



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ESTUDIO, ANÁLISIS Y COMPARACIÓN
DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Técnico Universitario en MECÁNICA
AUTOMOTRIZ.

Alumnos:
Carlos Gustavo Ancamil Merino.
Carlos Adolfo Leiva Ahumada.

Profesor Guía:
Roberto Leiva Illanes.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

*A nuestros padres
quienes han velado por nuestro bienestar,
brindándonos su confianza y apoyo incondicional
a lo largo de nuestros estudios,
los que se han preocupado por darnos lo mejor
para lograr sacar adelante este trabajo.
También a nuestras familias, amigos y profesores
por ser parte de esta etapa
y hacer que cada día sea especial.*



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por siempre estar a nuestro lado, guiándonos y dándonos fuerzas para lograr culminar nuestra etapa universitaria.

A nuestros queridos padres, por brindarnos su apoyo incondicional en cada momento a lo largo de nuestra carrera.

Al Ingeniero Roberto Leiva por ser nuestro guía y orientarnos para llevar a cabo nuestro trabajo de titulación.

Al Ingeniero Javier Eguren por siempre darnos su apoyo cuando lo necesitamos.

Finalmente, agradecemos a los profesores de Mecánica Automotriz y de Electricidad por su gran ayuda en las pruebas de ensayo.



RESUMEN

KEYWORDS: Vehículos eléctricos, Freno dinamométrico de rodillos, Analizador de redes, Renault Fluence Z.E.

La razón fundamental de este trabajo es poder estudiar el vehículo Renault Fluence Z.E perteneciente a la Universidad, lograr adquirir mayor conocimiento sobre los vehículos eléctricos, ya que hoy en día sigue siendo escasa la información en cuanto a su tecnología y funcionamiento, poder aprender más sobre la utilización y funcionamiento del Freno dinamométrico de rodillos. Todo esto nos llevó a estudiar y realizar pruebas de ensayo sobre el vehículo eléctrico Renault Fluence Z.E de la carrera de Mecánica Automotriz, mediante el Freno dinamométrico de rodillos MAHA 2700/5500, con el fin de poder obtener el consumo eléctrico mediante el analizador de redes, y conocer la autonomía según el ciclo de homologación NEDC. También, se lleva a cabo la prueba de ensayo del nuevo ciclo de homologación WLTP, el cual lo incorporamos al software del Banco de pruebas. En el estudio también se realizó la medición de Potencia Continua, donde se mide Potencia a la rueda, Potencia de arrastre y Potencia máxima del Motor, con el fin de conocer de mejor manera el funcionamiento y las características de este vehículo, para luego analizar las diferencias que poseen los vehículos eléctricos frente a los vehículos convencionales, en este caso se centra la comparación entre el Renault Fluence Z.E y su equivalente modelo de combustión interna (1.6 L).

A pesar de que la propulsión eléctrica aún presenta inconvenientes significativos, en un futuro próximo se espera que sea la mejor alternativa para la movilización automovilística, ya que cada vez presenta mayores avances tecnológicos los cuales permiten un mayor interés por parte de la población, por lo cual se estima que cada año aumente el auge de los vehículos eléctricos logrando implantarse de manera definitiva en el mercado automotriz. Cada vez son más las fábricas que trabajan la propulsión eléctrica, buscando mejorar las baterías de alta tensión con el fin de obtener mayores rendimientos y eficiencias en el tren de potencia.



ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo General:	2
Objetivos Específicos:	2
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE	3
1.1 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO	4
1.2 CLASIFICACIÓN DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO	6
1.2.1 Vehículos híbridos en serie.....	6
1.2.2 Vehículos híbridos en paralelo	7
1.2.3 Vehículos eléctricos de celda de combustible	8
1.2.4 Vehículos 100 % eléctricos (V.E).....	8
1.3 ELEMENTOS PRINCIPALES DEL TREN DE POTENCIA	10
1.3.1 Motor Eléctrico	10
1.3.1.1 Motores de Corriente Continua.....	10
1.3.1.2 Motores de corriente alterna AC	11
1.3.2 Bloque electrónico de potencia	14
1.3.3 Grupo reductor	15
1.3.4 Freno regenerativo (F.R).....	15
1.3.5 Las Baterías.....	16
1.3.5.1 Baterías de Plomo - ácido	16
1.3.5.2 Baterías de Níquel – Cadmio	16
1.3.5.3 Baterías de Níquel - Hidruro Metálico	17
1.3.5.4 Baterías ZEBRA	17
1.3.5.5 Baterías de Ion – Litio	18
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE PRUEBAS DE ENSAYO	19
2.1 METODOLOGÍA DE PRUEBAS.....	20
2.2 NORMAS DE USO Y SEGURIDAD DEL FRENO DINANOMÉTRICO DE RODILLOS	21
2.3 NORMAS DE HOMOLOGACIÓN NEDC Y WLTP.....	21
2.4 CICLOS DE CONDUCCIÓN	22
2.4.1 Prueba de ensayo ciclo de conducción NEDC.....	26
2.4.2 Prueba de ensayo ciclo de conducción WLTP	33
2.5 Ensayo de Medición de Potencia Continua.....	36
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN DEL RENAULT FLUENCE Z.E.....	40

3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE ENSAYOS REALIZADAS	41
3.1.1 Resultados de las pruebas de ensayos de los ciclos NEDC:	41
3.1.2 Resultados de la “Medición Continua” del vehículo Renault Fluence Z.E.	43
3.2 COMPARACIÓN DEL RENAULT FLUENCE Z.E CON SU EQUIVALENTE MODELO CONVENCIONAL.....	45
3.2.1 La eficiencia energética	45
3.2.2 Costo total de los vehículos	48
3.2.3 La autonomía.....	49
3.2.4 Potencia.....	50
3.2.5 Torque o Par motor	52
3.2.6 Emisión de gases contaminantes.....	54
CONCLUSIÓN.....	55
REFERENCIAS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Arquitectura Vehículos híbridos en serie.	7
Figura 1-2. Arquitectura vehículos 100% eléctricos.....	9
Figura 2-1. Renault Fluence Z.E sobre el Freno dinamométrico de Rodillos.....	20
Figura 2-2. Esquema representativo de la medición de corriente AC.....	24
Figura 2-3. Grupo Motopropulsor del Renault Fluence Z.E.....	25
Figura 3-1. Eficiencia energética Renault Fluence 1.6 Litros.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Comparación de baterías.	18
Tabla 2-1. Comparación de los ciclos de conducción NEDC y WLTP.	23
Tabla 2-2. Resultados de todos los ciclos NEDC realizados.	32
Tabla 2-3. Resultados de los consumos totales ciclo de conducción NEDC.	33
Tabla 3-1. Comparación de los valores de la etiqueta vehicular con los obtenidos según las mediciones realizadas (Ciclo NEDC).	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Comportamiento de curvas de Potencia y Torque.....	7
Gráfico 2-1. Ciclo de homologación NEDC.....	26
Gráfico 2-2. Potencia instantánea obtenida con los datos del analizador.	30
Gráfico 2-3. Ciclo WLTC Clase 3.	34
Gráfico 2-4. Curvas de Potencia obtenidas en el Ensayo "Medición Continua".	38
Gráfico 2-5. Potencia eléctrica obtenida según valores medidos por el Analizador.....	39
Gráfico 3-1. Curvas de Potencia Motor obtenidas por ambos instrumentos de medición.	44
Gráfico 3-2. Gráfico de la Potencia del motor eléctrico v/s MCI	51
Gráfico 3-3. Curva de Potencia y Torque Fluence Z.E.....	52
Gráfico 3-4. Potencia y Torque de un motor eléctrico y un MCI	53

SIGLAS

- AC: Aire acondicionado
- B: Batería de 12 V
- BAT: Batería de alta tensión (400 V)
- BEV: Vehículo eléctrico a batería (Battery Electric Vehicle)
- CARB: Junta de Recursos del Aire de California
- CC: Caja de cambios
- CO: Monóxido de Carbono
- CO₂: Dióxido de carbono
- D: Diferencial
- DYNO: Freno dinamométrico de rodillos
- E: Embrague
- ECM: Módulo de control eléctrico
- ECU: Unidad de control de motor (Engine Control Unit)
- EREV/REEV: Vehículo eléctrico de autonomía extendida (Extended Range Electric Vehicle)
- EUDC: Fase 2 del ciclo NEDC
- EV: Vehículo eléctrico 100 % (Electric Vehicle)
- FCEV: Vehículo eléctrico con celda de combustible
- F.R: Freno regenerativo
- F.d.p: Factor de potencia
- HC: Hidrocarburos no quemados
- HEV: Vehículo híbrido eléctrico (Hybrid Electric Vehicle)
- M.C.I: Motor de combustión interna (Motor térmico)
- MEG: Motor eléctrico-generador
- MT: Motor térmico
- NEDC: Ciclo Europeo de homologación de consumos y emisiones (New European Driving Cycle)
- Ni-Cd: Batería de Níquel-Cadmio
- NO_x: Óxidos de nitrógeno
- PEMFC: Celda de combustible de membrana de intercambio de protones (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
- PEMS: Sistema de medición de emisiones portátil
- PHEV: Vehículo híbrido eléctrico enchufable (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
- PWR: Relación de Potencia/masa
- RDE: Emisiones reales de conducción (Real Driving Emissions)

T: Transformador

UDC: Fase 1 del ciclo NEDC

V.E: Vehículo eléctrico

WLTC: Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizado mundialmente
(World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure)

WLTP: Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros.

3CV: Centro de Control y Certificación Vehicular

%: Porcentaje

SIMBOLOGÍA

A: Ampere

AC: Corriente alterna

CV: Caballo de vapor

DC: Corriente continua

F3 ↓: hacia abajo

F3 ↑: hacia arriba

h: Hora

kgCO₂/kWh: Kilogramo de dióxido de carbono por cada kilowatt hora

km: Kilómetro

km/h: Kilómetro por hora

km/L: Kilómetro por litro

kWh: Kilowatts hora

kWh/100 km: Kilowatts hora por cada 100 kilómetros

kW: Kilowatts

MJ: Mega Joule

MW: Megawatt eléctrico

Nm: Newton Metro

PM: Partículas en suspensión

Rpm: Revoluciones por minuto

s: Segundos

V: Voltaje

VA: Volts-Amperes

W: Watts

Wh: Watts por hora

\$/KWH: Peso chileno por kilowatts hora



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como propósito informar los aspectos relevantes de los vehículos eléctricos. Su fabricación comienza a mediados del siglo XIX, pero sus elevados precios y la poca durabilidad de su batería en comparación con los vehículos convencionales, produjo un desinterés por parte de la población. Los vehículos convencionales con sus motores de combustión interna se implantaron en la sociedad y su producción se masificó durante el siglo XX. Las mejoras en las tecnologías de los MCI, generó una mayor aceptación por parte de la población, por lo que lideraron el campo automotriz durante muchos años.

A comienzos del siglo XXI, empezó a crecer el interés por los vehículos eléctricos debido a la preocupación por los daños al medio ambiente causado por la emisión de gases contaminantes que generan los motores de combustión interna, además de los avances tecnológicos en los vehículos eléctricos. Uno de los avances más importantes de estos automóviles, es la evolución de sus baterías, ya que en un principio tenían una autonomía bastante reducida y un tiempo de carga bastante elevado. En la actualidad, las baterías de Ion Litio alcanzan autonomías bastantes elevadas y cada vez cuentan con un tiempo de recarga más reducido. Sin embargo, esto aún no está solucionado, y es uno de los motivos por el cual los vehículos convencionales continúan liderando las ventas.

El futuro de los automóviles eléctricos cada vez está más próximo, gracias a las iniciativas para detener el calentamiento global, donde muchas empresas han optado por invertir en esta alternativa, junto con las mejoras en el rendimiento del tren de potencia, que permite que sean vehículos con una mayor eficiencia, ya que necesita menos energía que un auto convencional para realizar el mismo trabajo. A pesar de que aún existen algunos inconvenientes, en un futuro próximo podremos ver su producción en masa, lo cual afectaría a la industria del automóvil convencional y los mercados del petróleo.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Realizar pruebas sobre el Banco de pruebas con el vehículo Renault Fluence Z.E para compararlo con su equivalente modelo de combustión interna (1.6 L).

Objetivos Específicos:

- Reconocer los componentes principales del automóvil eléctrico para comprender su funcionamiento.
- Identificar los ciclos de homologación NEDC y WLTP para conocer sus diferencias.
- Analizar los resultados obtenidos según las mediciones del Analizador y las del Dyno para establecer las semejanzas con los valores de la etiqueta vehicular.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE

1.1 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO

La historia de los automóviles eléctricos comenzó hace muchos años atrás, debido a las diversas investigaciones y experimentos que se desarrollaron a mediados del siglo XIX, los cuales dieron inicio al desarrollo de la propulsión eléctrica. Michael Faraday dio a conocer un descubrimiento científico, basándose en el estudio de Hans Christian Ørsted, sobre los campos magnéticos generados por corrientes eléctricas (electromagnetismo) y en los de Ampere sobre la energía eléctrica (Pila de Volta). En 1821, Faraday construyó dos aparatos con el que estudió las fuerzas ejercidas en los polos de un imán, conociendo el principio del motor eléctrico a través de la rotación electromagnética. Entre 1832 y 1839, Robert Anderson inventó el vehículo eléctrico puro, en el cual diseñó un carruaje con tracción eléctrica y batería no recargableⁱ. Sin embargo, aún no se contaba con un vehículo eléctrico totalmente operativo, ya que el utilizar batería no recargable implica tener que reemplazarla una vez descargada. Luego, en 1859 Gastón Planté inventó la batería eléctrica de plomo y ácido, que se puede recargar mediante la regeneración de las sustancias químicas gastadas. Posteriormente, en 1881 fue mejorada por Camille Alphonse Faure, lo que permitió aumentar la capacidad de las baterías y luego su fabricación a escala mundialⁱⁱ.

La historia del vehículo eléctrico sigue en los años 1900, pero este fue un periodo muy inestable. Henry Ford y su producción en serie del famoso Ford T provocaron una baja de precios en sus modelos de combustión, el proceso iniciado en 1908 se basó en la fabricación masiva de este modelo, el cual logró llegar al mayor sector de la población, la clase media. Luego, nuevos descubrimientos a favor de los vehículos convencionales se implantaron sobre la propulsión eléctrica, como la incorporación del arranque eléctrico que patentó Charles, además de la creación de mejores carreteras que permitían una mayor velocidad y una necesidad de autonomía, junto con el aumento de yacimientos petrolíferos en EE. UU, que originó el nacimiento de una potente industria. Esto provocó que el vehículo eléctrico quedara a la sombra de su adversario durante gran parte del siglo XX. Con el pasar de los años, el interés por el vehículo eléctrico comenzó a aumentar en la década de 1960, debido a la conciencia sobre el daño ambiental y por la crisis energética que produjo una escasez de gasolina y aumento en el precio del petróleo. Fue así, como en 1973 llega la primera crisis del petróleoⁱⁱⁱ, por lo cual se convirtió en una prioridad buscar soluciones alternativas lo que provocó un aumento de

protagonismo de la propulsión eléctrica. Posteriormente en el salón del automóvil de Los Ángeles, en el año 1990, la empresa General Motors presentó el precursor del EV-1 “GM Impact” favorecida por la ley “Vehículos cero emisiones” dictada por la CARB (Junta de Recursos del Aire de California). Posteriormente, el proyecto se abandonó y fueron destruidos los vehículos fabricados, debido a que unos años más tarde la ley se anula y se sustituye por una menos restrictiva.

El sector automovilístico continúa en expansión a comienzos del siglo XXI con grandes innovaciones, donde el vehículo eléctrico sigue una tendencia a la introducción de nuevas tecnologías. Los vehículos eléctricos presentan un gran avance, la mayoría de las marcas automovilísticas comienzan a desarrollar sus modelos con propulsión eléctrica. Cada vez es más preocupante la escasez y el aumento de precio del petróleo, ya que se trata de un combustible fósil y con el pasar del tiempo hay menos reservas a nivel mundial. Por esto, muchas compañías optan por diversas estrategias para contribuir con el cuidado del medioambiente, buscando nuevas alternativas para la movilización automovilística. Renault en el año 2009 presentó en el Salón del automóvil de Frankfurt, sus modelos de vehículos eléctricos como el Renault Fluence Z.E, vehículo fabricado hasta el 2014 app., el cual fue discontinuado por las escasas ventas. A pesar de esto tuvo una gran importancia, ya que fue uno de los primeros vehículos eléctricos que Renault produjo en masa. Luego, el vehículo que dio un gran impulso para la propulsión eléctrica fue el Nissan Leaf, el cual ha sido el vehículo 100% eléctrico más vendido en todo el mundo^{iv}.

El transporte tiene una gran incidencia en el deterioro del medio ambiente, ya que es responsable de gran parte de las emisiones de CO₂, NO_x e hidrocarburos provenientes del uso de combustibles fósiles^v. Muchos países han decidido desligarse de esta dependencia y fomentar con las nuevas alternativas, las que cada vez son más fiables y necesarias para la sociedad.

La industria de los automóviles eléctricos ha ido alcanzando mayor estabilidad gracias a las mejoras y a las ventajas que posee frente a los convencionales, como el menor consumo de energía, el cuidado hacia el medio ambiente y la menor cantidad de mantenimientos. La propulsión eléctrica actualmente está siendo mejorada de forma intensiva, para lograr implantarse en la movilización automovilística y llegar a ser la mejor opción en el mercado automotriz.

1.2 CLASIFICACIÓN DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO

Los vehículos eléctricos, se clasifican principalmente según su nivel de electrificación y según la transmisión de la energía hacia las ruedas. En primera instancia están los vehículos híbridos, son aquellos que poseen más de una fuente de energía, comúnmente constan de motor eléctrico acompañado de uno de combustión interna (Gasolina o Diesel). Según las conexiones de sus componentes (distribución de energía) se pueden clasificar en híbridos en serie o en paralelo. Japón ha sido líder de la tecnología híbrida, al incorporar gran cantidad de estos vehículos al mercado^{vi}. Los vehículos 100% eléctricos, se caracterizan principalmente por utilizar uno o más motores eléctricos, dejando de lado completamente los motores de combustión interna (MCI). Los motores eléctricos se alimentan netamente de la energía almacenada en la batería de alta tensión, que se recarga enchufando el vehículo a una red eléctrica y mediante el frenado regenerativo, que recupera energía para almacenarla en la batería.

1.2.1 Vehículos híbridos en serie

Los vehículos híbridos en serie, también conocidos como vehículos eléctricos de autonomía extendida (EREV / REEV), funcionan y están contruidos de tal forma que el motor de combustión interna no transmite su movimiento directamente a las ruedas, sino que, a un generador el cual transmite la energía hacia el motor eléctrico o hacia las baterías, para así ampliar la autonomía del vehículo. Su principal ventaja es que posee un diseño mecánico simple, por la forma en que se distribuyen y conectan sus componentes. El motor térmico se pone en funcionamiento sólo cuando la batería tiene poca carga, al funcionar lo hace siempre a las mismas revoluciones, ya que trabaja en el régimen que entrega su máximo rendimiento termodinámico, para un mínimo consumo y bajas emisiones. La desventaja principal de los vehículos híbridos en serie es que toda la energía producida por el motor térmico tiene que pasar por el generador eléctrico, teniendo pérdidas debido a la transformación de energía, ya que es necesario que toda la energía utilizada para la tracción del vehículo pase por el motor eléctrico.

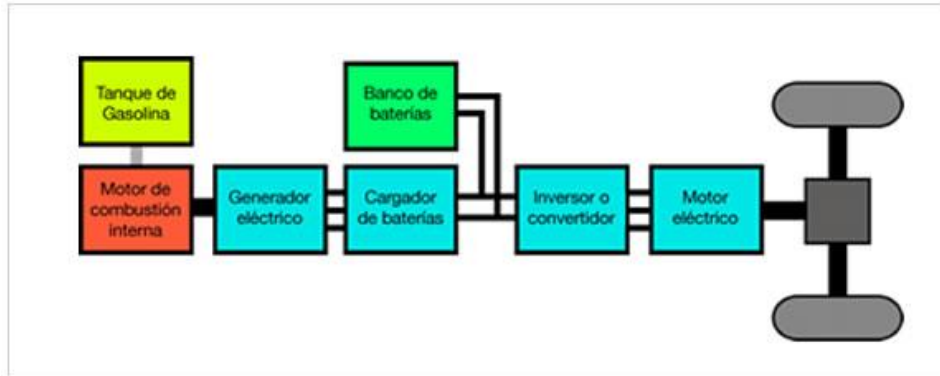


Figura 1-1. Arquitectura Vehículos híbridos en serie.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>

1.2.2 Vehículos híbridos en paralelo

Los vehículos híbridos en paralelo se caracterizan por variar la forma en que puede traccionar las ruedas del automóvil, ya que puede ser impulsado por el motor térmico, por el motor eléctrico o por ambos a la vez. En circulación, el computador (ECU) del vehículo selecciona qué motor utilizar, dependiendo de los requerimientos de uso y del estado de carga de la batería, se utiliza más o menos el motor térmico, para así minimizar el uso de combustible y de la contaminación ambiental

Un punto curioso es cómo se produce la suma de las curvas características de cada motor cuando trabajan en conjunto, las curvas de Torque y Potencia. En los siguientes gráficos, podemos observar el comportamiento de estas dos curvas, de un motor térmico (color rojo) y en un motor eléctrico (color verde), y las globales obtenidas al sumar las dos curvas mencionadas (color azul).

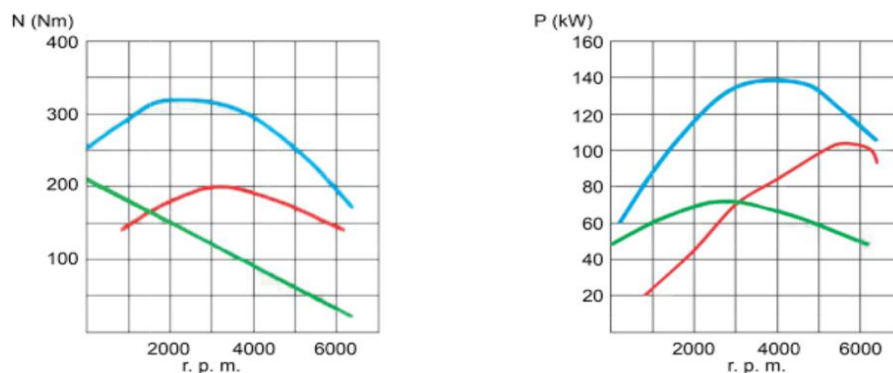


Gráfico 1-1. Comportamiento de curvas de Potencia y Torque.

Fuente: Extraído del libro "Vehículos Eléctricos e Híbridos".

1.2.3 Vehículos eléctricos de celda de combustible

Estos vehículos eléctricos conocidos como vehículos de pila de combustible (FCEV), se caracterizan por poseer una celda de combustible con el objetivo de generar energía eléctrica durante el funcionamiento del vehículo, transformando de manera directa la energía química en energía eléctrica, por medio de reacciones electroquímicas. Las celdas más utilizadas en vehículos son las pilas de membrana de intercambio de protones (“PEMFC”), estas son celdas de hidrógeno que producen electricidad a través de la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno^{vii}.

La gran ventaja de utilizar hidrógeno y oxígeno es que el producto de esta reacción además de ser electricidad es nitrógeno, calor y agua (en forma de vapor), por lo que no se generan emisiones locales durante su funcionamiento. Sin embargo, las emisiones contaminantes a nivel global dependen de la generación de la energía eléctrica utilizada para cargar las baterías y para la producción del hidrógeno. Dentro de las desventajas de la utilización de hidrógeno, es que se trata de un combustible costoso de producir, que, a pesar de ser un elemento muy abundante, no se encuentra totalmente puro, por lo que necesita de un largo proceso. El almacenamiento del hidrógeno también es complicado, ya que se trata de un elemento muy inflamable por lo cual requiere una buena aislación y además se necesita bastante espacio para almacenarlo. La diferencia de potencial generada por una celda es de 1,2 V app., por lo cual es necesario conectar en serie varias celdas para obtener la tensión necesaria.

1.2.4 Vehículos 100 % eléctricos (V.E)

Es el nivel final de la electrificación en los vehículos, ya que solo se utiliza la propulsión eléctrica, donde los motores son extremadamente silenciosos y eficientes. Con estos vehículos se dejan de lado las emisiones locales producto de los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión, por lo cual se reduce gran parte de la contaminación ambiental junto con la contaminación acústica que generan los vehículos convencionales^{viii}. La eficiencia de los motores eléctricos es un punto clave para el desarrollo de estos vehículos, ya que los motores eléctricos poseen una eficiencia cercana al 90%, lo cual es bastante favorable para su utilización en los vehículos. Dentro de sus ventajas, también están las pocas mantenciones que estos requieren, ya que el número de piezas de los motores se reducen considerablemente comparado con un M.C.I.

La principal desventaja de los vehículos eléctricos está en la batería de alta tensión, donde el mayor problema ha sido el precio y la autonomía que entregan. El rendimiento general depende de la eficiencia del tren de potencia y de la capacidad de la batería, que por mucho tiempo ha sido bien limitada. Además, el tiempo que demoran en cargarse las baterías de alta tensión es demasiado alto, en comparación con lo que se demora en cargar un depósito de combustible. Al no contar con gran protagonismo como los vehículos con MCI, los puntos de recargas son más escasos, lo que limita el poder realizar viajes muy largos, sin embargo, cada vez se implantan nuevas electrolineras y tomas de corriente permitiendo una mayor incorporación a los V.E.

Otro gran problema, ha sido el precio de adquisición, principalmente por la batería de alta tensión, ya que está formada por elementos que poseen un elevado costo de producción, además, se debe tener en cuenta que es necesario reemplazar la batería, al momento de llegar al fin de su vida útil, lo cual significa un gran costo a largo plazo. Las baterías de Ion Litio que son las más utilizadas en V.E, poseen una duración entre 1000 y 3000 ciclos de descarga (entre 3 y 10 años), dependiendo del cuidado y uso. Sin embargo, hoy en día la industria de las baterías está en constante avance tecnológico, permitiendo reducir sus tamaños y los tiempos de recargas, alcanzando mayores autonomías y siendo cada vez más accesibles respecto a su costo, esto principalmente por el aumento de las producciones y por la mayor demanda que está adquiriendo en el mercado automovilístico^{ix}.

Actualmente existe un buen número de fabricantes de vehículos eléctricos puros (EV), mejorando cada vez la eficiencia de los componentes del tren de potencia, principalmente en la capacidad de las baterías. Logrando ser cada vez más accesibles en cuanto al costo de adquisición, debido a su mayor demanda y utilización. En la figura 1-3, se puede apreciar la configuración y distribución de los componentes de los vehículos 100% eléctricos.

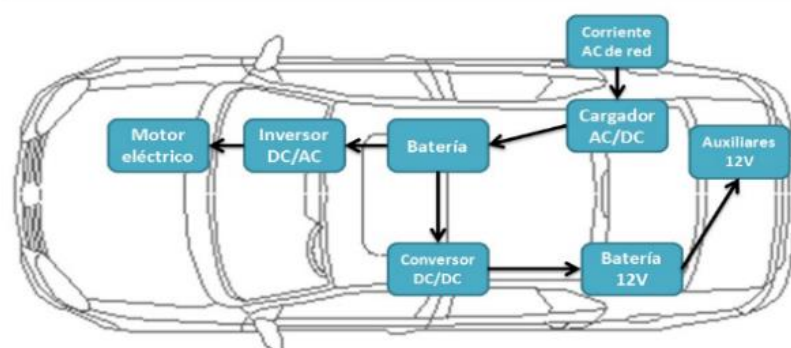


Figura 1-2. Arquitectura vehículos 100% eléctricos.

1.3 ELEMENTOS PRINCIPALES DEL TREN DE POTENCIA

1.3.1 Motor Eléctrico

El motor eléctrico es una máquina que se encarga de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, donde en este caso dicha energía es utilizada para mover el vehículo. El motor eléctrico realiza la transformación de energía a través de los campos magnéticos generados por electroimanes, imanes permanentes y devanados, además en la mayoría de los casos los motores eléctricos pueden funcionar como generadores, girando en sentido contrario al momento que el vehículo frena o va en desaceleración. La forma en que trabajan va a depender del tipo de motor eléctrico que sea:

1.3.1.1 Motores de Corriente Continua

Denominados también motores de corriente directa (DC), los cuales fueron los primeros en ser utilizados en los vehículos eléctricos, se caracterizan principalmente por funcionar con corriente continua (DC) y porque cuentan con un circuito de control más simple que los motores de corriente alterna. Este tipo de motores entregan un alto torque al arranque y poseen un buen control de funcionamiento^x. Son utilizados en vehículos eléctricos, pero principalmente en donde el control de las funcionalidades del motor es esencial.

- Motores DC con escobillas:

Estos motores constan de un conjunto de bobinas en el estator (carcasa), las cuales son alimentadas con corriente continua, por lo que generan un campo magnético constante y uniforme. El rotor se compone de un conjunto de bobinas internas, las que son alimentadas con corriente continua, a través del colector. Por su parte, el colector se compone de unas piezas fijas llamadas escobillas y de un cilindro que posee unas delgas que normalmente son de cobre, las cuales se encargan de permitir el paso de la corriente hacia el bobinado interior, por medio de fricción con las escobillas, las bobinas internas generan un campo magnético, el que interacciona con el campo del estator, provocando un giro del rotor de unos 180°. Luego se invierte la corriente que circula por el rotor, invirtiendo también el campo magnético y provocando que se complete una vuelta completa de 360°.

La intensidad se transmite a las espiras mediante las escobillas que entran en contacto alternadamente a cada extremo de las espiras, provocando a su vez el cambio del sentido de la corriente. Junto con estas escobillas, también se encuentran un par de anillos o colector de delgas, que se rozan para realizar el cambio de polaridad en el rotor, este rozamiento a su vez disminuye el rendimiento, desprendiendo calor y ruido, lo que provoca partículas de carbón que manchan el motor con polvo, esto genera que requiera un mayor mantenimiento.

- Motores DC sin escobillas:

La principal característica de este tipo de motor es que el rotor está formado de un imán permanente, mientras que en el estator se incorporan las bobinas (3 o más fases), que son alimentadas por impulsos cortos de corrientes continuas. El sistema electrónico es considerado parte del motor, lo que mejora la durabilidad y fiabilidad de los componentes, el conmutador electrónico energiza de manera secuencial las bobinas del estator, generando un campo magnético giratorio. Luego el rotor que posee un campo magnético constante, al detectar la variación comienza a girar tratando de alinear los campos magnéticos, generando así el giro del rotor. Para que el rotor continúe girando, antes de que se alineen los campos magnéticos, se energiza la bobina que le sigue y se deja de alimentar la anterior, provocando que el rotor siga el campo de las bobinas, el cual va variando y permitiendo que el rotor continúe girando.

Es necesario contar con sensores de efecto Hall, los que indican la posición del estator y del rotor, para que el controlador energice a los bobinados en el orden de alimentación correspondiente. Son usados principalmente en vehículos híbridos, aunque también estos motores ofrecen varias ventajas para un uso en VEB, como lo es su bajo ruido y escaso mantenimiento. Pero por ahora son motores poco experimentados, los que poseen un elevado costo y poca densidad de potencia.

1.3.1.2 Motores de corriente alterna AC

Esos motores funcionan con corriente alterna, la cual es aquella corriente eléctrica que cambia de polaridad frecuentemente, es decir, el voltaje va variando en el tiempo, desde cero a un máximo positivo, vuelve a cero y baja a un máximo negativo, donde la magnitud y el sentido van variando cíclicamente.

Son los motores más utilizados hoy en día para la mayoría de las aplicaciones, debido a su buen rendimiento, escaso mantenimiento y sencillez de construcción.

- Motor eléctrico síncrono de imanes permanentes:

La principal característica de este tipo de motores es que el rotor está magnetizado y sincronizado con la velocidad del campo magnético creado por el estator. En el estator se encuentran las bobinas inductoras, las cuales son alimentadas por corriente alterna y están desfasadas 120° entre sí. Las bobinas generan un campo magnético que atrae o repele los polos magnéticos del rotor, estas fuerzas producen el movimiento de rotación del rotor. Los motores síncronos pueden ser de flujo radial o flujo axial, esto depende de la posición del campo magnético de inducción, que puede ser perpendicular o paralelo al eje de giro del rotor. Normalmente los más utilizados son los de flujo radial, mientras que los de flujo axial se caracterizan por ser incorporados directamente a la rueda del vehículo, el arranque de estos motores ha sido durante muchos años un problema, por lo que su uso ha estado limitado. Sin embargo, hoy en día con el avance de la tecnología se han descubierto maneras de mejorar el arranque y hacer más eficiente este tipo de motores.

Las ventajas principales de estos motores es que entregan un alto rendimiento, poseen un control de velocidad simple y además se caracterizan por su bajo ruido, vibración, tamaño y peso. Son utilizados mayormente en maquinarias que necesitan mantener una velocidad de giro constante, independiente de la carga que se aplique. Esto principalmente porque trabajan siempre con la misma frecuencia y al contar con un número de polos fijo, la velocidad de giro del rotor depende solo de la frecuencia de alimentación, por esto se entiende que trabaja a una velocidad constante.

- Motor de reluctancia variable:

La reluctancia para los campos magnéticos es el equivalente a la resistencia para la corriente eléctrica, por esto se dice que un material tiene baja reluctancia, si deja circular el campo magnético con facilidad. El motor de reluctancia variable o motor paso a paso está construido por un rotor de material magnético el cual posee una forma dentada con polos salientes, este es influenciado por el campo magnético, atrayendo y creando un par que mantiene el rotor moviéndose a una velocidad síncrona. El estator está formado por láminas ferromagnéticas no

imantadas, posee ranuras en forma longitudinal, donde se alojan los bobinados de las fases, formando los polos del estator, los que se encuentran bajo la influencia de los campos magnéticos producidos por las bobinas. El número de dientes del rotor es menor al número de dientes del estator. El rotor y el estator poseen diferente cantidad de polos, el sistema es energizado de tal forma, que las bobinas van variando su intensidad, los dientes del rotor se van alineando para que exista un mejor flujo magnético entre las bobinas y de esta manera hacer girar el rotor.

El rotor en todo momento busca alinearse de tal forma para disminuir la reluctancia entre rotor y estator, lo cual se da cuando el espacio entre los polos del estator queda lo más ocupado posible por material del rotor, en ese momento cuando los polos del estator y del rotor están alineados, se tiene un flujo magnético máximo. Estos motores tienen como ventajas un alto par, robustez y un bajo costo, mientras que como desventajas poseen baja potencia y una gran complejidad en su diseño.

- Motor eléctrico asíncrono:

El principio de funcionamiento de los motores asíncronos está basado en el principio de inducción de Faraday, es por esta razón que son llamados motores de inducción y su principal característica es que la velocidad de giro del rotor va desfasada con la velocidad de los campos magnéticos producidos por el estator.

Estos motores producen el movimiento por medio de la inducción electromagnética, que se produce cuando el estator recibe corriente alterna, donde se generan campos magnéticos mediante las bobinas inductoras desfasadas 120° entre sí, lo cual genera una corriente que induce al rotor. Estas corrientes que circulan por el interior del rotor generan nuevos campos magnéticos que interactúan con los campos del estator, permitiendo así producir la fuerza necesaria para generar el giro del rotor. En los motores asíncronos el rotor puede ser de jaula de ardillas o bobinado. En el rotor de Jaula de ardilla, los conductores están distribuidos por la periferia del rotor, los que en los extremos están en cortocircuito, por lo que no hay posibilidad de conexión entre los devanados del rotor y el exterior, la inclinación de las ranuras mejora el arranque y disminuye los ruidos. En el caso del rotor bobinado, los devanados del rotor son similares a los del estator, estos devanados están conectados a anillos colectores ubicados sobre el mismo eje, el número de polos del rotor y del estator deben ser iguales.

En la actualidad, los motores asíncronos son unos de los más utilizados en el área industrial y automotriz, principalmente por la facilidad de su construcción, la fiabilidad, el bajo costo, ruido y vibración. Por su parte tienen como desventaja baja densidad de potencia y un bajo par de arranque.

1.3.2 Bloque electrónico de potencia (Conjunto Convertidor)

Conocido también como Conjunto Convertidor o Regulador eléctrico, cumple un rol trascendental en el funcionamiento del vehículo eléctrico, ya que a través de él pasa toda la energía que entra y sale del motor, por esto su eficiencia influye de manera significativa en el rendimiento del vehículo. El Bloque electrónico es el controlador del sistema energético, sin él ni la batería ni el motor eléctrico pueden desarrollar sus funciones, ya que es el encargado de comunicar ambos componentes.

En el caso de Renault, como en el vehículo Renault Fluence ZE, el Bloque electrónico incorpora un Rectificador, que es el encargado de transformar la corriente alterna (AC) a corriente continua (DC), para poder almacenar la energía en la batería de tracción. El Inversor, que transforma la corriente Continua almacenada en las baterías a corriente Alterna. Está el Convertidor CC/CC, es el encargado de convertir los 400 V a 14 V para cargar la batería de accesorios de 12 V y el Ondulador que se encarga de convertir los 400 V DC a AC trifásica, para alimentar las tres fases del estator.

Por su parte, la unidad de excitación garantiza la excitación del rotor con 400 V DC, el sistema de escobilla/anillo es el que permite que la corriente fluya hacia el rotor. El Captador de corriente, se encarga de medir la corriente que circula por las tres fases y también la corriente de excitación del rotor para mantener un funcionamiento óptimo del motor^{xi}. El Calculador ECM, recibe las señales de los sensores del vehículo y gestiona la corriente necesaria para cada régimen del motor. Los sistemas de control cada vez incorporan un mejor sistema electrónico, con mejor tecnología y mayores rendimientos, lo que ha hecho posible que el vehículo eléctrico vaya adquiriendo un mejor control de sus componentes del tren de potencia.

1.3.3 Grupo reductor

Es un conjunto de engranajes o piñones que se sitúan a la salida del motor eléctrico, su principal función es reducir considerablemente la velocidad de giro del motor, para luego transmitir la energía al diferencial y entregar el movimiento a las ruedas motrices, a través de los palieres (ejes ruedas). Es fundamental contar con este componente, ya que, los motores eléctricos alcanzan revoluciones muy altas, por lo cual es necesario reducir el giro entregado por el motor.

El grupo reductor es el que representa la caja de transmisión de los vehículos convencionales, aunque en este caso se trata de una caja de engranajes de una sola velocidad la cual es fija. Debido a que los motores eléctricos son capaces de entregar su par máximo desde las mínimas revoluciones, las cajas de cambios tradicionales son innecesarias.

La relación de las vueltas del motor respecto a las vueltas que da el reductor de salida depende de cada fabricante, pero en la mayoría toma valores entre 3:1 y 10:1. La relación de transmisión del grupo reductor del vehículo Renault Fluence Z.E es de 3:1.

1.3.4 Freno regenerativo (F.R)

El freno regenerativo cumple una función muy importante, recuperando cierta parte de la energía cinética que lleva el automóvil, esta tecnología la incorporan los vehículos híbridos y eléctricos. La recuperación de energía se logra transformando cierta cantidad de energía cinética en electricidad, que en vehículos convencionales se pierde en forma de calor, la energía eléctrica generada debe ser rectificadas (DC), para luego ser almacenada en la batería de alta tensión.

Esta función es realizada en el alternador del vehículo en el caso de los híbridos y directamente en el motor en el caso de los vehículos 100% eléctricos. Los motores eléctricos tienen la ventaja de girar en ambos sentidos, lo cual es aprovechado en las frenadas y retenciones, ya que, la inercia que lleva el vehículo hace que el motor eléctrico siga girando lo cual produce corriente eléctrica, donde esta energía es almacenada en las baterías en forma de energía química. La tecnología del freno regenerativo es una muy buena forma de aprovechar las pérdidas del vehículo, ya que con este componente se genera energía para poder recargar la batería de tracción y así tener una mayor autonomía.

1.3.5 Las Baterías de tracción

Las baterías son acumuladores de energía, que almacenan la energía en forma química, transforman la energía química en eléctrica la que es utilizada por el motor eléctrico. Estas se componen principalmente de una placa positiva (ánodo), una negativa (cátodo) y un conductor eléctrico entre las placas, conocido como electrolito (líquido, gel o sólido), el cual permite las reacciones químicas necesarias para producir energía eléctrica. Las baterías forman parte de los elementos principales del automóvil eléctrico, ya que de ellas depende en gran parte la autonomía, el peso y el precio de estos vehículos.

Las baterías utilizadas hoy en día son “recargables” donde la reacción electroquímica de la cual se componen es reversible, es decir, después de que la batería se ha descargado, se puede volver a cargar, regenerando las sustancias químicas utilizadas. El Efecto memoria, es un Fenómeno que reduce la capacidad de las baterías al tener cargas y descargas incompletas.

1.3.5.1 Baterías de Plomo - ácido

Estas baterías se desarrollaron a mediados del siglo XIX por el físico Gastón Planté, las cuales tuvieron gran importancia para el surgimiento del vehículo eléctrico, por ser las primeras baterías recargables, las cuales se caracterizan por poseer un bajo costo y un buen rendimiento. Su principal desventaja es el peso debido a la utilización del plomo, el que además es un material bastante tóxico. El proceso de recarga no puede repetirse indefinidamente, porque cuando los sulfatos de plomo forman cristales muy grandes, ya no se ejecutan bien los procesos correspondientes, con lo que se pierde la reversibilidad, por esto se dice que la batería se ha sulfatado.

1.3.5.2 Baterías de Níquel – Cadmio

Estas baterías se componen de un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de Cadmio y un electrolito de hidróxido de potasio. Entregan mayor fiabilidad que las de Plomo-Ácido, ya que no sufren de fallas repentinas, además soportan grandes temperaturas de funcionamiento, baja resistencia interna y admiten

sobrecargas, es decir, que no tienen problemas al ser cargadas más tiempo del necesario, ya que adquieren carga, pero no la almacenan. Sin embargo, en la actualidad no posee gran utilidad en la industria automovilística debido a la alta toxicidad del cadmio, usado en la reacción química. También tienen un elevado efecto memoria por lo que, si no se realizan correctamente los ciclos de carga y descarga, pueden presentar pérdidas de capacidad considerables, además son sensibles a las altas temperaturas, por lo cual ya han sido reemplazadas.

1.3.5.3 Baterías de Níquel - Hidruro Metálico

Este tipo de batería recargable utiliza un ánodo de Oxihidróxido de níquel (NiOOH) y un cátodo de una aleación de hidruro metálico, lo que permite eliminar la necesidad de usar Cadmio en las baterías. Como desventajas, este tipo de baterías no aguanta las fuertes descargas, se ve afectada por las altas temperaturas y por las sobrecargas. También poseen problemas de efecto memoria, pero de todas maneras en un menor porcentaje que las de Ni-Cd^{xii}.

1.3.5.4 Baterías ZEBRA

Las baterías de sodio-cloruro de nitrato, también conocidas como ZEBRA se fabrican a partir de cloruro de sodio, cerámica y níquel, el cátodo puede ser de níquel y el ánodo de sodio. Una de sus principales características es que trabajan a altas temperaturas entre 270 y 350°C, estas temperaturas son apropiadas para mantener el electrolito de sal líquido y lograr tener una buena durabilidad, pero por otra parte estas altas temperaturas afectan a la seguridad, ya que las baterías están propensas a la inflamabilidad y al sobrecalentamiento. Otro inconveniente de estas baterías es que necesitan energía eléctrica para mantener las temperaturas adecuadas para el correcto funcionamiento, lo cual genera un consumo de la batería. También se ven afectadas al no darle uso, ya que presentan pérdidas térmicas y se descargan con el pasar de los días, y luego para volver a utilizarlas se deben calentar mediante energía de una red eléctrica.

1.3.5.5 Baterías de Ion – Litio (Li-Ion)

Las baterías de Ion Litio se componen por un electrolito de sal de litio, el cual es el elemento principal para la reacción de estas baterías, poseen un ánodo de grafito, base de carbono o Ion-titanato, por su parte el cátodo puede ser de ion-manganeso, fosfato de hierro, trifilina u óxido de cobalto. La utilización de nuevos materiales como el litio, ha hecho posible conseguir altas energías específicas, altas eficiencias y lograr disminuir la toxicidad medioambiental. La batería de tracción que incorpora el Renault Fluence Z.E, es de Ion Litio y Manganeso, la cual posee una capacidad de 22 kWh y genera un voltaje nominal de 400 V.

Estas baterías permiten que hoy en día un vehículo eléctrico tenga rangos de recorridos y aceleraciones comparables con las de un vehículo convencional. Las baterías de Ion litio incorporan mejoras considerables en cuanto a las cargas y descargas, ya que no tienen problemas con el efecto memoria. Pero a pesar de sus variadas ventajas sobre las otras baterías, también tienen inconvenientes como el sobrecalentamiento, pues a altas temperaturas comienzan a perder eficiencia, además poseen un alto costo de producción, lo que genera que el vehículo tenga un precio más elevado de adquisición.

Actualmente este tipo de baterías son las más utilizadas y presentan un avance considerable, por lo cual cada vez hay más compañías que estudian y trabajan en la innovación de esta tecnología, debido al gran uso de esta alternativa, se van reduciendo cada vez más los costos de producción y de adquisición ^{xiii}

Tabla comparativa de baterías

Tipo	Energía específica Wh/Kg	Potencia específica W/Kg	Rendimiento %	Ciclo de vida (carga/descarga)	coste estimado \$/kWh
Pb-ácido	35-50	150-400	80	300-500	85.000-127.000
Ni-Cd	30-60	100-150	75	1000-2000	212.000-300.000
Ni-MH	60-90	200-300	70	1000-2000	255.000-300.000
Na-Cl	90-120	130-160	80	1000	215.000-300.000
Li-ión	100-200	200-300	>90	2000	255.000-510.000

Tabla 1-1. Comparación de baterías.

Fuente: Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Mc Graw Hill, Segunda edición en español)

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE PRUEBAS DE ENSAYO

2.1 METODOLOGÍA DE PRUEBAS

En este capítulo se describen los procedimientos y elementos utilizados para realizar las diversas pruebas de ensayos en el Freno dinámico de rodillos FPS 2700/5500, se explica cómo llevar a cabo los ciclos de conducción NEDC y WLTP, los cuales se establecen como normas de homologación de vehículos ligeros, con el fin de poder conocer los valores de emisiones, consumos de combustible o energía eléctrica, además de la autonomía en los vehículos eléctricos, para poder ser comercializados en el mercado automotriz con su respectivo etiquetado vehicular. Dichos ciclos tienen un protocolo a seguir, donde existen diversas velocidades, tiempos de paradas, distancias de recorridos y aceleraciones.

Se realizan las respectivas pruebas de ensayos para medir el consumo de corriente en las fases del motor eléctrico, a través de un analizador de redes. Con los valores obtenidos se pueden realizar los cálculos para obtener la autonomía del vehículo Renault Fluence Z.E de la Universidad Santa María. También se da a conocer cómo se llevaron a cabo los ensayos de potencias, donde se realizó Medición de Potencia Continua, logrando obtener los valores de Pot. a la rueda, Pot. de arrastre y Pot. del motor, conociendo la gráfica de las curvas en el Banco de pruebas. Es esencial saber dónde se indican las normas de seguridad y de operación del Freno dinámico de rodillos, lo cual es fundamental para poder llevar a cabo de forma correcta las pruebas de ensayo.



Figura 2-1. Renault Fluence Z.E sobre el Freno dinámico de Rodillos

Fuente: Imagen propia tomada al momento de realizar los Ensayos.

2.2 NORMAS DE USO Y SEGURIDAD DEL FRENO DINANOMÉTRICO DE RODILLOS

Las indicaciones de uso y seguridad previenen los peligros y daños que se pueden producir al utilizar el banco de pruebas, estos pueden ser materiales o físicos. Por esto es fundamental conocer las indicaciones del respectivo manual de usuario, además es responsabilidad de cada operador cumplir con las instrucciones del fabricante y de informarse de las nuevas medidas que se van implementando, estas indicaciones de seguridad se encuentran específicamente en el manual del Banco de ensayo de Potencia FPS 2700/5500.

2.3 NORMAS DE HOMOLOGACIÓN NEDC Y WLTP

La homologación es la certificación según una serie de pruebas que se realizan para que los productos se adapten a la reglamentación técnica establecida. La homologación vehicular, consiste en el análisis técnico de los vehículos motorizados livianos, medianos y motocicletas, la cual es realizada por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, por medio del 3CV (Centro de Control y Certificación Vehicular). El 3CV por cada modelo aprobado a través de este procedimiento, emite un certificado de homologación donde se indica el modelo y las principales especificaciones del vehículo, teniendo validez mientras no cambie el prototipo presentado^{xiv}.

- Norma de homologación NEDC:

Conocido como nuevo ciclo de homologación Europeo (NEDC), el cual fue firmado en la década de 1980 y se implementó a mediados de 1990^{xv}. Este ciclo fue por mucho tiempo el único método de referencia para poder comparar información homologada de diversos automóviles, dicha información es obtenida mediante un ensayo donde se realizan una serie de pruebas para simular las condiciones a las que se somete un vehículo durante su conducción real. Sin embargo, comúnmente los valores obtenidos con este ciclo no se acercan a los reales, esto debido a la poca exigencia de operación, ya que los motores trabajan muy por debajo de su máxima capacidad. Además, este ciclo se realiza con todas las cargas auxiliares apagadas (aire acondicionado, calefacción, entre otros).

- Norma de homologación WLTP:

La Unión Europea diseñó y desarrolló esta nueva norma de homologación, llamada Procedimientos Mundialmente Armonizados para Pruebas de Vehículos Ligeros (WLTP), la que en primera instancia se utilizó por la Unión Europea, India y Japón, y que luego será utilizado por otros países como Estados Unidos, Corea del Sur y Rusia. Está basada en una encuesta realizada a nivel mundial para conseguir perfiles reales de conducción y ser una norma de homologación global. Entró en vigor en septiembre del 2017 solo para los modelos nuevos, luego en el año 2018 para todos aquellos vehículos nuevos y a partir del 2019 los valores de todos los vehículos ligeros se comenzaron a medir según este protocolo y durante el 2020 la Comisión Europea adaptó sus objetivos basados en el NEDC a lo estipulado por el WLTP con rigor comparable. El WLTP se establece con el fin de obtener valores más cercanos a los obtenidos en una conducción cotidiana, los que puedan ser comparables en todo el mundo. El nuevo protocolo de homologación se complementa con una prueba de emisiones en situaciones de conducción real (RDE), a través de un equipo de medición llamado Sistema de medición de emisiones portátil (PEMS). En nuestro caso, al ser un vehículo que no emite emisiones durante su conducción no aplica.

2.4 CICLOS DE CONDUCCIÓN

Las especificaciones y la información sobre las prestaciones de los vehículos vienen homologadas por los resultados obtenidos en pruebas realizadas sobre un Freno dinamométrico de rodillos, donde se someten a diversas condiciones de aceleración, desaceleración y paradas. Con esto, se busca medir las emisiones contaminantes en los vehículos convencionales, el consumo energético y la autonomía de los vehículos eléctricos, gracias a estas pruebas se pueden realizar comparaciones de valores homologados de diversas marcas de vehículos.

- **Ciclos de conducción NEDC y WLTP**

	Ciclo NEDC	Ciclo WLTP
Distancia recorrida	11 km	23,25 km
Tiempo de duración	20 min	30 min
Velocidad Máxima	120 km/h	131 km/h
Velocidad Media	34 km/h	46 km/h
Potencia	34 kW (45,5 CV)	47 kW (65 CV)
Fases	Urbano, extraurbano y mixto	Velocidad baja, media, alta y extra alta
Recorrido interurbano	34 %	48 %
Recorrido urbano	66 %	52 %
Tiempo detenido	25 % (4 min y 55 s)	13 % (3 min y 54 s)
Influencia del equipamiento opcional	No toma en cuenta el consumo de accesorios	Toma en cuenta el consumo de accesorios

Tabla 2-1. Comparación de los ciclos de conducción NEDC y WLTP.

Fuente: <https://www.actualidadmotor.com/nedc-wltp-calcular-consumo-cocche/>

- **Los instrumentos utilizados para llevar a cabo las pruebas realizadas son:**

- **Analizador de redes AMEC modelo 8336:** Es un instrumento que permite medir parámetros de un sistema eléctrico, utilizado para el diagnóstico y análisis de datos. En este trabajo se utiliza específicamente para medir los valores de corriente de las tres fases del motor eléctrico en el vehículo Renault Fluence Z.E (Precisión $\pm 1\%$)^{xvi}.

- **Freno dinamométrico de rodillos / Banco de ensayo de Potencia FPS 2700/5500:** Es un instrumento de medición que permite realizar pruebas de ensayos en un vehículo, donde se pueden conocer los valores de potencias y torque del motor, además es utilizado para obtener los valores homologados de los vehículos, como la emisión de gases y consumos de energía.

En nuestro trabajo se llevaron a cabo los ensayos de conducción NEDC y WLTP, mediante la prueba ‘Simulación de Marcha’, por otra parte, se realizó el ensayo de ‘Medición Continua’, con el fin de obtener los valores de Potencia motor del Vehículo Renault Fluence Z.E.

- **Pruebas de ensayos realizadas en el Freno dinamométrico de rodillos**

- A continuación, se describe la metodología de las pruebas de ensayos realizadas en el vehículo Renault Fluence Z.E, a través del Freno dinamométrico de rodillos MAHA. Se dan a conocer las mediciones y los cálculos realizados según los valores medidos por el analizador de redes, para obtener el consumo de energía del V.E en los ciclos de conducción estudiados en este trabajo. También se indica el procedimiento del ensayo de Medición de Potencia Continua, donde se conocen los valores de Potencias obtenidos por el Dyno y las gráficas de las curvas Potencias (P. Motor, P. a la rueda, P. de arrastre), además de las Potencias obtenidas según los datos medidos por el analizador, esto con el fin de poder analizar y comparar las gráficas de las curvas de Potencias del motor.

- **Mediciones para obtener el consumo de energía eléctrica:**

En el siguiente esquema, se demuestra el funcionamiento simplificado y los componentes principales del tren de potencia del vehículo eléctrico, se puede observar en qué parte del circuito eléctrico se instalaron las pinzas amperimétricas (inducción) del analizador, para poder medir la corriente eléctrica (AC) en las tres fases del Motor Generador (M.G).

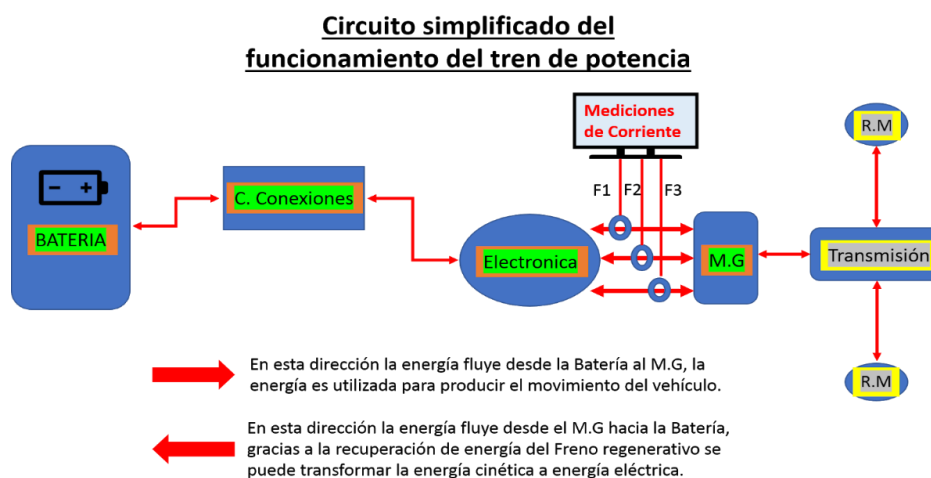


Figura 2-2. Esquema representativo de la medición de corriente AC.

Fuente: Imagen propia creada según el funcionamiento y mediciones realizadas

⇒ En la figura 2-3, se puede observar el Grupo Motopropulsor del Renault Fluence Z.E, donde se encuentra el Motor-Reductor, el Conjunto del Convertidor (Bloque Electrónico) y en la parte superior la Caja de Conexiones. Se demuestra en que parte de las tres fases del M.G se posicionaron las pinzas de inducción, con el fin de medir la corriente alterna (AC) del motor, mediante el Analizador de redes, como se demuestra en la siguiente figura:

Grupo Motopropulsor: Mediciones realizadas

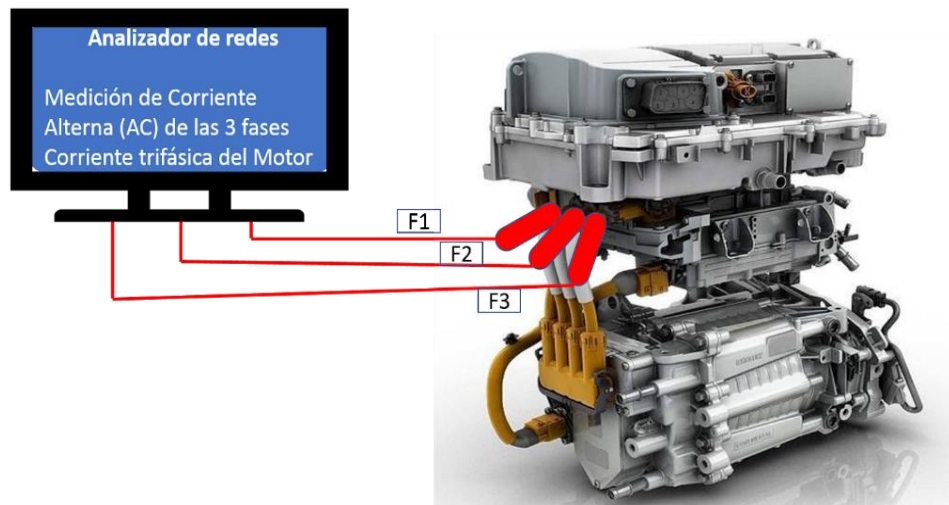


Figura 2-3. Grupo Motopropulsor del Renault Fluence Z.E

Fuente: Manual "Curso de formación Fluence Z.E"

- Simulación de marcha

La simulación de marcha es un ciclo en el cual se simula la conducción en carretera, en un trayecto plano y sin viento, se lleva a cabo sobre el Banco de pruebas, Freno dinamométrico de rodillos (Dyno). Al ingresar en el menú del software se debe seleccionar 'Simulación de marcha', en este ensayo se consideran los componentes de la fuerza de tracción, como la resistencia a la rodadura, resistencia del aire y porcentajes de masa del vehículo. Los coeficientes utilizados se obtienen según los siguientes datos:

- Masa del vehículo = 1543 kg
- Área = 2,285106 m²
- Gravedad (g) = 9,81 m/s²
- Velocidad = 25 m/s
- $\mu_r = 0,012$ (-)
- $c_w = 0,33$

- Los valores de los coeficientes utilizados en las pruebas de ensayos son:

- Coef. de resistencia a la rodadura (Coef. A) = 4,541049
- Coef. de resistencia del aire (Coef. C) = 7,423024

2.4.1 Prueba de ensayo ciclo de conducción NEDC

Este ciclo de conducción se divide en dos partes, en la primera parte llamada UDC, es donde se simula la conducción de tráfico urbano, se caracteriza por la baja carga del motor y por tener velocidades máximas de 50 km/h, posee una duración de 3 min y 20 s, que se repite 4 veces seguidas, en total se recorren cerca de 4,5 km a una velocidad media de 19 km/h^{xvii}. En la segunda parte, se representa la circulación con tráfico extraurbano, donde se simula la conducción en carretera (EUDC), esta fase tiene una duración de 6 min y 40 s, en la cual se alcanzan velocidades máximas entre 100 y 120 km/h, donde se recorren cerca de 7 km de distancia. La distancia total recorrida en el ciclo NEDC es de 11 km.

En el gráfico 2-1, se muestra el ciclo NEDC combinado. En el eje vertical se indica la velocidad del vehículo en km/h, en el eje horizontal se indica el tiempo en segundos (s).

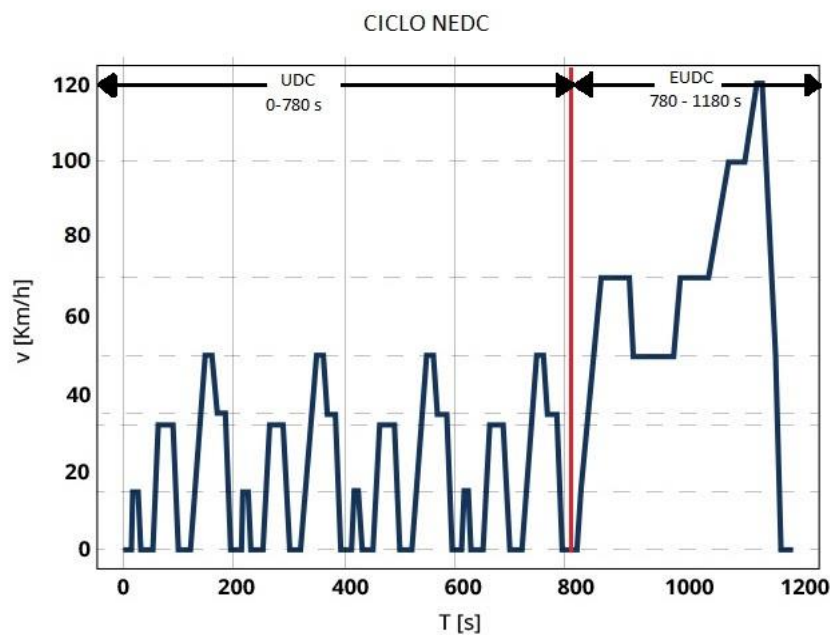


Gráfico 2-1. Ciclo de homologación NEDC.

Fuente: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16499/1/CD-7176.pdf>

⇒ **A continuación, se describe el procedimiento de ensayo del ciclo NEDC:**

- En primer lugar, se procede a conectar las pinzas inductivas del analizador en las tres fases del motor, lo cual complica bastante porque el conjunto del motor viene muy protegido, principalmente por el soporte del Grupo Motopropulsor. Sin embargo, se logró ubicarlas en la entrada de las tres fases del motor eléctrico.
- Luego se enciende el sistema computacional del Banco de pruebas, el cual va conectado a 220 V AC, además se enciende el compresor de aire que permite el accionamiento de la plataforma del rodillo.
- Se debe programar el analizador, seleccionando el intervalo de tiempo y los valores a medir, en este caso los valores de corriente (AC) de las tres fases del motor eléctrico, se selecciona la hora de inicio y término de la grabación.
- Se debe subir el vehículo al Freno dinamométrico, para esto es necesario levantar la plataforma, introduciendo en el sistema computacional F3 ↑ (arriba). Al tener el vehículo correctamente posicionado se baja la plataforma con F3 ↓ (abajo).
- Luego se comprueba que la batería de alta tensión del vehículo esté completamente cargada, además se verifican los niveles de los refrigerantes.
- Se posiciona el ventilador eléctrico en la parte delantera del vehículo, el cual va enchufado a la corriente alterna trifásica de 380 V.
- Posteriormente, se debe acelerar el vehículo para hacer girar las ruedas motrices, con el fin que los neumáticos se asienten a los rodillos. Luego, se procede a fijar el vehículo tanto de la parte delantera como trasera mediante eslingas y cadenas.
- A continuación, se selecciona en el software el ensayo a realizar, donde se debe ingresar a 'Simulación de marcha' y luego introducir los valores de los coeficientes, Coef. A (4,541049) y Coef. C (7,423024). Posteriormente, presionar 'Cargar' y seleccionar el ciclo de conducción NEDC modificado.
- Al momento de iniciar el ensayo el conductor debe comenzar a grabar con una cámara la pantalla del cursor (Software del Banco de pruebas) junto con la del analizador de redes, ambas posicionadas al interior del vehículo.
- Durante todo el ensayo, el conductor debe seguir el cursor lo más correcto posible, controlando el pedal del acelerador y el del freno, para cumplir bien con las aceleraciones y frenadas requeridas en el ciclo de conducción.
- Una vez finalizado el ciclo, se verifica el porcentaje de batería, para esto se debe conectar el cargador del vehículo el cual va conectado a 220 V (AC), y esperar que se indique en el tablero de instrumentos el porcentaje de batería restante.
- A continuación, se realizan todos los ciclos de conducción NEDC posibles hasta descargar la batería, registrando su porcentaje al finalizar cada uno de los ciclos.

⇒ Cabe mencionar, que el vehículo tenía 37% de batería, se detuvo 1,5 horas y luego al momento de volver aumentó a un 39%.

⇒ Después de 10,8 ciclos NEDC se agotó por completo la batería del vehículo, luego tuvimos que bajar el vehículo del banco de pruebas y empujarlo hacia el taller de Mecánica Automotriz.

- Finalmente se exportan a Excel los valores de corriente obtenidos por el analizador de redes, para poder analizar los valores medidos.
- Luego, con los datos medidos se procede a calcular las potencias obtenidas, para conocer el consumo de energía del Renault Fluence Z.E en cada uno de los ciclos NEDC. Posteriormente, con los resultados se calculan los consumos totales y se obtiene la autonomía total que entregó el vehículo eléctrico.

- **Mediciones y cálculos del ciclo de conducción NEDC**

⇒ En los cálculos realizados debido a que no se cuenta con los instrumentos necesarios para medir el voltaje (voltímetro por inducción), y sabiendo que la batería tiene un valor nominal de 400 V, para realizar los cálculos se utilizó el valor de 380 V. Para realizar los cálculos se asume este valor puesto que fue el más indicado y el sugerido por los profesores de electricidad.

⇒ La densidad del aire (ρ aire) indicada en Viña del Mar el día que se realizó la prueba de ensayo es 1,26 kg/m³

⇒ Para realizar los cálculos de nuestro trabajo, se utiliza un Factor de potencia de 0,7. Este valor es el sugerido por los Profesores del Dpto. de Electricidad, (Profesor Javier Eguren).

Cálculos realizados para obtener el consumo eléctrico

En primera instancia, se midieron los valores de corriente (A) de las tres fases del motor eléctrico durante todos los ciclos NEDC realizados, estos valores fueron medidos por el analizador de redes que nos facilitó el Departamento de Electricidad. Con la ayuda del Profesor Javier Eguren se logró medir la corriente (AC) que ingresa al motor eléctrico. Con los datos obtenidos, en Excel realizamos los siguientes cálculos:

- **Fórmula general: Potencias real por ciclo NEDC**

$$P. \text{ real x ciclo: } P. \text{ real (kW)} = \sum_{i=1}^{1180} \left((A_i \cdot V_i \cdot \sqrt{3} \cdot 0,7) / 1000 \right)$$

⇒ **Donde tenemos:** $V = 380 \text{ V}$; $\sqrt{3} = 1,73$; $F.d.p = 0,7$; $\text{Tiempo (s)} = 1180 \text{ (s)}$

Según las mediciones realizadas, con los valores de corriente (AC) medidos por el analizador, se obtienen las corrientes de las tres fases del motor. Sin embargo, los valores de la 3ra fase se consideran demasiado altos, ya que, comúnmente era el doble y el triple respecto a las otras fases. Como explicación se encontró en el Manual del Fluence Z.E, que a través de la 3ra fase se alimenta el rotor del motor eléctrico. A pesar de esto, ya que no se encuentran mayores explicaciones y porque se consideran valores muy diferentes, lo cual no es normal para el funcionamiento del motor. Se decide realizar los cálculos en base a la medición de la 1ra y 2da fase y con el promedio de las dos se obtuvo la 3ra fase, de esta forma se realizan los respectivos cálculos del trabajo.

- La Potencia aparente, es la Potencia total en corriente alterna (AC), esta potencia es compleja, ya que se mezcla una parte real y una parte imaginaria, su unidad (VA).
- Lo primero que se debe calcular es la Pot. aparente, para lo cual se utilizan los valores de corriente medidos (A), estos se deben multiplicar por el voltaje (380 V) y por la raíz de tres (1,73), el resultado nos entrega la Potencia aparente (VA) del motor eléctrico trifásico. Como se demuestra a continuación.

$$P. \text{ aparente x ciclo (VA)} = \sum_{i=1}^{1180} (A_i \cdot V_i \cdot \sqrt{3})$$

$$P. \text{ Aparente (VA)} = \sum (\text{Corriente (Ai)} * 380 \text{ (V)} * 1,73) = 34618115,3 \text{ (VA)}$$

- La Potencia real también conocida como Potencia activa, es la potencia que se transforma en trabajo, se mide en cargas resistivas y su unidad es Watt (W).
- Para calcular la Potencia real, es necesario utilizar el Factor de potencia (F.d.p) que en nuestro caso el valor utilizado es = 0.7.

$$\text{Potencia real (W)} = \text{Potencia aparente (VA)} * \text{F.d.p (0,7)}$$

$$\text{Pot. real (W)} = 34618115,3 \text{ (VA)} * 0,7 = 24232680,7 \text{ (W)}$$

$$\text{Pot. real (kW)} = 24232680,7 \text{ (W)} / 1000 = 24232,68 \text{ (kW)}$$

- **Gráfico de la Potencia eléctrica según los datos medidos por el analizador:**

- En el siguiente gráfico, se puede observar la Potencia (W) v/s el Tiempo (s) de uno de los ciclos NEDC realizados, la Potencia medida representa la Potencia instantánea consumida por el motor eléctrico.

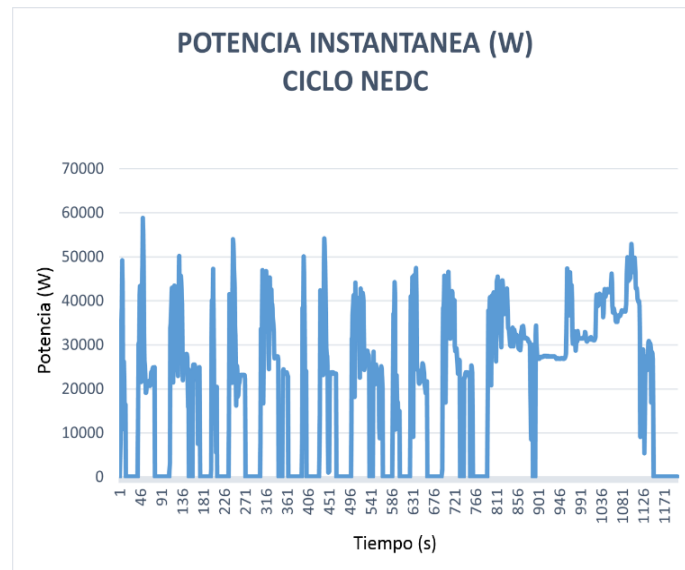


Gráfico 2-2. Potencia instantánea obtenida con los datos del analizador.

Fuente: Gráfico propio según los cálculos de Potencia aparente (A)

- A continuación, se realizan los cálculos para obtener el consumo de energía

Debido a que los datos obtenidos están medidos segundo a segundo, con la suma de los valores de Potencias se obtiene el consumo de energía, es decir, al sumar las potencias (kW) se conoce el consumo energético en kW·s de un ciclo NEDC, a través de la siguiente fórmula:

$$P. \text{ real (kW)} = \sum_{i=1}^{1180} \left((A_i \cdot V_i \cdot \sqrt{3} \cdot 0,7) / 1000 \right)$$

- Suma P. real (kW·s) = 24232,68 (kW·s)
- Consumo de energía eléctrica (kW·s) = 24232,68 (kW·s)
- El resultado anterior se divide en 3600, y se obtiene el Consumo en kWh
- Consumo de energía eléctrica (kWh) = 24232,68 (kW·s) / 3600 (s)
- Consumo de energía eléctrica (kWh) = 6,73 (kWh)

⇒ Luego, para obtener el consumo energético real es necesario conocer el valor de energía recuperado por el Freno Regenerativo (F.R), el cual funciona en los momentos en que el vehículo se encuentra en retención y en desaceleración. Según lo anterior, se logró obtener la energía total enviada desde el Motor Generador a la Batería de alta tensión:

- Energía del F.R “Desde el M.G a la Batería” (kWh) = 0,64 (kWh)
- Consumo real (kWh) = Consumo de energía (kWh) - Energía F.R (kWh)
- Consumo real del Ciclo 1 (kWh) = 6,73 (kWh) - 0,64 (kWh) = 6,09 (kWh)

Resultados de todos los ciclos NEDC realizados

Ciclos	Consumo (kWh)	Energía Regenerada por el F.R (kWh)	Consumo Real sin el F.R (kWh)
N°1	6,73 (kWh)	0,64 (kWh)	6,09 (kWh)
N°2	6,66 (kWh)	0,63 (kWh)	6,02 (kWh)
N°3	6,60 (kWh)	0,58 (kWh)	6,02 (kWh)
N°4	6,67 (kWh)	0,59 (kWh)	6,08 (kWh)
N°5	6,63 (kWh)	0,62 (kWh)	6,01 (kWh)
N°6	6,62 (kWh)	0,65 (kWh)	5,97 (kWh)
N°7	6,58 (kWh)	0,67 (kWh)	5,91 (kWh)
N°8	6,66 (kWh)	0,63 (kWh)	6,03 (kWh)
N°9	6,63 (kWh)	0,62 (kWh)	6,01 (kWh)

N°10	6,58 (kWh)	0,67 (kWh)	5,91 (kWh)
N°11	5,18 (kWh)	0,55 (kWh)	4,63 (kWh)

Tabla 2-2. Resultados de todos los ciclos NEDC realizados.

Fuente: Tabla propia creada con los resultados obtenidos

- Luego de 10,8 ciclos NEDC, el vehículo consume por completo la energía almacenada en la batería de tracción, lo cual nos indica que el V-E estuvo en funcionamiento app. 3,5 horas, este se considera como el tiempo total (h).

Resultados finales del consumo eléctrico y de la autonomía del Vehículo Renault Fluence Z.E (Ciclo NEDC)

- **Consumo total del vehículo Renault Fluence Z.E según ciclo NEDC**

Con los resultados de la tabla anterior, se pueden obtener los consumos totales y rendimientos del vehículo eléctrico. Calculando el promedio de los consumos reales por ciclo, en donde se utilizaron los valores del ciclo 1 al ciclo 10, ya que el ciclo 11 no se alcanzó a terminar y tomando en cuenta el tiempo total que el vehículo estuvo en funcionamiento. Los cálculos realizados son:

- Prom. Consumos reales ciclos NEDC (kWh) = 6,0 (kWh)
- Consumo total (kWh) = Prom. consumos reales (kWh) * Tiempo total (h)
- **Consumo total (kWh) = 6,0 (kWh) * 3,5 (h) = 21 (kWh)**

Sabiendo que se recorren aproximadamente 11 km en un ciclo de conducción NEDC, y tomando en cuenta el número de ciclos realizados hasta agotar por completo la batería, se logra conocer los kilómetros totales recorridos.

- Autonomía Renault Fluence Z.E (km) = Ciclos totales * km x ciclo (km)
- **Autonomía Renault Fluence Z.E (km) = 10,8 * 11 (km) = 118,8 (km)**
- Con los valores anteriores, se puede obtener el rendimiento en km/kWh:
 - Rendimiento (km/kWh) = km totales recorridos (km) / Consumo total (kWh)
 - Rendimiento (km/kWh) = 118,8 (km) / 21 (kWh) = 5,66 (km/kWh)
 - Consumo (kWh/100 km) = 100 (km) / 5,66 (km/kWh)
 - **Consumo kWh/100 km = 17,67 (kWh/100 km)**

El valor anterior obtenido según las mediciones realizadas, indica que el vehículo Renault Fluence Z.E consumió 17,67 kWh en 100 km recorridos.

- **Resultados finales del consumo eléctrico Renault Fluence Z.E (Ciclo NEDC).**

Renault Fluence Z.E	Fórmula	Resultados
Autonomía (km)	$\text{km} = 11 * 10,8$	118,8 (km)
Consumo total (kWh)	$(\text{kWh}) = 6,0 * 3,5$	21 (kWh)
Rendimiento en km/kWh	$\text{km/kWh} = 118,8 / 21$	5,66 (km/kWh)
Consumo en kWh/100 km	$\text{kWh}/100 \text{ km} = 100 / 5,66$	17,67 (kWh/100 km)

*Tabla 2-3. Resultados de los consumos totales ciclo de conducción NEDC.
Fuente: Tabla propia creada con los resultados obtenidos.*

2.4.2 Prueba de ensayo ciclo de conducción WLTP

El procedimiento WLTP en laboratorio se divide en cuatro fases, que son realizadas a diferentes velocidades: velocidad baja (589 s), media (433 s), alta (455 s) y extra alta (323 s): ciclo completo (1800 s). En cada una de ellas existen diversas fases de conducción, con aceleración, frenadas y paradas, las que se llevan a cabo con diferentes grados de frecuencia e intensidad. Los vehículos sometidos al WLTP poseen un mayor consumo energético, debido a la conducción más exigida y agresiva a la que se somete el vehículo, además toma en cuenta el consumo del aire acondicionado y la calefacción^{xviii}. Sin embargo, esto permite obtener valores más reales y cercanos a los obtenidos en una conducción cotidiana.

El WLTP incluye 3 ciclos (WLTC) de prueba aplicables a las categorías de vehículos de diferente relación potencia/masa (PWR), donde el PWR se define como potencia nominal (W) / masa en vacío (kg). Las definiciones de estos también dependen de las velocidades máximas de los vehículos, según lo indicado por los fabricantes. Los ciclos WLTC son: Ciclo clase 1 (vehículos de baja potencia con $\text{PWR} \leq 22$); Ciclo clase 2 (vehículos con $\text{PWR} \leq 34$); y el Ciclo clase 3 (vehículos de alta potencia con $\text{PWR} > 34$). La mayoría de los vehículos actuales tienen relaciones de potencia-masa entre 40 y 70 PWR, por lo cual pertenecen al Ciclo Clase 3, que es el utilizado en nuestros ensayos.

En la figura 2-3, se puede visualizar el ciclo WLTP, en el eje horizontal se indica el tiempo (s), mientras que en el eje vertical se indica la velocidad del vehículo (km/h).

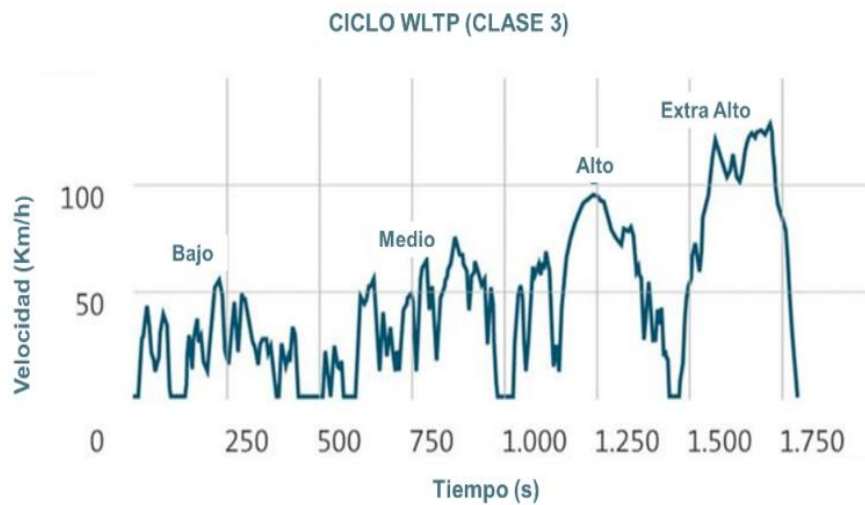


Gráfico 2-3. Ciclo WLTC Clase 3.

Fuente: <https://www.vwcanarias.com/es/posventa/informacion-util/wltp.html>

⇒ A continuación, se describe el procedimiento para realizar el ciclo WLTP

- Para realizar el ciclo WLTC Clase 3 se deben seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, se deben conectar las pinzas inductivas del analizador de redes en las tres fases del motor eléctrico.
- Se procede a encender el sistema computacional del banco de pruebas, que va conectado a 220 V (AC), además se debe encender el compresor de aire.
- Posteriormente se procede a ubicar el vehículo sobre los rodillos, para lo cual se debe subir la plataforma presionando F3 ↑ (arriba) y una vez posicionado se debe bajar la plataforma presionando F3 ↓ (abajo).
- Se verifica el estado del vehículo eléctrico, comprobando que la batería de alta tensión esté completamente cargada y verificando los niveles de refrigerantes.
- Se programa el analizador para medir la corriente (AC) en cada una de las fases del motor, se selecciona el intervalo de tiempo y duración de la grabación.
- Posteriormente, se acelera el vehículo con el fin que los neumáticos se asienten a los rodillos, se procede a sujetar el vehículo mediante eslingas y cadenas.
- A continuación, en el software se selecciona el ensayo ‘Simulación de Marcha’, luego se deben ingresar los coeficientes A y C obtenidos según las dimensiones, aerodinámica y masa del vehículo.

- Se debe presionar ‘Cargar’ y luego seleccionar el ciclo WLTP Clase 3, que es el nuevo ciclo de conducción que se encuentra habilitado en el Banco de pruebas. Los accesorios como el aire acondicionado y la calefacción se deben mantener encendidos durante todo el ensayo.
- Al iniciar el ciclo, el conductor debe comenzar a grabar la pantalla del Software junto con la del analizador, durante todo el ensayo se debe seguir lo más correcto posible el cursor, controlando con precisión el pedal del acelerador y el del freno.
- Luego, al finalizar el ciclo, se puede observar en la pantalla del Software el ciclo WLTP ya realizado. En nuestro trabajo realizamos la prueba de ensayo, tal cual como se describió anteriormente, pero las mediciones realizadas con el analizador no fueron correctas, por lo cual no pudimos realizar los cálculos de consumo para obtener la autonomía del vehículo eléctrico según el ciclo WLTP.

Prueba de ensayo ciclo de conducción WLTP (Clase 3)

El nuevo ciclo de conducción “WLTP” se obtuvo al comunicarse con MAHA Alemania, quienes enviaron dos archivos del nuevo ciclo de homologación WLTP, a través de un correo electrónico. Se instaló y se probó en el Freno dinámico de rodillos MAHA, en este caso el ciclo de conducción utilizado es el Ciclo WLTC Clase 3, ya que el vehículo es capaz de llegar a los 135 km/h. La prueba de ensayo del ciclo de conducción WLTP se llevó a cabo en el Banco de pruebas MAHA, donde se realizaron unos ensayos de “Simulación de marcha” sin consumo de accesorios y otros con los consumos correspondientes. Sin embargo, las mediciones realizadas con el analizador de redes no fueron correctas, los valores obtenidos fueron demasiado bajos e incoherentes para realizar de buena manera los cálculos, por lo cual no se obtienen los valores de consumo eléctrico ni de la autonomía según este ciclo de conducción. Finalmente, no se logra saber el por qué se obtuvieron valores de corriente tan bajos

Si bien, no se realizaron las mediciones de forma correcta para obtener los valores de consumo y autonomía del vehículo eléctrico según el nuevo ciclo de homologación. El ciclo de conducción WLTP se encuentra habilitado en el software como Ciclo WLTC Clase 3, para poder realizar posteriores pruebas de ensayos.

2.5 ENSAYO DE MEDICIÓN DE POTENCIA CONTINUA

- Este ensayo se lleva a cabo con el fin de obtener la Potencia máxima entregada por el motor del vehículo Renault Fluence Z.E, esta medición se realiza en el banco de pruebas, donde el vehículo se somete a máximas aceleraciones. El conductor se encarga de seguir los pasos respectivos para realizar de manera correcta el ensayo. En el software del banco de pruebas, se puede observar que primero se mide la Potencia a la rueda (rodillo), luego cuando el vehículo se encuentra en desaceleración (retención) se mide la Potencia de arrastre (pérdidas). Después, con la suma de ambas potencias se obtienen los valores de Potencia del motor eléctrico, en donde antes de finalizar el ensayo mediante el software se genera la gráfica de las curvas de Potencias (kW) v/s Velocidad (km/h) del Renault Fluence Z.E.

⇒ **A continuación, se indica el procedimiento de la “Medición Continua”:**

- En primera instancia, se conectan las pinzas inductivas del analizador de redes en la entrada de las tres fases del motor, se comprueba que se encuentren en el rango correspondiente, para medir de manera correcta la corriente que circula. Se programa el analizador, donde se selecciona el intervalo de tiempo y duración de la grabación.
- Se procede a encender el sistema computacional del Freno dinamométrico de rodillos, además se comprueba que la batería de alta tensión del vehículo se encuentre completamente cargada.
- Luego, se sube el vehículo al banco de pruebas, para lo cual se debe levantar la plataforma introduciendo F3↑, se posiciona el vehículo y se presiona F3↓ para bajar la plataforma. A continuación, se hacen girar las ruedas para asentar los neumáticos a los rodillos, y se debe fijar el vehículo mediante eslingas y cadenas
- Se procede a seleccionar en “Menú” Medir Potencia del motor, luego, en ‘Medición Continua’ y después se deben ingresar los datos del vehículo, en este caso se debe seleccionar la medición con caja automática.
- Antes de iniciar el ensayo se selecciona ‘Sin sincronización’ de revoluciones, ya que no se saben las r.p.m. Debido a esto no se pudo obtener la curva del Torque.
- Al momento de iniciar la prueba de ensayo, el conductor debe comenzar a grabar la pantalla del sistema computacional del Dyno, junto con la del analizador.

- En primera instancia, se debe acelerar el vehículo hasta la velocidad en la que se inicia la medición (60 km/h), una vez alcanzada esta velocidad la pantalla pasa a color verde (velocímetro del software), lo que indica que comenzó la medición.
- A continuación, se debe pisar a fondo el pedal del acelerador hasta llegar al número máximo de revoluciones que puede alcanzar el vehículo, esto ocurre cuando se acelera hasta los 120 km/h, al mismo tiempo que el vehículo acelera el software comenzará a graficar la potencia a la rueda (rodillo), luego de alcanzar esta velocidad se debe soltar el acelerador.
- Al momento de soltar el acelerador, comienza la prueba de inercia la cual consiste en dejar que el vehículo pierda velocidad solo con el roce de las ruedas en el rodillo, hasta llegar a la velocidad indicada en el software.
- Al disminuir la velocidad hasta los 45 km/h, el programa indica que ahora se vuelva a pisar el acelerador a fondo hasta alcanzar los 133 km/h.
- Cuando el vehículo alcance la velocidad de 133 km/h se deberá soldar el pedal del acelerador, se reduce la velocidad y la palanca de cambio se deja en neutro, en este momento comienza una nueva prueba de inercia. Se puede observar cómo a medida que reduce la velocidad se grafica la curva de potencia de arrastre.
- Al momento de finalizar la prueba de inercia el software entregará la gráfica de Potencia rueda, Potencia de arrastre y con la suma de estas se obtiene la Potencia normal (Pot. Motor), obteniendo la gráfica de potencias (kW) v/s velocidad (km/h). Los valores medidos por el Dyno se exportan a Excel, para poder graficar las curvas de potencias del vehículo Renault Fluence Z.E.

- **Gráfico de curvas de Potencias obtenidas por el Banco de pruebas (DYNO)**

- A continuación, se muestran las Curvas de Potencias (kW) v/s Velocidad (km/h), obtenidas a través de la “Medición de Potencia Continua” en el Renault Fluence Z.E, los valores fueron medidos por el Freno dinamométrico de rodillos (Dyno) y luego fueron exportados a Excel, para obtener el siguiente gráfico. La curva de color anaranjado representa la potencia normal (motor), la curva de color verde hace referencia a la potencia a las ruedas y la curva color azul a la potencia de arrastre.

- Cabe mencionar, que la Pot. Normal representa la Potencia del motor eléctrico.

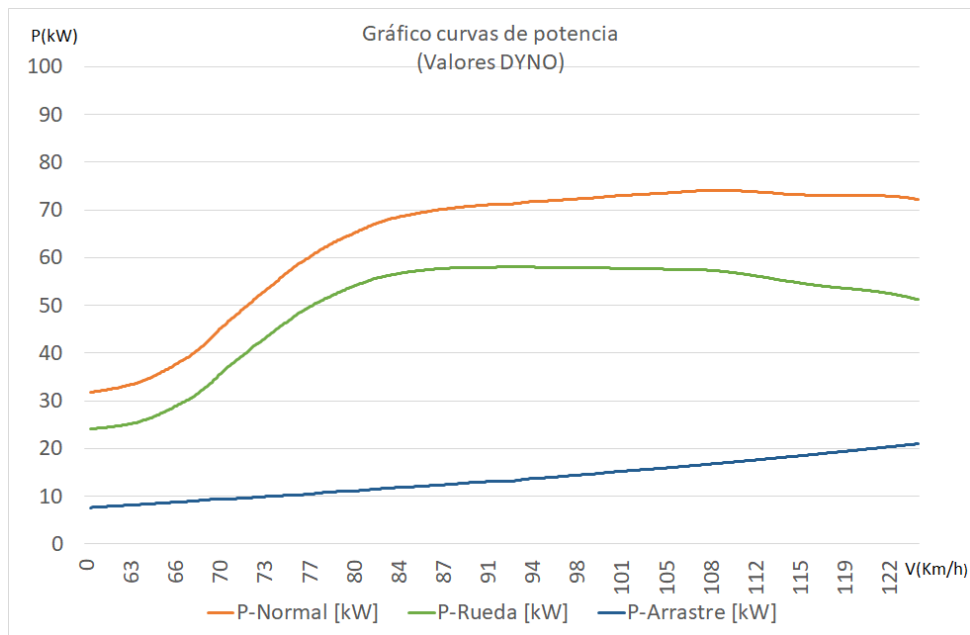


Gráfico 2-4. Curvas de Potencia obtenidas en el Ensayo "Medición Continua".

Fuente: Gráfico propio creado en Excel con los valores de Potencias del DYNO

⇒ La potencia del motor máxima medida por el DYNO = 74,1 kW

- En el momento que se alcanza la potencia máxima del motor (Pot. Normal), los valores de la potencia a la rueda y potencia de arrastre medidos son:
 - Pot. a la rueda (rodillo) = 57,2 (kW)
 - Pot. de arrastre (pérdidas) = 16,8 (kW)

Como se puede ver en el gráfico 2-4, el vehículo eléctrico mantiene una potencia de motor sobre los 70 kW entre las velocidades de 87 y 122 km/h, esto se traduce en que el vehículo tiene buena respuesta al cambio de velocidad entre las velocidades mencionadas. También se puede observar cómo incrementa la potencia del motor (normal) de manera significativa al momento en que se pisa el pedal del acelerador a fondo (60 km/h).

- **Gráfico Potencia eléctrica según las mediciones del Analizado**

- El siguiente gráfico Potencia (kW) v/s Velocidad (km/h), se obtiene con los cálculos realizados según las mediciones de corriente (A) obtenidas por el analizador de redes. En este gráfico, la curva de la Potencia eléctrica representa la Potencia del motor también conocida como Potencia normal.

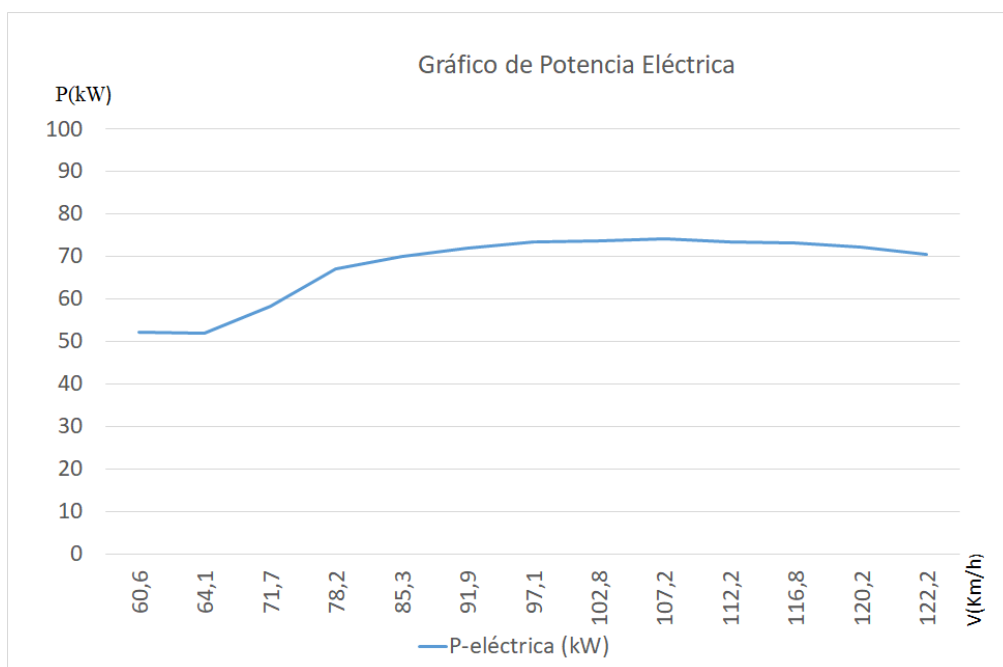


Gráfico 2-5. Potencia eléctrica obtenida según valores medidos por el Analizador.

Fuente: Gráfico creado en Excel con los cálculos de Potencia eléctrica realizados

⇒ **Potencia eléctrica máxima según las mediciones del Analizador = 73,8 kW**

El valor anterior representa la Potencia máxima obtenida según las mediciones realizadas por el analizador de redes (Pot. Eléctrica), el cual es un valor bastante cercano al obtenido por el Freno dinamométrico de rodillos (Pot. Motor). Con estos valores se puede demostrar de forma gráfica que los resultados obtenidos en el ensayo de “Potencia Continua” por ambos instrumentos son similares, siendo relativamente semejantes a los que indica el fabricante

Al comparar los gráficos obtenidos por el banco de pruebas (Dyno) y por el analizador de redes, se puede observar la similitud existente entre ambos resultados obtenidos en la curva de Potencia del Motor, los cuales entregan curvas de Potencias bien semejantes y con valores de máximos cercanos.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN DEL
RENAULT FLUENCE Z.E

3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE ENSAYOS REALIZADAS

3.1.1 Resultados de las pruebas de ensayos de los ciclos NEDC:

Con las mediciones de corriente (AC) realizadas a través del analizador de redes, se calcularon los valores de las potencias para así poder obtener el consumo eléctrico (kWh) durante todo el tiempo de los ciclos realizados. De esta manera, se logra conocer el consumo total y la autonomía del vehículo Renault Fluence Z.E. según el ciclo de homologación NEDC.

⇒ El Consumo eléctrico total hasta agotar por completo la Batería es:

$$\text{Consumo total de energía eléctrica (kWh)} = 21 \text{ (kWh)}$$

El valor anterior representa el consumo total del vehículo Renault Fluence Z.E, durante todos los ciclos NEDC realizados (10,8). El fabricante, indica que posee una batería con una capacidad de 22 (kWh), en nuestro caso al agotar por completo la batería obtuvimos que el Fluence Z.E presentó un consumo total de 21 (kWh). El consumo total calculado mediante las mediciones realizadas nos entrega un valor muy cercano al de la capacidad de la batería, aunque se debe tener presente que dentro del consumo total obtenido se toma en cuenta la energía regenerada por el F.R, por lo cual la capacidad real de la batería nos da un valor menor. Las diferencias presentadas se atribuyen principalmente a la degradación de la batería y a los respectivos errores de medición, ya que el instrumento utilizado no es el más indicado para ello. Sin embargo, los valores medidos están dentro de lo esperado y se consideran aceptables, ya que de cierta manera se acercan a los obtenidos en las pruebas de ensayos y a los indicados por la etiqueta vehicular.

- La autonomía entregada por el Renault Fluence Z.E según el ciclo NEDC, se obtuvo mediante el producto de los ciclos realizados (10,8) y los kilómetros recorridos en cada ciclo (11 km):

$$\text{Autonomía total obtenida (km)} = 118,8 \text{ (km)}$$

El valor anterior representa la autonomía total entregada por el vehículo eléctrico hasta agotar por completo la batería de tracción.

La autonomía que entregó el vehículo Renault Fluence Z.E fue de 118,8 km, este es un valor menor que el calculado según la etiqueta vehicular, sin embargo, se considera un valor correcto, ya que, está dentro del rango esperado e indicado por Derco Center. Los consumos de energía obtenidos son mayores por ende la autonomía es menor, además se debe considerar que la batería del vehículo posee varios años de antigüedad y su capacidad se ve afectada, por lo cual los kilómetros totales recorridos serán menores. Los valores son totalmente válidos y aceptables pudiendo ser comparados con los obtenidos en una conducción cotidiana.

**Tabla comparativa de la etiqueta vehicular y de los resultados obtenidos
(Ciclo de homologación NEDC)**

Renault Fluence Z. E	Valores entregados en la etiqueta vehicular	Valores obtenidos con las mediciones realizadas.	Diferencia porcentual (%)
Rendimiento en km/kWh	7,1 (km/kWh)	5,66 km/kWh	20.3 %
Consumo en kWh/100km	14 (kWh/100km)	17,67 (kWh/100km)	20,8 %
Autonomía total (km)	156,2 km	118,8 km	23.9 %

Tabla 3-1. Comparación de los valores de la etiqueta vehicular con los obtenidos según las mediciones realizadas (Ciclo NEDC).

Fuente: Tabla creada con los valores de la etiqueta vehicular y resultados obtenidos

Las diferencias existentes entre los valores entregados por la etiqueta vehicular y los obtenidos en los ensayos realizados, se atribuyen a errores de medición, puesto que, no se cuenta con los elementos necesarios para realizar mediciones más precisas, otro motivo es el envejecimiento de los componentes del vehículo eléctrico, ya que, este automóvil es un modelo del año 2015, adquirido en el año 2018 por la carrera de Mecánica automotriz, y los ensayos fueron realizados en el año 2020, ósea que los elementos poseen una antigüedad de 5 años al momento de realizar las pruebas, además el vehículo ha estado mucho tiempo en desuso, lo que trae consigo una degradación en la batería de tracción y un aumento de consumo eléctrico, de hecho en una conducción real puede presentar un consumo mayor a 20 kWh/100 km.

Con las mediciones realizadas y los valores obtenidos se cumple el objetivo de poder conocer el consumo eléctrico y obtener la autonomía entregada por el vehículo Renault Fluence Z.E según los consumos de los ciclos NEDC realizados.

3.1.2 Resultados de la “Medición Continua” del vehículo Renault Fluence Z.E

La prueba de ensayo de Potencia Continua permitió conocer las Curvas de Potencias medidas por el Freno dinamométrico de rodillos (DYNO), en donde se obtuvo la Pot. a la rueda, Pot. de arrastre y la Pot normal (Pot. Motor), medidas en el vehículo Renault Fluence Z.E. Los valores de potencias obtenidos según el banco de pruebas, en el momento que se alcanza la máxima Potencia del Motor son los siguientes:

- Potencia máxima del Motor “Pot. Normal” (kW) = 74,1 (kW)
- Potencia máxima a la rueda (kW) = 57,2 (kW)
- Potencia máxima de arrastre (kW) = 16,8 (kW)

Con las mediciones realizadas por el Analizador de redes, se calcularon los valores de potencias, con el fin de poder obtener la potencia eléctrica del motor, durante el ensayo de Medición Continua, con los valores de Potencia real se realizó el gráfico de Potencia eléctrica (kW) v/s Velocidad (km/h), en este caso la curva de potencia obtenida representa la Pot. del Motor (Pot. Normal) medida por el analizador de redes. El valor máximo de la Potencia eléctrica según las mediciones realizadas por el analizador es:

- Potencia Eléctrica máxima medida (kW) = 73,8 (kW)
-

Con los valores obtenidos por ambos instrumentos de medición, se puede realizar una comparación en las curvas de Potencias del motor, se logra apreciar que los gráficos obtenidos por cada instrumento son muy semejantes y los valores máximos de las curvas de Potencias son bastantes cercanos. Las diferencias entre una curva y otra se atribuyen a los errores de calibración y de medición, además que no se cuenta con los instrumentos apropiados para realizar de manera más exacta las mediciones correspondientes.

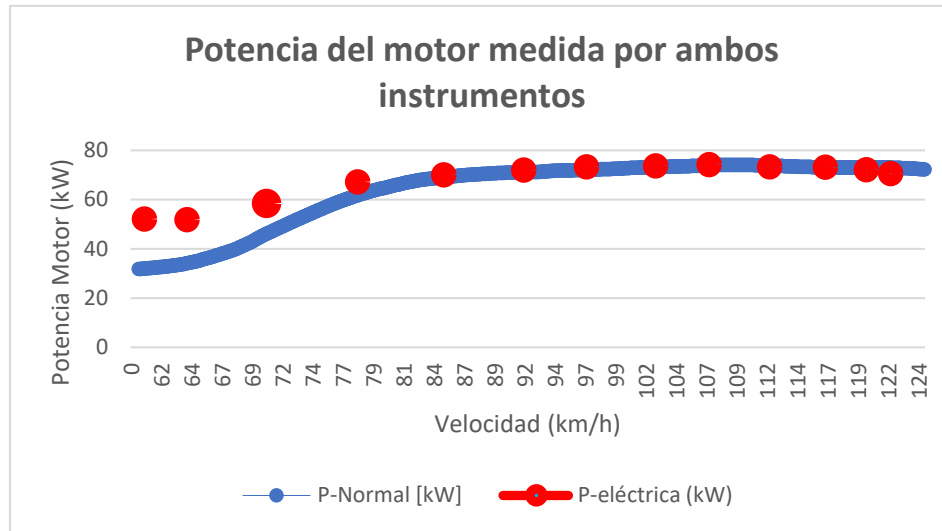


Gráfico 3-1. Curvas de Potencia Motor obtenidas por ambos instrumentos de medición.

Fuente: Gráfico propio creado con los valores medidos en el ensayo de Potencia Continua.

En el gráfico anterior, se puede apreciar la curva de la potencia medida por el Banco de pruebas (P. Normal), la cual en el gráfico se representa de color azul. También se puede observar la curva de potencia obtenida según el analizador de redes (P. Eléctrica), la que se representa con puntos de color rojo. De esta manera, se logra comparar las curvas de Potencias obtenidas por ambos instrumentos durante el ensayo de Medición Continua, las cuales representan la Potencia del motor del Renault Fluence Z.E. Se puede observar que la mayor diferencia existe en las velocidades bajas, donde la potencia obtenida con los datos del analizador de redes, en un comienzo es mucho mayor a la entregada por el Freno dinámico de rodillos, luego se van acercando a los 84 km/h, donde se mantienen semejantes por el resto del gráfico.

En cuanto a la Potencia máxima medida por el Banco de pruebas (74 kW), la cual sobrepasa lo indicado por el fabricante que es 70 (kW), se debe principalmente a que el Freno regenerativo del vehículo eléctrico genera una mayor retención, lo que se refleja en un aumento en la medición de la Pot. de arrastre. Además, se debe mencionar, que el Banco de pruebas con el software que se utilizó para los ensayos no es el indicado para realizar pruebas a vehículos eléctricos, esto se debe a que este Freno dinámico de rodillos MAHA no cuenta con la opción específica para realizar las pruebas sobre vehículos eléctricos, lo cual puede ser un punto muy relevante en cuanto a los valores obtenidos. A pesar de esto, los datos de los gráficos son válidos y aceptables, ya que se comportan de forma esperada y no existe una gran diferencia con los datos entregados por el fabricante.

3.2 COMPARACIÓN DEL RENAULT FLUENCE Z.E CON SU EQUIVALENTE MODELO CONVENCIONAL (1.6 L)

Para realizar la comparación del vehículo Renault Fluence Z.E, es necesario tomar en cuenta sus principales características, lograr reconocer las ventajas y desventajas frente a su equivalente modelo de combustión interna el Renault Fluence 1.6 (Gasolina). Considerando los resultados obtenidos según las mediciones realizadas y teniendo como referencia los valores indicados por sus etiquetas vehiculares, se comparará el consumo de energía eléctrica del Fluence Z.E con el consumo de combustible del Fluence 1.6 MCI, y de esta forma poder conocer de mejor manera la eficiencia de cada vehículo. También se describen los datos más fundamentales para analizar en ambos vehículos, y lograr conocer de forma más detallada las ventajas que presenta cada uno de los vehículos mencionados.

3.2.1 La eficiencia energética

La eficiencia energética se define como la relación entre la energía útil (energía utilizada) y la energía consumida (energía suministrada). Un vehículo es más eficiente, mientras menos energía consume para generar o realizar el mismo trabajo. La eficiencia energética de los motores ciclo Otto es aproximadamente de 25%, por su parte los motores ciclo Diésel pueden llegar a una eficiencia de 30%. Mientras que los motores eléctricos pueden tener una eficiencia entre 90 y 95%^{xix}. Para determinar la eficiencia global de los vehículos, es necesario considerar todas las pérdidas de energía producidas por la generación, transporte y transformación de la energía (combustible o electricidad). Los factores claves para obtener la eficiencia global son los siguientes:

- La eficiencia del transporte de energía desde la fuente al depósito de energía
- La eficiencia desde el acumulador de energía hacia a las ruedas.
- La eficiencia global que contempla la suma de los dos mencionados.

En el caso de los vehículos eléctricos la eficiencia global toma en cuenta, el rendimiento de generación, transporte y distribución de la energía (incluyendo el rendimiento del tren de potencia). Es por esto, que influye de manera significativa la eficiencia de la fuente de energía de la electricidad utilizada por el vehículo eléctrico. En el caso de los vehículos con motor de combustión interna, como es el caso del Renault Fluence 1.6 L, el factor de eficiencia global está determinado por la eficiencia de extracción, transporte y la distribución de los combustibles, además de la eficiencia del motor y del sistema de transmisión de energía.

La capacidad instalada al mes de febrero de 2019, en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) posee una capacidad instalada de generación de 24.628,1 MW. De este total, el 46,4% pertenece a tecnología de generación en base a recursos renovables (solar, hidroeléctrica, eólica, geotermia y biomasa). Mientras que el 53,6% pertenece a centrales termoeléctricas a gas natural, carbón o derivados del petróleo.^{xx}



Figura 3-1. Eficiencia energética Renault Fluence 1.6 Litros

Fuente: <http://www.consumovehicular.cl/etiqueta/buscadord#/>

- **Comparación de eficiencia según los consumos de energía de los vehículos**

El Fluence 1.6 L según su etiqueta vehicular:

- Consumo mixto: 14,7 km/L = 6,8 L/100 km
- Tenemos que 1 L de gasolina = 34,78 MJ (Mega Joule)

El consumo de energía en kWh/100 km del vehículo Renault Fluence 1.6 L es:

- Consumo mixto: 6.8 L * 34,78 MJ = 236,504 (MJ)
- Sabemos que 1 kWh de energía = 3,6 (MJ)
 - **Consumo mixto: 236,504 MJ / 3,6 kWh = 65,7 (kWh/100 km)**

El Fluence Z.E según su etiqueta vehicular:

- Consumo: 7,1 (km/kWh) = 100 / 7,1 = 14 (kWh/100 km)

El consumo de energía en kWh/100 km del vehículo Renault Fluence Z.E

- Consumo kWh/100 km = 14 (kWh/100 km)

El Fluence Z.E según nuestros resultados:

- 5,66 km/kWh = 100 / 5,66 = 17,67 (kWh/100 km)

El Fluence Z.E en el peor de los casos:

- 27,5 (kWh/100 km)

El Renault Fluence Z.E según los datos entregados en la etiqueta vehicular, consume app. 4,7 veces menos que su equivalente convencional (1.6 L). Según nuestros cálculos el vehículo eléctrico consume app. 3,7 veces menos que su equivalente. Mientras que en el peor de los casos el Fluence Z.E consume app. 2,3 veces menos que el Fluence 1.6 L. Con esto se puede concluir de manera más exacta que el vehículo Renault Fluence Z.E es entre 2,3 y 4,7 veces más eficiente que el Fluence 1.6 L (Ciclo Otto).

3.2.2 Costo total de los vehículos

Los vehículos eléctricos tienen un costo de adquisición más elevado que los vehículos convencionales, el motivo es principalmente por el valor de la batería de alta tensión, debido a los materiales utilizados en ella y a los costosos procesos que se llevan a cabo para su producción. Sin embargo, cada vez se trabaja más en cuanto a su composición, teniendo mayores producciones y abaratando sus costos. El valor referencial del vehículo Renault Fluence Z.E año 2015 es de aproximadamente \$12.000.000. Mientras que, el valor del Renault Fluence 1.6 L (Gasolina) año 2016 tiene un valor referencial aproximado a los \$8.500.000^{xxi}.

Hay que tener en cuenta, que se lleva más de un siglo destinando cientos de millones para mejorar el motor de combustión interna (MCI), produciendo grandes cantidades al año, lo que hace que sus costos sean bajos. También, el gran desarrollo que ya tienen las industrias de los vehículos convencionales para producir de manera fácil y rápida todos los componentes principales. Por su parte, los automóviles eléctricos aún se producen en menor cantidad en comparación con los vehículos convencionales, por lo cual los costos de adquisición de los vehículos eléctricos aún son más altos. Sin embargo, su valor ya ha tenido un descenso significativo, pues el precio de los vehículos eléctricos y de las baterías utilizadas en ellos, han bajado considerablemente sus costos en los últimos años y se espera que en los próximos los precios disminuyan aún más, ya que hay nuevos materiales que se complementan con el Litio, con los que se pueden obtener mayores avances en su tecnología y un aumento en su densidad de energía, junto con la mayor cantidad de vehículos eléctricos producidos actualmente^{xxii}.

Los impuestos de los vehículos eléctricos suelen ser menores que los de los vehículos con M.C.I, ya que los V.E están exentos del impuesto verde y de la restricción vehicular, debido a que no generan emisiones contaminantes durante su conducción (Cero emisiones locales). Sin embargo, a pesar de esto el valor del impuesto que se debe pagar por un vehículo eléctrico no deja de ser mayor, ya que al tener un precio inicial alto el impuesto total a pagar también aumenta. Por su parte, los vehículos convencionales poseen un costo menor de adquisición, en comparación con los eléctricos, pero los impuestos que deben pagar son bastante elevados debido principalmente a las emisiones contaminantes que generan y a sus restricciones vehiculares.

También se debe considerar el costo de las mantenciones que requiere cada vehículo, en donde los eléctricos necesitan muy pocas en su sistema de propulsión en comparación con los convencionales, ya que poseen una menor cantidad de piezas móviles. Mientras que los vehículos convencionales poseen mayores mantenciones, debido principalmente a la cantidad de piezas mecánicas que tienen los motores (MCI) y sus sistemas de transmisión. Por otra parte, es necesario tener en cuenta que el costo total de cada vehículo está determinado por el consumo de energía que posee cada uno, ya que a mayor consumo energético mayor costo y por ende a largo plazo un costo mayor.

3.2.3 La autonomía

Es la distancia máxima que puede recorrer un vehículo antes de tener que detenerse para llenar el tanque de combustible o cargar la batería de alta tensión en el caso de los V.E. La autonomía en un automóvil está determinada por la capacidad que tenga el acumulador de energía y por la eficiencia de los componentes del tren de potencia. Debido a que el consumo varía en función del recorrido y de la velocidad, la autonomía también varía. El tener un depósito con mayor capacidad permite tener una mayor autonomía, pero implica un aumento en la masa del vehículo. Sin embargo, en las baterías de Ion Litio cada vez se logra aumentar la densidad de energía consiguiendo una mayor capacidad con una menor masa.

La batería de tracción del Fluence Z.E, es de Ion-Litio y Manganeso, cuenta con 3 kg de Litio y pesa 250 kg sin la estructura que la soporta, esta batería tiene una capacidad de fábrica de 22 kWh con un voltaje de 400 V. La autonomía de este vehículo en condiciones reales puede ser muy variada, según las condiciones de operación a las que se enfrente, en el peor de los casos entre 80 y 100 km, cuando se conduce cercano a la velocidad máxima, con aire acondicionado y consumo de accesorios. Mientras que, en el caso óptimo, al circular en ciudad a una velocidad baja y sin consumo de los accesorios, se pueden alcanzar autonomías entre 140 y 185 km según el ciclo NEDC (modo ECO).

Uno de los problemas más significativos del vehículo eléctrico además de la limitada autonomía, es el largo tiempo de espera para recargar la batería de alta tensión, en comparación con lo que se demora en cargar el tanque de un vehículo convencional. El Renault Fluence Z.E, es un vehículo que posee varios años de antigüedad en cuanto a su tecnología, el cual conectado en la red domiciliaria

demora entre 8 y 12 horas en cargar por completo la batería, como lo pudimos apreciar en la Universidad al tener que dejar el vehículo cargando toda la noche para realizar los ensayos. Sin embargo, existen cargadores más potentes para adaptarlos a la red domiciliaria, además hay puntos de electrolinerías que poseen cargadores que suministran una mayor cantidad de corriente (A), por lo cual el tiempo en que demora en cargar se reduce considerablemente. En los puntos de recarga rápida, el 80% de la batería se recarga en 30 minutos app. y el 20 % se tarda un poco más de tiempo. A pesar de esto, en la actualidad sigue siendo un inconveniente la autonomía de este vehículo, ya que al momento de recorrer largas distancias se limita demasiado el tiempo de uso, además los puntos de recarga aún son escasos en nuestro país, y la accesibilidad a ellos es complicada por las distancias que permite recorrer el Renault Fluence Z.E. Debido a esto, se considera un vehículo para ser usado en ciudades donde se recorran distancias relativamente pequeñas.

Los vehículos convencionales disponen de una gran autonomía, los cuales almacenan entre 40 y 60 litros de combustible app., en donde dependiendo del consumo energético del vehículo se pueden obtener autonomías entre 500 y 1000 (km), el Fluence 1,6 L posee una autonomía media de 900 km aproximadamente, la cual es bastante en comparación con la que entrega el Fluence Z.E. Junto con esto, los puntos de recarga de combustible son muy abundantes y accesibles a nivel mundial, además el tiempo que se tarda en cargar un depósito de combustible es bastante reducido en comparación con la recarga de un vehículo eléctrico. En la actualidad hay numerosos avances en cuanto a las baterías de alta tensión utilizadas por los vehículos eléctricos, con lo cual se espera que en los próximos años las baterías no sean una inconveniente para la propulsión eléctrica^{xxiii}.

3.2.4 Potencia

La potencia es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, en los vehículos se define como el Par del motor (torque) por la Velocidad de giro (rpm), varía según las especificaciones de su fabricación y respecto a las condiciones de funcionamiento. El motor eléctrico entrega una mayor potencia a velocidades bajas y medias, donde la potencia aumenta considerablemente a medida que las revoluciones también lo hacen hasta llegar al punto máximo, luego comienza a disminuir antes de llegar a la velocidad máxima. Por su parte la potencia de un motor de combustión interna, a bajas velocidades es inferior y aumenta de manera

menos ascendente que la de un motor eléctrico, sin embargo, se puede mantener a mayores velocidades.

Los motores eléctricos no requieren estar funcionando mientras el vehículo se encuentra detenido, además son capaces de girar igual de equilibrado y con un par máximo desde las mínimas revoluciones por lo que cuentan con una reacción instantánea, logrando generar una gran potencia a bajas velocidades. El motor que incorpora el Renault Fluence ZE es un motor eléctrico síncrono reversible que pesa 160 kg, la potencia máxima que logra entregar es de 70 kW (95 CV), que se obtiene en el régimen de 3000 a 9000 rpm^{xxiv}.

En el caso de los vehículos convencionales, que cuentan con un M.C.I para generar el trabajo, como en el caso del Fluence 1.6 l, el cual incorpora un motor Ciclo Otto de 1600 cc, que entrega una potencia máxima de 110 (CV) a 6000 rpm, la potencia varía según las revoluciones y condiciones de operación. La potencia se comporta de forma ascendente en función de las revoluciones (rpm), donde en un comienzo no alcanza una gran potencia, pero posteriormente cerca de su límite máximo de revoluciones logra una mayor potencia que en algunos casos se mantiene por sobre la potencia del motor eléctrico. Las curvas de Potencias de los vehículos mencionados se pueden comparar en donde se logra diferenciar que la potencia del motor eléctrico la cual la mayor parte del tiempo es mayor que la MCI, pero la de este último logra una Potencia máxima que se mantiene por sobre la del eléctrico.

- El siguiente gráfico, muestra las curvas de potencia del motor eléctrico del Nissan Leaf y de su equivalente MCI, son vehículos que poseen características y curvas similares a los comparados en este trabajo. A continuación, se pueden ver las diferencias de las curvas de potencias entregadas por cada motor:

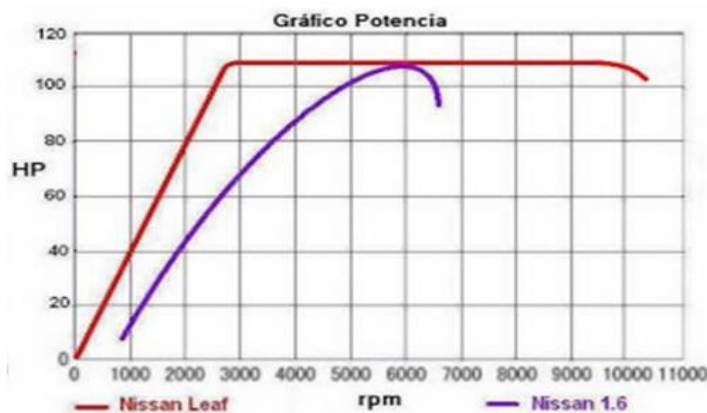


Gráfico 3-2. Gráfico de la Potencia del motor eléctrico v/s MCI

Fuente: <https://portalmovilidad.com/motores-electricos-vs-a-combustion-quien-gana-nuevo-informe-de-amech-compara-los-puntos-mas-importantes/>

3.2.5 Torque o Par motor

Torque es el valor característico de la fuerza de torsión ejercida por un motor, es decir, la fuerza con la que gira el eje del motor, su unidad de medida es Newton Metro (Nm), dicho valor depende de las especificaciones de su fabricación y varía según las condiciones de operación a las que se enfrenta durante su funcionamiento. Una de las características principales en los motores eléctricos es la entrega de un alto Par desde el arranque, esto lo podemos apreciar en el gráfico 3-3, en el caso del Renault Fluence Z.E que desde velocidades mínimas ya cuenta con un Torque máximo. El motor de este vehículo genera un par motor máximo desde los 5 km/h el cual es constante hasta los 40 km/h aproximadamente, luego comienza a disminuir paulatinamente de forma proporcional al aumento de las revoluciones. El torque máximo que es capaz de entregar el motor eléctrico del Renault Fluence ZE es de 226 Nm^{xxv}, este es un punto muy favorable para el vehículo, ya que dicha fuerza de torsión permite que cuente con una reacción instantánea, que al momento de conducir el vehículo genera una gran sensación entregando una respuesta muy rápida al momento de pisar el acelerador

En el siguiente gráfico se encuentra la gráfica de Potencia (kW) y Torque (Nm) del vehículo Renault Fluence Z.E, según su velocidad en km/h.

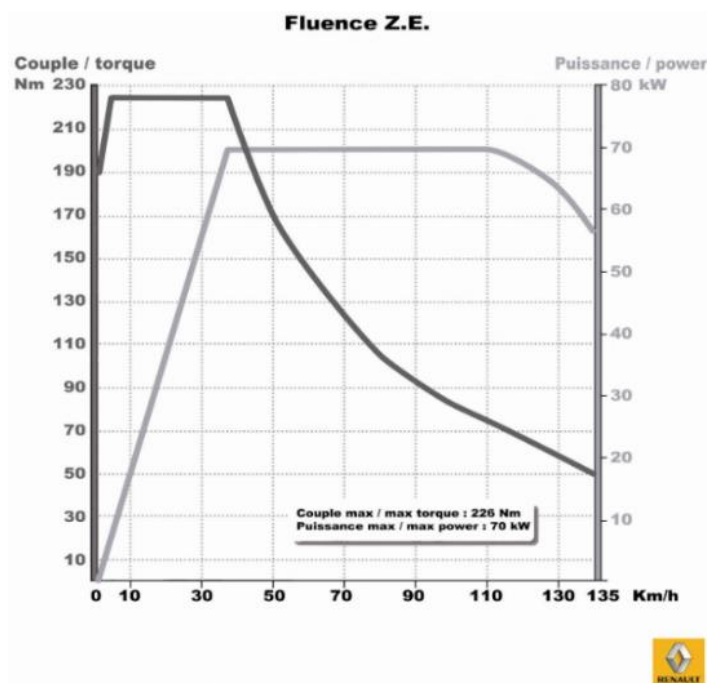


Gráfico 3-3. Curva de Potencia y Torque Fluence Z.E

Fuente: Manual de la Marca Renault

Los motores de combustión interna MCI como el utilizado en el Renault Fluence 1.6 L, se caracterizan por entregar un torque que varía constantemente según el régimen de giro (rpm) y de las condiciones de funcionamiento, siendo capaz de generar el máximo torque solo en un rango de revoluciones, lo que es aproximadamente a velocidades medias. Los MCI requieren de constantes variaciones en las revoluciones para poder alcanzar el rango óptimo del torque máximo. El Fluence convencional (1.6 L) es capaz de entregar un par máximo de 151 Nm, dicho valor es bastante menor que el entregado por el motor del Fluence Z.E (226 Nm), lo que se traduce en una menor velocidad de reacción y en un arranque más lento. Los motores térmicos no generan ningún torque significativo debajo del 1000 rpm, por lo que necesitan de un sistema de transmisión para entregar el movimiento a las ruedas, la caja de cambios se encarga de generar el torque necesario para que el motor trabaje de buena manera.

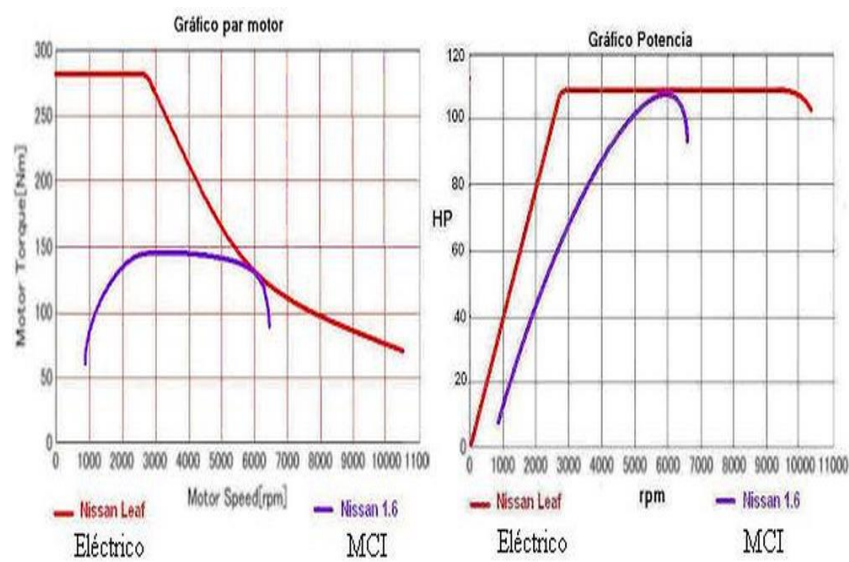


Gráfico 3-4. Potencia y Torque de un motor eléctrico y un MCI

Fuente: <https://forococheselectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

En el gráfico 3-4, se pueden comparar las curvas de potencias y torque entre un motor eléctrico y un motor de combustión interna, los cuales poseen características muy similares a los vehículos comparados en este trabajo. Se puede apreciar que la potencia del motor eléctrico es mayor en casi todo el rango de revoluciones, por su parte el torque del motor eléctrico se mantiene en su valor máximo desde las mínimas revoluciones, bajando paulatinamente a medida que va aumentando la potencia, mientras que el torque del motor de combustión interna (Ciclo Otto) es mucho menor y necesita de una caja de transmisión para poder generar el torque necesario que requiera el vehículo.

3.2.6 Emisión de gases contaminantes

En un principio, la fabricación de ambos es la misma, ya que poseen componentes similares; utilizan las mismas materias primas y los mismos textiles, por lo tanto, la contaminación inicial es la misma. Las baterías de alta tensión de Ion Litio utilizadas en los vehículos eléctricos requieren de procesos químicos y eléctricos que generan contaminación ambiental. En cuanto a los motores eléctricos, la contaminación de gases se reduce significativamente, ya que no generan emisiones durante su funcionamiento (emisiones locales cero), el vehículo Renault Fluence Z.E estudiado no genera emisiones contaminantes de CO₂. Sin embargo, la contaminación real de los vehículos eléctricos depende de cómo se produjo la energía eléctrica que se utiliza para recargar la batería de alta tensión ya que esta puede ser generada a base de energías renovables y no renovables. En caso de que la energía utilizada se haya producido a través de recursos renovables, la contaminación total del vehículo eléctrico será mínima.

Los vehículos eléctricos disminuyen considerablemente las emisiones de CO₂, pero al igual que los vehículos convencionales generan contaminantes como las partículas en suspensión (PM), la abrasión de las ruedas contra el asfalto y por los frenos, pero en menor cantidad gracias al freno regenerativo. En el caso de la utilización de motores de combustión interna, debido al uso de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel, se emiten muchos gases contaminantes durante el funcionamiento. Los MCI generan muchas pérdidas al momento de realizar el trabajo, las que pueden ser pérdidas por roce, por refrigeración, por radiación y por los gases de escape. Estas últimas pérdidas, son producto del combustible tanto quemado como el no quemado, lo que se transforma en gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (NO_x), e hidrocarburos no quemados (HC). Si bien, estos son cada vez más reducidos por las exigencias de las nuevas normas, no dejan de estar presentes y siguen siendo dañinos para la salud y para el medio ambiente, por lo que el MCI es uno de los principales responsables de la actual contaminación ambiental.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de este trabajo estuvo enfocado en realizar pruebas de ensayo en el vehículo Renault Fluence Z.E, para conocer sus consumos eléctricos junto con la autonomía según los ciclos de conducción NEDC, a través de las mediciones del analizador de redes y comparar los resultados obtenidos con los de la etiqueta vehicular y también con los de su equivalente modelo convencional (1.6 L). De esta manera, se logra comprender con mayor profundidad las diferencias entre los consumos y rendimiento de un vehículo eléctrico y uno convencional; en donde el primero posee un menor consumo energético, mientras que el segundo presenta una mayor autonomía.

Mediante el ensayo de Potencia Continua, se conocen los gráficos obtenidos por el Banco de pruebas y por el Analizador de redes, en donde se analizan ambas curvas de Potencia Motor, presentando una diferencia en el comienzo de la medición, pero alcanzando valores máximos muy similares. La Potencia máxima medida por el Dyno (74,1 kW) y el Analizador (73,8 kW), es mayor a la entregada por el fabricante (70 kW); las diferencias entre los valores obtenidos pueden ser por los posibles errores de medición y por no contar con los instrumentos apropiados para realizar mediciones en vehículos eléctricos.

El vehículo eléctrico, al no contar con un motor de combustión interna, no genera emisiones contaminantes durante su conducción, las cuales afectan significativamente al medio ambiente y a la salud de las personas. Además, el rendimiento energético que poseen los motores eléctricos es un punto muy favorable para su desarrollo, ya que estos presentan pérdidas mínimas en comparación con los motores de combustión interna (MCI). Sin embargo, en los vehículos eléctricos aún sigue siendo un inconveniente la limitada autonomía que poseen y el tiempo que se tarda en cargar la batería de alta tensión. Este problema es la gran ventaja de los vehículos convencionales, por el poco tiempo que se tarda en cargar el tanque de combustible, y la gran cantidad de bencineras que se encuentran a nivel mundial.

En los últimos años, grandes avances tecnológicos en la industria del automóvil eléctrico han permitido que aumente su protagonismo en el mercado automotriz con las producciones de diversos modelos de vehículos, logrando tener cada vez una mejor llegada a la sociedad gracias a la mayor accesibilidad de precios y puntos de recarga. Se espera que con las mejoras en las baterías de alta tensión y en el tren de potencia se alcancen mayores autonomías y los tiempos de recarga se reduzcan considerablemente.

Chile aún no es una región que posea las instalaciones adecuadas para que el sector automovilístico eléctrico se desarrolle de manera plena, pero se espera que en un futuro la cantidad de electrolinerías a nivel país aumenten y que la sociedad tome consciencia en cuanto al daño ambiental causado por la utilización de vehículos con motores de combustión interna. Y de esta manera, a la hora de elegir un vehículo, el eléctrico se convierta en la mejor alternativa del mercado automotriz.

REFERENCIAS

-
- ⁱ Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual y Retos Futuros. Moreno, Francisco. Buenos Aires : s.n., 2016. 130.
- ⁱⁱ Electromovilidad. Electromovilidad. [En línea] Movilidad eléctrica. [Citado el: 07 de agosto de 2020.] <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>.
- ⁱⁱⁱ López, David. Crisis del petróleo de 1973. [En línea] Economipedia. [Citado el: 07 de agosto de 2020.] <https://economipedia.com/definiciones/crisis-del-petroleo-1973.html>.
- ^{iv} Cerezo, Félix. Fuera de serie. Nissan Leaf, el coche 100% eléctrico más vendido del mundo. [En línea] 11 de julio de 2019. [Citado el: 07 de agosto de 2020.] <https://www.expansion.com/fueradeserie/motor/2019/07/11/5d15f7f9e5fdea92368b46e1.html>.
- ^v Borrás, Carla. Ecología verde. Principales fuentes de emisión de CO2. [En línea] 06 de noviembre de 2018. [Citado el: 07 de agosto de 2020.] <https://www.ecologiaverde.com/principales-fuentes-de-emision-de-co2-404.html>.
- ^{vi} Services, Webedia Brand. La tecnología híbrida, líder en el mercado. Motor pasión. [En línea] 2019 de noviembre de 2018. [Citado el: 07 de agosto de 2020.] <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/tecnologia-hibrida-lider-mercado>.
- ^{vii} FCEV: Vehículo Eléctrico de Pila de Combustible de Hidrógeno. La Comunidad de talleres. [En línea] 19 de febrero de 2019. [Citado el: 12 de agosto de 2020.] <https://www.lacomunidadeltaller.es/fcev-vehiculo-electrico-de-pila-de-combustible-de-hidrogeno/>.
- ^{viii} Coches, Todo. Ventajas y desventajas de los coches eléctricos. [En línea] 20 de abril de 2015. [Citado el: 12 de agosto de 2020.]
- ^{ix} Castells, Jorge. Los precios de las baterías llegan a mínimos históricos en 2018. Ecotecnología del vehículo. [En línea] 21 de diciembre de 2018. [Citado el: 15 de agosto de 2020.] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/precios-baterias-llegan-minimos-historicos-2018/20181221092913024110.html>.
- ^x Southern, Mike. Motores AC vs. DC en los coches eléctricos. Puro motores. [En línea] 21 de julio de 2017. [Citado el: 15 de agosto de 2020.] <https://www.puromotores.com/13143614/motores-ac-vs-dc-en-los-coches-electricos>.
- ^{xi} Vázquez, Arturo. Así funciona el motor de un coche eléctrico. ABC motor. 2017.
- ^{xii} lovesharing. Tipos de batería de un coche eléctrico. [En línea] 2020. [Citado el: 12 de septiembre de 2020.] <https://www.lovesharing.com/tipos-de-bateria-de-un-coche-electrico/>.
- ^{xiii} López, Noelia. Tipos de baterías para coches eléctricos: presente y futuro. Movilidad eléctrica. [En línea] 17 de diciembre de 2018. [Citado el: 15 de septiembre de 2020.] <https://movilidadelectronica.com/tipos-de-baterias-para-coches-electricos-presente-y-futuro/>.
- ^{xiv} Telecomunicaciones, Ministerio de Transportes y. Homologación de Vehículos Livianos-Medianos y Motocicletas. Subsecretaría de Transportes y Telecomunicaciones. [En línea] 1991-2020. [Citado el: 20 de septiembre de 2020.] <https://www.mtt.gob.cl/archivos/5609>.
- ^{xv} Gutiérrez, Diego. Nuevo ciclo de homologación de consumos WLTP: ¿en qué se diferencia del NEDC y cómo funciona para ser más realista? Diario Motor. [En línea] 26 de febrero de 2017.

[Citado el: 20 de septiembre de 2020.] <https://www.diariomotor.com/noticia/homologacion-consumos-wltp/>.

^{xvi} Instruments, AEMC. Analizadores y medidores de calidad de energía

^{xvii} Fernández, Christian. Simulación de vehículos eléctricos. Valladolid : s.n., 2018.

^{xviii} Juárez, Mauricio. ¿Qué son y como funcionan los ciclos de consumo WLTP y NEDC? Motor Pasión. [En línea] 06 de septiembre de 2019. [Citado el: 22 de septiembre de 2020.] <https://www.motorpasion.com.mx/industria/que-como-funcionan-ciclos-consumo-wltp-nedc>.

^{xix} Eficiencia energética de los coches. inteligente, El blog sobre conducción. 2019.

^{xx} Boletín del Mercado eléctrico sector generación. Chile, Dirección de estudios y contenidos Generadoras de. Santiago : s.n., 2019.

^{xxi} Chileautos [En línea] [Citado el: 20 Marzo de 2021.] <https://www.chileautos.cl/vehiculos/detalles/2016-renault-fluence-fluence-autentique-1-6/CP-AD-571232/?Cr=18>

^{xxii} Castell, Jorge. Los precios de las baterías llegan a mínimos históricos en 2018. Ecotecnología del vehículo. [En línea] 21 de diciembre de 2018. [Citado el: 30 de agosto de 2020.] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/precios-baterias-llegan-minimos-historicos-2018/20181221092913024110.html>.

^{xxiii} García, Gonzalo. La producción mundial de baterías de litio aumentará un 50% cada año a partir de 2023. Ecotecnología del vehículo. [En línea] 03 de abril de 2019. [Citado el: 21 de septiembre de 2020.] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/produccion-baterias-litio-aumentara-50-cada-ano/20190402184024026714.html>.

^{xxiv} Electrocoches. Renault Fluence Z.E: versiones, precios y características. Electrocoches. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de noviembre de 2020.] <https://www.electrocoches.eu/marcas/renault/fluence-ze/#renault-fluence-z-e-expression-5p-aut>.

^{xxv} Auto Scout. Renault Fluence ZE datos técnicos. Auto Socut 24. [En línea] 2016. [Citado el: 10 de septiembre de 2020.] <https://www.autoscout24.es/coches/renault/renault-fluence/renault-fluence-ze/datos-tecnicos/>.