

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

TRACCIÓN ELÉCTRICA. ESTADO DEL ARTE DE LOS ACCIONAMIENTOS Y MOTORES EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Alumno: Alberto Jesús Ortiz Sánchez

Tutor: Prof. D. Ignacio Jesús Pérez Guerrero
Dpto: Ingeniería Eléctrica

Octubre, 2015



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

Don Ignacio Jesús Pérez Guerrero , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: Traccion eléctrica. Estado del arte de los accionamientos y motores en el vehículo eléctrico, que presenta Alberto Jesús Ortiz Sánchez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, octubre de 2015

El alumno:

Alberto Jesús Ortiz Sánchez

El tutor:

Ignacio Jesús Pérez Guerrero

Índice

1. AGRADECIMIENTOS	2
2. OBJETIVO	5
3. INTRODUCCIÓN	7
4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA	10
4.1 INTRODUCCIÓN	10
4.2 HECHOS MÁS RELEVANTES	10
5. NORMATIVA LEGAL	22
5.1 EN ESPAÑA	23
5.1.1. Ley de Propiedad Horizontal.....	23
5.1.2. Real Decreto de Gestores de Carga.....	23
5.1.2.1 Real Decreto Tarifa de acceso supervalles.....	24
5.1.3. Real Decreto de Ayudas directas a la compra	25
5.1.4. Real Decreto para la implantación de la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52	26
5.2 EN EUROPA.....	34
5.3 EN EL MUNDO.....	36
5.3.1. IEC 61851 Sistema conductivo de carga para VE	36
5.3.1.1 IEC 61851-1: Requisitos generales.....	36
5.3.1.2 IEC 61851-21: Requisitos de VE para conexión conductora a red en C.A./C.C.....	36
5.3.1.3 IEC 61851-22: Estación de carga en C.A. para VE.....	36
5.3.2. IEC 62196: Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.....	36
6. BATERÍAS	39
6.1 COMPONENTES BÁSICOS DE LAS BATERÍAS	39

6.1.1. Electroodos.....	39
6.1.1.1 Electrodo negativo	40
6.1.1.2 Electrodo positivo	40
6.1.2. Electrolito	41
6.1.3. Separadores	41
6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS	42
6.2.1. Baterías primarias y secundarias.....	42
6.2.2. Clasificación según tamaño	44
6.3 PARÁMETROS.....	44
6.4 SOBRECARGA	46
6.5 DESCARGA PROFUNDA.....	47
6.6 AUTODESCARGA.....	47
6.7 CARGA DE LAS BATERÍAS.....	48
6.7.1. Carga a tensión constante	48
6.7.2. Carga a intensidad y tensión constantes	48
6.7.3. Carga a intensidad constante	48
6.7.4. Carga con tensión creciente	49
6.8 MANTENIMIENTO DE LAS BATERÍAS	49
6.8.1. Mantenimiento preventivo.....	49
6.8.2. Mantenimiento correctivo.....	50
6.9 BATERÍAS UTILIZADAS EN TRACCIÓN.....	50
6.9.1. Introducción	50
6.9.2. Baterías actuales	51
6.9.2.1 Plomo-ácido (Pb-ácido).....	51
6.9.2.2 Níquel-cadmio (Ni-Cd).....	52
6.9.2.3 Níquel-hidruro metálico (Ni-mh)	53
6.9.2.4 Ión-litio (Li-ion)	53

7. TRANSICIÓN, EL MOTOR HÍBRIDO	57
7.1 CONCEPTOS BÁSICOS	57
7.1.1. Híbridos en serie.....	57
7.1.2. Híbridos en paralelo.....	58
7.1.2.1 Híbridos en paralelo por combinación de fuerzas de tracción	59
7.1.2.2 Híbridos en paralelo por combinación de par en la transmisión	60
7.1.2.3 Híbridos en paralelo por combinación de par en el eje. ...	60
7.1.2.4 Híbridos en paralelo por combinación de velocidades. ...	61
7.2 DISTINTAS CONFIGURACIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS	62
7.2.1. Micro Hybrid.....	62
7.2.2. Mild Hybrid.....	63
7.2.3. Vehículo eléctrico de célula de combustible (FCEV)	63
7.2.4. Híbridos Plug-in (PHEV)	63
7.3 EJEMPLO DE VEHÍCULOS CON DISTINTAS TECNOLOGÍAS HÍBRIDAS	64
7.4 EJEMPLO DE TECNOLOGÍA HÍBRIDA	65
7.4.1. Generalidades del sistema	66
7.4.2. Transmisión	67
7.4.3. El sistema Transeje	68
7.4.4. Los motores eléctricos	69
8. DESCRIPCIÓN DE MOTORES	73
8.1 INTRODUCCIÓN	73
8.2 PROPIEDADES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	74
8.3 RENDIMIENTO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	75
8.4 PARTES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS	80

8.4.1. Estator y rotor	80
8.4.2. Devanados.....	83
8.4.3. Polos magnéticos	84
8.4.4. Colector de delgas y colector de anillos	85
8.5 MOTORES CONVENCIONALES	87
8.5.1. Motores asíncronos	87
8.5.1.1 Aspectos constructivos.....	87
8.5.1.2 Principio de funcionamiento	90
8.5.1.3 Circuito equivalente.....	93
8.5.1.4 Balance de potencias	94
8.5.1.5 Par de rotación.....	98
8.5.1.6 Curvas par-velocidad	102
8.5.1.7 Arranque	106
8.5.1.8 Motores de doble jaula de ardilla y ranura profunda	109
8.5.1.9 Regulación de velocidad	112
8.5.1.10 Modos de funcionamiento	114
8.5.1.11 Frenado.....	116
8.5.2. Motores de corriente continua	117
8.5.2.1 Aspectos constructivos.....	117
8.5.2.2 Reacción de inducido.....	119
8.5.2.3 Conmutación	121
8.5.2.4 Modos de funcionamiento	123
8.5.3. Motores síncronos	134
8.5.3.1 Introducción.....	134
8.5.3.2 Aspectos constructivos.....	134
8.5.3.3 Modos de funcionamiento	134
9. TENDENCIAS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO	137

9.1	MOTOR ASÍNCRONO O DE INDUCCIÓN	139
9.2	MOTOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES	141
9.3	MOTOR DE FLUJO AXIAL	143
9.4	MÁQUINAS DE RELUCTANCIA CONMUTADA	145
9.5	BRUSHLESS C.C.	148
9.6	CONCLUSIONES	151
10.	INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA.....	153
10.1	INTRODUCCIÓN.....	153
10.2	TIPOS DE CONECTORES.....	153
10.2.1.	Conector doméstico normal, tipo schuko.	153
10.2.2.	Conector SAEJ1772, o Tipo 1	154
10.2.3.	Conector Mennekes, o tipo 2	155
10.2.4.	Conector Scame, o Tipo 3	155
10.2.5.	Conector CHAdeMO.....	156
10.2.6.	Conector Combo o CCS.	157
10.3	TIPOS DE RECARGA	157
10.3.1.	Recargas lentas.....	157
10.3.1.1	Recarga super-lenta.....	157
10.3.1.2	Recarga lenta.....	157
10.3.2.	Recargas rápidas.....	158
10.3.2.1	Recarga semi-rápida.....	158
10.3.2.2	Recarga rápida.....	158
10.3.2.3	Recarga super-rápida.....	158
10.3.2.4	Recarga ultra-rápida.....	159
10.4	MODOS DE RECARGA.....	159
10.4.1.	Modo 1.....	159
10.4.2.	Modo 2.....	159

10.4.3. Modo 3.....	160
10.4.4. Modo 4.....	160
11. ESTUDIO DE PRECIOS Y VENTAS	163
11.1 PRECIOS.....	164
11.2 VENTAS	167
12. ANEXOS.....	177
12.1 ANEXO 1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	177
12.1.1. INTRODUCCIÓN	177
12.1.2. PRIMEROS VEHÍCULOS	177
12.1.3. PRIMERAS PRÁCTICAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	180
12.1.4. EDAD DE ORO.....	184
12.1.5. EL DECLIVE	186
12.1.6. AÑOS 90: RESURGIMIENTO DEL INTERÉS	189
12.1.7. DESDE EL AÑO 2000 HASTA 2012: NUEVOS PROTOTIPOS.....	194
13. BIBLIOGRAFÍA.....	198
13.1 LIBROS.....	198
13.2 ARTÍCULOS INTERNET	198
13.3 PONENCIAS Y PROYECTOS.....	198
13.4 NORMATIVAS	199
13.5 PÁGINAS WEB.....	200

Índice de figuras

Figura 1: Término de Facturación de Energía Activa del PVPC	24
Figura 2: Término de Facturación de Energía Activa del PVPC de Vehículo Eléctrico en la hora 3.....	25
Figura 3: Esquema 1a. Instalación colectiva troncal con contador principal en el origen de la instalación y contadores secundarios en las estaciones de recarga.	27
Figura 4: Esquema 1b. Instalación colectiva troncal con contador principal en origen de la instalación y contadores secundarios en las estaciones de recarga (con nueva centralización de contadores para recarga VEHÍCULO ELÉCTRICO).....	28
Figura 5: Esquema 1c. Instalación colectiva con un contador principal y contadores secundarios individuales para estación de recarga.	29
Figura 6: Esquema 2. Instalación individual con un contador principal común para la vivienda y para la estación de recarga.	30
Figura 7: Esquema 3a. Instalación individual con un contador principal para cada estación de recarga (utilizando la centralización de contadores existentes).....	31
Figura 8: Esquema 3b. Instalación individual con un contador principal para cada estación de recarga (con una nueva centralización de contadores) 32	
Figura 9: Esquema 4a. Instalación con circuito adicional individual para la recarga del VEHÍCULO ELÉCTRICO en viviendas unifamiliares	33
Figura 10: Esquema 4b. Instalación con circuito o circuitos adicionales para la recarga del VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	33
Figura 11: Híbrido en serie	57
Figura 12: Híbrido en paralelo	58
Figura 13: Por combinación de fuerzas de tracción	59
Figura 14: Por combinación de par en la transmisión	60
Figura 15: Por combinación de par en el eje	61
Figura 16: Por combinación de velocidades	62
Figura 17: Híbrido Plug-In (PHEV).....	64
Figura 18: Transmisión Toyota THS	68

Figura 19: Sistema Transeje	68
Figura 20: Grupo Transeje	69
Figura 21: Gráfica de eficiencia de un motor mediante gradiente de colores	77
Figura 22: Gráfica comparativa de par y potencia entre motor eléctrico y motor de combustión interna	80
Figura 23: Estator, rotor y entrehierro de un motor eléctrico	81
Figura 24: Descripción de bobinado inductor e inducido en un motor de polos salientes	84
Figura 25: Configuración básica de estator y rotor	84
Figura 26: Rotor en jaula de ardilla o cortocircuito	88
Figura 27: Rotor bobinado y colector en anillos	89
Figura 28: Sección de un motor de rotor en jaula de ardilla	90
Figura 29: Circuito equivalente de un motor asíncrono o de inducción ..	94
Figura 30: Balance de potencias de motor asíncrono trifásico	97
Figura 31: Puntos notables de la curva par-velocidad de un motor asíncrono	102
Figura 32: Punto de funcionamiento de un motor de inducción	104
Figura 33: Efectos de variar la tensión de alimentación de un motor asíncrono	105
Figura 34: Efectos de introducir distintas resistencias en el rotor	106
Figura 35: Aumento del par de arranque por variaciones de resistencias rotóricas	106
Figura 36: Arranque de un motor con tensión reducida	108
Figura 37: Ranuras de un motor de doble jaula de ardilla.	110
Figura 38: Curvas par-velocidad de un motor de doble jaula	110
Figura 39: Tipos de ranuras	112
Figura 40: Conexión Dahlander	112
Figura 41: Regulación de velocidad mediante variación de velocidad a par constante	114
Figura 42: Gráfica del funcionamiento de un motor asíncrono	114
Figura 43: Partes de un motor de corriente continua	118
Figura 44: Distribución de la inducción magnética en un motor de corriente continua	119

Figura 45: Campo magnético producido por el inducido.....	120
Figura 46: Deformación del campo magnético debido a la reacción de inducido.....	120
Figura 47: Máquina de corriente continua con polos auxiliares o de conmutación.....	123
Figura 48: Máquina de corriente continua como generador.....	123
Figura 49: Generador con excitación independiente.....	129
Figura 50: Generador con excitación en derivación.....	129
Figura 51: Generador con excitación en serie	130
Figura 52: Generador con excitación compuesta	130
Figura 53: Esquema motor reluctancia conmutada.....	146
Figura 54: Disposición típica del motor Brushless	149
Figura 55: Simulación densidad de campo magnético.....	149
Figura 56: Simulación de densidad de campo magnético indicando la dirección del campo	150
Figura 54: Comparación de curva de par entre motor térmico y motor serie de corriente continua.	150
Figura 55: Evolución de venta de vehículos en España.	168
Figura 56: Ventas acumuladas hasta agosto de 2015.....	170
Figura 57: Modelos más vendidos hasta agosto de 2015.....	170
Figura 58: Incremento porcentual respecto a 2014	171
Figura 59: Venta acumulada según modelo hasta agosto 2015.....	172
Figura 60: Cuota de mercado porcentual respecto a marcas de vehículos	172

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Motor de Thomas Davenport.....	10
Ilustración 2: Locomotora eléctrica similar a la que construyó Robert Davenport.....	11
Ilustración 3: Batería de plomo-ácido de Gaston Planté.....	12
Ilustración 4: Uno de los coches eléctricos de Thomas Parker en la puerta de la casa de la familia.....	12
Ilustración 5: Taxi eléctrico de Walter C. Bersey	13
Ilustración 6: Primer híbrido	13
Ilustración 7: Henney Kilowatt.....	15
Ilustración 8: Primer vehículo tripulado en el espacio, Lunar Rover.	16
Ilustración 9: Impact, General Motors, 1990	17
Ilustración 10: Honda EV	17
Ilustración 11: Nissan Altra EV	17
Ilustración 12: Toyota Prius 1999	18
Ilustración 13: Batería de Litio.....	19
Ilustración 14: Tesla Roadster	20
Ilustración 15: Electrodo de las baterías eléctricas	40
Ilustración 16: Electrolito.....	41
Ilustración 17: Batería primaria	43
Ilustración 18: Batería secundaria	43
Ilustración 19: Batería de plomo-ácido.....	52
Ilustración 20: Batería Níquel-cadmio	52
Ilustración 21: Batería Níquel-hidruro metálico	53
Ilustración 22: Batería Litio-ión	54
Ilustración 23: Motor Toyota THS	65
Ilustración 24: Principales componentes del sistema Toyota THS	66
Ilustración 25: Grupo eléctrico	70
Ilustración 26: Sensor de posición	71
Ilustración 27: Características y partes de un motor eléctrico de Renault.....	76
Ilustración 28: Motor eléctrico de 80 kW de potencia.....	79

Ilustración 29: Motor de gasolina de 1600 cm ³	79
Ilustración 30: Motor eléctrico con carcasa de aletas	82
Ilustración 31: Bobinado del estator de un motor eléctrico con ranuras semicerradas.....	83
Ilustración 32: Caja de bornes de un motor eléctrico	85
Ilustración 33: Rotor bobinado y colector en anillos.....	86
Ilustración 34: Rotor bobinado y colector delgas	86
Ilustración 35: Escobillas de un motor eléctrico	87
Ilustración 36: Modos de funcionamiento de un motor para un vehículo eléctrico	114
Ilustración 37: Tesla Model S con motor de inducción.....	140
Ilustración 38: Volkswagen i-Golf con motor asíncrono	141
Ilustración 39: Nissan Leaf con motor síncrono	142
Ilustración 40: Mitsubishi i-MiEV con motor síncrono.....	143
Ilustración 41: Ejemplo de aplicación de motor de flujo axial	145
Ilustración 42: Motor de flujo axial	145
Ilustración 43: Motor reluctancia conmutada	147
Ilustración 44: Enchufe schuko	154
Ilustración 45: Conector SAE J1772	154
Ilustración 46: Conector Mennekes	155
Ilustración 47: Conector Scame	156
Ilustración 48: Conector CHAdeMO.....	156
Ilustración 49: Conector Combo o CCS	157
Ilustración 50: Modo 1 de recarga	159
Ilustración 51: Modo 2 de recarga	160
Ilustración 52: Modo 3 de recarga	160
Ilustración 53: Modo 4 de recarga	161
Ilustración 54: Primer motor eléctrico, Dínamo de Jedlik	177
Ilustración 55: Motor de Thomas Davenport.....	178
Ilustración 56: Vehículo eléctrico de Sibrandus Stratingh	178
Ilustración 57: Locomotora eléctrica similar a la que construyó Robert Davenport.....	179
Ilustración 58: Carruaje eléctrico de Robert Anderson	180
Ilustración 59: Batería de plomo-ácido de Gaston Planté	180

Ilustración 60: Vehículo eléctrico de Gustave Trouvé	181
Ilustración 61: Uno de los coches eléctricos de Thomas Parker en la puerta de la casa de la familia	182
Ilustración 62: Vehículo eléctrico de Andreas Flocken.....	182
Ilustración 63: Jamais Contente de Camille Jenatzy.....	183
Ilustración 64: Porsche de Ferdinand	183
Ilustración 65: Taxi eléctrico de Walter C. Bersey	184
Ilustración 66: Primer híbrido	185
Ilustración 67: Henney Kilowatt.....	188
Ilustración 68: Primer vehículo tripulado en el espacio, Lunar Rover. .	189
Ilustración 69: Impact, General Motors, 1990	190
Ilustración 70: Honda EV	190
Ilustración 71: Nissan Altra EV	191
Ilustración 72: Toyota Prius 1999	192
Ilustración 73: REVA L-ion.....	193
Ilustración 74: Tesla Roadster	195

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación de las baterías en función de su tamaño.	44
Tabla 2: Ranking de autonomía	55
Tabla 3: Vehículos con distinta tecnología híbrida.....	65
Tabla 4: Emisiones CO ₂ de países europeos firmantes del protocolo de Kioto	163
Tabla 5: Comparativa de precios según Plan Movele.....	165
Tabla 6: Comparativa de precios según Plan Movele.....	166
Tabla 7: Comparativa de precios según Plan Movele.....	166
Tabla 8: Comparativa de precios según Plan Movele.....	167
Tabla 9: Previsión de venta de vehículos según Renault.	168
Tabla 10: Matriculaciones de turismos y todo terreno eléctricos y enchufables	171
Tabla 11: Matriculaciones de turismos y todo terreno únicamente híbridos.....	173
Tabla 12: Matriculaciones de turismo y todo terreno eléctrico e híbridos enchufables a nivel europeo.....	174
Tabla 13: Venta de vehículos eléctricos e híbridos enchufables a nivel mundial.....	175

Índice de ecuaciones

(Ecuación 6.1).....	44
(Ecuación 6.2).....	45
(Ecuación 6.3).....	46
(Ecuación 6.4).....	46
(Ecuación 8.1).....	90
(Ecuación 8.2).....	91
(Ecuación 8.3).....	91
(Ecuación 8.4).....	92
(Ecuación 8.5).....	93
(Ecuación 8.6).....	93
(Ecuación 8.7).....	93
(Ecuación 8.8).....	93
(Ecuación 8.9).....	94
(Ecuación 8.10).....	95
(Ecuación 8.11).....	95
(Ecuación 8.12).....	96
(Ecuación 8.13).....	96
(Ecuación 8.14).....	96
(Ecuación 8.15).....	96
(Ecuación 8.16).....	97
(Ecuación 8.17).....	97
(Ecuación 8.18).....	98
(Ecuación 8.19).....	98
(Ecuación 8.20).....	98
(Ecuación 8.21).....	98
(Ecuación 8.22).....	98
(Ecuación 8.23).....	99
(Ecuación 8.24).....	99
(Ecuación 8.25).....	99
(Ecuación 8.26).....	99
(Ecuación 8.27).....	99

(Ecuación 8.28).....	100
(Ecuación 8.29).....	100
(Ecuación 8.30).....	101
(Ecuación 8.31).....	101
(Ecuación 8.32).....	103
(Ecuación 8.33).....	103
(Ecuación 8.34).....	104
(Ecuación 8.35).....	107
(Ecuación 8.36).....	107
(Ecuación 8.37).....	112
(Ecuación 8.38).....	124
(Ecuación 8.39).....	124
(Ecuación 8.40).....	125
(Ecuación 8.41).....	125
(Ecuación 8.42).....	125
(Ecuación 8.43).....	126
(Ecuación 8.44).....	127
(Ecuación 8.45).....	127
(Ecuación 8.46).....	127
(Ecuación 8.47).....	128
(Ecuación 8.48).....	128
(Ecuación 8.49).....	128
(Ecuación 8.50).....	131
(Ecuación 8.51).....	131
(Ecuación 8.52).....	132
(Ecuación 8.53).....	132

AGRADECIMIENTOS

1. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer el apoyo a todas las personas que han estado a mi lado a lo largo de estos cinco años de carrera, aquellos y aquellas que han pasado conmigo su tiempo y que me han ayudado, no solamente a la hora de estudiar, sino a, también, a la hora de crecer como persona. Compañeros de universidad, profesores, familiares que me han mostrado su apoyo desde casa y demás personas a las que, vuelvo a repetir, agradezco enormemente su apoyo.

A mis amigos, porque sin ellos mi vida no sería la misma. A ellos les debo tantos buenos momentos, especiales, sinceros. Y, además, les agradezco el haber estado en los momentos difíciles, que los ha habido. Mis amigos de la universidad, y digo amigos porque eso es lo que son, personas en las que puedo confiar y que sé que van a estar a mi lado cuando lo necesite porque ya me lo han demostrado. Porque todas esas tardes en los pisos estudiando han servido para crear una amistad que, sin duda, durará para siempre. Y, como no, a mis amigos de siempre, por darme toda su confianza, por abrir tanto sus pensamientos como sus corazones haciéndome una persona importante en sus vidas y eso ya es, para mí, un éxito en la mía. Porque a parte de las personas con las que se tienen lazos sanguíneos, la personas con las que vives tu vida son tu verdadera familia.

Olga, no me puedo olvidar de ti, porque todos los años vividos juntos hacen que hoy pueda decir que has sido un pilar fundamental en mi vida, en todos los aspectos. Porque me has ayudado siempre, con todo, tanto en el aspecto académico como en la forma de afrontar los retos. Has sido mi principal apoyo durante muchos años y, por ese motivo, esto también es tuyo. En más proporción de la que nadie imagina porque fuiste tú la que me aconsejó y la que puso tanto empeño en que siguiera adelante. Por eso, y no se puede expresar con palabras, solamente tengo agradecimiento para ti.

A mi madre y a mi hermano, porque si alguien ha sufrido y se ha alegrado por mí, sin duda, los que más, habéis sido vosotros. A vosotros os lo debo casi todo, y sí, digo casi todo, vosotros sabéis porque. A ti, hermano, por

ser el mejor hermano que alguien puede tener, por tener tu apoyo incondicional hasta en los momentos en los que he podido defraudarte y por tantos y tanto momentos vividos y que nos quedan por vivir. A ti mamá porque me has dado junto a papá lo más importante, la vida, esa que me ha permitido conseguir muchas cosas, tener muchos momentos alegres, los que más, vivir muchas experiencias y hacer todo lo que has sido posible para ser feliz y que te sientas orgullosa de mí.

Sólo me faltas tú, papá. No me puedo imaginar el nivel de felicidad que podrías tener si me vieras en estos momentos, como no me puedo imaginar esta vida sin tí, aunque el tiempo nos obligue a acostumbrarnos. Las mayores de las gracias son para ti, por ser el referente principal de la familia. Y, no solamente las gracias, sino las mayores felicitaciones, porque juntos a ellos, has hecho de la persona que escribe estas palabras alguien con principios, ideas y convicciones que ni él mismo imaginaba y que esta muy orgulloso de ser como es hoy en día.

OBJETIVO

2. OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es dar a conocer el estado del arte de los vehículos eléctricos en cuanto a sus principales elementos se refiere. Para ello se ha realizado una investigación previa que va desde el conocimiento de los tipos de motores eléctricos que existen y sus modos de accionamiento hasta baterías, normativas, precios y ventas, todo ello relacionado con su forma de aplicación en cuanto al vehículo eléctrico se refiere.

INTRODUCCIÓN

3. INTRODUCCIÓN

En este mundo de los vehículos impulsados por combustibles fósiles, los motores son todos diferentes. Hay distintas cabezas de cilindros ya sean planas o hemisféricas, existen motores de cilindros opuestos, en V o rectos y muchas más posibilidades. Se podría creer que, en todo este tiempo, se podía haber decidido cuál era el mejor tipo de motor y haber desarrollado solamente ese. Sin embargo, esto no ha sido así y no lo ha sido porque no existe un mejor motor. Cada motor tiene sus características que se adaptan mejor a unas necesidades o a otras, dependiendo del tipo de aplicación que se le vaya a dar, de su precio y de su rendimiento. Pues bien, pasa exactamente lo mismo con los motores eléctricos.

Al igual que los motores de combustión los motores eléctricos también han evolucionado a lo largo de su “corta” historia. Los motores que se usaban hace 50 años no son los que se usan hoy en día, ni estos son los que se usaran el día de mañana. Para el arranque de motores antes se utilizaban contactores, aun hoy se hace, pero cada vez más la electrónica se está imponiendo en el control de motores

Como se decía en párrafo anterior, a lo largo de los años han sido muchos los avances que los motores de combustión han sufrido en el sector automovilístico, tanto es así que, a principios del siglo XX, el bajo precio de los combustibles junto con el bajo coste de fabricación de estos motores hicieron que la sociedad se decantara por este tipo de propulsión para la movilidad en lugar de sus homólogos eléctricos, que ya existían en esa época.

A pesar de las varias crisis energéticas que han existido a lo largo del siglo pasado, el motor de combustión y los combustibles fósiles han sabido encontrar la forma de adaptarse para que el desarrollo de los motores eléctricos y las energías alternativas no salieran tan rentables como el uso de los motores y los combustibles convencionales.

Hoy en día, sin embargo, la tendencia está cambiando radicalmente debido a que hay muchos estudios que demuestran que la vida de los combustibles fósiles está a punto de acabar y se hace necesaria la búsqueda

de otras energías, no sólo para la movilidad, sino para otros muchos sectores dependientes de estos combustibles, por otra parte, tan contaminantes para el medio ambiente. Este hecho, unido al cambio de actitud, obligado, por parte de la sociedad mundial, cada vez más concienciada con el cambio climático, está haciendo que las empresas del sector automovilístico se hayan apresurado a desarrollar la tecnología eléctrica como principal método de propulsión de sus vehículos. Y es que hay algunos datos que señalan que el cambio va a tener que ser más que necesario porque, por ejemplo, según la directora ejecutiva de ONU-Hábitat, en 2050 un 80% de la población mundial vivirá en ciudades. Este dato, unido al que ofrece, por ejemplo, el Plan Nacional de Desarrollo para la Movilidad Eléctrica del Gobierno Federal de Alemania que dice que el 80% de las personas hacen menos de 60 Km al día hacen que el gran problema de la movilidad eléctrica, la autonomía, quede algo relegado a un segundo plano.

Actualmente ya se convive con vehículos propulsados por motores de combustión, vehículos propulsados por una combinación de motores de combustión y motores eléctricos y vehículos propulsados por motores eléctricos. La evolución dicta que finalmente el parque automovilístico mundial sea totalmente eléctrico pero la velocidad con que esto ocurra dependerá del beneficio económico que obtengan las empresas del sector, así como de los retos pendientes por desarrollar como la mejora de los motores para que tengan una gran capacidad energética pero que, a su vez, tengan altas prestaciones y sean más compactos y silenciosos. La tecnología se tiene, solamente faltan inversiones y voluntad para que el vehículo eléctrico se convierta en el modelo de movilidad de un futuro próximo.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

4.1 INTRODUCCIÓN

La historia del vehículo eléctrico comienza a mediados del siglo XIX. Sin embargo, este tipo de vehículo innovador solamente aguantó hasta los primeros años del siglo XX. El alto coste de fabricación, la baja velocidad punta y la poca variedad de vehículos comparado, más tarde, con los de combustión interna, llevaron al vehículo eléctrico a un rechazo a nivel internacional.

A principios del siglo XX, el interés por la electricidad y otras fuentes de suministro alternativo fue incrementando debido al preocupante crecimiento de problemas asociados a los combustibles basados en hidrocarburos, además de los daños al medio ambiente causados por sus emisiones y la sostenibilidad de la actual infraestructura de transporte que, como se ha dicho, está basada en hidrocarburos.

4.2 HECHOS MÁS RELEVANTES

En 1834, un herrero de Vermont (EEUU) llamado **Thomas Davenport** construyó un aparato similar el cual operaba en una pequeña vía circular electrificada.



Ilustración 1: Motor de Thomas Davenport

El primer vehículo eléctrico, tal y como lo conocemos hoy en día, fue construido en 1837 por el químico escocés **Robert Davidson**. Lo propulsó mediante unas baterías galvánicas. Este mismo, poco después, inventaría una gran locomotora llamada *Galvani*, que se exhibiría en la *Royal Scottish Society o Arts Exhibition* en 1841. El motor de siete toneladas tenía dos motores de reluctancia de accionamiento directo con unos electroimanes fijados a unas barras de hierro que, a su vez, iban unidas a un cilindro de madera en cada eje, y un conmutador simple. Arrastraba una carga de seis toneladas a 6,5 Km/h para una distancia de 2,4 Km. Fue probada en las vías de ferrocarril de Edimburgo y Glasgow en septiembre del año siguiente, pero la limitación de las baterías evitó su uso generalizado. Aun así, fue destruida por trabajadores de las vías de ferrocarril, quienes dijeron que lo habían hecho porque representaba una amenaza para su trabajo.

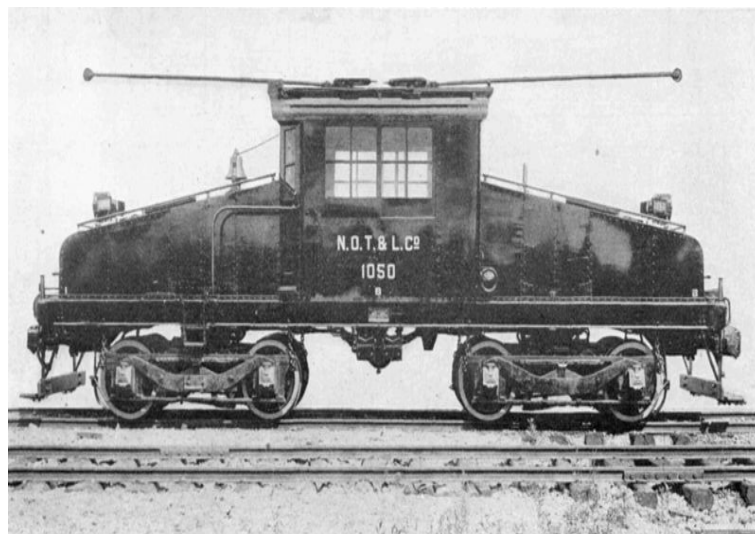


Ilustración 2: Locomotora eléctrica similar a la que construyó Robert Davenport

La creación de baterías viables para el negocio del movimiento, gracias a la electricidad, no empezó hasta 1859, con la invención de las baterías de plomo-ácido por parte del físico francés **Gaston Planté**.

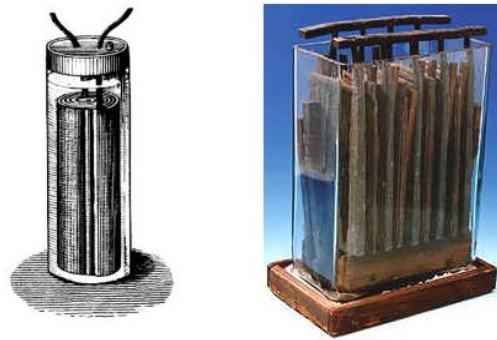


Ilustración 3: Batería de plomo-ácido de Gaston Planté.

Camille Alphonse Faure, otro científico francés, mejoró considerablemente el diseño de las baterías en 1881. Esa considerable mejora incrementó la capacidad de las baterías para su fabricación a escala industrial.

El inventor británico Thomas Parker, responsable del diseño del metro eléctrico de Londres, el tranvía elevado de Liverpool y Birmingham, construyó el primer coche eléctrico destinado a una producción en Londres en 1884, usando como su propio diseño de alta capacidad de baterías recargables como elemento propulsor. Parker mantuvo durante mucho tiempo su interés por la construcción de combustibles eficientes, lo que le llevó a experimentar con vehículos eléctricos. Él, además, estuvo siempre muy preocupado por los efectos nocivos del tabaco y la contaminación que había en Londres por aquel entonces.



Ilustración 4: Uno de los coches eléctricos de Thomas Parker en la puerta de la casa de la familia

El interés en los vehículos a motor se incrementó considerablemente en la década de 1890. Se crearon unos taxis propulsados por baterías eléctricas en Londres. **Walter C. Bersey** diseñó una flota de estos taxis y los introdujo en las calles de la ciudad a partir de 1887. Ese mismo año, en Nueva York, *The Samuel's Electric Carriage and Wagon Company* puso en funcionamiento doce cabriolets eléctricos. La empresa estuvo funcionando con 62 vehículos hasta 1898 que los altos cargos de la empresa la convirtieron en la Electric Vehicle Company.



Ilustración 5: Taxi eléctrico de Walter C. Bersey

En 1911, el primer híbrido de gasolina y electricidad fue lanzado por la *Woods Motor Vehicle Company* de Chicago. El híbrido fue un fracaso de ventas debido a lo lento que era para su precio y también por su escasa maniobrabilidad.

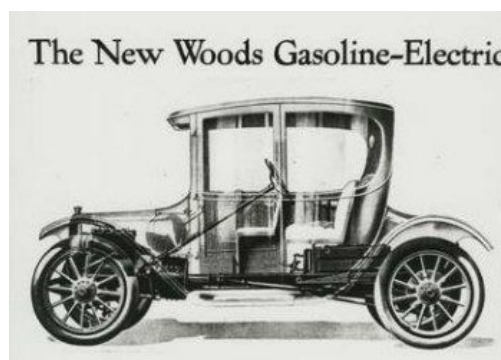


Ilustración 6: Primer híbrido

Después del exitoso auge que tuvo a principios del siglo XX, el coche eléctrico comenzó a perder su posición en el mercado del automóvil. Varias causas afectaron a esta pérdida de éxito. Hacia 1920 una mejora de las infraestructuras en las carreteras requirió un rango de operación mayor que el que ofrecían los vehículos eléctricos. El descubrimiento internacional de las grandes reservas de petróleo contribuyó a que el precio de la gasolina bajara a niveles asequibles para mucha gente y esto generó la creación de más coches propulsados por gasolina. Los coches eléctricos fueron relegados a un uso urbano debido a su baja velocidad punta (entre 24 y 32 km/h) y a su bajo rango de operación (entre 50 y 65 km), además de que, en ese momento, los coches de gasolina eran más propios para viajar debido a que eran más rápidos y de más recorrido que sus equivalentes eléctricos.

Los coches de gasolina se convirtieron en los de más fácil operación debido a la invención del arrancador eléctrico por parte de **Charles Kettering** en 1912, el cual eliminó la necesidad de una manivela para arrancar el motor de gasolina, y el ruido emitido por estos se convirtió en algo más soportable gracias al uso de un silenciador, el cual fue inventado por **Hiram Percy Maxim** en 1897. Finalmente, la iniciación de la producción en masa de vehículos propulsados por gasolina gracias a **Henry Ford** disparó su precio a la baja. Por el contrario, el precio vehículos similares pero propulsados por electricidad continuaron subiendo. En 1912, un coche eléctrico se vendía al doble de precio que uno similar de gasolina.

La mayoría de los fabricantes pararon su producción de coches eléctricos alrededor de 1910. Los vehículos eléctricos se convirtieron en populares en aplicaciones en las cuales su límite de operación no presentaba grandes problemas. El transporte para las industrias, montacargas, carretillas, etc., fueron electrificadas en el momento de ser introducidas en el mercado por *Yale* en 1923. En Europa, especialmente en Reino Unido, potenciaron el uso de carrozas propulsadas por electricidad. Hacia 1920, el temprano apogeo que había tenido el coche eléctrico se había pasado, y, una década después, la industria del automóvil eléctrico había desaparecido.

Pasaron años sin que existiera un resurgimiento del uso del coche eléctrico. Cuando, debido a la Segunda Guerra Mundial, el combustible en los países que estaban luchando en ella empezó a escasear, estas potencias comenzaron a experimentar, de nuevo, con coches eléctricos.

Alrededor del año 1950, **Henney Coachworks** y *The National Union Electric Company* se embarcaron conjuntamente en un proyecto de un nuevo coche eléctrico. El Henney Kilowatt, basado en la European Renault Dauphine. El coche fue producido para una configuración de entre 36 y 72 voltios. Los modelos de 72 voltios tenían un tope de velocidad punta de 96 Km/h y podían estar viajando alrededor de una hora sin necesidad de recargar. A pesar de las mejoras de este coche con respecto a los anteriores coches eléctricos, los consumidores lo veían muy caro con respecto a los coches de gasolina de la época y, por ello, su fabricación finalizó en 1961.



Ilustración 7: Henney Kilowatt

El 31 de Julio de 1971, un coche eléctrico recibió la distinción de ser el primer coche tripulado para conducirlo en la Luna. Fue el Lunar Rover y se utilizó durante la misión a la Luna del Apollo 15.

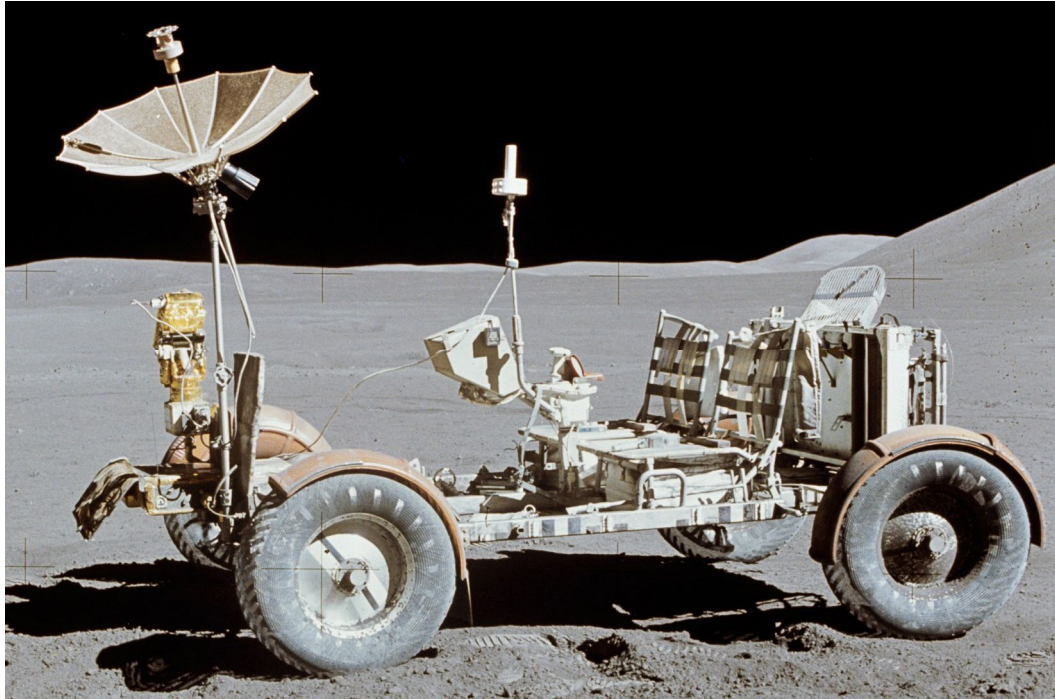


Ilustración 8: Primer vehículo tripulado en el espacio, Lunar Rover.

Años después de estar fuera del foco de atención de los ingenieros y los países y, debido a la crisis energética entre los años 1970 y 1980, se renovó el interés por la independencia que podían tener los coches eléctricos debido a las fluctuaciones del mercado de la energía de los hidrocarburos. En el año 1990, en *Los Angeles Motor Show*, el presidente de *General Motors*, **Roger Smith**, desveló el *GM Impact*, como concepto de coche eléctrico, junto con el anuncio de que a GM le gustaría construir coches eléctricos para venderlos a todos los públicos.



Ilustración 9: Impact, General Motors, 1990

A principios de 1990, los fabricantes desarrollaron modelos eléctricos, incluyendo el *Chrysler TEVan*, *Ford Ranger EV*, *GM EV1* y *S10 EV*, *Honda EV Plus*, *Nissan Altra EV* minivan con batería de litio y el *Toyota RAV4 EV*.



Ilustración 10: Honda EV

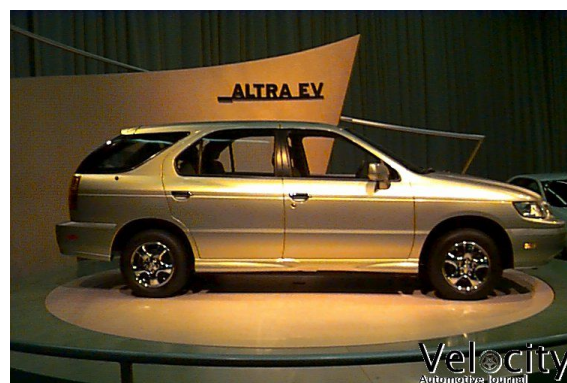


Ilustración 11: Nissan Altra EV

En 1999, El *Honda Insight hybrid* se convirtió en el primer híbrido a la venta en USA desde el poco conocido *Woods Hybrid* de 1917.

Los vehículos híbridos, los cuales destacaban por una combinación de propulsión de electricidad y combustible, fueron vistos como una posibilidad de equilibrio entre las dos formas de propulsión, ofreciendo un cuidado del medio ambiente por un lado y una economización del combustible por otro, sin entorpecer el poco campo de operación de los vehículos totalmente eléctricos. No obstante, incrementó el precio con respecto a los vehículos de gasolina. La venta fue pobre debido a la falta de interés por los coches de pequeño tamaño y de tener un combustible eficiente en aquellos años. La crisis energética de los años 2000 renovó el interés por los coches híbridos y eléctricos. En EEUU la venta de *Toyota Prius* (los cuales habían estado en venta desde 1999 en algunos mercados) se disparó, y varios fabricantes copiaron ese modelo, lanzando al mercado los suyos propios.



Ilustración 12: Toyota Prius 1999

La economía mundial entró en recesión a final de la primera década de siglo XXI lo que condujo al incremento, por parte de los fabricantes de coches, del abandono de los combustibles ineficientes, los cuales estaban vistos como un símbolo del exceso que causó la recesión, en favor de los pequeños coches, coche híbridos y coches eléctricos. La aparición de las baterías de litio, importadas de la electrónica que eran más estables que las actuales hasta ese momento logró ampliar la autonomía de los automóviles.



Ilustración 13: Batería de Litio

El fabricante de coches eléctricos de California, *TESLA Motors*, empezó a desarrollar en 2004 el *Tesla Roadster*, que fue el primero que distribuyó la empresa a los consumidores en 2008. El *Roadster* fue el primer vehículo capaz de andar por autovías, autopistas, que se produjo en serie en Estados Unidos. Desde 2008, *Tesla* ha vendido más de 2100 unidades en 31 países hasta diciembre de 2011. El *Roadster* fue, además, el primer automóvil en usar baterías de litio y, también, el primer vehículo completamente eléctrico en

recorrer alrededor de 320 km con una sola carga. Tesla aguantó la venta del *Roadster* hasta principios del año 2012 cuando lo sustituyó por el *Lotus Elise*. Tesla paró la producción de este tipo de coche en el mercado estadounidense en agosto de 2011, y en 2012 *Tesla Roadster* se vendió de forma limitada en Europa, Asia y Australia.



Ilustración 14: Tesla Roadster

Las grandes compañías, incluyendo *Nissan* y *GM* han manifestado que el *Roadster* ha sido el punto de partida para la demostración de que los consumidores apuestan, cada vez más, por vehículos eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

A partir de este son muchos los vehículos que han salido al mercado, pero aún se está innovando ya que no termina de implantarse debido a diversos, entre ellos, autonomía aún insuficiente y políticas a favor de los combustibles fósiles.

NORMATIVA LEGAL

5. NORMATIVA LEGAL

En este apartado se va a conocer 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.

5.1 EN ESPAÑA

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

5.1.1. 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.

5.1.2. 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 supervalve para la recarga nocturna de vehículos eléctricos.

5.1.2.1 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 mercado mayorista. En el día del escrito de estas líneas el estado de este término es el que se aprecia en la figura 1:

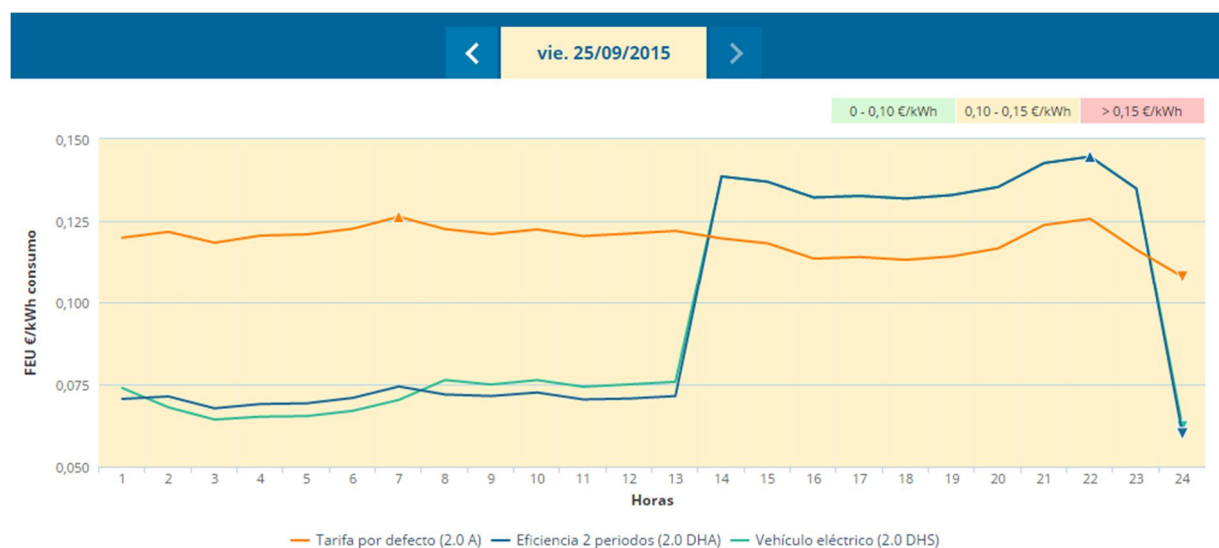


Figura 1: Término de Facturación de Energía Activa del PVPC

Que para la tarifa exclusiva del vehículo eléctrico y mirando una hora aleatoria, por ejemplo, la hora 3, se tiene la figura 2:

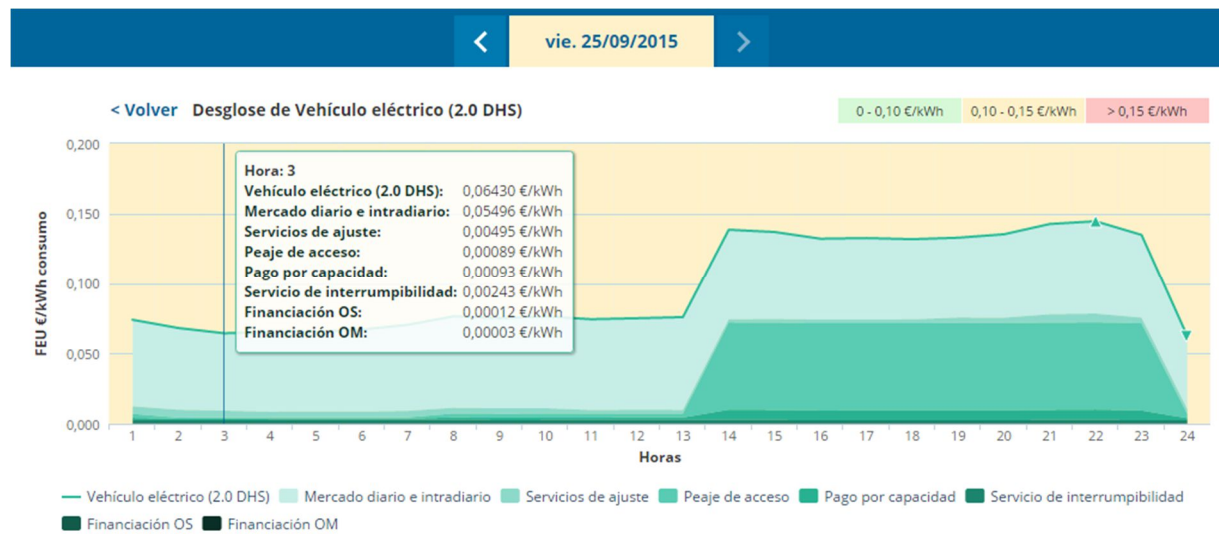


Figura 2: Término de Facturación de Energía Activa del PVPC de Vehículo Eléctrico en la hora 3

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.

5.1.3. 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.

5.1.4. Real Decreto para la 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 (figura 3), centralización de contadores separada (figura 4), destinada a aquellas fincas que no tengan espacio en la centralización de contadores principal, y centralización de contadores exclusiva para puntos de recarga.

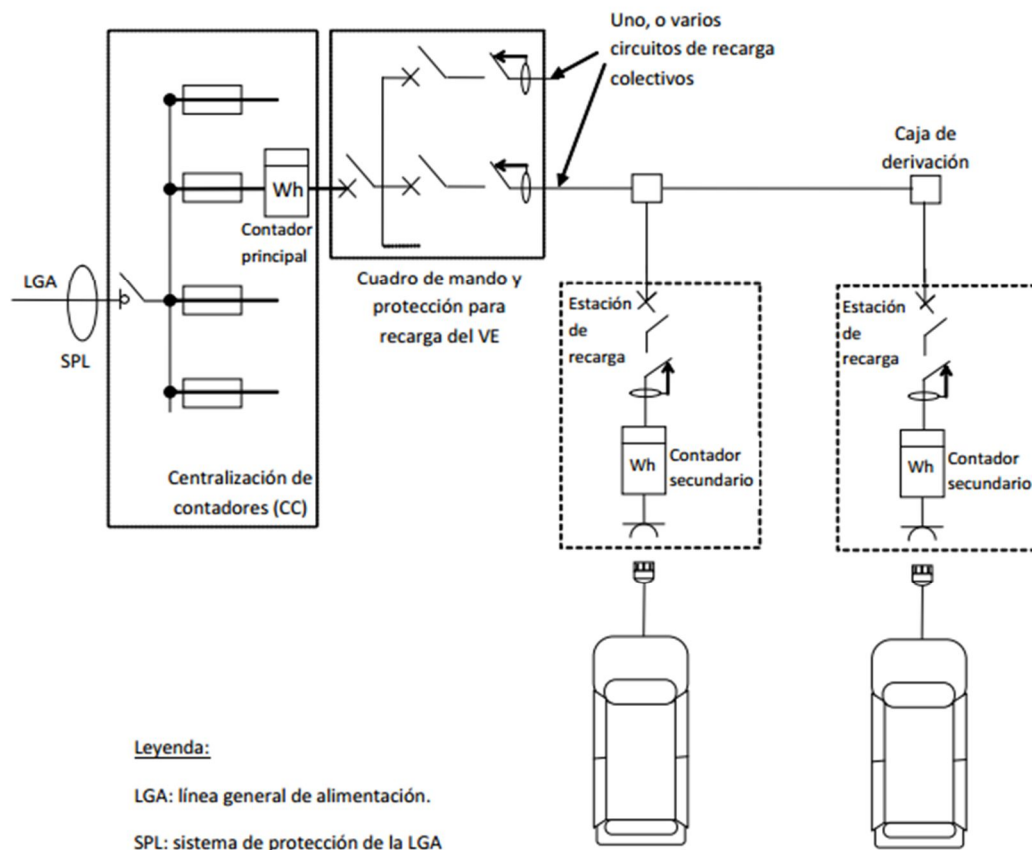


Figura 3: Esquema 1a. Instalación colectiva troncal con contador principal en el origen de la instalación y contadores secundarios en las estaciones de recarga.

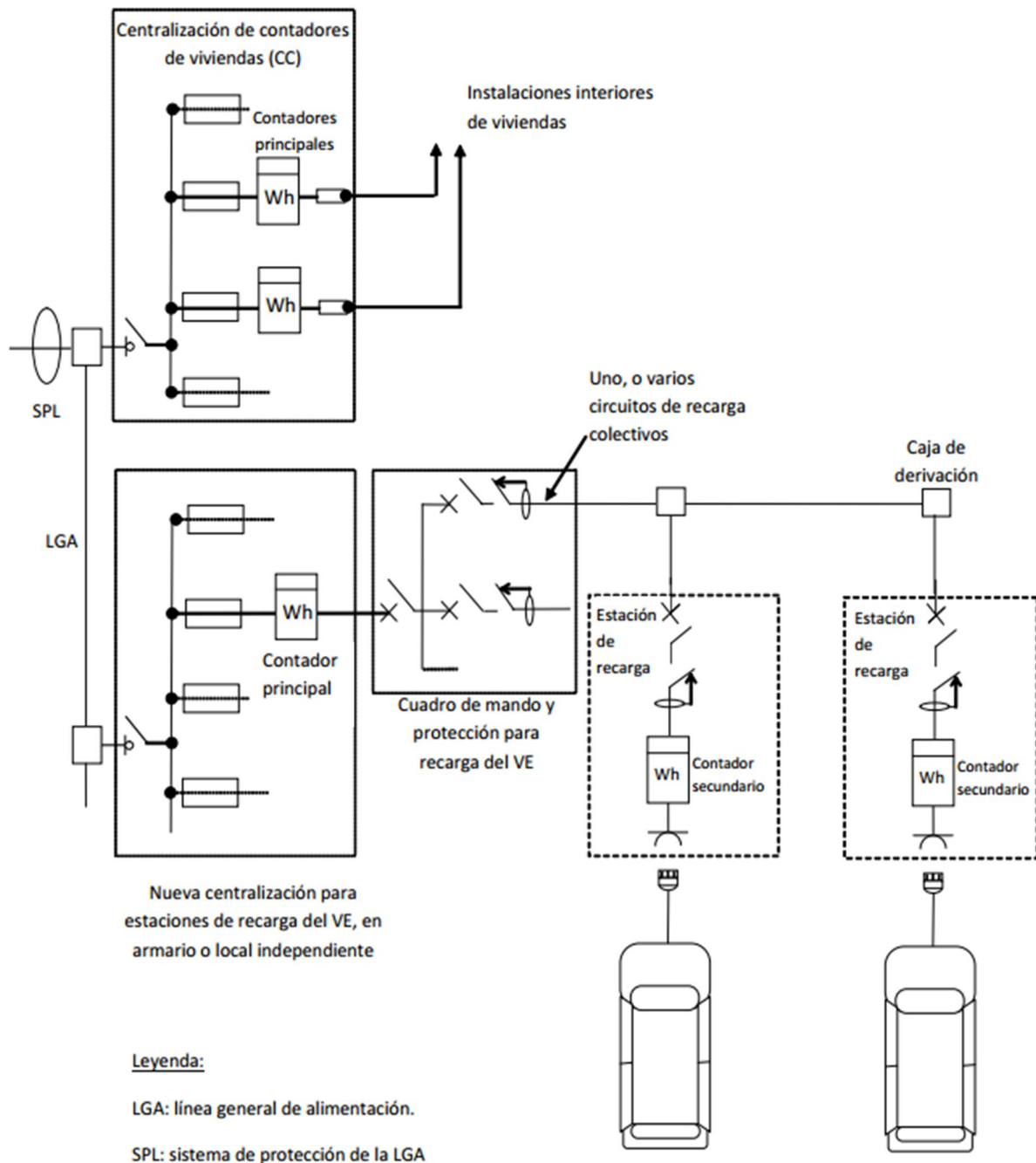


Figura 4: Esquema 1b. Instalación colectiva troncal con contador principal en origen de la instalación y contadores secundarios en las estaciones de recarga (con nueva centralización de contadores para recarga VEHÍCULO ELÉCTRICO).

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 (figura 5).

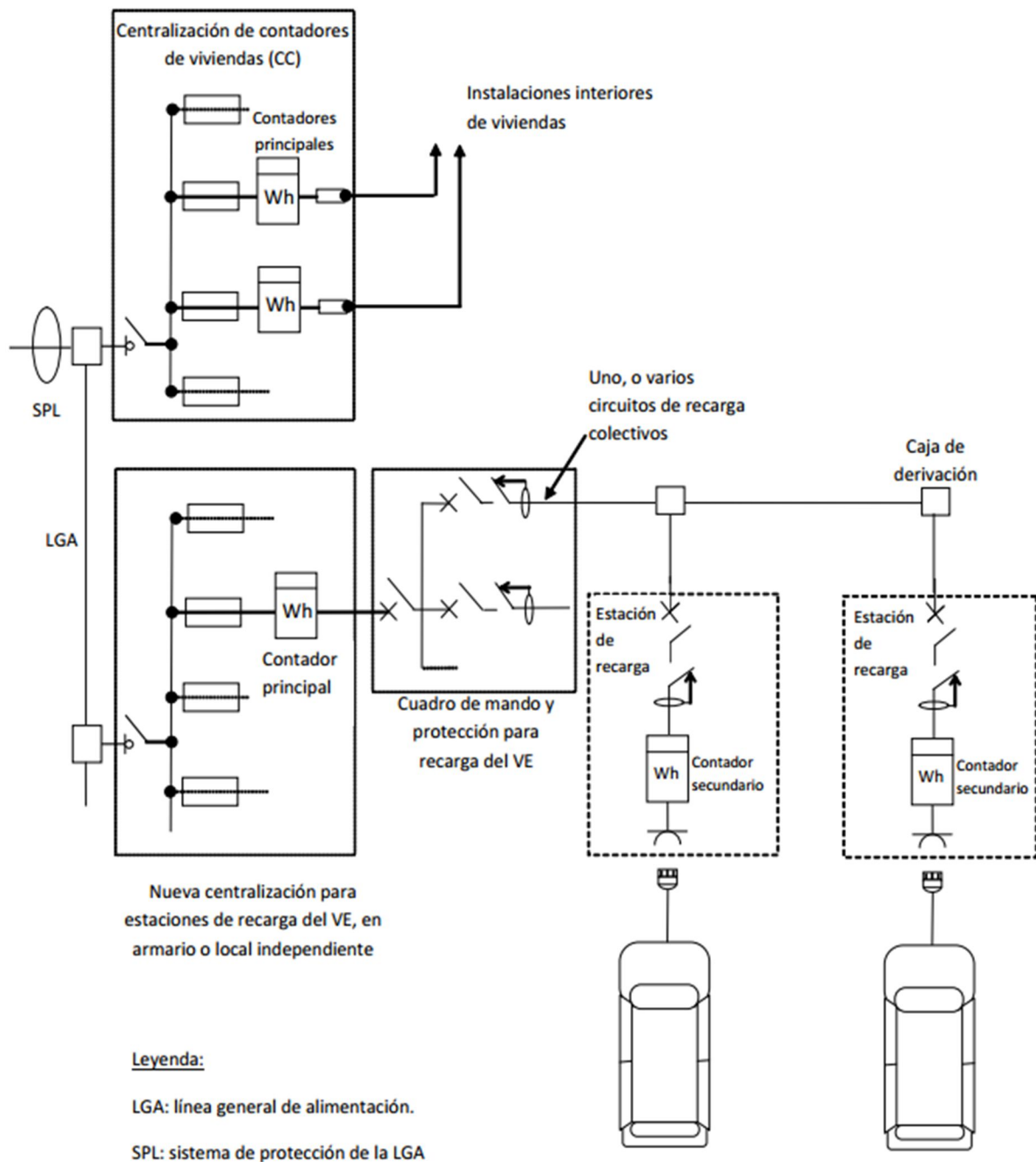


Figura 5: Esquema 1c. Instalación colectiva con un contador principal y contadores secundarios individuales para estación de recarga.

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.

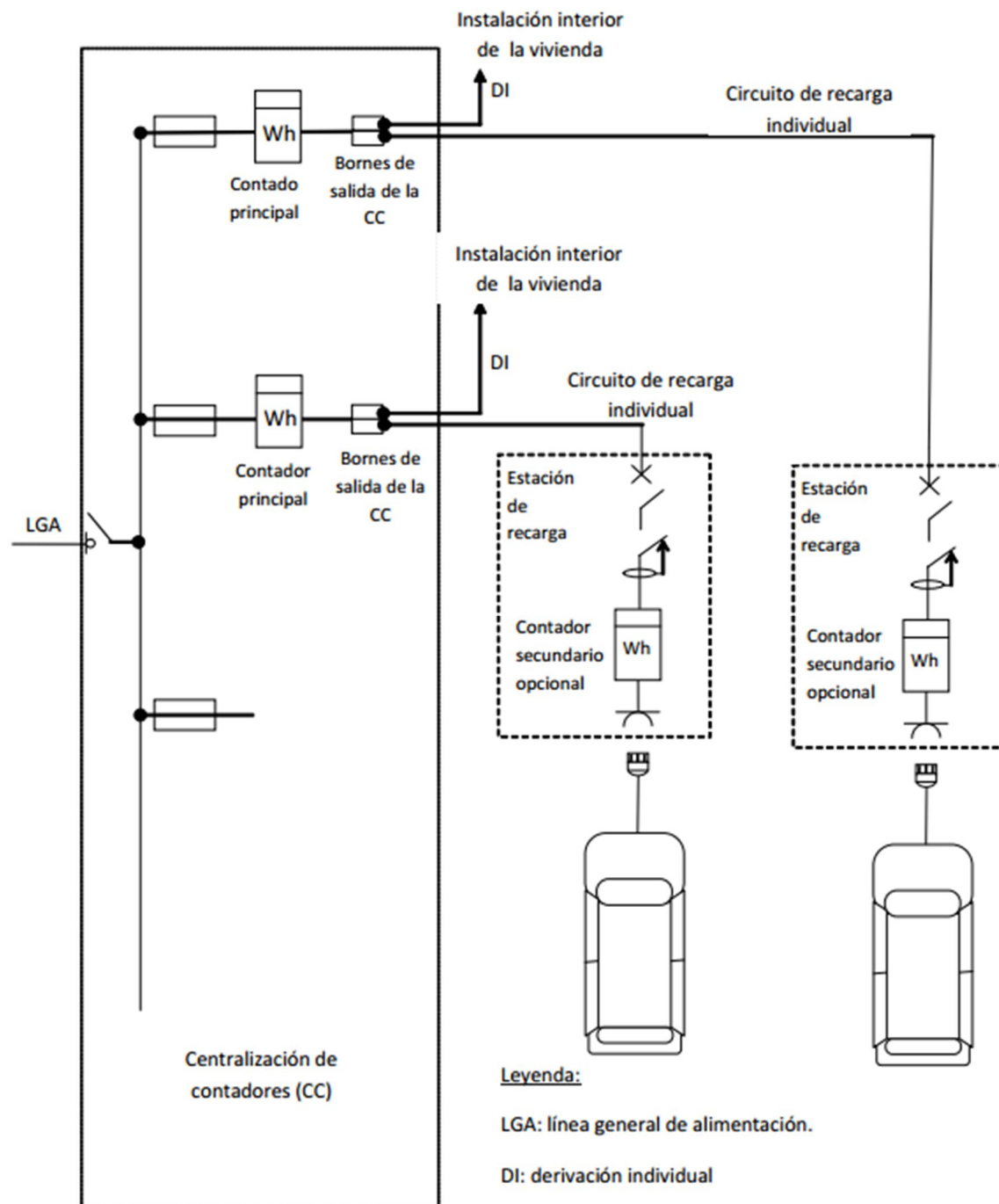


Figura 6: Esquema 2. Instalación individual con un contador principal común para la vivienda y para la estación de recarga.

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 (figura 6).

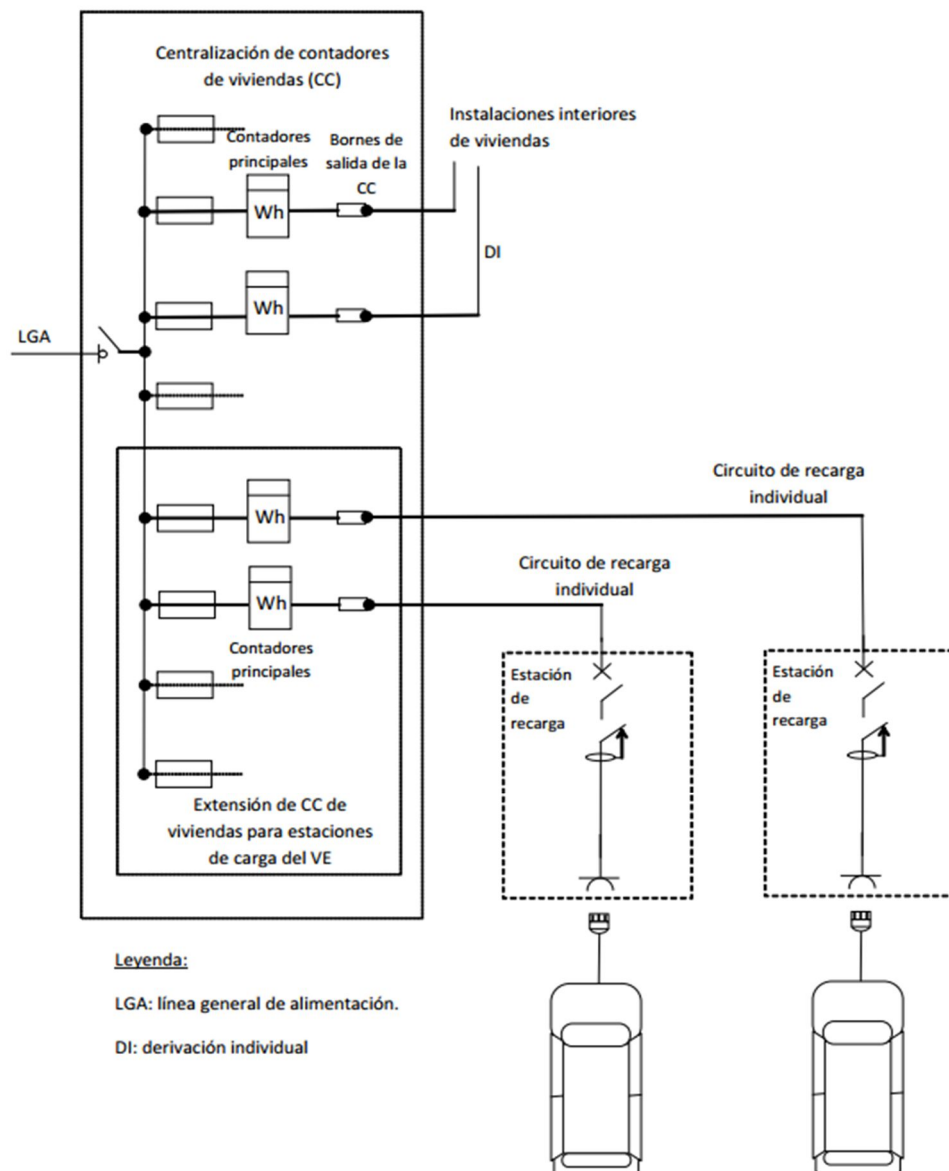


Figura 7: Esquema 3a. Instalación individual con un contador principal para cada estación de recarga (utilizando la centralización de contadores existentes)

- Nuevo contador para punto de recarga en diferente centralización de contadores si no hay sitio (figura 7).

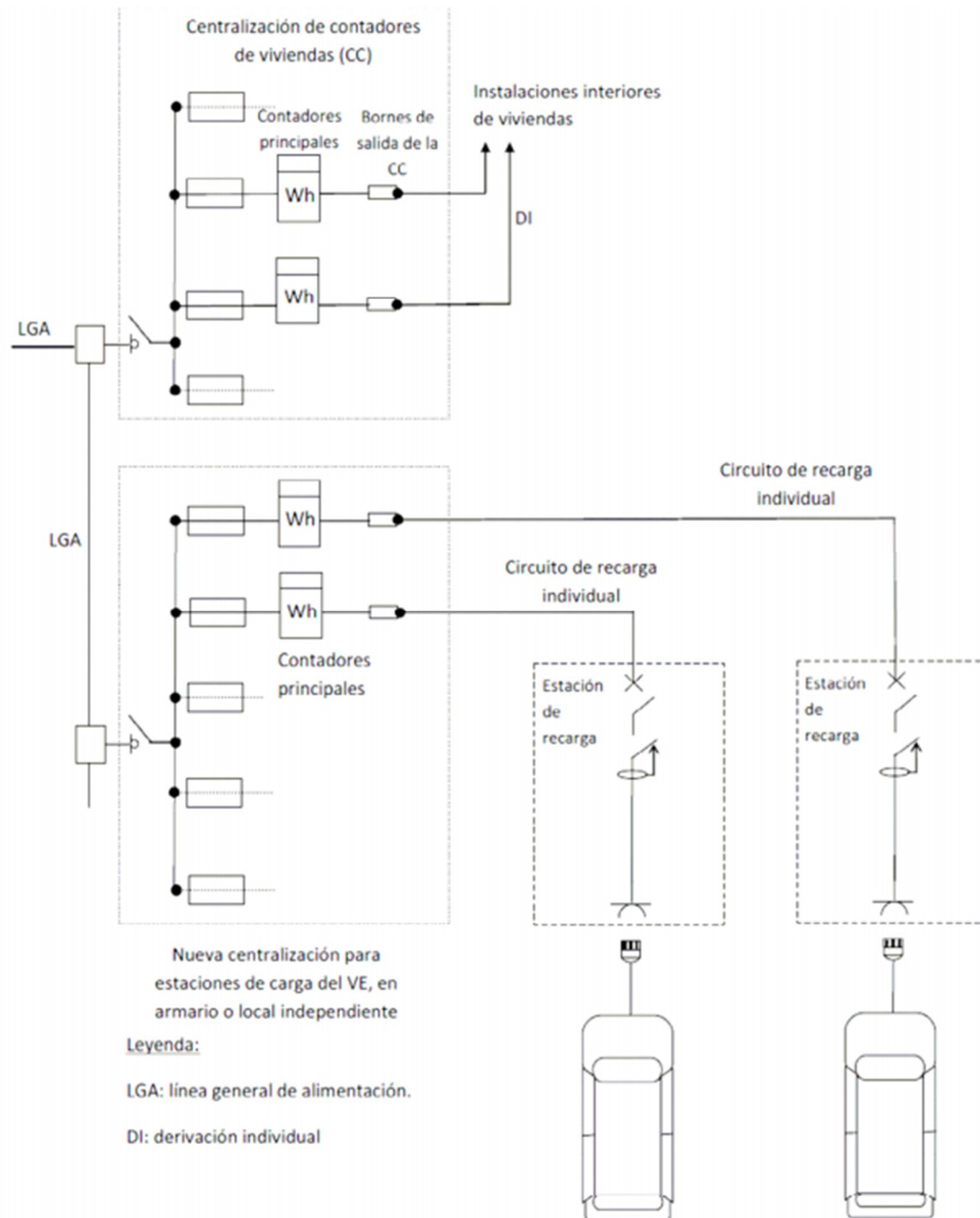


Figura 8: Esquema 3b. Instalación individual con un contador principal para cada estación de recarga (con una nueva centralización de contadores)

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

Cuadro destinado a viviendas individuales, empresas, garajes privados.

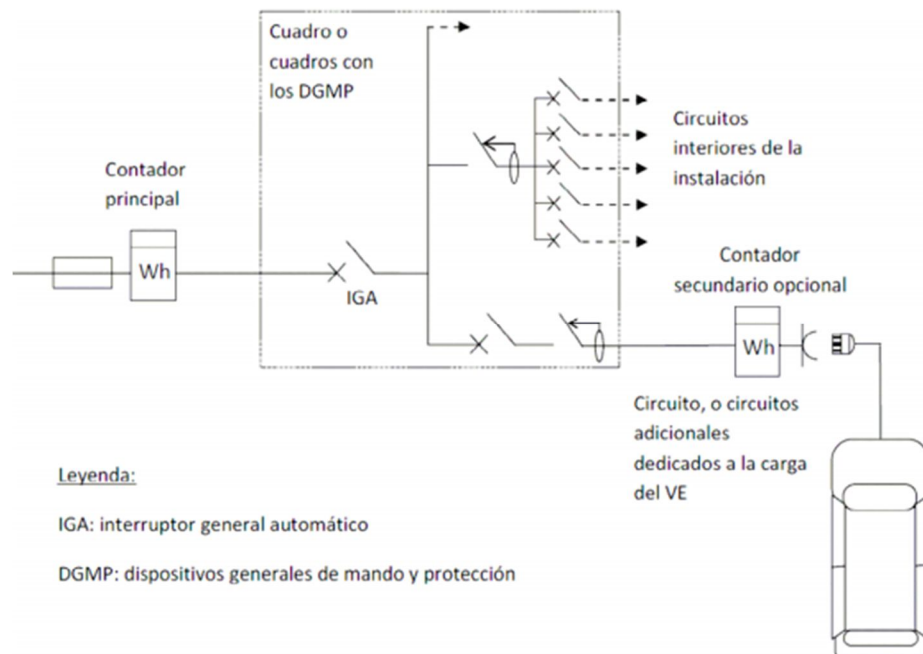


Figura 9: Esquema 4a. Instalación con circuito adicional individual para la recarga del VEHÍCULO ELÉCTRICO en viviendas unifamiliares

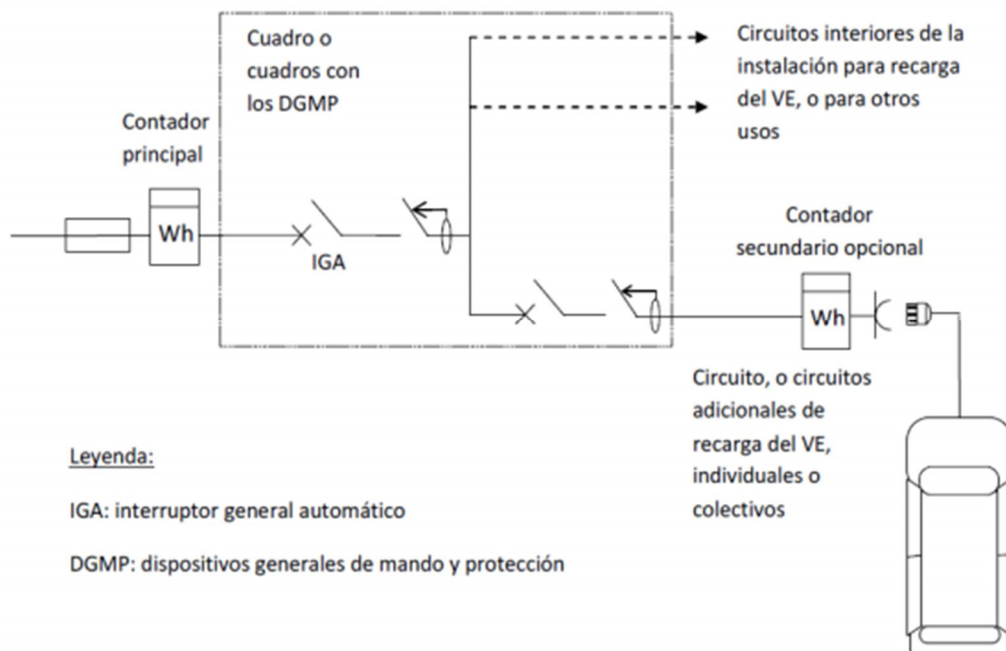


Figura 10: Esquema 4b. Instalación con circuito o circuitos adicionales para la recarga del VEHÍCULO ELÉCTRICO.

5.2 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 .

5.3 EN EL MUNDO

5.3.1. IEC 61851 Sistema conductivo de carga para VE

5.3.1.1 IEC 61851-1: Requisitos generales

Esta parte de la Norma CEI 61851 se aplica a equipos para cargar vehículos de carretera eléctricos a tensiones de alimentación de corriente alterna normalizada de hasta 690 V y a tensiones de corriente continua de hasta 1 000 V, y para proporcionar potencia eléctrica a cualquiera de los servicios adicionales en el vehículo si se requieren cuando esté conectado a la red de alimentación.

5.3.1.2 IEC 61851-21: Requisitos de VE para conexión conductora a red en C.A./C.C.

Esta parte de la Norma CEI 61851 junto con la parte 1 proporciona los requisitos del vehículo eléctrico para la conexión conductora en corriente alterna o corriente continua., para tensiones de corriente alterna según la Norma CEI 60038 de hasta 690 V y tensiones de corriente continua de hasta 1000 V, cuando el vehículo esté conectado a la red de alimentación.

5.3.1.3 IEC 61851-22: Estación de carga en C.A. para VE

Esta parte de la Norma CEI 61851, junto con la parte 1, proporciona los requisitos de las estaciones de carga del vehículo eléctrico en corriente alterna para la conexión conductiva a un vehículo eléctrico, para tensiones de alimentación de corriente alterna según la Norma CEI 60038 de hasta 690 V.

5.3.2. IEC 62196: Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.

Estándar internacional para conectores y modos de recarga de vehículo eléctrico

- IEC 62196- 1: Requerimientos generales
- IEC 62196-2: Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para los accesorios de espigas y alvéolos en corriente alterna.

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.

BATERÍAS

6. BATERÍAS

6.1 COMPONENTES BÁSICOS DE LAS BATERÍAS

Una batería es un dispositivo electroquímico 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:

- Electroodos.
- Electrolito.
- Separadores.
- Vaso.

6.1.1. *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 entercara 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.

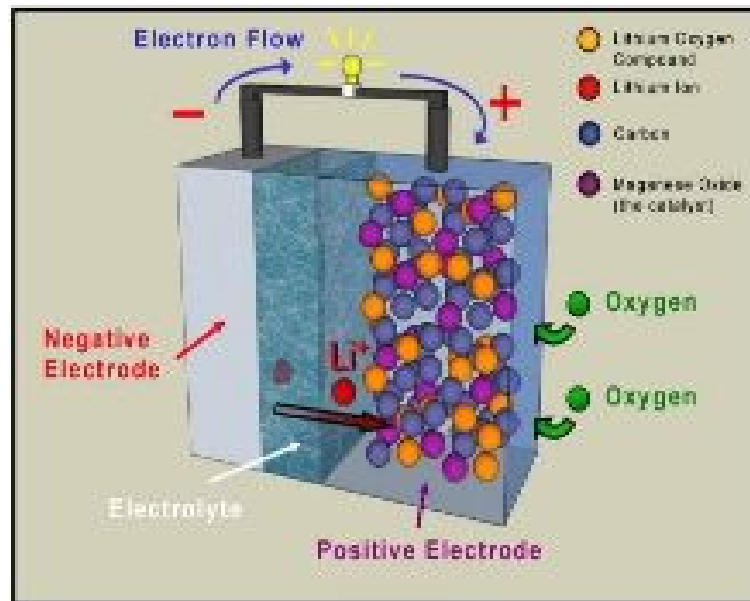


Ilustración 15: Electrodos de las baterías eléctricas

6.1.1.1 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.

6.1.1.2 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, en el de las baterías de $Ni-Cd$, está compuesto por óxido de níquel (NiO).

6.1.2. 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.

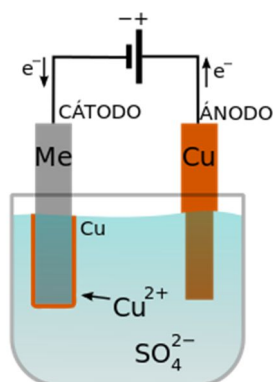


Ilustración 16: Electrolito

6.1.3. 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.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS

Existen varios criterios para clasificar las baterías, como son:

- Por la posibilidad de carga, que pueden ser:
 - primarias
 - secundarias.
- Por el tipo de electrodo, que pueden ser de:
 - P_b -ácido
 - $Ni-Cd$
 - etc.
- Por la forma de uso, que pueden ser:
 - portátiles
 - estacionarias.
- Por el tipo de electrolito, que puede ser:
 - acuoso
 - no acuoso
 - alcalinas
 - etc.
- Por su tamaño, con una energía que puede ir desde mWh hasta MWh.
- Por sus aplicaciones, como pueden ser:
 - Arranque
 - Tracción
 - nivelación de picos
 - etc.

6.2.1. 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.



Ilustración 17: Batería primaria

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.



Ilustración 18: Batería secundaria

6.2.2. Clasificación según 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 1: Clasificación de las baterías en función de su tamaño.

6.3 PARÁMETROS

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

$$Q = n \cdot F \cdot N \quad (\text{Ecuación 6.1})$$

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].

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

$$P = I \cdot E \quad (\text{Ecuación 6.2})$$

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].

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

$$E = E_e - \eta_A - \eta_C - \eta_R \quad (\text{Ecuación 6.3})$$

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].

La energía de la batería viene dada por el producto de la tensión por la capacidad, tal y como demuestra la siguiente ecuación

$$J = n \cdot F \cdot N \cdot E \quad (\text{Ecuación 6.4})$$

Donde:

- J , es la energía que la batería es capaz de entregar, dada en vatios-hora [Wh].

6.4 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. Pues 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 sólo 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 de esta manera 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 tiende a evaporarse, formándose O_2 en las placas positivas y H_2 en las placas negativas. Como consecuencia de la pérdida del electrolito, los electrodos quedan fuera de él 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.

6.5 DESCARGA PROFUNDA

Este fenómeno es más frecuente en las baterías de arranque de los vehículos. Cuando el usuario 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.

6.6 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.

6.7 CARGA DE LAS BATERÍAS

La carga de las baterías se puede realizar tanto con corriente alterna (c.a.) como con corriente continua (c.c.). Si la carga se realiza con corriente alterna, ésta ha de transformarse en corriente continua a través del equipo adecuado (convertidor).

6.7.1. Carga a tensión constante

En este tipo de carga se fija un valor de tensión y 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 estado ésta ya cargada, por lo que se produce la sobrecarga de la misma.

6.7.2. Carga a intensidad y tensión constantes

En este caso, el acumulador comienza la carga a una intensidad constante. Cuando éste 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.

6.7.3. 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 el acumulador, y la capacidad que ha sido extraída al mismo.

Este sistema debe contemplar la desconexión automática por tiempo.

6.7.4. 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.
- 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% y, 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.

6.8 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.

6.8.1. Mantenimiento preventivo

Las normas pertenecientes a este grupo recogen las actividades primarias que se deben ejecutar sobre los sistemas en explotación. Estas están dirigidas a labores de:

- Control
- Ajuste
- Revisión
- Detección
- 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.

6.8.2. Mantenimiento correctivo

Son todas aquellas actividades realizadas una vez que la batería está dañada. Ante estos casos, el fabricante aconseja la sustitución del equipo y, para ello también hay que seguir sus indicaciones.

6.9 BATERÍAS UTILIZADAS EN TRACCIÓN

6.9.1. Introducción

Este es uno de los aspectos con más secretismo y que más quebraderos de cabeza les está dando a las grandes marcas fabricantes de vehículos eléctricos. La autonomía de estos vehículos es la gran asignatura pendiente para que el vehículo eléctrico termine de arrancar y poder así consolidarse en el mercado del sector automovilístico. Y es que, aunque se están llevando a cabo multitud de investigaciones, no se termina de dar con la solución para encontrar una batería que genere una autonomía suficiente para poder competir de tú a tú con la autonomía de los vehículos que utilizan motores de combustión interna para su tracción.

Alguna de las investigaciones que se están llevando a cabo son unas baterías que tiene como novedad la utilización de un electrolito sólido y un ánodo metálico recubierto de un material especial. Estas, además, serían más seguras porque los electrolitos sólidos utilizados no son inflamables, en cambio, los líquidos sí lo son. Estas baterías darían una autonomía de unos 350 km, que comparado con los 160 km que ofrecen, a día de hoy, las baterías de litio-ion es un gran avance.

Aún con esas baterías mejoradas se están aún muy lejos de los entre 700 y 1200 km de autonomía (los más usuales) que tienen los vehículos de combustión interna. No se sabe cuándo llegarán tampoco estas baterías pero hasta entonces lo que si se puede saber es cuales se están utilizando en estos momentos.

6.9.2. Baterías actuales

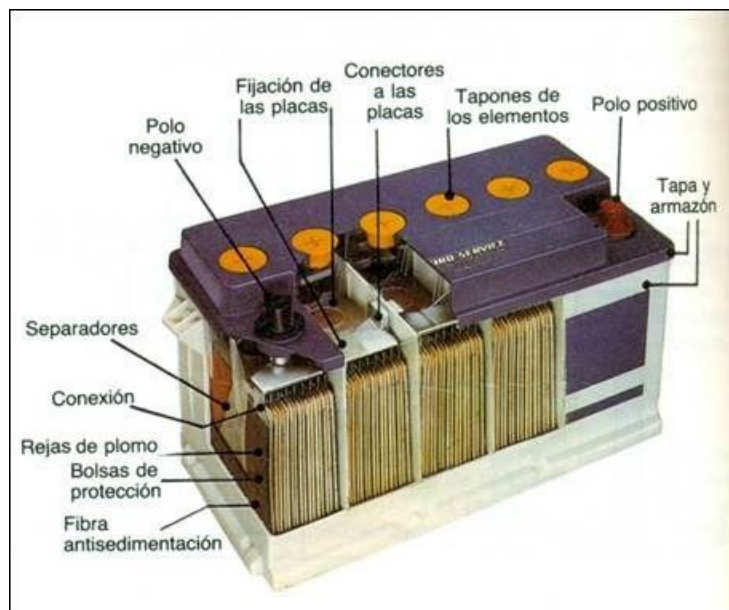
A la hora de seleccionar una batería se tiene que tener en cuenta la cantidad de energía que esta puede almacenar, ya que de esto dependerá la autonomía del vehículo. Además, la batería ha de tener una potencia suficiente para que, el vehículo al que está destinada, pueda hacer frente a situaciones límite, 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. A parte, 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.

6.9.2.1 Plomo-ácido (Pb-ácido)

Todavía en uso, contienen plomo en el electrodo positivo y óxido de plomo en el electrodo negativo y, 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.

*Ilustración 19: Batería de plomo-ácido*

6.9.2.2 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.

*Ilustración 20: Batería Níquel-cadmio*

6.9.2.3 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.



Ilustración 21: Batería Níquel-hidruro metálico

6.9.2.4 Ión-litio (Li-ion)

Su ánodo suele ser de grafito y su 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 la gran sensibilidad a la temperatura (tanto al frío como al calor) y el alto riesgo de

explosión en caso de colisión debido a cortocircuitos internos que se pudieran producir.

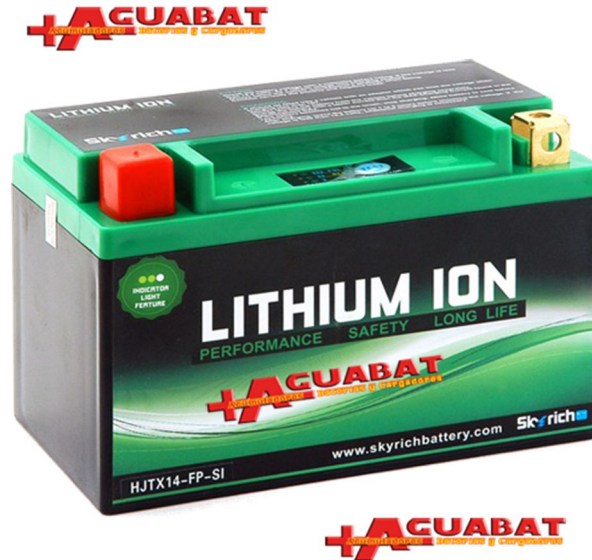


Ilustración 22: Batería Litio-ión

Un estudio realizado en noviembre de 2014, en el que se cogieron una serie de vehículos eléctricos ya implantados en esas fechas, quiso conocer la autonomía real de dichos vehículos sometiéndolos a la conducción de un usuario más o menos homogéneo en un día relativamente normal. Le pusieron condiciones normales que afronta un usuario normal cada día, pendientes negativas, positivas, conducción por ciudad, por autovías. Hicieron la comprobación entre la autonomía teórica que da el fabricante en la venta del vehículo y la autonomía real dentro de unas condiciones más o menos homogéneas para cualquier usuario, incluyendo una recarga a mitad del día (hora de comer de cualquier trabajador). Los resultados aparecen en la siguiente tabla. Hay que decir que algunos no llegaron a su autonomía teórica y otros la pasaron con creces por lo que la autonomía que proporciona el fabricantes es meramente orientativa. El ranking está hecho teniendo en cuenta muchos parámetros, incluido el del tipo de recarga de cada vehículo en el tiempo que estuvieron cargándose a mitad del día, es decir, se utilizó para todos el mismo sistema de recarga.

Ranking	Vehículo	Tipo de batería	Autonomía teórica	Autonomía real
1	Kia Soul Electric	Polímero de litio 27 kWh	200 Km	210 Km
2	BMW i3	Litio-ión 22 kWh	160 Km	191 Km
3	Renault Zoe Life	Litio-ión 22 kWh	210 Km	185 Km
4	Volkswagen e-Golf	Litio-ión 24.2 kWh	190 Km	181 Km
5	Nissan Leaf Tekna	Litio-ión laminada 24 kWh	199 Km	177 Km
6	Volkswagen e-up!	Litio-ión 24.2 kWh	160 Km	167 Km
7	Ford Focus Electric	Litio-ión 23 kWh	162 Km	163 Km
8	Nissan e-NV 200 Evalia	Litio-ión laminada 24 kWh	167 Km	159 Km

Tabla 2: Ranking de autonomía

TRANSICIÓN. EL MOTOR HÍBRIDO

7. TRANSICIÓN, EL MOTOR HÍBRIDO

7.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La propulsión híbrida es la utilizada para referirse a vehículos con más de una fuente energética de propulsión. Estos sistemas, los híbridos, pueden incorporar varios tipos de condensadores y/o acumuladores de energía.

En principio, los vehículos híbridos no requieren una carga externa para las baterías ya que el propio sistema regenera esta carga aunque, últimamente, han aparecido unos modelos que si incorporan sistemas de recarga desde la red. Estos modelos se denominan PHEV (vehículo híbrido recargable).

Evidentemente, la idea de este tipo de vehículos es reducir el consumo de combustibles fósiles ya que, en tramos cortos o hasta una cierta velocidad, se controla totalmente con el motor eléctrico.

Existen dos modelos de vehículo híbrido:

- Híbridos en serie
- Híbridos en paralelo

7.1.1. Híbridos en serie

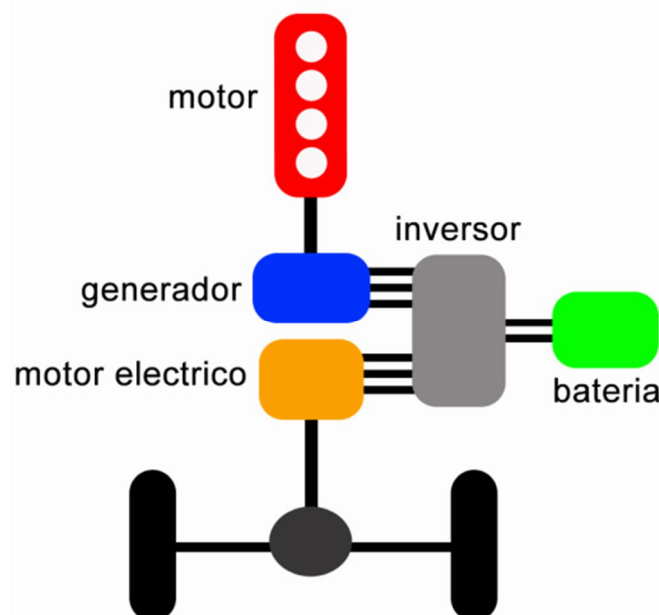


Figura 11: Híbrido en serie

En estos casos, el motor de combustión va unido a un generador, que produce electricidad, la cede al motor eléctrico y éste acciona el giro de las ruedas. Su nombre se lo debe a que el flujo de energía es en línea directa. Es posible operar a una determinada velocidad constante en un rango cercano a su punto de trabajo en cuanto a términos de eficiencia y energía se refiere. Esto es así debido a que el motor de combustión está desacoplado de la tracción. Además, mientras se mantienen estas condiciones se produce la carga de la batería. El problema de este sistema es su eficiencia mecánica entre el eje de tracción y el motor de combustión ya que, al ser la energía convertida en varias ocasiones, dicha eficiencia está en torno al 55%.

7.1.2. Híbridos en paralelo

La diferencia con respecto al híbrido en serie es que, en este caso, tanto el motor eléctrico como el motor de tracción pueden accionar la tracción del vehículo, dependiendo de las condiciones de conducción necesarias. Al contrario que el serie, en el híbrido paralelo la energía fluye en líneas paralelas. También se carga la batería mientras el motor de combustión acciona la tracción.

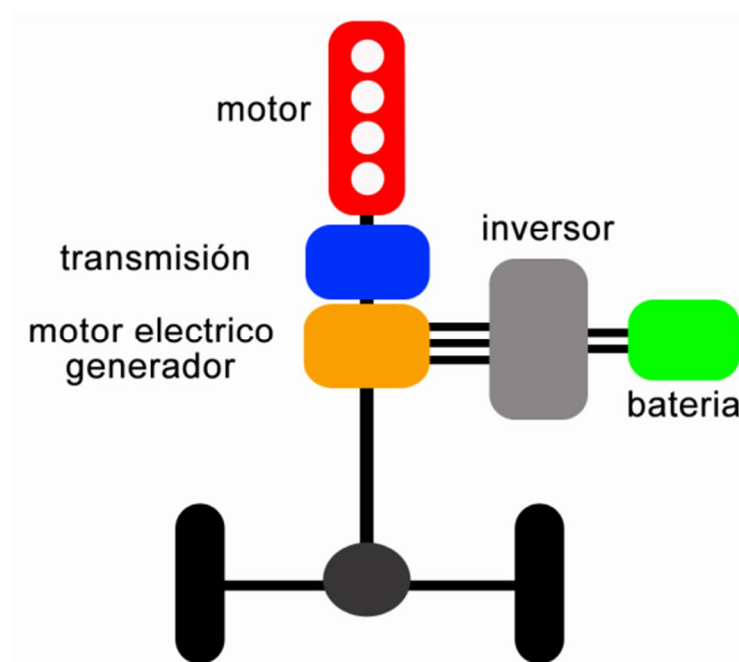


Figura 12: Híbrido en paralelo

Este tipo de distribución es la que más se utiliza dentro de la categoría de vehículos híbridos y sobre los que más se está investigando.

Según su combinación de energía se puede dividir en cuatro grupos:

- Híbridos en paralelo por combinación de fuerzas de tracción.
- Híbridos en paralelo por combinación de par en transmisión.
- Híbridos en paralelo por combinación de par en el eje.
- Híbridos en paralelo por combinación de velocidades.

7.1.2.1 Híbridos en paralelo por combinación de fuerzas de tracción

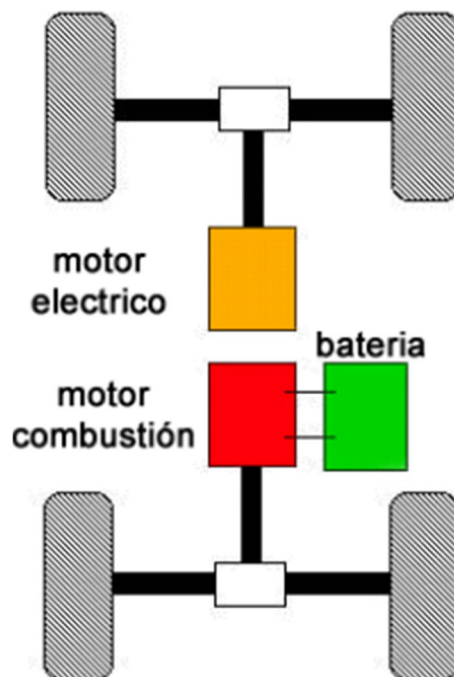


Figura 13: Por combinación de fuerzas de tracción

El par producido por cada motor es entregado a los ejes de forma distribuida, es decir, si el motor de combustión entrega el par al eje trasero, el motor eléctrico le entrega el par al eje delantero.

7.1.2.2 Híbridos en paralelo por combinación de par en la transmisión

El par de los motores se combina por medio un sistema de engranajes para después ser aplicado a la transmisión.

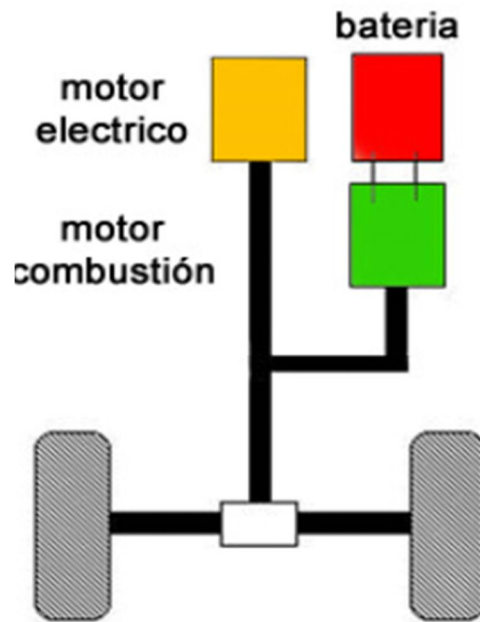


Figura 14: Por combinación de par en la transmisión

7.1.2.3 Híbridos en paralelo por combinación de par en el eje.

El motor de combustión y el motor eléctrico giran de forma solidaria en un mismo cigüeñal y combinan la entrega de sus pares en un solo eje para después aplicarlo a la transmisión.

Este sistema lo utiliza, por ejemplo, el Honda IMA.

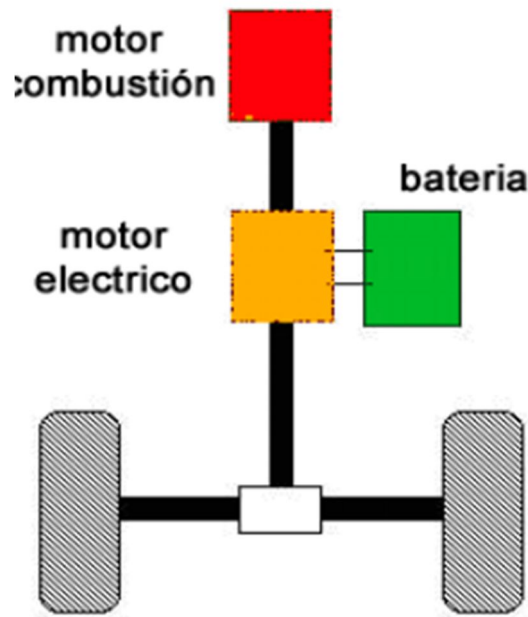


Figura 15: Por combinación de par en el eje

7.1.2.4 Híbridos en paralelo por combinación de velocidades.

Los motores giran a velocidades distintas y, sus distintos pares son acoplados a una caja de engranajes antes de llegar a la transmisión.

Este sistema lo utilizan, por ejemplo, el Toyota Prius o el Toyota THS con un sistema de combinación de fuerzas llamado Transeje..

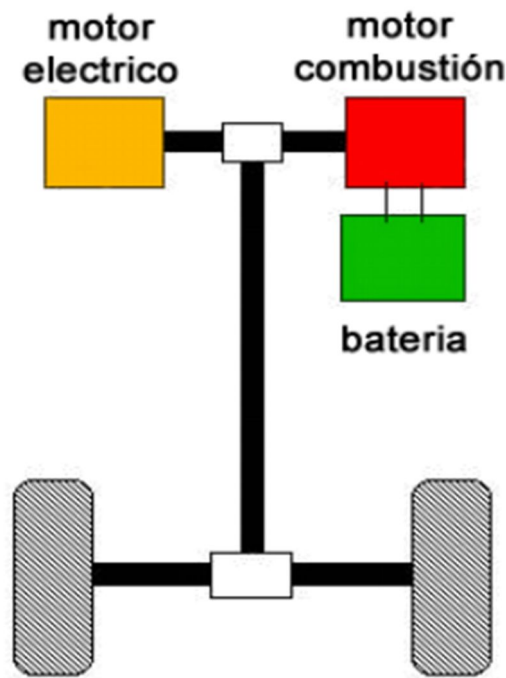


Figura 16: Por combinación de velocidades

7.2 DISTINTAS CONFIGURACIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Las distintas configuraciones de los vehículos híbridos según el grado de aportación de los motores eléctricos, a día de hoy, va a ser explicadas a continuación. Evidentemente el HEV se ha explicado en el punto 7.1, por lo que ahora se van comentar otras posibles configuraciones.

7.2.1. Micro Hybrid

Estos vehículos no son híbridos como porque, aunque llevan un motor eléctrico, éste no participa en la tracción del vehículo. Sin embargo, puede realizar otras funciones como mantener la climatización del vehículo en marcha aunque el coche esté parado. Con lo cual, aunque aporta algunas ventajas, presenta otras desventajas como que aumenta el consumo de energía del caso antes citado y que se necesita el alternador, para generar energía en las frenadas, con el fin de cargar las baterías y, esto, resulta muy poco eficiente debido a que el alternador no está diseñado para esa tarea.

7.2.2. Mild Hybrid

En este caso, ya se asemeja más a un vehículo híbrido y es que, en este, el motor eléctrico si está destinado a la tracción, pero solamente lo hace para recuperar energía en las frenadas y ayudar así en la aceleración al motor de combustión interna. En ningún caso, este tipo de vehículo, pueden circular utilizando el motor eléctrico debido a las pequeñas dimensiones de estos.

7.2.3. Vehículo eléctrico de célula de combustible (FCEV)

Estos motores no se pueden considerar del todo híbridos, pues no usan motor de combustión interna pero, al utilizar combustible para crear la electricidad, se pueden considerar en este apartado. Este tipo de vehículos utilizan una célula de hidrógeno como forma para crear la electricidad. Una de las ventajas o, la principal ventajas de estos vehículos, que los hace ser una apuesta muy buena para el futuro, es la de que utiliza el hidrógeno como fuente de energía. Este combustible no emite ninguna partícula contaminante en su reacción química a la hora de generar tensión.

7.2.4. Híbridos Plug-in (PHEV)

Este tipo de híbridos es una de las tendencias en las que más están trabajando los fabricantes. La idea de funcionamiento es parecida a un híbrido convencional, la mayoría de las veces se trata de un híbrido en serie, el motor térmico sólo mueve el generador para poder recargar la baterías, pero tienen alguna particularidad como la de poder ser recargados eléctricamente en cualquier fuente de tensión exterior.

Normalmente, la principal toma de energía de estos vehículos depende del motor de combustión, por lo que, el nivel de repostaje de combustible es elevado.

La característica principal de estos vehículos es, por tanto, que puede trabajar con el motor eléctrico en trayectos cortos, en la que la acción del motor térmico es nula, con lo que el consumo de combustible también lo es. Además, en esta tarea ayuda que la baterías pueden cargarse, como se ha explicado, desde fuentes de energía externa, por lo que el consumo de gasolina se reduce aún más.

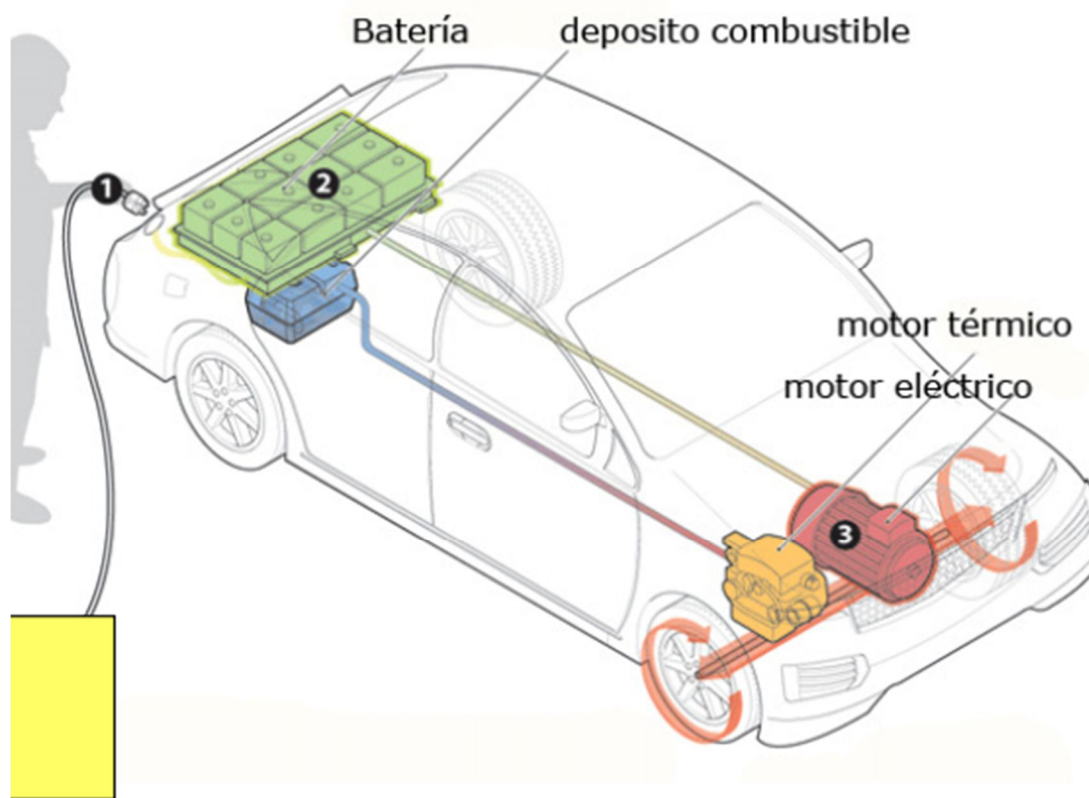


Figura 17: Híbrido Plug-In (PHEV)

7.3 EJEMPLO DE VEHÍCULOS CON DISTINTAS TECNOLOGÍAS HÍBRIDAS

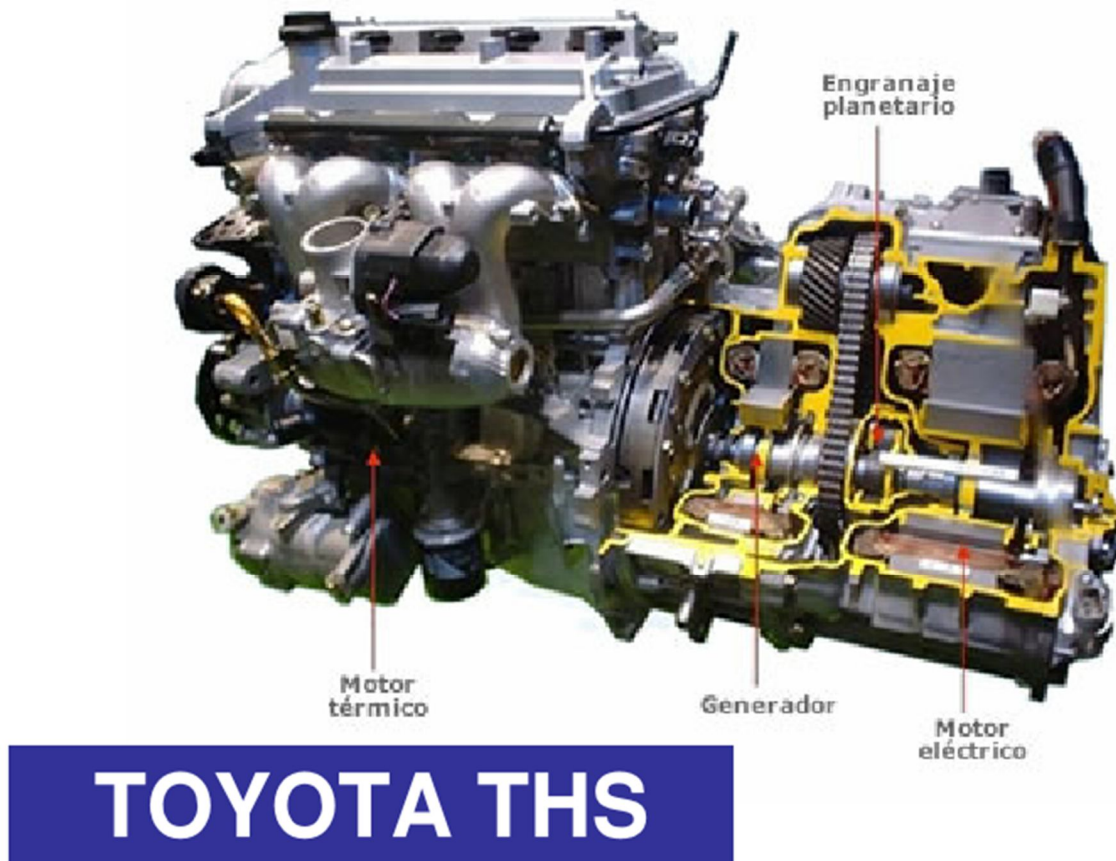
MODELO	TECNOLOGÍA UTILIZADA
Toyota Prius	Híbrido en paralelo por combinación de velocidades
Honda Civic	Híbrido en paralelo por combinación de par en el eje
Kia Soul Híbrido	Híbrido en paralelo por combinación de par en el eje
Ford Escape Híbrido	Híbrido en paralelo por combinación de par en el eje
Mercedes S400 BlueHYBRID	Híbrido en paralelo por combinación de velocidades
Volvo C30	Híbrido en serie Plug-in
Opel Ampera	Híbrido en serie Plug-in

Chevrolet Volt	Híbrido en serie Plug-in
Opel Zafira Hidrogen 3	Vehículo eléctrico por célula de hidrógeno
Mini E	Vehículo eléctrico recargable

Tabla 3: Vehículos con distinta tecnología híbrida

7.4 EJEMPLO DE TECNOLOGÍA HÍBRIDA

Para entender mejor alguna de estas tecnologías se va a explicar uno de los sistemas que utilizan algunos de los vehículos actuales del mercado, en concreto, el sistema Toyota THS del modelo Prius.

*Ilustración 23: Motor Toyota THS*

7.4.1. Generalidades del sistema

Este sistema utiliza una combinación de fuerzas motrices, un motor de gasolina junto con un motor eléctrico. Estos son los principales elementos del sistema son:

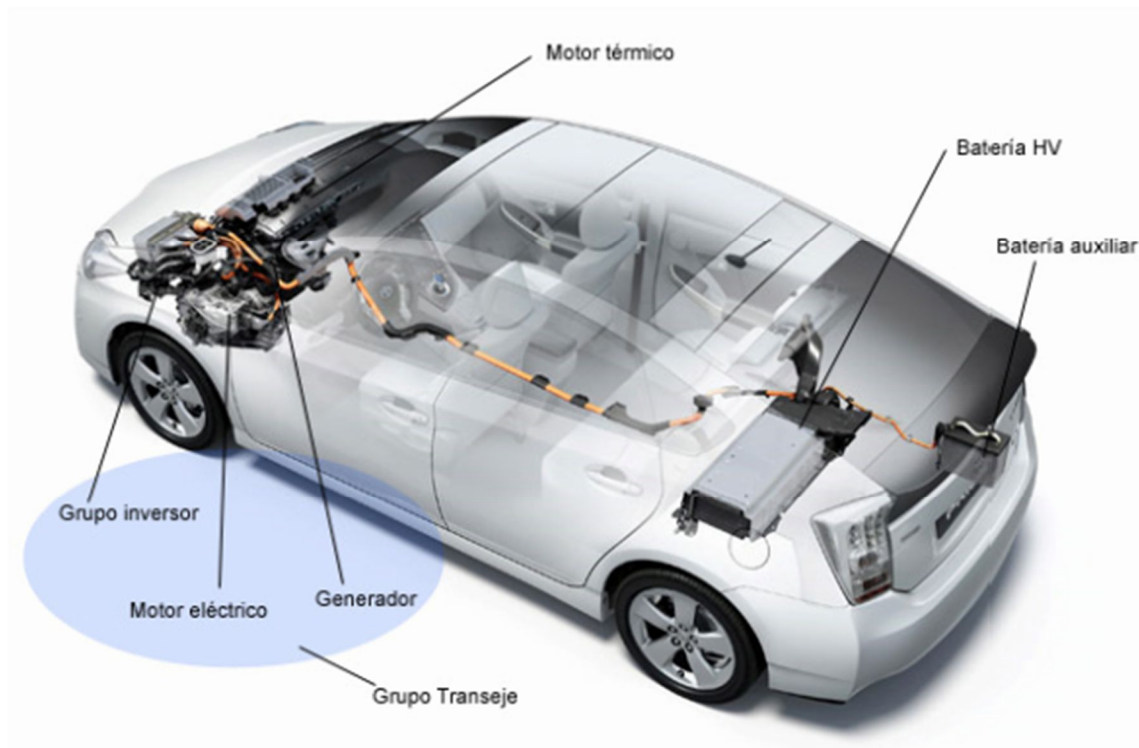
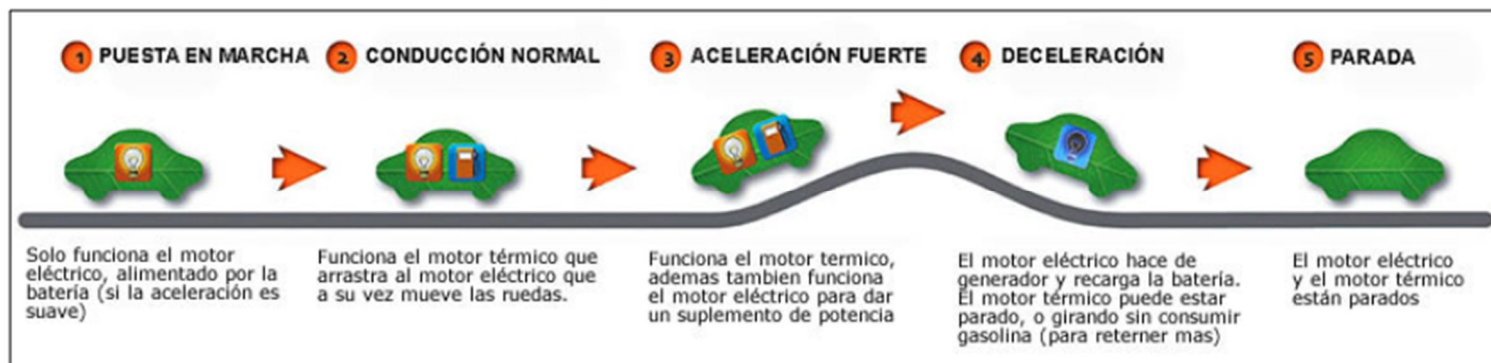


Ilustración 24: Principales componentes del sistema Toyota THS

La caracterización de este sistema es el inteligente uso de los dos tipos de elementos de tracción que tiene en concordancia con las condiciones de conducción. Complementa lo máximo posible las fuerzas de cada uno de los motores y suplen las debilidades, en la medida de lo posible, que pueda tener el otro. Es aquí donde reside que pueda dar un alto rendimiento dinámico y que pueda reducir el consumo y las emisiones de partículas contaminantes.

Las condiciones de la marcha, es decir, el tipo de terreno por el que circule el vehículo es clave a la hora de entender el funcionamiento de estos vehículos ya que, dependiendo de estas condiciones, el vehículo se comportará de un modo u otro.

La combinación de ambos motores funciona de la forma en la que se muestra en la siguiente ilustración.



En la puesta en marcha solamente interviene el motor eléctrico que aprovecha la energía existente en la batería.

Cuando el vehículo actúa en unas condiciones normales de circulación entra en juego el motor térmico que reparte su fuerza entre el motor eléctrico y el generador. Además, la energía que proporciona el generador es repartida entre batería y motor eléctrico.

Cuando el utilitario necesita subir una pendiente necesita de una aceleración fuerte. Aquí el motor térmico y eléctrico se combinan para suplir esa necesidad, aunque solamente se puede combinar si la batería está cargada considerablemente, en caso contrario, es el motor térmico el que se encarga de dicha pendiente.

Cuando, al contrario que antes, de lo que se trata es de bajar una pendiente, el motor eléctrico se comporta como generador, mientras que el motor de combustión deja de funcionar. En este caso, el consumo de combustible se para y, la energía que genera la máquina eléctrica se acumula en las baterías. En este caso, todo es ventajoso.

7.4.2. Transmisión

A partir de la fuerza de los motores, es el encargado transmitir el giro a las ruedas a través de unos engranajes que combinan ambos motores más el generador. Dependiendo de las fuerzas aplicadas al sistema se puede obrar la modificación de la relación de giro entre transmisión e impulsores.

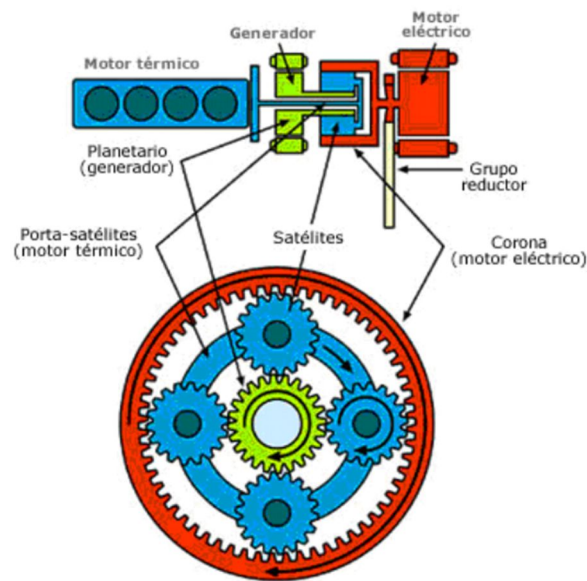


Figura 18: Transmisión Toyota THS

7.4.3. El sistema Transeje

Este sistema ocupa lo que, en un vehículo convencional, ocuparía la caja de cambios. En él se ubican el motor eléctrico, el generador, la unidad de engranajes, la transmisión, el diferencial y el amortiguador del propio sistema.

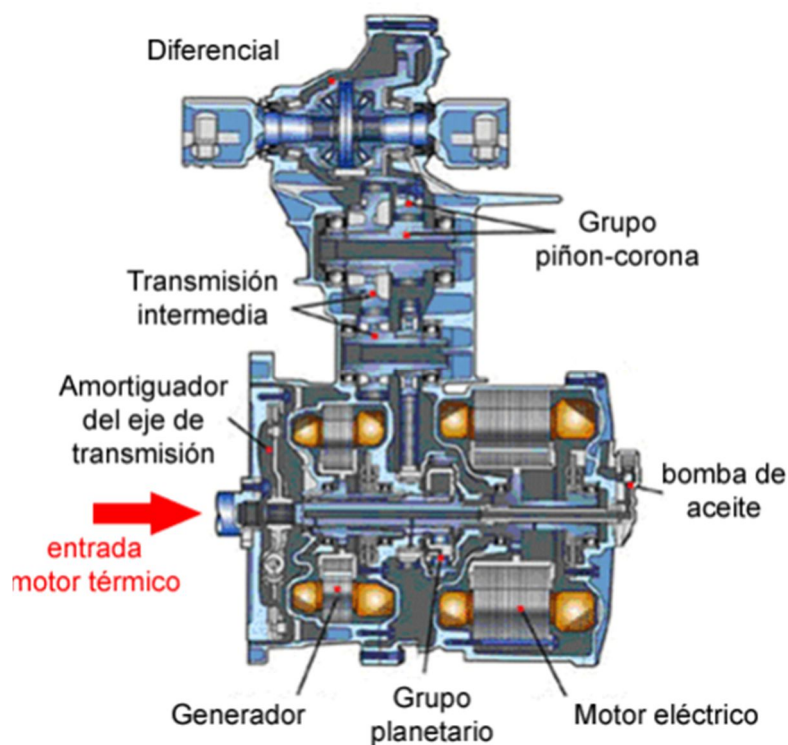


Figura 19: Sistema Transeje

El sistema carece de embrague con el objetivo de mantener el motor eléctrico y las ruedas enlazados mecánicamente a través de una cadena y de engranajes.

La forma de colocar la fuerza motriz en punto muerto, cuando el sensor se encuentra en la posición N se desactivan los transistores de potencia del inversor que conectan ambos motores. Como consecuencia se corta el funcionamiento de ambos motores dejando las fuerzas motrices de las ruedas anuladas. En ese momento, la generación de electricidad está parada puesto que tanto generador como motor eléctrico están inactivos, aun siguiendo en marcha el motor térmico y las ruedas motrices.

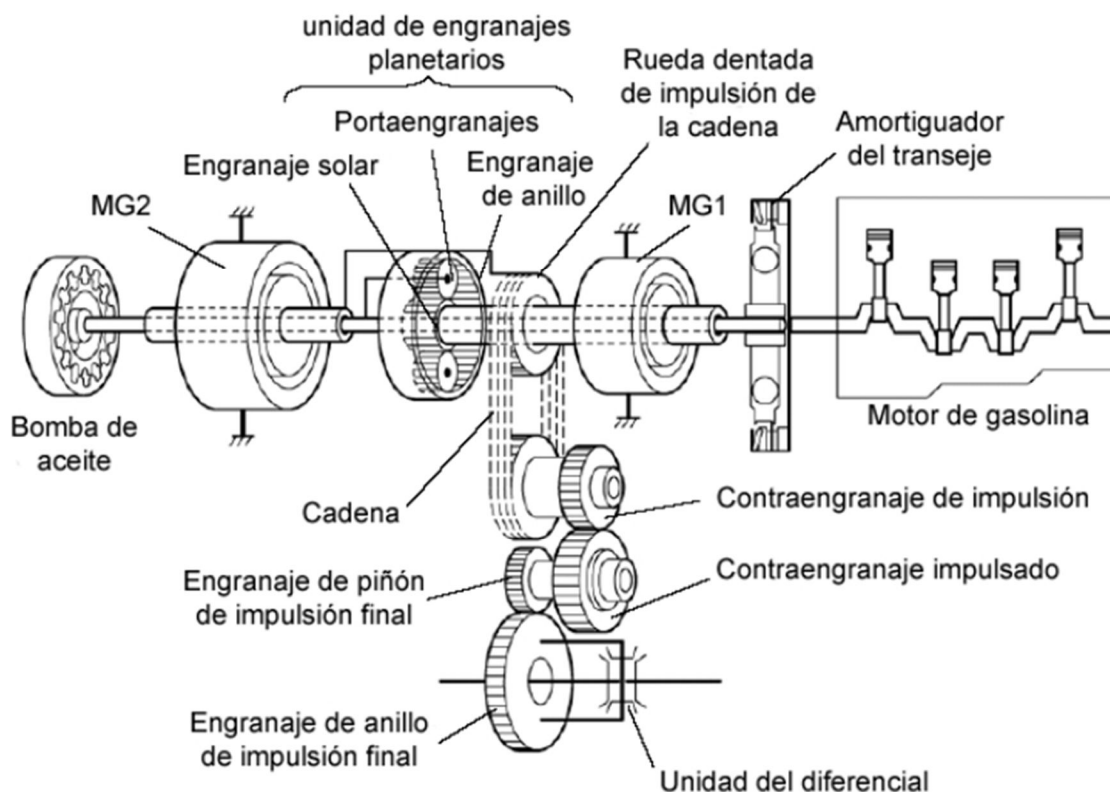


Figura 20: Grupo Transeje

El modo de conmutación entre motor térmico, generador y motor eléctrico es realizado por la parte electrónica del vehículo.

7.4.4. Los motores eléctricos

En cuanto a los motores eléctricos, tanto el que se encarga de alimentar la batería y excitar al otro motor eléctrico (generador), como el que se encargará

de dar fuerza motriz a la ruedas (motor eléctrico) son máquinas síncronas de imanes permanentes, de muy alta eficiencia en el momento de alternar corriente, tienen poco peso y son muy compactos.

Además, si se regula debidamente la cantidad de energía que se genera, esto se hace variando las revoluciones por minuto del generador, se controla de forma muy eficaz la transmisión variable del sistema transeje.



Ilustración 25: Grupo eléctrico

En estos vehículos, a menos revoluciones por minuto del generador, más se aprovecha el par del giro del motor eléctrico tractor. Éste último ayuda al coche a conseguir un enorme rendimiento dinámico, incluso arranque y deceleración suave. En el momento que se activan los frenos, el motor eléctrico tractor actúa como generador creando energía eléctrica que es almacenada en las baterías.

El par que se genera es, a efectos prácticos, proporcional a la cantidad de intensidad. La velocidad de rotación se controla a través de la frecuencia de la c.a.

Al ser motores sincrónicos de imanes permanentes, estas máquinas necesitan de un sensor que detecte de forma precisa la posición del polo magnético.

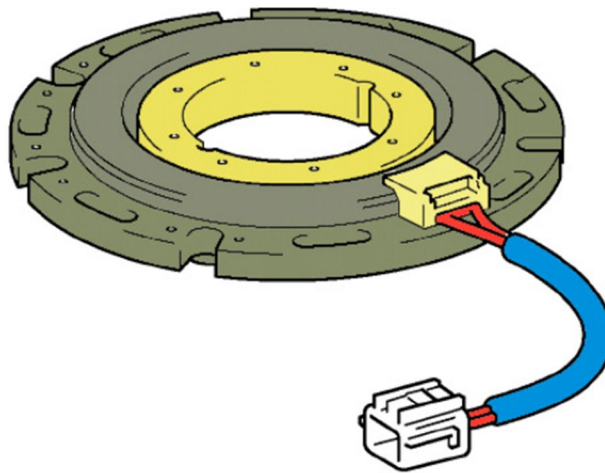


Ilustración 26: Sensor de posición

DESCRIPCIÓN DE MOTORES

8. DESCRIPCIÓN DE MOTORES

8.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se va a tratar uno de los aspectos fundamentales del vehículo eléctrico, el motor. Dicho elemento va a ser el encargado de transformar la energía eléctrica procedente de las baterías en energía mecánica que se transforma en movimiento para los elementos rodantes. Esto tendrán que hacerlo en la forma en la que los conductores lo requieran, por tanto, los motores se tendrán que asemejar en la medida de lo posible al método de conducción de los motores de combustión interna.

Los inconvenientes que presentan los motores eléctricos frente a los de combustión interna es que, a día de hoy, la tecnología que existe alrededor del vehículo eléctrico está aún en desarrollo y, por tanto, es más caro todo lo que rodea a este. Por otra parte, las ventajas son y serán mucho mayores ya que estos vehículos, entre otras cosas, no emiten ningún tipo de residuo ni emisión contaminante al medio ambiente, una vez esté fabricado.

Como se ha indicado en el párrafo anterior, solamente dejara de emitir contaminantes una vez esté fabricado porque hasta ese momento hay que analizar de donde proviene la energía necesaria para su fabricación y para la carga de las baterías una vez se tenga que cargar el vehículo. En España, actualmente, se obtiene energía tanto de centrales nucleares como térmicas, eólicas, solares, etc. La ventaja que se tiene con el vehículo eléctrico es que no será necesaria la obtención de esta energía por medio fuentes contaminantes porque, por ejemplo, se podrá utilizar la energía que actualmente se utiliza en la centrales hidráulicas, por la noche, para bombear el agua que por el día hace que se genere dicha energía. Dentro de unos años se podría tener un sector transportes en el que la energía disponible proviniera de fuentes de energía renovables, a la vez de hacer que sea más rentable que la obtención de energía de fuentes convencionales.

8.2 PROPIEDADES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Y es que son muchos los aspectos a tener en cuenta en que propiedades o que se le va a pedir al vehículo eléctrico, en este caso, al motor de dicho vehículo.

En primer lugar el motor del vehículo eléctrico no puede representar un cambio a peor en cuanto al tamaño y peso con el que actualmente los conductores están habituados a utilizar. No puede ser que un motor eléctrico haga que un vehículo, comparado con otro que tenga un motor de combustión interna, sea más grande y más pesado puesto que en ese caso, no solamente será que el usuario no está acostumbrado a conducir ese tipo de vehículo sino que, además, seguramente el coste se vea incrementado.

El coste del vehículo es otro aspecto a tener en cuenta. Ningún usuario va a comprar un vehículo eléctrico mientras su homólogo de combustión interna sea mucho más barato, por lo que, habrá que fabricar motores eléctricos que compitan en igualdad de condiciones con los motores de combustión interna. Es evidente que no es el único elemento al que hay que dotar de competitividad pero si uno de los más importantes.

En tercer lugar y, como otro requisito que se puede añadir a esta lista está la fiabilidad del motor de un vehículo eléctrico. Una de los aspectos que más temen los usuarios de los vehículos es tener un utilitario que sea una constante fuente de averías. Esto, a la hora de fabricar el motor para un vehículo eléctrico, hay que tenerlo muy en cuenta porque los usuarios no apostarán por este tipo de vehículos si no se les ofrece una garantía de que los motores van a ser incluso más fiables que los de combustión interna. Además, el mantenimiento de estos es crucial puesto que hoy en día hay que revisar cada cierto tiempo el estado de los componentes del vehículo, siendo el motor uno de los objetivos principales de la revisión. Por tanto, si la revisión de estos motores va a diferir, sobre todo en el precio, en gran medida del motor convencional hará que muchos compradores se echen atrás. Es punto es enormemente importante en los usuarios que trabajan en el sector transportes puesto que es el sector más importante a la hora de tener en cuenta la

durabilidad y fiabilidad de estos motores debido a la horas de trabajo que realizan.

Por último, una de las principales ventajas del vehículo eléctrico es que no genera ruidos y ese es un aspecto a destacar, pero los motores eléctricos generan vibraciones. El usuario que compre un vehículo eléctrico, al igual que ocurre ahora con los vehículos convencionales, no querrá un vehículo que, a partir de una velocidad que se podría considerar normal, empiece a vibrar haciendo muy incómoda la conducción, por tanto, estas vibraciones deberán ser mínimas.

Como conclusión a este apartado la idea que hay que tener muy clara es que la sensación de conducción, mantenimiento y, sobre todo, diferencia entre costes entre un vehículo de combustión interna y un vehículo eléctrico debe ser mínima y, en ese punto, el motor tendrá un papel principal.

8.3 RENDIMIENTO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

En cuanto al rendimiento de refiere es un tema que se tratará algo más en profundidad más adelante pero, a modo de introducción, se puede decir que en un motor eléctrico es la relación entre la energía eléctrica que absorbe y la energía mecánica que entrega, además de que es uno de los aspectos más importantes dentro del motor eléctrico y, puesto que a nivel industrial se acerca al 90%, se podría entender que a nivel de propulsión de vehículo pueda ser alrededor de esa cifra de porcentaje. Este porcentaje, comparado con el porcentaje de rendimiento de los de combustión interna, alrededor de un 25% el motor de gasolina y un 40% el motor diésel, supone un magnífico avance. Es más, en algunos vehículos eléctricos se habla ya de rendimientos del 95%, como el que se ve en la imagen (ilustración 27) de Renault.

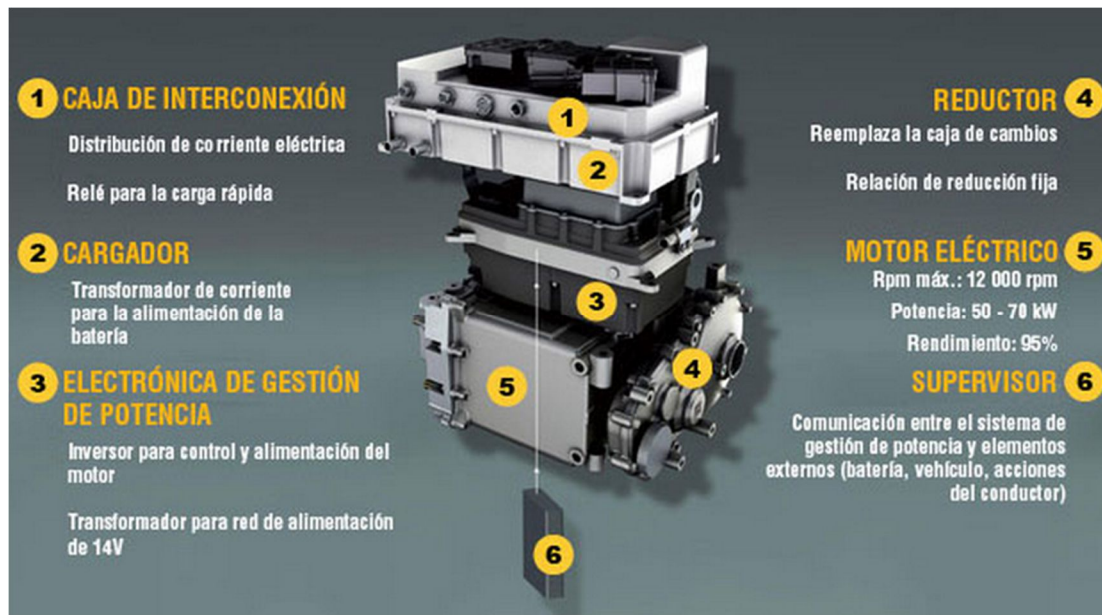


Ilustración 27: Características y partes de un motor eléctrico de Renault.

También se tiene que valorar los procesos anteriores a la obtención de ese rendimiento considerando desde la extracción del petróleo en los motores de combustión interna hasta la obtención de cada kilovatio en los motores eléctricos y es que se tienen que tener en cuenta todas las transformaciones que sufre la energía desde su fuente de obtención hasta su utilización final y estas transformaciones no son iguales para un caso que para otro, evidentemente. Debido a estos procesos se puede hablar de que motor es mejor o peor en términos absolutos. Si nos ceñimos al rendimiento del motor una vez fabricado podemos ver la eficiencia en una gráfica (figura 21) como la que aparece a continuación para un motor eléctrico.

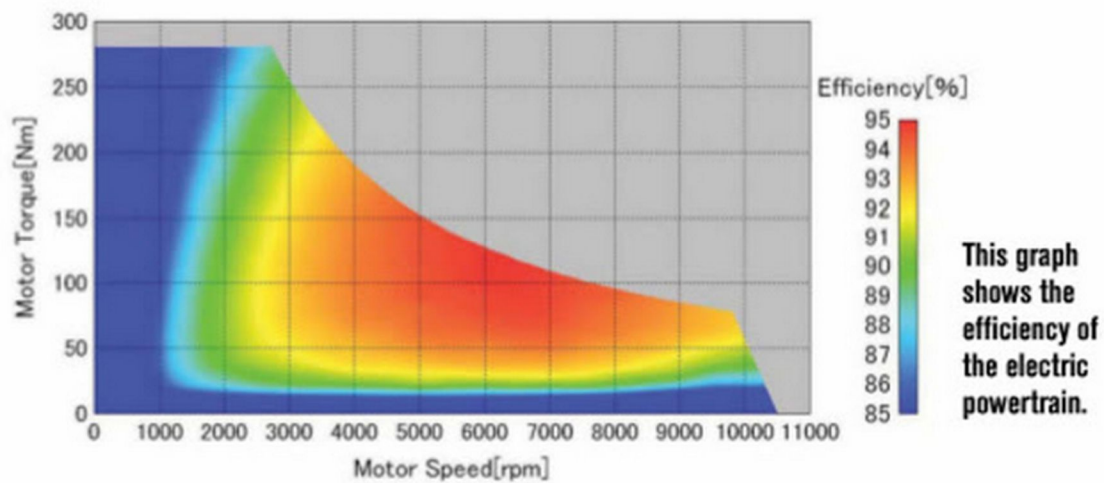


Figura 21: Gráfica de eficiencia de un motor mediante gradiente de colores

En dicha gráfica de motor de un Nissan Leaf se puede ver cómo, atendiendo a la escala de par, siendo la línea inferior el valor sin carga, es decir, par igual a cero y la línea superior carga máxima, lo que corresponde a pisar el acelerador a fondo, todas las situaciones posibles de rpm, par y cargas tienen un valor asignado de eficiencia mediante el gradiente de color. Se puede ver que el rango de eficiencia está entre el 85 y el 95 %, por lo que se puede decir que es un rango bastante homogéneo, que la máxima eficiencia se consigue con cargas parciales media y altas a rpm elevadas y que la zona de mayor eficiencia está claramente situada por encima del par máximo en cuanto a rpm se refiere.

ENTREGA DE PAR Y POTENCIA

La entrega de par es el principal objetivo del motor y éste tiene que ser constante, es decir, no puede tener variaciones porque de lo contrario el conductor lo percibiría como una forma de conducir incomoda aun estando el motor cumpliendo su función con absoluta normalidad. Además, el control es algo imprescindible, es decir, el motor debe entregar par cuando se le exija y frenar y actuar como generador también cuando el conductor lo requiera. Otro modo de verlo es que tiene que ser capaz de entregar el par según las condiciones de la circulación, por tanto, si el vehículo se acerca a una elevación el motor tiene que entregar más par que si el vehículo circula por un

tramo llano y debe ponerse en modo generador circule hacia abajo y el conductor este frenando la inercia de aceleración del vehículo.

Otro aspecto en comparación de los motores eléctricos y de combustión interna y que supone una ventaja de parte del eléctrico es la capacidad de sobrecarga. Cuando se está fabricando un motor de combustión interna hay que dimensionarlo para que la potencia nominal sea la máxima que puedan entregar. Por otra parte, el motor eléctrico es capaz de dar picos de potencia del doble de su potencia nominal durante un período de tiempo aunque, durante ese tiempo, se tenga un sobrecalentamiento de los elementos del motor. Por tanto, a la hora de diseñar el motor eléctrico no es necesario sobredimensionarlo pensado, por ejemplo, en que tenga que subir una cuesta empinada porque, en caso de necesitarlo, el vehículo podrá subir esa cuesta debido a esa capacidad de los motores eléctricos de dar dichos picos de potencia.

Por otro lado está la potencia que el trabajo que realiza el motor por unidad de tiempo y que es, a grandes rasgos, la multiplicación del par por la velocidad (rpm).

Para conocer un poco la diferencia del par y la potencia entre un motor de combustión interna y otro eléctrico se han utilizado la gráficas de dos modelos de Nissan. Por un lado, un motor de gasolina de 1600 cm³ (ilustración 28) y, por otro, un motor eléctrico síncrono de 80 kW (ilustración 29). Ambos motores proporcionan alrededor de 109 CV.



Ilustración 28: Motor eléctrico de 80 kW de potencia



Ilustración 29: Motor de gasolina de 1600 cm³

Para estos dos motores que se pueden ver arriba, se tienen dos gráficas comparativas (figura 22) tanto del par como de la potencia que son las siguientes.

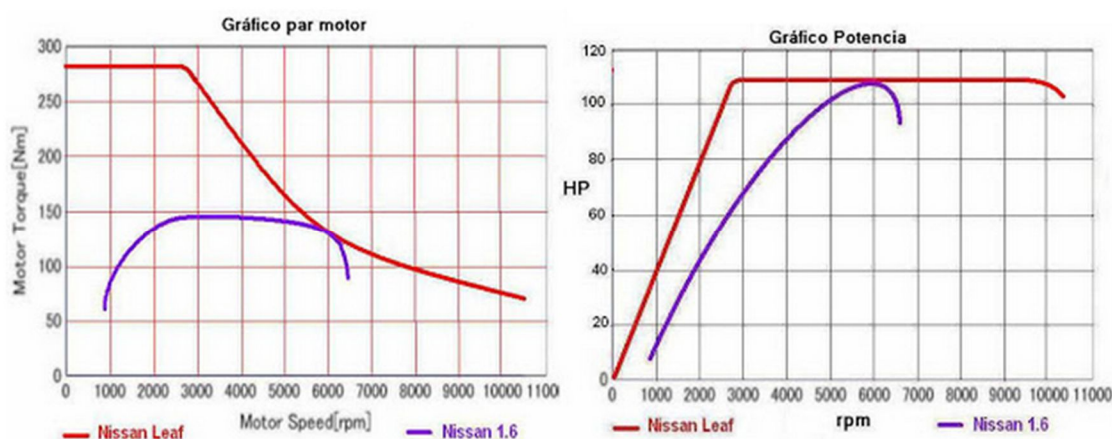


Figura 22: Gráfica comparativa de par y potencia entre motor eléctrico y motor de combustión interna

Como se puede observar, el motor eléctrico es mejor que el de combustión interna en la mayoría de circunstancias. Se puede ver como, por ejemplo, la potencia es alrededor del doble hasta pasadas las 2000 rpm y, aunque el motor de gasolina se acerca al eléctrico en las 6000 rpm, éste solo aguanta el giro hasta las 6500 rpm, mientras que el motor eléctrico mantiene la máxima potencia hasta casi 10000 rpm y se mantiene en giro hasta casi 10500 rpm. De ahí que la sensación de mayor potencia cuando un usuario conduce por primera vez un vehículo eléctrico sea real.

Además, el motor eléctrico es más equilibrado que el de gasolina puesto que el motor de combustión no es capaz de girar por debajo de las 800 rpm mientras que el motor eléctrico es capaz de girar con el mismo equilibrio y con el mismo par desde la primera vuelta.

8.4 PARTES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

8.4.1. Estator y rotor

En los motores eléctricos se pueden distinguir dos partes fundamentales: el estator (parte fija) y el rotor (parte móvil). El estator, cuya forma es cilíndrica en el caso de motores de gran velocidad, tiene una mayor longitud en comparación con su diámetro mientras que, en el caso de motores de pequeña velocidad, ocurre lo contrario. En cualquier caso, el estator estará hueco, pues

es el lugar donde irá introducido el rotor, el cual se monta sobre un eje que descansa sobre sus correspondientes 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 (figura 23) se muestran estas tres partes del motor:

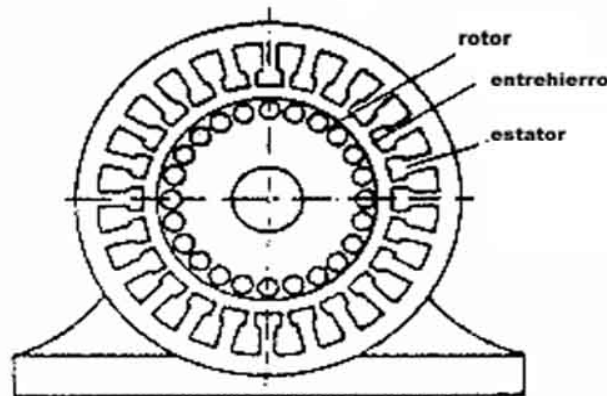


Figura 23: Estator, rotor y entrehierro de un motor eléctrico

El estator tiene su parte exterior recubierta por una carcasa o culata que está constituida por un cilindro hueco al que se unen los dispositivos necesarios para la fijación del motor, además, ésta 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 que llevan una serie de aletas que ayudan a la refrigeración del motor aunque no es obligatorio que las lleve, por lo tanto, también existen otras carcasas que son lisas. En la siguiente imagen (ilustración 30) se muestra un motor con aletas en su carcasa:

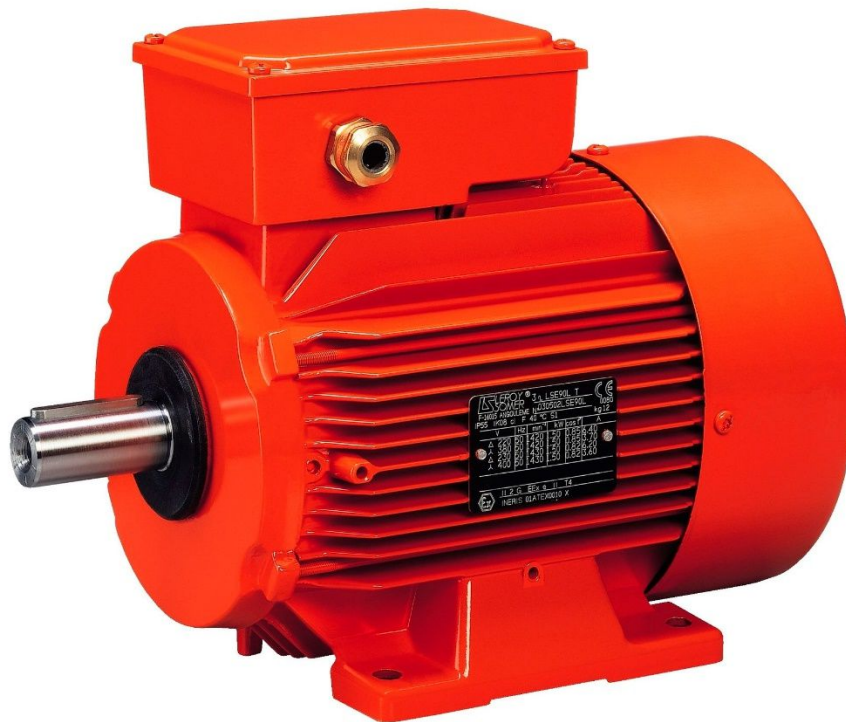
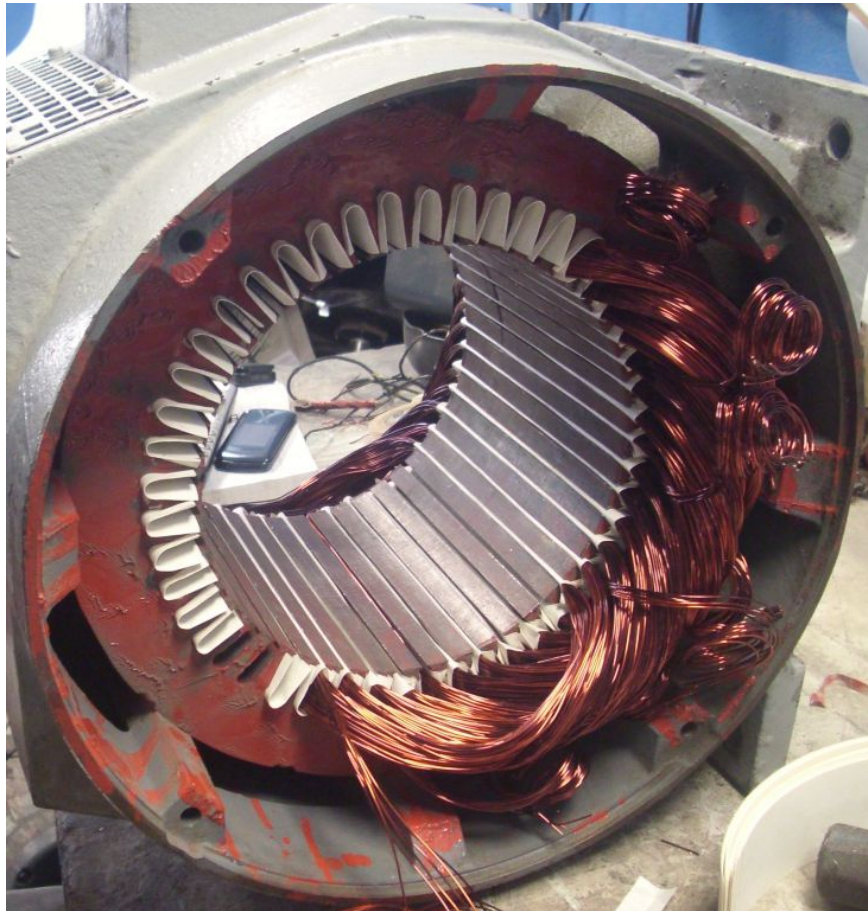


Ilustración 30: Motor eléctrico con carcasa de aletas

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, del que se hablará más adelante. Las ranuras abiertas se suelen utilizar en grandes máquinas, en las cuales las bobinas de cada devanado pueden colocarse directamente en las ranuras correspondientes de una sola vez, cerrando posteriormente la parte superior de la ranura con una cinta aislante. Por último, en las ranuras semicerradas hay que introducir las bobinas de cada devanado espira a espira, cerrando, al igual que en las ranuras abiertas, 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 (ilustración 31) se muestran unas ranuras del tipo semicerradas situadas en el estator del motor



*Ilustración 31: Bobinado del estator de un motor eléctrico con ranuras
semicerradas*

8.4.2. 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 que circula por el entrehierro de la máquina y llega hasta el devanado inducido, que es el conjunto de bobinas por las que circula una corriente eléctrica, ya que estas se ven 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). Mientras que, en motores de gran potencia son pletinas de cobre, en lugar de bobinas, las que componen el devanado, utilizando como

aislante una cinta de algodón. El aluminio se utiliza únicamente en los rotores de jaula de ardilla.

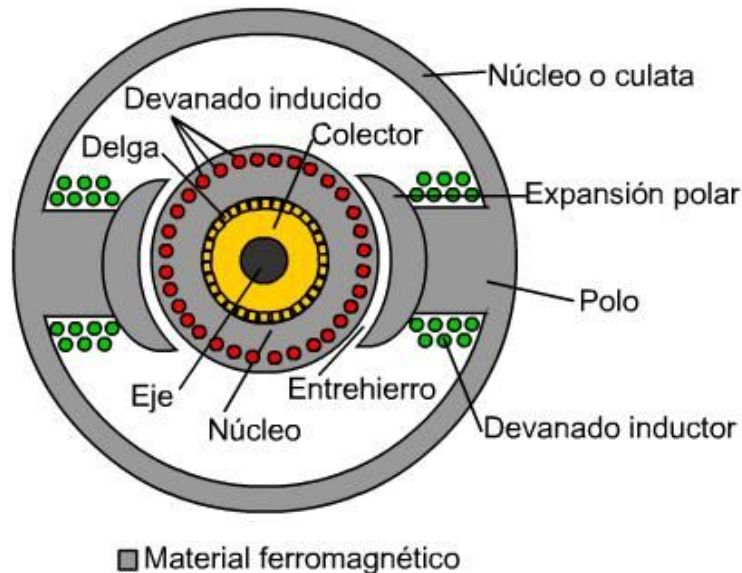


Figura 24: Descripción de bobinado inductor e inducido en un motor de polos salientes

8.4.3. Polos magnéticos

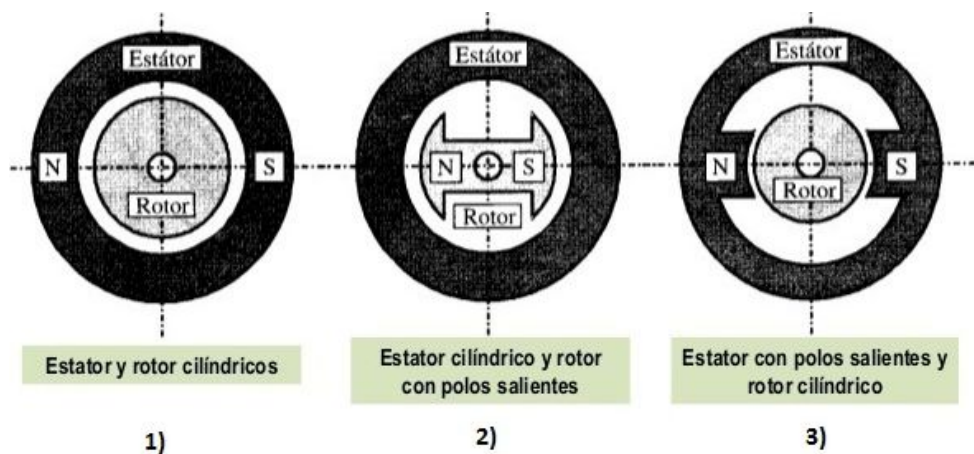


Figura 25: Configuración básica de estator y rotor

En la primera parte de la imagen se puede ver la configuración típica de los motores asíncronos, en la que el entrehierro se mantiene uniforme por lo que es evidente que estator y rotor son lisos. En la segunda y tercera parte de la imagen, que corresponden respectivamente a distintas configuraciones de motores síncronos dependiendo de la potencia, 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 sitúan 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 significa que no estén ahí. Como se explica anteriormente, es el devanado inductor el que induce en el entrehierro el campo magnético debido 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 imagen de arriba, un imán bipolar ya que dispone de dos polos, norte y sur. Pero existen motores eléctricos con un mayor número de polos. El giro del rotor se debe a la fuerzas de atracción y repulsión de los polos.

8.4.4. Colector de delgas y colector de anillos

Para introducir u obtener corrientes de los bobinados situados en el estator del motor, hay que hacer unas conexiones fijas directas desde el sistema exterior a estos devanados conocidos como los bornes del motor, que se pueden encontrar en la caja de bornes del mismo, tal y como se muestra en la siguiente imagen (ilustración 32):

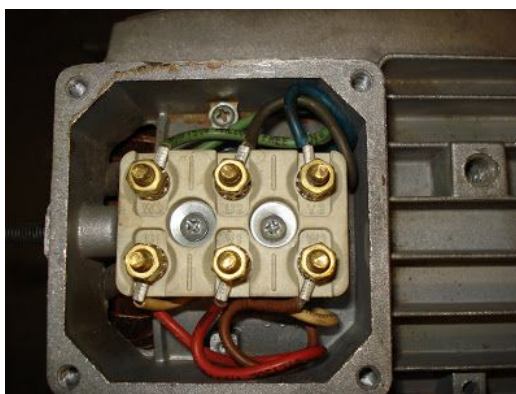


Ilustración 32: Caja de bornes de un motor eléctrico

Sin embargo, para realizar esa operación con las bobinas del rotor es preciso recurrir a sistemas colectores que son diferentes ya sea el motor de c.c. o de c.a.

En el caso de motores de c.a. trifásicos se utiliza el sistema colector de anillos en el cual el rotor dispone de tres anillos de cobre separados por un 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 sí. En la siguiente imagen (ilustración 33) se muestra esta configuración:



Ilustración 33: Rotor bobinado y colector en anillos

En el caso de motores de c.c. se utiliza el sistema de 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 (ilustración 34) se muestra esta configuración

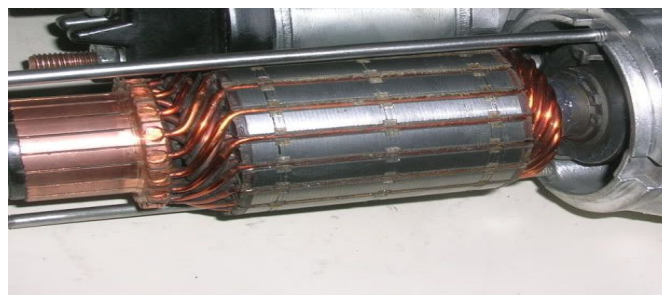


Ilustración 34: Rotor bobinado y colector delgas

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 provoca, inevitablemente su desgaste. Dichas escobillas se fabrican con grafito. La siguiente imagen (ilustración 35) muestra unas escobillas



Ilustración 35: Escobillas de un motor eléctrico

8.5 MOTORES CONVENCIONALES

En el apartado 8.4 se describen las partes de un motor de forma general mientras que en el presente apartado se describirán los distintos tipos de motores empleados en vehículos eléctricos, así como concretar sus aspectos constructivos.

8.5.1. Motores asíncronos

8.5.1.1 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 figura 24.

El rotor tiene dos configuraciones posibles: rotor en jaula de ardilla y rotor bobinado. El rotor en jaula de ardilla, tiene una serie de conductores de cobre o aluminio puestos en cortocircuito por dos anillos laterales, tal y como se muestra en la siguiente imagen (figura 26):

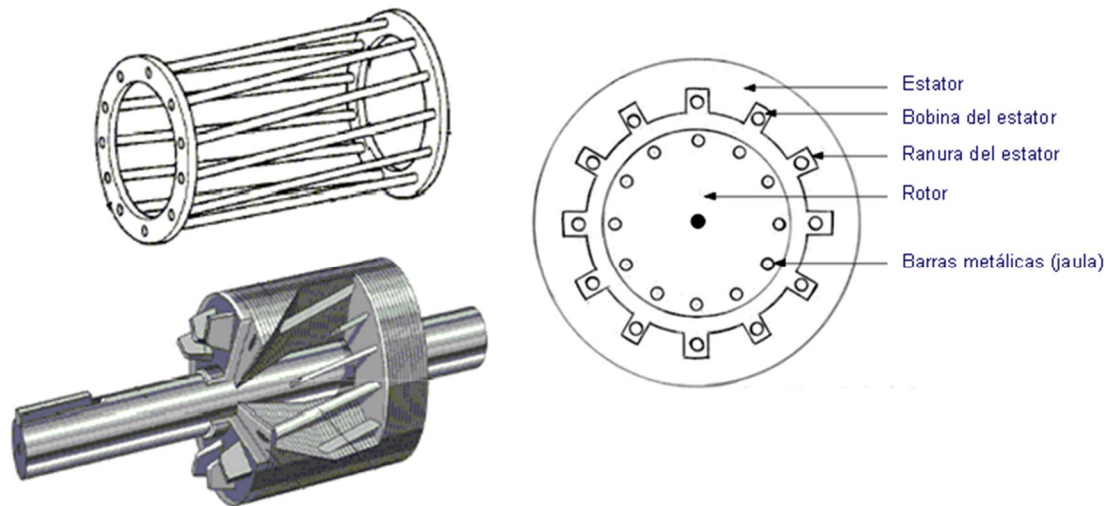


Figura 26: Rotor en jaula de ardilla o cortocircuito

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 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 (figura 27) se muestra un rotor de este tipo.

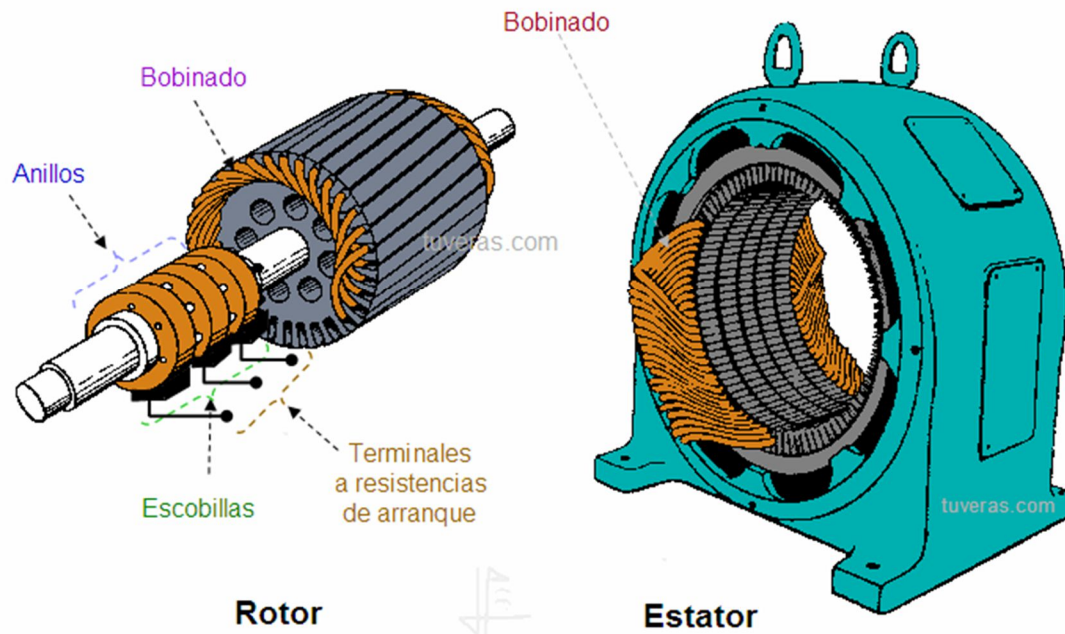


Figura 27: Rotor bobinado y colector en anillos

El número de ranuras del estator no puede ser igual al número de ranuras del rotor, de lo contrario llegaría un momento en el que los dientes del estator y del rotor se encontrarían enfrentados, dando lugar a vibraciones, creación de armónicos de ranura y a que pudieran formarse pares antagónicos y puntos muertos, lo que tendría como consecuencia un par de arranque insuficiente. Para evitar dichos inconvenientes se eligen unos números 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 (figura 23).

Además del estator y del rotor, los motores asíncronos necesitan de otros elementos imprescindibles para su correcto funcionamiento como tapas, rodamientos, etc.

Podemos ver en la siguiente imagen (figura 28) los detalles de un motor asíncrono para poder ver otras partes de este.

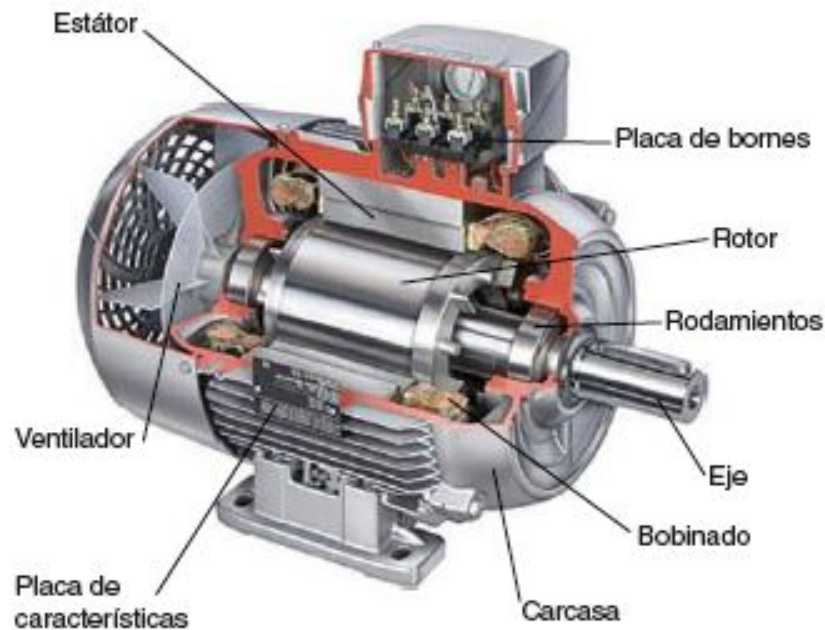


Figura 28: Sección de un motor de rotor en jaula de ardilla

8.5.1.2 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 senoidalmente por la periferia del entrehierro, la cual produce un flujo giratorio cuya velocidad viene expresada por la siguiente ecuación

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (\text{Ecuación 8.1})$$

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].

Este flujo giratorio induce unas fuerzas electromotrices (fems) en los conductores del rotor, que vienen expresadas por la siguiente ecuación

$$e = (V \times B) \cdot L \quad (\text{Ecuación 8.2})$$

Donde:

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

Si el rotor está en cortocircuito (en el caso del jaula de ardilla esta en cortocircuito siempre, pero en el de anillos rozantes 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

$$F = i \cdot (L \times B) \quad (\text{Ecuación 8.3})$$

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].

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 procedentes 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 y su ecuación es la siguiente

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (\text{Ecuación 8.4})$$

Donde:

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

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 ecuación

$$n_2 = \frac{60 \cdot f_2}{p} \quad (\text{Ecuación 8.5})$$

Donde:

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

Relacionando las ecuaciones 8.1, 8.4 y 8.5 se obtiene la siguiente igualdad

$$s = \frac{\frac{60 \cdot f_2}{p}}{\frac{60 \cdot f_1}{p}} \quad (\text{Ecuación 8.6})$$

$$f_2 = f_1 \cdot s$$

Por esta razón, la fem en cada devanado será diferente y será

$$e_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot K_1 \cdot \Phi_m \quad (\text{Ecuación 8.7})$$

$$e_2 = 4,44 \cdot s \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot K_2 \cdot \Phi_m \quad (\text{Ecuación 8.8})$$

8.5.1.3 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 (figura 29):

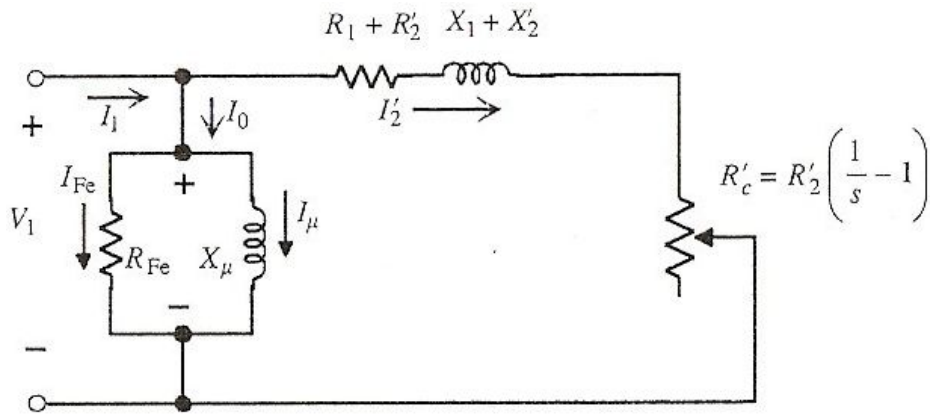


Figura 29: Circuito equivalente de un motor asíncrono o de inducción

La rama paralelo representa las pérdidas en el hierro del material magnético.

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 lo suficientemente elevado para que pueda superar al par de la carga.

8.5.1.4 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

$$P_1 = m_1 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (\text{Ecuación 8.9})$$

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.

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

$$P_{cu1} = m_1 \cdot R_1 \cdot I_1^2 \quad (\text{Ecuación 8.10})$$

Donde:

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

Las pérdidas de potencia totales en el estator se calculan con la siguiente ecuación

$$P_{p1} = P_{cu1} + P_{Fe1} \quad (\text{Ecuación 8.11})$$

Donde:

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

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

$$P_a = P_1 - P_{p1} \quad (\text{Ecuación 8.12})$$

Donde:

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

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. 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

$$P_{cu2} = m_1 \cdot R'_2 \cdot I_2'^2 \quad (\text{Ecuación 8.13})$$

Donde:

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

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

$$P_{mi} = P_a - P_{cu2} \quad (\text{Ecuación 8.14})$$

Donde:

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

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

$$P_{mi} = m_1 \cdot R'_c \cdot I_2'^2 \quad (\text{Ecuación 8.15})$$

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

$$P_u = P_{mi} - P_m \quad (\text{Ecuación 8.16})$$

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].

En la siguiente imagen (figura 30) se muestra de forma gráfica el balance de potencias

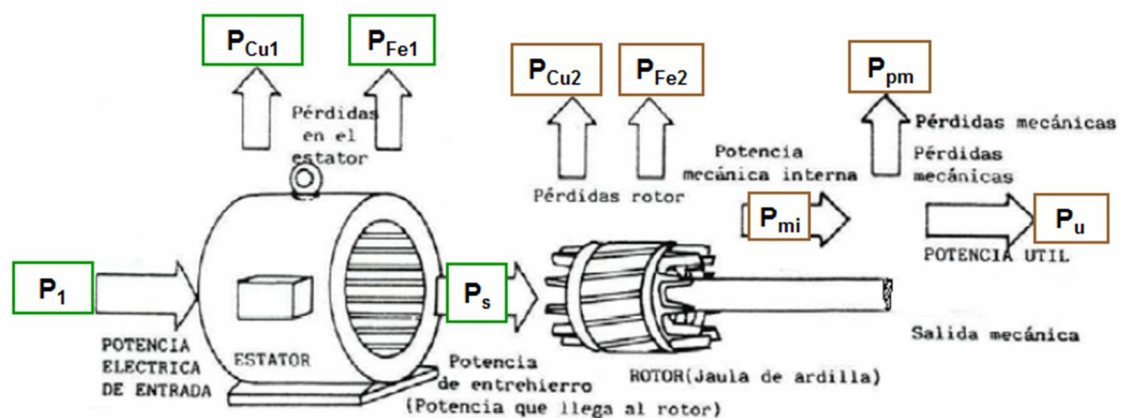


Figura 30: Balance de potencias de motor asíncrono trifásico

El rendimiento del motor viene expresado por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_u}{P_1} \quad (\text{Ecuación 8.17})$$

Donde:

- η , es el rendimiento del motor.

De la combinación de las ecuaciones 8.13 y 8.15 surge una importante relación

$$\frac{P_{cu2}}{P_{mi}} = \frac{s}{1-s} \quad (\text{Ecuación 8.18})$$

También, a partir de la ecuación 8.14 se obtiene otras importantes relaciones que aparecen a continuación

$$P_a = \frac{P_{cu2}}{s} \quad (\text{Ecuación 8.19})$$

$$P_a = \frac{P_{mi}}{1-s} \quad (\text{Ecuación 8.20})$$

8.5.1.5 Par de rotación

$$M = \frac{P_u}{\omega} \quad (\text{Ecuación 8.21})$$

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].

Teniendo en cuenta que el valor de ω es

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \quad (\text{Ecuación 8.22})$$

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

$$M = \frac{P_{mi}}{\omega} \quad (\text{Ecuación 8.23})$$

De la ecuación 8.4 se obtiene la siguiente

$$n = n_1 \cdot (1 - s) \quad (\text{Ecuación 8.24})$$

Por tanto, la ecuación 8.23 queda de la siguiente forma

$$M = \frac{P_{mi}}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot (1 - s)} \quad (\text{Ecuación 8.25})$$

Teniendo en cuenta la ecuación 8.20, la ecuación 8.25 queda representada de la siguiente forma

$$M = \frac{m_1 \cdot \frac{R_2'}{S} \cdot I_2'^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60}} \quad (\text{Ecuación 8.26})$$

Considerando las ecuaciones 8.13 y 8.19, la ecuación 8.26 se puede expresar de la siguiente forma

$$M = \frac{m_1 \cdot \frac{R_2'}{S} \cdot I_2'^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60}} \quad (\text{Ecuación 8.27})$$

De acuerdo con la (figura30), el valor de I_2' viene dado por la siguiente ecuación

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_{cc}^2}} \quad (\text{Ecuación 8.28})$$

Donde:

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

Por lo tanto, sustituyendo la ecuación 8.28, en la 8.27, se tiene:

$$M = \frac{m_1 \cdot \frac{R_2'}{S} \cdot V_1^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_{cc}^2\right]} \quad (\text{Ecuación 8.29})$$

La ecuación 8.29 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 ésta, por lo que si es muy reducida, probablemente, el motor no pueda arrancar.

Otro aspecto a tener en cuenta de la ecuación 8.29 es el hecho de que si no existe deslizamiento ($s = 0$), o si éste es muy elevado ($s = \pm\infty$), el par será nulo ($M = 0$), por tanto, si se deriva la ecuación 8.29 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 en la siguiente ecuación

$$s_m = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2}} \quad (\text{Ecuación 8.30})$$

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.

Si se sustituye la ecuación 8.30 en la ecuación 8.29 se obtiene la ecuación del par máximo

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 \cdot V_1^2}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot \left[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2} \right]} \quad (\text{Ecuación 8.31})$$

La ecuación 8.31 muestra que el par máximo no varía cuando cambia la resistencia del rotor, sin embargo y, de acuerdo con la ecuación 8.30, el deslizamiento con el 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.

8.5.1.6 Curvas par-velocidad

Las curvas par-velocidad de un motor describen la capacidad de producción de un par estático del motor respecto al voltaje aplicado a la velocidad del motor.

8.5.1.6.1 Puntos notables

Los puntos de la siguiente figura muestran una curva par-velocidad de un motor con los puntos significativos que la caracterizan

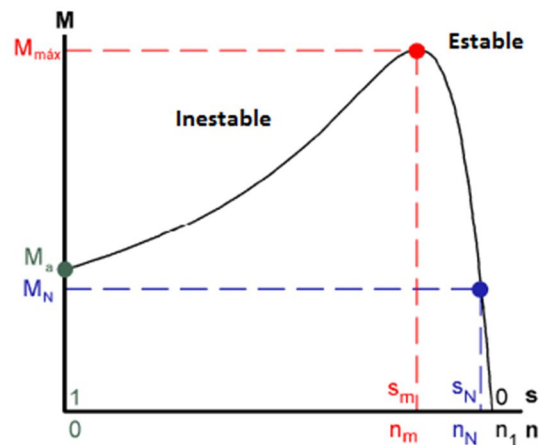


Figura 31: Puntos notables de la curva par-velocidad de un motor asíncrono

En la figura 31 se muestra, en el eje de abscisas la velocidad y el deslizamiento, como también se puede observar que 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 hay claramente diferenciadas 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. Por otra parte, en la zona inestable el par y la velocidad son proporcionales, es decir, si disminuye 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 tiene que 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.

En el apartado 8.3 de este documento se menciona que el motor eléctrico, a diferencia del motor combustión interna, puede proporcionar una potencia por encima de su potencia nominal sin deteriorarse y sin tener que tener en cuenta un sobredimensionamiento a la hora de su fabricación. 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

$$\text{capacidad de sobrecarga} = \frac{M_{max}}{M_n} \quad (\text{Ecuación 8.32})$$

8.5.1.6.2 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

$$M_r = M \quad (\text{Ecuación 8.33})$$

En la siguiente figura se muestra la curva par-velocidad de un motor asíncrono sometido a una carga, siendo la intersección entre ambas curvas, la del motor y la de la carga, el punto de funcionamiento:

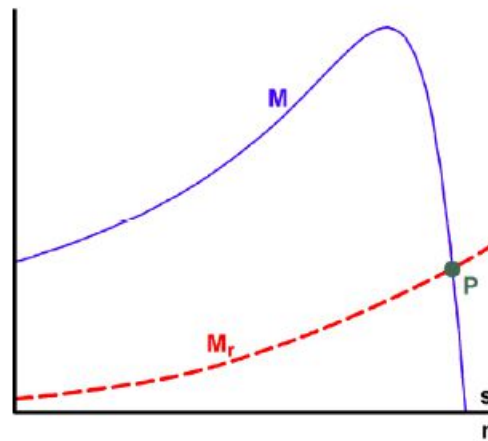


Figura 32: Punto de funcionamiento de un motor de inducción

En general, salvo casos excepcionales, un motor asíncrono funciona en la zona de estabilidad en la cual 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

$$M - M_r = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (\text{Ecuación 8.34})$$

Donde:

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

Como se puede observar, la ecuación 8.33 se obtiene de la ecuación 8.34 ya que, en el punto de funcionamiento, la velocidad del rotor es constante y por tanto, el segundo término de la derecha de la ecuación 8.34 es cero.

8.5.1.6.3 Efectos de variar la tensión de alimentación

La ecuación 8.31 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 figura muestra las distintas curvas par-velocidad que sigue un motor asíncrono cuando se varía la tensión de alimentación

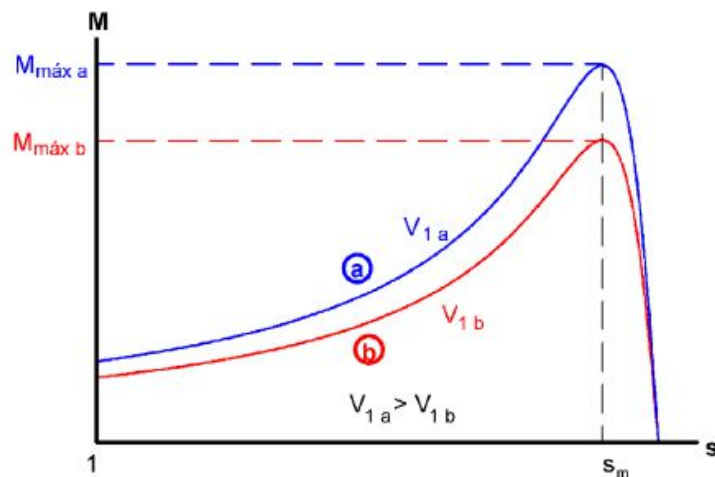


Figura 33: Efectos de variar la tensión de alimentación de un motor asíncrono.

8.5.1.6.4 Introducción de resistencias en serie con el rotor

La ecuación 8.30 muestra como varía el punto en el que se consigue el par máximo con solo variar la resistencia del rotor. En la figura 34 se muestra gráficamente con distintos valores de resistencia en el rotor (R_x):

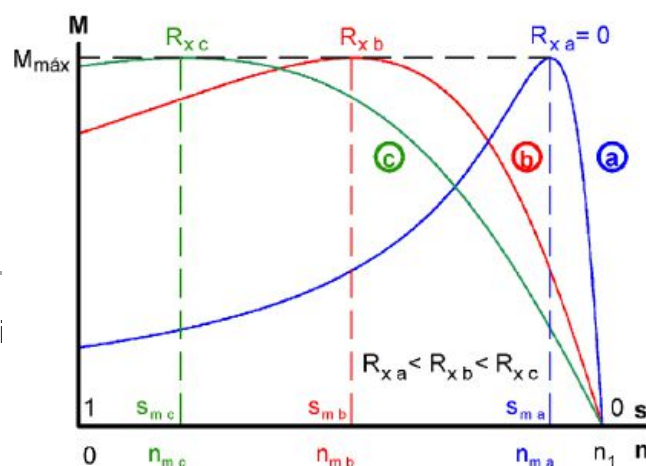


Figura 34: Efectos de introducir distintas resistencias en el rotor

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 de 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 figura

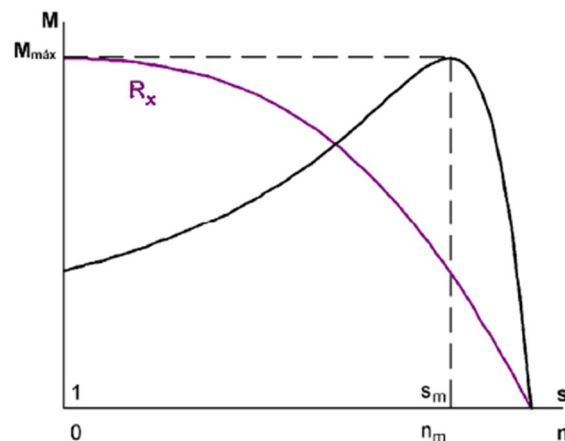


Figura 35: Aumento del par de arranque por variaciones de resistencias rotóricas

8.5.1.7 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 es 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.

8.5.1.7.1 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 8.28, teniendo en cuenta que el deslizamiento es la unidad, tal y como se muestra a continuación

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + X_{cc}^2}} \quad (\text{Ecuación 8.35})$$

Asumiendo que la suma de la resistencia del estator más la del rotor, referido a este mismo, es la resistencia de cortocircuito, la ecuación 8.35 queda de la siguiente forma

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}} \quad (\text{Ecuación 8.36})$$

8.5.1.7.2 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 aumentando ésta 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 sólo 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 figura 36 se muestran las curvas par-velocidad de este tipo de arranque y donde, a modo de ejemplo, se puede ver la curva a la tensión nominal y a una tensión inferior

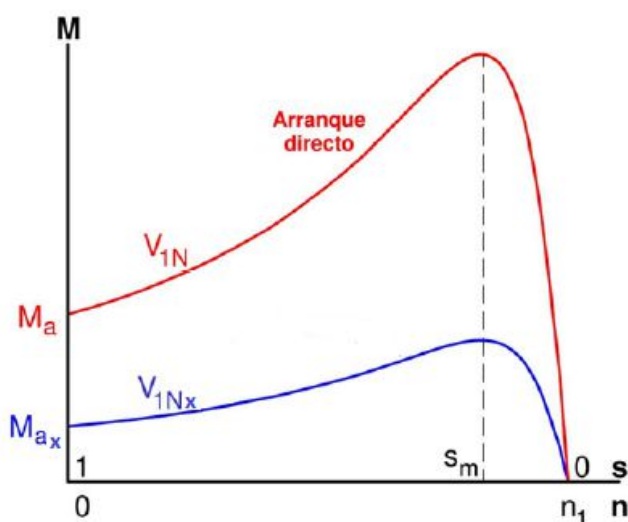


Figura 36: Arranque de un motor con tensión reducida

8.5.1.7.3 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 8.28, 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 mira la ecuación 8.30, se puede deducir

también 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 se ha explicado 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.

8.5.1.8 Motores de doble jaula de ardilla 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.

8.5.1.8.1 Motores de doble jaula de ardilla

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, cuya composición es idéntica a la descrita en el apartado 8.5.1.1. 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

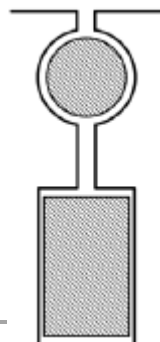
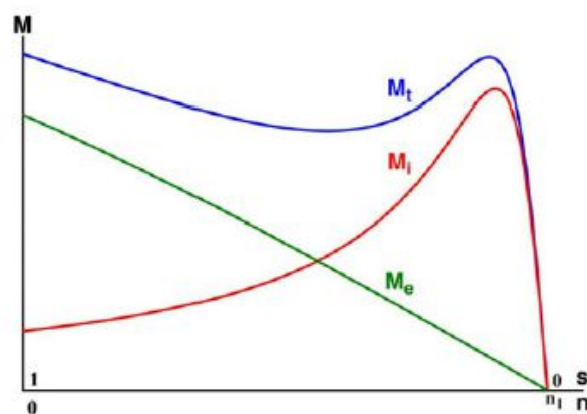


Figura 37: Ranuras de un motor de doble jaula de ardilla.

En el momento del arranque, la frecuencia rotórica (f_2) y la del estator (f_1) son iguales, tal y como indica la ecuación 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, en 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 de éste disminuye, de acuerdo con la ecuación 8.5, de modo que la reactancia inductiva de ambas jaulas disminuye también 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 y, a la hora de valorar la inductancia de las mismas, 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 es muy baja y la resistencia de la jaula interna es menor que la externa.

En la figura 38 se muestran las curvas par-velocidad de un motor de este tipo

*Figura 38: Curvas par-velocidad de un motor de doble jaula*

En la figura 38 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 8.3 y, de forma más esclarecedora, en la ecuación 8.27, 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).

8.5.1.8.2 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 forma se consigue el mismo comportamiento que con un motor de doble jaula. En la figura 39 se muestran las diferentes configuraciones que pueden tener los conductores de un motor de este tipo

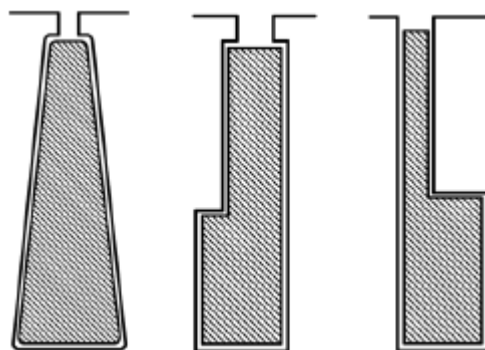


Figura 39: Tipos de ranuras

8.5.1.9 Regulación de velocidad

De la combinación de las ecuaciones 8.1 y 8.24 se deduce la siguiente ecuación

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1 - s) \quad (\text{Ecuación 8.37})$$

La ecuación 8.37 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).

8.5.1.9.1 Regulación por variación del número de polos

Este método es sólo 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 éste ofrezca un número de polos distinto (conexión Dahlander).

En la figura 40 se muestra un esquema de los devanados del estator de un motor Dahlander

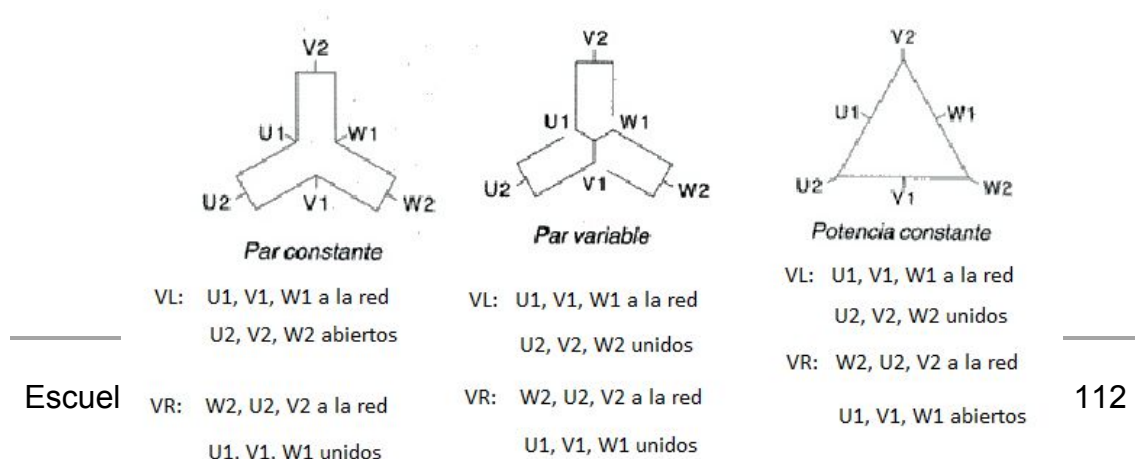


Figura 40: Conexión Dahlander

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 8.2.3. 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.

8.5.1.9.2 Regulación por variación del deslizamiento

Este método es sólo aplicable a motores de rotor bobinado, pues la única forma de variar el deslizamiento es variar la resistencia rotórica, tal y como se muestra en la ecuación 8.30. El inconveniente de este método es que, al aumentar el deslizamiento, aumentan las pérdidas del rotor, tal y como muestra la ecuación 8.19.

8.5.1.9.3 Regulación por variación de frecuencia

Consiste en variar la frecuencia de 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 11.20, supondría aumentar V_1 por encima de su valor nominal, provocando el deterioro del motor.

En la figura 41 se muestran las distintas curvas par-velocidad a distintas frecuencias y manteniendo ϕ_m constante

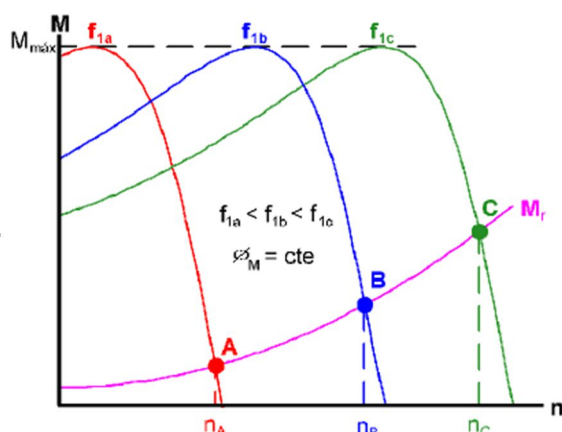


Figura 41: Regulación de velocidad mediante variación de velocidad a par constante.

8.5.1.10 Modos de funcionamiento

Hay que tener presente que, como cualquier máquina eléctrica, los motores asíncronos son reversibles, es decir, que pueden actuar como motor y como generador como se puede ver en la ilustración 36.

Control en los cuatro cuadrantes

Casi todos los motores eléctricos pueden girar en ambos sentidos. Además, el motor puede empujar a la carga (entrega de par) o puede ser empujado por ella (el motor toma la energía mecánica y la transforma en eléctrica, actuando como un generador). Así pues, tenemos dos sentidos de giro y otros dos de par, por lo que obtenemos 4 posibilidades. Si lo representamos en unos ejes cartesianos, donde el eje vertical sea el par y el eje horizontal la velocidad, obtenemos:

Primer cuadrante: par y sentido de giro positivos. El motor arrastra a la carga consumiendo energía eléctrica (marcha adelante y acelerando).

Segundo cuadrante: par positivo y sentido de giro negativo. El motor es arrastrado por la carga. El motor actúa como generador y frena la carga, que en este caso sería el impulso del vehículo hacia atrás (marcha atrás y frenando).

- **Frenado reostático:** la energía absorbida se consume en unas resistencias o en los devanados del propio motor.
- **Frenado con recuperación:** la energía se devuelve a la batería.

Tercer cuadrante: el par y la velocidad son negativos. El motor empuja hacia atrás entregando potencia mecánica (marcha atrás acelerando).

Cuarto cuadrante: velocidad positiva y par motor negativo, oponiéndose a la marcha. Es el caso en que el vehículo va hacia delante pero está frenando. Se recupera energía utilizando el motor como generador.

Siempre que el signo del par y la velocidad son diferentes, el par del motor se opone a la velocidad, por lo que se está recuperando energía.

FIGURA 3. Características del funcionamiento en los cuatro cuadrantes de los ejes Par (Γ)-Velocidad (ω)

Γ [N.m]		
$\Gamma > 0 ; \omega < 0$	$\Gamma > 0 ; \omega > 0$	
Motor arrastrado por el vehículo	Vehículo empujado por el motor	
Se recupera energía	Se consume energía	ω [rpm]
$\Gamma < 0 ; \omega < 0$	$\Gamma < 0 ; \omega > 0$	
Vehículo empujado por el motor	Motor arrastrado por el vehículo	
Se consume energía	Se recupera energía	

Ilustración 36: Modos de funcionamiento de un motor para un vehículo eléctrico

En la siguiente figura 42 se muestra una curva par-velocidad de una máquina asíncrona con V_1 y f_1 constantes. En dicha curva se pueden observar los tres modos de funcionamiento de una máquina

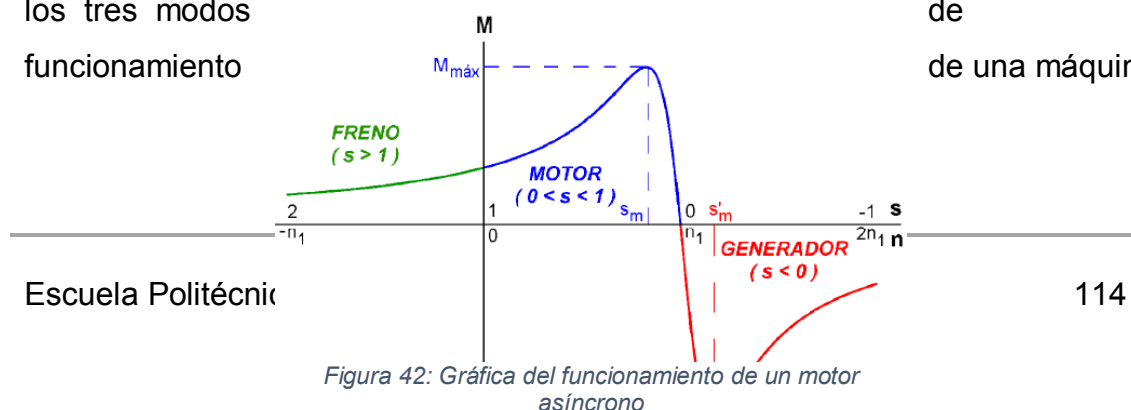


Figura 42: Gráfica del funcionamiento de un motor asíncrono

8.5.1.10.1 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 8.5.1.4 se 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.

8.5.1.10.2 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 8.29, el par también lo será. Como consecuencia, el par se opone a la velocidad de la máquina actuando como freno y, 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.

8.5.1.10.3 Freno

En este régimen de funcionamiento el deslizamiento es positivo y superior a la unidad, como consecuencia, según la ecuación 8.12, P_a será positiva y según la ecuación 8.20, 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 estas potencias se transforma en calor en el interior de la máquina, produciendo excesos de temperatura.

El frenado se produce porque 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.

8.5.1.11 Frenado

Por lo expuesto en el apartado 8.5.1.10.3, una máquina eléctrica que funciona como freno ejerce un par de frenado, es decir, un par de sentido contrario a su velocidad. A continuación se muestran diferentes métodos para frenar una máquina asíncrona.

8.5.1.11.1 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 8.5.1.10.2. 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 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 éste 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 desarrolla un par que actúa como freno, tal y como se expone en el apartado 8.5.1.10.2. 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 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 8.5.1.4) y devolverla a la red de alimentación.

8.5.1.11.2 Frenado por contracorriente

Es el expuesto en el apartado 8.5.1.10.3. Salvo en motores preparados para ello, no es aconsejable utilizar este tipo de frenado debido al gran aumento de temperatura que se produce.

8.5.1.11.3 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.

8.5.2. Motores de corriente continua

8.5.2.1 Aspectos constructivos

Las máquinas de corriente continua, tal y como expone el apartado 8.4.1, 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. Esta contiene los pies sobre los que se apoyará la máquina y los polos. Estos 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 sobre los que se arrolla el inductor, los cuales se denominan polos auxiliares o de conmutación y 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 figura 43 se muestran las diferentes partes que se han descrito

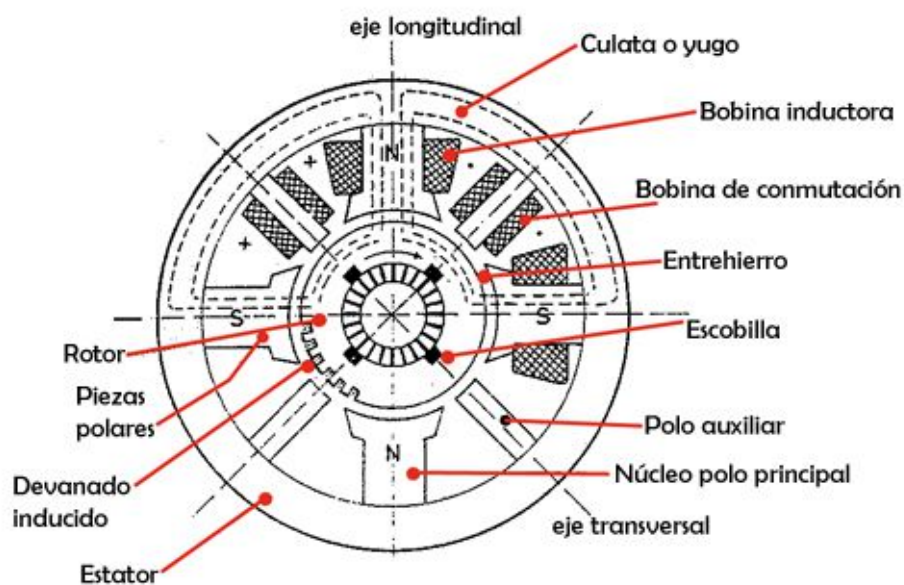


Figura 43: Partes de un motor de corriente continua

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

8.5.2.2 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. Este campo magnético es uniforme y se hace máximo bajo los polos, decreciendo en el espacio interpolar y haciéndose nulo en la línea neutra. En la figura 44 se puede observar la distribución del campo magnético del inductor a través del desarrollo de una máquina bipolar

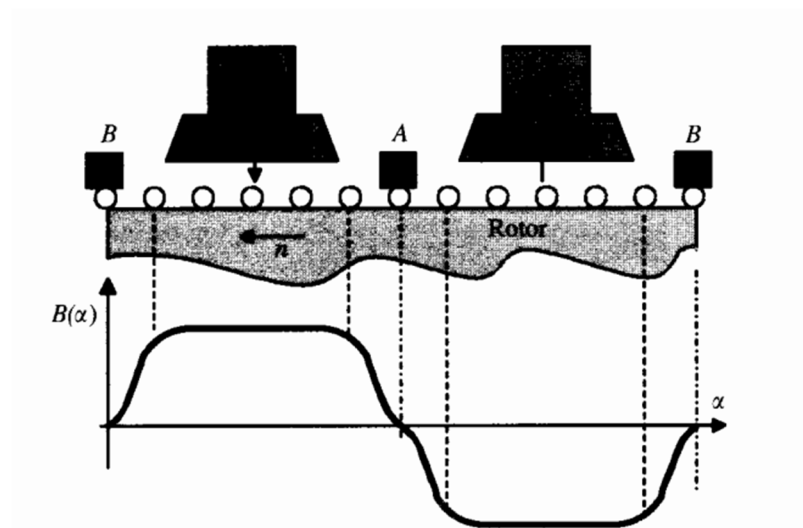


Figura 44: Distribución de la inducción magnética en un motor de corriente continua

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 figura 45

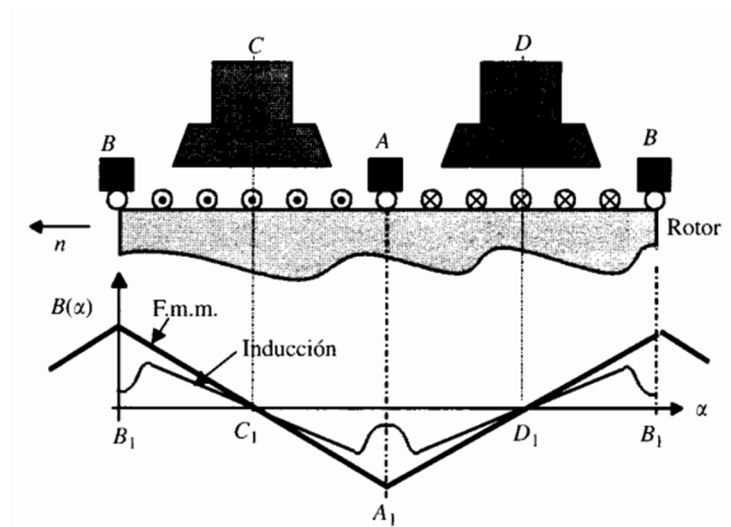


Figura 45: Campo magnético producido por el inducido

Como resultado de la combinación de estos dos campos magnéticos en el flujo magnético resultante es el que aparece en la figura 46

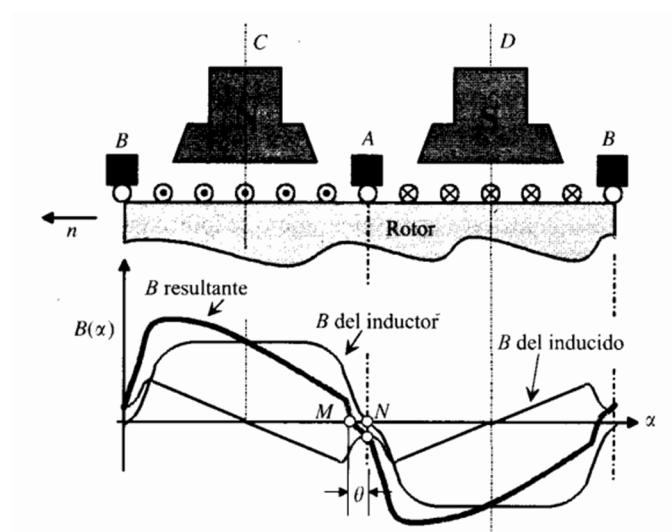


Figura 46: Deformación del campo magnético debido a la reacción de inducido

Aparece en la figura el campo magnético generado por el inductor (estator), y el campo magnético generado por el inducido y, por último, más resaltado que los dos anteriores, aparece el campo magnético resultante de los campos magnéticos del inductor e inducido. También se puede observar que la línea neutra se desplaza y 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 (línea neutra con el circuito del rotor abierto), pero si la máquina funciona como generador, esta se adelanta.

Como se puede observar en la figura 46, el campo magnético no es uniforme y, como consecuencia, la máquina pierde efectividad.

8.5.2.3 Conmutación

Como se expone en el apartado 8.4.4, 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, como se puede observar en la ilustración 34. En una delga se conecta el extremo de una determinada bobina y en la delga siguiente el extremo de otra. Jamás se conectarán en dos delgas consecutivas 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 dos delgas, como cada delga tiene una bobina distinta conectada a ella y, cada bobina una tensión distinta, se produce un arco debido al cortocircuito, cortocircuito que no sucede si el rotor de la máquina tiene su circuito abierto, es decir, si 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 figura 44, 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, 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 resolver 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 y 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 8.5.2.1. 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 figura 47, que muestra una máquina bipolar

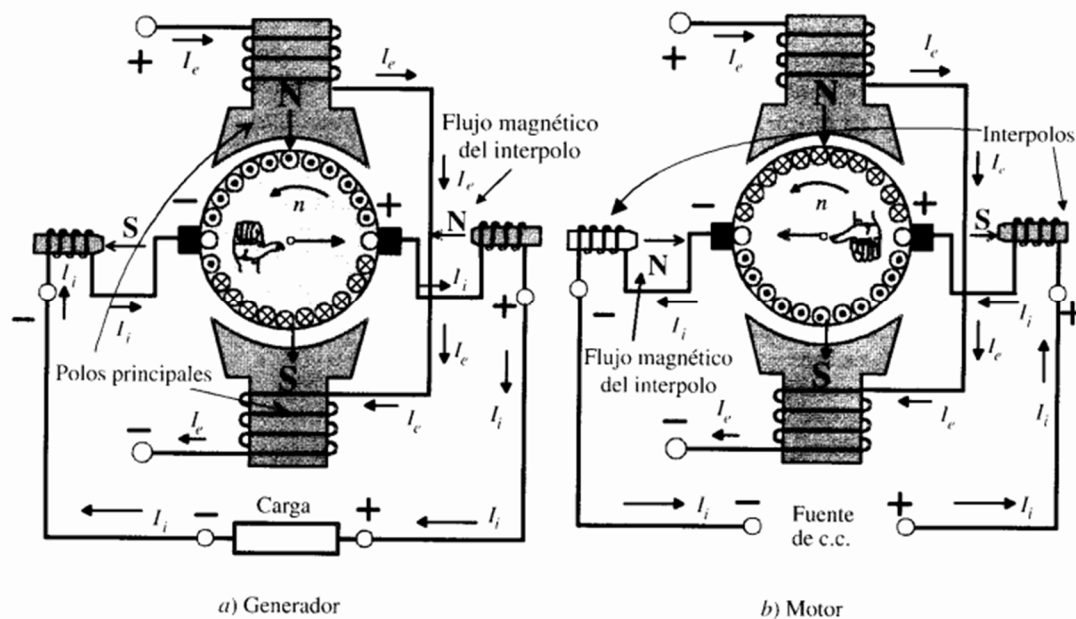


Figura 47: Máquina de corriente continua con polos auxiliares o de conmutación

8.5.2.4 Modos de funcionamiento

8.5.2.4.1 Generador

En la siguiente figura 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

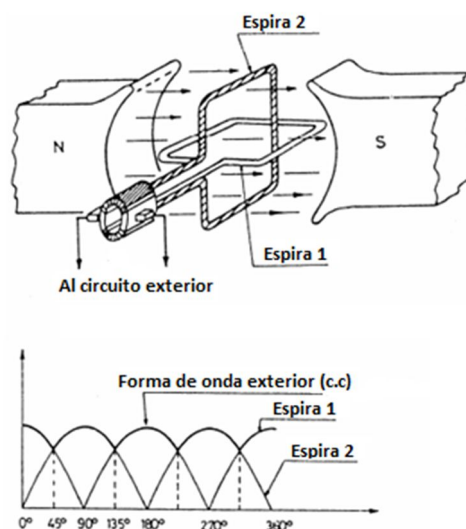


Figura 48: Máquina de corriente continua como generador

En la figura 48 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 8.5.2.3, 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 dicha 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

$$E_{med} = -\frac{2}{T} \cdot \int_{+\Phi}^{-\Phi} d\Phi \rightarrow \frac{4 \cdot \Phi}{T} \quad (\text{Ecuación 8.38})$$

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 tiepo que tarda el rotor en dar una vunta completa, dado en segundos [s].
- Φ , es el flujo del inductor, dado en Weber [Wb].

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

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Ecuación 8.39})$$

Por tanto, si se relacionan las ecuaciones 8.1 y 8.39, la ecuación 8.38 queda de la siguiente forma

$$E_{med} = 4 \cdot \Phi \cdot \frac{p \cdot n}{60} \quad (\text{Ecuación 8.40})$$

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 y, por otro, las de la escobilla negativa. En este caso sólo 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 hecho y que la ecuación 40 representa la fem producida en cada conductor, si se quiere conocer directamente la fem total hay que aplicar la siguiente ecuación

$$E = \frac{n}{60} \cdot Z \cdot \Phi \cdot \frac{p}{c} \quad (\text{Ecuación 8.41})$$

Tanto los polos, los circuitos y el número de conductores es una constante de la máquina, conocida como K_e , por tanto, la ecuación 8.41 queda como

$$E = K_e \cdot n \cdot \Phi \quad (\text{Ecuación 8.42})$$

La ecuación 8.42 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 8.21.

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

Para conocer la tensión en bornes del generador, se utiliza la siguiente ecuación

$$V = E - R_i \cdot I_i - \Delta V_{escobillas} \quad (\text{Ecuación 8.43})$$

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.

Como se puede observar en la figura 48, la señal de salida del generador es una señal rectificadora, 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 figura 48, la señal de corriente alterna del interior de la máquina se ha convertido en corriente continua 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 sólo 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 8.3, 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

$$F_{med} = B_{med} \cdot L \cdot \frac{I_i}{2c} \quad (\text{Ecuación 8.44})$$

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

$$M = R \cdot B_{med} \cdot L \cdot \frac{I_i}{2c} \cdot Z \quad (\text{Ecuación 8.45})$$

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

$$S_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L}{2 \cdot p} \quad (\text{Ecuación 8.46})$$

Por tanto, relacionando la ecuación 8.44 y 8.46, el valor del par queda definido por la siguiente expresión

$$M = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{p}{c} \cdot Z \cdot \Phi \cdot I_i \quad (\text{Ecuación 8.47})$$

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 8.47 queda

$$M = K_m \cdot I_i \cdot \Phi \quad (\text{Ecuación 8.48})$$

La ecuación 8.48 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

$$M = \frac{E \cdot I_i}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (\text{Ecuación 8.49})$$

8.5.2.4.1.1. 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 estator circule una intensidad, esta sea capaz de producir el campo magnético necesario para que el inducido produzca tensión. En la figura 49 se puede apreciar un esquema de un generador de este tipo

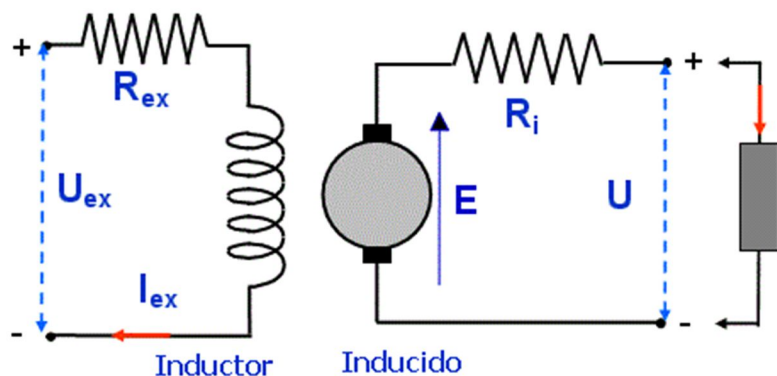


Figura 49: Generador con excitación independiente

8.5.2.4.1.2. Generador con excitación en derivación

En este caso el devanado inductor está conectado en paralelo con el inducido. El valor intensidad de excitación depende de cómo el reóstato regule la intensidad que circula por la rama paralelo. En la siguiente ilustración se puede observar un esquema de este generador.

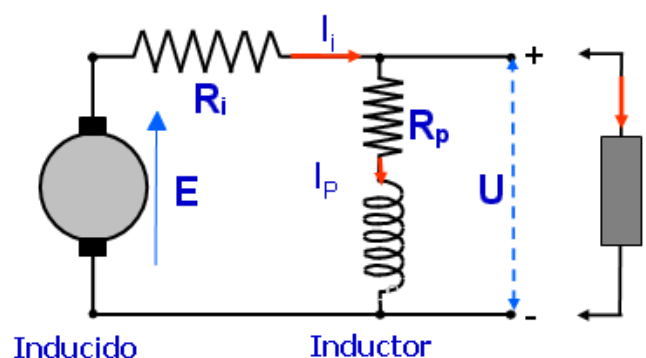


Figura 50: Generador con excitación en derivación

8.5.2.4.1.3. 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 figura 51

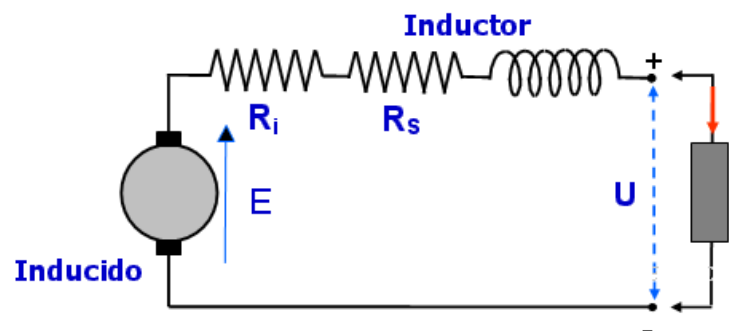
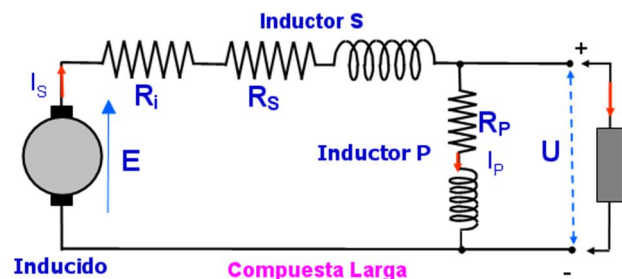


Figura 51: Generador con excitación en serie

8.5.2.4.1.4. 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 figura 52 se pueden observar dos esquemas diferentes de un generador con excitación compuesta



Compuesta Larga

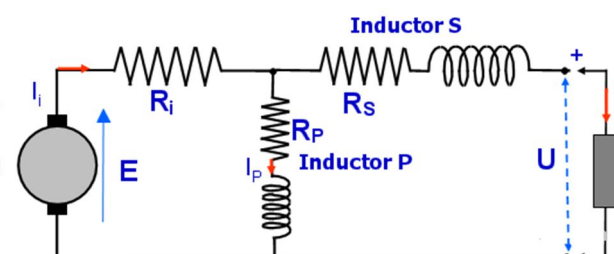


Figura 52: Generador con excitación compuesta

8.5.2.4.2 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

$$V = E + R_i \cdot I_i + \Delta V_{escobillas} \quad (\text{Ecuación 8.50})$$

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 8.49 y 8.50.

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 8.51 queda del siguiente modo

$$V = E - R_i \cdot I_i \quad (\text{Ecuación 8.51})$$

Si se sustituye el valor de E de la ecuación 8.52 en la ecuación 8.42 y, se despeja n , queda la siguiente ecuación

$$n = \frac{V - R_i \cdot I_i}{K_e \cdot \Phi} \quad (\text{Ecuación 8.52})$$

La ecuación 8.53 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 aceleraría 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

$$I_i = \frac{V - E}{R_i} \quad (\text{Ecuación 8.53})$$

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 8.54, 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 adquiera velocidad se retiren hasta que sólo quede la resistencia del inducido.

8.5.2.4.2.1. 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 8.49, 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 8.53. La característica especial de estos motores, es que la velocidad no varía bruscamente con la variación del par.

8.5.2.4.2.2. 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.

8.5.2.4.2.3. 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.

8.5.2.4.2.4. 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.

8.5.3. Motores síncronos

8.5.3.1 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 9.1.

8.5.3.2 Aspectos constructivos

Tal y como aparece en el apartado 8.4.2, 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 (igual o inferior a 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 figura 25 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 30. En cualquier caso, al inductor siempre se le alimenta con corriente continua.

8.5.3.3 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 y, al girar a una

determinada velocidad, del devanado del inducido se obtiene una tensión alterna trifásica con una frecuencia que sólo 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 1.

TENDENCIAS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

9. TENDENCIAS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Las circunstancias que exigen la necesidad de la llegada e implantación del vehículo eléctrico son amplias pero se pueden resumir en varios campos que las hacen más entendibles. Estos campos son:

- Mejora de la eficiencia energética
- Campo medioambiental
- Campo tecnológico
- Estrategia política energética

La mejora de la eficiencia energética se refiere, dentro del sector transportes y de la movilidad eléctrica, a que la energía que un vehículo consume está destinada a desarrollar un par de aceleración, que permita llegar a una cierta movilidad y, a su vez, vencer un par resistente que puede ser: de tipo activo, si se está subiendo una cuesta o, de tipo pasivo, si se está bajando. Los vehículos eléctricos, gracias a sus motores, tienen que la capacidad de un funcionamiento reversible y, por tanto, una capacidad de generación y almacenamiento de energía. Es a esto a lo que hay que referirse cuando se habla de eficiencia energética dentro de los VE.

Desde el punto de vista medioambiental, el punto más importante a tener en cuenta es la contaminación atmosférica. La contaminación dentro de las ciudades es un hecho que está aún por solucionar sobre todo en las grandes urbes como pueden ser Madrid, Barcelona, Londres o París. Utilizar la tracción eléctrica como sistema de movilidad urbana empezando por los transportes públicos es un avance que tiene que implantarse desde ya en las principales ciudades del mundo. Pero no solamente este tipo de contaminación hay que tener en cuenta a la hora de pensar en la implantación del vehículo eléctrico ya que, la contaminación acústica es otro de los problemas que soluciona este utilitario. Claro que no son todo ventajas porque esa ganancia de eliminación de ruidos, debido al insonoro motor eléctrico, hace que entren en juego otros problemas de seguridad como, por ejemplo, como advertir al peatón de la llegada del vehículo y no ser atropellado. Entre la, cada vez mayor,

dependencia del teléfono móvil, las prisas de la sociedad actual y el nulo ruido de estos utilitarios se clara la necesidad de sistemas de aviso.

La parte de la tecnología es la parte más difusa que hay debido en su mayor parte a que, prácticamente todo, depende de cómo evolucionen la baterías en los próximos años. Como ya se explicó en el apartado de baterías, en cuanto las baterías puedan ofrecer autonomías similares a las que ofrecen los vehículos de combustión interna y los precios de los vehículos eléctricos se equiparen a éstos, los VCI serán historia.

Hay otro punto de vista que es muy importante para el conjunto de los países y que es, en mi opinión, el más importante de todos. Hoy en día, los grandes poderes económicos son los que deciden las grandes decisiones políticas y, ante esto, poco se puede hacer. El hecho principal de que el vehículo eléctrico no haya despegado del todo es la no incursión de las grandes compañías petroleras en el negocio. Las infraestructuras de estas grandes empresas son de tal magnitud que hasta que no hayan exprimido hasta la última gota de petróleo van a seguir poniendo trabas a la evolución del VE. Ciertamente que entrarán en investigaciones y en el mercado antes de que eso pase, pero las trabas hasta la total desaparición del petróleo seguirán. A nivel nacional la oportunidad que se tiene por delante es única. España es un país totalmente dependiente de petróleo, es decir, que para que los vehículos que circulan por las carreteras españolas puedan hacerlo, los ciudadanos españoles tienen que aceptar que toda la gasolina que hay en el país es exportada. Ahora bien, se dice que España está ante una oportunidad única por el hecho de que, en el momento que se implante el VE, no solamente pasará a dejar de gastar todo lo que gasta en importación de petróleo sino que, además, debido a las condiciones que hay en el país, el suministro de la energía está garantizado. Si, además, se promocionan las energías renovables, como ya se debería de estar haciendo y no ponerle trabas, como hacen, se estará dando un paso enorme hacia el primer párrafo de este punto, la eficiencia energética.

Para finalizar esta pequeña introducción dentro de las tendencias del vehículo eléctrico hay que decir que la evolución natural dentro del sector transporte es que se implante de una vez por todas este tipo de vehículos. Al igual que la evolución de la vida está sujeta a la entropía, en la que se nace, se madura y se acaba muriendo, los vehículos de combustión interna son un ejemplo más y, por ello, la vida de estos vehículos está llegando a su fin.

De momento hay que conformarse con lo que se tiene en el mercado en estos momentos y, en cuanto a motores disponibles para el vehículo eléctrico, se tienen los que se van a detallar a continuación. Estos son:

- Motor asíncrono o de inducción
- Motor síncrono de imanes permanentes
- Motor de flujo axial
- Máquinas de reluctancia conmutada
- Motor Brushless de corriente continua

9.1 MOTOR ASÍNCRONO O DE INDUCCIÓN

El modo de funcionamiento, las características, el accionamiento de este tipo de motores, es decir, los aspectos fundamentales respecto a cómo se comportan estos motores viene bien explicado en el apartado 8.5.1 de este documento.

Ahora bien, hay que decir que este tipo de motores son los más extendidos dentro del mundo industrial. Alrededor del 80% de los motores de las fábricas son motores asíncronos. Esto se debe a tres características fundamentales. Su gran robustez junto con su bajo coste de producción y, unido a su escaso mantenimiento lo hacen el compañero ideal para la industria.

Antiguamente, en accionamientos con regulación de velocidad, como los de tracción eléctrica, se utilizaban motores de corriente continua. Hoy, gracias en parte a la electrónica, se instalan motores asíncronos con convertidores electrónicos.

Los variadores de frecuencia han hecho posible que se pueda modificar la velocidad de giro del estator, por lo que, este tipo de motores, gracias a ello, pueden entregar su par nominal, prácticamente, para cualquier velocidad. Debido a estas características, los MA son motores muy apropiados para las necesidades mecánicas de los vehículos. Uno de los problemas más acentuados de este tipo de motores es su baja densidad de potencia pero, mientras, el espacio no suponga ningún problema y la potencia que se pida no sea muy alta no tendrá limitaciones.

Algunos de los vehículos eléctricos que utilizan motores de inducción son, el Tesla Model S que incorpora un motor de inducción de cuatro polos, de corriente alterna y con rotor de cobre.



Ilustración 37: Tesla Model S con motor de inducción

Y el Volkswagen i-Golf que monta un motor asíncrono de 85 kW refrigerado por agua.



Ilustración 38: Volkswagen i-Golf con motor asíncrono

Algunas de las ventajas, a parte de las ya comentadas, es su amplia gama de velocidades debido a que, con la variación de la tensión o de la inclusión de resistencias (motores asíncronos de rotor bobinado), se puede modificar la velocidad ampliamente como se explica en el apartado 8.

9.2 MOTOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES

Tradicionalmente, la máquina síncrona se ha utilizado en la industria en aplicaciones de generación de energía eléctrica. Esto es así debido a que en la generación de energía prima que no haya demasiadas fluctuaciones, por tanto, la velocidad constante del motor sincrónico hace que su coseno de ϕ sea igual a la unidad, es decir, que tenga un factor de potencia ideal lo que genera que el rendimiento sea mucho mayor para un mismo consumo. En aplicaciones industriales se utiliza el motor asíncrono como ya se ha explicado en el apartado anterior debido a que el motor síncrono, y estas son sus desventajas, tiene una mayor complejidad en su instalación y, además tiene un peor mantenimiento y arranque. Aunque, a día de hoy, ya se empiezan a utilizar en mayor medida debido a las nuevas tecnologías, sobre todo, en materia electrónica, esto añadido a su mayor densidad de potencia y mejor rendimiento, como ya se ha dicho, evidencian su, cada vez, mayor uso.

La idea, y ventaja, del motor síncrono de imanes permanentes es la sustitución del circuito de excitación por imanes permanentes de alta energía. Esto hace, por ejemplo, que su tamaño se reduzca en, aproximadamente, un 30% y que su eficiencia aumente en, aproximadamente, un 10%.

Al principio estos motores eran de poca potencia y bastante pequeños. Una de las aplicaciones que tenían era el movimiento de los discos duros de los ordenadores pero hoy en día es mucho mayor su campo de aplicación debido a que se pueden fabricar más grandes y de mayor potencia.

En el vehículo eléctrico son los motores que, hasta el momento, más se han utilizado para impulsarlos. Algunos de los vehículos con motores de síncronos de imanes permanentes son, el Nissan Leaf que monta un motor síncrono de 80 kW en su versión más pequeña



Ilustración 39: Nissan Leaf con motor síncrono

Y el Mitsubishi i-MiEV que incorpora un motor síncrono de imanes permanentes de 67 CV.



Ilustración 40: Mitsubishi i-MiEV con motor síncrono

Las ventajas que tienen este tipo de motores a la hora de utilizarlos como sistema de propulsión de vehículos eléctricos es que, debido a que el factor de potencia es la unidad, tienen una alta densidad de potencia y una muy alta eficiencia. Además, como estos motores tienen muy pocas variaciones el par que genera es muy constante. Otra ventaja es su bajo peso y tamaño.

Unos de los inconvenientes de estos motores es que la que supone una de sus ventajas, que son los imanes. La eficiencia de estos motores depende de las propiedades magnéticas del rotor y éste, a su vez, de las propiedades del material utilizado. Los imanes más prometedores actualmente son de neodimio, hierro, boro. Esto hace que el coste de fabricación sea elevado debido a que la extracción de este tipo de minerales es elevado.

9.3 MOTOR DE FLUJO AXIAL

Estos motores son motores síncronos de imanes permanentes, es decir, motores como los explicados en el apartado anterior, pero con algunas particularidades que los hacen diferentes a la hora de su aplicación. Ya se utilizan estos motores, por ejemplo, en grandes ascensores y en trenes pero de forma lineal, no de la misma forma en que se quiere implantar en los vehículos eléctricos.

La principal particularidad de estos motores es el modo de creación del campo magnético. Estos motores cierran los circuitos magnéticos de forma

axial, es decir, al variar la forma en la que se disponen los devanados y los imanes, tanto de estator, como de rotor se permite un flujo para el campo magnético que es paralelo al eje motor. Esto hace que el principio de funcionamiento sea prácticamente el mismo pero que reduzca considerablemente su tamaño, y esta es una de sus principales ventajas.

La forma de estas máquinas hace que el estator esté separado en dos discos y que, en medio de estos, haya otro sobre el que actúan y que corresponde al rotor. Esta disposición hace que las fuerzas axiales sean contrarrestadas y que los esfuerzos que tengan que soportar los rodamientos del eje sean sólo su propio peso y las fuerzas de inercia. Que el estator y el rotor tengan forma de disco hace que haya mayores flujos magnéticos en menores tamaños de rotor, lo que lleva a que tanto la masa total como el momento de inercia se vean reducidos.

Estos motores permiten ser integrados directamente en la rueda, optimizando el espacio en el vehículo y simplificando los acoplamientos mecánicos entre motor y rueda. Además, esta forma de propulsión permite un ahorro en peso y coste debido a que se necesitan menos componentes en el vehículo y se aprovecha mejor el espacio del interior del vehículo ya que, por ejemplo, el vacío que deja podía ser aprovechado para aumentar el número de baterías dando así mayor autonomía al vehículo.

A nivel de utilización estos motores han sido probados en pequeños vehículos con resultados muy optimistas de cara al futuro. Se están realizando vehículos que tienen como forma de propulsión el motor de flujo axial dentro de las ruedas que está generando grandes expectativas y, puesto que no se está hablando para vehículos de competición, las capacidades dinámicas que se sacrifican se pueden despreciar.

Como se ha explicado antes, estos motores pueden llegar a ser ya muy potentes y con un gran rendimiento a pesar de su reducido tamaño, que es un aliciente más a su futura utilización.



Ilustración 41: Ejemplo de aplicación de motor de flujo axial



Ilustración 42: Motor de flujo axial

9.4 MÁQUINAS DE RELUCTANCIA CONMUTADA

Estos motores están todavía en fase de investigación y solamente se han probado en algunos prototipos, por lo que habrá que esperar a ver su evolución

El principio de funcionamiento de este motor es muy intuitivo si se ve un esquema de él.

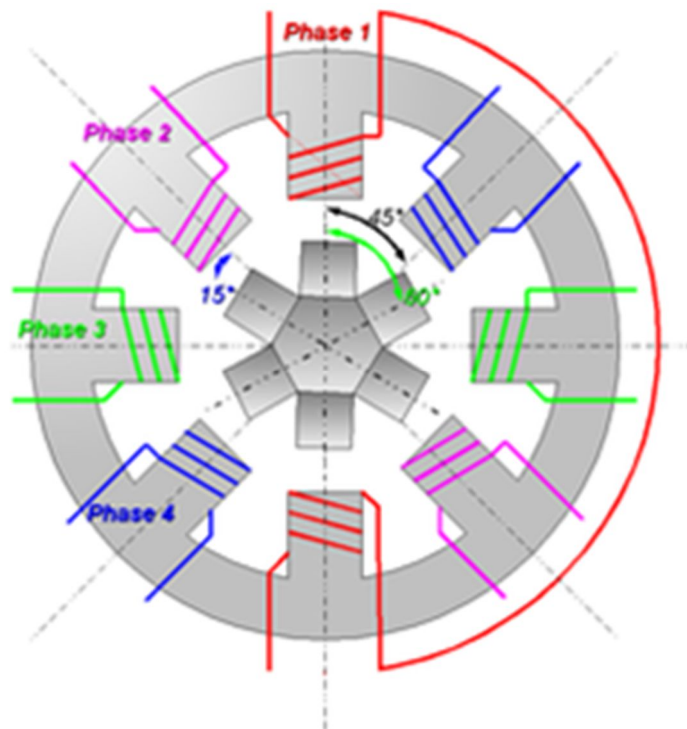


Figura 53: Esquema motor reluctancia conmutada

El motor descansa en un eje de hierro sobre unos cojines que hacen posible su giro. Gracias a un campo magnético creado por la corriente eléctrica los dientes del rotor se orientan y la conmutación del campo hace posible el movimiento del eje. Varias bobinas conectadas en pares de fase independientes rodean los polos salientes del estator. En el momento en que un par de bobinas son energizadas los dientes del rotor más cercanos a dichas bobinas se orientan, como se dijo antes, hacia ellas alineándose con los polos salientes del estator y haciendo que el espacio entre rotor y estator sea el mínimo posible.

Inversores y convertidores son los encargados de la conmutación y variación del campo por lo que, gracias a ellos, se puede controlar la velocidad y el par de estos motores.

Estos motores tienen un bajo momento de inercia gracias a los huecos existentes entre los dientes del rotor. Esta característica, no sólo los hace más ligeros sino que, además, reducen su coste considerablemente al no llevar bobinados ni imanes permanentes, lo que supone una ventaja frente al resto de motores competidores.

El principal inconveniente que tienen hasta ahora estos motores y que supone una gran desventaja a día de hoy es que entrega un par que sufre muchas variaciones, por lo que es muy negativo a la hora de su utilización como medio de propulsión de un vehículo. La sensación para un consumidor de que el vehículo vaya dando tirones no es, ni de lejos, nada buena a la hora de instalar este tipo de motores.

Aún así, si los avances en este tipo de motores evolucionan hasta encontrar una solución a este problema que se ha dicho puede ser el motor del futuro y, además, su robustez, sencillez de fabricación y su control mediante sistemas electrónicos lo avalan.

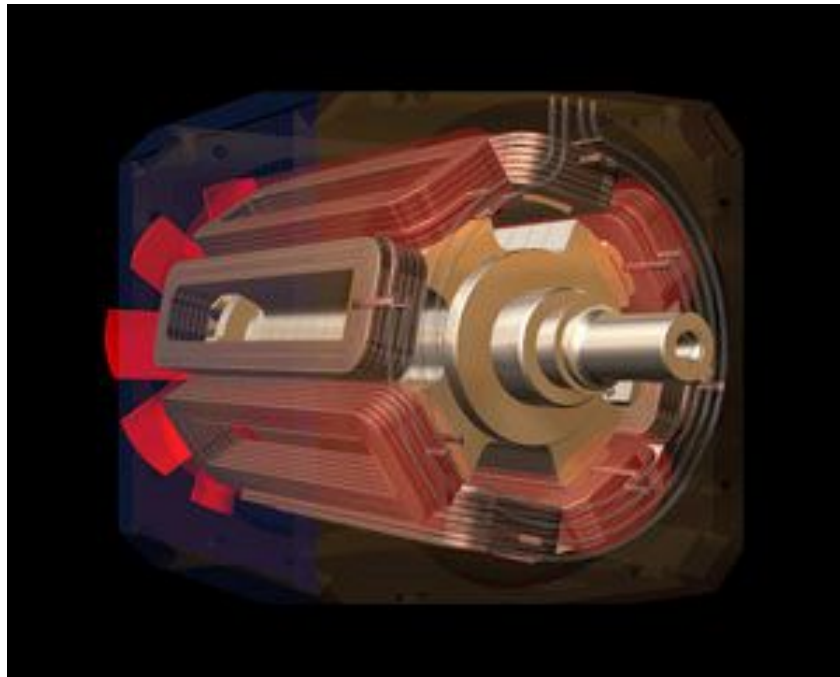


Ilustración 43: Motor reluctancia conmutada

En estos motores la alta densidad de potencia se debe a que, al ser continua, toda la potencia que genera es activa. El control de estos motores es bastante sencillo debido al hecho de que se controlan con elementos electrónicos como inversores y convertidores. El mantenimiento y fabricación de estos motores es muy fácil y sencillo lo que hace que el coste de estos motores sea muy bajo.

Los inconvenientes de este tipo de motores es, por ejemplo, un bajo par de arranque debido a la baja capacidad de sobrecarga que tienen. Al cambiar de fase a fase, aunque este cambio se hace muy rápido, produce un arranque-parada continuo que lleva al par fluctuante que se ha explicado antes y que genere muchas vibraciones y ruidos.

9.5 BRUSHLESS C.C.

Este tipo de máquinas se denominan accionamientos de avance y tienen mucho uso en aplicaciones de control de par constante como, por ejemplo, el posicionamiento de elementos móviles. Estos accionamientos de avance se utilizan en aplicaciones de máquinas herramientas o en robótica, aunque se pueden usar en cualquier tipo de aplicación en la que se requiera controlar el par, la velocidad o la posición, incluso varias de estas magnitudes al mismo tiempo.

El motor Brushless es un motor síncrono de imanes permanentes que utilizan imanes de tierras raras. Para reducir la inercia de estos motores se hacen unos agujeros en el mismo y se aligeran. De esta forma la inercia del motor es alrededor de diez veces menos que la de un motor de corriente continua de imanes permanentes.

El devanado se aloja en el estator, lo cual ayuda bastante en la eliminación del calor emitido por efecto Joule, lo que hace que el tamaño del Brushless sea menos. No posee colector de delgas ni escobillas. La conmutación se realiza con conmutadores estáticos, que son sistemas que transforman la c.c. de tensión constante en c.c. de tensión variable y de la misma frecuencia. La ausencia de colector permite al motor obtener velocidades mayores que su homólogo de continua, además de tener menos inercia.

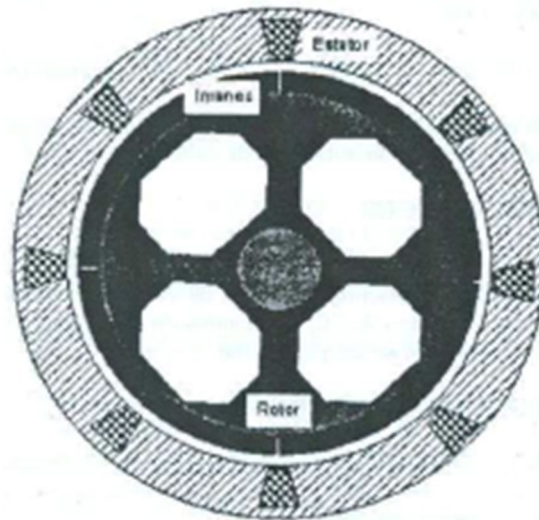


Figura 54: Disposición típica del motor Brushless

La robustez de este tipo de motores unido su magnífica respuesta dinámica y a su nulo mantenimiento, lo hacen el motor ideal para los accionamientos de avance.

El principio de funcionamiento de este tipo de motores es tal que la conmutación de las bobinas se produce de forma electrónica. Dispone de tres fases, al igual que los motores de inducción trifásicos, con N bobinas por fase. La velocidad de conmutación viene determinada por la velocidad de giro mientras que ésta está gobernada por la tensión. La posición de los imanes permanentes determinan las fases que se activan. A continuación se puede ver una simulación de la densidad del campo magnético

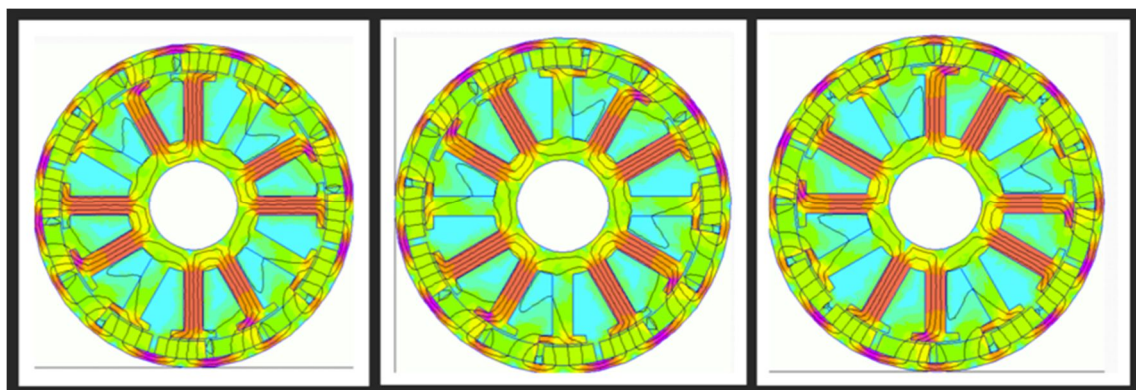


Figura 55: Simulación densidad de campo magnético

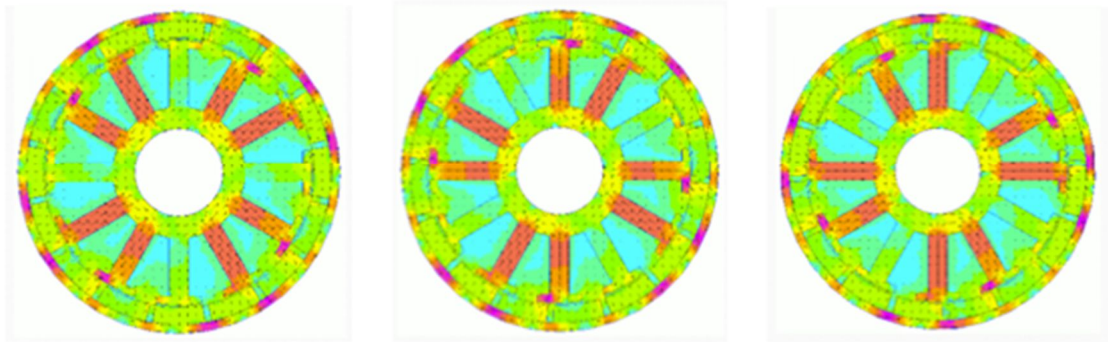


Figura 56: Simulación de densidad de campo magnético indicando la dirección del campo

Las características más representativas de estos motores son: su alta eficiencia, en torno al 90%, 95% los motores más destacados en su punto óptimo de funcionamiento. Muy buena relación potencia/peso y potencia/volumen. Par muy alto, velocidad que se puede controlar con mucha precisión y baja ruido cuando está en funcionamiento.

Este tipo de motores tiene las ventajas de tener una media-alta densidad de potencia así como un alto par de arranque debido a la capacidad de sobrecarga que tienen los motores eléctricos.

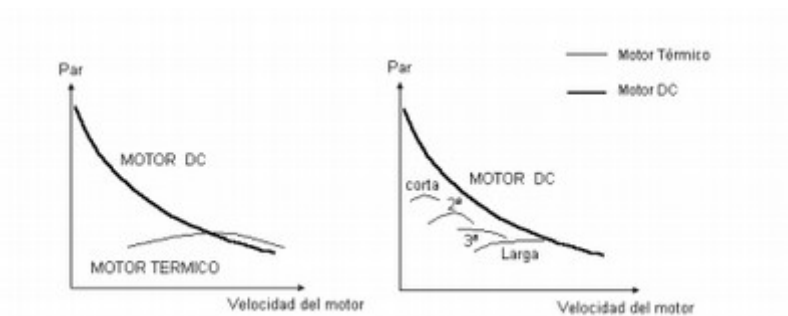


Figura 57: Comparación de curva de par entre motor térmico y motor serie de corriente continua.

Otra de las ventajas es que, al tener en el rotor imanes permanentes su mantenimiento es bajo y, por tanto, su coste. Es capaz de operar en los cuatro cuadrantes como cualquier tipo de motor eléctrico y tiene una gran robustez mecánica.

Los inconvenientes principales que presenta es el alto coste de los imanes. Otro de los inconvenientes es que se necesitan sensores para detectar la posición del rotor lo que hace que se encarezca su precio.

A parte de las ventajas propias de estos motores, disponen de otras tantas en comparación con los motores térmicos, como son: menos costes operativos, no contaminan, funcionan sin vibraciones, tiene una curva de par plana, sus características no cambian con la altura ni con el tiempo de funcionamiento, etc.

9.6 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden sacar respecto a cada vehículo es que, por ejemplo, el motor de continua ya no se acostumbra a utilizar en tracción eléctrica. El motor síncrono es el más utilizado actualmente en su versión de imanes permanentes. El motor asíncrono se utiliza en vehículos de peso medio como motor de tracción. El motor de flujo axial dentro de las ruedas está siendo probado en vehículos puramente eléctricos y puede ser una revolución en los vehículos de tracción rueda a rueda. El de reluctancia conmutada se puede utilizar en vehículos cien por cien eléctricos pero de momento con muchas cosas que mejorar.

INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA

10. INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA

10.1 INTRODUCCIÓN

Evidentemente, a la hora de implantar definitivamente el vehículo eléctrico hay que conocer y entender que, una vez, este tipo de utilitarios este asentado en el mercado y en la sociedad supondrá una demanda de energía que tiene que abastecerse.

Para ello hay que tener una idea bastante precisa del nivel de generación que existe, en este caso, a nivel nacional, para poder hacer un cálculo de que cantidad se va a necesitar y de dónde va a ser obtenida. Además, hay que tener en cuenta otros factores como, por ejemplo, las infraestructuras de red que existen en estos momentos y si serán capaces de soportar un demanda de energía como la habrá en el momento de establecimientos del VE.

Una de las ventajas que tiene la electricidad ante el combustible es la multitud de fuentes de energía tanto renovables como no renovables que existen en la naturaleza. Por suerte y, como ya se comentó en algún punto de este documento, España es afortunada en cuestiones de generación de energía de ambas características pero, sobre todo, renovables, si se toman la medidas políticas adecuadas en este campo y se apuesta por ellas.

10.2 TIPOS DE CONECTORES

Al no existir a día de hoy una estandarización de los tipos de conectares, se puede encontrar varios tipos de enchufes, cada uno con sus propiedades y de distinto tamaño.

10.2.1. Conector doméstico normal, tipo schuko.

Este tipo de enchufe es compatible con cualquier toma de corriente doméstica de ámbito europeo. Evidentemente consta de sus dos bornes y su toma de tierra y puede aguantar corrientes de hasta 16 amperios. Se utilizan en recargas lentas y no tienen posibilidad de comunicación. Corresponde a la estandarización de la CEE/7/4 Tipo F.

*Ilustración 44: Enchufe schuko*

10.2.2. Conector SAEJ1772, o Tipo 1

Es un conector estándar de EEUU específico para VE. Dispone de cinco bornes, dos de corriente, uno de tierra y dos más complementarios, uno para control, es decir, comunicación con la red y otro de detección de proximidad para que el vehículo no se mueva mientras está enchufado. Mide 42 mm

*Ilustración 45: Conector SAE J1772*

Hay de dos tipos:

- Hasta 16 amperios, para recargas lentas
- Hasta 80 amperios, para recargas rápidas

10.2.3. Conector Mennekes, o tipo 2

Se trata de un conector de tipo industrial, alemán. En principio no es específico para vehículos eléctricos. Dispone de siete bornes, cuatro para corriente, trifásica, evidentemente, uno de tierra y dos para comunicación. Mide 55 mm de diámetro. Aunque se ha dicho que es, evidentemente, trifásico, de ahí las cuatro tomas también se puede conectar de forma monofásica, de hecho, existen dos modos

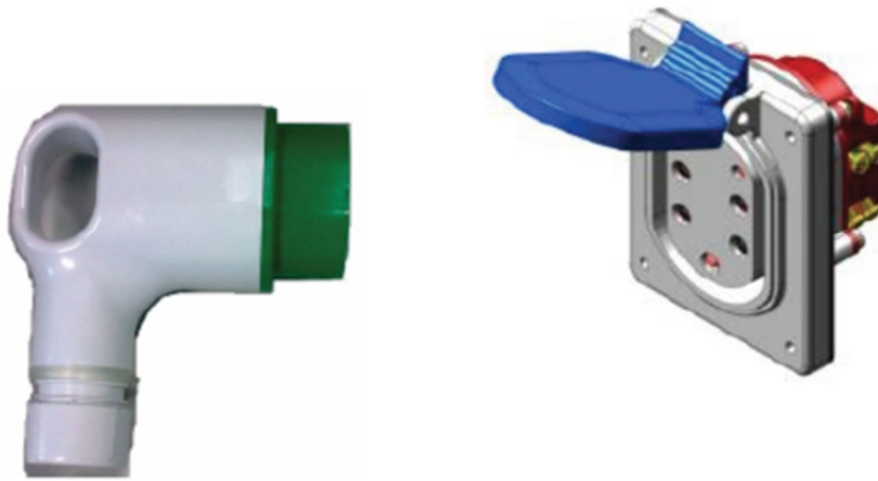
- Monofásico, hasta 16 amperios, para recargas lentas
- Trifásico, hasta 63 amperios, para recargas rápidas.



Ilustración 46: Conector Mennekes

10.2.4. Conector Scaem, o Tipo 3

Es el recomendado por los fabricantes franceses. Dispone de cinco o siete bornes, dependiendo si es para corriente monofásica o trifásica, uno de tierra y uno de comunicación. Es para recargas semi-rápida, aguanta 32 amperios.

*Ilustración 47: Conector Scaev*

10.2.5. Conector CHAdeMO

Es el prototipo estandarizado por los japoneses. Es para recarga rápida, pero con corriente continua. Dispone de diez bornes, toma de tierra, comunicación con la red. Permite hasta 200 amperios de intensidad, es decir, para recargas muy rápidas.

*Ilustración 48: Conector CHAdeMO*

10.2.6. Conector Combo o CCS.

- Dispone de cinco bornes para corriente, toma de tierra y comunicación a red. Puede usarse para carga lenta y para carga rápida. Posiblemente sea el estándar para Alemania y EEUU.



Ilustración 49: Conector Combo o CCS

10.3 TIPOS DE RECARGA

Los tipos de recarga existentes hasta el momento se pueden clasificar en lentas y rápidas.

10.3.1. Recargas lentas

10.3.1.1 Recarga super-lenta

Este tipo de recarga es para intensidades límites de 10 A, ya que no tiene una base de recarga con debida protección e instalación eléctrica destinada a tal uso. El tiempo medio de recarga, para un VE normal con baterías de entre 22 y 24 kWh, es de entre 10 y 12 horas.

10.3.1.2 Recarga lenta

Es la recarga normalizada, para 16 A. El tiempo medio de recarga de un VE normal está entre 6 y 8 horas. La potencia eléctrica que puede entregar, en

este caso, es de 3,7 kW. La idea de este tipo de recarga con las infraestructuras eléctricas que hay hoy en día, es que se utilice para recargar el vehículo eléctrico durante la noche, al existir menor demanda de energía.

10.3.2. Recargas rápidas

10.3.2.1 Recarga semi-rápida

Esta clase de recarga es para intensidades de 32 amperios, Este tipo de recarga implica que se puede entregar una potencia de 7,3 kW aprox. Lo que llevaría una duración de recarga de unas 4 horas, solución solamente factible si se utiliza este tipo de recarga para abastecer la batería del vehículo durante la noche.

10.3.2.2 Recarga rápida

La potencia que demanda este tipo de recarga es de entre 44 y 50 kW, muy alta. La duración de recarga de las baterías con ella está en torno a la media hora y la recarga que se produce está alrededor del 85% de la capacidad de la batería. La entrega de energía se hace en corriente continua y la solución que más se adapta a las condiciones de repostaje de los vehículos de combustión interna en sus hábitos actuales. Este y caso, y los que están por encima, requieren un nivel eléctrico mayor, por lo que, es posible que haga falta una mejor adecuación de las condiciones e, incluso, de las características de la red. Para hacerse una idea, la potencia requerida es similar a la de un edificio de 15 viviendas.

10.3.2.3 Recarga super-rápida

Evidentemente, esta recarga requiere aún más potencia que la anterior, más o menos, el doble. Es la recarga que utiliza el Tesla Model S, con potencias entre 90 y 120 kW. Tarda alrededor de unos 20 minutos recargar unos 250 km de autonomía.

10.3.2.4 Recarga ultra-rápida

Esta está en período experimental en vehículos con supercondensadores. La potencia es la más elevada de todas, de entre 130 y 150 kW. El tiempo estimado de recarga es de entre cinco y diez minutos, pero tienen el problema de las baterías, pues la más usadas hasta ahora, las de litio, no soportan las altas temperaturas de esa intensidad de recarga.

10.4 MODOS DE RECARGA

Dependiendo de la forma de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga, y el control sobre la programación, la parada, el estado o la reanudación del proceso de carga, existen cuatro modos de recargar el vehículo eléctrico. Hay que decir que los modos uno y dos corresponden a recargas lentas, el modo 3 para a recargas semi-rápidas y el modo 4 a recargas rápidas.

10.4.1. Modo 1

Se hace con el conector schuko, no tiene comunicación con la red. Se hace con carga monofásica hasta 250 V y trifásica hasta 480 V.



Ilustración 50: Modo 1 de recarga

10.4.2. Modo 2

La comunicación con la red es mínima, ya que se limita a un piloto para conocer si está bien conexionado o no, es decir, si está o no cargando. Se hace con conector schuko, como la anterior.

*Ilustración 51: Modo 2 de recarga*

10.4.3. Modo 3

En este modo ya se utiliza un sistema especial de alimentación específico y conector especial. Dicho sistema permite la identificación del VE y las características de la carga, ya que utiliza un oscilador que manda pulsos modulados en c.c. para conocer la secuencia de recarga, los requisitos de ventilación de la batería, la seguridad de la conexión, etc. En este modo se puede efectuar un control de la potencia de forma que se pueden utilizar estrategias para una recarga inteligente en las infraestructuras que así lo permitan. Se pueden utilizar conectores SAE J1772, Mennekes, CCS o Scame.

*Ilustración 52: Modo 3 de recarga*

10.4.4. Modo 4

En este modo existe un convertidor de corriente continua. El cargador, el cable y el conector son externos al vehículo y se accede a él a partir del convertidor de c.c. a potencias, intensidades y tensiones elevadas (50 kW, 125 A, 500 V). Ello se lleva a cabo mediante tomas y conectores especiales, por ejemplo, el conector CHAdeMO.

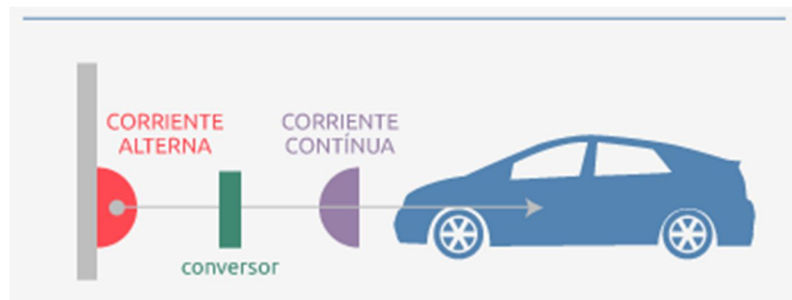


Ilustración 53: Modo 4 de recarga

ESTUDIO DE PRECIOS Y VENTAS

11. 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 tabla 4.

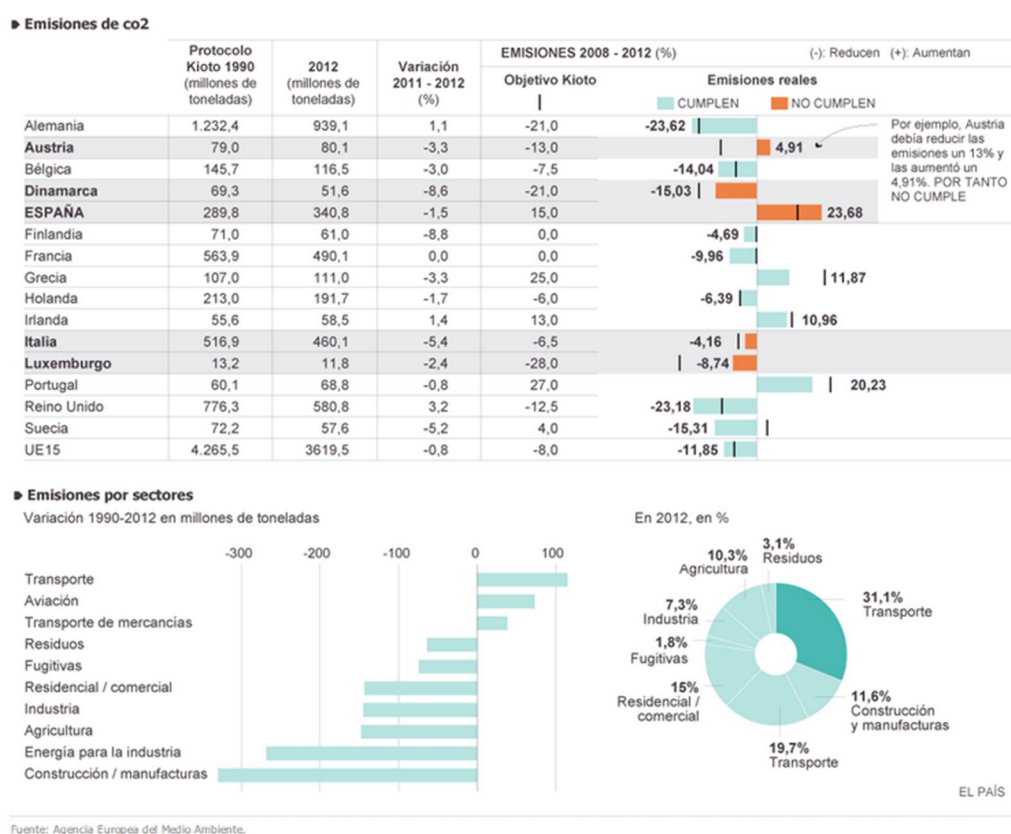


Tabla 4: Emisiones CO₂ de países europeos firmantes del protocolo de Kioto

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.

11.1 PRECIOS

En este apartado se van mostrar dos tablas que corresponden a una comparativa de precios entre vehículos híbridos y los vehículos eléctricos donde se puede ver cómo, dependiendo, por un lado, de las ayudas de las propias marcas de los vehículos y el gobierno de España y, por otro, de si las baterías son alquiladas o no, los precios varían entre ellos.

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 compren 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.

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)
por orden alfabético	VEHÍCULO ELÉCTRICO	TIPOLOGÍA			5.500/3700 € ayuda del Gobierno	Cuota mensual Tiempo Acumulado			
	Actualizados en julio 2015						meses		
	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 €
	KIA SOUL EV (versión s/CHADEMO)	Eléctrico baterías	32.790,00 €	5.000,00 €	22.290,00 €				22.290,00 €
	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 €
	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 €
	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 €

Tabla 5: Comparativa de precios según Plan Movele

	mitsubishi i-MIEV (2015)	Eléctrico baterías	24.400,00 €		18.900,00 €				18.900,00 €
	mitsubishi OUTLANDER PHEV Motion	Híbrido enchufable	42.200,00 €	6.005,00 €	32.495,00 €				32.495,00 €
	mitsubishi OUTLANDER PHEV Kaiteki	Híbrido enchufable	47.200,00 €	6.005,00 €	37.495,00 €				37.495,00 €
	NISSAN LEAF VISIA	Eléctrico baterías	29.900,00 €		24.400,00 €				24.400,00 €
	NISSAN LEAF VISIA flex	Eléctrico baterías	24.000,00 €		18.500,00 €	79,00 €	(2)	84	6.636,00 € 25.136,00 €
	NISSAN LEAF VISIA+	Eléctrico baterías	31.300,00 €		25.800,00 €				25.800,00 €
	NISSAN LEAF VISIA+ flex	Eléctrico baterías	25.400,00 €		19.900,00 €	79,00 €	(2)	84	6.636,00 € 26.536,00 €
	NISSAN LEAF ACENTA	Eléctrico baterías	33.700,00 €		28.200,00 €				28.200,00 €
	NISSAN LEAF ACENTA flex	Eléctrico baterías	27.800,00 €		22.300,00 €	79,00 €	(2)	84	6.636,00 € 28.936,00 €
	NISSAN LEAF ACENTA Limited Edition	Eléctrico baterías	34.100,00 €		28.600,00 €				28.600,00 €
	NISSAN LEAF ACENTA Limited Edition flex	Eléctrico baterías	28.200,00 €		22.700,00 €	79,00 €	(2)	84	6.636,00 € 29.336,00 €
	NISSAN LEAF TEKNA	Eléctrico baterías	36.100,00 €		30.600,00 €				30.600,00 €
	NISSAN LEAF TEKNA flex	Eléctrico baterías	30.200,00 €		24.700,00 €	79,00 €	(2)	84	6.636,00 € 31.336,00 €
	NISSAN e-NV200 EVALIA 5 plazas	Eléctrico baterías	37.188,00 €		31.688,00 €				31.688,00 €
	NISSAN e-NV200 EVALIA 5 plazas flex	Eléctrico baterías	31.288,00 €		25.788,00 €	75,00 €	(2)	84	6.300,00 € 32.088,00 €
	NISSAN e-NV200 EVALIA 7 plazas	Eléctrico baterías	37.793,00 €		32.293,00 €				32.293,00 €
	NISSAN e-NV200 EVALIA 7 plazas flex	Eléctrico baterías	31.893,00 €		26.393,00 €	75,00 €	(2)	84	6.300,00 € 32.693,00 €
	OPEL AMPERA	Autonomía extendida	38.300,00 €		34.600,00 €				34.600,00 €

Tabla 6: Comparativa de precios según Plan Movele

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)
MARCAS	VEHÍCULO ELÉCTRICO	TIPOLOGÍA				Cuota mensual	Tiempo	Acumulado	
por orden alfabético	Actualizados en julio 2015				5.500/3700 € ayuda del Gobierno		meses		
	PEUGEOT iOn	Eléctrico baterías	23.190,00 €	incluidas	17.690,00 €				17.690,00 €
	RENAULT ZOE Q210 LIFE	Eléctrico baterías	21.500,00 €		16.000,00 €	79,00 €	(2) 84	6.636,00 €	22.636,00 €
	RENAULT ZOE Q210 INTENS 6 ZEN	Eléctrico baterías	23.300,00 €		17.800,00 €	79,00 €	(2) 84	6.636,00 €	24.436,00 €
	RENAULT ZOE R240 LIFE	Eléctrico baterías	21.500,00 €		16.000,00 €	79,00 €	(2) 84	6.636,00 €	22.636,00 €
	RENAULT ZOE R240 INTENS 6 ZEN	Eléctrico baterías	23.300,00 €		17.800,00 €	79,00 €	(2) 84	6.636,00 €	24.436,00 €
	SMART FORTWO ED	Eléctrico baterías	SIN PRECIO OFICIAL						
	SMART FORTFOUR ED	Eléctrico baterías	SIN PRECIO OFICIAL						
	TESLA MODEL S 70	Eléctrico batería	75.504,00 €		(6)				75.504,00 €
	TESLA MODEL S 70D	Eléctrico batería	80.828,00 €		(6)				80.828,00 €
	TESLA MODEL S 85	Eléctrico batería	86.152,00 €		(6)				86.152,00 €
	TESLA MODEL S 90	Eléctrico batería	89.419,00 €		(6)				89.419,00 €
	TESLA MODEL S 85D	Eléctrico batería	91.476,00 €		(6)				91.476,00 €
	TESLA MODEL S 90D	Eléctrico batería	94.743,00 €		(6)				94.743,00 €
	TESLA MODEL S P85D	Eléctrico batería	113.014,00 €		(6)				113.014,00 €
	TESLA MODEL S P90D	Eléctrico batería	116.281,00 €		(6)				116.281,00 €
	TESLA MODEL X SIGNATURE	Eléctrico batería	132.000-144.000 \$		(6)				132.000-144.000 \$

Tabla 7: Comparativa de precios según Plan Movele

	VOLKSWAGEN e-GOLF	Eléctrico baterías	36.530,00 €		31.030,00 €				31.030,00 €
	VOLKSWAGEN e-UP!	Eléctrico baterías	27.540,00 €		22.040,00 €				22.040,00 €
	VOLKSWAGEN GOLF GTE	Híbrido enchufable	39.330,00 €		35.630,00 €				35.630,00 €
	VOLVO V60 D6 Twin Engine AWD Summum	Híbrido enchufable	62.450,00 €		(6)				62.450,00 €

Tabla 8: Comparativa de precios según Plan Movele

11.2 VENTAS

En este apartado de ventas 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. A continuación se puede 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
Ventas de coches		970.000	1.050.000	1.100.000	1.200.000	1.300.000	1.400.000	1.500.000
Proyección Pesimista	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

Tabla 9: Previsión de venta de vehículos según Renault.

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

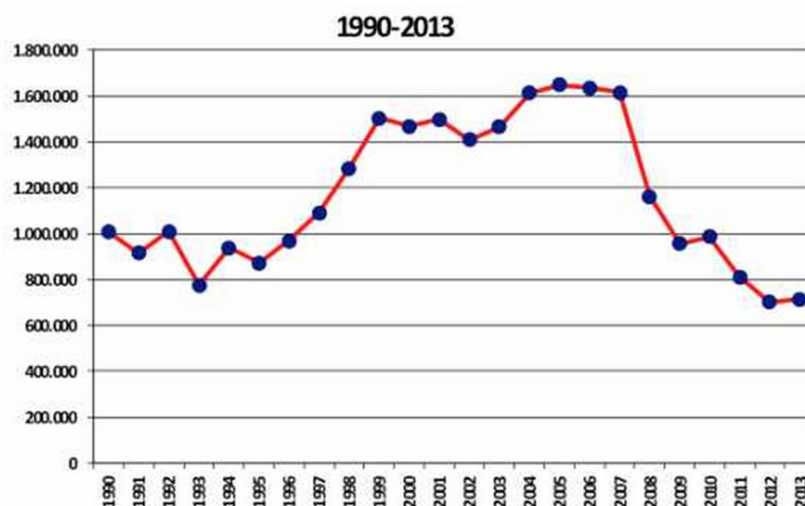


Figura 58: Evolución de venta de vehículos en España.

Analizando la tabla de previsiones 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 tabla 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.

A continuación aparecen algunas tablas significativas de un estudio de ventas del año 2015, actualizado a septiembre de este año, y que realizan alguna comparación con respecto a 2014. En este estudio no solamente se puede observar la venta a nivel nacional sino también a nivel europeo e internacional.

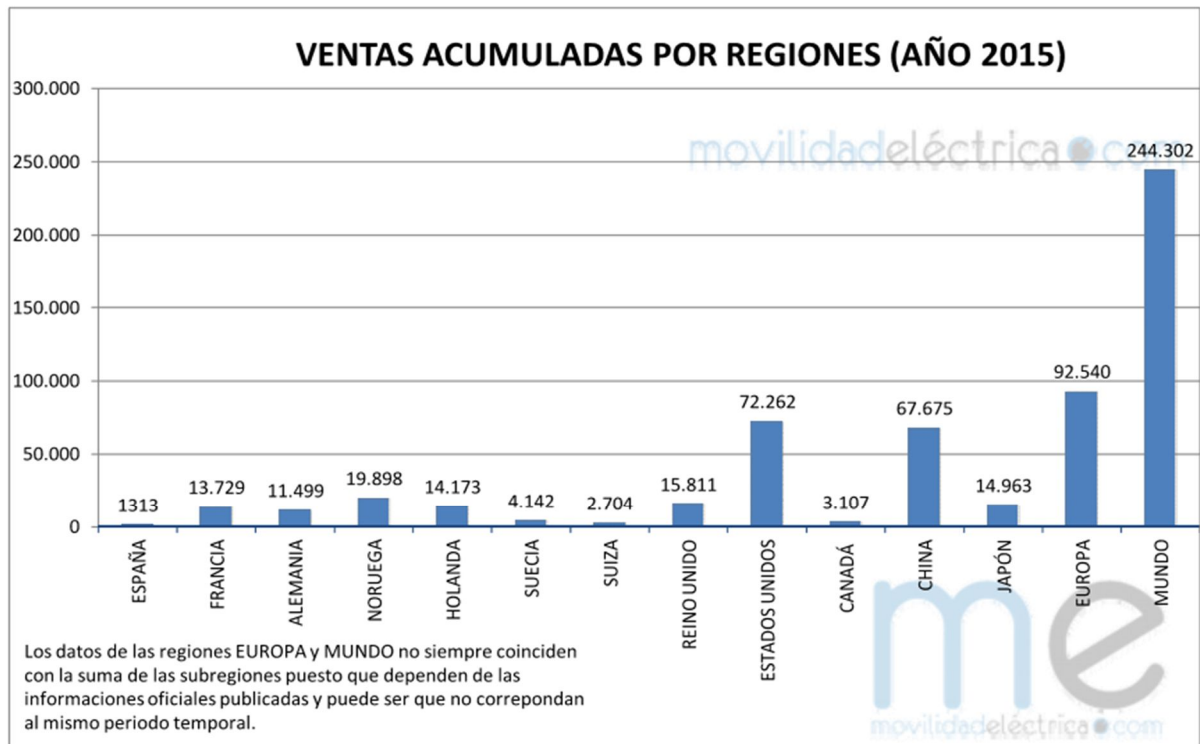


Figura 59: Ventas acumuladas hasta agosto de 2015

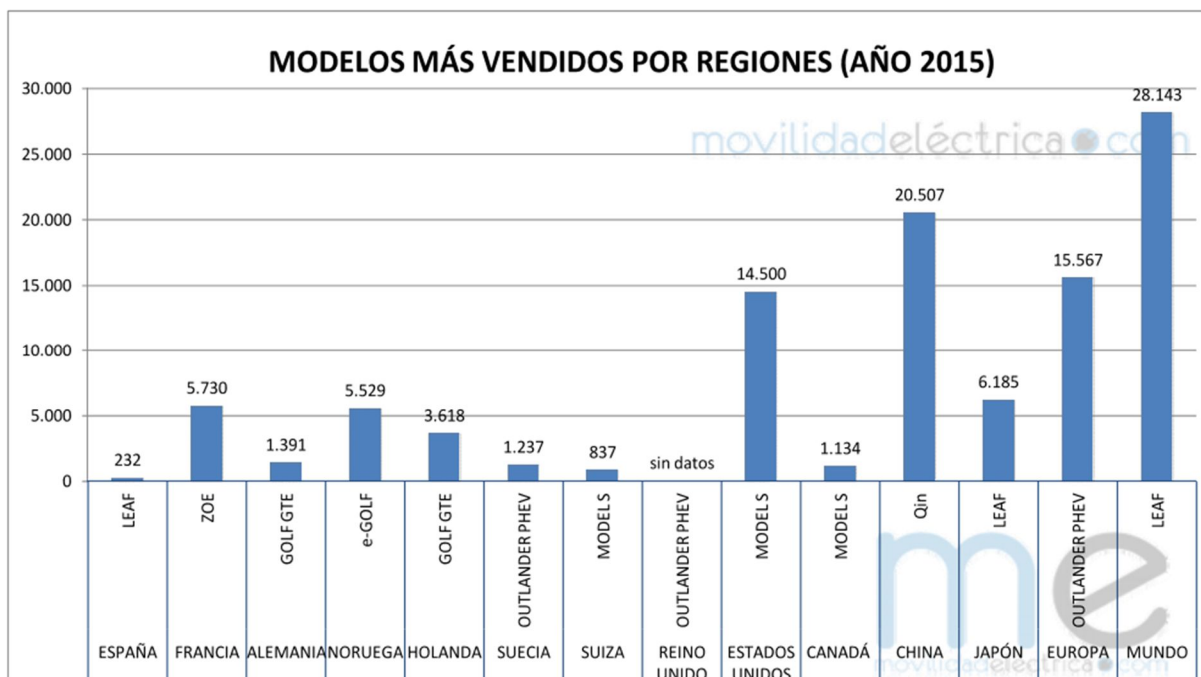


Figura 60: Modelos más vendidos hasta agosto de 2015

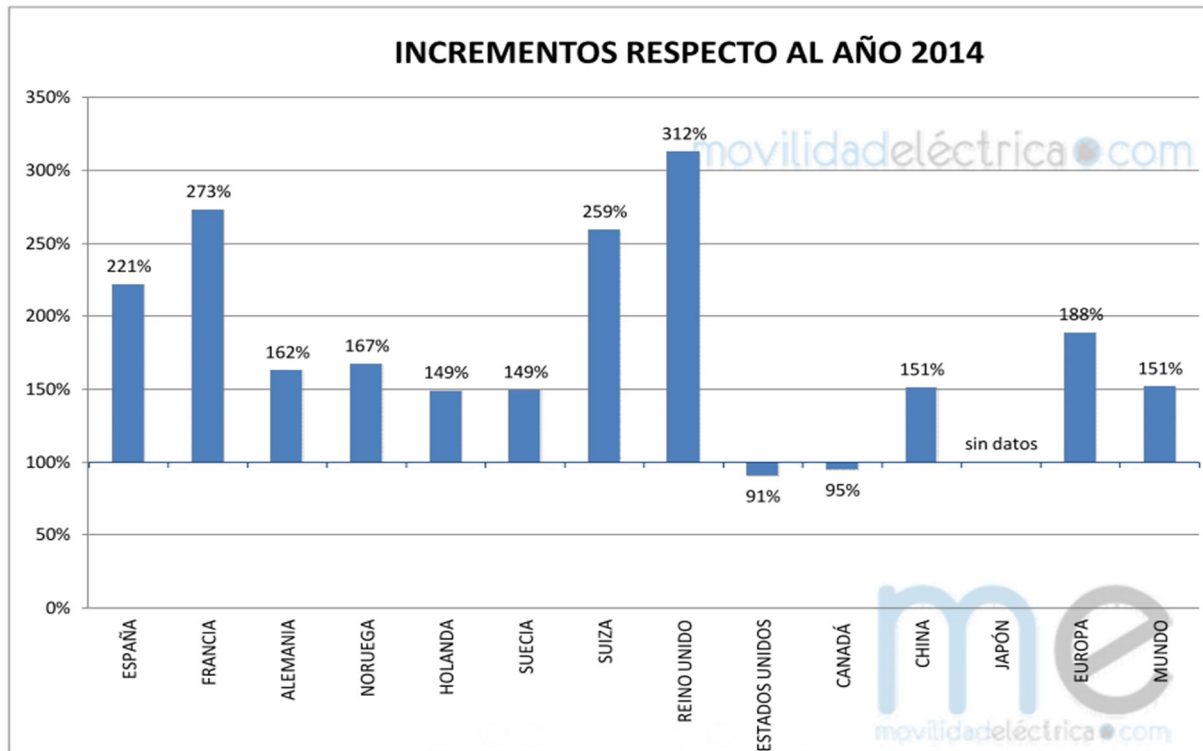


Figura 61: Incremento porcentual respecto a 2014

ESPAÑA			2015													2014	
RK	Marca	Modelo	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	CUOTA	ACUMULADO
1	NISSAN	LEAF	14	11	96	27	10	32	31	11					232	18%	189
2	MITSUBISHI	OUTLANDER PH	4	9	23	27	32	33	29	22					179	14%	80
3	NISSAN	e-NV200	20	1	32	30	8	20	29	9					149	11%	
4	RENAULT	KANGOO ZE	2	8	8	2	13	13	63	20					129	10%	
5	BMW	i3 (HRED)	9	17	2	16	27	22	19	10					122	9%	118
6	RENAULT	ZOE	6	1	12	11	5	15	27	39					116	9%	94
7	KIA	SOLU EV	0	0	4	1	5	17	11	14					55	4%	1
8	AUDI	A3 SPORTBACK	1	1	2	0	15	2	21	5					47	4%	
9	VOLKSWAGEN	GOLF GTE							34	10					46	4%	
10	PIAGGIO	PORTER	2	2	1	4	5	5	18	3					40	3%	
11	SMART	FORTWO ED	0	3	5	0	12	3	11	1					35	3%	20
12	PORSCHE	CAYENNE	3	4	2	4	6	5	9	3					35	3%	
13	BMW	i8	0	3	0	12	2	3	5	3					28	2%	4
14	VOLKSWAGEN	e-GOLF	3	1	2	1	3	2	5	3					20	2%	7
15	PORSCHE	PANAMERA S e+	2	2	2	1	5	2	1	1					16	1%	17
16	VOLKSWAGEN	e-UP!	4	0	0	2	2	2	0						10	1%	6
17	PEUGEOT	PARTNER ELECT	0	0	0	0	2	1	7						10	1%	
18	VOLVO	VE60 PLUG-IN	1	0	0	0	1	2	3	2					9	1%	20
19	TESLA	MODEL S	1	1	1	3	0	0	2						8	1%	14
20	MERCEDES	CLASE B ED					2	0	3	3					8	1%	
21	MERCEDES	SS00 PLUG-IN	0	1	1	1	0	1	0	1					5	0%	
22	CITROËN	C-ZERO	0	0	0	0	0	0	1	3					4	0%	1
23	TOYOTA	PRIUS PLUG-IN	0	1	1	1	0	0	0						3	0%	8
24	PORSCHE	918 SPYDER	0	1	0	0	1	0	1						3	0%	
25	BYD	E6	0	0	0	0	0	1	1						2	0%	1
26	NISSAN	i-MIEV	0	0	1	0	0	0	0						1	0%	0
27	VOLKSWAGEN	XLL					1	0	0						1	0%	
28	RENAULT	FLUENCE ZE	0	0	0	0									0	0%	13
29	CITROËN	BERLINGO ELEC	0	0	0	0									0	0%	
30	OPEL	AMPERA	0	0	0	0									0	0%	0
31	CHEVROLET	VOLT	0	0	0	0									0	0%	0
32	FORD	FOCUS	0	0	0	0									0	0%	0
33	PEUGEOT	ION	0	0	0	0									0	0%	0
TOTALES			72	67	195	143	157	181	331	163	0	0	0	0	1.313		593
ELÉCTRICOS			60	45	164	97	94	133	228	116	0	0	0	0	941	0	464
HÍBRIDOS ENCHUFABLES			12	22	31	46	63	48	103	47	0	0	0	0	372	0	129
RENAULT TWIZY			9	7	15	5	10	21	17	4					90		126
OTROS CUADRICULOS									16	5					56		
Datos: Anfac, Renault, PSA																	

Datos: Anfac, Renault, PSA

Tabla 10: Matriculaciones de turismos y todo terreno eléctricos y enchufables

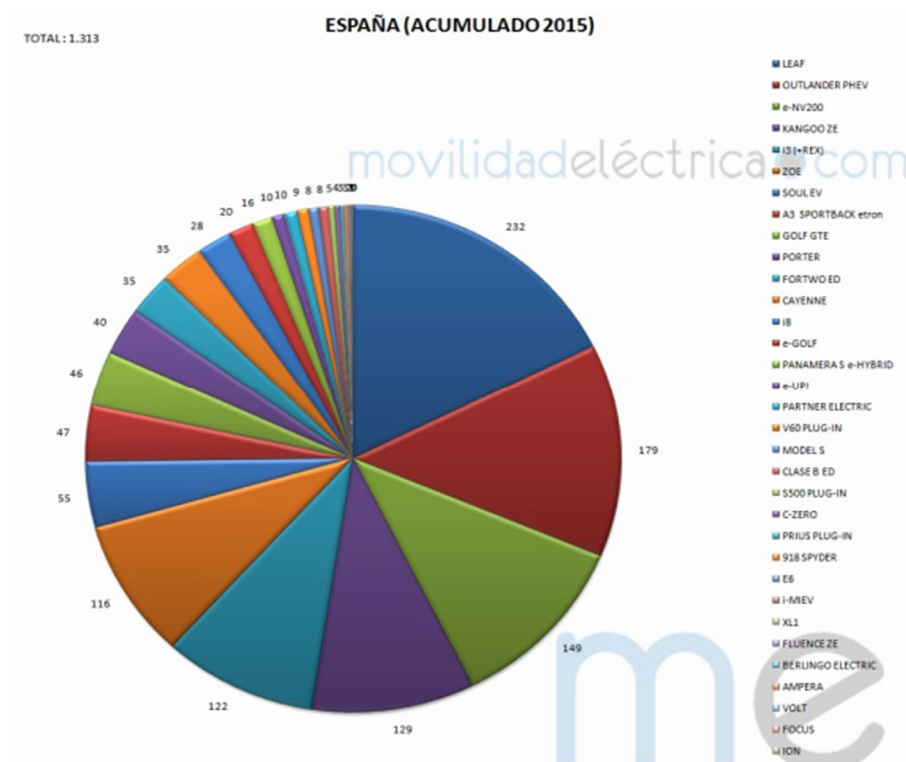


Figura 62: Venta acumulada según modelo hasta agosto 2015

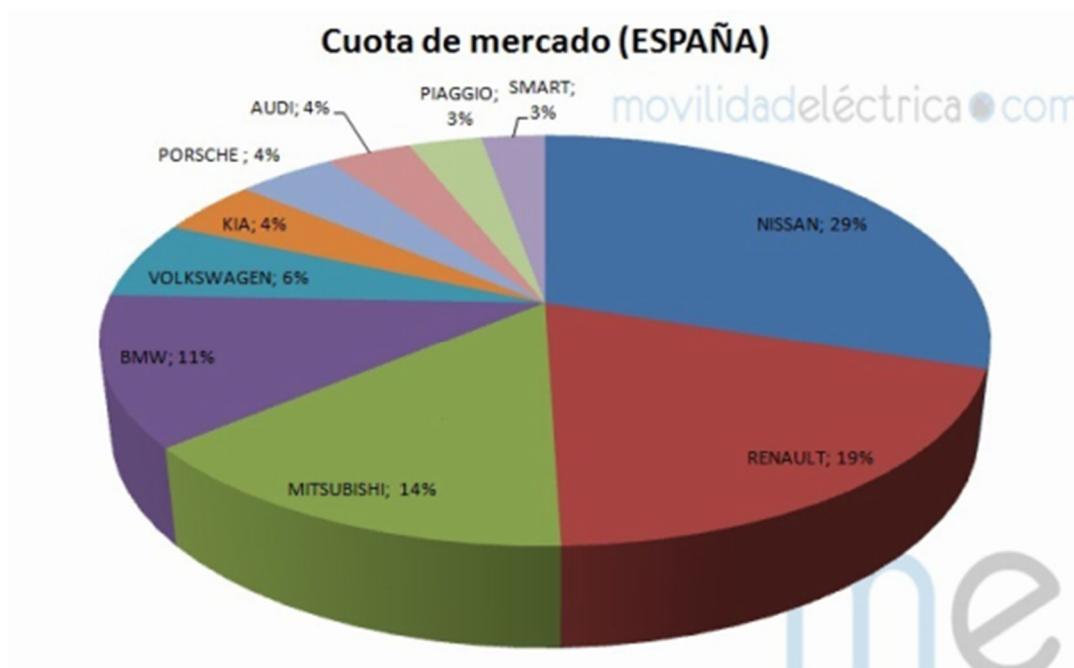


Figura 63: Cuota de mercado porcentual respecto a marcas de vehículos

Marca / Modelo		AGOSTO 2015					
Marca	Modelo	Junio 2015	Junio 2014	Var. %	Acum 2015	Acum 2014	Var. %
AUDI	A3	5	0	--	47	0	--
AUDI	A6	0	1	-100,00%	0	3	-100,00%
AUDI	A8	0	0	--	1	0	--
AUDI	Q5	0	0	--	1	6	-83,33%
B.M.W.	335	0	1	-100,00%	0	5	-100,00%
B.M.W.	535	0	0	--	2	2	0,00%
B.M.W.	i8	3	1	200,00%	28	4	600,00%
CITROEN	DS5	0	0	--	16	19	-15,79%
DS	DS5	0	0	--	3	0	--
FERRARI	LAFERRARI	0	0	--	0	2	-100,00%
FORD	MONDEO	1	0	--	63	0	--
HONDA	CIVIC	0	0	--	0	1	-100,00%
HONDA	CR-Z	0	0	--	0	1	-100,00%
HONDA	JAZZ II	1	3	-66,67%	10	35	-71,43%
INFINITI	Q50	0	0	--	17	9	88,89%
INFINITI	Q70	0	0	--	2	0	--
LAND ROVER	RANGE ROVER	0	0	--	16	1	1500,00%
LEXUS	LEXUS CT 200	97	86	12,79%	914	756	20,90%
LEXUS	LEXUS GS 300	6	14	-57,14%	113	96	17,71%
LEXUS	LEXUS GS 450	3	1	200,00%	29	36	-19,44%
LEXUS	LEXUS IS 300	39	50	-22,00%	631	609	3,61%
LEXUS	LEXUS LS 600	0	0	--	5	12	-58,33%
LEXUS	LEXUS NX 300	213	0	--	1087	0	--
LEXUS	LEXUS RX 450	11	17	-35,29%	171	220	-22,27%
MERCEDES	C 300	0	0	--	14	0	--
MERCEDES	E 300	0	2	-100,00%	5	32	-84,38%
MERCEDES	S 300	0	0	--	6	0	--
MERCEDES	S 400	2	2	0,00%	14	21	-33,33%
MERCEDES	S 500	1	0	--	5	0	--
MINI	COOPER	22	11	100,00%	179	80	123,75%
PEUGEOT	3008	2	35	-94,29%	15	63	-76,19%
PEUGEOT	508	0	0	--	26	39	-33,33%
PORSCHE	918	0	0	--	3	0	--
PORSCHE	CAYENNE	3	0	--	36	0	--
PORSCHE	PANAMERA	1	0	--	16	17	-5,88%
TOYOTA	AURIS	667	347	92,22%	4418	2714	62,79%
TOYOTA	PRIUS	69	84	-17,86%	892	982	-9,16%
TOYOTA	YARIS	282	68	314,71%	2761	1097	151,69%
VOLKSWAGEN	GOLF	10	0	--	46	0	--
VOLKSWAGEN	JETTA	2	0	--	9	5	80,00%
VOLKSWAGEN	TOUAREG	1	0	--	2	0	--
VOLKSWAGEN	XL1	0	0	--	1	0	--
VOLVO	V60	2	0	--	9	20	-55,00%
Total mercado		1.443	723,0	99,59%	11.613	6.887	68,62%

Datos: Anfac

Enchufables

Tabla 11: Matriculaciones de turismos y todo terreno únicamente híbridos

RK	EUROPA		2015												ACUMULADO	%VE
	Marca	Modelo	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
1	MITSUBISHI	OUTLANDER PHEV	1.980	1.184	4.306	1.700	2.443	1.806	1.698						15.567	16,82%
2	NISSAN	LEAF	988	740	3.300	874	965	1.468	1.031						9.665	10,44%
3	RENAULT	ZOE	709	979	1.343	1.728	1.226	2.487	980						9.459	10,22%
4	TESLA	MODEL S	549	577	2.584	856	1.137	2.099	1.106						8.513	9,20%
5	VOLKSWAGEN	GOLF GTE	1.033	527	442	736	1.322	1.705	1.599						8.394	9,07%
6	VOLKSWAGEN	e-GOLF	1.026	975	1.104	1.022	765	887	917						6.548	7,08%
7	AUDI	A3 e-tron SPORTBACK	242	572	811	854	858	931	1.285						6.040	6,53%
8	BMW	i3+i3 REX	502	602	902	731	871	720	694						5.498	5,94%
9	VOLVO	V60 PLUGIN HYBRID	475	377	411	382	404	417	337						2.806	3,03%
10	VOLKSWAGEN	e-UP!	263	238	290	278	216	274	230						1.864	2,01%
11	NISSAN	e-NV200 EVALIA	98	113	508	205	208	184	181						1.814	1,96%
12	RENAULT	KANGOO ZE	125	200	327	179	329	415	200						1.811	1,96%
13	KIA	SOUL EV	224	78	145	126	107	373	333						1.708	1,85%
14	PORSCHE	CAYENNE PLUG-IN	237	156	175	225	255	327	205						1.681	1,82%
15	MERCEDES	B-CLASS ED		116	166	208	186	363	326						1.554	1,68%
16	SMART	FORTWO ED	297	156	147	166	143	177	109						1.268	1,37%
17	BMW	i8	182	128	194	127	161	111	125						1.234	1,33%
18	MERCEDES	C350e PLUG-IN					294	387	372						1.138	1,23%
19	PEUGEOT	ION	77	66	119	82	63	149	146						734	0,79%
20	BOLLORÉ	BLUECAR	120	59	50	112	46	90	74						551	0,60%
21	CITROËN	C-ZERO		46	119	103	65	91	65						493	0,53%
22	MITSUBISHI	i-MiEV	101	39	67	61	82	53	35						444	0,48%
23	TOYOTA	PRIUS PLUG-IN	69	52	38	48	13	38	23						369	0,40%
24	PORCHE	PANAMERA PLUGIN		83	27	49	62	40	28						360	0,39%
25	MERCEDES	S500 PLUG-IN		67	74	65		44	31						347	0,37%
26	FORD	C-MAX ENERGY						90	113						337	0,36%
27	GOUPIL	G3						38	40						250	0,27%
28	PEUGEOT	PARTNER EV						26	24						186	0,20%
29	OPEL	AMPERA						15	7						160	0,17%
30	FORD	FOCUS ELECTRIC													0	0,00%
31	CITROËN	BERLINGO EV													0	0,00%
32	RENAULT	FLUENCE ZE													0	0,00%
33	CHEVROLET	VOLT													0	0,00%
34	BYD	E6													0	0,00%
TOTAL			9.539	8.176	17.649	10.917	12.704	16.100	12.577	0	0	0	0	0	92.540	
Enchufables																
RENAULT	TWIZY		127	136	231	197	208	239	150						1.288	1,39%

Fuente: ev-sales

Tabla 12: Matriculaciones de turismo y todo terreno eléctrico e híbridos enchufables a nivel europeo

MUNDO (TOP 10)			2015												ACUMULADO	% VE
RK	Marca	Modelo	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
1	NISSAN	LEAF	3.492	3.624	6.484	3.417	3.742	4.711	3.073						28.143	11,52%
2	TESLA	MODEL S	1.755	2.001	5.626	2.837	3.601	4.994	3.115						24.867	10,18%
3	MITSUBISHI	OUTLANDER PHEV	2.895	1.872	5.196	2.185	2.817	2.111	4.169						21.425	8,77%
4	BYD	Qin	1.911	1.932	2.476	2.625	3.518	4.015	4.030						20.507	8,39%
5	BMW	i3+i3 REX	1.331	1.840	2.012	1.327	1.984	1.564	1.807						12.339	5,05%
6	RENAULT	ZOE	720	984	1.349	1.743	1.234	2.498	980						9.508	3,89%
7	VOLKSWAGEN	e-GOLF	1.207	1.105	1.299	1.331	1.175	1.180	1.233						8.437	3,45%
8	VOLKSWAGEN	GOLF GTE	1.033	527	442		1.322		1.611						8.361	3,42%
9	CHEVROLET	VOLT	642	748	749	1.025	1.715	1.389	1.530						7.900	3,23%
10	BAIC	E150 / E200 EV					1.500	1.506	1.161						6.964	2,85%
11	ZOTYE	E20				1.131		776							4.913	2,01%
12	AUDI	A3 e-TRON						934							4.577	1,87%
13	FORD	C-MAX ENERGI				1.273		772							4.508	1,85%
14	FORD	FUSION ENERGI						742							4.363	1,79%
15	ZOTYE	CLOUD EV						1.214							4.347	1,78%
16	TOYOTA	PRIUS PLUG-IN	868	830	719			643							4.196	1,72%
17	FIAT	500e						363							3.394	1,39%
18	ROEWE	550 PHEV						689							3.321	1,36%
19	CHERY	QQ3 EV						510							3.208	1,31%
20	BYD	E6						506							2.901	1,19%
21	KANDI	EV													0	0,00%
22	SMART	FORTWO ED													0	0,00%
23	VOLKSWAGEN	e-UP!													0	0,00%
24	VOLVO	V60 PLUGIN HYBRID													0	0,00%
25	RENAULT	KANGOO ZE													0	0,00%
26	MITSUBISHI	i-MiEV													0	0,00%
27	CITROËN	C-ZERO													0	0,00%
28	PEUGEOT	PARTNER EV													0	0,00%
29	PEUGEOT	ION													0	0,00%
30	FORD	FOCUS ELECTRIC													0	0,00%
31	CITROËN	BERLINGO EV													0	0,00%
32	NISSAN	e-NV200													0	0,00%
33	OPEL	AMPERA													0	0,00%
34	RENAULT	FLUENCE ZE													0	0,00%
35	BMW	i8													0	0,00%
TOTAL			24.211	23.088	42.135	37.366	75.822	41.680	36.529						244.302	
Enchufables																
RENAULT	TWIZY														0	0,00%

Fuente: ev-sales

Tabla 13: Venta de vehículos eléctricos e híbridos enchufables a nivel mundial

ANEXOS

12. ANEXOS

12.1 ANEXO 1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

12.1.1. INTRODUCCIÓN

La historia del vehículo eléctrico comienza a mediados del siglo XIX. Sin embargo, este tipo de vehículo innovador solamente aguantó hasta los primeros años del siglo XX. El alto coste de fabricación, la baja velocidad punta y la poca variedad de vehículos comparado, más tarde, con los de combustión interna, llevaron al vehículo eléctrico a un rechazo a nivel internacional.

A principios del siglo XX, el interés por la electricidad y otras fuentes de suministro alternativo fue incrementando debido al preocupante crecimiento de problemas asociados a los combustibles basados en hidrocarburos, además de los daños al medio ambiente causados por sus emisiones y la sostenibilidad de la actual infraestructura de transporte que, como se ha dicho, está basada en hidrocarburos.

12.1.2. PRIMEROS VEHÍCULOS

La invención del primer modelo de vehículo eléctrico está atribuida a varias personas.

En 1828, **Ányos Jedlik**, un húngaro que inventó un primitivo tipo de motor eléctrico, creó un pequeño modelo de coche impulsado por ese primitivo motor.

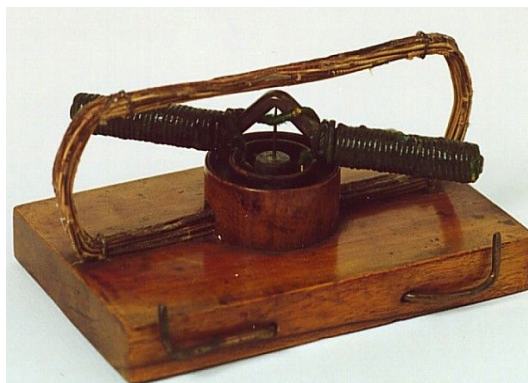


Ilustración 54: Primer motor eléctrico, Dínamo de Jedlik

En 1834, un herrero de Vermont (EEUU) llamado **Thomas Davenport** construyó un aparato similar el cual operaba en una pequeña vía circular electrificada.



Ilustración 55: Motor de Thomas Davenport

En 1835, el profesor **Sibrandus Stratingh** de Groningen (Holanda) junto con su ayudante Christopher Becker construyeron un coche eléctrico, a pequeña escala, impulsado por unas células primarias no recargables.



Ilustración 56: Vehículo eléctrico de Sibrandus Stratingh

Sin embargo, el primer vehículo eléctrico, tal y como lo conocemos hoy en día, fue construido en 1837 por el químico escocés **Robert Davidson**. Lo propulsó mediante unas baterías galvánicas. Este mismo, poco después,

inventaría una gran locomotora llamada *Galvani*, que se exhibiría en la *Royal Scottish Society o Arts Exhibition* en 1841. El motor de siete toneladas tenía dos motores de reluctancia de accionamiento directo con unos electroimanes fijados a unas barras de hierro que, a su vez, iban unidas a un cilindro de madera en cada eje, y un conmutador simple. Arrastraba una carga de seis toneladas a 6,5 Km/h para una distancia de 2,4 Km. Fue probada en las vías de ferrocarril de Edimburgo y Glasgow en septiembre del año siguiente, pero la limitación de las baterías evitó su uso generalizado. Aun así, fue destruida por trabajadores de las vías de ferrocarril, quienes dijeron que lo habían hecho porque representaba una amenaza para su trabajo.

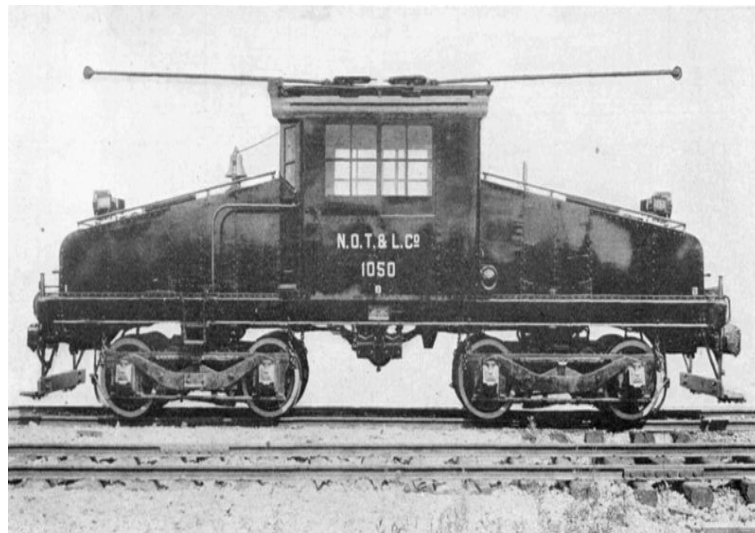


Ilustración 57: Locomotora eléctrica similar a la que construyó Robert Davenport

Entre 1832 y 1839, no se sabe a ciencia cierta el año, el inventor británico **Robert Anderson** construyó un carruaje eléctrico. El uso de vías fue regulado para este tipo de vehículos en Inglaterra en 1840. Más tarde en EEUU se adoptaron leyes similares.



Ilustración 58: Carruaje eléctrico de Robert Anderson

12.1.3. PRIMERAS PRÁCTICAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La creación de baterías viables para el negocio del movimiento, gracias a la electricidad, no empezó hasta 1859, con la invención de las baterías de plomo-ácido por parte del físico francés **Gaston Planté**.

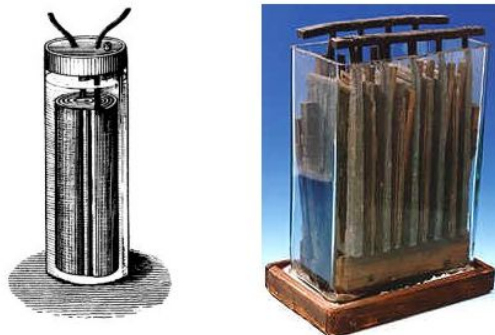
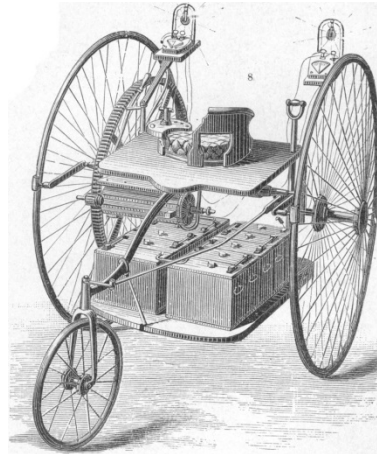


Ilustración 59: Batería de plomo-ácido de Gaston Planté

Camille Alphonse Faure, otro científico francés, mejoró considerablemente el diseño de las baterías en 1881. Esa considerable mejora incrementó la capacidad de las baterías para su fabricación a escala industrial.

En la exposición mundial de París de 1867 fue mostrado un vehículo de dos ruedas propulsado por electricidad cuyo inventor fue el austríaco **Franz Kravogl**. Este invento fue considerado una curiosidad intelectual y que no podría conducirse de forma fiable en la calle.

Otro vehículo, esta vez con tres ruedas, fue exhibido en noviembre de 1881 por el inventor francés **Gustave Trouvé** en la Exhibición Internacional de la Electricidad de París de ese año.



*Ilustración 60: Vehículo eléctrico
de Gustave Trouvé*

El inventor británico **Thomas Parker**, responsable del diseño del metro eléctrico de Londres, el tranvía elevado de Liverpool y Birmingham, construyó el primer coche eléctrico destinado a una producción en Londres en 1884, usando como su propio diseño de alta capacidad de baterías recargables como elemento propulsor. Parker mantuvo durante mucho tiempo su interés por la construcción de combustibles eficientes, lo que le llevó a experimentar con vehículos eléctricos. Él, además, estuvo siempre muy preocupado por los efectos nocivos del tabaco y la contaminación que había en Londres por aquel entonces.



Ilustración 61: Uno de los coches eléctricos de Thomas Parker en la puerta de la casa de la familia

La producción de coches eléctrico estuvo en la mano de la empresa *Elweel-Parker*, consolidada en 1882 por la construcción y venta de tranvías eléctricos. La compañía se unió, junto con otras, para formar, en 1888, la *Electric Cunstruction Corporation*. Esta compañía tuvo el monopolio en el mercado británico de coches eléctricos en la década de 1890. La compañía fabricó el primer coche eléctrico “Dog Cart” en 1896.

Francia y Reino Unido fueron los primeros países en apoyar el desarrollo generalizado del vehículo eléctrico. Por otra parte, el primer vehículo eléctrico en Alemania fue construido por el ingeniero **Andreas Flocken** en 1888.



Ilustración 62: Vehículo eléctrico de Andreas Flocken

Antes de la supremacía de los motores de combustión interna, los automóviles eléctricos también batieron records de velocidad y distancia. Algunos de esos records fueron, por ejemplo, romper la barrera de los 100 Km/h por el vehículo con forma de cohete “Jamais Contente” de **Camille**

Jenatzy el 29 de abril de 1899 y con el que alcanzó la velocidad de 105,88 Km/h. También fue destacado el diseño y construcción del Porsche de Ferdinand de tracción a las cuatro ruedas, propulsado por un motor eléctrico en cada rueda, el cual reporto gran cantidad de records a su dueño, **E.W. Hart**.

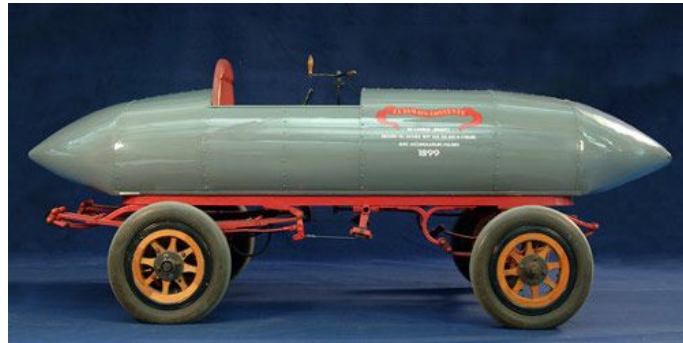


Ilustración 63: Jamais Contente de Camille Jenatzy



Ilustración 64: Porsche de Ferdinand

El primer coche eléctrico americano fue desarrollado en 1890-91 por **William Morrison** en Des Moines, Iowa. El vehículo, de seis pasajeros, era capaz de alcanzar la velocidad de 23 Km/h. No fue hasta 1895 que los americanos empezaron a dedicarse a los vehículos eléctricos, después de que **A.L. Ryker** introdujera el primer triciclo eléctrico en EEUU. Por ese entonces los europeos ya habían utilizado triciclos, bicicletas y coches durante al menos 15 años.

12.1.4. EDAD DE ORO

El interés en los vehículos a motor se incrementó considerablemente en la década de 1890. Se crearon unos taxis propulsados por baterías eléctricas en Londres. **Walter C. Bersey** diseñó una flota de estos taxis y los introdujo en las calles de la ciudad a partir de 1887. Ese mismo año, en Nueva York, *The Samuel's Electric Carriage and Wagon Company* puso en funcionamiento doce cabriolets eléctricos. La empresa estuvo funcionando con 62 vehículos hasta 1898 que los altos cargos de la empresa la convirtieron en la *Electric Vehicle Company*.



Ilustración 65: Taxi eléctrico de Walter C. Bersey

En 1911, el primer híbrido de gasolina y electricidad fue lanzado por la *Woods Motor Vehicle Company* de Chicago. El híbrido fue un fracaso de ventas debido a lo lento que era para su precio y también por su escasa maniobrabilidad.

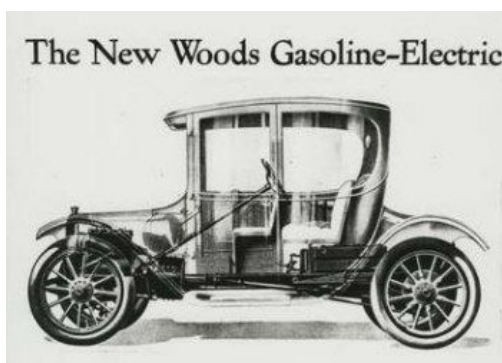


Ilustración 66: Primer híbrido

Debido a las limitaciones de la tecnología y a la escasez de transistores basados en electricidad, la velocidad punta de estos vehículos estaba limitada a 32 Km/h. A pesar de su baja velocidad, los vehículos eléctricos tuvieron un gran número de ventajas por encima de los competidores de la época, estos no tenían vibraciones. Tampoco desprendían olores ni ruido en comparación con los de gasolina. Además, no necesitaban mantenimiento mecánico y eran preferidos a los de gasolina porque no tenían excesiva dificultad para ponerlos en marcha. Estos coches alcanzaron mucha popularidad entre los ciudadanos de la alta sociedad debido a que los utilizaban como coches para la ciudad, donde la limitación de autonomía y de potencia no presentaba una gran desventaja.

La aceptación del coche eléctrico fue inicialmente obstaculizada por la escasez de infraestructuras pero, en 1912, muchas viviendas fueron conectadas por la electricidad, produciendo un aumento de la popularidad en los coches. Al cambiar de siglo, el 40% de los automóviles americanos estaban propulsados por vapor, el 38% por electricidad y el 22% restante por gasolina. 33842 vehículos eléctricos estaban registrados en EEUU y, este, se convirtió en el país en el que más aceptación tuvieron. Anterior a esto, los vehículos eran masivos, diseñados para las clases altas de la sociedad que los hacían más populares. En ellos destacaban sus lujosos interiores y caros materiales. La venta de coches eléctricos tuvo su auge alrededor de 1910.

A la hora de vencer la limitación del rango de operación de los vehículos eléctricos y la escasez de infraestructuras de recarga, un servicio de baterías

intercambiables fue la primera propuesta que se pensó, en 1896. Este concepto fue puesto en práctica por Hartford Electric Light Company a través del servicio de baterías GeVeCo que inicialmente estaba disponible para camiones eléctricos. El dueño del vehículo compraba el coche sin batería en la *General Vehicle Company* y dicha batería intercambiable la compraba en Hartford Electric. El dueño pagaba, además, una cantidad variable por kilómetro y un servicio mensual de mantenimiento.

12.1.5. EL DECLIVE

Después del exitoso auge que tuvo a principios del siglo XX, el coche eléctrico comenzó a perder su posición en el mercado del automóvil. Varias causas afectaron a esta pérdida de éxito. Hacia 1920 una mejora de las infraestructuras en las carreteras requirió un rango de operación mayor que el que ofrecían los vehículos eléctricos. El descubrimiento internacional de las grandes reservas de petróleo contribuyó a que el precio de la gasolina bajara a niveles asequibles para mucha gente y esto generó la creación de más coches propulsados por gasolina. Los coches eléctricos fueron relegados a un uso urbano debido a su baja velocidad punta (entre 24 y 32 km/h) y a su bajo rango de operación (entre 50 y 65 km), además de que, en ese momento, los coches de gasolina eran más propios para viajar debido a que eran más rápidos y de más recorrido que sus equivalentes eléctricos.

Los coches de gasolina se convirtieron en los de más fácil operación debido a la invención del arrancador eléctrico por parte de **Charles Kettering** en 1912, el cual eliminó la necesidad de una manivela para arrancar el motor de gasolina, y el ruido emitido por estos se convirtió en algo más soportable gracias al uso de un silenciador, el cual fue inventado por **Hiram Percy Maxim** en 1897. Finalmente, la iniciación de la producción en masa de vehículos propulsados por gasolina gracias a Henry Ford disparó su precio a la baja. Por el contrario, el precio vehículos similares pero propulsados por electricidad continuaron subiendo. En 1912, un coche eléctrico se vendía al doble de precio que uno similar de gasolina.

La mayoría de los fabricantes pararon su producción de coches eléctricos alrededor de 1910. Los vehículos eléctricos se convirtieron en populares en aplicaciones en las cuales su límite de operación no presentaba grandes problemas. El transporte para las industrias, montacargas, carretillas, etc., fueron electrificadas en el momento de ser introducidas en el mercado por *Yale* en 1923. En Europa, especialmente en Reino Unido, potenciaron el uso de carrozas propulsadas por electricidad. Hacia 1920, el temprano apogeo que había tenido el coche eléctrico se había pasado, y, una década después, la industria del automóvil eléctrico había desaparecido.

Pasaron años sin que existiera un resurgimiento del uso del coche eléctrico. Cuando, debido a la Segunda Guerra Mundial, el combustible en los países que estaban luchando en ella empezó a escasear, estas potencias comenzaron a experimentar, de nuevo, con coches eléctricos, pero mientras tanto, la ICE (Institution of Civil Engineers) desarrollaba, a un gran ritmo, la tecnología de los vehículos eléctricos. Alrededor del año 1950, **Henney Coachworks** y *The National Union Electric Company* se embarcaron conjuntamente en un proyecto de un nuevo coche eléctrico. El Henney Kilowatt, basado en la European Renault Dauphine. El coche fue producido para una configuración de entre 36 y 72 voltios. Los modelos de 72 voltios tenían un tope de velocidad punta de 96 Km/h y podían estar viajando alrededor de una hora sin necesidad de recargar. A pesar de las mejoras de este coche con respecto a los anteriores coches eléctricos, los consumidores lo veían muy caro con respecto a los coches de gasolina de la época y, por ello, su fabricación finalizó en 1961.



Ilustración 67: Henney Kilowatt

Poco antes, en 1959, *American Motors Corporation* (AMC) y *Sonotone Corporation* anunciaron su unión y aunaron sus esfuerzos en busca de la producción de un nuevo coche eléctrico propulsado por baterías que se cargaran por sí mismas. AMC tenía buena reputación en cuanto a innovar en que los coches fueran más económicos mientras que *Sonotone Corporation* tenía fama de tener una tecnología de fabricación basada en batería con planchas de níquel-cadmio que podían ser recargadas rápidamente y que eran mucho menos pesadas que las tradicionales de plomo-ácido.

En 1967, AMC y *Gulton Industries* se asociaron para desarrollar una nueva batería basada en litio y **Victor Wuolk** diseñó un controlador de velocidad. Durante los años posteriores continuó la investigación en este campo.

El 31 de Julio de 1971, un coche eléctrico recibió la distinción de ser el primer coche tripulado para conducirlo en la Luna. Fue el Lunar Rover y se utilizó durante la misión a la Luna del Apollo 15.

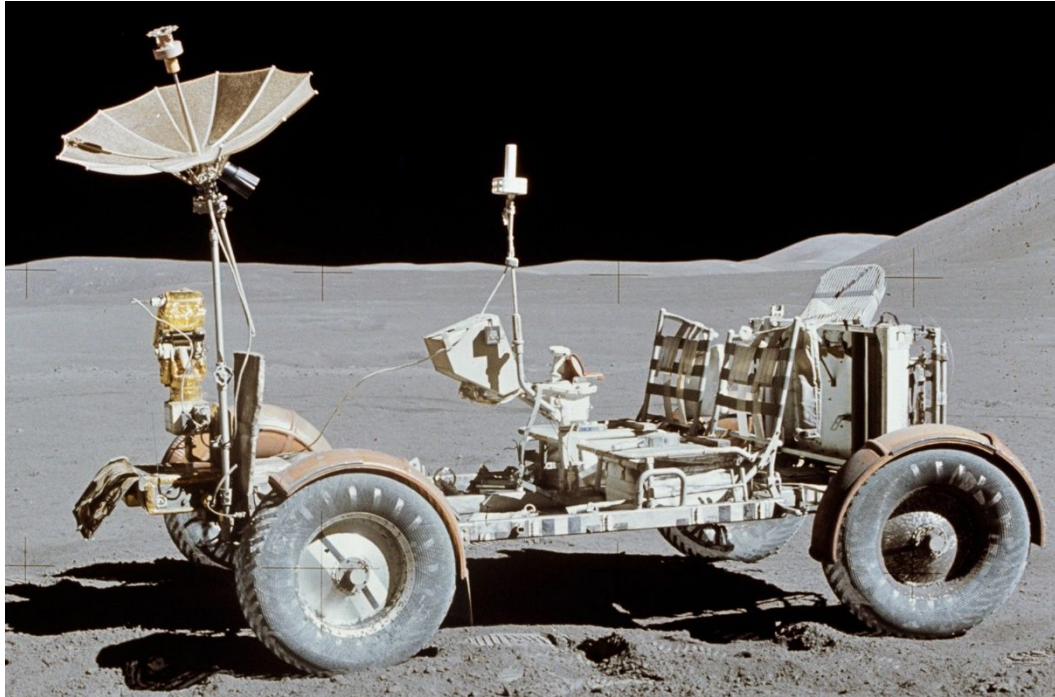


Ilustración 68: Primer vehículo tripulado en el espacio, Lunar Rover.

12.1.6. AÑOS 90: RESURGIMIENTO DEL INTERÉS

Años después de estar fuera del foco de atención de los ingenieros y los países y, debido a la crisis energética entre los años 1970 y 1980, se renovó el interés por la independencia que podían tener los coches eléctricos debido a las fluctuaciones del mercado de la energía de los hidrocarburos. En el año 1990, en *Los Angeles Motor Show*, el presidente de *General Motors*, **Roger Smith**, desveló el *GM Impact*, como concepto de coche eléctrico, junto con el anuncio de que a GM le gustaría construir coches eléctricos para venderlos a todos los públicos.



Ilustración 69: Impact, General Motors, 1990

A principios de 1990, *The California Air Resources Board* (CARB), la agencia para la limpieza del aire del gobierno de California, empezó a presionar para que el combustible fuese más eficiente y las emisiones de los coches fueran más bajas, con el objetivo último de que al final las emisiones fuesen cero, tal como los vehículos eléctricos. En respuesta, los fabricantes desarrollaron modelos eléctricos, incluyendo el *Chrysler TEVan*, *Ford Ranger EV*, *GM EV1* y *S10 EV*, *Honda EV Plus*, *Nissan Altra EV* miniwagon con batería de litio y el *Toyota RAV4 EV*. Los fabricantes fueron acusados de consentir los deseos de la CARB que les permitió seguir vendiendo coches en el lucrativo mercado californiano.



Ilustración 70: Honda EV



Ilustración 71: Nissan Altra EV

El programa de GM volvió pero tuvo que soportar un raro escrutinio. En un raro movimiento, los consumidores no accedieron a la compra del *EV1s*, pero, en lugar de eso, si accedieron al alquiler de estos. Después tenían que ser devueltos a la compañía sin tener opción a compra, a pesar de que los arrendados querían continuar con ellos. Chrysler, Toyota y GM acordaron demandar a la CARB en el Tribunal Federal, que dictaminó la paralización de la actividad de la CARB eventualmente.

Después de las protestas de los ciudadanos por el vehículo eléctrico, molestos ellos por haber tenido que devolver sus coches, Toyota les ofreció su último vehículo eléctrico de entonces, el *Toyota 328 RAV4-EVs*, que estuvo a la venta durante 6 meses, hasta el 22 de noviembre de 2002, concretamente. Casi todas las demás producciones de coches eléctricos fueron retiradas del mercado y, en algunos casos, destruidas por sus propias empresas. Toyota continuó aportando varios cientos de *Toyotas RAV4-EV* a las manos de los consumidores. GM retiró los poco *EV1s* que fueron donados a las escuelas de ingeniería y los museos.

En EEUU, a lo largo de 1990, el interés en el combustible eficiente o coches que no dañaran el medio ambiente disminuyó entre sus ciudadanos, quienes prefirieron coches más dañinos para el medio ambiente, pero mejor para sus bolsillos debido al bajo precio de la gasolina. Los fabricantes de automóviles americanos pusieron el foco de su línea de productos en vehículos como camiones, más grandes que los vehículos normales y que dejaban más

margen de beneficio. La fabricación de vehículos más pequeños la dejaron en manos de Europa y Japón. En 1999, El *Honda Insight hybrid* se convirtió en el primer híbrido a la venta en USA desde el poco conocido *Woods Hybrid* de 1917.

Los vehículos híbridos, los cuales destacaban por una combinación de propulsión de electricidad y combustible, fueron vistos como una posibilidad de equilibrio entre las dos formas de propulsión, ofreciendo un cuidado del medio ambiente por un lado y una economización del combustible por otro, sin entorpecer el poco campo de operación de los vehículos totalmente eléctricos. No obstante, incrementó el precio con respecto a los vehículos de gasolina. La venta fue pobre debido a la falta de interés por los coches de pequeño tamaño y de tener un combustible eficiente en aquellos años. La crisis energética de los años 2000 renovó el interés por los coches híbridos y eléctricos. En EEUU la venta de *Toyota Prius* (los cuales habían estado en venta desde 1999 en algunos mercados) se disparó, y varios fabricantes copiaron ese modelo, lanzando al mercado los suyos propios.



Ilustración 72: Toyota Prius 1999

En respuesta a la escasez de participación de grandes fabricantes en la industria del coche eléctrico, un pequeño número de compañías salieron de la nada y ocuparon su lugar, diseñando y publicitando coches eléctricos para el público. En 1994, la REVA (compañía de coches eléctricos) se instaló en Bangalore, India como una coyuntura entre *el Maini Group India* y *AEV* de California. Después de siete años de búsqueda y desarrollo REVA lanzó al mercado un pequeño coche totalmente eléctrico conocido como *G-Wiz* en UK, en 2001. El coche era movido por baterías de plomo-ácido, y en enero de 2009, un nuevo modelo fue lanzado, el *REVA L-ion*. Este era similar al anterior pero movido por baterías de litio, las cuales reducían el peso del coche. En muchos países este coche no fue capaz de obtener el criterio de calidad para circular por autovías, autopistas, etc., y entró en otras categorías como *Neighborhood Electric Vehicle* (NEV) en Estados Unidos o *Heavy Quadricycle* en Europa. La REVA vendió más de 4000 vehículos en todo el mundo hasta marzo de 2011 y estuvo disponible en 26 países. La producción finalizó en 2012 y se remplazaron por el *Mahindra e2o* en 2013.



Ilustración 73: REVA L-ion

La mayoría de los vehículos eléctricos que circulan por las carreteras del mundo son del tipo *Neighborhood Electric Vehicle* (NEV). Pike Research estimó que había casi 479000 NEVs en las carreteras en el año 2011. En Julio de 2006, había entre 60000 y 70000 vehículos de baja velocidad, propulsados por baterías. El uso en Estados Unidos se había incrementado desde 2004, año en el que había unos 56000. El top de ventas de este tipo de vehículos lo tiene *Global Electric Motorcars* (GEM) con más de 50000 unidades vendidas a mediados de 2004. Los dos mercados más grandes para la venta de este tipo de vehículos en 2011 eran Estados Unidos con 14737 unidades vendidas y Francia con 2231 unidades vendidas. Otro prototipo de venta en Europa fue el *Kewet*, a la venta desde 1991, y que fue reemplazado por *Buddy* que fue lanzado en 2008. Además el *Think City* fue lanzado también en 2008 pero su producción fue interrumpida debido a dificultades de financiación. La producción continuó de nuevo en Finlandia en diciembre de 2009. El *Think City* fue vendido en multitud de países y en Estados Unidos. En junio de 2011 la compañía *Think Global* quebró y se paró la producción.

12.1.7. DESDE EL AÑO 2000 HASTA 2012: NUEVOS PROTOTIPOS

La economía mundial entró en recesión a final de la primera década de siglo XXI lo que condujo al incremento, por parte de los fabricantes de coches, del abandono de los combustibles ineficientes, los cuales estaban vistos como un símbolo del exceso que causó la recesión, en favor de los pequeños coches, coche híbridos y coches eléctricos. El fabricante de coches eléctricos de California, TESLA Motors, empezó a desarrollar en 2004 el *Tesla Roadster*, que fue el primero que distribuyó la empresa a los consumidores en 2008. El *Roadster* fue el primer vehículo capaz de andar por autovías, autopistas, que se produzco en serie en Estados Unidos. Desde 2008, Tesla ha vendido más de 2100 unidades en 31 países hasta diciembre de 2011. El *Roadster* fue, además, el primer automóvil en usar baterías de litio y, también, el primer vehículo completamente eléctrico en recorrer alrededor de 320 km con una sola carga. Tesla aguantó la venta del *Roadster* hasta principios del año 2012 cuando lo sustituyó por el *Lotus Elise*. Tesla paró la producción de este tipo de

coche en el mercado estadounidense en agosto de 2011, y en 2012 *Tesla Roadster* se vendió de forma limitada en Europa, Asia y Australia.



Ilustración 74: Tesla Roadster

El *Mitsubishi i-MiEV* fue lanzado en Japón, para empresas, en julio de 2009 y, para clientes individuales, en abril de 2010, también fue lanzado como leasing en Hong Kong en mayo de 2010 y en Australia en julio de 2010. Dicho vehículo fue lanzado en Europa en diciembre de 2010, incluyendo una versión especial vendida en Europa como *Peugeot iOn* y como *Citroën C-Zero*. El lanzamiento en América comenzó en Costa Rica en febrero de 2011, seguido de Chile en mayo de 2011. La venta tanto a empresas como a particulares comenzó en Estados Unidos y Canadá en diciembre de 2011. Contando todos los vehículos de la marca *iMiEV*, Mitsubishi, entre ventas y exportaciones, calculó alrededor de 27200 unidades vendidas desde 2009 hasta diciembre de 2012, incluyendo el *Minicab MiEVs* vendido en Japón y las unidades especiales para Peugeot y Citroën.

Las grandes compañías, incluyendo Nissan y GM han manifestado que el *Roadster* ha sido el punto de partida para la demostración de que los consumidores apuestan, cada vez más, por vehículos eficientes y respetuosos con el medio ambiente. El vicepresidente de GM, Bob Lutz dijo en 2007 que el *Tesla Roadster* les inspiró al desarrollo del *Chevrolet Volt*, un prototipo de sedan híbrido enchufable que aspiraba a ser el salvador en el decreciente mercado y las cuantiosas pérdidas de los fabricantes de coche americanos.

Los más inmediatos resultados de ese proyecto fueron el anuncio en 2010 del lanzamiento de dicho vehículo, el cual representaba la evolución tecnológica del último vehículo eléctrico de la compañía, el *GM EV1* de 1990. El *Volt* podía viajar alrededor de 64 kilómetros antes de entrar en funcionamiento el motor de gasolina. A su vez, arrancaba un generador que recargaba las baterías para el motor eléctrico. La venta del *Chevrolet Volt* comenzó en Estados Unidos en diciembre de 2010 y para finales de 2011 fue lanzado en Canadá y Europa. El lanzamiento de su hermano gemelo, el *Opel Ampera*, comenzó en Europa en febrero de 2012.

El *Nissan Leaf* se introdujo en Japón y en Estados Unidos en diciembre de 2010, convirtiéndose en el primer coche moderno completamente eléctrico, cero emisiones. Para enero de 2013 estaba disponible también en Australia, Canadá y en 17 países europeos.

The Better Place fue el primer comerciante moderno en el uso de baterías intercambiables. El *Renault Fluence Z.E.* fue el primer vehículo que se produjo de forma masiva y que utilizaba baterías intercambiables y fue vendido por The Better Place en Israel y Dinamarca. The Better Place lanzó su primera estación de intercambio de baterías en Israel, en marzo de 2011.

BIBLIOGRAFÍA

13. BIBLIOGRAFÍA

13.1 LIBROS

- Sociedad de técnicos de automoción (2011). *El Vehículo Eléctrico: desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. Editorial Librobooks
- Fraile Mora, Jesús (2015). *Máquinas Eléctricas*. Editorial Rugarte S.L.
- Krause, Paul C., Wasynczuk, Oleg, Sudhoff, Scott D. (2002). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. Editorial Piscataway, NJ.

13.2 ARTÍCULOS INTERNET

- Sin autor (2015). *Informe de ventas de vehículos actualizados a agosto de 2015*. www.movilidadelectrica.com
- García Martínez, Gonzalo (2015). Comparativa de precios entre vehículos con ayudas de Plan Movele. www.movilidadeléctrica.com
- Magneti Marelli (2015). *Curso de vehículos híbridos*. www.aficionadosalamecanica.net
- Dalmau, Joan (03/11/2014). *Comparativo eléctricos: toda la verdad sobre la autonomía*. www.coches.net
- Rodríguez, Brais (2011). Motor eléctrico versus motor de ocmbustión: par, potencia y eficiencia. www.forococheselectricos.com
- González, Luis (2014). *Motores eléctricos de inducción versus motores eléctricos de corriente continua*. www.forococheselétricos.com

13.3 PONENCIAS Y PROYECTOS

- Dpto. Ingeniería Eléctrica. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid (2011). *Características de los motores*

eléctricos y gestión electrónica para vehículos eléctricos. Ciclo de conferencias sobre el vehículo eléctrico.

- Jiménez Cuesta, Jaime (2012). Simulación de vehículos eléctricos ligeros. Escuela Politécnica de Valencia.
- Proyecto en el ámbito del subprograma Avanza Competitividad I+D+i, incluido en el Plan Avanza 2, dentro de la Acción Estratégica de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. (2012). *Proyecto: Estudio de viabilidad previo al diseño de un esquema de logística, tratamiento y reciclado de baterías de vehículos eléctricos e híbridos al fin de su vida útil.*

13.4 NORMATIVAS

- Ley 19/2009, de 23 de noviembre, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios de Propiedad Horizontal
- El Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, que regula la actividad de gestor de cargas dentro de la Ley 54/97 del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética. Tarifa Supervalle.
- El Real Decreto 648/2011 regula las ayudas a la compra de vehículos eléctricos dentro del denominado Plan Movele.
- 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”.
- Directiva 2006/95/CE.
- Directiva 2006/95/CE.
- UNE/IEC 61851-1
- IEC 61851 Sistema conductivo de carga para VE
- IEC 62196: Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.

13.5 PÁGINAS WEB

- <http://www.recargacocheselectricos.com>
- <http://www.endesavehiculoelectrico.com>
- <http://www.motorpasionfuturo.com>
- <http://www.ree.es>
- <http://www.movele.es>
- <http://www.lugenergy.com>