de la funcionalidad. Ambos niveles realizan el mismo cálculo. El nivel funcional es el encargado de enviar la señal de salida correspondiente al cálculo realizado, el nivel de supervisión verifica que el cálculo del nivel funcional es correcto, para ello, ambos cálculos se procesan, si existe alguna diferencia entre ellos, el vehículo entra en modo o estado seguro.

El segundo procesador, denominado unidad de supervisión, es el encargado de verificar que el primer procesador funciona correctamente, para ello, éste solicita al primer procesador una serie de información que ya conoce, si la información que el primer procesador le envía no coincide con la que tiene, el vehículo entra en modo o estado seguro.

5 REDES MULTIPLEXADAS.

Tal y como ha quedado expuesto en el apartado 4.2.2, en un vehículo se puede encontrar un gran número de CPUs, pero el número de sensores y

actuadores asociados a las mismas es aún mayor, esto supone la necesidad de una instalación eléctrica extremadamente compleja, de grandes dimensiones y pesada para el vehículo.

Compleja por los entramados del cableado, pesadas debido al gran número de cables que debe soportar el vehículo, y de grandes dimensiones, por los mazos de cables que atraviesan zonas móviles, como es el caso de espejos retrovisores, elevallunas, etc.

El multiplexado consiste en que con un solo cable, CPUs, sensores y actuadores queden completamente comunicados, sin necesidad de una instalación eléctrica de grandes dimensiones, aumentando la fiabilidad de la instalación y reduciendo el peso del vehículo.

5.1 MODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS.

Son los medios por los que se hace fluir la información entre los terminales del vehículo. Se pueden dividir en dos grandes bloques, y estos en diferentes categorías.

Uno de los bloques es el de medios guiados, que son todos los que para transportar la información precisan de un medio físico, el otro gran bloque es el denominado por medios no guiados, este bloque se caracteriza por no utilizar un medio físico para transmitir la información, sino que usan el aire.

5.1.1 Soportes y vías de transmisión.

Una vez definido el modo de transmisión es preciso conocer el soporte o vía por el cual dicha información circulará. Si se transmite la información por un medio guiado lo que se utiliza es: cable trenzado, cable coaxial y fibra óptica.

Pero si se transmite por un medio no guiado, lo que se utiliza es: ultrasonidos, infrarrojos y radiofrecuencia.

5.1.1.1 Cable de par trenzado.

Este cable utiliza varios conductores eléctricos aislados y entrelazados entre sí, los conductores son de cobre sólido y el aislante es de PVC, cada conductor tiene un color distinto para que no haya problemas a la hora de identificar conductores.

Existen dos tipos: con blindaje y sin blindaje.

Los cables con blindaje poseen una cubierta externa formada por una funda de metal o un recubrimiento en malla entrelazada, en cualquier caso este blindaje envuelve a los dos conductores protegiéndolos de interferencias externas. Para que el blindaje cumpla correctamente con su objetivo este ha de estar debidamente conectado a tierra.

La siguiente ilustración muestra un cable de este tipo:



Ilustración 7. Cable de par trenzado blindado.

Los cables sin blindaje son exactamente igual que los anteriores, la diferencia es que al no disponer de cubierta protectora no está protegido ante posibles interferencias.

La siguiente ilustración muestra un cable de este tipo:



Ilustración 8. Cable de par trenzado sin blindaje.

5.1.1.2 Cable coaxial.

El cable coaxial está diseñado para transportar señales con frecuencias superiores a los 50 Hz, dispone de un conductor central (vivo) formado por un hilo rígido de cobre, el cual está recubierto por un material dieléctrico que actúa de aislante, este, a su vez, está recubierto por una malla de cobre cuyo objetivo es proteger al cable ante las interferencias y también actúa como segundo conductor.

La siguiente ilustración muestra un cable de este tipo:



Ilustración 9. Cable coaxial.

5.1.1.3 Fibra óptica.

Debido a la velocidad con la que circula la información a través de ella, la fibra óptica se está imponiendo cada vez más al cable coaxial, esta velocidad se debe a que la información se transmite a través de una señal luminosa.

La fibra óptica está formada por filamentos de vidrio, de esta forma la señal luminosa se refleja a lo largo de este conductor.

Un sistema que funciona con fibra óptica está compuesto por un transmisor, que es el encargado de transformar una señal eléctrica en una luminosa y mandarla a través de este conductor hasta llegar al detector óptico, equipo encargado de transformar esta señal luminosa en una eléctrica.

Este tipo de conductor está diseñado para transportar más de una señal, siempre y cuando cada señal tenga una frecuencia distinta.

La siguiente ilustración muestra un sistema de fibra óptica:

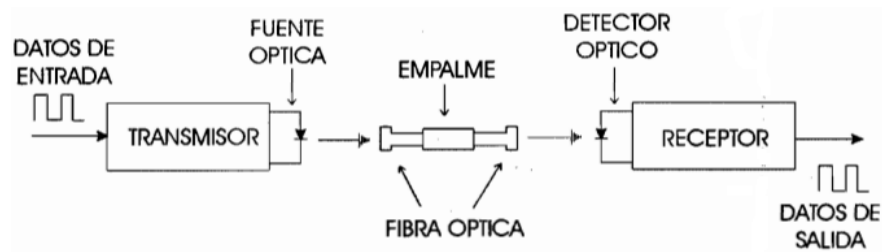


Ilustración 10. Sistema de fibra óptica.

La siguiente ilustración muestra un conductor de este tipo:



Ilustración 11. Fibra óptica.

5.1.1.4 Ultrasonidos.

Son una vía de transmisión de información poco usada en el multiplexado por el hecho de que al no ser una vía física, corre el riesgo de que la información transmitida se vea alterada, o que no llegue a su destino por encontrarse con un obstáculo, en el vehículo existe una gran variedad de elementos, por no mencionar los ocupantes, si un emisor de ultrasonidos envía una información de vital importancia, dicha información se encontrará con un gran número de obstáculos, pudiendo llegar distorsionada, o incluso, no llegar a su destino.

5.1.1.5 Infrarrojos.

Este sistema si es usado en el multiplexado debido a que no hay riesgo de interferencias debido a que estos rayos no puede atravesar objetos, por tanto la señal no se ve alterada, eso sí, es preciso que el emisor y el receptor estén bien alineados, este sistema es muy usado en los vehículos para el cierre de puertas a distancia.

5.1.1.6 Láser infrarrojo.

Es una excelente opción para comunicar elementos a distancias cortas, en los vehículos se utiliza para sistemas auxiliares como el sensor de aparcamiento asistido.

La siguiente ilustración muestra un sensor de aparcamiento asistido:



Ilustración 12. Sensor de aparcamiento.

5.1.1.7 Radio frecuencia.

También utiliza el aire como medio físico de transmisión de información, consiste en dos equipos, el emisor, que transforma la señal eléctrica en una determinada frecuencia que después un receptor capta y vuelve a transformar en señal eléctrica. Cuando se usa esta vía de transmisión es preciso seleccionar las distintas frecuencias con las distintas funciones.

En un vehículo se utiliza para: la radio, sistemas de seguridad en el arranque, etc.

5.1.1.8 Microondas.

Las microondas utilizan el aire como medio físico para la transmisión, la información va en forma de señal digital a través de ondas de radio de muy corta longitud. El inconveniente es que la transmisión se realiza en línea recta, por lo que se ve afectada por obstáculos como: montañas, edificios, etc.

5.2 SISTEMA BINARIO. CODIFICACIÓN DE DATOS.

El sistema binario es el lenguaje de comunicación que utilizan todos los ordenadores, es conocido también como código máquina, a diferencia del sistema decimal, que es más complejo, este utiliza dos dígitos (1 y 0), a los ordenadores les basta distinguir estos dos números para poder llevar a cabo las acciones programadas.

5.2.1 Pasar de base decimal a binaria.

Se divide el número en cuestión entre dos, cuyo resultado entero se vuelve a dividir entre dos, y así sucesivamente hasta que el dividendo sea uno, a continuación, se coloca de izquierda a derecha todos los restos en orden creciente, todos ellos precedidos por el uno.

La siguiente ilustración muestra de forma gráfica lo explicado:

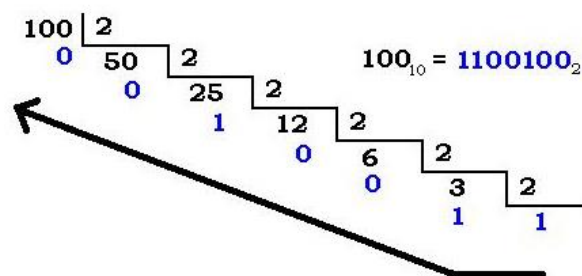


Ilustración 13. Paso de un número en base decimal a binario.

Si lo que se quiere es pasar de binario a decimal lo que hay que hacer es multiplicar el primer bit de la derecha por dos elevado a cero y sumarle la multiplicación del bit de su izquierda elevado a una potencia más, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

$$1100100 = (0 \times 2^0) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^3) + (0 \times 2^4) + (1 \times 2^5) + (1 \times 2^6) = 100$$

Ilustración 14. Paso de un número binario a decimal.

5.2.2 Codificación de datos.

La codificación consiste en asociar a un número en concreto: una letra, una imagen, un color u otros.

La siguiente ilustración muestra como a cada número se le asigna una letra, y en concreto al número 27 se le asigna el espacio:

8 1 2 9 1 27 21 14 1 27 22 1 3 1
H A B I A - U N A - V A C A

Ilustración 15. Codificación binaria de un texto.

Con este sistema de codificación se es capaz de escribir textos complejos basándose simplemente en dos dígitos, por tanto, teniendo en cuenta que el texto de la imagen tiene doce letras y dos espacios, es decir, un total de catorce caracteres, y que cada uno de ellos necesita 5 bit, si multiplicamos el número de caracteres por el número de bits que necesita cada uno, obtendremos el total de bits del texto, en este caso 70 bits.

No hay que confundir bit con byte, un bit es un dígito (1 ó 0) y la menor unidad de información que se puede enviar, mientras que byte son 8 bits.

La siguiente ilustración muestra como a cada color se le asigna un dígito, al 1 se le asigna el negro y al 0 el blanco:

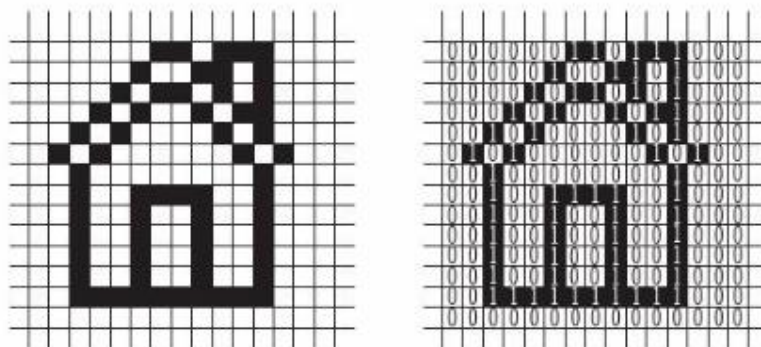


Ilustración 16. Codificación binaria de una imagen.

5.2.3 Trama de información digital.

Cuando se habla de trama de información digital en automoción, esta se debe asociar al lenguaje de las máquinas. La trama de datos es un paquete donde la información está estructurada en distintas partes, cada una de ellas con un número de bit determinado. La siguiente ilustración muestra una trama:

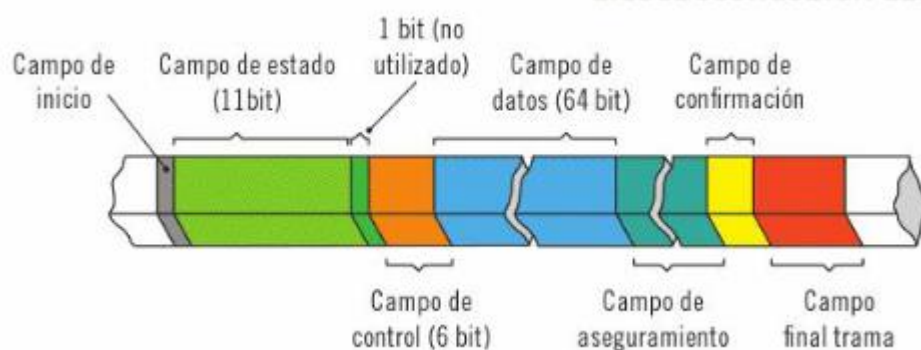


Ilustración 17. Trama de información digital.

1. Campo de inicio. Inicia el protocolo de enlace de datos.
2. Campo de estado. Define la prioridad del protocolo, es decir comunica qué datos tienen prioridad en la transmisión.
3. Campo de control. Define la cantidad de información que se envía.
4. Campo de datos. Es el campo encargado de transmitir la información para otras unidades.
5. Campo de aseguramiento. Como su nombre indica detecta fallos en la transmisión y asegura que la información ha llegado correctamente.
6. Campo de confirmación. El receptor confirma al emisor que ha recibido la información de forma correcta.
7. Campo fin de trama. Indica que la trama ha terminado.

Tanto las partes en las que la trama está dividida, como el número de bit de cada una, depende del tipo de trama, que puede ser: una trama que envía datos o una trama que solicita datos. Las tramas que envían datos tienen un

campo de estado de 11 bits, mientras que las que los solicitan lo tienen de 29 bits, esto es debido a que cuando se envía información, simplemente se deben de tener los datos que deben ser leídos por su destinatario, sin embargo, cuando se solicita información se necesitan más datos, como pueden ser: que elemento solicita la información y el dato que solicita.

5.3 TOPOLOGÍA DE LAS REDES MULTIPLEXADAS.

5.3.1 Tipo bus.

Todos los elementos se conectan a un bus principal (que proviene de una unidad de control) por el que circula una información previamente codificada, cada nodo accede a la que le corresponde, en la siguiente imagen se puede apreciar esta topología:

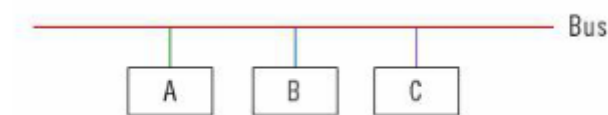


Ilustración 18. Topología multiplexada bus.

5.3.2 Tipo árbol-bus.

En esta tipología varios elementos están conectados entre sí y al bus principal, tal y como se puede observar en la siguiente imagen:

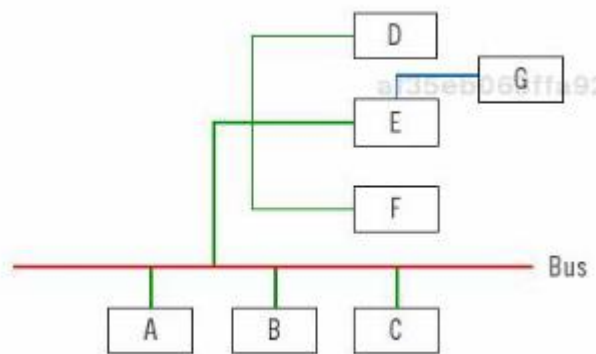


Ilustración 19. Topología multiplexada árbol-bus.

5.3.3 Tipo bus árbol-estrella.

Este es el tipo más utilizado con mayor frecuencia en automoción, de una unidad de control central parten varias líneas bus en las que se conectan determinados elementos, cada uno de estos bus está destinado a unas aplicaciones distintas, en la siguiente imagen se aprecia este tipo de topología:

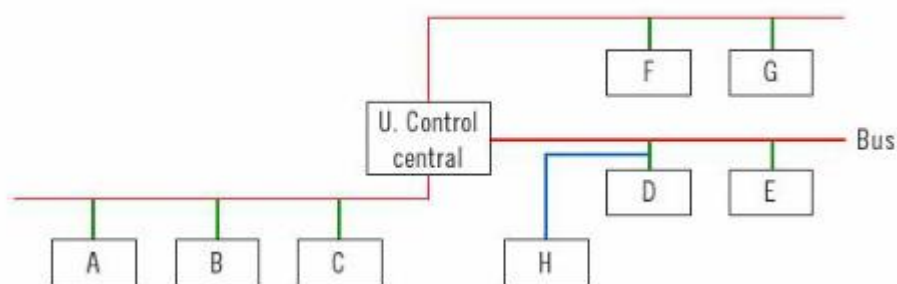


Ilustración 20. Topología multiplexada árbol-estrella.

5.4 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES MULTIPLEXADAS.

Las redes multiplexadas se clasifican atendiendo a dos criterios: el primero de ellos tiene en cuenta la velocidad de transmisión, cantidad y la importancia de

los datos, el segundo tiene en cuenta la forma en la que dichos datos se introducen en el sistema.

Atendiendo al primer criterio de clasificación las redes multiplexadas se dividen en cuatro clases:

- Red de clase A. Son multiplexados maestro/esclavo, con velocidades de transmisión bajas, de 10 Kbps.
- Red de clase B. Son redes multiplexadas multimaestro, con velocidades de transmisión medias, entre 10-125 Kbps.
- Red de clase C. Son redes multiplexadas multimaestro, con velocidades altas, entre 125 Kbps-1 Mbps.
- Red de clase D. Son redes en las que los datos se transmiten por vías ópticas y se precisa una gran cantidad de información, poseen una velocidad de transmisión de 25 Mbps.

Las redes pertenecientes a las clases A y B están destinados a aplicaciones que no son críticas para la seguridad (elevatoras, climatización, etc.), las redes de clase C se emplean en aplicaciones críticas para la seguridad (ABS, EPS, etc.) y las redes de clase D se emplean en aplicaciones multimedia o infotainment (DVD, Comunicación vía satélite, etc.).

Atendiendo al segundo criterio de clasificación las redes se pueden clasificar en:

- Red orientada a eventos o más conocida como ET (Event triggered). Cada elemento de la red emite su información de forma asíncrona, es decir, que dos elementos nunca pueden emitir su información a la vez, ya que cada elemento emite su información siguiendo un orden de prioridad previamente programado.
- Red determinística o más conocida como TT (Time Triggered). No hay colisiones de información gracias a la tecnología TDMA, que permite dividir la vía de emisión en varios fragmentos de tiempo (slot de tiempo), de esta forma cada elemento emite en el suyo.

En los buses Event Triggered el tiempo de actuación (latencia) es mayor debido a que si dos o más elementos emiten a la vez el sistema pone en marcha el protocolo de prioridad en el cual está fijado cual es el elemento que ha de emitir primero. En los buses Time Triggered esto no ocurre, ya que como se

mencionó anteriormente, cada elemento emite en su slot correspondiente, de este modo se consiguen latencias más bajas.

Sin embargo, si se instala un nuevo elemento en un bus Time Tiggered hay que reconfigurar es sistema, ya que hay que asignar nuevos slot a todos los elementos, esto no ocurre en el bus Event Tiggered, ya que todos los elementos comparten el mismo ancho de banda, el único problema que hay en este caso es que al añadir más elementos los tiempos de latencia aumentan.

5.5 PROTOCOLOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS Y APLICACIONES.

El presente trabajo de fin de grado, está dedicado a los sistemas de control y regulación del vehículo eléctrico, debido a la gran similitud entre el vehículo de combustión y del eléctrico en este aspecto, en este apartado aparecerán alusiones a vehículos de combustión, con el fin de mostrar las diferencias de estos con los eléctricos.

5.5.1 CAN (Controller Area Network).

5.5.1.1 Introducción.

En el protocolo CAN, la información circula a través de dos conductores que son comunes para toda la red (Bus), de esta forma se ahorra cableado dentro del vehículo.

Para que los distintos elementos (CPUs, sensores y actuadores) puedan emitir y recibir información, es necesario que se conecten en paralelo a la red bus, dichos elementos pueden emitir su información a la red cuando sea

necesario, siendo esta recibida por los demás elementos, pero solo darán respuesta aquellos a los que va dirigida.

Sigue el protocolo CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection):

- CSMA, cada elemento debe monitorizar el bus y si detecta que no hay actividad, puede enviar un mensaje.
- CD, si dos o más elementos emiten a la vez, estos detectan una colisión y se pone en marcha un método basado en prioridades que resuelve este conflicto.

Por esta razón se introduce al protocolo CAN-Bus dentro de los bus event-triggered. Pueden ser de clase B o de clase C, siendo la topología más empleada el árbol-estrella.

En Europa se ha convertido en un estándar, con carácter internacional y documentado por la norma ISO-11898.

5.5.1.2 Componentes.

5.5.1.2.1 Cable bus.

Como vía de transmisión de información utiliza el cable de par trenzado formado por dos hilos de cobre, para distinguirlos entre si cada uno es de un color. Los hilos se denominan en función de su nivel de tensión como: CAN-High (2,75-5 V) y CAN-Low (0-2,25 V), al estar conectado el cable a masa, si alguno de los dos conductores falla, la información circula sin problemas a través del bus, ya que la misma llega a los distintos elementos por medio de una diferencia de tensión, que según su valor, la señal puede ser:

- Señal dominante, su valor es superior a 0 V, pudiendo llegar a unos 5 V, en este caso el bus está en nivel 0.

- Señal recesiva, su valor es de 0 V, ya que en este caso la tensión en ambos hilos es la misma, corresponde al caso en el que no se está transmitiendo información, en este caso el bus está en nivel 1.

5.5.1.2.2 Conector CAN.

Este cable se usa para comunicar el bus con cualquier dispositivo exterior que permita realizar un diagnóstico al vehículo.

La siguiente ilustración muestra este elemento:

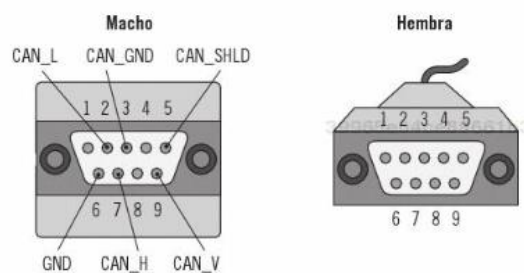


Ilustración 21. Conector CAN.

5.5.1.2.3 Unidad de control.

La unidad de control es el elemento encargado de recibir las señales enviadas por los sensores, otras unidades de control o captadores, procesarlas y enviarlas a los actuadores para que estos efectúen su función.

Cuando recibe cualquier información su microprocesador actúa según un programa previamente grabado en la memoria de programas y envía la información resultante al bus, dicha información también es almacenada en la memoria de salida, de esta forma quedan grabadas todas las entradas y salidas de la unidad de control, para posteriores revisiones.

5.5.1.2.4 Módulo CAN.

Sirve para intercambiar la información CAN, se encuentra dividido en dos zonas, una de emisión y otra de recepción, normalmente suele estar integrado en el microprocesador de la unidad de control, de no ser así, se enlaza con esta a través de un buzón de entrada y otro de salida.

5.5.1.2.5 Transceptor.

Es el encargado de transformar las señales que recibe del bus a un nivel de tensión apropiado para la unidad de control y viceversa.

Está unido al módulo bus por dos conductores, el RX (recepción) y el TX (envío), por medio del RX el transceptor constantemente está recibiendo información del bus, el cable TX se acopla al bus a través de un conmutador de colector abierto, por medio del cual se consiguen dos estados diferentes:

- Conmutador abierto, la tensión pasa por la resistencia debido a que el transistor se encuentra cerrado, dando lugar a una señal recesiva.
- Conmutador cerrado, el transistor se encuentra conmutado dando lugar a una señal dominante.

La siguiente ilustración muestra el esquema del transistor dentro del transceptor:

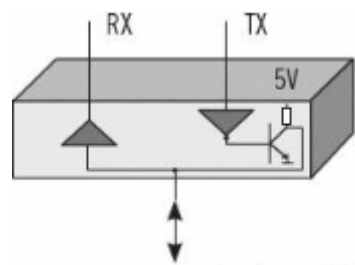


Ilustración 22. Transceptor.

En una línea bus existen más de un transceptor conectados en paralelo, el estado del bus (dominante o en receso) dependerá de cómo estén funcionando dichos elementos, la siguiente ilustración muestra tres transceptores conectados en paralelo:

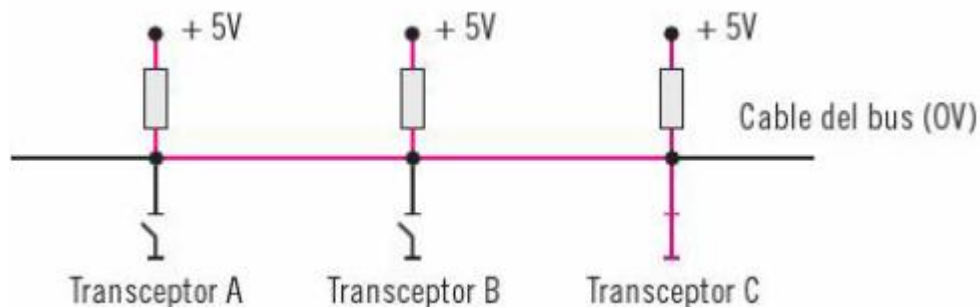


Ilustración 23. Esquema de tres transceptores conectados al bus.

Como se muestra en la ilustración, la línea está en estado dominante, pues uno de los transceptores está cerrado, permitiendo la circulación de intensidad a través de la resistencia, y como consecuencia habrá una caída de tensión en la misma, para que el bus esté en estado recesivo es necesario que todos los transceptores estén abiertos, por lo tanto, en este caso el bus estaría a 5 V.

La transmisión de datos en CAN tiene lugar en serie, con un simple cable que actúe de Bus es suficiente para que se realice la transmisión de datos correctamente. El segundo cable se utiliza para ganar seguridad en la transmisión, dotando a esta de mayor fiabilidad.

La siguiente ilustración muestra el conjunto formado por la unidad de control, módulo CAN y el transceptor:

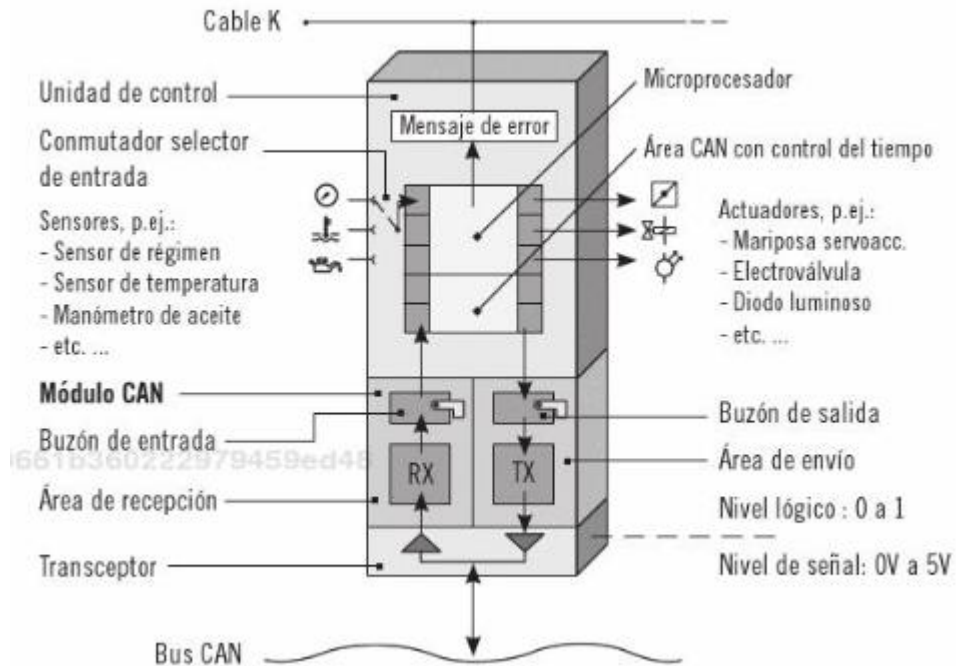


Ilustración 24. Unidad de control, módulo CAN y transceptor.

La siguiente ilustración muestra un intercambio de información del régimen desde la unidad del motor hasta la indicación en el cuentarrevoluciones:

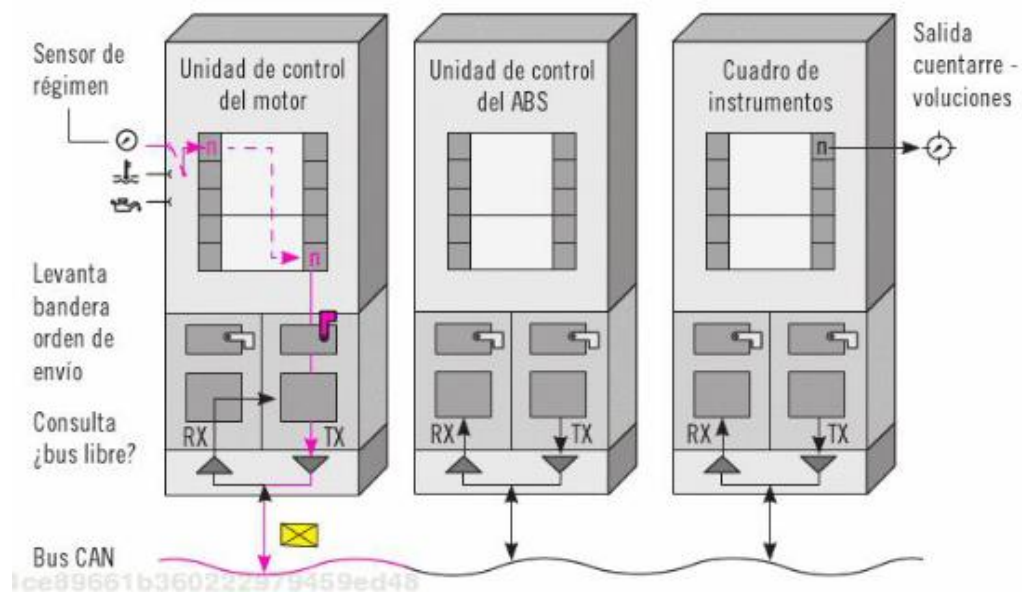


Ilustración 25. Envío de información desde la unidad de control del motor hasta la de instrumentos.

1. El sensor registra los datos del valor de régimen.
2. Dicho valor llega hasta la memoria de entrada del microcontrolador, donde es almacenado.
3. El valor del régimen pasa de la memoria al buzón de salida del módulo CAN, en la imagen se indica la presencia de un mensaje por medio de una banderita.
4. El valor del régimen se transforma en un mensaje del motor, en la forma específica del protocolo CAN.
5. El módulo CAN comprueba a través del cable RX si el bus está activo o si está siendo utilizado, si está ocupado emitirá la información según el orden de preferencia.
6. Se envía el mensaje.
7. Recepción del mensaje, que consta de dos pasos: en el primero se comprueba la corrección del mensaje y en el segundo si ese mensaje es para dicha unidad de control. Por esta razón, tal y como se aprecia en la siguiente ilustración, el mensaje solo es utilizado por la unidad del instrumentación y no por la de ABS:

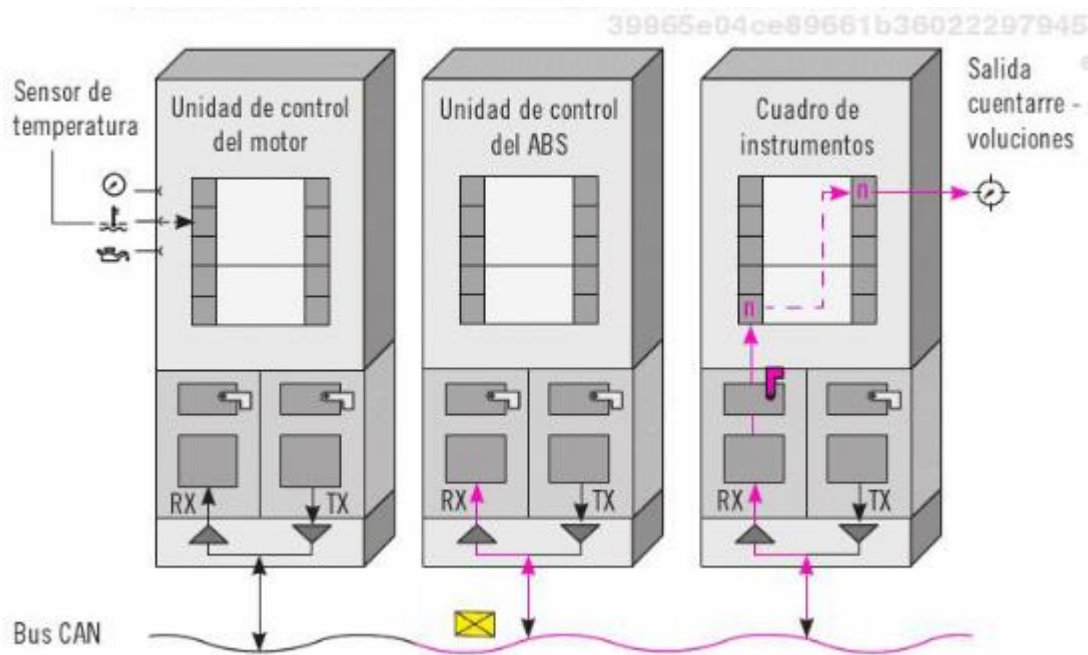


Ilustración 26. Recepción del mensaje.

8. Si no se ha producido error alguno a la hora de recibir el mensaje todos los receptores se lo comunica al emisor, esta confirmación del mensaje se conoce como acknowledge.
9. El mensaje llega al buzón de entrada de la unidad de instrumentación, ya que es la destinataria del mismo, como el resto de unidades no lo son, lo desechan.
10. El mensaje queda grabado en la memoria de la unidad de instrumentación y a la vez da la información apropiada al actuador para que se indique toda la información en el cuentarrevoluciones.

5.5.1.2.6 Resistencia.

Con el fin de evitar la reflexión de información en cada elemento que se conecta al bus hay que colocar dos resistencias, una de 120 Ω para CAN-High y otra de 100-150 Ω para el CAN-Low.

Mediante el principio denominado broadcast (radiofusión), un mensaje enviado por cualquier unidad de control, sensor o captador puede ser recibido por cualquier otra unidad de control.

Gracias a este principio se consigue que todas las unidades de control se encuentren conectadas siempre y dispongan de la información por igual.

5.5.1.3 Principio de intercambio de información.

Todas las unidades de control tiene la capacidad funcional de enviar y recibir mensajes, estos mensajes contienen principalmente valores físicos. Algunos de estos mensajes físicos son: el régimen del motor, así como su temperatura o el nivel de combustible, entre otros.

Estos mensajes, se transforman al sistema binario, para que la unidad de control los pueda analizar correctamente, este mensaje, ya transformado en bits llega al cable TX del transceptor, que lo transforma en un nivel de tensión determinado en el bus. Tras circular el mensaje por el bus llega a otro transceptor, que reconvierte nuevamente los valores de tensión en un tren de bits que se transmite a través de su cable RX a las unidades de control apropiadas, las cuales transforman los bits en un mensaje.

5.5.1.4 Estructura del protocolo CAN.

En el desarrollo de un ciclo de transmisión de datos, el protocolo CAN realiza distintas tareas, que son: proveer, transmitir, recibir, revisar y adaptar datos. Y todo esto en breves intervalos de tiempo.

La siguiente ilustración muestra la estructura de la trama de información de este protocolo:

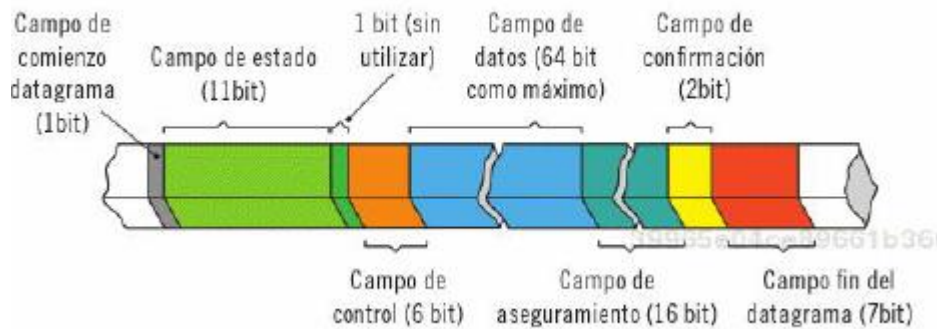


Ilustración 27. Trama de datos del protocolo CAN.

5.5.1.4.1 Campo de comienzo del datagrama.

Marca el inicio del protocolo de enlace de los datos. En el cable CAN-High se transmite un bit a 5 V aproximadamente, y en el cable CAN-Low se transmite un bit a 0 V aproximadamente.

5.5.1.4.2 Campo de comienzo del datagrama.

Tiene como función indicar la prioridad del protocolo. Si existen dos unidades de control que intentan transmitir simultáneamente su protocolo de datos se concede preferencia al protocolo de prioridad superior.

5.5.1.4.3 Campo de control.

Especifica la cantidad de información que está contenida en el campo de datos. De esta forma, cada receptor puede revisar si ha recibido la información completa.

5.5.1.4.4 Campo de datos.

En él se encuentran los datos que se desean transmitir.

5.5.1.4.5 Campo de aseguramiento.

Sirve única y exclusivamente para detectar posibles fallos en la transmisión de la trama de datos.

5.5.1.4.6 Campo de confirmación.

Es la señal que emiten los receptores al transmisor para informar de que han recibido correctamente el protocolo de enlace de datos. Si se diera el caso de que se detectara cualquier fallo, informan de inmediato al transmisor y este a su vez repite nuevamente la transmisión.

5.5.1.4.7 Campo de fin del datagrama.

Es te último campo simboliza la última oportunidad para dar un aviso de error y así obligar al transmisor a repetir nuevamente la transmisión.

5.5.1.5 Funcionamiento.

El protocolo CAN se basa en generar continuamente tramas de datos, cada una con su estructura y la información necesaria para el funcionamiento del sistema, centrándose en el campo de datos, éste consta de varios bits enlazados.

A modo de ejemplo la siguiente ilustración muestra el campo de datos con una serie de bits, cada uno de ellos representado por bombillas:

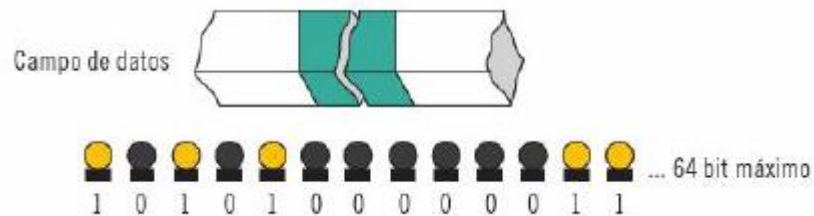


Ilustración 28. Simulación del campo de datos con bombillas.

Cuando la bombilla está encendida es porque el transceptor está abierto, cuando la bombilla está apagada es porque el transceptor está cerrado.

La siguiente ilustración muestra una tabla que indica la forma en que se transmite la información por medio de los bits enlazados:

Posible variante	Segundo bit	Primer bit	Representación gráfica	Información Estado del elevavolante	Información Temperatura liq. refrigerante	Representación con bombillas
Uno	0 Voltios	0 Voltios		En movimiento	10 °C	
Dos	0 Voltios	5 Voltios		En reposo	20 °C	
Tres	5 Voltios	0 Voltios		En zona de inicio de parada	30 °C	
Cuatro	5 Voltios	5 Voltios		En detección de bloqueo superior	40 °C	

Ilustración 29. Transmisión de información con dos bits.

Cuanto mayor es el número de bits mayor es el número de variantes, tal y como muestra la siguiente ilustración:

Variantes con 1 bit	Posible información	Variantes con 2 bits	Posible información	Variantes con 3 bits	Posible información
0V	10 °C	0 V 0 V	10 °C	0 V 0 V 0 V	10 °C
5V	20 °C	0 V 5 V	20 °C	0 V 0 V 5 V	20 °C
		5 V 0 V	30 °C	0 V 5 V 0 V	30 °C
		5 V 5 V	40 °C	0 V 5 V 5 V	40 °C
				5 V 0 V 0 V	50 °C
				5 V 0 V 5 V	60 °C
				5 V 5 V 0 V	70 °C
				5 V 5 V 5 V	80 °C

Ilustración 30. Incremento del número de variantes con el de bits.

5.5.1.6 Prioridad de los mensajes.

Como se explicó anteriormente los mensajes se envían en forma de paquetes que a su vez se dividen en varias partes, bien, la parte fundamental del mensajes que define la prioridad del mismo es el campo de estado, que como también se ha mostrado en la ilustración 20, está formado por 11 bits. Cada unidad de control tiene su propio campo de estado.

La siguiente ilustración muestra a modo de ejemplo una tabla con tres protocolos ordenados según su prioridad:

Prioridad	Protocolo de datos	Campo de estado
1	Freno I	001 1010 0000
2	Motor I	010 1000 0000
3	Cambio I	100 0100 0000

Ilustración 31. Ejemplo de protocolos.

Es lógico pensar que el sistema de frenado es más importante de cara a la seguridad que el estado del motor y este más importante que el cambio automático.

Suponiendo que las tres emiten simultáneamente el proceso es el siguiente:

1. Cada unidad de control recibe el mensaje de las demás y comparan sus campos de estado.
2. El primer bit de la unidad de cambio es un 1, esto quiere decir que se envía una señal que está en receso (0 V), el primer bit de las otras dos unidades es un 0, esto quiere decir que se envía una señal dominante (5 V), por tanto la señal dominante prevalece

sobre la de receso y por consiguiente, la unidad de cambio pasa a ser un receptor.

3. El segundo bit de la unidad de freno es un 0 y el de la del motor es 1, por la tanto la unidad de control del motor pasa a ser un receptor y la unidad de freno el único emisor del bus.
4. Cuando la unidad de freno termine de emitir, la unidad del motor lo hará después y por último la del cambio.

5.5.1.7 Interferencias.

Las interferencias son los elementos más indeseables en los procesos de transmisión de datos.

Estas interferencias son producidas por componentes cuyo funcionamiento se debe a la constante conmutación de sus contactos, como pueden ser los teléfonos móviles, o dispositivos que producen chispas, como pueden ser las bujías, en cualquier caso, generan ondas electromagnéticas que alteran la información, pudiendo ocasionar un funcionamiento erróneo.

Por este motivo se utiliza el par trenzado en la transmisión de datos, ya que al encontrarse contrapuestas, la suma de las tensiones es constante en cualquier momento y quedan anulados los efectos electromagnéticos que perturban la información.

5.5.1.8 Características.

En la línea bus de datos del protocolo CAN existen interconectados gran cantidad de módulos individuales. Debido a este motivo resulta necesario exigir unos determinados criterios para la configuración conjunta de todo el automóvil.

Estas características o criterios de configuración son los siguientes:

- Gran seguridad, es imprescindible que las interferencias sean detectadas con facilidad y fiabilidad.
- Gran disponibilidad, en caso de fallo de cualquier unidad dentro de la línea, ésta no afecte a las demás.
- Gran densidad de datos, todas las unidades reciben la misma información, independientemente de que dicha información sea para ellas o no, en cualquier caso, éstas han de analizar y detectar cualquier posible error en dicha información.
- Gran tasa de transferencia de datos, es muy importante la velocidad de transferencia de datos. Se debe efectuar de forma rápida para cumplir con las exigencias en tiempo real.

5.5.1.9 Gateway.

Tal y como se exponen en el apartado 4.2.2, en el interior del vehículo se encuentran varias CPUs, cada una destinada a una función específica (elevalunas, alarmas, motor eléctrico, etc.), pero tal y como se mostrará en apartados posteriores, un conjunto de CPUs forman una línea bus (tracción, confort, etc.), pero estas líneas bus necesitan estar en constante comunicación entre si, para ello se requiere del Gateway.

El Gateway es un dispositivo que se encarga de adecuar las señales de las distintas líneas bus, puesto que cada línea bus, debido a su importancia utiliza niveles de tensión deferentes, por tanto, este dispositivo recibe una señal, y la adecua a cada una de las demás líneas y la envía.

5.5.1.10 *Estándar CAN.*

En el apartado 5.5.1.1 se menciona a la norma ISO-11898, que es la norma que tipifica el estándar internacional para la comunicación de la alta velocidad en el vehículo utilizando el protocolo Can-Bus.

A modo de resumen se resaltarán los datos más importantes que figuran en ella, resaltando las funciones principales del estándar, que son: especificar la capa de enlaces de datos y la capa física del enlace de comunicación.

La capa física se divide en tres subcapas:

- Señalización física, que se encarga de la codificación de bit, la temporización y la sincronización.
- Unión del medio físico, que se encarga de la recepción y clasificación de la información.
- Interfaz dependiente del medio, que es el conector del bus.

La implementación de la capa de enlace de datos es típicamente ejecutada por un circuito integrado denominado controlador de protocolo.

Con respecto al medio físico, la normativa regula un cable de par trenzado y adaptado en los extremos. En ella se marca como velocidad máxima de transmisión 250 Kbit/s para la normal, y de 1 Mbyte/s para versiones ampliadas.

Los mensajes que son difundidos por la red son comprobados por la unidad de control. Esta contiene un dispositivo de hardware que proporciona un servidor que automáticamente recibe y transmite los mensajes CAN sin necesidad de interrumpir a la unidad de control, reduciéndose de este modo la carga que la línea ha de soportar.

El software empleado debe procesar el máximo de tráfico esperado del bus mientras comparte recursos internos con la aplicación prevista para CAN.

5.5.1.10.1 Capa física.

El medio de transmisión físico es una línea de bus de dos hilos trenzados con un retorno común que se termina en ambos extremos por resistencias que representan la impedancia característica de la línea.

La longitud máxima de la línea es de 1 Km. Se permite utilizar los dispositivos puente o los repetidores para aumentar el número de nodos conectados, o para aumentar la distancia.

5.5.1.10.2 Topología del bus.

Hace referencia al tipo de cable y forma en que este se dispone en la línea bus de CAN. Los cables pueden ser paralelos, trenzados y/o blindados. Los segmentos del cable para la conexión de los nodos del bus deben ser tan cortos como sea posible, especialmente en protocolos altos de bit.

El uso de voltajes diferentes en las líneas CAN-H y CAN-L hace posible que la línea siga funcionando cuando alguna de las líneas falla. Este es un sistema de seguridad que hace de CNA uno de los medios más fiables para la transmisión de datos importantes del vehículo.

5.5.1.10.3 Nivel de señal.

Los nodos conectados al bus interpretan dos niveles lógicos denominados: dominante y recesivo, los cuales han quedado expuestos en el apartado 5.5.1.1.1.1.

En la siguiente ilustración se muestra una tabla que indica la correlación entre la velocidad de transferencia, longitud del bus, material del bus e impedancia de la terminación:

Longitud del BUS	Resistencia cable BUS	Cable BUS	Resistencia de terminación BUS	Máxima tasa de datos
0-40 m	70mΩ/m	0,25-0,34 mm ²	124 Ω (1%)	1 Mbits/s en 40 m
40-300 m	<60mΩ/m	0,34-0,60 mm ²	127 Ω (1%)	500 Kbits/s en 100 m
300-600 m	<40mΩ/m	0,50-0,60 mm ²	150 a 300 Ω	100 Kbits/s en 500 m
600 m - 1Km	<26mΩ/m	0,75-0,80 mm ²	150 a 300 Ω	50 Kbits/s en 1 Km

Ilustración 32. Correlación entre longitud, resistencia, sección y velocidad de transmisión del bus.

La capa física en CAN es responsable de la transferencia de bits entre los distintos nodos que componen la red. Define los niveles de señal, codificación, sincronización y tiempo en que los bits se transfieren al bus.

La longitud de cualquier mensaje CAN es siempre dependiente de los datos que se vayan a transmitir.

Para calcular el tiempo requerido para la transmisión del mensaje se utiliza la fórmula de Tindell, y es la siguiente:

$$C_m = \left[\left(\frac{32 + 8 \cdot S_m}{4} \right) + 47 + 8 \cdot S_m \right] \cdot T_{bit}$$

Donde:

- C_m , es el tiempo requerido para la transmisión de datos.
- S_m , es el tamaño del mensaje.
- T_{bit} , es el tiempo de bit.

(Ecuación 1)

5.5.1.10.4 Conector CAN.

Definido en el apartado 5.5.1.1.1.2, los conectores CAN son similares a los utilizados en los puertos de los ordenadores convencionales. Estos disponen de varios pins o patillas de conexión. En su parte interior el conector asigna un pin a cada cable.

De esta forma, un mismo conector sirve de unión para diferentes funciones, y debido a este motivo se debe prestar atención a la posición que cada uno de ellos tiene en el conector.

En la siguiente ilustración se muestra una tabla en la que se indica el cable y el pin asociado, teniendo en cuenta la ilustración 21:

Nº de Pin	Nombre	Descripción
1		Reservado
2	CAN_L	Señal CAN_L
3	CAN_GND	Tierra
4		Reservado
5	CAN_SHLD	Opcional blindaje
6	GND	Opcional tierra
7	CAN_H	Señal CAN_H
8		Reservado
9	(CAN_V+)	Opcional fuente +

Ilustración 33. Correspondencia de los cables con su pin.

5.5.1.10.5 Resistencia del cable del bus.

La normativa ISO-11898 regula la topología de los cables, de modo que la tensión diferencial que se produzca en ellos como consecuencia de la circulación de una determinada intensidad, sea lo menor posible, evitando de este modo, distorsiones en la información.

A modo de ejemplo, la siguiente ilustración muestra el esquema de impacto de la resistencia del cable bus:

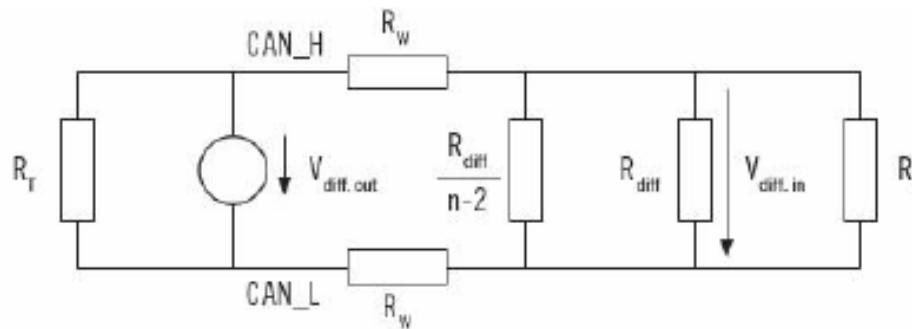


Ilustración 34. Impacto de la resistencia del cable del bus en el sistema.

Con la siguiente ecuación se calcula el valor de la tensión diferencial:

$$V_{dif} = \frac{V_{dif.out}}{1 + 2 \cdot R_w \cdot \left(\frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_{dif}} \right)}$$

Donde:

- V_{dif} , es la tensión que verdaderamente llega al nodo debido al impacto de la resistencia del cable.
- $V_{dif.out}$, es la diferencia de tensión entre el CAN-H y el CAN-L.

- R_w , es la resistencia del cable bus por unidad de longitud.
- R_{dif} , es la resistencia del elemento conectado al bus.

(Ecuación 2)

5.5.1.10.6 Terminación del bus.

El estándar ISO-11898 de alta velocidad de CAN proporciona una estructura de línea única como topología de red, línea a la que en ambos extremos se le conecta una resistencia, tal y como aparece en el apartado 5.5.1.1.1.6.

En aquellas ocasiones en las que sea necesaria alguna modificación de la topología para acomodar la longitud de cable apropiada, se debe de especificar un límite superior para cada cable, así como un límite superior para la longitud acumulativa. Con el fin de cumplir estos límites, se establece la siguiente ecuación, con la que se determina el nivel máximo de cada cable:

$$L_u < \frac{t_{propseg}}{50 \cdot t_p}$$

Donde:

- L_u , es la longitud del cable.
- $t_{propseg}$, es el tiempo que tarda en transmitirse un bit.
- t_p , es el retardo en la transmisión por unidad de longitud de la línea.

(Ecuación 3)

5.5.1.10.7 Estándar normativa SAE-J1939.

La norma ISO-11898 es el equivalente europeo de la norma SAE-J1939, la cual, corresponde a una de las normas de la Sociedad de Ingeniería Automotriz (SAE) para el envío de datos por una línea de CAN-bus en vehículos pesados.

5.5.2 LIN (*Local interconnect*).

Este protocolo tiene una característica particular, y es que todas las unidades de control se encuentran localizadas en una zona limitada y concreta. Algunas de sus características son las siguientes:

- Se trata de un bus monoalámbrico sin apantallamiento, desde sección.
- El sistema limita el intercambio de datos a 16 unidades esclavas desde a unidad de control LIN.
- La unidad de control LIN es una CPU del CAN-bus, siendo esta la que realiza las funciones de maestro.
- La velocidad de transmisión equivale como máximo a una quinta parte de la velocidad de transmisión de los datos en el CAN.

La transmisión de los datos se produce de forma cíclica por la unidad de control maestra, se divide en cuatro partes:

- Pausa de sincronización.
- Limitación de sincronización.
- Campo de sincronización.
- Campo de identificación.

La pausa de sincronización contiene 13 bit, esto indica el inicio de un mensaje a todas las unidades de control esclavas.

A continuación se transmiten como máximo 9 bit dominantes consecutivos, seguidamente se emite un campo de sincronización para que las unidades esclavas se ajusten a la unidad maestra.

El campo de identificación está formado por una longitud de 8 bits, los 6 primeros contienen la identificación del mensaje y el número de campos de datos que componen la respuesta, para la detección de errores se emplean los 2 bits restantes.

5.5.3 MOST (*Media Oriented Systems Transport Corporation*).

Se aplica a sistemas de infotenimiento (radio, reproducción multimedia, etc.) debido a que el CAN no trabaja con la suficiente rapidez de datos necesarios, teniendo en cuenta que la velocidad máxima del CAN es de 1 Mbit/s, la máxima del MOST es de 21, 2 Mbit/s.

5.5.4 Aplicaciones.

5.5.4.1 Seat Altea.

5.5.4.1.1 Introducción.

Cuenta con un sistema eléctrico descentralizado y cinco líneas de CAN-Bus: infotenimiento, cuadro, tracción, confort y diagnóstico.

5.5.4.1.2 Buses de datos.

El sistema de diagnóstico se realiza a través de un bus, mejorando de este modo la velocidad de transmisión de datos y simplificando la instalación eléctrica entre conector de diagnóstico y las diferentes unidades de control.

El dispositivo exterior empleado para la toma de datos del bus es el VAS5051, el cual se conecta al bus por medio de dos cables: el VAS5051/5A y el VAS5051/6A. El primer cable tiene una longitud de 3 m y es el que alimenta al equipo de diagnóstico, mientras que el segundo mide 6 m y no permite esta alimentación. La siguiente ilustración muestra este dispositivo:



Ilustración 35. VAS5051.

Con el fin de evitar confusiones con los conductores de los bus de cada línea, existe un código de colores, en la siguiente tabla se muestran los colores de los conductores y al bus al que pertenecen:

Conductor bus	tracción	diagnosis	confort	infotenimiento	cuadro
Low			Naranja/Marrón		Marrón
High	Naranja/Negro		Naranja/Verde	Naranja/Lila	Amarillo

Tabla 1. Distinción de colores de los CAN-Bus.

La velocidad de transmisión de las líneas bus: tracción, cuadro y diagnóstico es de 500 Kbit/s mientras que la velocidad de la línea de confort e infotainment es de 100 Kbit/s.

Todas las líneas CAN-Bus están comunicadas por medio del gateway.

Además del CAN-Bus, también utiliza otro protocolo de transmisión de datos, el LIN-Bus, el cual consta de tres líneas distintas:

- Una primera línea que parte de la unidad de control de confort hasta el sensor para protección antirrobo en el habitáculo y la bocina de alarma .
- Una segunda que parte de la unidad de control para la electrónica de la columna de dirección hasta la unidad de mandos del volante.
- La última, que parte de la unidad de control para la red de a bordo hasta la unidad de control para el motor del limpiaparabrisas.

La siguiente ilustración muestra el bus de tracción:

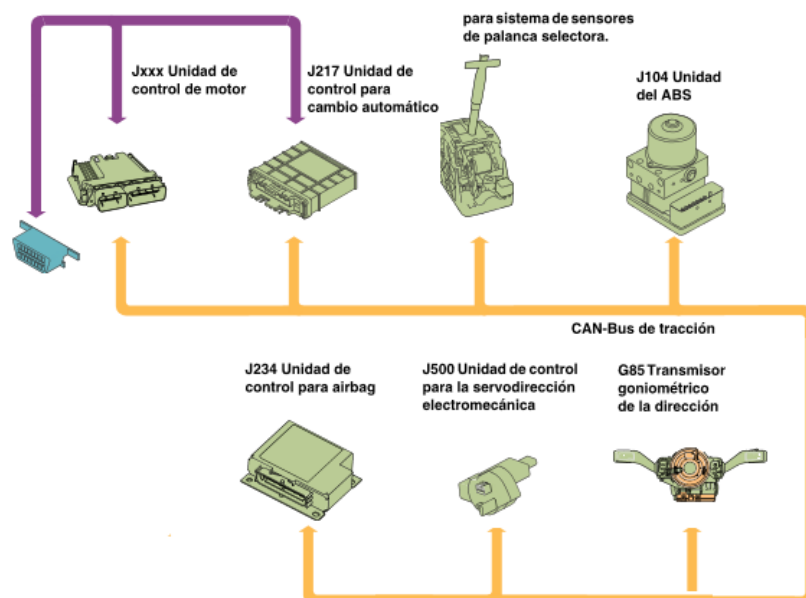


Ilustración 36. Línea bus de tracción.

La siguiente ilustración muestra el CAN-Bus de confort:

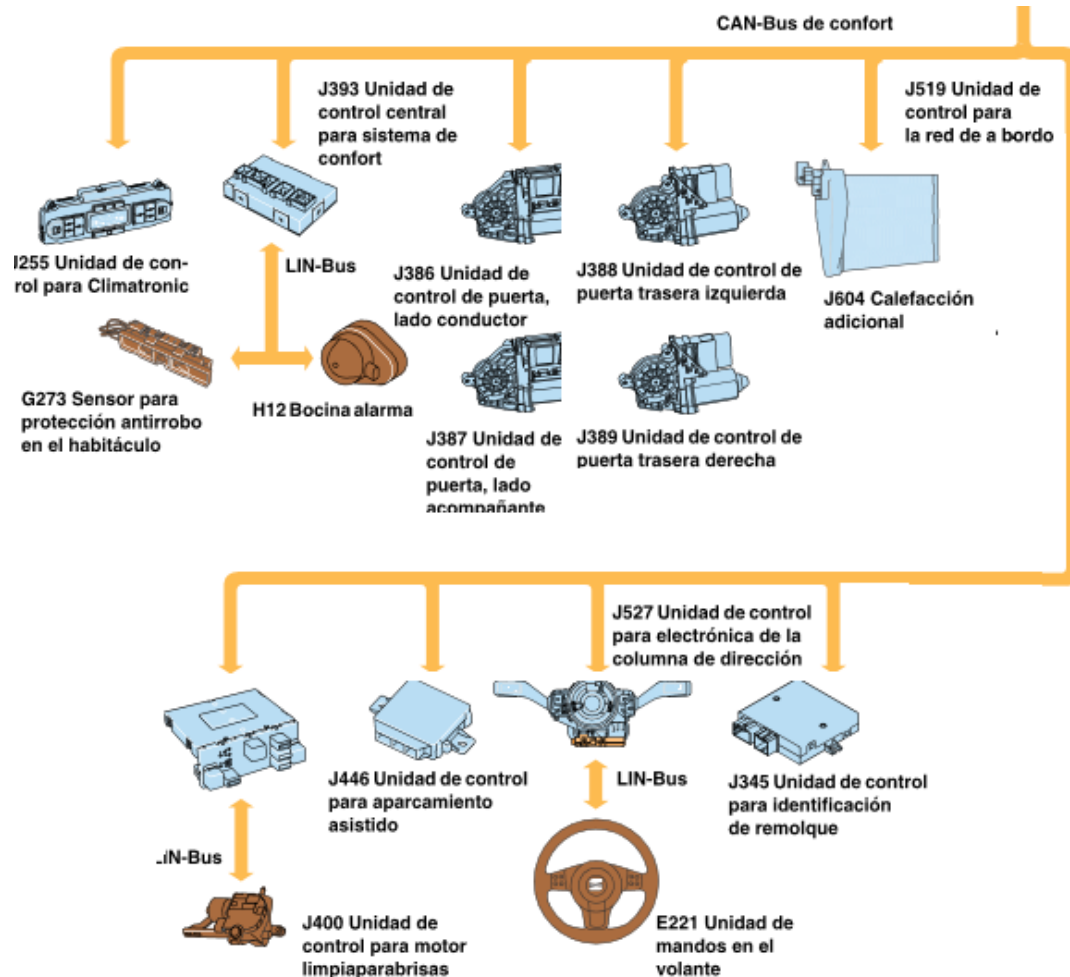


Ilustración 37. Línea bus de confort.

Este vehículo dispone de un parabrisas térmico, cuya finalidad es la de evitar la acumulación de nieve y hielo entre el parabrisas y el revestimiento del pilar, ya que eso puede impedir que el limpiaparabrisas vuelva a su posición de reposo, se activa conjuntamente con la calefacción de los espejos retrovisores exteriores a través del mando giratorio de regulación de espejos, el cual envía la información a la unidad de control de la puerta del conductor.

La siguiente ilustración muestra el funcionamiento del parabrisas térmico:

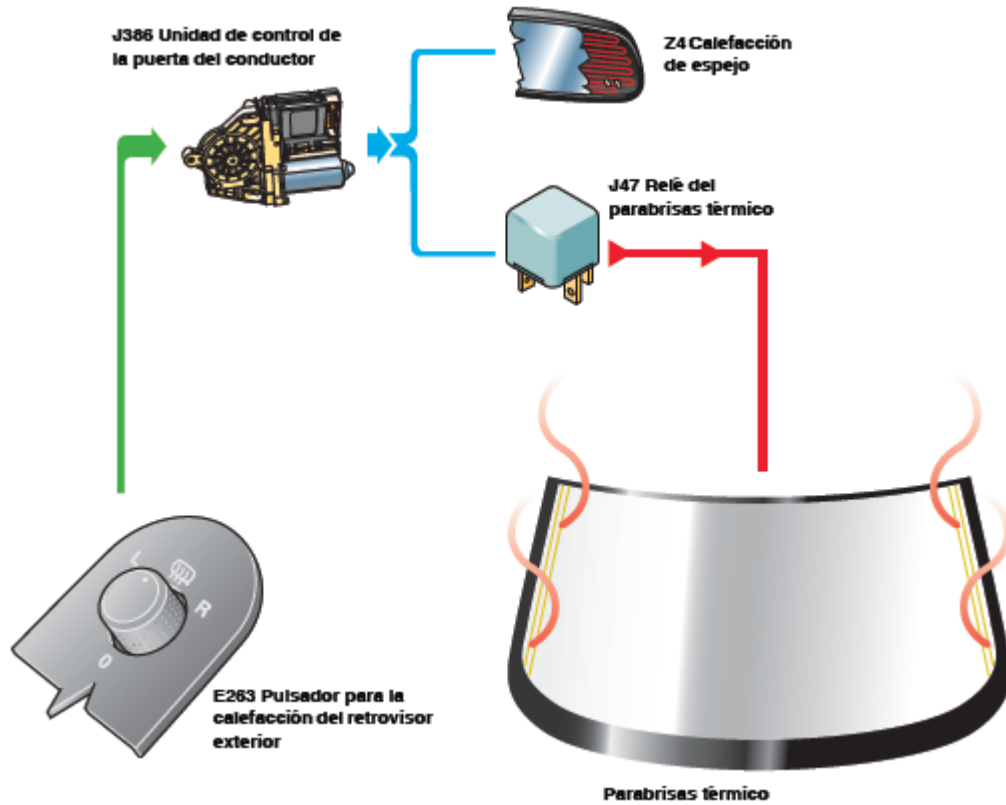


Ilustración 38. Funcionamiento del parabrisas térmico.

La siguiente ilustración muestra las líneas CAN-Bus de infotainment, cuadro y diagnóstico:

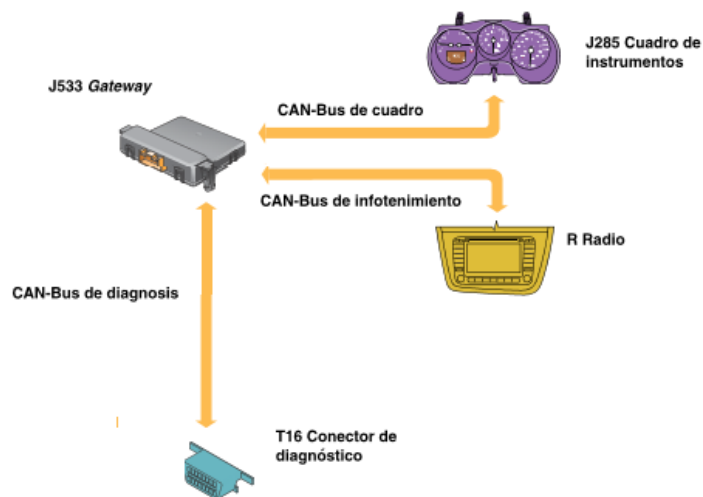


Ilustración 39. Líneas bus de diagnóstico, infotención y de cuadro.

5.5.4.1.3 LIN-Bus.

El intercambio de datos entre los distintos elementos del LIN-Bus se realiza a través de la unidad de control CAN correspondiente.

El LIN-Bus consta de un bus con un solo hilo de $0,35 \text{ mm}^2$ de sección y sin apantallamiento, el cual es de un color distinto para cada aplicación, tal y como muestra la tabla:

Función	Alarma y mandos del volante	Limpiaparabrisas
Hilo	Amarillo/Negro	Lila/Blanco

Tabla 2. Distinción de colores de los LIN-Bus.

Este sistema permite la comunicación entre la unidad de control maestra y dieciséis esclavas, tal y como se expone en el apartado 5.5.2.

5.5.4.1.3.1 Unidad maestra.

Es la unidad de control que está conectada al CAN-Bus, las funciones de esta unidad son:

- Controlar la transmisión de datos y su velocidad.
- Contiene un programa en el que se especifica el momento en el cual se ha de transmitir a LIN-Bus, especificando el tipo de mensaje.
- Traducir los mensajes que le llegan de las unidades esclavas (protocolo LIN-Bus) al protocolo CAN-Bus, y de este modo poder realizar la diagnosis de las mismas.

5.5.4.1.3.2 Unidad esclava.

Estas pueden ser tanto unidades de control como actuadores o sensores, por ejemplo, el sensor volumétrico de la alarma antirrobo, este sensor capta la presencia de un objeto extraño y transforma esta señal en impulsos eléctricos que posteriormente se transforman en una señal digital que es introducida en el LIN-Bus, y de ahí, a la unidad maestra que es la que después envía la información necesaria a la bocina (actuador).

En el protocolo CAN-Bus todas las unidades pueden intercambiar información entre sí, en el protocolo LIN-Bus esto no sucede, tal y como se ha mostrado en el párrafo anterior en el que la información del sensor no pasa a la bocina directamente, sino que esa información antes ha de ser procesada por la unidad maestra.

La siguiente ilustración muestra la primera línea LIN-Bus nombrada anteriormente en el apartado 5.5.4.1.2:

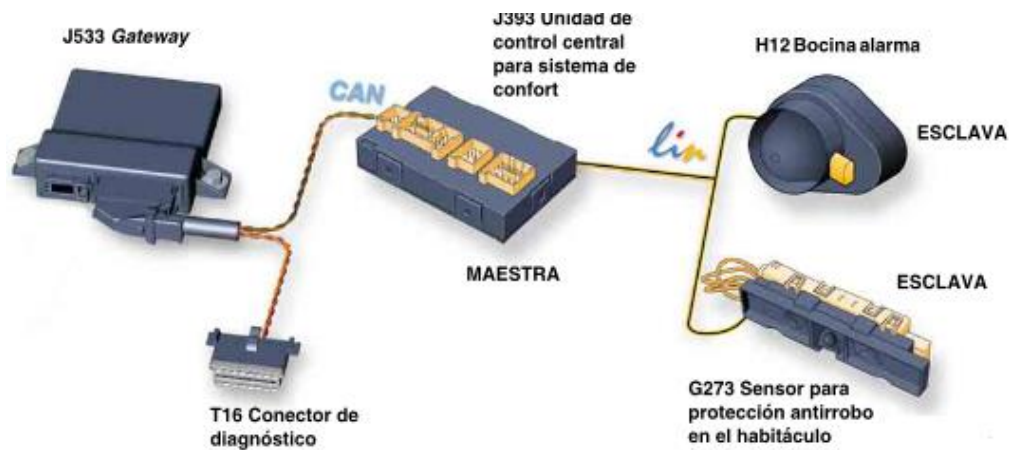


Ilustración 40. LIN-Bus asociado a la unidad central del sistema de confort.

5.5.4.1.3.3 Transmisión de datos.

La velocidad de transmisión del LIN-Bus es de 1-20 Kbit/s y viene determinada por las unidades conectadas al mismo, existen dos niveles de tensión: el dominante y el recesivo.

Si a través del LIN-Bus no se transmite ningún mensaje o se transmite un bit recesivo, el cable bus tiene aplicada una tensión equivalente a la de una batería, pero si lo que se necesita es transmitir un bit dominante, la unidad de control internamente conecta a masa el conductor LIN-Bus, de manera que se produce una señal de 0 V.

Con el fin de garantizar la correcta transmisión de información se han establecido unos rangos de tolerancias que oscilan entre el 20 y el 80% del valor de la tensión de la batería, fijándose el 80% para el valor mínimo con el que se emite una señal recesiva y el 20% para el valor mínimo con el que se emite una señal dominante.

La siguiente ilustración muestra estos niveles:

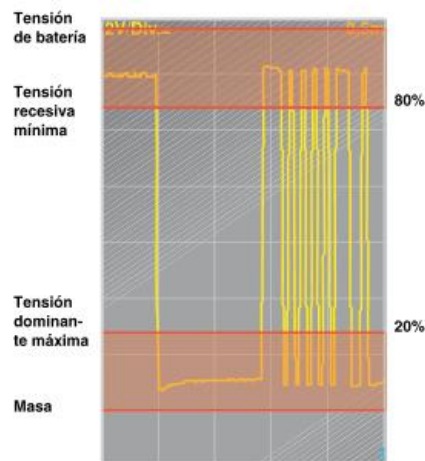


Ilustración 41. Tolerancias de emisión.

Para garantizar la correcta recepción de la información también existen unos niveles de tolerancias, un 60% de la tensión de la batería será el mínimo a partir del cual se detecta una señal recesiva y el 40% de la tensión para detectar una señal dominante.

En la siguiente ilustración muestra estos niveles:

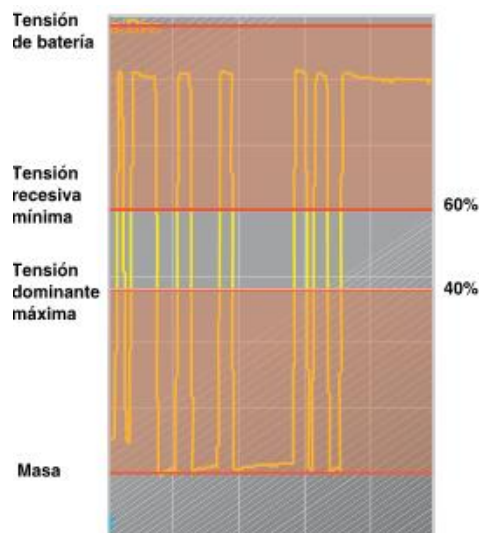


Ilustración 42. Tolerancias de recepción.

5.5.4.1.3.4 El mensaje.

El mensaje está compuesto por dos partes diferenciadas: el encabezado, que es emitido siempre por la unidad maestra y el contenido, que puede ser emitido tanto por la unidad maestra como por la esclava.

A través del encabezado, la unidad maestra solicita a la esclava que transmita la información correspondiente, dicha información es la que compone el contenido del mensaje.

El encabezado está dividido en cuatro partes, tal y como se expone en el apartado 5.5.2.

Como ejemplo, se muestra el caso de la red de a bordo, ésta solicita una información a la unidad de control del limpiaparabrisas, que en este caso es la velocidad de giro, en el momento de la recepción del mensaje, la unidad esclava (unidad de control del limpiaparabrisas) proporciona la información (contenido del mensaje) requerida por la unidad maestra (red de a bordo). La siguiente ilustración muestra de forma gráfica este caso:

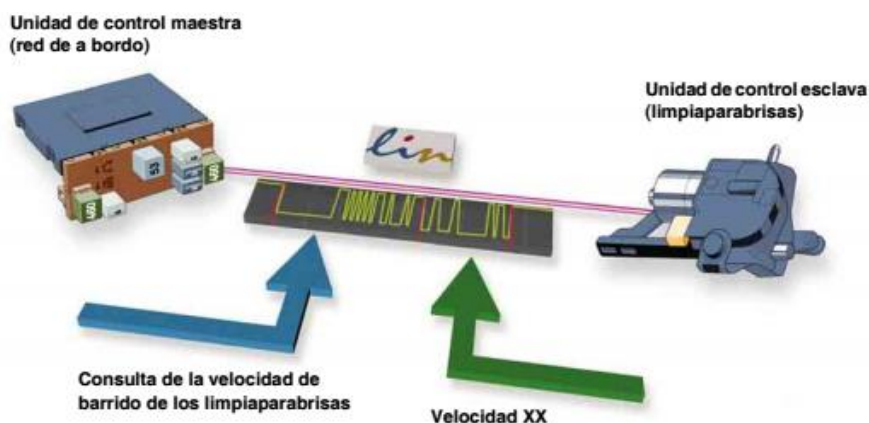


Ilustración 43. Solicitud de información por parte de la unidad maestra a una esclava.

Pero se puede dar el caso de que sea la unidad maestra la que emita el contenido del mensaje, como puede ser el caso de que la unidad maestra solicite una determinada velocidad para el limpiaparabrisas, en este caso la unidad esclava procesa dicha información y la utiliza para la ejecución de las funciones, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

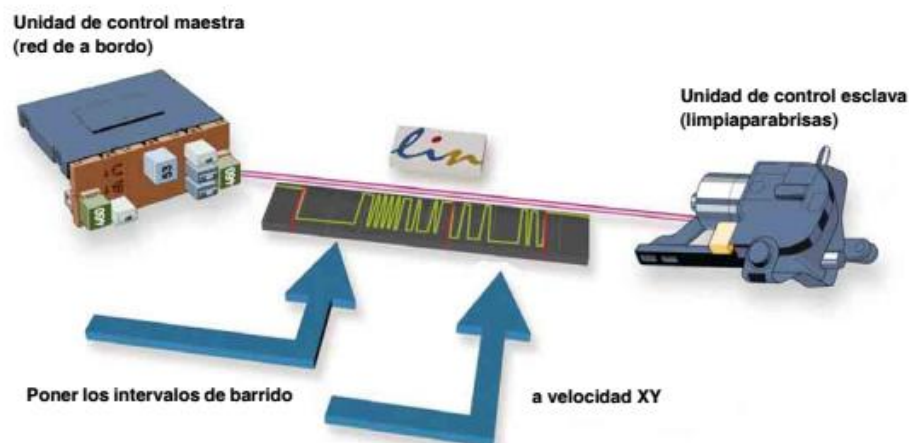


Ilustración 44. Procesamiento de la información enviada por la unidad maestra, por parte de la unidad esclava.

5.5.4.1.4 Gateway.

Es un dispositivo cuyo objetivo es comunicar y convertir los mensajes entre las distintas líneas CAN-Bus, así como la de realizar la activación y desactivación de la señal de borne 15 de las unidades de control conectadas al CAN-Bus de tracción y la de suspender a las diferentes líneas bus cuando estas no se están usando, así como su puesta en marcha cuando se las necesita, de este modo se ahorra energía.

Está situado justo encima del pedal del acelerador del vehículo.

La siguiente ilustración muestra la conexión de las diferentes líneas CAN-Bus al Gateway:

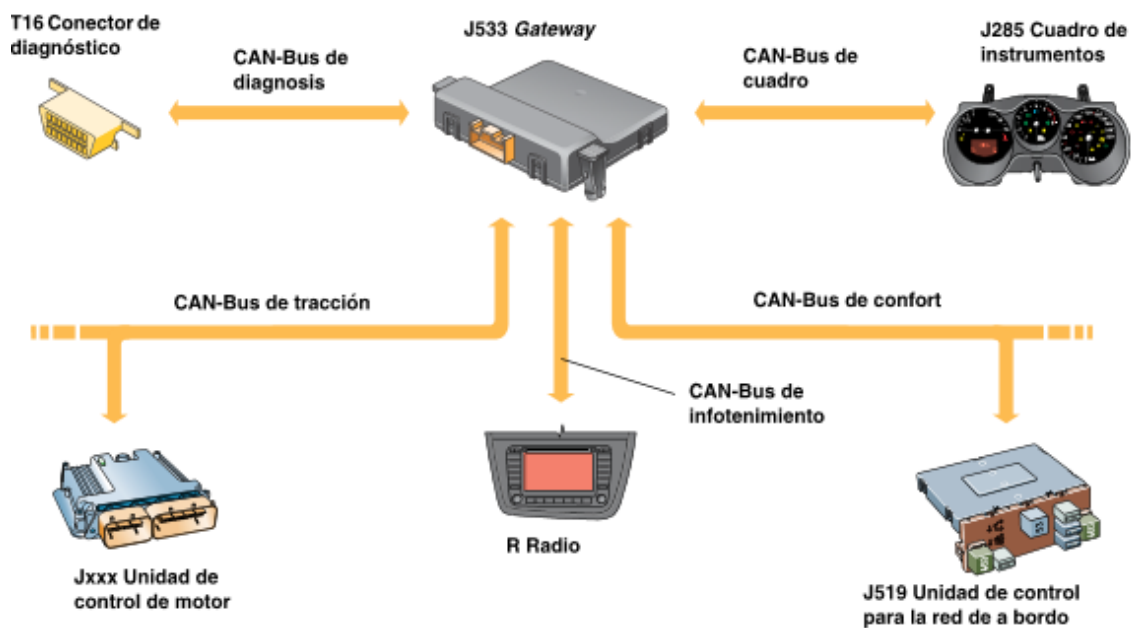


Ilustración 45. Conexión de las distintas líneas CAN-Bus al Gateway.

5.5.4.1.4.1 Autodiagnos.

A través de la localización guiada de averías o de funciones guiadas es posible realizar las siguientes operaciones:

- Comprobar el cableado y el funcionamiento de todas las líneas de CAN-Bus.
- Verificar el estado de las diferentes unidades conectadas a cada línea.
- Codificación del Gateway.

5.5.4.1.4.2 Codificación.

El Gateway debe ser codificado ya para ello es necesario introducir los siguientes parámetros:

- Marca del vehículo.
- Tipo de carrocería.
- Guía derecho o izquierda.
- Unidades que equipa el vehículo conectadas a las diferentes líneas CAN-Bus.

La codificación se realiza siguiendo un plan de comprobaciones específica para ello, en el que se preguntan, una a una, todas las opciones disponibles en el vehículo.

5.5.4.2 *Seat León.*

Al igual que el Altea, éste vehículo también es propulsado únicamente por un motor de combustión, a continuación se expondrá una ilustración en la que se muestra todas las líneas CAN-Bus que lo controlan, este esquema es ya más simplificado, pues en el apartado 5.5.4.2 en el que se expone el Seat Altea, se muestra de una forma más detallada los elementos que componen el CAN-Bus de esta marca de vehículos:

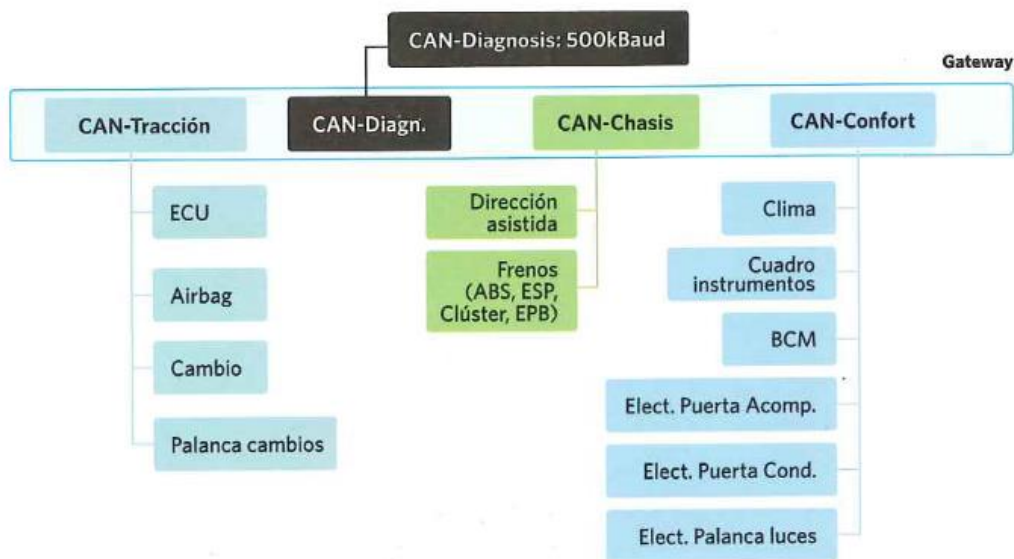


Ilustración 46. Esquemas de los buses utilizados en el Seat León.

5.5.4.3 Seat León twin drive.

Este modelo de vehículo es eléctrico, concretamente híbrido con configuración en paralelo y enchufable, la ilustración 46 muestra las distintas líneas CAN de las que dispone el León, en la siguiente imagen se puede apreciar como las líneas CAN del León y el twin drive son totalmente idénticas, a excepción de una nueva que el twin drive incorpora para controlar la parte eléctrica del vehículo, demostrándose de esta forma que a lo que control se refiere, el vehículo eléctrico (ya sea híbrido o puramente eléctrico) es muy similar al de combustión, salvando algunas diferencias.

En la siguiente ilustración se muestran las diferentes líneas CAN del twin drive:

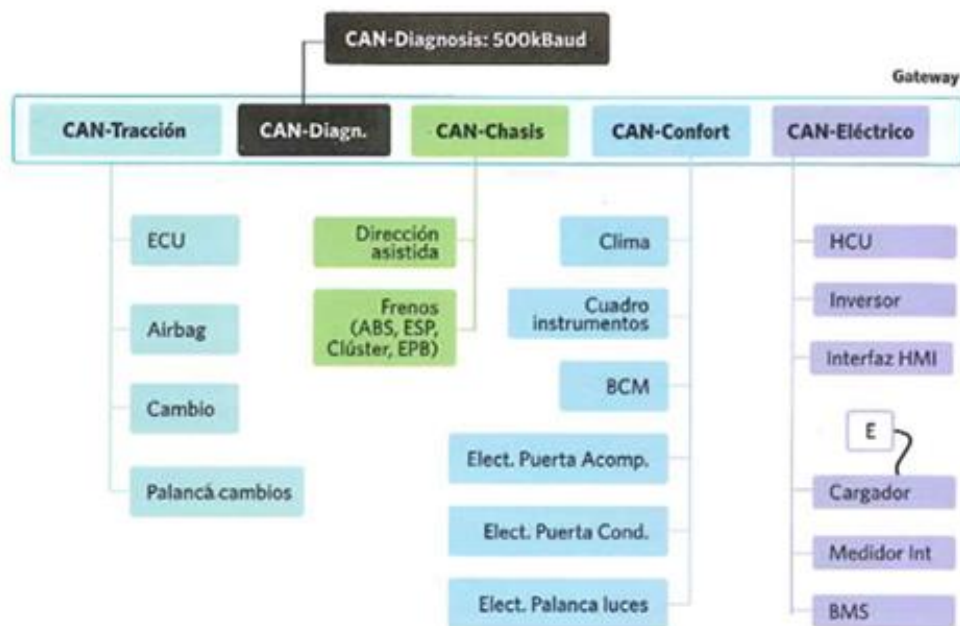


Ilustración 47. Esquema de los buses utilizados en el Seat León twin drive.

Dentro del bus CAN-Tracción, se pueden observar las distintas unidades de control: ECU, airbag, cambio y palanca de cambios, de todas ellas la más importante es la ECU, que es la que se encarga de: la mezcla de combustible (gasolina en este caso), la sincronización del encendido, la velocidad de ralentí y la sincronización entre válvulas.

El bus CAN-Diagnosis es el encargado de recopilar toda la información del vehículo y almacenarla en su unidad de control para que posteriormente se puedan extraer los datos con los medios a través del conector CAN.

El bus CAN-Chasis es por el cual circulan los datos referentes a la seguridad en el vehículo, se puede observar las dos bloques: dirección asistida, compuesto por una unidad de control con su mismo nombre y el bloque de frenos compuesto por distintas centralitas: ABS, ESP, Clúster y EPB.

El bus CAN-Confort es el que se encarga de la comodidad de los ocupantes del vehículo, se puede observar la centralita para controlar la climatización del vehículo, el cuadro de instrumentos, que es una unidad de control que controla funciones multimedia: GPS, DVD, radio, etc. También se aprecia la BCM, que es

la unidad de control destinada al control de la alarma y al cierre de puertas y las demás unidades de control destinadas a la electrónica de las puertas (elevalunas y limpiaparabrisas) y a las luces del vehículo.

En el bus CAN-Eléctrico también se pueden encontrar varias unidades de control. La unidad de control HCU (Hybrid Control Unit), que es la que se encarga de realizar la gestión de energía del vehículo, gracias al EMS (Energy Management System), cuyas funciones son:

- Estimación del nivel de carga en tiempo real.
- Control del cargador basado en un módulo individual del voltaje y temperatura de las baterías (perfil de carga).
- Ecualización de las baterías.
- Diagnóstico del sistema.
- Adquisición de los datos del vehículo (histórico de ciclos).
- Monitorización y verificación de garantía de las baterías.

La unidad de control que se encarga del inversor, hay una por cada inversor que tenga el vehículo, esta unidad de control gobierna al motor ya que tiene el control sobre la tensión y frecuencia de la señal que el inversor envía al motor, de este modo se tiene un control sobre: par del motor, potencia, velocidad, etc. Además tiene la capacidad de trabajar a la inversa, es decir, de controlar el nivel de tensión que le llega a las baterías en el caso de una frenada o de que el motor eléctrico trabaje como generador, ya que si las baterías están cargadas o la tensión que se ha obtenido de una frenada es superior a un límite, esta unidad transformará dicho exceso de energía en calor a través de una resistencia eléctrica gracias a su chopper de frenado (apartado 4.2.1.1).

La unidad de control de cargador se utiliza para gestionar la entrada de energía de la red eléctrica, solo estará presente en todos aquellos vehículos que necesiten ser enchufados a la red, como es el caso de este modelo.

Dispone de un medidor de intensidad.

La unidad de control BMS (Battery Management System) es la que se encarga de gestionar el estado de las baterías, debe de tener en cuenta el estado

de cada una de las celdas de las baterías (tensión, intensidad, nivel de carga, ciclos, etc.) para maximizar el uso del conjunto.

El interfaz HMI (Human-Machine Interface), por el cual el usuario puede decidir cuando quiere utilizar el motor eléctrico y cuando el de combustión, así como programar la hora a partir de la cual quiere que el vehículo comience a cargar, aunque este esté conectado a la red.

6 NUEVAS TENDENCIAS.

6.1 FLEXRAY.

6.1.1 Introducción.

En los últimos años ha habido un significativo incremento de la electrónica en los sistemas de automoción, siendo la tendencia creciente, lo que permite a los fabricantes introducir avances en seguridad, fiabilidad y confort.

Las nuevas aplicaciones en este sector, demanda CPUs más complejas y con una mayor velocidad de transmisión de datos entre ellas, en este aspecto, los protocolos existentes no cumplen los requerimientos demandados, por esta razón surge Flexray.

6.1.2 Capa física.

6.1.2.1 Arquitectura de un nodo.

Un nodo de Flexray está formado esencialmente por: un microcontrolador, un controlador de comunicaciones, dos transceivers y una fuente de alimentación.

El microcontrolador es el propio de la CPU, el cual se encarga de enviar y recibir cada cierto tiempo tramas de información al bus Flexray. Para ello se comunica con el controlador de comunicaciones, que no es más que un periférico hardware que gestiona en todo momento el protocolo, es decir, el microcontrolador gestiona toda la información que llega al controlador de comunicaciones, éste a su vez, se comunica con los transceivers que se encargan de transformar los datos lógicos a niveles eléctricos de bus, se necesitan dos transceivers porque el protocolo Flexray dispone de dos canales de información, por tanto, se necesita un transceiver por canal.

6.1.2.2 Topologías de red.

6.1.2.2.1 Linear passive bus.

Es la topología más básica y una de las más usadas, en caso de que por su importancia dentro del sistema se requiera, un nodo puede estar conectado a los dos canales a la vez, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

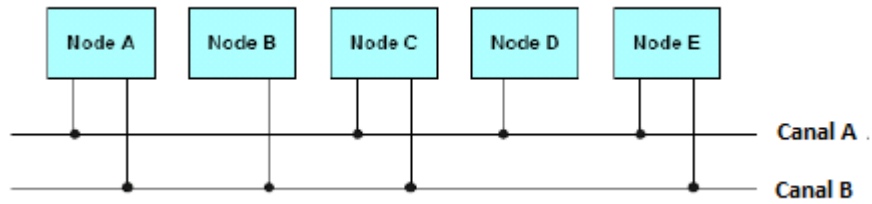


Ilustración 48. Topología Linear passive bus de Flexray.

La siguiente ilustración muestra una tabla en la que aparecen las limitaciones de esta topología:

Longitud del bus	24m
Número máximo de nodos conectados al bus mediante stubs	22

Ilustración 49. Limitaciones de la topología Linear passive bus de Flexray.

Una variante de esta topología es la passive star, la cual tiene las mismas limitaciones, la idea es unir varios nodos por un mismo punto, tal y como muestra la siguiente ilustración:

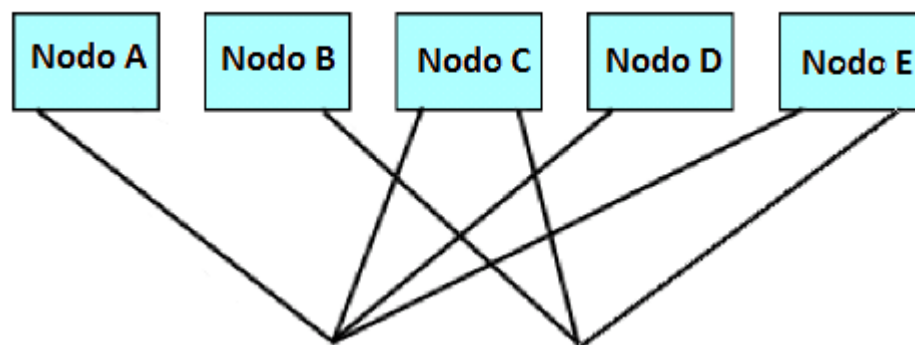


Ilustración 50. Topología passive star de Flexray.

6.1.2.2.2 Topologías con Active stars.

Estas topologías hacen uso del elemento repetidor active stars. Este dispositivo es capaz de detectar fallos en las líneas que se le acoplan y desconectarlas, así como de encargarse de que a cada línea le llegue su información, el inconveniente es que produce retardos en la comunicación. La siguiente ilustración muestra un esquema básico de esta tipología:

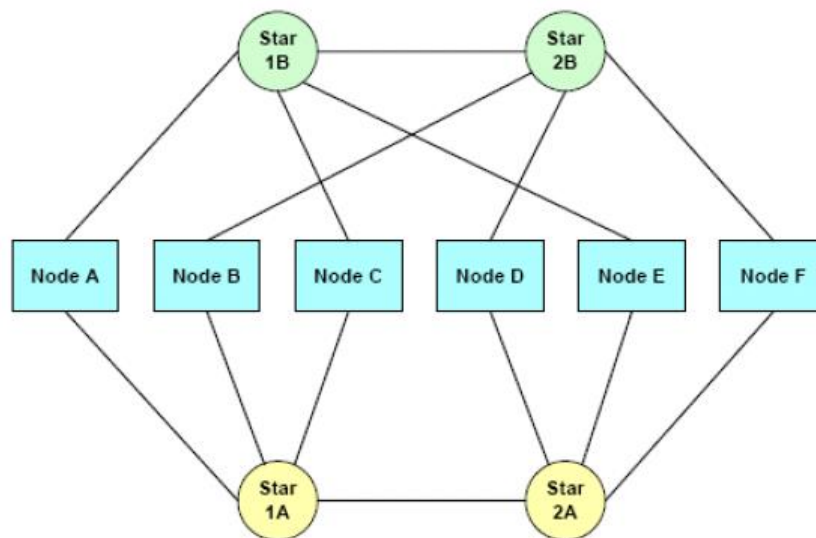


Ilustración 51. Topología con Active stars.

La siguiente ilustración muestra una tabla en la que aparecen las características de esta topología:

Distancia máxima de un nodo al Active Star	24m
Longitud máxima entre dos AS	24m
Número máximo de AS en cascada	2

Ilustración 52. Limitaciones de la topología con Active stars.

6.1.2.2.3 Topologías híbridas.

Es posible crear una red a base de la unión de topologías básicas, solo hay que tener en cuenta las limitaciones de cada una de las líneas básicas que la componen.

6.1.2.3 Morfología de los datos a nivel físico.

Los datos en el Flexray se detectan por diferencia de señales, al igual que sucedía con el CAN, en este caso, toma la diferencia de señal de la salida de los dos transceiver.

6.1.2.3.1 Datos a nivel eléctrico.

Se pueden apreciar diferentes símbolos:

- Idle_LP: Estado del bus en baja energía cuando no circula corriente por el mismo y el transceiver fuerza un cero a la salida.
- Idle: Estado del bus cuando no circula corriente por él, pero el transceiver fuerza un determinado voltaje.
- Data_1: El uno lógico se traduce como una diferencia positiva de las señales de ambos transceivers.
- Data_0: El cero lógico se traduce como una diferencia negativa de las señales de ambos transceivers.

6.1.2.3.2 Datos a nivel lógico.

A parte de los nombrados en el apartado 6.1.2.3.2, en Flexray existen tres símbolos especiales:

- WUS: Sirve para activar a todos los nodos de la red. Es una sucesión de ceros determinada.
- MTS: Este símbolo sirve para realizar procesos de depuración.
- CAS: Sirve para sincronizar una red y evitar colisiones en la fase de establecimiento de la conexión.

6.1.2.3.3 Trama física.

En Flexray los mensajes siguen la siguiente morfología:

- TSS: Es un parámetro importante, pues es el que configura todos los elementos del sistema antes de que se inicie la comunicación, está compuesto por una serie de ceros.
- FSS: Después del TSS, éste inserta un bit de valor uno con el fin de evitar que el sistema detecte errores cuando verdaderamente no los hay, debido a la lectura de los ceros del TSS.
- BSS: Con el fin de sincronizar a todos los elementos del sistema y de conocer que canal es el que está libre, al principio de cada byte se inserta un uno lógico.
- FES: Indica que la trama de información ha terminado y posteriormente cierra el canal.

6.1.2.3.4 Concepto de bus guardián.

Consiste en aportar otro elemento de red al bus Flexray con un propósito, que es el de garantizar la protección de las líneas que previamente se les ha programado, ya que hay líneas del bus que por su gran importancia dentro del sistema necesiten una mayor seguridad.

6.1.3 Capa lógica.

La capa lógica del protocolo está gestionada por el controlador de comunicaciones. Por encima de la capa lógica está la capa de aplicación controlada por la unidad de control de la CPU.

La unidad de control abstrae totalmente de la gestión del protocolo Flexray, cuya misión recae en el controlador de comunicación, éste a su vez dispone de un elemento que es el que controla los procesos más importantes del protocolo, el POC (Control de Operaciones del Protocolo).

6.1.3.1 Control de Operaciones del Protocolo (POC).

El POC es una máquina de estados principal del protocolo. Decide en todo momento en qué estado se encuentra el protocolo y reacciona a las órdenes de la unidad de control realizando los cambios necesarios en los siguientes subprocesos.

6.1.3.1.1 Coding and decoding.

Este subproceso se encarga de codificar y decodificar las tramas de información.

6.1.3.1.2 Frame and symbol processing.

Este subproceso se encarga de recopilar los datos de salida del coding and decoding y comprobar que no existen errores: sintácticos, semánticos y de sincronización, en caso de que no existe ningún error toda la información analizada pasa a la unidad de control.

6.1.3.1.3 Media acces control.

Está compuesto por slots de tiempo, cada slot tiene asociado una secuencia binaria determinada, a la que se le asocia un nodo, dicho nodo solo puede transmitir en su slot, por este motivo Flexray es un bus TT (Time triggered).

6.1.4 Tecnologías X-by-wire.

Tal y como se expone en el apartado 6.1, gracias a los avances tecnológicos los vehículos están mejor equipados, la tendencia actual es suprimir partes mecánicas del vehículo por un conjunto de sensores y actuadores unidos por un cable, son las llamadas tecnologías X-by-wire. El hecho de que se suprima la parte mecánica del vehículo requiere una mayor velocidad de

transmisión de información, velocidad que el CAN-Bus no puede proporcionar, y es aquí donde Flexray es utilizado.

6.1.4.1.1 Steer-by-wire.

La siguiente ilustración muestra el mecanismo por el cual el movimiento del volante se transmite a las ruedas:

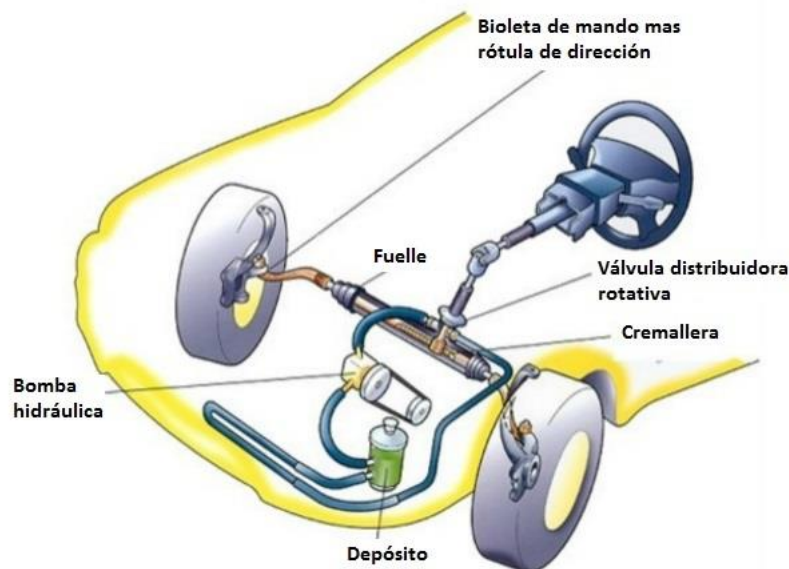


Ilustración 53. Mecanismo de dirección hidráulica de un vehículo.

Cuando el vehículo se pone en marcha la bomba se pone en funcionamiento, permitiendo que el fluido del depósito circule por el circuito cerrado, de este modo, no se requerirá de un gran esfuerzo para mover el volante, éste transmite su movimiento al eje al que están acopladas las ruedas gracias a la válvula distribuidora rotativa, que mueve un piñón sobre la cremallera, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 54. Cremallera.

El steer-by-wire es una tecnología que suprime todo este sistema por otro totalmente eléctrico, eliminando peso del vehículo. La siguiente ilustración muestra un sistema de este tipo:

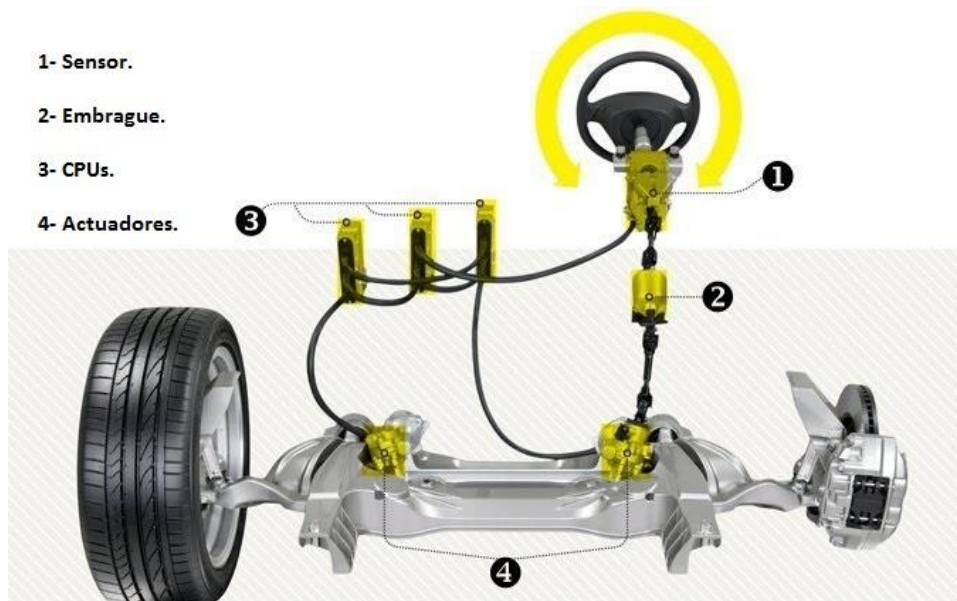


Ilustración 55. Sistema steer-by-wire.

Al girar el volante el sensor capta el ángulo de giro y lo envía a una de las tres CPUs, ésta a su vez procesa la información y la envía a las otras dos, las cuales, en función de la información recibida enviarán una orden u otra a su actuador asociado.

Para que el conductor del vehículo tenga conocimiento de las vueltas que le ha dado al volante, es decir, que no llegue el momento en el que las rudas no se pueda mover más y el conductor le siga dando vueltas al volante. Llegado este momento los actuadores envían un mensaje a su correspondiente CPU, de dicha CPU el mensaje se envía a la CPU central, y por último al sensor del volante, que se bloqueará para evitar que el volante gire.

Se puede dar el caso de fallo eléctrico, para evitar la pérdida del control sobre el vehículo el embrague entra en funcionamiento, consiguiendo de este modo que el conductor del vehículo pueda girar las ruedas de modo mecánico, aunque este modo no dispone de ningún fluido que facilite girar las ruedas, la seguridad está garantizada.

6.1.4.1.2 Brake-by-wire.

Es donde entra en juego el frenado regenerativo, ya que tal y como aparece en los apartados 8.5.1.10.2, 8.5.2.2 y 8.5.3.3 del anexo segundo, cuando un motor actúa como generador al que se le acopla una carga, que en este caso es el sistema de baterías, por dicho generador circula una intensidad que se dirige a la carga, esta intensidad produce un par en dicho generador que es contrario al par con el que se mueve el eje que facilita el giro del rotor del mismo, produciendo una disminución de velocidad o incluso el frenado de dicho eje.

El pedal de freno está dotado de un sensor que mide la fuerza con la que el conductor del vehículo lo pisa, si esa fuerza no es muy significativa (una disminución de velocidad), el sensor envía la información a la CPU que controla al inversor del vehículo, pues es el inversor el que controla los parámetros del motor, de modo que el motor actúa como generador, la intensidad que este generador aporta a las baterías depende de la fuerza con la que el conductor pise el pedal de freno, cuanto mayor sea la fuerza con la que pisa (mayor frenada), la intensidad que el generador aporta a las baterías es mayor, y por

consiguiente mayor será el par que dicha intensidad produce, provocando la disminución de la velocidad del vehículo.

En el caso de que sea una frenada brusca, la CPU recibe dicha información y pone en funcionamiento el frenado convencional. Debido al riesgo que supondría un fallo en el sistema eléctrico ante este tipo de tecnología, actualmente es necesario el empleo de todo el mecanismo convencional.

6.1.4.1.3 Speed control system.

El pedal del acelerador está equipado con un sensor que mide la fuerza con la que el conductor del vehículo lo pisa, este sensor envía la información a la CPU del motor, que variará según el tipo de vehículo. Si el vehículo es puramente eléctrico, la información se envía a la CPU que controla al inversor, pero si el vehículo es híbrido, tal y como se expuso en el apartado 3.4, existen tres configuraciones híbridas: serie, paralelo y mixta.

En la configuración serie, al pisar el acelerador la información llega tanto a la ECU como a la CPU del inversor, ya que es necesario que el motor térmico produzca la energía necesaria para el movimiento del vehículo, y el inversor tiene que adaptar esa energía a la que precise el motor y las baterías.

En la configuración paralelo, este control necesita de más recursos, ya que son los dos motores (combustión y eléctrico) los que mueven al vehículo, en un tramo de ciudad donde la velocidad es muy baja, sobre el acelerador no se ejerce una gran fuerza, por lo tanto la ECU no arranca al motor de combustión y la CPU del inversor arranca al eléctrico, si la presión en el pedal aumenta, esta información llega a la ECU para arrancar el motor de combustión, para garantizar que los dos motores giren a las mismas revoluciones, tanto la ECU como la CPU del inversor están constantemente enviándose información sobre el estado de sus motores.

6.2 ACUMULADORES.

6.2.1 Batería de sodio cloruro de níquel (ZEBRA).

ZEBRA proviene del inglés Zero Emission Battery Research Activity, es una batería que trabaja a una temperatura promedio de 300⁰ C (batería de alta temperatura). Para alcanzar alto rendimiento estas baterías utilizan elementos ligeros con una afinidad química grande. Por esta razón se utiliza el sodio en el electrodo negativo y níquel en el positivo, siendo el electrolito un compuesto sólido a base de óxidos de aluminio cerámico que contiene iones de sodio. A temperaturas por encima de los 270⁰ C, lo iones de sodio alcanzan una alta movilidad dentro del interior del electrolito sólido. Las ventajas de que la batería opere a altas temperaturas son las siguientes:

- A temperatura ambiente pueden ser almacenadas con su carga completa sin necesidad de mantención.
- Ya que la caja que almacena las celdas se encuentra totalmente aislada térmicamente, el funcionamiento de la batería es totalmente independiente de la temperatura ambiental.
- El control térmico es más fácil que con baterías que trabajan a temperatura ambiente, ya que existe un diferencial térmico mayor entre la temperatura de la celda y su refrigerante (aire).

Las desventajas:

- Los sistemas de control de temperatura y los materiales aislantes térmicos aumenta el peso de la batería, el tamaño y el precio de ésta.
- Tanto el calefactor como el ventilador que controlan su temperatura consumen energía de la batería.
- Aunque es poco probable, ante alguna falla de aislamiento eléctrico se puede producir un incendio en el vehículo.
- El proceso de calentamiento es lento.

La siguiente ilustración muestra una batería de este tipo:



Ilustración 56. Batería ZEBRA.

La química, el diseño y la construcción del sistema dan también muchas otras ventajas, que contribuyen a la vida, confiabilidad, resistencia al abuso, seguridad y a la amplia aplicabilidad de la ZEBRA.

La batería dispone de una serie de sistemas internos de protección tales como: relés e IGBTs en sus bornes, tanto para la conexión de la carga como para la del cargador. El sistema electrónico monitorea variables como la carga eléctrica, el voltaje, la corriente, la temperatura, la resistencia y el funcionamiento de cada uno de sus componentes. Pero no solo controla parámetros internos, sino que también controla la resistencia de aislamiento de esta con respecto al chasis del motor.

6.2.2 Ultracondensadores.

Son otros dispositivos capaces de almacenar más energía que los condensadores expuestos en el apartado 11.2 del anexo III, también se les denomina Supercondensadores, supercapacitores, o utracaps.

Destacan sobre las baterías en que son capaces de entregar y recibir una mayor cantidad de potencia, pero la densidad de energía es sensiblemente inferior, en torno a los 5 Wh/Kg .

Los Ultracondensadores se agrupan en módulos conectados en serie, en un formato similar al de las baterías, a nivel electrónico sería algo difícil de controlar, para el vehículo aportaría una gran funcionabilidad el hecho de combinar baterías y ultracondensadores, ya que estos últimos se encargaría de recibir las grandes cantidades de potencia que se generan en las frenadas, así como la de proporcionar la gran cantidad de potencia que se precisa en el arranque o subida de pendientes evitando el deterioro de las baterías, ya que éstas son incapaces tanto de aprovechar toda la energía producida en las frenadas como de entregar la potencia que se necesita en el arranque, puesto que se solicita una elevada potencia en un corto intervalo de tiempo. Las baterías se utilizarían en la marcha constante del vehículo.

Otra limitación que tiene estos dispositivos es la poca tolerancia a altas temperaturas. Sus elementos pierden rendimiento y empiezan a deteriorarse a partir de 55°C , por lo que hay que intentar mantenerlos por debajo de este límite, sin embargo esta peculiaridad no debe de influir a la hora de seleccionar este tipo de elementos, pues con un buen sistema de refrigeración se solventa el problema, además, su larga vida útil, sin mantenimiento, no tener ningún tipo de riesgo en su correcta utilización y el hecho de no contener materiales contaminantes, sitúa al ultracondensador por encima de la batería.

La siguiente ilustración muestra un supercondensador utilizado para tracción eléctrica:



Ilustración 57. Ultracondensadores.

6.3 TECNOLOGÍA HÍBRIDA EN AUTOBUSES.

El principal problema que presentan los vehículos de combustión utilizados en los transportes públicos es la gran cantidad de emisiones que producen al año en los centros urbanos, no es que los demás vehículos contaminen, sino que estos lo hacen en mayor medida, pues necesitan un motor de combustión mayor para poder mover la masa total del propio vehículo mas la de los pasajeros y con ello un mayor consumo de combustible.

Por esta razón surgió en Barcelona el TMB (Transporte Metropolitano de Barcelona), que entre sus múltiples proyectos destaca el empleo del autobús híbrido, específicamente el híbrido serie.

Antes de ser híbridos muchos de estos autobuses fueron completamente de combustión, se tomó la decisión de hacer esta transformación ya que diseñar un vehículo desde cero es más costoso que adaptar uno ya existente, aunque esto suponga complicaciones a la hora de diseñar los nuevos elementos a instalar.

Como elementos añadidos se tiene:

- Motores eléctricos para la tracción.
- Acumuladores de energía.
- Generador eléctrico.
- Inversores para el generador y los motores eléctricos.
- Armario eléctrico interior y cableado.
- Motor auxiliar.
- Circuito neumático adicional.
- Circuito hidráulico adicional.
- Controlador principal.
- Resistencia de frenado.

Como elementos modificados:

- Escape.
- Junta cardán del eje motriz.
- Compresor de aire.
- Elementos de transmisión.

Como elementos eliminados:

- Caja de cambios.

Teniendo en cuenta que los motores eléctricos pueden ofrecer durante cortos intervalos de tiempo picos de potencia, dichos motores se escogen atendiendo a una potencia media y no a la que verdaderamente necesita el autobús, de esta forma se evita sobredimensionar el motor y también se obtiene un mayor rendimiento del mismo, tal y como se expone en el apartado 10.3 del anexo II.

Para conocer la potencia necesaria para el motor o conjunto de motores se realizan medidas de la potencia que requeriría el autobús en situaciones como: subidas de pendientes de distintos niveles o la potencia requerida en un recorrido normal (velocidad de unos 20 Km/h en tramos llanos). Tomando estas consideraciones se decidió incorporar en los autobuses dos motores asíncronos de la marca Siemens, la siguiente tabla muestra las características de este motor:

<i>Tipo</i>	<i>Motor asíncrono de inducción (c.a)</i>
<i>Modelo</i>	1PV5135WS28
<i>Voltaje nominal [V]</i>	650
<i>Potencia nominal [Kw]</i>	67
<i>Par nominal [Nm]</i>	160
<i>Par máximo</i>	360 Nm a 250 A 430 Nm a 300 A
<i>Intensidad nominal [A]</i>	124
<i>Velocidad máxima [rpm]</i>	10.000
<i>Peso [Kg]</i>	90
<i>Dimensiones (Largo x Ancho x Alto) [mm]</i>	425 x 245 x 245
<i>Temperaturas de trabajo [°C]</i>	-30 a 70
<i>Grado de protección IP/K</i>	65/9

Tabla 3. Características del motor asíncrono de Siemens modelo 1PV5135WS28.

La siguiente ilustración muestra el motor utilizado en estos autobuses:



Ilustración 58. Motor asíncrono trifásico para tracción de Siemens modelo 1PV5135WS28.

La siguiente ilustración muestra las curvas características de este motor:

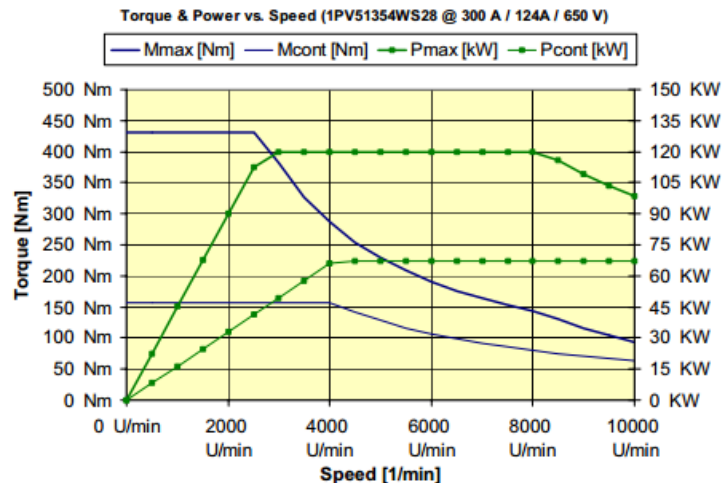


Ilustración 59. Curvas características del 1PV5135WS28.

En la gráfica que muestra la ilustración 58 se puede observar como el motor eléctrico, en especial el modelo 1PV5135WS28 es capaz de ofrecer más potencia de la nominal así como un par máximo. Se puede observar como para velocidades de entre 0 – 2.500 *rpm* el motor proporciona un par máximo y constante de aproximadamente 440 *Nm*, a partir de este punto disminuye cuanto mayor es la velocidad. Mientras la potencia asciende a los 120 *Kw* y se mantiene constante hasta las 8.000 *rpm* que empieza a disminuir. Este motor es muy eficaz para los autobuses puesto que a su máxima velocidad (10.000 *rpm*) es capaz de proporcionar un par de 100 *Nm* aproximadamente, acercándose a su par nominal (150 *Nm*), lo que significa que el autobús puede enfrentarse a la subida de una pendiente pronunciada sin apenas variar su velocidad de marcha. Eso sí, no se puede olvidar que tanto la curva de par como la de potencia máximos son valores que el motor es capaz de proporcionar durante un breve intervalo de tiempo. El funcionamiento continuo queda representado por las curvas de potencia y par constantes, que tomando como referencia la del par constante se puede observar que el motor es capaz de entregar su par nominal

hasta las 4.000 *rpm*, a partir de las cuales disminuye paulatinamente cuanto mayor es el valor de estas.

Como elemento de acumulación de energía se escogió a los Supercondensadores ya que son idóneos por su capacidad de cargarse y descargarse rápidamente así como la de entregar y recibir grandes cantidades de potencia en esos breves instantes de tiempo, sus cualidades son útiles ya que el autobús está constantemente parándose y emprendiendo la marcha, en las paradas carga la batería de supercondensadores y en los emprendimientos de marcha o aceleraciones estos liberan la potencia almacenada. Los ultracondensadores están diseñados para que en el tiempo de las frenadas o aceleraciones sean capaces de almacenar o entregar toda la potencia necesaria. En las frenadas se puede dar el caso de que los supercondensadores sean incapaces de almacenar toda la potencia, por ello se dispone en el techo de los autobuses de unas resistencias que la disiparan en forma de calor. En estos autobuses se disponen de seis supercondensadores dispuestos en serie, obteniendo así una capacidad de 10,5 *F*.

La siguiente ilustración muestra el autobús retrofit de TMB con los seis ultracondensadores y las resistencias colocados en el techo:



Ilustración 60. Autobús Retrofit de TMB.

En el cambio de autobús de combustión a autobús híbrido la electrónica juega un papel importante ya que el funcionamiento del autobús cambia completamente con el hecho de que el motor de combustión ya no es el que lo propulsa, puesto que pasa a ser el que mueva el eje del generador para así producir la energía eléctrica necesaria. Este es el cambio más significativo pero no el único.

Ahora es cuando el energy management, expuesto en el apartado 5.5.4 adquiere importancia en la gestión de la energía. La electrónica de control es la que decide cuestiones tan importantes como:

- Si será el generador o los supercondensadores los que alimentarán a los motores.
- Cuando se enciende y apaga el motor diésel.
- Puntos en los que por la solicitud de energía se precise encender el motor diésel.
- Estado de carga de los ultracondensadores.
- Frenado regenerativo.
- Envío de energía que el sistema considere que los supercondensadores no puede almacenar a las resistencias de disipación.

En España se ha diseñado y fabricado un autobús completamente híbrido, el Tempus que es el que muestra la siguiente ilustración:



Ilustración 61. Autobús Tempus.

Sus características son:

- Vehículo híbrido enchufable.
- Dos motores de tracción de Siemens con 61 *Kw* de potencia cada uno y un par máximo de 370 *Nm*.
- Un motor eléctrico Siemens acoplado al motor de combustión para producir electricidad.
- Un motor diésel de CUMMINS.
- Cuatro inversores de Siemens, tres para los motores principales (tracción y generación) y otro para los servicios auxiliares.
- Tres packs de baterías ZEBRA.
- Tres modos de conducción: eléctrico, híbrido y diésel eléctrico. En el modo híbrido dispone de la función Start/Stop.
- Sistema de frenado regenerativo.

7 NORMATIVA LEGAL.

A continuación se mostrará el estado actual de la legislación en cuanto a los vehículos eléctricos se refiere.

Hay que tener en cuenta que en estos últimos años algunas leyes se han adaptado y otras se han creado exclusivamente para satisfacer las necesidades de control en este sector. Tanto a nivel nacional, como europeo, como internacional son muchas las leyes de los distintos países que regulan el desarrollo, la instalaciones y demás parámetros relacionados con el vehículo eléctrico.

Son muchas las iniciativas que se están poniendo en marcha o están en proyecto para impulsar el vehículo eléctrico desde las administraciones públicas. Por ejemplo, el Gobierno de España aprobó en abril una nueva edición del Plan Movele para el desarrollo de las tecnologías relacionadas con el vehículo

eléctrico y ayudas a la compra de este. La Generalitat de Cataluña ha hecho lo propio en su ámbito de actuación modificando, por ejemplo, la Ley de Propiedad horizontal para la instalación de un punto de recarga en las viviendas y, además, ha aceptado una propuesta que está en vigor desde el 15 de septiembre de 2015 en la cual los vehículos eléctricos están exentos de pagar peaje en algunas autopistas catalanas.

Evidentemente, no solamente en España se están modificando las leyes para adaptarlas al uso de vehículos eléctricos. En Noruega, por ejemplo, el partido político liberal ha llevado una propuesta al parlamento en la que se insta a que en 2025 el parque automovilístico noruego sea 100% de vehículos eléctricos. En Escocia se ha puesto en marcha una nueva forma de ayuda para la compra del vehículo eléctrico a la que normalmente se está acostumbrado de dar una cantidad de dinero para recortar el precio del vehículo. La idea que ha puesto en marcha este país es abrir una línea de crédito exento de intereses, que es totalmente compatible con las ayudas convencionales que ya estaban ofreciendo. Otra medida interesante es la que ha llevado a cabo el ayuntamiento de París y que está en vigor desde el 1 de septiembre de 2015 y es que la capital francesa ha restringido la circulación, por sus calles, de vehículos diésel pesados con matriculación anterior a 2001 con el objetivo, para 2020, de erradicar todos los vehículos diésel de sus calles.

Como se puede ver, tanto a nivel nacional, como europeo y, por supuesto, a nivel mundial se están llevando a cabo acciones para acabar con la contaminación que el sector automovilístico produce en las ciudades y, estas medidas se van a ir incrementando a muy corto plazo.

7.1 EN ESPAÑA.

La legislación actualmente en España tiene las siguientes normativas que atañen al vehículo eléctrico y su infraestructura:

7.1.1 Ley de Propiedad Horizontal.

Esta ley 19/2009, de 23 de noviembre, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios sufrió una modificación en la Ley 49/1960, de 21 de Julio, de Propiedad Horizontal, añadiendo un nuevo apartado 3 al artículo 17, donde señala que no hará falta la necesidad de una votación para instalar un punto de recarga en un garaje comunitario por parte de uno/s vecino/s sino que bastará con una notificación por parte de este/estos a la comunidad. El coste de la instalación, eso sí, correrá a cargo de/los interesado/s. Existe una excepción a esta Ley en la comunidad autónoma de Cataluña en la que las comunidades de propietarios se someterán a un régimen jurídico específico, que determina que la aprobación de estos puntos en el garaje de la comunidad si estará sometido a la votación en junta de vecinos.

7.1.2 Real Decreto de Gestores de Carga.

El Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, regula la actividad de gestor de cargas dentro de la Ley 54/97 del Sector Eléctrico, y establece esta figura como un consumidor capacitado para vender electricidad para la recarga de vehículos eléctricos, así como para el almacenamiento de energía eléctrica para una mejor gestión del Sistema Eléctrico. Asimismo, este Real Decreto introduce una nueva tarifa supervalle para la recarga nocturna de vehículos eléctricos.

7.1.2.1 Real Decreto Tarifa de acceso supervalle.

Esta nueva tarifa pretende fomentar el uso de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos cuando se encuentra más barata en el mercado, es decir, por la noche. Desde el 1 de abril de 2014, fecha de entrada en vigor, los clientes que se encuentren en el mercado liberalizado se les tendrá que cobrar por horas en función de la tarifa y el precio que acuerden con la compañía comercializadora. Antiguamente se cobraba a los consumidores una tarifa fija dependiendo del periodo horario en el que usaran la electricidad pero, como se ha dicho, tendrá que ser por horas. Por tanto, los PVPC (Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor) son ahora variables, en función del precio de la energía en el mercador mayorista. En el día del escrito de estas líneas el estado de este término es el que se aprecia en la siguiente ilustración:

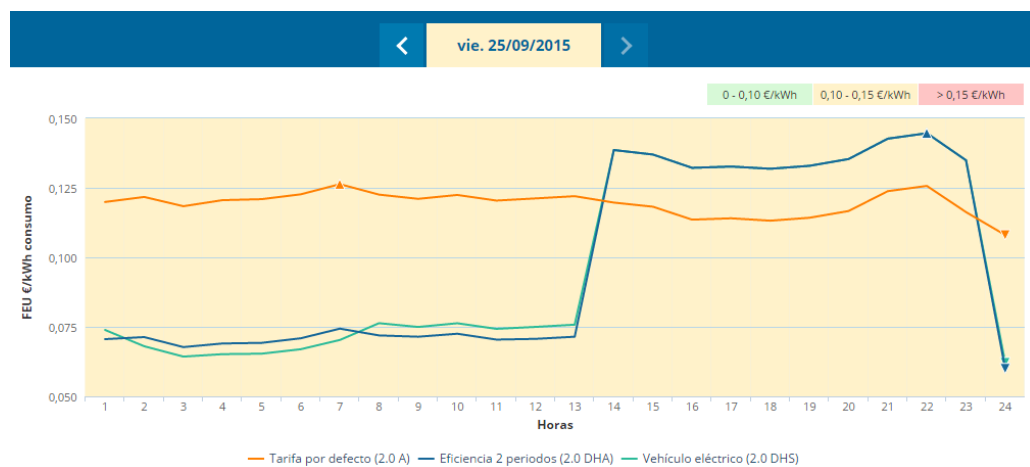


Ilustración 62. Término de facturación de energía PVPC.

Que para la tarifa exclusiva del vehículo eléctrico y mirando una hora aleatoria, que este caso es la hora 3, es:

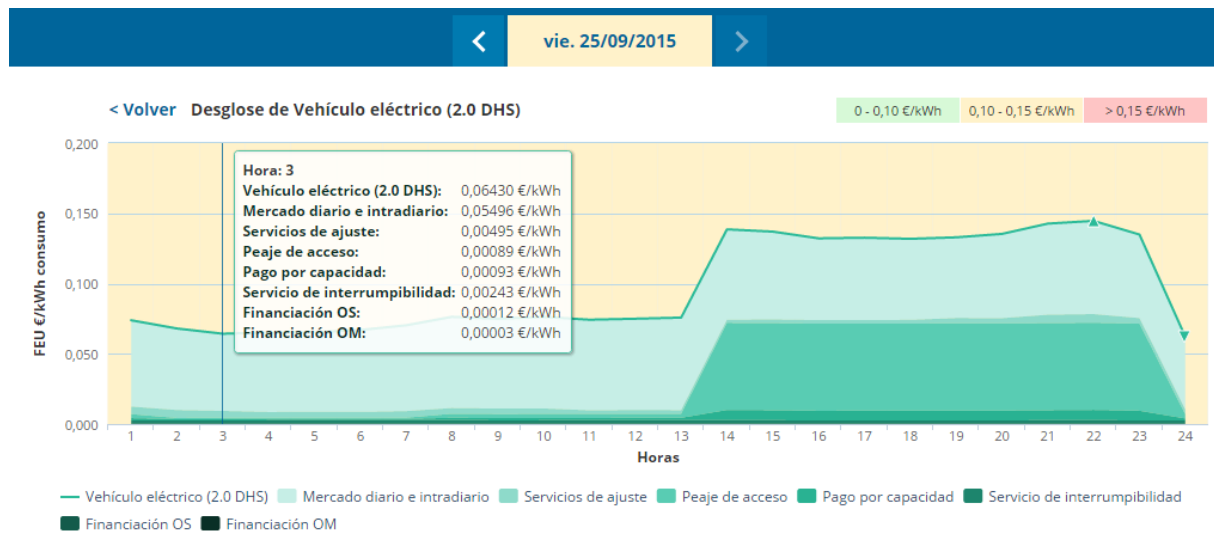


Ilustración 63. Término de Facturación de Energía Activa del PVPC de Vehículo Eléctrico en hora 3.

Ahora, para conocer cada consumidor el coste por hora de la recarga de su vehículo eléctrico, bastará con entrar en la página web de red eléctrica y mirar las tablas que hay arriba pero en el día en el que el consumidor quiera conocer el precio.

7.1.3 Real Decreto de Ayudas directas a la compra.

El Real Decreto 648/2011 regula las ayudas a la compra de vehículos eléctricos dentro del denominado Plan Movele. Esta subvención podrá ser de hasta un 25% del precio de venta del vehículo antes de impuestos, con un máximo de 5500€ para usuarios particulares.

Este Real Decreto es competencia del Plan Integral de Automoción que planteó un conjunto de medidas estratégicas encaminadas a la posicionar la industria de España en condiciones competitivas y en segmentos de mercador prometedores. Uno de estos segmentos es, evidentemente, el vehículo eléctrico.

De ahí que se creara el proyecto Movele de demostración de la viabilidad técnica y energética de la movilidad eléctrica en entornos urbanos. El objetivo desde su introducción ha sido la entrada en el parque automovilístico español del 2000 unidades de coches eléctricos y la instalación de más de 500 puntos de recarga para dichos vehículos en las ciudades españolas.

7.1.4 Real Decreto para implantación de la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52.

Esta normativa es, sin lugar a dudas, la más esperada por el sector y, a su vez, la más polémica.

Se trata del Real Decreto 1053/2014, por el que se aprueba una nueva ITC, la BT 52 “Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos”. Se publicó en el BOE el 31 diciembre de 2014 y se estuvo aplicando incluso antes de su entrada en vigor el 31/06/2015.

A modo de resumen, esta instrucción técnica complementaria regula la instalación de preinstalación o instalación de puntos de recarga en los edificios de nueva construcción así como aparcamientos de empresa, público, cooperativas, oficinas. Más concretamente, en los edificios de nueva construcción será necesaria la proyección de una preinstalación “mediante tubos, canales, bandejas, etc.” para las plazas de los posibles vehículos eléctricos que puedan existir en el futuro. Para los aparcamientos, la instrucción regula que se instale un punto de recarga cada 40 plazas de parking.

Para los puntos de recarga ya existentes antes de la entrada en vigor de esta instrucción le ley da de plazo 3 años para la adaptación de dichos puntos a la nueva normativa.

A continuación se muestra los posibles esquemas para la instalación de los puntos de recarga.

1. Esquema colectivo o troncal con un contador principal en el origen de la instalación.

En este tipo de esquemas se puede diferenciar entre centralización de contadores conjunta, centralización de contadores separada, destinada a aquellas fincas que no tengan espacio en la centralización de contadores principal, y centralización de contadores exclusiva para puntos de recarga.

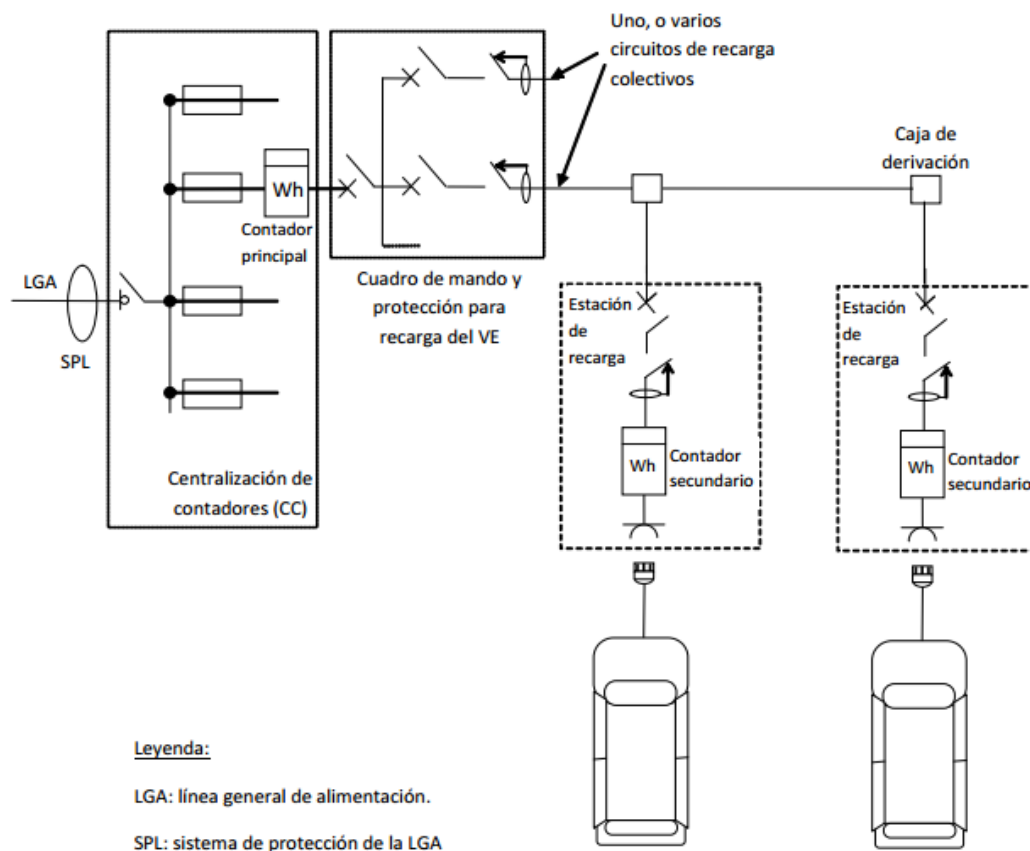


Ilustración 64. Esquema 1a. Instalación colectiva con contador principal en el origen de la instalación y contadores secundarios en las estaciones de recarga.

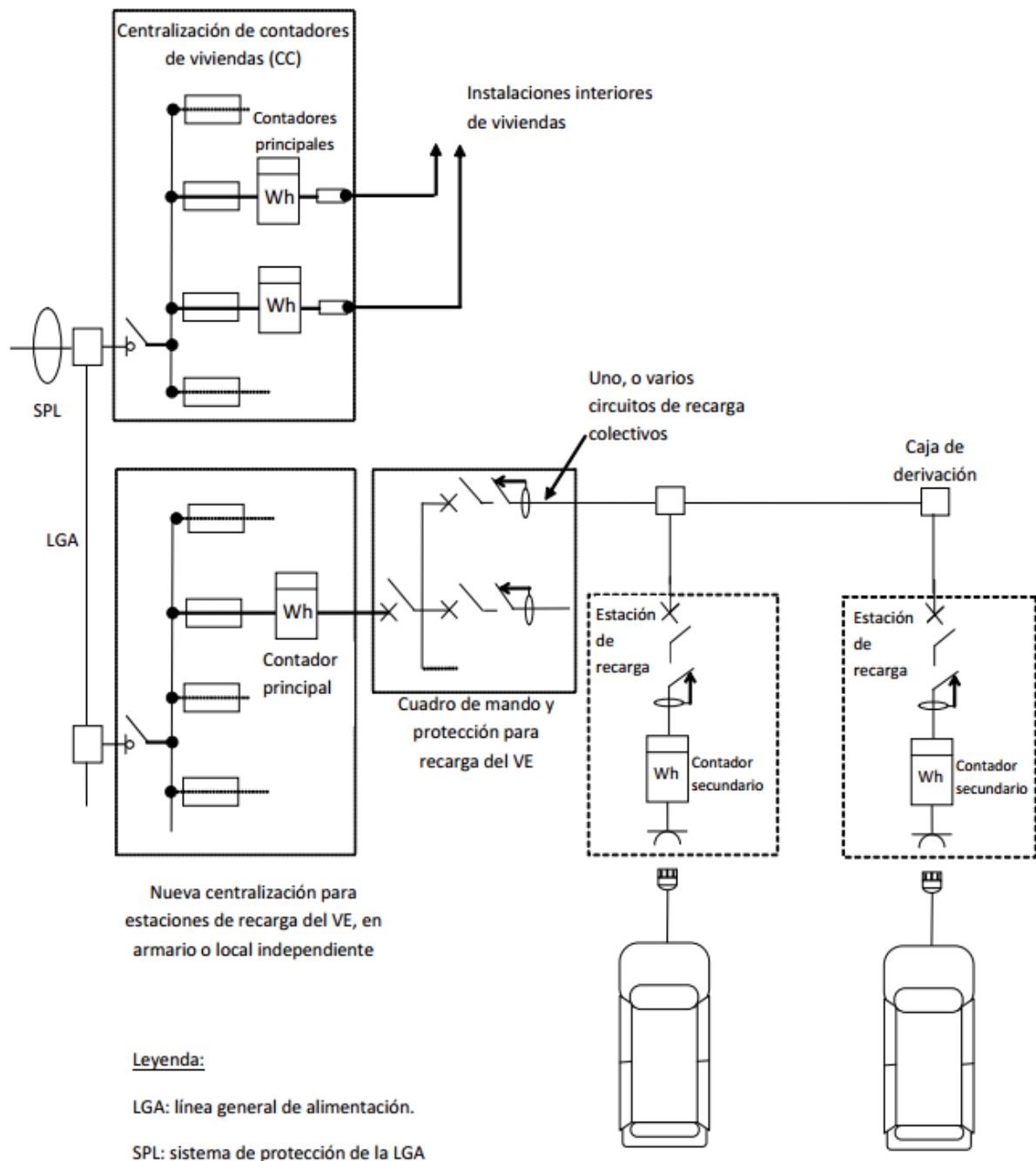


Ilustración 65. Esquema 1b. Instalación colectiva troncal con contador principal en el origen de la instalación y contadores secundarios en las estaciones de recarga.

Para seleccionar entre el esquema a y el b se tendrá en cuenta el espacio existente en la centralización de contadores utilizando el esquema b únicamente en los casos que no se pueda utilizar el a por falta de espacio habiendo realizado una ampliación para la posible utilización de este.

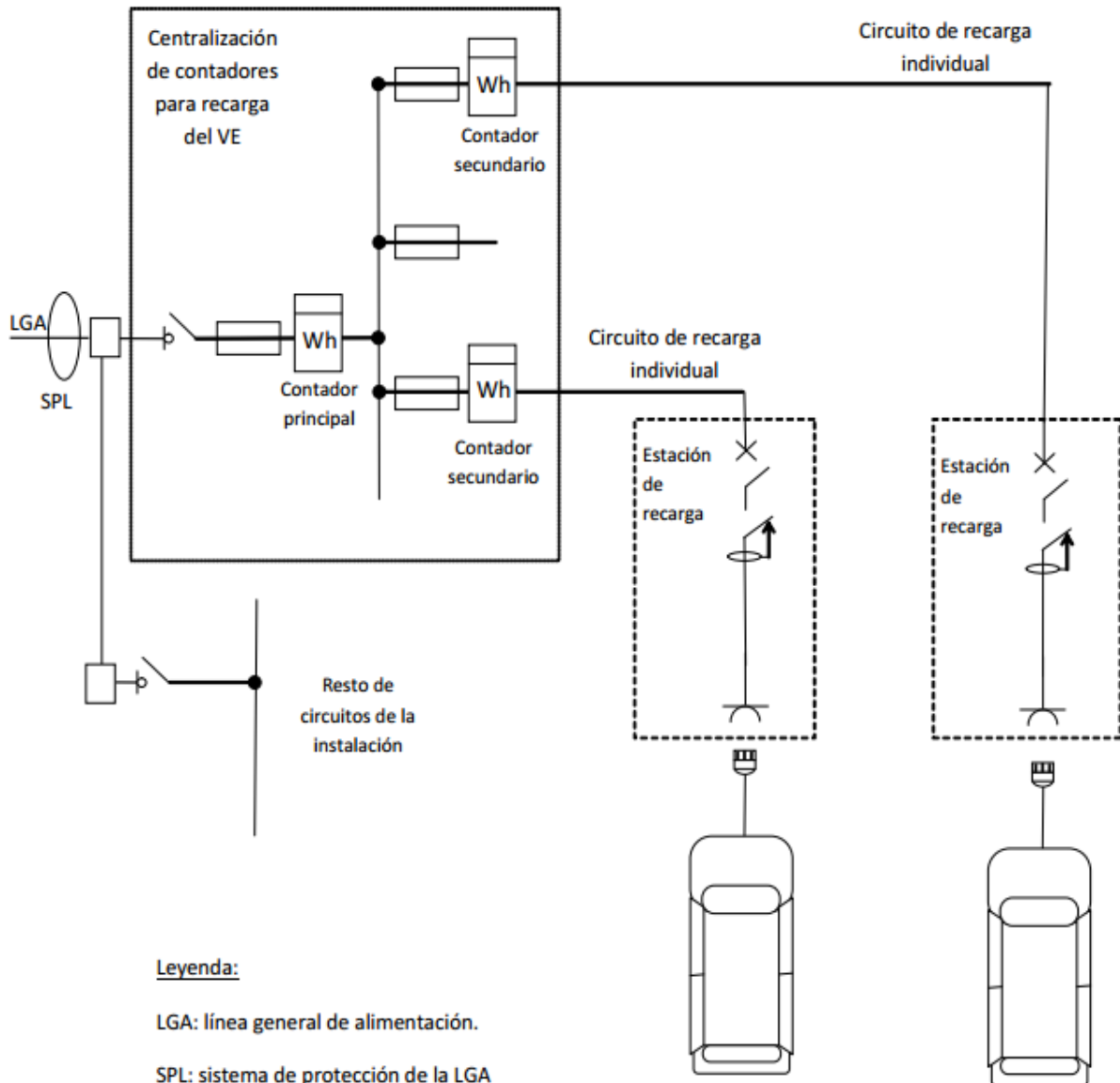


Ilustración 66. Esquema 1c. Instalación colectiva con un contador principal y contadores secundarios individuales para estación de recarga.

2. Esquema individual con un contador común para la vivienda y la estación de recarga.

En este caso la derivación hacia el punto de recarga se saca del mismo cuadro de contadores de tu mismo contador.

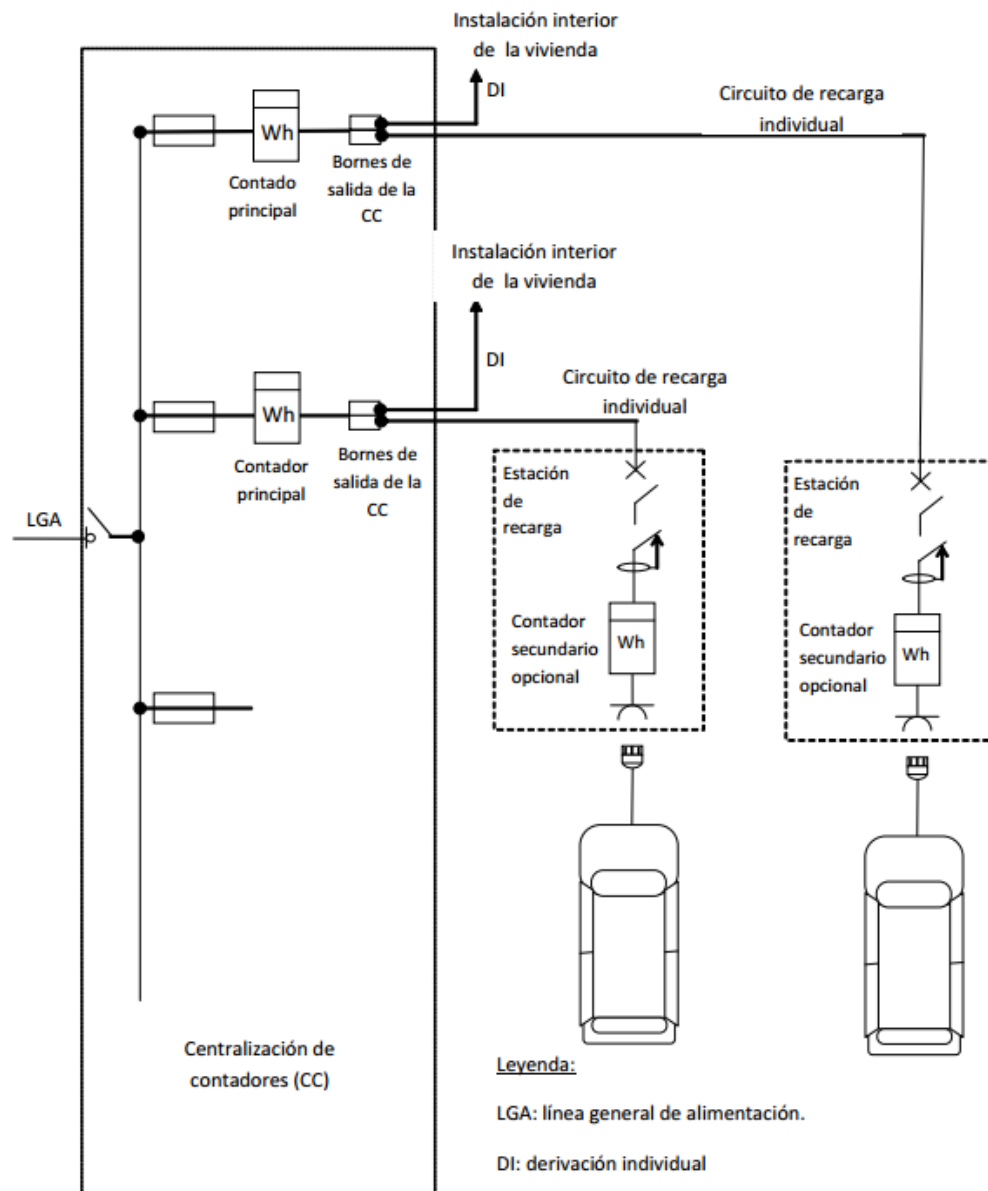


Ilustración 67. Esquema 2. Instalación individual con un contador principal común para la vivienda y para la estación de recarga.

3. Esquema individual con un contador para cada estación de recarga.

En estos esquemas se tiene un nuevo contador para cada punto de recarga, con dos variantes:

- Nuevo contador para punto de recarga en la misma centralización de contadores.

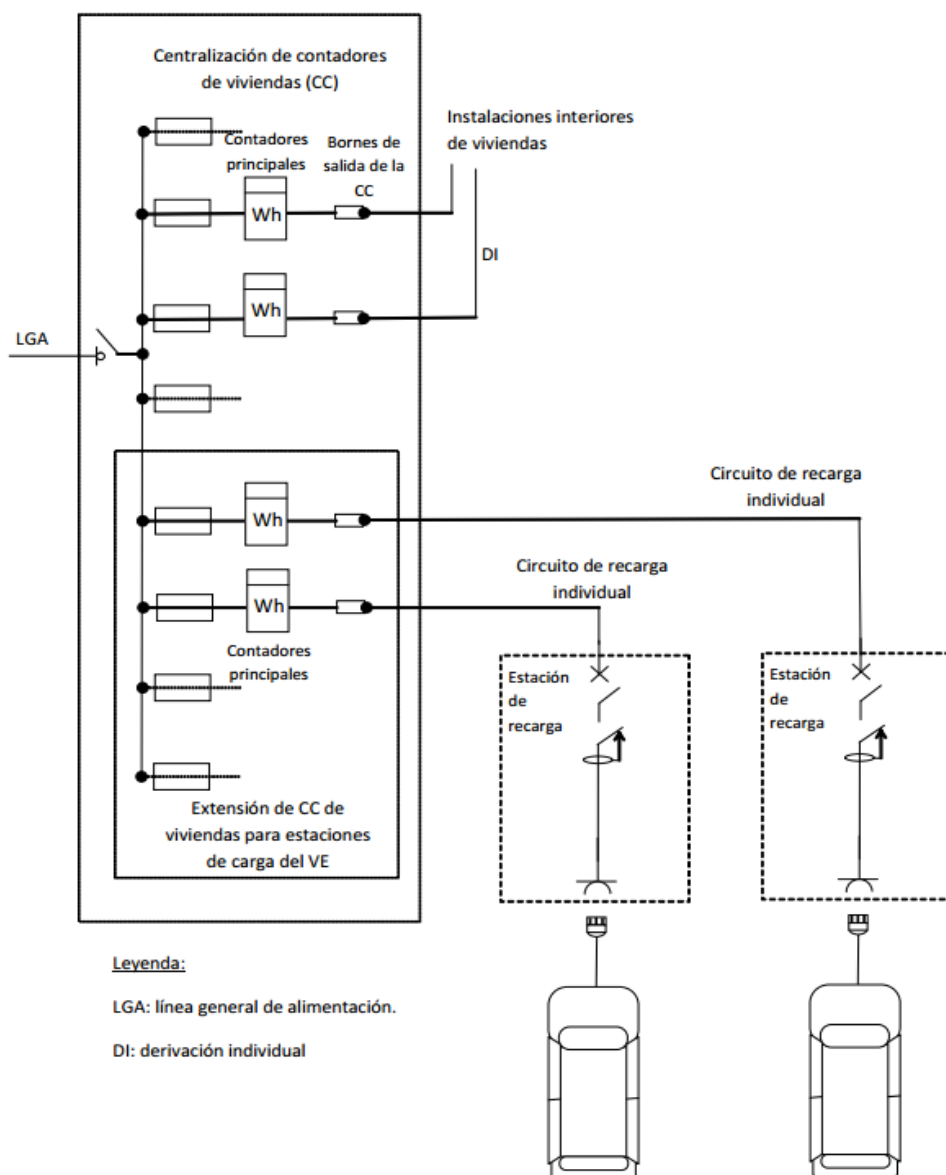


Ilustración 68. Esquema 3a. Instalación individual con un contador principal para cada estación de recarga.

- Nuevo contador para punto de recarga en diferente centralización de contadores si no hay sitio.

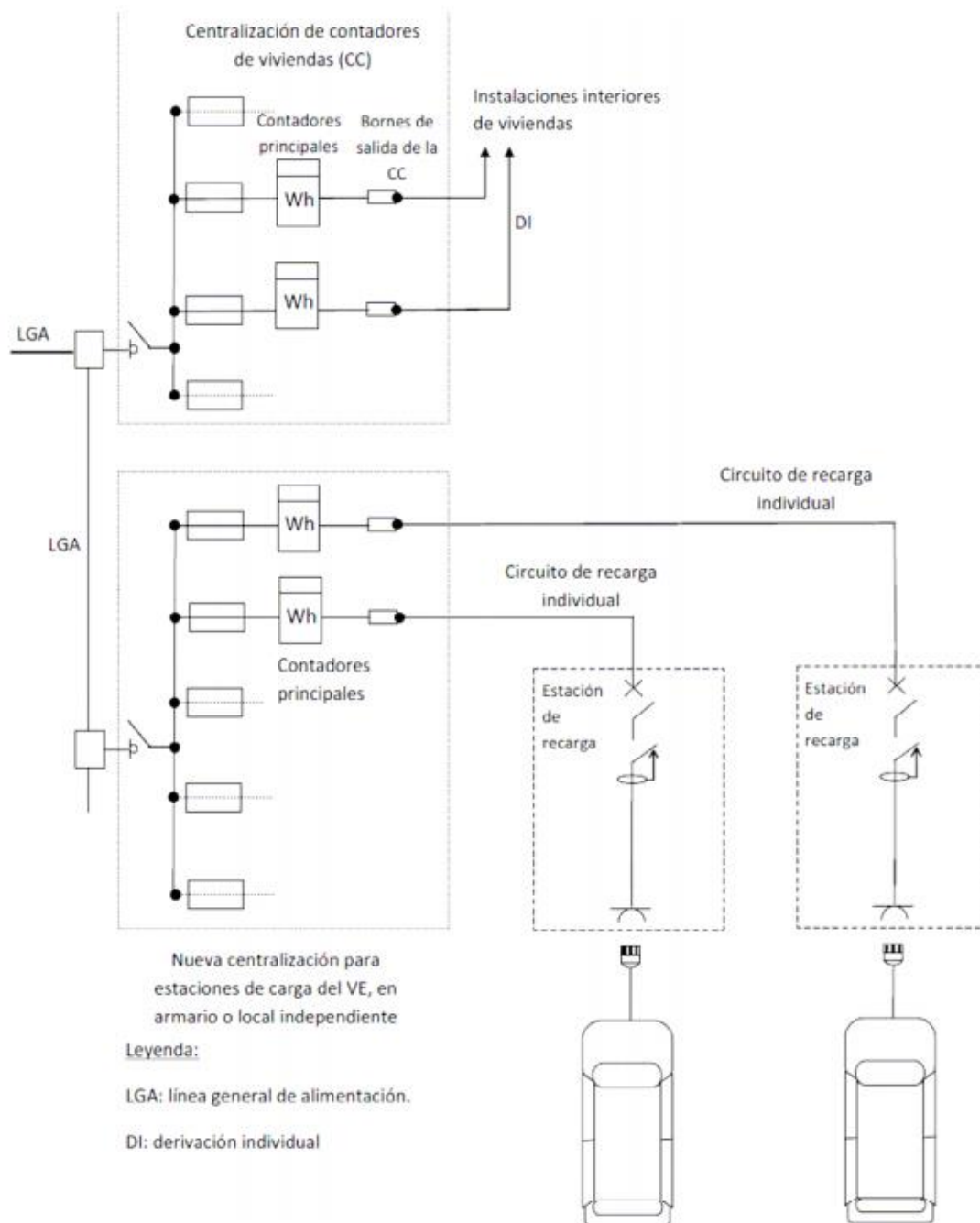


Ilustración 69. Esquema 3b. Instalación individual con un contador principal para cada estación de recarga (con una nueva centralización de contadores).

4. Esquema con circuito o circuitos adicionales para la recarga del vehículo eléctrico.

Cuadro destinado a viviendas individuales, empresas, garajes privados.

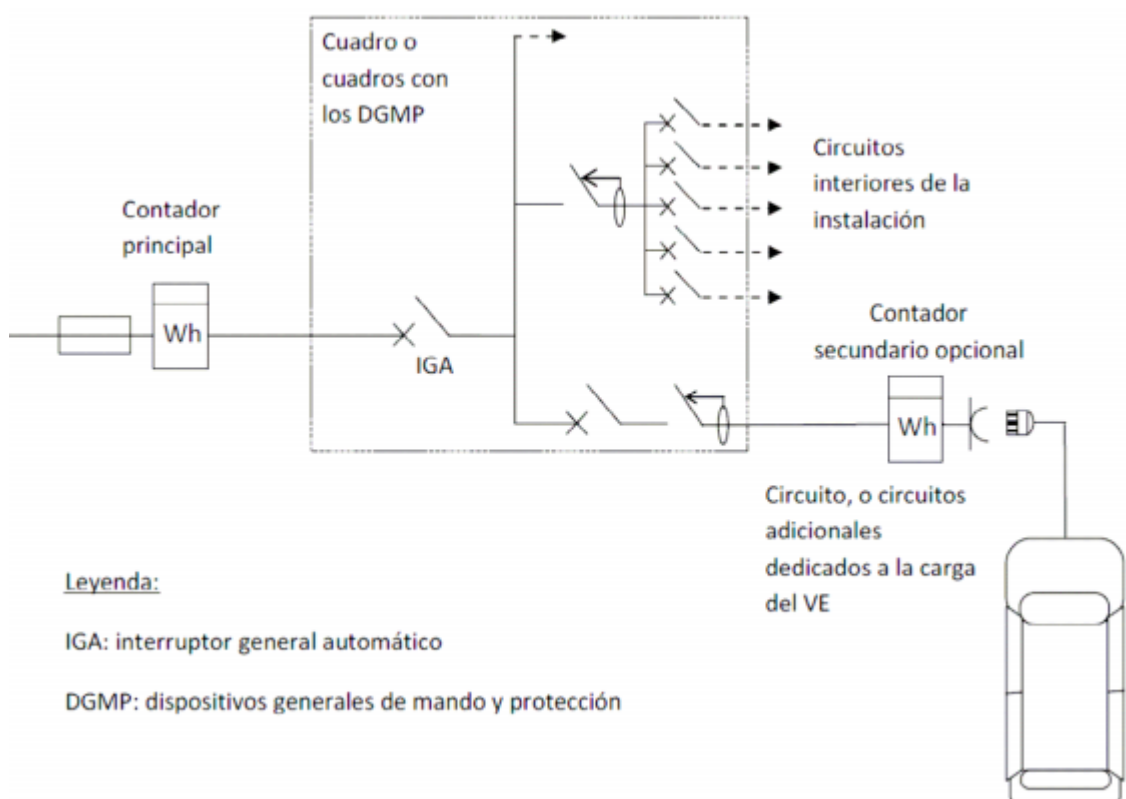


Ilustración 70. Instalación con circuito adicional individual para la recarga del vehículo eléctrico en viviendas unifamiliares.

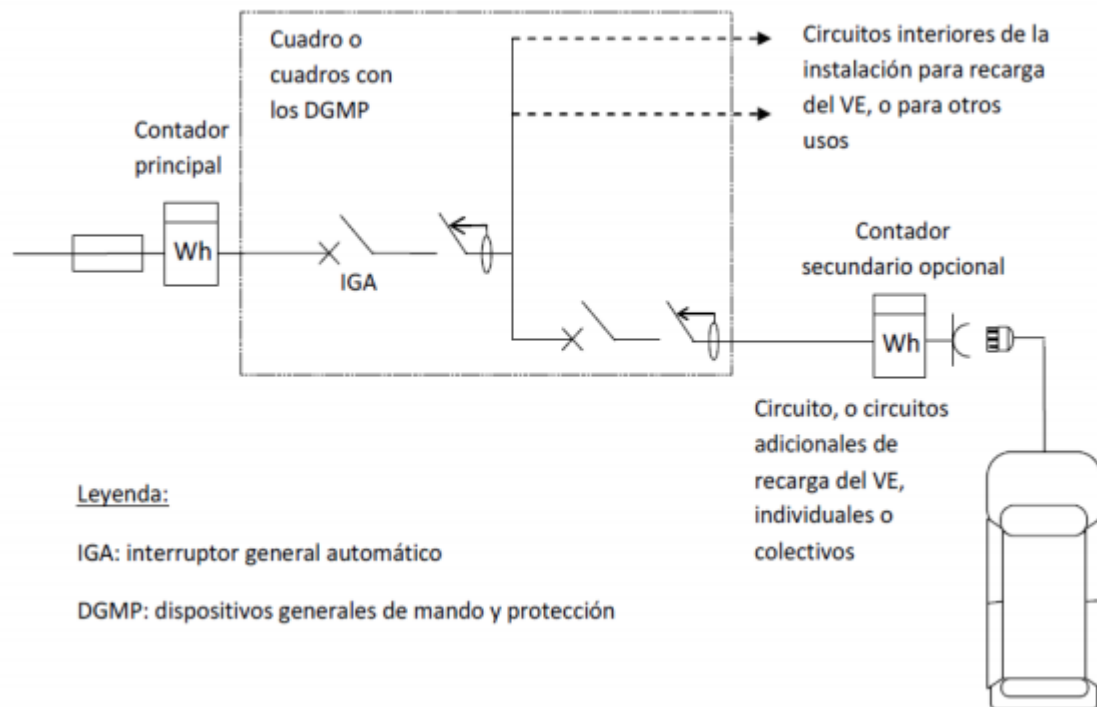


Ilustración 71. Esquema 4b. Instalación con circuito o circuitos adicionales para la recarga del vehículo eléctrico.

7.2 EN EUROPA.

A nivel europeo, el sistema de reglamento y homologación se hace a través de las directivas marco (Directiva CE) que es una norma técnica aprobada en Bruselas y de obligado cumplimiento en todos los países de la Unión Europea. A parte existen los reglamentos ECE que los establece las Naciones Unidas y se publican en Ginebra. Estos reglamentos los tienen que acatar todos los países firmantes y tienen el derecho de hacerlo otros tantos como China o EEUU. Hoy en día, la Unión Europea ya ha tomado la decisión de hacer desaparecer las Directivas CE y dejar el protagonismo a los Reglamentos ECE.

Existen algunas Directivas en la Unión Europea que afectan a los vehículos en general, como pueden ser:

- Directiva 2007/46/CE de homologación de tipo CE de los vehículos a motor y sus remolques.

- Directiva 2003/37 y modificaciones, de homologación de tipo CE de tractores agrícolas.
- Directiva 92/61 y 2002/24 de homologación de tipo CE de motocicletas y ciclomotores.
- Directiva 2014/094 UE para la construcción de infraestructuras de combustibles alternativos, que establece que los Estados miembros de la Unión Europea dispondrán de dos años para diseñar una estrategia nacional de desarrollo de infraestructuras de suministro de combustibles alternativos. En el caso del vehículo eléctrico, la Directiva señala que dichos Estados deberán hacer cumplir la creación de puntos de recarga accesibles al público con una cobertura adecuada, con el fin de permitir que los vehículos eléctricos circulen, al menos, en las ciudades y otras zonas densamente pobladas. Y estos puntos de recarga deberán ir en función de los vehículos matriculados en cada uno de los estados.

Estas Directivas, exceptuando la última que si habla algo más de la reglamentación en cuanto al vehículo eléctrico, se refieren a los vehículos en general ya que se refieren a vehículos a motor independientemente del tipo de sistema de propulsión que cada motor utilice.

Como se decía al principio de este apartado, la Directivas CE dejarán de existir para que, una vez ocurra esto, sean los Reglamentos ECE lo que gestionen cualquier tipo de normativa.

De hecho ya existe un Reglamento ECE que tiene un carácter específico para el vehículo eléctrico y otros más que se refieren a los vehículos convencionales pero que incluyen particularidades para el vehículo eléctrico. El reglamento R100.00 ECE es el reglamento aplicable a vehículos con baterías, de tracción puramente eléctrica, por lo que se excluyen de su ámbito de aplicación los vehículos híbridos. Dentro de este reglamento existen requisitos que se pueden repartir en tres grandes grupos:

- Requisitos de construcción.
- Requisitos funcionales.
- Requisitos de emisiones de hidrógeno.

Los requisitos de construcción se refieren al diseño y fabricación del vehículo, los requisitos funcionales se pueden dividir en requisitos de activación, de movimiento y detección, de marcha atrás y de reducción de potencia en caso de emergencia y, por último, los requisitos de emisiones de hidrógeno que no se refieren a las baterías de electrolitos no acuosos ni a baterías estancas recombinantes de gas sino a las baterías que producen H_2 a través de su reacción de electrólisis ya que este gas es explosivo, lo que unido al calentamiento de las baterías durante la carga, lo convierte en potencialmente peligroso.

Los demás reglamentos que pueden afectar particularmente al vehículo eléctrico son:

- Reglamento R.10 de compatibilidad electromagnética
- Reglamento R.13 y R.13H de sistema de frenado
- Reglamento R.79, de sistema de dirección
- Reglamento R.85 de potencia del motor
- Reglamento R.94 y R.95 de comportamiento al choque frontal y lateral
- Reglamento R.101 de consumo de combustible y emisión de CO_2 .

7.3 EN EL MUNDO.

A nivel mundial existen otro tipo de reglamentaciones como las existentes en Japón con los Attachment 110 y 111 y en EEUU con la Federal Motor Vehicle Safety Standards en la que existe una normativa que se refiere al vehículo eléctrico que es la 305.

8 ESTUDIO DE PRECIOS Y VENTAS.

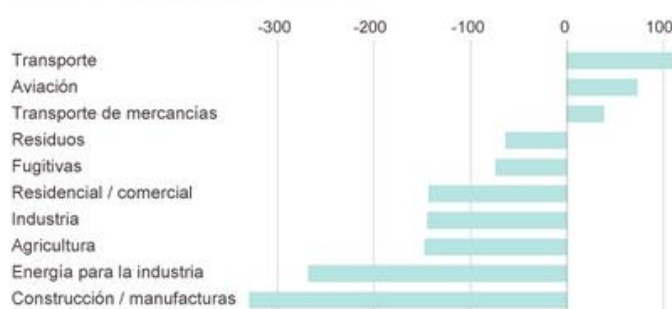
En los últimos años, y debido a que cada vez hay más concienciación con respecto al cuidado del medio ambiente, se ha producido una evolución en los desarrollos de tecnologías encauzadas a minimizar el daño que se le hace al planeta. Es cierto que, en muchos casos, aún no se cumplen las previsiones del protocolo de Kioto por parte de los países firmantes, como se puede ver en la siguiente ilustración:

► Emisiones de co2



► Emisiones por sectores

Variación 1990-2012 en millones de toneladas



En 2012, en %

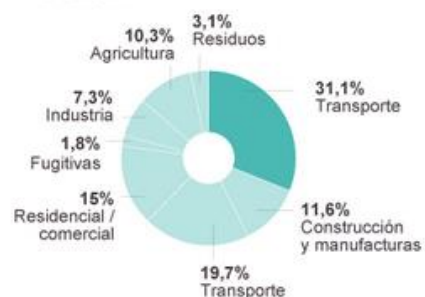


Ilustración 72. Emisiones de CO2 de países europeos firmantes del protocolo de Kioto.

Y en otros casos, potencias mundiales como EEUU, el país con más emisiones de CO₂ del mundo, ni siquiera lo firmó, pero día a día se va viendo como cada vez más personas están luchando por el respeto a La Tierra. En el caso de los vehículos no iba a ser menos y hoy ya podemos ver en el mercado gran cantidad de vehículos híbridos o eléctricos que lo que buscan, además del beneficio económico de las empresas que mandan diseñarlos, el bien para la naturaleza. Una ayuda es la pronta desaparición de los combustibles fósiles que se prevé para alrededor del año 2050 y, por tanto, hay que buscar energías alternativas que hagan que no se dependa, una vez llegado el momento de su desaparición, de estos combustibles tan dañinos para el planeta.

Para poder hacerse una idea del estado del mercado de los vehículos eléctricos e híbridos a nivel nacional, continental y mundial, se presentan a continuación una serie de tablas y gráficas en las que se puede ver una comparativa de precios entre la mayoría de los vehículos que se encuentran a día de hoy en dicho mercado y, además, las ventas que se han producido hasta el mes de agosto del año 2015 con una comparativa en términos porcentuales respecto a 2014.

8.1 PRECIOS.

Gran parte de las marcas de vehículos eléctricos e híbridos no están ofreciendo ayudas, sin embargo, algunas de ellas, están ofreciendo entre 5000 y 6000€ a los clientes que compran sus vehículos, incluso hay algunas que llevan dichas ayudas incluidas en el precio final.

Por su parte, el gobierno de España aprobó en abril de 2015 una nueva edición del Plan Movele que pretende incentivar el desarrollo y la utilización de los vehículos eléctricos a través de la demanda de estos por parte de los consumidores. Además, este plan también pretende la industrialización del sector e inversiones en I+D en estas tecnologías, las cuales permitan la

adaptación de la infraestructura eléctrica para la recarga de los vehículos y la gestión de la demanda. La idea es que en unos años sean los vehículos eléctricos los que predominen en las carreteras españolas en detrimento de los vehículos con tecnologías convencionales que son altamente contaminantes.

Claro que, esta nueva edición ha sido duramente criticada por gran parte del sector del vehículo eléctrico por varias razones. Algunas de ellas son la reducción del presupuesto desde los 10 millones de euros de la pasada edición a los 7 millones de ésta. Otra de las razones de la crítica es que estas ayudas no tendrán carácter retroactivo, como se suponía que iba a ser, por lo que, tanto las empresas que han adelantado sus ayudas como los clientes que ya han comprado su utilitario pensando que iban a recibir dicha ayuda se verán sin nada. Además, esta ayuda no será compatible con otras ayudas concedidas por el estado como, por ejemplo, el Plan PIVE.

La siguiente ilustración muestra la comparativa de precios de algunas marcas de vehículos en España, según el plan Movele:

MARCAS	COMPARATIVA PRECIOS		SIN AYUDAS	AYUDAS DE LA MARCA ⁽¹⁾	PRECIO FINAL CON PLAN MOVELE	ALQUILER BATERÍA (para poder hacer una comparativa más real calculamos el coste de la batería para 84 meses)			TOTAL (84 meses en el caso de alquiler de batería)
	VEHÍCULO ELÉCTRICO Actualizados en julio 2015	TIPOLOGÍA				Cuota mensual	Tiempo	Acumulado	
 por orden alfabético	AUDI A3 SPORTBACK e-TRON	Híbrido enchufable	37.151,55 €		33.451,55 €				33.451,55 €
	BMW i3	Eléctrico baterías	35.500,00 €		30.000,00 €				30.000,00 €
	BMW i3 REX	Autonomía extendida	39.990,00 €		34.490,00 €				34.490,00 €
	BMW i8	Híbrido enchufable	139.200,00 €		(6)				139.200,00 €
	BMW X5 xDrive40e	Híbrido enchufable	73.200,00 €		(6)				73.200,00 €
	CHEVROLET VOLT	Autonomía extendida	39.600,00 €						
	CITROËN C-ZERO	Eléctrico baterías	24.400,00 €	incluidas	18.900,00 €				16.490,00 €
	FORD FOCUS ELÉCTRICO	Eléctrico baterías	29.170,00 €		23.670,00 €				23.670,00 €
	KIA SOUL EV (versión c/CHADEMO)	Eléctrico baterías	35.905,00 €	5.000,00 €	25.405,00 €				25.405,00 € (5)
	KIA SOUL EV (versión s/CHADEMO)	Eléctrico baterías	32.790,00 €	5.000,00 €	22.290,00 €				22.290,00 € (5)
	KIA SOUL EV (versión c/CHADEMO) - batería financiada	Eléctrico baterías	35.905,00 €	5.000,00 €	19.105,00 €	99,00 €	84	8.316,00 €	27.421,00 € (5)
	KIA SOUL EV (versión s/CHADEMO) - batería financiada	Eléctrico baterías	32.790,00 €	5.000,00 €	15.990,00 €	99,00 €	84	8.316,00 €	24.306,00 € (5)
	MERCEDES CLASE B ED (provisional)	Eléctrico baterías	43.000,00 €		37.500,00 €				37.500,00 €
	MERCEDES C350 e BERLINA	Híbrido enchufable	52.230,00 €		(6)				52.230,00 €
	MERCEDES C350e ESTATE	Híbrido enchufable	53.550,00 €		(6)				53.550,00 €
	MERCEDES S500e L	Híbrido enchufable	113.200,00 €		(6)				113.200,00 €

Ilustración 73.Comparativa de precios según Plan Movele.

8.2 VENTAS.

En este apartado se va a conocer el estado del mercado, de los vehículos eléctricos e híbridos, actualizado al mes de septiembre de 2015. Evidentemente, las ventas de los vehículos eléctricos e híbridos han ido aumentando en los últimos al par que se han ido desarrollando las nuevas tecnologías que los han puesto en la punta de lanza del mercado de vehículos. Como se dijo anteriormente, la concienciación de la ciudadanía en cuanto al medio ambiente es cada vez mayor y eso se refleja cada vez más en la venta de estos vehículos.

El sector de la venta de coches se ha visto golpeado de forma muy importante desde que empezó la recesión económica. En los años previos a ésta, antes de 2007, se vendían cada año en España alrededor de 1,6 millones de vehículos que comparados con los 970000 de 2014 supone una reducción que radica en la falta de liquidez de los ciudadanos. Según algunas previsiones, la cifra de venta de coches en el año 2020 podrá alcanzar los 1.5 millones de unidades, números similares a la época anterior a la recesión. Claro que a lo mejor estas cifras son demasiado optimistas. La siguiente ilustración muestra una tabla de la previsión de ventas de vehículos en España hasta el año 2020, según datos de Renault:

		Escenario vehículo eléctrico España						
Año		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Proyección Pesimista	Ventas de coches	970.000	1.050.000	1.100.000	1.200.000	1.300.000	1.400.000	1.500.000
	Ventas VE puros	1.509	2.300	3.500	7.000	10.500	16.000	32.000
	Penetración VE	0,16%	0,22%	0,32%	0,58%	0,81%	1,14%	2,13%
	Parque VE puros	6.300	8.600	12.100	19.100	29.600	45.600	77.600
Proyección Optimista	Ventas VE puros	1.509	3.000	6.000	15.000	25.000	37.500	75.000
	Penetración VE	0,16%	0,29%	0,55%	1,25%	1,92%	2,68%	5,00%
	Parque VE puros	6.300	9.300	15.300	30.300	55.300	92.800	167.800

2ª Generación

3ª Generación

Ilustración 74. Previsión de ventas según Renault.

También se puede ver en la siguiente ilustración la evolución de venta de vehículos de cualquier tipo de motorización en España desde el año 1990 hasta el año 2013:

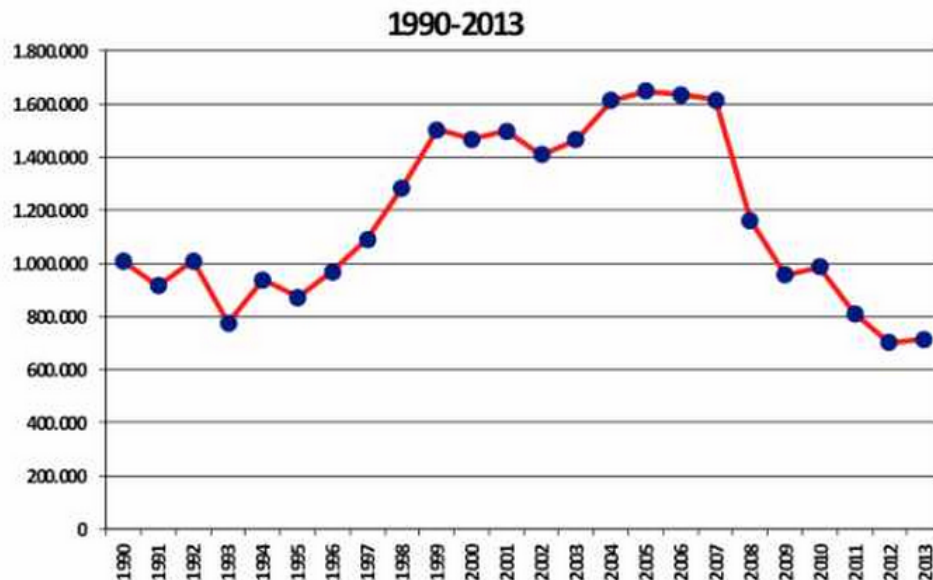


Ilustración 75. Evolución de venta de vehículos en España.

Analizando la tabla que muestra la ilustración 69, se pueden conocer algunos datos importantes como la venta total de vehículos eléctricos, su entrada porcentual en el mercado total de venta de vehículos y el parque total de vehículos eléctricos.

Además, marcados en rojo se puede ver los años 2017 y 2020 que corresponde a la inserción en los vehículos de las nuevas baterías de 2ª y 3ª generación que se prevén para esos años y que se cree supondrá un gran impulso en la venta de estos vehículos gracias a su mayor autonomía.

Siguiendo con el análisis de la ilustración 69 se ve que hay una proyección pesimista y una optimista de las ventas. Si se mira cada una por separado se puede saber que para el año 2020 y haciendo las cosas realmente mal, un 2.13%

de los vehículos que circulen por las carreteras españolas serán eléctricos, una cifra realmente pobre para un país de alrededor de 40 millones de habitantes. La parte optimista es, evidentemente, mucho más esperanzadora ya que con esta previsión, en el año 2020, la venta de vehículos eléctricos alcanzará las 75 mil unidades que corresponde a una cuota del 5%.

Es decir, en el mejor escenario posible, según esta previsión, en España en 2020 habrá alrededor de 170 mil vehículo eléctricos, pero para ello hace falta voluntad política por parte de las administraciones públicas para que realicen más programas de ayudas al sector. Estos programas junto con la evidente bajada de precios de las tecnologías, que se producirán en cuanto evolucione su desarrollo, y la implementación de los sistemas de recarga rápida en nuestras carreteras conseguirán que los vehículos eléctricos puedan competir directamente con los de combustión.

9 ANEXO I. MAGNETISMO.

9.1 INTRODUCCIÓN.

En los circuitos eléctricos, la conexión existente entre los elementos activos y pasivos se realiza por medio de materiales conductores (el cobre y aluminio son los más usados) que obligan a que la corriente eléctrica siga unos determinados caminos. Cuando se trata de estudiar el magnetismo, se plantea un problema similar, que es el de canalizar y concentrar altas densidades de flujo magnético.

Sin electricidad, en los motores eléctricos no se generarían los campos magnéticos necesarios para su funcionamiento, por esta razón el correcto funcionamiento de los motores eléctricos dependerá del diseño del circuito magnético y eléctrico que lo forman.

9.2 CIRCUITOS MAGNETICOS.

9.2.1 *Leyes de los circuitos magnéticos.*

Ante la presencia de un campo magnético, se inducirá, en cualquier material magnético una fuerza magnetomotriz (fmm), cuyo valor queda determinado por la siguiente ecuación:

$$f = \oint_{\gamma} H \cdot dl$$

Donde:

- f , es el valor de la fmm, dado en Amperivoltas [Av].
- H , es el valor del campo magnético, dado en Amperivoltas partido metro [Av/m].
- dl , es un fragmento diferencial del material magnético, indica que el campo magnético no incide por igual en un material magnético, a no ser que este material sea uniforme.
- γ , indica el número de fragmentos de distinta forma en los que se descompone el material.

(Ecuación AI. 1)

Para la simplificación del estudio de circuitos magnéticos, se supone que todo el material magnético es uniforme, de este modo, la ecuación 1 quedará:

$$f = H \cdot l$$

Donde:

- l , es la longitud del material magnético, dada en metros [m].

(Ecuación AI. 2)

Un circuito magnético no es más que una bobina arrollada a un núcleo magnético, cuando por esta bobina circula una determinada intensidad, se induce en el núcleo una fmm cuyo valor queda determinado por la siguiente ecuación:

$$f = N \cdot I$$

Donde:

- N , es el número de espiras de la bobina.
- I , es la intensidad que circula por la bobina, dada en Amperios [A].

(Ecuación Al. 3)

Por tanto, si se relacionan las ecuaciones: (Al.2) y (Al.3), queda la siguiente ecuación:

$$H \cdot l = N \cdot I$$

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

(Ecuación Al. 4)

La facilidad que presenta un material para ser magnetizado, se denomina susceptibilidad magnética, y es una constante de proporcionalidad adimensional, que relaciona el grado de magnetización del material, con el campo magnético al que se expone, dicha relación se ve reflejada en la siguiente ecuación:

$$x_m = \frac{M}{H}$$

Donde:

- x_m , es el valor de la susceptibilidad magnética.
- M , es el valor de la magnetización, dado en Amperivuelta partido metro [Av/m].

(Ecuación Al. 5)

Otro concepto a tener en cuenta es el de la inducción, que viene dado por la siguiente ecuación:

$$B = \mu_0 \cdot (H + M)$$

Donde:

- μ_0 , es la permeabilidad del vacío, que es una constante, cuyo valor es de $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ (Henrios partido metro).
- B , es la inducción magnética, dada en Teslas [T].

(Ecuación Al. 6)

Si se relacionan las ecuaciones: Al.5 y Al.6, se obtiene la siguiente ecuación:

$$B = \mu_0 \cdot (H + M)$$

$$B = \mu_0 \cdot H \cdot (1 + x_m)$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$$B = \mu \cdot H$$

Donde:

- μ_r , es el valor de la permeabilidad relativa, depende del material magnético utilizado.
- μ , es la permeabilidad absoluta.

(Ecuación Al. 7)

Otro factor importante, es el valor del flujo magnético que circula a través del material magnético. En los circuitos eléctricos existe una relación entre la intensidad y la densidad de corriente, que es la sección transversal de conductor

por la que pasa una determinada cantidad de corriente, bien, en los circuitos magnéticos sucede lo mismo con el flujo y la inducción magnéticos, por ejemplo, si por un conductor eléctrico con una determinada sección, circula una intensidad, la densidad de corriente del mismo queda definida por la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{I}{s}$$

Donde:

- δ , es la densidad de corriente, dada en Amperios partido milímetros cuadrados [A/mm²].
- s , es la sección del conductor, dada en milímetros cuadrados [mm²].

(Ecuación Al. 8)

Por tanto, sabiendo que la inducción es el equivalente de la densidad de corriente, en un circuito magnético y que el flujo magnético lo es de la intensidad, la ecuación que determina el valor del flujo magnético queda de la siguiente forma:

$$\phi = B \cdot s$$

Donde:

- ϕ , es el flujo magnético, dado en Weber [Wb].

(Ecuación Al. 9)

Si se relacionan las ecuaciones: Al.2, Al.7 y Al.9, se obtiene la siguiente expresión:

$$f = H \cdot l$$

$$f = \frac{B}{\mu} \cdot l$$

$$f = \frac{l}{\mu \cdot s} \cdot \Phi$$

(Ecuación Al. 10)

En la ecuación Al.10 aparece el valor de otro elemento importante en los circuitos magnéticos, el de la reluctancia:

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu \cdot s}$$

Donde:

- $\mathfrak{R}$, es le valor de la reluctancia, dado en Amperivuelta partido Weber [Av/Wb]

(Ecuación Al. 11)

De este modo la ecuación Al.10 queda de la siguiente forma:

$$f = \mathfrak{R} \cdot \Phi$$

(Ecuación Al. 12)

La ecuación Al.12 es la llamada ley de Hopkinson, que es el equivalente a la ley de Ohm en los circuitos eléctricos.

No todas las líneas de flujo circulan a través del material magnético, sino que una parte de ellas circulan por el aire, ya que tiene mucha menos reluctancia

que el material magnético utilizado, por esta razón se buscan materiales con reluctancias bajas. El coeficiente de Hopkinson o de dispersión, determina la pérdida de flujo:

$$\nu = \frac{\phi_t}{\phi_u}$$

Donde:

- ν , es el coeficiente de Hopkinson.
- ϕ_t , es el flujo magnético generado por la bobina.
- ϕ_u , es el flujo magnético que realmente se circula por el material magnético.

(Ecuación AI. 13)

Un circuito magnético simple se muestra en la siguiente ilustración:

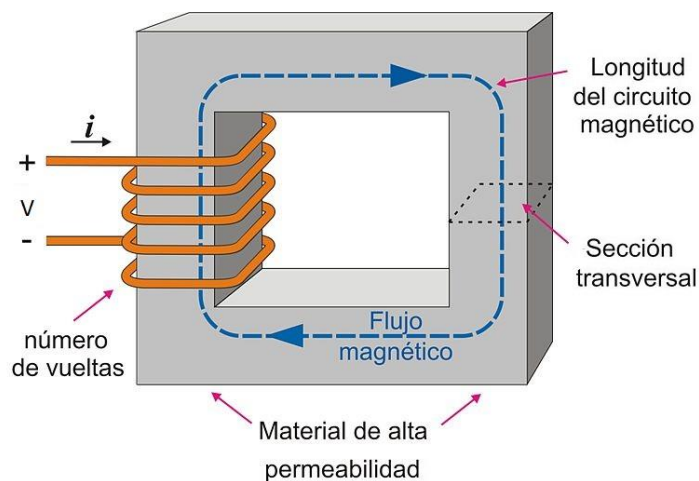


Ilustración AI. 1. Circuito magnético.

Si se le aplica una tensión a la bobina, por dicha bobina circula una determinada intensidad, denominada intensidad de excitación (I_{ex} o I_0), ya que

es la mínima intensidad que por el hecho de circular por las espiras de la bobina produce una fmm, inducida en el núcleo magnético, según la ecuación A1.3, a su vez, en función de la reluctancia del material circulará por el más o menos flujo, según la ecuación A1.12, este flujo incide sobre la bobina, produciendo en esta una fuerza electromotriz (fem), que queda definida por la siguiente expresión:

$$e = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

Donde:

- e , es la fem, dada en Voltios [V].
- $d\phi/dt$, es la variación del flujo con respecto al tiempo.

(Ecuación A1. 14)

Por tanto la tensión que se la aplica a la bobina queda definida por la siguiente ecuación:

$$V = R \cdot I + N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

Donde:

- R , es la resistencia de la bobina, dada en ohmios [Ω].
- V , es la tensión en los extremos de la bobina, dada en Voltios [V].

(Ecuación A1. 15)

9.2.2 Circuito magnético excitado con corriente alterna (c.a).

De la ecuación Al.15 se considera:

- Que la caída de tensión producida por la resistencia de la bobina es despreciable en comparación con la fem.
- Al ser corriente alterna, la tensión en los extremos de la bobina presenta el siguiente valor:

$$V = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega t)$$

Donde:

- ω , es la velocidad angular de la señal.

(Ecuación Al. 16)

Si se relacionan las ecuaciones: Al.15 y Al.16, se obtiene la siguiente ecuación:

$$d\phi = \frac{1}{N} \cdot V \cdot dt$$

$$\phi(t) = \frac{1}{N} \cdot \int V \cdot dt$$

$$\phi(t) = \frac{\sqrt{2}}{N \cdot \omega} \cdot V \cdot \sin(\omega t)$$

(Ecuación Al. 17)

La ecuación AI.17 muestra el valor del flujo en el material magnético en función del tiempo, lo que interesa conocer en el estudio de circuitos magnéticos es el valor del flujo máximo, que viene determinado por la siguiente ecuación:

$$\phi_m = \frac{\sqrt{2}}{N \cdot \omega} \cdot V$$

(Ecuación AI. 18)

De este modo, la ecuación AI.17 puede quedar como:

$$\phi(t) = \phi_m \cdot \cos(\omega t - 90^\circ)$$

(Ecuación AI. 19)

Considerando que $\omega = 2\pi \cdot f$, siendo f la frecuencia de la señal, dada en hercios [Hz], la ecuación (18), queda de la siguiente forma:

$$\phi_m = \frac{\sqrt{2}}{N \cdot 2\pi \cdot f} \cdot V$$

$$\phi_m = \frac{V}{4,44 \cdot N \cdot f}$$

(Ecuación AI. 20)

La ecuación AI.20 demuestra que, el flujo producido solo depende de la tensión y frecuencia de alimentación, siendo independiente del material magnético empleado, lo que si depende del material magnético empleado, es el consumo de intensidad necesario para producir dicho flujo, la combinación de las ecuaciones: AI.3 y AI.12 lo demuestran:

$$N \cdot I = \mathfrak{R} \cdot \phi$$

$$I = \frac{\mathfrak{R} \cdot \phi}{N}$$

(Ecuación Al. 21)

Cuanto mayor sea la reluctancia del material, mayor será la intensidad que la bobina tiene que consumir, para mantener un determinado flujo, además, tener mayor reluctancia implica que el material magnético es más grande, lo que implica mayores pérdidas en el circuito magnético, a estas pérdidas se las denomina pérdidas en el hierro.

El diagrama fasorial que representa lo que sucede en un núcleo magnético ante la presencia de tensión, aparece, en el eje de abscisas la tensión, y en el de ordenadas, con 90° en retraso el flujo magnético, en un núcleo ideal, la intensidad que consume la bobina, es empleada exclusivamente para mantener ese flujo, por esta razón esta intensidad está en fase con él (90° en retraso de la tensión), en la siguiente imagen se puede apreciar el diagrama fasorial de un núcleo magnético sin pérdidas:

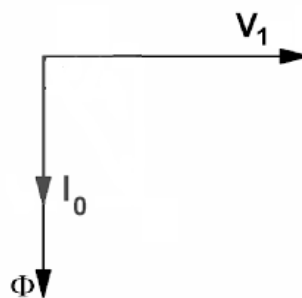


Ilustración Al. 2. Diagrama fasorial de un núcleo sin pérdidas.

En la siguiente ilustración se muestra su esquema equivalente:

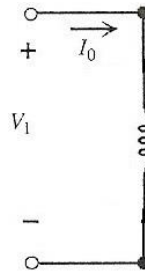


Ilustración AI. 3. Esquema equivalente de un núcleo sin pérdidas.

Pero si el núcleo es real, tal y como es el caso, la intensidad de excitación no está desfasada 90° , ya que la intensidad de excitación tiene dos componentes: la intensidad magnetizante y la de pérdidas en el hierro.

La intensidad magnetizante (I_μ), está en fase con el flujo magnético, pues es la parte de la intensidad de excitación que mantiene el flujo en el núcleo.

La intensidad de pérdidas en el hierro (I_{Fe}), está en fase con la tensión, es la intensidad que se necesita para contrarrestar las pérdidas en el hierro.

En la siguiente ilustración se muestra el diagrama fasorial de un núcleo con pérdidas:

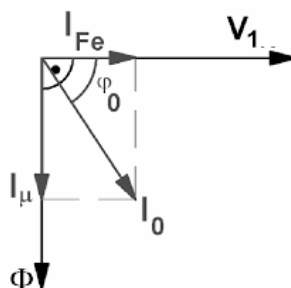


Ilustración AI. 4. Diagrama fasorial de un núcleo con pérdidas.

Por tanto:

$$I_{Fe} = I_0 \cdot \cos(\rho_0)$$

(Ecuación AI. 22)

$$I_{\mu} = I_0 \cdot \sin(\rho_0)$$

(Ecuación AI. 23)

$$I_0 = \sqrt{I_{Fe}^2 + I_{\mu}^2}$$

(Ecuación AI. 24)

En la siguiente ilustración se muestra el circuito eléctrico equivalente:

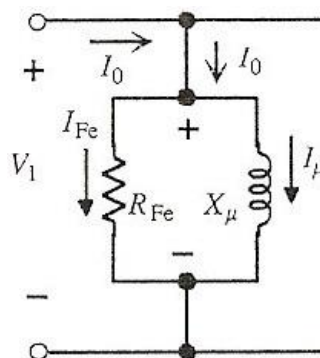


Ilustración AI. 5. Esquema equivalente de un núcleo con pérdidas.

Donde:

- R_{Fe} , es la resistencia de pérdidas en el hierro, dada en ohmios [Ω].

$$R_{Fe} = \frac{V}{I_{Fe}}$$

(Ecuación AI. 25)

- X_{μ} , es la reactancia magnetizante, dada en ohmios [Ω].

$$X_{\mu} = \frac{V}{I_{\mu}}$$

(Ecuación AI. 26)

Por tanto las pérdidas del hierro (P_{Fe}), de un circuito magnético se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$P_{Fe} = V \cdot I_{Fe}$$

(Ecuación AI. 27)

Combinando las ecuaciones: AI.25 y AI.27, aparece la siguiente ecuación:

$$P_{Fe} = R_{Fe} \cdot I_{Fe}^2$$

(Ecuación AI. 28)

9.2.3 Circuito magnético excitado con corriente continua (c.c).

Por ser c.c, el flujo magnético producido no varía con el tiempo, es decir, es constante, por tanto, según la ecuación Al.14, la fem será cero.

Por tanto, según la ecuación Al.15 la intensidad que consume la bobina solo depende de la tensión de alimentación y no del material magnético, y el flujo magnético depende del material magnético utilizado, de acuerdo con la ecuación Al.21.

9.2.4 Materiales magnéticos.

Anteriormente se ha hablado sobre el núcleo magnético o material magnético, pero no de que tipo de material magnético, existen tres tipos de materiales magnéticos: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos.

En la siguiente tabla se muestra la susceptibilidad magnética de cada uno de ellos:

Material	Susceptibilidad (x_m)	Permeabilidad relativa (μ_r)
Diamagnético	-10^{-5}	≤ 1
Paramagnético	10^{-3}	≥ 1
Ferromagnético	Muy elevada	$\gg 1$

Tabla Al. 1. Propiedades de los distintos materiales magnéticos.

Debido a su alta susceptibilidad magnética, los materiales ferromagnéticos, son los utilizados en la construcción de los núcleos magnéticos de todas las

máquinas eléctricas, ya que necesitan poco campo magnético para magnetizarse.

9.2.5 Origen de las pérdidas en el hierro.

Las pérdidas en el hierro se deben a dos fenómenos: Histéresis magnética y corrientes de Foucault.

9.2.5.1 Histéresis magnética.

Es un fenómeno que ocurre en los materiales ferromagnéticos, debido a sus ciclos de imantación, en la siguiente imagen se puede apreciar este fenómeno:

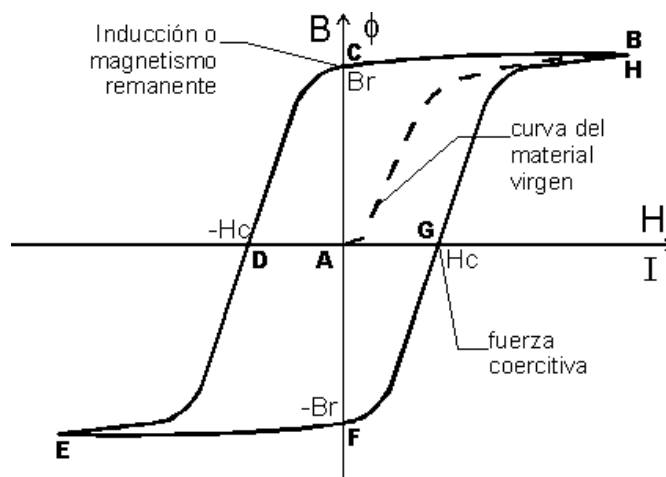


Ilustración Al. 6. Ciclo de histéresis.

En la imagen se puede observar que en el eje de ordenadas se representa el flujo magnético, o la inducción magnética, ya que son proporcionales, según

la ecuación A1.9, y en el eje de abscisas el campo magnético, o la intensidad que circula por la bobina, ya que según la ecuación A1.4, la intensidad de corriente y el campo magnético están proporcionalmente relacionados.

Tal y como queda representado en la imagen, el ciclo de histéresis solo ocurre con c.a, ya que presenta valores positivos y negativos de intensidad.

Cuando el material ferromagnético se encuentra, por primera vez ante la presencia de un campo magnético, el flujo que circula a través de el queda representado por la curva en discontinua, curva de material virgen, se puede observar que el flujo aumenta en función del campo magnético, ya que según la ecuación A1.7 aumenta la inducción cuanto mayor es el campo magnético, y el flujo y la inducción están relacionados proporcionalmente por la ecuación A1.9, se puede observar que este aumento no es infinito, es decir, llega un punto en el que el valor del flujo, o no aumenta, o su aumento es despreciable, ese punto es el punto "H", punto a partir del cual se dice que el material está saturado, la saturación del material depende de su temperatura de curie, temperatura a partir de la cual el material pierde sus propiedades ferromagnéticas (es decir, cuanto más cerca esté el material de esta temperatura, más campo magnético necesitará, para producir el mismo flujo que cuando estaba a una temperatura más baja), dicha temperatura se alcanza por la circulación de las líneas de flujo a través del material, y por las corrientes de Foucault.

Cuando la intensidad tiende a cero, punto "A", el flujo ya no sigue la curva virgen, sino que sigue la curva que se dirige al punto "C", de manera que por el material sigue circulando flujo debido al magnetismo remanente, lo que provoca que en el siguiente ciclo de la intensidad (ciclo negativo), se tenga que consumir una intensidad que no produce flujo en el núcleo, sino que produce un campo magnético que anula el magnetismo remanente del material, punto "D", a partir de este punto la intensidad que circula por la bobina se emplea para producir flujo magnético en el material hasta que este se vuelve a saturar, punto "E".

Cuando la intensidad tiende a cero, se vuelve a repetir el proceso anterior, puntos: “F” y “G”. Las pérdidas por histéresis son el área que describen los puntos: “B”, “C”, “D”, “E”, “F” y “G”.

9.2.5.2 Corrientes de Foucault.

Debido a que el núcleo magnético está en presencia de un campo magnético, circulan, a través de él dichas corrientes, produciendo un aumento de la temperatura del núcleo, que sumado al aumento de temperatura producido por la histéresis, provocan que el material se aproxime más a su temperatura de curie.

9.2.5.3 Medidas correctoras.

No existe una solución que evite las pérdidas en el hierro, pero existen métodos que ayudan a la reducción de sus efectos.

Anteriormente se empleaban chapas magnéticas laminadas en caliente y con una proporción de entre el 4% ó el 5% de silicio (aumentando así la resistividad de la chapa), la formación del núcleo magnético con estas chapas, y entre las cuales se situaba una capa de papel de entre 0,02 y 0,03 mm, reducía las corrientes de Foucault, ya que aumentaba la resistividad del mismo, además estas chapas tenían un ciclo de histéresis pequeño, el inconveniente era la proporción de silicio ya que hacía que la chapa fuera más quebradiza, y por tanto susceptible de romperse ante las vibraciones del núcleo.

En la actualidad las chapas se laminan en frío con unos espesores de entre 0,3 y 0,5 mm y una proporción de silicio de entre el 3% y 3,5%, en vez de utilizar papel entre chapa y chapa del núcleo, las chapas se recubren con una capa de

carlite, consiguiendo de esta forma, chapas más robustas y con menos pérdidas en el hierro.

10 ANEXO II. MOTORES ELÉCTRICOS.

10.1 INTRODUCCIÓN.

El motor eléctrico es el corazón del vehículo eléctrico, pues es el encargado de transformar la energía eléctrica en el movimiento de las ruedas y viceversa, cuando el conductor lo requiera.

La ventaja comparativa que tiene el motor eléctrico frente al de combustión interna es el de que permite el movimiento sin emisiones y sin ruidos.

A simple vista, el vehículo eléctrico es menos contaminante que el de combustión interna, pero hay que analizar de donde viene la energía necesaria para su alimentación, ya que el sistema eléctrico español esta abastecido por: centrales térmicas, nucleares, solares, eólicas, hidráulicas, etc. El vehículo eléctrico brinda la oportunidad de usar las energías renovables para la generación de electricidad que se requiera en el sector del transporte, consiguiendo de este modo una reducción considerable de la contaminación.

10.2 COMPONENTES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

10.2.1 *Rotor y estator.*

En los motores eléctricos se pueden distinguir dos partes fundamentales: el estator (parte fija) y el rotor (parte móvil). El estator tiene forma cilíndrica, en

el caso de motores de gran velocidad este, tiene una mayor longitud en comparación con su diámetro, en el caso de motores de pequeña velocidad ocurre lo contrario. En cualquier caso, el estator ha de tener un hueco, pues es el lugar donde se introduce el rotor, el cual se monta sobre un eje que descansa sobre unos cojinetes. Para que el rotor pueda girar es necesario que exista un espacio entre el estator y él, dicho espacio se denomina entrehierro, en la siguiente imagen se muestran estas tres partes del motor:

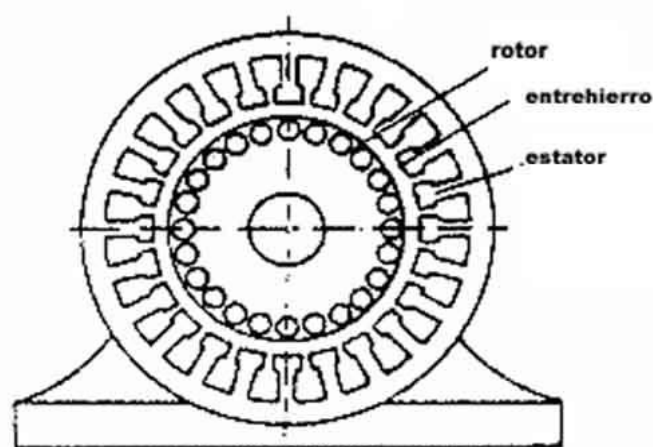


Ilustración All. 1. Estator, rotor y entrehierro de un motor eléctrico.

El estator tiene su parte exterior recubierta por la carcasa o culata, estando está constituida por un cilindro hueco al que se unen las pies y los dispositivos necesarios para la fijación del motor, además, esta ha de tener en su parte posterior el espacio suficiente para situar un ventilador que acoplado al rotor proporcionará al motor una adecuada refrigeración. Se pueden encontrar culatas con una serie de aletas, que ayudan a la refrigeración del motor, y otras carcasas lisas, ya que por consideraciones técnicas no se considera necesario una mayor refrigeración que la que proporciona el pequeño ventilador. En la siguiente imagen se muestra un motor con aletas en su carcasa:



Ilustración AII. 2. Motor cuya carcasa posee aletas.

Tanto el rotor como el estator tienen una serie de ranuras en las que se introducen los devanados del motor, existen tres tipos de ranuras: cerradas, semicerradas y abiertas. Las ranuras cerradas se emplean en la construcción del devanado del rotor en jaula de ardilla (se hablara de él posteriormente), las ranuras abiertas se suelen utilizar en grandes máquinas, donde las bobinas de cada devanado se pueden colocar directamente en las ranuras correspondientes de una sola vez, cerrando posteriormente la parte superior de la ranura con una cinta aislante, en las ranuras semicerradas hay que introducir las bobinas de cada devanado espira a espira, cerrando la parte superior con una cinta aislante. Es necesario aislar la ranura, ya que cualquier contacto provocaría un defecto interno en el motor. En la siguiente imagen se muestran unas ranuras del tipo semicerradas situadas en el estator del motor, que además, a causa de su mal aislamiento se ha producido un defecto en el motor:



Ilustración AII. 3. Consecuencia de un mal aislamiento de las ranuras del motor.

Tal y como se expuso en el apartado 9.2.5.3 del AI, el rotor y el estator estarán formados por chapas magnéticas de acero al silicio.

10.2.2 *Devanados.*

En los motores se distinguen dos tipos de devanados: el inductor y el inducido. El devanado inductor es el conjunto de bobinas por donde circula la corriente que proviene de la red, produciendo así el campo magnético de acuerdo con la ecuación AI.4, que circula por el entrehierro de la máquina y llega hasta el devanado inducido, que es el conjunto de bobinas por las que circulan una corriente eléctrica, ya que estas se ve influenciadas por el campo magnético producido por el devanado inductor, debido a la circulación de esta corriente, en el devanado inducido se produce otro campo magnético. Para motores de pequeña potencia el material empleado para la realización de las bobinas de cada devanado es el cobre esmaltado (el esmalte hace la función de aislante eléctrico entre las espiras de cada bobina), en motores de gran potencia son pletinas de cobre en lugar de bobinas lo que compone el devanado, utilizando como aislante una cinta de algodón. El aluminio se utiliza únicamente en los rotores de jaula de ardilla.

10.2.3 *Polos magnéticos.*

Desde el punto de vista de la configuración física, los motores eléctricos adoptan tres formas básicas, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

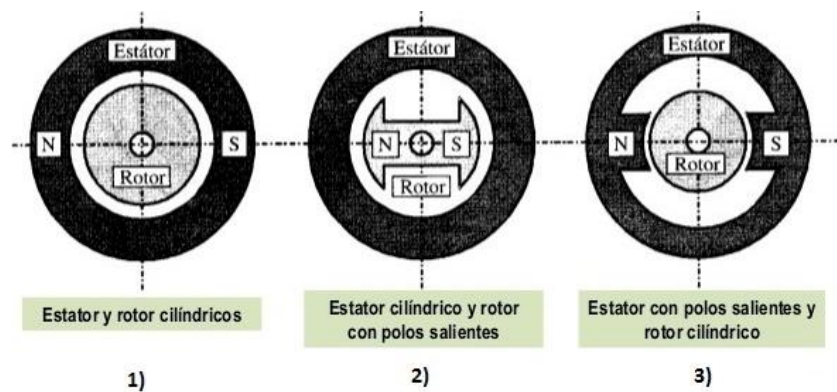


Ilustración AII. 4. Configuración física de las máquinas eléctricas.

En la ilustración AII.4.1 se puede observar la configuración física de los motores asíncronos, en las que el entrehierro se mantiene uniforme y tanto el rotor como el estator son lisos. En las ilustraciones AII.4.2 (motores síncronos y de c.c.) y AII.4.3 (motores síncronos y de c.c.) la superficie del estator o del rotor presenta unos salientes magnéticos denominados polos que están provistos a su vez de unas expansiones o cuernos polares, en estos polos se sitúa siempre el devanado inductor recorrido normalmente por c.c. creando un campo magnético que puede asimilarse al que produce un imán permanente. En la configuración de los motores asíncronos no se aprecian los polos magnéticos, pero esto no significa que no existan, como se explica anteriormente, es el devanado inductor el que induce en el entrehierro el campo magnético, esto se debe a la circulación de corriente eléctrica por las bobinas de su devanado, dando lugar a la creación de un imán, en el caso de la ilustración AII.4, es un imán bipolar, ya que tiene dos polos: el norte y el sur, pero existen motores eléctricos con un número mayor de polos, siendo este número par. El giro del rotor se debe a las fuerzas de atracción y repulsión de los polos.

La línea media entre un polo y el siguiente se denomina línea neutra, y la distancia entre dos polos consecutivos se denomina paso polar.

10.2.4 *Colector de delgas y colector de anillos.*

Para introducir o sacar corrientes de los bobinados situados en el estator del motor, basta con hacer unas conexiones fijas directas desde el sistema exterior a estos devanados, es lo que se conoce como las bornes del motor, que se pueden encontrar en la caja de bornes del mismo, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración All. 5. Caja de bornes de un motor eléctrico.

Sin embargo, para realizar esa operación con las bobinas del rotor es preciso recurrir a sistemas colectores, que difieren según sea el motor de c.a ó de c.c.

En el caso de motores de c.a trifásicos se utiliza el sistema colector de anillos, el rotor dispone de tres anillos de cobre separados por una material aislante, a cada uno de estos anillos se le conecta el extremo del devanado correspondiente a cada fase, ya que los otros extremos están conectados entre si. En la siguiente imagen se muestra esta configuración:



Ilustración All. 6. Rotor bobinado y colector de anillos.

En el caso de motores de c.c. se utiliza el sistema colector de delgas, que consiste en conectar los extremos de cada bobina a un segmento de cobre distinto situado en el eje del rotor, todos estos segmentos (delgas) constituyen un anillo, que es el que le da el nombre a este sistema. En la siguiente imagen se muestra esta configuración:

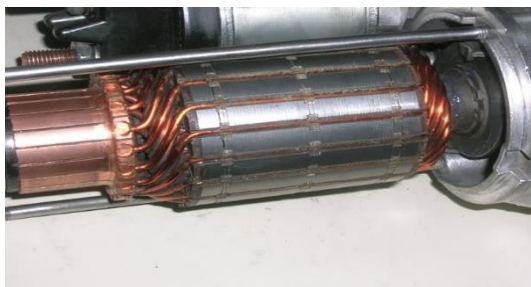


Ilustración All. 7. Rotor bobinado y colector de delgas.

Sea cual sea la configuración, la unión entre el bobinado del rotor y el circuito exterior se da gracias a unas escobillas conectadas a esté último, dichas escobillas están en contacto permanente con los colectores del rotor gracias a unos muelles, con el fin de prolongar la duración de dichas escobillas, pues el

continuo roce con el colector inevitablemente provoca su desgaste, estas se fabrican con grafito. La siguiente imagen muestra unas escobillas:



Ilustración All. 8. Escobillas de un motor eléctrico.

10.3 REQUISITOS DEL MOTOR ELÉCTRICO.

El motor eléctrico que se utilice en un vehículo debe proporcionar la potencia necesaria para que el vehículo cumpla sus especificaciones, además de que sus dimensiones no lo hagan imposible de montar en él, es decir, de poco sirve un motor eléctrico que aporte la misma potencia que uno de combustión interna, y que tenga un peso superior a este, por esta razón, a la hora de seleccionar un motor eléctrico se cuida que ninguno de sus ratios: potencia-peso y potencia-dimensiones, superen los del motor de combustión equivalente.

De la misma forma que al motor eléctrico se le solicitan unas dimensiones razonables, es esencial que tenga una robustez mecánica y térmica, de modo que su duración sea mayor que la de uno de combustión equivalente, también que el mantenimiento, no solo del motor, sino del conjunto del vehículo sea más sencillo.

El rendimiento del motor eléctrico también es una característica importante, y además decisiva a la hora de diferenciarlo del de combustión interna, ya que

estos últimos tienen un rendimiento entorno al 40% para el Diésel, y del 25% para el de gasolina, mientras que el eléctrico tiene un rendimiento del 90%, además, los motores eléctricos son capaces de aportar una potencia superior a la nominal durante un corto periodo de tiempo sin deteriorarse, mientras que los de combustión interna no pueden sobrepasar dicho límite sin estropearse.

10.4 ENTREGA DE PAR.

La entrega de par es la finalidad principal del motor, el par debe de transmitirse a las ruedas de forma continua, ya que si hubiera fluctuaciones el conductor no tendría una buena sensación a la hora de la conducción, por esta razón el motor ha de estar controlado por el correspondiente sistema de control, que le permita entregar el par que se necesita en cada momento, así como de gestionar su frenada cuando el usuario lo desee recargando las baterías del vehículo (frenado regenerativo).

En los motores eléctricos existe una estrecha relación entre el par y la potencia que consume, idealmente el par que proporciona el motor es un par constante y elevado, con el cual arranca y acelera hasta que llega a una determinada velocidad, donde consume su potencia nominal, la cual se mantiene constante mientras dicha velocidad aumenta, debido a esto el par que entrega se reduce, igual que ocurre con los motores de combustión interna, ya que no se puede subir una pendiente elevada en quinta, pues esta marcha es para grandes velocidades y el par que ofrece el motor es muy pequeño.

10.5 TIPOS DE MOTORES.

En el apartado 10.2 se describen las partes de un motor de forma general, en el presente apartado se describirán los distintos tipos de motores empleados en vehículos eléctricos, así como concretar en sus aspectos constructivos.

10.5.1 Motores asíncronos.

10.5.1.1 Aspectos constructivos.

En este tipo de motores funcionan con c.a trifásica, estando el inductor en el estator y el inducido en el rotor, tal y como muestra la ilustración AII.4.1.

El rotor tiene dos configuraciones posibles: rotor en jaula de ardilla o rotor bobinado. En el tipo de rotor en jaula de ardilla, se tienen una serie de conductores de cobre o aluminio puestos en cortocircuito por dos anillos laterales, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

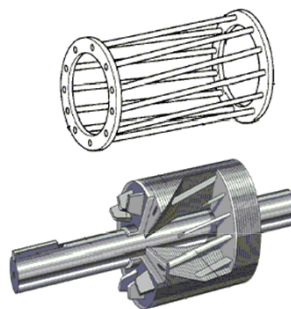


Ilustración AII. 9. Rotor en jaula de ardilla o cortocircuito.

En el caso de un rotor devanado o con anillos, se tiene un arrollamiento trifásico similar al situado en el estator, en el que las tres fases se conectan por

un lado en estrella y por el otro se envían a unos anillos aislados entre sí, de este modo se pueden introducir unas resistencias externas por los anillos para limitar las corrientes de arranque, mejorar las características del par y controlar la velocidad. En la ilustración AII.6 se muestra un rotor de este tipo.

El número de ranuras del estator no puede ser igual al número de ranuras del rotor, pues si no llegaría un momento en que los dientes del estator y los del rotor se encontrarían enfrentados, dando lugar a vibraciones, a la creación de armónicos de ranura y a que pudieran formarse pares antagónicos y puntos muertos, lo que a su vez tendría como consecuencia un par de arranque insuficiente. Para evitar dichos inconvenientes se eligen número de ranura que no sean iguales ni múltiplos entre sí, en el caso de los motores con rotor en jaula de ardilla se colocan las barras que lo forman de forma sesgada, tal y como se muestra en la imagen AII.1.

La máquina asíncrona, además de disponer de un estator y un rotor, está dotada de otros elementos mecánicos necesarios para su funcionamiento: tapas, rodamientos, etc.

En la siguiente imagen se muestra la sección de un motor en jaula de ardilla:

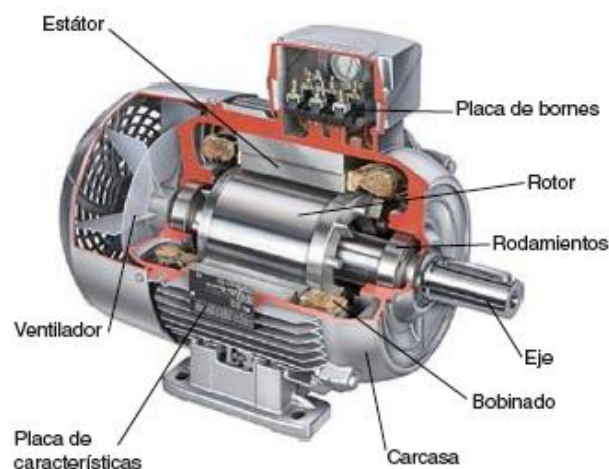


Ilustración AII. 10. Sección de un motor de rotor en jaula de ardilla.

10.5.1.2 Principio de funcionamiento.

El devanado del estator está constituido por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio y de dos pares de polos, al introducir por ellos corrientes de una red trifásica a una determinada frecuencia, se produce una onda rotativa de fuerza magnetomotriz (fmm) distribuida sinodalmente por la periferia del entrehierro, que produce un flujo giratorio cuya velocidad viene expresada por la siguiente ecuación:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$$

Donde:

- n_1 , es la velocidad de la fmm o velocidad de sincronismo, dada en revoluciones por minuto [rpm].
- p , es el número de pares de polos del motor.
- f_1 , es la frecuencia de la red de alimentación, dada en Hercios [Hz].

(Ecuación AII. 1)

Este flujo giratorio induce unas fuerzas electromotrices (fems) en los conductores del rotor, dadas por la siguiente expresión:

$$e = (V \times B) \cdot L$$

Donde:

- V , es la velocidad del conducto con respecto a la velocidad del campo magnético del estator.

(Ecuación AII. 2)

Si el rotor está en cortocircuito (en el caso del jaula de ardilla esta en cortocircuito siempre, pero en el de anillos rodantes es necesario cortocircuitarlo a través del circuito exterior), aparecerán corrientes que reaccionarán con el flujo de estator, de manera que en cada conductor del rotor aparece una fuerza que hace girar al rotor en el mismo sentido que el campo magnético del estator, dicha fuerza viene dada por la siguiente ecuación:

$$F = i \cdot (L \times B)$$

Donde:

- F , es la fuerza que aparece en el rotor, dada en Newton por metro [Nm].
- i , es la intensidad que circula por el conductor del rotor, dada en Amperios [A].
- L , es la longitud del conductor, dada en metros [m].
- B , es la inducción magnética, dada en Teslas [T].

(Ecuación AII. 3)

Verdaderamente, esta fuerza no es proporcionada por los conductores del rotor, de ser así, estos colisionarían con el diente de la ranura en la que están insertados y se deteriorarían, lo que ocurre en realidad es que, a causa de la intensidad que circula por el conductor del rotor, aparece en este un campo magnético que es el que interactúa con las líneas de campo presentes del estator, dichas líneas no indican directamente sobre el conductor, sino que circulan por los dientes del rotor, ya que estos tienen menos reluctancia que las ranuras, de modo que, es en los dientes donde el campo magnético procedente del conductor y las líneas de campo magnético del estator interactúan, produciendo la fuerza que hace que el motor gire. Si se multiplica la fuerza por el número de conductores y el radio del rotor, se obtiene el par interno del motor.

Cuanto más se aproxima la velocidad del rotor a la de sincronismo, tanto menor resulta la fem inducida en cada conductor del mismo, por lo tanto, también se reducen las corrientes que circulan por los conductores, y por consiguiente el par que entrega el motor, por esta razón existe para estos motores un parámetro llamado deslizamiento, este mide la diferencia que existe entre la velocidad en cada régimen de funcionamiento del motor y la de sincronismo, la ecuación es la siguiente:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

Donde:

- s , es el deslizamiento.
- n , es la velocidad de funcionamiento del motor en un momento dado, viene dada en revoluciones por minuto [rpm].

(Ecuación AII. 4)

Por tanto, la diferencia entre la velocidad del campo magnético producido por el estator (n_1) y la velocidad de régimen (n), da como resultado la velocidad del campo producido por el rotor (n_2), y sabiendo que la velocidad del campo producido en el rotor viene dada por la siguiente expresión:

$$n_2 = \frac{60 \cdot f_2}{p}$$

Donde:

- f_2 , es la frecuencia de las corrientes que circulan por el rotor, dada en hercios [Hz].

(Ecuación AII. 5)

Relacionando las ecuaciones: AII.1, AII.4 y AII.5 se obtiene la siguiente igualdad:

$$s = \frac{\frac{60 \cdot f_2}{p}}{\frac{60 \cdot f_1}{p}}$$

$$f_2 = f_1 \cdot s$$

(Ecuación AII. 6)

Por esta razón, la fem en cada devanado será diferente, por tanto según la ecuación AI.20 y teniendo en cuenta unos factores, la fem de cada devanado será:

$$e_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot K_1 \cdot \Phi_m$$

(Ecuación AII. 7)

$$e_2 = 4,44 \cdot s \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot K_2 \cdot \Phi_m$$

(Ecuación AII. 8)

Los factores que modifican la ecuación AI.20 son los factores de devanado (K).

10.5.1.3 Circuito equivalente.

A la hora de analizar un motor de inducción es necesario realizar su circuito equivalente, el cual se muestra en la siguiente imagen:

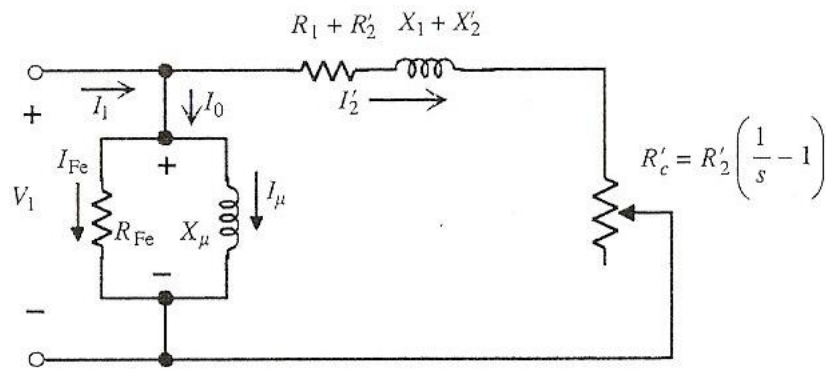


Ilustración AII. 11. Circuito equivalente de un motor de inducción.

En el apartado 9.3 del apéndice I se explica que la rama paralelo representa las pérdidas en el hierro del material magnético, así como cada uno de sus componentes.

V_1 , es la tensión de alimentación, I_2' , es la intensidad que circula por el rotor referida al estator, R_2' , es la resistencia del rotor referida al estator, X_2' , es la reactancia del rotor referida al estator, R_1 , es la resistencia del estator, x_1 , es la reactancia del estator y R_c' , es la resistencia de carga referida al estator. La resistencia de carga viene a representar el momento en el que el motor tiene que mover una determinada carga, cuanto mayor es la carga, mayor es el deslizamiento y por consiguiente la resistencia de carga, provocando que la intensidad del rotor sea mayor, de este modo el motor podrá generar un par tal que pueda superar al par de la carga.

10.5.1.4 Balance de potencias.

No toda la potencia eléctrica que el motor absorbe de la red es transformada en potencia mecánica en su eje, esto se debe a una serie de pérdidas, las cuales se detallan a continuación.

La potencia que el motor absorbe de la red viene dada por la siguiente ecuación:

$$P_1 = m_1 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

Donde:

- P_1 , es la potencia absorbida de la red, dada en Vatios [W].
- m_1 , es el número de faes del estator.
- V_1 , es la tensión de alimentación del motor, dada en Voltios [V].
- I_1 , es la intensidad que circula por el estator, dada en Amperios [A].
- φ_1 , es el desfase entre la tensión y la intensidad del estator.

(Ecuación AII. 9)

Debido a la intensidad que circula por el estator, parte de la potencia absorbida en la red pasa a convertirse en calor, debido al efector Joule, dichas pérdidas se calculan con la siguiente ecuación:

$$P_{cu1} = m_1 \cdot R_1 \cdot I_1^2$$

Donde:

- P_{cu1} , son las pérdidas producidas en el estator a causa del efector Joule, dadas en Vatios [W].

(Ecuación AII. 10)

De acuerdo con la ecuación A1.26 y teniendo en cuenta el número de fases del estator, se pueden calcular las pérdidas en el hierro de este, las pérdidas de potencia totales en el estator se calculan con la siguiente ecuación:

$$P_{p1} = P_{cu1} + P_{Fe1}$$

Donde:

- P_{p1} , son las pérdidas de potencia en el estator, dadas en Vatios [W].

(Ecuación AII. 11)

La potencia electromagnética que llega al rotor por medio del entrehierro se calcula con la siguiente expresión:

$$P_a = P_1 - P_{p1}$$

Donde:

- P_a , es la potencia en el entrehierro, dada en Vatios [W].

(Ecuación AII. 12)

Debido a que los conductores del rotor están en cortocircuito, en el mismo no hay tensión, por tanto, no hay pérdidas en el hierro, ya que estas pérdidas solo dependen de la tensión, tal y como indica el apartado 5.3 del apéndice I, sin embargo, en el rotor existen pérdidas debido al efecto Joule, ya que por sus conductores circulan corrientes, por tanto estas pérdidas se calculan con la siguiente ecuación:

$$P_{cu2} = m_1 \cdot R_2' \cdot I_2'^2$$

Donde:

- P_{cu2} , son las pérdidas de potencia debidas al efecto Joule que tiene el rotor, dadas en Vatios [W].

(Ecuación AII. 13)

La potencia que llega al árbol del motor o potencia interna, se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{mi} = P_a - P_{cu2}$$

Donde:

- P_{mi} , es la potencia interna del motor, dada en Vatios [W].

(Ecuación AII. 14)

La potencia interna del motor también se puede calcular con la siguiente expresión:

$$P_{mi} = m_1 \cdot R_c' \cdot I_2'^2$$

(Ecuación AII. 15)

La potencia interna del motor tampoco se aprovecha en el exterior debido a las pérdidas mecánicas del mismo, la potencia que realmente se aprovecha del motor o potencia útil, se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_u = P_{mi} - P_m$$

Donde:

- P_u , es la potencia útil, dada en Vatios [W].
- P_m , son las pérdidas mecánicas del motor, debidas a rozamientos y a la ventilación, están dadas en Vatios [W].

(Ecuación AII. 16)

En la siguiente imagen se muestra de forma gráfica el balance de potencias:

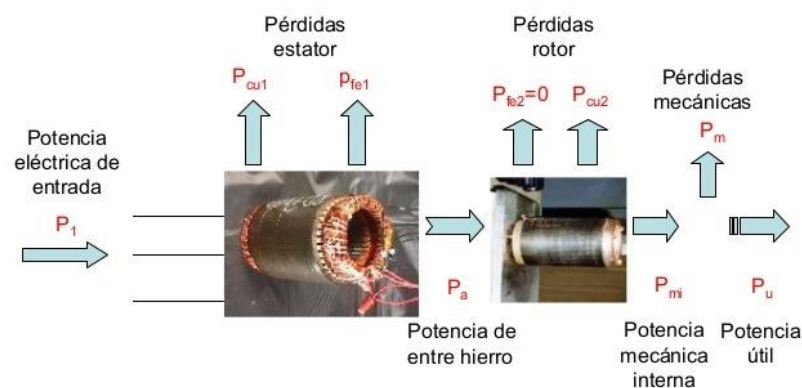


Ilustración AII. 12. Balance de potencias de una máquina asíncrona.

El rendimiento del motor viene expresado por la siguiente relación:

$$\eta = \frac{P_u}{P_1}$$

Donde:

- η , es el rendimiento del motor.

(Ecuación AII. 17)

De la combinación de las ecuaciones: All.13 y All.15 surge una importante relación:

$$\frac{P_{cu2}}{P_{mi}} = \frac{s}{1-s}$$

(Ecuación All. 18)

De la ecuación All.14 se obtienen otras relaciones importantes, estas son:

$$P_a = \frac{P_{cu2}}{s}$$

(Ecuación All. 19)

$$P_a = \frac{P_{mi}}{1-s}$$

(Ecuación All. 20)

10.5.1.5 Par de rotación.

$$M = \frac{P_u}{\omega}$$

Donde:

- M , es el par que entrega el motor, dado en newton por metro [Nm].
- ω , es la velocidad angular de giro, dada en revoluciones por minuto [rpm].

(Ecuación All. 21)

Teniendo en cuenta que el valor de ω es:

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60}$$

(Ecuación AII. 22)

Si se desprecian las pérdidas mecánicas del motor, la potencia útil coincide con la mecánica interna y el par anterior se puede expresar con la siguiente expresión:

$$M = \frac{P_{mi}}{\omega}$$

(Ecuación AII. 23)

De la ecuación AII.4 se obtiene la siguiente expresión:

$$n = n_1 \cdot (1 - s)$$

(Ecuación AII. 24)

Por tanto la ecuación AII.23, queda de la siguiente forma:

$$M = \frac{P_{mi}}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot (1 - s)}$$

(Ecuación AII. 25)

Si se tiene en cuenta la ecuación AII.20, la ecuación AII.25 queda representada de la siguiente forma:

$$M = \frac{P_a}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60}}$$

(Ecuación AII. 26)

Considerando las ecuaciones: AII.13 y AII.19, la ecuación AII.26 se puede expresar de la siguiente forma:

$$M = \frac{m_1 \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot I_2'^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60}}$$

(Ecuación AII. 27)

De acuerdo con la ilustración All.12, el valor de I_2' viene dado por la siguiente expresión:

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{cc}^2}}$$

Donde:

- X_{cc} , es el resultado de sumar la reactancia del estator y la del rotor referida al estator.

(Ecuación All. 28)

Por lo tanto, sustituyendo la ecuación All.28, en la All.27, se obtiene:

$$M = \frac{m_1 \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot V_1^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{cc}^2\right]}$$

(Ecuación All. 29)

La ecuación All.29 expresa el valor del par producido por el motor en función de los parámetros de éste. La circunstancia de que el par motor sea función del cuadrado de la tensión de alimentación hace que el motor asíncrono sea muy sensible a las variaciones de la tensión de alimentación, por lo que si ésta es muy reducida probablemente el motor no pueda arrancar.

Otro aspecto a tener en cuenta de la ecuación All.29 es el hecho de que si no existe deslizamiento ($s = 0$), o que éste es muy elevado ($s = \pm\infty$) el par será nulo ($M = 0$), por tanto, si se deriva la ecuación All.29 con respecto al deslizamiento, teniendo en cuenta el valor nulo del par, al despejar, se obtiene

el valor del deslizamiento con el que el par del motor es máximo, tal y como se muestra a continuación:

$$s_m = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2}}$$

Donde:

El signo “+” indica que el motor está funcionando como tal y el signo “-” indica que el motor está trabajando como generador, ya que la peculiaridad de los motores eléctricos es que son reversibles.

(Ecuación AII. 30)

Si se sustituye la ecuación AII.30 en la ecuación AII.29 se obtiene la ecuación del par máximo:

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 \cdot V_1^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot \left[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2} \right]}$$

(Ecuación AII. 31)

La ecuación AII.31 muestra que el par máximo no varía cuando cambia la resistencia del rotor, sin embargo y de acuerdo con la ecuación AII.30, el deslizamiento al cual se obtiene dicho par es proporcional a la resistencia del rotor, de aquí se deriva una cuestión técnica de gran importancia práctica, ya que variando la resistencia del rotor por introducción de resistencias adicionales (caso aplicable únicamente a motores de rotor bobinado), se puede conseguir que el par máximo se obtenga a la velocidad deseada, en un vehículo eléctrico es de gran interés, ya que si se encuentra ante una determinada pendiente puede mantener la velocidad y a la vez obtener el par necesario para superarla,

caso que no ocurre con los vehículos de combustión, ya que habría que reducir la marcha.

10.5.1.6 Curvas par-velocidad.

10.5.1.6.1 Puntos notables.

La siguiente ilustración muestra una curva de par-velocidad de un motor con los distintos puntos que la caracterizan:

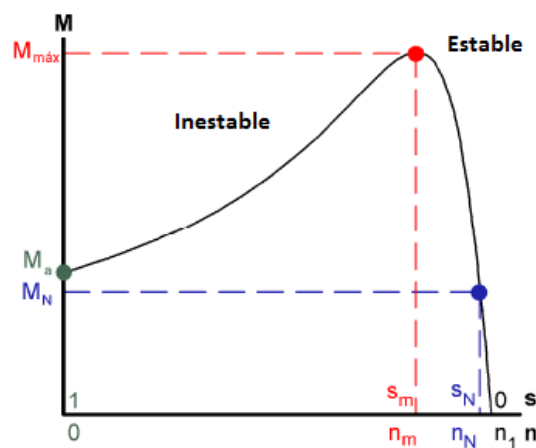


Ilustración All. 13. Puntos notables de la curva par-velocidad de un motor asíncrono.

En la ilustración All.13 muestra en el eje de abscisas la velocidad y el deslizamiento, como también se puede observar, cuando la velocidad es nula (el motor está parado), el deslizamiento es uno, pero cuando la velocidad es máxima (velocidad de sincronismo), el deslizamiento es nulo. En el eje de ordenadas se muestra el par que entrega el motor, en el cual se representan tres pares: el máximo (M_{max}), el de arranque (M_a) y el nominal (M_n).

En la curva es necesario diferenciar dos zonas: zona estable y zona inestable. En la zona estable el motor aumenta el par que entrega a la vez que disminuye la velocidad, pero dicha velocidad no sufre una elevada variación, sin embargo la zona inestable es la que el par y la velocidad son proporcionales, es decir, si disminuye el uno el otro también, y viceversa.

Para que el motor pueda arrancar es necesario que el par de arranque sea mayor que el de la carga que éste ha de mover.

En la curva se puede observar (color rojo) la velocidad a la que se obtiene el par máximo (n_{max}), así como el deslizamiento.

En azul, se muestra la velocidad (n_n), y el deslizamiento (s_n) cuando se obtiene el par nominal.

También se puede observar que la velocidad del motor nunca será la de sincronismo, pues de ser así el par entregado sería nulo, ya que técnicamente el motor no puede girar a esa velocidad, tal y como se explica en el apartado 10.5.1.2 de éste anexo.

En el apartado 10.3 de este anexo se menciona que el motor eléctrico, a diferencia del de combustión interna, puede proporcionar una potencia por encima de su potencia nominal sin deteriorarse, existe un factor, llamado “capacidad de sobrecarga”, que relaciona el par máximo con el nominal, y cuyo valor oscila entre uno y dos, a continuación se muestra la ecuación que lo define:

$$capacidad\ de\ sobrecarga = \frac{M_{max}}{M_n}$$

(Ecuación AII. 32)

10.5.1.6.2 Punto de funcionamiento.

Cuando el motor mueve una carga en régimen permanente, se produce un equilibrio entre el par motor (M) y el de la carga o par resistente (M_r), trabajando ambos en un punto, llamado “punto de funcionamiento”, en el que se cumple la siguiente igualdad:

$$M_r = M$$

(Ecuación AII. 33)

En la siguiente ilustración se muestra en la curva par-velocidad de un motor asíncrono sometido a una carga, también representada por una curva, siendo la intersección entre ambas curvas el punto de funcionamiento:

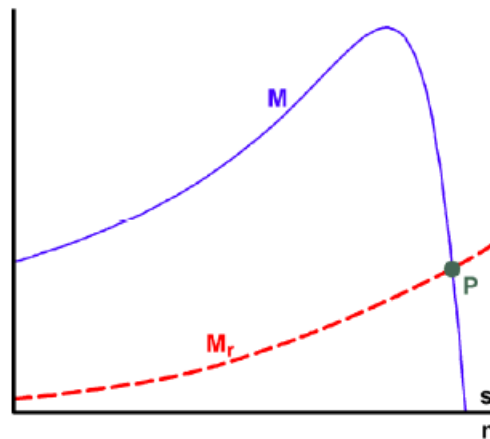


Ilustración AII. 14. Punto de funcionamiento de un motor asíncrono.

En general, salvo casos excepcionales, un motor asíncrono funciona en la zona de estabilidad, en dicha zona el motor presenta una característica rígida y dura, lo que significa que la velocidad varía muy poco al variar el par.

El comportamiento del motor antes de llegar al punto de funcionamiento está definido por la siguiente ecuación:

$$M - M_r = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Donde:

- J , es el momento de inercia de las partes giratorias de motor.
- ω , es la velocidad angular de giro del rotor.

(Ecuación AII. 34)

Como se puede observar, la ecuación AII.33 se obtiene de la ecuación AII.34, ya en el punto de funcionamiento la velocidad del rotor es constante y por tanto, el segundo término de la derecha de la ecuación AII.34 es cero.

10.5.1.6.3 Efectos de variar la tensión de alimentación.

La ecuación AII.31 muestra que si varía la tensión de alimentación también lo hará el valor del par máximo del motor, pero no el valor del deslizamiento en el que esto ocurre, la siguiente ilustración muestra las distintas curvas par-velocidad que sigue un motor asíncrono cuando varía la tensión de alimentación:

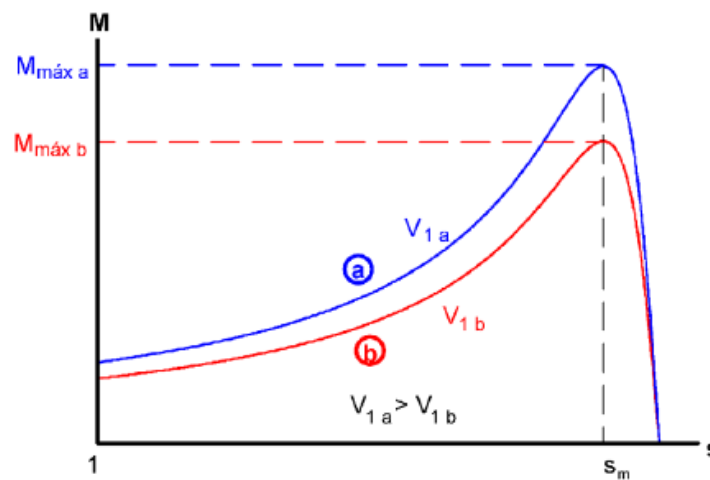


Ilustración All. 15. Efectos de variar la tensión de alimentación en un motor asíncrono.

10.5.1.6.4 Introducción de resistencias en serie con el rotor.

La ecuación All.30 muestra como varía el punto en el que se consigue el par máximo con solo variar la resistencia del rotor, en la siguiente ilustración se muestra gráficamente con distintos valores de resistencia en el rotor (R_x):

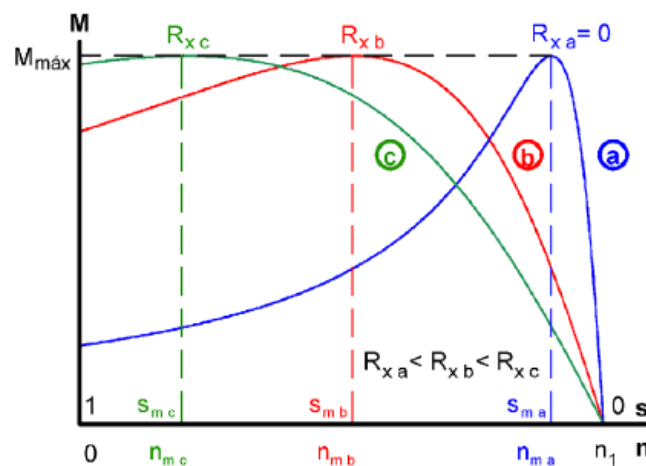


Ilustración All. 16. Efectos de modificar la resistencia del rotor.

Siendo R_x la suma de la resistencia del rotor más la resistencia adicional que se le conecte, y todo ello referido al primario del motor, esta operación solo se le puede realizar a motores de rotor bobinado, ya que los jaula de ardilla no disponen de accesos al rotor.

En el caso de que el par resistivo fuera mayor que el par de arranque del motor, este no podrá arrancar, pero si se traslada el par máximo al arranque no habría ningún problema, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

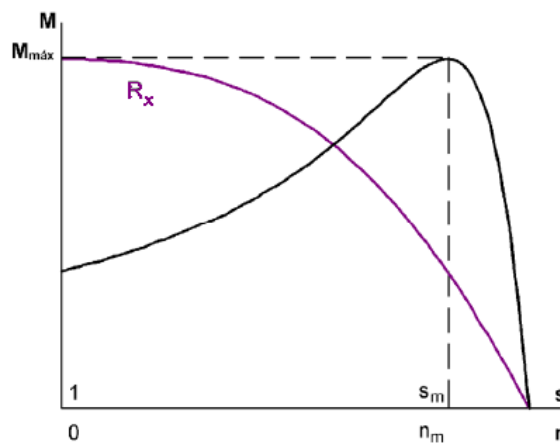


Ilustración AII. 17. Aumento del par de arranque por variación de las resistencias retóricas.

10.5.1.7 Arranque.

El arranque es el proceso de puesta en marcha de un motor que lo lleva desde una velocidad nula a la del punto de funcionamiento estable que corresponda al par resistente de la carga que tiene que mover.

Para que pueda realizarse esta maniobra debe cumplirse la condición de arranque, la cual exige que el par de arranque sea mayor que el resistente.

En el instante de iniciar el arranque, cuando la velocidad es nula y el deslizamiento máximo ($s = 1$), la corriente que demanda es superior a la asignada, y en caso de que la instalación no esté preparada, se producirán

caídas de tensión o incluso la pérdida de los conductores debido al excesivo calentamiento, además, las baterías se ven sometidas una gran descarga.

Existen distintos métodos de arranque para evitar que esto suceda.

10.5.1.7.1 Arranque directo.

Este método de arranque es el más sencillo y se emplea en motores de pequeña potencia, consiste en arrancar el motor conectándolo a su tensión nominal.

La intensidad en el arranque sigue siendo superior a la nominal, pero al ser un motor de pequeña potencia la instalación lo puede asumir, el valor de dicha intensidad se obtiene de la ecuación AII.28, teniendo en cuenta que el deslizamiento es la unidad, tal y como se muestra a continuación:

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + X_{cc}^2}}$$

(Ecuación AII. 35)

Teniendo en cuenta que la suma de la resistencia del estator más la del rotor referido a este mismo es la resistencia de cortocircuito, la ecuación AII.35 queda de la siguiente forma:

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}}$$

(Ecuación AII. 36)

10.5.1.7.2 Arranque con tensión reducida.

Existen varios procedimientos de arranque que consisten en alimentar al motor con una tensión inferior a la asignada en el momento del arranque para después, cuando el rotor está girando, ir la aumentando hasta alcanzar su valor asignado. De esta forma, al tener en el arranque una tensión inferior a la asignada la corriente de arranque disminuye, pero también el par de arranque, por esta razón este tipo de arranque solo se realiza cuando el motor no tiene carga acoplada en el momento del arranque o cuando la nueva tensión (V_{1Nx}) proporciona un par de arranque superior al resistente, en la siguiente imagen se muestran las curvas par-velocidad de este tipo de arranque, que a modo de ejemplo se muestra la curva a la tensión nominal y a una tensión inferior:

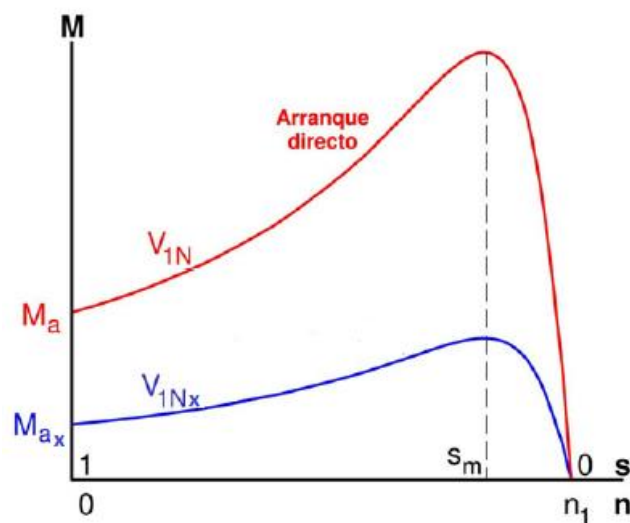


Ilustración AII. 18. Arranque de un motor a tensión reducida.

10.5.1.7.3 Arranque por introducción de resistencias en serie con el rotor.

Este sistema de arranque sólo se puede utilizar en motores de rotor bobinado y consiste en conectar una resistencia en serie con cada fase del rotor. Una vez arrancado el motor se van disminuyendo progresivamente estas resistencias hasta que el rotor queda cortocircuitado.

Teniendo en cuenta la ecuación AII.28, se deduce que la intensidad en el arranque será más reducida, pues la resistencia por fase del rotor es mayor debido a la resistencia adicional, si se tiene en cuenta la ecuación AII.30, lo que también ocurre es que se produce un desplazamiento del deslizamiento máximo (s_m), de manera que en el arranque se obtiene el par máximo. Cuanto mayor es la velocidad a la que gira el rotor, menor será la resistencia del mismo, pues como ha quedado expuesto en el párrafo anterior, las resistencias adicionales van disminuyendo progresivamente hasta que el motor está en su punto de funcionamiento, quedando éstas totalmente desconectadas del rotor y éste queda en cortocircuito.

10.5.1.8 Motores de doble jaula y ranura profunda.

Estas dos configuraciones son una modificación de los motores de jaula de ardilla, ya que a diferencia de los motores de rotor bobinado no tienen accesible el rotor, por tanto, estas dos configuraciones son necesarias si se desea tener un par de arranque similar al de un motor de rotor bobinado.

10.5.1.8.1 Motores de doble jaula.

Estos motores están formados por dos jaulas concéntricas, la jaula exterior tiene una mayor resistencia e inductancia que la interior, que tiene una baja resistencia y una elevada inductancia.

Para lograr la diferencia de características entre ambas jaulas, la jaula exterior se fabrica con barras de menor sección y de un material más resistivo (bronce o latón) que las de la jaula interior, que se composición es idéntica a la descrita en el apartado 10.5.1.1. Por otra parte, cada ranura se estrecha en el espacio que hay entre ambas jaulas, dejando sólo una rendija delgada, de este modo se consigue que la jaula interior tenga una mayor inductancia de dispersión que la jaula externa, en la siguiente ilustración se muestra la configuración de estas ranuras:

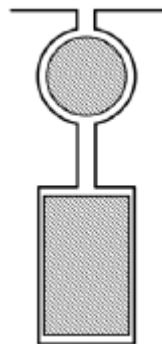


Ilustración AII. 19. Ranuras de un motor de doble jaula.

En el momento del arranque, la frecuencia rotorica (f_2) y la del estator (f_1) son iguales, tal y como indica la ecuación AII.6, ya que en el arranque el deslizamiento (s) es la unidad, esto da lugar a que la reactancia inductiva de la jaula interior sea mucho más elevada que la de la jaula exterior, y por consecuencia la impedancia de la jaula interior será mayor que la de la jaula exterior, por este motivo, gran parte de la intensidad del rotor circula por la jaula exterior, proporcionando en el arranque un mayor par, a medida que el rotor gira,

la frecuencia del rotor disminuye de acuerdo con la ecuación AII.5. de modo que la reactancia inductiva de ambas jaulas disminuye, y por consiguiente la impedancia de ambas, pero lo que ocurre es que por la jaula interna comienza a circular más corriente, pues a medida que disminuye la frecuencia del rotor, el fenómeno inductivo de ambas jaulas deja de ser predominante, a la hora de valorar la inductancia de las mismas, y el fenómeno predominante es el resistivo, por esta razón, cuando el motor alcanza su punto de funcionamiento toda la corriente rotórica circula por la jaula interna, ya que la frecuencia rotórica es muy baja y la resistencia de la jaula interna es menor que la externa.

En la siguiente ilustración se muestran las curvas par-velocidad de un motor de este tipo:

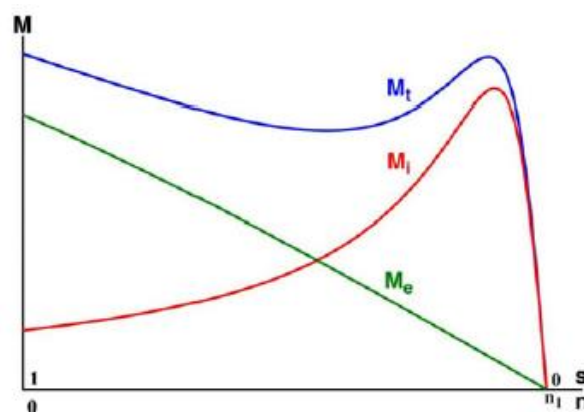


Ilustración AII. 20. Curvas par-velocidad de un motor de doble jaula.

En la ilustración AII.20 se puede observar que en el momento del arranque, el par de la jaula externa (M_e) es superior al de la jaula interna (M_i), debido a que por la jaula externa circula más intensidad que por la interna en esta situación, pero cuanto más acelera el motor, mayor es la intensidad que circula por la jaula interna y por lo tanto, mayor será el par que esta desarrolla, tal y como se muestra en la ecuación AII.3 y de forma más esclarecedora en la AII.27, el par del motor está ligado a la intensidad que circula por el rotor. La suma de los dos pares da lugar al par resultante del motor (M_t).

10.5.1.8.2 Motores de ranura profunda.

En este tipo de motores la jaula está formada por conductores dispuestos de tal forma que su parte interior presenta una pequeña resistencia y una alta autoinducción, mientras que en la parte exterior presentan una baja resistencia y una alta autoinducción, de esta forma se consigue el mismo comportamiento que el de un motor de doble jaula, en la siguiente ilustración se muestran las diferentes configuraciones que puede tener los conductores de un motor de este tipo:

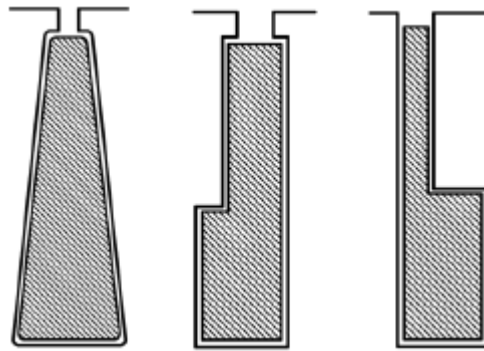


Ilustración AII. 21. Distintos tipos de ranuras de un motor de ranura profunda.

10.5.1.9 Regulación de velocidad.

De la combinación de las ecuaciones AII.1 y AII.24 se deduce la siguiente ecuación:

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1 - s)$$

(Ecuación AII. 37)

La ecuación AII.37 indica que para modificar la velocidad del motor existen tres métodos:

- Variar el número de polos.
- Variar el deslizamiento.
- Variar la frecuencia del estator (de la red de alimentación).

10.5.1.9.1 Regulación por variación del número de polos.

Este método es solo aplicable para motores de jaula de ardilla que posean en el estator devanados independientes, cada uno con un determinado número de polos, o que el devanado del estator este configurado para que al conectarlo de una forma u otra este ofrezca un número de polos distinto (conexión dahlander).

En la siguiente ilustración se muestra un esquema de los devanados del estator de un motor dahlander:

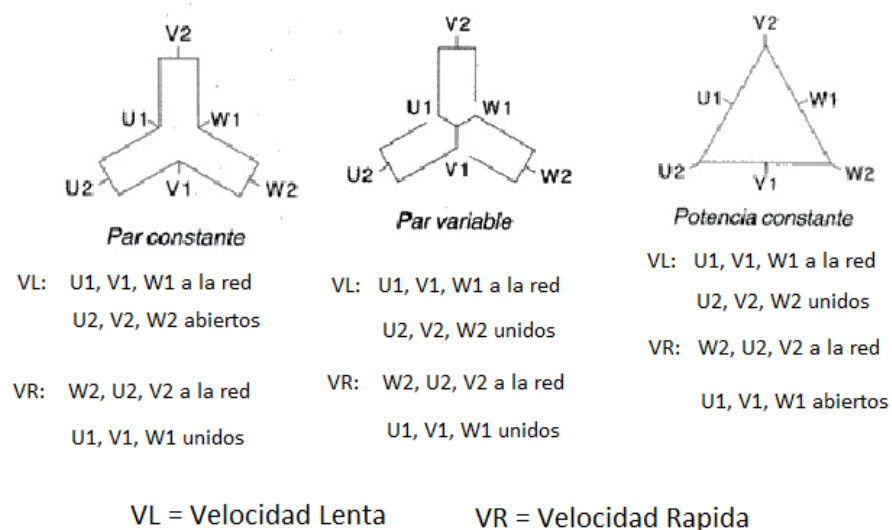


Ilustración AII. 22. Conexión dahlander.

Este método ofrece muy pocos rangos de velocidad, pues el número de polos ha de ser par, tal y como se muestra en el apartado 10.2.3. Y conseguir devanados con diferentes números de polos es costoso, ya que se requiere más cobre, con lo que a su vez aumentan las pérdidas en el mismo, así como el aumento del peso del motor, siendo poco práctico para el vehículo, pues se está aumentando la carga que éste tiene que desplazar.

10.5.1.9.2 Regulación por variación del deslizamiento.

Este método es solo aplicable a motores de rotor bobinado, pues la única forma de variar el deslizamiento es variar la resistencia rotorica, tal y como se muestra en la ecuación AII.30, el inconveniente de este método es que al aumentar el deslizamiento aumentan las pérdidas del rotor, tal y como muestra la ecuación AII.19.

10.5.1.9.3 Regulación por variación de la frecuencia.

Consiste en variar la frecuencia de la alimentación del estator (f_1), con lo que se modifica la velocidad de sincronismo del motor (n_1). Para ello se alimenta el estator a través de un variador de frecuencia.

Este sistema permite variar la velocidad de forma continua entre un amplio margen de velocidades. Para frecuencias (f_{1x}) por debajo de la asignada, interesa variar la tensión de alimentación (V_1) en función de dichas frecuencias, de forma que el flujo por polo (ϕ_m) sea el mismo en todas las frecuencias, consiguiendo de esta forma que para distintas frecuencias, el valor del par que el motor proporciona no varíe. Para f_{1x} por encima de la nominal el ϕ_m no se puede mantener constante, pues según la ecuación AI.20, supondría aumentar V_1 por encima de su valor nominal, probocando el deterioro del motor.

En la siguiente ilustración se muestran las distintas curvas par-velocidad a distintas frecuencias y manteniendo ϕ_m constante:

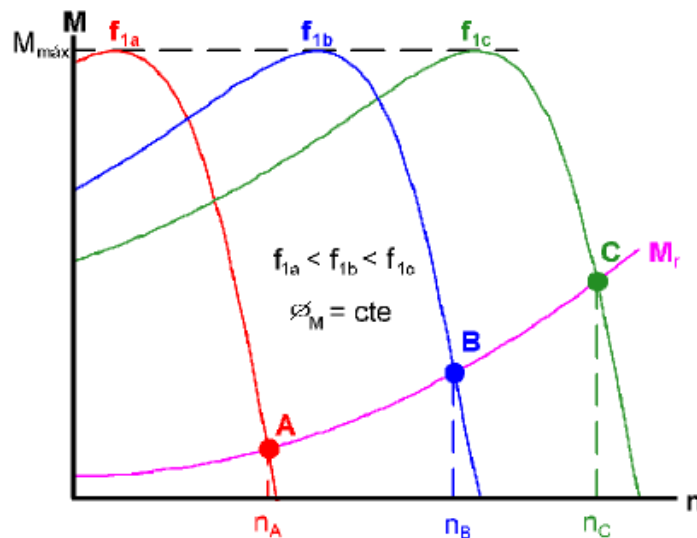


Ilustración AII. 23. Regulación de velocidad mediante variación de la frecuencia a par constante.

10.5.1.10 Modos de funcionamiento.

A lo largo del presente anexo se ha hablado sobre el motor asíncrono, pero hay que tener presente que como cualquier máquina eléctrica, éste es reversible, es decir, que puede como motor y como generador. En la siguiente ilustración se muestra una curva par-velocidad de una máquina asíncrona con V_1 y f_1 constantes, en esta curva se pueden observar los tres modos de funcionamiento de una máquina:

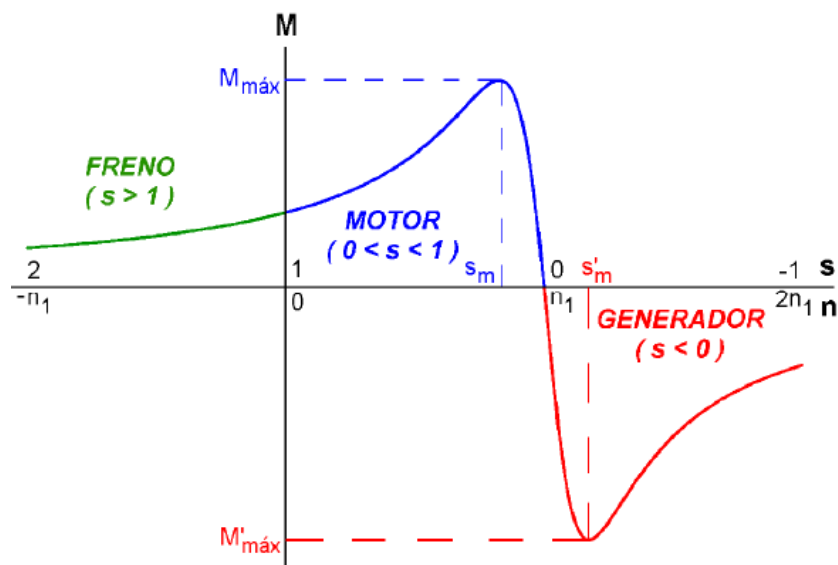


Ilustración All. 24. Modos de funcionamiento de una máquina asíncrona.

10.5.1.10.1 Motor.

En este modo de funcionamiento, n varía entre cero (motor parado) y un valor por debajo de n_1 (motor en el punto de funcionamiento), y s varía entre uno (motor parado) y un valor por encima de cero (motor en el punto de funcionamiento).

El apartado 10.5.1.4 muestra el balance de potencias de un motor asíncrono, en dicho balance se consideran a todas las potencias positivas, es decir, que cuando la máquina absorbe potencia de la red, es porque actúa como motor, por tanto, al ser las potencias positivas, el par también lo será, de modo que lleva el mismo sentido de giro que la velocidad, provocando el giro de la máquina.

10.5.1.10.2 Generador.

En este régimen de funcionamiento n es superior a n_1 de modo que los deslizamientos son negativos, por lo tanto según la ecuación All.29 el par también lo será, como consecuencia, el par se opone a la velocidad de la máquina actuando como freno, por esta razón el eje del generador se ha de mover con un par superior al de freno, otra consecuencia es que ahora las potencias son negativas, lo que significa que la máquina aporta potencia a la red.

10.5.1.10.3 Freno.

En este régimen de funcionamiento el deslizamiento es positivo y superior a la unidad, como consecuencia, según la ecuación All.12, P_a será positiva y según la ecuación All.20, P_{mi} será negativa, por esta razón se le denomina frenado a contracorriente, ya que por un lado absorbe potencia de la red, que da lugar a una determinada potencia en el entrehierro (P_a), pero por otro lado, está generando una potencia en su eje (P_{mi}), la totalidad de la suma de éstas potencias se transforma en calor en el interior de la máquina, produciendo excesos de temperatura.

El frenado se produce porque en el par que produce la máquina, aunque es positivo, se opone a la velocidad de la misma, ya que ésta es negativa, por lo tanto, el par que produce la máquina actúa como freno.

10.5.1.11 Frenado.

Por lo expuesto en el apartado 10.5.1.10.3, una máquina eléctrica funciona como freno ejerce un par de frenado, es decir, de sentido contrario a su

velocidad. A continuación se muestran diferentes métodos para frenar una máquina asíncrona.

10.5.1.11.1 Frenado por recuperación de energía (frenado regenerativo).

Consiste en hacer funcionar la máquina de inducción como generador, con lo cual, ejerce un par de sentido contrario a la velocidad, tal y como expone el apartado 10.5.1.10.2, para ello hay que conseguir que la velocidad de la máquina sea superior a la velocidad de sincronismo, bien aumentando la primera, o disminuyendo la segunda.

En un vehículo eléctrico esto ocurre en las pendientes, mientras las sube, la máquina asíncrona actúa como motor y la velocidad es ligeramente inferior a la de sincronismo, pues está en su punto de funcionamiento, pero cuando el vehículo baja la pendiente adquiere una mayor velocidad, que dependerá del peso del mismo, como consecuencia de esto la máquina asíncrona supera la velocidad de sincronismo con lo que se comporta como generador y a desarrollar un par que actúa como freno, tal y como se expone en el apartado 10.5.1.10.2, de esta forma la máquina asíncrona impide que el vehículo alcance velocidades excesivas.

Si la máquina de inducción está alimentada mediante un variador de frecuencias también se puede hacer que actúe como un generador sin que aumente su velocidad, para ello solo hay que reducir la frecuencia de alimentación (f_1), con lo que disminuirá la velocidad de sincronismo (n_1), de acuerdo con la ecuación AII.1.

Al actuar la máquina como generador, se puede recuperar la energía de cada frenado (menos las pérdidas de la máquina citadas en el apartado 10.5.1.4) y devolverla a la red de alimentación.

10.5.1.11.2 Frenado por contracorriente.

Es el expuesto en el apartado 10.5.1.10.3, salvo en motores preparados para ello, no es aconsejable utilizar este tipo de frenado debido al gran aumento de temperatura que se produce.

10.5.1.11.3 Frenado por inyección de corriente continua (frenado dinámico).

Este método consiste en alimentar con corriente continua el estator de la máquina, de esta forma aparecerá en el entrehierro de la misma un campo magnético fijo que altera al campo magnético generado con corriente alterna, de modo que cuanto mayor sea el campo creado con corriente continua, menor efecto tendrá el creado con corriente alterna y por tanto se produce el frenado del rotor.

La tensión con la que se alimente el estator no ha de tener un valor elevado, pues de lo contrario la intensidad de la corriente que circule por el mismo también lo será.

10.5.2 Motores de corriente continua (c.c).

10.5.2.1 Aspectos constructivos.

Las máquinas de c.c, tal y como expone el apartado 10.2.1, están constituidas por una parte fija o estator y una parte móvil o rotor. El estator está formado por la culata, que pertenece al circuito magnético inductor, además, ejerce la función de soporte mecánico del conjunto, ésta contiene los pies sobre

los que se apoyará la máquina y los polos. Éstos últimos están constituidos por los núcleos polares, realizados en chapas de acero convenientemente apiladas, sobre las que se coloca el devanado inductor o de excitación, la parte de los polos próxima al rotor presenta una expansión magnética denominada zapata polar, que ofrece una mejor distribución del flujo magnético. Existen otros polos de menor tamaño que sobre los que se arrolla el inductor, éstos son los polos auxiliares o de conmutación, son necesarios para paliar los problemas que aparecen en estas máquinas cuando conmutan de una bobina a otra en el rotor.

El rotor está formado por el inducido y el colector de delgas o conmutador. El inducido se construye con discos de chapa de acero al silicio, convenientemente ranurado para alojar en él el correspondiente devanado.

En la siguiente ilustración se muestran las diferentes partes que se han descrito:

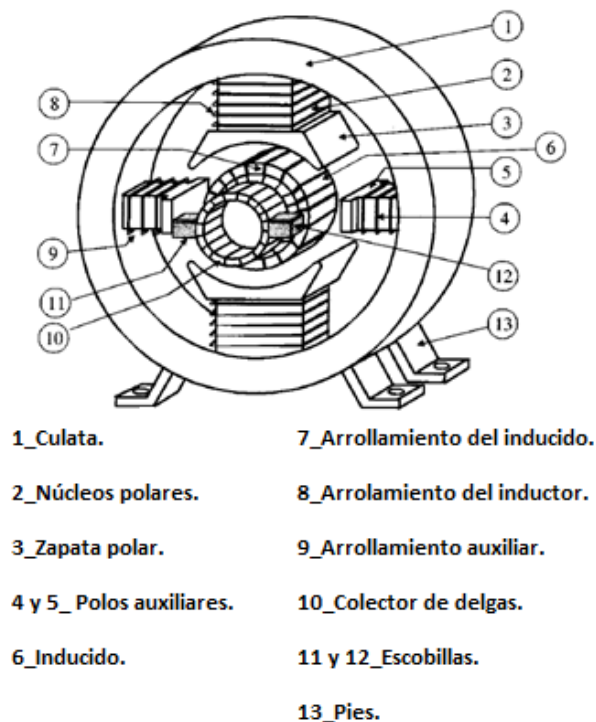


Ilustración AII. 25. Máquina de corriente continua (c.c.).

El colector de delgas es el órgano que caracteriza específicamente a estas máquinas, es el encargado de la conversión mecánica de la c.a inducida en las bobinas en c.c. a la salida, o viceversa.

10.5.2.2 *Reacción de inducido.*

Cuando por el rotor de la máquina no circula intensidad debido a que aún no se ha cerrado el circuito exterior, el único campo magnético que hay en el entrehierro es el producido por las corrientes que circulan por el estator, éste campo magnético es uniforme que se hace máximo bajo los polos, decreciendo en el espacio interpolar y haciéndose nula en la línea neutra, en la siguiente ilustración se puede observar la distribución del campo magnético del inductor, a través del desarrollo de una máquina bipolar:

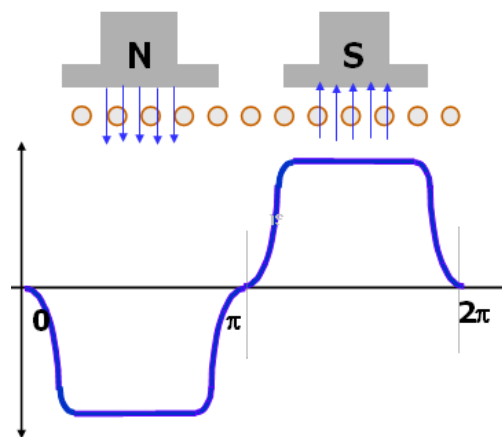


Ilustración All. 26. Campo magnético producido por el inductor.

Pero cuando se cierra el circuito del inducido, por éste ya circula una determinada intensidad, produciéndose de este modo en el entrehierro de la máquina un campo magnético, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

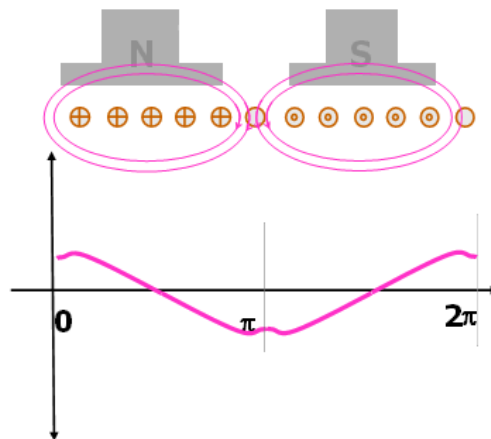


Ilustración AII. 27. Campo magnético producido por el inducido.

Como resultado de la combinación de estos dos campos magnéticos en el flujo magnético resultante es el que aparece en la siguiente imagen:

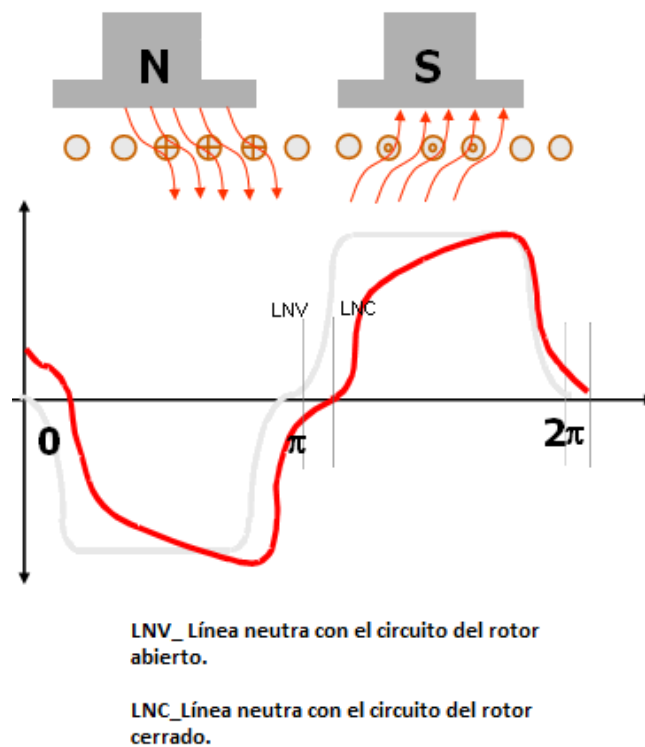


Ilustración AII. 28. Campo magnético resultante.

En color gris aparece el campo magnético generado por el inductor (estator), y de color rojo el campo magnético resultante de los campos magnéticos del inductor e inducido, también se puede observar que la línea neutra se desplaza, este desplazamiento será mayor cuanto mayor sea la intensidad que circula por el rotor, si la máquina funciona como motor la línea neutra se retrasa con respecto a la geométrica (LNV), pero si la máquina funciona como generador, esta se adelanta.

Como se puede observar en la ilustración AII.28, el campo magnético no es uniforme, como consecuencia la máquina pierde efectividad.

10.5.2.3 *Conmutación.*

Como se expone en el apartado 10.2.4, cada extremo de cada una de las bobinas que componen el devanado del rotor, está conectado a una delga distinta, por lo tanto, cada bobina necesita dos delgas, pues las bobinas tienen dos extremos, tal y como se puede observar en la ilustración AII.7, en una delga se conecta el extremo de una determinada bobina y en la delga siguiente el extremo de otra, nunca en dos delgas consecutivas se conectarán los extremos de una misma bobina, ya que de este modo no se producirían los polos magnéticos.

La conmutación se produce cuando debido al giro del rotor, las escobillas están cortocircuitando a dos delgas, como cada delga tiene una bobina distinta conectada a ella, y cada bobina una tensión distinta, se produciría un arco debido al cortocircuito, cortocircuito que no sucede si el rotor de la máquina tiene su circuito abierto, es decir, exteriormente no tiene nada conectado. Esto es debido a que las escobillas están situadas en la línea neutra geométrica de la máquina, y es en este punto donde la tensión en las bobinas es totalmente nula, tal y como se muestra en la ilustración AII.26, de modo que al cortocircuitar dos delgas no aparece arco alguno.

Como consecuencia del desplazamiento de la línea neutra, a causa de la reacción de inducido, si se producen arcos debido al cortocircuito que producen las escobillas, pues en ese momento la tensión no es nula.

Dichos arcos producen el deterioro de las delgas y las escobillas, de modo que la máquina tendrá un funcionamiento anómalo con el tiempo hasta su definitivo deterioro, para solucionar este problema existen dos soluciones, aunque solo una de ellas es viable prácticamente, pues la otra consiste en desplazar las escobillas hasta la posición de la nueva línea neutra, esto es imposible puesto que la línea neutra cambia de posición constantemente a causa de la intensidad que circula por el rotor. La otra solución, que es la que se aplica en todas las máquinas de este tipo, es la de instalar en el estator unos polos de menor tamaño que los que producen el campo magnético necesario para el movimiento del rotor, estos polos son los polos auxiliares, nombrados al igual que las demás partes de este tipo de máquinas en el apartado 10.5.3.1. Por estos polos circula la misma intensidad que circula por el inducido, pero los arrollamientos de los mismos están dispuestos de tal forma que, el campo magnético que producen a consecuencia del paso de dicha intensidad se oponga al generado por el inducido. Al circular por ambos arrollamientos (inducido y polos auxiliares) la misma intensidad, y tener el mismo tipo de arrollamiento (número de espiras, sección de conductor, etc.), los campos magnéticos se anulan, puesto que tienen el mismo valor pero sentidos contrarios, de este modo se consigue que las escobillas estén situadas en la línea neutra.

El número de pares de polos auxiliares será el mismo que de polos de funcionamiento.

Para que por los arrollamientos de los polos auxiliares circule la misma intensidad que por los del inducido, ambos arrollamientos deben de estar conectados en serie, de modo que los arrollamientos de los polos auxiliares se conectan a las escobillas, tal y como se aprecia en la siguiente ilustración, que muestra una máquina bipolar:

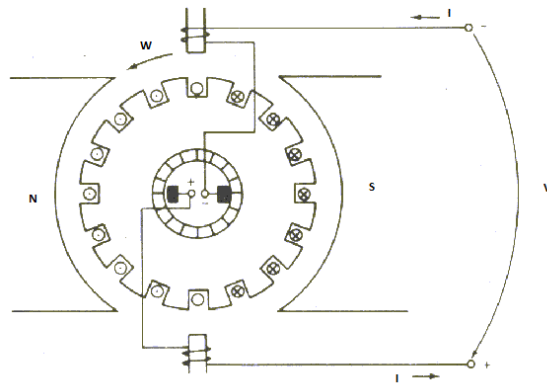


Ilustración All. 29. Conexión de los polos auxiliares de las máquinas c.c.

10.5.2.4 Modos de funcionamiento.

10.5.2.4.1 Generador.

En la siguiente ilustración se muestra una representación sencilla de un generador de este tipo, así como la onda de salida, que es en c.c. Es sencillo porque es bipolar y el rotor está formado por una simple bobina:

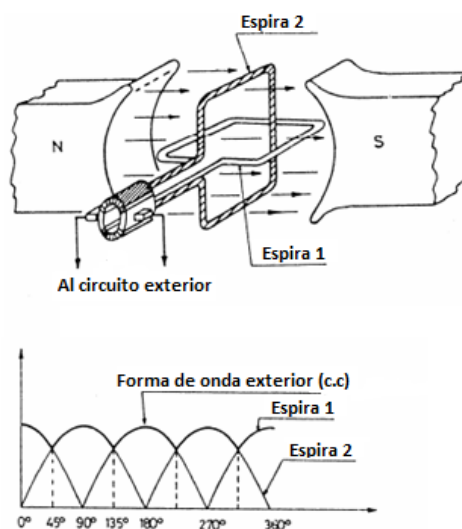


Ilustración All. 30. Generador c.c.

En la ilustración AII.30 se representa el campo magnético producido por el estator (inductor) como un imán, al ser un generador bipolar, solo dispone de un polo norte y de un polo sur, el devanado del rotor (inducido), se representa por una única bobina, que a su vez, está formada por una única espira, dicha bobina está dividida en dos partes iguales por las delgas del colector, que tal y como se expone en el apartado 10.5.3.3, las delgas de una misma bobina nunca serán consecutivas. Lo que ocurre es que debido al giro del rotor se induce una fem en la bobina, para calcular el valor medio de la fem inducida en la bobina hay que tener en cuenta, que al estar el rotor en movimiento, esta fem será alterna, variando entre el flujo negativo y positivo que generan los dos polos, tal y como demuestra la siguiente ecuación:

$$E_{med} = -\frac{2}{T} \cdot \int_{+\Phi}^{-\Phi} d\Phi \rightarrow \frac{4 \cdot \Phi}{T}$$

Donde:

- E_{med} , es el valor medio de la fem, dado en Voltios [V].
- T , es el período de la corriente, que no es mas que el tiempo que tarda el rotor en dar una vuelta completa, dado en segundos [s].
- Φ , es el flujo del inductor, dado en Weber [Wb].

(Ecuación AII. 38)

La ecuación que relaciona la frecuencia de la corriente, que es el número de vueltas que da el rotor en un segundo, con el período es la siguiente:

$$f = \frac{1}{T}$$

(Ecuación AII. 39)

Por tanto, si se relacionan las ecuaciones AII.1 y AII.39, la ecuación AII.38 queda de la siguiente forma:

$$E_{med} = 4 \cdot \Phi \cdot \frac{p \cdot n}{60}$$

(Ecuación AII. 40)

La fem resultante en el inducido será igual a la suma de las fems medias de las partes de las distintas bobinas que componen el inducido, es decir, se suman, por un lado, todas las fems inducidas en las partes de las bobinas cortadas por la escobilla positiva, por otro lado, las de la escobilla negativa. En este caso solo se tiene una bobina, por tanto, la fem media de cada parte corresponde con el total de todo el inducido.

Una bobina consta de dos conductores, por tanto, si Z representa el número de conductores, cada parte del inducido dividida por las escobillas tendrá $\frac{Z}{2}$ bobinas, el rotor está dividido en $2c$ circuitos, debido a la división de las escobillas, por tanto, el número total de conductores del rotor es $\frac{Z}{4c}$, teniendo presente esta premisa y que la ecuación AII.40 representa la fem producida en cada conductor, si se quiere conocer directamente la fem total hay que aplicar la siguiente ecuación:

$$E = \frac{n}{60} \cdot Z \cdot \Phi \cdot \frac{p}{c}$$

(Ecuación AII. 41)

Tanto los polos, los circuitos y el número de conductores es una constante de la máquina, conocida como K_e , por tanto la ecuación AII.41 queda como:

$$E = K_e \cdot n \cdot \Phi$$

(Ecuación AII. 42)

La ecuación AII.42 demuestra que la tensión que se obtiene en el inducido del generador depende de la velocidad con la que gire el rotor y del valor del flujo magnético de los polos del mismo, dicho flujo magnético, depende a su vez de la intensidad que circule por el bobinado inductor, tal y como queda demostrado en la ecuación AI.21.

Para que el rotor del generador se mueva es necesario que éste se acople a cualquier dispositivo que permita su movimiento.

Pero para conocer la tensión en bornes del generador, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = E - R_i \cdot I_i - \Delta V_{escobillas}$$

Donde:

- V , es la tensión en bornes del generador.
- R_i , es la resistencia del inducido.
- I_i , es la intensidad que circula por el inducido.
- $\Delta V_{escobillas}$, es la caída de tensión que se produce en las escobillas.

(Ecuación AII. 43)

Como se puede observar en la ilustración AII.30, la señal de salida del generador es una señal rectificada, ya que al exterior solo llega la señal producida por la “espira 1”, que es la posición en la que las delgas del colector rozan con las escobillas, cuando la bobina se encuentra en la posición “espira 2”

las delgas no rozan con las escobillas, por esta razón solo la posición “espira 1” es la que proporciona tensión al exterior, dicha tensión es continua. La peculiaridad de estos generadores es la de rectificar la señal de corriente, ya que como se ha podido observar en la ilustración AII.30, la señal de c.a del interior de la máquina, se ha convertido en c.c. en el exterior de la misma.

Si en los extremos del generador se conecta una carga, por cada uno de los conductores del inducido (situado en el rotor) circulará una determinada intensidad, dicha intensidad provoca la aparición de un par resistente que tiende a frenar el rotor, y con ello a disminuir la tensión que el generador produce, para superar este efecto solo hay que aumentar la velocidad del dispositivo que facilita el giro del rotor. Para calcular la magnitud de este par, hay que modificar la ecuación AII.3, ya que en dicha ecuación, se entiende que la intensidad total es la misma que circula por el conductor, en el caso de máquinas c.c. la intensidad total que circula por el inductor I_i , no es la misma que la que circula por un conductor, ya que hay que tener en cuenta que el inducido está dividido en $2c$ circuitos en paralelo, de modo que la intensidad que circula por cada conductor es $\frac{I_i}{2}$, por tanto la fuerza media que ejerce cada conductor del inducido será la que se determina con la siguiente ecuación:

$$F_{med} = B_{med} \cdot L \cdot \frac{I_i}{2c}$$

(Ecuación AII. 44)

Para obtener el valor del par, hay que multiplicar F_{med} por el radio del rotor R y por el número de conductores, de modo que se obtiene la siguiente expresión:

$$M = R \cdot B_{med} \cdot L \cdot \frac{I_i}{2c} \cdot Z$$

(Ecuación AII. 45)

El movimiento se produce en el paso polar, y su superficie queda definida por la siguiente ecuación:

$$S_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L}{2 \cdot p}$$

(Ecuación AII. 46)

Por tanto, si se sustituye la ecuación AII.45 en la ecuación AI.9, el valor del flujo que se encuentra en el entrehierro de la máquina se define con la siguiente ecuación:

$$B_{med} = \Phi \cdot \frac{2 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L}$$

(Ecuación AII. 47)

Por tanto, relacionando la ecuación AII.44 y AII.46, el valor del par queda definido por la siguiente expresión:

$$M = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{p}{c} \cdot Z \cdot \Phi \cdot I_i$$

(Ecuación AII. 48)

El número de polos, el de circuitos y el de conductores, son valores fijados por el fabricante, por tanto, todos ellos engloban la constante K_m , de modo que la ecuación AII.47 queda tal que así:

$$M = K_m \cdot I_i \cdot \Phi$$

(Ecuación AII. 49)

La ecuación AII.48 demuestra que el par resistente es directamente proporcional a la intensidad que consume la carga y al flujo producido por el estator.

En el estudio de las máquinas síncronas, se expusieron ecuaciones en las que se demostraba que el par es inversamente proporcional a la velocidad del rotor, y que dependía de la tensión aplicada, en los generadores c.c. sucede lo mismo, a mayor tensión generada, mayor par resistente, y a mayor velocidad menor par resistente, tal y como se expone en la siguiente ecuación:

$$M = \frac{E \cdot I_i}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}}$$

(Ecuación AII. 50)

10.5.2.4.1.1 Generador con excitación independiente.

En este tipo de configuración es necesario alimentar al inductor del generador con una fuente de alimentación de c.c, de modo que cuando por el circule una intensidad, esta sea capaz de producir el campo magnético necesario para que el inducido produzca tensión. En la siguiente ilustración se puede apreciar un esquema de un generador de este tipo:

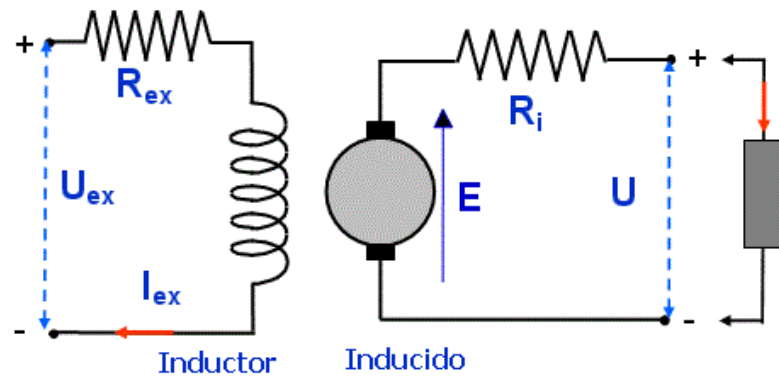


Ilustración All. 31. Generador con excitación independiente.

10.5.2.4.1.2 Generador con excitación en derivación.

En este caso el devanado inductor está conectado en paralelo con el inducido, y la intensidad con la intensidad de excitación se regula con el reóstato conectado en serie con el inductor. En la siguiente ilustración se puede observar un esquema de este generador:

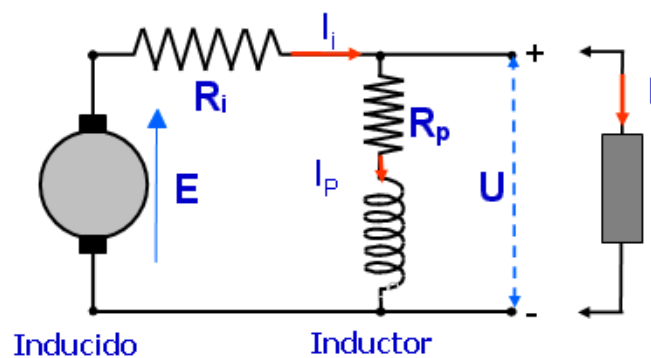


Ilustración All. 32. Generador con excitación en derivación.

10.5.2.4.1.3 Generador con excitación en serie.

En este tipo de generador, el inductor y el inducido van en serie, de modo que para que este generador produzca tensión a la salida, es necesario que el circuito exterior esté cerrado por una carga, ya que la intensidad que esta carga consume es la que excita al bobinado inductor, tal y como se puede observar en la siguiente ilustración:

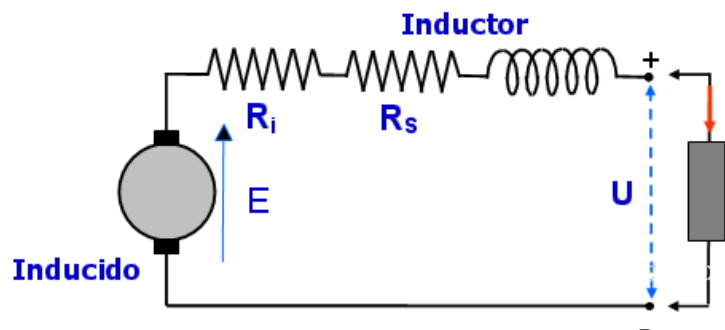


Ilustración All. 33. Generador con excitación en serie.

10.5.2.4.1.4 Generador con excitación compuesta.

En este tipo de generadores el inductor está compuesto por un arrollamiento en paralelo, que es el que genera el campo magnético necesario para que en el inducido aparezca una tensión, y el arrollamiento serie es el que cumple la función de reforzar el campo magnético generado por el devanado serie, ya que en los generadores en derivación se producen caídas de tensión debido a la circulación de intensidad por la propia resistencia del inducido, de modo que dicha intensidad también recorre el arrollamiento serie supliendo dicha caída. En la siguiente ilustración se pueden observar dos esquemas diferentes de un generador con excitación compuesta:

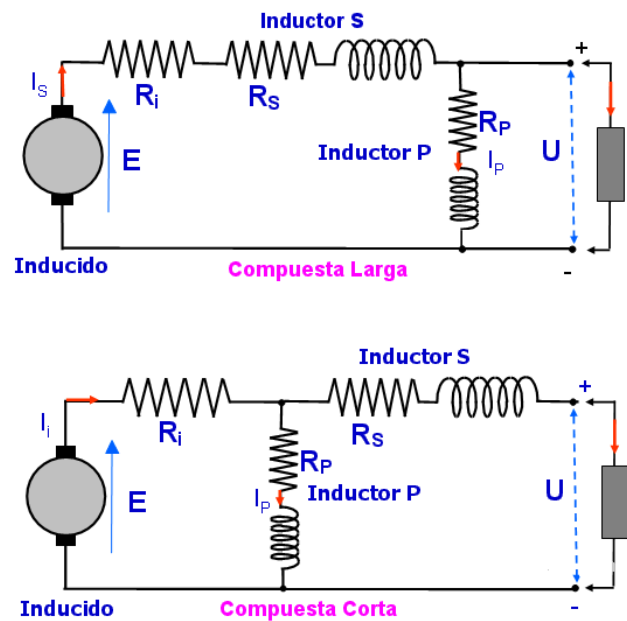


Ilustración AII. 34. Generador con excitación compuesta.

10.5.2.4.2 Motor.

Cuando estas máquinas funcionan como motor, la tensión en bornes es mayor que la que produce el inducido, por tanto, circula una intensidad desde el exterior hasta este último, de modo que la máquina está consumiendo energía de la red, la intensidad que ahora circula por el inducido genera un campo magnético que interactúa con el del inductor, produciendo el movimiento del rotor. En la siguiente ecuación se puede observar la distribución de tensiones en el motor:

$$V = E + R_i \cdot I_i + \Delta V_{escobillas}$$

(Ecuación AII. 51)

Los diferentes tipos de motores de c.c. se clasifican de acuerdo con el tipo de excitación, de forma análoga a la que se hacía con los generadores.

En cualquier caso, el par del motor se determina por las expresiones AII.49 y AII.50.

Desde un punto de vista práctico, estos motores presentan una gran ventaja sobre los motores de c.a, debido a su posibilidad de regulación de la velocidad, si se incluye la resistencia de las escobillas en la resistencia del inducido, la ecuación AII.51 queda del siguiente modo:

$$V = E - R_i \cdot I_i$$

(Ecuación AII. 52)

Si se sustituye el valor de E de la ecuación AII.52 la ecuación AII.42, y se despeja n , queda la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V - R_i \cdot I_i}{K_e \cdot \Phi}$$

(Ecuación AII. 53)

La ecuación AII.53 indica la posibilidad de regular la velocidad de un motor de c.c. a base de controlar las siguientes variables:

- El flujo producido por la intensidad de excitación, que como se puede observar, siempre ha de existir un determinado valor de flujo, ya que de lo contrario el motor se embalaría hasta su deterioro.
- La tensión de alimentación, al igual que con los motores de c.a.

La ecuación que determina el valor de la corriente del inducido es la siguiente:

$$I_i = \frac{V - E}{R_i}$$

(Ecuación AII. 54)

El momento del arranque es crítico, ya que al ser nula la velocidad, la tensión del inducido también, y al ser la resistencia del inducido de un valor reducido, de acuerdo con la ecuación AII.54, la intensidad que circularía por el inducido será elevada, por esta razón es necesario que en el arranque de estos motores se utilicen resistencias adicionales, que cada vez que el motor adquiriera velocidad se retiren hasta que solo quede la resistencia del inducido.

10.5.2.4.2.1 Motor con excitación en derivación.

Es necesario que estos motores dispongan de un reóstato en serie con el devanado inductor, de modo que en el arranque dicho reóstato esté al mínimo, es decir, ofreciendo la menor resistencia posible, de este modo, la mayor parte de la intensidad que consume el motor circulará por el inductor, produciendo un par, de acuerdo con la ecuación AII.49 tal que hará que el motor empiece a ganar velocidad, y todo ello con la menor intensidad del inducido posible, en el momento que el motor este arrancado se aumenta de resistencia la rama del inductor por medio del reóstato, de modo que el flujo magnético disminuya y aumente la velocidad, de acuerdo con la ecuación AII.53. La característica especial de estos motores, es que la velocidad no varía bruscamente con la variación del par.

10.5.2.4.2.2 Motor con excitación serie.

Este tipo de motores necesitan ser arrancados en carga, ya que la intensidad que consume debido a ella será la que circule por el arrollamiento del

inductor, proporcionando el flujo magnético necesario que impide que el motor se acelere demasiado, esa misma intensidad también circula por el arrollamiento del inducido, de modo que el par que este motor es capaz de proporcionar es elevado en el momento del arranque.

10.5.2.4.2.3 Motor con excitación compuesta.

La intensidad que circula por el devanado en derivación es constante, mientras que la intensidad del arrollamiento serie aumenta con la carga, de esta forma, se obtiene un flujo por polo que aumenta también con la carga, pero no tan rápidamente como en el motor serie.

10.5.2.4.2.4 Motor con excitación independiente (Sistema Ward-Leonard).

Cuando se requiere un accionamiento eléctrico que tenga una regulación de velocidad amplia, el motor más adecuado es el de excitación independiente, en el que se controla tanto la tensión del inducido como la intensidad de excitación de un modo independiente.

De los distintos métodos de regulación el más conocido es el sistema Ward-Leonard, que consiste en acoplar un motor asíncrono trifásico a un generador de c.c. de excitación independiente, para así obtener una gran variedad de tensiones en sus bornes, en los cuales se conecta el inducido de un motor de c.c. de excitación independiente.

10.5.3 Motores síncronos.

10.5.3.1 Introducción.

Las máquinas síncronas son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación está ligada rígidamente a la frecuencia de la red de alimentación de c.a a la que trabajan, por tanto, la velocidad del campo magnético del inductor y la de rotación del inducido son la misma, y queda definida por la ecuación AII.1.

10.5.3.2 Aspectos constructivos.

Tal y como aparece en el apartado 10.2.2, todas las máquinas eléctricas rotativas están constituidas por dos devanados independientes: el inductor y el inducido.

A diferencia de las máquinas asíncronas, en las que el inductor está situado en el estator y el inducido en el rotor, en este tipo de máquinas la disposición de los devanados cambian en función de la potencia de las mismas, en el caso de máquinas de pequeña potencia (no superan los 10 KVA), el inductor se coloca en el estator sobre los polos salientes del mismo, y el inducido en el rotor, que es liso, corresponde con la ilustración AII.4.3, pero para máquinas de gran potencia, el inductor se sitúa en los polos salientes del rotor y el inducido en las ranuras del estator, tal y como se muestra en la ilustración AII.2. En cualquier caso, al inductor siempre se le alimenta con corriente continua.

10.5.3.3 *Modos de funcionamiento.*

Para tracción eléctrica, y en especial para el vehículo eléctrico se emplea la configuración en la que, el inducido está en el estator y el inductor en el rotor. En caso de funcionar como generador, al rotor se le alimenta con corriente continua, en este se produce un campo magnético fijo, al girar a una determinada velocidad, del devanado del inducido se obtiene una tensión alterna trifásica, con una frecuencia que solo depende de la velocidad de giro del rotor y de los polos de la máquina, en el caso de funcionar como motor, hay que alimentar con corriente trifásica al inducido (estator) y con corriente continua al inductor (rotor), el campo magnético fijo que se genera en el rotor interactúa con el campo magnético móvil producido en el estator, produciéndose el movimiento del rotor, a una velocidad que depende de la frecuencia de la corriente trifásica y de los polos de la máquina, tal y como se refleja en la ecuación AII.1.

11 ANEXO III. ACUMULACIÓN DE ENERGÍA.

11.1 LAS BATERÍAS.

11.1.1 *Historia y evolución de la batería.*

Los orígenes de las baterías se remontan al siglo XVIII.

En 1780, Galvani descubrió la corriente electroquímica en sus experimentos de anatomía con ranas, descubrió que al fijar estas entre dos hilos metálicos, sus cuerpos sufrían espasmos.

En 1793, Volta prosiguió con los descubrimientos de Galvani y enunció su teoría sobre la producción de corriente electroquímica. En 1800, construyó la

primera batería, conocida como la pila de Volta, utilizando parejas de metales como: plata-estaño o cobre-zinc.

En 1801, Davy estableció los conceptos correctos de los descubrimientos de Volta, a él se deben los términos de fuerza electromotriz, fuerza electroquímica y Voltio.

En 1803, Ritter descubrió que si se hacía pasar una corriente a través de dos electrodos de cobre sumergidos en una solución de cloruro sódico, producía una polarización y que, cuando el sistema se desconectaba, se creaba una corriente en sentido inverso.

En 1834, Faraday desarrolló los principios que tienen lugar en las celdas electroquímicas, así como enunciar las ecuaciones que rigen dicho comportamiento.

En 1836, Daniell empleó una solución saturada de sulfato de cobre como electrolito en el electrodo de cobre y ácido sulfúrico en el electrodo de zinc, mejorando el diseño de Volta.

En 1860, Lechanché diseñó una nueva celda, que sería la precursora de las actuales pilas secas de zinc y dióxido de manganeso. En este mismo año, Planté construyó la primera batería recargable de plomo-ácido.

En 1880, Edison construyó la dinamo que contribuyó significativamente a la evolución de las baterías al simplificar enormemente la recarga de las mismas.

En 1881, Fauré empastó con unas placas de óxido de plomo, la superficie de las placas de plomo, aumentando la capacidad de la batería de Planté, el inconveniente era que la pasta se desprendía durante los ciclos de carga-descarga. En este mismo año, Sellon sustituyó las placas de plomo por unas rejillas del mismo material, consiguiendo así más adherencia.

En 1900, Jungner construyó la batería alcalina de níquel-cadmio, y en el 1901, Edison proyectó la batería de níquel-hierro.

En 1910, se empleó el diseño de la placa tubular, también denominada, placa blindada, porque mejoraba la retención de los materiales activos.

11.1.2 Componentes básicos.

Una batería es un dispositivo que convierte la energía química contenida en los materiales activos, en energía eléctrica por medio de reacciones electroquímicas de oxidación y reducción.

La unidad básica de la batería es la celda, la unión en serie, paralelo o mixta de varias celdas, es lo que se denomina batería. Las celdas están compuestas por:

- Electrodo.
- Electrolito.
- Separadores.
- Vaso.

11.1.2.1 Electrodos.

Suelen ser placas que tienen dos partes:

- La rejilla.
- El material activo.

La rejilla hace de soporte mecánico del material activo y de conductor de la corriente generada, las características que tienen que cumplir son:

- Elevada conductividad eléctrica.
- Buena adherencia en la entrecara rejilla-material activo.
- Elevada resistencia mecánica.

- Buena resistencia frente a la corrosión.
- Elevada sobretensión de desprendimiento de gases.

El material activo suele prepararse en forma de pasta, con una determinada consistencia que permita su aplicación a la rejilla, sus características son:

- Elevada tensión.
- Buena estabilidad frente al electrodo.
- Fácil fabricación y bajo costo.
- Elevada eficacia de la reacción electroquímica.
- Bajo peso.
- Adecuada porosidad y alta cohesión.

11.1.2.1.1 Electrodo negativo.

También llamado ánodo, es el electrodo que durante la descarga de la batería se oxida, dando lugar a la circulación de electrones por el circuito exterior.

En las baterías de plomo-ácido (P_b -ácido), el ánodo está constituido, principalmente de plomo. En las baterías de níquel-cadmio ($Ni-Cd$), el electrodo negativo está constituido, principalmente de cadmio.

11.1.2.1.2 Electrodo positivo.

También llamado cátodo, es el que durante la descarga se reduce, aceptando los electrones del circuito exterior.

En el caso de las baterías P_b -ácido, el electrodo positivo está formado por dióxido de plomo (PbO_2), y el de las baterías de $Ni-Cd$, está compuesto por óxido de níquel (NiO).

11.1.2.2 *Electrolito.*

Es un conductor iónico que permite la transferencia de electrones entre los dos electrodos. Normalmente el electrolito es una solución acuosa de un ácido, una base o sales, sea cual sea el tipo de electrolito, debe cumplir con las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica.
- Alta conductividad iónica.
- Bajos efectos corrosivos en los electrodos.
- Bajo nivel de impurezas.
- Bajo coste.

11.1.2.3 *Separadores.*

Su función es la de asilar los electrodos de distinta polaridad, evitando así los cortocircuitos internos, además, tienen que ser materiales porosos, ya que tienen que permitir el paso del electrolito. Las características que debe tener el material que hace de separador son:

- Buena resistencia mecánica.
- Alta resistencia a la oxidación.
- Elevado poder aislante.
- Adecuada porosidad y permeabilidad.
- Ausencia de impurezas y contaminantes.

11.1.3 Clasificación de las baterías.

Existen varios criterios para clasificar las baterías. Como son:

- Por la posibilidad de carga, que pueden ser: primarias y secundarias.
- Por el tipo de electrodo, que pueden ser de: Pb-ácido, Ni-Cd, etc.
- Por la forma de uso, que pueden ser: portátiles y estacionarias.
- Por el tipo de electrolito, que puede ser: acuoso y no acuoso, alcalinas, etc.
- Por su tamaño, con una energía que va desde mWh hasta MWh.
- Por sus aplicaciones, como pueden ser: arranque, tracción, nivelación de picos, etc.

11.1.3.1 Baterías primarias y secundarias.

Las baterías primarias, o pilas, son aquellas que, una vez descargadas, no se pueden volver a cargar. La mayoría de los sistemas primarios utilizan un separador absorbente que mantiene el electrolito retenido, por lo que también se denominan pilas secas. Las características que han de tener este tipo de baterías son:

- Baja autodescarga.
- Alta densidad de energía.
- Fácil utilización y sin mantenimiento.
- Bajo precio comparado con los sistemas recargables equivalentes.

Gracias a su baja autodescarga, estas baterías pueden ser usadas tras un largo periodo de almacenamiento.

Las baterías secundarias, o acumuladores, son aquellas que, una vez descargadas, se pueden volver a cargar. Sus características principales son:

- Soportar descargas de alta intensidad.
- Buen comportamiento a bajas temperaturas.
- Alta densidad de potencia.

11.1.3.2 Clasificación de acuerdo al tamaño.

La siguiente tabla muestra con detalle la clasificación de las baterías en función del tamaño, así como a que se destinan y el tipo de batería que son:

Denominación	Tamaño (Wh)	Tipo de batería
Minibaterías	$10^{-3} - 2$	Baterías primarias
Baterías portátiles	$2 - 100$	
Baterías de arranque	$300 - 1,5 \cdot 10^3$	Baterías secundarias.
Baterías de tracción	$3 \cdot 10^3 - 300 \cdot 10^3$	
Baterías estacionarias	$5 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^6$	

Tabla AIII. 1. Clasificación de las baterías en función de su tamaño.

11.1.4 Parámetros característicos de una batería.

A la hora de seleccionar una batería, hay que tener en cuenta:

- Capacidad.
- Potencia.
- Energía.
- Fuerza electromotriz (fem).

La capacidad de una batería está definida por la siguiente ecuación:

$$Q = n \cdot F \cdot N$$

Donde:

- Q , es la capacidad de la batería, dada en Amperios partido hora [A/h].
- N , es el número de moles de material activo [mol].
- n , es el número de valencia del material activo.
- F , es la constante de Faraday, dada en Culombios partido mol [C/mol], 96.487 [C/mol].

(Ecuación AIII 1)

Por tanto, la capacidad es proporcional a la cantidad de material activo del electrodo positivo y negativo, pero el valor real de la capacidad lo determina el electrodo con menos material útil.

Hay que tener en cuenta la parte de material útil del electrodo por el hecho de que en la práctica, no toda sustancia reaccionante puede ser utilizada en la producción de corriente eléctrica.

Las causas por las que no se utilizan el 100 por 100 de los materiales activos son:

- Polarización de los electrodos, que producen una disminución de la tensión de la celda por debajo del valor útil de utilización.
- Reacciones químicas que tienen lugar simultáneamente con las reacciones electroquímicas de producción de corriente.

La potencia de una batería es el producto de la tensión por la intensidad de descarga, tal y como muestra la siguiente ecuación:

$$P = I \cdot E$$

Donde:

- P , es la potencia de la batería, dada en vatios [W].
- I , es la intensidad de descarga, dada en Amperios [A].
- E , es la tensión de descarga, dada en Voltios [V].

(Ecuación AIII 2)

No hay que confundir la tensión de descarga, con la de circuito abierto, pues son diferentes, ya que en el proceso de descarga, debido a los procesos químicos, hay una serie de pérdidas de tensión, por tanto, la ecuación que determina el valor de la tensión de descarga es la siguiente:

$$E = E_e - \eta_A - \eta_C - \eta_R$$

Donde:

- E_e , es la tensión a circuito abierto [V].
- η_A , es la caída de tensión debida a la polarización del ánodo [V].
- η_C , es la caída de tensión debida a la polarización del cátodo [V].

- η_R , es la caída de tensión debida a la resistencia interna de la batería [V].

(Ecuación AIII 3)

La energía de la batería viene dada por el producto de la tensión por la capacidad, tal y como demuestra la siguiente ecuación:

$$J = n \cdot F \cdot N \cdot E$$

Donde:

- J , es la energía que la batería es capaz de entregar, dada en vatios-hora [Wh].

(Ecuación AIII 4)

La fem, o tensión de la batería, no es más que la tensión resultante de todas las celdas que componen la batería.

11.1.5 Sobrecarga.

En el apartado anterior ha quedado expuesta la razón por la que, en la práctica, las baterías nunca llegan al 100 por 100 de su capacidad, bien, la sobrecarga ocurre cuando la batería llega a su nivel de carga máximo (que está cerca del 100 por 100 real) y sigue adsorbiendo intensidad, esta intensidad que adsorbe no solo es inútil, pues no es empleada para aumentar la carga, sino que además tiene los siguientes efectos negativos:

- Corrosión de los electrodos.
- Generación de gases.

- Embalamiento.

Cuando la batería se encuentra descargada, la reacción electroquímica más favorable es la carga de material activo. Al final de la carga, la polarización del electrodo eleva su tensión y se favorece la reacción de oxidación o corrosión del electrodo, a medida que la corrosión progresa, disminuye la sección útil del electrodo, creándose a su alrededor una capa de productos de corrosión (óxido), que producen el aumento de la resistencia interna de la batería.

Cuanto mayor es el consumo de intensidad, más calor hay dentro de la batería, en aquellas baterías con electrolito acuoso, el electrolito tiene a evaporarse, formándose O_2 en las placas positivas y H_2 en las placas negativas, como consecuencia de la pérdida de electrolito los electrodos quedan fuera del mismo, produciendo el deterioro de los mismos.

El embalamiento ocurre cuando la batería se ha calentado demasiado y los gases producidos provocan la explosión de la batería.

11.1.6 Descarga profunda.

Este fenómeno es más frecuente en las baterías de arranque de los vehículos, cuando alguien deja las luces de su vehículo encendidas hasta que la batería se agota, dicha batería tiene que ser sustituida, pues ya no se puede volver a cargar, ya que al sufrir la descarga profunda el electrodo negativo se daña, debido al proceso de oxidación prolongado.

11.1.7 Autodescarga.

Es un fenómeno producido por las reacciones químicas de los materiales activos (electrodos y electrolito), con el medio, los factores que afectan a la autodescarga son:

- Diseño de la celda.
- Sistema electroquímico.
- Temperatura.
- Impurezas.
- Tiempo de almacenamiento.

11.1.8 Carga de las baterías.

La carga de las baterías se puede realizar tanto con corriente alterna (c.a) o con corriente continua (c.c). Si la carga se realiza con corriente alterna, esta ha de transformarse en corriente continua a través del equipo adecuado (convertidor).

11.1.8.1 Carga a tensión constante.

En este tipo de carga se fija un valor de tensión, la intensidad que circula a través de la batería es la máxima que el equipo de carga puede aportar, cuando la batería alcanza su tensión de control (batería cargada), esta intensidad disminuye, pero no se anula.

Es peligroso utilizar este método de carga con un valor alto de tensión y sin control de temperatura, ya que sigue circulando intensidad por la batería aún estando está cargada, produciéndose la sobrecarga de la misma.

11.1.8.2 *Carga a intensidad y tensión constantes.*

En este caso el acumulador comienza la carga a una intensidad constante, cuando este alcanza la tensión de gasificación la intensidad disminuye, quedando la tensión fija. La intensidad puede ser alta, ya que la carga está controlada por la tensión de gasificación.

11.1.8.3 *Carga a intensidad constante.*

Este sistema tiene la ventaja de permitir el cálculo directo de la capacidad restituida de la batería. En base a ello, este sistema es útil cuando se conoce la capacidad que la batería ha suministrado. El criterio de carga debe tener en cuenta el coeficiente de carga correspondiente al tipo de acumulador, que se define como la relación entre la capacidad necesaria para cargar plenamente al acumulador, y la capacidad que ha sido extraída al mismo.

Este sistema debe contemplar la desconexión automática por tiempo.

11.1.9 Carga con tensión creciente.

Este sistema de carga se basa en disminuir la intensidad conforme aumenta el valor de la tensión. Se definen dos valores de tensión de referencia: la tensión de gasificación y la tensión final. Al comienzo de la carga la intensidad es la máxima que el equipo de carga puede proporcionar, cuando la tensión es la de gasificación, esta intensidad se reduce en un 50%, cuando llega a la tensión final la intensidad comienza a decrecer aún más. Este es el método de carga empleado en los acumuladores usados en tracción.

11.1.10 MANTENIMIENTO DE LAS BATERÍAS.

La explotación de cualquier sistema o equipo implica la aplicación de las normas de conservación que el fabricante ha establecido, de esta forma el sistema o equipo podrá cumplir sus funciones adecuadamente a la largo de su vida útil.

11.1.10.1 Mantenimiento preventivo.

Las normas pertenecientes a este grupo recogen las actividades primarias que se deben ejecutar sobre los sistemas en explotación, están dirigidas a labores de: control, ajuste, revisión, detección y conservación.

Los parámetros a controlar son:

- Pérdida de regulación de los equipos de carga.
- Bajo nivel de electrolito.
- Sulfatación de las placas por mantenerse largo tiempo a bajos niveles de carga.

- Sobrecargas descontroladas.
- Contaminación del electrolito.

11.1.10.2 *Mantenimiento correctivo.*

Son todas aquellas actividades realizadas una vez que la batería está dañada, antes estos casos, el fabricante aconseja la sustitución del equipo, para ello también hay que seguir sus indicaciones.

11.1.11 *BATERÍAS UTILIZADAS EN TRACCIÓN.*

A la hora de seleccionar una batería se tiene que tener en cuenta la cantidad de energía que esta puede almacenar, ya que de esto, dependerá la autonomía del vehículo, además, la batería ha de tener una potencia suficiente para que el vehículo al que este destinada, pueda hacer frente a situaciones límite, como puede ser una pendiente pronunciada, la potencia de la batería se puede definir como la velocidad con la que este cede y almacena energía. Además, la batería ha de tener unas dimensiones y peso adecuados, ya que de nada sirve una batería con una gran potencia y que a su vez tenga unas dimensiones elevadas.

11.1.11.1 Plomo-ácido (Pb-ácido).

Todavía en uso, contienen plomo en el electrodo positivo y óxido de plomo en el electrodo negativo, como electrolito usan ácido sulfúrico, se utilizan en los vehículos de combustión para su arranque, cargándose a través del alternador del vehículo.

Debido a la existencia de tecnologías más apropiadas para el uso en vehículos, estas baterías no se suelen utilizar en vehículos eléctricos, sin embargo, hay fabricantes que si las utilizan.

11.1.11.2 Níquel-cadmio (Ni-Cd).

Fueron utilizadas para alimentar los motores de los vehículos eléctricos debido a su larga vida, ya que soportaban entre 1.000 y 1.500 ciclos de carga, la razón por la que se han dejado de utilizar es por el alto poder contaminante del cadmio.

Están compuestas por: un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo compuesto por cadmio y como electrolito, una disolución de hidróxido de potasio.

11.1.11.3 Níquel-hidruro metálico (Ni-mh).

Son las sucesoras casi directas de las baterías de níquel-cadmio, sustituyen el cadmio por una aleación metálica capaz de formar hidruros.

Es capaz de almacenar hasta un 30% más de energía que una batería de níquel-cadmio de igual tamaño, ha sido utilizada en los modelos híbridos como el Toyota Prius o el Honda Insight, y para vehículos eléctricos puros como el Scooter Vectrix.

11.1.11.4 *ión-litio (Li-ion).*

Su ánodo suele ser de grafito y el cátodo de óxido de cobalto, aunque recientemente se utilizan óxidos mixtos de cobalto y otros elementos de transición, como fosfato de litio y hierro u óxido de litio-manganeso, con el fin de evitar la toxicidad del cobalto y su elevado coste. El electrolito es una mezcla de disolventes orgánicos en los que se encuentra disuelta una sal de litio.

Estas baterías son más ligeras y poseen una mayor capacidad que las anteriores, el inconveniente es que, obligatoriamente han de estar controladas por un circuito electrónico de gestión de la batería, para evitar sobrecargas y descargas profundas, además, tienen otros inconvenientes, como son: la gran sensibilidad a la temperatura (tanto al frío como al calor), así como el alto riesgo de explosión en caso de colisión debido a cortocircuitos internos que se pudieran producir.

El Mitsubishi iMiEV incorpora estas baterías.

11.2 CONDENSADORES.

11.2.1 *Introducción.*

Un condensador es un elemento capaz de almacenar una determinada cantidad de energía para después liberarla durante un determinado intervalo de tiempo.

Este dispositivo se emplea en circuitos eléctricos y electrónicos, en aplicaciones tales como: filtrado de corriente, temporizadores, sintonizadores de emisoras, etc.

En un circuito de c.c este elemento se comporta como un circuito abierto, en el caso de c.a se comporta como un circuito cerrado que permite el paso de la intensidad en un solo sentido.

El condensador está formado por:

- Dos placas metálicas a las que se les denomina armadura.
- Un material aislante polarizable denominado dieléctrico: papel, mica, plásticos, etc.

Las dos placas están enfrentadas entre si y separadas por medio del dieléctrico. Cuando se expone el condensador a una determinada tensión por él circula una intensidad denominada intensidad capacitiva (I_c), esta intensidad es la que genera un campo eléctrico entre las dos placas del condensador. La tensión en bornes del condensador (U_c) es directamente proporcional al campo eléctrico, el cual aumenta a medida que I_c disminuye, ya que cuanto más se acerca U_c a la de la fuente de alimentación (U_{ca}) la diferencia de potencial del circuito es cada vez menor y por tanto la intensidad que por él circula. La circulación de I_c se debe al dieléctrico, que es el elemento gracias al cual los electrones de la placa negativa son atraídos por los de la placa positiva y viceversa, tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

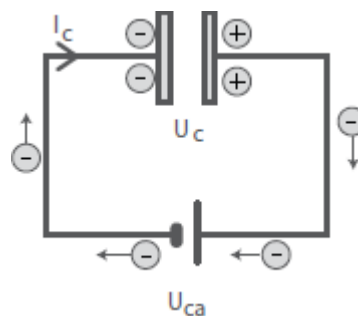


Ilustración AIII. 1. Funcionamiento de un condensador.

11.2.2 Características.

11.2.2.1 Capacidad.

Es la propiedad por la cual este elemento es tan especial, que es la de almacenar energía eléctrica cuando está sometido a una tensión, esta propiedad varía en función de:

- Distancia entre las placas.
- El número de placas.
- El dieléctrico.
- La temperatura.

La siguiente ecuación define esta propiedad:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Donde:

- C es la capacidad del condensador, dada en faradios [F].
- Q es la carga almacenada en el condensador, dada en Culombios [C].
- V es la tensión con la que se alimenta al condensador, dada en voltios [V].

(Ecuación AIII 5)

Una vez se desconecta de la fuente con la que se está alimentando el condensador mantiene su nivel de carga mientras no se cierre su circuito, por esta razón y con el fin de evitar accidentes por manipulación, los condensadores debe de estar equipados con una resistencia que permita la descarga del mismo

cuando sea necesario, tal y como refleja la norma UNE-EN-60252 para condensadores de potencia empleados en motores.

11.2.2.2 Energía.

La cantidad de energía que el condensador es capaz de almacenar queda definida por la siguiente ecuación:

$$E = C \cdot \frac{V^2}{2}$$

Donde:

- E es la energía almacenada, dada en Julios [J].

(Ecuación AIII 6)

11.2.2.3 Coeficiente de temperatura.

Al igual que todos los elementos electrónicos, el condensador también se ve afectado por la temperatura, de modo que la capacidad disminuye cuanto mayor es la temperatura.

11.2.2.4 Corriente de fuga.

Si el condensador está completamente cargado y se sigue cargando durante un largo periodo de tiempo, a través del dieléctrico circulan electrones denominados corriente de fuga, disminuyendo así su capacidad.

11.2.2.5 *Rigidez dieléctrica.*

Es el valor de tensión a partir del cual el dieléctrico del condensador se perfora, percudiéndose un arco eléctrico que puede llegar a producir la explosión del condensador. El valor de la rigidez dieléctrica se da en voltios partido metro [V/m] y depende de la constante dieléctrica.

La siguiente ilustración muestra una tabla en la que aparecen: la constante y la rigidez dieléctrica de cada material:

MATERIAL	CONSTANTE DIELECTRICA	RIGIDEZ DIELECTRICA
Aire	1	1,00 059
Papel	2 a 2,8	40 a 100
Presspan	3,2 a 3,8	100 a 400
Mica	4,5 a 5,5	600 a 700
Macanita	2,3 a 2,5	200 a 400
Madera	2,5 a 4,8	30 a 60
Porcelana	4,5 a 6,5	200 a 300
Vidrio	5 a 12	60 a 120
Baquelita	5,5 a 8,2	230
Ebonita	2,5 a 3,2	230

Ilustración AIII. 2. Constante y rigidez dieléctrica de algunos materiales.

11.2.2.6 *Tensión en los condensadores.*

Las tensiones que caracterizan a los condensadores son tres:

- Tensión de prueba, que es una tensión de un valor igual al doble o el triple de la tensión nominal de trabajo del condensador, de este modo se comprueba el correcto funcionamiento de los aislantes.

- Tensión de trabajo, que es la máxima tensión a la que el condensador puede estar sometido durante toda su vida de funcionamiento sin que este se deteriore (tensión nominal).
- Tensión de pico, es la máxima tensión a la que el condensador es capaz de trabajar durante cortos intervalos de tiempo.

11.2.3 *Influencia de la tensión en el condensador.*

11.2.3.1 *Tensión continua.*

Tal y como se muestra en el apartado 11.2.1, en el proceso de carga del condensador, cuanto mayor es la tensión en sus bornes menor es la intensidad que circula por el circuito hasta el punto en el que dicha intensidad se hace cero y la tensión en bornes del condensador es la de la fuente, tal y como muestra la siguiente ilustración:

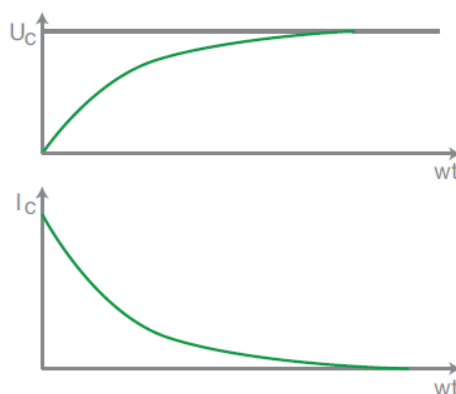


Ilustración AIII. 3. Proceso de carga de un condensador en c.c.

En el proceso de descarga tanto la intensidad como la tensión se hacen cero, la siguiente ilustración muestra este proceso:

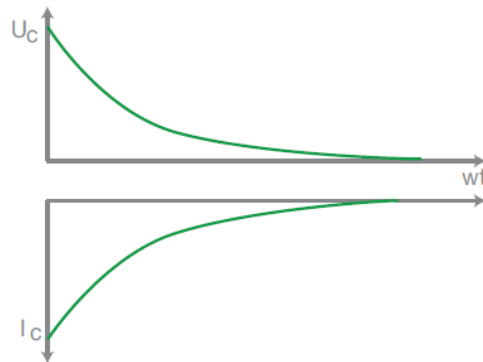


Ilustración AIII. 4. Proceso de descarga de un condensador en c.c.

La constante de tiempo (τ) es el tiempo que tarda el condensador en almacenar o descargar el 63,2% de su carga, que es el máximo que un condensador es capaz de cargarse. Esta constante depende de la resistencia del circuito y de la capacidad del condensador, tal y como muestra la siguiente ecuación:

$$\tau = R \cdot C$$

(Ecuación AIII 7)

Para poder conocer el valor de la carga almacenada en el condensador en un determinado instante (t) se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = C \cdot V \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

(Ecuación AIII 8)

11.2.3.2 Tensión alterna.

Al conectar el condensador a una tensión en c.a las placas se cargan positiva y negativamente de manera alterna dando lugar a procesos de carga y descarga alternos, tal y como muestra la siguiente ilustración:

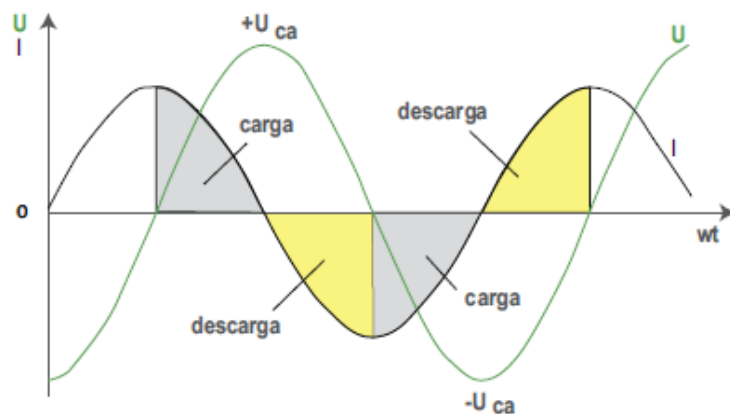


Ilustración AIII. 5. Proceso de carga y descarga de un condensador en c.a.

11.2.4 Acoplamientos.

Los condensadores se pueden acoplar de dos formas: en serie y en paralelo. Si los condensadores se conectan en paralelo la capacidad resultante será la suma de cada uno de los condensadores por separado, pero el requisito indispensable es que la tensión nominal de los mismos tiene que ser la misma. Pero si el acoplamiento es en serie la capacidad total del acoplamiento será igual a la inversa de la suma de las inversas de las capacidades de los condensadores acoplados, pero la tensión en cada condensador es distinta, debido a que la tensión de la fuente se reparte entre todos en función de la resistencia que presente cada uno de ellos.

La siguiente ecuación rige el diseño de un condensador:

$$C = \frac{\varepsilon}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{S}{d}$$

Donde:

- S es la superficie de las placas en metros cuadrados [m^2].
- d es el espesor del dieléctrico, dado en metros [m].
- ε es la constante dieléctrica.

(Ecuación AIII 9)

12 ANEXO IV. ÍNDICES DE ILUSTRACIONES, TABLAS Y ECUACIONES.

12.1 ILUSTRACIONES.

12.1.1 Documento.

ILUSTRACIÓN 1. CONFIGURACIÓN DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO EN PARALELO.....	5
ILUSTRACIÓN 2. CONFIGURACIÓN DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO EN SERIE.....	6
ILUSTRACIÓN 3. CONFIGURACIONES FULL HYBRID.....	7
ILUSTRACIÓN 4. VARIABLES QUE AFECTAN A UN SISTEMA.....	10
ILUSTRACIÓN 5. BUCLE CERRADO.....	12
ILUSTRACIÓN 6. BUCLE ABIERTO.....	13
ILUSTRACIÓN 7. CABLE DE PAR TRENZADO BLINDADO.....	18
ILUSTRACIÓN 8. CABLE DE PAR TRENZADO SIN BLINDAJE.....	19
ILUSTRACIÓN 9. CABLE COAXIAL.....	19
ILUSTRACIÓN 10. SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA.....	20
ILUSTRACIÓN 11. FIBRA ÓPTICA.....	20
ILUSTRACIÓN 12. SENSOR DE APARCAMIENTO.....	21
ILUSTRACIÓN 13. PASO DE UN NÚMERO EN BASE DECIMAL A BINARIO.....	23
ILUSTRACIÓN 14. PASO DE UN NÚMERO BINARIO A DECIMAL.....	23
ILUSTRACIÓN 15. CODIFICACIÓN BINARIA DE UN TEXTO.....	24
ILUSTRACIÓN 16. CODIFICACIÓN BINARIA DE UNA IMAGEN.....	24
ILUSTRACIÓN 17. TRAMA DE INFORMACIÓN DIGITAL.....	25
ILUSTRACIÓN 18. TOPOLOGÍA MULTIPLEXADA BUS.....	26
ILUSTRACIÓN 19. TOPOLOGÍA MULTIPLEXADA ÁRBOL-BUS.....	27
ILUSTRACIÓN 20. TOPOLOGÍA MULTIPLEXADA ÁRBOL-ESTRELLA.....	27
ILUSTRACIÓN 21. CONECTOR CAN.....	31
ILUSTRACIÓN 22. TRANSCEPTOR.....	32
ILUSTRACIÓN 23. ESQUEMA DE TRES TRANSCEPTORES CONECTADOS AL BUS.....	33
ILUSTRACIÓN 24. UNIDAD DE CONTROL, MÓDULO CAN Y TRANSCEPTOR.....	34
ILUSTRACIÓN 25. ENVÍO DE INFORMACIÓN DESDE LA UNIDAD DE CONTROL DEL MOTOR HASTA LA DE INSTRUMENTOS.....	35
ILUSTRACIÓN 26. RECEPCIÓN DEL MENSAJE.....	36
ILUSTRACIÓN 27. TRAMA DE DATOS DEL PROTOCOLO CAN.....	38

ILUSTRACIÓN 28. SIMULACIÓN DEL CAMPO DE DATOS CON BOMBILLAS.	40
ILUSTRACIÓN 29. TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN CON DOS BITS.	41
ILUSTRACIÓN 30. INCREMENTO DEL NÚMERO DE VARIANTES CON EL DE BITS.	41
ILUSTRACIÓN 31. EJEMPLO DE PROTOCOLOS.	42
ILUSTRACIÓN 32. CORRELACIÓN ENTRE LONGITUD, RESISTENCIA, SECCIÓN Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DEL BUS.	47
ILUSTRACIÓN 33. CORRESPONDENCIA DE LOS CABLES CON SU PIN.	48
ILUSTRACIÓN 34. IMPACTO DE LA RESISTENCIA DEL CABLE DEL BUS EN EL SISTEMA.	49
ILUSTRACIÓN 35. VAS5051.	53
ILUSTRACIÓN 36. LÍNEA BUS DE TRACCIÓN.	54
ILUSTRACIÓN 37. LÍNEA BUS DE CONFORT.	55
ILUSTRACIÓN 38. FUNCIONAMIENTO DEL PARABRISAS TÉRMICO.	56
ILUSTRACIÓN 39. LÍNEAS BUS DE DIAGNOSIS, INFOTENIMIENTO Y DE CUADRO.	57
ILUSTRACIÓN 40. LIN-BUS ASOCIADO A LA UNIDAD CENTRAL DEL SISTEMA DE CONFORT.	59
ILUSTRACIÓN 41. TOLERANCIAS DE EMISIÓN.	60
ILUSTRACIÓN 42. TOLERANCIAS DE RECEPCIÓN.	60
ILUSTRACIÓN 43. SOLICITUD DE INFORMACIÓN POR PARTE DE LA UNIDAD MAESTRA A UNA ESCLAVA.	61
ILUSTRACIÓN 44. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE LA INFORMACIÓN ENVIADA POR LA UNIDAD MAESTRA, POR PARTE DE LA UNIDAD ESCLAVA.	62
ILUSTRACIÓN 45. CONEXIÓN DE LAS DISTINTAS LÍNEAS CAN-BUS AL GATEWAY.	63
ILUSTRACIÓN 46. ESQUEMAS DE LOS BUSES UTILIZADOS EN EL SEAT LEÓN.	65
ILUSTRACIÓN 47. ESQUEMA DE LOS BUSES UTILIZADOS EN EL SEAT LEÓN TWIN DRIVE.	66
ILUSTRACIÓN 48. TOPOLOGÍA LINEAR PASSIVE BUS DE FLEXRAY.	70
ILUSTRACIÓN 49. LIMITACIONES DE LA TOPOLOGÍA LINEAR PASSIVE BUS DE FLEXRAY.	70
ILUSTRACIÓN 50. TOPOLOGÍA PASSIVE STAR DE FLEXRAY.	70
ILUSTRACIÓN 51. TOPOLOGÍA CON ACTIVE STARS.	71
ILUSTRACIÓN 52. LIMITACIONES DE LA TOPOLOGÍA CON ACTIVE STARS.	71
ILUSTRACIÓN 53. MECANISMO DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA DE UN VEHÍCULO.	76
ILUSTRACIÓN 54. CREMALLERA.	77
ILUSTRACIÓN 55. SISTEMA STEER-BY-WIRE.	77
ILUSTRACIÓN 56. BATERÍA ZEBRA.	81
ILUSTRACIÓN 57. ULTRACONDENSADORES.	82
ILUSTRACIÓN 58. MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO PARA TRACCIÓN DE SIEMENS MODELO 1PV5135WS28.	85
ILUSTRACIÓN 59. CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL 1PV5135WS28.	86
ILUSTRACIÓN 60. AUTOBÚS RETROFIT DE TMB.	87
ILUSTRACIÓN 61. AUTOBÚS TEMPUS.	88
ILUSTRACIÓN 62. TÉRMINO DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA PVPC.	92
ILUSTRACIÓN 63. TÉRMINO DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA ACTIVA DEL PVPC DE VEHÍCULO ELÉCTRICO EN HORA 3.	93

ILUSTRACIÓN 64. ESQUEMA 1A. INSTALACIÓN COLECTIVA CON CONTADOR PRINCIPAL EN EL ORIGEN DE LA INSTALACIÓN Y CONTADORES SECUNDARIOS EN LAS ESTACIONES DE RECARGA.	95
ILUSTRACIÓN 65. ESQUEMA 1B. INSTALACIÓN COLECTIVA TRONCAL CON CONTADOR PRINCIPAL EN EL ORIGEN DE LA INSTALACIÓN Y CONTADORES SECUNDARIOS EN LAS ESTACIONES DE RECARGA.....	96
ILUSTRACIÓN 66. ESQUEMA 1C. INSTALACIÓN COLECTIVA CON UN CONTADOR PRINCIPAL Y CONTADORES SECUNDARIOS INDIVIDUALES PARA ESTACIÓN DE RECARGA.	97
ILUSTRACIÓN 67. ESQUEMA 2. INSTALACIÓN INDIVIDUAL CON UN CONTADOR PRINCIPAL COMÚN PARA LA VIVIENDA Y PARA LA ESTACIÓN DE RECARGA.	98
ILUSTRACIÓN 68. ESQUEMA 3A. INSTALACIÓN INDIVIDUAL CON UN CONTADOR PRINCIPAL PARA CADA ESTACIÓN DE RECARGA.	99
ILUSTRACIÓN 69. ESQUEMA 3B. INSTALACIÓN INDIVIDUAL CON UN CONTADOR PRINCIPAL PARA CADA ESTACIÓN DE RECARGA (CON UNA NUEVA CENTRALIZACIÓN DE CONTADORES).	100
ILUSTRACIÓN 70. INSTALACIÓN CON CIRCUITO ADICIONAL INDIVIDUAL PARA LA RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES.	101
ILUSTRACIÓN 71. ESQUEMA 4B. INSTALACIÓN CON CIRCUITO O CIRCUITOS ADICIONALES PARA LA RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.	102
ILUSTRACIÓN 72. EMISIONES DE CO ₂ DE PAÍSES EUROPEOS FIRMANTES DEL PROTOCOLO DE KIOTO.....	105
ILUSTRACIÓN 73. COMPARATIVA DE PRECIOS SEGÚN PLAN MOVELE.	107
ILUSTRACIÓN 74. PREVISIÓN DE VENTAS SEGÚN RENAULT.	108
ILUSTRACIÓN 75. EVOLUCIÓN DE VENTA DE VEHÍCULOS EN ESPAÑA.....	109

12.1.2 Anexo I.

ILUSTRACIÓN AI. 1. CIRCUITO MAGNÉTICO.....	117
ILUSTRACIÓN AI. 2. DIAGRAMA FASORIAL DE UN NÚCLEO SIN PÉRDIDAS.	121
ILUSTRACIÓN AI. 3. ESQUEMA EQUIVALENTE DE UN NÚCLEO SIN PÉRDIDAS.....	122
ILUSTRACIÓN AI. 4. DIAGRAMA FASORIAL DE UN NÚCLEO CON PÉRDIDAS.....	122
ILUSTRACIÓN AI. 5. ESQUEMA EQUIVALENTE DE UN NÚCLEO CON PÉRDIDAS.	123
ILUSTRACIÓN AI. 6. CICLO DE HISTÉRESIS.	126

12.1.3 Anexo II.

ILUSTRACIÓN AII. 1. ESTATOR, ROTOR Y ENTREHIERRO DE UN MOTOR ELÉCTRICO.....	130
ILUSTRACIÓN AII. 2. MOTOR CUYA CARCASA POSEE ALETAS.	131
ILUSTRACIÓN AII. 3. CONSECUENCIA DE UN MAL AISLAMIENTO DE LAS RANURAS DEL MOTOR.	131
ILUSTRACIÓN AII. 4. CONFIGURACIÓN FÍSICA DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.	133
ILUSTRACIÓN AII. 5. CAJA DE BORNES DE UN MOTOR ELÉCTRICO.....	134
ILUSTRACIÓN AII. 6. ROTOR BOBINADO Y COLECTOR DE ANILLOS.....	135
ILUSTRACIÓN AII. 7. ROTOR BOBINADO Y COLECTOR DE DELGAS.	135
ILUSTRACIÓN AII. 8. ESCOBILLAS DE UN MOTOR ELÉCTRICO.	136
ILUSTRACIÓN AII. 9. ROTOR EN JAULA DE ARDILLA O CORTOCIRCUITO.	138
ILUSTRACIÓN AII. 10. SECCIÓN DE UN MOTOR DE ROTOR EN JAULA DE ARDILLA.	139
ILUSTRACIÓN AII. 11. CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.	144
ILUSTRACIÓN AII. 12. BALANCE DE POTENCIAS DE UNA MÁQUINA ASÍNCRONA.	148
ILUSTRACIÓN AII. 13. PUNTOS NOTABLES DE LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR ASÍNCRONO.....	154
ILUSTRACIÓN AII. 14. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO.....	156
ILUSTRACIÓN AII. 15. EFECTOS DE VARIAR LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN EN UN MOTOR ASÍNCRONO.	158
ILUSTRACIÓN AII. 16. EFECTOS DE MODIFICAR LA RESISTENCIA DEL ROTOR.	158
ILUSTRACIÓN AII. 17. AUMENTO DEL PAR DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE LAS RESISTENCIAS RETORICAS.	159
ILUSTRACIÓN AII. 18. ARRANQUE DE UN MOTOR A TENSIÓN REDUCIDA.	161
ILUSTRACIÓN AII. 19. RANURAS DE UN MOTOR DE DOBLE JAULA.	163
ILUSTRACIÓN AII. 20. CURVAS PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE DOBLE JAULA.	164
ILUSTRACIÓN AII. 21. DISTINTOS TIPOS DE RANURAS DE UN MOTOR DE RANURA PROFUNDA.	165
ILUSTRACIÓN AII. 22. CONEXIÓN DAHLANDER.	166
ILUSTRACIÓN AII. 23. REGULACIÓN DE VELOCIDAD MEDIANTE VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA A PAR CONSTANTE.	168
ILUSTRACIÓN AII. 24. MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA ASÍNCRONA.	169
ILUSTRACIÓN AII. 25. MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA (C.C).....	173
ILUSTRACIÓN AII. 26. CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR EL INDUCTOR.	174
ILUSTRACIÓN AII. 27. CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR EL INDUCIDO.....	175
ILUSTRACIÓN AII. 28. CAMPO MAGNÉTICO RESULTANTE.	175
ILUSTRACIÓN AII. 29. CONEXIÓN DE LOS POLOS AUXILIARES DE LAS MÁQUINAS C.C.	178
ILUSTRACIÓN AII. 30. GENERADOR C.C.....	178
ILUSTRACIÓN AII. 31. GENERADOR CON EXCITACIÓN INDEPENDIENTE.	185
ILUSTRACIÓN AII. 32. GENERADOR CON EXCITACIÓN EN DERIVACIÓN.	185
ILUSTRACIÓN AII. 33. GENERADOR CON EXCITACIÓN EN SERIE.....	186
ILUSTRACIÓN AII. 34. GENERADOR CON EXCITACIÓN COMPUESTA.	187

12.1.4 Anexo III.

ILUSTRACIÓN AIII. 1. FUNCIONAMIENTO DE UN CONDENSADOR.	209
ILUSTRACIÓN AIII. 2. CONSTANTE Y RIGIDEZ DIELECTRICA DE ALGUNOS MATERIALES.	212
ILUSTRACIÓN AIII. 3. PROCESO DE CARGA DE UN CONDENSADOR EN C.C.	213
ILUSTRACIÓN AIII. 4. PROCESO DE DESCARGA DE UN CONDENSADOR EN C.C.	214
ILUSTRACIÓN AIII. 5. PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE UN CONDENSADOR EN C.A.	215

12.2 TABLAS.

12.2.1 Documento.

TABLA 1.DISTINCIÓN DE COLORES DE LOS CAN-BUS.	53
TABLA 2. DISTINCIÓN DE COLORES DE LOS LIN-BUS.	57

12.2.2 Anexo I.

TABLA AI. 1. PROPIEDADES DE LOS DISTINTOS MATERIALES MAGNÉTICOS.	125
---	-----

12.2.3 Anexo III.

TABLA AIII. 1. CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS EN FUNCIÓN DE SU TAMAÑO.	198
--	-----

12.3 ECUACIONES.

12.3.1 Documento.

(ECUACIÓN 1)	47
(ECUACIÓN 2)	50
(ECUACIÓN 3)	50

12.3.2 Anexo I.

(ECUACIÓN AI. 1)	112
(ECUACIÓN AI. 2)	112
(ECUACIÓN AI. 3)	113
(ECUACIÓN AI. 4)	113
(ECUACIÓN AI. 5)	113
(ECUACIÓN AI. 6)	114
(ECUACIÓN AI. 7)	114
(ECUACIÓN AI. 8)	115
(ECUACIÓN AI. 9)	115
(ECUACIÓN AI. 10)	116
(ECUACIÓN AI. 11)	116
(ECUACIÓN AI. 12)	116
(ECUACIÓN AI. 13)	117
(ECUACIÓN AI. 14)	118
(ECUACIÓN AI. 15)	118
(ECUACIÓN AI. 16)	119
(ECUACIÓN AI. 17)	119
(ECUACIÓN AI. 18)	120
(ECUACIÓN AI. 19)	120
(ECUACIÓN AI. 20)	120
(ECUACIÓN AI. 21)	121
(ECUACIÓN AI. 22)	123
(ECUACIÓN AI. 23)	123
(ECUACIÓN AI. 24)	123
(ECUACIÓN AI. 25)	124
(ECUACIÓN AI. 26)	124
(ECUACIÓN AI. 27)	124
(ECUACIÓN AI. 28)	124

12.3.3 Anexo II.

(ECUACIÓN AII. 1)	140
(ECUACIÓN AII. 2)	140
(ECUACIÓN AII. 3)	141
(ECUACIÓN AII. 4)	142
(ECUACIÓN AII. 5)	142
(ECUACIÓN AII. 6)	143
(ECUACIÓN AII. 7)	143
(ECUACIÓN AII. 8)	143
(ECUACIÓN AII. 9)	145
(ECUACIÓN AII. 10)	145
(ECUACIÓN AII. 11)	146
(ECUACIÓN AII. 12)	146
(ECUACIÓN AII. 13)	147
(ECUACIÓN AII. 14)	147
(ECUACIÓN AII. 15)	147
(ECUACIÓN AII. 16)	148
(ECUACIÓN AII. 17)	148
(ECUACIÓN AII. 18)	149
(ECUACIÓN AII. 19)	149
(ECUACIÓN AII. 20)	149
(ECUACIÓN AII. 21)	149
(ECUACIÓN AII. 22)	150
(ECUACIÓN AII. 23)	150
(ECUACIÓN AII. 24)	150
(ECUACIÓN AII. 25)	151
(ECUACIÓN AII. 26)	151
(ECUACIÓN AII. 27)	151
(ECUACIÓN AII. 28)	152
(ECUACIÓN AII. 29)	152
(ECUACIÓN AII. 30)	153
(ECUACIÓN AII. 31)	153
(ECUACIÓN AII. 32)	155
(ECUACIÓN AII. 33)	156
(ECUACIÓN AII. 34)	157
(ECUACIÓN AII. 35)	160

(ECUACIÓN AII. 36)	160
(ECUACIÓN AII. 37)	165
(ECUACIÓN AII. 38)	179
(ECUACIÓN AII. 39)	179
(ECUACIÓN AII. 40)	180
(ECUACIÓN AII. 41)	180
(ECUACIÓN AII. 42)	181
(ECUACIÓN AII. 43)	181
(ECUACIÓN AII. 44)	182
(ECUACIÓN AII. 45)	182
(ECUACIÓN AII. 46)	183
(ECUACIÓN AII. 47)	183
(ECUACIÓN AII. 48)	183
(ECUACIÓN AII. 49)	184
(ECUACIÓN AII. 50)	184
(ECUACIÓN AII. 51)	187
(ECUACIÓN AII. 52)	188
(ECUACIÓN AII. 53)	188
(ECUACIÓN AII. 54)	189

12.3.4 Anexo III.

(ECUACIÓN AIII 1)	199
(ECUACIÓN AIII 2)	200
(ECUACIÓN AIII 3)	201
(ECUACIÓN AIII 4)	201
(ECUACIÓN AIII 5)	210
(ECUACIÓN AIII 6)	211
(ECUACIÓN AIII 7)	214
(ECUACIÓN AIII 8)	214
(ECUACIÓN AIII 9)	216

13 BIBLIOGRAFÍA.

LIBRO: *Mantenimiento de redes multiplexadas (UF1104).*

AUTOR: *Cano Martínez, Alberto*

EDITORIAL: *IC Editorial.*

AÑO: *2012*

LIBRO: *El vehículo eléctrico: desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio.*

AUTOR: *Sociedad de técnicos de automoción STA*

EDITORIAL: *Librooks.*

AÑO: *2011*

LIBRO: *Máquinas eléctricas.*

AUTOR: *Fraile Mora, Jesús.*

EDITORIAL: *Rugarte, S.L.*

AÑO: *2015*

LIBRO: *Analysis of electric machinery and drive systems.*

AUTOR: *Krause, Paul C.*

EDITORIAL: *Piscataway, NJ.*

AÑO: *2002.*

LIBRO: *Manual de regulación de máquinas eléctricas.*

AUTOR: *Zapico Gutiérrez, Pablo.*

EDITORIAL: *Universidad de León.*

AÑO: *2006.*

Real Decreto 1053/2014, por la que se aprueba la ITC-BT-52.

Ley 19/2009, Ley de protección horizontal.

Directiva 2006/95/CE.

Directiva 2004/108/CE.

ISO-11898.

UNE-EN-60252.

www.apkmodgame.net.

www.movilidadelectrica.com/index.php/informes/1840-ventas-julio-2015.

www.ree.es.

www.circutor.es.

www.autobild.es/practicos/sistema-start-stop-prueba-ahorro-combustible-166409.

www.lugenergy.com/vehiculo-electrico.

Manual Seat Altea.
