

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES CICLOS  
NORMALIZADOS PARA LA HOMOLOGACIÓN DE  
LA AUTONOMÍA DE LOS VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS Y COMPARACIÓN CON LOS  
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL USO REAL"

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre de 2023

AUTOR: José Carlos Aparicio Pareja

DIRECTOR: David Clar García

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	9
1.1.	EL COCHE ELÉCTRICO.....	9
1.2.	RESURGIMIENTO Y ACTUALIDAD .....	10
1.2.1.	TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ACTUALES.....	12
1.2.2.	PARTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	19
2.	CICLOS DE HOMOLOGACIÓN DE CONSUMOS Y EMISIONES CONTAMINANTES .....	34
2.1.	HISTORIA DE LA HOMOLOGACIÓN.....	34
2.2.	CICLOS DE HOMOLOGACIÓN ACTUALES.....	35
2.2.1.	CICLOS EUROPEOS .....	35
2.2.2.	CICLO AMERICANO .....	46
2.2.3.	CICLO CHINO .....	54
3.	OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	58
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
4.1.	EQUIPOS UTILIZADOS .....	60
4.1.1.	AUDI.....	60
4.1.2.	BMW .....	61
4.1.3.	BYD .....	63
4.1.4.	CITROEN .....	63
4.1.5.	FORD .....	64
4.1.6.	HONDA.....	65
4.1.7.	HONGQI .....	65
4.1.8.	HYUNDAI.....	65

4.1.9.	JAGUAR.....	66
4.1.10.	KIA.....	66
4.1.11.	MERCEDES.....	67
4.1.12.	MG.....	68
4.1.13.	MINI.....	68
4.1.14.	NISSAN.....	69
4.1.15.	OPEL.....	69
4.1.16.	ORA.....	70
4.1.17.	PEUGEOT.....	71
4.1.18.	POLESTAR.....	71
4.1.19.	PORSCHE.....	72
4.1.20.	SKODA.....	72
4.1.21.	TESLA.....	73
4.1.22.	VOLKSWAGEN.....	77
4.1.23.	VOLVO.....	79
4.1.24.	XPENG.....	79
4.2.	ENSAYOS.....	80
4.3.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	80
5.	RESULTADOS.....	83
5.1.	COMPARATIVA DIFERENTES CICLOS DE HOMOLOGACIÓN.....	83
5.2.	COEFICIENTES DE COMPARACIÓN.....	86
5.2.1.	GENERAL.....	86
5.2.2.	FABRICANTES.....	86

5.2.3. MODELOS .....	103
5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	107
6. CONCLUSIONES .....	111
7. REFERENCIAS.....	116
8. ANEXOS .....	122
8.1. ANEXO 1: DATOS PRUEBA BJÖRN NYLAND.....	122
8.2. ANEXO 2: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO CICLO NEDC .....	124
8.2.1. DATOS AUTONOMÍA CICLO NEDC.....	124
8.2.2. DATOS CONSUMO CICLO NEDC.....	125
8.3. ANEXO 3: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO CICLO WLTP.....	127
8.3.1. DATOS AUTONOMÍA CICLO WLTP .....	127
8.3.2. DATOS CONSUMO CICLO WLTP.....	129
8.4. ANEXO 4: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO CICLO EPA .....	131
8.4.1. DATOS AUTONOMÍA CICLO EPA .....	131
8.4.2. DATOS CONSUMO CICLO EPA .....	133
8.5. ANEXO 5: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO REAL.....	136
8.5.1. DATOS AUTONOMÍA REAL .....	136
8.5.2. DATOS CONSUMO REAL.....	137

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Vehículo eléctrico creado por William Morrison.....	10
Ilustración 2: Gráfica del crecimiento de la población mundial. ....	11
Ilustración 3: Partes de un vehículo BEV.....	13
Ilustración 4: Estructura de un vehículo BEV.....	15
Ilustración 5: Partes de un vehículo PHEV .....	15
Ilustración 6: Estructura de un vehículo PHEV.....	16
Ilustración 7: Partes de un vehículo HEV .....	17
Ilustración 8: Estructura de un vehículo HEV.....	17
Ilustración 9: Partes de un vehículo FCEV.....	18
Ilustración 10: Estructura de un vehículo FCEV .....	19
Ilustración 11: Conector de carga CHAdeMO.....	20
Ilustración 12: Tapa de vehículo con conector CCS Combo 2.....	21
Ilustración 13: Disposición de las partes de un vehículo de tracción eléctrica .....	23
Ilustración 14: Plataforma de baterías de un vehículo eléctrico .....	24
Ilustración 15: Inversor de un vehículo eléctrico .....	27
Ilustración 16: Circuito electrónico interior de un Inversor.....	28
Ilustración 17: Vehículo con distribución de dos motores eléctricos, uno delantero y otro trasero .....	29
Ilustración 18: Despiece general de motor eléctrico.....	31
Ilustración 19: Motor eléctrico y a la derecha la transmisión del mismo .....	32
Ilustración 20: Gráfica Velocidad contra Tiempo del ciclo NEDC. ....	37
Ilustración 21: Gráfica Velocidad contra Tiempo del ciclo WLTP.....	41
Ilustración 22: Gráfica Velocidad contra Tiempo de la prueba urbana del ciclo EPA .....	47

Ilustración 23: Gráfica Velocidad contra Tiempo de la prueba de alta velocidad del ciclo EPA ..... 48

Ilustración 24: Gráfica Velocidad contra Tiempo del ciclo CLTC..... 56

Ilustración 25: Gráfica Velocidad contra Tiempo de todos los ciclos superpuestos. .... 84

Ilustración 26: Comparativo coeficientes autonomía ciclo NEDC..... 94

Ilustración 27: Comparativo coeficientes autonomía ciclo WLTP..... 95

Ilustración 28: Comparativo coeficientes autonomía ciclo EPA ..... 96

Ilustración 29: Comparativo coeficientes consumo ciclo NEDC..... 99

Ilustración 30: Comparativo coeficientes consumo ciclo WLTP ..... 100

Ilustración 31: Comparativo coeficientes consumo ciclo EPA..... 101

Ilustración 32: Gráfica Velocidad frente a Tiempo Ciclos de Homologación ..... 111

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Tipos de cargadores ..... 22

Tabla 2: Datos ciclo completo NEDC ..... 37

Tabla 3: Datos ciclo WLTP..... 40

Tabla 4: Datos ciclo EPA ..... 48

Tabla 5: Datos ciclo CLTC ..... 55

Tabla 6: Coeficientes globales Autonomía y Consumo ..... 86

Tabla 7: Coeficientes autonomía NEDC por modelos ..... 103

Tabla 8: Coeficientes consumo NEDC por modelos ..... 104

Tabla 9: Coeficientes autonomía WLTP por modelos..... 104

Tabla 10: Coeficientes consumo WLTP por modelos ..... 105

Tabla 11: Coeficientes Autonomía EPA por modelos ..... 106

Tabla 12: Coeficientes consumo EPA por modelos .....	107
Tabla 13: Análisis estadístico global de la Autonomía.....	107
Tabla 14: Análisis estadístico Autonomía .....	108
Tabla 15: Análisis estadístico Consumo .....	109
Tabla 16: Coeficientes Globales de Autonomía y Consumo .....	112



# 1. INTRODUCCIÓN



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. EL COCHE ELÉCTRICO

Por extraño que parezca el vehículo eléctrico no es un invento tan reciente como se piensa, sino que nos tenemos que remontar 200 años atrás hasta la fecha de su aparición. Pero por diferentes motivos que se explicarán a continuación, este tipo de vehículos no se llegaron a desarrollar.

El vehículo eléctrico apareció en la década de 1830 con el escocés Robert Anderson, que motorizó un carruaje entre 1832 y 1839. Las baterías eran de celdas galvanizadas no recargables, así que tampoco es que fuera muy práctico, pero por lo menos demostraba que el carro se podía desplazar sin la necesidad de utilizar tracción animal.

Otro escocés, llamado Robert Davidson de Aberdeen, construyó un prototipo de locomotora eléctrica en 1837. Más adelante en 1841 la mejoró demostrando que podía circular de 2,5 km/h a 6,5 km/h remolcando 6 toneladas.

Las baterías recargables no llegaron hasta 1859, haciendo la idea de vehículo eléctrico más viable. Alrededor de 1884, el inventor Thomas Parker ayudó en desarrollar ferrocarriles eléctricos y prototipos de vehículos eléctricos en Inglaterra.

En 1890 el estadounidense William Morrison patentó su carruaje eléctrico el cual reportaba 4CV de potencia, 32 km/h con una batería de 24 celdas que se necesitaba cargar cada 80,5 km. Fue la sensación de la época llegando a la mundialmente famosa Exhibición de Columbia. [1]



*Ilustración 1: Vehículo eléctrico creado por William Morrison.*

Al principio de la década de 1900 Morrison vendió su idea a Isaac L. Rice el cual incorporó la Electric Vehicle Company (EVC) en New Jersey, llegando a tener más de 600 vehículos operando en Nueva York y Boston. Sin embargo, como en muchas empresas en crecimiento, la expansión fue muy rápida y entraron en conflicto con sus inversores y socios, por lo que toda la compañía de taxis colapsó en 1907. [1] [2]

En los años venideros debido a las sucesivas guerras mundiales y el gran desarrollo del vehículo de combustión interna por parte de Estados Unidos gracias al descubrimiento de grandes fuentes de petróleo, se abarató el coste del combustible y se construyeron carreteras entre ciudades haciendo imposible el uso del coche eléctrico por su escasa autonomía.

Finalmente, el desarrollo de la cadena de montaje de vehículos de gasolina comandado por Henry Ford hizo que se eliminara del panorama a los vehículos de propulsión eléctrica. [3] [4]

## 1.2. RESURGIMIENTO Y ACTUALIDAD

En los años 70 la población mundial comienza a concienciarse de los gases de efecto invernadero y de sus consecuencias para el futuro próximo. En este punto, se consideraron diversas opciones con el objetivo de encontrar soluciones en un plazo de tiempo reducido.

Una de las alternativas más destacadas para el transporte y desplazamiento de personas son los vehículos eléctricos, que hasta ahora habían sido pasados por alto. Estos vehículos, al circular, no generan ninguna emisión contaminante al medio ambiente por parte de su motor.

En otro orden de cosas, en los países desarrollados se produce durante el siglo XX un crecimiento exponencial de las ciudades debido al desarrollo del vehículo individual, pues es posible desplazarse decenas de kilómetros todos los días desde el domicilio al lugar de trabajo. Se desarrollan zonas residenciales muy alejadas del centro y de las zonas industriales de las ciudades, donde habita la mayor parte de la población que depende del automóvil. Por lo tanto, es imposible volver al modelo de ciudad anterior, pero el actual es insostenible. Debido a este motivo es urgente encontrar una alternativa a los medios actuales de transporte que sea respetuosa con el medio ambiente.

En la siguiente figura se muestra la evolución de la población mundial desde 1750 hasta la actualidad y su probable aumento hasta 2050. La población en 2010 era de 7.000.000.000 personas y se espera que en 2050 sea de 10.000.000.000 de personas. [5]

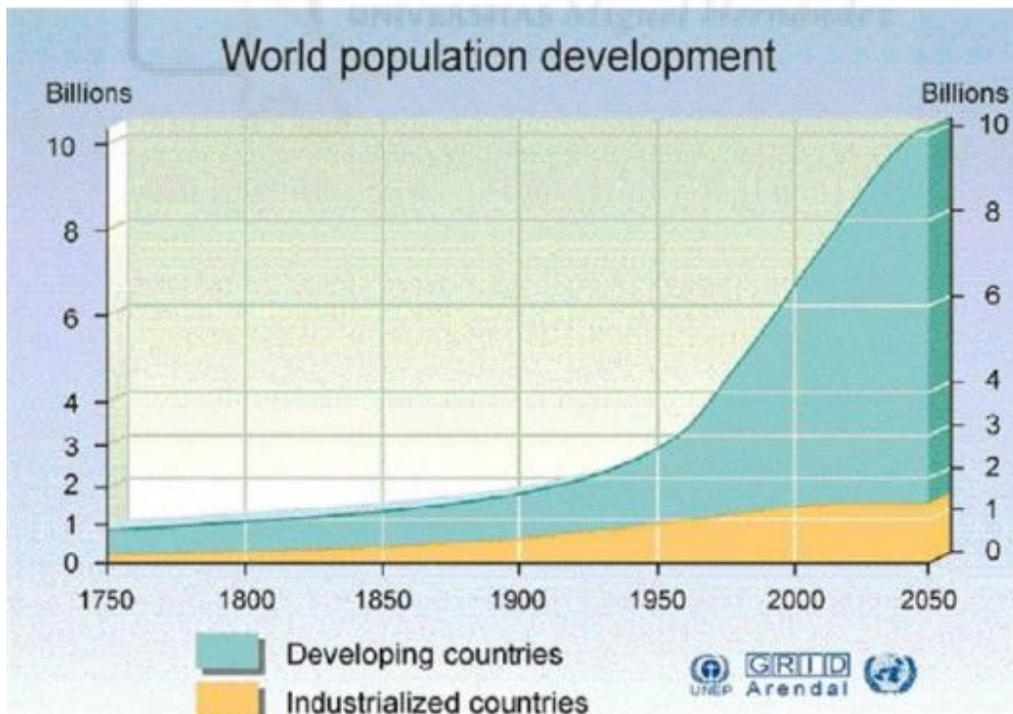


Ilustración 2: Gráfica del crecimiento de la población mundial.

Por otro lado, el número de vehículos en 2010 era de 75 millones, y se espera que en 2050 sea de 2.500 millones. Si todos estos vehículos son propulsados por motores de explosión y de combustión interna, las reservas de combustibles fósiles se verán reducidas a números alarmantes e incluso se podrá producir su extinción. Sin embargo, mucho antes de agotar las reservas, debido a la diseminación de los gases resultantes de quemar dicho combustible, la Tierra sería un lugar difícilmente habitable debido a los gases de efecto invernadero. [5]

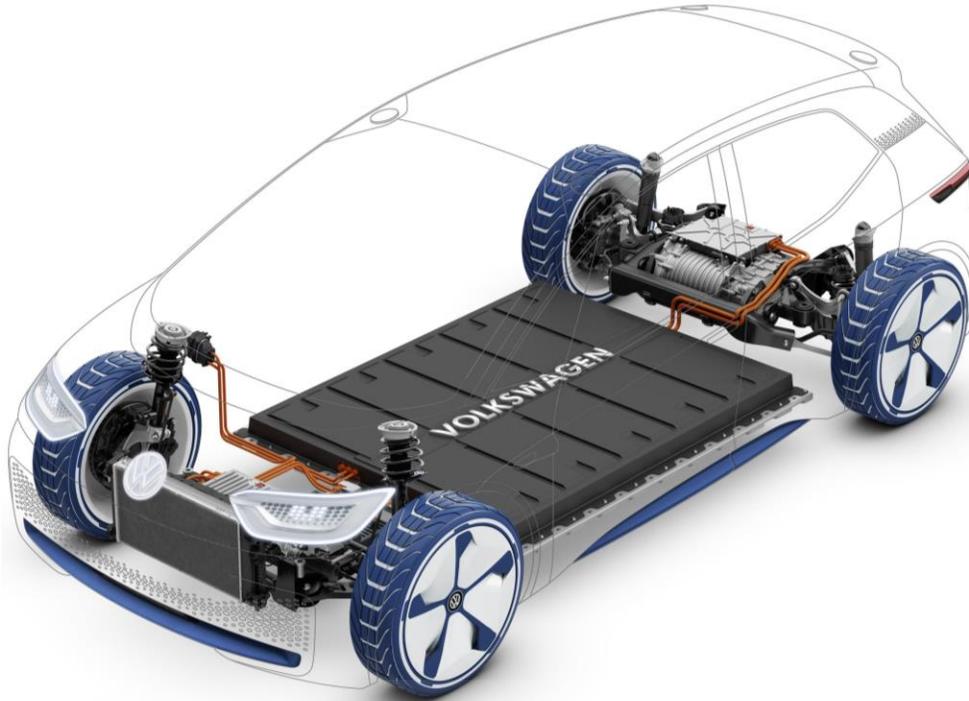
Hoy en día, las grandes marcas de automóviles que hasta ahora solo habían fabricado vehículos de combustión interna ya sea gasolina, diésel o gas han comenzado a desarrollar sus vehículos de propulsión eléctrica lo que ha llevado a la aparición de nuevas marcas con un gran potencial mundial, como es el caso de Tesla.

A pesar de esto, la solución dictaminada por la Unión Europea es prohibir la fabricación de motores de combustión interna para el año 2035. Esto implica el cambio de todas las infraestructuras ya que hasta ahora todas estas están adaptadas para la fabricación, mantenimiento y soporte de los vehículos de combustión interna.

### 1.2.1. TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ACTUALES

#### 1.2.1.1. VEHÍCULOS PURAMENTE ELÉCTRICOS (BEV)

Los vehículos puramente eléctricos son los que cuentan con uno o varios motores eléctricos y se alimentan exclusivamente de la energía almacenada en las baterías. Estas se pueden recargar mediante el sistema de recuperación de energía en las frenadas o, de manera más rápida y efectiva, enchufando el coche a la red eléctrica, ya sea en casa o en un puesto de carga público. [6] [7]



*Ilustración 3: Partes de un vehículo BEV*

Las diferentes partes de un vehículo eléctrico en orden desde que recibe la energía eléctrica de la red hasta que esta es transmitida a la tracción de las ruedas son:

- Puerto de carga: Este elemento consiste en el punto por el que se carga la batería del vehículo. Para verlo de forma aún más simple, se trata de un enchufe como el que se puede tener en un domicilio.

- Cargador: También es conocido como transformador. Dispositivo que suministra desde la red eléctrica energía al vehículo. La red eléctrica proporciona la electricidad en corriente alterna. El cargador, más tarde, la transforma en corriente continua, para poder de ese modo cargar la batería principal.

- Batería o baterías: Todo vehículo eléctrico necesita de una batería o más para su desempeño. Este componente se encarga de almacenar la energía que es brindada por el cargador en forma de corriente continua. Esta pieza consiste en el elemento del cual se alimenta todo el vehículo eléctrico.

- **Convertidor:** Transforma la alta tensión de corriente continua, que brinda la batería principal, en baja tensión de corriente continua. Este tipo de corriente es la que se requiere para alimentar las baterías auxiliares de 12V, que dan energía a los componentes auxiliares eléctricos del vehículo.

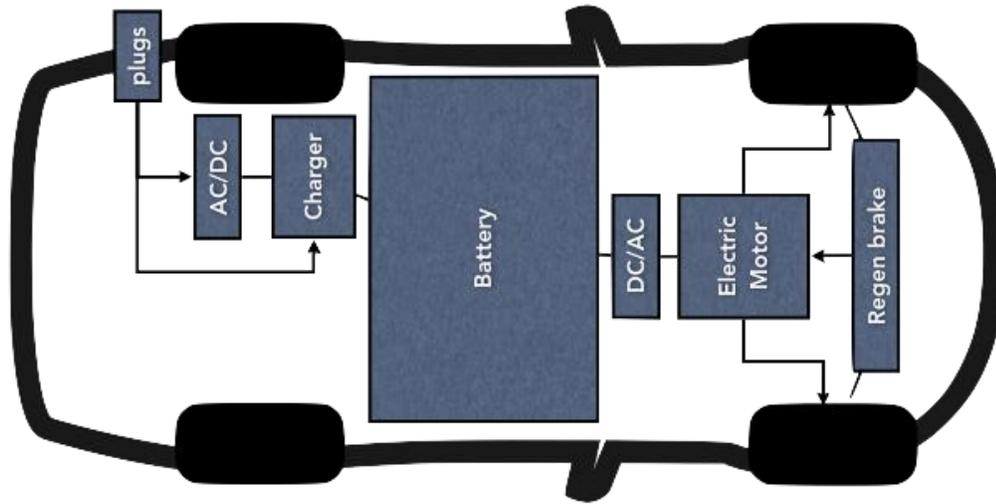
- **Inversor:** También denominado ondulator. Este componente es necesario solo para vehículos con motor eléctrico de corriente alterna (AC). Cumple la función de transformar la corriente continua, que otorga la batería principal, en corriente alterna que alimenta al motor.

- **Motor o motores eléctricos:** Los vehículos eléctricos están equipados con uno o varios motores. Depende del modelo de vehículo en cuestión si necesita uno o más impulsores para su funcionamiento.

Los motores de un vehículo eléctrico pueden ser de corriente alterna (AC) o de corriente continua (DC). La diferencia principal entre estas dos variedades es la forma de alimentación.

El de corriente continua es alimentado directamente desde la batería principal, mientras que el de corriente alterna también se alimenta por medio de la energía que emite la batería, pero transformada previamente en corriente alterna a través de un inversor.

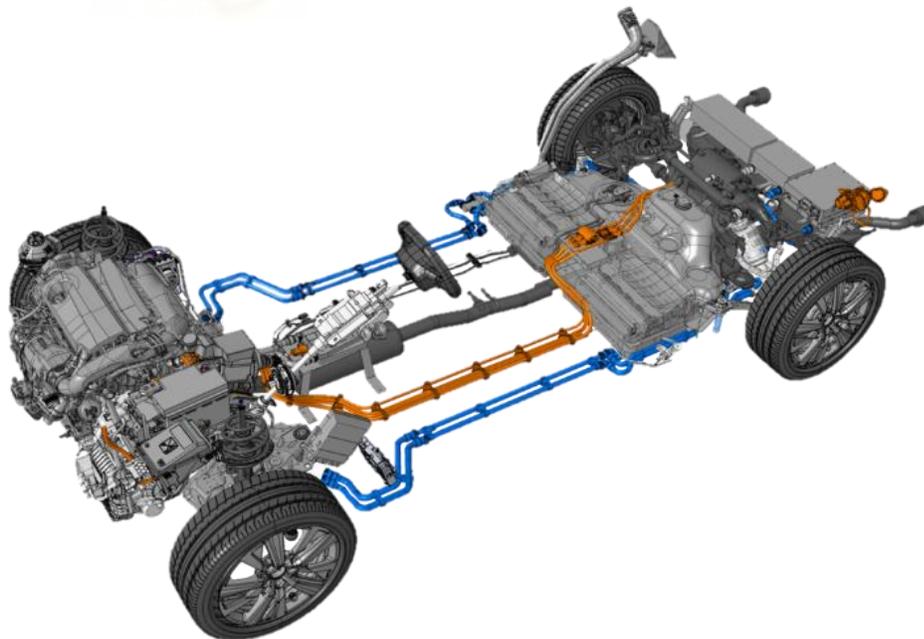
- **Frenado regenerativo:** Permite recargar las baterías del vehículo utilizando la potencia de frenado. Durante este proceso se disipa calor y el motor gira en orden inverso (haciendo girar el rotor en vez del estator), lo que permite generar electricidad que se almacena en la batería. [8]



*Ilustración 4: Estructura de un vehículo BEV*

#### 1.2.1.2. VEHÍCULO HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV)

Un vehículo híbrido enchufable tiene tres elementos principales conectados entre sí: un motor térmico, un motor eléctrico y una batería que alimenta al segundo.



*Ilustración 5: Partes de un vehículo PHEV*

La batería es un acumulador de energía que se recarga mediante una fuente de electricidad externa a través de un cable y un enchufe (existen varios tipos para distintas potencias y velocidades de carga, dos variables que dependen, a su vez, de la clase de cargador).

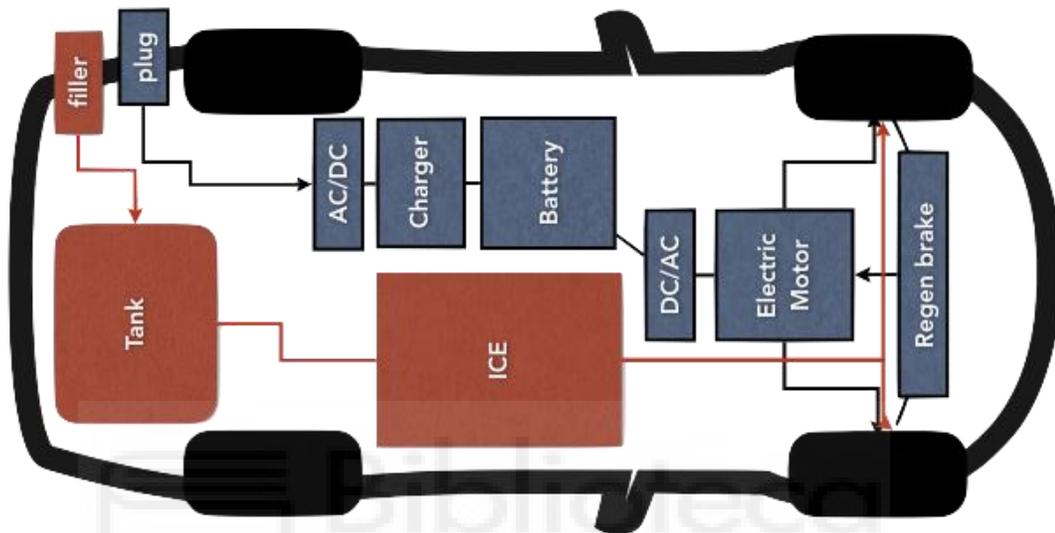


Ilustración 6: Estructura de un vehículo PHEV

Este vehículo posee los mismos sistemas y componentes que un vehículo de combustión interna convencional y, además, añade un sistema eléctrico similar al de un BEV aunque con un motor menos potente y una batería de menor capacidad.

El motor eléctrico es más pequeño y ligero que cualquier otro de combustión, además de mucho más eficiente. Gira muy rápido, al doble o triple de revoluciones por minuto que un propulsor de gasolina o diésel, y no es necesario un cambio de marchas para regular la energía que sale de él y transmitirla al asfalto. [9] [10]

### 1.2.1.3. VEHÍCULO HÍBRIDO (HEV)

Los vehículos híbridos son aquellos que también tienen dos motores diferentes, uno de combustión y otro eléctrico, pero en este caso la batería del vehículo no se carga mediante un cargador conectado a la red, si no que se recarga recuperando parte de la inercia durante las frenadas regenerativas mediante el inversor.

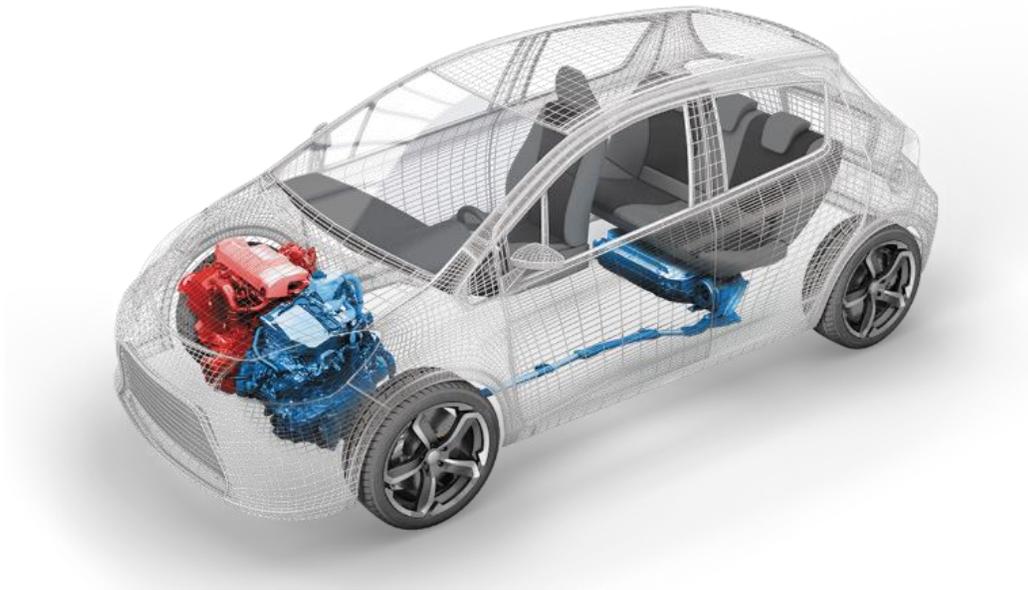


Ilustración 7: Partes de un vehículo HEV

La batería, al igual que en el híbrido enchufable, es un acumulador de energía. En este caso es más pequeña y simplemente una ayuda para el giro del motor de combustión interna.

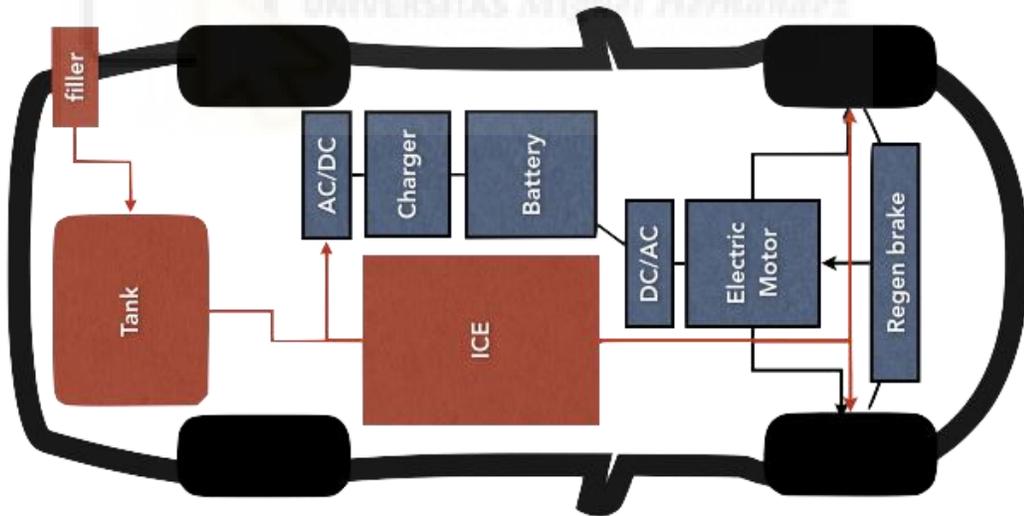


Ilustración 8: Estructura de un vehículo HEV

La estructura es exactamente igual a la del híbrido enchufable, con la salvedad de que ahora no vamos a contar con un puerto de carga al que conectar el vehículo para cargar la batería de este. [9] [11]

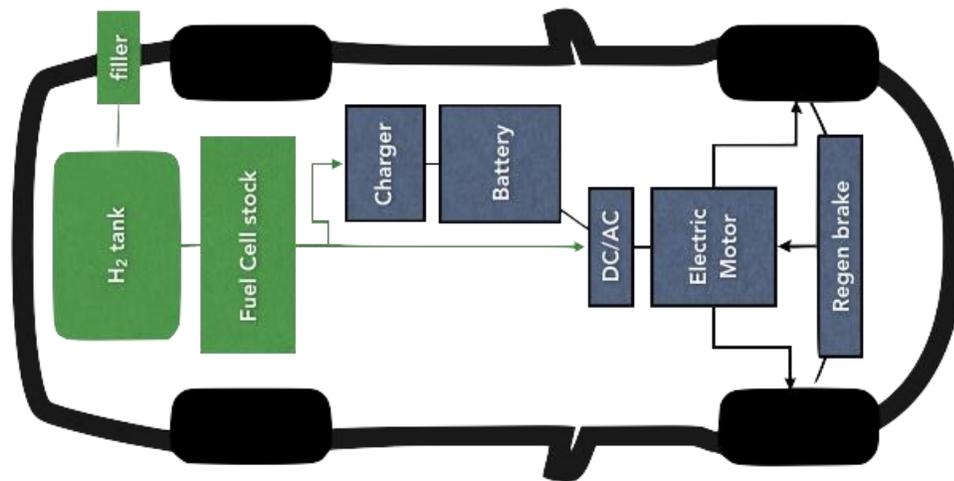
#### 1.2.1.4. VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PILA DE COMBUSTIBLE (FCEV)

Se trata de un vehículo eléctrico el cual alimenta sus baterías de la energía generada a partir de la reacción química (normalmente hidrógeno) con el oxígeno del exterior del vehículo, teniendo como residuo vapor de agua.



*Ilustración 9: Partes de un vehículo FCEV*

La energía se genera a partir del fenómeno de electrólisis inversa. En este proceso el hidrógeno reacciona con el oxígeno liberándose calor, por lo que esta reacción tiene niveles caloríficos mayores que los que puede tener un motor de combustión, tanto diésel como gasolina.



*Ilustración 10: Estructura de un vehículo FCEV*

La estructura eléctrica tiene los mismos componentes que la del vehículo puramente eléctrico, pero sin la toma de corriente y sin el inversor, por lo que el vehículo no se puede cargar mediante enchufe. A esta estructura se le añade la toma de entrada del combustible parecida a la de un vehículo de combustión interna, pero con un sistema diferente y filtros, seguido del tanque de hidrógeno que debe aguantar el gas a más de 350 bares de presión. Por último, presentan la pila de combustible, lugar donde es llevada a cabo la reacción de electrólisis inversa que carga las baterías del vehículo. [12]

## 1.2.2. PARTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

### 1.2.2.1. CONECTORES DE CARGA

Schuko: Conector utilizado habitualmente en el ámbito doméstico, se compone de una base y dos clavijas que son el contacto de la fase y el neutro, más dos contactos planos en los laterales del enchufe donde hace contacto con la toma de tierra. [13]

Yazaki o Tipo 1: Conector utilizado en Japón y Estados Unidos específico para vehículos eléctricos de estos dos países. Tiene 5 bornes, dos de corriente, uno de tierra y dos complementarios de detección de proximidad. En el caso de que el vehículo detecte los bornes de proximidad este no se moverá.

CHAdeMO: Este conector es originario de Japón. La principal característica de este conector es que transforma la corriente alterna proveniente de la red a corriente continua. El conector dispone de un controlador conectado directamente a la vía bus CAN del vehículo, variando así la corriente de carga dependiendo de lo que se necesite.



*Ilustración 11: Conector de carga CHAdeMO*

Mennekes o Tipo 2: Surgió posteriormente al Yazaki. Es el conector utilizado en Europa para vehículos que no puedan admitir cargas rápidas por encima de los 43 kW. Dispone de 7 bornes.

El primero es el CP (Control Pilot), borne que comunica el vehículo con el punto de carga, dándole la información sobre la máxima intensidad de corriente que este puede aguantar y del estado de carga de la batería. PP (Proximity Pilot), borne con detección de proximidad, identifica si el cargador está conectado al vehículo. PE (Protector de tierra), clavija de tierra. Y las tres fases de corriente alterna que se denominan L1, L2 y L3. [14] [15]

CCS1 Combo 1: Es un conector que ha prevalecido en Estados Unidos y presenta leves diferencias con su par europeo. La gran diferencia entre ambos es el tipo de carga que se realiza en corriente alterna. Mientras este conector está diseñado para carga de corriente alterna monofásica, el europeo permite la carga de corriente alterna trifásica.

CCS2 o Combo 2: Conector estándar internacional usado a nivel mundial que utiliza un único conector para diversos modos de carga, tanto de corriente alterna como de corriente continua. Este sistema de carga combina los bornes del cargador Mennekes

junto con dos bornes adicionales, lo que hace que sea posible cargar como un cargador de Tipo 2 o como cargador Combo 2 llegando hasta unas potencias de carga de 350 kW que consiguió Porsche en julio del 2018. [16] [13] [17] [18]



Ilustración 12: Tapa de vehículo con conector CCS Combo 2

Tipo de conector		Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia máxima (kW)	Imagen
Schuko	AC	16 (monofásica)	230	3,7	
Yazaki o Tipo 1	AC	32 (monofásica)	230	7,4	
CHAdeMO	DC	125 (monofásica)	400	100	
Mennekes o Tipo 2	AC	63x3 (trifásica)	230	44	

Tipo de conector		Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia máxima (kW)	Imagen
CCS1 o Combo 1	DC	125 (monofásica)	400	50	
CCS2 o Combo 2	AC	63x3 (trifásica)	230	44	
	DC	375 (monofásica)	400	150	

Tabla 1: Tipos de cargadores

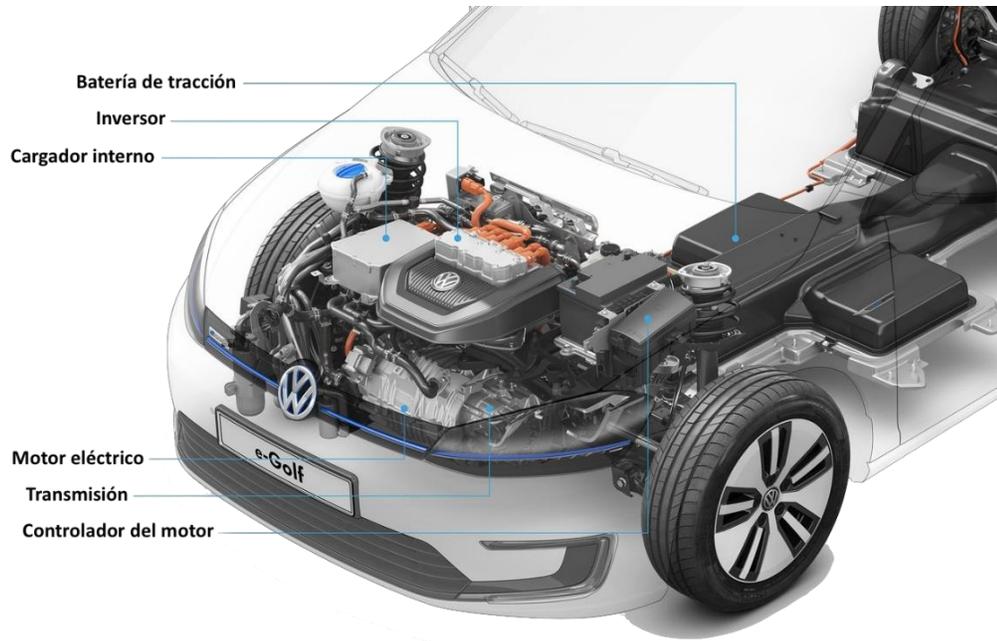
#### 1.2.2.2. CARGADOR DE A BORDO

Como se ha visto en el apartado anterior, la gran mayoría de cargadores reciben la energía en forma de corriente alterna. Para poder almacenar esta energía en la batería esta debe ser corriente continua, es aquí donde entra el cargador a bordo (OBC, *On Board Charger*), este se encarga de transformar la corriente alterna de la red en corriente continua.

El OBC se comunica directamente con la centralita del vehículo y la estación de carga donde tengamos conectado el vehículo.

Los OBC pueden ser monofásicos y trifásicos, las potencias de los monofásicos son de 7,2 kW a 11 kW y los trifásicos de 22 kW. La potencia del OBC nos determinará el tiempo de carga del vehículo. [19]

Los cargadores a bordo no tienen por qué estar siempre en el interior del coche, pueden venir incorporados en el propio cargador. Esto significa que la corriente que entra al vehículo es corriente continua que se almacena directamente en la batería. [20]

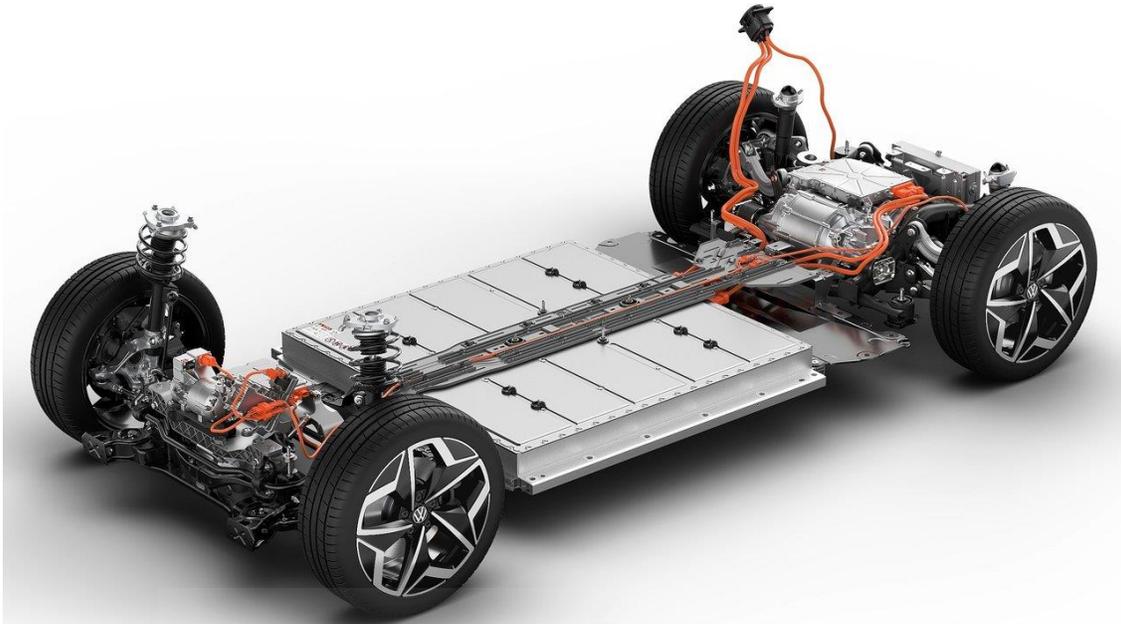


*Ilustración 13: Disposición de las partes de un vehículo de tracción eléctrica*

### 1.2.2.3. BATERÍAS

Las baterías de un vehículo eléctrico son el lugar de almacenaje de la energía que proviene de una torre de carga para luego descargarse en beneficio de un motor eléctrico.

Las baterías se dividen en celdas, dentro de estas celdas encontramos al igual que en una pila convencional un electrodo positivo (cátodo), un electrodo negativo (ánodo) y electrolitos que permiten el movimiento de los iones entre los electrodos.



NetCarShow.com

*Ilustración 14: Plataforma de baterías de un vehículo eléctrico*

Una parte fundamental de las baterías es el Sistema de Gestión de Baterías (BMS), como su propio nombre indica, este gestiona la carga y descarga de las baterías para así evitar accidentes debido a una mala carga o a factores externos perjudiciales.

El BMS está conectado directamente a la centralita del vehículo, controlando así la recarga de la batería en función de la necesidad del vehículo. Gracias a este sistema se protege la batería y se optimiza su funcionamiento, teniendo así mayor rendimiento. [21]

Existen diferentes tipos de batería para vehículos eléctricos, dependiendo de las características y de las ventajas que se quieran conseguir.

Los principales parámetros de una batería son el voltaje y la corriente. El voltaje es la cantidad de trabajo que se puede realizar con una determinada capacidad para entregar electrones. Por otro lado, la corriente es la energía que se puede proporcionar durante una descarga.

Uno de los parámetros diferenciadores es la densidad energética. Esta mide la energía que puede almacenar una batería por cada kg de peso, midiéndose en Wh/kg.

Otros de los parámetros son la energía y la potencia específicas. La energía específica es la capacidad que puede almacenar una batería, mientras que la potencia específica es la intensidad con la que se descarga la batería en un corto periodo de tiempo. [22]

Sabiendo la diferencia entre la energía y la potencia específica podemos definir que es la capacidad de una batería, que no es más que la energía específica que puede entregar una batería con el tiempo. [22]

Antes de almacenar electricidad, las baterías deben de ser cargadas. La carga de una batería es la cantidad de corriente que esta puede almacenar para posteriormente descargarse, esta se mide en amperios por hora.

Por último, pero no menos importante, están los estados de las baterías. Estos estados son los estados de salud, carga y funcionamiento.

El estado de salud (SoH) de una batería se ve marcado por la capacidad de almacenar energía, la capacidad de entregar corriente y la autodescarga, esta última indica el estado físico de la batería y está relacionado con el estrés debido a las variaciones de temperatura. [22]

El estado de carga (SoC) indica el nivel de carga de una batería, cuando la batería está totalmente cargada se mostrará el 100% mientras si está descargada mostrará el 0%. Esto no significa que estemos utilizando la capacidad total de la batería. La carga y descarga de una batería se calcula mediante ciclos. Un ciclo para una batería no es cuantas veces se ha conectado un cargador a la batería, un ciclo es la carga de una cantidad igual al 100% de la capacidad nominal, es decir, si hemos cargado una batería que estaba al 20% hasta un porcentaje del 80% (ha cargado un 60%) y luego la volvemos a conectar para cargar de un 40% al 80% (ha cargado un 40%), la suma de estas dos resultaría un ciclo de carga completo. [22]

El estado de funcionamiento (SoF) refleja la capacidad real de batería que será utilizada, dependiendo del fabricante, se reserva un porcentaje de la capacidad de esta, ya que sería perjudicial que una batería estuviera cargada o descargada por completo. [22]

Existen diferentes tipos de baterías, las más utilizadas en la actualidad en vehículos eléctricos son las baterías de Ion-Litio, estas baterías se dividen en los siguientes tipos:

-Batería de Ion-Litio (LiCoO<sub>2</sub>)

Este tipo de batería es de reciente creación, la batería consta de un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de grafito y carbono. [23]

Tienen el doble de densidad energética que las baterías de níquel-cadmio. Las ventajas de esta batería son, la no necesidad de mantenimiento, alta densidad energética con un tamaño pequeño y un peso ligero. Por otro lado, al ser una batería ligera provoca que sea frágil y tenga un alto coste de producción. El ciclo de vida de esta batería ronda entre las 400 y las 1.200 cargas y descargas. [24]

-Batería de Ion-Litio (LiFePO<sub>4</sub>)

En esta batería se utiliza el fosfato, ofreciendo así un buen rendimiento electroquímico con baja resistencia. Al tener baja resistencia la vida útil de la batería se ve prolongada con respecto a la batería de cobalto. [23]

Estas baterías proporcionan una mayor seguridad, estabilidad y potencia. Al tener una baja resistencia, se ve perjudicada la densidad energética de la batería, otra desventaja es que implican un mayor coste. Su ciclo de vida ronda las 2.000 cargas y descargas. [24]

-Batería de Polímero de Litio (LiPo)

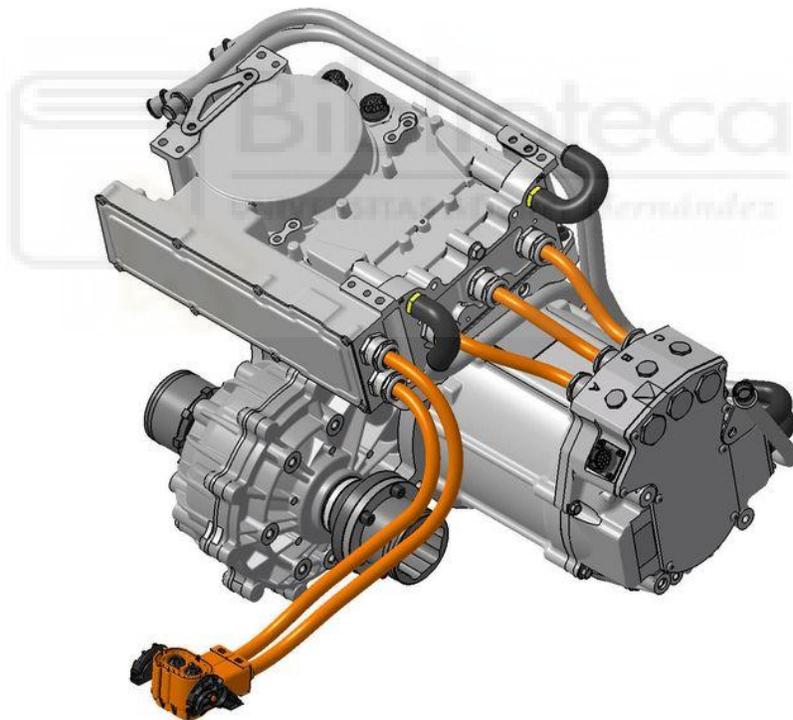
La batería de polímero de litio es una variación de las baterías de ion-litio, con la diferencia de que estas los iones se encuentran contenidas en un gel de polímero y no en disolventes orgánicos inflamables, haciéndolas así más seguras. [23]

Estas baterías son más ligeras y eficientes que las de ion-litio, pero sin embargo las baterías de polímero tienen un ciclo de vida más corto y un mayor precio de mercado. El ciclo de vida de estas baterías ronda las 1.000 cargas y descargas. [24]

#### 1.2.2.4. INVERSOR

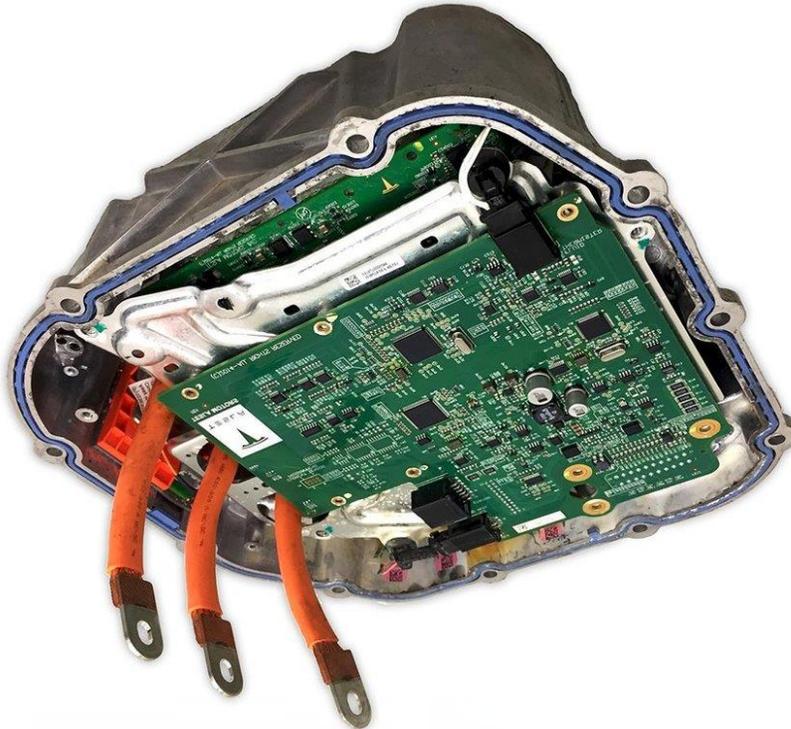
El inversor de un vehículo eléctrico se encarga de transferir el flujo de potencia entre la batería y el motor. Determina la velocidad, el par y el sentido de giro del motor.

El inversor transforma la corriente continua que proviene de la batería en corriente alterna para poder ser recibida por el motor.



*Ilustración 15: Inversor de un vehículo eléctrico*

En el caso de no disponer de inversor, la corriente alterna que se le suministra sería de frecuencia fija y por lo tanto tendría una velocidad constante. El inversor es el encargado de modular esta velocidad mediante la información que recibe del pedal del acelerador.



*Ilustración 16: Circuito electrónico interior de un Inversor*

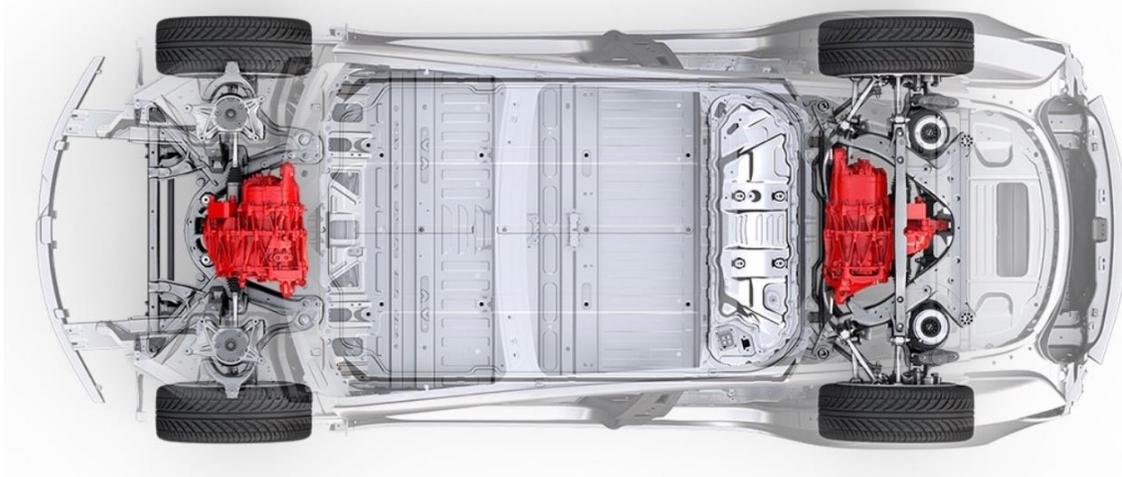
El inversor es bidireccional, esto quiere decir que puede girar en los dos sentidos. Cuando el conductor suelta el pedal del acelerador y conserva una energía cinética el inversor cambia el sentido de la corriente, generando así energía que se vuelve a almacenar en las baterías del vehículo. Este fenómeno es conocido como frenada regenerativa. [25]

#### 1.2.2.5. MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores de los vehículos eléctricos no dejan de ser a grandes rasgos un rotor que gira alrededor de un estátor compuesto de imanes generando así un campo magnético. El campo magnético del estátor hace girar al campo magnético fijo del rotor y este transmite mediante engranajes la tracción a las ruedas del vehículo.

Los vehículos eléctricos permiten numerosas variantes en cuanto a disposición de motores, habiendo configuraciones de uno hasta cuatro de estos. Sin embargo, en la actualidad existen cuatro tipos de motores eléctricos, los motores de corriente continua

con escobillas, los motores de reluctancia conmutada, los de imán permanente y los motores de inducción. [26]



*Ilustración 17: Vehículo con distribución de dos motores eléctricos, uno delantero y otro trasero*

#### -Motor DC de escobillas

Un motor DC de escobillas se compone de cuatro partes: estator, rotor, escobillas y conmutador.

El estator es el elemento del motor que se mantiene fijo y no rota. Este elemento contiene los imanes permanentes.

El rotor, al contrario que el estator, es la parte móvil del motor eléctrico. Este rota sobre el estator, creando así un campo magnético.

Las escobillas están conectadas directamente a la fuente de alimentación de corriente continua.

El conmutador es el elemento que enlaza las escobillas con el rotor.

La electricidad proporcionada por la batería o pila es recibida por las escobillas, la corriente llega al rotor gracias al conmutador que actúa como puente conector entre ellos. El rotor se compone de un bobinado de cobre que al llegar la corriente a él crea un electroimán

que actúa contra la fuerza magnética de los imanes del estator. Esta fuerza genera un torque que hace girar el rotor. [27]

#### -Motor de reluctancia conmutada

La reluctancia magnética de un material es la resistencia que éste posee al paso de un flujo magnético cuando es influenciado por un campo magnético. A mayor reluctancia del material, más energía hará falta para establecer un flujo magnético sobre él.

Los elementos principales de un motor de reluctancia son el rotor y el estator. El rotor está compuesto por dos polos salientes con entrehierros que producen una reluctancia muy elevada. El estator del motor está compuesto por láminas de hierro con polos salientes bobinados denominados fases. El estator puede tener más de una fase, con la única condición de que la misma fase con el mismo bobinado esté enfrentada entre si

Cuando uno de los polos del estator se carga de electricidad en el rotor se produce un par de reluctancia, debido a que la reluctancia en los entrehierros es mayor en el rotor. El par de reluctancia se desplaza hacia donde menos par hay generado, siendo este el lado opuesto de la fase haciendo así que gire el rotor. [28]

#### -Motor de imán permanente

El estator de un motor de imán permanente está compuesto por un bobinado en forma de cilindro. El rotor está compuesto por láminas de acero superpuestas que se enganchan a un eje. La atracción del rotor hacia la bobina del estator produce un campo magnético lo que conlleva un par de rotación, esta atracción puede ser producida tanto por corriente continua como alterna.

El mecanismo de estos motores sustituye el cambio de polaridad mecánica por otra electrónica que no produce contacto. Lo que significa que la espira del rotor solo es impulsada cuando el polo del estator es el correcto. En el caso de que no sea el correcto el sistema electrónico corta el suministro de corriente. [29]

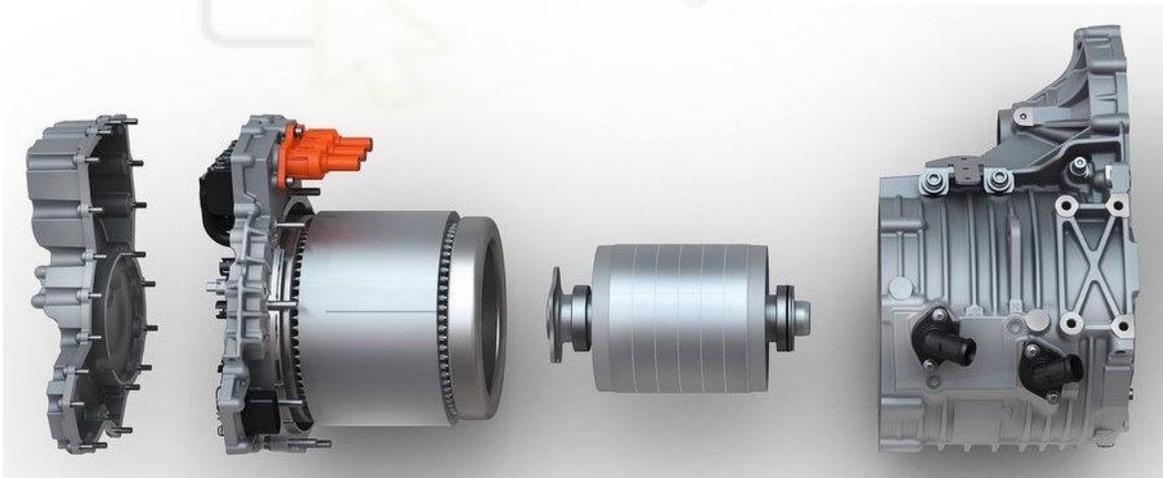
## -Motor de inducción

Los motores de inducción siguen las leyes físicas de Faraday. Su principio de funcionamiento consta en aplicar corriente alterna al estator para generar así un campo magnético.

El rotor parte en un estado de reposo, pero al aplicarse al verse inducido por el campo magnético del estator este comienza a girar debido al par que genera este campo magnético. [30]

Los motores de inducción son también denominados motores asíncronos, esto quiere decir que el rotor no gira a la misma velocidad que el campo magnético que lo induce, por lo tanto, la posición del rotor siempre será algo atrasada. [31]

La gran mayoría de los vehículos eléctricos están dotados de motores de inducción. Disponen de un alto par de arranque, buen control de la velocidad y su tamaño es muy reducido.

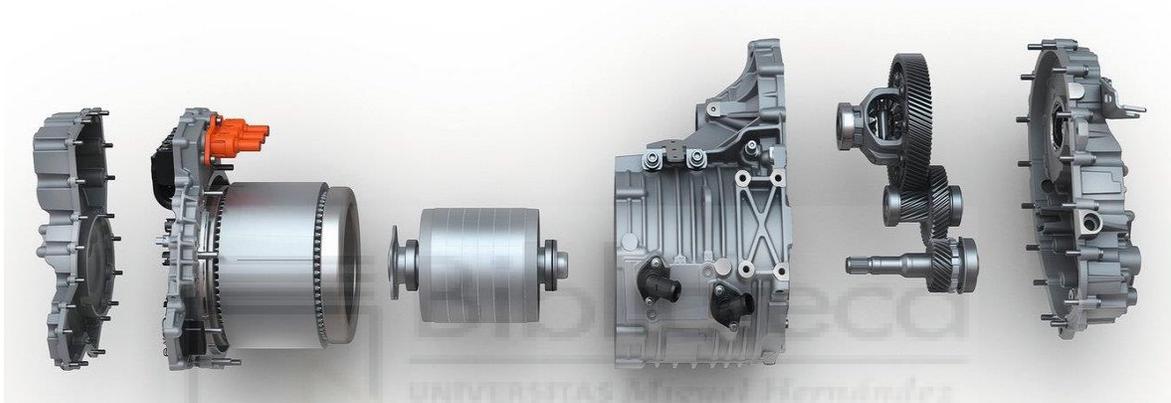


*Ilustración 18: Despiece general de motor eléctrico*

### 1.2.2.6. TRANSMISIÓN

La gran mayoría de vehículos eléctricos carecen de caja de cambios y de embrague. La transmisión de estos es automática con una relación fija, de esta forma el rendimiento del vehículo eléctrico es muy elevado ya que sus motores son capaces de girar a un alto régimen de vueltas en muy pocos segundos, teniendo así un gran par de arranque.

Mediante la centralita y los sensores de control de deslizamiento del diferencial se gestiona el control de tracción del vehículo.



*Ilustración 19: Motor eléctrico y a la derecha la transmisión del mismo*

## 2. CICLOS DE HOMOLOGACIÓN DE CONSUMOS Y EMISIONES CONTAMINANTES

## 2. CICLOS DE HOMOLOGACIÓN DE CONSUMOS Y EMISIONES CONTAMINANTES

### 2.1. HISTORIA DE LA HOMOLOGACIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente, a partir de los años 60-70 la población comienza a concienciarse de la importancia de cuidar el medioambiente y de que una de las causas de la contaminación global es la manera en la que nos desplazamos, es decir, los vehículos de combustión interna.

En marzo de 1970, debido al aumento en el número de automóviles, se creó la primera ley de regulación límite de emisiones, primero en Alemania y luego en Francia por la EEC (European Economic Community). Posteriormente se aplicó en 1971 por parte de todos los estados de la EEC para evitar riesgos y no tener normativas diferentes, ya que eso conllevaría a que el estado que no siga la normativa no podría comercializar sus modelos en el resto de los estados por no cumplir dicha normativa.

En 1978 Estados Unidos creó la prueba EPA (Environmental Protection Agency), comúnmente conocida como FTP-75, para determinar la tasa del impuesto al consumo excesivo que se aplica a las ventas de automóviles.

En la década de los 80 se actualizó la antigua normativa europea, apareciendo así el ciclo NEDC (New European Driving Cycle). En este caso se realizaban las pruebas de homologación en un banco de laboratorio donde se simulaba la conducción urbana de un vehículo. Más adelante, en 1992 se incluyó la simulación no urbana, con unas velocidades mayores. Como última actualización en 1997 se incluyó el control de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el año 2007 también la EPA actualizó sus ciclos siendo estos realizados a una mayor velocidad y a unas altas aceleraciones, por lo que se obtenía un mayor reflejo de cómo era el consumo de combustible.

En 2019 todos los vehículos ligeros nuevos de los países de Europa debían completar el nuevo ciclo WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles).

Por el motivo expuesto antes, actualmente el ciclo NEDC está en desuso en Europa. En otros países, como es el caso de China, se siguió usando esta normativa por un periodo de tiempo superior, aunque actualmente ya está en desuso. En su lugar se utiliza la nueva normativa propia de este país, el ciclo CLTC. [32]

## 2.2. CICLOS DE HOMOLOGACIÓN ACTUALES

### 2.2.1. CICLOS EUROPEOS

#### 2.2.1.1. CICLO NEDC

NEDC (New European Driving Cycle) era una prueba diseñada para evaluar objetivamente el impacto medioambiental de los automóviles. Estaba orientada a informar a los consumidores. Las pruebas se basaban en la legislación europea sobre emisiones. En sus últimos años de aplicación fue criticado porque la divergencia con los consumos reales de los coches actuales era cada vez mayor. [33]

El NEDC consistía en cuatro ciclos de conducción ECE-15 repetidos y un ciclo de conducción extra-urbano (Extra-Urban driving cycle EUDC).

La prueba de consumo es igual para todos los coches, ya sean de combustión interna de gasolina, diésel o gas, sean híbridos o 100% eléctricos.

Ciclo ECE-15: Ciclo de conducción europeo que representa la conducción urbana con una duración de 195 s. Los ciclos europeos son más simples que los de Estados Unidos, ya que tiene periodos de aceleración, deceleración y velocidad constantes. En él, la velocidad del vehículo no excede los 50 km/h. [33]

Actualmente esta prueba se desechó en Europa en el año 2018 dando paso al ciclo ya explicado anteriormente WLTP. Este es el ciclo que se sigue usando en países asiáticos (en particular China). Sin embargo, en este país se está reduciendo su uso a la vez que se está potenciando la utilización de su normativa propia CLTC. [34]

## -Ensayo de homologación NEDC

Carga en carretera: La carga en carretera mide la cantidad de energía requerida para mantener un vehículo moviéndose en la carretera a una velocidad mayor a 0 km/h.

Hay varios métodos para calcularla, pero el más común es el "coastdown" en el que se acelera el vehículo en una pista de pruebas hasta velocidades de hasta 120 km/h. Entonces se pone en punto muerto y se cronometran los tiempos en los que baja la velocidad en intervalos de 20 km/h hasta que el vehículo se detiene.

La deceleración da la medida de la resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura y pérdidas mecánicas del coche. Los tiempos y distancias medidos se trasladan a una curva de carga en carretera que será programada en los rodillos del dinamómetro en el laboratorio.

En la UE los datos de los resultados de la prueba de carga en carretera se mantienen confidenciales porque los fabricantes alegan que contienen información sensible. Como los datos se mantienen en secreto es imposible replicar los resultados de forma independiente. En los Estados Unidos los datos de la prueba de carga en carretera son de acceso público.

Protocolo de prueba en el laboratorio:

-Primera parte: Representa conducción urbana, en la que el vehículo se arranca por la mañana (tras haber estado toda la noche apagado y en reposo) y se conduce en hora punta con múltiples paradas de atasco.

-Segunda parte: Representa una conducción de carretera con una velocidad máxima de 120 km/h.

Las características de este ciclo son las siguientes:

<b>CICLO COMPLETO NEDC</b>	
TIEMPO	1180 s
DISTANCIA	11.007 m
VELOCIDAD MEDIA	33,6 km/h
VELOCIDAD MÁXIMA	120 km/h
ACELERACIÓN MÁXIMA	1,04 m/s <sup>2</sup>

Tabla 2: Datos ciclo completo NEDC

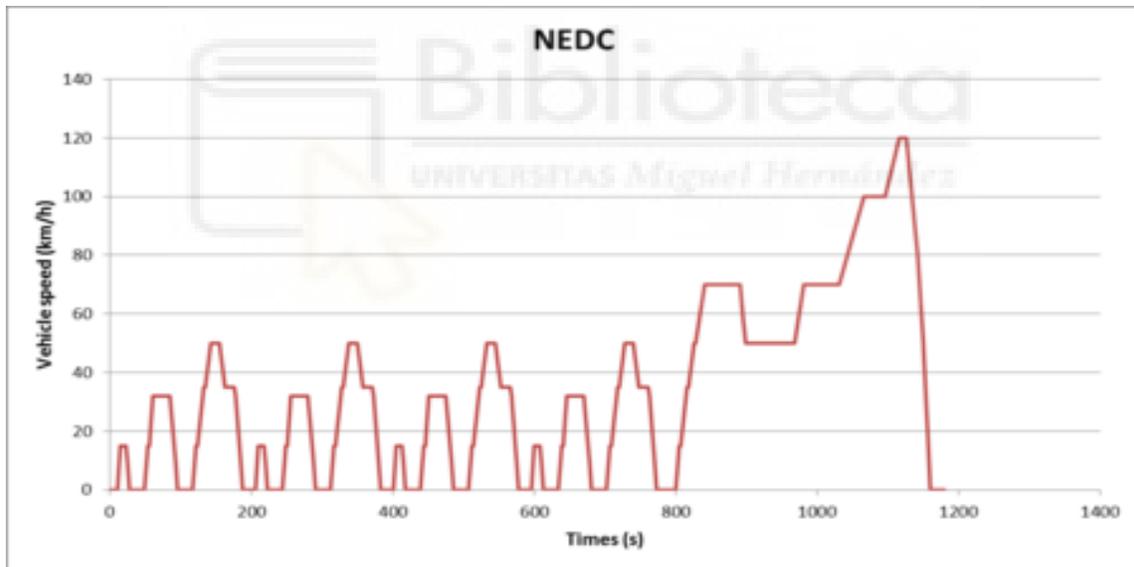


Ilustración 20: Gráfica Velocidad contra Tiempo del ciclo NEDC.

El tiempo al ralentí es de 300 s, lo que supone un 25% del tiempo total, la temperatura ambiente estará entre 20 °C y 30 °C, el aire acondicionado estará apagado y los cambios de marcha son fijos para los cambios manuales y sugeridos por los fabricantes para los automáticos. [35] [36]

Como se observa en la *Ilustración 20*, tenemos una primera parte del ciclo muy larga en la que la velocidad máxima es de 50 km/h y teniendo muchas paradas, luego una segunda parte en la que la velocidad máxima es 120 km/h, pero no durante mucho tiempo, alrededor de 10 s.

Con esto observamos que este ciclo no estaba preparado para medir autonomías para vehículos eléctricos, ya que en este saldrán autonomías muy por encima de lo que luego serán en la realidad, ya que no mantenemos una velocidad máxima durante mucho tiempo y estamos muchos segundos parados en los que el motor eléctrico está apagado y no consume.

Otro de los "trucos" que se observa en este ciclo es que la velocidad máxima se mantiene constante durante un corto periodo de tiempo. Las altas velocidades constantes aumentan la demanda de energía eléctrica del vehículo, si estas son bajas y solo se presentan en unos pocos segundos, tendremos un menor consumo eléctrico.

El ciclo NEDC ha llegado a tener bastantes problemas en cuanto a su fiabilidad durante sus últimos años, ya que los fabricantes podían influir en gran parte en estas pruebas, ya que la Organización Europea dejaba mucha libertad a estos a la hora de preparar el coche para las pruebas, algunas de las prácticas habituales eran:

- Retirada de los equipos para reducir peso.
- Separar las pastillas de freno para reducir la fricción.
- Inflar los neumáticos a una mayor presión de la recomendada para así conseguir una menor superficie de contacto del neumático y tener menor fuerza de rozamiento.
- Tapar todas las juntas de las puertas y ventana para reducir el coeficiente aerodinámico.
- Reprogramar la centralita ECU (Engine Control Unit) de forma diferente que a los vehículos de serie.
- No usar el sistema de aire acondicionado o climatización.

-No usar luces, radio, navegador u otros sistemas permitidos.

Muchas de estas trampas llegaron a ser más que una simple anécdota en varias marcas de automóviles. El más famoso hasta la fecha fue el caso del grupo VAG, en la que pudieron homologar unos motores diésel con niveles de contaminación muy por encima de los permitidos en la década de los 2000. [33]

#### 2.2.1.2. CICLO WLTP

El ciclo WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles) es un estándar global para determinar los niveles de contaminantes, emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible de los coches tradicionales, híbridos y automóviles eléctricos puros. Este procedimiento ha sido desarrollado por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE o UNECE en inglés) para sustituir al Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC) como procedimiento europeo de homologación de vehículos.

Una de las pruebas que componen el ciclo WLTP es el WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) el cual está compuesto por pruebas de dinamómetro de chasis para la determinación de las emisiones y el consumo de combustible de los vehículos ligeros. [35] [37]

Lo que concierne a los vehículos eléctricos se encuentra ubicado en los sub-anexos de la normativa WLTP.

-SUB-ANEXO 8 "Vehículos híbridos de pila de combustible de hidrógeno comprimido, eléctricos híbridos y eléctricos puros" en este sub-anexo se clasifican los vehículos PEV, HEV y FCEV como vehículos de clase 3. Los ciclos de ensayo de referencia de esta clase se especifican en el apartado 3.3. del Sub-Anexo 1 en el que se indica que la clase 3 se divide en 2 subclases, clase 3a y clase 3b.

La prueba de la clase 3 se divide en cuatro fases:

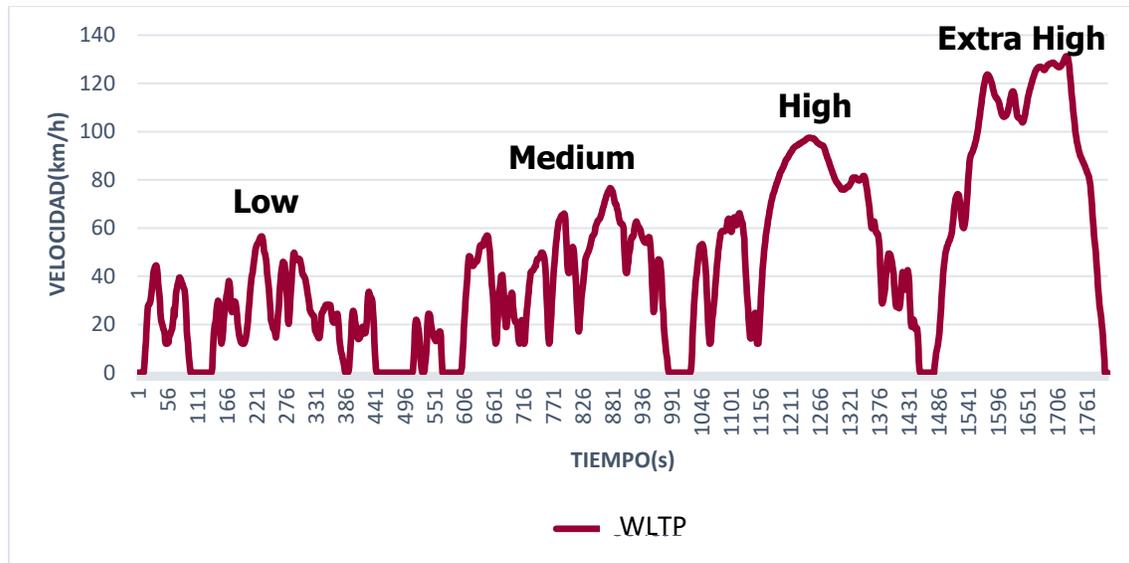
- Fase *Low*: Duración de 589s.
- Fase *Medium*: Duración de 433s.
- Fase *High*: Duración de 455s.
- Fase *Extra High*: Duración de 323s.

El ciclo urbano consta de las fases *Low* y *Medium*, mientras que el ciclo extra-urbano se compone de las fases *High* y *Extra High* que simula la conducción en autopistas y carreteras nacionales. [38]

Características del ciclo WLTP para clase 3 completo:

<b>CICLO WLTP COMPLETO</b>	
TIEMPO	1800 s
DISTANCIA	23.250 m
VELOCIDAD MEDIA	46,6 km/h
VELOCIDAD MÁXIMA	131,3 km/h
ACELERACIÓN MÁXIMA	1,58 m/s <sup>2</sup>

Tabla 3: Datos ciclo WLTP



*Ilustración 21: Gráfica Velocidad contra Tiempo del ciclo WLTP.*

Como se verá en todos los ciclos, el vehículo va a estar condicionado por un rodaje que se le hará antes de realizar las pruebas:

**-Preacondicionamiento:** El vehículo ensayado de conformidad con el presente anexo se presentará en buenas condiciones técnicas y se rodará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

El sistema REESS (Rechargeable Electrical Energy Storage System) es el sistema de almacenamiento de energía recargable que proporciona electricidad para la propulsión del vehículo. El REESS se divide en dos componentes, el BMS (Battery Management System) que no es más que el sistema de mantenimiento del estado de la batería y el conjunto de baterías que conformen el vehículo. [39]

En caso de que los REESS funcionen por encima del rango de temperatura de funcionamiento normal, alrededor de los 52 °C dependiendo del fabricante, el operador deberá seguir el procedimiento recomendado por el fabricante del vehículo para mantener la temperatura del REESS en su rango de funcionamiento normal o bien mediante electroventiladores o por el sistema de refrigeración. El fabricante deberá acreditar que el sistema de gestión térmica del REESS no está desactivado ni reducido.

Los BEV deberán haber rodado al menos 300 km o una distancia de carga completa antes de realizar la prueba, lo que corresponda a una distancia mayor. Luego se volverán a cargar al nivel que recomiende el fabricante para realizar la prueba. [38]

-Determinación de la tensión y corriente del REESS: La medición de la corriente y la tensión del REESS comenzará al mismo tiempo que comienza el ensayo y finalizará inmediatamente después de que el vehículo haya terminado el ensayo.

La(s) corriente(s) del REESS se medirán durante los ensayos utilizando un transductor de corriente tipo abrazadera o de tipo cerrado. Los transductores de corriente deberán ser capaces de manejar las corrientes máximas en el arranque del motor y las condiciones de temperatura en el punto de medición.

Para tener una medición precisa, el ajuste a cero y la desmagnetización deben realizarse antes de la prueba de acuerdo con las instrucciones del fabricante del instrumento.

Para medir fácilmente la corriente del REESS utilizando un equipo de medición externo, el fabricante debe proporcionar puntos de conexión adecuados, seguros y accesibles en el vehículo. Si eso no es factible, el fabricante está obligado a ayudar a la autoridad de homologación a conectar un transductor de corriente a uno de los cables conectados directamente al REESS de la manera descrita anteriormente en este párrafo.

La salida del transductor de corriente se muestreará con una frecuencia mínima de 20 Hz. [38]

-Condiciones de la prueba: El ensayo consistirá en el funcionamiento del vehículo en un dinamómetro de chasis en el WLTC aplicable para la familia de interpolación.

El ambiente tendrá un punto de ajuste de temperatura de 23 °C y la tolerancia del valor real estará dentro de  $\pm 3$  °C en un promedio aritmético móvil de 5 minutos y no deberá mostrar una desviación sistemática del punto de ajuste. La temperatura se medirá continuamente a una frecuencia mínima de 0,033 Hz (cada 30 s).

El vehículo de prueba se ajustará en todos sus componentes a la serie de producción o, si el vehículo es diferente de la serie de producción, se incluirá una descripción completa en todos los informes de prueba pertinentes. Al seleccionar el vehículo de ensayo, el fabricante y la autoridad de homologación acordarán qué modelo de vehículo es representativo de la familia de interpolación.

Antes del ciclo de prueba de preconditionamiento, los REESS estarán completamente cargados. A petición del fabricante, se puede omitir la carga antes del preconditionamiento. Los REESS no se volverán a cargar antes de las pruebas oficiales.

En cuanto a los neumáticos, si estos son usados no pueden haber pasado más de 2 años desde la fecha de producción, no deben de estar especialmente acondicionados o tratados (por ejemplo, calentados o envejecidos artificialmente), para que la banda de rodadura sea menor y que por lo tanto condicione a la tracción, tienen que estar rodados durante al menos 200km antes de la determinación de la carga en carretera y tener una profundidad constante de la banda de rodadura antes del ensayo entre el 100 y el 80% de la profundidad original de esta en cualquier punto de la anchura total de la banda de rodadura del neumático.

La presión de los neumáticos deberá de estar por debajo del límite máximo especificado por el fabricante.

Para la aerodinámica, todos los instrumentos se instalarán de manera que se reduzcan al mínimo sus efectos sobre las características aerodinámicas del vehículo.

El calentamiento se realizará conduciendo el vehículo únicamente. Antes del calentamiento, se desacelerará el vehículo con el embrague desacoplado o la transmisión automática en punto muerto mediante un frenado moderado de 80 a 20 km/h en un plazo de 5 a 10 segundos.

Todos los vehículos se conducirán al 90% de la velocidad máxima del WLTC aplicable. El vehículo se calentará durante al menos 20 minutos hasta que se alcancen condiciones estables. En el caso del ciclo clase 3 la velocidad máxima será de 118 km/h. [38]

-Procedimiento: El vehículo de prueba se colocará, ya sea conduciéndolo o empujándolo, en un dinamómetro y se operará a través de los WLTC aplicables. No es necesario que el vehículo esté frío y puede usarse para configurar la carga del dinamómetro. Para la selección del dinamómetro habrá que tener en cuenta si el vehículo es de tracción 2WD (front-wheel drive) o 4WD (four-wheel drive).

El procedimiento de arranque del grupo motopropulsor se iniciará mediante los dispositivos previstos al efecto de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

No se permitirá un cambio de modo de funcionamiento no iniciado por el vehículo durante el ensayo, a menos que se especifique lo contrario.

Si el inicio del procedimiento de arranque del tren motriz no tiene éxito, el motor no arranca como se esperaba o el vehículo muestra un error de arranque, la prueba es nula, por lo que se repetirán las pruebas de precondicionamiento y se realizará una nueva prueba.

El ciclo comienza al iniciarse el procedimiento de arranque del tren motriz.

Una vez ya iniciado el ciclo el vehículo se operará con el movimiento de control del acelerador apropiado necesario para seguir con precisión el trazo de velocidad.

Para transmisiones manuales, el controlador del acelerador se soltará durante cada turno y el cambio se realizará en un tiempo mínimo. Si el vehículo no puede seguir la traza de velocidad, se operará a la máxima potencia disponible hasta que la velocidad del vehículo alcance nuevamente la velocidad objetivo-respectiva. El alcance de dicho precondicionamiento adicional se incluirá en todos los informes de ensayo pertinentes.

En cambio, para las desaceleraciones si el vehículo desacelera más rápido de lo prescrito por la traza de velocidad, el control del acelerador se accionará de modo que el vehículo siga con precisión la traza de velocidad. Si el vehículo desacelera con demasiada lentitud para seguir la deceleración prevista, se aplicarán los frenos de manera que sea posible seguir con precisión el trazado de la velocidad.

El uso del freno deberá ser constante y no intermitente cuando el vehículo esté parado o en una fase de ralentí para evitar que giren las ruedas motrices.

La transmisión para cajas automáticas, después del acoplamiento inicial, el selector no debe operarse en ningún momento durante la prueba. El acoplamiento inicial se realizará 1 segundo antes de comenzar la primera aceleración. Los vehículos con transmisión automática con modo manual no se ensayarán en modo manual.

La distancia realmente recorrida por el vehículo se incluirá en todas las fichas de ensayo correspondientes a cada fase del WLTC.

Para las tolerancias de trazado de velocidad los vehículos que no puedan alcanzar los valores de aceleración y velocidad máxima requeridos en el WLTC aplicable deberán operarse con el control del acelerador completamente activado hasta que alcancen nuevamente la traza de velocidad requerida. Las infracciones de trazado de velocidad en estas circunstancias no anularán una prueba. Las desviaciones del ciclo de conducción se incluirán en todos los informes de ensayo pertinentes.

Se permitirán las siguientes tolerancias entre la velocidad real del vehículo y la velocidad prescrita de los ciclos de ensayo aplicables.

Las tolerancias no se mostrarán al conductor:

a) Límite superior: 2,0 km/h por encima del punto más alto de la traza dentro de  $\pm 1,0$  segundo del punto dado en el tiempo;

(b) Límite inferior: 2,0 km/h por debajo del punto más bajo de la traza dentro de  $\pm 1,0$  segundo del tiempo dado. [38]

-Procedimiento post-ciclo: Una vez ha terminado el ciclo se deja enfriar el vehículo hasta que lleguen todos los sistemas a temperatura ambiente.

Para la determinación del consumo de energía eléctrica del ciclo de ensayo aplicable está basado en la energía eléctrica recargada de la red después de realizar el ciclo y la autonomía eléctrica pura se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$EC_{WLTC} = \frac{E_{AC}}{PER_{WLTC}}$$

$EC_{WLTC}$ : es el consumo de energía eléctrica específico de cada fase basado en la energía eléctrica recargada de la red y la autonomía totalmente eléctrica equivalente, Wh/km

$E_{AC}$ : es la energía eléctrica recargada, Wh

$PER_{WLTC}$ : es el rango totalmente eléctrico equivalente específico de la fase, km

Para la determinación de la autonomía simplemente hay que invertir la ecuación para que el resultado se obtenga en kilómetros y así tener el rango de autonomía puramente eléctrico. [38]



## 2.2.2. CICLO AMERICANO

### 2.2.2.1. CICLO EPA

EPA (Environmental Protection Agency) es el ciclo de homologación predominante en los Estados Unidos de América. Además de ser un ciclo de homologación es una agencia que se preocupa por el cuidado del medio ambiente. Tiene otros subapartados como son: La Ley de Reducción de la Inflación, Reglamento Nacional de Agua Potable Primaria y Lucha Contra el Cambio Climático.

En lo que concierne al ciclo de determinación de consumo y autonomía de vehículos eléctricos, el objetivo de este procedimiento es identificar los métodos adecuados para el control de actividades de prueba de conformidad con los requisitos de SAE Standard J1634, May93. [35]

El propósito de esta norma es establecer unos procedimientos uniformes para probar baterías eléctricas de vehículos a través de dos pruebas; la prueba UDS (Urban Driving Schedule) Conducción Urbana y la prueba HWFET (Highway Fuel Economy Test Driving Schedule) Programa de Conducción con Ahorro de Combustible en Autopista, aunque este último al tratarse de vehículos eléctricos no va a haber un ahorro de la energía ya que al no tener caja de cambios el motor a cuanto más velocidad más potencia tendrá que aportar la batería. [40]

Cabe destacar que el ciclo no finaliza al terminar estos dos tipos de pruebas, sino que, al contrario de todos los demás ciclos se seguirán repitiendo estas pruebas hasta que el vehículo marque una batería del 0%. [41] [42]

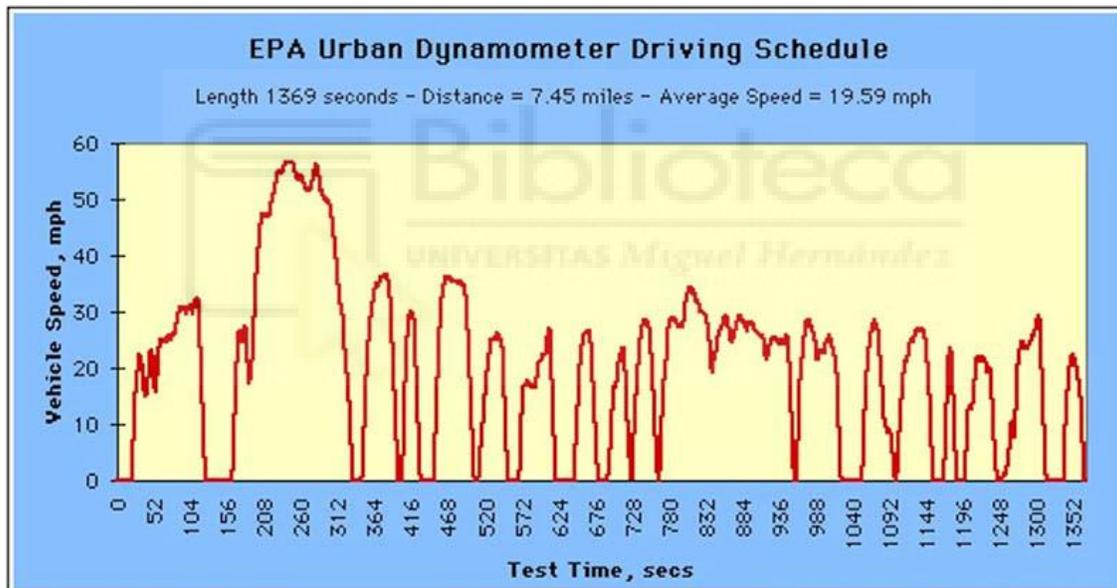


Ilustración 22: Gráfica Velocidad contra Tiempo de la prueba urbana del ciclo EPA

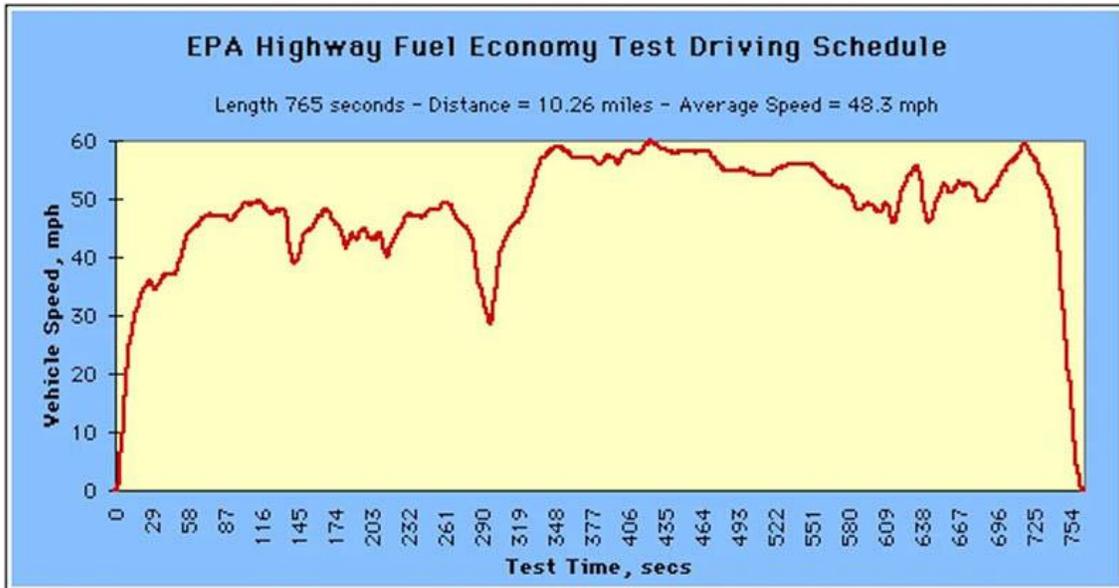


Ilustración 23: Gráfica Velocidad contra Tiempo de la prueba de alta velocidad del ciclo EPA

<b>CICLO EPA (Sumando las dos pruebas)</b>	
TIEMPO	2.106 s
DISTANCIA	28.500 m
VELOCIDAD MEDIA	47 km/h
VELOCIDAD MÁXIMA	96,6 km/h
ACELERACIÓN MÁXIMA	1,43 m/s <sup>2</sup>

Tabla 4: Datos ciclo EPA

-Condiciones iniciales y requisitos: Antes de la realización de cualquier parte de la prueba, se deben cumplir los siguientes requisitos previos. La finalización satisfactoria de estos elementos debe ser verificado como completo y registrado en la hoja de datos de prueba.

El personal que realice las pruebas bajo este procedimiento debe estar familiarizado con los requisitos de este procedimiento, y en su caso, el SAE apropiado Instrucciones de Prueba, Procedimientos de Control Administrativo, y estar certificado por el administrador del programa o el administrador/ingeniero de pruebas antes de comenzar cualquier actividad de prueba.

La temperatura ambiente durante la prueba será de 25°C con una variación de +/- 5°C.

La temperatura de la batería al comienzo debe de ser menor de 49 °C y durante la prueba menor de 38 °C.

Para las condiciones del dinamómetro la carga será programable a varias velocidades del vehículo para simular la carga de la carretera del vehículo frente a las características de velocidad.

Los ajustes de potencia de carga en carretera se realizarán como está descrito en ETA-TP001 y este procedimiento. ETA-TP001 es la normativa que tiene como objetivo medir la carga en carretera y simularlo en el dinamómetro usando técnicas de descenso.

Durante la operación del dinamómetro, un ventilador de enfriamiento de velocidad fija debe estar colocado de manera que dirija el aire de enfriamiento hacia la parte delantera del vehículo. La capacidad del ventilador en general no debe exceder los 2,5 m<sup>3</sup>/s. Se pueden emplear ventiladores auxiliares si es necesario para duplicar más de cerca condiciones de refrigeración en carretera.

El vehículo se probará en su configuración normal con los accesorios normales (espejos, parachoques, tapacubos, etc.). Ciertos elementos (tapas de cubo, etc.) pueden ser retirados donde sea necesario por seguridad en el dinamómetro.

Durante las pruebas con dinamómetro, los vehículos pueden utilizar neumáticos que hayan sido desgastados, pero con un mínimo de seguridad regulado. Esto reduce el calentamiento de los neumáticos y evita absorción de la carga de la carretera por los neumáticos.

La presión de los neumáticos en el dinamómetro se ajustará según sea necesario para que se mantengan en los márgenes marcados. La presión del neumático será de 50 psi lo que es igual a 3,45 bares (presión de inflado en frío). Esta es diferente a la presión utilizada para establecer el ajuste de potencia de carga en carretera del dinamómetro ya que al rodar aumentan su temperatura y se dilata el aire, aumentando así la presión.

Se deben emplear los lubricantes normales recomendados por el fabricante.

Antes de la prueba con dinamómetro, los vehículos deberán haber acumulado un mínimo de 100 millas (160,93 km), aunque se recomiendan 300 millas (482 km).

La carga completa debe establecerse utilizando el valor recomendado por el fabricante. Procedimiento de carga y equipo de acuerdo con ETA-TP008, la cual explica a los fabricantes que deben proporcionar un cargador que pueda recargar completamente las baterías principales de propulsión en menos de 12 horas.

Los siguientes datos se recopilarán durante la realización de las diversas pruebas especificado por este procedimiento. El error general al registrar o indicar instrumentos no excederá del  $\pm 2\%$  del valor máximo de la variable. La calibración periódica debe realizarse y documentarse para garantizar el cumplimiento de este requisito. [42] [43]

Datos para medir en comparación al tiempo:

-Voltaje de la batería.

-Carga de la batería.

-Velocidad del vehículo.

-Distancia recorrida.

-Temperatura de la batería.

-Potencia de la batería.

Se debe monitorizar el rango de temperatura durante el test, se registrará:

-Descripción del programa de carga de dinamómetro.

-Fecha.

-Hora de inicio y finalización.

-Lecturas iniciales y finales del odómetro del vehículo.

Cualquier desviación de prueba y la razón de la desviación quedarán registrados de acuerdo con ETA-AC002, "Control de la realización de pruebas".

El dispositivo de medición de velocidad-tiempo y otros equipos necesarios deben estar instalados de forma que no entorpezcan el funcionamiento del vehículo ni alteren el funcionamiento características del vehículo.

Se registrará una descripción del dinamómetro, que incluya:

-Diámetro del tambor o rollo y número de puntos de contacto del neumático.

-Puntos de ajuste de potencia de carga en carretera.

-Peso de inercia del dinamómetro.

Los accesorios del vehículo no se usarán durante la prueba.

Toda la documentación requerida para completar la prueba debe ser completada, aprobado y emitido antes de comenzar las pruebas a las que se refiere.

Una copia de la documentación de prueba y metodologías/instrucciones utilizadas para las pruebas se incluirán en el programa final de documentación de pruebas. Esto es de acuerdo con ETA-AC002, "Control de Conducta de Prueba".

Verificar que los procedimientos ETA-AC006, "Verificación del Vehículo", y ETATP011, "Inspección de recibos", se han completado o se están completando.

Partes del procedimiento ETA-TP009, "Medición y Evaluación de Campos Magnéticos Generados por Vehículos Eléctricos", se completará en conjunto con este procedimiento. [42]

-Simulación en carretera: El objetivo de esta sección es determinar la autonomía de un vehículo eléctrico cuando se somete a los programas de prueba identificados en SAE J1634. Las instrucciones reales del dinamómetro son desarrolladas por la entidad. Como tal, este procedimiento se puede utilizar en cualquier instalación que utilice un Clayton IM-240 Dinamómetro eléctrico.

Este procedimiento seguirá la carga en carretera combinada de los dos sub-ciclos de la prueba, la UDS y la HWFET. Las temperaturas de la sala de prueba deben controlarse de acuerdo con las instrucciones de las instalaciones existentes.

Los pasos que seguir en la prueba serán los siguientes:

Realizar el calentamiento del dinamómetro; para ello hay que verificar que el peso de inercias es el apropiado para el vehículo que va a realizar la prueba, revisar que el área de rodillos e informar a los otros operarios que el dinamómetro está a punto de comenzar, verificar que los rodillos estén libres de personal, escombros, cables; Establecer un tiempo de ejecución de al menos 15 minutos y encender el motor del dinamómetro. Supervise los niveles de vibración en busca de anomalías.

Realizar una calibración de velocidad de la unidad de dinamómetro.

Realizar una calibración del DAS (Sistema de Adquisición de Datos)

Realizar la prueba de simulación de carga en carretera de la siguiente manera:

-Verifique que la temperatura ambiente requerida en la cámara de prueba ha permanecido durante al menos 12 horas a esa temperatura.

-Verificar que la instrumentación DAS esté conectada.

-Verifique que el vehículo de prueba tenga neumáticos desgastados instaladas con inflado en frío presiones de los neumáticos de 50 psi (3,45 bares)  $\pm$  0,5 psi (0,03 bar).

-Encender los ventiladores de enfriamiento.

-Hacer un calentamiento inicial de los neumáticos durante al menos 15 minutos para luego apuntar a que temperatura están (esta parte se hace con el cargador del coche conectado).

-Desconectar el vehículo del cargador.

-Avisar al operario que va a realizar la prueba que va a comenzar.

-Habrá un operario que se encargue de que se cumplen todas las normas según SAE J1634.

-El operario conductor seguirá las instrucciones que le marca el ordenador a bordo con el software Clayton.

-Se comenzará por el ciclo HWFET, entre la primera y segunda sección de este ciclo el vehículo permanecerá encendido y los frenos activados.

-Si el vehículo finaliza los dos ciclos (HWFET y UDS), se seguirán las siguientes acciones: Apagar los ventiladores, quitar la llave del contacto, esperar 10 minutos y tomar la temperatura de los neumáticos.

-Reiniciar la prueba de carga en carretera con dinamómetro (dos UDS seguidos de dos HWFET).

-Dar por terminada la prueba en el momento que el vehículo marque una batería de 0%, la cual, habrá sido determinada por el proveedor antes de realizar la prueba.

-Al finalizar la prueba se registrará: Hora del día, tiempo de la prueba, lectura del cuentakilómetros, distancia del dinamómetro, distancia total y temperaturas finales de los neumáticos.

-Retire el vehículo del dinamómetro.

-Cálculos: El consumo de energía de corriente alterna se puede calcular para los dos ciclos combinados, la ecuación va a ser la misma, pero solo se debe utilizar la energía extraída durante la prueba que se está evaluando. [42]

El cálculo del consumo de energía en Wh/mi que entrega la batería hasta el punto de finalización será el siguiente:

$$\text{Consumo de energía DC del vehículo} = \frac{\text{Energía DC cargada después del ciclo}}{\text{Distancia recorrida}}$$

### 2.2.3. CICLO CHINO

#### 2.2.3.1. CICLO CLTC

El ciclo de homologación CLTC (China Light-Duty Vehicle Test Cycle) es el nuevo parámetro de homologación de consumos y autonomías de vehículos turismos que se utiliza en China. Se hizo con el objetivo de mejorar el antiguo ciclo y tener cifras más realistas, pero la verdad es que el modelo sigue siendo demasiado optimista.

Existen dos tipos de ciclos estandarizados CLTC, el primero para vehículos con pasajeros y el segundo para vehículos comerciales, siendo estos de la misma duración, pero con diferentes aceleraciones y tiempos de parada. Para estas pruebas tendremos en cuenta el ciclo para vehículos con pasajeros. [35]

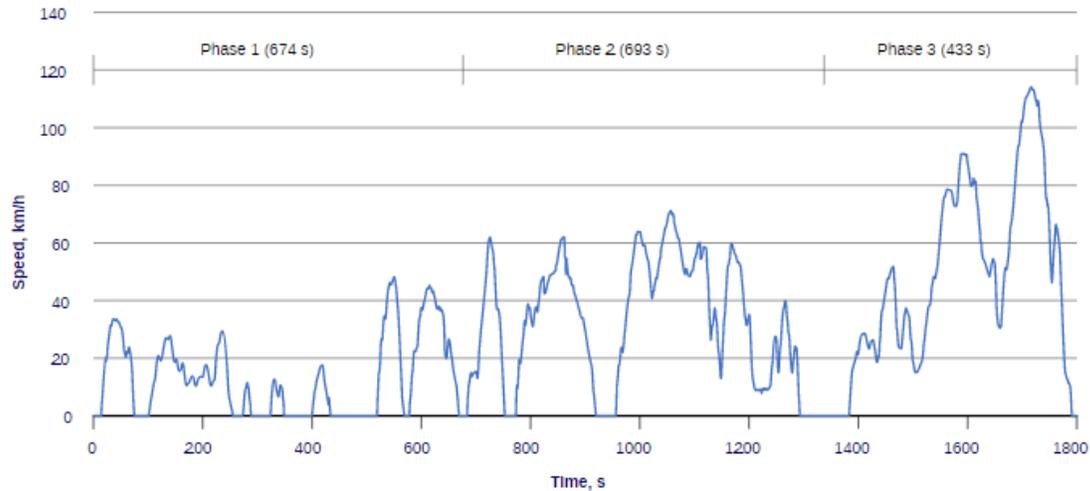
## -Prueba CLTC

Incluye tres fases de prueba (conducción lenta, media y rápida)

<b>CICLO COMPLETO CLTC</b>	
<b>TIEMPO</b>	1800 s
<b>DISTANCIA</b>	14.500 m
<b>VELOCIDAD MEDIA</b>	28,96 km/h
<b>VELOCIDAD MÁXIMA</b>	114 km/h
<b>ACELERACIÓN MÁXIMA</b>	1,47 m/s <sup>2</sup>

Tabla 5: Datos ciclo CLTC

CLTC puede considerarse el equivalente WLTP de los fabricantes de automóviles chinos, aunque también existen algunas diferencias significativas entre WLTP y CLTC. Una de las cuales es la duración del ralentí del automóvil mientras se prueba el consumo; es dos veces más largo en las pruebas CLTC que en el NEDC y WLTP. El ciclo de pruebas CLTC también incluye más paradas que el ciclo WLTP (razón por la cual las autonomías salen más altas), y el límite de velocidad de las pruebas CLTC (114 km/h) es inferior tanto al NEDC (120 km/h) como al WLTP (131 km/h). [44]



*Ilustración 24: Gráfica Velocidad contra Tiempo del ciclo CLTC*

Sin embargo, las autoridades chinas defienden que este ciclo es real teniendo en cuenta las carreteras chinas, las condiciones del tráfico y los hábitos de los conductores chinos.

En general, las cifras del rango CLTC tienden a ser entre un 15 y un 25 por ciento más altas que las del WLTP. Actualmente, la mayoría de los fabricantes chinos de vehículos eléctricos ya comenzaron a usar CLTC para mostrar datos que se acerquen más a la realidad.

El CLTC está en su etapa inicial para convertirse en el único estándar de estimación de rango en China, el mercado de vehículos eléctricos más grande del mundo. Eso significa que las cifras de rango EV exageradas seguirán estando presentes durante mucho tiempo en el mercado sabiendo que no son las más fiables. A pesar de esto, es el único estándar de rango que prioriza los hábitos de conducción chinos y las condiciones de las carreteras de China. Por lo tanto, CLTC es en realidad una prueba de rango muy precisa, pero solo en China. [45] [46]

### 3. OBJETIVOS DEL TRABAJO

### 3. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El problema que se nos plantea es la discrepancia entre las autonomías y consumos dados por los diferentes tipos de ciclo de homologación que tienen que cumplir todos los vehículos que circulan por todas las vías del mundo.

Para el mismo modelo de vehículo se observa que la autonomía es diferente dependiendo del ciclo que se haya utilizado para su homologación.

El objetivo de este trabajo es comparar las autonomías de los diferentes ciclos de homologación más importantes del mundo (NEDC, WLTP y EPA) para unas mismas marcas y modelos con la autonomía real de dichos vehículos, para saber qué ciclo de homologación nos proporciona un valor de autonomía más cercano a la realidad.

En este proceso hallaremos los coeficientes comparativos de cada uno de los ciclos de homologación, marca y modelo de vehículo eléctrico, con el objetivo de tener un intervalo aproximado de los valores de autonomía y consumo reales sin importar de que ciclo de homologación se hayan aportado estos datos.

El ciclo CLTC no se va a incluir en el estudio debido a que es un ciclo nuevo y no se han realizado suficientes pruebas como para tenerlo en cuenta.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. EQUIPOS UTILIZADOS

A continuación, se exponen los diferentes vehículos eléctricos empleados en este trabajo de investigación. [47] [48] [49] [50] [51] [52] [53]

#### 4.1.1. AUDI

e-tron 55 (86,5 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	370 / 22,5
	NEDC	NR / 22,0
	WLTP	437 / 22,8
	EPA	357 / 24,2



e-tron 50 Sportback (64,7 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	318 / 20,1
	NEDC	NR / 18,0
	WLTP	346 / 21,6
	EPA	351 / 27,3



e-tron GT (85 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	490 / 17,3
	NEDC	NR / 18,8
	WLTP	487 / 20,3
	EPA	383 / 25,5



<b>Q4 e-tron 40 (77 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	487 / 154
	NEDC	NR / 161
	WLTP	512 / 176
	EPA	427 / 220



#### 4.1.2. BMW

<b>iX 3 (74 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	442 / 16,8
	NEDC	520 / 17,5
	WLTP	461 / 19,4
	EPA	404 / 24,2



<b>iX xDrive40 (71 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	415 / 17,0
	NEDC	NR / NR
	WLTP	425 / 19,4
	EPA	434 / 24,2



### i4 M50 (80,7 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	518 / 15,5
	NEDC	668 / 15,7
	WLTP	580 / 18,1
	EPA	568 / 21,7



### I4 eDrive40 (80,7 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	599 / 13,4
	NEDC	NR / NR
	WLTP	589 / 16,1
	EPA	484 / 19,3



### I7 xDrive60 (101,7 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	631 / 16,0
	NEDC	715 / NR
	WLTP	624 / 18,4
	EPA	512 / 25,5



### 4.1.3. BYD

Tang (86,4 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	386 / 21,6
	NEDC	505 / 18,9
	WLTP	404 / 23,8
	EPA	NR / NR



Atto 3 (60,5 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	445 / 13,4
	NEDC	480 / 14,3
	WLTP	420 / 15,6
	EPA	NR / NR



### 4.1.4. CITROEN

e-C4 (46 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	299/ 13,7
	NEDC	460 / 16,2
	WLTP	360 / 16,1
	EPA	-



<b>e-Spacetourer (75 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	295 / 21,1
	NEDC	NR / NR
	WLTP	317 / 26,7
	EPA	NR / NR



#### 4.1.5. FORD

<b>Mustang Mach-E LR RWD (88 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	535 / 16,0
	NEDC	NR / NR
	WLTP	600 / 17,3
	EPA	483 / 21,1



<b>Mustang Mach-E GT (70 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	432 / 19,8
	NEDC	492 / NR
	WLTP	490 / 21,2
	EPA	435 / 2,55



#### 4.1.6. HONDA

<b>Honda-e (30 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	189 / 15,1
	NEDC	NR / NR
	WLTP	222 / 17,8
	EPA	220 / 15,1



#### 4.1.7. HONGQI

<b>E-HS9 (76,5 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	402 / 21,8
	NEDC	510 / 16,5
	WLTP	396 / 21,3
	EPA	355 / NR



#### 4.1.8. HYUNDAI

<b>Kona (64 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	510 / 12,7
	NEDC	660 / 13,1
	WLTP	484 / 14,7
	EPA	415 / 17,5



#### 4.1.9. JAGUAR

<b>I-Pace (84,7 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	427 / 19,2
	NEDC	NR / 15,6
	WLTP	470 / 22,0
	EPA	377 / 24,2



#### 4.1.10. KIA

<b>Ioniq 5 (77,4 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	461 / 15,3
	NEDC	NR / NR
	WLTP	454 / 17,9
	EPA	428 / 18,6



<b>e-Niro (64,8 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	500 / 13,1
	NEDC	NR / NR
	WLTP	460 / 16,2
	EPA	385 / 18,1



<b>e-Soul (64 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	430 / 15,3
	NEDC	648 / 12,0
	WLTP	452 / 15,7
	EPA	385 / 18,0



#### 4.1.11. MERCEDES

<b>EQC (80 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	420 / 19,2
	NEDC	450 / 19,7
	WLTP	432 / 21,7
	EPA	354 / 20,8



<b>EQE 43 AMG (90,6 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	487 / 18,4
	NEDC	590 / NR
	WLTP	505 / 20,5
	EPA	483 / 23,0



<b>EQS 450+ (107,8 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	711 / 15,0
	NEDC	770 / 16,2
	WLTP	734 / 17,0
	EPA	563 / 21,7



4.1.12. MG

<b>ZS EV (44,5 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	266 / 16,0
	NEDC	403 / 12,7
	WLTP	320 / 17,9
	EPA	263 / 17,4



4.1.13. MINI

<b>Cooper SE (32,6 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	236 / 12,8
	NEDC	270 / 14,9
	WLTP	233 / 17,2
	EPA	184 / 19,0



#### 4.1.14. NISSAN

Leaf (56 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	370 / 15,1
	NEDC	541 / 15,2
	WLTP	396 / 17,8
	EPA	364 / 19,3



#### 4.1.15. OPEL

Ampera-e (57 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	395 / 14,4
	NEDC	520 / 11,2
	WLTP	380 / 14,3
	EPA	380 / 17,3



Mokka-e (50,8 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	290 / 14,8
	NEDC	NR / NR
	WLTP	408 / 17,4
	EPA	NR / NR



Corsa-e (46 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	292 / 1,40
	NEDC	NR / NR
	WLTP	361 / 16,5
	EPA	329 / NR



#### 4.1.16. ORA

Ora Cat 500 Ultra (49,9 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	420 / 1,40
	NEDC	500 / 1,20
	WLTP	400 / 1,46
	EPA	340 / NR



Ora Cat 500 GT (49,9 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	384 / 1,48
	NEDC	500 / 1,63
	WLTP	400 / 1,50
	EPA	340 / NR



#### 4.1.17. PEUGEOT

e-208 GT (51 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	292 / 1,54
	NEDC	450 / 1,11
	WLTP	352 / 1,47
	EPA	NR / NR



e-2008 GT (51 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	300 / 1,50
	NEDC	430 / 1,18
	WLTP	337 / 1,54
	EPA	290 / 1,71



#### 4.1.18. POLESTAR

Polestar 2 (75 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	435 / 1,67
	NEDC	565 / 1,88
	WLTP	518 / 1,98
	EPA	375 / 1,93



#### 4.1.19. PORSCHE

<b>Taycan 4S (93,4 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	579 / 15,00
	NEDC	NR / 19,8
	WLTP	611 / 20,4
	EPA	362 / 24,8



<b>Taycan Cross Turismo 4 (79,2 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	445 / 1,90
	NEDC	NR / 21,2
	WLTP	490 / 21,4
	EPA	370 / 26,1



#### 4.1.20. SKODA

<b>Enyaq Coupé RS (77 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	477 / 15,3
	NEDC	NR / NR
	WLTP	553 / 16,4
	EPA	499 / NR



#### 4.1.21. TESLA

<b>Model S P100DL (98,4 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	515 / 17,8
	NEDC	613 / 15,5
	WLTP	600 / 18,7
	EPA	555 / 18,1



<b>Model X Long Range Raven (109 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	520 / 17,7
	NEDC	580 / 16,8
	WLTP	580 / 19,1
	EPA	579 / 20,5



<b>Model 3 SR+ 2019 (72,5 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	402 / 12,2
	NEDC	460 / 13,7
	WLTP	409 / 14,9
	EPA	423 / 15,5



### Model 3 Performance (72,5 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	521 / 14,1
	NEDC	530 / 13,2
	WLTP	602 / 16,5
	EPA	507 / 18,5



### Model S Long Range Raven (103,9 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	566 / 16,4
	NEDC	NR / NR
	WLTP	610 / 17,5
	EPA	568 / 17,5



### Model S P85 7 seater (77,5 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	441 / 17,0
	NEDC	502 / 16,8
	WLTP	450 / 18,1
	EPA	426 / 20,7



**Model 3 SR+ 2021 (72,5 kWh)**

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	398 / 12,8
	NEDC	579 / 13,3
	WLTP	491 / 14,4
	EPA	423 / 14,9



**Tesla Model S P85 (MF) (77,5 kWh)**

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	412 / 16,0
	NEDC	502 / 16,8
	WLTP	450 / 18,1
	EPA	407 / 21,7



**Tesla Model Y LR (72,5 kWh)**

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	473 / 14,8
	NEDC	635 / 14,9
	WLTP	533 / 16,9
	EPA	488 / 17,1



### Tesla Model Y Performance (72,5 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	510 / 14,6
	NEDC	640 / 13,2
	WLTP	514 / 17,3
	EPA	488 / 18,9



### Tesla Model 3 Performance (72,5 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	520 / 14,7
	NEDC	605 / 13,2
	WLTP	547 / 16,5
	EPA	507 / 18,6



### Tesla Model Y RWD (60kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	440 / 12,9
	NEDC	460 / 13,0
	WLTP	455 / 15,7
	EPA	402 / 16,1



#### 4.1.22. VOLKSWAGEN

ID3 (58 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	413 / 13,5
	NEDC	NR / 13,9
	WLTP	420 / 15,6
	EPA	NR / NR



ID3 1st Max (45 kWh)		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	393 / 14,2
	NEDC	NR / NR
	WLTP	426 / 15,3
	EPA	NR / NR



Modelo	ID4 1st (77 kWh)	
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	449 / 16,7
	NEDC	522 / 15,7
	WLTP	526 / 16,7
	EPA	418 / 21,7



### ID4 GTX (77 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	456 / 16,0
	NEDC	NR / 16,3
	WLTP	499 / 17,6
	EPA	418 / 21,1



### ID5 GTX (77 kWh)

AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	477 / 15,4
	NEDC	523 / 14,6
	WLTP	512 / 17,1
	EPA	451 / 19,0



#### 4.1.23. VOLVO

<b>XC 40 (79 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	405 / 18,5
	NEDC	NR / 15,7
	WLTP	425 / 17,8
	EPA	335 / 24,6



<b>XC 40 (67 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	360 / 18,5
	NEDC	NR / NR
	WLTP	463 / 18,6
	EPA	335 / 24,0



#### 4.1.24. XPENG

<b>P7 Performance (80,9 kWh)</b>		
AUTONOMÍA (km) / CONSUMO (kWh/100km)	REALIDAD	492 / 15,0
	NEDC	552 / 12,5
	WLTP	530 / 19,2
	EPA	486 / 17,6



## 4.2. ENSAYOS

Los valores del presente trabajo se han obtenido a partir de las pruebas realizadas por Björn Nyland en las que se han recogido diferentes datos como son la autonomía y el consumo. [54] [55]

Se hicieron dos tipos de prueba para cada vehículo, la primera a una velocidad constante de 90 km/h y la segunda a velocidad constante de 120 km/h. Las pruebas fueron realizadas en carretera, con unas características del automóvil similares a las que se especifican en los diferentes ciclos de homologación (presión de neumáticos, elementos del coche que afecten a la aerodinámica, temperatura...).

Las autonomías y consumos de todos los vehículos estudiados se han obtenido a partir de los datos proporcionados por los fabricantes y corresponden a los resultados de los ensayos de homologación. Las autonomías y consumos NEDC han sido las más complicadas de obtener, debido a que es un ciclo antiguo y muchos de los vehículos de las pruebas son actuales.

## 4.3. METODOLOGÍA EMPLEADA

Se ha tomado como valor más aproximado para la autonomía y consumo real en ciclo combinado (ciudad y carretera) el resultado obtenido en la prueba de Björn de velocidad constante a 90 km/h. Haciendo un filtrado entre las pruebas que se realizaron con unas temperaturas entre 15 y 30 °C, tal y como se realizan en las diferentes pruebas de homologación.

El siguiente paso fue dividir la autonomía y el consumo de la prueba de Björn (denominada como Real) entre todas las autonomías y consumos de las diferentes pruebas de homologación, obteniendo así los coeficientes de autonomía y consumo de cada homologación:

-Coeficientes autonomía y consumo WLTP:

$$Coef_{Aut. WLTP} = \frac{Autonomia_{REAL}}{Autonomia_{WLTP}} \quad Coef_{Con. WLTP} = \frac{Consumo_{REAL}}{Consumo_{WLTP}}$$

-Coeficientes autonomía y consumo EPA:

$$Coef_{Aut. EPA} = \frac{Autonomia_{REAL}}{Autonomia_{EPA}} \quad Coef_{Con. EPA} = \frac{Consumo_{REAL}}{Consumo_{EPA}}$$

-Coeficientes autonomía y consumo NEDC:

$$Coef_{Aut. NEDC} = \frac{Autonomia_{REAL}}{Autonomia_{NEDC}} \quad Coef_{Con. WLTP} = \frac{Consumo_{REAL}}{Consumo_{NEDC}}$$

Esta operación se realizó tanto para cada modelo como para cada marca y ciclo de homologación, para así comparar todos estos factores con el objetivo de ver cuál se asemeja más a la realidad.



## 5. RESULTADOS



## 5. RESULTADOS

### 5.1. COMPARATIVA DIFERENTES CICLOS DE HOMOLOGACIÓN

A continuación, se van a comparar todos los ciclos en una misma gráfica para así poder hacernos una idea de cómo debería de ser el orden de los coeficientes.

Antes de hacer el análisis debemos tener en cuenta que estamos buscando cuál es el consumo eléctrico de cada ciclo, cabe diferenciar que el consumo de un vehículo eléctrico no es igual al consumo de un coche de combustión interna.

Los consumos de un vehículo de combustión se ven aumentados debido a grandes aceleraciones y a un motor muy subido de revoluciones, en cambio, la gran mayoría al estar dotados de cajas de cambios manuales, una mayor velocidad no significa un motor más revolucionado.

El comportamiento del motor de un vehículo eléctrico es totalmente diferente. La primera gran diferencia es que los vehículos eléctricos no disponen de cajas de cambios, por lo tanto, las revoluciones a las que vaya el motor eléctrico son las que se van a transmitir directamente a las ruedas.

Como se explicó anteriormente, el mayor gasto de un vehículo eléctrico será cuando este circule a una gran velocidad durante un largo periodo de tiempo

Sabiendo estas premisas ya podemos tener una idea de cómo analizar la siguiente Gráfica.

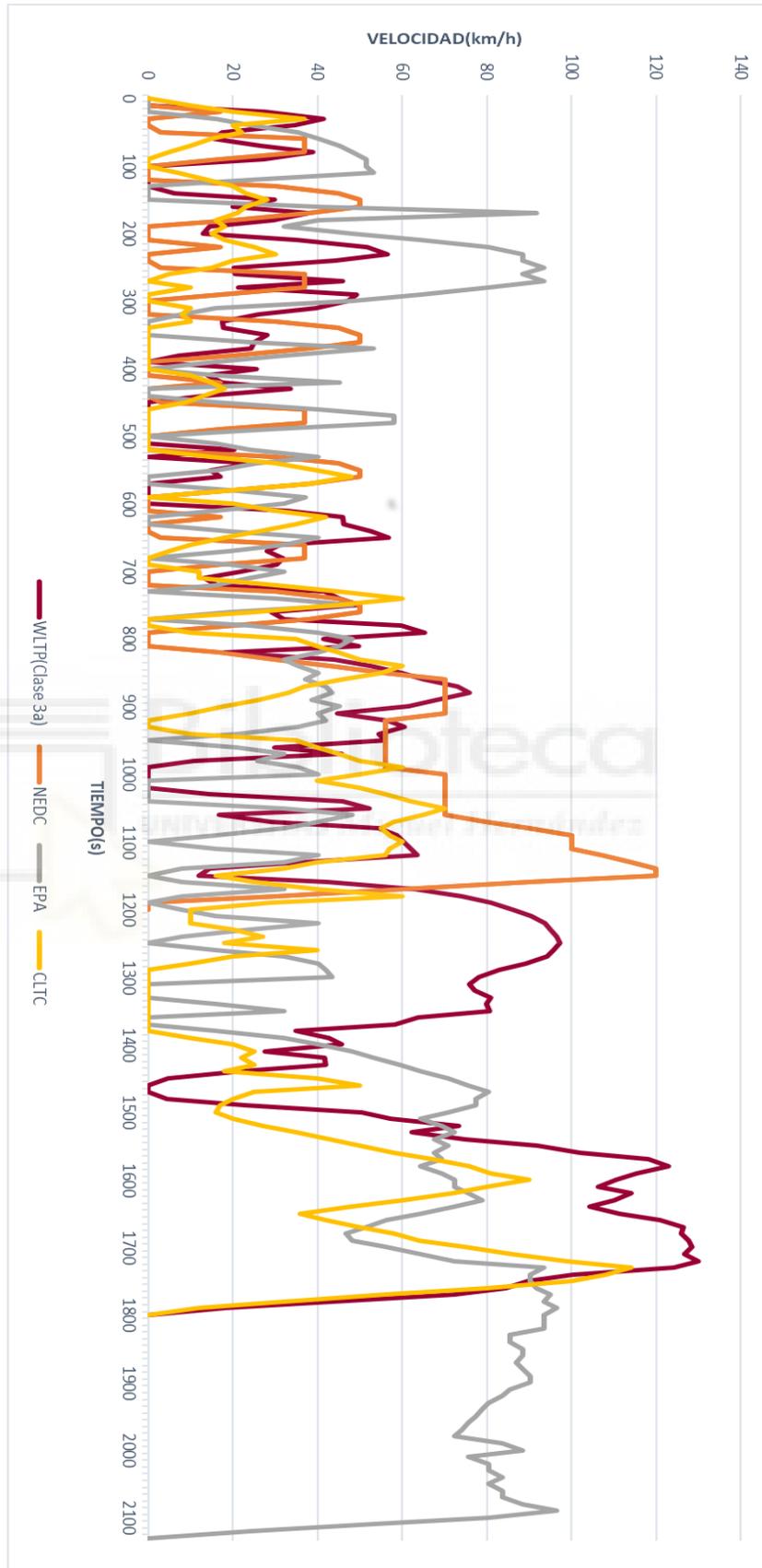


Ilustración 25: Gráfica Velocidad contra Tiempo de todos los ciclos superpuestos.

El comienzo de todas las pruebas es muy similar, con unas pendientes de aceleraciones y desaceleraciones muy constantes, destaca el hecho de que el ciclo EPA tiene dos aceleraciones muy bruscas las cuales llegan a velocidades altas (93 km/h) y se mantiene constante en el tiempo durante alrededor de un minuto, para ser el comienzo de la prueba del ciclo urbano es una velocidad bastante elevada.

Hasta el segundo 1.050 de la prueba los ciclos se mantienen en un mismo rango constante, llegados a este punto se inicia la segunda y última fase del ciclo NEDC y la fase High del ciclo WLTP. En el segundo 1.200 finaliza el ciclo NEDC, ciclo en el que apenas se mantiene la velocidad de casi 120 km/h durante unos pocos segundos.

Entre los segundos 1.400 y 1.500 comienzan las pruebas de alta velocidad de los tres ciclos restantes. Viendo que las velocidades máximas de orden ascendente a descendente son, las del ciclo WLTP seguido del CLTC y por último el EPA. Los ciclos WLTP y CLTC finalizan en el segundo 1.800 y el EPA en el 2.100.

Según lo explicado antes de analizar el Gráfico, el ciclo con aceleraciones más bruscas y una velocidad elevada constante durante más tiempo, por lo tanto, mayor consumo eléctrico, es el ciclo americano EPA, no quedándose muy atrás el ciclo europeo WLTP con una mayor velocidad máxima, pero durante un periodo de tiempo más corto.

Los siguientes son el ciclo europeo NEDC y el ciclo chino CLTC. El primero tiene un ciclo urbano con unas velocidades mayores, no obstante, en la parte del ciclo de alta velocidad los ambos son muy parecidos.

Por lo tanto, podemos decir que una primera aproximación del orden de mayor a menor consumo de los ciclos es: EPA, WLTP, CLTC y NEDC.

## 5.2. COEFICIENTES DE COMPARACIÓN

### 5.2.1. GENERAL

La primera comparación que se realizó fue la del coeficiente global de cada ciclo de homologación. Estos coeficientes se han calculado a partir de la media de autonomía y consumo de todos los modelos de vehículo de cada ciclo dividido entre la media de autonomía y consumo de la prueba de Björn, datos en "7. Anexos" dando los siguientes resultados:

<b>COEFICIENTES</b>			
<b>CICLOS HOMOLOGACIÓN</b>	<b>EPA</b>	<b>WLTP</b>	<b>NEDC</b>
<b>AUTONOMÍA</b>	1,04	0,93	0,80
<b>CONSUMO</b>	0,80	0,90	1,05

*Tabla 6: Coeficientes globales Autonomía y Consumo*

Estos coeficientes pueden ser utilizados para obtener un resultado aproximado de la autonomía y el consumo real que puede realizar un vehículo dependiendo del ciclo al que se haya sometido.

Para calcular ese número solo habría que multiplicar el dato que nos proporciona el fabricante del vehículo por el coeficiente del ciclo correspondiente. Así ya tendríamos nuestro dato aproximado de autonomía y consumo.

Observando la tabla vemos que el coeficiente que más se acerca a la realidad es el coeficiente americano EPA, siendo incluso un ciclo con mayor consumo que el que se ha tomado como realidad con un resultado de 1,04 para la autonomía y de 0,80 para el consumo. Seguido del europeo WLTP con 0,93 en la autonomía y 0,90 en el consumo. El ciclo antiguo europeo NEDC obtiene unos resultados de 0,80 en la autonomía y 1,05 en el consumo.

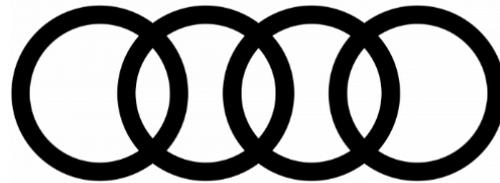
### 5.2.2. FABRICANTES

En el siguiente apartado se van a exponer los coeficientes separados por marca y ciclo de homologación.

Se han tomado un total de 24 marcas diferentes entre los continentes Europa, América y Asia.

Los resultados de los coeficientes son los siguientes:

AUDI			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	NR	0,93	1,10
CONSUMO	1,00	0,91	0,76



BMW			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,84	0,97	1,08
CONSUMO	0,97	0,87	0,68



BYD			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,84	1,01	NR
CONSUMO	1,04	0,88	NR



CITROËN			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,66	0,81	0,86
CONSUMO	0,85	0,82	NR



FORD			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,88	0,89	1,05
CONSUMO	1,26	0,90	0,86



HONDA			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	NR	0,85	0,86
CONSUMO	NR	0,85	1,00



HONGQI			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	1,13	1,02	0,79
CONSUMO	1,32	1,02	NR



HYUNDAI			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,77	1,04	1,15
CONSUMO	0,97	0,86	0,73



<b>JAGUAR</b>			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	NR	0,91	1,13
CONSUMO	1,23	0,87	0,79



<b>KIA</b>			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,66	1,02	1,21
CONSUMO	1,28	0,89	0,79



<b>MERCEDES</b>			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,89	0,97	1,16
CONSUMO	0,95	0,89	0,79



Mercedes-Benz

<b>MG</b>			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,66	0,83	1,01
CONSUMO	1,26	0,90	0,86



MINI			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,87	1,01	1,28
CONSUMO	0,86	0,74	0,67



NISSAN			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,68	0,93	1,02
CONSUMO	0,99	0,85	0,78



OPEL			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,76	0,85	0,97
CONSUMO	0,83	0,90	0,83



ORA			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,80	1,01	1,18
CONSUMO	1,04	0,97	NR



PEUGEOT			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,67	0,86	1,03
CONSUMO	1,33	1,01	0,88



POLESTAR			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,77	0,82	1,16
CONSUMO	0,89	0,84	0,87



PORSCHE			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	NR	1,02	1,37
CONSUMO	0,83	0,81	0,67



SKODA			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	NR	0,86	0,96
CONSUMO	NR	0,93	NR



TESLA			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,84	0,92	1,00
CONSUMO	1,03	0,89	0,83



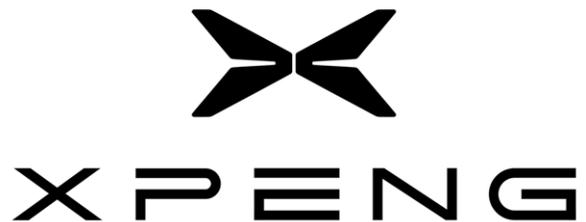
VOLKSWAGEN			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,83	0,92	1,07
CONSUMO	1,00	0,91	0,78



VOLVO			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	NR	0,86	1,11
CONSUMO	0,99	0,99	0,74



XPENG			
CICLO	NEDC	WLTP	EPA
AUTONOMÍA	0,89	0,93	1,01
CONSUMO	1,20	0,78	0,85



La razón por la que en algunas tablas no se muestran los coeficientes de los ciclos es debido a que no se ha realizado la prueba de homologación a ese vehículo, ya sea porque no se comercializa en ese continente o porque el vehículo es actual y el ciclo no.

Para poder tener una visión más global de todos los coeficientes de autonomía de los ciclos de homologación, se muestran los Gráficos de barras siguientes con los coeficientes de cada marca y su comparativo entre las otras:



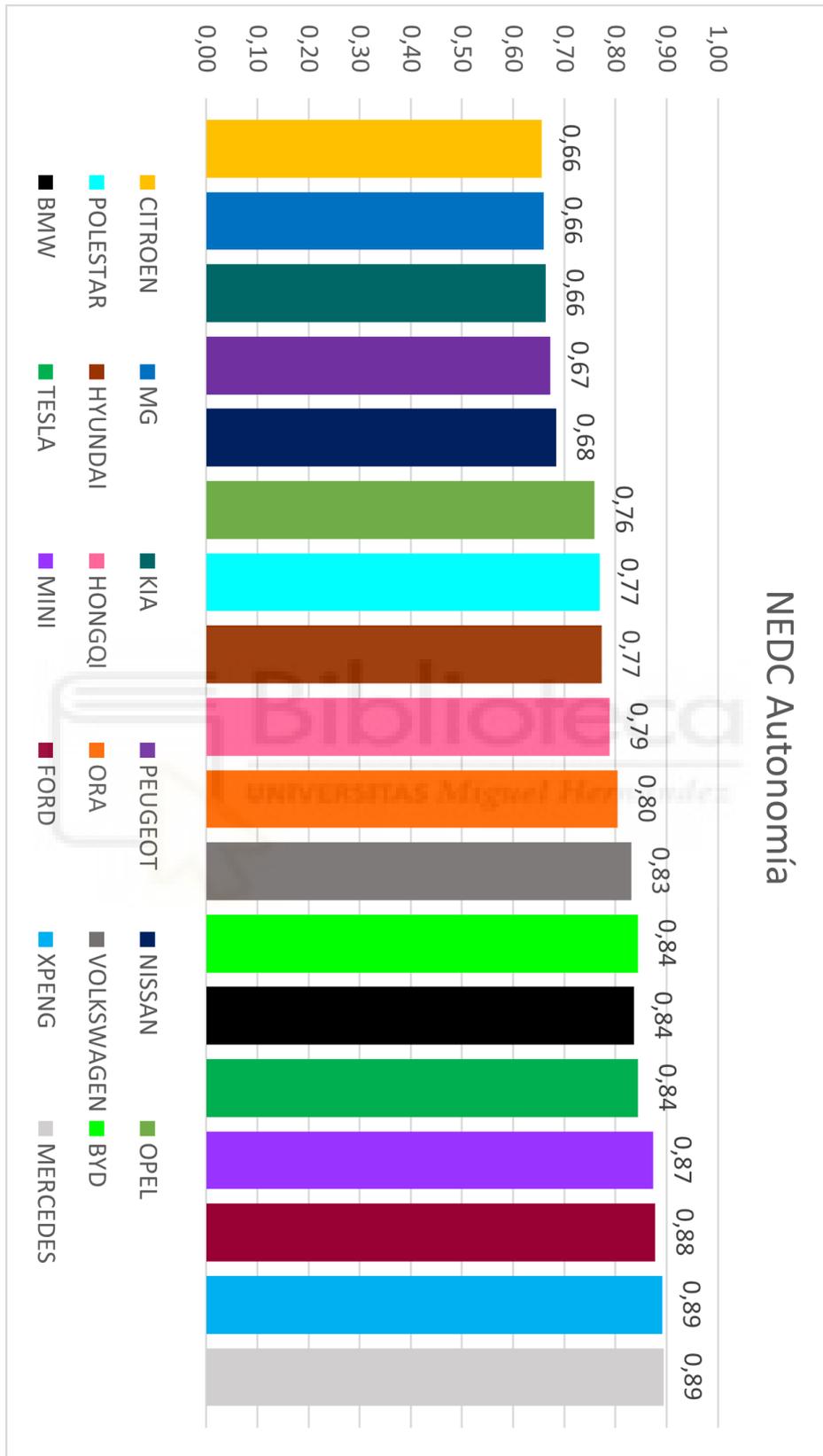


Ilustración 26: Comparativo coeficientes autonomía ciclo NEDC

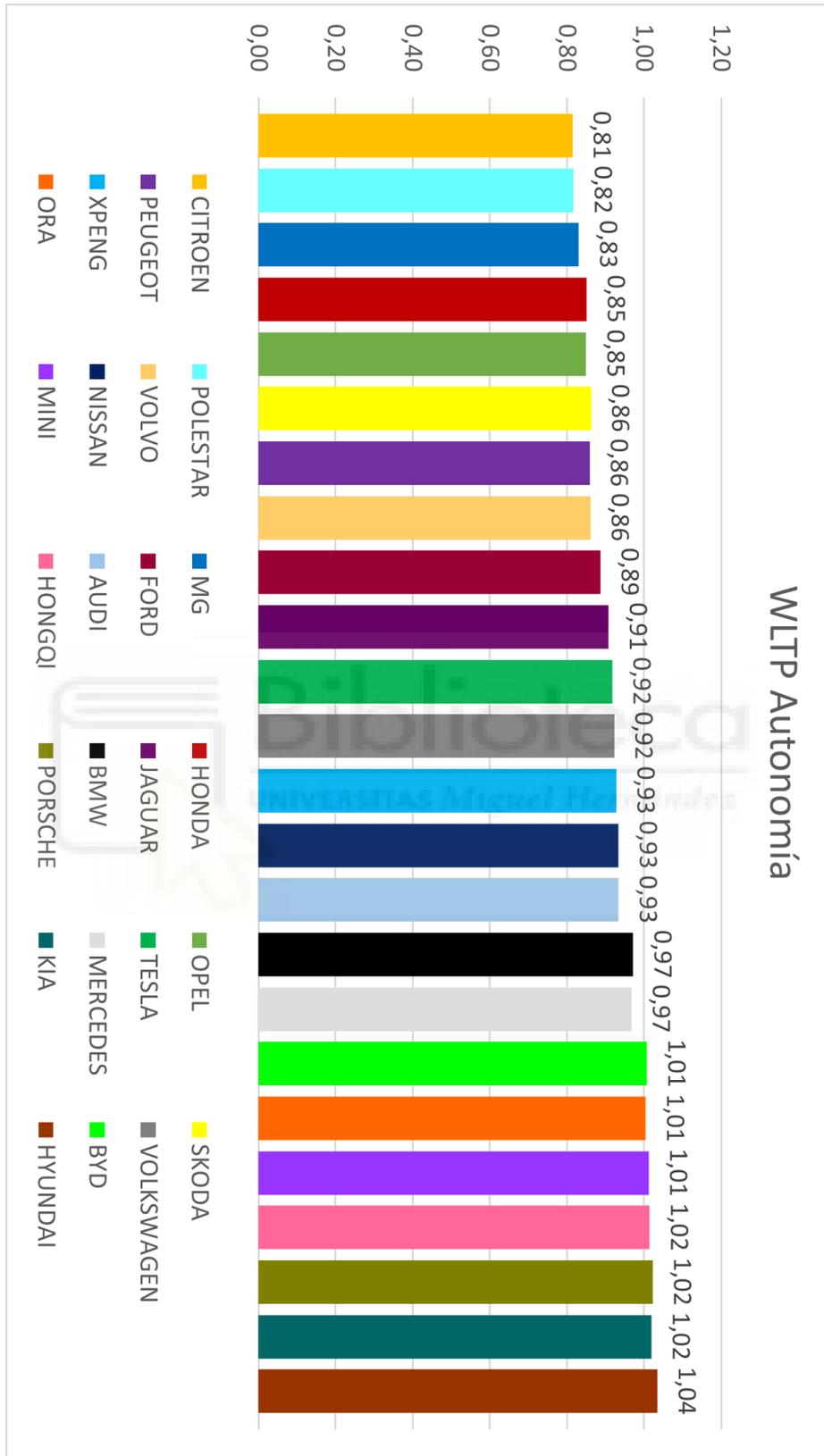


Ilustración 27: Comparativo coeficientes autonomía ciclo WLTP



Ilustración 28: Comparativo coeficientes autonomía ciclo EPA

Analizando en orden los gráficos de barras expuestos, se observa que los coeficientes del ciclo NEDC son muy bajos. Esto quiere decir que las autonomías homologadas por este ciclo están sobredimensionadas y homologan una autonomía mucho mayor a la que podrá hacer el vehículo en la realidad.

Estas altas autonomías son debidas a que las pruebas de este ciclo se realizan con una menor velocidad y con aceleraciones más progresivas que la de los otros ciclos con las que se está realizando el comparativo.

Los coeficientes de las autonomías homologadas por el ciclo WLTP son más cercanos a 1 y por lo tanto se asemejan más a la prueba realizada por Björn. Comparándolos con los coeficientes del ciclo NEDC estos son mayores que las del antiguo ciclo europeo.

En la *Ilustración 27*, se observa que el ciclo WLTP llega a alcanzar una velocidad más alta durante un periodo de tiempo más alargado, es ahí donde el consumo del vehículo aumenta y por lo tanto la autonomía disminuye.

Por último, los coeficientes del ciclo de homologación americano EPA son los más elevados, queriendo decir, que este ciclo se asemeja e incluso es más restrictiva que la prueba realizada por Björn.

En este ciclo se sostienen velocidades más altas durante un periodo de tiempo mucho más largo que los otros ciclos de homologación. Haciendo así que la autonomía se vea mermada.

En conclusión, podemos afirmar que entre los tres ciclos de homologación que se han incluido en el comparativo, el ciclo de homologación americano EPA será es que más se asemeje a la realidad, teniendo siempre en cuenta que la autonomía y consumos dependen de otros factores como pueden ser el tipo de conducción a la que se vea sometido el vehículo, el uso del climatizador o la calefacción y apéndices que sobresalgan del vehículo y afecten a la aerodinámica, los cuales no los incorporaba cuando se hizo la prueba de homologación, como pueden ser alerones o la propia baca del vehículo.

Compilando la información de los consumos se ha realizado también comparativo con Gráficas de barras al igual que en las autonomías.



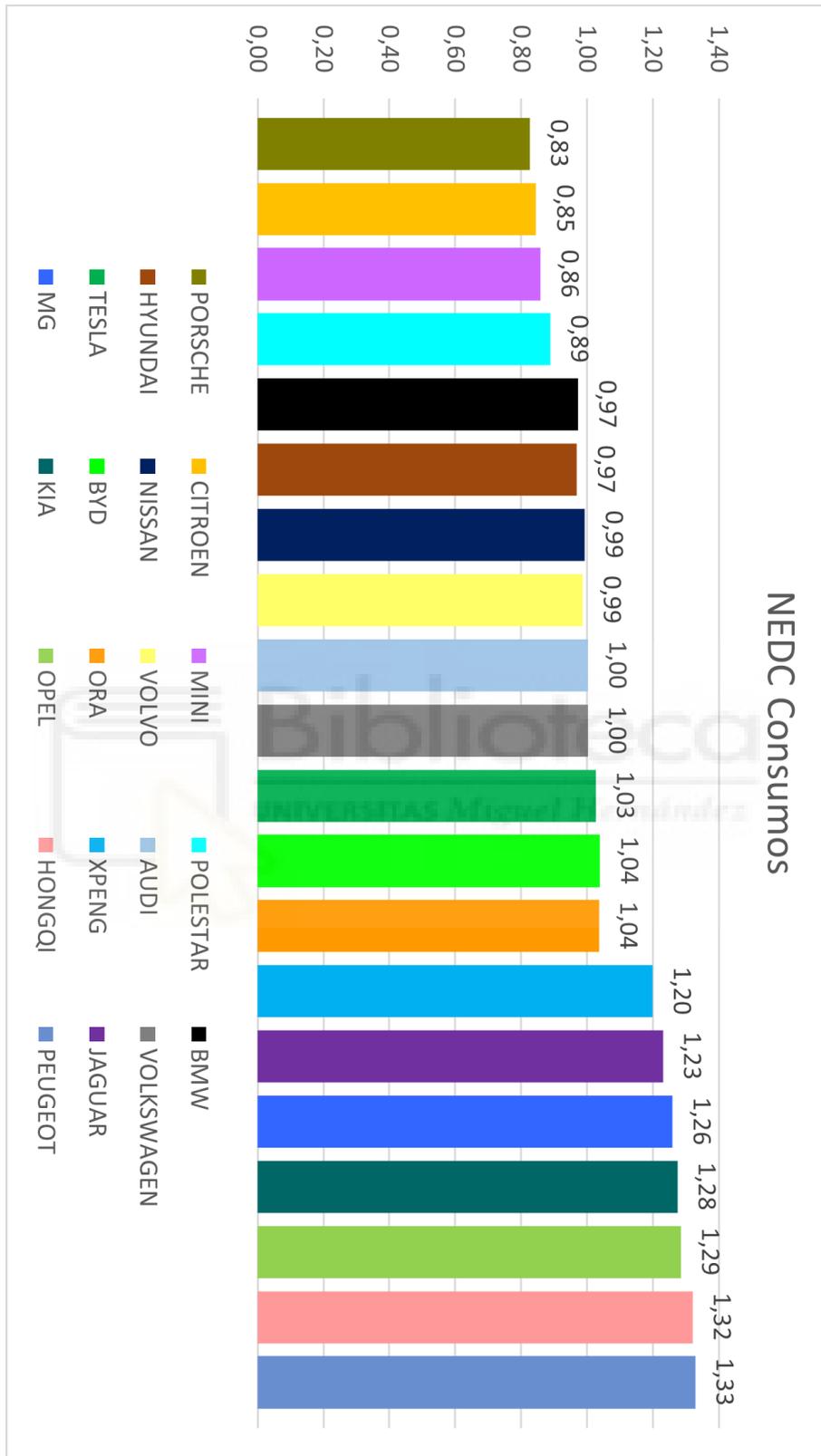


Ilustración 29: Comparativo coeficientes consumo ciclo NEDC

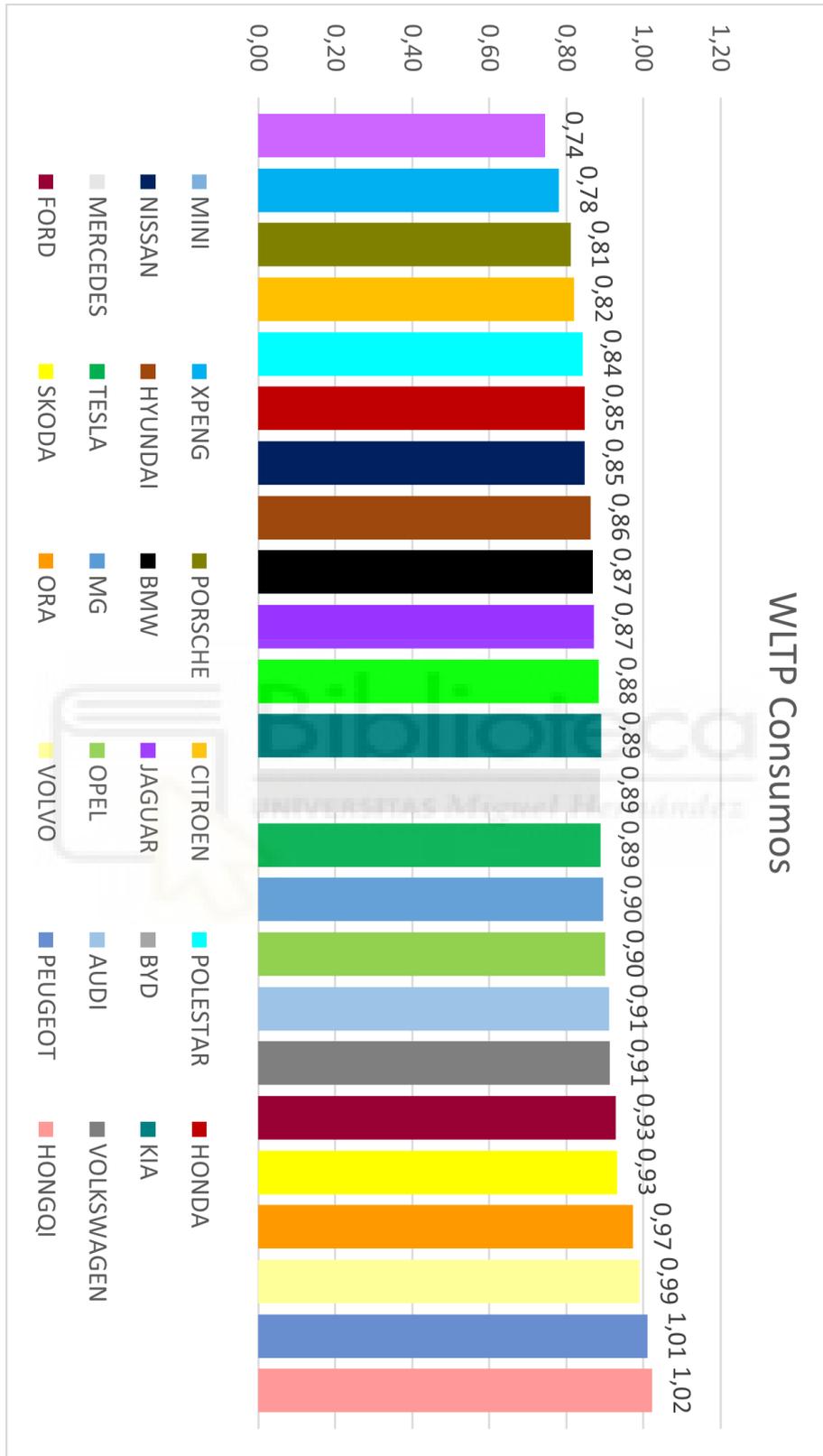


Ilustración 30: Comparativo coeficientes consumo ciclo WLTP

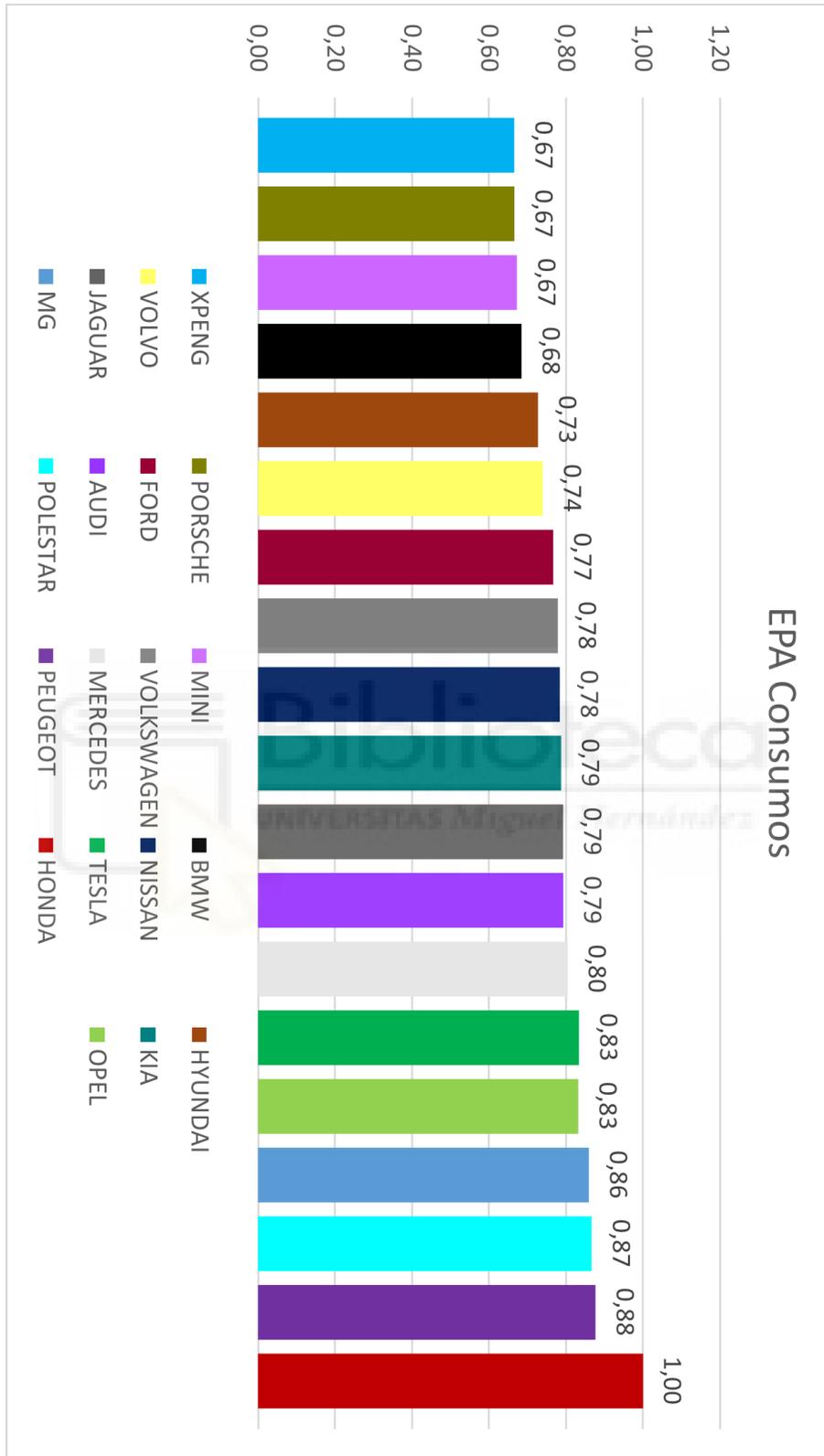


Ilustración 31: Comparativo coeficientes consumo ciclo EPA

El Gráfico de consumos del ciclo de homologación NEDC muestra cómo de dispares son los coeficientes, hay mucha diferencia entre unos y otros. Además, dicho ciclo obtiene consumos mucho menores que los que se pueden obtener en la realidad. Por tanto, el antiguo ciclo de homologación europeo no se puede tomar como referencia para el cálculo de consumos reales.

El nuevo ciclo europeo de homologación WLTP obtiene unos coeficientes de consumos con poca diferencia entre ellos. Es un ciclo de homologación que obtiene consumos algo inferiores a la realidad, pero, sin embargo, todos estos consumos siguen una misma tendencia.

En los Gráficos de barras de los consumos observamos que el ciclo americano EPA es el más restrictivo, obteniendo consumos un poco elevados comparados con los de la prueba de Björn. Esta situación coincide con la que tenemos con en los coeficientes de autonomía de este mismo ciclo de homologación. Con lo cual, se reafirma la conclusión del ciclo de homologación americano EPA como el más cercano al consumo real que realizará el vehículo en un uso mixto ciudad/carretera.



### 5.2.3. MODELOS

Resultados de los coeficientes estudiados diferenciados por modelos:

- Coeficientes autonomía NEDC:

MODELO	Coef. NEDC	MODELO	Coef. NEDC
Peugeot e-208 GT	0,65	Mercedes EQE 43 AMG	0,83
Citroen e-C4	0,65	Ora Good Cat 500 Ultra	0,84
MG ZS EV 44.5 kWh	0,66	Tesla Model S P100DL	0,84
DS 3 e-tense	0,66	2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	0,85
Kia e-Soul 64 kWh	0,66	BMW iX3	0,85
Nissan Leaf 62 kWh	0,68	Tesla Model 3 Performance	0,86
2021 Tesla Model 3 SR+	0,69	VW ID4 1st 82 kWh	0,86
Peugeot e-2008 GT	0,70	2019 Tesla Model 3 SR+	0,87
VW ID3 55 kWh	0,70	Mini Cooper SE	0,87
Tesla Model Y LR	0,74	Ford Mustang Mach-E GT	0,88
Opel Ampera-e	0,76	Model S P85 7 seater	0,88
BYD Tang	0,76	BMW i7 xDrive60	0,88
Ora Good Cat GT	0,77	Xpeng P7 Performance	0,89
Polestar 2	0,77	Model X Long Range Raven	0,90
Hyundai Kona 64 kWh	0,77	VW ID5 GTX 82 kWh	0,91
BMW i4 M50	0,78	Mercedes EQS 450+	0,92
Hongqi E-HS9	0,79	BYD Atto 3 60 kWh	0,93
Tesla Model Y Performance	0,80	Tesla Model Y RWD	0,96
Tesla Model S P85 (MF)	0,82	Model 3 Performance mudflaps	0,98

Tabla 7: Coeficientes autonomía NEDC por modelos

- Coeficientes consumo NEDC:

MODELO	Coef. NEDC	MODELO	Coef. NEDC
Porsche Taycan 4S 93 kWh	0,76	Model S P85 7 seater	1,01
Citroen e-C4	0,85	Audi e-tron 55	1,02
Mini Cooper SE	0,86	2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	1,03
Polestar 2	0,89	Model X Long Range Raven	1,05
2019 Tesla Model 3 SR+	0,89	VW ID5 GTX 82 kWh	1,05
Porsche Taycan Cross Turismo 4	0,90	VW ID4 1st 82 kWh	1,06
Ora Good Cat GT	0,91	Model 3 Performance w/mudflaps	1,07
Audi e-tron GT	0,92	Tesla Model Y Performance	1,11
Mercedes EQS 450+	0,93	Tesla Model 3 Performance	1,11
BYD Atto 3 60 kWh	0,94	Audi e-tron 50 Sportback	1,12
VW ID3 55 kWh	0,94	BYD Tang	1,14
Tesla Model S P85 (MF)	0,95	Tesla Model S P100DL	1,15
Audi Q4 e-tron 40	0,96	Ora Good Cat 500 Ultra	1,17
BMW iX3	0,96	DS 3 e-tense	1,20
2021 Tesla Model 3 SR+	0,96	Xpeng P7 Performance	1,20
Hyundai Kona 64 kWh	0,97	Jaguar I-Pace 90 kWh	1,23
VW ID3 1st 62 kWh	0,97	Fiat 500e	1,25

MODELO	Coef. NEDC	MODELO	Coef. NEDC
Mercedes EQC	0,97	MG ZS EV 44.5 kWh	1,26
VW ID4 GTX 82 kWh	0,98	Peugeot e-2008 GT	1,27
BMW i4 M50	0,99	Kia e-Soul 64 kWh	1,28
Volvo XC40 78 kWh AWD	0,99	Opel Ampera-e	1,29
Tesla Model Y RWD	0,99	Hongqi E-HS9	1,32
Tesla Model Y LR	0,99	Peugeot e-208 GT	1,39
Nissan Leaf 62 kWh	0,99		

Tabla 8: Coeficientes consumo NEDC por modelos

## - Coeficientes autonomía WLTP:

MODELO	Coef. WLTP	MODELO	Coef. WLTP
DS 3 e-tense	0,71	Nissan Leaf 62 kWh	0,93
Opel Mokka-e	0,71	2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	0,94
Volvo XC40 69 kWh FWD	0,78	Tesla Model 3 Performance	0,95
Opel Corsa-e	0,81	Audi Q4 e-tron 40	0,95
2021 Tesla Model 3 SR+	0,81	Kia e-Soul 64 kWh	0,95
Fiat 500e	0,82	Volvo XC40 78 kWh AWD	0,95
Polestar 2	0,82	BYD Tang	0,96
Peugeot e-208 GT	0,83	VW ID3 55 kWh	0,96
Citroen e-C4	0,83	BMW iX3	0,96
MG ZS EV 44.5 kWh	0,83	Ora Good Cat GT	0,96
Audi e-tron 55	0,85	Mercedes EQE 43 AMG	0,96
Honda e	0,85	Tesla Model Y RWD	0,97
VW ID4 1st 82 kWh	0,85	Mercedes EQS 450+	0,97
Tesla Model S P100DL	0,86	Mercedes EQC	0,97
Skoda Enyaq Coupé RS	0,86	BMW iX xDrive40	0,98
Model 3 Performance w/mudflaps	0,87	Model S P85 7 seater	0,98
Ford Mustang Mach-E GT	0,88	2019 Tesla Model 3 SR+	0,98
Tesla Model Y LR	0,89	VW ID3 1st 62 kWh	0,98
Peugeot e-2008 GT	0,89	Tesla Model Y Performance	0,99
Ford Mustang Mach-E LR RWD	0,89	Audi e-tron GT	1,01
BMW i4 M50	0,89	BMW i7 xDrive60	1,01
Model X Long Range Raven	0,90	Mini Cooper SE	1,01
Porsche Taycan Cross Turismo 4	0,91	Hongqi E-HS9	1,02
Jaguar I-Pace 90 kWh	0,91	Ioniq 5 AWD	1,02
VW ID4 GTX 82 kWh	0,91	BMW i4 eDrive40	1,02
Tesla Model S P85 (MF)	0,92	Opel Ampera-e	1,04
Audi e-tron 50 Sportback	0,92	Ora Good Cat 500 Ultra	1,05
VW ID3 1st Max 62 kWh	0,92	Hyundai Kona 64 kWh	1,05
Model S Long Range Raven	0,93	BYD Atto 3 60 kWh	1,06
Xpeng P7 Performance	0,93	Kia e-Niro 64 kWh	1,09
Citroen e-Spacetourer	0,93	Porsche Taycan 4S 93 kWh	1,13
VW ID5 GTX 82 kWh	0,93		

Tabla 9: Coeficientes autonomía WLTP por modelos

## - Coeficientes consumo WLTP:

MODELO	Coef. WLTP
Porsche Taycan 4S 93 kWh	0,74
Mini Cooper SE	0,74
Xpeng P7 Performance	0,78
Citroen e-Spacetourer	0,79
Kia e-Niro 64 kWh	0,81
2019 Tesla Model 3 SR+	0,82
Tesla Model Y RWD	0,82
BMW i4 eDrive40	0,83
Polestar 2	0,84
Tesla Model Y Performance	0,84
Nissan Leaf 62 kWh	0,85
Honda e	0,85
Opel Corsa-e	0,85
Opel Mokka-e	0,85
Citroen e-C4	0,85
Audi e-tron GT	0,85
Model 3 Performance w/mudflaps	0,85
Ioniq 5 AWD	0,85
BMW i4 M50	0,86
BYD Atto 3 60 kWh	0,86
Hyundai Kona 64 kWh	0,86
VW ID3 1st 62 kWh	0,87
BMW i7 xDrive60	0,87
Jaguar I-Pace 90 kWh	0,87
Audi Q4 e-tron 40	0,88
Tesla Model Y LR	0,88
BMW iX xDrive40	0,88
VW ID3 55 kWh	0,88
Mercedes EQS 450+	0,88
Tesla Model S P85 (MF)	0,88
Mercedes EQC	0,88
Porsche Taycan Cross Turismo 4	0,89

MODELO	Coef. WLTP
2021 Tesla Model 3 SR+	0,89
Tesla Model 3 Performance	0,89
MG ZS EV 44.5 kWh	0,89
Mercedes EQE 43 AMG	0,90
VW ID5 GTX 82 kWh	0,90
BYD Tang	0,91
BMW iX3	0,91
VW ID4 GTX 82 kWh	0,91
Ford Mustang Mach-E LR RWD	0,92
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	0,93
Model X Long Range Raven	0,93
VW ID3 1st Max 62 kWh	0,93
Audi e-tron 50 Sportback	0,93
Skoda Enyaq Coupé RS	0,93
Ford Mustang Mach-E GT	0,93
Model S Long Range Raven	0,94
Model S P85 7 seater	0,94
Volvo XC40 69 kWh FWD	0,94
Tesla Model S P100DL	0,95
Ora Good Cat 500 Ultra	0,96
Peugeot e-2008 GT	0,97
Kia e-Soul 64 kWh	0,97
Ora Good Cat GT	0,99
Audi e-tron 55	0,99
VW ID4 1st 82 kWh	1,00
Opel Ampera-e	1,01
DS 3 e-tense	1,01
Fiat 500e	1,02
Hongqi E-HS9	1,02
Volvo XC40 78 kWh AWD	1,04
Peugeot e-208 GT	1,05

Tabla 10: Coeficientes consumo WLTP por modelos

## - Coeficientes autonomía EPA:

MODELO	Coef. EPA
Honda e	0,86
DS 3 e-tense	0,86
Opel Corsa-e	0,89
Model X Long Range Raven	0,90
Audi e-tron 50 Sportback	0,91
BMW i4 M50	0,91
Tesla Model S P100DL	0,93
2021 Tesla Model 3 SR+	0,94
2019 Tesla Model 3 SR+	0,95
Skoda Enyaq Coupé RS	0,96
BMW iX xDrive40	0,96
Tesla Model Y LR	0,97
Ford Mustang Mach-E GT	0,99
Model S Long Range Raven	1,00
Mercedes EQE 43 AMG	1,01
MG ZS EV 44.5 kWh	1,01
Tesla Model S P85 (MF)	1,01
Xpeng P7 Performance	1,01
Volvo XC40 69 kWh FWD	1,01
Nissan Leaf 62 kWh	1,02
Tesla Model 3 Performance	1,03
Model 3 Performance w/mudflaps	1,03
Peugeot e-2008 GT	1,03
Model S P85 7 seater	1,04
Audi e-tron 55	1,04
Opel Ampera-e	1,04
Tesla Model Y Performance	1,05

MODELO	Coef. EPA
VW ID5 GTX 82 kWh	1,06
VW ID4 1st 82 kWh	1,07
Ioniq 5 AWD	1,08
VW ID4 GTX 82 kWh	1,09
BMW iX3	1,09
Tesla Model Y RWD	1,09
Ford Mustang Mach-E LR RWD	1,11
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	1,11
Kia e-Soul 64 kWh	1,12
Ora Good Cat GT	1,13
Hongqi E-HS9	1,13
Jaguar I-Pace 90 kWh	1,13
Audi Q4 e-tron 40	1,14
Polestar 2	1,16
Mercedes EQC	1,19
Porsche Taycan Cross Turismo 4	1,20
Volvo XC40 78 kWh AWD	1,21
Hyundai Kona 64 kWh	1,23
BMW i7 xDrive60	1,23
Ora GoodCat 500 Ultra	1,24
BMW i4 eDrive40	1,24
Mercedes EQS 450+	1,26
Audi e-tron GT	1,28
Mini Cooper SE	1,28
Kia e-Niro 64 kWh	1,30
Porsche Taycan 4S 93 kWh	1,53

Tabla 11: Coeficientes Autonomía EPA por modelos

## - Coeficientes consumo EPA:

MODELO	Coef. EPA
Porsche Taycan 4S 93 kWh	0,60
BMW i7 xDrive60	0,63
Mini Cooper SE	0,67
Audi e-tron GT	0,68
Mercedes EQS 450+	0,69
BMW i4 eDrive40	0,70
Audi Q4 e-tron 40	0,70
BMW iX xDrive40	0,70
BMW i4 M50	0,71
Kia e-Niro 64 kWh	0,72
Hyundai Kona 64 kWh	0,73
Volvo XC40 69 kWh FWD	0,73
Porsche Taycan Cross Turismo 4	0,73
Audi e-tron 50 Sportback	0,74
Tesla Model S P85 (MF)	0,74
Volvo XC40 78 kWh AWD	0,75
VW ID4 GTX 82 kWh	0,76

MODELO	Coef. EPA
2019 Tesla Model 3 SR	0,79
Tesla Model 3 Performance	0,79
Jaguar I-Pace 90 kWh	0,79
Tesla Model Y RWD	0,80
Mercedes EQE 43 AMG	0,80
VW ID5 GTX 82 kWh	0,81
Model S P85 7 seater	0,82
Ioniq 5 AWD	0,82
Opel Ampera-e	0,83
Kia e-Soul 64 kWh	0,85
Xpeng P7 Performance	0,85
2021 Tesla Model 3 SR	0,86
Tesla Model Y LR	0,86
Model X Long Range Raven	0,86
Polestar 2	0,87
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	0,87
Peugeot e-2008 GT	0,88

MODELO	Coef. EPA	MODELO	Coef. EPA
Ford Mustang Mach-E LR RWD	0,76	MG ZS EV 44.5 kWh	0,92
Model 3 Performance w/mudflaps	0,76	Mercedes EQC	0,92
VW ID4 1st 82 kWh	0,77	Audi e-tron 55	0,93
Tesla Model Y Performance	0,77	DS 3 e-tense	0,93
Ford Mustang Mach-E GT	0,78	Model S Long Range Raven	0,94
Fiat 500e	0,78	Tesla Model S P100DL	0,98
Nissan Leaf 62 kWh	0,78	Honda e	1,00

Tabla 12: Coeficientes consumo EPA por modelos

### 5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

El análisis estadístico de los resultados se ha realizado tanto para los coeficientes de autonomía como para los coeficientes de consumo separados por marcas y ciclo de homologación.

Así se comprobará cuáles son los ciclos de homologación que tienen menos dispersión, lo que significa que los valores obtenidos de ese ciclo son los más fiables.

Para realizar este análisis estadístico se ha tenido en cuenta la mediana de los coeficientes de todas las marcas y la incertidumbre de los datos mediante la herramienta de Excel INTERVALO.CONFIANZA.T con un porcentaje de error del 5%. Así tendremos un intervalo para los valores de los coeficientes teniendo en cuenta su margen de error.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO AUTONOMÍA			
CICLOS HOMOLOGACIÓN	EPA	WLTP	NEDC
MEDIANA	1,08	0,93	0,80
INCERTIDUMBRE	0,052	0,031	0,042

Tabla 13: Análisis estadístico global de la Autonomía

ANÁLISIS ESTADÍSTICO CONSUMO			
CICLOS HOMOLOGACIÓN	EPA	WLTP	NEDC
MEDIANA	0,79	0,89	1,07
INCERTIDUMBRE	0,039	0,029	0,073

Tabla 14: Análisis estadístico global del Consumo

Las incertidumbres más pequeñas se observan en el ciclo de homologación europeo WLTP, mientras que los dos ciclos de homologación restantes, EPA y NEDC, presentan unos coeficientes más dispersos tanto en la autonomía como en el consumo.

Separando los coeficientes por marcas de vehículos y teniendo en cuenta la dispersión de los datos, se indica a continuación cuál sería el rango de los coeficientes:

- Coeficientes Autonomía

<b>CICLOS HOMOLOGACIÓN</b>	<b>EPA</b>	<b>WLTP</b>	<b>NEDC</b>
<b>AUDI</b>	1,045 – 1,149	0,904 – 0,965	-
<b>BMW</b>	1,032 – 1,137	0,942 – 1,003	0,794 – 0,878
<b>BYD</b>	-	0,978 – 1,039	0,801 – 0,886
<b>CITRÖEN</b>	0,809 – 0,913	0,784 – 0,845	0,614 – 0,698
<b>FIAT</b>	-	0,795 – 0,853	-
<b>FORD</b>	1,001 – 1,106	0,856 – 0,918	0,836 – 0,920
<b>HONDA</b>	0,807 – 0,911	0,821 – 0,882	-
<b>HONGQI</b>	1,080 – 1,185	0,984 – 1,046	0,746 – 0,830
<b>HYUNDAI</b>	1,100 – 1,204	1,004 – 1,066	0,731 – 0,815
<b>JAGUAR</b>	1,080 – 1,185	0,878 – 0,939	-
<b>KIA</b>	1,155 – 1,260	0,989 – 1,050	0,621 – 0,706
<b>MERCEDES</b>	1,103 – 1,208	0,938 – 0,999	0,852 – 0,936
<b>MG</b>	0,959 – 1,064	0,801 – 0,862	0,618 – 0,702
<b>MINI</b>	1,230 – 1,335	0,982 – 1,044	0,832 – 0,916
<b>NISSAN</b>	0,964 – 1,069	0,904 – 0,965	0,642 – 0,726
<b>OPEL</b>	0,917 – 1,021	0,820 – 0,881	0,717 – 0,802
<b>ORA</b>	1,130 – 1,235	0,974 – 1,036	0,762 – 0,846
<b>PEUGEOT</b>	0,982 – 1,087	0,829 – 0,890	0,631 – 0,715
<b>POLESTAR</b>	1,108 – 1,212	0,787 – 0,848	0,728 – 0,812
<b>PORSCHE</b>	1,317 – 1,412	0,992 – 1,054	-
<b>SKODA</b>	0,904 – 1,008	0,832 – 0,893	-
<b>TESLA</b>	0,948 – 1,053	0,887 – 0,949	0,802 – 0,887
<b>VOLKSWAGEN</b>	1,021 – 1,126	0,892 – 0,954	0,789 – 0,873
<b>VOLVO</b>	1,056 – 1,161	0,831 – 0,892	-
<b>XPENG</b>	0,960 – 1,065	0,898 – 0,959	0,849 – 0,934

Tabla 15: Análisis estadístico Autonomía

## - Coeficientes Consumo

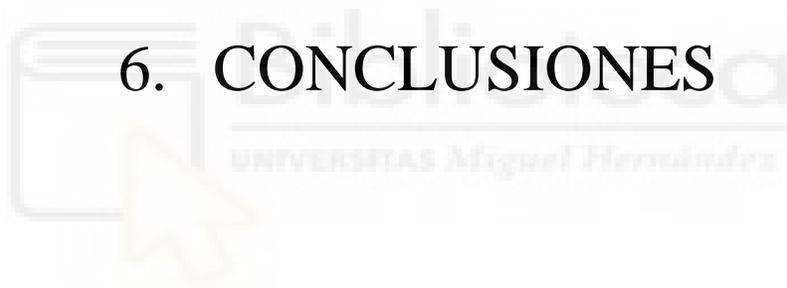
<b>CICLOS HOMOLOGACIÓN</b>	<b>EPA</b>	<b>WLTP</b>	<b>NEDC</b>
<b>AUDI</b>	0,722 – 0,800	0,883 – 0,940	0,931 – 1,077
<b>BMW</b>	0,646 – 0,724	0,840 – 0,897	0,900 – 1,047
<b>BYD</b>	-	0,855 – 0,912	0,967 – 1,113
<b>CITRÖEN</b>	-	0,792 – 0,849	0,772 – 0,919
<b>FIAT</b>	-	0,987 – 1,102	-
<b>FORD</b>	0,728 – 0,806	0,901 – 0,958	-
<b>HONDA</b>	0,961 – 1,039	0,820 – 0,877	-
<b>HONGQI</b>	-	0,995 – 1,052	1,248 – 1,395
<b>HYUNDAI</b>	0,689 – 0,767	0,835 – 0,892	0,896 – 1,043
<b>JAGUAR</b>	0,754 – 0,832	0,844 – 0,901	1,157 – 1,304
<b>KIA</b>	0,748 – 0,826	0,863 – 0,920	1,202 – 1,348
<b>MERCEDES</b>	0,765 – 0,843	0,860 – 0,917	0,877 – 1,024
<b>MG</b>	0,821 – 0,899	0,867 – 0,924	1,187 – 1,333
<b>MINI</b>	0,634 – 0,712	0,716 – 0,773	0,786 – 0,932
<b>NISSAN</b>	0,745 – 0,823	0,820 – 0,877	0,920 – 1,067
<b>OPEL</b>	0,793 – 0,871	0,873 – 0,931	1,212 – 1,359
<b>ORA</b>	-	0,944 – 1,001	0,964 – 1,111
<b>PEUGEOT</b>	0,838 – 0,916	0,982 – 1,039	1,256 – 1,403
<b>POLESTAR</b>	0,828 – 0,906	0,815 – 0,872	0,815 – 0,962
<b>PORSCHE</b>	0,627 – 0,705	0,783 – 0,840	0,754 – 0,900
<b>SKODA</b>	-	0,904 – 0,961	-
<b>TESLA</b>	0,795 – 0,873	0,861 – 0,918	0,954 – 1,100
<b>VOLKSWAGEN</b>	0,740 – 0,818	0,885 – 0,942	0,930 – 1,077
<b>VOLVO</b>	0,701 – 0,779	0,962 – 1,019	0,914 -1,061
<b>XPENG</b>	0,813 – 0,891	0,753 – 0,810	1,127 – 1,273

Tabla 16: Análisis estadístico Consumo

Estos coeficientes son los resultados finales de este trabajo de investigación, estos indican el intervalo del coeficiente teniendo en cuenta una incertidumbre del 5%.

A partir del producto o de la división de ellos se obtendrá la autonomía y el consumo aproximado a la realidad respectivamente dando igual el ciclo de homologación que haya realizado.

## 6. CONCLUSIONES

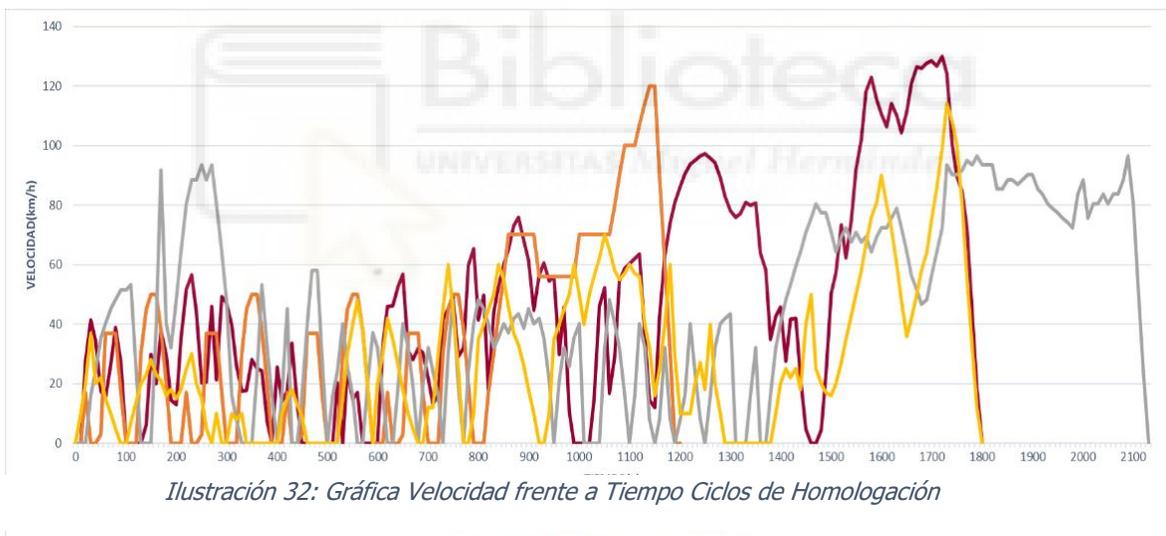


## 6. CONCLUSIONES

Para llegar a conclusiones válidas y con fundamento vamos a analizar las diferentes variables y pasos que se han seguido desde el principio de este trabajo, proponiendo un ejemplo real.

En primer lugar, tenemos que diferenciar que de los cuatro ciclos de homologación de los que se ha hablado, tres han podido analizarse y obtener resultados (ciclo sin resultados CLTC). De estos tres hay que tener en cuenta que dos de ellos se emplean en la actualidad (WLTP y EPA) mientras que el tercero está en desuso (NEDC).

Posteriormente se analizó el gráfico de Velocidad frente a Tiempo de los cuatro ciclos de homologación:



Teniendo clara la premisa de que el consumo de un vehículo eléctrico será mayor cuando este mantenga constante en el tiempo una alta velocidad, dimos con una primera aproximación del ciclo que tendría un mayor consumo y del que menos.

Siendo este orden de mayor a menor consumo: EPA, WLTP, CLTC y NEDC.

Seguidamente, se tomó en cuenta una tabla de datos recopilados por el Björn Nyland en las que rellenaba información sobre el consumo, autonomía y capacidad batería.

sobre pruebas que ha ido realizando a diferentes vehículos eléctricos a una velocidad constante de 90 km/h en carretera, no sobre un banco de pruebas.

En esta tabla hay registradas diferentes variables, como son la velocidad, temperatura ambiente, la estación del año y el tamaño del neumático. Teniendo en cuenta todo ello se hizo un filtrado entre todos los modelos que hicieron la prueba con una temperatura ambiente entre 15 y 30 °C. Con este filtrado se obtuvo los modelos de vehículos eléctricos que van a ser estudiados.

El siguiente paso del trabajo fue buscar y apuntar para cada ciclo de homologación todas las autonomías y consumos de cada vehículo de la tabla de Björn que entraban dentro del filtrado, llegando hasta la cifra de 63 vehículos eléctricos, debido a que el ciclo CLTC apenas tenía vehículos que hubieran realizado la prueba se desestimó a la hora de hacer los cálculos.

Teniendo ya todos los datos lo siguiente que se realizó fue el cálculo de los coeficientes. Primeramente, los coeficientes para cada uno de los modelos, luego el coeficiente de la marca y para acabar el coeficiente global de cada ciclo de homologación.

Estos coeficientes se obtienen de la división entre los datos de autonomía y consumo de la prueba de Björn entre los datos de autonomía y consumo de cada ciclo de homologación. El cálculo y los resultados se pueden ver dentro de *Anexos*.

<b>COEFICIENTES</b>			
<b>CICLOS HOMOLOGACIÓN</b>	<b>EPA</b>	<b>WLTP</b>	<b>NEDC</b>
<b>AUTONOMÍA</b>	1,04	0,93	0,80
<b>CONSUMO</b>	0,80	0,90	1,05

*Tabla 17: Coeficientes Globales de Autonomía y Consumo*

Los coeficientes nos confirman que el orden de ciclo que homologa un mayor consumo es el ciclo americano EPA, seguido de los dos ciclos europeos WLTP y NEDC.

Lo que no nos pueden confirmar estos coeficientes, y esto debe quedar claro, para obtener la autonomía y consumo real de un vehículo eléctrico no basta con aplicar estos coeficientes. Los coeficientes mostrados son un orden de magnitud que nos sirven para poder tener una idea de cual podría ser el consumo y la autonomía real.

Para analizar cómo se comportaba cada marca de vehículo que se utilizó en el estudio, se separó los coeficientes en marca y ciclo de homologación

Como ya se ha dicho en repetidas ocasiones el objetivo de este trabajo es hallar los coeficientes de la autonomía y el consumo real de un vehículo turismo eléctrico sin importar el ciclo de homologación que se haya realizado.

La conclusión del estudio comparativo nos lleva a que el ciclo de homologación que más se asemeja a la realidad es el ciclo de homologación americano EPA

Pongamos un ejemplo para que quede más clara la utilidad de estos coeficientes:

Nos disponemos a comprar un turismo eléctrico, para ello, queremos saber la autonomía y el consumo que nos va a realizar este. El fabricante nos proporciona estos datos y vemos que la autonomía y el consumo se han hallado a partir del ciclo de homologación europeo EPA.

En este caso vamos a poner de ejemplo el vehículo eléctrico más vendido en Europa de 2022, el Tesla Model Y, con un total de 137.052 matriculaciones. [56]

El Tesla Model Y para el ensayo EPA homologa una autonomía de 488 km y un consumo de 171 Wh/km.

Operando estos datos con nuestros coeficientes de la *Tabla 14* y *Tabla 15* para la marca Tesla, obtenemos los siguientes resultados:

- Autonomía EPA:  $488 \times 0,948 = 463 \text{ km}$

$$488 \times 1,053 = 514 \text{ km}$$

- Consumo EPA:  $171 / 0,795 = 215,1 \text{ Wh/km}$

$$171 / 0,873 = 195,9 \text{ Wh/km}$$

Quedándose los siguientes intervalos:

- Autonomía Real Tesla Model Y: **De 463 a 514 km**
- Consumo Real Tesla Model Y: **De 195,9 a 215,1 Wh/km**

Estos mismos cálculos se pueden realizar para todas las marcas estudiadas. Para ver intervalos de autonomía y consumo real, consúltense los Anexos.



## 7. REFERENCIAS



## 7. REFERENCIAS

1. *Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos*. Moreno, Francisco Martín. 2016.
2. Wikipedia. [En línea] 16 de Mayo de 2023. [https://es.wikipedia.org/wiki/New\\_European\\_Driving\\_Cycle](https://es.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle).
3. Hibrielectric. [En línea] 1 de Mayo de 2020. <https://hibrielectric.com/una-breve-historia-y-evolucion-de-los-coches-electricos/>.
4. Wilson, Kevin A. Car and Driver. [En línea] 31 de Marzo de 2023. <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>.
5. *Theoretical analysis of electric vehicle energy consumption*. W Gołębiewski y M Lisowski. Polonia : s.n., 2018.
6. loscoches.com. [En línea] 31 de Enero de 2022. <https://loscoches.com/blog/como-funciona-un-vehiculo-electrico/#:~:text=Un%20veh%C3%ADculo%20el%C3%A9ctrico%20funciona%20impulsado,cuyo%20motor%20funciona%20quemando%20combustible..>
7. Iberdrola.es. [En línea] 5 de Agosto de 2021. <https://www.iberdrola.es/blog/transporte/tipos-cargadores-coches-electricos>.
8. Los Coches. [En línea] 31 de Enero de 2022. <https://loscoches.com/blog/como-funciona-un-vehiculo-electrico/#:~:text=Un%20veh%C3%ADculo%20el%C3%A9ctrico%20funciona%20impulsado,cuyo%20motor%20funciona%20quemando%20combustible..>
9. clicars. [En línea] 8 de abril de 2022. <https://www.clicars.com/blog/comparativa/hibrido-enchufable-no-enchufable/#:~:text=Los%20h%C3%ADbridos%20no%20enchufables%20o,fuerza%20de%20su%20otro%20motor..>
10. Montoro, Javier. carwow. [En línea] 19 de mayo de 2021. [https://www.carwow.es/blog/funcionamiento-coche-hibrido-enchufable?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=71700000080079581&utm\\_group=58700006735963646&utm\\_keyword=&utm\\_term=DYNAMIC+SEARCH+ADS&network=g&utm\\_account=700000001909467&gclid=CjwKCAjwv8q](https://www.carwow.es/blog/funcionamiento-coche-hibrido-enchufable?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=71700000080079581&utm_group=58700006735963646&utm_keyword=&utm_term=DYNAMIC+SEARCH+ADS&network=g&utm_account=700000001909467&gclid=CjwKCAjwv8q).

11. Gimbert, Yoann. Transport & Environment. [En línea] 30 de Mayo de 2022. <https://www.transportenvironment.org/discover/how-clean-are-electric-cars/>.
12. Plaza, David. motor.es. [En línea] <https://www.motor.es/que-es/hidrogeno#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20debe%20almacenarse%20a,sea%20un%20elemento%20altamente%20inflamable..>
13. Tecnores, David. pasatealoelectrico.es. [En línea] 9 de Octubre de 2018. <https://pasatealoelectrico.es/2018/10/09/me-llamo-schuko-conector-de-carga/#:~:text=Admite%20corrientes%20monof%C3%A1sicas%20desde%2016A,3.7%20kW%20hasta%2043.5%20kW..>
14. cocheselectricos10.com. [En línea] 30 de Julio de 2018. <https://cocheselectricos10.com/coches-electricos/como-funcionan-los-coches-electricos/guia-de-cables-para-coche-electrico/guia-de-cables-para-coches-electricos-conector-mennekes/>.
15. lugenergy.com. [En línea] 2023. <https://www.lugenergy.com/mennekes-coche-electrico/>.
16. mesenergia.cat. [En línea] <https://mesenergia.cat/es/tipus-de-connectors-per-la-recarrega-de-vehicles-electrics/>.
17. Vitoria, Luis Miguel. eve2030.es. [En línea] 8 de Diciembre de 2022. <https://www.eve2030.es/analisis-vehiculo-electrico/conectores-de-corriente-alterna-del-schuko-al-mennekes/2020/>.
18. Advisor, Emobility. emobilityadvisor.com. [En línea] 12 de Septiembre de 2018. <https://emobilityadvisor.com/por-que-no-hay-un-estandar-entre-los-cargadores-electricos>.
19. Insider, Mobility. aptiv.com. [En línea] 24 de Enero de 2023. [https://www.aptiv.com/es/tendencias/art%C3%ADculo/que-es-un-cargador-de-a-bordo#:~:text=Un%20cargador%20de%20a%20bordo%20\(OBC\)%20es%20un%20dispositivo%20electr%C3%B3nico,cargar%20la%20bater%C3%ADa%20del%20veh%C3%ADculo..](https://www.aptiv.com/es/tendencias/art%C3%ADculo/que-es-un-cargador-de-a-bordo#:~:text=Un%20cargador%20de%20a%20bordo%20(OBC)%20es%20un%20dispositivo%20electr%C3%B3nico,cargar%20la%20bater%C3%ADa%20del%20veh%C3%ADculo..)
20. wallbox.com. [En línea] 2023. [https://wallbox.com/es\\_es/faqs-corriente-de-carga-ev-cual-es-la-diferencia-entre-ca-y-cc](https://wallbox.com/es_es/faqs-corriente-de-carga-ev-cual-es-la-diferencia-entre-ca-y-cc).
21. rentingfinders.com. [En línea] 2023. <https://rentingfinders.com/glosario/bms/#:~:text=La%20bater%C3%ADa%20de%20litio%20es,de%20las%20pilas%20de%20litio..>

22. batteryuniversity.com. [En línea] <https://batteryuniversity.com/article/bu-105-battery-definitions-and-what-they-mean>.

23. batteryuniversity.com. [En línea] <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>.

24. race.es. [En línea] 2 de Septiembre de 2022. <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos#:~:text=Tipos%20de%20bater%C3%ADas%20de%20coches%20el%C3%A9ctricos&text=La%20primeras%20bater%C3%ADas%20fueron%20las,son%20las%20de%20i%C3%B3n%20litio..>

25. González, Carlos. testcoches.es. [En línea] 23 de Junio de 2022. <https://testcoches.es/conceptos/inversor/>.

26. Plaza, David. motor.es. [En línea] 2 de Junio de 2020. <https://www.motor.es/noticias/motor-coche-electrico-202067941.html>.

27. Awalt, Ashley. digikey.com. [En línea] 8 de Diciembre de 2020. <https://www.digikey.com/es/blog/basics-of-brushed-dc-motors>.

28. Núñez, Javier Villegas. biblus.us.es. [En línea] [https://www.google.es/search?sca\\_esv=562574765&sxsrf=AB5stBjk88vDbLuK2I8CPRzbH4dweVsHnQ:1693849566057&q=motor+de+reluctancia+conmutada+funcionamiento&tbm=vid&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwj99r-twZGBAxVNXaQEHUw3AFcQ0pQJegQICRAB&biw=681&bih=609#fpstate=ive&vl](https://www.google.es/search?sca_esv=562574765&sxsrf=AB5stBjk88vDbLuK2I8CPRzbH4dweVsHnQ:1693849566057&q=motor+de+reluctancia+conmutada+funcionamiento&tbm=vid&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwj99r-twZGBAxVNXaQEHUw3AFcQ0pQJegQICRAB&biw=681&bih=609#fpstate=ive&vl)

29. García, Gerard Moisés. monografias.com. [En línea] <https://www.monografias.com/trabajos100/motores-imanen-permanentes/motores-imanen-permanentes>.

30. industriasgsl.com. [En línea] 4 de Noviembre de 2021. <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/motor-de-induccion>.

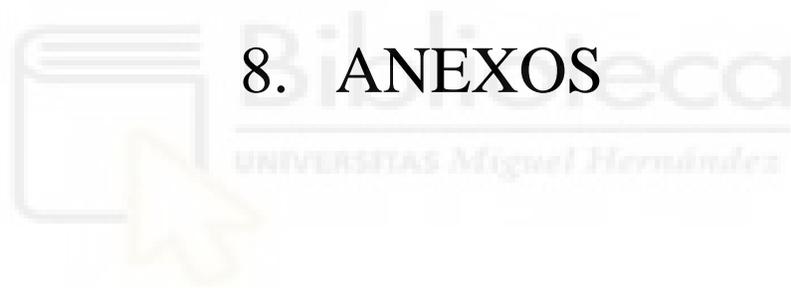
31. Inma. rodesrecambios.es. [En línea] <https://www.rodesrecambios.es/blog/motores/tipos-de-motores/tipos-de-motores-presentes-en-automoviles-electricos/>.

32. Wikipedia. [En línea] 12 de Julio de 2022. [https://en.wikipedia.org/wiki/Driving\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Driving_cycle).

33. Iddo Riemersma and Heinz Steven. *Development of a World-wide Worldwide harmonised Light duty driving Test Procedure (WLTP)*. 2013.

34. Noya, Carlos. Forococheeléctricos. [En línea] 31 de Agosto de 2022. <https://forococheelectricos.com/2022/08/chinos-darse-cuenta-timo-nedc-comienzan-a-protestar-publicamente.html>.
35. Rey, Emilio JF. Emilio J. Fernández Rey. [En línea] 16 de Mayo de 2020. <https://emiliojfrey.com/2020/05/16/los-ciclos-de-medicion-de-autonomias-nedc-wltp-y-epa/>.
36. Xataka. [En línea] 8 de Junio de 2018. <https://www.xataka.com/automovil/cuanta-autonomia-real-tiene-un-coche-electrico>.
37. muchoneumatico.com. [En línea] 31 de Mayo de 2022. <https://www.muchoneumatico.com/blog/coches/ciclo-wltp-que-es/>.
38. Parlamento Europeo. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures. 2017.
39. Testups. Testups.com. [En línea] 23 de Abril de 2022. <https://www.testups.com/reess-rechargeable-energy-storage-system/>.
40. Kane, Mark. INSIDEEVs. [En línea] 27 de Abril de 2020. <https://insideevs.com/news/414786/comparison-epa-wltp-range-ratings/>.
41. García, Gonzalo. Híbridos y Eléctricos. [En línea] 2 de Septiembre de 2020. [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/wltp-epa-diferencia-ciclos-homologacion-autonomia-coches-electricos\\_37575\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/wltp-epa-diferencia-ciclos-homologacion-autonomia-coches-electricos_37575_102.html).
42. EPA. United States Environmental Protection Agency. [En línea] 22 de Febrero de 2023. <https://www.epa.gov/greenvehicles/testing-national-vehicle-and-fuel-emissions-laboratory#:~:text=For%20EV%20range%20testing%3A&text=The%20distance%20driven%20is%20recorded,the%20city%20or%20highway%20cycle..>
43. inl.gov. [En línea] Rogerta Brayer, 1 de mayo de 2004. <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/hev/htp003ra.pdf>.
44. DieselNet. [En línea] Diciembre de 2020. <https://dieselnet.com/standards/cycles/cltc.php>.
45. e-Automotive. 2023. [En línea] Enero, 16. <https://noticias-renting.aldautomotive.es/el-lujoso-electrico-chino-con-mas-de-1-000km-de-autonomia-que-tiene-truco/>.
46. Akgunduz, Bilal. Licarco. [En línea] 27 de Noviembre de 2022. <https://www.licarco.com/news/ev-range-tests-explained-comparison-between-epa-ratings-wltp-nedc-and-cltc>.

47. km77. [En línea] 2023. <https://www.km77.com/listados-tematicos/coches-electricos>.
48. Kane, Mark. InsideEVs. [En línea] 13 de Febrero de 2022. <https://insideevs.com/news/567087/bev-epa-efficiency-comparison-february2022/>.
49. ArenaEV, Del equipo detrás de. ArenaEV. [En línea] 2023. [https://www.arenaev.com/audi\\_e\\_tron\\_sportback\\_2021-4.php#sport-50](https://www.arenaev.com/audi_e_tron_sportback_2021-4.php#sport-50).
50. EnvironmentalProtectionAgency. [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov). [En línea] 2023. <https://fueleconomy.gov/feg/evSelect.jsp>.
51. km77. [En línea] 2023. <https://www.km77.com/listados-tematicos/coches-electricos>.
52. Electric Vehicle Database. [En línea] 2023. <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~350|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-towweight:prev~next=0~2>.
53. Auto-Data.net. [En línea] 2023. <https://www.auto-data.net/en/>.
54. Nyland, Björn. YouTube. [En línea] <https://www.youtube.com/@bjornnyland>.
55. —. InsideEVs. [En línea] 24 de Diciembre de 2022. <https://insideevs.com/tag/bjorn-nyland/>.
56. Baranova, Marina. [neomotor.epe.es](http://neomotor.epe.es). [En línea] 28 de febrero de 2023. <https://neomotor.epe.es/industria/los-coches-electricos-mas-vendidos-en-europa-en-2022-IY1177390>.



## 8. ANEXOS

## 8. ANEXOS

### 8.1. ANEXO 1: DATOS PRUEBA BJÖRN NYLAND

Coche	T (°C)	Autonomía (km)	Consumo (Wh/km)	Capacidad batería (kWh)
Tesla Model S P100DL	15	515	178	92
Kia e-Niro 64 kWh	26	500	131	65
Opel Ampera-e	20	395	144	57
Hyundai Kona 64 kWh	25	510	127	65
Audi e-tron 55	18	370	225	83,1
Nissan Leaf 62 kWh	24	370	151	56
Model X Long Range Raven	15	520	177	92
2019 Tesla Model 3 SR+	24	402	122	49
Model S Long Range Raven	19	566	164	92,8
Model S LR Raven	16	644	144	92,7
Jaguar I-Pace 90 kWh	16	427	192	82
Peugeot e-208 GT	15	292	154	45
DS 3 e-tense	21	285	158	45
MG ZS EV 44.5 kWh	18	266	160	42,5
Honda e	26	189	151	28,6
Audi e-tron 50 Sportback	19	318	201	63,9
Mini Cooper SE	19	236	128	30,3
Xpeng P7 Performance	21	492	150	73,8
Model 3 Performance w/mudflaps	24	521	141	73,5
Porsche Taycan 4S 93 kWh	27	579	150	86,9
Polestar 2	20	435	167	72,8
Model S P85 7 seater	15	441	170	75
Peugeot e-2008 GT	19	300	150	45
Tesla Model S LR Raven	16	610	152	92,7
VW ID3 1st 62 kWh	20	413	135	55,8
VW ID3 1st Max 62 kWh	18	393	142	55,8
VW ID4 1st 82 kWh	15	449	167	75
Audi e-tron GT	16	490	173	84,6
2021 Tesla Model 3 SR+	24	398	128	50,9

Coche	T (°C)	Autonomía (km)	Consumo (Wh/km)	Capacidad batería (kWh)
VW ID4 GTX 82 kWh	22	456	160	75
2021 Tesla Model 3 SR+ MIC	24	408	122	49,8
Audi Q4 e-tron 40	20	487	154	75
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	27	563	136	76,5
Ioniq 5 AWD	25	461	153	70,6
Citroen e-C4	27	299	137	40,9
Opel Mokka-e	25	290	148	42,9
Citroen e-Spacetourer	19	295	211	62,2
Opel Corsa-e	21	292	140	40,9
Fiat 500e	21	249	146	36,2
Ford Mustang Mach-E LR RWD	18	535	160	85,6
2021 Tesla Model 3 SR+ MIC	20	443	118	52,6
Tesla Model S P85 (MF)	19	412	160	65,9
Tesla Model Y LR	21	473	148	70
Tesla Model Y LR (caps on)	20	493	142	70
Tesla Model Y LR (caps off)	20	479	146	70
VW ID3 55 kWh	15	316	137	43,5
Volvo XC40 69 kWh FWD	17	360	175	63
BMW iX xDrive40	16	415	170	70,5
Porsche Taycan Cross Turismo 4	17	445	190	84,6
Tesla Model 3 Performance	20	520	147	76,5
Tesla Model Y Performance	19	510	146	74,4
VW ID5 GTX 82 kWh	20	477	154	73,4
Mercedes EQE 43 AMG	25	487	184	89,4
Tesla Model Y Performance	26	513	145	74,4
BMW i4 eDrive40	18	599	134	80,3
Skoda Enyaq Coupé RS	21	477	153	73,4
Ford Mustang Mach-E GT	16	432	198	85,6
BYD Tang	17	386	216	83,4
BMW i4 M50	18	518	155	80,3
Mercedes EQS 450+	21	711	150	106,7

Coche	T (°C)	Autonomía (km)	Consumo (Wh/km)	Capacidad batería (kWh)
Hongqi E-HS9	18	402	218	86,5
BYD Atto 3 60 kWh	25	445	134	59,6
Ora Good Cat 500 Ultra	20	420	140	59
Ora Good Cat GT	27	384	148	56,8
Tesla Model Y RWD	20	440	129	56,8
BMW i7 xDrive60	30	631	160	101
Volvo XC40 78 kWh AWD	20	405	185	75

## 8.2. ANEXO 2: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO CICLO NEDC

### 8.2.1. DATOS AUTONOMÍA CICLO NEDC

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía (km)	Coef. NEDC
Tesla Model S P100DL	515	613	0,84
Opel Ampera-e	395	520	0,76
Hyundai Kona 64 kWh	510	660	0,77
Kia e-Soul 64 kWh	430	648	0,66
Nissan Leaf 62 kWh	370	541	0,68
Mercedes EQC	420	450	0,93
Model X Long Range Raven	520	580	0,90
2019 Tesla Model 3 SR+	402	460	0,87
Peugeot e-208 GT	292	450	0,65
DS 3 e-tense	285	430	0,66
MG ZS EV 44.5 kWh	266	403	0,66
Mini Cooper SE	236	270	0,87
Xpeng P7 Performance	492	552	0,89
Model 3 Performance w/mudflaps	521	530	0,98
Polestar 2	435	565	0,77
Model S P85 7 seater	441	502	0,88
Peugeot e-2008 GT	300	430	0,70
VW ID4 1st 82 kWh	449	522	0,86

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía (km)	Coef. NEDC
BMW iX3	442	520	0,85
2021 Tesla Model 3 SR+	398	579	0,69
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	563	663	0,85
Citroen e-C4	299	460	0,65
Tesla Model S P85 (MF)	412	502	0,82
Tesla Model Y LR	473	635	0,74
VW ID3 55 kWh	316	450	0,70
Tesla Model 3 Performance	520	605	0,86
Tesla Model Y Performance	510	640	0,80
VW ID5 GTX 82 kWh	477	523	0,91
Mercedes EQE 43 AMG	487	590	0,83
Ford Mustang Mach-E GT	432	492	0,88
BYD Tang	386	505	0,76
BMW i4 M50	518	668	0,78
Mercedes EQS 450+	711	770	0,92
Hongqi E-HS9	402	510	0,79
BYD Atto 3 60 kWh	445	480	0,93
Ora Good Cat 500 Ultra	420	500	0,84
Ora Good Cat GT	384	500	0,77
Tesla Model Y RWD	440	460	0,96
BMW i7 xDrive60	631	715	0,88

### 8.2.2. DATOS CONSUMO CICLO NEDC

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo NEDC (Wh/km)	Coef. NEDC
Tesla Model S P100DL	178	155	1,15
Opel Ampera-e	144	112	1,29
Hyundai Kona 64 kWh	127	131	0,97
Audi e-tron 55	225	220	1,02
Kia e-Soul 64 kWh	153	120	1,28

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo NEDC (Wh/km)	Coef. NEDC
Nissan Leaf 62 kWh	151	152	0,99
Mercedes EQC	192	197	0,97
Model X Long Range Raven	177	168	1,05
2019 Tesla Model 3 SR+	122	137	0,89
Jaguar I-Pace 90 kWh	192	156	1,23
Peugeot e-208 GT	154	111	1,39
DS 3 e-tense	158	132	1,20
MG ZS EV 44.5 kWh	160	127	1,26
Audi e-tron 50 Sportback	201	180	1,12
Mini Cooper SE	128	149	0,86
Xpeng P7 Performance	150	125	1,20
Model 3 Performance w/mudflaps	141	132	1,07
Porsche Taycan 4S 93 kWh	150	198	0,76
Polestar 2	167	188	0,89
Model S P85 7 seater	170	168	1,01
Peugeot e-2008 GT	150	118	1,27
VW ID3 1st 62 kWh	135	139	0,97
VW ID4 1st 82 kWh	167	157	1,06
Audi e-tron GT	173	188	0,92
2021 Tesla Model 3 SR+	128	133	0,96
VW ID4 GTX 82 kWh	160	163	0,98
Audi Q4 e-tron 40	154	161	0,96
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	136	132	1,03
Citroen e-C4	137	162	0,85
Fiat 500e	146	117	1,25
Tesla Model S P85 (MF)	160	168	0,95
Tesla Model Y LR	148	149	0,99
VW ID3 55 kWh	137	145	0,94
BMW i4 M50	155	157	0,99
Porsche Taycan Cross Turismo 4	190	212	0,90
Tesla Model 3 Performance	147	132	1,11

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo NEDC (Wh/km)	Coef. NEDC
Tesla Model Y Performance	146	132	1,11
VW ID5 GTX 82 kWh	154	146	1,05
BYD Tang	216	189	1,14
Mercedes EQS 450+	150	162	0,93
Hongqi E-HS9	218	165	1,32
BYD Atto 3 60 kWh	134	143	0,94
Ora Good Cat 500 Ultra	140	120	1,17
Ora Good Cat GT	148	163	0,91
Tesla Model Y RWD	129	130	0,99
BMW iX3	168	175	0,96
Volvo XC40 78 kWh AWD	185	157	0,99

### 8.3. ANEXO 3: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO CICLO WLTP

#### 8.3.1. DATOS AUTONOMÍA CICLO WLTP

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía WLTP(km)	Coef. WLTP
Tesla Model S P100DL	515	600	0,86
Kia e-Niro 64 kWh	500	460	1,09
Opel Ampera-e	395	380	1,04
Hyundai Kona 64 kWh	510	484	1,05
Audi e-tron 55	370	437	0,85
Kia e-Soul 64 kWh	430	452	0,95
Nissan Leaf 62 kWh	370	396	0,93
Mercedes EQC	420	432	0,97
Model X Long Range Raven	520	580	0,90
2019 Tesla Model 3 SR+	402	409	0,98
Model S Long Range Raven	566	610	0,93
Jaguar I-Pace 90 kWh	427	470	0,91
Peugeot e-208 GT	292	352	0,83
DS 3 e-tense	285	402	0,71

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía WLTP(km)	Coef. WLTP
MG ZS EV 44.5 kWh	266	320	0,83
Honda e	189	222	0,85
Audi e-tron 50 Sportback	318	346	0,92
Mini Cooper SE	236	233	1,01
Xpeng P7 Performance	492	530	0,93
Model 3 Performance w/mudflaps	521	602	0,87
Porsche Taycan 4S 93 kWh	579	511	1,13
Polestar 2	435	532	0,82
Model S P85 7 seater	441	450	0,98
Peugeot e-2008 GT	300	337	0,89
VW ID3 1st 62 kWh	413	420	0,98
VW ID3 1st Max 62 kWh	393	426	0,92
VW ID4 1st 82 kWh	449	526	0,85
BMW iX3	442	461	0,96
Audi e-tron GT	490	487	1,01
2021 Tesla Model 3 SR+	398	491	0,81
VW ID4 GTX 82 kWh	456	499	0,91
Audi Q4 e-tron 40	487	512	0,95
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	563	602	0,94
Ioniq 5 AWD	461	454	1,02
Citroen e-C4	299	360	0,83
Opel Mokka-e	290	408	0,71
Citroen e-Spacetourer	295	317	0,93
Opel Corsa-e	292	361	0,81
Fiat 500e	249	305	0,82
Ford Mustang Mach-E LR RWD	535	600	0,89
Tesla Model S P85 (MF)	412	450	0,92
Tesla Model Y LR	473	533	0,89
VW ID3 55 kWh	316	330	0,96
Volvo XC40 69 kWh FWD	360	463	0,78
BMW iX xDrive40	415	425	0,98
Porsche Taycan Cross Turismo 4	445	490	0,91

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía WLTP(km)	Coef. WLTP
Tesla Model 3 Performance	520	547	0,95
Tesla Model Y Performance	510	514	0,99
VW ID5 GTX 82 kWh	477	512	0,93
Mercedes EQE 43 AMG	487	505	0,96
BMW i4 eDrive40	599	589	1,02
Skoda Enyaq Coupé RS	477	553	0,86
Ford Mustang Mach-E GT	432	490	0,88
BYD Tang	386	404	0,96
BMW i4 M50	518	580	0,89
Mercedes EQS 450+	711	734	0,97
Hongqi E-HS9	402	396	1,02
BYD Atto 3 60 kWh	445	420	1,06
Ora Good Cat 500 Ultra	420	400	1,05
Ora Good Cat GT	384	400	0,96
Tesla Model Y RWD	440	455	0,97
BMW i7 xDrive60	631	624	1,01
Volvo XC40 78 kWh AWD	405	425	0,95

### 8.3.2. DATOS CONSUMO CICLO WLTP

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo WLTP (Wh/km)	Coef. WLTP
Tesla Model S P100DL	178	187	0,95
Kia e-Niro 64 kWh	131	162	0,81
Opel Ampera-e	144	143	1,01
Hyundai Kona 64 kWh	127	147	0,86
Audi e-tron 55	225	228	0,99
Kia e-Soul 64 kWh	153	157	0,97
Nissan Leaf 62 kWh	151	178	0,85
Mercedes EQC	192	217	0,88
Model X Long Range Raven	177	191	0,93

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo WLTP (Wh/km)	Coef. WLTP
2019 Tesla Model 3 SR+	122	149	0,82
Model S Long Range Raven	164	175	0,94
Jaguar I-Pace 90 kWh	192	220	0,87
Peugeot e-208 GT	154	147	1,05
DS 3 e-tense	158	156	1,01
MG ZS EV 44.5 kWh	160	179	0,89
Honda e	151	178	0,85
Audi e-tron 50 Sportback	201	216	0,93
Mini Cooper SE	128	172	0,74
Xpeng P7 Performance	150	192	0,78
Model 3 Performance w/mudflaps	141	165	0,85
Porsche Taycan 4S 93 kWh	150	204	0,74
Polestar 2	167	198	0,84
Model S P85 7 seater	170	181	0,94
Peugeot e-2008 GT	150	154	0,97
VW ID3 1st 62 kWh	135	156	0,87
VW ID3 1st Max 62 kWh	142	153	0,93
VW ID4 1st 82 kWh	167	167	1,00
BMW i4 eDrive40	134	161	0,83
Audi e-tron GT	173	203	0,85
2021 Tesla Model 3 SR+	128	144	0,89
VW ID4 GTX 82 kWh	160	176	0,91
Audi Q4 e-tron 40	154	176	0,88
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	136	147	0,93
Ioniq 5 AWD	153	179	0,85
Citroen e-C4	137	161	0,85
Opel Mokka-e	148	174	0,85
Citroen e-Spacetourer	211	267	0,79
Opel Corsa-e	140	165	0,85
Fiat 500e	146	143	1,02
Ford Mustang Mach-E LR RWD	160	173	0,92

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo WLTP (Wh/km)	Coef. WLTP
Tesla Model S P85 (MF)	160	181	0,88
Tesla Model Y LR	148	169	0,88
VW ID3 55 kWh	137	156	0,88
Volvo XC40 69 kWh FWD	175	186	0,94
BMW i4 M50	155	181	0,86
Porsche Taycan Cross Turismo 4	190	214	0,89
Tesla Model 3 Performance	147	165	0,89
Tesla Model Y Performance	146	173	0,84
VW ID5 GTX 82 kWh	154	171	0,90
Mercedes EQE 43 AMG	184	205	0,90
BMW i7 xDrive60	160	184	0,87
Skoda Enyaq Coupé RS	153	164	0,93
Ford Mustang Mach-E GT	198	212	0,93
BYD Tang	216	238	0,91
BMW iX xDrive40	170	194	0,88
Mercedes EQS 450+	150	170	0,88
Hongqi E-HS9	218	213	1,02
BYD Atto 3 60 kWh	134	156	0,86
Ora Good Cat 500 Ultra	140	146	0,96
Ora Good Cat GT	148	150	0,99
Tesla Model Y RWD	129	157	0,82
BMW iX3	168	185	0,91
Volvo XC40 78 kWh AWD	185	178	1,04

#### 8.4. ANEXO 4: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO CICLO EPA

##### 8.4.1. DATOS AUTONOMÍA CICLO EPA

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía EPA(km)	Coef. EPA
Tesla Model S P100DL	515	555	0,93
Kia e-Niro 64 kWh	500	385	1,30

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía EPA(km)	Coef. EPA
Opel Ampera-e	395	380	1,04
Hyundai Kona 64 kWh	510	415	1,23
Audi e-tron 55	370	357	1,04
Kia e-Soul 64 kWh	430	385	1,12
Nissan Leaf 62 kWh	370	364	1,02
Mercedes EQC	420	354	1,19
Model X Long Range Raven	520	579	0,90
2019 Tesla Model 3 SR+	402	423	0,95
Model S Long Range Raven	566	568	1,00
Jaguar I-Pace 90 kWh	427	377	1,13
DS 3 e-tense	285	331	0,86
MG ZS EV 44.5 kWh	266	263	1,01
Honda e	189	220	0,86
Audi e-tron 50 Sportback	318	351	0,91
Mini Cooper SE	236	184	1,28
Xpeng P7 Performance	492	486	1,01
Model 3 Performance w/mudflaps	521	507	1,03
Porsche Taycan 4S 93 kWh	579	378	1,53
Polestar 2	435	375	1,16
Model S P85 7 seater	441	426	1,04
Peugeot e-2008 GT	300	290	1,03
VW ID4 1st 82 kWh	449	418	1,07
BMW iX3	442	404	1,09
Audi e-tron GT	490	383	1,28
2021 Tesla Model 3 SR+	398	423	0,94
VW ID4 GTX 82 kWh	456	418	1,09
Audi Q4 e-tron 40	487	427	1,14
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	563	505	1,11
Ioniq 5 AWD	461	428	1,08
Opel Corsa-e	292	329	0,89
Fiat 500e	249	140	1,78
Ford Mustang Mach-E LR RWD	535	483	1,11

MODELO	PRUEBA BJÖRN (km)	Autonomía EPA(km)	Coef. EPA
Tesla Model S P85 (MF)	412	407	1,01
Tesla Model Y LR	473	488	0,97
Volvo XC40 69 kWh FWD	360	355	1,01
BMW iX xDrive40	415	434	0,96
Porsche Taycan Cross Turismo 4	445	370	1,20
Tesla Model 3 Performance	520	507	1,03
Tesla Model Y Performance	510	488	1,05
VW ID5 GTX 82 kWh	477	451	1,06
Mercedes EQE 43 AMG	487	483	1,01
BMW i4 eDrive40	599	484	1,24
Skoda Enyaq Coupé RS	477	499	0,96
Ford Mustang Mach-E GT	432	435	0,99
BMW i4 M50	518	568	0,91
Mercedes EQS 450+	711	563	1,26
Hongqi E-HS9	402	355	1,13
Ora Good Cat 500 Ultra	420	340	1,24
Ora Good Cat GT	384	340	1,13
Tesla Model Y RWD	440	402	1,09
BMW i7 xDrive60	631	512	1,23
Volvo XC40 78 kWh AWD	405	335	1,21

#### 8.4.2. DATOS CONSUMO CICLO EPA

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo EPA(Wh/km)	Coef. EPA
Tesla Model S P100DL	178	181	0,98
Kia e-Niro 64 kWh	131	181	0,72
Opel Ampera-e	144	173	0,83
Hyundai Kona 64 kWh	127	175	0,73
Audi e-tron 55	225	242	0,93
Kia e-Soul 64 kWh	153	180	0,85
Nissan Leaf 62 kWh	151	193	0,78

MODELO	PRUEBA BJÖRN (Wh/km)	Consumo EPA(Wh/km)	Coef. EPA
Mercedes EQC	192	208	0,92
Model X Long Range Raven	177	205	0,86
2019 Tesla Model 3 SR+	122	155	0,79
Model S Long Range Raven	164	175	0,94
Jaguar I-Pace 90 kWh	192	242	0,79
DS 3 e-tense	158	169	0,93
MG ZS EV 44.5 kWh	160	174	0,92
Honda e	151	151	1,00
Audi e-tron 50 Sportback	201	273	0,74
Mini Cooper SE	128	190	0,67
Xpeng P7 Performance	150	176	0,85
Model 3 Performance w/mudflaps	141	185	0,76
Porsche Taycan 4S 93 kWh	150	248	0,60
Polestar 2	167	193	0,87
Model S P85 7 seater	170	207	0,82
Peugeot e-2008 GT	150	171	0,88
VW ID4 1st 82 kWh	167	217	0,77
BMW i4 eDrive40	134	193	0,70
Audi e-tron GT	173	255	0,68
2021 Tesla Model 3 SR+	128	149	0,86
VW ID4 GTX 82 kWh	160	211	0,76
Audi Q4 e-tron 40	154	220	0,70
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	136	156	0,87
Ioniq 5 AWD	153	186	0,82
Fiat 500e	146	186	0,78
Ford Mustang Mach-E LR RWD	160	211	0,76
Tesla Model S P85 (MF)	160	217	0,74
Tesla Model Y LR	148	171	0,86
Volvo XC40 69 kWh FWD	175	240	0,73
BMW i4 M50	155	217	0,71
Porsche Taycan Cross Turismo 4	190	261	0,73
Tesla Model 3 Performance	147	186	0,79

<b>MODELO</b>	<b>PRUEBA BJÖRN (Wh/km)</b>	<b>Consumo EPA(Wh/km)</b>	<b>Coef. EPA</b>
Tesla Model Y Performance	146	189	0,77
VW ID5 GTX 82 kWh	154	190	0,81
Mercedes EQE 43 AMG	184	230	0,80
BMW i7 xDrive60	160	255	0,63
Ford Mustang Mach-E GT	198	255	0,78
BMW iX xDrive40	170	242	0,70
Mercedes EQS 450+	150	217	0,69
Tesla Model Y RWD	129	161	0,80
Volvo XC40 78 kWh AWD	185	246	0,75



## 8.5. ANEXO 5: DATOS DE AUTONOMÍA Y CONSUMO REAL

### 8.5.1. DATOS AUTONOMÍA REAL

MODELO	MÍN (km)	MÁX (km)
Honda e	178	200
Mini Cooper SE	226	246
MG ZS EV 44.5 kWh	252	280
DS 3 e-tense	268	302
Peugeot e-2008 GT	285	315
Opel Corsa-e	302	336
Opel Ampera-e	348	388
Nissan Leaf 62 kWh	351	389
Volvo XC40 78 kWh AWD	354	389
Audi e-tron 50 Sportback	367	403
Audi e-tron 55	373	410
Volvo XC40 69 kWh FWD	375	412
Tesla Model Y RWD	381	423
Hongqi E-HS9	383	421
Ora Good Cat GT	384	420
Ora Good Cat 500 Ultra	384	420
Tesla Model S P85 (MF)	386	429
Mercedes EQC	390	428
Audi e-tron GT	400	440
2021 Tesla Model 3 SR+	401	445
2019 Tesla Model 3 SR+	401	445
Model S P85 7 seater	404	449
Jaguar I-Pace 90 kWh	407	447
BMW iX3	417	459
VW ID4 1st 82 kWh	427	471
VW ID4 GTX 82 kWh	427	471
Ford Mustang Mach-E GT	435	481

MODELO	MÍN (km)	MÁX (km)
Kia e-Soul 64 kWh	445	485
Kia e-Niro 64 kWh	445	485
Audi Q4 e-tron 40	446	491
BMW iX xDrive40	448	493
Skoda Enyaq Coupé RS	451	503
Hyundai Kona 64 kWh	457	500
VW ID5 GTX 82 kWh	460	508
Tesla Model Y LR	463	514
Tesla Model Y Performance	463	514
Xpeng P7 Performance	467	518
Ioniq 5 AWD	471	515
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	479	532
Model 3 Performance w/mudflaps	481	534
Tesla Model 3 Performance	481	534
Ford Mustang Mach-E LR RWD	483	534
Porsche Taycan Cross Turismo 4	487	522
Polestar 2	494	530
Porsche Taycan 4S 93 kWh	498	534
BMW i4 eDrive40	499	550
Tesla Model S P100DL	526	584
BMW i7 xDrive60	528	582
Mercedes EQE 43 AMG	533	583
Model S Long Range Raven	538	598
Model X Long Range Raven	549	610
BMW i4 M50	586	646
Mercedes EQS 450+	621	680

## 8.5.2. DATOS CONSUMO REAL

MODELO	MÍN (Wh/km)	MÁX (Wh/km)
Honda e	145	157
2021 Tesla Model 3 SR+	171	188
2019 Tesla Model 3 SR+	178	195
2021 Tesla Model 3 LR (82 kWh)	179	196
Tesla Model Y RWD	185	203
Peugeot e-2008 GT	187	204
MG ZS EV 44.5 kWh	194	212
Tesla Model Y LR	196	216
Xpeng P7 Performance	198	216
Opel Ampera-e	199	218
Model S Long Range Raven	200	220
Tesla Model S P100DL	207	227
Model 3 Performance w/mudflaps	212	233
Polestar 2	213	233
Tesla Model 3 Performance	213	234
Tesla Model Y Performance	216	238
Kia e-Soul 64 kWh	218	241
Kia e-Niro 64 kWh	219	242
Hyundai Kona 64 kWh	228	253
VW ID5 GTX 82 kWh	232	257
Nissan Leaf 62 kWh	234	258
Model X Long Range Raven	235	258
Model S P85 7 seater	238	261

MODELO	MÍN (Wh/km)	MÁX (Wh/km)
Ioniq 5 AWD	243	270
Mercedes EQC	247	272
Tesla Model S P85 (MF)	249	273
Mercedes EQS 450+	258	284
VW ID4 GTX 82 kWh	258	285
Ford Mustang Mach-E LR RWD	262	290
VW ID4 1st 82 kWh	266	294
BMW i4 eDrive40	266	298
Mini Cooper SE	267	300
Mercedes EQE 43 AMG	273	301
Audi Q4 e-tron 40	275	305
Jaguar I-Pace 90 kWh	291	321
BMW i4 M50	300	337
Audi e-tron 55	303	335
Volvo XC40 69 kWh FWD	309	343
Volvo XC40 78 kWh AWD	316	351
Ford Mustang Mach-E GT	317	351
Audi e-tron GT	319	354
BMW iX xDrive40	335	375
Audi e-tron 50 Sportback	342	379
BMW i7 xDrive60	352	394
Porsche Taycan 4S 93 kWh	352	396
Porsche Taycan CrossTurismo 4	370	416