











Universidad  
de Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

# Estudio de integración energética del vehículo eléctrico con instalaciones de mini eólica en viviendas.

---

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO ACADÉMICO 2010-2011

TITULACIÓN: MASTER SISTEMAS MECÁNICOS

PROGRAMA OFICIAL POSGRADO: INGENIERIA MECÁNICA Y DE MATERIALES

Autor: Alfonso Montañés Solana

Dirigido por: Mario Maza Frechín

Zaragoza, noviembre 2011







Dedicado a mi madre María Pilar, mi padre Alfonso, a mis hermanos Borja y María Eugenia, y al amor de mi vida Jana.

También quiero dedicarles un agradecimiento especial  
a mi director Mario Maza Frechín, por su ayuda en la  
elaboración de este trabajo, y a mis amigos por estar  
siempre ahí.



# RESUMEN

Este trabajo fin de máster tiene como objetivo estudiar la integración de un vehículo eléctrico con un mini-aerogenerador en una vivienda, y comprobar si es posible suministrar toda la energía consumida por el primero con un aparato de no muy elevada potencia y coste.

Primeramente se estudia la situación económica actual para justificar esta necesidad futura, que con el paso de los años y debido a la fuerte dependencia del petróleo se hará presente.

Una vez puestos en situación, se empieza analizando el vehículo eléctrico, sus características principales. Se obtiene información de los motores, transmisión, baterías..., etc., y el estado actual de este tipo de vehículos en el mercado. Con la información documentada, se pasa a definir un vehículo eléctrico que cuente con características similares a lo que hoy en día existe en el mercado (bajos coef. aerodinámicos y de rodadura, potencias contenidas, buenas prestaciones...).

El siguiente paso consiste en la realización del cálculo de la energía consumida por este vehículo eléctrico. Para ello, y una vez conocidas las características, se estudian las resistencias que se oponen al avance (aerodinámica, rodadura, fuerza de inercia...) y los ciclos estandarizados de conducción (en Europa el New European Driving Cicle o NEDC) con los que se calculan los consumos de los vehículos. Con ellos y realizando una análisis energético se obtiene la energía consumida por el vehículo definido que se estima entorno a los 170 Wh/km.

En la siguiente fase se realiza un pequeño estudio, en base a los km/año que hacen los conductores españoles, del consumo anual que se tendría con este vehículo definido, y la comparación con sus homólogos de gasolina y gasóleo.

Estimada la energía que consumiría un vehículo eléctrico, se pasa al estudio de los aerogeneradores, donde se obtiene información de sus generalidades y se realiza una justificación del porque en este caso es conveniente utilizar mini-aerogeneradores, y más exactamente mini-aerogeneradores de eje vertical.

Se seleccionan una serie de mini-aerogeneradores de distintas potencias, y a partir de sus curvas de potencia y los datos de viento de una localización determinada, se realiza una estimación de la producción de energía anual.

Por último se realiza un estudio comparativo y de viabilidad económica de donde se obtienen las conclusiones finales.



# ÍNDICE.

## MEMORIA.

<b>1. Introducción .....</b>	<b>15</b>
1.1. Objeto y alcance del trabajo.....	15
1.2. Marco actual y motivación del trabajo.....	15
<b>2. El vehículo eléctrico.....</b>	<b>17</b>
2.1. Arquitectura del vehículo eléctrico.....	17
2.1.1. Motores.....	17
2.1.2. Baterías.....	17
2.1.3. Sistemas de recarga y conectores.....	17
2.2. Estimación del consumo mediante ciclos normalizados.....	18
2.2.1. Ciclos de conducción.....	18
2.2.2. Selección de datos para el vehículo del estudio.....	20
2.2.3. Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo.....	24
2.2.4. Fuerza motriz, potencia y energía consumida.....	26
2.2.4.1. Método de cálculo por discretización del ciclo de conducción.....	26
2.2.4.2. Método de cálculo por integración por tramos del ciclo de conducción.....	27
2.2.5. Cálculo de la energía final consumida.....	27
2.2.5.1. Consumo medio del vehículo para el ciclo NEDC.....	28
<b>3. Instalación eólica. ....</b>	<b>29</b>
3.1. Energía eólica.....	30
3.2. Aerogeneradores.....	30
3.2.1. Tipos de aerogeneradores.....	30
3.2.2. Principio de funcionamiento de un aerogenerador.....	31
3.3. Potencia eólica.....	31
3.2.3. Límite de Betz.....	31
3.4. Mini eólica. ....	32
3.5. Estimación de la producción de un mini-aerogenerador.....	33
3.5.1. Selección del mini-aerogenerador de eje vertical.....	33
3.5.2. Datos del viento.....	34
3.5.3. Estimación de la producción eléctrica.....	35
<b>4. Estudios comparativos y de viabilidad económica. ....</b>	<b>36</b>
4.1. Comparativa de consumo y coste del vehículo eléctrico con vehículos de combustión interna.....	36
4.1.1. Vehículos de combustión interna elegidos.....	37
4.1.2. Comparación de consumos.....	37
4.1.3. Comparación de costes.....	38
4.1.4. Estimación del consumo y coste anual del vehículo eléctrico.....	39
4.2. Integración energética de los mini-aerogeneradores con el vehículo eléctrico.....	42

<b>4.3. Estudio de viabilidad económica.....</b>	<b>43</b>
4.3.1. Marco retributivo actual de la energía mini-eólica. ....	43
4.3.2. Datos del análisis económico. ....	44
4.3.3. Resultados del estudio económico.....	45
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO 1: Estudio preliminar.....</b>	<b>51</b>
Consumo de petróleo mundial. ....	51
Consumo de petróleo en España. ....	52
Emisiones de CO <sub>2</sub> en España. ....	53
Sectores de consumo de energía en España.....	54
<b>ANEXO 2: Motores eléctricos.....</b>	<b>59</b>
Motores de corriente continua.....	59
Aplicaciones y ventajas de los motores CC.....	61
Motores de corriente alterna. ....	62
Aplicaciones y ventajas de los motores CA.....	66
Vehículos eléctricos y sus motores. ....	67
Comparación motores eléctricos frente a los de combustión. ....	68
Ventajas e inconvenientes de los motores eléctricos. ....	68
<b>ANEXO 3: Baterías. ....</b>	<b>73</b>
Parámetros de las baterías. ....	74
Tipos de baterías.....	75
Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd). ....	77
Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-Mh). ....	78
Baterías metal-aire.....	79
Vehículos eléctricos y sus baterías. ....	84
Comparación de las baterías frente a los depósitos de combustible (Estudio peso-autonomía). ....	85
<b>ANEXO 4: Sistemas de recarga y conectores. ....</b>	<b>97</b>
Sistema de recarga SAE J1772. ....	98
Sistema de recarga CHAdeMO.....	98
Sistema de recarga EV Plug Alliance.....	99
Sistema de recarga Mennekes (VDE-AR-E 2623-2-2). ....	99
Sistema de cambio rápido de baterías (o sistema QuickDrop de Renault).....	100
Sistemas de recarga por inducción. ....	101
Conectores de puntos de recarga en España.....	102
Comparación de los sistemas de recargar. ....	103
<b>ANEXO 5: Estado actual de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables. ....</b>	<b>109</b>
Think City.....	109
Tesla Roadster. ....	110
Mitsubishi i-miev.....	110
Nissan Leaf.....	111
Opel Ampera/Chevrolet Volt. ....	111
Toyota Prius Pug-in Hybrid. ....	112

<b>ANEXO 6: Ciclos de conducción estándar.....</b>	<b>117</b>
Internacionales .....	117
Estados Unidos.....	117
Japón .....	121
Unión Europea.....	123
<b>ANEXO 7: Método de cálculo por discretización del ciclo de conducción.....</b>	<b>127</b>
Simulador ciclo NEDC .....	127
<b>ANEXO 8: Método de cálculo por integración por tramos del ciclo de conducción... </b>	<b>135</b>
Cálculo energético en el tramo urbano.....	135
Calculo energético en el tramo de carretera.....	140
Energía total consumida para el ciclo NEDC .....	145
<b>ANEXO 9: El origen de la energía eólica. ....</b>	<b>149</b>
El viento.....	149
Vientos geostróficos .....	149
Vientos locales.....	150
La influencia del terreno. ....	152
La variabilidad de la velocidad del viento.....	152
<b>ANEXO 10: Principio de funcionamiento de un aerogenerador. ....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXO 11: Potencia eólica y límite de Betz.....</b>	<b>161</b>
Potencia eólica.....	161
Límite de Betz.....	162
<b>ANEXO 12: Tipos de aerogeneradores. ....</b>	<b>165</b>
Clasificación según el tipo de eje. ....	165
Clasificación según la orientación con respecto al viento.....	168
Clasificación por el número de palas.....	168
Clasificación por la adecuación de la orientación del equipo a la dirección del viento en cada momento.....	169
Clasificación por el control de potencia .....	169
<b>ANEXO 13: Mini-aerogeneradores. ....</b>	<b>173</b>
Urban Green Energy Eddy (600W).....	173
Urban Green Energy Eddy GT (1000W).....	175
Urban Green Energy UGE-4K (4000W).....	177
<b>ANEXO 14: Resultados del análisis económico. ....</b>	<b>181</b>
<b>LISTADOS.....</b>	<b>187</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>195</b>



**MEMORIA**



# 1. Introducción.

## 1.1. Objeto y alcance del trabajo.

El objetivo de este trabajo fin de máster es realizar un estudio sobre el vehículo eléctrico y una pequeña instalación de mini eólica, para comprobar la posible viabilidad de la instalación de pequeños aerogeneradores en viviendas, con el fin de suplir parte del consumo eléctrico de vivienda producido por el vehículo eléctrico.

El estudio se hace desde la perspectiva energética actual, donde la dependencia del petróleo empieza a ser un problema, y también con la vista puesta en el futuro, donde este tipo de vehículos, se supone, serán los que predominen en el parque automovilístico español.

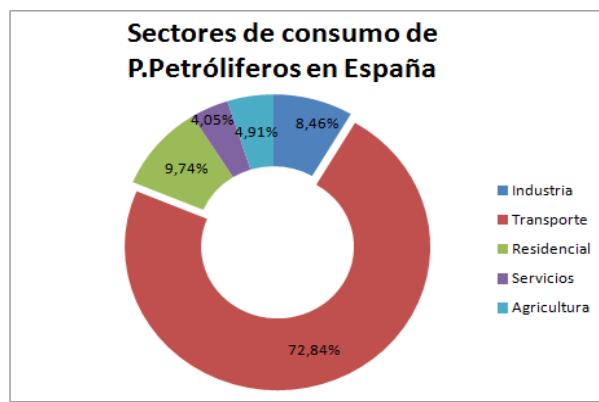
Aunque a lo largo de esta memoria se realizaran pequeños estudios, los dos grandes puntos del trabajo son los siguientes:

- Los vehículos y sus consumos.
- La instalación de mini eólica y su producción eléctrica.

El vehículo del estudio se supondrá como un vehículo con un motor de propulsión eléctrica y las baterías que le acompañan. En esta descripción entran vehículos eléctricos puros, híbridos enchufables y eléctricos de rango extendido, pero el estudio solo se centrará en la parte que genere movimiento a partir del motor eléctrico. Se estimarán sus parámetros, se estudiarán sus componentes (motor, posible transmisión, baterías...), y se realizará un cálculo estimativo de consumo.

## 1.2. Marco actual y motivación del trabajo.

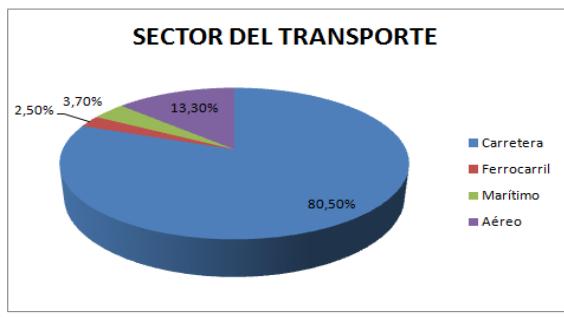
Actualmente el petróleo es una de las materias primas más importantes, de la que depende en gran parte la economía global. Es la fuente que cubre un alto porcentaje de las necesidades energéticas de los seres humanos, y se estima que las reservas mundiales de petróleo, fácilmente accesibles (aquella que su coste de explotación es menor a su precio de venta), se terminen agotando de aquí a 80 años. Por esta razón, disminuir la dependencia de este elemento, es una de las batallas actuales con el fin de evitar agravar la crisis energética mundial. La situación actual en lo referente a consumos de petróleo y sectores dependientes del mismo en España, es la que se puede ver en la figura 1., donde el sector del transporte se lleva más del 70% del consumo total.



*Información procedente del Boletín Electrónico del IDAE N°48.*

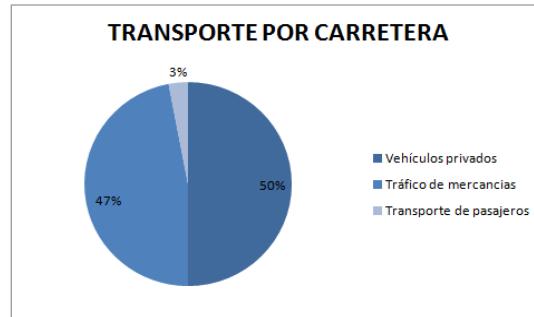
Figura 1. Sectores de consumo de P.petrolíferos en España.

Según datos de 2004 proporcionados por el IDAE, el transporte por carretera se lleva el 80'5% del consumo del sector, y un 58'6% del consumo total. Dentro del sector del transporte por carretera, hay otras tres categorías importantes, como son los vehículos privados, el tráfico de mercancías y el transporte colectivo de pasajeros.



*Información procedente del IDAE.*

Figura 2. Sectores transporte.



*Información procedente del IDAE*

Figura 3. Sectores transporte por carretera.

El parque de vehículos privados, que como se ve en el gráfico anterior suponen un 50% del transporte por carreteras y por tanto un 29'3% del consumo total de productos derivados del petróleo, se lleva el 16'6% de la energía final consumida en el país, lo que supone unas 15500 ktep ( $18 \cdot 10^7$  MWh).

Por lo tanto, se puede concluir que el vehículo privado se lleva una parte muy importante del consumo de derivados del petróleo a escala nacional, el 16'6%, y que si se consiguiera disminuir el consumo de los vehículos de este sector, se conseguiría disminuir la dependencia del petróleo del conjunto del país.

Por ejemplo, si se reduce un 10% del consumo de derivados del petróleo en el sector de los vehículos privados, se conseguiría una reducción cercana al 3% del consumo de derivados total.

Por consiguiente, con la situación energética actual que ha obligado al sector de la automoción a evolucionar rápidamente hacia vehículos más eficientes y menos contaminantes, la prioridad es conseguir reducir el consumo parque móvil español. Por ello, los vehículos eléctricos son una posible solución, ya que no realizan un consumo directo de este recurso, sino que su fuente de energía procede de la red eléctrica.

En la producción eléctrica de España, la cantidad de productos derivados del petróleo consumidos es muy baja (6'7% del total), por lo que el uso de este tipo de vehículos reduciría drásticamente la dependencia de esta materia. Aun así, se seguiría dependiendo en gran parte de energías no renovables, y es por esto por lo que se realiza este estudio, para ver la viabilidad de la instalación de mini eólica en viviendas y así eliminar casi por completo la dependencia del petróleo.

En el “**ANEXO 1: ESTUDIO PRELIMINAR**” se amplía toda la información tratada en este punto, y se planten algunas cuestiones adicionales.

## 2. El vehículo eléctrico.

El vehículo eléctrico se plantea como una alternativa al vehículo térmico con el fin de reducir las emisiones contaminantes. Se pretende que el vehículo eléctrico use la energía eléctrica de tal manera que se puedan reducir las emisiones contaminantes y sea una alternativa viable de futuro.

### 2.1. Arquitectura del vehículo eléctrico.

Estos vehículos tienen una serie de componentes y características que los diferencian y lo definen como tales. Sus motores (eléctricos), sus sistemas de almacenamiento de energía (baterías) y sus sistemas de recarga, son los tres más importantes y por sus características individuales definen al vehículo eléctrico.

#### 2.1.1. Motores.

En el “**ANEXO 2: MOTORES ELÉCTRICOS**” se describen los distintos motores eléctricos utilizados en el mundo de la automoción, y se realiza una comparación con los de combustión interna.

#### 2.1.2. Baterías.

Las baterías son un componente principal en todos de coches eléctricos. Una batería está formada por dos o más células eléctricas unidas entre sí que transforman energía química en eléctrica. Cada una de esas células está formadas por dos electrodos (uno positivo y uno negativo) unidos mediante un electrolito. En la reacción química entre los electrodos y el electrolito es donde se genera energía eléctrica en forma de corriente continua.

En el “**ANEXO 3: BATERÍAS**” se habla sobre los distintos tipos de baterías existentes en el mercado y sus características, y finalmente se hace un pequeño estudio sobre el factor autonomía-peso comparando cada tipo de baterías con la gasolina y el gasoil.

#### 2.1.3. Sistemas de recarga y conectores.

La recarga completa de las baterías de un coche eléctrico puede llegar a durar hasta 8 horas. El tiempo de recarga depende de los kW de potencia del sistema de recarga al que conectemos nuestro vehículo y de la capacidad en kWh de las baterías instaladas en el vehículo. En función de la potencia del sistema de recarga se hablará de carga estándar o de carga rápida.

Los enchufes domésticos, tienen un voltaje de 230 V y una intensidad de 16 A, siendo su potencia de carga máxima de 3,68 kW. Una batería de 16 kWh se tardaría en recargar aproximadamente unas 5 horas.

Actualmente existen varios sistemas recarga con sus correspondientes conectores. Esto nos lleva a la completa inexistencia de estándares de carga, tanto en sistemas de recarga como en sus conectores y enchufes.

En el “**ANEXO 4: SISTEMAS DE RECARGA Y CONECTORES**”, se analizan los distintos sistemas actuales y se estima el tiempo de carga con cada uno de ellos.

## 2.2. Estimación del consumo mediante ciclos normalizados.

Para poder estimar el consumo de un vehículo eléctrico (o cualquier vehículo) se utilizan los ciclos de conducción normalizados. Además se deben conocer todos los parámetros característicos del mismo si no se cuenta con el vehículo real, como es el caso de este estudio.

Como este estudio no se centra en un vehículo en concreto, se necesita investigar que hay actualmente en el mercado de eléctricos. Para ello, en el “**ANEXO 5: ESTADO ACTUAL DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS ENCHUFABLES**” se describen los vehículos eléctricos, eléctricos de rango extendido y algún híbrido que actualmente se encuentra en el mercado (o muy próximamente).

### 2.2.1. Ciclos de conducción.

Una de los factores más importantes en un vehículo es su autonomía. Se trata de uno de los puntos críticos en la búsqueda de alternativas a los motores de combustión interna.

Con el fin de intentar averiguar el número de kilómetros que puede recorrer un vehículo, se utilizan los ciclos de conducción, test realistas con diferentes cambios de velocidad, aceleración y frenada, que intentan simular situaciones próximas a la realidad. También se crearon con la idea de calcular aproximadamente las emisiones contaminantes producidas por un vehículo en determinadas situaciones.

En el caso de este estudio, se utilizará uno de los ciclos estandarizados en la Unión Europea para el cálculo de consumos. A partir de este se calcularán las resistencias al avance, potencia y finalmente energía consumida por unidad de distancia. Para ampliar la información sobre los ciclos, consultar el “**ANEXO 6: CICLOS DE CONDUCCIÓN ESTÁNDAR**”.

El ciclo que se va a utilizar para este estudio es un ciclo europeo de tipo modal, con aceleraciones y velocidades constantes. Su nombre es New European Driving Cycle (NEDC).

#### **New European Driving Cycle (NEDC).**

El NEDC es un ciclo proveniente de la combinación de otros dos ciclos europeos, el ECE-15 y el EUDC, y se utiliza para la certificación de vehículos ligeros en Europa.

El ciclo ECE-15 es un ciclo de conducción urbana. Fue ideado para representar las condiciones de la conducción en ciudades, como por ejemplo París o Roma. Se caracteriza por tener la velocidad limitada a 50 km/h y una duración de 195 segundos. Consta de 3 períodos de aceleración constante, 4 tramos de deceleración constante y 4 zonas a velocidad constante.

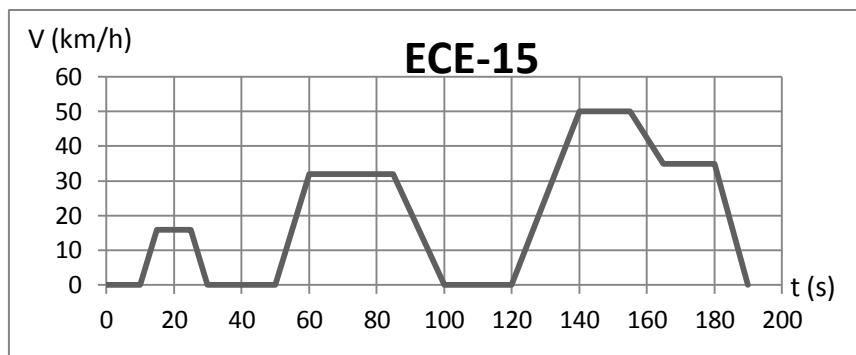


Figura 4. Ciclo ECE-15.

El ciclo EUDC representa una conducción extraurbana (velocidad entre 50 y 70 km/h) analizando con una incorporación a una autopista (en dos fases, primero aceleración hasta 100 km/h y luego hasta 120 km/h) antes de frenar hasta detener el vehículo.

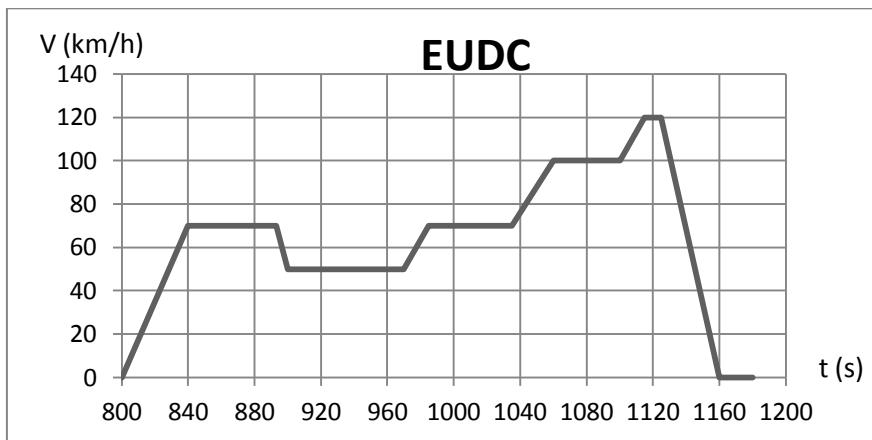


Figura 5. Ciclo EUDC.

El NEDC se conforma de cuatro ciclos ECE-15 continuados, seguidos de un EUDC, quedando de la siguiente forma:

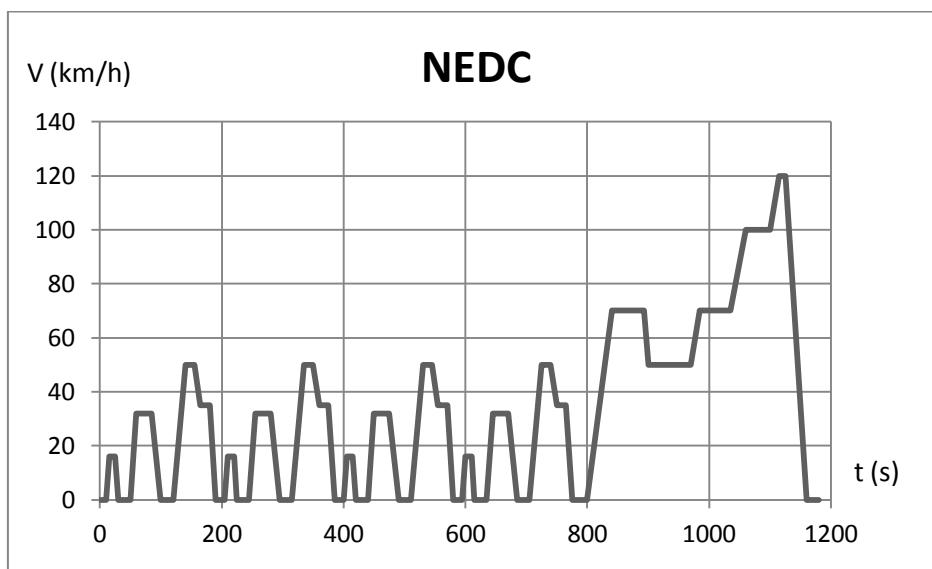


Figura 6. Ciclo NEDC.

	<b>ECE-15</b>	<b>EUDC</b>	<b>NEDC</b>
<b>Distancia recorrida</b>	$4 \times 1013 = 4052$ m	6955 m	11007 m
<b>Tiempo total</b>	$4 \times 195 = 780$ s	400 s	1180 s
<b>Velocidad media</b>	18'7 km/h	62'6 km/h	33'6 km/h
<b>Velocidad máxima</b>	50 km/h	120 km/h	120 km/h

**Tabla 1.** Ciclo NEDC.

El ciclo de conducción especifica la velocidad, aceleración y tiempo a los que deberá ceñirse el vehículo para calcular su consumo. Es por ello que para continuar el estudio se necesita definir el vehículo, o lo que es lo mismo, las características y coeficientes de éste.

### 2.2.2. Selección de datos para el vehículo del estudio.

En la actualidad no existe una gran variedad de vehículos eléctricos, como se puede leer en el **ANEXO 5**. En este apartado se definirán las características aproximadas de lo que sería un eléctrico puro para, a continuación, realizar los cálculos energéticos.

El cálculo que se quiere realizar consiste en averiguar la energía requerida por un vehículo eléctrico a lo largo de un ciclo de conducción normalizado. Para poder llegar hasta la energía consumida en dicho ciclo, primero se calculará la resistencia al avance, y para ello será necesario conocer: Masa (M), Superficie frontal (S), Coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ ) y el coeficiente aerodinámico ( $C_x$ ) del hipotético vehículo eléctrico.

#### -MASA.

La masa es una propiedad intrínseca a los cuerpos y sirve para medir la cantidad de materia que un cuerpo contiene. Es uno de los factores determinantes, y de mayor influencia, en el consumo de un vehículo. La masa de los vehículos eléctricos es mayor que la de sus homólogos de gasolina o gasóleo. Esto se debe sobre todo al sobrepeso adicional del sistema de almacenamiento de energía, las baterías. Este peso extra suele estar entre los 200 y los 300 kg.

Un vehículo convencional de un tamaño medio, estilo un Golf, suele estar entre los 1200 y los 1300 kg de peso. Añadiéndole el peso de las baterías, se alcanzan los 1600 kg. Este será el peso del vehículo eléctrico seleccionado para el estudio.

$$\checkmark \text{ Masa: } M = 1600 \text{ kg}$$

#### -SUPERFICIE FRONTAL O EFECTIVA.

La superficie frontal, es el área del vehículo que se enfrenta directamente al flujo de aire que genera el vehículo al circular a una velocidad determinada. Es un factor que influye en la resistencia aerodinámica, y que está determinado por la habitabilidad que se le quiera dar al vehículo en cuestión. En este aspecto, los vehículos eléctricos no se diferencian de los de combustión interna.

Para un vehículo de tamaño medio, una anchura y altura típica podría ser de 1'8 m por 1'4 m. A esto habría que restarle la superficie frontal definida por el fondo del vehículo, los flancos interiores de las ruedas y el suelo sobre el que se circula. Para ello se multiplica a la anchura y altura por un factor de corrección que habitualmente se aproxima a 0'85. Por lo tanto para el vehículo eléctrico que se está definiendo, la superficie frontal quedará de la siguiente forma.

$$\checkmark \text{ Superficie frontal: } S = 0'85 * 1'8 * 1'4 = 2'142 \text{ m}^2$$

#### **-COEFICIENTE AERODINÁMICO.**

El coeficiente aerodinámico es un número adimensional que se obtiene experimentalmente para cada vehículo en el túnel del viento, e influye sustancialmente en la resistencia aerodinámica (misma influencia que la superficie frontal).

Es un factor que se está empezando a cuidar especialmente en muchos vehículos actuales. Ante la imposibilidad de disminuir la superficie frontal debido al factor de la habitabilidad interior, los fabricantes se ven obligados a mejorar este número y así conseguir vehículos más eficientes.

En los vehículos eléctricos, donde se busca maximizar la eficiencia, este factor suele ser excepcional. Un valor típico en vehículos compactos suele ser 0'30. Un valor excepcional sería 0'24. Será este último el seleccionado para el vehículo con el que se va a trabajar.

$$\checkmark \text{ Coeficiente aerodinámico: } C_x = 0'24$$

#### **-COEFICIENTE DE RODADURA.**

El coeficiente de rodadura es un valor adimensional que afecta a resistencia a la rodadura tanto como lo hace la propia masa del vehículo. En su ecuación empírica más completa, depende de muchos factores, como son la velocidad a la que se desplaza el vehículo, el peso del vehículo, la presión de inflado de los neumáticos y el tipo de neumático (radial o diagonal).

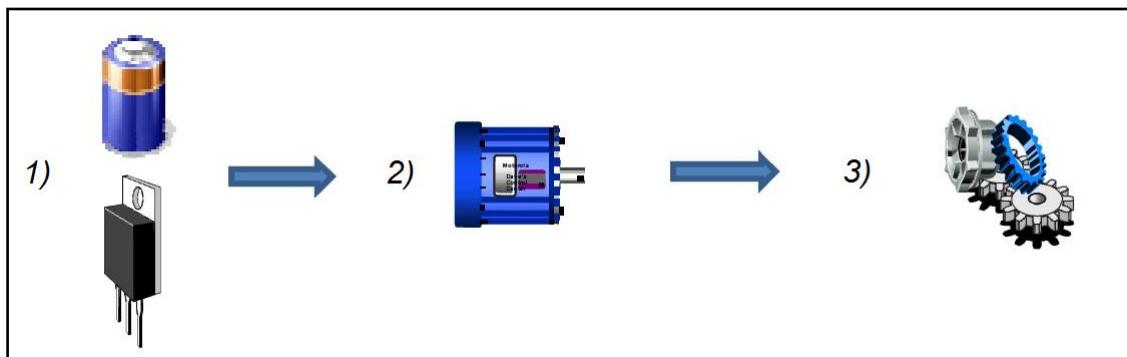
A pesar de esto, es un coeficiente que se puede simplificar y considerar constante, y que muchas marcas de vehículos proporcionan (valor aproximado). Al igual que sucedía con el coeficiente aerodinámico, este es un valor que tiende a mejorarse y que debe ser lo más bajo posible para así maximizar la eficiencia. Un vehículo con un mal coeficiente de rodadura puede alcanzar valores de 0'013 y uno muy bueno de 0'006. Como los vehículos eléctricos suelen usar neumáticos con bajos coeficientes de rodadura, para el vehículo que aquí se define se estimará un valor de 0'008.

$$\checkmark \text{ Coeficiente a la rodadura: } \mu_r = 0'008$$

### **-RENDIMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.**

Para llegar a conocer la energía final que se necesitará almacenar en las baterías, además del cálculo energético, será necesario conocer el rendimiento medio del vehículo, y para llegar a éste, el rendimiento medio de todos sus componentes. Por ello deberemos conocer cuáles son las partes implicadas en un vehículo eléctrico.

- 1) Convertidor electrónico y batería:  $\eta_c * \eta_b$
- 2) Motor eléctrico:  $\eta_m$
- 3) Sistema mecánico del vehículo:  $\eta_{mec}$



**Figura 7.** Componentes de un vehículo eléctrico.

#### **\*Convertidos electrónico.**

El convertidor electrónico de potencia incorporará un equipo a base de rectificador, ondulador e inductancia, al que se le puede estimar un rendimiento de  $\eta_c = 97\%$ .

#### **\*Batería.**

Una batería de tipo Ion-Litio con una resistencia interna media de  $0'175\text{ m}\Omega$ , presenta un rendimiento eléctrico medio del 99,14%, que junto con el 99,63% correspondiente al rendimiento de la conducta térmica, determina para la batería un rendimiento medio de  $\eta_b = 98,8\%$ .

#### **\*Motor eléctrico.**

Los motores eléctricos cuentan con elevados rendimientos, superando siempre el 90% de rendimiento máximo. Aunque dependiendo del tipo de motor, los rendimientos máximos pueden variar, como se ve en la figura 8, que representa las curvas de rendimiento de un motor eléctrico en función de las revoluciones y el par, el rendimiento mínimo es del 77% t el máximo del 92%.

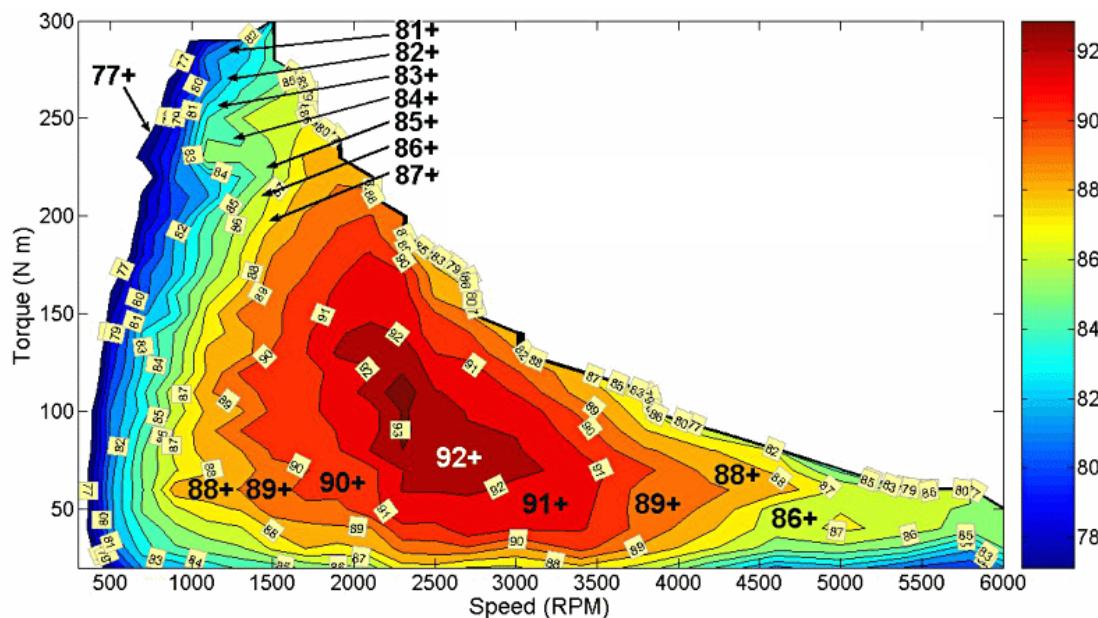


Figura 8. Curvas de rendimiento de un motor eléctrico.

Durante la conducción de un vehículo no se suele circular en la franja de rendimiento óptimo, sino que se circula en la mayoría de los momentos o bien por debajo, o bien por encima. Sin tener en cuenta el retorno energético por frenado regenerativo (inversión del motor en generador durante las frenadas), ni la pérdida de rendimiento por trabajo distinto al de rendimiento óptimo (entendiéndolas como compensadas entre sí), se podría estimar que un rendimiento medio durante un ciclo de conducción normalizado con tramo de ciudad y de carretera, podría estar en torno a un valor aproximado de  $\eta_m = 86\%$ .

#### \*Sistema mecánico.

Un vehículo eléctrico no suele contar con un sistema de transmisión convencional con múltiples marchas. Debido a las características de par y potencia del motor eléctrico, el sistema mecánico será más sencillo que el de un vehículo convencional. Este comprenderá la transmisión posiblemente sin marchas, o con un menor número de ellas, el diferencial y los sistemas auxiliares de seguridad. Para realizar los cálculos del estudio, se le asignará a todo este conjunto un rendimiento medio aproximado de  $\eta_{mec} = 80\%$ .

Con todos estos datos se puede obtener el rendimiento medio del vehículo. Realizando el producto de todos ellos se obtiene que:

$$\eta_{T.Vehículo} = \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_m \cdot \eta_{mec} = 0'97 \cdot 0'988 \cdot 0'86 \cdot 0'8 \cdot 100 = 65'9\%$$

#### **PARÁMETROS FINALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.**

El vehículo eléctrico aquí definido y con el que se trabajará a lo largo del estudio, queda con los siguientes valores:

Masa..... **$M = 1600 \text{ kg}$**

Superficie frontal..... **$S = 0'85 \cdot 1'8 \cdot 1'4 = 2'142 \text{ m}^2$**

Coeficiente a la rodadura..... **$\mu_r = 0'008$**

Coeficiente aerodinámico..... **$C_x = 0'24$**

Rendimiento..... **$\eta_{T, \text{vehículo}} = 65'9\%$**

### 2.2.3. Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo.

Definidas las características del vehículo eléctrico, para poder estimar el consumo, o lo que es lo mismo la energía consumida por unidad de longitud (Wh/km), es necesario conocer y calcular todas aquellas resistencias u oposiciones al movimiento con las que se enfrenta un vehículo al moverse.

Para poder desplazarse a una velocidad constante un vehículo tiene que vencer todas aquellas resistencias que se oponen este desplazamiento, que son resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica y la resistencia a la pendiente.

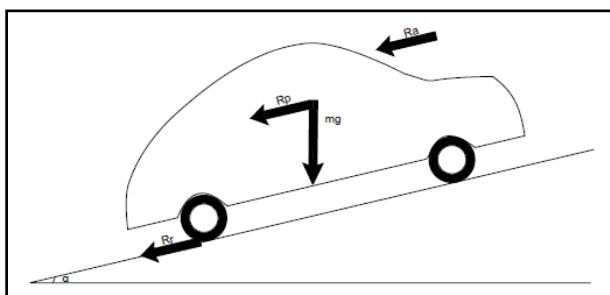


Figura 9. Fuerzas que se oponen al movimiento.

#### Resistencia a la rodadura.

La resistencia a la rodadura es una fuerza que se opone al movimiento y que se produce al rodar un cuerpo sobre una superficie, cuando el cuerpo o ambos se deforman. Depende del peso y del coeficiente de rodadura.

$$\text{Resistencia a la rodadura en kgf} \rightarrow R_r = M \cdot \mu_r$$

$M \equiv \text{Peso en kgf};$

#### Resistencia aerodinámica.

La resistencia aerodinámica es la fuerza que se produce al moverse un cuerpo a través del aire. Es la fuerza que este cuerpo tiene que ejercer para desplazar el aire que se encuentra en su trayectoria. Depende de varios factores como la superficie frontal, el coeficiente aerodinámico, la velocidad y la densidad del aire. Suponiendo la densidad del aire constante, la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Resistencia aerodinámica en kgf} \rightarrow R_a = \frac{1}{16} \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$$

$M \equiv \text{Peso en kgf}; S \equiv \text{superficie frontal en m}^2; V \equiv \text{velocidad en } \frac{\text{m}}{\text{s}}$

### **Resistencia a la pendiente.**

La resistencia a la pendiente es la fuerza que debe vencer el vehículo para poder superar una pendiente determinada. Se puede demostrar fácilmente que la fuerza que ha de realizar un cuerpo para superar una determinada pendiente es su propio peso multiplicado por el seno del ángulo que forma la vía por la que transita y la horizontal.

$$\text{Resistencia a la pendiente en kgf} \rightarrow R_p = M \cdot \sin \alpha$$

$$M \equiv \text{Peso en kgf};$$

Durante este estudio no se tendrá en cuenta la resistencia a la pendiente, debido a que en los ciclos normalizados no se define ninguna, y por lo tanto su valor será cero.

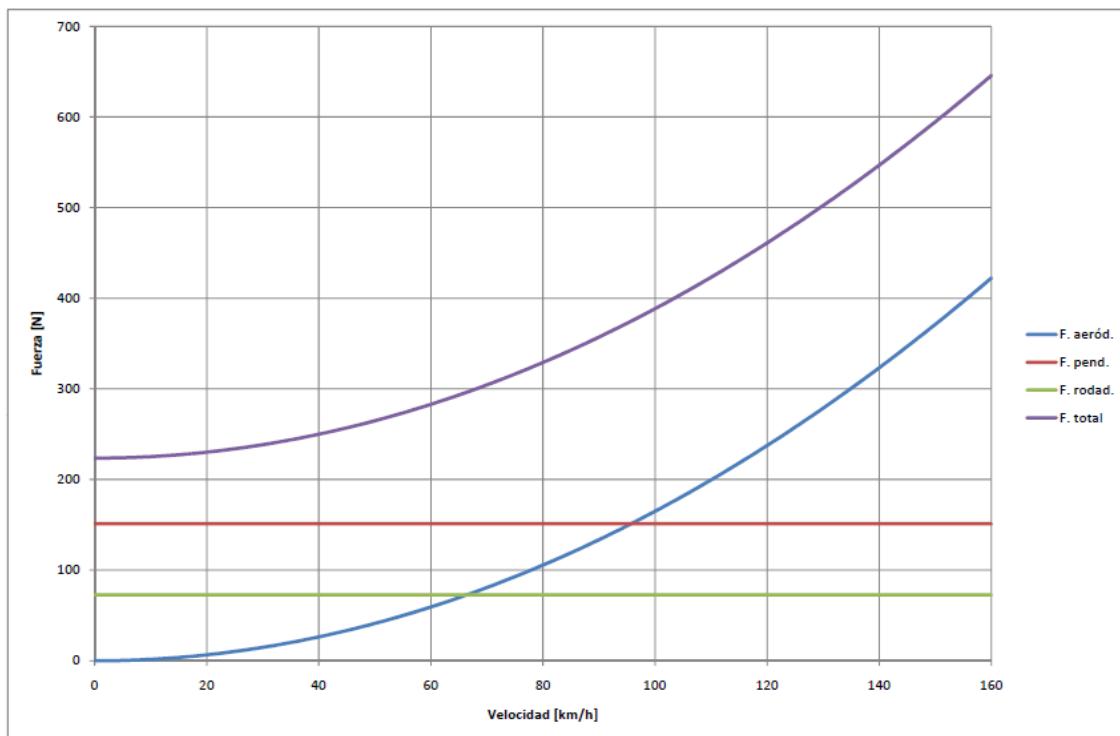


Figura 10. Resistencias al avance.

### **Fuerza de inercia.**

Si además de querer mover el vehículo una velocidad constante ( $V=cte$ ), se requiere que el vehículo acelere para pasar de una velocidad a otra superior, este tendrá que vencer una resistencia adicional.

Esta resistencia que se opone al movimiento debido a la aceleración se llama fuerza de inercia:

$$\text{Fuerza inercia en N} \rightarrow F_i = \gamma \cdot M \cdot (1 + \varepsilon_i)$$

$$M \equiv \text{Masa en kg}; \quad \gamma \equiv \text{Aceleración en } \frac{m}{s^2}$$

$$\varepsilon_i \equiv \text{Factor de corrección de la masa por inercias de rotación}$$

Como para conocer el factor de corrección necesitamos saber la relación de desmultiplicación para cada velocidad, y en este caso no las tenemos, se decide, para simplificar, que el valor del término corrector de la masa sea  $(1 + \varepsilon_i) = 1'1$ , quedando la expresión anterior de la siguiente forma:

$$\text{Fuerza inercia en } N \rightarrow F_i = \gamma \cdot M \cdot 1'1$$

#### 2.2.4. Fuerza motriz, potencia y energía consumida.

Una vez conocidas todas las fuerzas que se oponen al movimiento, se deberá obtener la fuerza que tiene que realizar el vehículo para poder superar todas ellas y conseguir acelerar o mantener una velocidad constante.

Esta fuerza a realizar por parte del vehículo se llama fuerza motriz (fuerza necesaria para vencer la resistencia al avance), y es la suma de todas las resistencias al avance: rodadura, aerodinámica, pendiente (que en este caso es cero) y fuerza de inercia.

$$\text{Fuerza motriz en } N \rightarrow F_m = (\gamma \cdot M \cdot 1'1) + \left[ (M \cdot \mu_r) + \left( \frac{1}{16} \cdot S \cdot C_x \cdot V^2 \right) \right] \cdot 9'81$$

Una vez hallada la fuerza necesaria, se calcula la potencia, que deriva del producto de fuerza motriz por velocidad, en este caso, del vehículo:

$$\text{Potencia en } W \rightarrow P = F_m \cdot V$$

$$F_m \equiv \text{Fuerza motriz en } N; V \equiv \text{Velocidad en } \frac{m}{s}$$

Lo que se busca es el cálculo de la energía total consumida en el ciclo. Por lo tanto, ya que la potencia es energía (Julios) por unidad de tiempo (segundos), para hallar la energía se deberá realizar el producto de la potencia por el tiempo.

Hay que tener en cuenta que la energía aquí calculada es la consumida por el vehículo, pero la que se necesita realmente conocer es la almacenada y consumida desde las baterías. Dividiendo la energía consumida por el vehículo durante el ciclo, entre el rendimiento total calculado antes, se obtendrá la energía final necesaria.

En este estudio se explican dos métodos para calcular la energía consumida por el vehículo:

##### 2.2.4.1. Método de cálculo por discretización del ciclo de conducción.

El primero de ellos consiste en dividir el ciclo de conducción en fracciones de un segundo, quedando definido cada segundo con una velocidad y una aceleración. Sobre cada segundo se aplicaría el producto de la potencia por el tiempo (1 segundo), para luego sumar todos los valores obtenidos y así tener la energía total consumida en el ciclo.

$$\text{Energía final en Julios} \rightarrow E = \frac{F_m \cdot V \cdot t}{\eta_{T.Vehículo}}$$

Para esta forma de cálculo, se ha creado una hoja Excel en la que se ha discretizado todo el ciclo en segundos, y aplicado las ecuaciones correspondientes para averiguar el consumo del vehículo definido. Esta hoja de cálculo y la metodología utilizada se explican detalladamente en el “**ANEXO 7: MÉTODO DE CÁLCULO POR DISCRETIZACIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN**”.

Para probar el archivo Excel de cálculo del ciclo NEDC se puede descargar de la siguiente dirección web: “**Simulador ciclo NEDC.xlsx**”  $\rightarrow$  <http://db.tt/XscJsyMw>

#### **2.2.4.2. Método de cálculo por integración por tramos del ciclo de conducción.**

Este será el método utilizado para calcular energía consumida por el vehículo en este estudio. En este método, el ciclo de conducción se dividirá en tramos de velocidad constante y aceleración constante, y para obtener la energía se aplicará la integración de cada uno de estos tramos en función del tiempo.

$$\text{Energía final en Julios} \rightarrow E = \frac{\int_{t_0}^{t_f} F_m \cdot V \cdot dt}{\eta_{T.Vehículo}}$$

#### **2.2.5. Cálculo de la energía final consumida.**

Conocidos los parámetros del vehículo y la metodología que se va a emplear para el cálculo, se pasa a calcular la energía que consumiría el vehículo definido para el ciclo NEDC en Wh/km.

Los datos del vehículo son:

- ✓ *Masa:  $M = 1600 \text{ kg}$*
- ✓ *Superficie frontal:  $S = 0'85 \cdot 1'8 \cdot 1'4 = 2'142 \text{ m}^2$*
- ✓ *Coeficiente a la rodadura:  $\mu_r = 0'008$*
- ✓ *Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'24$*
- ✓ *Rendimiento del vehículo:  $\eta_{T.Vehículo} = 0'659$*

Con ellos, lo primero que se hace es calcular la resistencia al avance (dejándola en función de la velocidad y con unidades de Newtons):

$$R_t = (1600 \cdot 0.008) + \left( \frac{1}{16} \cdot 2'142 \cdot 0'24 \cdot V^2 \right) \cdot 9'81 = 125'57 + 0'3152 \cdot V^2$$

Seguidamente la fuerza de inercia en función de la aceleración, también en Newtons:

$$F_i = \gamma \cdot 1600 \cdot 1'1 = 1760 \cdot \gamma$$

Y a partir de éstas la fuerza motriz en función de aceleración y velocidad:

$$F_m = (1760 \cdot \gamma) + (125'57) + (0'3152 \cdot V^2)$$

La potencia en vatios:

$$P = (1760 \cdot \gamma \cdot V) + (125'57 \cdot V) + (0'3152 \cdot V^3)$$

Y finalmente la energía total en Julios, dependiente de la velocidad (m/s) y la aceleración ( $m/s^2$ ):

$$E = \frac{\int_{t_0}^{t_f} [(1760 \cdot \gamma \cdot V) + (125'57 \cdot V) + (0'3152 \cdot V^3)] \cdot dt}{0'659}$$

Con esta ecuación, únicamente válida para el vehículo eléctrico definido, se integrará cada una de las rectas de aceleración constaten y velocidad constante del ciclo NEDC. Sumándolas se obtendrá la energía total consumida durante el ciclo.

Los tramos en los que el vehículo tiene una deceleración constante no se integrarán, ya que energéticamente cuando un vehículo eléctrico decelera, el motor trabaja como generador y por lo tanto no pierde energía sino que la recupera. Para simplificar los cálculos y trabajar con el caso más desfavorable (un vehículo eléctrico en el que el motor no trabajase como generador), estos tramos no serán tenidos en cuenta.

Para ver los cálculos en detalle (integración de cada uno de los tramos del ciclo), pasar a leer el **"ANEXO 8: MÉTODO DE CÁLCULO POR INTEGRACIÓN POR TRAMOS DEL CICLO DE CONDUCCIÓN"**.

#### **2.2.5.1. Consumo medio del vehículo para el ciclo NEDC.**

El consumo que resulta de aplicar la ecuación del vehículo eléctrico a cada uno de los tramos para la zona urbana del ciclo es:

$$E_{NEDC\,urbano} = 4 \cdot E_{ECE-15} = 2265303'92 \text{ J} = 2265'304 \text{ kJ}$$

Y para la parte del ciclo de carretera:

$$E_{NEDC\,carretera} = E_{EUDC} = 4580128'55 \text{ J} = 4580'128 \text{ kJ}$$

Obtenidas ambas partes de ciclo, la energía total de ciclo consumida desde las baterías es:

$$E_{NEDC} = 4 \cdot E_{ECE-15} + E_{EUDC} = 2265303'92 + 4580128'55 = 6845432'47 \text{ J}$$

Sabiendo que la distancia total recorrida en el ciclo es de  $D = 11007 \text{ m}$ , y que  $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$ , el consumo del vehículo eléctrico para el ciclo NEDC es de:

$$\text{Consumo del vehículo}_{NEDC} = \frac{E_{NEDC} \cdot 1000}{3600 \cdot D} = \frac{6845432'47 \cdot 1000}{3600 \cdot 11007} = 172'75 \text{ Wh/km}$$

$$\text{Consumo medio del vehículo}_{NEDC} = 172'75 \text{ Wh/km}$$

Para comprobar si el consumo que se ha obtenido está dentro de lo razonable, se puede comparar con los consumos mostrados en el “**ANEXO 5: ESTADO ACTUAL DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS ENCHUFABLES**”.

Los consumos y rendimientos de los vehículos mostrados en este apartado son (en orden descendente empezando por los que se cree que sus datos son menos fieles a la realidad y terminando por los que se cree más fieles):

- Mitsubishi i-miev: 100 Wh/km y 90'9%.
- Think City: 144 Wh/km y 95'5%.
- Tesla Roadster: 135 Wh/km y 95'5%.
- Opel Ampera: 133 Wh/km y 47'95%
- Toyota Prius Plug-in: 152 Wh/km y 68'7%
- Nissan Leaf: 173 Wh/km y 76'5%

Recordemos que el rendimiento estimado del vehículo (basado en datos aproximados de cada una de las partes, y sin haber tenido en cuenta la recuperación de energía en la inversión del motor en las frenadas) es de  $\eta_{T.Vehículo} = 65'9\%$ .

Comparando el consumo medio obtenido de **172'75 Wh/km** y el rendimiento medio estimado del **65'9%** con los vehículos de la muestra que actualmente se encuentran en el mercado, se puede apreciar claramente como los datos calculados son muy similares, por lo que puede afirmarse que el cálculo estimativo de consumo está bien hecho, y será válido para continuar con el estudio.

### 3. Instalación eólica.

Una instalación eólica, es aquélla que produce energía eléctrica a través de aerogeneradores mediante el aprovechamiento del viento, y por lo tanto este tipo de instalaciones siempre requieren de la presencia de viento para poder funcionar.

Para el buen funcionamiento de estas instalaciones, se requiere que el flujo de viento sea lo más laminar posible, y para asegurar esto es necesario que el aerogenerador se sitúe en una zona libre de turbulencias, es decir, a una considerable altura sobre el terreno. Por ello este tipo de energía depende básicamente de la localización en la que se encuentren los aerogeneradores. Se requiere una zona de vientos elevados durante una gran parte del año para hacer que una instalación eólica resulte interesante económicamente.

### 3.1. Energía eólica.

Toda la energía cinética del viento proviene en último término del sol. La tierra recibe del sol una cantidad de energía del orden de  $1017 \text{ W/m}^2$ . Alrededor de un 2% de esta potencia es la que genera el viento. Este se genera como consecuencia de las diferencias de temperatura que alcanzan las diferentes zonas de la tierra, bien por su diferencia de altitud (vientos de montaña y valle, generando corrientes de aire ascendente en horas de sol y descendente durante la noche), de la latitud, o por la diferencia de temperatura de la tierra y del agua del mar. En este último caso se generan brisas que van desde la mar a la tierra durante las horas de sol, y desde la tierra a la mar durante la noche. En el “**ANEXO 9: EL ORIGEN DE LA ENERGÍA EÓLICA**” se amplía la información sobre el origen de la energía eólica y el viento.

En la década de 1970, y como consecuencia de la crisis energética, los países desarrollados inciden en el plano de la investigación y el desarrollo, apareciendo la tecnología que permitiría la producción de las actuales turbinas eólicas.

La energía producida en estas máquinas recibe el nombre de energía eólica, y es la energía generada por las corrientes de aire al actuar y mover las palas de los aerogeneradores. Este movimiento, energía cinética, es transmitido por las palas al eje, que a su vez está conectado a un generador eléctrico el cual se encarga de la producción eléctrica.

### 3.2. Aerogeneradores.

#### 3.2.1. Tipos de aerogeneradores.

Existen distintas formas de clasificar los aerogeneradores: Según el tipo de eje, la orientación con respecto al viento, el número de palas.... En este apartado solo se hablará forma resumida de la primera de ellas, clasificación según el tipo de eje. Para ampliar la información, acudir al “**ANEXO 12: TIPOS DE AEROGENERADORES**”.

##### *Aerogeneradores de eje Horizontal.*

También conocidos como HAWT, que proviene de las siglas en inglés (horizontal axis wind turbines). Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño e investigación en los últimos años. Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo y a la dirección del viento. Sus ventajas son, que al estar a una altura de entre 40 y 60 metros del suelo, aprovecha mejor las corrientes de aire, y todos los mecanismos para convertir la energía cinética del viento en otro tipo de energía están ubicados en la torre y la góndola, además de tener una eficacia muy alta. Como desventaja tenemos el transporte por sus grandes dimensiones (torres de 60 metros y palas de 40 metros), la fuerza que tiene que resistir las palas y en velocidades altas de viento, más de 100 Km/h deben de ser parados para evitar daños estructurales.

### Aerogeneradores de eje Vertical.

Los aerogeneradores de eje vertical son una alternativa menos conocida llamada a hacerse un hueco entre los consumidores. Son idóneas para aprovechar la energía eólica en los tejados de casas, edificios públicos o zonas industriales.

También conocidos como VAWT, que proviene de las siglas en inglés (vertical axis wind turbines). Su principal característica es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo y a la dirección del viento. Su ventaja es la eliminación de los complejos mecanismos de direccionamiento y las fuerzas a las que se someten las palas ante los cambios de orientación del rotor. Por el contra, su desventaja es que presentan una menor capacidad de generación eléctrica. Existen varios tipos:

- Darrieus: Consiste en dos o tres arcos que giran alrededor del eje.
- Savonius: Dos o más filas de semicírculos colocados opuestamente alrededor del eje.
- Panémonas: Cuatro o más semicírculos unidos al eje central.

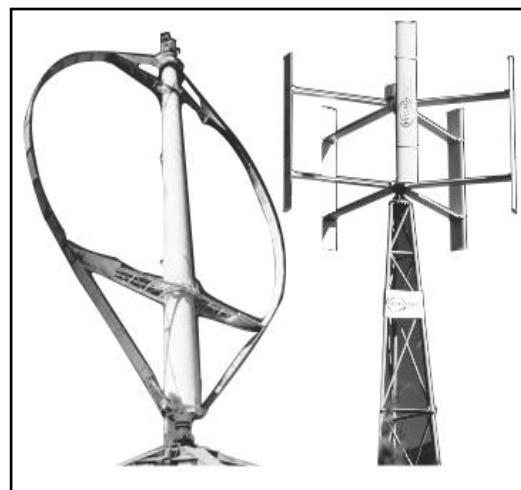


Figura 11. Aerogeneradores de eje vertical.

### 3.2.2. Principio de funcionamiento de un aerogenerador.

El principio aerodinámico por el cual el conjunto de palas gira, es similar al que hace que los aviones vuelen. La cantidad de energía extraíble del viento a una velocidad determinada depende de la geometría de las palas del rotor. La fuerzas que actúan sobre las palas son, la fuerza de sustentación y la de arrastre o resistencia. Consultar el “**ANEXO 10: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN AEROGENERADOR**” para ampliar la información sobre estas fuerzas.

### 3.3. Potencia eólica.

La potencia máxima teórica que se podría extraer de un flujo de aire si este cediese toda su energía (Velocidad a la salida = 0 m/s), viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{\text{flujo de aire}} = \frac{1}{2} \rho A V^2 \cdot V dt = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

### 3.2.3. Límite de Betz.

Las leyes de la física, impiden que se pueda extraer toda la potencia disponible en el viento a su paso por el rotor de un aerogenerador. El viento a su paso se frena, saliendo del mismo con una velocidad menor que con la que ha entrado, pero sigue teniendo energía.

La potencia máxima aprovechable por el aerogenerador viene definida por el límite de Betz, y es igual a 16/27 ( $C_p=0'59259$ ), así que la potencia máxima que se puede extraer del viento es del 59'26%, quedando la expresión de la potencia:

$$P_{a.MAX} = \frac{1}{2} 0'5926 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

Consultar el “**ANEXO 11: POTENCIA EÓLICA Y LÍMITE DE BETZ**” para ampliar la información.

### 3.4. Mini eólica.

En este trabajo se pretende estudiar la instalación de aerogeneradores en viviendas para suplir el consumo de un vehículo eléctrico. El problema reside en las limitaciones, tanto técnicas como medioambientales y económicas, que conlleva la instalación de un aerogenerador de grandes dimensiones próximo (o sobre la cubierta) a un edificio en estudio. Estos son los problemas más importantes:

- Tamaño. No es posible instalar un aerogenerador de un diámetro de palas de 50 metros en la cubierta de un edificio. Además, es importante tener en cuenta que el peso añadido del aerogenerador deberá tenerse en cuenta en la etapa de diseño del edificio por el arquitecto.
- Ruido y vibraciones. Este es un tema presente en todo tipo de aerogeneradores y que presenta grandes problemas a la instalación en un edificio. El principal problema es que tanto el ruido como las vibraciones que produce un aerogenerador son difícilmente cuantificables a priori (debido a que el uso habitual de estos aparatos es anclados en tierra y en zonas alejadas de la población, lo que reduce la importancia de estos factores). Hasta que no se ha realizado la instalación no se conocen con exactitud los datos acerca del ruido y la vibración que esta produce. Esto conlleva que el instalar los aerogeneradores (ya sean de mayor o menor potencia) sobre la cubierta sea más desaconsejable que el instalarlos anexos al edificio. Al instalarlos sobre el terreno, desaparecen por completo los problemas de vibraciones y se reducen los problemas de ruido al estar más alejada la instalación de los espacios habitados.
- Amortización de la inversión. Debido a los grandes costes iniciales de estas instalaciones ha de tenerse presente que se requieren lugares con condiciones muy favorables para amortizar un aerogenerador.

Debido a estos problemas, principalmente por la necesidad de disponer de aparatos más económicos que aunque generan una menor cantidad de energía eléctrica son más accesibles para cualquier inversor, se ha desarrollado lo que se conoce como mini-aerogeneradores (mini eólica).

Estos aparatos son de mucho menor tamaño y, por ello, de mucha menor potencia que los grandes aerogeneradores utilizados en las instalaciones habituales. Su potencia es inferior a los 100 kW y el área de barrido está limitada a los 200 m<sup>2</sup>. Por sus menores dimensiones es posible su instalación en edificios (en su cubierta o anexos a ellos), ya sean viviendas

unifamiliares, bloques de pisos o edificios de otro uso, debido a sus menores dimensiones y menores costes iniciales.

Las grandes diferencias existentes entre los aerogeneradores de lo que se denomina como eólica y los referidos a mini eólica, son las siguientes:

- Tamaño. Mucho menor en mini-eólica, lo que conlleva que la potencia de estos aerogeneradores sea mucho menor y, con ello, una producción eléctrica anual y unos ingresos anuales debido a la venta de energía eléctrica menores. El menor tamaño también implica un menor peso lo que permite la implantación de este tipo de instalaciones en las cubiertas de las casas.
- Costes iniciales de inversión. De nuevo menores globalmente en instalaciones mini-eólicas. Sin embargo, el coste relativo por kW suele resultar mayor en estas pequeñas instalaciones (de 2 a 5 veces superior dependiendo del modelo), lo que implica que el periodo de amortización sea superior.
- Curva de rendimiento del aerogenerador. Aunque actualmente existen aerogeneradores diseñados prioritariamente para valores altos, medios o bajos de velocidad del viento, por regla general, los aerogeneradores de menor potencia requieren una mayor velocidad del viento para un correcto funcionamiento. Esto conlleva que el número de horas de funcionamiento al cabo de un periodo de tiempo sea menor, reduciendo los ingresos y aumentando el periodo de amortización de la instalación.

### **3.5. Estimación de la producción de un mini-aerogenerador.**

Para estimar la producción de energía eléctrica de un mini-aerogenerador se necesita conocer la curva de potencia del este (curva potencia-velocidad del viento). Esta curva es característica de cada aerogenerador y la proporciona el fabricante.

#### **3.5.1. Selección del mini-aerogenerador de eje vertical.**

Por lo tanto para poder estimar un consumo, al igual que se hizo con la selección (definición de parámetros) del vehículo eléctrico, se deberá seleccionar un mini-aerogenerador con su curva de potencia.

Para este estudio se ha decidido seleccionar mini-aerogeneradores del tipo eje vertical, ya que estos cuentan con ciertas ventajas interesantes para viviendas y bloques de pisos. Estas ventajas son:

- No se tienen que redireccionar, por lo que pueden recibir el viento desde cualquier dirección con la ventaja de evitar la necesidad de complejos mecanismos de direccionamiento.
- Son mucho más silenciosos, algo indispensable para el confort en viviendas.
- Mayor regularidad en la producción ante turbulencias y cambios de dirección del viento, cosa habitual en ciudades y zonas de edificios.

- Suelen tener el generador instalado en el suelo, lo que permite un mejor acceso ante reparaciones y mantenimiento.
- Muchos modelos son de fácil montaje y ensamblado.

Aunque en apartados anteriores se obtuvieron datos de energía eléctrica consumida por un vehículo eléctrico a lo largo de un año, no se conoce la producción de un aerogenerador, que es lo que se pretende calcular en este apartado, y por lo tanto desconocemos la potencia a instalar. Es por esto que para realizar este cálculo, se han elegido tres mini-aerogeneradores de eje vertical de potencias comprendidas entre los 600 W y los 4000 W.

Los tres modelos son de la misma marca, Urban Green Energy, y son los siguientes:

- ✓ ***Urban Green Energy Eddy (Potencia nominal = 600W) → Precio: 3.309'31 €***
- ✓ ***Urban Green Energy Eddy GT (Potencia nominal = 1000W) → Precio: 5.986'14 €***
- ✓ ***Urban Green Energy UGE-4K (Potencia nominal = 4000W) → Precio: 16.512'45 €***

Las diferencias principales entre ellos son la potencia nominal, las revoluciones de giro nominales, el peso y las dimensiones, y las características comunes son: La velocidad de arranque (3 m/s), la velocidad de parada (30 m/s), el tipo de generador (imanes permanentes). Para ver las características completas de cada uno de ellos y junto con sus gráficas de potencia y producción anual, pasar al “**ANEXO 13: MINI-AEROGENERADORES**”.

### 3.5.2. Datos del viento.

Para poder estimar la producción de un aerogenerador, es indispensable conocer de forma precisa los mapas de viento o datos eólicos de la zona donde se va a instalar el aparato.

Para el caso de este estudio, se han obtenido datos procedentes de otro proyecto que estudiaba la viabilidad de paneles solares, aerogeneradores e instalaciones de cogeneración en la localidad oscense de Monzón. Los datos del viento proceden de la página web de La Agencia Estatal de Meteorología, y recogen valores de las horas de viento de cada mes, durante un período de un año (año 2007), para velocidades comprendidas entre 2 m/s y 19 m/s. La estación meteorológica de la que se han obtenido los datos está situada en el aeropuerto de Monflorite, Huesca. Así pues, tomando los datos meteorológicos de esta estación durante cada día de un año se obtienen los siguientes valores para intensidad de viento.

MES	Número de horas a una velocidad de viento de...																		
	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s	16 m/s	17 m/s	18 m/s	19 m/s	
Enero	402 h	117 h	96 h	48 h	24 h	18 h	9 h	0 h	9 h	3 h	3 h	9 h	3 h	0 h	3 h	0 h	0 h	0 h	
Febrero	186 h	171 h	135 h	54 h	51 h	21 h	15 h	24 h	18 h	15 h	6 h	12 h	3 h	15 h	9 h	9 h	0 h	0 h	
Marzo	90 h	123 h	117 h	96 h	60 h	57 h	39 h	24 h	39 h	21 h	18 h	18 h	9 h	3 h	15 h	9 h	0 h	6 h	
Abril	219 h	243 h	150 h	69 h	33 h	12 h	0 h	3 h	3 h	6 h	3 h	0 h	0 h	0 h	3 h	0 h	0 h	0 h	
Mayo	75 h	102 h	114 h	78 h	90 h	75 h	48 h	30 h	60 h	33 h	6 h	12 h	9 h	6 h	3 h	3 h	0 h	0 h	
Junio	141 h	117 h	207 h	90 h	72 h	27 h	30 h	24 h	9 h	12 h	0 h	9 h	6 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h	
Julio	87 h	213 h	96 h	63 h	45 h	63 h	54 h	30 h	30 h	9 h	15 h	3 h	6 h	9 h	21 h	0 h	0 h	0 h	
Agosto	126 h	132 h	156 h	90 h	78 h	30 h	18 h	15 h	39 h	27 h	12 h	9 h	3 h	9 h	0 h	0 h	0 h	0 h	
Septiembre	144 h	183 h	150 h	102 h	69 h	9 h	27 h	0 h	18 h	18 h	9 h	0 h	6 h	3 h	6 h	0 h	0 h	0 h	
Octubre	156 h	171 h	195 h	102 h	33 h	36 h	6 h	12 h	9 h	9 h	0 h	6 h	6 h	0 h	0 h	3 h	0 h	0 h	
Noviembre	162 h	249 h	147 h	54 h	57 h	24 h	24 h	9 h	0 h	0 h	3 h	0 h	0 h	0 h	9 h	3 h	0 h	3 h	
Diciembre	120 h	204 h	96 h	120 h	54 h	24 h	9 h	12 h	21 h	39 h	12 h	0 h	12 h	15 h	0 h	3 h	0 h	3 h	
<b>TOTAL</b>	<b>1908 h</b>	<b>2025 h</b>	<b>1659 h</b>	<b>966 h</b>	<b>666 h</b>	<b>396 h</b>	<b>279 h</b>	<b>183 h</b>	<b>255 h</b>	<b>192 h</b>	<b>87 h</b>	<b>78 h</b>	<b>63 h</b>	<b>60 h</b>	<b>69 h</b>	<b>30 h</b>	<b>0 h</b>	<b>12 h</b>	

Tabla 2. Datos del viento en el aeropuerto de Monflorite, Huesca.

Estos datos son exclusivos de una situación geográfica particular, por lo que si variase la situación geográfica, haría falta buscar nuevos datos.

### 3.5.3. Estimación de la producción eléctrica.

Tomando estos datos y conocidas las curvas de potencia-velocidad del viento, ANEXO 11, de cada uno de los mini-aerogeneradores de eje vertical, se estima la energía producida por cada uno de ellos.

#### *Urban Green Energy Eddy (Potencia nominal = 600W).*

Velocidad del viento	Potencia	Horas de viento	Energía producida
3 m/s	10 W	2025 h	20,25 kWh
4 m/s	30 W	1659 h	49,77 kWh
5 m/s	50 W	966 h	48,30 kWh
6 m/s	80 W	666 h	53,28 kWh
7 m/s	125 W	396 h	49,50 kWh
8 m/s	190 W	279 h	53,01 kWh
9 m/s	280 W	183 h	51,24 kWh
10 m/s	385 W	255 h	98,18 kWh
11 m/s	510 W	192 h	97,92 kWh
12 m/s	640 W	87 h	55,68 kWh
13 m/s	650 W	78 h	50,70 kWh
14 m/s	640 W	63 h	40,32 kWh
15 m/s	630 W	60 h	37,80 kWh
16 m/s	620 W	69 h	42,78 kWh
17 m/s	610 W	30 h	18,30 kWh
18 m/s	610 W	0 h	0,00 kWh
19 m/s	610 W	12 h	7,32 kWh
20 m/s	610 W	0 h	0,00 kWh

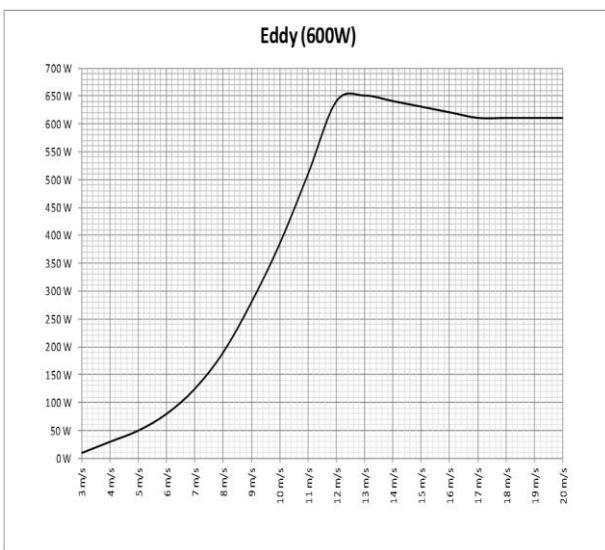


Tabla 3. Eddy.

Figura 14. Curva de potencia Eddy.

Sumando todos los valores para cada una de las velocidades de viento, el aerogenerador EDDY produce una cantidad de **774'75 kWh/año**.

#### *Urban Green Energy Eddy GT (Potencia nominal = 1000W).*

Velocidad del viento	Potencia	Horas de viento	Energía producida
3 m/s	25 W	2025 h	50,63 kWh
4 m/s	50 W	1659 h	82,95 kWh
5 m/s	90 W	966 h	86,94 kWh
6 m/s	140 W	666 h	93,24 kWh
7 m/s	200 W	396 h	79,20 kWh
8 m/s	300 W	279 h	83,70 kWh
9 m/s	420 W	183 h	76,86 kWh
10 m/s	600 W	255 h	153,00 kWh
11 m/s	800 W	192 h	153,60 kWh
12 m/s	1.000 W	87 h	87,00 kWh
13 m/s	1.150 W	78 h	89,70 kWh
14 m/s	1.220 W	63 h	76,86 kWh
15 m/s	1.250 W	60 h	75,00 kWh
16 m/s	1.220 W	69 h	84,18 kWh
17 m/s	1.200 W	30 h	36,00 kWh
18 m/s	1.180 W	0 h	0,00 kWh
19 m/s	1.180 W	12 h	14,16 kWh
20 m/s	1.180 W	0 h	0,00 kWh

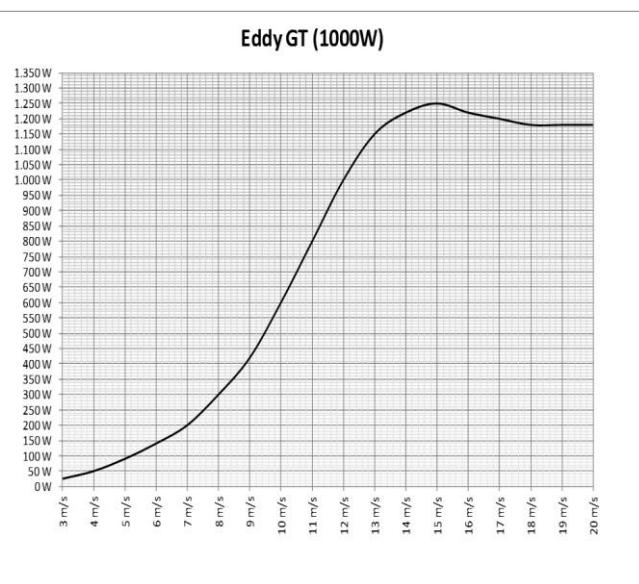


Tabla 4. Eddy GT.

Figura 15. Curva de potencia Eddy GT.

En este segundo caso, realizando la sumando cada una de las velocidades de viento, el aerogenerador EDDY GT produce una cantidad de **1323'02 kWh/año**.

#### ***Urban Green Energy UGE-4K (Potencia nominal = 4000W).***

Velocidad del viento	Potencia	Horas de viento	Energía producida
3 m/s	200 W	2025 h	405,00 kWh
4 m/s	250 W	1659 h	414,75 kWh
5 m/s	350 W	966 h	338,10 kWh
6 m/s	500 W	666 h	333,00 kWh
7 m/s	750 W	396 h	297,00 kWh
8 m/s	1.100 W	279 h	306,90 kWh
9 m/s	1.550 W	183 h	283,65 kWh
10 m/s	2.200 W	255 h	561,00 kWh
11 m/s	3.000 W	192 h	576,00 kWh
12 m/s	4.000 W	87 h	348,00 kWh
13 m/s	4.300 W	78 h	335,40 kWh
14 m/s	4.400 W	63 h	277,20 kWh
15 m/s	4.300 W	60 h	258,00 kWh
16 m/s	4.200 W	69 h	289,80 kWh
17 m/s	4.150 W	30 h	124,50 kWh
18 m/s	4.150 W	0 h	0,00 kWh
19 m/s	4.150 W	12 h	49,80 kWh
20 m/s	4.150 W	0 h	0,00 kWh

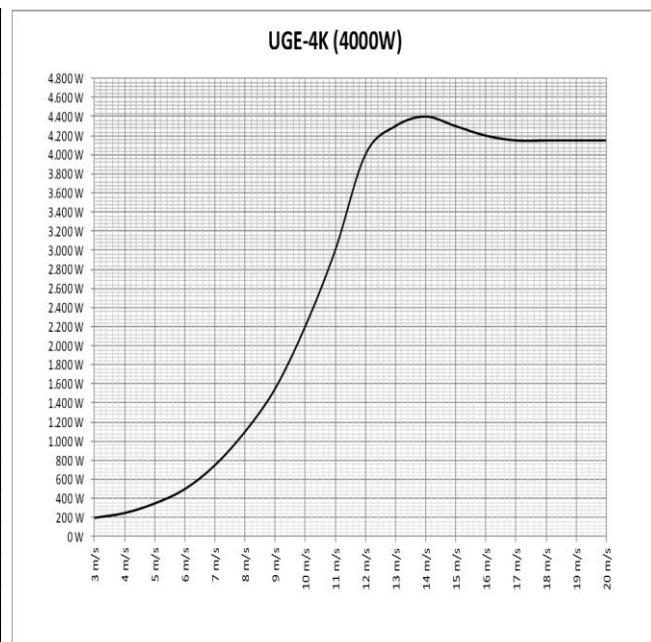


Tabla 5. UGE-4K.

Figura 16. Curva de potencia UGE-4K.

Y como ya se podía suponer fijándose exclusivamente en la potencia nominal de los aparatos, el UGE-4K tiene una producción de energía de **5198'1 kWh/año**.

## 4. Estudios comparativos y de viabilidad económica.

En este apartado se realizarán varios estudios económicos y comparativos, empezando por una comparativa entre el vehículo eléctrico y los de combustión interna.

### 4.1. Comparativa de consumo y coste del vehículo eléctrico con vehículos de combustión interna.

Para poder valorar mejor este dato de consumo del vehículo eléctrico, se realiza una comparativa entre este y un par de vehículos del mercado de combustión interna.

Actualmente los vehículos de la industria del automóvil europea certifican sus consumos con el ciclo NEDC, por lo que para realizar esta comparativa se buscan los datos de consumo medio ofrecidos por los fabricantes, y tras pasarlo a las mismas unidades que nuestros datos (Wh/km) se hará la comparación.

Escogeremos entonces un coche de motor gasolina y otro diesel, de características similares al definido en el estudio. Recordemos esas características:

- ✓ *Masa:  $M = 1600 \text{ kg}$*
- ✓ *Superficie frontal:  $S = 0'85 \cdot 1'8 \cdot 1'4 = 2'142 \text{ m}^2$*
- ✓ *Coeficiente a la rodadura:  $\mu_r = 0'008$*
- ✓ *Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'24$*
- ✓ *Rendimiento del vehículo:  $\eta_{T.Vehículo} = 0'659$*
- ✓ *Consumo del ciclo:  $C_{NEDC} = 172'75 \text{ Wh/km}$*

Aunque el dato de potencia no se ha definido, por no hacer falta para los cálculos, se tendrá en cuenta que se trata de un dato más o menos importante a la hora de comparar consumos, y se intentará buscar vehículos de la menor potencia posible y mayor número de características similares a las definidas.

#### **4.1.1. Vehículos de combustión interna elegidos.**

- El *vehículo diesel* elegido será *Volkswagen Golf 1.6 TDI DSG* cuyas características son:

- Masa: 1262 kg.
- Superficie frontal:  $0'85 \cdot 1'78 \cdot 1'48 = 2'24 \text{ m}^2$ .
- Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'29$ .
- Neumáticos de baja resistencia a la rodadura.
- Consumo en ciclo mixto: 4'2 litros de gasóleo a los 100 km.
- Potencia: 105 cv.

La masa de este es mucho menor que la del vehículo eléctrico, pero hay que tener en cuenta que el supuesto vehículo eléctrico cuenta con un pesado pack de baterías, y por lo tanto este tipo de vehículos, para un mismo segmento, siempre serán más pesados.

- El *vehículo gasolina* elegido será en este caso un híbrido mixto, *Toyota Prius 1.8 HDS*, que aunque se trate de un vehículo que cuenta con motor eléctrico, no es enchufable y por lo tanto toda su energía la obtiene de la gasolina. Además se puede considerar el vehículo con motor de gasolina más eficiente del planeta. Sus características son:

- Masa: 1375 kg.
- Superficie frontal:  $0'85 \cdot 1'72 \cdot 1'49 = 2'18 \text{ m}^2$ .
- Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'24$ .
- Neumáticos de baja resistencia a la rodadura.
- Consumo en ciclo mixto: 3'9 litros de gasolina a los 100 km.
- Potencia: 99 cv (82 cv motor eléctrico).

#### **4.1.2. Comparación de consumos.**

Tomando solamente los datos de consumo de ambos vehículos pasamos a compararlos con los obtenidos en el estudio.

Para ello necesitaremos primero pasar los consumos en de estos vehículos de Litros/100km a Wh/km, con lo que debemos conocer la cantidad de energía por litro de la gasolina y el gasóleo:

- ✓ *Gasolina: 34780 kJ/litro.*
- ✓ *Gasóleo: 38650 kJ/litro.*

Por lo tanto si los vehículos diesel y gasolina tiene unos consumos de 4'2 litros/100km y 3'9 litros/100km respectivamente, obtendremos que:

- Volkswagen Golf 1.6 TDI:  $4'2 \cdot \frac{38650}{100} = 1623'3 \frac{\text{kJ}}{\text{km}} = \frac{1623'3}{3'6} = 450'9 \text{ Wh/km}$
- Toyota Prius 1.8 HDS:  $3'9 \cdot \frac{34780}{100} = 1356'42 \frac{\text{kJ}}{\text{km}} = \frac{1356'42}{3'6} = 376'78 \text{ Wh/km}$

Comparando con nuestro consumo de 172'75 Wh/km:

Consumo (Wh/km)		
<b>Vehículo eléctrico del estudio</b>	172,75	Reducción de consumo en el eléctrico respecto al gasolina y diesel
<b>Volkswagen Golf 1.6 TDI</b>	450,9	61,7%
<b>Toyota Prius 1.8 HDS</b>	376,78	54,2%

Tabla 6. Comparación de consumos.

Como se ve en la tabla, el descenso de consumo al utilizar el vehículo eléctrico es superior al 50% en ambos casos, por lo que se puede afirmar que la eficiencia de estos es muy superior a la de los vehículos de combustión interna.

#### 4.1.3. Comparación de costes.

Para poder comparar el coste del consumo de estos tres vehículos, deberemos conocer los precios del kWh de electricidad (tanto con como sin discriminación horaria) y el precio del litro del gasóleo y la gasolina:

	Sin discriminación horaria	Con discriminación	
		Valle	Punta
<b>1 kWh electricidad</b>	0,140069 €	0,060896 €	0,168743 €

Tabla 7. Precios tarifas eléctricas TUR1 y TUR2.

	Gasolina 95	Gasolina 98	Gasóleo A	Gasóleo A PLUS
<b>1 litro</b>	1,2970 €	1,4212 €	1,2350 €	1,2950 €

Tabla 8. Precios aproximados de combustibles en junio de 2011

Realizando los cálculos para el consumo a los 100 km, queda la siguiente tabla:

	Consumo (Wh/km)	Consumo cada 100 km	Gasóleo A nuevo	Gasóleo A	
			Gasolina 98	Gasolina 95	
			Sin discriminación horaria	Con discriminación	
				Valle	Punta
Vehículo eléctrico del estudio	172,75	17'2 KWh/100km	2,409187 €	1,047411 €	2,902380 €
Volkswagen Golf 1.6 TDI	450,9	4'2 l/100km	5,4390 €	5,1870 €	
Toyota Prius 1.8 HDS	376,78	3'9 l/100km	5,5427 €	5,0583 €	

Tabla 9. Comparación de consumos y costes vehículo eléctrico, gasolina y gasóleo

- El *ahorro mínimo y máximo* que supone el *vehículo eléctrico* frente al *Volkswagen diesel* es de:

$$\text{Ahorro mínimo} = 5'19 - 2'90 = 2'29 \frac{\text{€}}{100 \text{ km}}$$

$$\text{Ahorro mínimo} = 5'44 - 1'05 = 4'39 \frac{\text{€}}{100 \text{ km}}$$

*Esto supone un ahorro de entre el 44'12% y el 80'7%.*

- El *ahorro mínimo y máximo* que supone el *vehículo eléctrico* frente al *Toyota Prius gasolina* es de:

$$\text{Ahorro mínimo} = 5'06 - 2'90 = 2'16 \frac{\text{€}}{100 \text{ km}}$$

$$\text{Ahorro mínimo} = 5'54 - 1'05 = 4'49 \frac{\text{€}}{100 \text{ km}}$$

*Esto supone un ahorro de entre el 42'7% y el 81%.*

#### 4.1.4. Estimación del consumo y coste anual del vehículo eléctrico.

Según una encuesta de UNESPA (Asociación empresarial del seguro) del año 2008, el 63'6% de los conductores españoles coge el coche todos los días, y dicen hacer 252 kilómetros a la semana (unos 36 km diarios), con variaciones muy significativas por sexos (313 km los hombres y 137 km las mujeres).

También debe destacarse que hay una gran diferencia entre las distancias recorridas, si tenemos en cuenta en qué Comunidad Autónoma vive el conductor encuestado. El arco va desde los 594,4 kilómetros semanales recorridos por los valencianos hasta los 134 de los canarios.

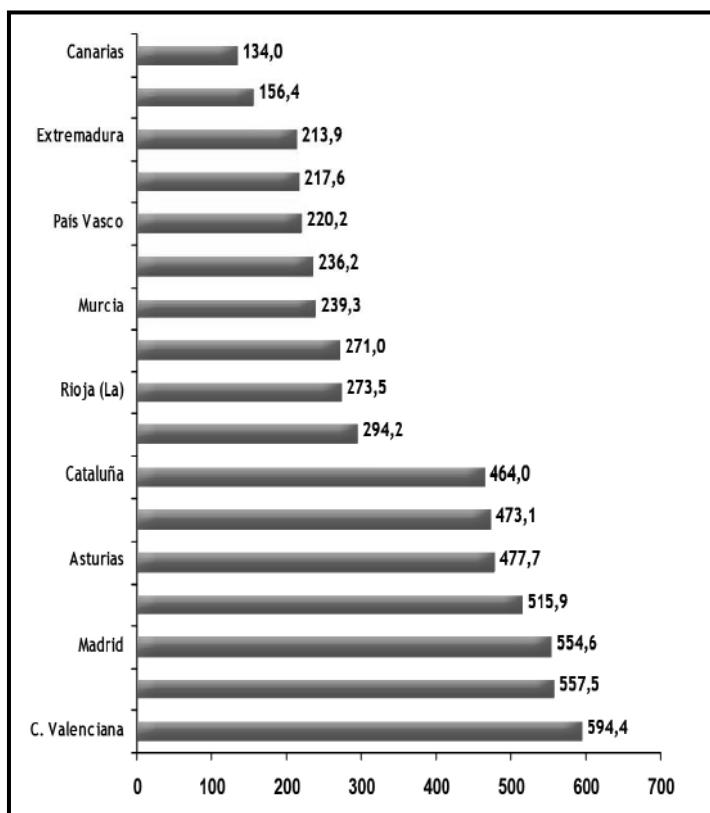


Figura 17. Media de km semanales por comunidades autónomas.

Tomando estos datos, se puede decir que un conductor español recorre como mínimo 134 km/semana, como máximo 595 km/semana, y de media 252 km/semana, lo que supone:

$$\text{Max} \rightarrow 30.940 \text{ km/año}$$

$$\text{Media} \rightarrow 13.104 \text{ km/año.}$$

$$\text{Min} \rightarrow 6.968 \text{ km/año.}$$

Con el dato de consumo medio para el ciclo NEDC del vehículo eléctrico definido, **172'75 Wh/km**, se obtiene que el consumo total de energía realizado por un español que condujese este vehículo tendría un valor máximo, mínimo y medio de:

$$30.940 \text{ km/año} \rightarrow 5.344'885 \text{ kWh/año.}$$

$$13.104 \text{ km/año} \rightarrow 2.263'716 \text{ kWh/año.}$$

$$6.968 \text{ km/año} \rightarrow 1.203'722 \text{ kWh/año.}$$

Para estos tres caso, si el vehículo se recargase en la red eléctrica de una vivienda con las tarifas mencionadas en el apartado anterior:

	Sin discriminación horaria	Con discriminación	
		Valle	Punta
<b>1 kWh electricidad</b>	0,140069 €	0,060896 €	0,168743 €

Tabla 10. Tarifas eléctricas TUR1 y TUR2.

Se tendría que el coste de la energía recargada para cada caso sería de:

	Sin discriminación horaria	Con discriminación	
		Valle	Punta
<b>Coste 30.940 km</b>	748,65 €	325,48 €	901,91 €
<b>Coste 13.104 km</b>	168,60 €	73,30 €	203,12 €
<b>Coste 6.968 km</b>	317,08 €	137,85 €	381,99 €

Tabla 11. Coste anual de la energía recargada según la tarifa y los km recorridos.

Si con los vehículos de combustión interna de los apartados anteriores se recorriese anualmente las distancias máxima y mínima de la encuesta de La UNESPA, estos tendrían el siguiente consumo en kWh/año y litros de combustible:

- **Volkswagen Golf 1.6 TDI** consume: 450'9 Wh/km ó 4'2 l/100km de gasóleo.
  - Para 30.940 km/año el consumo sería de 13.950'846 kWh/año ó 1.299'48 litros de gasóleo.
  - Para 6.968 km/año el consumo sería de 3.141'87 kWh/año ó 292'66 litros de gasóleo.

*\*un 161% más que el vehículo eléctrico para las mismas distancias.*

- **Toyota Prius 1.8 HDS** consume: 376'78 Wh/km ó 3'9 l/100km de gasolina.
  - Para 30.940 km/año el consumo sería de 11.657'57 kWh/año ó 1.206'66 litros de gasolina.
  - Para 6.968 km/año el consumo sería de 2.625'4 kWh/año ó 271'75 litros de gasóleo.

*\*un 118% más que el vehículo eléctrico para las mismas distancias.*

Si se supone el precio del litro de gasóleo a 1,235€ y el del litro de gasolina a 1,297€, y comparando costes para 6.968 km/año, que es la distancia para la que la diferencia de costes es menor, el precio anual a pagar por la energía consumida por cada vehículo es de:

- *Coste energía Vehículo eléctrico = 203'12€ (Con discriminación horaria en punta).*
- *Coste gasóleo en el Golf 1.6 TDI = 361.36€.*
- *Coste gasolina en el Prius 1.8 HDS = 352'36€.*

Y por lo tanto el ahorro mínimo entre uno de combustión interna y el eléctrico está en **149'24€/año**, ya que se ha utilizado la tarifa eléctrica más cara y los combustibles más baratos (el ahorro máximo con estos datos sería de 1279'37€/año).

## 4.2. Integración energética de los mini-aerogeneradores con el vehículo eléctrico.

Resumiendo los datos obtenidos en apartados anteriores, se tiene que los mini-aerogeneradores producen anualmente:

*Eddy → 774'75 kWh/año, Eddy GT → 1323'02 kWh/año y UGE-4K → 5198'1 kWh/año.*

Y que el vehículo eléctrico para diferentes tipos de conductores según el número de km/año, consume anualmente:

*30.940 km/año → 5.344'885 kWh/año, 13.104 km/año → 2.263'716 kWh/año*

*6.968 km/año → 1.203'722 kWh/año*

Con estos datos se va a realizar varios supuestos en los que se analizará las posibilidades de integración del vehículo con los aerogeneradores.

### ***Supuesto 1.***

Si se quiere cubrir la casi totalidad del consumo de un vehículo eléctrico, recorriendo más de 30.000 km/año, con una instalación de mini-eólica, se necesitaría instalar como mínimo un aerogenerador UGE-4K de 4000W de potencia (recordando que la energía calculada es para una ubicación geográfica concreta, en este caso Mozón), y aun así tendríamos un déficit de unos 140 kWh/año. El coste de la instalación, contando solo el aerogenerador, sería de 16.512'45 €.

### ***Supuesto 2.***

Si por el contrario el conductor recorre pocos km/año, menos de 7000 km, y también quiere cubrir la totalidad del consumo con una instalación eólica, podrá instalar un Eddy GT, obteniendo un balance positivo de más de 100 kWh/año y reduciendo el coste de la instalación, contando solo con el aerogenerador, a 5.986'14 €.

Se pone de manifiesto, que en la actualidad querer cubrir la totalidad de lo que consume nuestro vehículo eléctrico con energía mini-eólica, tendrá un coste inicial muy elevado, y que pensar en acumuladores de energía en la vivienda para almacenar la energía producida (conocidos los altos precios y relativamente baja durabilidad de las baterías), es una utopía económica.

Conocida la variabilidad de la energía eólica, debió a los periodos de tiempo sin viento y la fluctuación de este, y sabiendo el alto coste de los acumuladores energéticos, queda claro que la opción adecuada en el caso de querer realizar una instalación de mini-eólica en una vivienda, es la de vender la energía producida a la red eléctrica. Esto da pie al siguiente punto, la realización un estudio de viabilidad económica.

## 4.3. Estudio de viabilidad económica.

Para poder realizar un estudio de viabilidad económica de los tres mini-aerogeneradores, necesitamos conocer el marco retributivo actual de la energía mini-eólica. El precio de venta de la energía eléctrica generada a partir de instalaciones de tipo eólico viene fijado por el **RD 661/2007**. En él, se fija tanto un precio de referencia como unas primas para la venta de energía a la red.

### 4.3.1. Marco retributivo actual de la energía mini-eólica.

Dentro de este Real Decreto viene definidas las instalaciones eléctricas que podrán acogerse al régimen especial establecido en él. La energía mini-eólica, entra dentro del **Subgrupo b.2.1.** “Instalaciones eólicas ubicadas en tierra”, al igual que la energía eólica. Las formas de retribución para estas instalaciones son las definidas en la Tabla 3 del Real Decreto:

Tabla 3

Grupo	Subgrupo	Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh	Límite Superior c€/kWh	Límite Inferior c€/kWh
b.1	b.1.1	P≤100 kW	primeros 25 años	44,0381			
			a partir de entonces	35,2305			
		100 kW<P≤10 MW	primeros 25 años	41,7500			
			a partir de entonces	33,4000			
	b.1.2	10<P≤50 MW	primeros 25 años	22,9764			
			a partir de entonces	18,3811			
b.2	b.2.1		primeros 25 años	26,9375	25,4000	34,3976	25,4038
			a partir de entonces	21,5498	20,3200		
b.3			primeros 20 años	7,3228	2,9291	8,4944	7,1275
			a partir de entonces	6,1200	0,0000		
			primeros 20 años	6,8900	3,8444		
			a partir de entonces	6,5100	3,0600		

Tabla 12. Retribuciones del RD para distintos tipos de instalaciones eléctricas.

- Venta según tarifa regulada:

- Primeros 20 años: 7,3228 c€/kWh
- A partir de entonces: 6,12 c€/kWh

- Opción de mercado:

- Prima de referencia: 2,9291 c€/kWh
- Límite superior: 8,4944 c€/kWh
- Límite inferior: 7,1275 c€/kWh

Como se puede apreciar existen dos alternativas válidas a la hora de vender la energía eléctrica generada a la red, su venta de acuerdo a una tarifa regulada y la opción de vender la energía directamente al mercado añadiendo un valor de prima al precio del mercado.

En la primera opción, venta según tarifa regulada, la venta de electricidad a la red se realiza de acuerdo a los valores de la tarifa marcados por el RD.

En la segunda, opción de mercado, la venta se realiza de acuerdo al precio del mercado más la prima de referencia, quedando un precio de venta máximo y mínimo acotado por un límite superior e inferior.

Como se desconoce el precio de venta de mercado, para este estudio se realizaran los cálculos con la tarifa regulada.

#### 4.3.2. Datos del análisis económico.

De los tres mini-aerogeneradores se tienen los siguientes datos iniciales para empezar el análisis:

- Producción anual de energía: Eddy → 774'75 kWh/año, Eddy GT → 1.323'02 kWh/año y UGE-4K → 5.198'1 kWh/año.
- Precio inicial aerogenerador: Eddy → 3.309'31€, Eddy GT → 5.986'14€ y UGE-4K → 16.512'45€.
- Coste inicial de instalación y otros: Supondremos un 30% del precio incial.
- Precio final aerogenerador (Precio inicial + instalación y otros): Eddy → 3.951'1€, Eddy GT → 7.781'98€ y UGE-4K → 21.466'18€.

*\*Nota: No se tendrán en cuenta las posibles subvenciones que pudieran dar las administraciones públicas para la instalación de estos aparatos.*

En este estudio lo que se busca es la integración de un vehículo eléctrico con la instalación de un mini-aerogenerador en una vivienda, por lo tanto se tendrá en cuenta dentro del análisis de amortización, el sobrecoste que conlleva la compra de este tipo de vehículos con respecto a los de combustión interna (el precio del vehículo de combustión interna no se tendrá en cuenta como un gasto inicial, ya que se presupone el medio de transporte como algo ineludible, y por tanto un gasto asumido).

Como referencia del eléctrico, se toma el precio del Nissan Leaf, 29.995 € (este precio incluye una ayuda de 6.000€), y como referencia del de combustión interna, un vehículo que ya se ha utilizado en este estudio, el Volkswagen Golf 1.6 TDI, que cuenta con un precio de 20.630 €. El capital del vehículo eléctrico a amortizar será entonces la diferencia entre ambos:

- Sobrecoste del vehículo eléctrico a amortizar: 9.365 €.

Al contar en el análisis con la parte del sobrecoste a amortizar del vehículo eléctrico, también habrá que tener en cuenta, el beneficio que este supone en lo que se refiere a coste de consumo anual combustible-electricidad, con respecto al vehículo de combustión. Según lo estimado en el punto 4.1.4, el vehículo eléctrico supone un ahorro mínimo de 149'24€/año (en relación a lo que cuesta la electricidad consumida por el combustible consumido), y un ahorro máximo de 1279'37€/año, a lo que habría que añadirle un porcentaje de aumento anual de este ahorro, por el seguro mayor incremento del precio de los carburantes con respecto al de la electricidad. Este aumento anual se estimara en un aumento 3%/año del ahorro mínimo.

Para este estudio se han tomado los siguientes datos característicos:

- Impuestos sobre ingresos: 16% (Dato estimado).
- Ingresos de explotación los primeros 20 años: 7,3228 c€/kWh.
- Ingresos de explotación a partir de los 20 años: 6,12 c€/kWh.
- Incremento anual del precio de la energía: 3% (Dato estimado).
- Tasa de descuento (depreciación del dinero): 3% (Dato estimado).

#### **4.3.3. Resultados del estudio económico.**

Realizando los cálculos con los parámetros tenidos en cuenta en el apartado anterior, se obtiene que la compra de un vehículo eléctrico y la integración de un aerogenerador en la vivienda, serán habrán amortizado:

\*Para el mini-aerogenerador Eddy:

- Con ahorro máximo se recupera la inversión en 11 años.
- Con ahorro mínimo se recupera la inversión en 70 años.

\*Para el mini-aerogenerador Eddy GT:

- Con ahorro máximo se recupera la inversión en 13 años.
- Con ahorro mínimo se recupera la inversión en 77 años.

\*Para el mini-aerogenerador UGE-4K:

- Con ahorro máximo se recupera la inversión en 19 años.
- Con ahorro mínimo se recupera la inversión en 68 años.

Para ver las tablas de resultados de donde se han obtenido estos valores, se puede descargar el archivo “**Estudio económico.xlsx**” <http://db.tt/VOZmt1fY>, o dirigirse al “**ANEXO 14: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO**”.

## **5. Conclusiones.**

A lo largo de este estudio se ha podido calcular el consumo de un vehículo eléctrico, así como la estimación de generación eléctrica de tres mini-aerogeneradores de eje vertical.

Los datos obtenidos para el consumo del vehículo eléctrico, parten de la definición de diferentes parámetros extraídos de distinta bibliografía y cálculos estimativos, dando como resultado un valor aproximado de 172'75 kWh/km, dato que se aproxima mucho los proporcionados por distintos fabricantes de la industria.

Si comparamos los valores característicos del vehículo eléctrico definido con los del Nissan Leaf, se apreciará como muchos de ellos coinciden o son muy similares. Esto se debe a que se tomo a este vehículo como referencia, por tratarse de uno de los primeros eléctricos puros que salió a la venta en España. Pero lo más interesante es ver como con el método de cálculo utilizado y desarrollado en este proyecto, el consumo final obtenido es prácticamente el

mismo que el del Nissan Leaf, y esto da aún mayor validez a los cálculos y estimaciones realizados.

A partir de estos cálculos y el valor obtenido, se ha podido realizar una comparación entre los vehículos eléctricos y los de motor de combustión interna, analizando tanto consumos como coste. En ella se ha quedado manifiesto que los vehículos eléctricos son netamente superiores en lo que a eficiencia se refiere, consiguiendo consumos de hasta un 60% inferiores. Esto alto rendimiento afecta directamente a la cantidad de energía que consume, y por lo tanto al coste, dando como resultado que “llenar el depósito” en un eléctrico sale mucho más económico que hacer lo mismo en sus homólogos de gasolina o gasóleo.

Con los datos obtenidos, se puede afirmar que un conductor español que realice pocos km al año, no más de 7.000 km, podría ahorrarse como mínimo unos 149€ al año, si sustituyese su vehículo actual por un eléctrico puro. Y este ahorro del que se habla, como se dice sería el mínimo, ya que si este conductor superase los 30.000 km el ahorro superaría los 1.200€ anuales.

Un punto que no se menciona en la memoria, aunque sí en los anexos, son las desventajas de los eléctricos puros, y es que aunque en lo que se refiere a costes de consumo y rendimiento son actualmente imbatibles, sus escasa autonomía proporcionada por una tecnología de baterías aún no lo suficientemente buena, los relegan a un segundo lugar de cara a un posible comprador. A esto también contribuye su elevado precio.

En cuanto a la energía mini-eólica y sus pequeños aerogeneradores, se ha intentado desarrollar de una forma breve los principios básicos, características y bondades, además de mostrar las ventajas principales frente a eólica de elevadas potencias y tamaños, poco útil en viviendas por su complejidad y coste.

El haberse decantado en este trabajo por los mini-aerogeneradores de eje vertical ha sido justificado en varias ocasiones. El no tener que ser redireccionados o su baja nivel sonoro, son dos de sus características que como ya se ha dicho, los hace adecuados para sus instalación en viviendas.

Además se ha podido comprobar cómo su producción eléctrica anual puede llegar a ser significativa, tanto como para cubrir la demanda de un vehículo eléctrico. Eso si el coste de instalación se podría considerar excesivamente caro, y debido a ello, la posibilidad de instalar acumuladores de energía para almacenar lo producido queda casi por completo descartada. Hay que mencionar que aunque el coste no fuese tan elevado, los acumuladores de energía, baterías, seguirían siendo excesivamente caros por si solos.

En lo que se refiere al estudio de viabilidad se ha podido llegar a varias conclusiones. La primera de ellas es que la energía eólica a partir de mini-eólica tiene un coste elevadísimo, con una carga inicial difícilmente soportable por una familia media española.

La segunda, y también bastante evidente, es que la integración para suplir el consumo de un vehículo eléctrico, puede llegar a tardar en amortizarse hasta 77 años en el peor de los casos (este es el caso en el que no se recorren muchos kilómetros al año con el vehículo eléctrico), lo que suponiendo una vida media del vehículo eléctrico en 10 años (las baterías serían uno de

los problemas de este tipo de vehículos), habría que cambiar hasta siete veces de vehículo en ese periodo. Esto no se ha tenido en cuenta en los cálculos, y si se incluyese provocaría que la inversión fuese imposible de amortizar.

En cambio se podría afirmar, que si una persona recorre más de 30.000 km al año, la amortización podría conseguirse en un periodo mínimo de 11 años (con el mini-aerogenerador Eddy, el más pequeño), lo que supone un tiempo no excesivamente elevado. Y aunque se tuviese en cuenta que durante esos 11 años se habrían recorrido más de 330.000 km, suponiendo que el vehículo eléctrico utilizado contara con una autonomía de 180 km y siempre se recargase agotando esta autonomía, lo que supondría un número de recargas superior a las 1.800 (baterías de litio soportan entre 1.000 y 2.000), se podría decir que el vehículo eléctrico podría aguantar y por lo tanto la inversión habría sido amortizada. Esta situación estaría en el límite de una posible amortización y no aseguraría rentabilidad alguna.

Otra de las conclusiones a las que se puede llegar con el estudio de viabilidad económica, es que el ahorro en gasolina o gasóleo que supone el cambiarse a un vehículo eléctrico, es mucho mayor que los beneficios de explotación eléctrica de un mini-aerogenerador en relación a los costes iniciales de ambas inversiones por separado. Teniendo en cuenta que el sobrecoste de un vehículo eléctrico sobre uno de combustión, se encuentra entre los 10.000€ y los 15.000€, y que el primer mini-aerogenerador con una producción adecuada de energía cuestas más de 16.000 euros, se puede afirmar que hoy en día la compra de un vehículo eléctrico se va a amortizar antes que la compra de un aparato de mini-eólica, y que la conjunción de ambos sería difícil amortizarla y/o rentabilizarla.

La conclusión final es simple, la integración de vehículo eléctrico y mini-aerogenerador podría ser rentable en caso de realizar 30.000 km/año o más, pero siempre teniendo en cuenta el límite de uso de un vehículo eléctrico, que rondaría eso 30.000 kilómetros al año.



**ANEXO 1:**

**ESTUDIO PRELIMINAR**



# ANEXO 1: Estudio preliminar.

Para empezar con el estudio se debe conocer cuál es la situación actual en lo referente a consumos de petróleo y sectores dependiente del mismo.

## Consumo de petróleo mundial.

Como se observa en la gráfica de abajo, durante los últimos veinte años se ha ido incrementando el consumo de petróleo a escala global, pasado de consumir 67 millones de barriles por día en el año 1991, a consumir 85 millones de barriles por día en el año 2010, lo que supone un aumento del 26'9%.

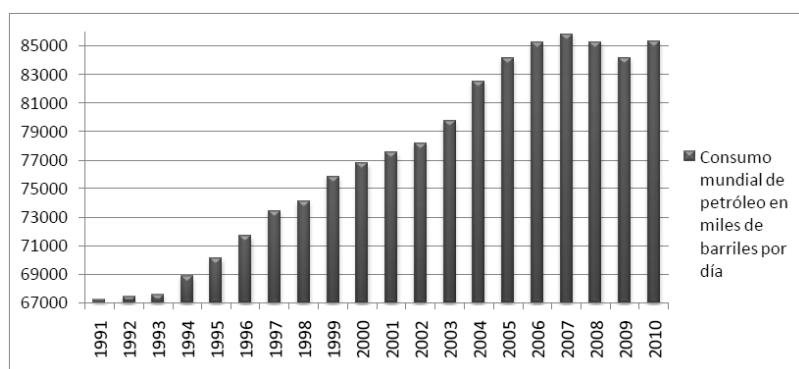


Figura 18. Información procedente de EIA.

En los últimos tres años la situación económica ha producido una deceleración e incluso y pequeño descenso del consumo.

El aumento de consumo de los últimos 20 años parece provenir de un aumento proporcional de la población. Si se consultan los datos de aumento de población, desde 1991 hasta 2009, se ha pasado de 5363 millones de habitantes a 6775 millones de habitantes, un aumento porcentual del 26'3%, similar al aumento de consumo de petróleo del 26'9%. ¿Se puede afirmar entonces que el aumento de consumo de petróleo, con similar pendiente que el aumento de población (como se puede ver en la gráfica de abajo) es una causa directa del mismo?

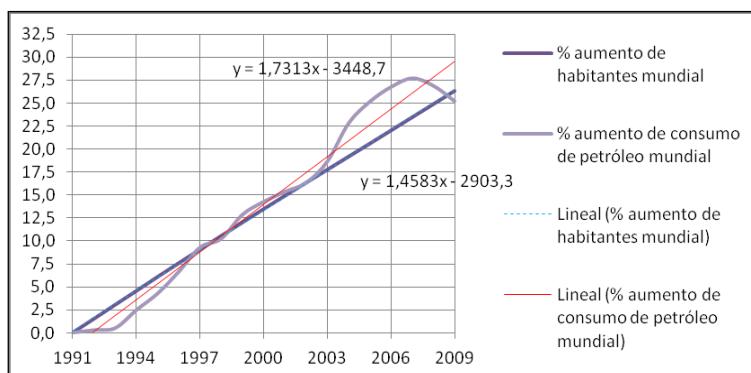


Figura 19. Información procedente del Banco Mundial.

Centrándose exclusivamente el gráfico, se podría afirmar que sí, que el aumento de población podría ser una causa directa del aumento de consumo pero... ¿se debe realmente a esta causa?, ¿es un aumento global equitativo o a un aumento de consumo en determinadas regiones del planeta?

## Consumo de petróleo en España.

Observando los datos de España, el aumento del consumo de petróleo es aún más significativo que a escala mundial. Se supera ampliamente ese 26'9% de aumento a escala global, llegándose a alcanzar un 34'9%, y pasando de consumir 1 millón de barriles por día en 1991 a más de 1'4 millones de barriles por día en 2010.

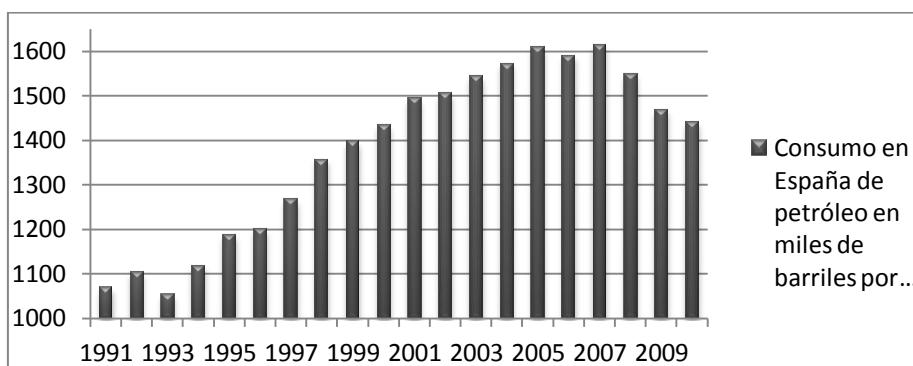


Figura 20. Información procedente de EIA.

El porcentaje de aumento de consumo es del 34'9% con respecto al año 2010, y al igual que sucedía a escala mundial, existe un descenso de consumo desde el año 2007 producido por crisis económica. Comparando las cifras de 1991 con las del máximo histórico de 2007, el porcentaje de aumento alcanzando el 50%. Esto sugiere que si la situación económica hubiese seguido la tendencia, el consumo con respecto a hace 20 años sería superior al 50% y por lo tanto aún más alarmante.

Para responder a la pregunta de si realmente el aumento de población es la causa del aumento de consumo, se observan los datos de aumento de población en España, donde se ve que desde 1991 hasta 2009, se ha pasado de 38'9 millones de habitantes a 46 millones, un aumento del 18%.

Comparándolo este porcentaje con el aumento de consumo de petróleo del 34'9%, se vislumbra ya que el consumo de petróleo ha aumentado muy por encima del aumento de población, y que por lo tanto en España (y seguramente también en el resto de países desarrollados) el aumento de población está relacionado con el aumento de consumo de petróleo, pero no es la causa principal de este.

Para que el aumento de población no es causa directa del aumento de consumo, se obtiene la gráfica de “porcentaje de aumento de habitantes en España” comparado con el “porcentaje de aumento de consumo de petróleo en España” y se sacan las líneas de tendencia de cada una de ellas. Con esto se puede apreciar como la pendiente de cada una es muy distinta, dando

valor así a la afirmación que se ha hecho de que una no es causa directa de la otra, sino un factor mas que influye en ese aumento.

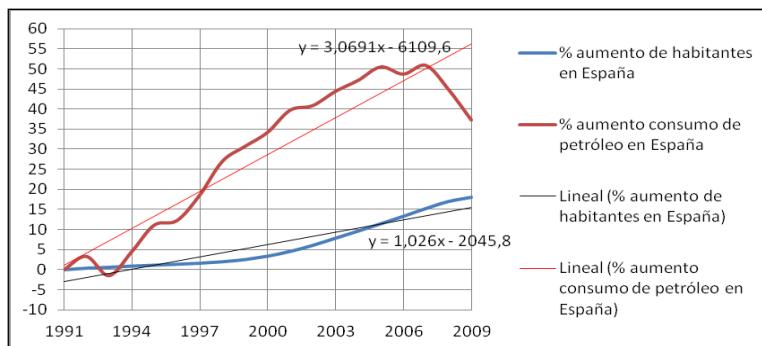


Figura 21. Información procedente del Banco Mundial.

Con todo esto se llega a la conclusión de que el considerable aumento de la población a escala mundial no es el causante directo del aumento de consumo de petróleo (tampoco a escala nacional, como hemos podido ver en la gráfica de España), aunque se contempla que sea uno de los factores influyentes.

Lo que queda claro comparando las gráficas de porcentaje de aumento de población de España ,figura 21, y del mundo, figura 19, es que viendo que el consumo se ha disparado en la primera y más o menos tiene la misma pendiente que el aumento de población en la segunda, el aumento de consumo de petróleo se debe a un gran crecimiento en los sectores de consumo de países como España, y que por lo tanto se debe averiguar cuáles son estos sectores para poder influir sobre ellos y afectar positivamente a la reducción de consumo de estos productos.

Entonces viendo esto, la pregunta que debe plantearse es, ¿qué sectores son los que más influyen en el consumo de petróleo y sus derivados?, y ¿a qué afecta realmente este elevado consumo de petróleo?.

## Emisiones de CO<sub>2</sub> en España.

El siguiente gráfico compara las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en España con las emisiones solamente producidas por derivados del petróleo (periodo comprendido entre 1991 y 2009):

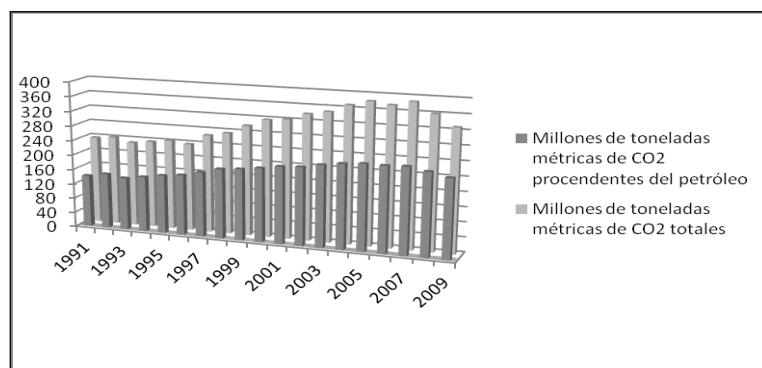


Figura 22. Información procedente de EIA.

Como indica el gráfico, el consumo de petróleo en España es el causante de más del 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo tanto la principal fuente del mismo, y posible causante, según distintos estudios, del llamado efecto invernadero producido por estas emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## Sectores de consumo de energía en España.

Consultando los datos de la producción nacional de energía eléctrica del año 2009, se aprecia que la dependencia del petróleo en este sector es muy reducida (la producción eléctrica a partir de petróleo o derivados es de tan solo un 6'7%).

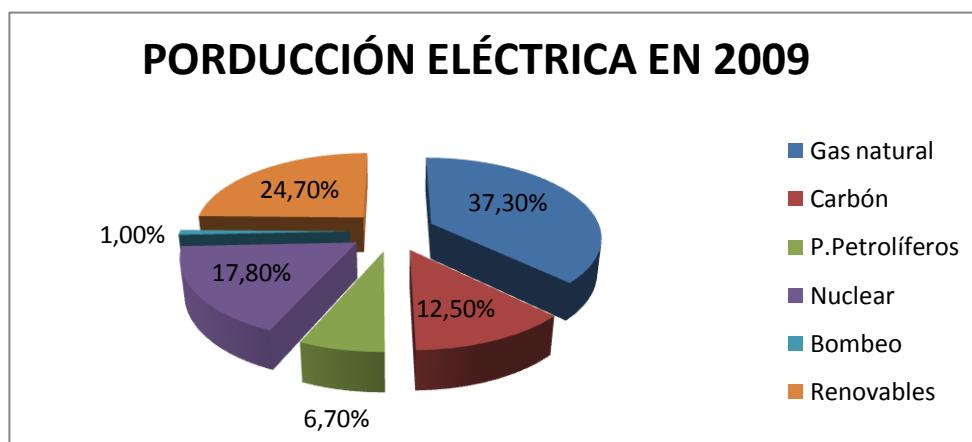


Figura 23. Información procedente de la memoria anual IDAE 2009.

En cambio si se consulta el consumo de energía final en España, el petróleo es la fuente de energía por excelencia con más del 50% del consumo.

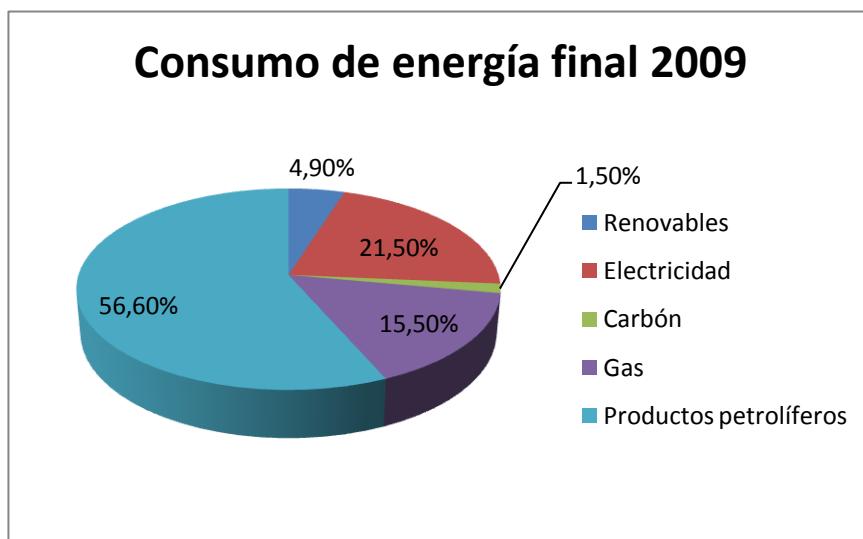


Figura 24. Información procedente del libro de la energía en España 2009 del ministerio de industria.

Como indican los datos obtenidos, en el sector eléctrico solo se consume una parte muy reducida de los productos petrolíferos, por lo que es en otros sectores donde se tiene que consumir la mayor parte.

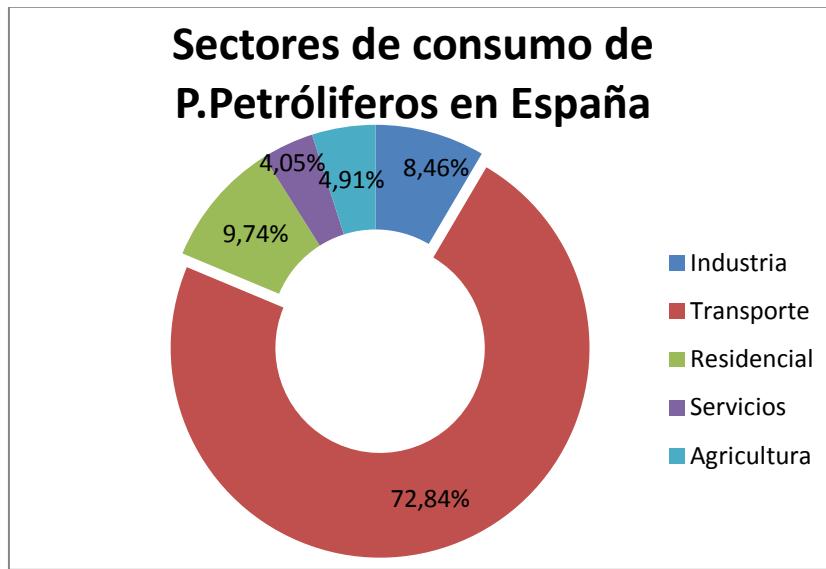
Para conocer averiguar cuáles son estos sectores donde existe un mayor consumo de productos derivados del petróleo se produce, hay que acudir a los datos de consumo de energía final en España, global y sectorial, del año 2008 (datos por sectores más recientes encontrados):

SECTOR	<i>Carbón</i>	<i>P.Petrolíferos</i>	<i>Gas</i>	<i>Energías Renovables</i>	<i>Energía Eléctrica</i>	<i>Total</i>
<b>Industria</b>	2059	<b>4477</b>	12518	1498	9410	29962
<b>Transporte</b>	0	<b>38529</b>	0	610	479	39618
<b>Residencial</b>	17	<b>5153</b>	3613	2155	5532	16470
<b>Servicios</b>	3	<b>2140</b>	728	115	6225	9211
<b>Agricultura</b>	0	<b>2597</b>	273	44	467	3381
<b>Total</b>	2079	52896	17132	4422	22113	98642

**Tabla 13.** Datos en Kilo toneladas equivalentes de petróleo (1 ktep = 11630 MWh). Información procedente del Boletín Electrónico del IDAE Nº48.

Los datos de la última fila se corresponden con el consumo de energía final de 2008, aunque en este caso no se especifican en porcentaje sino en unidades de ktep (Kilo toneladas equivalentes de petróleo).

Centrándose en los sectores consumidores de productos del petróleo, se obtiene el siguiente gráfico:



**Figura 25.** Información procedente del Boletín Electrónico del IDAE Nº48.

Se aprecia como el sector con el mayor consumo de derivados del petróleo es el sector transporte, con un 72'84% del consumo total, y que se abastece en un 97'25% de este recurso energético.

Dentro del transporte tenemos cuatro subsectores que son, el transporte por carretera, el transporte marítimo, el transporte aéreo y el ferrocarril. Según datos de 2004 proporcionados por el IDEA, el transporte por carretera predomina con el 80'5% del consumo del sector, quedando la distribución de la siguiente forma:

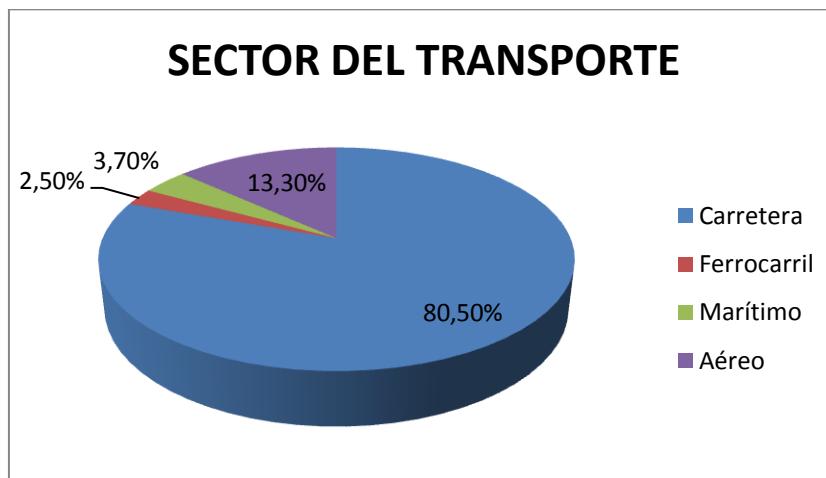


Figura 26. Información procedente del IDAE.

En el transporte por carretera se divide en otras tres categorías importantes, como son los vehículos privados, el tráfico de mercancías y el transporte colectivo de pasajeros, quedando su distribución de la siguiente forma:

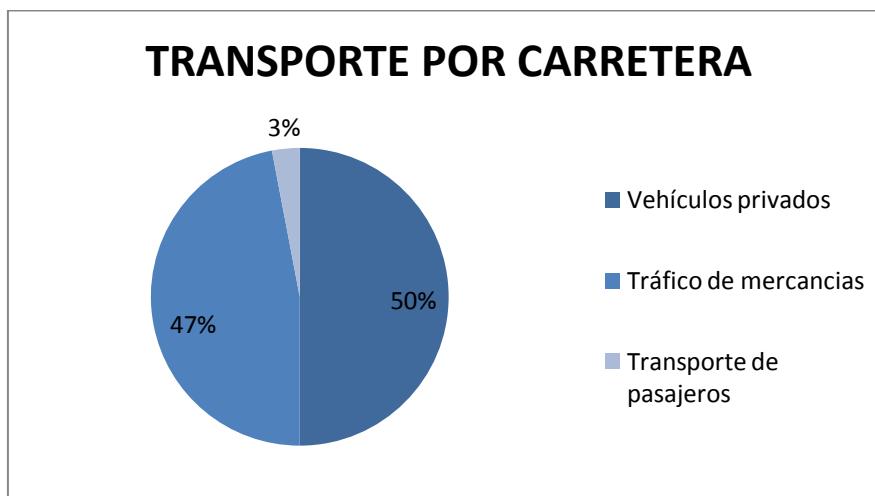


Figura 27. Información procedente del IDAE.

El sector del transporte se lleva un 73% del consumo total, y dentro de este el transporte por carretera es 80'5% del consumo del sector y un 58'6% del consumo total. Los vehículos privados suponen un 50% del transporte por carreteras y un 29'3% del consumo total de productos derivados del petróleo, lo que supone el 16'6% de la energía final consumida en el país, unas  $15500 \text{ ktep}$  ( $18 \times 10^7 \text{ MWh}$ ).

**ANEXO 2:**

**MOTORES ELÉCTRICOS**



## ANEXO 2: Motores eléctricos.

Los motores eléctricos pueden ser clasificados de varias maneras. Una de ellas es por el tipo de corriente que reciben (motores de corriente continua y de corriente alterna).

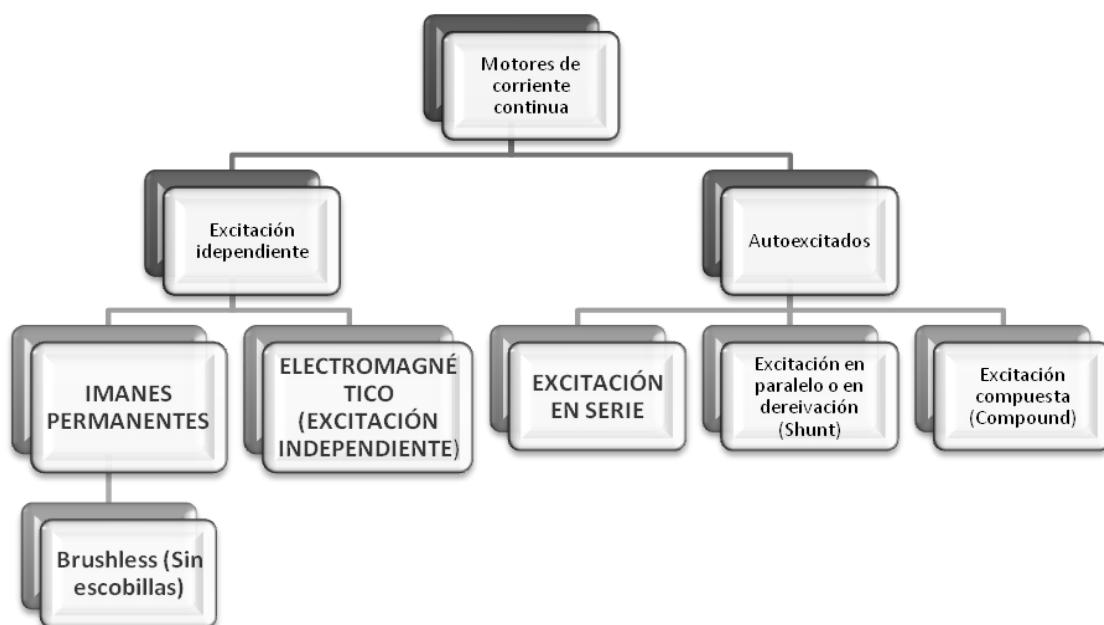
Un motor de corriente continua se compone principalmente de dos partes, el rotor y el estator. El estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica, es donde se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas (en el caso del brushless no tiene escobillas). También existen motores CC con el rotor de imanes permanentes.

Los motores de corriente alterna tienen una estructura similar a los de continua, con pequeñas variaciones en la fabricación de los bobinados y del conmutador del rotor. Una de las características de un motor CA es el número de polos del rotor. Este dato automáticamente dará el número de devanados que tiene el motor (número de devanados = número de polos x 2). Según su sistema de funcionamiento, se pueden clasificar en motores asíncronos o de inducción, motores sincrónicos, motores de reluctancia variable (paso a paso) y motores universales.

A continuación se describen cada uno de los tipos más detalladamente

### Motores de corriente continua.

La clasificación general de este tipo de motores es la siguiente:



**Figura 28.** Motores de corriente continua.

De los que se ven en el esquema, los utilizados en automoción son:

- Imán permanente.
- Excitación en serie.
- Excitación independiente.

Dentro de estos tres, los que se han impuesto en la industria con mayor fuerza son los motores CC de excitación independiente, aunque empezaremos explicando los de imán permanente.

### **Motor CC de imán permanente.**

Los motores de imán permanente (PM, permanent magnet) normalmente, en la industria del automóvil, suelen contar con potencia no muy elevadas. Formados como todos los motores por un rotor y un estator, cuentan en el estator con imanes permanentes.

Tienen varias ventajas respecto a los del tipo de campo devanado que son:

- No se necesitan las alimentaciones de energía eléctrica para excitación, ni para el devanado asociado.
- Se mejora la fiabilidad ya que no existen bobinas excitadoras del campo que fallen, y no hay probabilidad de que se presente una sobrevelocidad debida a pérdida del campo.
- Se mejoran la eficiencia y la refrigeración por la eliminación de la pérdida de potencia en un campo excitador.
- La característica par contra corriente se aproxima más a lo lineal.
- Un motor de imán permanente (PM) se puede usar en donde se requiere un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua.

Además, cuando se necesite de baja potencia y no se disponga de alimentación de energía para su funcionamiento, se recomienda el uso de motores de este tipo de motores. Éstos, aunque ofrecen la mitad de la velocidad en vacío que un motor devanado en serie, poseen mayor par de arranque, omitiendo así su desventaja, ya que las sobrecargas pueden causar desmagnetización parcial y pérdida de la energía en él acumulada.

### **Motores CC de excitación en serie.**

En estos motores, los devanados de inducido y el inductor están colocados en serie y alimentados por una misma fuente de tensión. En ellos existe dependencia entre el par y la velocidad, ya que son motores en los que al aumentar la corriente de excitación se hace disminuir la velocidad, con un aumento de par.

El inductor tiene un número relativamente pequeño de espiras de hilo, que debe ser de sección suficiente para que pase por él la corriente de régimen que requiere el inducido.

En los motores serie, el flujo depende totalmente de la intensidad de la corriente del inducido. Si el hierro del motor se mantiene a saturación moderada, el flujo será casi directamente proporcional a dicha intensidad.

Las principales características de este motor son:

- Se embala cuando funciona en vacío, debido a que la velocidad de un motor de corriente continua aumenta al disminuir el flujo inductor y, en el motor serie, este disminuye al aumentar la velocidad, puesto que la intensidad en el inductor es la misma que en el inducido.
- La potencia es casi constante a cualquier velocidad.
- Le afectan poco las variaciones bruscas de la tensión de alimentación, ya que un aumento de esta provoca un aumento de la intensidad y, por lo tanto, del flujo y de la fuerza contraelectromotriz, estabilizándose la intensidad absorbida.

### **Motores CC de excitación independiente.**

Estos son los motores de corriente continua más utilizados en la industria del automóvil. Obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del estator es constante, al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza también.

Las variaciones de velocidad al aumentar la carga se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz por aumentar la caída de tensión en el rotor. Este sistema de excitación no se suele utilizar debido al inconveniente que presenta el tener que utilizar una fuente exterior de corriente.

Además de en la industria del automóvil, los motores de excitación independiente tienen como aplicaciones industriales el torneado y taladrado de materiales, extrusión de materiales plásticos y goma, ventilación de hornos, retroceso rápido en vacío de ganchos de grúas, desenrollado de bobinas y retroceso de útiles paraerrar.

El motor de excitación independiente es el más adecuado para cualquier tipo de regulación, por la independencia entre el control por el inductor y el control por el inducido.

### **Aplicaciones y ventajas de los motores CC.**

Aunque el precio de un motor de corriente continua es considerablemente mayor que el de un motor de inducción (Corriente alterna) de igual potencia, existe una tendencia creciente a emplear motores de corriente continua en aplicaciones especiales.

La gran variedad de la velocidad, junto con su fácil control y la gran flexibilidad de las características par-velocidad del motor de corriente continua, han hecho que en los últimos años se emplee éste cada vez más con máquinas de velocidad variable en las que se necesite amplio margen de velocidad y control fino de las mismas.

Existe un creciente número de procesos industriales que requieren una exactitud en su control o una gama de velocidades que no se puede conseguir con motores de corriente alterna. El motor de corriente continua mantiene un rendimiento alto en un amplio margen de velocidades, lo que junto con su alta capacidad de sobrecarga lo hace más apropiado que el de corriente alterna para muchas aplicaciones.

Los motores de corriente continua empleados en juguetes, suelen ser del tipo de imán permanente, proporcionan potencias desde algunos vatios a cientos de vatios. Los empleados en giradiscos, unidades lectoras de CD, y muchos discos de almacenamiento magnético son

motores en los que el rotor es de imán fijo y sin escobillas. En estos casos el inductor está formado por un juego de bobinas fijas y un circuito electrónico que cambia el sentido de la corriente a cada una de las bobinas para adecuarse al giro del rotor. Este tipo de motores proporciona un buen par de arranque y un eficiente control de la velocidad.

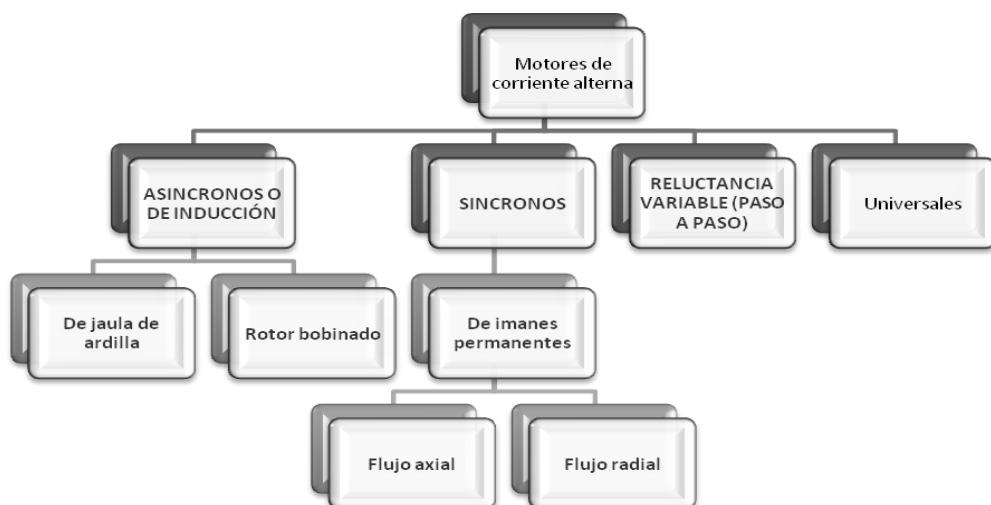
Otra ventaja es la facilidad de inversión de marcha de los motores grandes con cargas de gran inercia, al mismo tiempo que devuelven energía a la línea actuando como generador, lo que ocasiona el frenado y la reducción de velocidad.

En lo que se refiere a la industria del automóvil, las ventajas son:

- Grandes pares de arranque.
- Alto margen de regulación de su velocidad.
- Alimentación y regulación de su velocidad, sencillos y económicos, como ya se decía mas arriba.

## Motores de corriente alterna.

Según su sistema de funcionamiento, se pueden clasificar en motores asincrónicos o de inducción, motores sincrónicos, motores de reluctancia variable (paso a paso) y motores universales.



**Figura 29.** Motores de corriente alterna.

En la industria del automóvil se utilizan los motores asincrónicos, los de reluctancia variable y los sincrónicos de imanes permanentes, que son tres de los que se hablará en este apartado. Los más utilizados entre los tres, en la industria automovilística, son los sincrónicos de imanes permanentes.

### Motores CA asincrónicos o de inducción.

El motor de inducción no necesita escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación, de la corriente en las espiras del estator genera un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable, y las hace girar.

Fue creado es su forma más simple por Galileo Ferraris y Nikola Tesla en 1885-86. Dos años más tarde se construyó una máquina con el rotor en forma de jaula de ardilla. El rotor de bobinado se desarrolló a principio del S.XX.

La diferencia del motor asincrónico con el resto de los motores eléctricos radica en el hecho de que no existe corriente conducida a uno de sus devanados (normalmente al rotor).

La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción.

La denominación de motores asincrónicos obedece a que la velocidad de giro del motor no es la de sincronismo, impuesta por la frecuencia de la red.

Hoy en día se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo. Todo ello debido a su fortaleza, sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo coste, así como a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante. No obstante, y gracias al desarrollo de la electrónica de potencia (inversores y cicloconvertidores), en los últimos años está aumentando considerablemente la utilización de este tipo de motores a velocidad variable.

Resumiendo las ventajas mencionadas, la gran utilización de los motores asincrónicos se debe a las siguientes causas:

- Construcción simple.
- Bajo peso.
- Mínimo volumen.
- Bajo coste.
- Mantenimiento inferior al de cualquier otro tipo de motor eléctrico.

Existen dos tipos básicos de motores asincrónicos por sus características constructivas:

- Motores de jaula de ardilla: el devanado del rotor está formado por barras de cobre o aluminio, cuyos extremos están puestos en cortocircuito por dos anillos a los cuales se unen por medio de soldadura o fundición.
- Motor de rotor bobinado: el devanado del rotor de estos motores está formado por un bobinado trifásico similar al del estator, con igual número de polos.

Un motor de rotor bobinado a igualdad de potencia y clase de protección, es más costoso, menos robusto y exige un mantenimiento mayor que uno de jaula de ardilla. No obstante, frente a este último posee fundamentalmente dos ventajas, que en algunos casos concretos resultan determinantes: las características del circuito eléctrico del rotor pueden ser modificadas en cada instante desde el exterior, y la tensión e intensidad del rotor son directamente accesibles a la medida o al control electrónico.

## Motores CA de reluctancia variable.

Los motores de reluctancia variable hacen referencia a un motor eléctrico del tipo paso a paso, cuyo funcionamiento se basa en la reluctancia variable mediante un rotor dentado que tiende a alinearse con los polos bobinados del estator.

El rotor es de material magnético, pero no es un imán permanente, y presenta una forma dentada, con salientes. La ranuración del rotor conlleva una variación de la reluctancia en función de su posición angular.

El estator consiste en una serie de piezas polares conectadas a 3 fases. Está formado por láminas de material ferro magnético no imantado, con una serie de ranuras en forma longitudinal, que albergan los bobinados de las fases, y forman los polos del estator.

Normalmente la constitución del rotor y el estator es a base de láminas ferromagnéticas, pero también se pueden encontrar unidades con constitución sólida de hierro dulce.

En todo momento, el rotor "buscará" alinearse de forma tal de minimizar la reluctancia rotor-estator, circunstancia que se da cuando el espacio entre polos del estator queda lo más posiblemente ocupado por material del rotor, es decir, orientando los 4 polos energizados del estator.

Este tipo de motor puede diseñarse para funcionar con pasos más pequeños que los pasos de un motor paso a paso de imán permanente. Por otra parte, su rotor es de baja inercia, con lo que se mejora su respuesta dinámica, aunque tiene la desventaja de tener menor par motor que un motor eléctrico de imán permanente de similar tamaño.

En lo que respecta a los vehículos eléctricos, el motor de reluctancia variable debido a su bajo coste de fabricación, su simplicidad en construcción y su robustez, está empezando a ser considerado como un motor con potencial.

Resumiendo, las características principales de este tipo de motores son:

- Larga vida.
- Velocidad de respuesta elevada (<1ms).
- Posicionamiento dinámico preciso.
- Reinicialización a una posición preestablecida.
- Frecuencia de trabajo variable.
- Funcionamiento sincrónico bidireccional.
- Sincronismo unidireccional en régimen de sobrevelocidad.
- Carencia de escobillas.
- Insensibilidad al choque en régimen dinámico, a la regulación de la fuente de alimentación.

Los inconvenientes principales que presentan y que afectan a su uso masivo en la automoción son:

- Necesidad de un sistema de detección de posición.
- Rizado en el par que presenta.

- Bajo factor de potencia.

### **Motores CA síncronos de imanes permanentes.**

Los motores de imanes permanentes son motores eléctricos de corriente alterna cuyo funcionamiento se basa en imanes permanentes situados en el rotor.

Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo".

Son llamados así porque la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son iguales, y se usan en máquinas grandes que tienen una carga variable y necesitan una velocidad constante.

Convencionalmente se ha utilizado en aplicaciones de generación de energía eléctrica, aunque hoy también se usa cada vez más como motor, debido a que tiene una mayor densidad de potencia y mejor rendimiento que las máquinas asíncronas

Las ventajas son:

- Mayor rendimiento
- Menor mantenimiento.
- Son máquinas con arranque muy suave.
- Pueden alcanzar grandes velocidades.
- Mejoran bastante el factor de potencia.

Y los principales inconvenientes:

- Tendencia a la desmagnetización.
- No se pueden modificar las características de la máquina.
- Son caros.

Para el problema de la desmagnetización, los motores poseen un *damper* que protege los imanes de esta durante los transitorios asociados en el arranque, y además amortigua las oscilaciones pendulares.

Los imanes permanentes que utilizan pueden ser de distintos materiales, que se eligen en función de la energía magnética requerida, la temperatura de operación, el peso, el tamaño y el coste. Estos imanes son:

- Imanes de NdFeB (Neodimio, hierro, Boro).
- Imanes de Alnico (Aluminio-Níquel-Cobalto).
- Imanes de SmCo (Samario Cobalto).
- Imanes cerámicos (Ferrita dura).
- Imanes para aplicaciones a motores y generadores.
- Imanes para aplicaciones en sensores y transductores.

Los motores síncronos de imanes permanentes pueden adoptar una forma cilíndrica con un bajo diámetro y gran longitud (*cylinder rotor*), siendo llamados motores de flujo radial, o

pueden tener un rotor en forma de disco más liviano, rotor de disco (*disk rotor*), pasando a llamarse motores de flujo axial, de los que hablaremos a continuación. En ambos casos el resultado es un bajo momento de inercia y una constante de tiempo mecánica baja.

### Motores CA flujo axial.

Este tipo de motores síncronos de imanes permanentes tiene la gran ventaja de poder ser montados dentro de la rueda del vehículo. Por ello también se les conoce como motores rueda. Esta disposición permite la optimización del espacio en el vehículo y la simplificación de los acoplamientos mecánicos entre el motor y la rueda.

Tienen una gran densidad de par, pero también tienen un gran inconveniente, los esfuerzos radiales y las inercias rotacionales debido a su forma y disposición.

### Aplicaciones y ventajas de los motores CA.

Debido al fácil manejo, transmisión, distribución y transformación de la corriente de la corriente alterna, los motores de CA son con los que más desarrollo tecnológico se ha conseguido, llegando a rendimientos superiores al 95%.

Las principales ventajas y características de cada uno de los motores de corriente alterna se pueden resumir en:

- MOTORES ASÍNCRONOS O DE INDUCCIÓN: Muy experimentado industrialmente por ser el más económico, robusto y con bajo mantenimiento. Factor de potencia bajo.
- MOTORES DE RELUCTANCIA CONMUTADA: Sencillos y robustos, pero necesitan sensores especiales para detectar la posición del rotor. Par pulsante.
- MOTORES SÍNCRONOS DE IMANES PERMANENTES: Mayor densidad de potencia, más reducido en volumen y peso. Factor de potencia alto, pero por el contrario es una máquina de mayor coste, menos robusta y menos experimentada (desmagnetización imanes).
- MOTORES DE FLUJO AXIAL: Son un tipo de MSIP adecuados para ser integrados en la rueda.

Las aplicaciones de estos son de lo más diversas. Desde la propia generación de energía con aerogeneradores, hasta el sector que nos afecta en este trabajo, la automoción.

## Vehículos eléctricos y sus motores.

Todos los motores eléctricos antes explicados se utilizan en la industria del automóvil, pero como se puede ver en la siguiente tabla actualmente hay un tipo que predomina.

MODELO			TIPO	P.ELECTRICA	MOTOR
	MITSUBISHI	i-miev	Vehículo Eléctrico (BEV)	47 kW	Motor CA sincrono de imanes permanentes
	CHEVROLET	VOLT	Vehículo Eléctrico de Autonomía Ampliada (REEV)	111 kW	Motor CA sincrono de imanes permanentes
	THINK	City	Vehículo Eléctrico (BEV)	30 kW	Motor CA asincrono o de inducción
	PEUGEOT	ION	Vehículo Eléctrico (BEV)	47 kW	Motor CA sincrono de imanes permanentes
	TESLA	Roadster	Vehículo Eléctrico (BEV)	215 kW	Motor CA asincrono o de inducción
	CITROEN	C-Zero	Vehículo Eléctrico (BEV)	47 kW	Motor CA sincrono de imanes permanentes
	NISSAN	LEAF	Vehículo Eléctrico (BEV)	80 kW	Motor CA sincrono de imanes permanentes
	TOYOTA	PRIUS PLUG-IN HYBRID	Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV)	60 kW	Motor CA sincrono de imanes permanentes
	HONDA	INSIGHT	Vehículo Híbrido (HEV)	10 kW	Motor CC Brushless (sin escobillas)

Figura 30. Vehículos eléctricos y sus motores.

Como ya se había mencionado en apartados anteriores, y se puede ver en la tabla, el tipo de motor dominante en el mercado de vehículos eléctricos e híbridos es *el motor de corriente alterna sincrono de imanes permanentes*. Recordemos que sus principales ventajas son una elevada densidad de potencia con un volumen y peso reducidos.

Estas características son muy importantes en el mundo de la automoción, sobre todo peso, que en todos los vehículos eléctricos es el factor determinante que nos permite jugar con el peso añadido de las baterías y por tanto su capacidad.

Se aprecia como para potencias comprendidas entre los 60 kW y los 111 kW, este tipo de motor es el dominador claro. Existe la excepción del motor utilizado para el Think city, un motor CA asincrono con 30 kW de potencia, que seguramente sea debido a la filosofía de esta marca de hacer un eléctrico más asequible y también su reducidísimo volumen, a lo que contribuye este tipo de motor.

El Tesla roadster también se decanta por este tipo de motor pero con la potencia más alta montada en un vehículo eléctrico hasta la fecha. La elección del motor CA asíncrono en este vehículo seguramente sea debida a otras dos ventajas también muy importantes además del reducido volumen (que seguramente sea la causa principal al tratarse de un vehículo de reducidas dimensiones), el bajo mantenimiento (menor que cualquier otro motor eléctrico) y sobre todo al reducido peso (importantísimo en este coche ya que cuenta con 400 kg de baterías).

Por último tenemos el Honda Insight, que al tratarse de un híbrido en paralelo sin toma de recarga, utiliza un motor CC sin escobillas y de muy baja potencia, 10 kW, seguramente debido a su mayor fiabilidad.

### **Comparación motores eléctricos frente a los de combustión.**

Todo este cambio que se está viviendo en la actualidad en la industria del automóvil con el paso de los vehículos de combustión, primero a los híbridos y luego a los eléctricos puros, viene fundamentalmente motivado por el fuerte incremento de los precios del combustible y la crisis mundial, que ha provocado que se busque maximizar la eficiencia de todo vehículo, y el paso del motor de combustión al motor eléctrico puedes ser la clave.

#### **Ventajas e inconvenientes de los motores eléctricos.**

De los motores eléctricos ya hemos hablado largo y tendido a lo largo de todo este apartado. Aquí se mencionaran las ventajas e inconvenientes principales frente a los motores tradicionalmente usados en la industria de la automoción.

En principio, cualquier motor eléctrico puede actuar como generador, al contrario que los motores de combustión que como sabemos no existe aquel que aspire los gases de escape durante los frenados y descensos, y los convierta en combustible y aire fresco. El motor eléctrico puede ofrecer esto, producir electricidad actuando como generador durante los descensos y procesos de frenado.

Además de esta, las ventajas que tienen los motores eléctricos son muchas:

- La ausencia de emisión de gases contaminantes a escala local (Si se producen gases en la producción de energía eléctrica).
- El funcionamiento silencioso y sin vibraciones.
- La posibilidad de usar energía eléctrica solo a partir de renovables (energía eólica y energía solar).
- La mayoría de los motores eléctricos puede ofrecer potencias mayores a la nominal por tiempos cortos.
- Los motores eléctricos no consumen cuando el vehículo está parado (además de lo ya mencionado, que permiten aprovechar la energía que se pierde normalmente en los frenados y descensos).
- Rendimientos máximos muy elevados, en torno al 90-95%, incluso más (el rendimiento medio depende del tipo de uso, pero podría estar alrededor del 80-85%).

- Par constante durante gran parte de la curva de par, lo que hace que la potencia este disponible desde el arranque, no dependiendo de la potencia acumulada del giro del motor como ocurre en un motor de combustión.

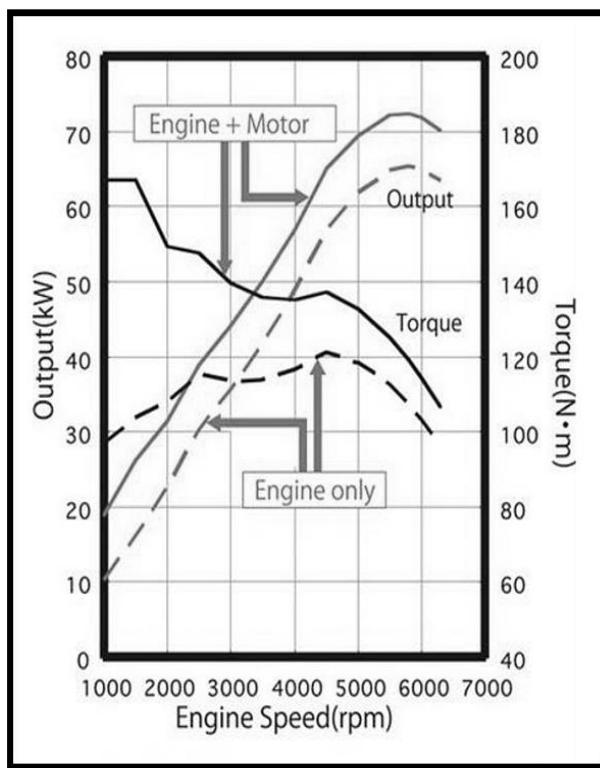


Figura 31. Curvas de par y potencia.

- La potencia del motor se transmite con una sola marcha directamente a las ruedas, haciendo innecesaria la transmisión de varias velocidades, y aumentando el rendimiento en más del 8% al evitar la pérdida por rozamiento.

El motor eléctrico posee también una densidad de potencia mayor que un motor de combustión, lo que permite la producción e implantación de la misma potencia del motor en un espacio y peso más reducido.



**ANEXO 3:**

**BATERIAS**



## ANEXO 3: Baterías.

En los vehículos de combustión interna el almacenamiento de energía no es una parte del vehículo tan importante como en los eléctricos. En los vehículos tradicionales un depósito de combustible de unos 50 litros puede llegar a proporcionar una autonomía superior a los 1000 km, todo ello gracias a la gran densidad energética de los combustibles líquidos.

Combustible	Poder calorífico (kJ/kg)	1 kg de combustible alumbrará una bombilla de 100 W durante...	Usos
Madera (según composición)	10.450-16.700	1 h 39 min - 2 h 39 min	Calefacción
Carbón (según composición)	16.700-37.600	2 h 39 min - 5 h 58 min	Calefacción
Alcohol	27.170	4 h 19 min	Transporte terrestre
Gasóleo	43.160	6 h 51 min	Transporte terrestre y marítimo, calefacción
Gasolina 95	43.470	6 h 54 min	Transporte terrestre
Gasolina 98	44.100	7 h 00 min	Transporte terrestre
Butano	45.560	7 h 14 min	Calefacción
Petróleo	46.000	7 h 18 min	Preparación de combustibles
GLP (gas licuado de petróleo)	46.000	7 h 18 min	Transporte
Gas natural (metano)	48.100	7 h 38 min	Calefacción, transporte
Hidrógeno	120.000	19 h 04 min	Cohetes

Figura 32. Poder calorífico de los combustibles.

Como se ve en la tabla el poder calorífico de la gasolina y el gasóleo es de más de 43.000 kJ por cada Kg, lo que pasado a unidades de densidad energética con las que se mide las baterías son alrededor de **11.950 Wh/kg**.

A continuación trataremos de entrar un poco más en profundidad en los parámetros característicos de las baterías y en cada uno de los tipos de baterías existentes en el mercado y que se usan en la industria automovilística, y veremos como sus densidades energéticas son



muy inferiores a las de los combustibles líquidos, de lo que deriva el gran problema actual de los vehículos eléctricos, la autonomía.

## Parámetros de las baterías.

### Voltaje de célula y de batería.

Todas las células tienen un voltaje nominal que proporciona el voltaje aproximado al que funcionará cuando esté en funcionamiento. Este voltaje nominal, según el tipo de batería, estará entre 1 y 3 V por célula. Para un vehículo se necesita un voltaje superior, y es por esto por lo que se conectan células en serie hasta tener el voltaje requerido. Sin embargo, este voltaje no es constante debido a que las baterías tienen una resistencia interna que provoca que si la corriente aumenta el voltaje cambie. Con teoría de circuitos básica se puede observar que:

$$V = E - I \cdot R$$

Donde  $V$  es la tensión en bornes de la carga,  $E$  el voltaje en vacío de la batería,  $I$  la corriente que circula por el circuito y  $R$  la resistencia interna de la batería. Si la batería se está descargando,  $V$  bajaría cuando aumente  $I$ . Si se está cargando la batería,  $V$  aumentaría con  $I$  (ya que  $I$  invierte el sentido). El voltaje en abierto es difícil de encontrar ya que depende del estado de carga de la batería y de la temperatura, entre otros factores.

### Capacidad de carga.

La carga  $Q$  que puede proporcionar una batería es uno de los parámetros más importantes, ya que nos da una idea de la cantidad de energía que podrá entregar. La unidad del sistema internacional para la carga es el Coulombio, que equivale a un flujo de 1 A por segundo. Esta unidad es demasiado pequeña, por lo que en baterías se habla de Amperios hora (Ah).

### Energía almacenada.

La energía almacenada depende proporcionalmente del voltaje de la batería y de su capacidad. La unidad del sistema internacional es el Julio (J), pero como en el caso del Coulombio es una unidad demasiado pequeña, por lo que se trabaja con el Watio·hora (Wh) unidad que nos permite expresar la capacidad en la forma de Ah y el voltaje en V. La fórmula es tan sencilla como:

$$E_{Alm} = V \cdot Q$$

### Energía específica.

Es la cantidad de energía que puede almacenar una batería por unidad de masa. Se expresa en Wh/kg, y varía con factores como la temperatura y el tiempo de descarga. También se suele denotar con el nombre de densidad energética, aunque esta nomenclatura es incorrecta, como se puede comprobar en el siguiente punto.



### Densidad energética.

Es la cantidad de energía que puede almacenar una batería por unidad de volumen. Se expresa en Wh/m<sup>3</sup>. Sirve para dimensionar el volumen necesario de una batería cuando se tiene la capacidad necesaria para la misma, o bien, si tiene el espacio disponible, para conocer la energía de la que se podrá disponer.

### Potencia específica.

Expresa la cantidad de potencia que se puede obtener por unidad de masa. Se expresa en W/kg, y es un parámetro variable en el tiempo, ya que la potencia entregada depende de la carga en cada instante de la propia batería. Puede resultar un parámetro significativo para dar una idea de lo rápido que puede entregar la energía la batería.

### Eficiencia de carga.

Sirve para saber la cantidad de energía que se pierde en el proceso de carga de la batería. Se expresa en porcentaje de carga almacenada con respecto a la carga introducida. Es un valor que depende de distintos factores tales como el tipo de carga, la temperatura o del estado inicial o final de carga.

### Eficiencia energética.

Expresa el porcentaje de energía suministrada por una batería con respecto a la energía necesaria para devolverla al estado inicial antes de esta descarga.

### Auto-descarga.

Todas las baterías, cuando se dejan sin utilizar por un tiempo pierden carga paulatinamente. Este efecto que se produce al estar sin uso, se le conoce como auto-descarga. Si debido a este efecto las baterías se descarga por debajo de un umbral puede perder prestaciones o incluso dejar de funcionar.

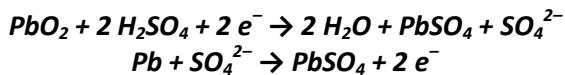
## Tipos de baterías.

### Baterías de plomo-ácido.

Está constituida por dos electrodos hechos de plomo y el electrolito que es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. En su fabricación, las placas positivas están recubiertas o impregnadas de dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>), y las negativas están formadas por plomo esponjoso. Este estado inicial corresponde a la batería cargada, así que el electrolito agregado inicialmente debe corresponder a la batería con carga completa (densidad 1.280 g/ml). Debajo de las placas se deja un espacio para que se depositen eventuales desprendimientos de los materiales que forman las placas, y para que no haya contacto eléctrico directo entre placas positivas y negativas, se disponen separadores aislantes que deben ser resistentes al ácido y permitir la libre circulación del electrolito.

En el proceso de descarga de un batería de plomo-ácido, el dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>) es reducido a sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>) mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma

de corriente eléctrica por un circuito externo. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes:



En el proceso de carga, el sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ) se reduce a plomo metal en el polo negativo (cátodo), mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en la superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortarían la duración del acumulador.

Hay que mencionar que en la descarga, la concentración del ácido sulfúrico, porque se crea sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ) y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior a la del ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

Como sucede en todos los tipos de batería, el proceso carga-descarga no puede ser repetido infinitamente. Esto se debe a que durante el proceso, los electrodos pierden parte del material debido a que el sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ) forma cristales y ya no responden bien a los procesos indicados. Se dice entonces que la batería se ha sulfatado y es necesario sustituirla por otra nueva.

Actualmente existen varios tipos de baterías de plomo-ácido en las que el electrolito no es líquido sino un gel:

**Selladas de plomo-ácido:** Durante la década de los 1970, los investigadores desarrollaron una batería de plomo-ácido libre de mantenimiento que puede funcionar en cualquier posición. El electrolito líquido es gelificado en separadores humedecido y sellado. Las válvulas de seguridad permiten la ventilación durante la carga, descarga y cambios de presión atmosférica. Surgieron dos sistemas de plomo-ácido: La batería sellada de plomo-ácido pequeña (SLA), también conocido bajo el nombre de Gelcell, y la más grande con válvula regulada de plomo-ácido (VRLA).

**Con separador de vidrio absorbente (AGM):** La AGM es un nuevo tipo de baterías selladas de plomo-ácido que utiliza esteras de vidrio de absorción entre las placas. Está sellada, libre de mantenimiento y las placas están rígidamente montadas para resistir grandes choques y vibraciones. Casi todas las baterías AGM son recombinantes, lo que significa que pueden recombinarse con el 99% del oxígeno y el hidrógeno. Casi no hay pérdida de agua.

Dependiendo de la profundidad de la descarga y la temperatura de funcionamiento, las baterías selladas de plomo-ácido proporcionan 200 y 1000 ciclos de descarga/carga. La razón principal de su ciclo de vida relativamente corto es la corrosión de la rejilla del electrodo positivo, el agotamiento de la materia activa y la expansión de las placas positivas. Estos

cambios son más frecuentes a temperaturas de funcionamiento más elevados. La recarga cíclica no previene o revierte la tendencia.

La batería de plomo-ácido tiene una de las densidades de energía más bajas, en torno a los **30 Wh/kg** (Recordemos que la gasolina rondaba los 12.000 Wh/kg). Además, el rendimiento a bajas temperaturas es marginal, y hay que tener muy en cuenta que el alto contenido de plomo hace que las baterías de plomo-ácido sean hostiles con el medio ambiente sino se procede con un adecuado tratamiento después de su vida útil.

Por contra, la auto-descarga es de aproximadamente 40% por año, una de las mejores en las baterías recargables.

Resumiendo sus ventajas y desventajas:

#### **Ventajas.**

- Bajo coste y fácil de fabricación.
- Maduras y fiables.
- La auto-descarga se encuentra entre las más bajas de los sistemas de baterías recargables.
- Capaces de altas tasas de descarga.

#### **Desventajas.**

- Densidad de energía baja, en torno a 30 Wh/kg.
- No admiten sobrecargas ni descargas profundas, viendo seriamente disminuida su vida útil (El voltaje de la célula no debe caer por debajo de 2.10V).
- Permite sólo un número limitado de ciclos de descarga completa, que es adecuado para aplicaciones de espera que requieren descargas profundas sólo ocasionalmente.
- Altamente contaminantes (El contenido de plomo y el electrolito de la batería hostiles para el medio ambiente).
- Peso excesivo, al estar compuesta principalmente de plomo.

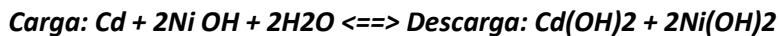
Entrando ya en su uso dentro de la industria del automóvil, estas fueron las baterías que montaban las primeras series del Impact (EV-1) y con ellas ya se lograban más de 100 Km de autonomía.

Hoy en día están obsoletas para estos fines, aunque algunos coches eléctricos "asequibles" como el Reva (en algunas versiones) continúan usándolas.

En definitiva, estas baterías tienen un uso prácticamente residual en los vehículos eléctricos, teniendo como principales usos la maquinaria industrial y las en los vehículos de combustión interna las baterías auxiliares.

#### **Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd).**

Estas baterías utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. La reacción química es:



Su densidad de energía, al igual que la de plomo-ácido, es muy baja, de tan sólo **60 Wh/kg**. Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten mas carga, aunque no la almacena. Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento.

Cada vez se usan menos (a favor de la NiMH), debido a su efecto memoria y al cadmio (que es muy contaminante). Sin embargo, poseen algunas ventajas sobre el NiMH, como por ejemplo los ciclos de vida que oscilan entre los 1.000 y 1.500 ciclos. En condiciones estándar dan un potencial de 1,3 V (Tensión de trabajo nominal 1,2).

Estas baterías se pueden almacenar casi indefinidamente en cualquier estado de carga a una temperatura entre – 40°C y +50°C. Las baterías parcial o totalmente cargadas pierden gradualmente su carga. Esta descarga es mayor cuanto mayor es la temperatura.

### Ventajas.

- Son mucho más robustas en construcción y por tanto menos propensas que las baterías normales a perder el electrolito.
- Tienen una resistencia interna extremadamente baja, lo que permite asociar varios elementos en serie.
- Mantienen la tensión prácticamente constante durante casi el 90% del ciclo de descarga, lo que facilita su uso en ciertas aplicaciones.

### Desventajas.

- Densidad de energía baja, en torno a 60 Wh/kg.
- Debido a su bajísima impedancia interna no se pueden cargar a tensión constante ya que se generarían corrientes muy elevadas produciendo un sobrecalentamiento y su destrucción.
- Efecto memoria muy alto. Esto significa que no puede volver a cargarse el acumulador hasta que este no se haya agotado por completo. De no hacerlo así sus prestaciones se resentirán.
- El cadmio es muy contaminante.
- Media-Alta vida, entre 500 y 1500 ciclos de carga-descarga.

Debido a sus puntos desfavorables, los ciclos de carga-descarga y la baja densidad energética, **no son muy interesantes** para los vehículos eléctricos.

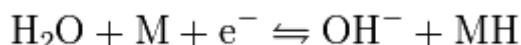
En la actualidad no existen vehículos eléctricos que utilicen este tipo de baterías, pero en la década de los 80 Peugeot se atrevió con un par de modelos adaptados, un 205 eléctrico y una furgoneta J5 eléctrica.

### Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-Mh).

Una batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de óxido de níquel (NiOOH), pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el costoso (y medioambientalmente peligroso) cadmio a la vez que se beneficia de una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces la de una pila

de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por contra, presentan una mayor tasa de autodescarga que las de NiCd (un 30% mensual frente a un 20%).

La reacción ocurrida en el electrodo negativo es:



Mientras que en el electrodo positivo:



No admiten bien el frío extremo, reduciendo drásticamente la potencia eficaz que puede entregar. Cada célula de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega a los **80 Wh/kg**. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía.

Los ciclos de carga de estas baterías oscilan entre 500 y 700, y uno de sus inconvenientes principales son las "altas" temperaturas que pueden alcanzar durante el periodo de carga y también durante su uso.

La tecnología NiMH se utiliza ampliamente en baterías recargables para electrónica de consumo. Son muy útiles en esta porque sus electrodos se pueden soldar sin problemas.

En el mundo de la automoción, han sido utilizadas en vehículos eléctricos como el General Motors EV1, Honda EV Plus, Ford Ranger EV y el scooter Vectrix.

Actualmente se usan en la gama de vehículos híbridos más conocida como son el Toyota Prius, y Honda Insight. También en las versiones híbridas de los Ford Escape, Chevrolet Malibu y Honda Civic Hybrid.

### Baterías metal-aire.

Otro tipo de baterías también utilizadas en el mundo de los vehículos eléctricos son las que cuentan con un ánodo metálico y electrolitos basado en agua (**una disolución de potasa**). En ellas el oxígeno del ambiente se introduce a través de un electrodo poroso de "aire" (-cátodo) y produce iones de hidroxilo al contactar con el electrolito. Estos iones alcanzan al ánodo y empiezan a oxidar el metal, una reacción que produce una corriente a través de la liberación de electrones.

Dentro de estas baterías podemos encontrarnos con las baterías **Zinc-aire** y las baterías **Aluminio-aire**. Las de zinc-aire puede llegar a tener una capacidad de hasta 350 Wh/kg, y las aluminio-aire almacenan alcanzan los 1.300 Wh/kg.

Las Baterías de aluminio-aire no han tenido una gran aceptación comercial, pero su pequeño peso y su gran densidad energética potencial han hecho que se acometan

estudios en esta área, tales como prolongar la vida de esta pila entre otros, o conseguir recargarlas.

Pero como toda clase de baterías tienen sus inconvenientes, y son que como ocurre con cualquier solución acuosa, el agua en el electrolito se puede evaporar, causando que las baterías fallen de forma prematura. El agua también posee una ventana electroquímica relativamente baja, lo que significa que se empieza a descomponer cuando la célula excede los 1,23 voltios.

Además también tienen problemas de corrosión y estabilidad, y aunque se van haciendo avances en solucionar esta problemática, no suficientes como para hallar aplicaciones comerciales.

Su precio de fabricación aún es elevado, por lo que las únicas aplicaciones existentes son las militares, donde los costes no tienen tanta importancia.

### Baterías de sal fundida.

Este tipo de baterías, que pueden ser tanto primarias como secundarias, son llamadas activas ya que necesitan un aporte externo para funcionar, a diferencia de los sistemas pasivos (Baterías de litio, Ni-MH, metal-aire, Ni-Cd, plomo-ácido,...) que una vez han sido cargados, pueden proporcionar energía sin aporte externo.

Son conocidas como baterías térmicas y tienen su electrolito como característica diferenciadora. Este es sólido e inactivo a temperatura ambiente, lo cual impide su carga o descarga en frío, pero sin embargo a altas temperaturas el electrolito se licua y puede reaccionar químicamente para dar o recibir electricidad.

Usan sal fundida como electrolito y ofrecen una densidad energética elevada debido a la mayor variedad y diferencia de potencial eléctrico de los electrodos. También tienen una alta potencia específica, gracias a la mayor conductividad iónica de la sal fundida.

Estas características las hacen muy prometedoras para la propulsión de vehículos eléctricos. Sin embargo, tienen problemas de seguridad e inflamabilidad por sus elevadas temperaturas de trabajo (400 a 700 °C), y necesitan, por tanto, materiales estructurales de la batería con características muy especiales. Cabe decir que algunos diseños más modernos operan a temperaturas un poco más bajas, de 270 a 350 °C.

En estas baterías el electrolito se inmoviliza cuando se ha fundido, gracias a un sellado especial de óxido de magnesio, que se mantiene en su lugar por capilaridad. Esta mezcla pulverulenta se comprime en "pellets" para formar un separador entre el ánodo y el cátodo de cada célula dentro del vaso de la batería. Mientras el electrolito (sal) permanece sólido, la batería queda inerte y permanece inactiva. Cada celda contiene también una "fuente de calor pirotécnica" que se utiliza para calentar la celdilla hasta la temperatura teórica de funcionamiento, de entre 400 y 550 °C.

Estas baterías tienen una serie de **ventajas**:

- A temperatura ambiente no se encuentran activada, y esto tiene el doble beneficio de **impedir el deterioro de los materiales** activos durante el almacenaje y al mismo tiempo, **elimina la pérdida de capacidad debida a la autodescarga** hasta que la batería se pone en funcionamiento.
- Pueden ser por tanto almacenados indefinidamente (hasta 50 años).
- Una vez activada la batería, suministra una Intensidad mínima que varía desde una muy grande durante pocos segundos (o décimas de segundo) hasta una duración en usos típicos de 60 minutos o más.

Dentro de estas baterías existen varios tipos. Las baterías Na-S, y Litio-S comprenden dos de los sistemas más avanzados de baterías de sal triturada.

La batería Na-S ha alcanzado un estado de desarrollo más importante que su correspondiente de litio. Esta tiene mayor interés ya que emplea materiales para los electrodos que son más abundantes y baratos.

Una de las problemáticas de estas baterías es la corrosión de los aislantes. Los electrodos gradualmente se volvían conductores y su ratio de autodescarga aumentaba. Otro problema añadido fue el crecimiento dendrítico del sodio en las baterías Na-S, lo cual llevó al desarrollo de la Batería ZEBRA.

#### **- Baterías ZEBRA.**

Esta batería fue inventada en 1985 por el grupo "Zeolite Battery Research Africa Project" (liderado por Johan Coetzer), de donde proviene su nombre, ZEBRA; y su desarrollo continuó hasta el año 2009.

Su nombre técnico es "Batería de Na-NiCl<sub>2</sub>", y se trata de un tipo de baterías secundaria, dentro de las baterías de sal fundida, que opera a una temperatura más reducida, entre 250 °C y 360 °C, y utiliza cloroaluminato de sodio triturado (NaAlCl<sub>4</sub>), que tiene un punto de fusión de 157 °C, como electrolito. El electrodo negativo es sodio triturado y el electrodo positivo es níquel cuando está la batería descargada, y cloruro de níquel cuando está cargada.

Debido a que el níquel y el cloruro de níquel son prácticamente insolubles en soluciones neutras y básicas, es posible el contacto íntimo entre electrolito y electrodos, lo cual conlleva una muy pequeña resistencia a la transferencia de cargas. Se necesita un separador de beta-alúmina en forma cerámica, dado que tanto el sodio como el cloroaluminato son líquidos a la temperatura de trabajo.

La batería ZEBRA tiene unas características interesantes de energía y potencia (**90 Wh/kg** y **150 W/kg**). Sus **ventajas** son por tanto:

- Operar a una temperatura menor que sus hermanas (entre 250 °C y 360 °C).
- El electrolito de beta-alúmina que ha sido desarrollado para este sistema es muy estable.
- Los elementos primarios usados en la fabricación de la batería ZEBRA (sodio, cloro y aluminio) tienen una disponibilidad mundial y unas reservas totales mucho más grandes que los de las baterías de litio ion.

- Pueden alcanzar hasta los 3000 ciclos de carga-descarga y 8 años de vida.

También tiene alguna que otra desventaja, como que si se apagan (si no están en un proceso de carga o descarga) y se permite que se solidifique, estas baterías se deben recalentar durante un período de incluso dos días para que se alcance la temperatura y se proporcionen plena carga. Este tiempo de recalentamiento varía dependiendo del estado de carga de la batería, cuando fue desconectada, la temperatura inicial y, por supuesto, la potencia utilizada para el recalentamiento. Después de una completa desconexión de la batería, una batería completamente cargada suele tardar tres días en enfriarse y solidificar.

Estas baterías han sido usadas en varios vehículos como por ejemplo, la furgoneta eléctrica Modec, que usa baterías ZEBRA en el modelo de 2007, o el Think City.

### **Baterías de litio.**

Aunque parezcan una tecnología reciente, en el mundo de las baterías se empezó a trabajar con las bases de litio en el año 1912, aunque no fue hasta los años 70 que vieron la luz los primeros modelos no recargables. Ya en los 90 se introdujeron iones de litio para mejorar la estabilidad y así aparecieron los primeros modelos de baterías recargables que se han popularizando hasta llegar a nuestros días. Hoy en día la mayoría de aparatos electrónicos que utilizan baterías, utilizan baterías de ión litio.

En los primeros prototipos de baterías de litio, el electrodo positivo (cátodo) era normalmente un óxido o sulfuro metálico con la capacidad de intercalar y desintercalar iones litio en los procesos de descarga y carga de la batería de un modo reversible; el electrodo negativo (ánodo) en estos primeros sistemas estaba constituido por litio metálico que debía sufrir procesos igualmente reversibles de disolución durante la descarga y deposición durante la recarga. Para llegar a ser realmente aplicables las baterías de litio han tenido que superar inconvenientes, algunos de ellos graves. El más serio obstáculo para la comercialización de baterías de litio recargables se derivó precisamente de la gran reactividad del litio metálico que podría representar problemas de seguridad; el uso del metal como ánodo se vio asociado a problemas de crecimiento dendrítico del litio durante los procesos de recarga continuados. Este comportamiento llegó a ser causa de problemas de funcionamiento y seguridad.

Afortunadamente estos problemas se resolvieron de forma totalmente satisfactoria con la introducción de dos variantes dentro de esta tecnología: las baterías de "ion-litio", y el desarrollo de electrolitos poliméricos plásticos menos reactivos que sus análogos líquidos.

### **-Baterías de iones de litio.**

En las baterías de ion-litio el ánodo no está formado por litio metálico sino por otro material mucho más seguro, como por ejemplo el grafito, capaz de intercalar (o almacenar) iones de litio en una forma menos reactiva que la del litio metálico, sin un notable detrimiento de su densidad energética.

**DURANTE LA DESCARGA:** Los iones litio cambian espontáneamente del electrodo negativo al electrolito y de éste al electrodo positivo. El electrolito permite el paso de iones pero no de electrones. Al mismo tiempo, los electrones fluyen espontáneamente del electrodo negativo al

positivo a través del único camino que les dejamos libre: a través de nuestro circuito eléctrico. A medida que avanza la descarga, el potencial de cada electrodo cambia de forma que su diferencia disminuye y cae por tanto el voltaje de la celda a medida que sacamos carga eléctrica de la batería.

**DURANTE LA CARGA:** Bombeamos electrones en el electrodo negativo y los extraemos del positivo. Hacemos por tanto el electrodo negativo más negativo y el positivo más positivo y aumentamos así la diferencia de potencial entre ellos, o, lo que es lo mismo, el voltaje de la celda. Este proceso fuerza también a los iones litio a salir del electrodo positivo y a intercalarse en el negativo.

Las **ventajas** de esta tecnología son:

- Una elevada densidad de energía: Hasta 150 Wh/kg.
- Poco espesor. Se pueden presentar en placas rectangulares, con menos de 5 mm de espesor. Esto las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles que deben tener poco espesor.
- Alto voltaje por célula. Cada batería proporciona 3,7 voltios, lo mismo que tres baterías de Ni-MH o Ni-Cd (1,2 V cada una).
- Carecen de efecto memoria.
- Descarga lineal. Durante toda la descarga, el voltaje de la batería varía poco, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores
- Larga vida en las baterías profesionales para vehículos eléctricos. Mas de 3000 ciclos de carga/descarga.
- Facilidad para saber la carga que almacenan. Basta con medir, en reposo, el voltaje de la batería. La energía almacenada es una función del voltaje medido.
- Muy baja tasa de autodescarga. Menos de un 6% mensual. Mucha de ellas, tras seis meses en reposo, pueden retener un 80% de su carga.

A su vez también muestran una serie de **desventajas** muy a tener en cuenta:

- Coste elevado. Su fabricación es más costosa que las de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH, si bien actualmente el precio baja rápidamente debido a su gran penetración en el mercado, con el consiguiente abaratamiento..
- Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar: Están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento la temperatura de la batería.
- Peor capacidad de trabajo en frío: Ofrecen un rendimiento inferior a las baterías de Ni-Cd o Ni-MH a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25%.

#### ***-Baterías de polímero de litio.***

Son una variación de las baterías de iones de litio. Sus características son muy similares, ero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros

componentes. Su tamaño y peso las hace muy útiles para equipos pequeños que requieran potencia y duración.

Esta batería de polímero de litio es única en cuanto a que el electrolito sólido reemplaza un separador poroso, el gel es únicamente es añadido para mejorar la conductividad.

Las **ventajas** de estas son:

- Espesores mínimos. Pueden reducirse hasta grosores de 1 milímetro.
- Pueden empaquetarse con cualquier forma.
- Alta densidad de energía. Hasta 200 Wh/kg.
- Poco peso.
- Más seguras que las de Ion-Litio.
- No necesitan de mantenimiento, sin efecto memoria.
- Baja descarga durante su almacenamiento.
- Son más inocuas para el medio ambiente.
- Gran capacidad de descarga. Se pueden descargar totalmente en menos de dos minutos.

**Inconvenientes:**

- Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje máximo y mínimo.
- Limitaciones en su transporte (compañías aéreas).
- Precio superior a las baterías de Ion-Litio.
- Tecnología en desarrollo.
- Pueden explotar si se perforan.

## Vehículos eléctricos y sus baterías.

En los vehículos convencionales se usan baterías de plomo-ácido, que no sirven para producir movimiento sino para los sistemas suplementarios del vehículo. Estas son de poca capacidad y reducido tamaño.

En cambio en los vehículos eléctricos se necesitan baterías con gran capacidad para así poder tener una autonomía significativa.

MODELO			TIPO	CAPACIDAD	AUTONOMÍA APROX.	TIPO DE BATERÍA	VOLTAJE
	MITSUBISHI	i-miev	Vehículo Eléctrico (BEV)	16'5 kWh	150 km	ión litio (150 Wh/kg)	330 V
	CHEVROLET	VOLT	Vehículo Eléctrico de Autonomía Ampliada (REEV)	16'65 kWh	60 km	ión litio (150 Wh/kg)	370 V
	THINK	City	Vehículo Eléctrico (BEV)	24'11 kWh	160 km	Zebra (90 Wh/kg)	370 V
	PEUGEOT	ION	Vehículo Eléctrico (BEV)	16'5 kWh	150 km	ión litio (150 Wh/kg)	330 V
	TESLA	Roadster	Vehículo Eléctrico (BEV)	55'12 kWh	390 km	ión litio (150 Wh/kg)	375 V
	CITROEN	C-Zero	Vehículo Eléctrico (BEV)	16'5 kWh	150 km	ión litio (150 Wh/kg)	330 V
	NISSAN	LEAF	Vehículo Eléctrico (BEV)	23'76 kWh	200 km	ión litio (150 Wh/kg)	360 V
	TOYOTA	PRIUS PLUG-IN HYBRID	Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV)	5'17 kWh	25 km	ión litio (150 Wh/kg)	345 V
	HONDA	INSIGHT	Vehículo Híbrido (HEV)	0'575 kWh	-	Ni-MH (80 Wh/kg)	144 V

**Figura 33.** Vehículos eléctricos y sus baterías.

En la mayoría de los eléctricos actuales, predominan las baterías de ión litio, que aunque su mayor problemática pueda ser su inestabilidad en determinadas situaciones y su elevado coste, ventajas como la alta densidad energética (150 Wh/kg) con respecto a los otros tipos de baterías, su bajo peso y la posibilidad de poder variar su forma hasta hacerlas finas placas, las hacen por el momento ganadoras indiscutibles del mercado.

Como vemos también existen vehículos con baterías de Ni-MH, pero estas debido a su baja densidad energética, solo se han utilizado en vehículos híbridos no enchufables. Y las ZEBRA, que aunque se utilizan en el conocido Think City, tiene la gran desventaja de tener una elevada temperatura de funcionamiento.

El gran problema de las baterías se refleja en la autonomía, ya que debido a su baja densidad energética en comparación con los combustibles, hace que para alcanzar una autonomía de solo 100 km necesitemos muchos kg de baterías, como veremos en el siguiente apartado.

### Comparación de las baterías frente a los depósitos de combustible (Estudio peso-autonomía).

Esta comparativa consistirá en ver cuántos kg de combustible y baterías necesitamos para alcanzar una determinada autonomía.

Para ello necesitaremos conocer algunos datos característicos de los vehículos de combustión interna y de los eléctricos, así como las densidades energéticas de las baterías (mostradas en el apartado anterior) y de los combustibles líquidos.

### Vehículo eléctrico.

Las características físicas que afectan al consumo y que diferencian a estos de los de combustión interna son, dejando a un lado sus componentes, el peso, el coeficiente de rodadura de sus neumáticos (aunque esto es factor relativo al fabricante que también se extiendo hoy en día por los vehículos llamados “eco”), el coeficiente aerodinámico y el rendimiento final.

Un vehículo eléctrico pesa en torno de 200-300 kg más que su homólogo de gasolina o gasóleo debido a la inclusión de la batería (que como hemos visto, de media, solo le proporcionan una autonomía de 150 km) y los equipos necesarios para gestionar esta y el motor. Suele tener un bajo coeficiente de rodadura y aerodinámico, y su rendimiento total es más del doble que el de un vehículo de gasolina.

Las características de un vehículo eléctrico medio, por ejemplo el Nissan Leaf, son las siguientes:

- *Superficie frontal:  $S = 0'85 * 1'8 * 1'4 = 2'142 \text{ m}^2$*
- *Coeficiente a la rodadura:  $\mu_r = 0'008$*
- *Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'24$*

La masa del vehículo estaría entorno a los 1600 kg, pero para los cálculo iniciales se tomará la masa del vehículo sin baterías, que tirando por lo bajo rondaría los 1200 kg.

- *Masa inicial del vehículo eléctrico sin baterías = 1200 kg*

El rendimiento medio de cada uno de los componentes de un vehículo eléctrico se podría aproximar a lo siguiente:

- Convertidor electrónico y batería:  $\eta_c = 0'97 * \eta_b = 0'98$
- Motor eléctrico:  $\eta_m = 0'86$
- Sistema mecánico del vehículo:  $\eta_{mec} = 0'8$

Quedando un rendimiento total de:

$$\eta_{T.Vehículo} = \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_m \cdot \eta_{mec} = 0'97 \cdot 0'988 \cdot 0'86 \cdot 0'8 \cdot 100 = 65'9\%$$

Calculando con las herramientas de mi anterior trabajo, el consumo del vehículo eléctrico para 1200 kg de masa inicial y estos coeficientes sería de:

$$\text{Consumo del ciclo (energía necesaria): } C_{NEDC} = 133'97 \text{ Wh/km}$$

## Vehículos de combustión interna.

Lo mismo datos se necesitarán de los vehículos de combustión interna para poder comparar con el vehículo eléctrico, y así tener la comparativa entre baterías y combustibles (los combustibles utilizando los datos que aquí se muestran).

Se necesitan las características de un vehículo de gasolina (el gasolina será un híbrido) y uno diesel de la misma categoría. Aunque solo es necesario su consumo según ciclo NEDC, proporcionaremos todos los datos antes mostrados con el vehículo eléctrico para que se vean las similitudes y diferencias.

El *vehículo diesel* elegido será *Volkswagen Golf 1.6 TDI DSG* cuyas características son:

- Masa: 1262 kg.
- Superficie frontal:  $0'85 \cdot 1'78 \cdot 1'48 = 2'24 \text{ m}^2$ .
- Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'29$ .
- Neumáticos de baja resistencia a la rodadura.
- Consumo en ciclo mixto: **4'2 litros de gasóleo a los 100 km.**
- Potencia: 105 cv.

Y el híbrido de *vehículo gasolina* elegido será en este caso un *Toyota Prius 1.8 HDS*:

- Masa: 1375 kg.
- Superficie frontal:  $0'85 \cdot 1'72 \cdot 1'49 = 2'18 \text{ m}^2$ .
- Coeficiente aerodinámico:  $C_x = 0'24$ .
- Neumáticos de baja resistencia a la rodadura.
- Consumo en ciclo mixto: **3'9 litros de gasolina a los 100 km.**
- Potencia: 99 cv (82 cv motor eléctrico).

Conocido la cantidad de energía por litro de la gasolina y el gasóleo:

*Gasolina: 34780 kJ/litro.*

*Gasóleo: 38650 kJ/litro.*

El consumo por km en Wh de cada uno:

Consumo Volkswagen Golf 1.6 TDI = **450'9 Wh/km**

Consumo Toyota Prius 1.8 HDS = **376'78 Wh/km**

### Baterías y combustibles.

En los apartados anteriores se mostraron las densidades energéticas de cada una de las baterías, que de forma resumida son las siguientes:

<i>Polímeros de litio</i>	<i>ion litio</i>	<i>ZEBRA (Baterías de sal fundida)</i>	<i>Zinc-airre</i>	<i>Aluminio aire</i>	<i>Ni-Mh</i>	<i>Ni-Cd</i>	<i>Plomo ácido</i>
<b>200</b>	150	90	350	1300	80	60	30
<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>

Tabla 14. Densidad energética de las baterías.

Las densidades energéticas de la gasolina y el gasóleo son muy superiores, del orden medio de diez veces más:

Gasolina	Gasóleo
<b>12200</b>	12700
<i>Wh/kg</i>	<i>Wh/kg</i>

Tabla 15. Densidad energética de los combustibles.

Con todos estos datos se puede realizar una útil comparación entre combustibles y baterías, y ver cuántos kg necesitaríamos incorporar a nuestro vehículo para recorrer una determinada distancia con cada uno de ellos.

La operación es sencilla conocida la densidad energética y la energía consumida en el ciclo desde la batería.

$$\text{Peso (kg)} = \frac{\text{autonomía a alcanzar (km)} \cdot \text{Energía} (\frac{\text{Wh}}{\text{km}})}{\text{densidad energética} (\frac{\text{Wh}}{\text{kg}})}$$

Por ejemplo, para un vehículo eléctrico (con las características del que hemos comentado anteriormente, con un peso de 1200 kg y sin tener en cuenta el peso añadido de las baterías) con baterías de ión litio para una autonomía de 150 km, la operación sería:

$$\text{Peso (kg)} = \frac{150 \text{ (km)} \cdot 133'97 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{km}}\right)}{150 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{kg}}\right)} = 134 \text{ kg}$$

Por lo tanto, sin incluir el peso de las baterías dentro del vehículo (con esto lo que sucede es que la energía necesaria es constante y no varía, como así lo hace en la realidad, en función del peso), el peso del paquete de baterías necesario para recorrer una distancia de en 0 y 1200 km sería para cada uno de los distintos tipos de baterías:

km	Polímeros de litio	ion litio	ZEBRA (Baterías de sal fundida)	Zinc-aire	Aluminio aire	Ni-Mh	Ni-Cd	Plomo ácido
0 km	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
50 km	33 kg	45 kg	74 kg	19 kg	5 kg	84 kg	112 kg	223 kg
100 km	67 kg	89 kg	149 kg	38 kg	10 kg	167 kg	223 kg	447 kg
150 km	100 kg	134 kg	223 kg	57 kg	15 kg	251 kg	335 kg	670 kg
200 km	134 kg	179 kg	298 kg	77 kg	21 kg	335 kg	447 kg	893 kg
250 km	167 kg	223 kg	372 kg	96 kg	26 kg	419 kg	558 kg	1.116 kg
300 km	201 kg	268 kg	447 kg	115 kg	31 kg	502 kg	670 kg	1.340 kg
350 km	234 kg	313 kg	521 kg	134 kg	36 kg	586 kg	781 kg	1.563 kg
400 km	268 kg	357 kg	595 kg	153 kg	41 kg	670 kg	893 kg	1.786 kg
450 km	301 kg	402 kg	670 kg	172 kg	46 kg	754 kg	1.005 kg	2.010 kg
500 km	335 kg	447 kg	744 kg	191 kg	52 kg	837 kg	1.116 kg	2.233 kg
550 km	368 kg	491 kg	819 kg	211 kg	57 kg	921 kg	1.228 kg	2.456 kg
600 km	402 kg	536 kg	893 kg	230 kg	62 kg	1.005 kg	1.340 kg	2.679 kg
650 km	435 kg	581 kg	968 kg	249 kg	67 kg	1.089 kg	1.451 kg	2.903 kg
700 km	469 kg	625 kg	1.042 kg	268 kg	72 kg	1.172 kg	1.563 kg	3.126 kg
750 km	502 kg	670 kg	1.116 kg	287 kg	77 kg	1.256 kg	1.675 kg	3.349 kg
800 km	536 kg	715 kg	1.191 kg	306 kg	82 kg	1.340 kg	1.786 kg	3.573 kg
850 km	569 kg	759 kg	1.265 kg	325 kg	88 kg	1.423 kg	1.898 kg	3.796 kg
900 km	603 kg	804 kg	1.340 kg	344 kg	93 kg	1.507 kg	2.010 kg	4.019 kg
950 km	636 kg	848 kg	1.414 kg	364 kg	98 kg	1.591 kg	2.121 kg	4.242 kg
1.000 km	670 kg	893 kg	1.489 kg	383 kg	103 kg	1.675 kg	2.233 kg	4.466 kg
1.050 km	703 kg	938 kg	1.563 kg	402 kg	108 kg	1.758 kg	2.344 kg	4.689 kg
1.100 km	737 kg	982 kg	1.637 kg	421 kg	113 kg	1.842 kg	2.456 kg	4.912 kg
1.150 km	770 kg	1.027 kg	1.712 kg	440 kg	119 kg	1.926 kg	2.568 kg	5.136 kg
1.200 km	804 kg	1.072 kg	1.786 kg	459 kg	124 kg	2.010 kg	2.679 kg	5.359 kg

\*Nota: Tabla base de pesos de baterías para un vehículo de 1200 kg, cx=0,24, coef.rod.=0,008, y superficie frontal = 2,142 m<sup>2</sup>, sin tener en cuenta el aumento de peso propio de las baterías.

Tabla 16. Peso-autonomía de las baterías.

Como ya sabemos, el peso de las baterías es inversamente proporcional a su densidad energética, y por tanto a menor densidad energética mayor peso. Como se refleja la tabla, las baterías de plomo ácido son, así como su densidad energética indicaba, las más pesadas alcanzando para lo podríamos llamar una autonomía máxima media de los vehículos eléctricos actuales, 150 km, un peso de más de 330 kg.

Si nos fijamos en las baterías más comunes hoy en día, las de ión litio, vemos como para esa autonomía de 150 km el peso necesario es de 134 kg.

Pero como ya se ha comentado, todo esto es sin tener en cuenta el peso de la batería dentro del coche, ósea que para todos los casos que se reflejan en la tabla el coche pesa 1200 kg y realiza el mismo consumo energético durante el ciclo NEDC.

Para poder tener el peso real de una batería montada en el coche eléctrico necesitaremos introducir alguna modificación en la ecuación mostrada antes:

$$\text{Peso (kg)} = \frac{\text{autonomía a alcanzar (km)} \cdot \text{Energía} (\frac{Wh}{km})}{\text{densidad energética} (\frac{Wh}{kg})}$$

Habrá que introducir en el factor “Energía” una dependencia con el peso, y para ello necesitaremos conocer la energía consumida en el ciclo NEDC desde la batería para distintos pesos de vehículos eléctricos. Obteniendo estos datos de un trabajo realizado anteriormente:

Peso	Energía consumida ciclo NEDC
1200 kg	133,97 Wh/kg
1300 kg	141,7 Wh/kg
1400 kg	149,448 Wh/kg
1500 kg	157,19 Wh/kg
1600 kg	164,93 Wh/kg
1700 kg	172,67 Wh/kg

Tabla 17. Peso-consumo vehículos eléctricos.

\*Nota: Para un  $C_x=0,24$ ,  $\text{coef.rod.}=0,008$ , y superficie frontal =  $2,142 \text{ m}^2$ .

Graficando estos datos, se puede obtener la ecuación que proporciona la energía consumida en función del peso del vehículo:

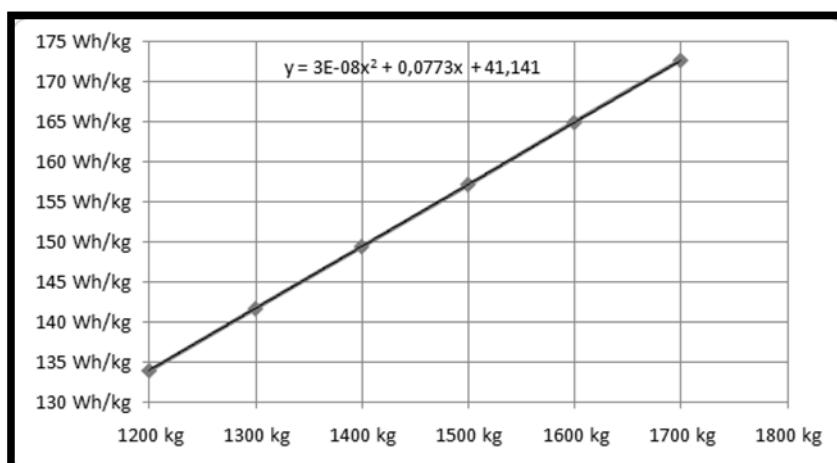


Figura 34. Gráfica de peso-consumo de un vehículo eléctrico.

Una vez tenemos la ecuación que nos proporciona la energía consumida en función del peso, la introducimos dentro de la otra expresión quedando de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Peso}}{\text{autonomía a alcanzar} \cdot [1200 + (3 \cdot 10^{-8} \cdot (\text{Peso batería}_{\text{autonomía a alcanzar}})^2) + 0'0773 \cdot \text{Peso batería}_{\text{autonomía a alcanzar}} + 41'141]} = \frac{\text{densidad energética}}{}$$

Se ha sustituido el término energía por el peso inicial del vehículo más la expresión anterior gráfica, donde el “Peso batería<sub>autonomía a alcanzar</sub>” será el valor de la tabla de peso de batería para una autonomía determinada aquí llamada “autonomía a alcanzar”. Como ejemplo operaremos con 150 km y baterías de ión litio (peso para esa autonomía de 134 kg), quedando:

$$\text{Peso} = \frac{150 \cdot [1200 + (3 \cdot 10^{-8} \cdot (134)^2) + 0'0773 \cdot 134 + 41'141]}{150} = 144 \text{ kg}$$

Si realizamos esta misma operación con toda la tabla de pesos anteriormente mostrada, obtendremos el peso real de batería que sería necesario para alcanzar la autonomía indicada.

Aplicando esto para la gasolina y el gasóleo (sin tener en cuenta el aumento de peso, ya que para estos dos casos se puede considerar despreciable frente al peso total del vehículo), obtenemos la siguiente tabla conjunta:

km	Polímeros de litio	ión litio	ZEBRA	Zinc-aire	Aluminio aire	Ni-Mh	Ni-Cd	Plomo ácido	Gasolina	Gasóleo
0 km	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
50 km	34 kg	46 kg	78 kg	19 kg	5 kg	88 kg	119 kg	252 kg	2 kg	2 kg
100 km	70 kg	94 kg	162 kg	39 kg	10 kg	184 kg	252 kg	562 kg	3 kg	4 kg
150 km	106 kg	144 kg	252 kg	59 kg	16 kg	288 kg	400 kg	929 kg	5 kg	5 kg
200 km	144 kg	197 kg	349 kg	80 kg	21 kg	400 kg	562 kg	1.354 kg	6 kg	7 kg
250 km	184 kg	252 kg	452 kg	101 kg	26 kg	520 kg	738 kg	1.836 kg	8 kg	9 kg
300 km	224 kg	309 kg	562 kg	122 kg	31 kg	648 kg	929 kg	2.377 kg	9 kg	11 kg
350 km	266 kg	369 kg	678 kg	144 kg	37 kg	784 kg	1.134 kg	2.974 kg	11 kg	12 kg
400 km	309 kg	431 kg	800 kg	167 kg	42 kg	929 kg	1.354 kg	3.630 kg	12 kg	14 kg
450 km	354 kg	495 kg	929 kg	189 kg	48 kg	1.082 kg	1.588 kg	4.343 kg	14 kg	16 kg
500 km	400 kg	562 kg	1.064 kg	213 kg	53 kg	1.242 kg	1.836 kg	5.114 kg	15 kg	18 kg
550 km	447 kg	631 kg	1.206 kg	236 kg	59 kg	1.411 kg	2.099 kg	5.943 kg	17 kg	20 kg
600 km	495 kg	702 kg	1.354 kg	260 kg	64 kg	1.588 kg	2.377 kg	6.829 kg	19 kg	21 kg
650 km	545 kg	775 kg	1.508 kg	285 kg	70 kg	1.773 kg	2.668 kg	7.774 kg	20 kg	23 kg
700 km	596 kg	851 kg	1.669 kg	309 kg	75 kg	1.966 kg	2.974 kg	8.776 kg	22 kg	25 kg
750 km	648 kg	929 kg	1.836 kg	335 kg	81 kg	2.167 kg	3.295 kg	9.835 kg	23 kg	27 kg
800 km	702 kg	1.009 kg	2.010 kg	360 kg	86 kg	2.377 kg	3.630 kg	10.953 kg	25 kg	28 kg
850 km	757 kg	1.092 kg	2.190 kg	386 kg	92 kg	2.594 kg	3.979 kg	12.129 kg	26 kg	30 kg
900 km	813 kg	1.177 kg	2.377 kg	413 kg	98 kg	2.820 kg	4.343 kg	13.362 kg	28 kg	32 kg
950 km	870 kg	1.264 kg	2.569 kg	440 kg	103 kg	3.053 kg	4.722 kg	14.653 kg	29 kg	34 kg
1.000 km	929 kg	1.354 kg	2.769 kg	467 kg	109 kg	3.295 kg	5.114 kg	16.002 kg	31 kg	36 kg
1.050 km	989 kg	1.446 kg	2.974 kg	495 kg	115 kg	3.545 kg	5.521 kg	17.409 kg	32 kg	37 kg
1.100 km	1.050 kg	1.540 kg	3.187 kg	523 kg	121 kg	3.803 kg	5.943 kg	18.874 kg	34 kg	39 kg
1.150 km	1.113 kg	1.636 kg	3.405 kg	552 kg	127 kg	4.069 kg	6.379 kg	20.396 kg	36 kg	41 kg
1.200 km	1.177 kg	1.735 kg	3.630 kg	581 kg	132 kg	4.343 kg	6.829 kg	21.977 kg	37 kg	43 kg

Tabla 18. Peso-autonomía con el peso de las baterías incluidas en el vehículo.

Como vemos, incluir la batería dentro del vehículo afecta considerablemente al peso de la misma. En la batería de ión litio hemos pasado para una autonomía de 150 km de 134 kg a 144 kg, que no parece mucho pero que es un aumento del 7'5%.

Este efecto afecta más a aquellas baterías con menor densidad energética, y como ejemplo de esto, en la de Plomo-ácido para una autonomía también de 150 km se pasa de los 670 kg a los 929 kg, un aumento de más del 38 %.

Aunque lo más sorprendente se encuentra para una autonomía de 1200 km, donde en las baterías de ión-litio pasamos de 1072 kg a 1735 kg (aumento del 61'8%), y en las de plomo-ácido de 5359 kg a la increíble cifra de 21977 kg, un brutal aumento del 310 %.

Todo esto se puede apreciar muchísimo mejor en la siguiente gráfica donde se comparan todas las baterías, mostrando la curva Peso-autonomía.

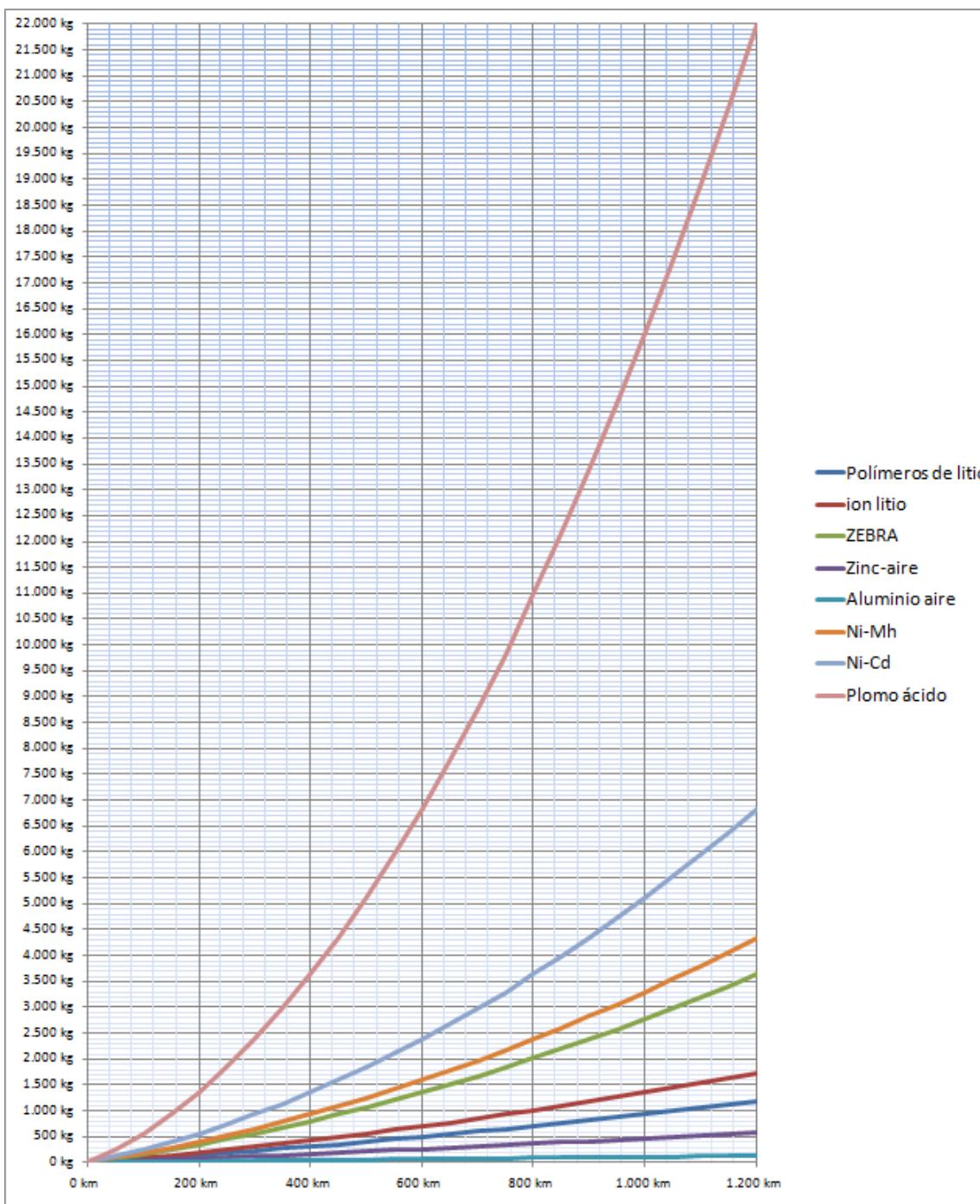
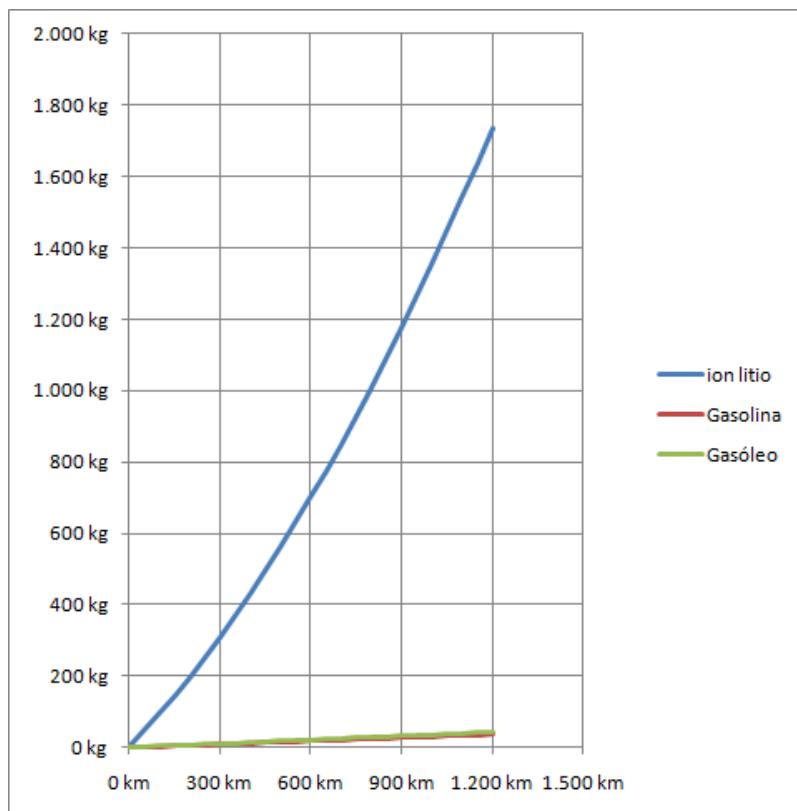


Figura 35. Gráfica peso-autonomía de baterías.

Aquí es donde vemos claramente cuál es la batería más o menos ventajosa en cuanto a peso se refiere.

La de plomo-ácido, como ya se ha dicho, es la que menos, pero existe una que destaca claramente por su alta densidad energética y su bajo peso, la batería de aluminio-aire. Esta tiene grandes problemas como su estabilidad, su alta corrosión interna y su elevado coste, que aunque como ya se dijo, se van haciendo avances, de momento no son suficientes para aplicaciones comerciales.

También se aprecia como las baterías de ión-litio no son las que mejor características de peso-autonomía tiene, y que se encuentran en una zona intermedia. Pero aún teniendo una peor relación que otros tipos de baterías, son las que mejor se adaptan a la industria del automóvil por tener menor número de problemas y algunas ventajas en su confección final. Comparándolas directamente con la gasolina y el gasóleo vemos cual es el problema actual de los vehículos eléctricos.



**Figura 36.** Gráfica comparativa peso-autonomía de combustibles con baterías.

Donde la gasolina y el gasóleo se superponen, teniendo valores similares, las baterías de ión litio disparan su peso en un orden cerca de 30 veces superior para la autonomía media que alcanzan los vehículo eléctricos actuales.

Todo este pequeño estudio refleja lo que ya se sabía, que los vehículos eléctricos de hoy en día, adolecen de baterías con pobres relaciones peso-autonomía, lo que los hace ser un sector nuevo y muy específico dentro de la automoción. Y aunque existen tecnologías muy prometedoras, hasta que estas no resuelvan todos sus problemas (estabilidad, densidad energética y sobre todo coste) no se podrán considerar al vehículo eléctrico puro como un competidor directo del vehículo de combustión interna.



**ANEXO 4:**

**SISTEMAS DE RECARGA Y CONECTORES**



# ANEXO 4: Sistemas de recarga y conectores.

Así como los vehículos de combustión interna utilizan gasolineras para repostar y llenar sus depósitos de combustible, el vehículo eléctrico tiene el problema de no contar con una red de sitios a nivel nacional donde recargar sus baterías a día de hoy.

Existen postes de carga instalados y que ya en funcionamiento en nuestras ciudades, cerca de 500. Estos son normalmente monofásicos, aunque ya empieza a haber postes trifásicos colocados por Endesa con 22 kW y 32 A. El primer poste de carga rápida que instalado en Barcelona llega a una potencia de 50 kW, por lo que el tiempo estimado de la recarga total de la batería antes citada de 16 kWh sería de unos 20 minutos.

Existen otros proyectos en España para la instalación de electrolineras:

- Valladolid y Palencia son las elegidas para iniciar la colocación de las electrolineras en un proyecto de Castilla y León, que se extenderán hasta el 2015 a los 20 municipios con mayor población de la comunidad.
- Salamanca, León y Burgos serán las siguientes capitales en contar con estos puntos de recarga, colocando uno cada 10.000 habitantes, aproximadamente. En toda la Comunidad se instalarán 300 puntos de recarga en la vía pública.
- El proyecto Movele lleva instalados mas 200 puntos de recarga en 83 localizaciones de 37 ciudades, aunque su objetivo inicial era llegar a los 500 puntos.
- En 17 localidades españolas, entre las que se encuentran Sevilla, Málaga, Cádiz, Madrid, Alicante, Asturias, Valencia, Vizcaya, Vigo, Pontevedra y Barcelona, tienen previsto instalar en 19 centros comerciales gestionados por la multinacional de servicios inmobiliarios Jones Lang LaSalle, puntos de recarga para usuarios con vehículos eléctricos.

Para consultar todos los puntos de recarga instalados a nivel nacional, se puede acudir a la siguiente web: <http://www.precio-gasolina.com/electrolineras>

Cuando se extiendan por el mercado los vehículos eléctricos, y sobre todo de vehículos híbridos enchufables, estos puntos se irán expandiendo a lo largo de toda la geografía española, aunque actualmente la realidad sea que la mayoría de los ciudadanos desconoces de su existencia y ubicación, y en muchas ciudades aún no ha sido instalado ni uno solo de estos puntos.

Otro punto sobre el que también hay que hablar cuando se habla sobre cargadores y tomas de carga es la problemática actual de la completa inexistencia de estándares de carga, tanto en sistemas de recarga como en sus conectores y enchufes.

Actualmente se usan distintos estándares para la recarga de los vehículos eléctricos enchufables, lo que se traduce en una fragmentación del mercado para este tipo de vehículos.

Contar con un sistema de recarga universal facilitaría el desarrollo de iniciativas privadas relacionadas con el soporte técnico o de carga a coches eléctricos. La estandarización reducirá la complejidad de instalación para los fabricantes, acelerará el proceso de implantación de sistemas comunes y mejorará la satisfacción de uso de los conductores de vehículos eléctricos.

### **Sistema de recarga SAE J1772.**

El sistema de recarga SAE J1772, fue desarrollado por el proveedor Yazaki, y es uno de esos sistemas de conexión que podría transformarse en el enchufe universal. En el año 2009 fue apoyado por Volkswagen, BMW, Tiat, Chrysler, Ford, Toyota, Honda, Nissan, Mitsubishi, Tesla y General Motors, que confirmó que el Chevrolet Volt incluirá este sistema de carga.

El sistema en realidad es un compendio de los distintos sistemas de carga de las marcas. Este integra todas las posibilidades de carga en un solo conector, lo que posibilitará que los coches que tengan este tipo de entrada compartan estaciones de carga. Es especialmente cuidadoso con la transmisión de electricidad para evitar su gasto innecesario, así como con la seguridad de quien manipula el dispositivo, dos de las principales demandas de las marcas que apoyan su uso.

El enchufe SAE J1772, con tres puntos de carga, permitirá la carga de cualquier vehículo que lo incluya en tomas de corriente de 120 y 240 voltios. El conector del SAE J1772 se basa en un enchufe diseñado por Yazaki, y permite un incremento de potencia de hasta 19'2 kW, suministrados vía corriente monofásica (120-240 V AC monofásica y hasta 80 A).

Cuenta con un conector redondo de 43 mm de diámetro y tiene cinco pines. Soportará un canal de comunicaciones a través de la línea eléctrica para identificar al vehículo y controlar su carga, y ha sido diseñado para soportar hasta 10.000 ciclos de conexión/desconexión y exposición a cualquier clase de elementos. Con un ciclo normal de conexión/desconexión diario (una conexión al día), la vida promedio sería de unos 27 años. También ha sido diseñado para su uso con tomas de 200-450 voltios de DC (200 A y 90 kW), que permitirá reducir el tiempo de recarga desde las horas necesarias con un enchufe convencional a sólo unos minutos.

### **Sistema de recarga CHAdeMO.**

Otro sistema de recarga utilizado por marcas japonesas es el sistema CHAdeMO. Este es su nombre comercial, y se trata de un método de carga rápida para vehículos eléctricos de batería, que ofrece hasta 62'5 kW de potencia a través de un conector eléctrico especial. Ha sido propuesto como otro sistema estándar para la industria mundial de vehículos eléctricos por la asociación que lleva el mismo nombre.

CHAdeMO es una abreviatura de "CHArge de MOve", lo que traducido significa "Cargue para moverse". También es un juego de palabras en japonés "*O cha demo de ikaga desuka*" que significa "¿Qué tal un poco de té?" refiriéndose a hacer algo rápido mientras el vehículo se carga.

La alianza para este conector fue formada por las empresas, Energía eléctrica de Tokio (TEPCO), Nissan, Mitsubishi y Fuji (fabricante de Subaru). Más tarde se unió Toyota.

Las especificaciones de este sistema son:

- Tipo de corriente: Corriente continua (DC o CC)
- Máxima potencia de salida DC: 62'5 kW
- Máxima tensión en bornes de salida: 600 V
- Intensidad máxima: 100 A

El enchufe de este sistema de carga está especificado por la norma G105-1993 de JEVS (Japan Electric Vehicle Standard) del instituto de investigación de automóviles de Japón.

Al igual que SAE J1772, el conector también incluye una conexión de datos para funciones tales como, un bloqueo de seguridad para evitar la activación de los conectores antes de que sea seguro, transmisión de los parámetros de la batería a la carga estación incluyendo cuándo dejar de cargar, tensión, capacidad total de la batería, y como debe actuar la estación durante la carga. Todos esos datos que se necesitan para realizar correctamente el proceso de carga de la batería.

El Nissan Leaf es un vehículo que utiliza los dos sistemas de recarga hasta ahora mencionados. Para la recarga estándar el SAE J1772 y para la carga rápida el CHAdeMO.

### **Sistema de recarga EV Plug Alliance.**

La EV Plug Alliance se formó en marzo de 2010 por 28 compañías eléctricas de Francia e Italia. Estas proponen un enchufe derivado de los conectores SCAME que se usan en vehículos eléctricos ligeros. Este conector es capaz de proporcionar carga trifásica a una intensidad de hasta 32 A. Al estar limitado el enchufe a 32 A, le permite ser el más barato de todos los sistemas en cuanto a costes de instalación. Además, por sus características, sería la mejor opción para la toma de pared o de caja de los postes de carga.

Las características de este sistema son:

- 7 pines: L1, L2, L3, N, PE, CP, PP
- Conexión mono (12'8 kW) o trifásica (22 kW) con el mismo conector.
- Grado de protección IPXXB: toma con bloqueo de la clavija y la tapa de la toma que imposibilita el acceso a las partes en tensión.
- Máxima potencia de salida máxima AC: 22 kW
- Máxima tensión en bornes de salida: 100 V a 500 V
- Intensidad máxima: 32 A

### **Sistema de recarga Mennekes (VDE-AR-E 2623-2-2).**

Por último el sistema Mennekes que ha sido la elección reciente (septiembre de 2011) de la Asociación Europea de Constructores de Automóviles (ACEA). Esta asociación ha acordado presentar un conjunto de recomendaciones para estandarizar la carga de los vehículos eléctricos. La propuesta permitiría el uso de un único enchufe, independientemente

del país, fabricante o compañía eléctrica, y el estándar elegido ha sido el sistema de recarga Mennekes.

La elección se ha debido en gran parte a que este sistema puede realizar tanto recarga lenta como rápida en corriente continua (CC) o en alterna (CA), por lo que puede combinar en un único enchufe la recarga estándar en CA y recarga rápida, tanto en CA y CC. Esto garantiza la interoperabilidad en la UE y cumplir todos los requisitos de la norma ISO/IEC de seguridad.

Las características de este sistema son:

- 7 pines: L1, L2, L3, N, PE, CP, PP
- Conexión mono o trifásica con el mismo conector.
- Grado de protección IPXXB según la Norma IEC 61851-1, es posible acceder a las partes en tensión de la toma por lo que hay que implantar un seleccionador aguas arriba AC22, que bloquea la clavija pero no la tapa de la toma.
- Máxima potencia de salida AC: 43'5 kW
- Máxima tensión en bornes de salida: 100 V a 500 V
- Intensidad máxima: 62 A

Como se especifica arriba, este sistema es capaz de ofrecer potencias desde los 3 kW (16 A en una sola fase, recarga estándar) a los 43 kW (62 A en trifásica, recarga rápida).

Además otros de los motivos principales de su elección frente al sistema CHAdeMO (que puede ofrecer potencias superiores de hasta 62'5 kW), ha sido el coste de instalación de los puntos de recarga, que en el caso CHAdeMO puede llegar a ser hasta 10 veces superior que el del sistema Mennekes (se estiman los costes en unos 2000 € por punto de carga).

### **Sistema de cambio rápido de baterías (o sistema QuickDrop de Renault).**

Otro método considerado dentro de los sistemas de “recarga” para los vehículos eléctricos, y que evitaría la problemática de los conectores (aunque introduciría otras), es el sistema de cambio rápido de batería, como por ejemplo el QuickDrop de Renault.

En este sistema la batería va colocada en el coche de modo que se puede quitar y poner desde debajo, con un sistema automatizado, en unos tres minutos de tiempo. Este cambio se haría en electrolineras (Ya existe una marca registrada para este tipo de electrolineras, las llamadas Better Place). El proceso sería tan sencillo como entrar con tu coche y la batería descargada en la electrolinera, realizar el cambio en tres minutos, y salir con tu batería completamente cargada teniendo para otros tantos kilómetros de autonomía mas (la que te proporcionen tus baterías).

Para utilizar el sistema de cambio de batería, el propietario, en lugar de comprar la batería junto con el coche, paga una cuota mensual por su uso y mantenimiento. Esta mensualidad depende del número de kilómetros anuales que haga el coche. Además de poder cambiarla tantas veces le sea necesario en una electrolinera, el fabricante se hará cargo de sustituir la

batería del coche cuando esta llegue al final de su vida útil, sin que el propietario tenga que pagar por una nueva.

Esta es la opción por la que apuesta Renault. Supone una ventaja muy interesante ya que el precio de compra del coche eléctrico se reduce notablemente respecto a uno similar con la batería en propiedad. La batería de iones de litio de un coche eléctrico, a día de hoy, puede costar entre 8.000 y 12.000 euros (según el modelo). Es lo más caro del coche.

A pesar de sus beneficios, son demasiadas las sombras que se ciernen sobre este formato de recarga. Este se ve empañado por suponer un sistema cerrado que obligará a los constructores a adaptar sus vehículos para ser compatibles con una tecnología propiedad de una sola empresa. Además está el tema del alquiler de las baterías, ya que los usuarios no serán propietarios de las mismas sino que estarán atados a un alquiler mensual, lo que seguro no gustará a mucha gente.

Pero el peligro más importante que se ciernen sobre el sistema de cambio de baterías son los puntos de recarga rápida que no paran de extenderse, lo que permitirá a muchos usuarios recorrer distancias moderadas con una batería media. Además también están los sistemas de inducción que permiten recargar nuestras baterías incluso sin necesidad de detener el vehículo y de los que se hablará a continuación.

### Sistemas de recarga por inducción.

La recarga por inducción es otro de los futuros sistemas de recarga de vehículos eléctricos. Este sistema es posible gracias a la transmisión de la electricidad por inducción electromagnética, un fenómeno descubierto por Michael Faraday en el siglo XIX.

La inducción electromagnética es un fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m.) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático.

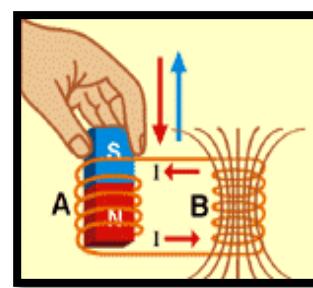


Figura 37. f.e.m.

Por ejemplo, si se mueve un imán permanente por el interior de las espiras de una bobina solenoide (A), formada por espiras de alambre de cobre, se genera de inmediato una fuerza electromotriz (f.e.m.), es decir, aparece una corriente eléctrica fluyendo por las espiras de la bobina, producida por la "inducción magnética" del imán en

movimiento. Si al circuito de esa bobina (A) le conectamos una segunda bobina (B) a modo de carga eléctrica, la corriente al circular por esta otra bobina creará a su alrededor un "campo electromagnético", capaz de inducir, a su vez, corriente eléctrica en una tercera bobina (C).

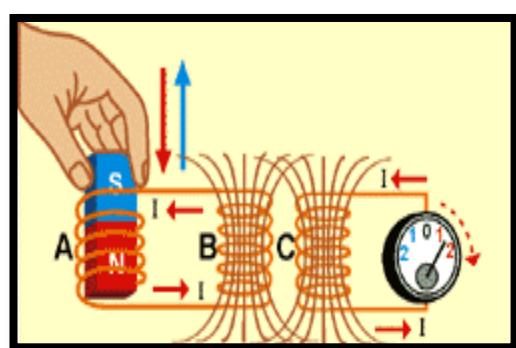


Figura 38. Inducción.

Es decir, que el "campo magnético" del imán en movimiento produce "inducción magnética" en el enrollado de la bobina (B), mientras que el

“campo electromagnético” que crea la corriente eléctrica que fluye por el enrollado de esa segunda bobina produce “inducción electromagnética” en una tercera bobina (*C*) que se coloque a su lado, como se puede apreciar en la imagen ilustrativa.

Trasladando este ejemplo a un vehículo eléctrico, tendríamos una base inductora (lo que en el ejemplo anterior eran A y B) y un receptor (*C* en el ejemplo anterior). La base se situaría en el suelo en el lugar donde aparcamos para *repostar* y estaría alimentada por la red eléctrica. Esta base contiene una bobina que, al ser atravesada por corriente eléctrica de la red, genera un campo electromagnético que alcanza la parte inferior de nuestro vehículo, donde va colocado el receptor (*C*), que transforma la energía del campo electromagnético en electricidad. Y de ahí, a las baterías.

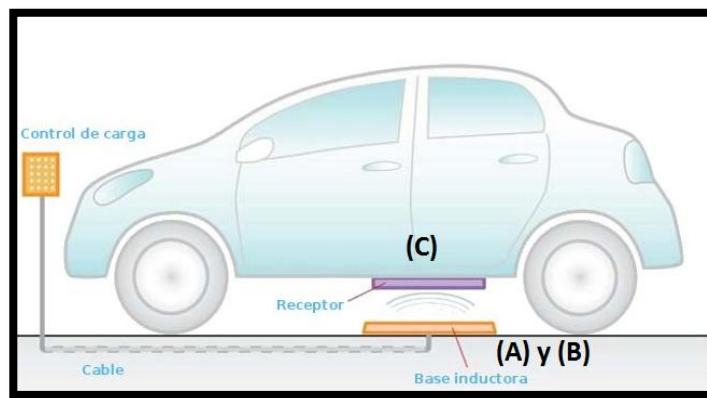


Figura 39. Carga por inducción.

El sistema cuenta con más de un inconveniente. El primero de ellos es la instalación de la placa inductora en el suelo del lugar de carga, que se asemeja al problema de los conectores. La fabricación e instalación de la misma puede ser más compleja y costosa que la de un enchufe o conector, y derivará en los mismos problemas de incompatibilidades entre marca mientras no exista y se acuerde un sistema universal.

Otro problema es la pérdida de energía durante la transmisión. Cuanto mayor es la distancia entre ambos elementos, placa inductora y receptor, mayor es la pérdida energética.

Normalmente la transmisión de energía eléctrica por inducción para la recarga de las baterías de vehículos eléctricos se realiza a una distancia de entre 5 y 40 cm.

La eficiencia de este sistema de recarga se encuentra entre el 90% y el 94%, y aunque es un rendimiento muy elevado, es inferior al de los conectores por contacto directo donde la eficiencia es cercana al 100%.

Su mayor ventaja se encuentra en que a no necesitar ser conectado por una persona, el sistema se podría automatizar totalmente. Esto se traduciría en mayor comodidad para el usuario y en tener la batería del vehículo siempre a punto, sin la posibilidad de que este se olvidase de conectarla y activar el sistema de recarga. Además también se están estudiando posibles derivaciones de este sistema para la carga de un vehículo en movimiento, aunque para llegar a esto queda mucho por delante.

## **Conectores de puntos de recarga en España.**

En nuestro país la mayor parte de los instaladores han optado por la sencillez y no se están montando ninguno de los formatos anteriores. Los conectores de recarga montados aquí

son simples enchufes Schuko, como los que podemos encontrar en cualquier vivienda y que funcionan sin problemas hasta los 230 V y 16 A. Estos tienen el problema de que son incompatibles con las recargas rápidas, y por lo tanto cargar un vehículo con ellos costará varias horas.

## Comparación de los sistemas de recargar.

Como se ha podido ver, en la actualidad existen múltiples sistemas de recarga y conectores, además de algunos especiales con vistas al futuro. En la siguiente tabla podemos ver un resumen de las características soportadas por cada uno de ellos.

Tipo de carga	SAE J1772		CHAdeMO	EV Plug		Mennekes	
	Estándar (Monofásica)	Rápida	Rápida	Estándar (Monofásica)	Rápida (Trifásica)	Estándar (Monofásica)	Rápida (Trifásica)
Potencia Max.	19,2 kW	90,0 kW	62,5 kW	12,8 kW	22,0 kW	3,1 kW	43,5 kW
Intensidad Max.	80 A	200 A	125 A	32 A	32 A	16 A	62 A
Voltaje	120 V - 240 V	200 V - 400 V	500 V	100 V - 500 V	100 V - 500 V	120 V - 240 V	100 V - 500 V
Tipo de corriente	AC	DC	DC	AC	AC	AC	AC

Tabla 19. Características de los sistemas de recarga.

Los sistemas elegidos por los fabricantes japoneses, SAE J1772 y CHAdeMO, son los que cuentan con una carga estándar más rápida y también una carga rápida más rápida. El sistema franco-italiano, el EV plug, se encuentra en un punto medio, mientras que el sistema elegido por la gran mayoría de los fabricantes europeos y que puede que sea el que finalmente se alce con el trofeo de sistema de recarga universal, es el que cuenta con unas características más estandarizadas y compatibles con las redes eléctricas actuales en Europa, aunque no es el más rápido en cuanto a los tiempos de carga.

Si se tuviese que recargar un vehículo eléctrico actual, supongamos que contase con unas baterías de unos 20 kWh para una autonomía media de 150 km, con cada uno de estos sistemas, el tiempo que se tardaría con cada uno de ellos (suponiendo que recargasen con la máxima potencia) sería el siguiente:

Tipo de carga	SAE J1772		CHAdeMO	EV Plug		Mennekes	
	Estándar (Monofásica)	Rápida	Rápida	Estándar (Monofásica)	Rápida (Trifásica)	Estándar (Monofásica)	Rápida (Trifásica)
Tiempo de carga	1,04 horas	13 minutos	19 minutos	1,56 horas	55 minutos	6,45 horas	28 minutos

Tabla 20. Tiempo de carga con cada sistema.

Estos tiempos se han obtenido con los amperajes e intensidades más altos (potencias máximas), pero luego puede que el sistema de carga se disponga en una localización donde la red no pueda proporcionar estos valores.

Para comparar con la recarga de un depósito de combustible, centrándose en el sistema elegido por los fabricantes europeos, el sistema de recarga Mennekes, se calcularán el tiempo de carga para las distintas potencias que este sistema nos puede proporcionar. Ya que este sistema trabaja exclusivamente con corriente alterna, deberemos primero obtener el factor de potencia para así poder calcular las distintas potencias para los distintos amperajes y voltajes.

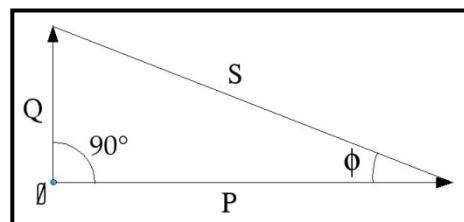


Figura 40. Triángulo de potencias.

El factor de potencia de un circuito de corriente alterna es la relación que existe entre la potencia aparente ( $S$ ) y la potencia activa ( $P$ ).

Este factor se obtiene de la siguiente forma:

$$f.d.p \equiv \cos \phi = \frac{P}{S}$$

La potencia de un sistema de corriente alterna monofásica es:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi$$

La potencia para un sistema de corriente alterna trifásica es:

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi$$

Por lo tanto, conociendo que el sistema Mennekes de carga rápida (trifásico) tiene una  $P_{MAX}=43'5$  kW para 500 V y 62 A, el f.d.p. será:

$$43.500 = \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 62 \cdot \cos \phi \rightarrow f.d.p \equiv \cos \phi = 0'81$$

Tomando los distintos voltajes e intensidades del sistema de recarga obtenemos las siguientes potencias:

MENNEKES	Intensidad	Voltaje	f.d.p.	fases	Potencia
mennekes A	16 A	120 V	0,81	monofásica	1,55 kW
mennekes B	16 A	240 V	0,81	monofásica	3,10 kW
mennekes C	62 A	100 V	0,81	trifásica	8,69 kW
mennekes D	62 A	500 V	0,81	trifásica	43,50 kW

Tabla 21. Potencias para el sistema MENNEKES.

Para la misma batería anteriormente comentada de 20 kWh, suponiendo que para un repostaje de combustible el tiempo de llenado fuese de unos 3 minutos, y añadiendo también

a la comparación el sistema de cambio de baterías QuickDrop al que también se le suponen unos 3 minutos, la comparación quedaría de la siguiente forma:

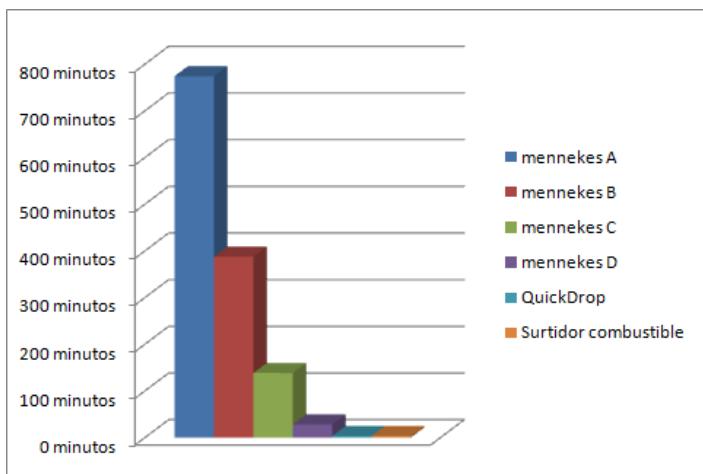


Figura 41. Tiempos de carga.

	TIEMPO DE RECARGA
mennekes A	774 minutos
mennekes B	387 minutos
mennekes C	138 minutos
mennekes D	28 minutos
QuickDrop	3 minutos
Surtidor combustible	3 minutos

Tabla 22. Tiempos de carga.

Se ve como claramente de los sistemas de baterías, el QuickDrop es el único que puede hacer sombra al repostaje de combustible, pero como ya se dijo tiene muchas barreras que superar. En cuanto al sistema Mennekes, vemos que con el Mennekes C y D se tarda un tiempo razonable, aunque mucho más lento que el surtidor, y los otros dos tienen un tiempo excesivo para ser instalados en puntos de recarga en el ámbito urbano.



**ANEXO 5:**

**ESTADO ACTUAL DE LOS VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS ENCHUFABLES**



# ANEXO 5: Estado actual de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables.

Actualmente en el mercado no existe una amplia gama de vehículos eléctricos e híbridos a la venta. La realidad es que son muy pocos los que realmente se pueden adquirir.

Además no son vehículos para todo tipo de usos, ya que como veremos su autonomía, además de variar mucho en función de la forma de conducción, deja mucho que desear comparada con los gasolina o diesel de toda la vida.

Para conocer los vehículos que actualmente, y en un futuro cercano, se van a vender, se puede acudir al catálogo MOVELE (proyecto piloto de MOVilidad ELEctríca) donde encontraremos información detallada sobre los mismo y la subvención del gobierno que se percibirá por la adquisición de uno de ellos (actualmente todas ayudas asignadas han sido eliminadas del catálogo).

A continuación faremos un repaso a los vehículos del catálogo MOVELE que podemos encontrar a día de hoy o muy próximamente en el mercado.

## Think City.

Se tratar del primer vehículo totalmente eléctrico puesto a la venta en nuestro país. Está diseñado para una movilidad urbana aunque tiene una velocidad punta de 120 km/h. Viendo sus características podríamos pensar que debido a su baja potencia, monta un motor de corriente continua, pero si nos fijamos en el voltaje de trabajo no daremos cuenta de que se trata de un pequeño motor de corriente alterna, que en este caso es un asíncrono de tres fases. Además cuenta con opciones de montar dos tipos de baterías de capacidades similares (ion-litio y níquel-sodio). Su precio supera los 25.000 euros con ayudas incluidas.



Figura 42. Think City.

- *Vehículo Eléctrico (BEV).*
- *Potencia eléctrica máxima: 30 kW.*
- *Autonomía eléctrica: 160 km.*
- *Peso: 1115 kg.*
- *Capacidad batería: 65 Ah.*
- *Voltaje: 371 V.*

- *Consumo: 144 Wh/km.*
- *Energía autonomía completa: 23 kWh.*
- *Capacidad: 24'1 kWh.*
- *Rendimiento: 95'5%.*

## Tesla Roadster.

En este caso hablamos de uno de los mejores vehículos eléctricos actuales y que al igual que el anterior también se encuentra a la venta. Se trata de un deportivo con unas características sobresaliente tanto en potencia como en autonomía. Monta un motor de corriente alterna asíncrono y lleva baterías de ion-litio de gran capacidad. Para poder adquirirlo en España, además de tener que desembolsar más de 100.000 euros, tendremos que homologarlo individualmente.



**Figura 43.** Tesla Roadster.

- *Vehículo Eléctrico (BEV).*
- *Potencia eléctrica máxima: 215 kW.*
- *Autonomía eléctrica: 390 km.*
- *Consumo: 135 Wh/km.*
- *Energía autonomía completa: 52'65 kWh.*
- *Peso: 1238 kg.*
- *Capacidad batería: 147 Ah.*
- *Voltaje: 375 V.*
- *Capacidad: 55'1 kWh.*
- *Rendimiento: 95'5%.*

## Mitsubishi i-miev.

Se trata de un pequeño utilitario eléctrico ya a la venta en España con un precio cercano a los 35.000 euros. Lleva un motor asíncrono de imanes permanentes y baterías de ion-litio, y su uso tanto por autonomía como por tamaño es básicamente urbano.



**Figura 44.** Mitsubishi i-miev.

- *Vehículo Eléctrico (BEV).*
- *Potencia eléctrica máxima: 47 kW.*
- *Autonomía eléctrica: 150 km.*
- *Consumo: 100 Wh/km.*
- *Energía autonomía completa: 15 kWh.*
- *Peso: 1110 kg.*
- *Capacidad batería: 50 Ah.*
- *Voltaje: 330 V.*
- *Capacidad: 16'5 kWh.*
- *Rendimiento: 90'91%.*

### Nissan Leaf.

Este vehículo eléctrico se puso a la venta en mayo a un precio de unos 30.000 euros. Como se ve en la imagen se trata de un vehículo de mayores dimensiones y peso que los anteriores, y por lo tanto cuenta con un motor de mayor potencia y mayor capacidad de baterías. A diferencia de los vehículos anteriores, aunque seguimos contamos con un motor de corriente alterna, en este caso es síncrono de imanes permanentes. Las baterías son también de ion-litio.



**Figura 45.** Nissan Leaf.

- *Vehículo Eléctrico (BEV).*
- *Potencia eléctrica máxima: 80 kW.*
- *Autonomía eléctrica: 105 km.*
- *Consumo: 173 Wh/km.*
- *Energía autonomía completa: 18 kWh.*
- *Peso: 1525 kg.*
- *Capacidad batería: 66 Ah.*
- *Voltaje: 360 V.*
- *Capacidad: 23.7 kWh.*
- *Rendimiento: 76'5%.*

### Opel Ampera/Chevrolet Volt.

En este caso ya no hablamos de un eléctrico puro sino mas bien de un eléctrico de rango extendido o híbrido en serie, donde tenemos un motor eléctrico para la tracción y un motor de gasolina para alimentar las baterías y ampliar así la autonomía. Este vehículo llegará al mercado español a principios de 2012 con un precio cercano a los 42.000 euros.



Figura 46. Opel Ampera/Chevrolet Volt.

- *Vehículo Eléctrico de Autonomía Ampliada (REEV).*
- *Potencia eléctrica máxima: 111 kW.*
- *Autonomía eléctrica: 60 km (+500 km gasolina)*
- *Consumo: 133 Wh/km.*
- *Energía autonomía completa: 8 kWh.*
- *Peso: 1694 kg.*
- *Capacidad batería: 45 Ah.*
- *Voltaje: 370 V.*
- *Capacidad: 16'65 kWh.*
- *Rendimiento: 47'93 %.*

### Toyota Prius Plug-in Hybrid.

Por último tenemos al híbrido por excelencia, que pretende sacar una versión enchufable del mismo para 2012. Será el mismo vehículo con un motor a gasolina de ciclo atkinson y motor eléctrico síncrono de imanes permanentes trabajando en configuración mixta, pero con unas baterías de ion-litio de mayor capacidad.



Figura 47. Toyota Prius Plug-in Hybrid.

- *Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV).*
- *Potencia eléctrica máxima: 60 kW.*
- *Autonomía eléctrica: 23'4 km (+800 km gasolina)*
- *Consumo: 152 Wh/km.*
- *Energía autonomía completa: 3'55 kWh.*
- *Peso: 1577 kg.*
- *Capacidad batería: 15 Ah.*
- *Voltaje: 345 V.*
- *Capacidad: 5'15 kWh.*
- *Rendimiento: 68'7%.*

Como se puede apreciar en todos los modelos que se han puesto a la venta, o se van a poner a la venta próximamente, no existe una tendencia homogénea en el tipo de vehículo, lo que nos indica que los fabricantes aún no tienen claro hacia donde debe ir el mercado.

Si nos fijamos en los datos técnicos obtenemos lo siguiente:

	Pot. Electrica (kW)	Autonomía (km)	Consumo (Wh/km)	Energia (kWh)	Peso (kg)
<b>Máxima</b>	215,0	390,0	173,0	52,7	1694,0
<b>Mínima</b>	30,0	23,4	100,0	3,6	1110,0
<b>Media</b>	79,6	143,6	135,6	19,1	1311,1

Tabla 23. Datos vehículos eléctricos.

	Capacidad (Ah)	Voltaje (V)	Capacidad (kWh)	Rendimiento (%)
<b>Máxima</b>	147,0	375,0	55,1	98,5
<b>Mínima</b>	15,0	330,0	5,2	47,9
<b>Media</b>	61,0	351,4	21,8	83,8

Tabla 24. Datos vehículos eléctricos.

Todos ellos utilizan motores eléctricos de corriente alterna y batería de ión-litio, y en cuanto a la potencia podríamos decir que son variadas, yendo desde los 40 cv del Think a los más de 290 cv del Tesla.

Lo que sí que queda claro viendo los distintos tamaños de estos vehículos es, que su peso es mucho mayor que otros de su mismo segmento gasolina o diesel, lo que nos indica la baja densidad de energía que tienen las baterías, y el lastres que suponen para poder alcanzar una buena autonomía.

La conclusión que podríamos obtener es que si se decide la compra de un vehículo puramente eléctrico, su uso debe ser fundamentalmente para ciudad, debido a que los rangos de autonomía que nos proporcionan (el Tesla es un excepción) actualmente, harán que no pueda ser el sustituto de uno de combustión interna.



## **ANEXO 6:**

### **CICLOS DE CONDUCCIÓN ESTÁNDAR**



# ANEXO 6: Ciclos de conducción estándar.

Los ciclos de conducción estándar están normalizados a nivel internacional, en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Son llamados Starndar Driving Cycles o Ciclos de prueba de emisiones (Emissions Test Cycles), y hay que mencionar que se realizan siempre suponiendo que el coche circula con pendiente cero.

Los hay de dos tipos, ciclos transitorios (transient cycles), que son los ciclos que tratan de representar la realidad de manera fidedigna, y los ciclos modales (modal cycles), que son los ciclos teóricos basados en tramos de aceleraciones y velocidades constantes. Los transitorios son más empleados en los Estados Unidos y por contra, los modales lo son en Europa y Japón.

Como ejemplos de ciclos internacionales, estadounidenses y japoneses, tenemos:

## **Internacionales.**

### **World Harmonized Transient Cycle (WHTC).**

Se trata de un ciclo transitorio de 1800 segundos, en el que están normalizados tanto el par como la velocidad. Se basa en un patrón para vehículos pesados de todo el mundo y fue elaborado por la CEPE GRPE GROUP.

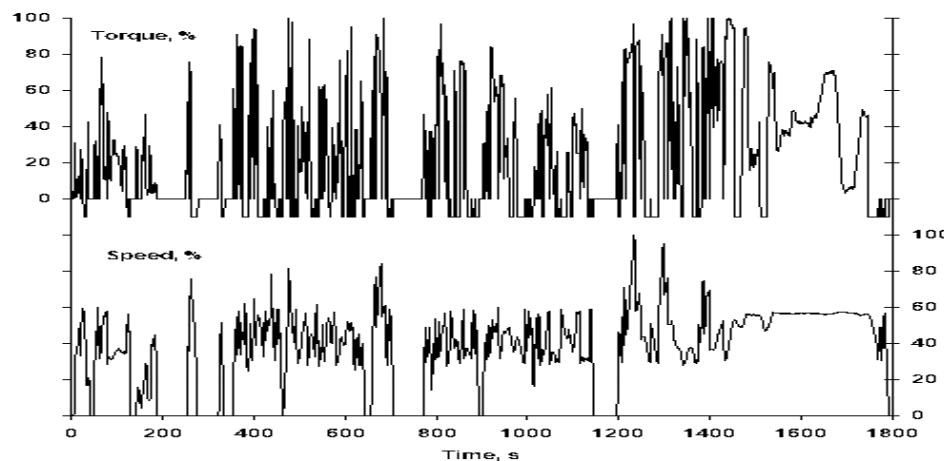


Figura 48. Ciclo WHTC.

## **Estados Unidos.**

Son los ciclos realistas, pero debido a esto ello son los mas difíciles de simular, ya que para cada segundo se tiene una velocidad del vehículo distinta, el ciclo es transitorio. Uno de los primeros que hubo fue el ciclo LA-4 basado en el flujo de tráfico de Los Ángeles y desarrollado en la década de los 70 del siglo XX. Actualmente, se utilizan los ciclos FTP 72, SFUDS, FTP 75, HFEDS, IM 240, LA-92, NYCC y US 06

**FTP 72.**

Ciclo transitorio que simula una ruta urbana de 12,07 km (7,5 millas) con paradas frecuentes. La velocidad máxima es de 56'7 km/h y la media de 19'6 km/h. El ciclo consta de dos fases. En la primera fase comienza con el arranque en frío y entre esta y la siguiente se para el motor durante 10 minutos. Además se aplican una serie de factores de ponderación, 0'43 y 0'57, a la primera y segunda fase respectivamente.

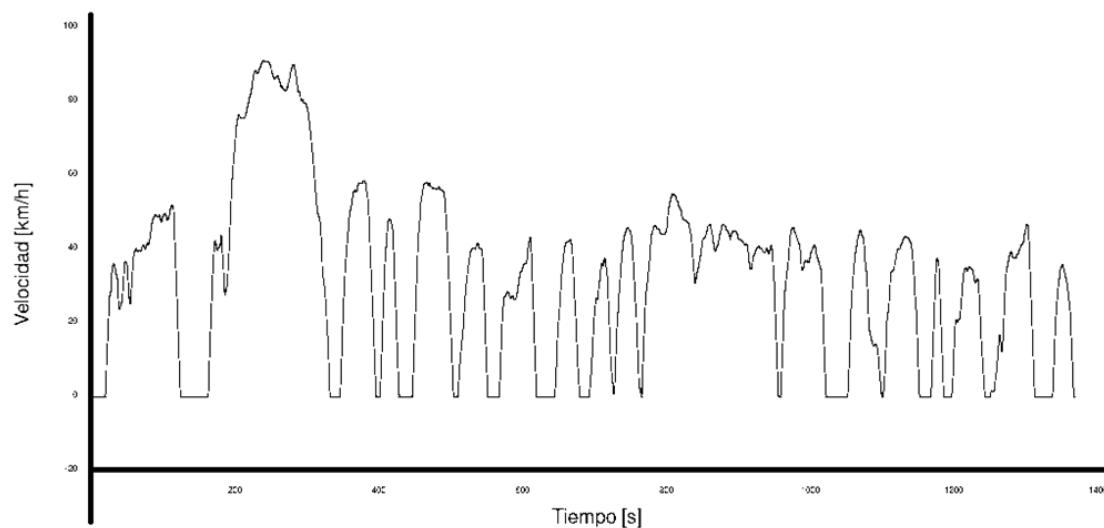


Figura 49. Ciclo FTP72.

**SFUDS.**

Es una versión simplificada del FTP 72 con las mismas proporciones de aceleraciones y frenadas y una duración de 360 segundos.

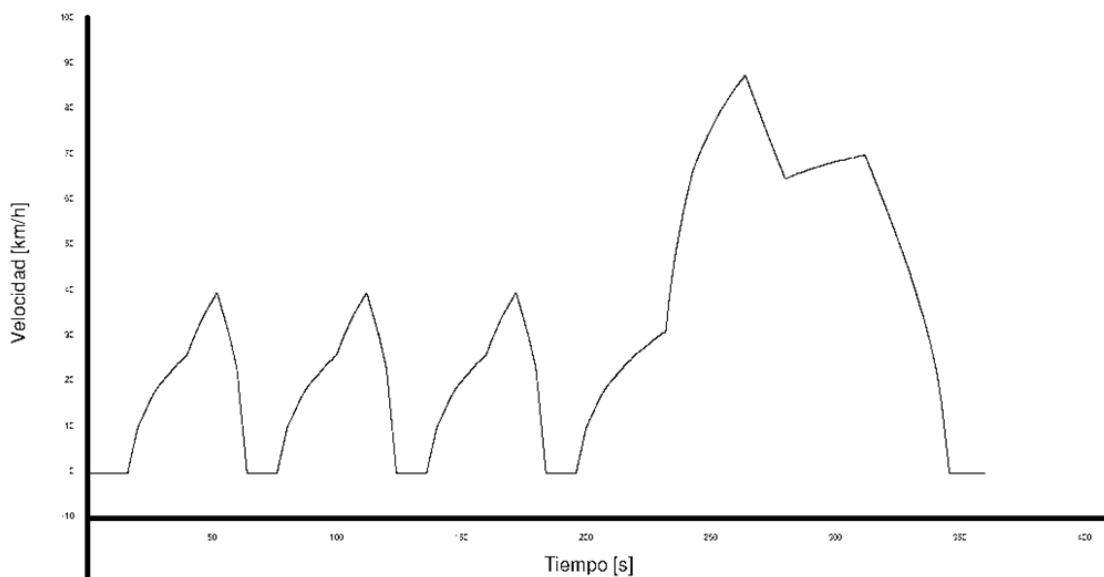


Figura 50. Ciclo SFUDS.

**FTP 75.**

El ciclo FTP-75 se deriva del FTP-72 mediante la adición de una tercera fase de 505 segundos, idéntica a la primera fase de la FTP-72 pero con un arranque en caliente. La tercera fase se inicia después de que el motor se detenga durante 10 minutos. El FTP-75 consta de 17'77 km, 1874 segundos de duración y una velocidad media de 34'1 km/h, y los siguientes segmentos:

1. fase de arranque en frío
2. fase transitoria
3. fase de arranque en caliente.

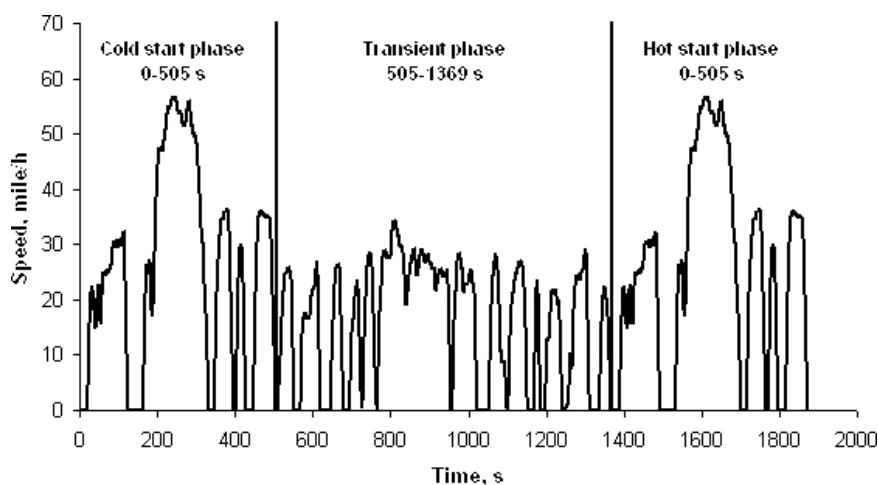


Figura 51. Ciclo FTP75.

**HFEDS.**

Ciclo que representa una conducción mixta por carreteras extraurbanas y por autopistas durante 765 segundos a una velocidad media de 77,7 km/h. Prácticamente ha dejado de usarse porque la velocidad máxima no es realista para una autopista (en torno a 100 km/h). Su sustituto ha sido el ciclo US 06.

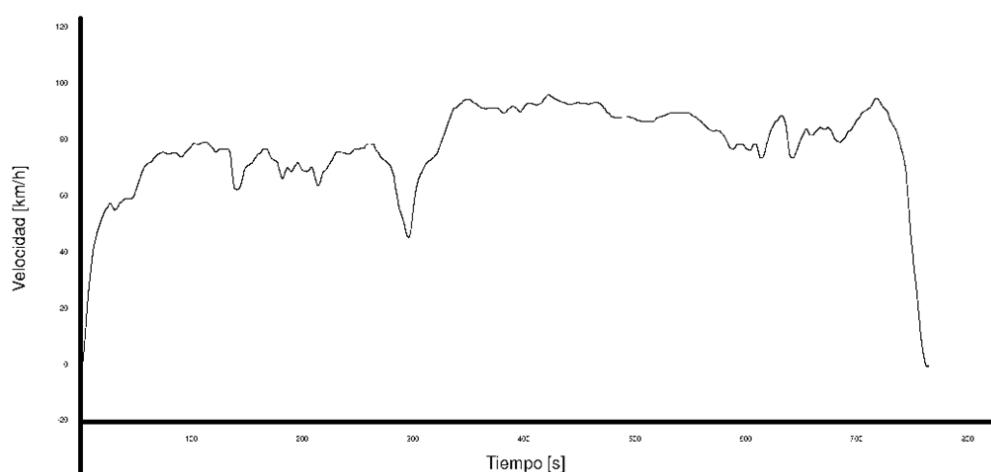


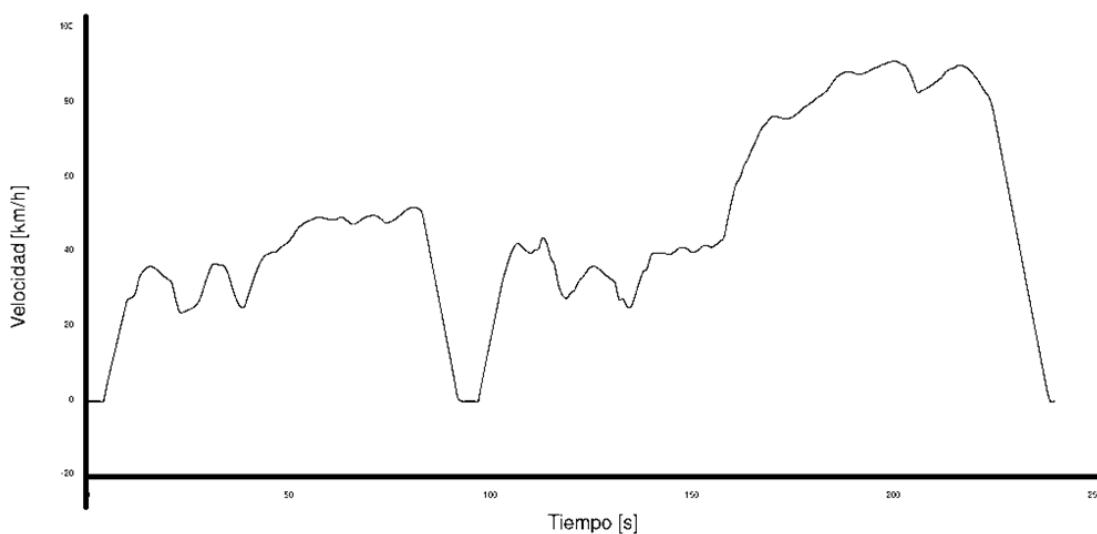
Figura 52. Ciclo HFEDS.

**US 06.**

Representa una conducción agresiva por autopista, con grandes aceleraciones y frenadas. Son 596 segundos a una velocidad media de 77,9 km/h y una velocidad máxima de 129,2 km/h. En la figura B.8 se representa dicho ciclo.

**IM 240**

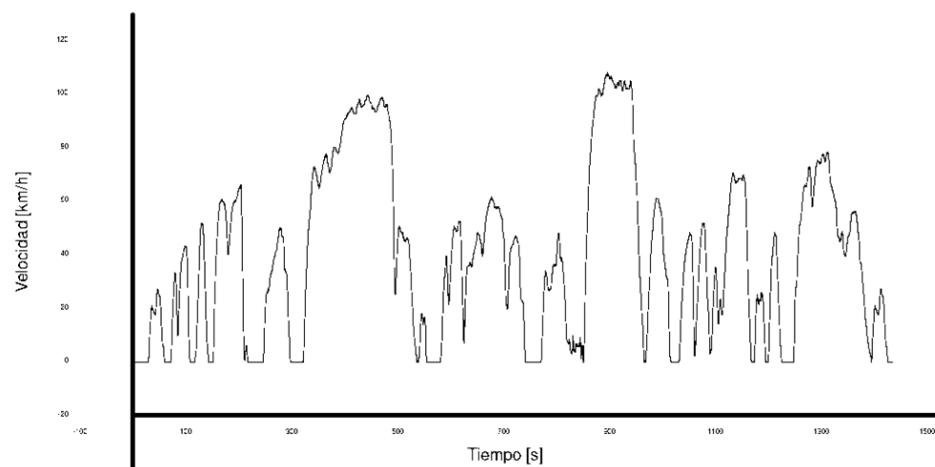
Es un ciclo usado en inspecciones. Solo se utiliza para medir emisiones de los vehículos durante los mantenimientos periódicos. Dura 240 segundos a una velocidad media de 47,3 km/h, una velocidad máxima de 91,2 km/h.



**Figura 53.** Ciclo IM240.

**LA-92**

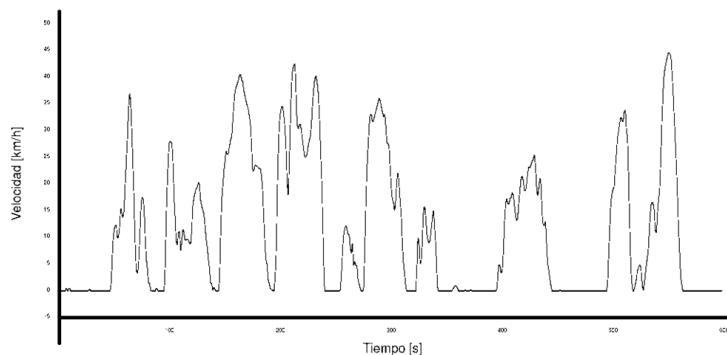
Es una actualización del ciclo FTP 72 llevada a cabo en 1992 adaptándolo a las circunstancias del momento. La velocidad media es mayor (39,6 km/h) y dura 1435 segundos. También se denomina UCDS o UC.



**Figura 54.** Ciclo LA-92.

## NYCC

Representa una ruta urbana por la ciudad de Nueva York. Destaca por su baja velocidad media, ya que es una ciudad con grandes problemas de densidad de tráfico. Su duración es de 598 segundos.



**Figura 55.** Ciclo NYCC.

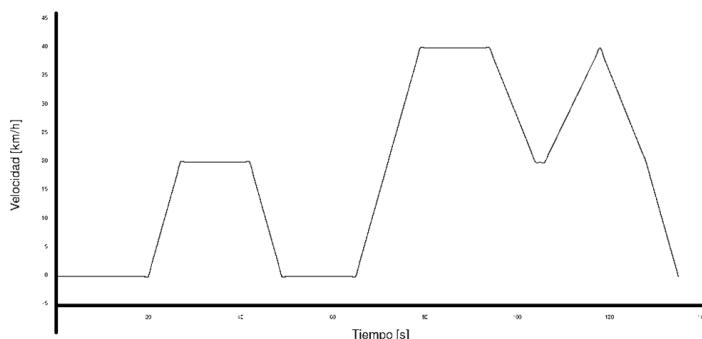
## Japón.

A diferencia de los ciclos estadounidenses, los ciclos japoneses son mucho más teóricos y se ajustan menos a la realidad. Poseen períodos a velocidad constante, las aceleraciones y deceleraciones y todo ello de modo constante. Los más empleados son los ciclos modo10, modo15 y modo10-15. Además, los ciclos japoneses destacan por las bajas velocidades a las que se realizan.

En 2005 se aprobó un nuevo test, mucho más realista y similar a los estándares estadounidenses, el JC08. Tras un periodo de transición, desde octubre de 2011 es el test a realizar para medir las emisiones en Japón sustituyendo al modo10-15, ya que es más exigente que y está más adaptado a la situación actual.

## Modo 10.

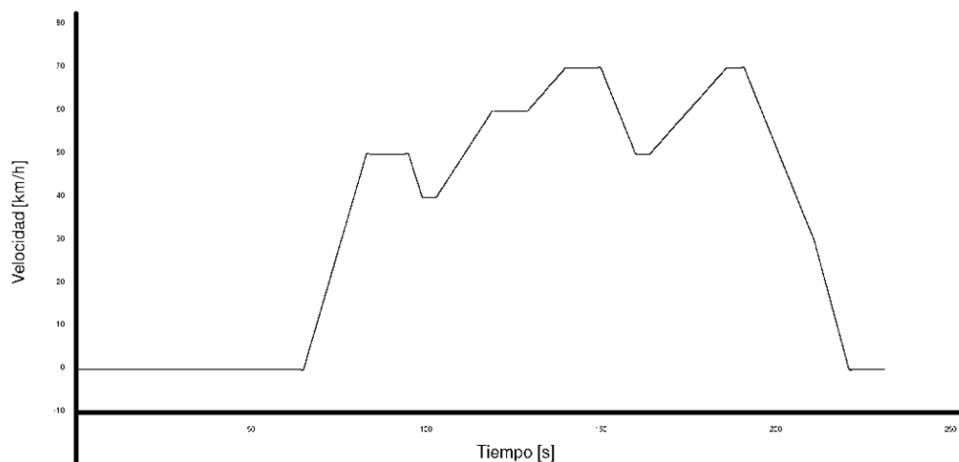
Ciclo que representa una conducción urbana durante 135 segundos. La velocidad media es de 17,7 km/h y la máxima de solo 40 km/h. Actualmente está en desuso pero es importante conocerlo debido a que forma parte del ciclo 10-15, el más utilizado hasta la primera década del siglo XXI.



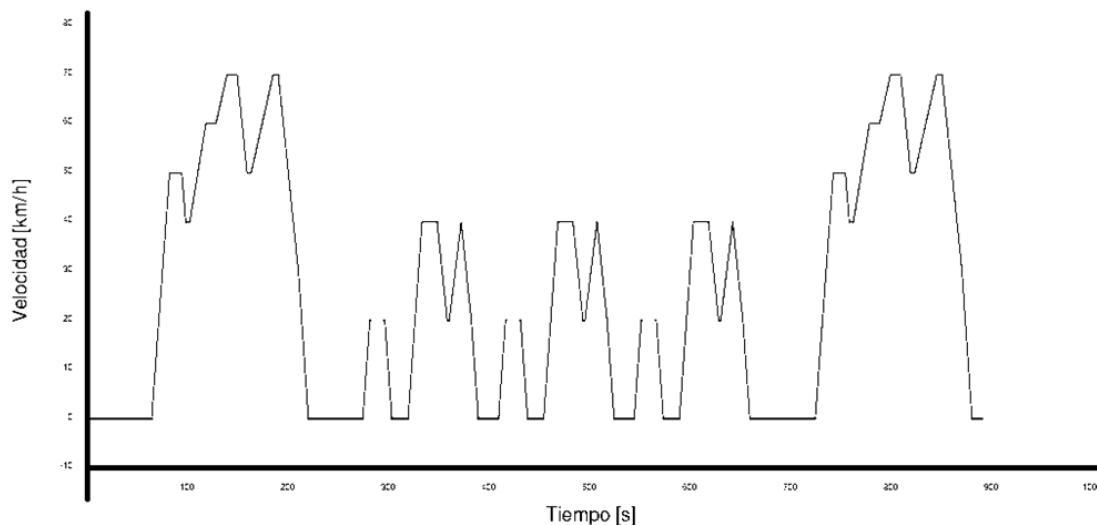
**Figura 56.** Ciclo Modo10.

**Modo 15.**

Ciclo que representa una conducción mixta entre urbana y extraurbana. La velocidad máxima es de 70 km/h y su duración de 230 segundos.

**Figura 57.** Ciclo Modo 15.**Modo 10-15.**

Ciclo que combina una primera fase modo 15, seguida de tres fases modo 10 y una última fase en modo 15 nuevamente, con una duración total de 830 segundos. Hasta 2011 es el ciclo usado para evaluar emisiones contaminantes y autonomía en Japón.

**Figura 58.** Ciclo Modo10-15.**JC08.**

Es un ciclo realista, similar a los utilizados en estados unidos. Se realiza para pruebas de vehículos ligeros (<3.500 kg), y representa la conducción de tráfico congestionado en la ciudad, incluyendo ralentí y periodos alternos de aceleración y deceleración.

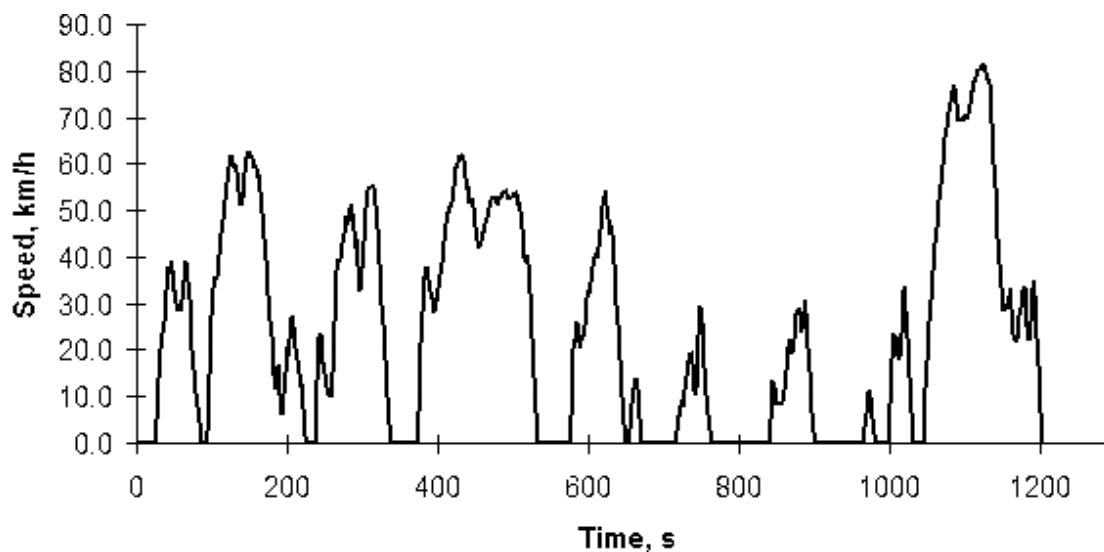


Figura 59. Ciclo JC08.

### Unión Europea.

Como ya se menciona en la memoria, en Europa el ciclo utilizado para la obtención de los consumos es el NEDC.

#### New European Driving Cycle (NEDC).

El NEDC se conforma de cuatro ciclos ECE-15 continuados, seguidos de un EUDC, quedando de la siguiente forma:

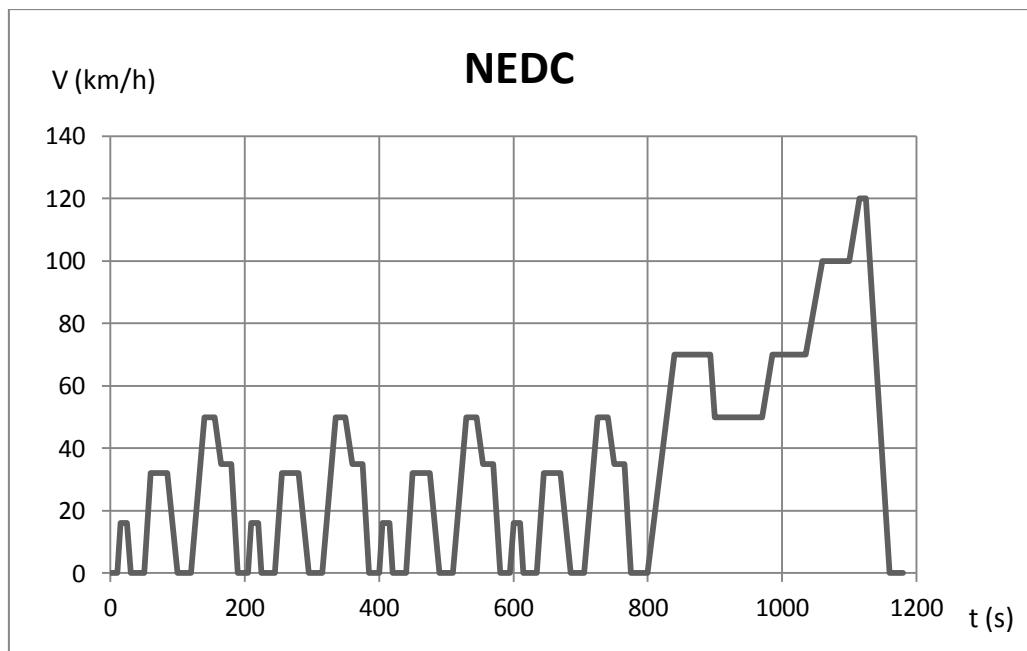


Figura 60. Ciclo NEDC.



**ANEXO 7:**

**MÉTODO DE CÁLCULO POR  
DISCRETIZACIÓN DEL CICLO DE  
CONDUCCIÓN**



# ANEXO 7: Método de cálculo por discretización del ciclo de conducción.

Este método consiste en dividir el ciclo de conducción NEDC en segundos, definiendo para cada segundo, su velocidad y su aceleración correspondiente. Con estos datos se aplica la ecuación de la energía:

$$\text{Fuerza motriz en } N \rightarrow F_m = (\gamma \cdot M \cdot 1'1) + \left[ (M \cdot \mu_r) + \left( \frac{1}{16} \cdot S \cdot C_x \cdot V^2 \right) \right] \cdot 9'81$$

$$\text{Energía en Julios} \rightarrow E = \frac{F_m \cdot V \cdot t}{\eta_{T.Vehículo}}$$

Este cálculo da como resultado la energía necesaria para mover el vehículo con esa velocidad y aceleración para cada segundo. Sumando los valores con signo positivo, se obtiene la energía total consumida durante el ciclo NEDC, y sumando los valores negativos se tendría la energía máxima que se podría recuperar en deceleraciones y frenadas. Con los km del ciclo y las equivalencias de Julios a Wattios·hora, se obtiene rápidamente fácilmente la energía que el vehículo consume por unidad de distancia.

Realizar este cálculo a mano, supondría pasarse horas haciendo cálculo. Por este motivo, para resolverlo de una manera rápida y poder aplicarlo para cualquier tipo de vehículo, se decidió crear una hoja Excel que facilitara todo el proceso.

A continuación se explicará cómo ha sido creada y como funciona. Para probar el archivo Excel de cálculo del ciclo NEDC se puede descargar de la siguiente dirección web: “**Simulador ciclo NEDC.xlsx**”  $\Rightarrow$  <http://db.tt/XscJsYMw>

## Simulador ciclo NEDC.

Esta hoja de cálculo realiza las operaciones necesarias para el cálculo energético del ciclo NEDC. Para ello, se parte de una tabla de datos que divide el ciclo NEDC en los puntos característicos de sus rectas de velocidad y aceleración constante:

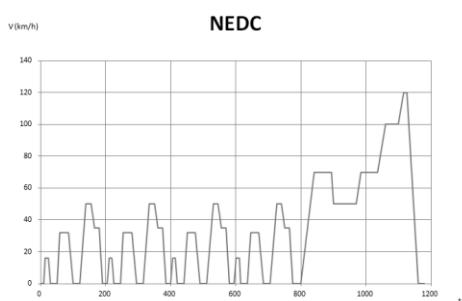


Figura 61. Ciclo NEDC.

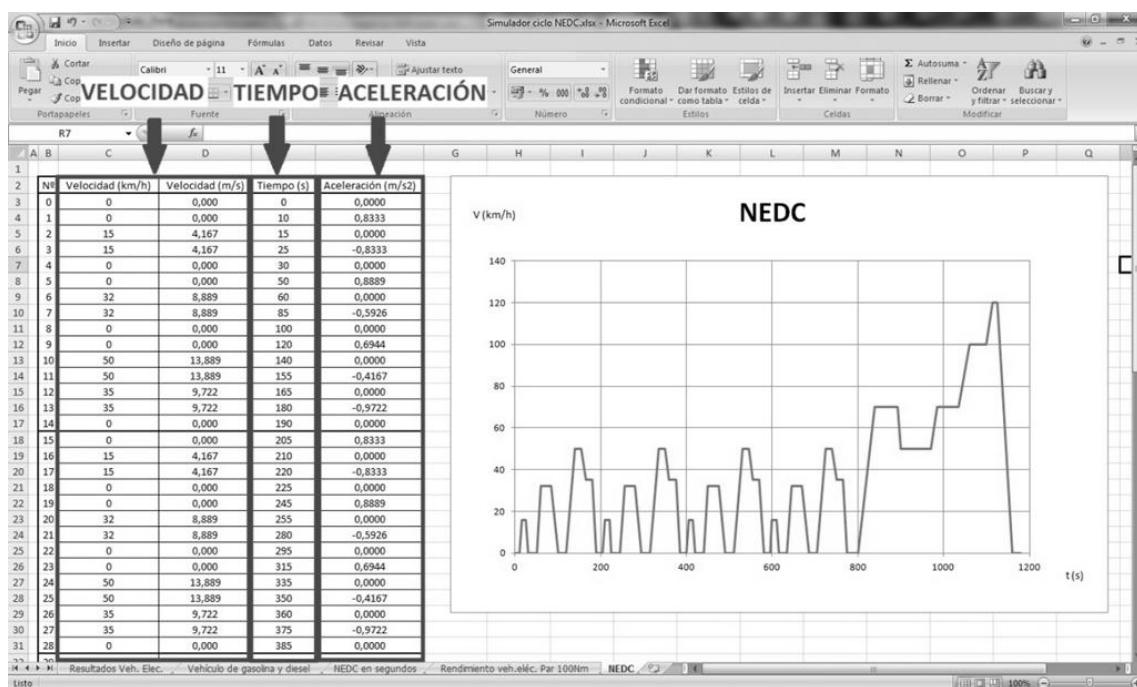


Figura 62. Simulador NEDC EXCEL- discretización por tramos.

Partiendo de estos datos, se realiza una discretización mayor, y se pasa a dividir el ciclo en segundos:

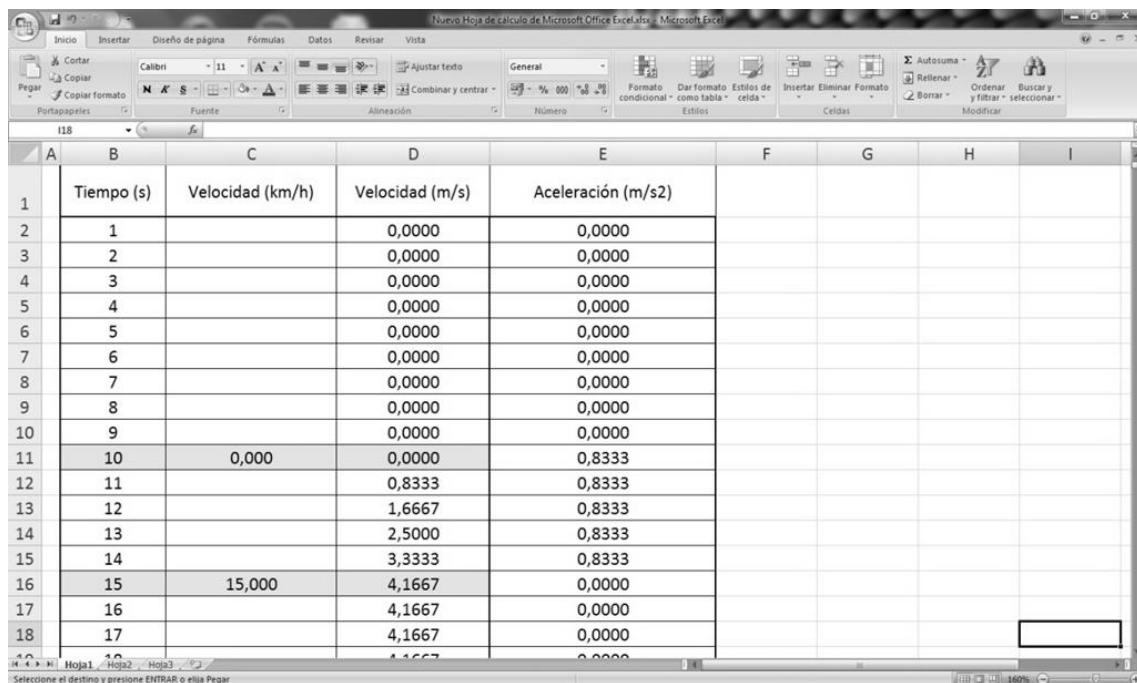


Figura 63. Simulador NEDC EXCEL- discretización por segundos.

Con esto, queda completamente definido del ciclo para poder realizar los cálculos necesarios para hallar la energía consumida. Pero para poder calcular, se necesitarán los datos del vehículo. Para ello se introduce una tabla en la que aparecen la masa, el coeficiente de rodadura, el coef. aerodinámico, la superficie frontal, el rendimiento del vehículo y el

porcentaje de energía recuperada en las frenadas, además del radio de rodadura y la relación de transmisión, que como se verá luego, sirven para calcular el rendimiento.

Datos del vehículo eléctrico							
Masa (kg)	mr (Coef. Rodadura)	Cx (Coef. Aero.)	Superficie frontal (m <sup>2</sup> )	Rendimiento vehículo	Energía recuperada en las frenadas y deceleraciones en tanto por uno	Radio de rodadura del vehículo	Relación de transmisión
1600	0,008	0,24	2,142	0,6019	0	0,3	4

Tabla 25. Simulador NEDC EXCEL- tabla para introducir datos.

Antes de pasar a calcular la energía total consumida en el ciclo, se estimará el rendimiento del vehículo. Para ello se fijaran como valores a introducir por el usuario los rendimientos de los convertidores electrónicos, de las baterías y del sistema mecánico, pero se realizará una estimación a partir de las revolución del motor y el par, el rendimiento del motor.

Se parte de la siguiente gráfica de curvas de rendimiento, en función del par y las revoluciones de giro, de un motor eléctrico de imán permanente:

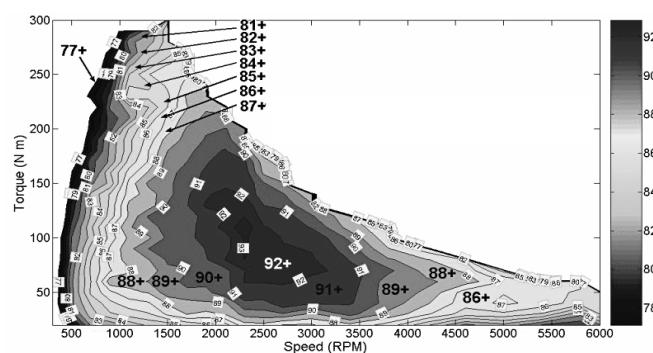


Figura 64. Simulador NEDC EXCEL- Curvas de rendimiento motor eléctrico.

Para estimar el rendimiento se obtiene la curva de par de un vehículo eléctrico. En este se toma como referencia la del Renault Fluence:

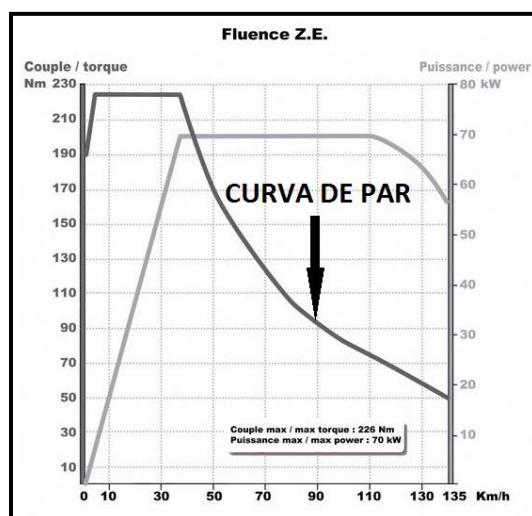


Figura 65. Simulador NEDC EXCEL- Curva de par y potencia motor eléctrico.

Se superpone de forma aproximada esta curva sobre las curvas de rendimiento:

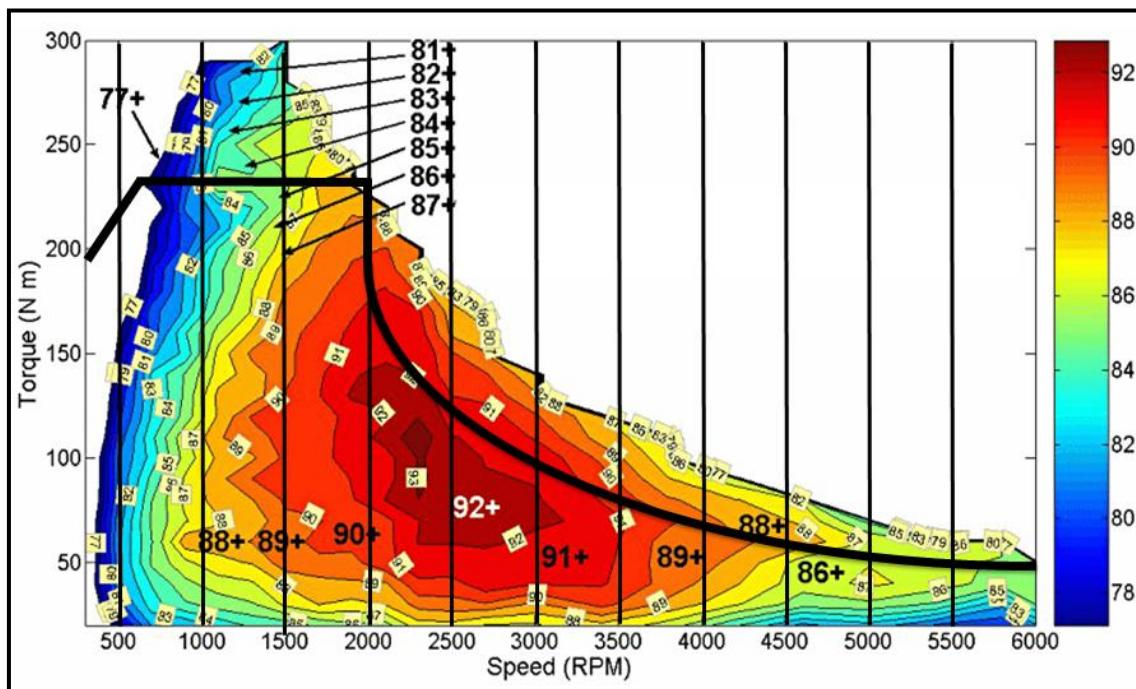


Figura 66. Simulador NEDC EXCEL- Superposición Par con curvas de rendimiento motor eléctrico.

Con el par superpuesto sobre la gráfica de rendimientos, se obtiene para cada cierto número de revolución por minuto (500rpm), un valor aproximado del rendimiento.

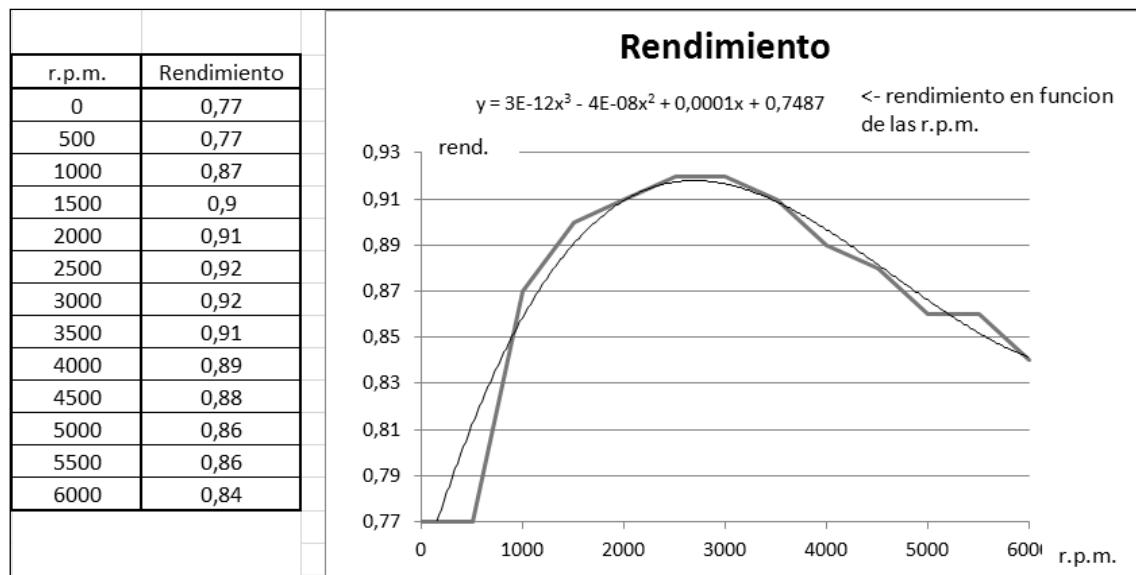


Figura 67. Simulador NEDC EXCEL- Rendimiento en función de las rpm.

Graficando esto y sacando la línea de tendencia de la curva, se obtiene una ecuación que calcula de forma, también de forma aproximada, el rendimiento a partir de unas revoluciones dadas.



A partir de la velocidad, el radio de rodadura y la relación de transmisión se calculan las revoluciones por segundo para cada instante de tiempo, y con estas rpm y aplicando la ecuación se obtiene un rendimiento para cada segundo del ciclo.

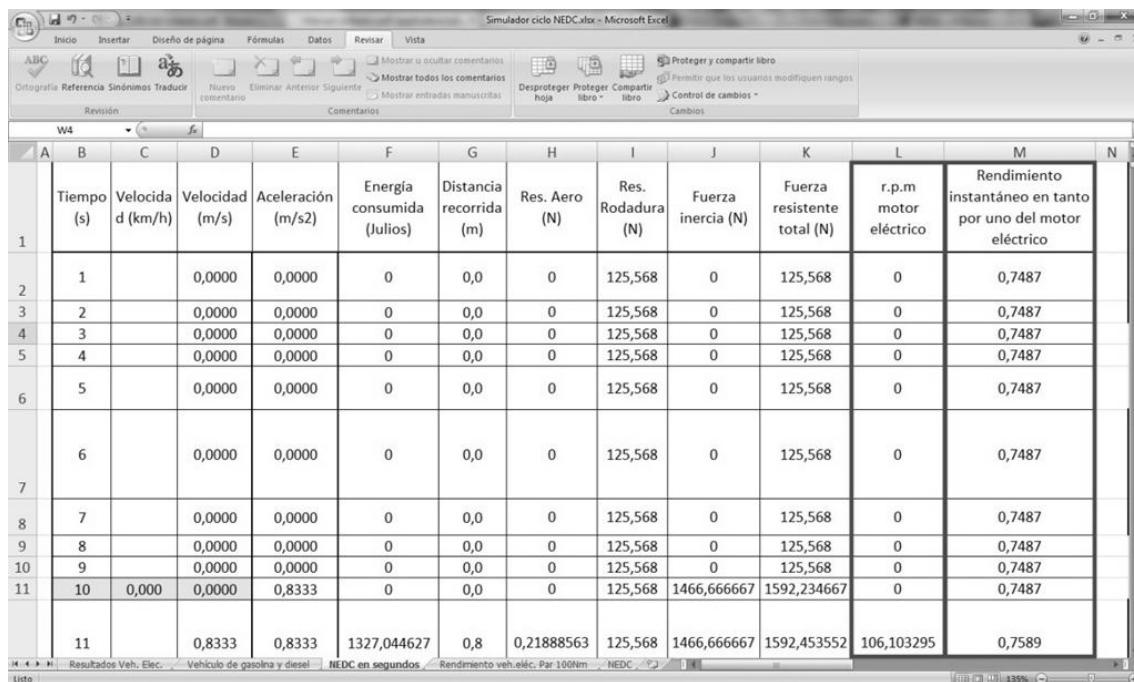


Figura 68. Simulador NEDC EXCEL- Revoluciones por minuto y rendimiento.

Con el rendimiento y los datos del vehículo, se aplica la ecuación de la energía antes mencionada y se obtiene la energía consumida en cada segundo. También se calculan por separado cada una de las resistencias aerodinámicas.

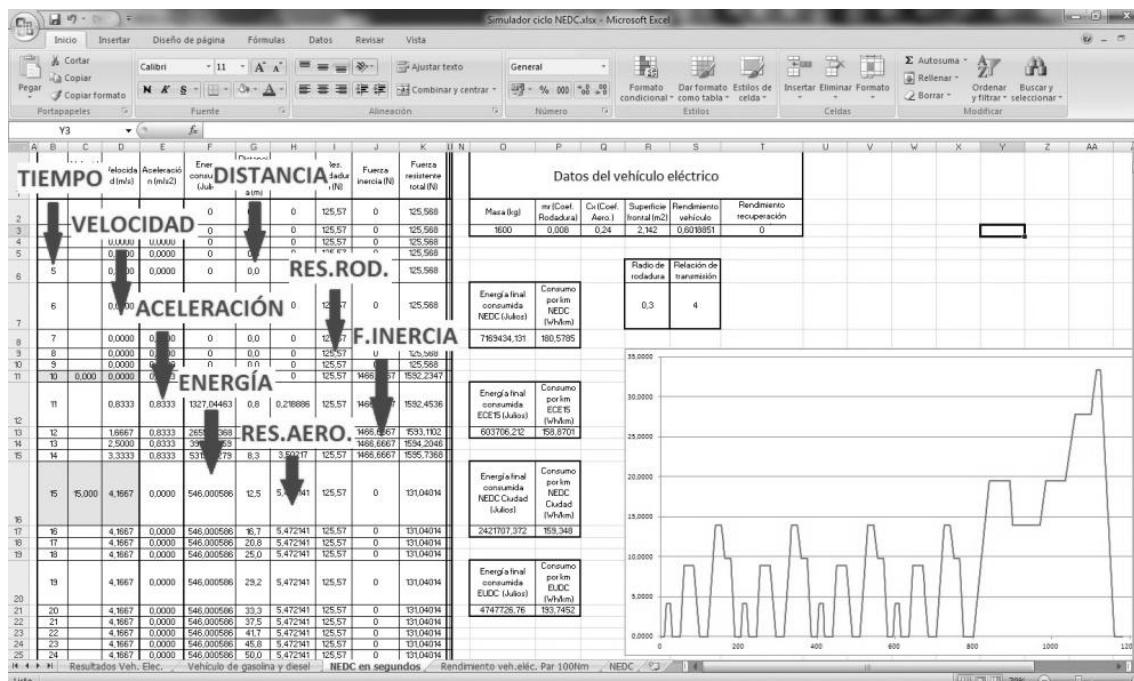


Figura 69. Simulador NEDC EXCEL- Engería y resistencias al avance.



Sumando los valores positivos de la columna de “ENERGÍA” se obtiene la energía total consumida por el ciclo:

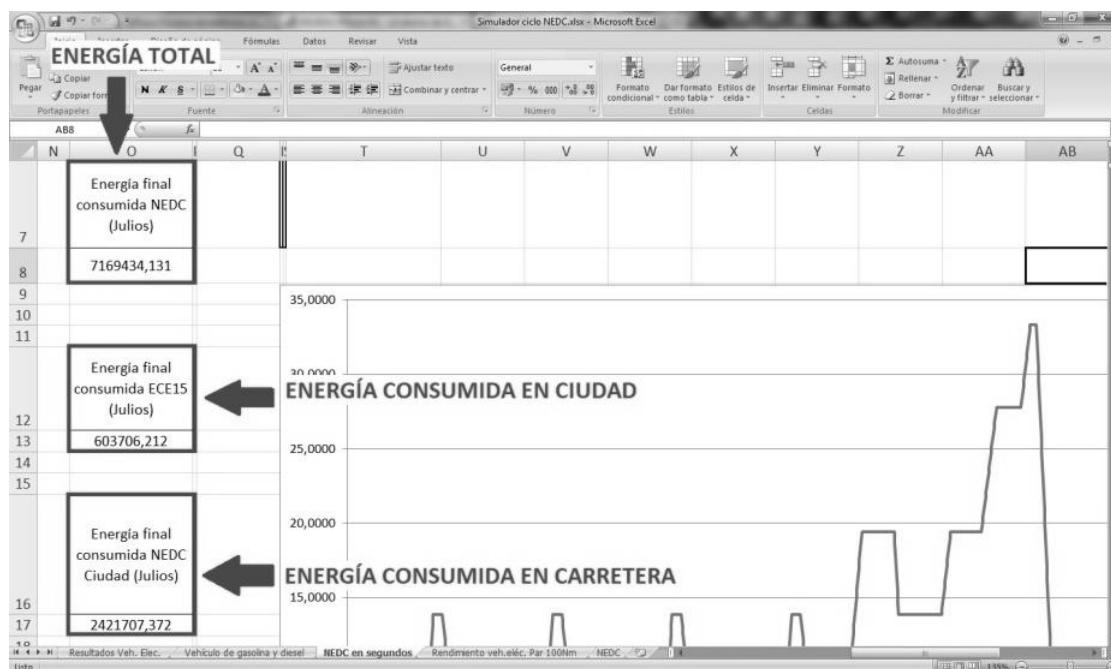


Figura 70. Simulador NEDC EXCEL- Energía final.

Por último se diseña una pantalla desde la que introducir los datos y obtener los resultados, además de añadir opciones de cálculo de coste estimativo de la energía por consumida.

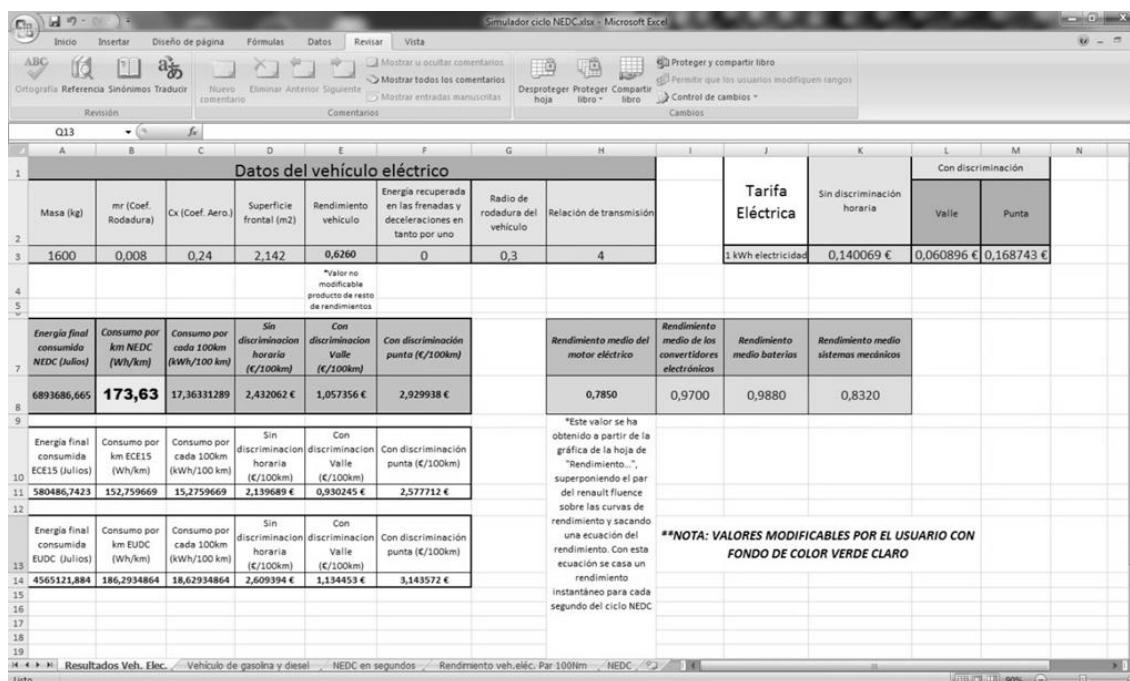


Figura 71. Simulador NEDC EXCEL- Pantalla de datos.

## **ANEXO 8:**

**MÉTODO DE CÁLCULO POR  
INTEGRACIÓN POR TRAMOS DEL CICLO  
DE CONDUCCIÓN**



# ANEXO 8: Método de cálculo por integración por tramos del ciclo de conducción.

Este método consiste en dividir en tramos de velocidad constante y aceleración constante el ciclo de estándar de conducción NEDC. Una vez dividido en tramos se integra cada uno de ellos con la ecuación obtenida a partir de los datos del vehículo definido.

$$E = \frac{\int_{t_0}^{t_f} [(1760 \cdot \gamma \cdot v) + (125'57 \cdot v) + (0'3152 \cdot v^3)] \cdot dt}{0'659}$$

El ciclo NEDC, como ya se ha comentado, está formado por la composición de un ciclo urbano repetido cuatro veces y un ciclo de carretera una sola vez.

## Cálculo energético en el tramo urbano.

Se empezará a realizar los cálculos por la parte del ciclo NEDC que corresponde con el tramo urbano. Esta está formada por cuatro repeticiones del ciclo ECE-15. Diferenciando tramos de aceleración constante, con tramos de velocidad constante. Las aceleraciones y velocidades ya han sido calculadas en la siguiente tabla:

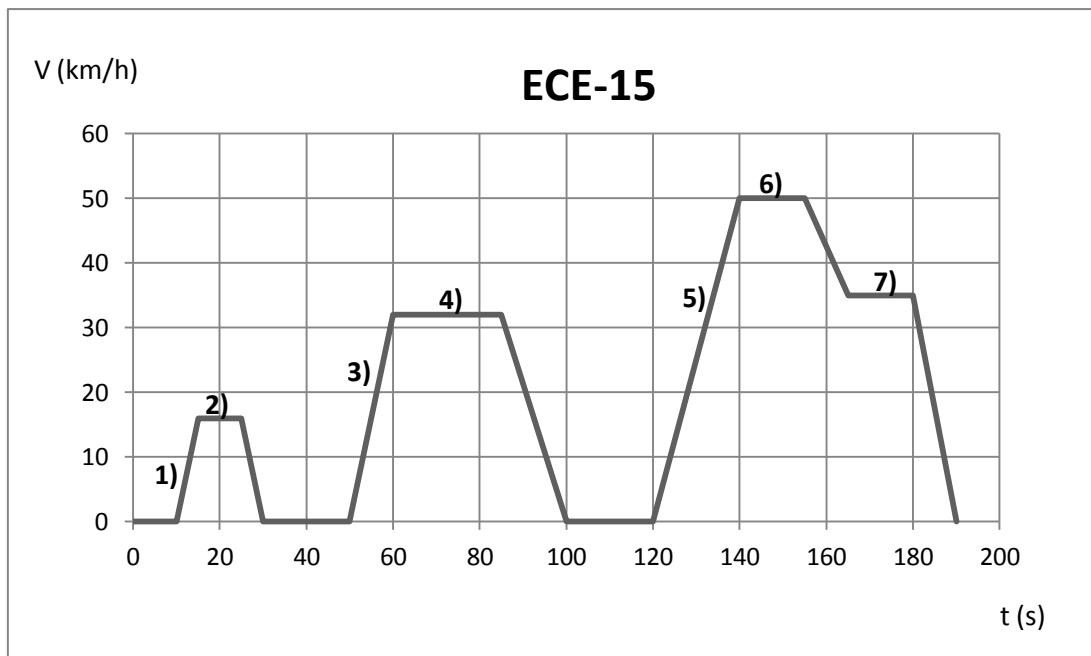
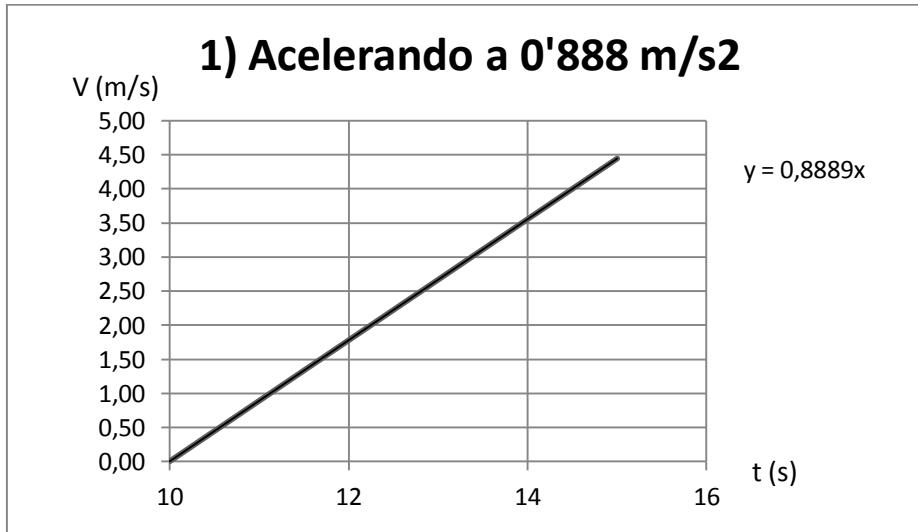


Figura 72. Ciclo ECE-15.

		Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)
<b>1) Acelerando a 0'888 m/s<sup>2</sup></b>	$V = \text{cte} = 0$	0	0,00	0
		0	0,00	10
Decelerando	<b>2) <math>V = \text{cte} = 4'44</math> m/s</b>	16	4,44	15
		16	4,44	25
Decelerando	$V = \text{cte} = 0$	0	0,00	30
		0	0,00	50
Decelerando	<b>3) Acelerando a 0'888 m/s<sup>2</sup></b>	32	8,89	60
		32	8,89	85
Decelerando	$V = \text{cte} = 0$	0	0,00	100
		0	0,00	120
Decelerando	<b>5) Acelerando a 0'6945 m/s<sup>2</sup></b>	50	13,89	140
		50	13,89	155
Decelerando	<b>7) <math>V = \text{cte} = 9'72</math> m/s</b>	35	9,72	165
		35	9,72	180
		0	0,00	190

Tabla 26. Discretización por tramos del ciclo ECE-15.

**Primer tramo: Acelerando a 0'888 m/s<sup>2</sup>.**

Figura 73. Recta de aceleración constante a 0'888 m/s<sup>2</sup> del ciclo ECE-15.

En este primer tramo de **5 segundos**, se tiene una aceleración constante  $\gamma = 0'888 \text{ m/s}^2$  y una velocidad en función del tiempo de  $V = 0'8889 \cdot t$ , con lo que la ecuación de la energía queda de la siguiente forma:

$$E_{1j} = \frac{\int_0^5 [(1760 \cdot 0'888 \cdot 0'8889 \cdot t) + (125'57 \cdot 0'8889 \cdot t) + (0'3152 \cdot (0'8889 \cdot t)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{1j} = \frac{\int_0^5 [(1389'24 \cdot t) + (111'62 \cdot t) + (0'22138 \cdot t^3)] \cdot dt}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{1)} = \frac{17365'5 + 1395'25 + 34'59}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{1)} = 28521 \text{ J}$$

### Segundo tramo: Velocidad constante a 4'44 m/s.

En este caso es un tramo de **10 segundos** a una  $V = cte = 4'44 \text{ m/s}$ , con lo que la integral quedará:

$$E_{2)} = \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 4'44) + (125'57 \cdot 4'44) + (0'3152 \cdot 4'44^3)] \cdot 10}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{2)} = \frac{(5575'3) + (278'9)}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{2)} = 8878'89 \text{ J}$$

### Tercer tramo: Acelerando a 0'888 m/s<sup>2</sup>.

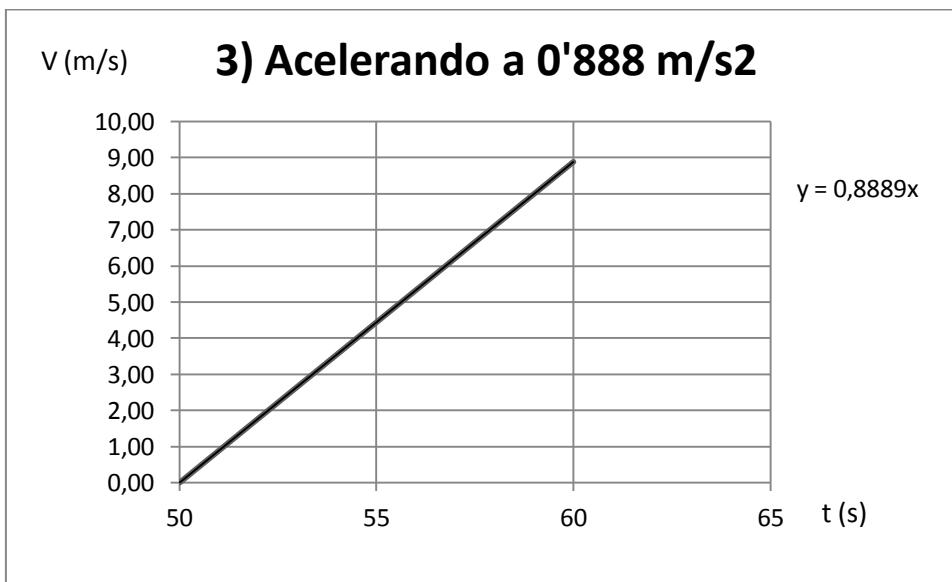


Figura 74. Recta de aceleración constante a 0'888 m/s<sup>2</sup> del ciclo ECE-15.

Tramo de **10 segundos** de duración, donde hay una aceleración, al igual que en tramo 1º), constante  $\gamma = 0'888 \text{ m/s}^2$  y una velocidad en función del tiempo de  $V = 0'8889 \cdot t$ , con lo que la ecuación de la energía queda de la siguiente forma:

$$E_{3)} = \frac{\int_0^{10} [(1760 \cdot 0'888 \cdot 0'8889 \cdot t) + (125'57 \cdot 0'8889 \cdot t) + (0'3152 \cdot (0'8889 \cdot t)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{3)} = \frac{\int_0^{10} [(1389'24 \cdot t) + (111'62 \cdot t) + (0'22138 \cdot t^3)] \cdot dt}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{3)} = \frac{69462 + 5581 + 553'45}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{3)} = 114713'88 J$$

### Cuarto tramo: Velocidad constante a 8'89 m/s.

En este caso, un tramo es de **15 segundos** a una  $V = cte = 8'89 \text{ m/s}$ , con lo que la integral quedará:

$$E_{4)} = \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 8'89) + (125'57 \cdot 8'89) + (0'3152 \cdot 8'89^3)] \cdot 15}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{4)} = \frac{(16744'76) + (3321'87)}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{4)} = 30450 J$$

### Quinto tramo: Acelerando a 0'6945 m/s<sup>2</sup>.

#### 5) Acelerando a 0'6945 m/s<sup>2</sup>

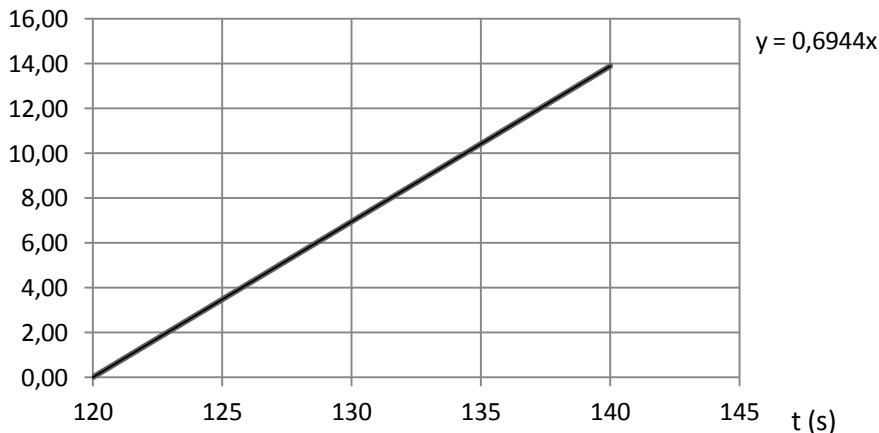


Figura 75. Recta de aceleración constante a 0'6945 m/s<sup>2</sup> del ciclo ECE-15.

Tramo de **20 segundos**, donde hay una aceleración constante  $\gamma = 0'6945 \text{ m/s}^2$  y una velocidad en función del tiempo de  $V = 0'6944 \cdot t$ , con lo que la ecuación de la energía queda de la siguiente forma:

$$E_{5)} = \frac{\int_0^{20} [(1760 \cdot 0'6945 \cdot 0'6944 \cdot t) + (125'57 \cdot 0'6944 \cdot t) + (0'3152 \cdot (0'6944 \cdot t)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{5)} = \frac{\int_0^{20} [(848'779 \cdot t) + (87'196 \cdot t) + (0'10554 \cdot t^3)] \cdot dt}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{5)} = \frac{169755'8 + 17439'2 + 4221'6}{0'659}$$

$$\rightarrow E_{5)} = 290465'25 J$$

### Sexto tramo: Velocidad constante a 13'89 m/s.

Este tramo es de **15 segundos** a una  $V = cte = 13'89 \text{ m/s}$ , con lo que la integral quedará:

$$E_{6)} = \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 13'89) + (125'57 \cdot 13'89) + (0'3152 \cdot 13'89^3)] \cdot 15}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{6)} = \frac{(26162'51) + (12670'22)}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{6)} = 58926'75 J$$

### Séptimo tramo: Velocidad constante a 9'72 m/s.

Y por último un tramo de **15 segundos** a una  $V = cte = 9'72 \text{ m/s}$ , con lo que la integral quedará:

$$E_{7)} = \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 9'72) + (125'57 \cdot 9'72) + (0'3152 \cdot 9'72^3)] \cdot 15}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{7)} = \frac{(18308'106) + (4341'86)}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{7)} = 34370'21 J$$

Una vez ya calculada toda la energía consumida por nuestro vehículo en cada uno de los tramos de un ciclo ECE-15, se suman todos para obtener la energía consumida durante un ciclo completo:

$$E_{1)} = 28521 J; E_{2)} = 8878'89 J; E_{3)} = 114713'88 J$$

$$E_{4)} = 30450 J; E_{5)} = 290465'25 J; E_{6)} = 58926'75 J; E_{7)} = 34370'21 J$$

$$E_{ECE-15} = E_{1)} + E_{2)} + E_{3)} + E_{4)} + E_{5)} + E_{6)} + E_{7)} = 566325'98 J$$

Sabiendo que en un ciclo NEDC el ciclo ECE-15 se repite cuatro veces, la energía del la parte urbana del ciclo será:

$$E_{NEDC \text{ urbano}} = 4 \cdot E_{ECE-15} = 2265303'92 J = 2265'304 \text{ kJ}$$

## Calculo energético en el tramo de carretera.

Una vez calculada la energía del tramo urbano, se pasa al cálculo del tramo de carretera, que se corresponde con el ciclo EUDC. Al igual que en el apartado anterior, habrá que descomponer en los tramos a integrar, diferenciando tramos de aceleración constante, con tramos de velocidad constante. Los valores de las aceleraciones y velocidades ya han sido calculados en la tabla de tramos:

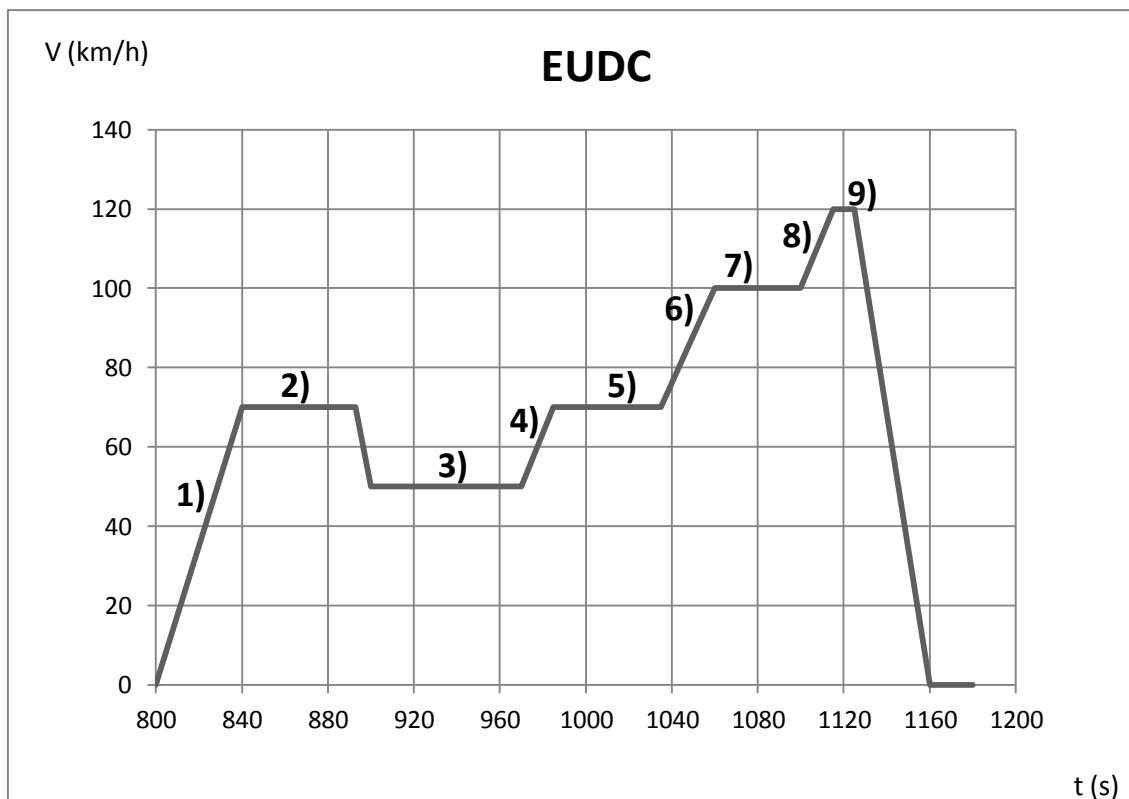
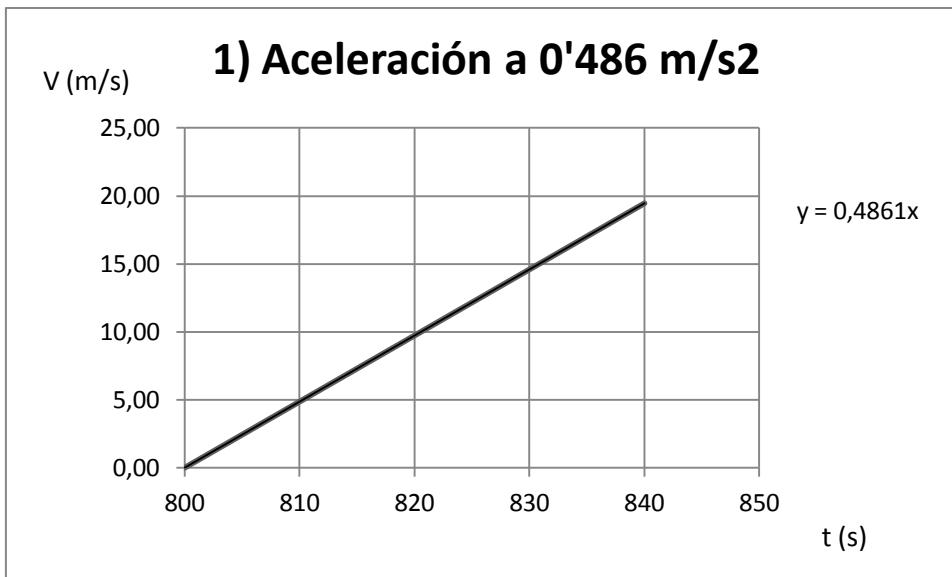


Figura 76. Ciclo EUDC.

		Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)
2) $V=cte=19'44$ m/s	1) Aceleración a $0'486 \text{ m/s}^2$	0	0,00	800
		70	19,44	840
3) $V=cte=13'89$ m/s	Deceleración	70	19,44	893
		50	13,89	900
5) $V=cte=19'44$ m/s	4) Aceleración a $0'37 \text{ m/s}^2$	50	13,89	970
		70	19,44	985
7) $V=cte=27'78$ m/s	6) Aceleración a $0'3336 \text{ m/s}^2$	70	19,44	1035
		100	27,78	1060
9) $V=cte=33'33$ m/s	8) Aceleración a $0'37 \text{ m/s}^2$	100	27,78	1100
		120	33,33	1115
$V = cte = 0$	Deceleración	120	33,33	1125
		0	0,00	1160
		0	0,00	1180

Tabla 27. Discretización por tramos del ciclo EUDC.

**Primer tramo: Aceleración a 0'486 m/s<sup>2</sup>.****Figura 77.** Recta de aceleración constante a 0'486 m/s<sup>2</sup> del ciclo EUDC.

Este primer tramos tiene una duración de **40 segundos** y en ese tiempo pasa de 0 m/s a 19'44 m/s, quedando la ecuación del la velocidad en función del tiempo  $V = 0'4861 \cdot t$ . Además la aceleración en este tramo es de  $\gamma = 0'486 \text{ m/s}^2$ , con lo que la ecuación a resolver queda:

$$\begin{aligned}
 E_{1)'} &= \frac{\int_0^{40} [(1760 \cdot 0'486 \cdot 0'4861 \cdot t) + (125'57 \cdot 0'4861 \cdot t) + (0'3152 \cdot (0'4861 \cdot t)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow \\
 \rightarrow E_{1)'} &= \frac{\int_0^{40} [(415'79 \cdot t) + (61'04 \cdot t) + (0'0362 \cdot t^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow \\
 \rightarrow E_{1)'} &= \frac{(332632) + (48832) + (92672)}{0'659} \rightarrow \\
 \rightarrow E_{1)'} &= \mathbf{719478 \text{ J}}
 \end{aligned}$$

**Segundo tramo: Velocidad constante a 19'44 m/s.**

En este tramo de **53 segundos** se circula a una  $V = cte = 19'44 \text{ m/s}$ , con lo que la ecuación quedará:

$$\begin{aligned}
 E_{2)'} &= \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 19'44) + (125'57 \cdot 19'44) + (0'3152 \cdot 19'44^3)] \cdot 53}{0'659} \rightarrow \\
 \rightarrow E_{2)'} &= \frac{(129377'28) + (122730'03)}{0'659} \rightarrow \\
 \rightarrow E_{2)'} &= \mathbf{382560'42 \text{ J}}
 \end{aligned}$$

**Tercer tramo: Velocidad constante a 13'89 m/s.**

En este tramo de **70 segundos** se circula a una  $V = cte = 13'89 \text{ m/s}$ , con lo que la ecuación quedará:

$$\begin{aligned} E_{3)'} &= \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 13'89) + (125'57 \cdot 13'89) + (0'3152 \cdot 13'89^3)] \cdot 70}{0'659} \rightarrow \\ &\rightarrow E_{3)'} = \frac{(122091'71) + (89127'7)}{0'659} \rightarrow \\ &\rightarrow E_{3)'} = 274991'52 \text{ J} \end{aligned}$$

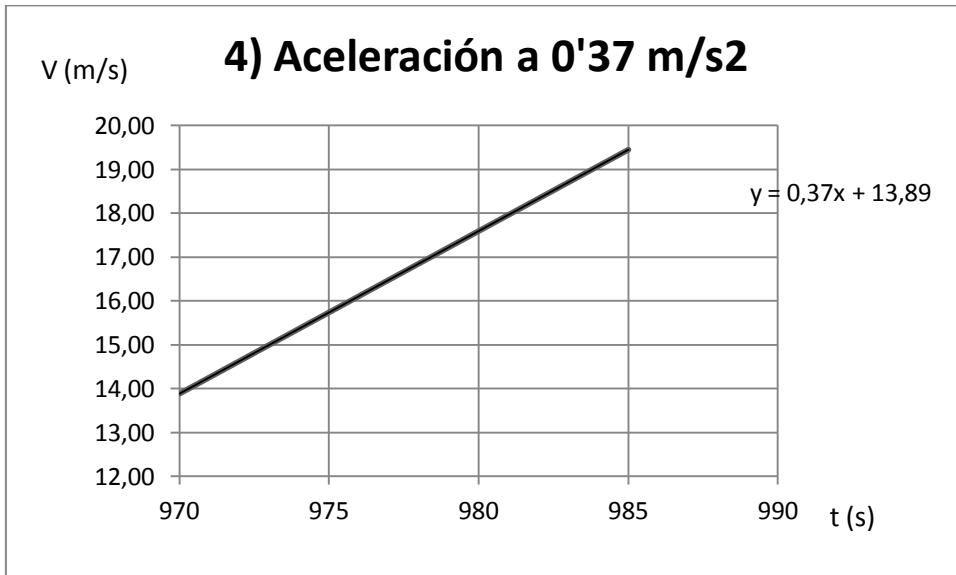
**Cuarto tramo: Aceleración a 0'37 m/s<sup>2</sup>.**

Figura 78. Recta de aceleración constante a 0'37 m/s<sup>2</sup> del ciclo EUDC.

En este tramos de **15 segundos**, se pasa de 13'89 m/s a 19'44 m/s, quedando la ecuación de la velocidad en función del tiempo  $V = 0'37 \cdot t + 13'89$ . Además la aceleración en este tramo es de  $\gamma = 0'37 \text{ m/s}^2$ , con lo que la ecuación a resolver queda:

$$\begin{aligned} E_{4)'} &= \frac{\int_0^{15} [(1760 \cdot 0'37 \cdot (0'37 \cdot t + 13'89)) + (125'57 \cdot (0'37 \cdot t + 13'89)) + (0'3152 \cdot (0'37 \cdot t + 13'89)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow \\ &\rightarrow E_{4)'} = \frac{\int_0^{15} [(240'94 \cdot t + 9045'17) + (46'46 \cdot t + 1744'17) + (0'015967 \cdot t^3 + 1'798 \cdot t^2 + 675 \cdot t + 844'68)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow \\ &\rightarrow E_{4)'} = 432481'23 \text{ J} \end{aligned}$$

**Quinto tramo: Velocidad constante a 19'44 m/s.**

En este tramo de **50 segundos** se circula a una  $V = cte = 19'44 \text{ m/s}$ , con lo que la ecuación quedará:

$$E_{5),r} = \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 19'44) + (125'57 \cdot 19'44) + (0'3152 \cdot 19'44^3)] \cdot 50}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{5),r} = \frac{(122054) + (115783'05)}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{5),r} = 360906 J$$

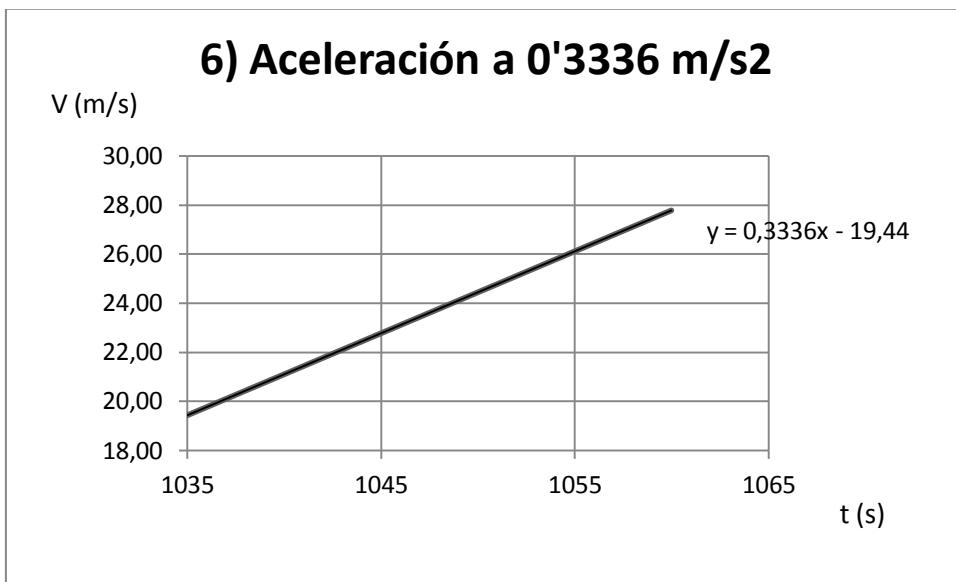
**Sexto tramo: Aceleración a 0'3336 m/s<sup>2</sup>.**

Figura 79. Recta de aceleración constante a 0'3336 m/s<sup>2</sup> del ciclo EUDC.

En este tramos de **25 segundos**, se pasa de 19'44 m/s a 27'78 m/s, quedando la ecuación del la velocidad en función del tiempo  $V = 0'3336 \cdot t + 19'44$ . Además la aceleración en este tramo es de  $\gamma = 0'3336 \text{ m/s}^2$ , con lo que la ecuación a resolver queda:

$$E_{6),r} =$$

$$\frac{\int_0^{25} [(1760 \cdot 0'3336 \cdot (0'3336 \cdot t + 19'44)) + (125'57 \cdot (0'3336 \cdot t + 19'44)) + (0'3152 \cdot (0'3336 \cdot t + 19'44)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{6),r} = \frac{\int_0^{25} [(195'86 \cdot t + 11413'9) + (41'89 \cdot t + 2441) + (0'0117 \cdot t^3 + 2'045 \cdot t^2 + 119'21 \cdot t + 2315'66)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{6),r} = 800618'5 J$$

**Séptimo tramo: Velocidad constante a 27'78 m/s.**

Este tramo es de **40 segundos** se circula a una  $V = cte = 27'78 \text{ m/s}$ , con lo que la ecuación quedará:

$$E_{7),r} = \frac{[(1760 \cdot 0 \cdot 27'78) + (125'57 \cdot 27'78) + (0'3152 \cdot 27'78^3)] \cdot 40}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{7),r} = \frac{(139533'38) + (270298)}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{7),r} = 621899 \text{ J}$$

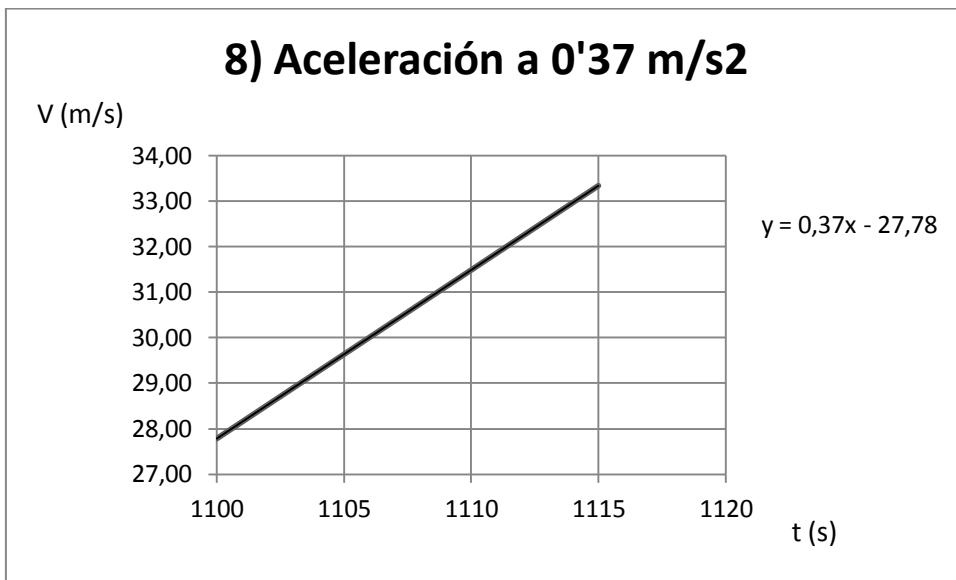
**Octavo tramo: Aceleración a 0'37 m/s<sup>2</sup>.**

Figura 80. Recta de aceleración constante a 0'37 m/s<sup>2</sup> del ciclo EUDC.

En este tramos de **15 segundos**, se pasa de 27'78 m/s a 33'33 m/s, quedando la ecuación de la velocidad en función del tiempo  $V = 0'37 \cdot t + 27'78$ . Además la aceleración en este tramo es de  $\gamma = 0'37 \text{ m/s}^2$ , con lo que la ecuación a resolver queda:

$$E_{8),r} = \frac{\int_0^{15} [(1760 \cdot 0'37 \cdot (0'37 \cdot t + 27'78)) + (125'57 \cdot (0'37 \cdot t + 27'78)) + (0'3152 \cdot (0'37 \cdot t + 27'78)^3)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{8),r} = \frac{\int_0^{15} [(240'94 \cdot t + 18090'33) + (46'46 \cdot t + 3488'33) + (0'016 \cdot t^3 + 3'6 \cdot t^2 + 270 \cdot t + 6757'51)] \cdot dt}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{8),r} = 746589'6 \text{ J}$$

**Noveno tramo: Velocidad constante a 33'33 m/s.**

Este tramo es de **10 segundos** se circula a una  $V = cte = 33'33 \text{ m/s}$ , con lo que la ecuación quedará:

$$E_{9),r} = \frac{[(1760 \cdot 0 - 33'33) + (125'57 \cdot 33'33) + (0'3152 \cdot 33'33^3)] \cdot 10}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{9),r} = \frac{(41852'5) + (116705'7)}{0'659} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{9),r} = 240604'28 \text{ J}$$

Al igual que en el apartado anterior, sumamos todos los valores de energía obtenidos para cada tramo para así tener el valor total de la energía consumida en el ciclo EUDC:

$$E_{1),r} = 719478 \text{ J}; E_{2),r} = 382560'42 \text{ J}; E_{3),r} = 274991'52 \text{ J}; E_{4),r} = 432481'23 \text{ J}$$

$$E_{5),r} = 360906 \text{ J}; E_{6),r} = 800618'5 \text{ J}; E_{7),r} = 621899 \text{ J}$$

$$E_{8),r} = 746589'6 \text{ J}; E_{9),r} = 240604'28 \text{ J}$$

$$E_{EUDC} = E_{1),r} + E_{2),r} + E_{3),r} + E_{4),r} + E_{5),r} + E_{6),r} + E_{7),r} + E_{8),r} + E_{9),r} = 4580128'55 \text{ J}$$

Por lo tanto:

$$E_{NEDC \text{ carretera}} = E_{EUDC} = 4580128'55 \text{ J}$$

**Energía total consumida para el ciclo NEDC.**

Obtenidos ya los consumos de ambas partes de ciclo, urbano y carretera, la energía total de ciclo será:

$$E_{NEDC} = 4 \cdot E_{ECE-15} + E_{EUDC} = 2265303'92 + 4580128'55 = 6845432'47 \text{ J}$$



## **ANEXO 9:**

### **EL ORIGEN DE LA ENERGÍA EÓLICA**



# ANEXO 9: El origen de la energía eólica.

La energía eólica tiene su origen en la solar, más específicamente en el calentamiento diferencial de masas de aire por el Sol, ya sea por diferencias de latitud (vientos globales) o el terreno (mar-tierra o vientos locales).

Las diferencias de radiación entre distintos puntos de la Tierra generan diversas áreas térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión, en movimiento de estas masas, el viento.

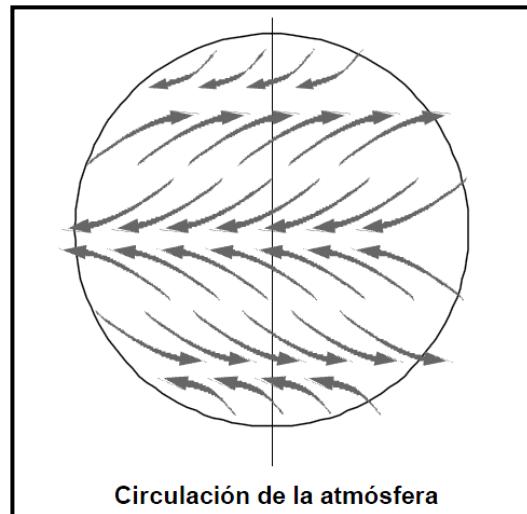
## El viento.

### Vientos geostróficos

El calentamiento dispar de la superficie terrestre por acción de la radiación solar es el principal causante del viento. En las regiones ecuatoriales se produce una mayor absorción de radiación solar que en las polares. Entonces el aire caliente que se eleva en los trópicos es reemplazado por las masas de aire fresco superficial proveniente de los polos.

El ciclo se cierra con el desplazamiento, por la alta atmósfera, del aire caliente hacia los polos. Esta circulación general, que sería la observada si la tierra no girase, se ve profundamente alterada por el movimiento de rotación de la tierra generando zonas de vientos dominantes que responden a patrones definidos.

A lo largo del año las variaciones de la radiación solar incidente, provocan variaciones en la intensidad y dirección de los vientos dominantes en cada uno de los puntos de la corteza terrestre.



**Figura 81.** Vientos geostróficos.

Las direcciones del viento dominantes son:

Latitud	90-60°N	60-30°N	30-0°N	0-30°S	30-60°S	60-90°S
Dirección	NE	SO	NE	SE	NO	SE

**Tabla 28.** Direcciones del viento dominantes.

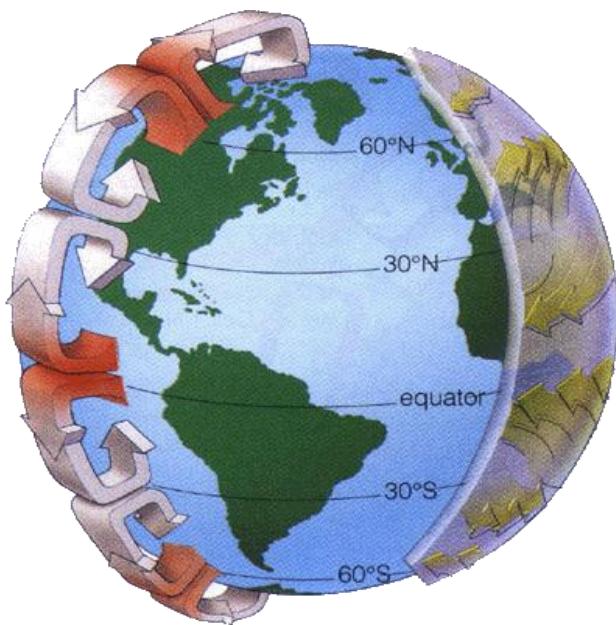


Figura 82. Vientos geostróficos.

Estos vientos generados por las diferencias de temperatura, así como por las de presión, se denominan vientos geostróficos. Se encuentran a una altura de unos 1000m a partir del nivel del suelo, por lo que apenas son influenciados por la superficie de la tierra. La velocidad de estos vientos geostróficos puede ser medida utilizando globos sonda.

Además del movimiento general de la atmósfera, que define los vientos dominantes en las grandes regiones de la tierra, al estar ésta más caliente, existen fenómenos de características locales que originan estructuras particulares de los vientos.

### Vientos locales.

Aunque los vientos geostróficos son importantes en la determinación de los vientos dominantes de un área determinada, las condiciones climáticas locales pueden influir en las direcciones de viento más comunes.

La dirección del viento es la suma de los efectos global y local, por lo que cuando los vientos a gran escala son suaves, los vientos locales pueden dominar los regímenes de viento.

### Brisas marinas.

Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que el mar por efecto del Sol. El aire sube, circula hacia el mar, y crea una depresión a nivel del suelo que atrae el aire frío del mar. Esto es lo que se llama **brisa marina**. A menudo hay un periodo de calma al anochecer, cuando las temperaturas del suelo y del mar se igualan.

Durante la noche los vientos soplan en sentido contrario. Normalmente durante la noche la **brisa terrestre** tiene velocidades inferiores, debido a que la diferencia de temperaturas entre la tierra y el mar es más pequeña.

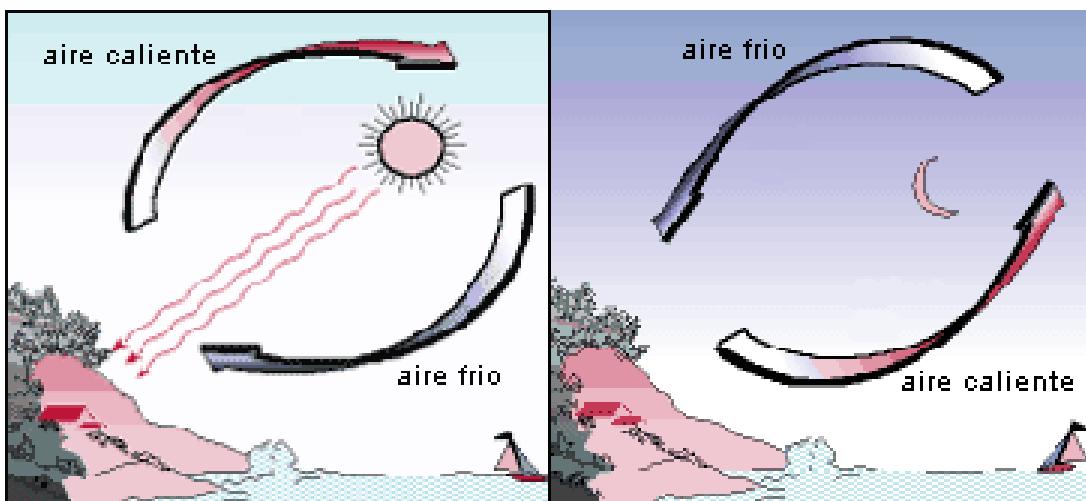


Figura 83. Brisas marinas.

El conocido monzón del sureste asiático es en realidad una forma a gran escala de la brisa marina y la brisa terrestre, variando su dirección según la estación, debido a que la tierra se calienta o enfriá más rápidamente que el mar.

#### **Vientos de montaña.**

Las regiones montañosas muestran modelos de clima muy especiales. Un ejemplo es el **viento del valle** que se origina en las laderas que dan al sur (o en las que dan al norte en el hemisferio sur). Cuando las laderas y el aire próximo a ellas están calientes la densidad del aire disminuye, y el aire asciende hasta la cima siguiendo la superficie de la ladera. Durante la noche la dirección del viento se invierte, convirtiéndose en un viento que fluye ladera abajo. Si el fondo del valle está inclinado, el aire puede ascender y descender por el valle; este efecto es conocido como viento de cañón.

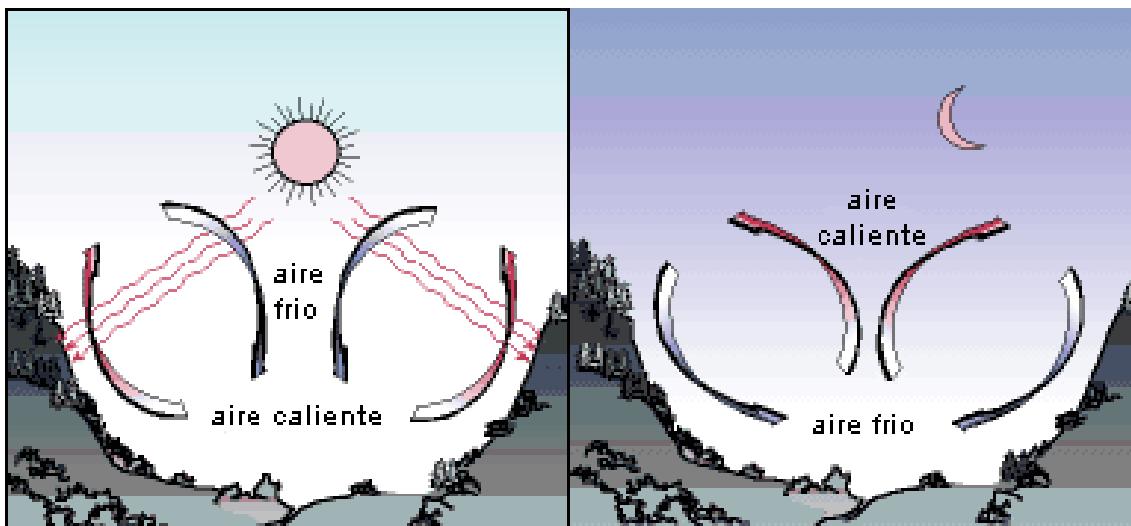


Figura 84. Vientos de montaña.

Los vientos que soplan en las laderas a sotavento pueden ser bastante potentes. Ejemplo de ello son: El Fhon de los Alpes en Europa, el Chinook en las Montañas Rocosas y el Zonda en los Andes.

Ejemplos de otros sistemas de viento locales son el Mistral, soplando a lo largo del valle del Rhone hasta el Mar Mediterráneo, y el Sirocco, un viento del sur proveniente del Sahara que sopla hacia el Mar Mediterráneo.

### La influencia del terreno.

La dirección del viento está determinada por efectos topográficos y por la rotación de la Tierra. Es de gran importancia el conocimiento de las direcciones dominantes para instalar los equipos que extraerán la energía proveniente de este recurso. Los aerogeneradores se deben colocar en lugares donde exista la menor cantidad de obstáculos posibles en estas direcciones.

Es importante señalar que la velocidad del viento varía con la altura y depende fundamentalmente de la naturaleza del terreno sobre el cual se desplazan las masas de aire. La variación de velocidad puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha$$

Donde  $V_1 < V_2$  representan las velocidades del viento a las alturas  $h_1 < h_2$ , respectivamente. El exponente  $\alpha$  caracteriza al terreno, pudiendo variar entre 0,08 (sobre superficies lisas como hielo, lagunas, etc.) y 0,40 (sobre terrenos muy accidentados).

- $\alpha = 0'10$  y  $0'13$ : terreno liso (mar, arena, nieve).
- $\alpha = 0'13$  y  $0'20$ : terreno moderadamente rugoso (herba, terreno rural).
- $\alpha = 0'20$  y  $0'27$ : terreno rugoso (bosques, viviendas aisladas).
- $\alpha = 0'27$  y  $0'40$ : terreno muy rugoso (ciudades).

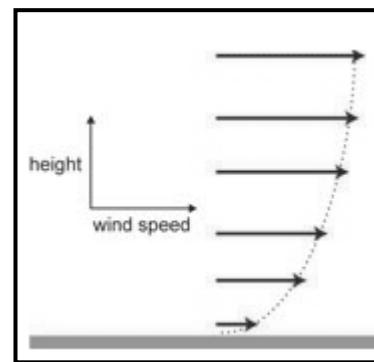


Figura 85. Perfil de velocidades del viento.

Los obstáculos del viento tales como edificios, árboles, formaciones rocosas, etc. pueden disminuir la velocidad del viento de forma significativa y a menudo crean turbulencias en torno a ellos. La zona de turbulencias puede extenderse hasta una altura alrededor de 3 veces superior a la altura del obstáculo.

Los obstáculos disminuirán la velocidad del viento corriente abajo del obstáculo. Esta disminución depende de la porosidad del obstáculo, es decir, de cómo de "abierto" sea el obstáculo.

El efecto de frenado del viento que un obstáculo produce aumenta con la altura y la longitud del mismo. El efecto será más pronunciado cerca del obstáculo y cerca del suelo. En el cálculo de potencia de un aerogenerador siempre hay que tener en cuenta los obstáculos próximos a la turbina (a menos de un kilómetro en cualquiera de las direcciones más importantes del viento).

### La variabilidad de la velocidad del viento.

La velocidad del viento está siempre fluctuando, por lo que su contenido energético varía continuamente. De qué magnitud sea exactamente esa fluctuación, depende tanto de las

condiciones climáticas como de las condiciones de superficie locales y de los obstáculos de los que ya se ha comentado.

El viento atmosférico puede describirse como la suma de dos términos. El primero, constante, que representa la velocidad media. El segundo, variable con el tiempo y que representa las fluctuaciones. La velocidad  $u(t)$  del viento será entonces:

$$u(t) = \bar{u} + u'(t)$$

Las turbulencias se dan a números altos de Reynolds. Es debida a fuerzas inerciales no lineales y por lo tanto su modelización es difícil. Las ráfagas de viento suelen tener frecuencias bajas ya que son producidas por calentamientos del fluido por la radiación. En las turbulencias, las frecuencias abarcan un amplio espectro con predominio de las altas.

La componente variable del viento puede contener gran cantidad de energía a altas frecuencias. La producción de energía de una turbina eólica variará conforme varíe el viento, aunque las variaciones más rápidas debidas a turbulencias, serán hasta cierto punto compensadas por la inercia del rotor de la turbina eólica. Sin embargo, las turbulencias deben tenerse en cuenta durante el diseño ya que si las frecuencias de las ráfagas coinciden con la natural de los materiales de los aerogeneradores, pueden producirse serios daños en la estructura por fatiga.

La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, donde el horizontal representa la velocidad del viento y el eje horizontal la probabilidad de esa velocidad.

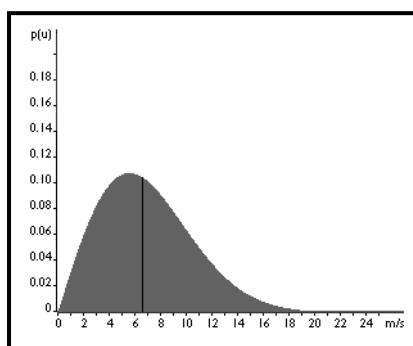


Figura 86. Distribución de Weibull.

Los fabricantes de aerogeneradores proporcionan gráficas de rendimiento para sus máquinas usando la distribución de Raileigh (distribución de Weibull con parámetro 2).

Si multiplicamos la potencia asociada a cada velocidad del viento con la probabilidad de cada velocidad del viento de la gráfica de Weibull, se obtiene la densidad de potencia.

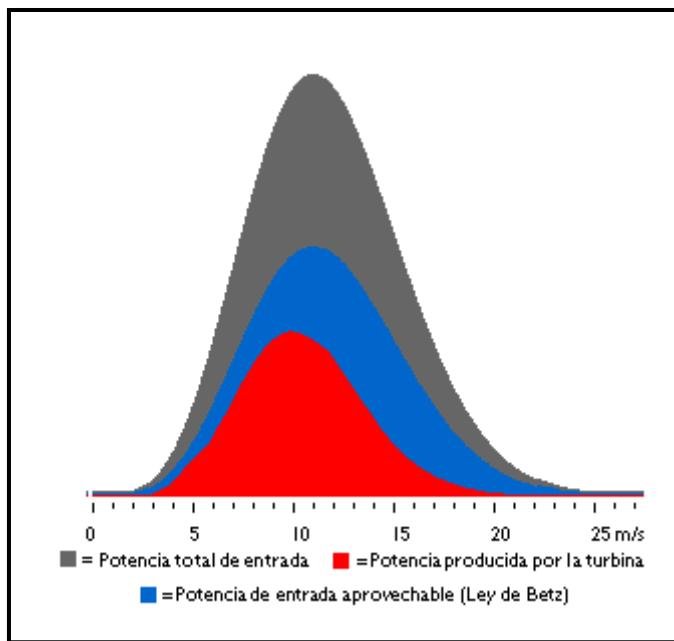


Figura 87. Densidad de potencia.

De todo lo dicho se concluye que el viento es un recurso esencialmente variable y dependiente de muchos factores. La correcta utilización de la energía eólica exige tomar en cuenta velocidades medias, ráfagas, direcciones dominantes y eventuales obstáculos para seleccionar tanto los lugares de emplazamiento como las características constructivas (altura de la torre, velocidades máximas que soportan, velocidad de puesta en marcha, etc.) de las máquinas a instalar.

**ANEXO 10:**

**PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE  
UN AEROGENERADOR**

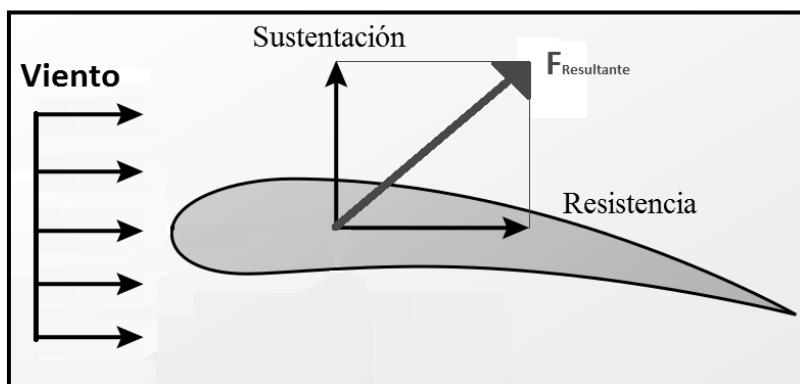


# ANEXO 10: Principio de funcionamiento de un aerogenerador.

El principio aerodinámico por el cual el conjunto de palas gira, es similar al que hace que los aviones vuelen. La cantidad de energía extraíble del viento a una velocidad determinada depende de la geometría de las palas del rotor.

Según este principio, el aire es obligado a fluir por las caras superior e inferior del perfil inclinado de una pala, haciendo circular al aire más rápido por un lado que por otro de la misma, generando así una diferencia de presiones entre ambas caras, y dando origen a una fuerza de sustentación perpendicular a la dirección del viento.

Además de esta fuerza de sustentación, la pala sufre la acción de la resistencia aerodinámica (fuerza de arrastre), que es una fuerza aplicada en la dirección y el sentido del viento.



**Figura 12.** Fuerzas de sustentación y resistencia.

El modelo matemático de la fuerza de sustentación es:

$$L = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_L$$

Donde:

- $L$  es la fuerza de sustentación en newtons.
- $\rho$  es la densidad del fluido, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $V$  es la velocidad, en  $\text{m/s}$ .
- $A$  es el área de referencia del cuerpo (también llamado "superficie alar"), representado por  $\text{m}^2$ .
- $C_L$  es el coeficiente de sustentación. Como el resto de coeficientes aerodinámicos, es adimensional. Este coeficiente se halla experimentalmente de acuerdo a la ecuación anterior.

Y el modelo matemático de la fuerza de arrastre es:

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D$$

Donde:

- $D$  es la fuerza de arrastre en newtons.
- $\rho$  es la densidad del fluido, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $V$  es la velocidad, en  $\text{m/s}$ .
- $A$  es el área de referencia del cuerpo representado por  $\text{m}^2$ .
- $C_D$  es el coeficiente de arrastre. Como el resto de coeficientes aerodinámicos, es adimensional.

Según como estén orientadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente de arrastre o de sustentación.

**ANEXO 11:**

**POTENCIA EÓLICA Y LÍMITE DE BETZ**



# ANEXO 11: Potencia eólica y límite de Betz.

## Potencia eólica.

La energía máxima teórica que se puede extraer de un flujo de aire, viene dada por la expresión de la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

Donde  $E_c$  es la energía cinética en Julios,  $m$  la masa kg y  $V$  la velocidad del flujo de aire en m/s.

Considerando que el volumen de aire que atraviesa las aspas, es un cilindro definido por un área de captación  $A$  en  $\text{m}^2$ , igual al área de barrido de las aspas, y un espesor  $e$  en m, distancia entre el área de barrido de las aspas inicial y final, conocida la densidad del aire  $\rho$  en  $\text{kg/m}^3$ , se puede sustituir la masa quedando la ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho A e V^2$$

Siendo la potencia (Wattios), energía (Julios) partido por unidad de tiempo (segundos), la potencia del viento disponible sería:

$$P = \frac{1}{2} \rho A e V^2$$

La velocidad se puede expresar como espacio partido por tiempo. Siendo el espacio recorrido por el flujo de aire  $e$  y el tiempo  $dt$ , despejando el espacio se obtiene:

$$e = V dt$$

Sustituyendo en la ecuación de la potencia el espesor  $e$ , se obtiene que la potencia asociada a un flujo de aire si este cediese toda su energía ( $V_{\text{salida}} = 0 \text{ m/s}$ ) es de:

$$P_{\text{flujo de aire}} = \frac{1}{2} \rho A V^2 \cdot V dt = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Como se aprecia en la ecuación, la potencia depende de la densidad ( $1'225 \text{ kg/m}^3$  a presión atmosférica normal y a  $15^\circ\text{C}$ ), del área de barrido del rotor y sobre todo, de la velocidad, por lo que pequeñas variaciones de la velocidad provocan grandes variaciones de potencia.

Pero una corriente de aire que se mueve a través de un aerogenerador no puede ceder toda su energía cinética, ya que debe conservar una cierta velocidad a la salida del aerogenerador. El rozamiento producirá también pérdidas, con lo que un aerogenerador nunca podrá extraer el 100% de la energía del viento.

### Límite de Betz.

Para expresar la potencia aprovechable en un aerogenerador se utiliza el coeficiente de potencia  $C_p$ , que es función, para cada máquina, de la velocidad del viento.

$$P_a = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

El valor máximo de este coeficiente se conoce como Límite de Betz. Este valor se calcula por medio de una demostración, donde la velocidad media del aire en el rotor se calcula como una función de la velocidad antes y después de las palas, y donde la expresión de la potencia aprovechable se deriva y se iguala a cero para obtener el máximo valor.

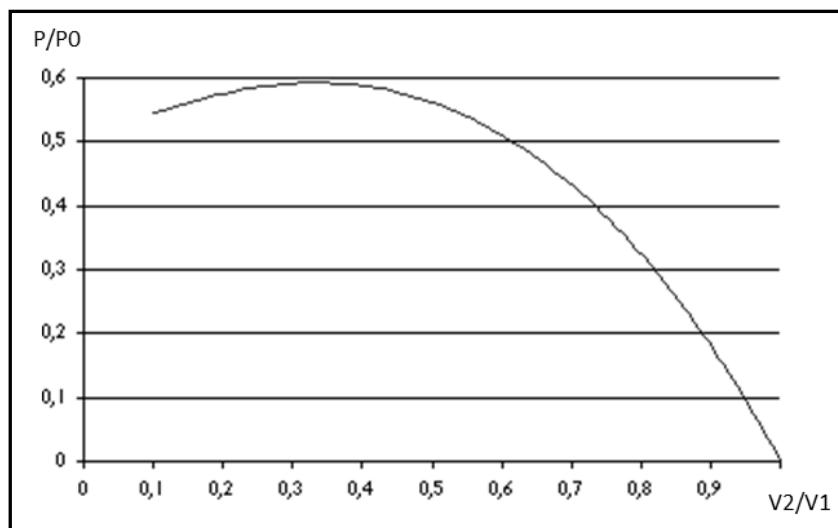


Figura 13. Límite de Betz.

El valor de este límite es igual a  $16/27$  ( $C_p=0'59259$ ), así que la potencia máxima que se puede extraer del viento es del 59'26%.

Quedando entonces una expresión para la potencia aprovechable máxima de la siguiente forma:

$$P_{a,MAX} = \frac{1}{2} 0'5926 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

**ANEXO 12:**

**TIPOS DE AEROGENERADORES**



# ANEXO 12: Tipos de aerogeneradores.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, etc.

## Clasificación según el tipo de eje.

### De eje horizontal.

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso. Ésta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia y confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

Las partes principales de un aerogenerador de eje horizontal son:

- **Rotor:** Las palas del rotor, construidas principalmente con materiales compuestos, se diseñan para transformar la energía cinética del viento en un momento torsor en el eje del equipo. Los rotores modernos pueden llegar a tener un diámetro de 42 a 80 metros y producir potencias equivalentes de varios MW. La velocidad de rotación está normalmente limitada por la velocidad de punta de pala, cuyo límite actual se establece por criterios acústicos.
- **Góndola:** Sirve de alojamiento para los elementos mecánicos y eléctricos (multiplicadora, generador, armarios de control,...) del aerogenerador.
- **Caja de engranajes o multiplicadora:** Puede estar presente o no dependiendo del modelo. Transforman la baja velocidad del eje del rotor en alta velocidad de rotación en el eje del generador eléctrico.
- **Generador:** Existen diferentes tipos dependiendo del diseño del aerogenerador. Pueden ser síncronos o asíncronos, jaula de ardilla o doblemente alimentados, con excitación o con imanes permanentes. Lo podemos definir como parte del generador que convierte la energía en electricidad.
- **La torre:** Sitúa el generador a una mayor altura, donde los vientos son de mayor intensidad y para permitir el giro de las palas y transmite las cargas del equipo al suelo.
- **Sistema de control:** Se hace cargo del funcionamiento seguro y eficiente del equipo, controla la orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entregada por el equipo.

Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen su eje de rotación principal en la parte superior de la torre, que tiene que orientarse hacia el viento de alguna manera. Los aerogeneradores pequeños se orientan mediante una veleta, mientras que los más grandes utilizan un sensor de dirección y se orientan por servomotores.

Existen dos tecnologías de generadores eléctricos: multi-polos y de imanes permanentes. Los primeros funcionan a velocidades del orden de 1000 rpm. Dado que la velocidad de rotación de las aspas es baja (12 rpm), requieren el uso de una caja reductora o multiplicadora para

conseguir una velocidad de rotación adecuada. Los de imanes permanentes no requieren multiplicadora.

En la mayoría de los casos la velocidad de giro del generador está relacionada con la frecuencia de la red eléctrica a la que se vierte la energía generada (50 o 60 Hz).

En general, las palas están emplazadas de tal manera que el viento, en su dirección de flujo, la encuentre antes que a la torre (rotor a barlovento). Esto disminuye las cargas adicionales que genera la turbulencia de la torre en el caso en que el rotor se ubique detrás de la misma (rotor a sotavento). Las palas se montan a una distancia razonable de la torre y tienen alta rigidez, de tal manera que al rotar y vibrar naturalmente no choquen con la torre en caso de vientos fuertes. El rotor suele estar inclinado 6º para evitar el impacto de las palas con la torre.

A pesar de la desventaja en el incremento de la turbulencia, se han construido aerogeneradores con hélices localizadas en la parte posterior de la torre, debido a que se orientan en contra del viento de manera natural, sin necesidad de usar un mecanismo de control. Sin embargo, la experiencia ha demostrado la necesidad de un sistema de orientación para la hélice que la ubique delante de la torre. Este tipo de montaje se justifica debido a la gran influencia que tiene la turbulencia en el desgaste de las aspas por fatiga. La mayoría de los aerogeneradores actuales son de este último modelo.



Figura 88. Aerogenerador de eje horizontal.

En general, los aerogeneradores modernos de eje horizontal se diseñan para trabajar con velocidades del viento que varían entre 3 y 24 m/s de promedio. La primera es la llamada velocidad de conexión y la segunda la velocidad de corte. Básicamente, el aerogenerador comienza produciendo energía eléctrica cuando la velocidad del viento supera la velocidad de conexión y, a medida que la velocidad del viento aumenta, la potencia generada es mayor, siguiendo la llamada curva de potencia.

Las palas disponen de un sistema de control de forma que su ángulo de ataque varía en función de la velocidad del viento. Esto permite controlar la velocidad de rotación para conseguir una velocidad de rotación fija con distintas condiciones de viento.

Asimismo, es necesario un sistema de control de las velocidades de rotación para que, en caso de vientos excesivamente fuertes, que podrían poner en peligro la instalación, haga girar a las palas de la hélice de tal forma que éstas presenten la mínima oposición al viento, con lo que la hélice se detendría.

Para aerogeneradores de gran potencia, algunos tipos de sistemas pasivos, utilizan características aerodinámicas de las palas que hacen que aún en condiciones de vientos muy fuertes el rotor se detenga. Esto se debe a que él mismo entra en un régimen llamado "pérdida aerodinámica".

### **De eje vertical.**

Son aquellos en los que el eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo. También se denominan VAWT (del inglés, Vertical Axis Wind Turbine).

Diversas empresas han diseñado innovadores modelos para cubrir parte de las necesidades energéticas de sus usuarios. No obstante, si bien son cada vez más competitivos, todavía son algo caros para la poca potencia que producen.

Los defensores de los aerogeneradores de eje vertical señalan diversas ventajas de estos modelos, que las hacen, en teoría, asequibles a los consumidores:

- No necesitan grandes inversiones porque sus dimensiones pueden ser pequeñas y no exigen una torre potente o equipamientos más complejos como los de eje horizontal. Su instalación y mantenimiento es sencillo, y se pueden ubicar en cualquier lugar, tanto en el suelo como en un tejado o azotea.
- Aprovechan mejor los vientos turbulentos y de baja altura, así como las irregularidades del terreno, que incrementan la velocidad del viento. Los edificios lo redireccionan hacia arriba y pueden llegar a doblar su velocidad, que la turbina aprovecha.
- Funcionan de manera silenciosa, algo indispensable en lugares habitados, tanto urbanos como rurales. A diferencia de los de eje horizontal, se ponen en marcha con pequeñas velocidades del viento y son más resistentes a las ventoleras fuertes.
- Su impacto ambiental es menor: las aves pueden evitarlos con más facilidad y no necesitan estar en espacios naturales para aprovechar la energía eólica.
- Su alineación vertical recibe al viento desde cualquier dirección y, por tanto, no requieren ningún



Figura 89. Aerogenerador de eje vertical.

sistema de alineamiento del aerogenerador, como los de eje horizontal. Esta virtud es muy útil en lugares donde el viento cambia de forma rápida.

Los responsables de estas turbinas eólicas aseguran que estos modelos son cada vez más competitivos, pero su precio todavía es caro, si se tiene en cuenta la escasa potencia que pueden producir. Este hecho se debe a varios factores:

- Al estar cerca del suelo, la velocidad del viento es baja y supone una menor potencia. Además, su eficiencia es reducida (un 50% menor en la mayoría de los modelos, con respecto a los de eje horizontal).
- En algunos casos requieren un sistema de arranque conectado a la red y cables tensores y estructuras de refuerzo para estabilizar el aerogenerador. Además, si no se diseña de forma adecuada, su desmontaje puede resultar complicado.
- La actual normativa favorece el desarrollo de grandes instalaciones de aerogeneradores, mientras que la mini eólica, en la que se hallan estas turbinas de eje vertical, se mantiene relegada. Este hecho también frena su desarrollo tecnológico, ya que las empresas y los centros de investigación no cuentan con los suficientes alicientes.

## **Clasificación según la orientación con respecto al viento.**

### **A barlovento.**

También denominado a proa. La mayoría de los aerogeneradores tienen este tipo de diseño. Consiste en colocar el rotor de cara al viento, siendo la principal ventaja el evitar el abrigo del viento tras la torre. Como desventaja diremos que necesita mecanismo de orientación del rotor, y que esté situado a cierta distancia de la torre.

### **A sotavento.**

También denominado a popa. Como ventaja presenta que el rotor puede ser más flexible, y que no necesita mecanismo de orientación. Su principal inconveniente es la fluctuación de la potencia eólica, debido al paso del rotor por el abrigo de la torre, por lo que crea más cargas de fatiga en la turbina que con el diseño anterior (Barlovento).

## **Clasificación por el número de palas.**

### **De una pala.**

Al tener una sola pala necesitan de un contrapeso. Su velocidad de giro es muy elevada, lo que supone un inconveniente ya que introduce en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que supone un acortamiento de la vida de la instalación.

### **De dos palas.**

Los diseños de bipalas tienen la ventaja de ahorro en cuanto a coste y peso, pero por el contrario necesitan una velocidad de giro más alta para producir la misma cantidad de energía.

### **De tres palas.**

La mayoría de los aerogeneradores de hoy día son tripala, con el rotor a barlovento, usando motores eléctricos para sus mecanismos de orientación. El motivo es la fricción con el aire, con tres palas tienen un 4% más de rendimiento que con dos, y con dos palas tienen un 10% más que con una.

### **Multipala.**

También conocido como el modelo americano, contiene multitud de palas, y sobre todo es utilizado para la extracción de agua en pozos.

## **Clasificación por la adecuación de la orientación del equipo a la dirección del viento en cada momento.**

### **Mediante conicidad.**

Mediante un motor eléctrico y una serie de engranajes permiten el giro de todo el sistema, dejando perfectamente orientado el aerogenerador a la dirección del viento.

### **Mediante una veleta.**

Se emplea en equipos pequeños y de tamaño no muy grande, siendo el método más sencillo para orientar los aerogeneradores.

### **Mediante molinos auxiliares.**

Sistema no demasiado utilizado, y que consiste en instalar a ambos lados de la góndola dos rotores, los cuales son movidos por la propia fuerza del viento.

## **Clasificación por el control de potencia**

### **Sistemas de paso variable.**

Consiste en que las palas varían su ángulo de incidencia con respecto al viento. De esta forma cuando la potencia del viento es excesiva, se disminuye la resistencia de las palas con respecto al viento, evitando posibles daños estructurales. El mecanismo que rige este sistema funciona de forma hidráulica.

### **Diseño de las palas.**

También conocido como diseño de regulación por pérdidas aerodinámicas. En este diseño la pala está ligeramente curvada a lo largo de su eje longitudinal, de esta forma la pala pierde la sustentación de forma paulatina y gradual, en vez de hacerlo bruscamente, cuando la velocidad del viento alcanza valores críticos. Los diseños de bipalas tienen la ventaja de ahorro en cuanto a coste y peso, pero por el contrario necesitan una velocidad de giro más alta para producir la misma cantidad de energía

### **Regulación activa por perdida aerodinámica.**

En este caso se aumenta el ángulo de paso de las palas para llevarlas hasta una posición de mayor pérdida de sustentación, y poder consumir de esta forma el exceso de energía del viento. Sus principales ventajas son que la producción de potencia puede ser controlada de forma más exacta que con la regulación pasiva, y que puede funcionar a la potencia nominal con casi todas las velocidades de viento II.

**ANEXO 13:**

**MINI-AEROGENERADORES**



# ANEXO 13: Mini-aerogeneradores.

Para este estudio han seleccionado tres mini-aerogeneradores de eje vertical de potencias comprendidas entre 600 W y 4000 W, de la marca Urban Green Energy.

## Urban Green Energy Eddy (600W).

El más pequeño es el EDDY (600W), un mini-aerogenerador que se adapta fácilmente a diferentes entornos. Su baja velocidad de viento nominal permite que suministre energía incluso en zonas con velocidades bajas de viento. En sitios residenciales, comerciales o públicas, este aerogenerador es una fuente de energía fiable que requiere poco mantenimiento. Este modelo, al conectarse al controlador, suministra corriente continua que se puede pasar directamente a la red o ser usada para cargar baterías.



Figura 90. Palas del mini-aerogenerador Eddy.

Descripción física		Rendimiento		Otras características	
<b>Tipo de eje</b>	Vertical	<b>Potencia nominal</b>	600 W	<b>Compatible con redes de...</b>	110V, 120V, 208V, 220V, 230V
<b>Altura del mástil</b>	Estandar 7m	<b>Velocidad de arranque</b>	3.5 m/s	<b>Tensión de salida nominal</b>	12/24 V DC
<b>Tamaño aerogenerador</b>	1.8m x1.4m	<b>Velocidad de parada</b>	32 m/s	<b>Tipo de generador</b>	Imán permanente
		<b>Velocidad nominal del viento</b>	12 m/s	<b>Sistema de transmisión</b>	Transmisión directa
<b>Área de barrido</b>	2.4 m <sup>2</sup>	<b>Velocidad máxima del viento</b>	55 m/s	Certificados	
<b>Peso</b>	92 kg	<b>RPM nominal</b>	200 rpm	Certificación CE Conformidad Europea IEC-61400-2 Seguridad de Aerogeneradores IEC-61400-11 Certificación del Nivel de Ruido IEC-61400-12 Certificación de la Producción Eléctrica ISO-2631 Certificación del Nivel de Vibraciones	
<b>Blade Materials</b>	Fibra de carbono y fibra de vidrio	<b>Energy/año a 5.5 m/s</b>	945 kWh/año		
		<b>Nivel de ruido a 12 m/s de acuerdo a IEC 61400-11</b>	< 36 dB		

\*Precio IVA incluido: 3.309'31 €

Tabla 29. Datos del mini-aerogenerador Eddy.

Curva de Rendimiento 600w

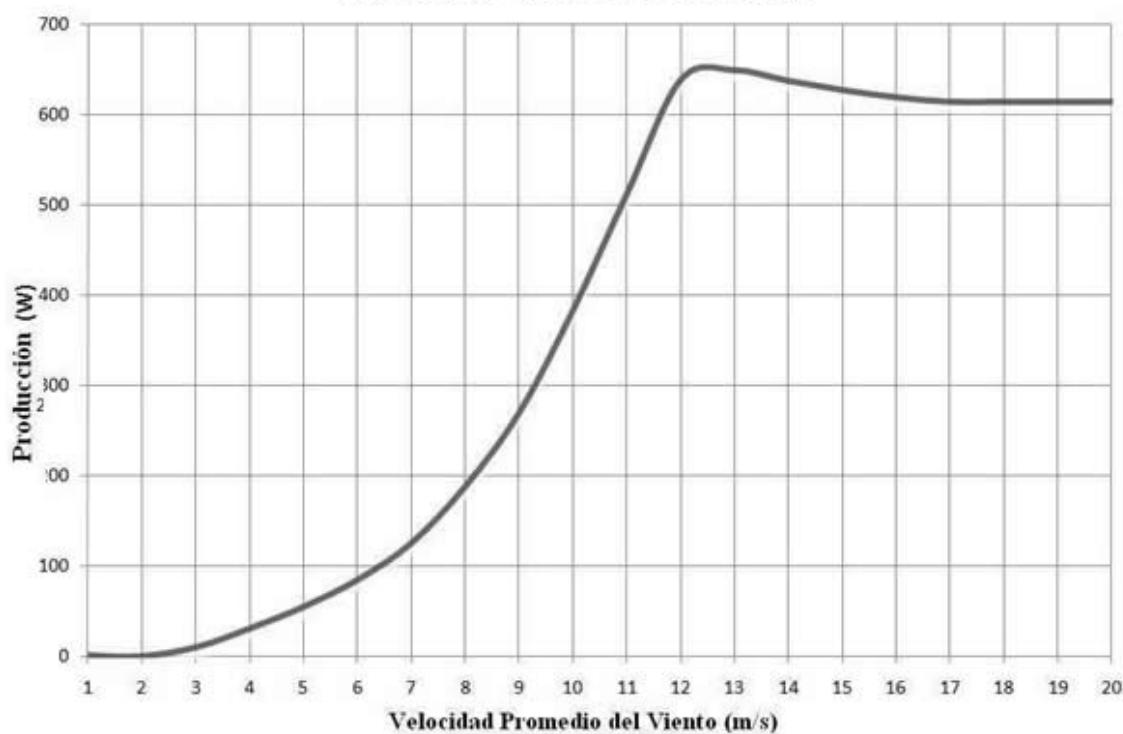


Figura 91. Curva de potencia del mini-aerogenerador Eddy.

Curva de Rendimiento Anual 600w

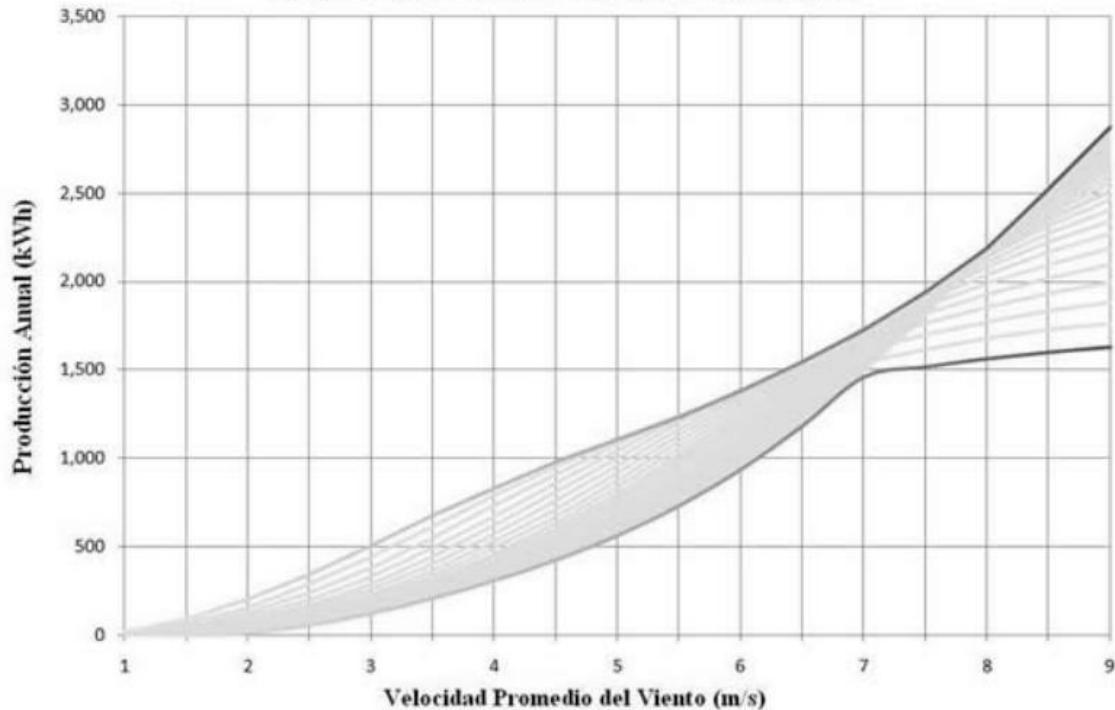


Figura 92. Producción anual de energía del mini-aerogenerador Eddy.

## Urban Green Energy Eddy GT (1000W).

Este aerogenerador de eje vertical de 1kW de potencia, puede suministrar electricidad 100% verde y renovable. Es más silencioso que muchos modelos actuales, y se puede instalar sobre un mástil o directamente en un tejado.

Está diseñado para contribuir de manera significativa a las necesidades eléctricas de los hogares u oficinas incluso a velocidades de viento bajas. El aerogenerador se puede conectar a la red eléctrica, permitiendo vender el exceso de electricidad o usar electricidad de la red si es necesario.



Figura 93. Palas del mini-aerogenerador Eddy GT.

Descripción física		Rendimiento		Otras características	
<b>Tipo de eje</b>	Vertical	<b>Potencia nominal</b>	1000 W	<b>Compatible con redes de...</b>	110V, 120V, 208V, 220V, 230V, 240V
<b>Altura del mástil</b>	Estandar 7m	<b>Velocidad de arranque</b>	3.5 m/s	<b>Tensión de salida nominal</b>	12/24 V DC
<b>Tamaño aerogenerador</b>	2.7m x1.8m	<b>Velocidad de parada</b>	30 m/s	<b>Tipo de generador</b>	Imán permanente
		<b>Velocidad nominal del viento</b>	12 m/s	<b>Sistema de transmisión</b>	Transmisión directa
<b>Área de barrido</b>	4.62 m <sup>2</sup>	<b>Velocidad máxima del viento</b>	55 m/s	Certificados	
<b>Peso</b>	175 kg	<b>RPM nominal</b>	180 rpm	Certificación CE Conformidad Europea IEC-61400-2 Seguridad de Aerogeneradores IEC-61400-11 Certificación del Nivel de Ruido IEC-61400-12 Certificación de la Producción Eléctrica ISO-2631 Certificación del Nivel de Vibraciones	
<b>Blade Materials</b>	Fibra de carbono y fibra de vidrio	<b>Energy/año a 5.5 m/s</b>	1750 kWh/año		
		<b>Nivel de ruido a 12 m/s de acuerdo a IEC 61400-11</b>	< 38 dB		

\*Precio IVA incluido: 5.986'14 €

Tabla 30. Datos del mini-aerogenerador Eddy GT.

Curva de Rendimiento 1k

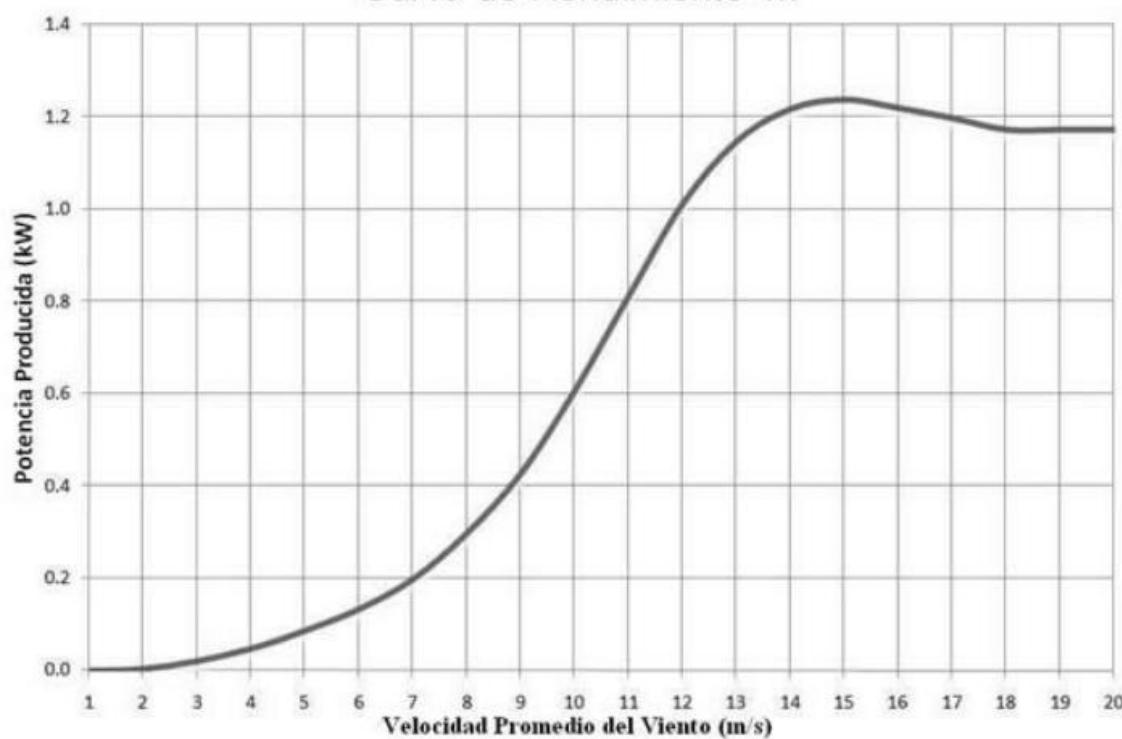


Figura 94. Producción anual de energía del mini-aerogenerador Eddy GT.

Curva de rendimiento Anual 1k

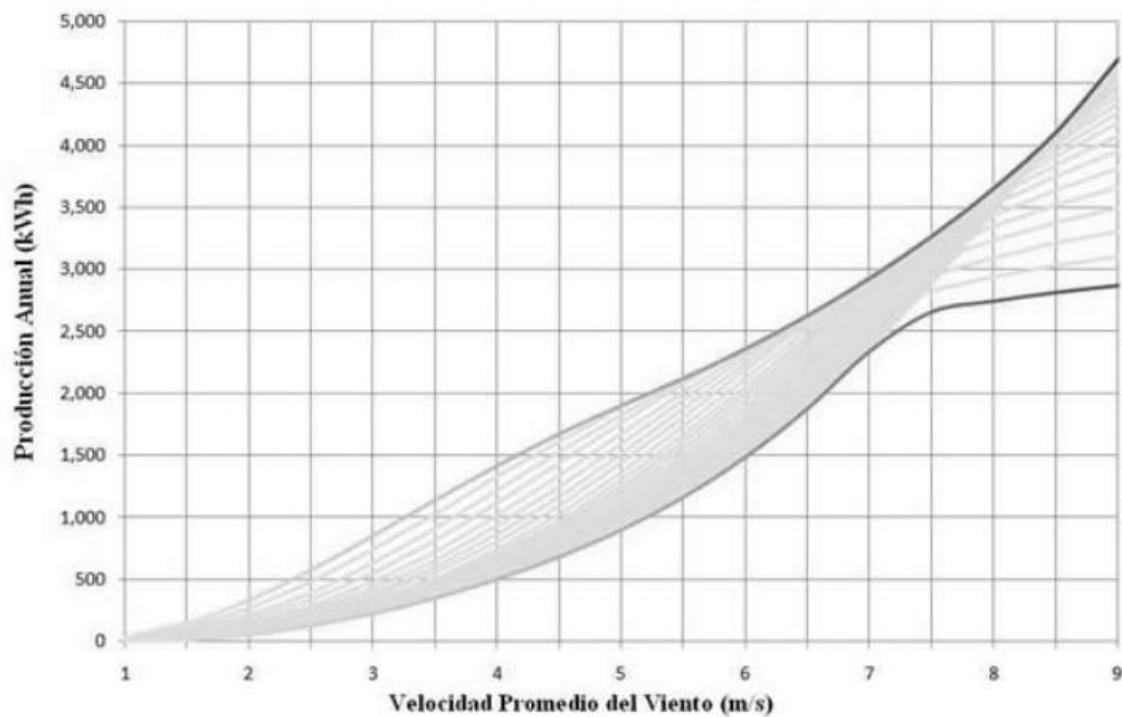


Figura 95. Producción anual de energía del mini-aerogenerador Eddy GT.

## Urban Green Energy UGE-4K (4000W).

El aerogenerador de eje vertical UGE 4K es el mayor de toda la gama de Urban Green Energy. Con él, al igual que con el resto, se puede utilizar tanto para el autoabastecimiento de una vivienda, o vender la energía producida a la red.

Está diseñado para proveer suficiente electricidad a un hogar promedio cuando la velocidad del viento es de tan sólo 16 km/h.



Figura 96. Palas del mini-aerogenerador UGE-4K.

Descripción física		Rendimiento		Otras características	
<i>Tipo de eje</i>	Vertical	<i>Potencia nominal</i>	4000 W	<i>Compatible con redes de...</i>	110V, 120V, 208V, 220V, 230V, 240V
<i>Altura del mástil</i>	Estandar 7m	<i>Velocidad de arranque</i>	3.5 m/s	<i>Tensión de salida nominal</i>	12/24 V DC
<i>Tamaño aerogenerador</i>	4.6m x3m	<i>Velocidad de parada</i>	30 m/s	<i>Tipo de generador</i>	Imán permanente
		<i>Velocidad nominal del viento</i>	12 m/s	<i>Sistema de transmisión</i>	Transmisión directa
<i>Área de barrido</i>	13.8 m <sup>2</sup>	<i>Velocidad máxima del viento</i>	55 m/s	Certificados	
<i>Peso</i>	461 kg	<i>RPM nominal</i>	120 rpm	Certificación CE Conformidad Europea IEC-61400-2 Seguridad de Aerogeneradores IEC-61400-11 Certificación del Nivel de Ruido IEC-61400-12 Certificación de la Producción Eléctrica ISO-2631 Certificación del Nivel de Vibraciones	
<i>Blade Materials</i>	Fibra de carbono y fibra de vidrio	<i>Energy/año a 5.5 m/s</i>	6000 kWh/año		
		<i>Nivel de ruido a 12 m/s de acuerdo a IEC 61400-11</i>	< 36 dB		

\*Precio IVA incluido: 16.512'45 €

Tabla 31. Datos del mini-aerogenerador UGE-4K.

### Curva de Rendimiento 4k

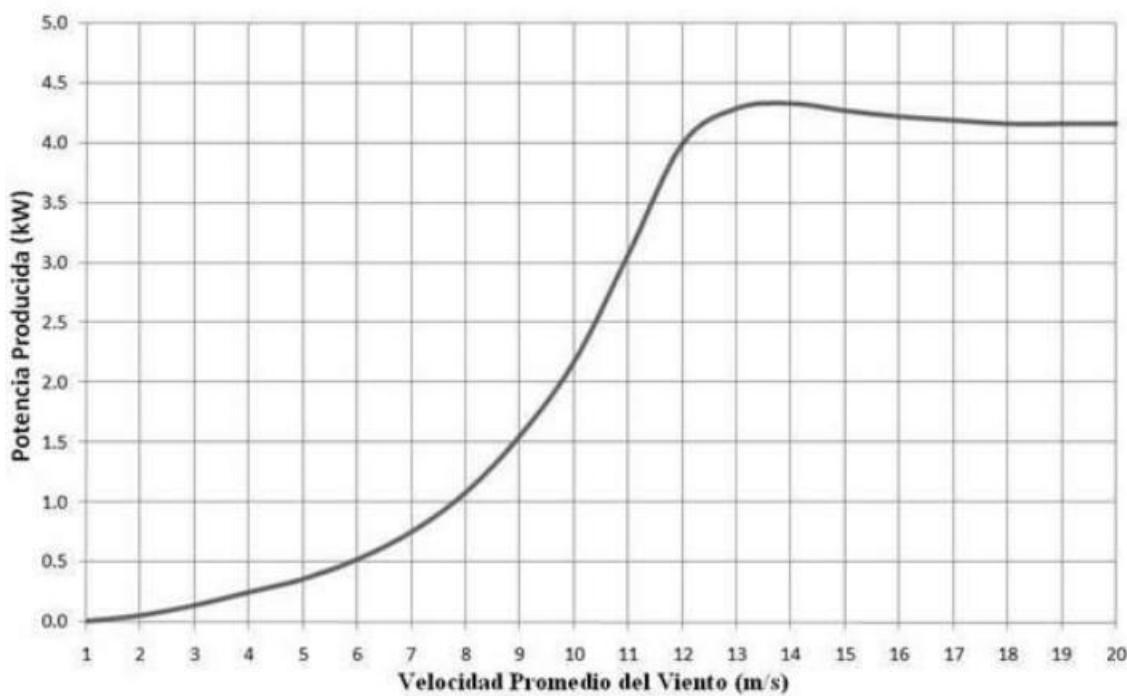


Figura 97. Producción anual de energía del mini-aerogenerador UGE-4K.

### Curva de rendimiento Anual 4k

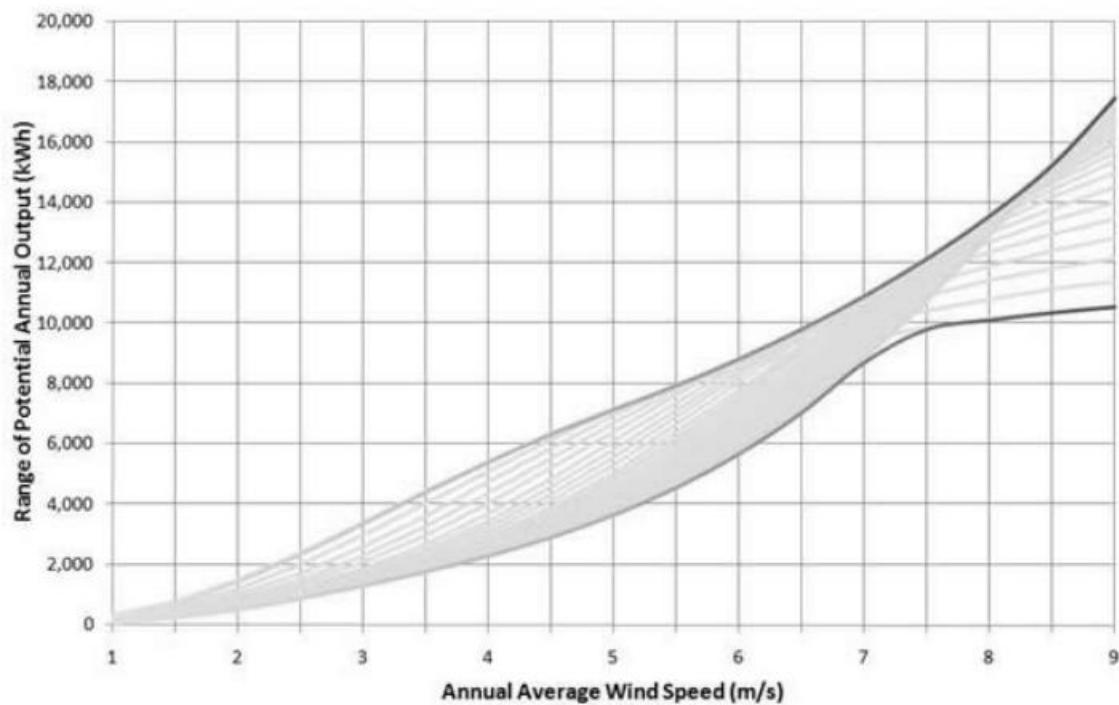


Figura 98. Producción anual de energía del mini-aerogenerador UGE-4K.

**ANEXO 14:**

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS  
ECONÓMICO**



# ANEXO 14: Resultados del análisis económico.

El archivo donde se realizan todos estos cálculos se puede descargar el archivo “Estudio económico.xlsx” → <http://db.tt/VOZmt1fY>

Como se hace referencia en el apartado 4.3 de la memoria, este estudio se realizará según la retribución siguiente (tarifa regulada) para la venta de energía a la red:

- Primeros 20 años: 7,3228 c€/kWh
- A partir de entonces: 6,12 c€/kWh

Los costes iniciales de los aerogeneradores serán:

Eddy → 3.951'1€                    Eddy GT → 7.781'98€                    UGE-4K → 21.466'18€.

Y la producción anual de los mismos:

*Eddy → 774'75 kWh/año      Eddy GT → 1323'02 kWh/año      UGE-4K → 5198'1 kWh/año*

Además, se tendrá en cuenta la diferencia de precio entre el vehículo eléctrico y el de combustión, que se estimará en:

- Sobrecoste del vehículo eléctrico a amortizar: 9.365 €.

Y también, que circular en este tipo de vehículos supone un ahorro de dinero, ya que su consumo es menor, de un mínimo de:

- Ahorro mínimo → 149'24€
- Ahorro máximo → 1279'37€

*Nota: Este ahorro se estimará que aumenta anualmente un 3%.*

Se supone que al igual que sucede con las instalaciones fotovoltaicas, un particular que decide vender electricidad con la instalación de un mini aerogenerador, al realizar una actividad económica tiene, entre otras, determinadas obligaciones con la Administración y terceros:

- ✓ Tiene que emitir las facturas a la eléctrica para cobrar la producción de energía vendida.
- ✓ Tiene obligación de realizar las declaraciones y liquidaciones correspondientes de IRPF, IVA o IGIC, Impuesto de la electricidad e Impuesto de operaciones con terceras personas. Estas liquidaciones son anuales y trimestrales.

Dado que se desconoce la fiscalidad en este tema y que puede variar de una comunidad autónoma a otra, se tomará un dato estimado de impuesto sobre los beneficios de:

- Impuestos sobre los beneficios: 16% (Dato estimado).

Se supondrá también que el precio de venta de energía aumenta con:

- Incremento anual del precio de la energía: 3% (Dato estimado).

Tendremos también en cuenta el valor actual neto (VAN), que es el procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, en el caso del estudio el aerogenerador y el vehículo eléctrico.

Se tomará un valor para el tipo de interés (tasa de descuento) aplicado al valor actual neto (VAN) de:

- Tasa de descuento: 3% (Dato estimado).

Los parámetros calculados en la tabla a partir de estos datos son:

- Amortización del aerogenerador (*Amort Aerogenerador*), tiempo máximo durante el cual se puede deducir fiscalmente el coste del aparato), que se supondrá a 20 años y por lo tanto será igual a Coste aerogenerador dividido por 20 años.
- Beneficios antes de impuestos y tasas (*BAIT*), que se calculan con los ingresos de la producción eléctrica, menos los gastos (para este estudio no se suponen gastos) y la amortización.
- Impuestos, que se calculan con el 16% sobre el BAIT (si este es negativo, los impuestos serán cero).
- Beneficios después de tasas (*BDT*), que es el resultado del BAIT menos los impuestos.
- Flujo de caja, que es la suma de la amortización mas el BDT (con su signo correspondiente) mas el ahorro mínimo o máximo, según sea flujo de caja mínimo o máximo.
- Flujo de caja actualizado, el que se usa en este estudio para calcular los años de amortización (*Payback*), y que es una vez aplicado el VAN con la tasa de descuento (3%) y el año (año 0, 1, 2, ...) en que se encuentra la amortización:

$$FC_{actualizado} = \frac{FC}{(1 + 0'03)^{año}}$$

Con todos estos datos se realizan las tablas de las siguientes tres páginas, donde se estima el valor actual neto de la inversión y los años de amortización o tiempo de retorno, para los tres aerogeneradores del estudio.

\*Para el mini-aerogenerador Eddy:

- Con ahorro máximo se recupera la inversión en 11 años.
- Con ahorro mínimo se recupera la inversión en 70 años.

Año	KWh generado	Precio kWh	Ingresos producción eléctrica	Coste aerogenerador	Coste amort. Vehículo elac.	Amort Aerogenerador	BAT	Impuestos	BDT	Ahorro mínimo anual del coste de combustible	Ahorro máximo anual del coste de combustible	Flujo de caja min	Flujo de caja max	FCmin actualizado	FCmax actualizado	Acumulado min	Acumulado max	
0	2011	0	0,0732	0,00	-3951,10	-9365,00	197,5550	0,0000	0,00	0,00	0,00	-13118,55	-13118,55	-13118,55	-13118,55	-13118,55	-13118,55	
1	2012	774,75	0,0754	58,44	0,00	197,5550	-139,1196	0,00	-139,12	149,24	127,39	207,68	1337,81	201,63	1298,84	-12916,92	-11819,70	
2	2013	774,75	0,0777	60,19	0,00	197,5550	-137,3665	0,00	-137,37	153,72	1317,75	213,91	1377,94	201,63	1298,84	-12715,29	-10520,86	
3	2014	774,75	0,0800	61,99	0,00	197,5550	-135,5609	0,00	-135,56	158,33	1357,28	220,32	1419,28	201,63	1298,84	-12513,67	-9222,02	
4	2015	774,75	0,0824	63,85	0,00	197,5550	-133,7011	0,00	-133,70	163,08	1398,00	226,93	1461,86	201,63	1298,84	-12312,04	-7923,18	
5	2016	774,75	0,0849	65,77	0,00	197,5550	-131,7854	0,00	-131,79	167,97	1439,94	233,74	1505,71	201,63	1298,84	-12110,41	-6624,34	
6	2017	774,75	0,0874	67,74	0,00	197,5550	-129,8124	0,00	-129,81	173,01	1483,14	240,75	1505,88	201,63	1298,84	-11908,79	-5325,50	
7	2018	774,75	0,0901	69,77	0,00	197,5550	-127,7801	0,00	-127,78	178,20	1527,63	247,98	1597,41	201,63	1298,84	-11707,16	-4026,66	
8	2019	774,75	0,0928	71,87	0,00	197,5550	-125,6868	0,00	-125,69	183,55	1573,46	255,41	1645,33	201,63	1298,84	-11505,53	-2727,82	
9	2020	774,75	0,0955	74,02	0,00	197,5550	-123,5308	0,00	-123,53	189,05	1620,67	263,08	1694,69	201,63	1298,84	-11303,91	-1428,98	
10	2021	774,75	0,0984	76,24	0,00	197,5550	-121,3101	0,00	-121,31	194,72	1669,29	270,79	1745,53	201,63	1298,84	-11102,28	-130,14	
11	2022	774,75	0,1014	78,53	0,00	0,00	197,5550	-119,0227	0,00	-119,02	200,57	1719,37	279,10	1797,90	201,63	1298,84	-10900,65	1168,70
12	2023	774,75	0,1044	80,89	0,00	0,00	197,5550	-116,6667	0,00	-116,67	206,58	1770,95	287,47	1851,84	201,63	1298,84	-10699,03	2467,54
13	2024	774,75	0,1075	83,31	0,00	0,00	197,5550	-114,2401	0,00	-114,24	212,78	1824,08	296,10	1907,39	201,63	1298,84	-10497,40	3766,38
14	2025	774,75	0,1108	85,81	0,00	0,00	197,5550	-111,7407	0,00	-111,74	219,16	1878,80	304,98	1964,61	201,63	1298,84	-10295,77	5065,22
15	2026	774,75	0,1141	88,39	0,00	0,00	197,5550	-109,1662	0,00	-109,17	225,74	1935,16	314,13	2023,55	201,63	1298,84	-10094,15	6364,06
16	2027	774,75	0,1175	91,04	0,00	0,00	197,5550	-106,5146	0,00	-106,51	232,51	1993,22	323,55	2084,26	201,63	1298,84	-9892,52	7662,90
17	2028	774,75	0,1210	93,77	0,00	0,00	197,5550	-103,7833	0,00	-103,78	239,49	2053,01	333,26	2146,78	201,63	1298,84	-9690,89	8961,74
18	2029	774,75	0,1247	96,58	0,00	0,00	197,5550	-100,9702	0,00	-100,97	246,67	2114,60	343,26	2211,19	201,63	1298,84	-9489,27	10260,58
19	2030	774,75	0,1284	99,48	0,00	0,00	197,5550	-98,0727	0,00	-98,07	254,07	2178,04	353,55	2277,52	201,63	1298,84	-9287,64	11559,42
20	2031	774,75	0,1323	102,47	0,00	0,00	197,5550	-95,0882	0,00	-95,09	261,69	2243,38	364,16	2345,85	201,63	1298,84	-9086,01	12858,26
21	2032	774,75	0,1105	85,64	0,00	0,00000	0,00000	85,6362	13,70	71,93	269,54	2310,68	341,48	2382,62	183,56	1280,78	-8902,45	14139,03
22	2033	774,75	0,1139	88,21	0,00	0,00000	0,00000	88,2053	14,11	74,09	277,63	2380,01	351,72	2454,10	183,56	1280,78	-8718,89	15419,81
23	2034	774,75	0,1173	90,85	0,00	0,00000	0,00000	90,8518	14,54	76,32	285,96	2451,41	362,27	2577,72	183,56	1280,78	-8535,33	16700,58
24	2035	774,75	0,1208	93,58	0,00	0,00000	0,00000	93,5770	14,97	78,60	294,54	2524,95	373,14	2603,55	183,56	1280,78	-8351,77	17981,36
25	2036	774,75	0,1244	96,38	0,00	0,00000	0,00000	96,3843	15,42	80,96	303,37	2600,70	384,34	2681,66	183,56	1280,78	-8168,21	19262,13
26	2037	774,75	0,1281	99,28	0,00	0,00000	0,00000	99,2759	15,88	83,39	312,48	2678,72	395,87	2762,11	183,56	1280,78	-7984,64	20542,91
27	2038	774,75	0,1320	102,25	0,00	0,00000	0,00000	102,2514	16,36	85,89	321,85	2759,08	407,74	2844,97	183,56	1280,78	-7801,08	21823,68
28	2039	774,75	0,1359	105,32	0,00	0,00000	0,00000	105,3218	16,85	88,47	331,51	2841,85	419,98	2930,32	183,56	1280,78	-7617,52	23104,46
29	2040	774,75	0,1400	108,48	0,00	0,00000	0,00000	108,4814	17,36	91,12	341,45	2927,11	432,57	3018,23	183,56	1280,78	-7433,96	24385,23
30	2041	774,75	0,1442	111,74	0,00	0,00000	0,00000	111,7358	17,88	93,86	351,69	3014,92	445,55	3108,78	183,56	1280,78	-7250,40	25666,01
31	2042	774,75	0,1485	115,09	0,00	0,00000	0,00000	115,0879	18,43	96,67	362,24	3105,37	458,92	3202,04	183,56	1280,78	-7066,84	26946,78
32	2043	774,75	0,1530	118,54	0,00	0,00000	0,00000	118,5400	18,97	99,57	373,11	3198,53	472,69	3298,10	183,56	1280,78	-6883,28	28227,56
33	2044	774,75	0,1576	122,10	0,00	0,00000	0,00000	122,0968	19,54	102,56	384,31	3294,48	486,87	3397,04	183,56	1280,78	-6699,71	29508,34
34	2045	774,75	0,1623	125,76	0,00	0,00000	0,00000	125,7597	20,12	105,64	395,83	3393,32	501,47	3498,96	183,56	1280,78	-6516,15	30789,11
35	2046	774,75	0,1672	129,53	0,00	0,00000	0,00000	129,5325	20,73	108,81	407,71	3495,12	516,52	3603,92	183,56	1280,78	-6332,59	32069,89
36	2047	774,75	0,1722	133,42	0,00	0,00000	0,00000	133,4184	21,35	112,07	419,94	3599,75	532,01	3712,04	183,56	1280,78	-6149,03	33350,66
37	2048	774,75	0,1774	137,42	0,00	0,00000	0,00000	137,4210	21,99	115,43	432,54	3707,97	547,97	3823,40	183,56	1280,78	-5965,47	34631,44
38	2049	774,75	0,1827	141,54	0,00	0,00000	0,00000	141,5436	22,65	118,90	445,52	3819,21	564,41	3938,11	183,56	1280,78	-5781,91	35912,21
39	2050	774,75	0,1882	145,79	0,00	0,00000	0,00000	145,7899	23,33	122,46	458,88	3933,79	581,34	4056,25	183,56	1280,78	-5598,34	37192,99
40	2051	774,75	0,1938	150,16	0,00	0,00000	0,00000	150,1636	24,03	126,14	472,65	4051,80	598,78	4177,94	183,56	1280,78	-5414,78	38473,76
41	2052	774,75	0,1996	154,67	0,00	0,00000	0,00000	154,6685	24,75	129,92	486,83	4173,35	616,75	4302,37	183,56	1280,78	-5231,22	39754,54
42	2053	774,75	0,2056	159,31	0,00	0,00000	0,00000	159,3086	25,49	133,82	501,43	4298,55	635,25	4432,37	183,56	1280,78	-5047,66	41035,31
43	2054	774,75	0,2118	164,09	0,00	0,00000	0,00000	164,0879	26,25	137,82	516,47	4427,51	654,31	4565,34	183,56	1280,78	-4864,10	42316,09
44	2055	774,75	0,2181	169,01	0,00	0,00000	0,00000	169,0105	27,04	141,97	531,97	4560,34	673,94	4702,30	183,56	1280,78	-4680,54	43596,86
45	2056	774,75	0,2247	174,08	0,00	0,00000	0,00000	174,0808	27,85	146,23	547,93	4697,15	694,16	4843,37	183,56	1280,78	-4496,98	44877,64
46	2057	774,75	0,2314	179,30	0,00	0,00000	0,00000	179,3032	28,69	150,61	564,37	4808,06	714,98	4988,67	183,56	1280,78	-4313,41	46158,41
47	2058	774,75	0,2384	184,68	0,00	0,00000	0,00000	184,6823	29,55	155,13	581,30	4983,20	736,43	5138,34	183,56	1280,78	-4129,85	47439,19
48	2059	774,75	0,2455	190,22	0,00	0,00000	0,00000	190,2228	30,44	159,79	598,74	5132,70	758,52	5292,49	183,56	1280,78	-3946,29	48719,96
49	2060																	

\*Para el mini-aerogenerador Eddy GT:

- Con ahorro máximo se recupera la inversión en 13 años.
- Con ahorro mínimo se recupera la inversión en 77 años.

Año	KWh generado	Precio kWh	Ingresos producción eléctrica	Coste aerogenerador	Coste amort. Vehículo eelc.	Amort Aerogenerador	BaIT	Impuestos	BDT	Ahorro mínimo anual del coste de combustible	Ahorro máximo anual del coste de combustible	Flujo de caja min	Flujo de caja max	FC min actualizado	FC max actualizado	Acumulado min	Acumulado max	
0	2011	0	0,0732	0,00	-7781,98	-9365,00	389,0990	0,0000	0,00	0,00	-16757,88	-16757,88	-16757,88	-16757,88	-16757,88	-16757,88		
1	2012	1323,02	0,0754	99,79	0,00	0,00	389,0990	-289,3104	0,00	-289,31	149,24	1279,37	249,03	1379,16	241,78	1338,99	-16516,11	-15418,89
2	2013	1323,02	0,0777	102,78	0,00	0,00	389,0990	-286,3168	0,00	-286,32	153,72	1317,75	256,50	1420,53	241,78	1338,99	-16274,33	-14079,90
3	2014	1323,02	0,0800	105,87	0,00	0,00	389,0990	-283,2333	0,00	-283,23	158,33	1357,28	264,19	1463,15	241,78	1338,99	-16032,56	-12740,91
4	2015	1323,02	0,0824	109,04	0,00	0,00	389,0990	-280,0573	0,00	-280,06	163,08	1398,00	272,12	1507,04	241,78	1338,99	-15790,78	-11401,93
5	2016	1323,02	0,0849	112,31	0,00	0,00	389,0990	-276,7861	0,00	-276,79	167,97	1439,94	280,28	1552,26	241,78	1338,99	-15549,00	-10062,94
6	2017	1323,02	0,0874	115,68	0,00	0,00	389,0990	-273,4167	0,00	-273,42	173,01	1483,14	288,69	1598,82	241,78	1338,99	-15307,23	-8723,95
7	2018	1323,02	0,0909	119,15	0,00	0,00	389,0990	-269,9462	0,00	-269,95	178,20	1527,63	297,35	1646,79	241,78	1338,99	-15065,45	-7384,96
8	2019	1323,02	0,0928	122,73	0,00	0,00	389,0990	-266,3716	0,00	-266,37	183,55	1573,46	306,27	1696,19	241,78	1338,99	-14823,68	-6045,97
9	2020	1323,02	0,0955	126,41	0,00	0,00	389,0990	-262,6888	0,00	-262,69	189,05	1620,67	315,46	1747,08	241,78	1338,99	-14581,90	-4706,98
10	2021	1323,02	0,0984	130,20	0,00	0,00	389,0990	-258,8975	0,00	-258,90	194,72	1669,29	324,93	1799,49	241,78	1338,99	-14340,13	-3367,99
11	2022	1323,02	0,1014	134,11	0,00	0,00	389,0990	-254,9915	0,00	-254,99	200,57	1719,37	334,67	1853,47	241,78	1338,99	-14098,35	-2029,00
12	2023	1323,02	0,1044	138,13	0,00	0,00	389,0990	-250,9683	0,00	-250,97	206,58	1770,95	344,71	1909,08	241,78	1338,99	-13856,58	-690,01
13	2024	1323,02	0,1075	142,27	0,00	0,00	389,0990	-246,8244	0,00	-246,82	212,78	1824,08	355,06	1968,35	241,78	1338,99	-13614,80	648,97
14	2025	1323,02	0,1108	146,54	0,00	0,00	389,0990	-242,5561	0,00	-242,56	219,16	1878,80	365,71	2025,34	241,78	1338,99	-13373,03	1987,96
15	2026	1323,02	0,1141	150,94	0,00	0,00	389,0990	-238,1598	0,00	-238,16	225,74	1935,16	376,68	2086,10	241,78	1338,99	-13131,25	3326,95
16	2027	1323,02	0,1175	155,47	0,00	0,00	389,0990	-233,6317	0,00	-233,63	232,51	1993,22	387,98	2148,68	241,78	1338,99	-12889,48	4665,94
17	2028	1323,02	0,1210	160,13	0,00	0,00	389,0990	-228,9676	0,00	-228,97	239,49	2053,01	399,62	2213,14	241,78	1338,99	-12647,70	6004,93
18	2029	1323,02	0,1247	164,94	0,00	0,00	389,0990	-224,1637	0,00	-224,16	246,67	2114,60	411,61	2279,54	241,78	1338,99	-12405,93	7343,92
19	2030	1323,02	0,1284	169,88	0,00	0,00	389,0990	-219,2156	0,00	-219,22	254,07	2178,04	423,95	2347,93	241,78	1338,99	-12164,15	8682,91
20	2031	1323,02	0,1323	174,98	0,00	0,00	389,0990	-214,1191	0,00	-214,12	261,69	2243,38	436,67	2418,36	241,78	1338,99	-11922,37	10021,90
21	2032	1323,02	0,1105	146,24	0,00	0,00	0,0000	146,2387	23,40	122,84	269,54	2310,68	392,38	2433,53	210,93	1308,14	-11711,45	11330,04
22	2033	1323,02	0,1139	150,63	0,00	0,00	0,0000	150,6259	24,10	126,53	277,63	2380,01	404,16	2506,53	210,93	1308,14	-11500,52	12638,18
23	2034	1323,02	0,1173	155,14	0,00	0,00	0,0000	155,1446	24,82	130,32	285,96	2451,41	416,28	2581,73	210,93	1308,14	-11289,60	13946,32
24	2035	1323,02	0,1208	159,80	0,00	0,00	0,0000	159,7999	25,57	134,23	294,54	2524,95	428,77	2659,18	210,93	1308,14	-11078,67	15254,46
25	2036	1323,02	0,1244	164,59	0,00	0,00	0,0000	164,5929	26,33	138,26	303,37	2600,70	441,63	2738,95	210,93	1308,14	-10867,74	16562,60
26	2037	1323,02	0,1281	169,53	0,00	0,00	0,0000	169,5307	27,12	142,41	312,48	2678,72	454,88	2821,12	210,93	1308,14	-10656,82	17870,73
27	2038	1323,02	0,1320	174,62	0,00	0,00	0,0000	174,6167	27,94	146,68	312,85	2759,08	468,53	2905,76	210,93	1308,14	-10445,89	19178,87
28	2039	1323,02	0,1359	179,86	0,00	0,00	0,0000	179,8552	28,78	151,08	331,51	2841,85	482,58	2992,93	210,93	1308,14	-10234,97	20487,01
29	2040	1323,02	0,1400	185,25	0,00	0,00	0,0000	185,2508	29,64	155,61	341,45	2927,71	497,06	3082,72	210,93	1308,14	-10024,04	21795,15
30	2041	1323,02	0,1442	190,81	0,00	0,00	0,0000	190,8083	30,53	160,28	351,69	3014,92	511,97	3175,20	210,93	1308,14	-9813,11	23103,29
31	2042	1323,02	0,1485	196,53	0,00	0,00	0,0000	196,5326	31,45	165,09	362,24	3105,37	527,33	3270,45	210,93	1308,14	-9602,19	24411,43
32	2043	1323,02	0,1530	202,43	0,00	0,00	0,0000	202,4286	32,39	170,04	373,11	3198,53	543,15	3368,57	210,93	1308,14	-9391,26	25719,57
33	2044	1323,02	0,1576	208,50	0,00	0,00	0,0000	208,5014	33,36	175,14	384,31	3294,48	559,45	3469,62	210,93	1308,14	-9180,34	27027,71
34	2045	1323,02	0,1623	214,76	0,00	0,00	0,0000	214,7565	34,36	180,40	395,83	3393,52	576,23	3753,71	210,93	1308,14	-8969,41	28335,85
35	2046	1323,02	0,1672	221,20	0,00	0,00	0,0000	221,1992	35,39	185,81	407,71	3495,12	593,52	3680,92	210,93	1308,14	-8758,48	29643,99
36	2047	1323,02	0,1722	227,84	0,00	0,00	0,0000	227,8351	36,45	191,38	419,94	3599,97	611,32	3791,35	210,93	1308,14	-8547,56	30952,13
37	2048	1323,02	0,1774	234,67	0,00	0,00	0,0000	234,6702	37,55	197,12	423,54	3707,97	629,66	3905,09	210,93	1308,14	-8336,63	32260,27
38	2049	1323,02	0,1827	241,71	0,00	0,00	0,0000	241,7103	38,67	203,04	445,52	3819,21	648,55	4022,25	210,93	1308,14	-8125,71	33568,41
39	2050	1323,02	0,1882	248,96	0,00	0,00	0,0000	248,9616	39,83	209,13	458,88	3933,79	668,01	4142,91	210,93	1308,14	-7914,78	34876,55
40	2051	1323,02	0,1938	256,43	0,00	0,00	0,0000	256,4305	41,03	215,40	472,65	4051,80	688,05	4267,20	210,93	1308,14	-7703,85	36184,69
41	2052	1323,02	0,1996	264,12	0,00	0,00	0,0000	264,1234	42,26	221,86	486,83	4173,35	708,69	4395,22	210,93	1308,14	-7492,93	37492,83
42	2053	1323,02	0,2056	272,05	0,00	0,00	0,0000	272,0471	43,53	228,52	501,43	4298,55	710,45	4527,07	210,93	1308,14	-7282,00	38800,97
43	2054	1323,02	0,2118	280,21	0,00	0,00	0,0000	280,2085	44,83	235,38	516,47	4427,51	751,85	4662,89	210,93	1308,14	-7071,08	40109,11
44	2055	1323,02	0,2181	288,61	0,00	0,00	0,0000	288,6147	46,18	242,44	531,97	4560,34	774,40	4802,77	210,93	1308,14	-6860,15	41417,25
45	2056	1323,02	0,2247	297,27	0,00	0,00	0,0000	297,2732	47,58	249,71	547,93	4697,15	797,64	4946,86	210,93	1308,14	-6649,22	42725,39
46	2057	1323,02	0,2314	306,19	0,00	0,00	0,0000	306,1914	48,99	257,20	564,37	4838,06	821,57	5095,26	210,93	1308,14	-6438,30	44033,53
47	2058	1323,02	0,2384	315,38	0,00	0,00	0,0000	315,3771	50,46	264,92	581,30	4983,20	846,21	5248,12	210,93	1308,14	-6227,37	45341,67
48	2059	1323,02	0,2455	324,84	0,00	0,00	0,0000	324,8384	51,97	272,86	598,74	513,20	787,10					

\*Para el mini-aerogenerador UGE-4K:

- Con ahorro máximo se recupera la inversión en 19 años.
- Con ahorro mínimo se recupera la inversión en 68 años.

Año	KWh generado	Precio kWh	Ingresos producción eléctrica	Coste aerogenerador	Coste amort. Vehículo elec.	Amort. Aerogenerador	BAIT	Impuestos	BDT	Ahorro mínimo anual del coste de combustible	Ahorro máximo anual del coste de combustible	Flujo de caja min	Flujo de caja max	FC. min actualizado	FC. max actualizado	Acumulado min	Acumulado max	
0	2011	0	0,0732	0,00	-21466,18	-9365,00	1073,3090	0,0000	0,00	0,00	0,00	-29757,87	-29757,87	-29757,87	-29757,87	-29757,87	-29757,87	
1	2012	5198,1	0,0754	392,07	0,00	0,00	1073,3090	-681,2431	0,00	-681,24	149,24	1279,37	541,31	1671,44	525,54	1622,75	-29232,33	-28135,12
2	2013	5198,1	0,0777	403,83	0,00	0,00	1073,3090	-669,4812	0,00	-669,48	153,72	1317,75	557,55	1721,58	525,54	1622,75	-28706,79	-26512,36
3	2014	5198,1	0,0800	415,94	0,00	0,00	1073,3090	-657,3663	0,00	-657,37	158,33	1357,28	574,27	1773,23	525,54	1622,75	-28181,25	-24889,61
4	2015	5198,1	0,0824	428,42	0,00	0,00	1073,3090	-644,8880	0,00	-644,89	163,08	1398,00	591,50	1826,42	525,54	1622,75	-27655,71	-23266,86
5	2016	5198,1	0,0849	441,27	0,00	0,00	1073,3090	-632,0354	0,00	-632,04	167,97	1439,94	609,24	1881,22	525,54	1622,75	-27130,17	-21644,10
6	2017	5198,1	0,0874	454,51	0,00	0,00	1073,3090	-618,7972	0,00	-618,80	173,01	1483,14	627,52	1937,65	525,54	1622,75	-26604,63	-20021,35
7	2018	5198,1	0,0903	468,15	0,00	0,00	1073,3090	-605,1619	0,00	-605,16	178,20	1527,63	646,35	1995,78	525,54	1622,75	-26079,09	-18398,60
8	2019	5198,1	0,0928	482,19	0,00	0,00	1073,3090	-591,1174	0,00	-591,12	183,55	1573,46	665,74	2055,66	525,54	1622,75	-25553,55	-16775,84
9	2020	5198,1	0,0955	496,66	0,00	0,00	1073,3090	-576,6517	0,00	-576,65	189,05	1620,67	685,71	2117,32	525,54	1622,75	-25028,01	-15153,09
10	2021	5198,1	0,0984	511,56	0,00	0,00	1073,3090	-561,7520	0,00	-561,75	194,72	1669,29	706,28	2180,84	525,54	1622,75	-24502,47	-13530,34
11	2022	5198,1	0,1014	526,90	0,00	0,00	1073,3090	-546,4053	0,00	-546,41	200,57	1719,37	727,47	2246,27	525,54	1622,75	-23976,93	-11907,59
12	2023	5198,1	0,1044	542,71	0,00	0,00	1073,3090	-530,5982	0,00	-530,60	206,58	1770,95	749,29	2313,66	525,54	1622,75	-23451,39	-10284,83
13	2024	5198,1	0,1075	558,99	0,00	0,00	1073,3090	-514,3168	0,00	-514,32	212,78	1824,08	771,77	2383,07	525,54	1622,75	-22925,88	-8662,08
14	2025	5198,1	0,1108	575,76	0,00	0,00	1073,3090	-497,5471	0,00	-497,55	219,16	1878,80	794,93	2454,56	525,54	1622,75	-22400,32	-7039,33
15	2026	5198,1	0,1141	593,03	0,00	0,00	1073,3090	-480,2742	0,00	-480,27	225,74	1935,16	818,77	2528,20	525,54	1622,75	-21874,78	-5416,57
16	2027	5198,1	0,1175	610,83	0,00	0,00	1073,3090	-462,4832	0,00	-462,48	232,51	1993,22	843,34	2604,04	525,54	1622,75	-21349,24	-3793,82
17	2028	5198,1	0,1210	629,15	0,00	0,00	1073,3090	-444,1584	0,00	-444,16	239,49	2053,01	868,64	2682,16	525,54	1622,75	-20823,70	-2171,07
18	2029	5198,1	0,1247	648,03	0,00	0,00	1073,3090	-425,2839	0,00	-425,28	246,67	2114,60	894,70	2762,63	525,54	1622,75	-20298,16	-548,31
19	2030	5198,1	0,1284	667,47	0,00	0,00	1073,3090	-405,8431	0,00	-405,84	254,07	2178,04	921,54	2845,51	525,54	1622,75	-19772,62	1074,44
20	2031	5198,1	0,1323	687,49	0,00	0,00	1073,3090	-385,8191	0,00	-385,82	261,69	2243,38	949,18	2930,87	525,54	1622,75	-19247,08	2697,19
21	2032	5198,1	0,1105	574,57	0,00	0,00	0,0000	574,5668	91,93	482,64	269,54	2310,68	752,18	2793,32	404,33	1501,55	-18842,74	4198,74
22	2033	5198,1	0,1139	591,80	0,00	0,00	0,0000	591,8038	94,69	497,12	277,63	2380,01	774,75	2877,12	404,33	1501,55	-18438,41	5700,29
23	2034	5198,1	0,1173	609,56	0,00	0,00	0,0000	609,5579	97,53	512,03	285,96	2451,41	797,99	2963,43	404,33	1501,55	-18034,08	7201,84
24	2035	5198,1	0,1208	627,84	0,00	0,00	0,0000	627,8447	100,46	527,39	294,54	2524,95	821,93	3052,34	404,33	1501,55	-17629,74	8703,38
25	2036	5198,1	0,1244	646,68	0,00	0,00	0,0000	646,6800	103,47	543,21	303,37	2600,70	846,59	3143,91	404,33	1501,55	-17225,41	10204,93
26	2037	5198,1	0,1281	666,08	0,00	0,00	0,0000	666,0804	106,57	559,51	312,48	2678,72	871,98	3238,22	404,33	1501,55	-16821,07	11706,48
27	2038	5198,1	0,1320	686,06	0,00	0,00	0,0000	686,0628	109,77	576,29	321,85	2759,08	889,14	3335,37	404,33	1501,55	-16416,74	13208,03
28	2039	5198,1	0,1359	706,64	0,00	0,00	0,0000	706,6447	113,06	593,58	331,51	2841,85	925,09	3435,43	404,33	1501,55	-16012,41	14709,57
29	2040	5198,1	0,1400	727,84	0,00	0,00	0,0000	727,8441	116,46	611,39	341,45	2927,11	952,84	3538,50	404,33	1501,55	-15608,07	16211,12
30	2041	5198,1	0,1442	749,68	0,00	0,00	0,0000	749,6794	119,95	629,73	351,69	3014,92	981,42	3644,65	404,33	1501,55	-15203,74	17712,67
31	2042	5198,1	0,1485	772,17	0,00	0,00	0,0000	772,1698	123,55	648,62	362,24	3105,37	1010,87	3753,99	404,33	1501,55	-14994,40	19214,22
32	2043	5198,1	0,1530	795,33	0,00	0,00	0,0000	795,3349	127,25	668,08	373,11	3198,53	1041,19	3866,61	404,33	1501,55	-14395,07	20715,76
33	2044	5198,1	0,1576	819,19	0,00	0,00	0,0000	819,1949	131,07	688,12	384,31	3294,48	1072,43	3982,61	404,33	1501,55	-13990,74	22217,31
34	2045	5198,1	0,1623	843,77	0,00	0,00	0,0000	843,7708	135,00	708,77	395,83	3393,32	1104,60	4102,09	404,33	1501,55	-13586,40	23718,86
35	2046	5198,1	0,1672	869,08	0,00	0,00	0,0000	869,0839	139,05	730,03	407,71	3495,12	1137,74	4225,15	404,33	1501,55	-13182,07	25220,41
36	2047	5198,1	0,1722	895,16	0,00	0,00	0,0000	895,1564	143,23	751,93	419,94	3599,97	1171,87	4351,90	404,33	1501,55	-12777,74	26721,95
37	2048	5198,1	0,1774	922,01	0,00	0,00	0,0000	922,0111	147,52	774,49	432,54	3707,97	1207,03	4482,46	404,33	1501,55	-12373,40	28223,50
38	2049	5198,1	0,1827	949,67	0,00	0,00	0,0000	949,6714	151,95	797,72	445,52	3819,21	1243,24	4616,93	404,33	1501,55	-11969,07	29725,05
39	2050	5198,1	0,1882	978,16	0,00	0,00	0,0000	978,1616	156,51	821,66	458,88	3933,79	1280,54	4755,44	404,33	1501,55	-11564,73	31226,60
40	2051	5198,1	0,1938	1007,51	0,00	0,00	0,0000	1007,5064	161,20	846,31	472,65	4051,80	1318,95	4898,10	404,33	1501,55	-11160,40	32728,14
41	2052	5198,1	0,1996	1037,73	0,00	0,00	0,0000	1037,7316	166,04	871,69	486,83	4173,35	1358,52	5045,05	404,33	1501,55	-10756,07	34229,69
42	2053	5198,1	0,2056	1068,86	0,00	0,00	0,0000	1068,8635	171,02	897,85	501,43	4298,55	1399,28	5196,40	404,33	1501,55	-10351,73	35731,24
43	2054	5198,1	0,2118	1100,93	0,00	0,00	0,0000	1100,9295	176,15	924,78	516,47	4227,51	1441,25	5352,29	404,33	1501,55	-9947,40	37232,79
44	2055	5198,1	0,2181	1133,96	0,00	0,00	0,0000	1133,9573	181,43	952,52	531,97	4560,34	1484,49	5512,86	404,33	1501,55	-9543,06	38734,33
45	2056	5198,1	0,2247	1167,98	0,00	0,00	0,0000	1167,9761	186,88	981,10	547,93	4697,15	1529,03	5678,25	404,33	1501,55	-9138,73	40235,88
46	2057	5198,1	0,2314	1203,02	0,00	0,00	0,0000	1203,0153	192,48	1010,53	564,37	4838,06	1574,90	5848,59	404,33	1501,55	-8734,40	41737,43
47	2058	5198,1	0,2384	1239,11	0,00	0,00	0,0000	1239,1058	198,26	1040,85	581,30	4983,20	1622,15	6024,05	404,33	1501,55	-8330,06	43238,98
48	2059	5198,1	0,2455	1276,28	0,00	0,00	0,0000											



## **LISTADOS**



## FIGURAS.

Figura 1. Sectores de consumo de P.petrolíferos en España.	15
Figura 2. Sectores transporte.	16
Figura 3. Sectores transporte por carretera.	16
Figura 4. Ciclo ECE-15.	19
Figura 5. Ciclo EUDC.	19
Figura 6. Ciclo NEDC.	19
Figura 7. Componentes de un vehículo eléctrico.	22
Figura 8. Curvas de rendimiento de un motor eléctrico.	23
Figura 9. Fuerzas que se oponen al movimiento.	24
Figura 10. Resistencias al avance.	25
Figura 11. Aerogeneradores de eje vertical.	31
Figura 14. Curva de potencia Eddy.	35
Figura 15. Curva de potencia Eddy GT.	35
Figura 16. Curva de potencia UGE-4K.	36
Figura 17. Media de km semanales por comunidades autónomas.	40
Figura 18. Información procedente de EIA.	51
Figura 19. Información procedente del Banco Mundial.	51
Figura 20. Información procedente de EIA.	52
Figura 21. Información procedente del Banco Mundial.	53
Figura 22. Información procedente de EIA.	53
Figura 23. Información procedente de la memoria anual IDAE 2009.	54
Figura 24. Información procedente del libro de la energía en España 2009 del ministerio de industria.	54
Figura 25. Información procedente del Boletín Electrónico del IDAE Nº48.	55
Figura 26. Información procedente del IDAE.	56
Figura 27. Información procedente del IDAE.	56
Figura 28. Motores de corriente continua.	59
Figura 29. Motores de corriente alterna.	62
Figura 30. Vehículos eléctricos y sus motores.	67
Figura 31. Curvas de par y potencia.	69

Figura 32. Poder calorífico de los combustibles.	73
Figura 33. Vehículos eléctricos y sus baterías.	85
Figura 34. Gráfica de peso-consumo de un vehículo eléctrico.	90
Figura 35. Gráfica peso-autonomía de baterías.	92
Figura 36. Gráfica comparativa peso-autonomía de combustibles con baterías.	93
Figura 37. f.e.m.	101
Figura 38. Inducción.	101
Figura 39. Carga por inducción.	102
Figura 40. Triángulo de potencias.	104
Figura 41. Tiempos de carga.	105
Figura 42. Think City.	109
Figura 43. Tesla Roadster.	110
Figura 44. Mitsubishi i-miev.	110
Figura 45. Nissan Leaf.	111
Figura 46. Opel Ampera/Chevrolet Volt.	112
Figura 47. Toyota Prius Plug-in Hybrid.	112
Figura 48. Ciclo WHTC.	117
Figura 49. Ciclo FTP72.	118
Figura 50. Ciclo SFUDS.	118
Figura 51. Ciclo FTP75.	119
Figura 52. Ciclo HFEDS.	119
Figura 53. Ciclo IM240.	120
Figura 54. Ciclo LA-92.	120
Figura 55. Ciclo NYCC.	121
Figura 56. Ciclo Modo10.	121
Figura 57. Ciclo Modo 15.	122
Figura 58. Ciclo Modo10-15.	122
Figura 59. Ciclo JC08.	123
Figura 60. Ciclo NEDC.	123
Figura 61. Ciclo NEDC.	127
Figura 62. Simulador NEDC EXCEL- discretización por tramos.	128
Figura 63. Simulador NEDC EXCEL- discretización por segundos.	128
Figura 64. Simulador NEDC EXCEL- Curvas de rendimiento motor eléctrico.	129

Figura 65. Simulador NEDC EXCEL- Curva de par y potencia motor eléctrico.	129
Figura 66. Simulador NEDC EXCEL- Superposición Par con curvas de rendimiento motor eléctrico.	130
Figura 67. Simulador NEDC EXCEL- Rendimiento en función de las rpm.	130
Figura 68. Simulador NEDC EXCEL- Revoluciones por minuto y rendimiento.	131
Figura 69. Simulador NEDC EXCEL- Engería y resistencias al avance.	131
Figura 70. Simulador NEDC EXCEL- Energía final.	132
Figura 71. Simulador NEDC EXCEL- Pantalla de datos.	132
Figura 72. Ciclo ECE-15.	135
Figura 73. Recta de aceleración constante a 0'888 m/s <sup>2</sup> del ciclo ECE-15.	136
Figura 74. Recta de aceleración constante a 0'888 m/s <sup>2</sup> del ciclo ECE-15.	137
Figura 75. Recta de aceleración constante a 0'6945 m/s <sup>2</sup> del ciclo ECE-15.	138
Figura 76. Ciclo EUDC.	140
Figura 77. Recta de aceleración constante a 0'486 m/s <sup>2</sup> del ciclo EUDC.	141
Figura 78. Recta de aceleración constante a 0'37 m/s <sup>2</sup> del ciclo EUDC.	142
Figura 79. Recta de aceleración constante a 0'3336 m/s <sup>2</sup> del ciclo EUDC.	143
Figura 80. Recta de aceleración constante a 0'37 m/s <sup>2</sup> del ciclo EUDC.	144
Figura 81. Vientos geostróficos.	149
Figura 82. Vientos geostróficos.	150
Figura 83. Brisas marinas.	151
Figura 84. Vientos de montaña.	151
Figura 85. Perfil de velocidades del viento.	152
Figura 86. Distribución de Weibull.	153
Figura 87. Densidad de potencia.	154
Figura 88. Aerogenerador de eje horizontal.	157
Figura 89. Aerogenerador de eje vertical.	162
Figura 90. Palas del mini-aerogenerador Eddy.	166
Figura 91. Curva de potencia del mini-aerogenerador Eddy.	167
Figura 92. Producción anual de energía del mini-aerogenerador Eddy.	173
Figura 93. Palas del mini-aerogenerador Eddy GT.	174
Figura 94. Producción anual de energía del mini-aerogenerador Eddy GT.	175
	176

<b>Figura 95. Producción anual de energía del mini-aerogenerador Eddy GT.</b>	<b>176</b>
<b>Figura 96. Palas del mini-aerogenerador UGE-4K.</b>	<b>177</b>
<b>Figura 97. Producción anual de energía del mini-aerogenerador UGE-4K.</b>	<b>178</b>
<b>Figura 98. Producción anual de energía del mini-aerogenerador UGE-4K.</b>	<b>178</b>
<b>Tabla 32. Amortización por años del mini-aerogenerador Eddy.</b>	<b>183</b>
<b>Tabla 33. Amortización por años del mini-aerogenerador Eddy GT.</b>	<b>184</b>
<b>Tabla 34. Amortización por años del mini-aerogenerador UGE-4K.</b>	<b>185</b>

## TABLAS.

<b>Tabla 1. Ciclo NEDC.</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 2. Datos del viento en el aeropuerto de Monflorite, Huesca.</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3. Eddy.</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 4. Eddy GT.</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 5. UGE-4K.</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 6. Comparación de consumos.</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 7. Precios tarifas eléctricas TUR1 y TUR2.</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 8. Precios aproximados de combustibles en junio de 2011</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 9. Comparación de consumos y costes vehículo eléctrico, gasolina y gasóleo</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 10. Tarifas eléctricas TUR1 y TUR2.</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 11. Coste anual de la energía recargada según la tarifa y los km recorridos.</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 12. Retribuciones del RD para distintos tipos de instalaciones eléctricas.</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 13. Datos en Kilo toneladas equivalentes de petróleo (1 ktep = 11630 MWh).</b>	
<b>Información procedente del Boletín Electrónico del IDAE Nº48.</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 14. Densidad energética de las baterías.</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 15. Densidad energética de los combustibles.</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 16. Peso-autonomía de las baterías.</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 17. Peso-consumo vehículos eléctricos.</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 18. Peso-autonomía con el peso de las baterías incluidas en el vehículo.</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 19. Características de los sistemas de recarga.</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 20. Tiempo de carga con cada sistema.</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 21. Potencias para el sistema MENNEKES.</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 22. Tiempos de carga.</b>	<b>105</b>



---

<b>Tabla 23. Datos vehículos eléctricos.</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 24. Datos vehículos eléctricos.</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 25. Simulador NEDC EXCEL- tabla para introducir datos.</b>	<b>129</b>
<b>Tabla 26. Discretización por tramos del ciclo ECE-15.</b>	<b>136</b>
<b>Tabla 27. Discretización por tramos del ciclo EUDC.</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 28. Direcciones del viento dominantes.</b>	<b>149</b>
<b>Tabla 29. Datos del mini-aerogenerador Eddy.</b>	<b>173</b>
<b>Tabla 30. Datos del mini-aerogenerador Eddy GT.</b>	<b>175</b>
<b>Tabla 31. Datos del mini-aerogenerador UGE-4K.</b>	<b>177</b>



## BIBLIOGRAFÍA



# Bibliografía.

- SANTIAGO BASELGA. Calculo de la cadena de transmisión y de las prestaciones del automóvil.
- GERARDO ALEJANDRO HÍJAR FERNÁNDEZ. Estudio energético de un vehículo híbrido con pila de combustible.
- JUAN MARCO MARTÍNEZ. Análisis de un sistema de suministro de energía a los elementos de transporte vertical y horizontal en viviendas energéticamente eficientes mediante un aerogenerador de minieólica.
- ISRAEL VITALLÉ MARZAO. Proyecto de instalaciones técnicas e integración de generación eléctrica distribuida.
- R. BARGALLÓ, J. LLAVERÍAS, H. MARTÍN. El vehículo eléctrico y la eficiencia energética global Departamento de Ingeniería Eléctrica - Universitat Politècnica de Catalunya.
- MARÍA JESÚS VALLEJO FERNÁNDEZ. Motores de corriente alterna.
- REAL DECRETO 661/2007.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. El libro de la energía en España 2009.
- IDAE. Memoria anual 2009.
- IMPLANTACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. Ciclos de conducción (<http://webs.uvigo.es>).
- CATÁLOGO MOVELE (<http://movele.ayesa.es/movele2>).
- UNESPA. Encuesta de Conductores de la Memoria Social ([www.unespa.es](http://www.unespa.es)).
- AEMET. Agencia Estatal de Meteorología ([www.Aemet.es](http://www.Aemet.es)).
- CENER. Centro Nacional de Energías Renovables ([www.cener.com](http://www.cener.com)).
- EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES ELÉCTRICOS ([www.stilar.net](http://www.stilar.net)).
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION ([www.eia.gov](http://www.eia.gov)).