



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS EN
LA CIUDAD DE MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

MARCOS CASTAÑEDA BELMAN

DIRECTOR(A) DE TESIS

DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

“El Mundo es un lugar peligroso. No por causa de los que hacen el mal, sino por aquellos que no hacen nada por evitarlo”

**Albert Einstein **

“La tierra proporciona lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada hombre, pero no la codicia.”

Mahatma Gandhi

“Ellos no van a escuchar. ¿sabes por qué? Porque tienen ciertas nociones fijas sobre el pasado. En sus ojos, cualquier cambio sería una blasfemia incluso si se tratara de la verdad. Ellos no quieren la verdad, ellos quieren la tradición.”

Isaac Asimov

“Puedo aceptar el fracaso; todos fracasan en algo. Pero no puedo aceptar el no intentarlo.”

Michael Jordan

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi padre el M.V.Z. Antonio Castañeda Mares

Por su cariño y apoyo durante la toda mi vida y siempre compartir su experiencia para ser una mejor persona en todos los ámbitos, además de mostrarme el camino a la superación y ser un ejemplo a seguir.

A mi madre la C.P Mónica Belman Lima

Por su eterno cariño y protección en toda mi vida, ser mi confidente y apoyarme en todo momento, así como enseñarme los valores que me distinguen como persona.

A mi hermano Antonio Castañeda Belman

Por su compañía y protección, que me enseñó a nunca bajar la mirada y superar cualquier obstáculo que se cruce.

A mis primos

Jesús González Castañeda, Daniel González Castañeda, Juan Salvador Castañeda Gutiérrez, Víctor Manuel Castañeda Gutiérrez, Carlos Arturo Castañeda Gutiérrez que son como mis hermanos menores, por ser como son y sentir una confianza profunda con ustedes, espero seguir contando con su apoyo y vivir más aventuras juntos.

A la familia Castañeda Mares

Por su cariño y apoyo, que por las buenas y por las malas, estaremos siempre unidos.

A mis Amigos

Juan Raúl Martínez López, Arturo Artemio Castelán Mijangos, Daniel Aranda Contreras, Luis Alberto Andrés Baltazar, Eduardo Ríos Garrido, Antonio Rocha Moreno por ser una gran compañía durante toda la carrera, pasando momentos divertidos platicando y jugando futbol cada viernes, además de siempre contar con su apoyo académico. ¡ Muchas Gracias !

Al pueblo de México

Por permitir realizar mis estudios en este maravilloso país, con la esperanza de poder retribuirle, ejerciendo mi profesión para la mejora del mismo.

AGRADECIMIENTOS ACADEMICOS

Agradezco especialmente el apoyo del proyecto **UNAM-DGAPA-PAPIME PE108418: Desarrollo de equipo y manuales para prácticas de laboratorio de motores de combustión interna**, que ha brindado sus recursos a la UNICE y a mi persona para el mejor desarrollo de futuros profesionistas.

A mi universidad

Por darme la oportunidad de formar parte de ella, realizar mis estudios profesionales, y pasar momentos memorables además de seguir preparando profesionistas de calidad. "Por mi raza hablara el espíritu".

A LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE EMISIONES (UNICE)

Al Dr. Rogelio González Oropeza.

Por ser mi tutor y compartir su experiencia y asesoría durante el desarrollo de este trabajo.

Al Mto. Francisco González Pineda y Dr. Juventino Santiago Ruiz

Por compartir su conocimiento durante mi estancia en el laboratorio para ser un mejor ingeniero.

A mis Amigos

A Francisco García Chávez, Eduardo Cedillo Cornejo por apoyarme y aconsejarme en el desarrollo de este trabajo, además de su amistad brindada.

A Rafael Enrique Barbosa Elizalde, M. Pedro Ignacio Rincón Gómez, Edgar Abraham Flores Camacho, Cesar Luis González Lugo, Erik García Zamudio, Luis Ángel Hernández Rito, por su amistad y compañía durante el desarrollo de este trabajo.

INDICE

INDICE DE GRAFICAS, TABLAS Y FIGURAS

GLOSARIO DE TERMINOS

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO, HIPOTESIS Y ALCANCES	3
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PROVOCADA POR EL AUTOTRASPORTE.	5
1.1.1. <i>Contaminantes</i>	5
1.1.2. <i>Vehículos gasolina</i>	6
1.1.3. <i>Vehículos eléctricos</i>	10
1.1.4. <i>Vehículos híbridos</i>	13
1.2. LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS (VH)	14
1.2.1. <i>Antecedentes</i>	14
1.2.2. <i>Generalidades</i>	16
1.2.3. <i>Motor de combustión interna</i>	18
1.2.4. <i>ME /generador</i>	19
1.2.5. <i>Sistemas de almacenamiento de energía/Estado de carga (EDC)</i>	21
1.2.6. <i>Freno regenerativo</i>	25
1.2.7. <i>Funcionamiento del tren de potencia</i>	26
1.2.8. <i>Clasificación de VH</i>	28
1.2.8.1. <i>Paralelo</i>	28
1.2.8.2. <i>Serie</i>	29
1.2.8.3. <i>Serie-paralelo (mixto)</i>	30
1.2.8.4. <i>Basados en el acoplamiento de transmisión</i>	32
1.2.8.5. <i>Basados en su grado de hibridación</i>	33
1.2.9. <i>Estrategias de control</i>	36
1.3. VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELECTRICOS EN MÉXICO.	45
2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	46
2.1.SOFTWARE ADVISOR.....	47
2.2.CICLOS DE MANEJO.....	52
2.3.MODELADO DE VEHÍCULOS.....	56
3. SIMULACIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS	63
3.1.CAPACIDAD DE ASCENSO.....	64
3.2.CICLO DE MANEJO NEDC.....	65
3.3.CICLO DE MANEJO MEXICANO 2014.....	71
3.4.CICLO DE MANEJO MEXICANO 2019.....	75
4. CONCLUSIONES	85
5. FUENTES DE INFORMACIÓN	89
6. ANEXOS	94

INDICE DE GRAFICAS

- Gráfica 1.* Variación de concentración de HC, CO, NO de acuerdo con la relación lambda.
- Gráfica 2.* Curvas características de Honda CR-Z híbrido.
- Gráfica 3.* Tamaño de los componentes motrices de un VH paralelo en función del grado de hibridación.
- Gráfica 4.* Tamaño de los componentes motrices de un VH serie y mixto en función del grado de hibridación.
- Gráfica 5.* Modos de operación EDC máx. VH paralelo (gráfica).
- Gráfica 6.* Modos de operación EDC máx. VH serie (gráfica).
- Gráfica 7.* Estrategia de control modo restringido paralelo.
- Gráfica 8.* Venta de vehículos híbridos en la Ciudad de México 2016 a 2019 [INGEI,2020].
- Gráfica 9.* Ciclo de manejo Ciudad de México 2014.
- Gráfica 10.* Ciclo de manejo Ciudad de México 2019.
- Gráfica 11.* Ciclo de manejo NEDC.
- Gráfica 12.* Curvas Características motor FAW [ENGINE SERVICE MANUAL,2008].
- Gráfica 12.* Comparación FAW jiabao V52 (izquierda) y FAW GF-60 (derecha).
- Gráfica 13.* Capacidad de ascenso de los VH simulados.
- Gráfica 14.* Resultado de Simulación al recorrer el NEDC.
- Gráfica 15.* NEDC baja velocidad.
- Gráfica 16.* Resultados de la Mini Van en ADVISOR.
- Gráfica 17.* Resultados del VH Paralelo GDH= 45% NEDC.
- Gráfica 18.* Resultados del VH Serie GDH= 40% NEDC.
- Gráfica 19.* Resultados del VH Mixto GDH= 45% NEDC.
- Gráfica 20.* Porcentaje de variación VH NEDC.
- Gráfica 21.* Resultados del VH paralelo GDH= 30% 2014.
- Gráfica 22.* Resultados del VH serie GDH= 60% 2014.
- Gráfica 23.* Resultados del VH mixto GDH= 45% 2014.
- Gráfica 24.* Porcentaje de variación VH 2014.
- Gráfica 25.* Resultados del VH paralelo GDH= 60% 2019.
- Gráfica 26.* Resultados del VH serie GDH= 60% 2019.
- Gráfica 27.* Resultados del VH mixto GDH= 60% 2019.
- Gráfica 28.* Porcentaje de variación VH 2019.
- Gráfica 29.* Resultados del VH serie GDH= 60% 2019G.
- Gráfica 30.* Resultados del VH serie GDH= 50% 2019G.
- Gráfica 31.* Emisiones ciclo NEDC.
- Gráfica 32.* Emisiones ciclo 2014.
- Gráfica 33.* Emisiones ciclo 2019.
- Gráfica 33.* Emisiones ciclo 2019G.
- Gráfica 34.* Rendimiento de vehículos que recorrieron los 4 ciclos de manejo.

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.* Comparación vehículo convencional vs híbrido [ROSS, 2010].
- Tabla 2.* Modos de operación EDC máx. VH paralelo.
- Tabla 3.* Modos de operación EDC máx. VH serie.
- Tabla 4.* Estrategia de control modo restringido paralelo.
- Tabla 5.* Características del ciclo de manejo de la Ciudad de México 2014.
- Tabla 5.* Características del ciclo de manejo de la Ciudad de México 2019.
- Tabla 6.* Características del ciclo de manejo NEDC.
- Tabla 7.* Especificaciones de Mini Van FAW GF-60.
- Tabla 8.* Especificaciones del motor FAW 1.0L [ENGINE SERVICE MANUAL,2008].
- Tabla 9.* Archivos seleccionados en ADVISOR para el vehículo convencional.
- Tabla 10.* Archivos seleccionados en ADVISOR para las tres diferentes configuraciones de los VH.

- Tabla 11.** Grados de hibridación de las simulaciones.
Tabla 12. Distribución de grados de hibridación.
Tabla 13. Comparativa de Simulación vs Estándar Nacional.
Tabla 14. Resultados de rendimiento y capacidad de ascenso.
Tabla 15. Promedio de emisiones y rendimiento NEDC.
Tabla 16. Resultado de vehículo convencional 2014.
Tabla 17. Promedio de emisiones y rendimiento 2014.
Tabla 18. Resultado de vehículo convencional 2019.
Tabla 19. Promedio de emisiones y rendimiento 2019.
Tabla 20. VH que recorrieron el ciclo de manejo 2019G.

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Sistema recirculación de gases de escape (EGR).
Figura 2. Desempeño de vehículo eléctrico. [CLARKE, s.f.].
Figura 3. Generación de electricidad en diferentes países. [CLARKE, s.f.].
Figura 4. Porsche 1900 Semper Vivus Hybrid.
Figura 5. Primera generación Toyota Prius 1997-2003.
Figura 6. Camino al vehículo ecológico definitivo Toyota.
Figura 7. Comportamiento de VH Toyota Prius 4 generación (MCI= 96 HP, ME= 71 HP).
Figura 8. Motor IMG Bosch de imanes permanentes.
Figura 9. Principio de una batería.
Figura 10. Baterías Toyota Prius 4 generación Ni-MH.
Figura 11. Comparación de frenado regenerativo vs convencional.
Figura 12. Esquema de flujo de energía en un tren de potencia híbrido.
Figura 13. Configuración vehículo híbrido en paralelo.
Figura 14. Configuración vehículo híbrido en serie.
Figura 15. Configuración vehículo híbrido en serie-paralelo (mixto).
Figura 16. Acoplamiento de engranes planetarios Toyota Prius.
Figura 17. Configuración pre-transmisión paralelo.
Figura 18. Configuración post-transmisión paralelo.
Figura 19. Diagrama de flujo de máx. EDC paralelo.
Figura 20. Diagrama de flujo de máx. EDC serie.
Figura 21. Ejemplo estrategia de control de termostato (on-off).
Figura 22. Diagrama de bloques Matlab/simulink ADVISOR.
Figura 23. Interfaz de inicio ADVISOR.
Figura 24. Interfaz del modelado del vehículo virtual.
Figura 25. Condiciones de la simulación.
Figura 26. Ventana de pruebas adicionales.
Figura 27. Interfaz de resultado de la simulación.
Figura 28. Carpeta data ADVISOR.
Figura 29. Comparación FAW jiabao V52 (izquierda) y FAW GF-60 (derecha).
Figura 30. Modelo final Mini Van FAW.

ANEXOS

- TABLA A1.** Resultados NEDC.
GRÁFICA A1.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo NEDC.
GRÁFICA A1.2 Resultados emisiones y rendimiento serie NEDC.

GRÁFICA A1.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto NEDC.
TABLA A2. Resultados 2014.
GRÁFICA A2.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo 2014.
GRÁFICA A2.2 Resultados emisiones y rendimiento serie 2014.
GRÁFICA A2.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto 2014.
TABLA A3. Resultados 2019.
GRÁFICA A3.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo 2019.
GRÁFICA A3.2 Resultados emisiones y rendimiento serie 2019.
GRÁFICA A3.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto 2019.
TABLA A4. Resultados 2019.
GRÁFICA A4.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo 2019G.
GRÁFICA A4.2 Resultados emisiones y rendimiento serie 2019G.
GRÁFICA A4.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto 2019G.

GLOSARIO DE TERMINOS

CA	<i>Corriente Alterna.</i>
CD	<i>Corriente Directa.</i>
C_d	<i>Velocidad demandada.</i>
C_{min}	<i>Velocidad mínima.</i>
EDC	<i>Estado de Carga.</i>
EDC_{max}	<i>Estado de Carga Máximo.</i>
EDC_{min}	<i>Estado de Carga Mínimo.</i>
GDH	<i>Grado de Hibridación.</i>
HC	<i>Hidrocarburos.</i>
HCT	<i>Hidrocarburos Totales.</i>
IP	<i>Imanes Permanentes.</i>
MCI	<i>Motor de Combustión Interna.</i>
ME	<i>Motor Eléctrico.</i>
MEC	<i>Motor Encendido por Compresión.</i>
MECH	<i>Motor Encendido por Chispa.</i>
MP	<i>Material Particulado.</i>
η_{ME}	<i>Eficiencia del ME.</i>
$\eta_{t, MCI}$	<i>Eficiencia del Motor de Combustión Interna.</i>
N_{BAT}	<i>Potencia de la Batería.</i>
$N_{BAT, c}$	<i>Potencia de la Batería Cargándose.</i>
$N_{BAT, d}$	<i>Potencia de la Batería Descargándose.</i>
N_d	<i>Potencia demandada.</i>
N_f	<i>Potencia de frenado.</i>
$N_{f, mec}$	<i>Potencia de frenado mecánico.</i>
$N_{f, reg}$	<i>Potencia de frenada regenerativa.</i>
$N_{f, reg, máx}$	<i>Potencia de frenada regenerativa máxima.</i>
N_{MCI}	<i>Potencia del Motor de Combustión Interna.</i>
$N_{MCI/G}$	<i>Potencia del Motor de Combustión Interna, como Generador.</i>

<i>N_{ME}</i>	<i>Potencia del ME.</i>
<i>N_{ME, máx.}</i>	<i>Potencia del ME Máxima.</i>
<i>N_{MEG}</i>	<i>Potencia del ME como Generador.</i>
<i>N_t</i>	<i>Potencia del Tracción.</i>
<i>SOC</i>	<i>Estado de Carga (State Of Charge).</i>
<i>T_{carga}</i>	<i>Par de recarga de baterías.</i>
<i>T_{MCI}</i>	<i>Par del Motor de Combustión Interna.</i>
<i>VCC</i>	<i>Vehículos de Celdas de Combustible.</i>
<i>VE</i>	<i>Vehículos Eléctricos.</i>
<i>VH</i>	<i>Vehículos Híbridos.</i>

INTRODUCCIÓN

Los avances en las investigaciones sobre los Motores de Combustión Interna (MCI), especialmente los utilizados en los vehículos, es uno de los grandes logros en la tecnología moderna. Los automóviles han contribuido en el crecimiento de sociedad moderna satisfaciendo muchas necesidades de movilidad en la vida diaria.

Sin embargo, el gran número de automóviles que se usan alrededor del mundo han causado serios problemas al medio ambiente y a la vida humana. En 1950's a través de un estudio en los Ángeles, se demostró que las emisiones de los automóviles son los mayores contribuyentes a la contaminación el aire urbano [SHER, 1998].

Cada vez existen más evidencias de los efectos que la contaminación del aire provoca sobre la salud pública en México y en otras partes del mundo, especialmente en ambientes urbanos donde se encuentra la mayor concentración de contaminantes.

En varios países, incluyendo México, han tomado medidas para la reducción de emisiones contaminantes regulando los vehículos que se venden y los que están en circulación, mas no es suficiente debido al crecimiento económico y poblacional de las urbes, acompañado a esto vehículos moviéndose a bajas velocidades debido al excesivo tránsito, contribuyendo a un alto consumo de combustible y mayores emisiones.

La política energética actual marca la tendencia en la reducción de uso de combustibles fósiles, para así prolongar su existencia y mejorar la calidad del medio ambiente. La industria automotriz ha mejorado en sus tecnologías para un uso eficiente de combustible o biocombustibles, además de reducir sus emisiones con un tratamiento se gases de escape. Otras industrias han dedicado tiempo en energías más limpias, dando como solución los Vehículos Eléctricos (VE), Vehículos Eléctricos Híbridos (VH) y Vehículos de celdas de Combustibles (VCC).

A pesar de que los VE tienen una mayor eficiencia, su tiempo de trabajo se ve reducido por su duración de la batería, en este orden de ideas, se desarrollaron los VH, los cuales utilizando MCI y un ME incrementan la autonomía de dicho vehículo y, además, se emiten menos contaminantes en los periodos de trabajo del MCI, adaptándose a las necesidades de la vida diaria en una ciudad, para probablemente en un futuro remplazar los vehículos convencionales.

Las estimaciones de emisiones de fuentes móviles se han realizado de diferentes formas, a partir del tiempo de trabajo del MCI, así como su consumo de combustible.

Actualmente existen herramientas computacionales para estimar las emisiones de una forma más aproximada, donde se considera la manera en que se está conduciendo el vehículo mediante un ciclo de manejo adecuado a la localidad o zona donde se desplace dicho vehículo. El programa ADVISOR es una herramienta que se apoya en el software Matlab/Simulink, es un simulador de vehículos virtuales que facilita el estudio del funcionamiento y rendimiento de los vehículos reales, sin necesidad de realizar pruebas físicas. Este software es útil para estimar las emisiones de los vehículos a partir de una base de datos que se le carga al programa como características de carrocería, componentes mecánicos y principalmente las emisiones del motor a diferentes regímenes, además de otros resultados como el consumo de combustible o en el caso de los VH el estado de carga de la batería.

En este contexto, es de particular interés conocer la aportación de emisiones contaminantes de este tipo de vehículos, como parte de la flota vehicular que circula en la Ciudad de México, o quizá en todo el Valle de México, ya que no existen límites para los gases criterio y de efecto invernadero principalmente CO₂. Esto es, la contaminación atmosférica se manifiesta tanto en la Ciudad de México como en las áreas conurbadas.

La UNICE, Unidad de Investigación y Control de Emisiones, de la Facultad de Ingeniería es un grupo de profesores y alumnos, tanto de licenciatura como de posgrado, que intentamos establecer una metodología combinando datos reales de emisiones, medidos en banco dinamométrico para MCI acompañado con un software para simular vehículos virtuales. Este es el caso del presente trabajo, en el que se muestra cómo obtener las emisiones de al menos un vehículo híbrido, para dar a conocer dicha metodología.

OBJETIVOS, HIPOTESIS Y ALCANCES

OBJETIVO GENERAL.

Modelado y simulación de Vehículos Híbrido, así como su similar convencional a gasolina, utilizando el software ADVISOR para hacerlos recorrer ciclos de manejo de la Ciudad de México. En este contexto se comparan los vehículos con relación a la cantidad de emisiones, rendimiento de combustible y capacidad de ascenso.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- Estimación de emisiones contaminantes y consumo de combustible de un Vehículo Híbrido en la Ciudad de México mediante el software ADVISOR.
- Comparación entre diferentes configuraciones de vehículos híbridos, así como su contraparte convencional.
- Encontrar la óptima configuración híbrida de un vehículo originalmente de gasolina, realizando pruebas simuladas con diferentes grados de hibridación, comparando aspectos como, emisiones, rendimiento de combustible y capacidad de ascenso.

HIPÓTESIS.

El uso de un Vehículo Híbrido en la Ciudad de México es capaz de cumplir las demandas de potencia, así como reducción de emisiones contaminantes de HC, CO, NOx y consumo de combustible, en comparación a un vehículo convencional a gasolina.

ALCANCES.

Con apoyo del software ADVISOR, realizar simulaciones de Vehículos Híbridos con tres ciclos de manejo incluyendo el ciclo de manejo europeo NEDC y dos de la Ciudad de México (2014 y 2019) en sus tres diferentes configuraciones: paralelo, serie y mixto, además de cambiar el grado de hibridación, incluyendo también la simulación del vehículo convencional, de tal forma que obtengamos resultados comparables de emisiones contaminantes rendimiento de combustible y capacidad de ascenso.

1.MARCO TEÓRICO

1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA PROVOCADA POR EL AUTOTRASPORTE

1.1.1. Contaminantes

Cualquier sustancia emitida a la atmosfera que altere la composición natural del aire y pueda ocasionar efectos adversos a los seres vivos se le considera contaminante de aire [INTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA, 2005]. Los contaminantes emitidos por los vehículos automotores son: Hidrocarburos Totales (HCT), Bióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de Azufre (SO_x), Material Particulado (MP).

Hidrocarburos Totales (HCT), también llamados inquemados, son resultado de una combustión incompleta de los combustibles fósiles principalmente por la alta presión de combustión y temperatura. Los inquemados y sus derivados que se evaporan instantáneamente son considerados como componentes orgánicos volátiles, estos en presencia de la luz solar reaccionan con los NO_x , siendo estos precursores de Ozono.

Monóxido de Carbono (CO), es un gas inoloro e incoloro, que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles, la mayor proporción de CO emitido en áreas urbanas es generada por los vehículos automotores, la exposición a niveles mayores de 20 ppm a este gas puede ocasionar alteraciones en el sistema nervioso y cardiovascular.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x), son compuestos que se forman en el proceso de la combustión principalmente NO_2 y NO, son precursores del ozono. La exposición al NO_2 provoca disminución en la función pulmonar. NO es un producto primario de la combustión, en cambio los demás NO_x son emitidos usualmente al mismo tiempo, por lo que son difíciles de distinguir al monitorearlos, ya que se encuentran en un estado de cambio rápido. Existen dos formas de generar estos compuestos. NO_x térmico y de combustible. El térmico es la fuente primaria de NO_x en la combustión y el factor más significativo es la temperatura alta en la que interaccionan el nitrógeno y el oxígeno, además del exceso de aire en la combustión. El NO_x de combustible depende del contenido de nitrógeno en el combustible y puede constituir hasta el 50% de las emisiones de NO_x en combustibles con alto contenido de nitrógeno. La formación ocurre en la simple interacción de oxígeno y nitrógeno.

Óxidos de Azufre (SO_x), se forma por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre como el diésel, estos compuestos son irritantes respiratorios y pueden provocar una reacción similar al asma, además de provocar la lluvia acida.

La formación de la lluvia acida es cuando se combina los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) o trióxido de azufre (SO_3) con la humedad del aire emitidos por la quema de carbono de fábricas, calderas, en este caso motores diésel, estos compuestos reaccionan con el agua de aire o de la misma lluvia, formando ácido nítrico (HNO_3), ácido sulfuroso (H_2SO_3), y ácido sulfúrico (H_2SO_4) precipitándose como lluvia.

Esta lluvia acida normalmente presenta un PH menor a 5 [SHER, 1998], debido a la presencia de CO_2 atmosférico, que forma ácido carbónico. Los efectos de la lluvia ácida en los lagos, ríos y mares, dificulta el desarrollo de la vida acuática, y de igual manera a la vegetación.

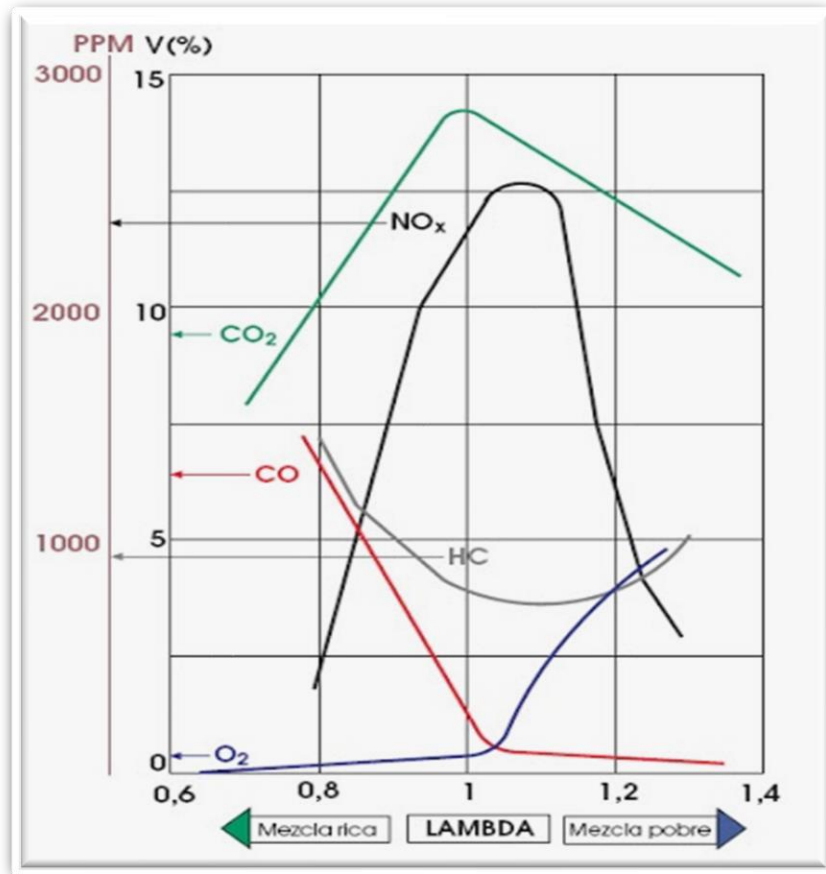
Material Particulado (MP), se refiera a cualquier partícula solida o liquida de hollín, polvos, aerosol, humos y niebla, suspendidas en el aire e invisibles al ojo humano. Las partículas pueden depositarse en los espacios alveolares, generando efectos adversos a la salud, como deficiencia respiratoria, incluso cambios físicos en los pulmones. Las partículas son las responsables del aumento de mortalidad y morbilidad con condiciones cardiovasculares o respiratorias previas.

1.1.2. Vehículos gasolina

Los NO_x , CO, CO_2 y HC son los contaminantes principales que forman los Motores Encendidos por Chispa (MECH). En el caso del material particulado es mínimo comparado con los motores a compresión. Pero el incremento de pequeñas partículas empieza a ser preocupante para en un futuro tener una regularización de pequeñas partículas ($<2\mu\text{m}$).

Durante la combustión se producen los NO_x y CO. Los HC y demás emisiones toxicas se forman en el sistema de escape en forma de inquemados o combustible parcialmente quemado, así como emisiones evaporativas del tanque de combustible, líneas de combustible y en las pérdidas durante el llenado. Las emisiones evaporativas de HC se encuentran en el mismo orden de magnitud que las generadas por el escape. Sin embargo, éste trabajo se concentra en las emisiones por el tubo de escape.

Una de las variables más importantes en los motores encendidos por chispa para determinar las emisiones en el sistema de escape es la relación lambda. La Gráfica 1 muestra las variaciones de acuerdo a este parámetro.



Gráfica 1. Variación de concentración de HC, CO, NO de acuerdo con la relación lambda.

La relación lambda se define como:

$$\lambda = \frac{r_{a/c}}{(r_{a/c})_e} \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

$r_{a/c}$. – relación aire – combustible
 $(r_{a/c})_e$. – relación aire – combustible estequiométrico

La relación lambda indica si la mezcla es rica o pobre, si es menor a uno es rica en combustible y si es mayor a uno es pobre o bien tiene exceso de aire. Entonces al estar cerca de uno la relación lambda, los NO_x y CO₂ están cerca de su máximo cantidad emitida durante la combustión y el CO y HC en cantidades bajas.

Los gases se colectan en el tubo de escape, pasando a través del convertidor catalítico, donde la mayor parte de NO, CO e HC son convertidos a nitrógeno molecular, CO₂ y vapor de agua.

La formación de los NO_x en los motores a gasolina se genera debido a la alta temperatura de flama en el proceso de combustión, como se ve en la Gráfica 1 la concentración máxima de NO_x se encuentra en la zona de mezcla pobre en la cual se encuentra el punto de temperatura máxima de mezcla.

La manera más efectiva de reducir las emisiones de NO_x es mantener la cámara de combustión a temperaturas bajas. Pero este método es desfavorable para la eficiencia térmica del motor, como se sabe para conseguir una alta eficiencia térmica el calor suministrado debería ser uno con una temperatura alta. El método que se utiliza para lograr bajar la temperatura es diluir la mezcla de aire combustible con un gas que no reaccione a la combustión. Este gas sólo absorbe energía sin contribuir a generar más. El gas diluyente disponible en un motor son los gases de escape que contienen un alto nivel de CO₂, por lo que son los gases de escape los que son recirculado al sistema de admisión.

Este sistema es llamado: recirculado de gases de escape (EGR por sus siglas en ingles). Con ayuda de una válvula y un transductor la ECU del vehículo realiza una recirculación cuando es necesario. Figura 1.

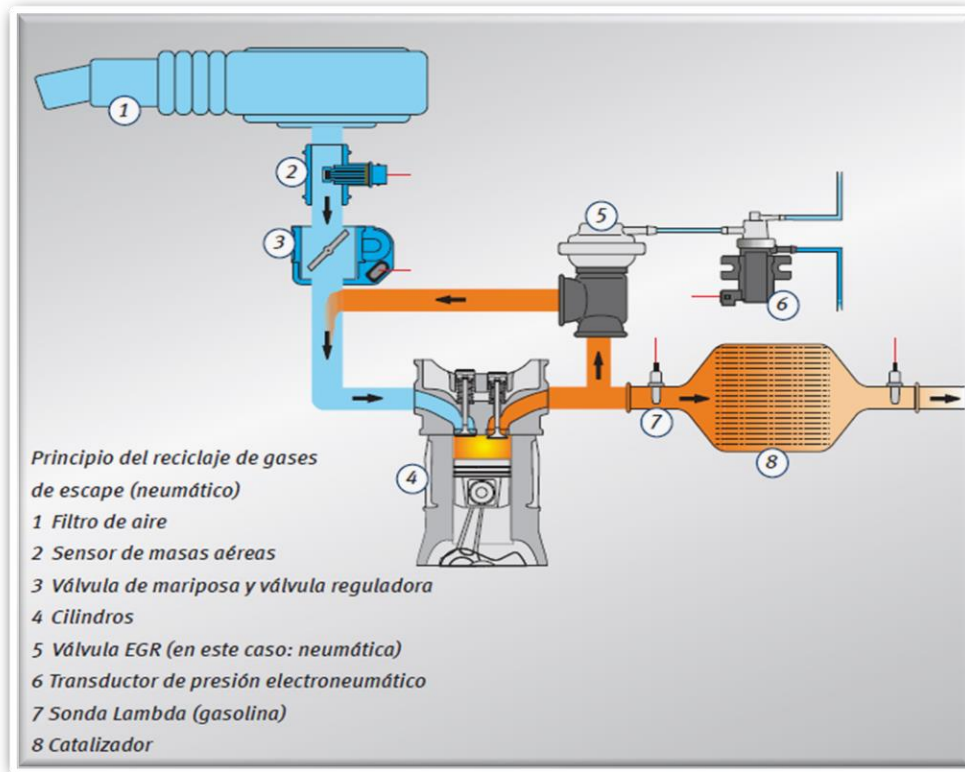


Figura 1. Sistema recirculación de gases de escape (EGR).

Tanto aire del ambiente como el recirculado por el sistema EGR, son mezclados juntos en el sistema de admisión con el combustible, incluso con los gases residuales dentro del cilindro. Esto hace que la mezcla sea irregular ciclo a ciclo, modificando la distribución de temperaturas y una variación constante en la relación aire combustible.

Los gases de escape de un MECH contienen alrededor de 6000 ppm de componentes de hidrocarburos, el equivalente a 1- 1.5% del combustible. Cerca del 40% de estos son componentes inquemados de la gasolina. El otro 60% consiste parcialmente de los componentes que reaccionaron los cuales no estuvieron presentes en la composición original de la gasolina [WILLARD, 1997].

La fuente de HC más significativa es la presencia de hollín en las grietas del cilindro, donde la flama no logra entrar. Las capas de aceite lubricante provocan una incompleta vaporización del combustible, entre otras fuentes incidentales como, por ejemplo, un ligero goteo en las válvulas de admisión o inyectores.

El proceso de formación de HC es el resultado del contacto del combustible o la mezcla con las superficies o capas frías del cilindro lo cual prevé la oxidación del

combustible durante la propagación de la flama, después de esto, principalmente durante la expansión los hidrocarburos inquemados se desprenden y parcialmente se oxidan y se queman en la mezcla. Los remanentes de HC se retienen en el cilindro y otros dejan el cilindro como emisiones de escape.

En los MECH hay dos fuentes principales de CO. La primera se da lugar en regiones dentro del cilindro donde no se alcanza una combustión rápida. La llama no puede alcanzar estas regiones generando una oxidación parcial del carbono del combustible. En este caso el sistema de suministro de combustible juega un papel importante. El proceso suele darse a bajas cargas y exceso de aire. Y la segunda fuente es en las regiones ricas, consecuencia de un mezclado deficiente del hidrocarburo evaporado con el aire presente en la cámara, sin dar el tiempo suficiente para que las reacciones se oxiden por completo. Este proceso suele darse a cargas altas con bajos niveles de aire.

Viéndolo desde el punto de vista de reducción de emisiones, nos interesaría que el motor trabajara por debajo de la zona de mezcla pobre, por sus bajas emisiones y su cantidad de oxígeno indispensable para la reducción de estos.

1.1.3. Vehículos eléctricos

En los últimos años tanto los VE como los VH, han sido una tendencia en la reducción de contaminantes y principalmente en el ahorro de combustible en la Ciudad de México. Tomando ventaja los VH, esto debido a la baja autonomía que tienen los VE y sus escasas fuentes de suministro eléctrico alrededor de la ciudad.

Como los VE tienen varias ventajas se han realizado esfuerzos para su fabricación e incrementar el número de VE en las ciudades. Algunas de las ventajas son las siguientes:

- Disminución de gases de efecto invernadero.
- Ahorro de combustible.
- Bajo consumo de aceite o nulo.
- Reducción de contaminación auditiva.

Múltiples estudios han demostrado que los vehículos eléctricos tienen una mayor eficiencia comparados con los MCI a pesar que la generación y transportación de la energía eléctrica requiera más energía, en la Figura 2 se observa que, al moverse la misma distancia, el VE utiliza menos energía a diferencia del vehículo a gasolina.

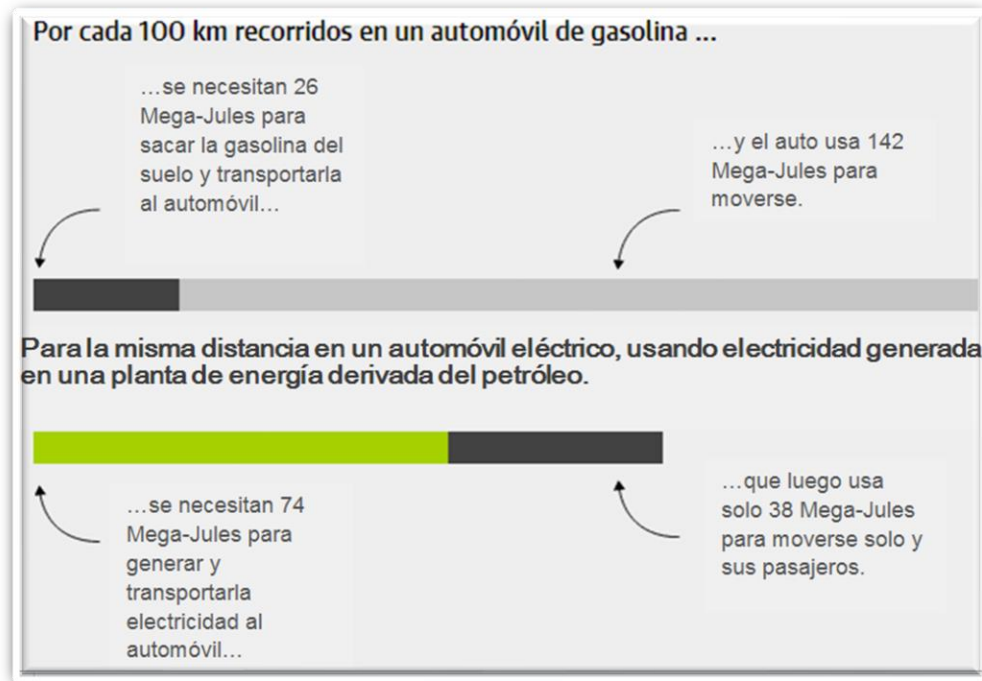


Figura 2. Desempeño de vehículo eléctrico. [CLARKE, s.f.].

Un VE alimentado de esta manera sigue utilizando el mismo combustible que el vehículo que replazan, pero quema menos que éstos. Y aunque las emisiones son igualmente dañinas, se están generando en un lugar alejado de la ciudad y focalizándolas en un solo lugar, que viene siendo la planta de energía eléctrica.

Existen dos categorías de emisiones vehiculares: directa y por el ciclo de vida. Las emisiones directas son las emitidas a través del escape, evaporativas del sistema de alimentación de combustible y del llenado del tanque. Todos los vehículos eléctricos son Zero emisiones directas, lo cual ayuda a mejorar la calidad del aire en áreas urbanas.

Las emisiones por el ciclo de vida incluyen todas las emisiones relacionados con la obtención del combustible (extracción y refinación del petróleo y distribución del mismo), producción y distribución del vehículo. Emitiendo los mismos contaminantes que las emisiones directas.

Para que la comparativa entre los vehículos convencionales y eléctricos sea válida, se deberá realizar un estudio desde las emisiones de ciclo de vida. Éstas dependerán de la manera de obtención de electricidad la cual varía en diferentes países y ubicación geográfica, siendo la quema de combustibles fósiles la más común y la menos conveniente. En cambio, las energías renovables como solar, hidráulica y eólica las más convenientes (Figura 3).

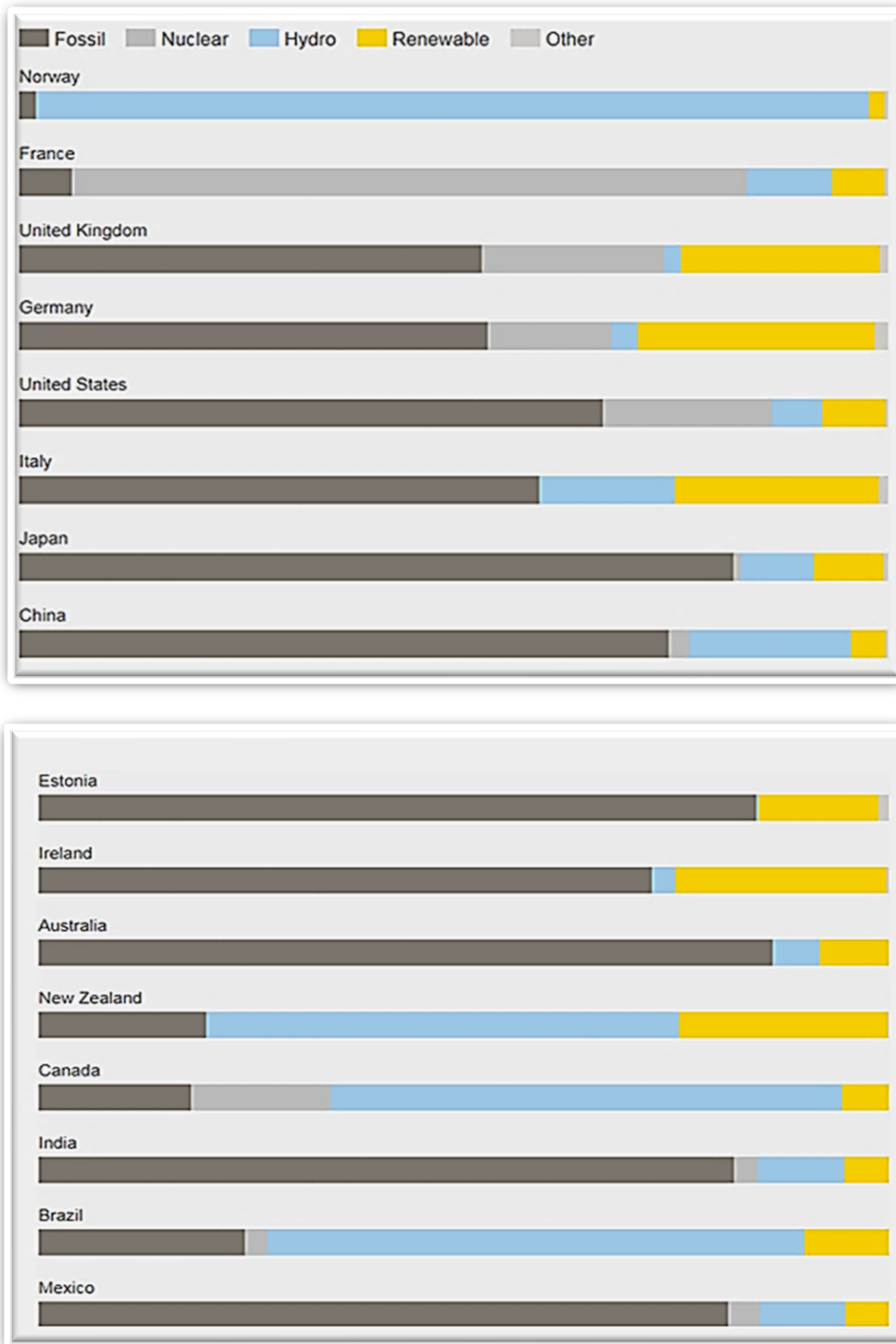


Figura 3. Generación de electricidad en diferentes países. [CLARKE, s.f.].

Al analizar la Figura 3 se observa que algunos países ya están optando por la generación de electricidad a partir de energías renovables como Noruega que tiene como fuente primaria de electricidad la generación hidroeléctrica de igual manera Brasil y Canadá, siendo estos dos, las únicas en el continente americano que su fuente primaria no es mediante quema de combustible fósil, a diferencia de EUA y México que siguen generada electricidad con combustible fósil. Por otro lado, Francia genera electricidad mediante generador nuclear. Por lo que la generación de electricidad mediante energías limpias es un paso muy importante para la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente, no solo para la industria automotriz.

1.1.4. Vehículos híbridos

El incremento del precio de combustibles fósiles en varios países incluyendo México, ha sido el punto de partida para que empiece el cambio a los VE. No obstante, los puntos de carga necesarios para éstos, son insuficientes o casi nulos en la mayor parte del territorio mexicano, por lo tanto, estamos en una etapa de transición con los VH.

La cadena de fabricación de los VH, es similar a la de los vehículos convencionales, que requieren de líneas de ensamblaje automatizadas de alta tecnología. Pero en los VH se suman el proceso de fabricación de baterías y ME (ME), iniciando en la extracción de los metales para su elaboración, tomando en cuenta las emisiones generadas y la energía usada, durante dicha extracción.

Las baterías son esenciales en los VH. Desafortunadamente, tanto las baterías de hidruro de níquel como las baterías de iones de litio, dependen de la extracción del níquel, cobre. La producción de baterías de Li-ión representa del 2 % al 5 % de las emisiones totales en la vida de los VH y las baterías de Ni-MH son responsables de mayores emisiones de óxido de azufre. [ROSS, 2010]

Los VH no pueden considerarse como un vehículo cero emisiones debido a que tienen un MCI, el cual involucra los mismos contaminantes que un vehículo convencional tanto productos de combustión como evaporativas. La ventaja de los VH es su eficiencia en consumo de combustible por distancia recorrida. Un estudio realizado por Argonne National Laboratory compara un vehículo híbrido con uno convencional durante el ciclo de vida, que incluye la producción del vehículo, el funcionamiento y la energía requerida para producir combustible para ambos vehículos. Utilizando el software GREET, suponen que los vehículos recorren 160000 millas durante su vida útil. [ROSS, 2010]

Vehículo	Energía requerida [KJ/mi]	Emisiones de gases de efecto invernadero [g/mi]
Convencional	6857	1.1
Híbrido	4431	.75

Tabla 1. Comparación vehículo convencional vs híbrido [ROSS, 2010].

1.2. LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS(VH)

1.2.1. Antecedentes

En 1898 el Dr. Ferdinand Porsche construyó su primer vehículo, The Lohner Electric Chaise, el cual fue eléctrico. Este vehículo fue el primero con tracción delantera. Su segundo vehículo fue un híbrido Semper Vivus (Figura 4), usando un MCI para hacer girar un generador que suministraba energía a unos motores eléctricos localizados en cada rueda tan solo con la batería el vehículo podía recorrer cerca de 65 Km.



Figura 4. Porsche 1900 Semper Vivus Hybrid.

Por el año 1900 las compañías americanas de vehículos habían fabricado 1681 vehículos impulsados por vapor, 1575 eléctricos y 936 a gasolina [CHAN, 2007]. Una

encuesta realizada por la Exposición Nacional de Automóviles en Nueva York mostraba un patrón que favorecía a los vehículos eléctricos como su primera elección, seguido por los de vapor.

En los primeros años del siglo XX cientos de autos híbridos y eléctricos fueron producidos. Como lo hizo el Ingeniero Francés Krieger usando un motor a gasolina para suplementar un paquete de baterías en 1903.

También en 1900 en Bélgica los hermanos Pieper introdujeron un vehículo con 3.5 HP utilizando un motor a gasolina junto a un ME debajo del asiento. Cuando el auto iba en cruce el ME funcionaba como generador, recargando las baterías. Pero cuando el vehículo subía una pendiente el vehículo eléctrico se montaba junto con el de gasolina, dando simultáneamente potencia. Comercialmente se vendió entre los años 1906 y 1912.

Los prometedores diseñadores de vehículos, Baker de Cleveland y Woods de Chicago, construyeron sus autos híbridos. Woods decía que su auto alcanzaba una velocidad de 56 Km/h y una eficiencia de 20 Km/l. El auto de Woods con su potencia dual fue más caro y menos potente que su competidor de gasolina por lo que se vendió poco.

El mundo comenzó un nuevo camino en 1997 cuando el primer Toyota Prius (Figura 5) fue vendido en Japón. Dos años después, Estados Unidos vio la primera venta del Honda Insight. Esos dos vehículos seguidos por el Honda Civic Hybrid, marcaron un cambio radical en la clase de autos que se empezaban a ofrecer al público.



Figura 5. Primera generación Toyota Prius 1997-2003.

1.2.2. Generalidades.

El término de vehículo híbrido eléctrico o vehículo híbrido generalmente se refiere a vehículos que usan un MCI en conjunción con uno o más motores eléctricos. Un VH es aquel vehículo que dispone de dos fuentes o almacenamiento de energía diferentes para su propulsión.

La definición de vehículo híbrido puede ser extendido a los vehículos que tienen un motor diferente al MCI. Los vehículos donde la energía proviene de celdas de combustible o paquete de baterías, a través de un ME también son vehículos híbridos.

Se han realizado investigaciones en los VH para superar las desventajas de los vehículos con MCI y los VE. Debido a que los VE tienen una gran desventaja en la autonomía de sus baterías y su limitación en cuanto a velocidad, los VH han sido la opción para el desarrollo de nuevas tecnologías tanto para los VE como para los MCI, para estar cada vez más cerca del coche ecológico definitivo (Figura 6).

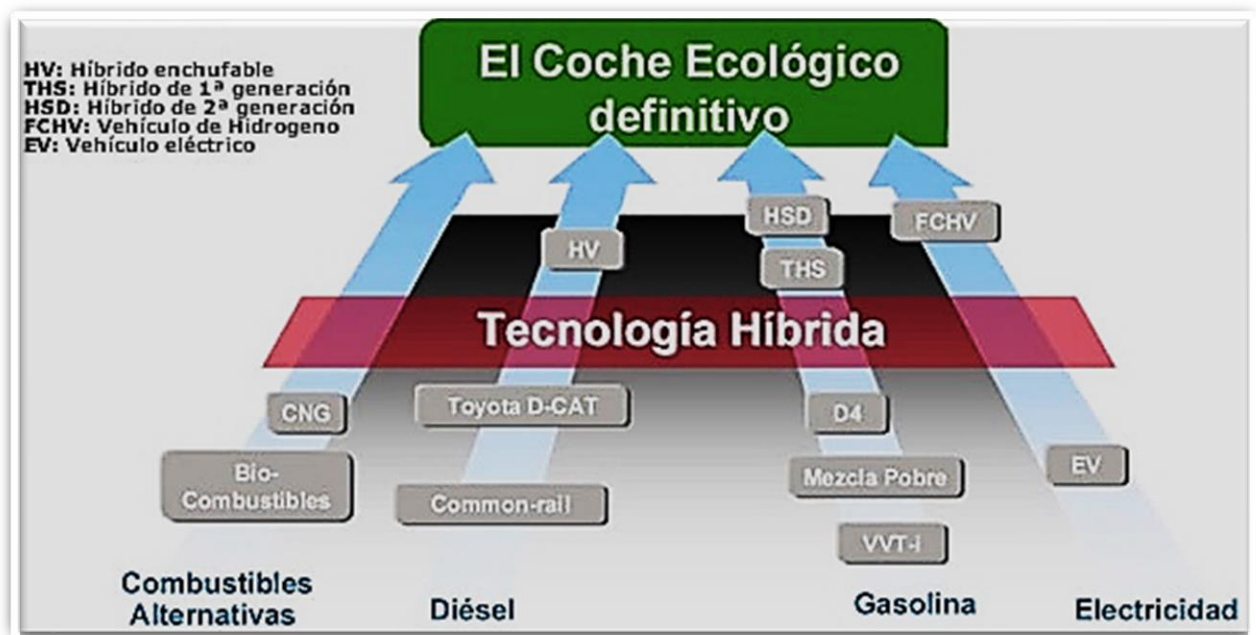


Figura 6. Camino al vehículo ecológico definitivo Toyota.

En la actualidad existen, 4 fuentes de energías para la propulsión de los vehículos: gasolina, diésel, electricidad y combustibles alternativos. Todas han desarrollado tecnologías para su optimización y reducción de emisiones contaminantes buscando, el camino para el vehículo ecológico definitivo.

Los vehículos a gasolina que han sido los más usados y por lo mismo, los que han desarrollado más tecnologías, con el sistema VVT variaban la apertura de válvulas dependiendo de la velocidad del vehículo, el uso de motores que no requerían estar

cerca de la mezcla estequiométrica y trabajar en la zona de mezcla pobre. El siguiente paso, fue la inyección directa D4 como lo tienen los MEC. Por último, en la situación que estamos actualmente con los VH siendo THS los de primera generación y HSD de segunda generación, de acuerdo a la Figura 6.

Los MEC de Toyota tenían el riel común de suministro de combustible, después se desarrolla la tecnología D-CAT que es un catalizador de 4 vías para la reducción de emisiones, incluyendo partículas, además de tener un sistema EGR. En la Figura 6 muestra que los motores diésel están en la etapa de VH enchufables, sin embargo, tanto en gasolina como en diésel hay VH enchufables.

Los VE han sido poco desarrollados, pero lo han hecho con el paso del tiempo, mejorando los materiales de lo que se están haciendo sus componentes. En la Figura 6 se observa que el siguiente paso son las celdas de hidrógeno como fuente de electricidad.

En lo que respecta a los combustibles alternativos, con el Gas Natural Comprimido (CNG) y los biocombustibles, no se han logrado avanzar mucho, comparado con los demás, pero siguen realizando estudios para tener combustibles más limpios.

Los VH usan el MCI para convertir energía térmica usando diésel o gasolina a energía mecánica, a su vez generados electricidad para mover un ME en el caso de un VH en serie, o para mover el eje de propulsión junto con un ME en el caso de un VH en paralelo o combinado.

El ME abordo sirve como dispositivo de optimización de eficiencia del MCI, así como recuperar energía cinética del freno. El MCI puede estar apagado cuando el vehículo está parado, o si la velocidad del vehículo es baja, y el ME es usado para mover el vehículo solo. El ME usa el exceso de potencia del MCI para cargar las baterías.

Los VH usan más componentes eléctricos, tanto como una máquina 100% eléctrica, convertidores de potencia eléctrica, baterías, ultra capacitores, sensores y microcontroladores. Sumando a eso los componentes electrificados o subsistemas, MCI, sistemas mecánicos e hidráulicos pueden seguir presentes. El reto que se presenta es en el avance en los sistemas de propulsión como diseños más complejos del tren de potencia, convertidores electrónicos, máquinas eléctricas y almacenamiento de energía. Administración de energía, modelado y simulación del tren de potencia, así como su optimización en el control del VH.

A pesar de que los VH tienen muchas ventajas también tienen sus limitaciones, el principal problema es el incremento en su costo de fabricación por la cantidad de componentes requeridos. En seguridad debido a la introducción de alto voltaje en el sistema del vehículo, interferencia electromagnética causada por la alta frecuencia y corriente en el sistema eléctrico del tren de potencia.

1.2.3. Motor de combustión interna

En los vehículos híbridos, el MCI se utiliza como generador o proveedor de alta potencia, dependiendo de su configuración. En circunstancias donde el ME no pueda propulsar adecuadamente al vehículo como al subir una pendiente, el MCI será la fuente principal de energía, y a su vez recargara las baterías como se observa en Figura 7.

Los VH deben tener un balance entre el MCI y el ME, ya que si se tiene un MCI sobrado de potencia en comparación con el ME la disminución de consumo de combustible y emisiones contaminantes no se verán afectadas, además de que el ME no tendrá la suficiente potencia para propulsar al vehículo. El otro caso si el MCI es bajo en potencia respecto al ME, el MCI estará en funcionamiento todo el tiempo cargando baterías y con poca intervención del ME.

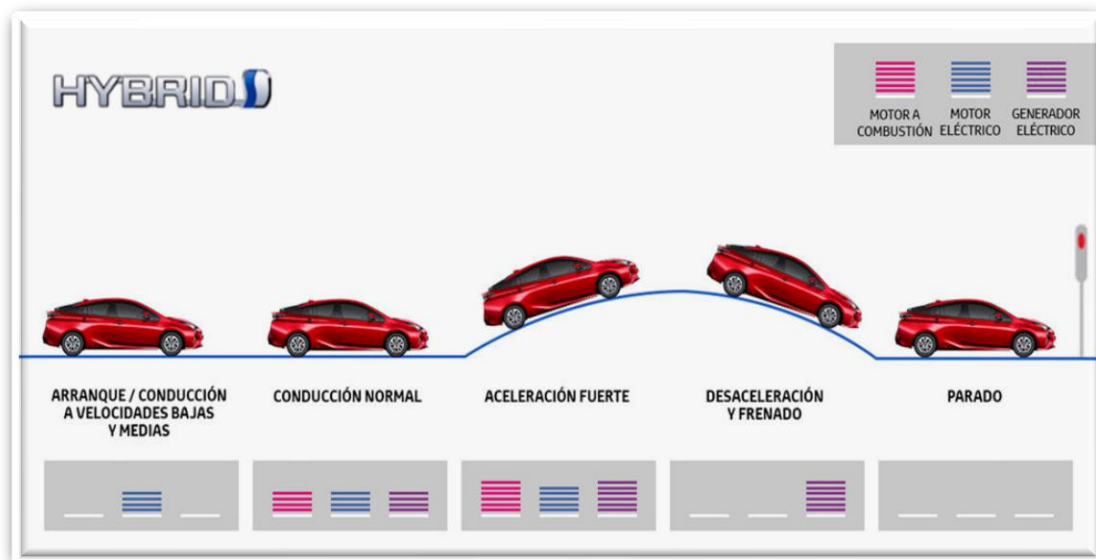


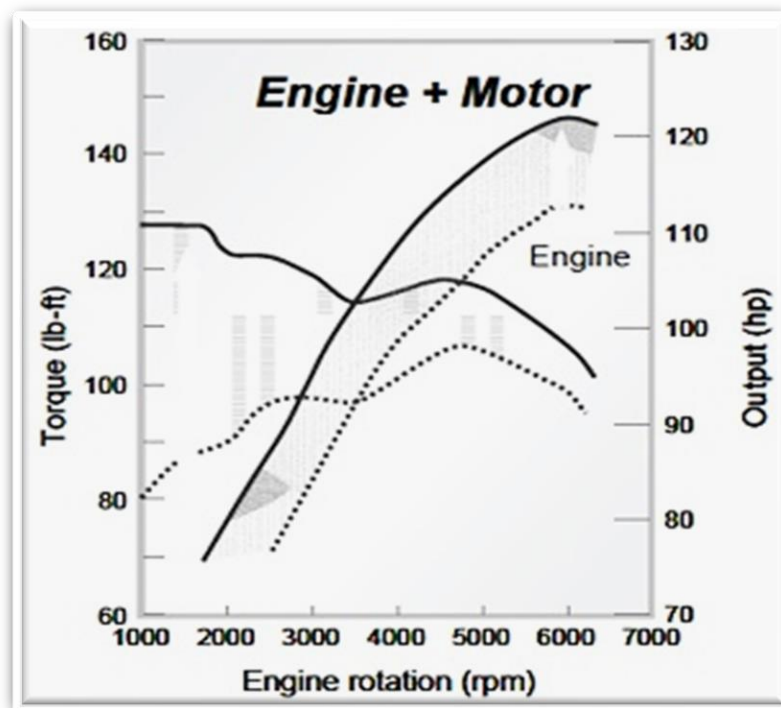
Figura 7. Comportamiento de VH Toyota Prius 4 generación (MCI= 96 HP, ME= 71 HP).

La mayoría de los VH que han salido en Latinoamérica son propulsados con un motor a gasolina, a comparación de Europa, donde algunas marcas venden los VH con motor diésel, como lo es BMW, Mercedes Benz. Debido a que el diésel en Europa es más barato que la gasolina, a diferencia de América.

Actualmente los MEC comienzan a salir de los estereotipos donde se encontraban, son menos ruidosos y menos contaminantes, más pequeño. Además, los MEC operan con relaciones de compresión mucho más altas, por lo que suelen ser más eficientes que los MECH [CENGEL, 2012]

1.2.4. ME (generador)

El ME asistirá al MCI para mejorar su rendimiento, procurando un incremento en la potencia, una primera ventaja del ME, es que, desde el principio de funcionamiento del vehículo, se tendrá el par máximo a diferencia de los vehículos convencionales como se aprecia en la Gráfica 2. Al comparar las curvas características de un vehículo convencional con un VH, en los VH, desde el principio tiene el máximo par disponible debido al ME a diferencia del vehículo convencional que es de forma ascendente al incrementar las revoluciones del MCI. Por otro lado, la potencia tiene el mismo comportamiento, pero su incremento es desde revoluciones más bajas, logrando una potencia mayor a la del vehículo convencional.



Gráfica 2. Curvas características de Honda CR-Z híbrido.

El ME en los vehículos híbridos, trabaja como convertidor de energía eléctrica a mecánica y viceversa, en función de la configuración del sistema híbrido. Dependiendo del sistema del vehículo, el ME puede estar diseñado para suministrar potencia o par de fuerza en el tren de propulsión. En algunos casos se acopla directamente al cigüeñal aprovechándolo como arrancador del MCI, o bien estar acoplado dentro de la transmisión o directamente a las ruedas en menores ocasiones.

El ME, también puede procesar el flujo de energía en sentido contrario como por ejemplo en los VH en paralelo, recuperando energía de los frenos regenerativos y del MCI. A diferencia de los VH en serie, donde tienen un ME y el generador por separado.

Las configuraciones de VH, donde el ME trabaja como generador y propulsor requieren de un sistema inversor para realizar ambas tareas. El inversor transforma la corriente directa de las baterías a corriente alterna para ME. También de CA a CD proveniente del freno regenerativo o del ME como generador de CD. A diferencia de los que tienen el generador eléctrico por separado. El termino motor se suele referir a la maquina eléctrica, cuando la energía eléctrica es convertida a mecánica. Y generador cuando la energía pasa de mecánica a eléctrica.

Los primeros prototipos de VE y VH incluían un ME CD. Sin embargo, su tamaño y su costo de mantenimiento han provocado que su uso se reduzca. Los VH más recientes, generalmente utilizan un ME de CA y motores sin escobillas, que incluyen motores de inducción, de imanes permanente IP, de reluctancia conmutada. La tecnología de los motores CA han mejorado en sus últimos años. El control de los motores de inducción es más complejo que los motores CD, pero los nuevos procesadores digitales facilitan las herramientas de control. [LOPEZ, 2015]

Los motores de inducción o motores asíncronos, funcionan con CA, lo que su aplicación en un VH puede parecer inapropiada, al operar una fuente de CD como lo es la batería. Sin embargo, la CA puede conseguirse con un inversor.

Los competidores de los motores de inducción son los motores CA imanes permanentes IP. Estos tienen imanes en el rotor, mientras que la construcción de estator es la misma que en los de inducción. Los imanes pueden estar montados superficialmente o en el interior del rotor como se ve en la Figura 8.

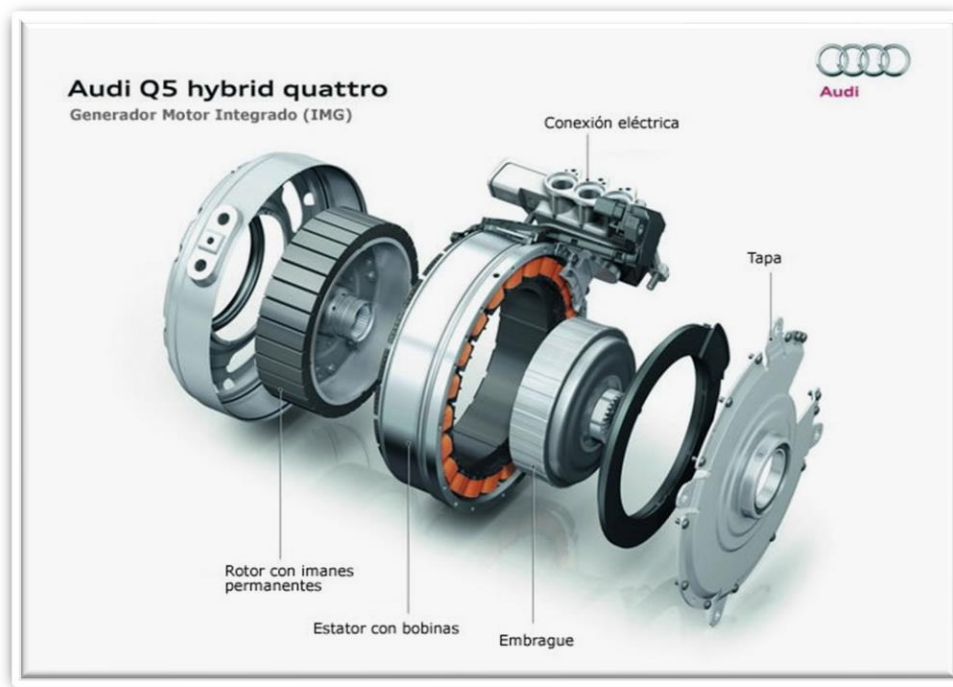


Figura 8. Motor IMG Bosch de imanes permanentes.

La elección del ME, depende de varios factores, provenientes de la forma de manejo, fuentes de energía y restricciones del vehículo. La forma de manejo se define con un ciclo de manejo de la entidad, el cual incluye la aceleración, velocidad máxima. Las restricciones del vehículo incluyen peso y volumen dependiendo de la clase del vehículo. La fuente de energía relacionada a las baterías o celdas de combustible. Pero siempre buscando mejorar el desempeño en general del vehículo, haciendo trabajar al MCI en un rango mayor de eficiencia.

1.2.5. *Sistemas de almacenamiento de energía/Estado de carga (EDC)*

El sistema de almacenamiento de energía son los dispositivos que se encargan de entregar energía (descarga) y recibir energía (carga), guardándola hasta su próximo uso. En los VH y VE, estos sistemas de almacenamiento, incluyen principalmente, baterías o ultra capacitores.

Son varios los requerimientos necesarios para cumplir las exigencias de los VH tales como: energía específica, potencia específica, rendimiento, mantenimiento, coste, impacto ambiental y seguridad.

Una batería recargable es capaz de almacenar y suministrar energía mediante reacciones electroquímicas de oxidación/reducción, utilizando un circuito exterior para la transferencia de electrones, dando lugar a una corriente eléctrica.

Una batería ésta constituida por celdas unitarias que contienen energía química que se convierte a energía eléctrica y viceversa. Una celda consta de: electrodo positivo, electrodo negativo, y electrolito (Figura 9). Las celdas se agrupan en módulos y estos se conectan en serie o paralelo, para entregar el voltaje y corriente necesarios al sistema de potencia.

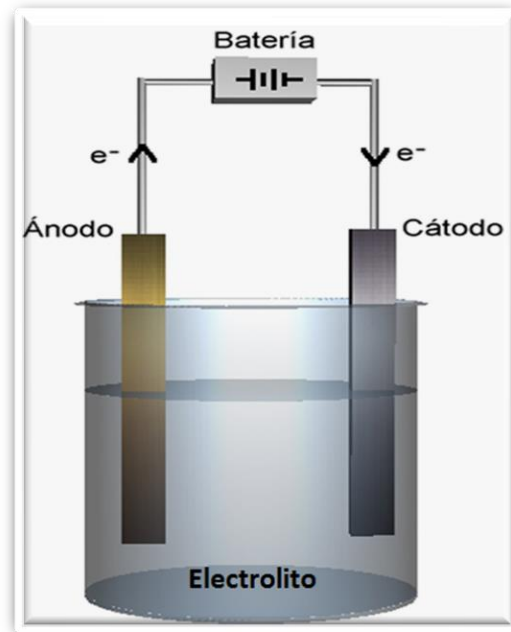


Figura 9. Principio de una batería.

- Electrodo positivo: Es el componente que se oxida y recibe electrones del circuito externo en la descarga. Se encuentra en estado sólido
- Electrodo negativo: Es el componente que se reduce y libera electrones en la descarga. Se encuentra en estado sólido
- Electrolito: es un medio que permita la conducción iónica entre los electrodos. Debe tener una alta conductividad para los iones que forman parte en el proceso. Pero debe ser aislante para evitar un auto descarga. Puede ser líquido, gel o sólido, y ácido o alcalino, en función del tipo de batería.

El Estado De Carga de unas baterías (SOC, por sus siglas en inglés), representa la capacidad actual de las baterías, y se define como la capacidad remanente Q respecto a la capacidad completamente cargada o nominal Q_0 .

$$EDC(t) = \frac{Q(t)}{Q_0} \times 100\% \quad ec.2$$

Con esto se dice que una batería completamente cargada tiene un EDC de 100% mientras que una descargada 0%. Se dice que los rangos de EDC en los VH están dados por las ecuaciones:

$$EDC_{max} > EDC_{min} > 0\% \quad ec.3$$

$$EDC_{min} < EDC_{max} < 100\% \quad ec.4$$

1.2.5.1. TIPOS DE BATERÍAS

Plomo ácido (Pb-ácido)

El mayor beneficio de estas baterías es la alta potencia que pueden entregar además de un comportamiento seguro, fiable y económico. Sin embargo, la baja energía específica, el pobre comportamiento en frío y su corto ciclo de vida son un obstáculo para su empleo en VE principalmente, además el llevar abordo ácido sulfúrico en grandes cantidades es sumamente peligroso.

Baterías basadas en Níquel

Un amplio rango de baterías comerciales utilizando níquel en el electrodo positivo se han desarrollado desde los trabajos de Edison a finales del siglo XIX. [LOPEZ, 2015]. El níquel es un metal más ligero que el plomo y con buenas propiedades electroquímicas. Existen 4 tipos de este tipo de baterías:

- Níquel-hierro (Ni-Fe)
- Níquel-zinc (Ni-Zn)
- Níquel-cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-Metal hidruro (Ni- MH)

Siendo la de Níquel- Metal Hidruro la que más promete para aplicaciones de VEH y VE. Las baterías de NI-Zn tienen una vida muy limitada. Las Ni-Fe tienen un comportamiento similar a las de Pb-ácido, con larga duración de vida, pero mal comportamiento en frío, auto descarga y generación de hidrógeno durante la carga, además de un costo mayor del níquel contra el plomo.

Las baterías Ni-Cd y Ni-MH son ejemplos de baterías alcalinas en las que la energía eléctrica proviene de un electrolito alcalino. Estas baterías tienen una energía específica menor debido al peso del metal.

Las baterías Ni-MH (Figura 10) tienen mayor duración que las de plomo presentando mejor manejabilidad y seguridad. Las desventajas de estas baterías es que son caras, son exotérmicas durante la carga y tienen bajo rendimiento. Estas baterías son las que están liderando en el mercado de las baterías recargables para VH junto con las de Li-ion, siendo las de Li-ión, utilizada para los vehículos de gama alta.

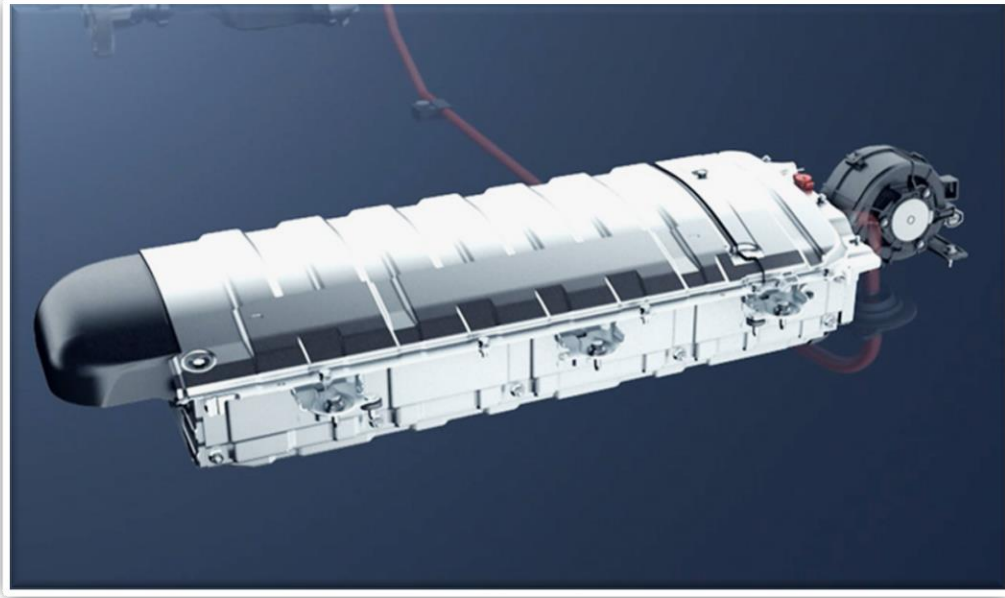


Figura 10. Baterías Toyota Prius 4 generación Ni-MH.

Baterías basadas en litio

El Li es el más ligero de todos los metales y presenta extraordinarias cualidades electroquímicas lo que resulta en una alta energía y potencia específica. Sus principales aplicaciones han sido en telefonía móvil y ordenadores portátiles. Existen dos principales tecnologías basadas en Litio:

- Litio-ion
- Litio-Polímero

Las baterías Li-ion concentran el desarrollo más prometedor en el campo de almacenaje de la energía eléctrica. Han sido muy importantes en el avance de la telefonía móvil. Las baterías Li-ion tienen una alta energía y potencia específica, buen comportamiento a altas temperaturas, bajas auto descargas y son reciclables, haciéndolas idóneas para su uso en los VH y VE.

Las baterías Li-Pol. Se consideran de estado sólido, ya que su electrolito es sólido. Esta batería tiene la mayor energía y potencia específica. La delgada capa de celda de Li-Pol proporciona una ventaja añadida para su adaptabilidad a diferentes espacios y tamaños dentro del chasis de los vehículos. La principal desventaja de estas baterías es que tiene que funcionar a temperaturas entre 60° y 120° C [LOPEZ, 2015].

Ultra capacitores

Debido a los requerimientos de los VH y VE como frecuentes arranques y paradas, los perfiles de carga y descarga tienen fuertes variaciones. En el diseño de VH es más importante el índice de potencia pico del sistema de almacenamiento que el de capacidad de energía y generalmente restringe la reducción de tamaño del sistema de almacenamiento. Los ultra capacitores, logran un equilibrio entre energía específica, potencia específica y vida, tiende a replantear el sistema de almacenamiento, realizando un sistema de almacenamiento híbrido que tenga una fuente de energía y otra de potencia. Las baterías tienen una energía específica alta, pero les falta potencia. Esto hace requerir de una fuente de potencia. Actualmente los ultra capacitores se han utilizado como fuente de potencia. Independiente del sistema de almacenamiento. Entre las ventajas de los ultra capacitores se encuentran: no requieren mantenimiento, mayor vida útil y es insensible a la variación de temperaturas.

1.2.6. Freno regenerativo

El freno regenerativo es algo muy particular de los VH, consiste en recuperar energía durante el frenado, almacenarla y utilizarla más tarde. Los ME se controlan para que trabajen como generadores y conviertan, así, la energía cinética o potencial del vehículo en energía eléctrica.

El comportamiento del sistema de frenos es fundamental en el punto de vista de seguridad. Generalmente el par de frenado del vehículo es mucho mayor que el par del ME puede producir, especialmente en fuertes frenadas [LOPEZ, 2015]. En los VH el sistema de frenos regenerativos coexiste con el convencional, considerando al sistema como híbrido. El objetivo final del diseño y control es asegurar el correcto funcionamiento del sistema de frenos convencional y recuperar toda la energía posible.

El frenado regenerativo en los VH tiene una mínima complejidad en su diseño, tomando en cuenta dos factores: distribuir las fuerzas requeridas de frenado entre el freno regenerativo y mecánico, para recuperar la máxima energía posible y distribución de fuerzas requeridas entre el eje trasero y delantero para una adecuada estabilidad. El ME debe controlarse para producir la adecuada cantidad de fuerza de frenado para recuperar la máxima energía posible, al mismo tiempo, la fuerza de frenado total debe ser suficiente para cubrir la desaceleración demandada por el conductor.

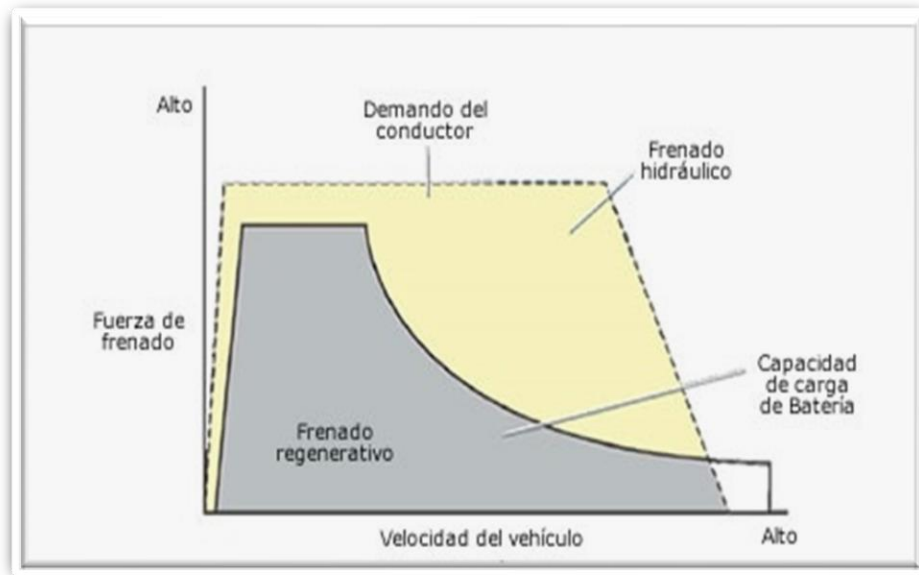


Figura 11. Comparación de frenado regenerativo vs convencional.

La Figura 11 muestra que la mayor intervención del frenado regenerativo es cuando la velocidad del vehículo es baja, recuperando gran parte de la energía de frenado y complementando la desaceleración demandada por el freno convencional. Y cuando el vehículo está a altas velocidades los frenos que intervienen más son los convencionales, debido a que el freno regenerativo no es suficiente para el frenado demandado por el conductor.

1.2.7. Funcionamiento del tren de potencia en VH

Los MCI transmiten la potencia a las ruedas, mediante el tren de potencia. Esto incluye embragues, engranes, transmisión y diferencial. En los VH incluyen un acoplamiento más, el del ME ya sea como generador eléctrico o apoyo al MCI, haciendo el tren de potencia más complejo en los VH.

En general lo que se requiere de un tren de potencia en un VH es:

- a) Suficiente potencia para cubrir la demanda del comportamiento del vehículo.
- b) Portador de energía para cubrir una autonomía adecuada.
- c) Alto rendimiento con bajas emisiones contaminantes.

Un tren de potencia se define como la combinación de la fuente de energía y el convertidor de energía o fuente de potencia [LOPEZ, 2015]. Usualmente los VH tienen dos trenes de potencia, más de dos serían muy complejos.

La Figura 12 se observa el flujo de energía en términos generales del tren de potencia híbrido. Existen varios caminos en el que el flujo de energía puede recorrer,

operando uno o dos trenes de potencia para cumplir con la carga que se está demandando.

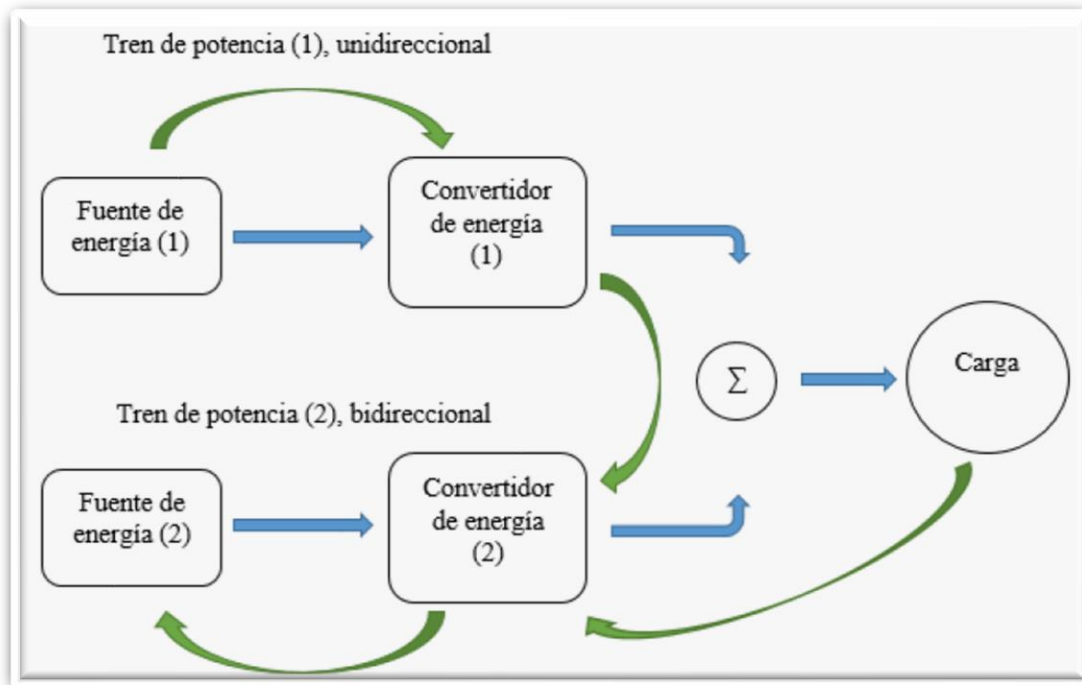


Figura 12. Esquema de flujo de energía en un tren de potencia híbrido

1. El tren de potencia 1 (MCI) entrega solo su potencia a la carga.

Las baterías tienen poca carga y el MCI no tiene exceso de potencia para cargarlas o las baterías están completamente cargadas y el MCI aporta la carga demandada.

2. El tren de potencia 2 (ME) entrega solo su potencia a la carga.

Modo puramente eléctrico, circulación a baja velocidad.

3. Ambos trenes entregan su potencia simultáneamente a la carga.

Tracción híbrida, cuando la demanda de potencia es alta, como en fuertes aceleraciones o subidas de pendiente.

4. El tren de potencia 2 obtiene potencia de la carga (frenada regenerativa).

Recarga de la batería a partir del freno haciendo funcionar al ME como generador.

5. El tren de potencia 2 obtiene potencia del tren de potencia 1.

Recarga de las baterías, a partir del MCI cuando el vehículo está parado o descendiendo.

6. El tren de potencia 2 obtiene potencia del tren de potencia 1 y de la carga simultáneamente.

Modo de carga utilizando el MCI y el freno regenerativo.

7. El tren de potencia 1 entrega potencia a la carga y al tren de potencia 2 simultáneamente.

El MCI propulsa el vehículo y carga las baterías.

8. El tren de potencia 1 entrega potencia al tren de potencia 2 y este a la carga.

El MCI carga baterías y el ME suministra energía a la carga.

9. El tren de potencia 1 entrega potencia a la carga, y la carga al tren de potencia 2.

La potencia fluye hacia las baterías desde el MCI a través de la masa del vehículo. Este es el caso de la configuración en el que los dos sistemas de potencia se montan separados en los ejes delanteros y traseros de vehículo.

1.2.8. Clasificación de VH

1.2.8.1. PARALELO

La configuración en paralelo (Figura 13), es aquella donde interactúan dos fuentes de energía propulsando al vehículo, en este caso el MCI y el ME. Ambos se conectan al eje de transmisión, la potencia propulsiva se puede suministrar por el MCI o el ME o bien una combinación. Los requerimientos de potencia son menores que un VE, ya que el MCI complementa la potencia total requerida del vehículo.

Los VH paralelos han sido diseñados para comportarse de igual manera que los vehículos convencionales. Una de las ventajas de los VH en paralelo es que ME puede operar como generador o propulsor. Pero debido a eso el acoplamiento de la transmisión es más compleja, haciendo una óptima regulación de ambos sistemas.

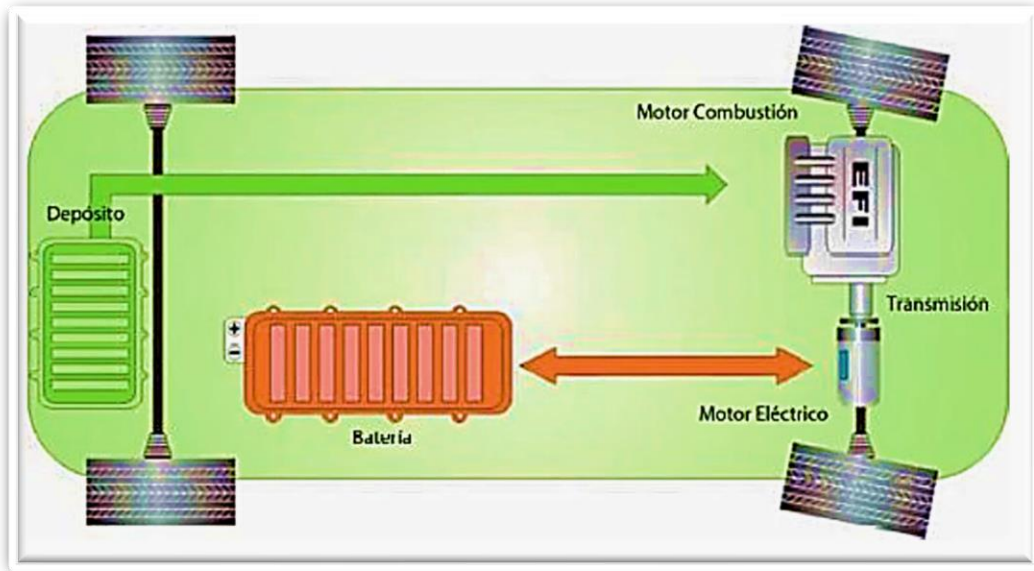


Figura 13. Configuración vehículo híbrido en paralelo.

1.2.8.2. SERIE

La configuración en serie (Figura 14) es donde el ME es el único propulsor, es decir, el vehículo tiene una propulsión puramente eléctrica. Como se ha venido mencionando los VE tienen ventajas sobre los convencionales como Zero emisiones, fuentes de energías múltiples. Pero con unas desventajas mayores, peso elevado, volumen de las baterías, tiempo de recarga y autonomía. Esta última es la razón por la que empezaron a realizarse VH en serie, al agregar un MCI para cargar las baterías a bordo.

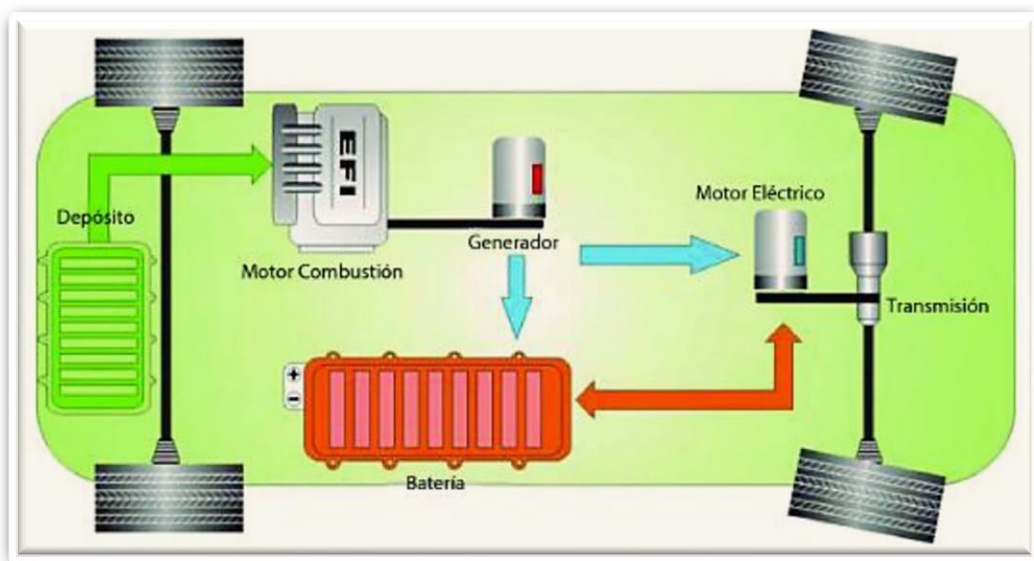


Figura 14. Configuración vehículo híbrido en serie.

El rango de operación del MCI se puede limitar de manera que evite variaciones bruscas de carga, seleccionando el rango operativo apropiado, para que coincida el mayor rendimiento y bajas emisiones.

En algunos casos, este tipo de configuración favorece en el diseño del vehículo, teniendo la opción de distribuir mejor el peso, por el uso de un generador y un motor de propulsión independientes.

1.2.8.3. SERIE-PARALELO (MIXTO)

El concepto de VH serie- paralelo (Figura 15), parte de una configuración en serie, pero el MCI se conecta directamente a las ruedas. Así tanto el MCI, generador, ME están interconectados con un acoplamiento como lo puede ser el de engranes planetarios.

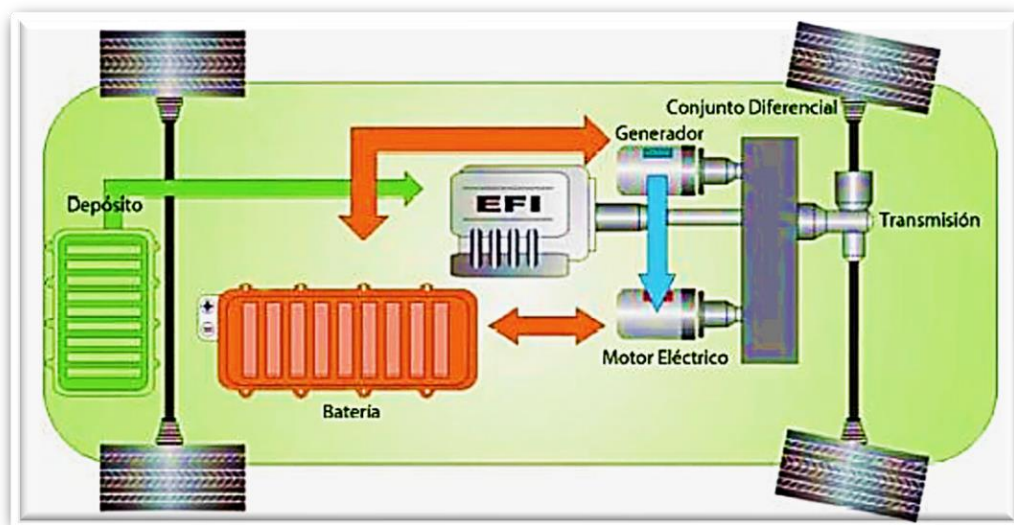


Figura 15. Configuración vehículo híbrido en serie-paralelo (mixto).

Esta configuración conjunta las ventajas de las dos anteriores, con la posibilidad de propulsar al vehículo de tres maneras: mediante MCI, mediante el ME o mediante la combinación de ambos como la configuración en paralelo.

El flujo de energía es el siguiente:

- El MCI impulsa al vehículo a través del acoplamiento
- El generador que está también conectado al acoplamiento es impulsado por el MCI produciendo electricidad. Esa electricidad es usada para alimentar las baterías y el ME, según las necesidades.

- El ME, es alimentado por las baterías y a su vez es capaz de recargar las baterías en los momentos de frenada regenerativa.
- El ME impulsa las ruedas a través del acoplamiento.

Debido a más disponibilidad de modos de funcionamiento, las estrategias de control son muchas y variadas. No obstante, los objetivos de control son siempre los mismos, bajo consumo de combustible y de emisiones contaminantes. Bajo las condiciones de converger con las ordenes de par solicitado del conductor (tracción frenado) y siempre mantener en un rango razonable el EDC de las baterías.

Gracias al sistema de acoplamiento, el MCI puede ser conectado a las ruedas en un rango óptimo de operación. Al tener la disposición del ME como apoyo, ya no son necesarias cajas de velocidades complejas. Sin embargo, los VH siguen siendo muy complejos en la parte mecánica, más aún en el sistema de control.

El Toyota Prius utiliza esta Configuración. Su inconveniente es que tiene más componentes: un generador y un ME por separado conversor de CA a CD.

El acoplamiento utilizado por el Toyota Prius es el sistema de engranes planetarios, es comúnmente utilizado en las cajas automáticas. Está constituido por un sol, planetas porta planetas y corona que conectan al MCI con el ME, como se ve en la Figura 20.

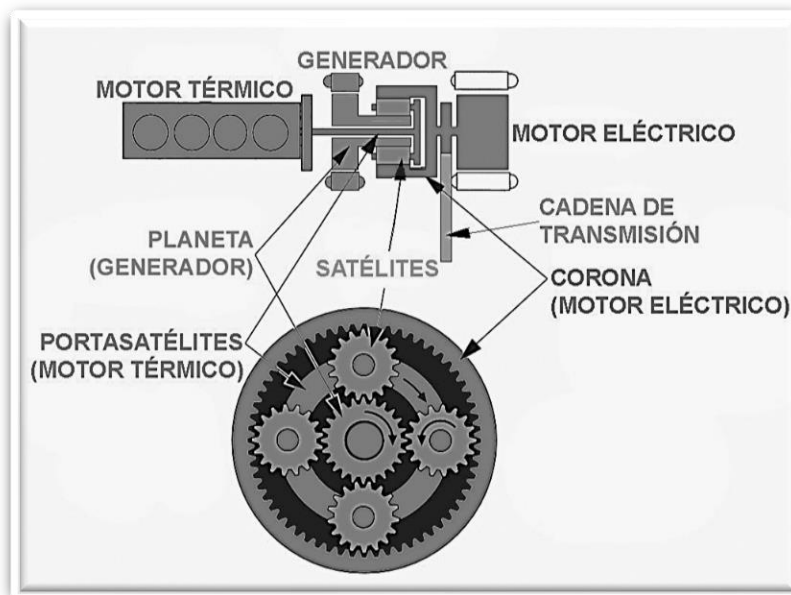


Figura 16. Acoplamiento de engranes planetarios Toyota Prius.

1.2.8.4. BASADOS EN EL ACOPLAMIENTO DE LA TRANSMISIÓN

Los VH pueden ser clasificados como pre y post transmisión, de acuerdo de la ubicación de la transmisión ya sea antes o después del ME. En la pre-transmisión, los ejes de salida del ME y el MCI están acoplados antes de la transmisión, es decir, la transmisión se encuentra entre los propulsores (MCI y ME) y el eje final. La transmisión realiza una salida de potencia combinada de ambos motores con la velocidad del vehículo. La Figura 17 muestra la configuración pre transmisión paralelo.

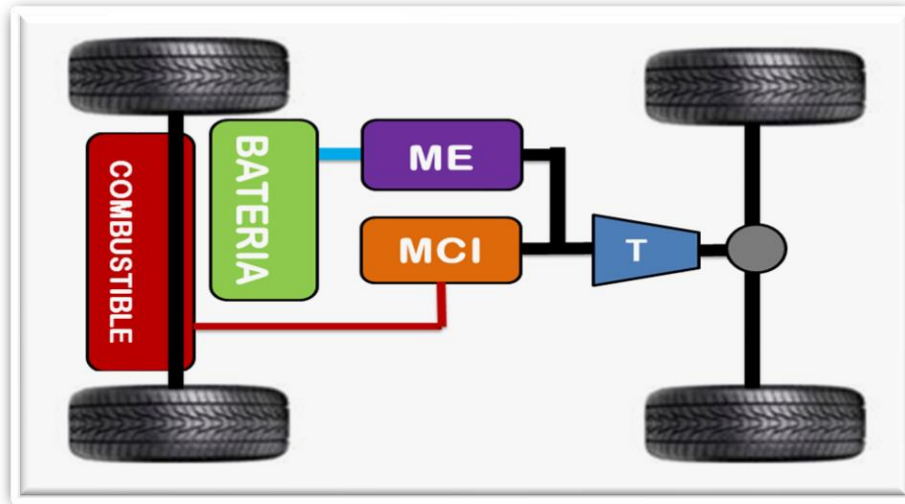


Figura 17. Configuración pre-transmisión paralelo.

En la configuración post-transmisión híbrida (Figura 18), el ME está acoplado al eje de salida de la transmisión, el cual puede operar a velocidades altas comparado con la del vehículo con acoplamientos de engranes. Pero este debe poseer un amplio rango de velocidad constante. Los VH con motores eléctricos montados directamente en las ruedas son ejemplos de estas configuraciones con un alto par y bajas velocidades. Sin embargo, los motores montados en cada rueda son pesados, con altos niveles de vibraciones, además de ser muy propensos a los efectos ambientales [HUSAIN, 2011].

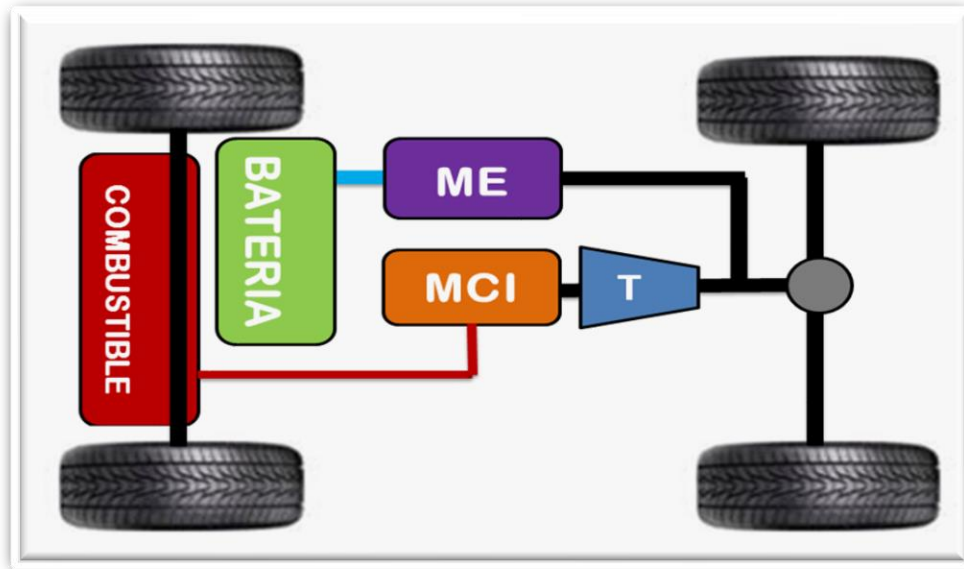


Figura 18. Configuración post-transmisión paralelo.

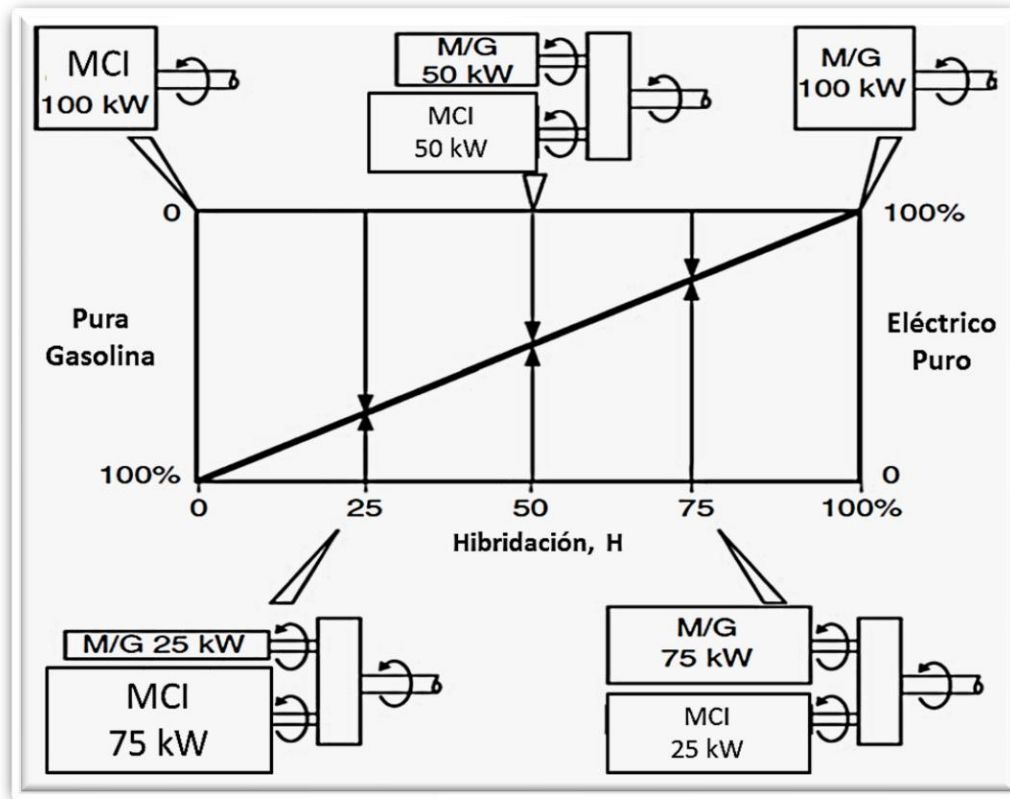
1.2.8.5. BASADOS EN SU GRADO DE HIBRIDACIÓN.

Esta clasificación es la más orientada al consumidor, es un método utilizado por la industria automotriz [HUSAIN, 2011], el grado de hibridación indica la porción de potencia proveniente del ME respecto al total de la suma del ME y el MCI.

El grado de hibridación se puede definir como:

$$GDH = \frac{\sum \text{Potencia de motores electricos de tracción}}{\sum \text{Potencia de motores electricos de tracción} + \text{Potencia MCI}} \quad \text{ec. 5}$$

En la Gráfica 6 se muestra el grado de hibridación para una configuración en paralelo. Cuando GDH=0% el vehículo es convencional con únicamente MCI y GDH=100% es un VE.

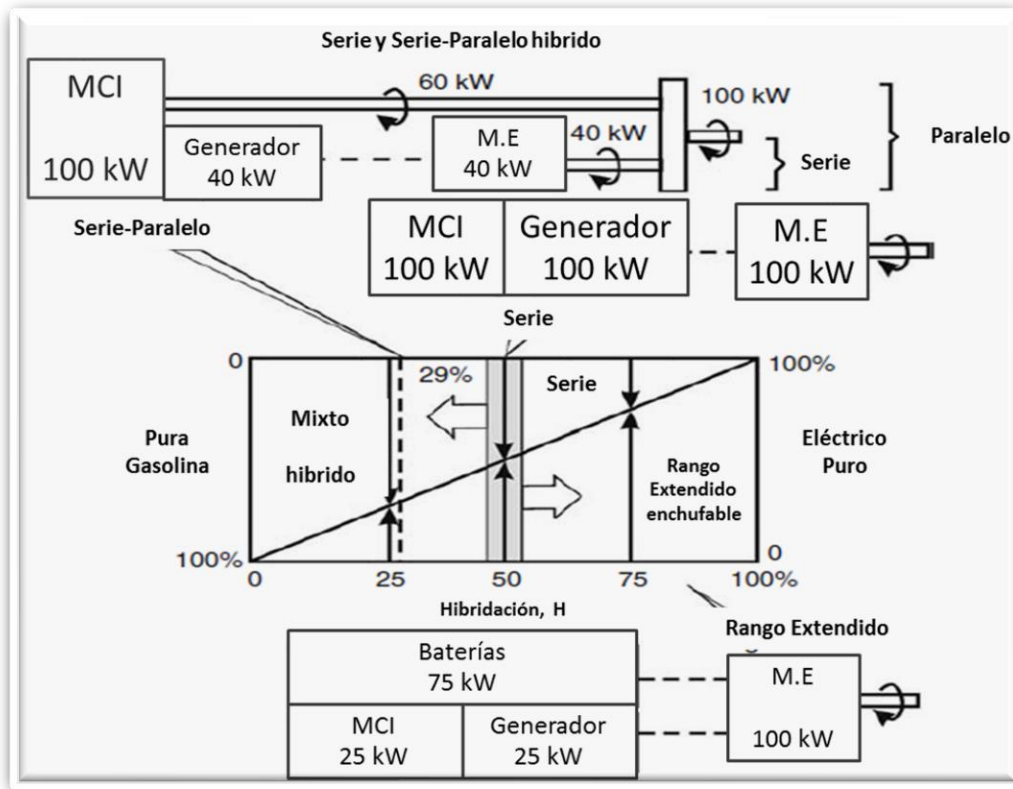


Gráfica 3. Tamaño de los componentes motrices de un VH paralelo en función del grado de hibridación.

Los vehículos que se encuentran cerca de la región de GDH=25% son llamados VH ligeros, y por debajo del 25% como micro híbridos. Estos vehículos tienen una relación de costo beneficio altamente favorable. Para GDH=50% se les llaman VH completos¹, donde la potencia de ambos motores es la misma. Y GDH=75% el ME generador, es más grande comparado con el MCI, así como la potencia de las baterías. Esta región es de los vehículos híbridos enchufables, también llamados de rango extendido [DHAMEJA, 2001].

La Gráfica 4 muestra la región de los VH en serie y mixto.

¹ Esta región se localiza en un rango entre 40% y 55%.



Gráfica 4. Tamaño de los componentes motrices de un VEH serie y mixto en función del grado de hibridación.

En un principio los VH en serie, tanto el ME y el MCI poseen la misma potencia siendo su GDH cerca del 50%, fuera de esa banda se encuentran en la zona de rango extendido o de VH mixto.

Los VH de rango extendido tienen un MCI pequeño comparado con el ME, sin embargo, el paquete de baterías será el que suministre la potencia faltante, siendo estas baterías enchufables. La Gráfica 7 muestra un VH de rango extendido con un valor de GDH = 80%.

Pueden existir VH en serie con un MCI más potente que el ME, pero habría mucha potencia excedente de parte de MCI, que se estaría desperdiciando, de ahí que los VH mixtos tuvieron su origen en el funcionamiento en serie, los VH mixtos aprovechan esa potencia en exceso para realizar una configuración en paralelo, proporcionando propulsión tanto el ME como el MCI. La configuración mixta mostrada en la Gráfica 4 en serie tiene un valor de GDH=29%. Pero en funcionamiento paralelo tiene un valor de GDH= 40%, al descontarle los 40 KW al MCI, que es utilizado para generar electricidad.

Los VH completos, también se pueden distinguir como vehículos que pueden ser propulsados tanto por el ME como por el MCI independientemente. En cambio, los VH ligeros tienen un ME incapaz de propulsar por sí solo al vehículo.

1.2.9. Estrategias de Control

Una estrategia de control es una regla que está presente en la computadora del vehículo y comanda el funcionamiento de cada componente [EHSANI, 2010]. Los objetivos de control son

- Proporcionar la potencia demandada por el conductor
- Funcionar en los puntos óptimos de los componentes del sistema híbrido
- Capturar la máxima energía durante la frenada regenerativa.
- Mantener el EDC de las baterías en una ventana determinada.

La computadora del vehículo juega un papel muy importante en el control del sistema propulsor. Desempeña varios de los modos de funcionamiento, de acuerdo con los datos recogidos de los componentes y del conductor, y corrige las órdenes del resto del controlador.

Máximo Estado De Carga de las Baterías.

Cuando el vehículo funciona en un ciclo urbano, habrá paradas y arranques frecuentes, por semáforos, reductores de velocidad, incorporaciones a vías, etc. Consecuentemente las baterías empiezan a descargarse rápidamente, por lo que mantener el EDC alto en las baterías, es fundamental para asegurar un suministro de energía eléctrica al tren propulsor, para soportar las frecuentes aceleraciones.

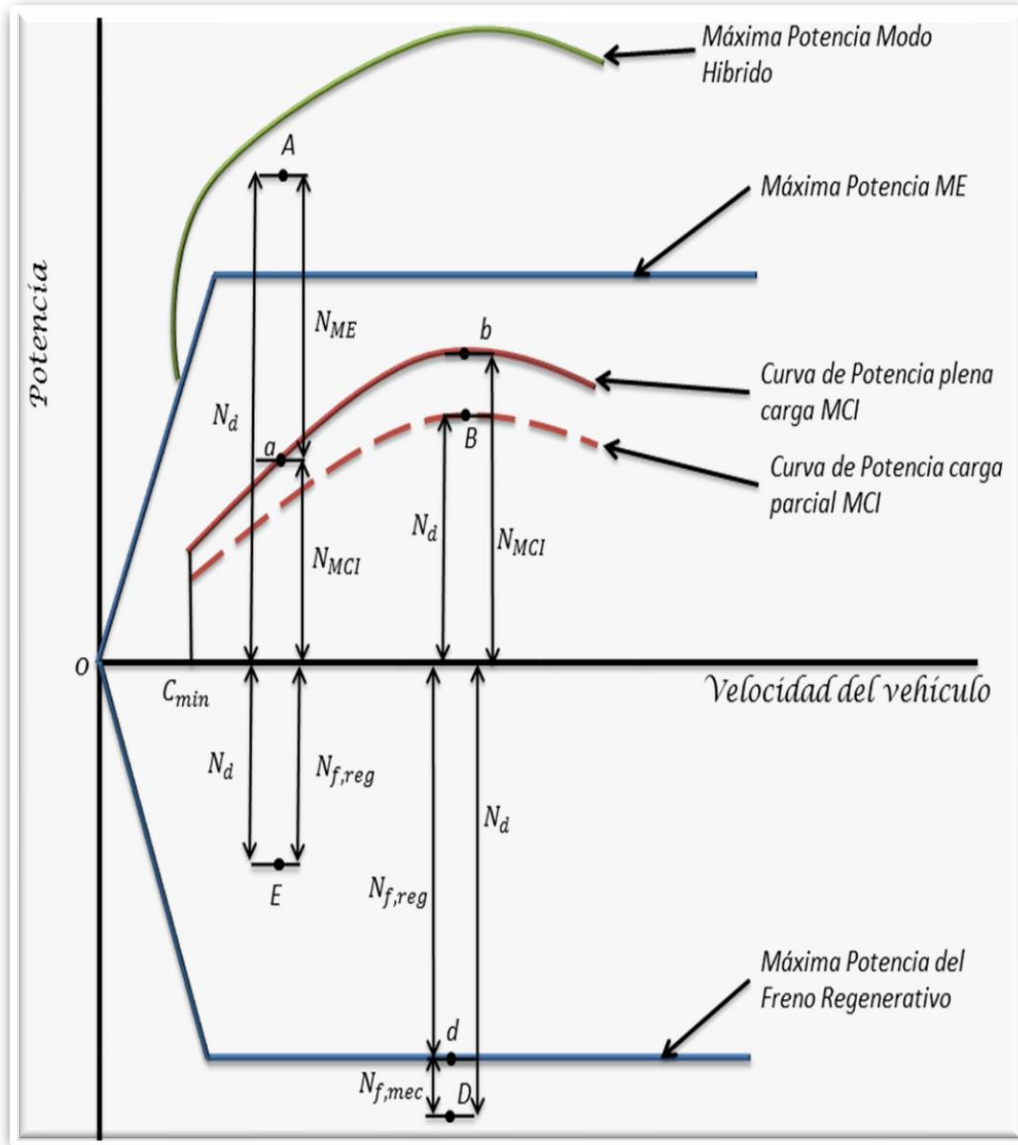
La regla básica de esta estrategia es establecer al MCI como la fuente primaria de energía y tanto como sea posible, tener un excedente de potencia para poder cargar las baterías repetitivamente, sin exceder el límite de carga.

Los modos de operación en configuración en **Paralelo** se muestran en la Tabla 2:

Modo	Condición	Potencias
Tracción eléctrica	$C_d < C_{min}$	$N_d = N_{ME}$ $N_{MCI} = 0$ $N_{BAT,d} = \frac{N_{ME}}{\eta_{ME}}$
Tracción híbrida (A)	$C_d > C_{min}$ $N_d > N_{MCI}$	$N_d = N_{MCI} + N_{ME}$ $N_{BAT,d} = \frac{N_{ME}}{\eta_{ME}}$
Carga de batería (B)	$N_d < N_{MCI}$ $EDC < EDC_{max}$	$N_{MEG} = (N_{MCI} - N_d)\eta_{t,MCI-MEG}$ $N_{BAT,c} = N_{MEG}\eta_{ME}$
Tracción MCI (b)	$N_d < N_{MCI}$ $EDC > EDC_{max}$	$N_d = N_{MCI}$ $N_{ME} = 0$ $N_{BAT} = 0$
Freno regenerativo (E)	$N_f < N_{f,reg}$	$N_{f,reg} = N_d\eta_{ME}$ $N_{BAT,c} = N_{f,reg}$
Frenada híbrida (D)	$N_f > N_{f,reg}$	$N_{f,reg} = N_{f,reg,max}\eta_{ME}$ $N_{f,mec} = N_d - N_{f,reg}$ $N_{BAT,c} = N_{f,reg}$

Tabla 2. Modos de operación EDC máx. VH paralelo.

Estos modos de operación, también se pueden apreciar en la Gráfica 5, que va en función de la potencia demandada. En el modo de carga de baterías el MCI pasa a la línea óptima de funcionamiento, para que el sobrante de potencia se utilice para la carga de batería.



Gráfica 5. Modos de operación EDC máx.
VH paralelo (gráfica)

Y en términos generales el diagrama de flujo de la estrategia de control de máximo estado de carga es el siguiente (Figura 19):

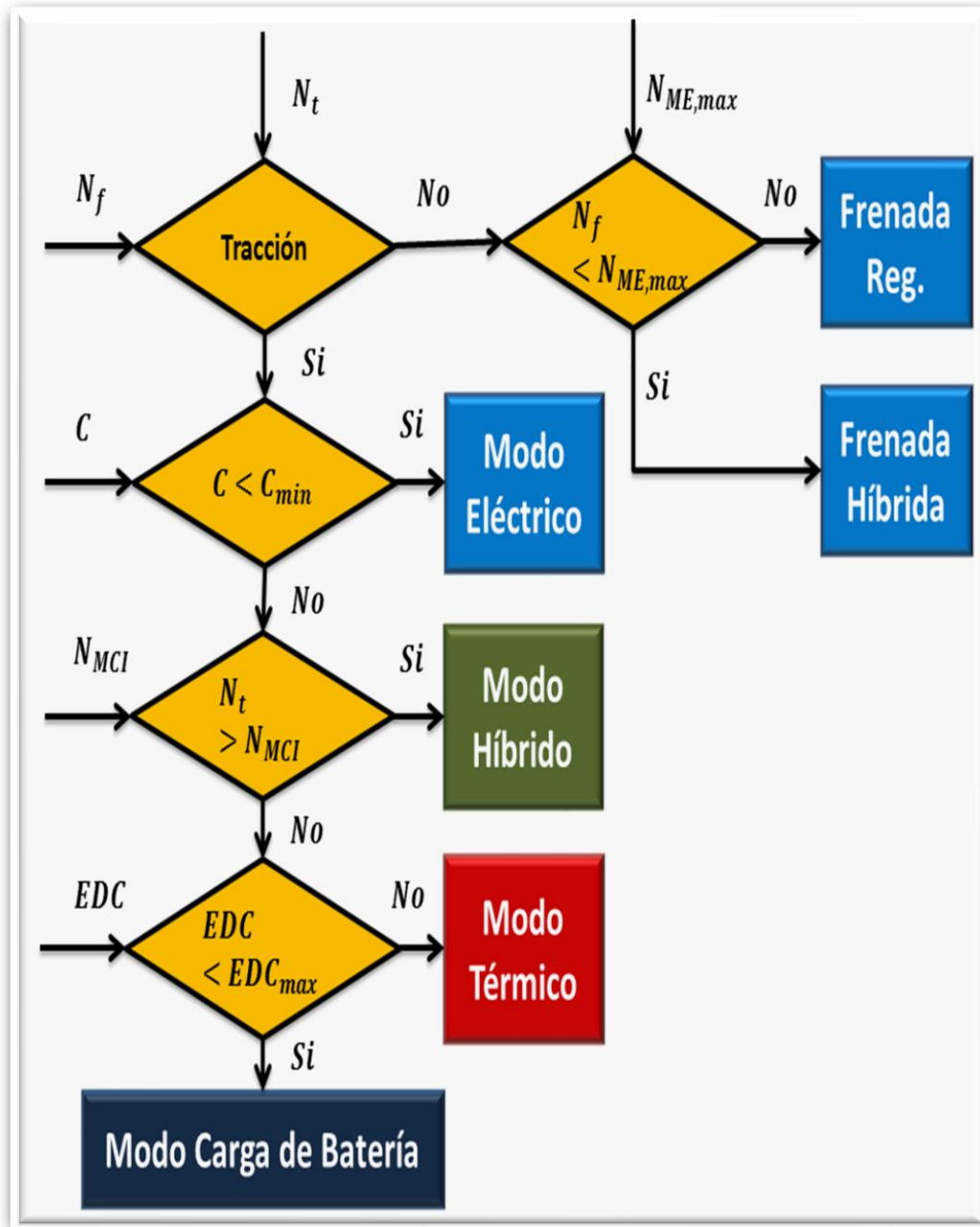


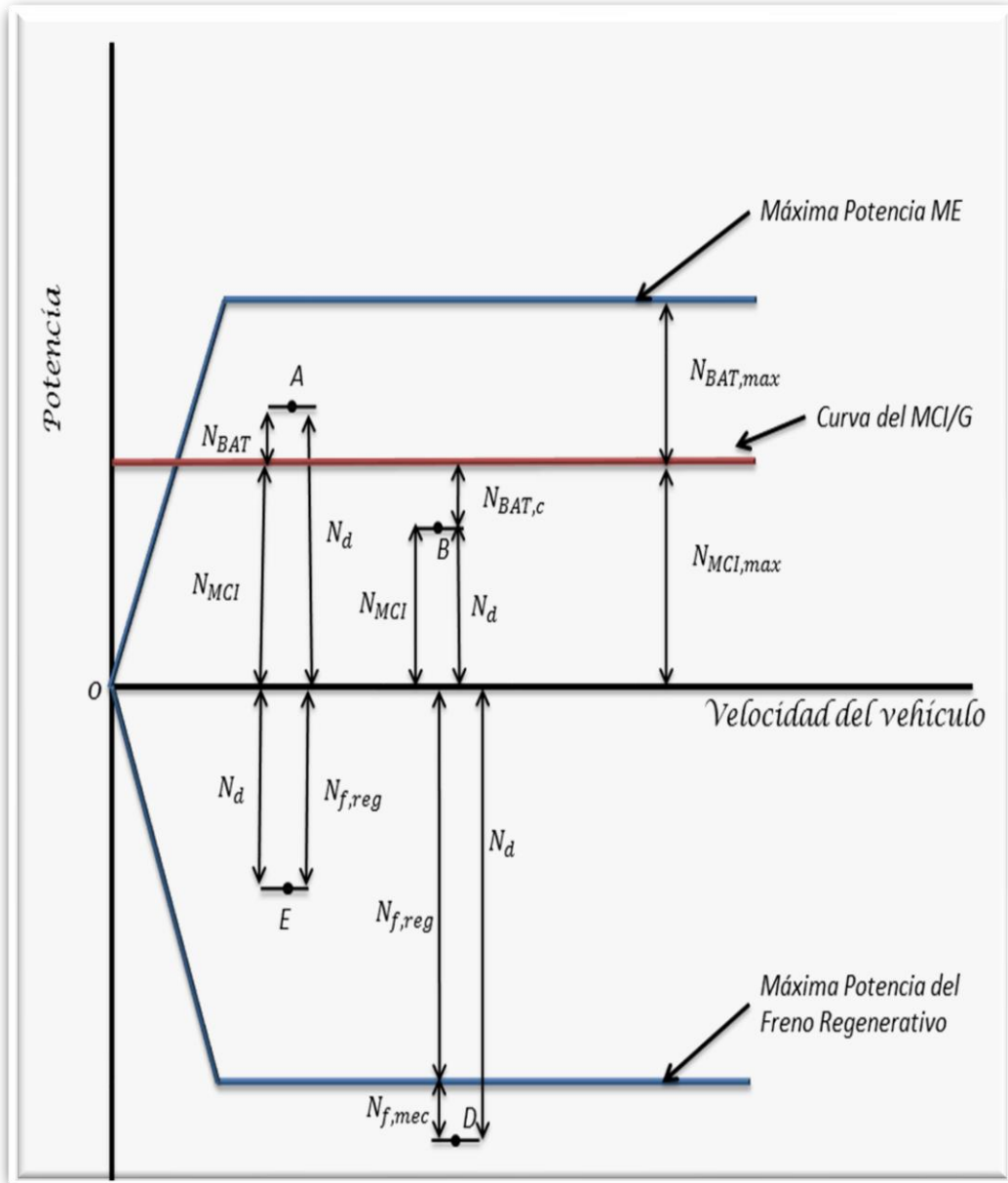
Figura 19. Diagrama de flujo de máx. EDC paralelo.

Los modos de operación en configuración en **Serie** se encuentran en la Tabla 3:

Modo	Condición	Potencias
Modo batería/tracción eléctrica	$N_d < N_{MCI/G}$ $EDC > EDC_{max}$	$N_d = N_{BAT}$ $N_{MCI/G} = 0$
Tracción híbrida (A)	$N_d > N_{MCI}$	$N_d = N_{MCI/G} + N_{BAT}$
Carga de batería (B)	$N_d < N_{MCI/G}$ $EDC < EDC_{max}$	$N_d = N_{MCI/G} - N_{BAT}$
Modo MCI/G (B)	$N_d < N_{MCI/G}$ $EDC > EDC_{max}$	$N_d = N_{MCI/G}$ $N_{BAT} = 0$
Freno regenerativo (E)	$N_f < N_{f,reg,max}$	$N_d = N_{f,reg}$ $N_{BAT,c} = N_{f,reg}$
Frenada híbrida (D)	$N_f > N_{f,reg}$	$N_d = N_{f,mec} + N_{f,reg}$ $N_{BAT,c} = N_{f,reg}$

Tabla 3. Modos de operación EDC máx. VH serie.

Los modos de operación se observan en la Gráfica 6 excepto el modo baterías, que es difícil de localizar ya que el vehículo estará en constante descargas.



Gráfica 6. Modos de operación EDC máx. VH serie (gráfica).

Así también la estrategia se puede apreciar en un diagrama de flujo como en la Figura 20.

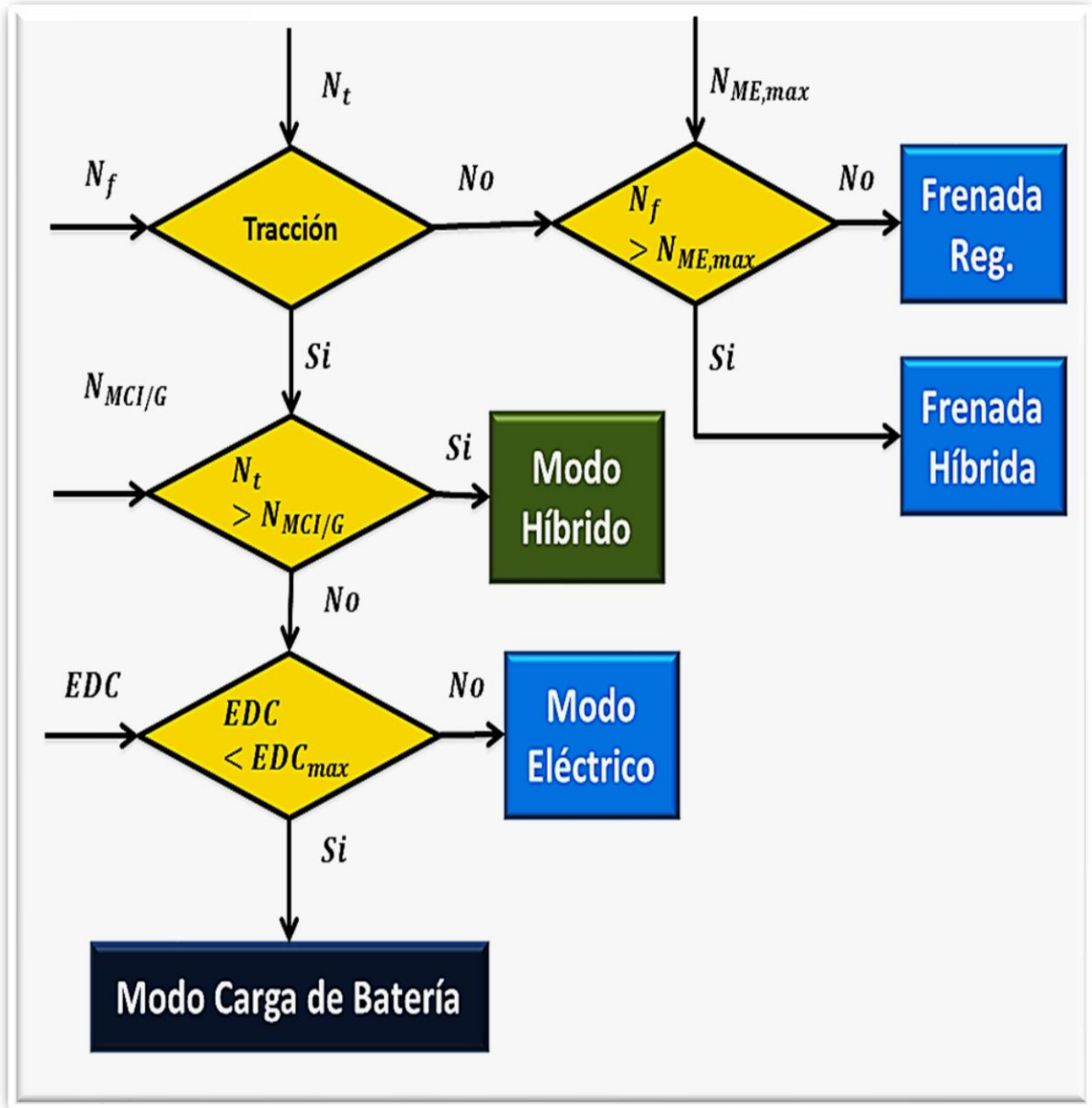


Figura 20. Diagrama de flujo de máx. EDC serie

Estrategia de control de termostato (on-off)

Cuando el vehículo funciona en modo térmico, es decir cuando la potencia demandada es menor que la que produce el MCI y el EDC está al máximo la estrategia de EDC máximo, hará que el rendimiento empeore. En este caso existe otra estrategia, la cual es que la fuente primaria de energía es el ME. El MCI opera en su punto óptimo como en el caso anterior, pero éste se estará apagando o encendiendo, dependiendo del EDC. Con este tipo de control el ME, deberá tener la suficiente potencia para proporcionar los picos de potencia mientras que el MCI este apagado.

El modo de operar de esta estrategia se observa en la Figura 21, donde el funcionamiento del MCI está en función del EDC. Cuando el EDC es el máximo el MCI se apaga, y cuando es el mínimo el MCI se enciende hasta llegar al EDC máximo.

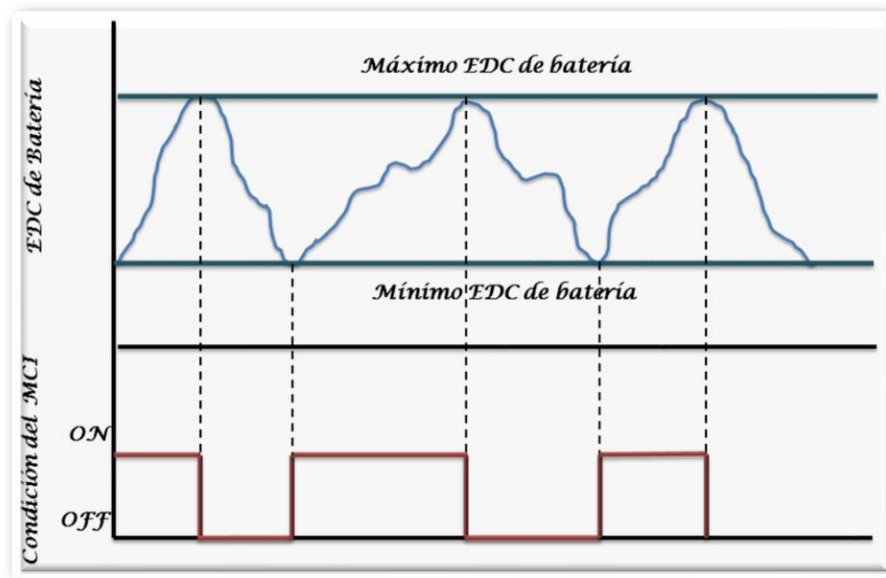
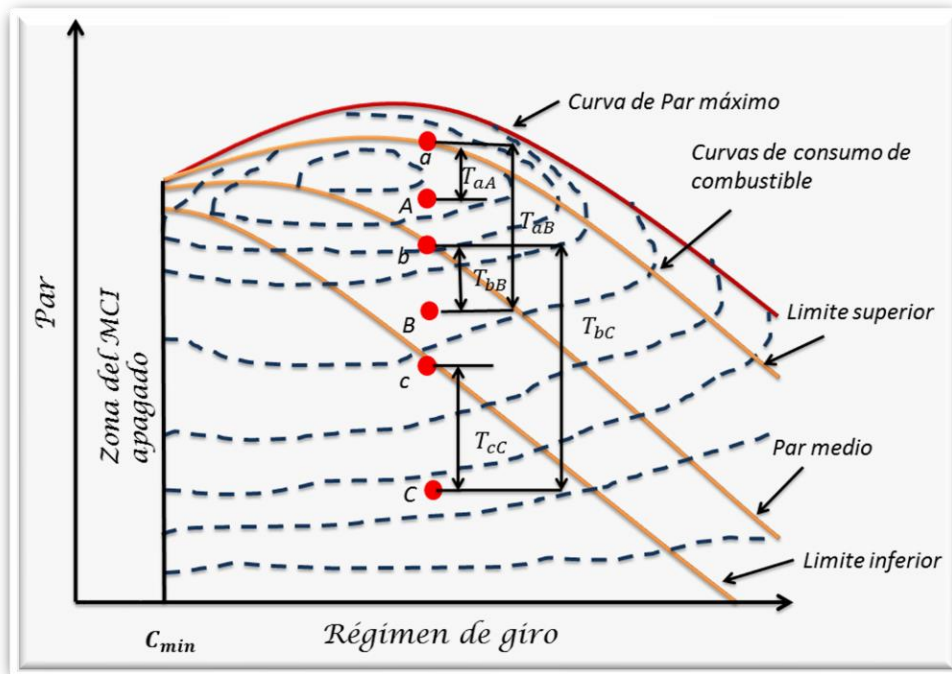


Figura 21. Ejemplo estrategia de control de termostato (on-off).

Estrategia de control modo restringido (solo en paralelo)

Esta estrategia es un equilibrio de las dos anteriores, se trata de compensar el de EDC máximo con el de termostato. El control sería igual que el EDC máximo, agregando la estrategia on-off en el punto de donde la potencia demandada es menor a la del MCI (modo carga de batería y modo térmico). De la misma manera que en EDC máximo al cargar las baterías el MCI se lleva a un punto de par excedente para recargar con esto las baterías.

Este funcionamiento se puede ver en la Gráfica 7. El modo restringido se divide en par alto, intermedio y bajo, sin salirse de la zona del MCI para no entrar en modo híbrido.



Gráfica 7. Estrategia de control modo restringido paralelo.

Así mismo el EDC se divide en zonas de bajas medias y altas, como se ve en la Gráfica 7, esta estrategia se resume en la Tabla 4:

Par dem \ EDC	Bajo	Medio	Alto
Par bajo (C)	$T_{MCI} = T_{bc}$ $T_{carga} = T_{bc} - T_{cc}$	$T_{MCI} = T_{cc}$ $T_{carga} = T_{cc} - T_{cc}$	$T_{MCI} = 0$ $T_{carga} = 0$
Par Medio (B)	$T_{MCI} = T_{aB}$ $T_{carga} = T_{aB} - T_{BB}$	$T_{MCI} = T_{bB}$ $T_{carga} = T_{bB} - T_{BB}$	$T_{MCI} = T_{BB}$ $T_{carga} = 0$
Par Alto (A)	$T_{MCI} = T_{aA}$ $T_{carga} = T_{aA} - T_{AA}$	$T_{MCI} = T_{AA}$ $T_{carga} = 0$	$T_{MCI} = T_{AA}$ $T_{carga} = 0$

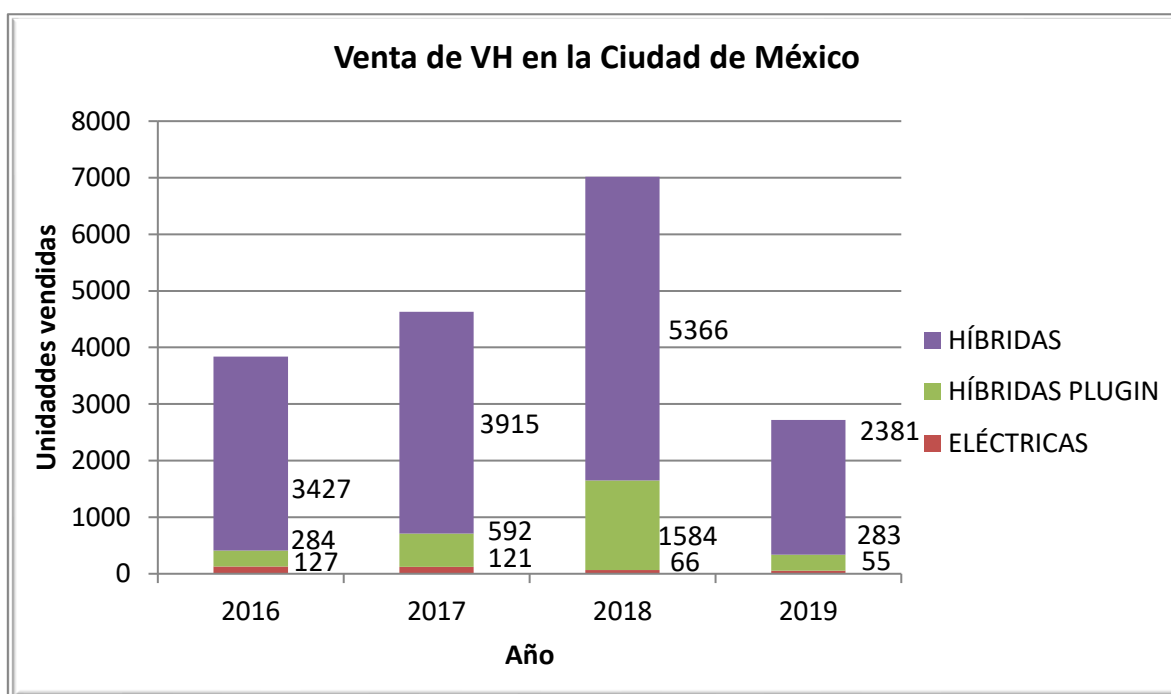
Tabla 4. Estrategia de control modo restringido paralelo.

Los recuadros iluminados de la Tabla 4 son los casos donde salen del modo de operación de carga o térmico y entran en modo eléctrico o híbrido.

1.3. VEHÍCULOS HÍBRIDOS EN MÉXICO

En México después de entrar en vigor la reforma energética, en el año 2017 hubo un incremento abrupto en el precio de los combustibles, provocando que los consumidores opten por otras maneras de reducir el consumo de combustible y el ahorro de dinero, como son los biocombustibles, vehículos eléctricos y vehículos híbridos, siendo estos últimos la tendencia que se está tomando.

De acuerdo al INEGI, se tiene un historial de ventas de VH en la Ciudad de México a partir del 2016. Los datos muestran un incremento de ventas de VH del 2016 al 2017 y para el 2018 (después de la liberación del precio de la gasolina del año 2017) se ve un incremento mayor de venta de unidades, y en el 2019 con una disminución de ventas. Por otro lado, la venta de VE va a la baja, siendo un factor importante el precio de estos.



*Gráfica 8. Venta de vehículos híbridos en la Ciudad de México
2016 a 2019 [INEGI, 2020]*

No obstante, a pesar de la disminución de ventas, la mayoría de los VH que se vendieron desde el 2016 siguen en circulación. Cabe mencionar que los VH denominados Mild Hybrid están sumados a la categoría Híbridas en la Gráfica 8, junto a los denominados Strong Hybrid.

2.METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para la estimación de emisiones contaminantes de VH, se requiere de varias herramientas y datos para la elaboración de modelos de vehículos virtuales, así como su simulación, por lo que en este capítulo se realiza una breve explicación de estas herramientas y obtención de datos para el uso en el software de simulación de vehículos virtuales ADVISOR.

El primer punto que se aborda es el manejo del software ADVISOR, el cual será utilizado para el modelado y simulación de vehículos virtuales, conociendo los datos requeridos para el modelado de vehículos. Tomando en cuenta esto, se hará mención a los ciclos de manejo que serán utilizados en este trabajo.

2.1. SOFTWARE ADVISOR

Actualmente las simulaciones en computadora han sido una herramienta por su fácil manejo y rapidez en la obtención de resultados, a bajo costo. ADVISOR permite realizar simulaciones de vehículos virtuales que recorren un ciclo de manejo, para así obtener factores de emisiones y consumo de combustible, además del uso de energía en diferentes componentes como por ejemplo el estado de carga de las baterías y el uso de ME en el caso de los VH.

Este simulador fue elaborado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estado Unidos (NREL por sus siglas en inglés). El software fue desarrollado en el ambiente de MATLAB/Simulink, utilizando diagramas de bloques (Figura 22), para lograr simular vehículos virtuales convencionales (gasolina, diésel), eléctricos, e híbridos.

El programa salió en versiones de los años 2002 y siendo el código liberado en el año 2003 para ser una versión de software libre. En la UNICE se ha logrado modificar el programa para poder ser utilizado en versiones recientes, tanto de MATLAB/Simulink, como de sistemas operativos.

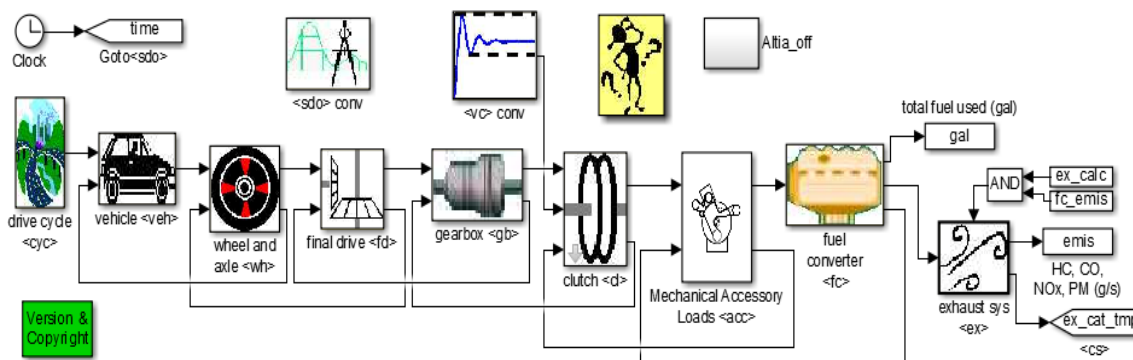


Figura 22. Diagrama de bloques Matlab/Simulink ADVISOR

La ventaja del software es que puedes realizar varias simulaciones para estimar el consumo de combustible y las emisiones de vehículos de los que no se tiene una disponibilidad para realizar pruebas experimentales, o bien, para el desarrollo de tecnologías nuevas no se disponen para el experimento o para desarrollo de tecnologías nuevas.

La base de datos de los componentes del software es diferente a los que se utilizan actualmente. Sin embargo, se pueden realizar adecuaciones para aproximarse a lo actual, principalmente en el modelado del vehículo.

Para poder simular vehículos virtuales, ADVISOR requiere de información de los componentes que conforman al vehículo para poder modelarlo, como lo son el MCI, la transmisión, tipo y dimensiones de la carrocería, paquete de baterías, ME, estrategias de control de los vehículos híbridos, dicha información debe de obtenerse de ensayos experimentales controlados

Después de haber agregado las librerías en la carpeta de documentos de MATLAB. El software se ejecuta en la ventana de comandos de MATLAB escribiendo "advisor", Al iniciar te permite seleccionar el sistema de medición a utilizar entre el métrico y el US. Figura 23



Figura 23. Interfaz de inicio ADVISOR

Una vez elegido el sistema de unidades, se oprime el botón de Start, aparecerá la interfaz donde se modelará el vehículo Figura 24, es decir, se seleccionarán las

partes que definen al vehículo para simularlo, para esto en la base de datos ya debe de estar la información actualizada de los componentes a usar, más adelante en el numeral 4.4 de se explica cómo agregar información a la base de datos de ADVISOR.

Aparecerá un listado de los componentes necesarios para modelar el vehículo, con diferentes clases de estos, de modo que puedes seleccionar entre varias carrocerías de vehículos (Sedan, Van, SUV, Autobús), MCI (diésel, gasolina), transmisión (manual, automática), etc.

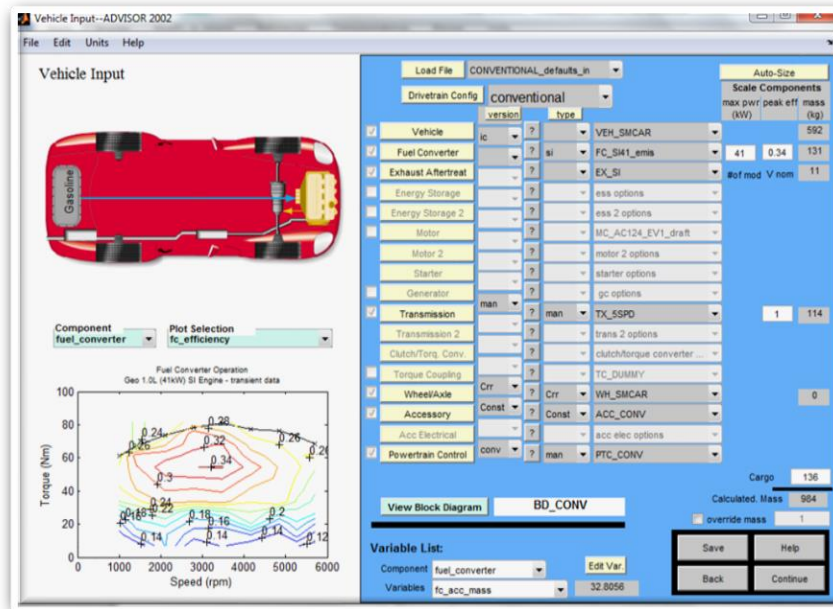


Figura 24. Interfaz de modelado del vehículo virtual

Seguido de la definición del vehículo se selecciona el ciclo de manejo a recorrer y las condiciones iniciales del vehículo virtual Figura 25. El software ya tiene cargados varios ciclos de manejo utilizados por la Unión Europea y Estado Unidos. Para esto la UNICE desarrollo dos ciclos de manejo de la Ciudad de México, los cuales serán agregados en la base de datos para utilizarlos en las simulaciones de este trabajo.

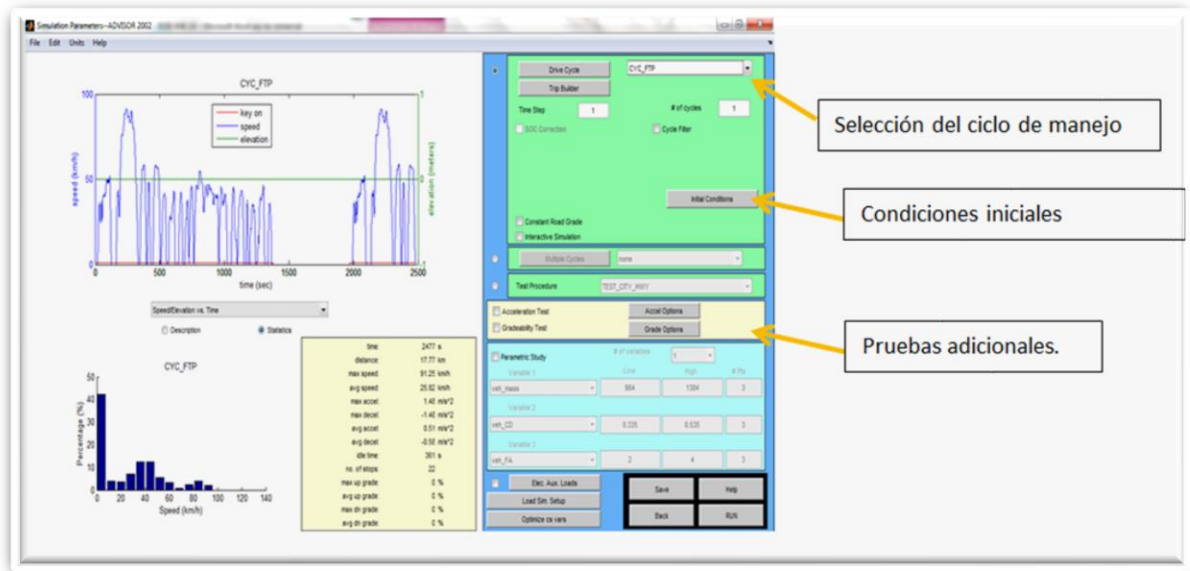


Figura 25. Condiciones de la simulación

En la ventana donde seleccionas el ciclo de manejo, también puedes elegir las condiciones iniciales como temperatura del MCI o el EDC en los VE y VH, además realizar pruebas adicionales como lo es un estudio de aceleración o de capacidad de ascenso Figura 26, siendo esta última importante para el estudio de los VH, ya que el ME y el paquete de baterías suman peso y restan capacidad de ascenso, por lo que debe de ser un equilibrio entre peso/potencia.

La capacidad de ascenso es la traducción del inglés Gradeability, es el grado más alto de una pendiente el cual el vehículo puede ascender a una velocidad constante en un cierto tiempo o distancia. Para el caso de ADVISOR, realiza una prueba por default de 50mph, lo que es aproximadamente 80Km/h, en un tiempo de 10s. Estos parámetros se mantendrán durante todas las pruebas, habilitando todos los sistemas es decir el sistema de almacenamiento y el MCI estableciendo un EDC inicial de 60% y un límite mínimo de 40%.

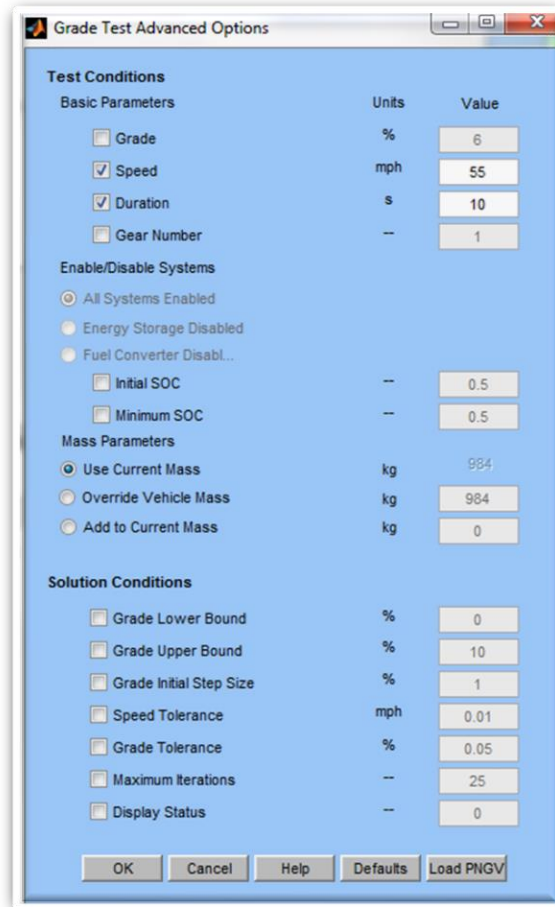


Figura 26. Ventana de pruebas adicionales

Ya terminado de seleccionar los criterios y condiciones de la simulación, el software corre el modelo, obteniendo en la interfaz de resultados, gráficas de recorrido del ciclo, emisiones, EDC cambios de marcha, entre otras que puedes elegir para que las muestre en pantalla, además de factores de emisiones, rendimiento y el resultado de las pruebas adicionales como la capacidad de ascenso Figura 27.

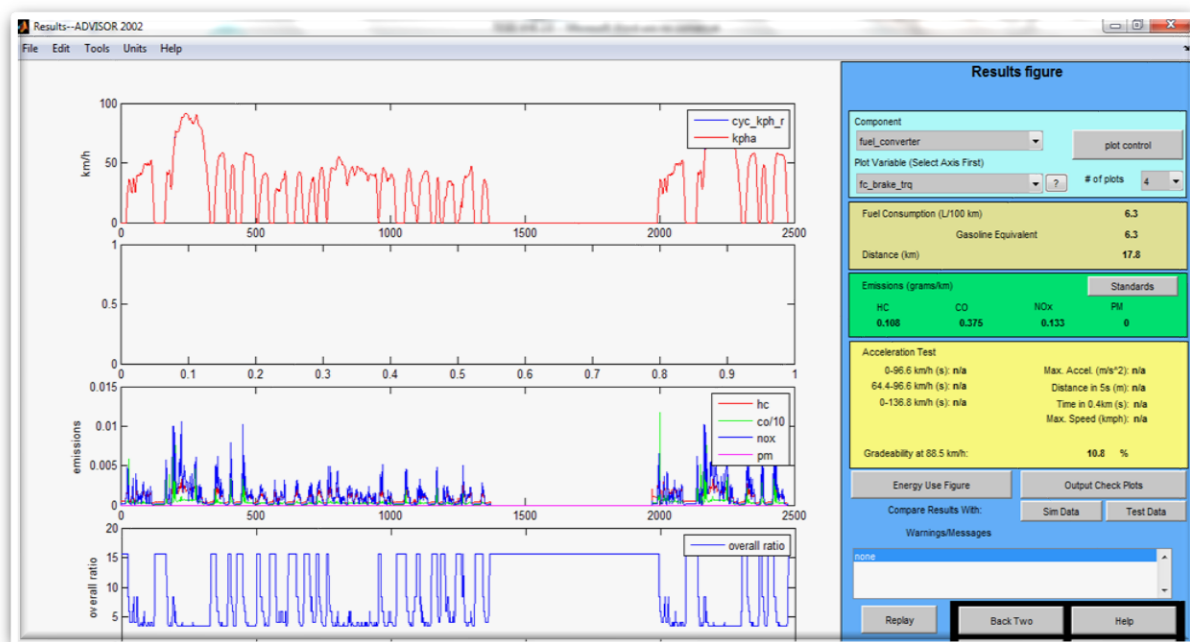


Figura 27. Interfaz de Resultado de la simulación

La metodología a efectuarse en este trabajo será definir un vehículo con el mismo MCI y carrocería, pero variando la potencia del ME de modo que se encuentre un grado de hibridación óptimo para las necesidades de manejo para la Ciudad de México, con base a las emisiones, rendimiento de combustible, capacidad de ascenso.

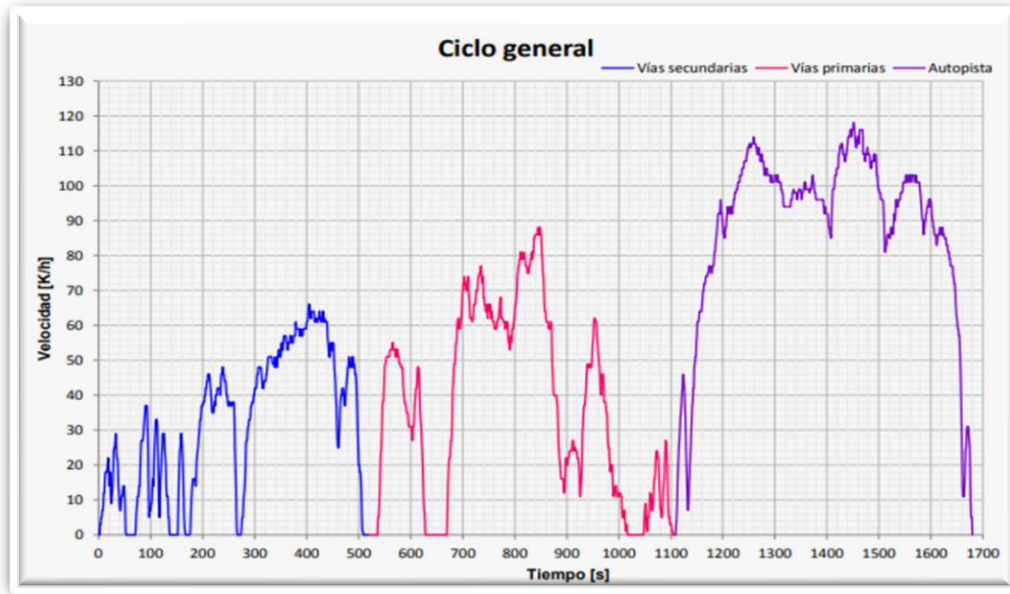
2.2. CICLOS DE MANEJO

Un ciclo de manejo es un perfil de velocidades trazado en un plano velocidad-tiempo, que representa una forma típica de conducir en una ciudad o autopista, tomando en cuenta la tecnología del vehículo, características del tráfico, de la carretera, características climáticas y geográficas (altitud, entre las más importantes) y también características de los mismos conductores [GONZALEZ,2005].

Los ciclos de manejo son utilizados como herramienta para el desarrollo de nuevas tecnologías en los automóviles para la reducción de emisiones contaminantes. Las condiciones de tráfico cambian continuamente, debido a varios factores, como lo es el crecimiento de población, el transporte público, modificaciones en las carreteras, nuevas legislaciones para el medio ambiente. Así como existen estos cambios en la forma de conducir, los ciclos de manejo también deben de ser actualizados para que sean una herramienta útil.

En la UNICE (antes Laboratorio de Control de Emisiones, LCE.) se han realizado trabajos para el desarrollo de ciclos de manejo. Entre los años 1998 y 2000 se desarrollaron ciclos correspondientes a las zonas Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste y Sur este de la Zona Metropolitana del Valle de México. Después entre los años 2013-

2015 se actualizaron los ciclos de manejo divididos en tres categorías, motocicletas, vehículos pesados y vehículos ligeros. La Gráfica 9 muestra el ciclo de manejo de vehículos ligeros elaborado en el año 2014, éste ciclo incluye vías secundarias, primarias y autopista.



Gráfica 9. Ciclo de manejo Ciudad de México 2014

La tabla siguiente son algunos parámetros básicos del ciclo de manejo del 2014 obtenidos del software ADVISOR.

<i>Tiempo</i>	1680 s
<i>Distancia</i>	24.67 Km
<i>Velocidad máxima</i>	118.69 Km/h
<i>Velocidad promedio</i>	52.86 Km/h
<i>Aceleración máxima</i>	2.51 m/s ²
<i>Desaceleración máxima</i>	-3.35 m/s ²
<i>Aceleración promedio</i>	0.68 m/s ²
<i>Desaceleración promedio</i>	-0.77 m/s ²
<i>Tiempo inactivo</i>	160 s
<i>N° de paradas</i>	9
<i>Mayor ascenso</i>	0 %
<i>Promedio de ascenso</i>	0 %
<i>Mayor descenso</i>	0 %
<i>Promedio de descenso</i>	0 %

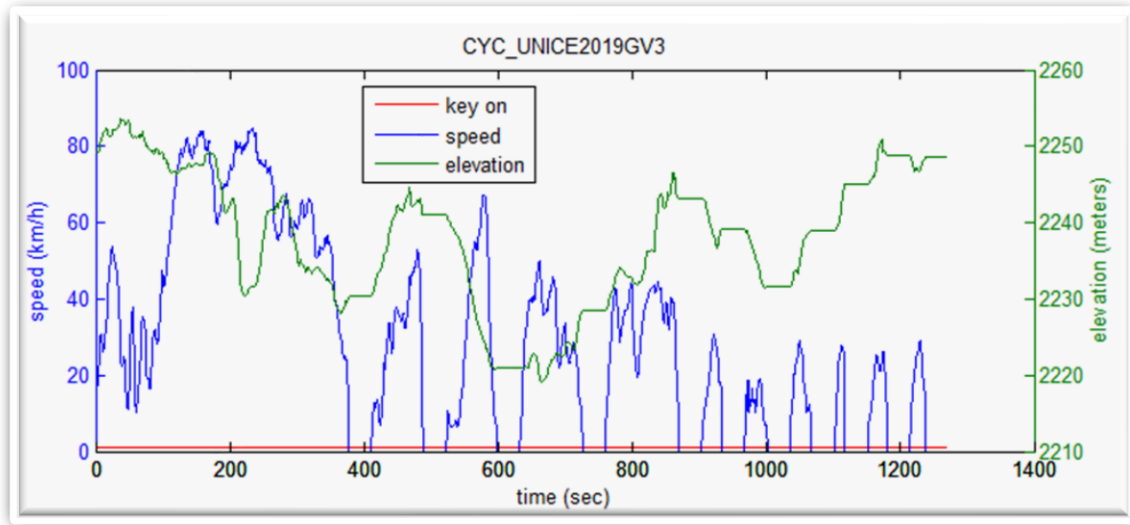
Tabla 5. Características del ciclo de manejo de la Ciudad de México 2014

En el presente trabajo se hará uso del ciclo de manejo mencionado anteriormente que representa las condiciones de manejo de la Ciudad de México en el año 2014. Sin embargo entre el año 2018 y 2019 se desarrolló un nuevo ciclo de manejo para vehículos ligeros en la UNICE, consta de 23 micro viajes los que se dividen de la

siguiente manera 1 extra urbano, 4 urbanos 6 intraurbanos y 12 nulos [GARCIA,2019] que incluye además del perfil de velocidad, un perfil de cambio de elevación y/o pendiente en el transcurso del recorrido.

Para el estudio de los VH es de suma importancia tener un ciclo de manejo con un perfil de elevación, debido a que los VH detectan la inclinación del terreno para recuperar energía mediante el freno regenerativo, del mismo modo que requieren de más potencia al subir una pendiente, que es suministrada por el ME

El ciclo de manejo de la Ciudad de México 2019 se muestra en la Gráfica 10, así como el perfil de elevación, estos datos fueron obtenidos por el software de ADVISOR.



Gráfica 10. Ciclo de manejo Ciudad de México 2019

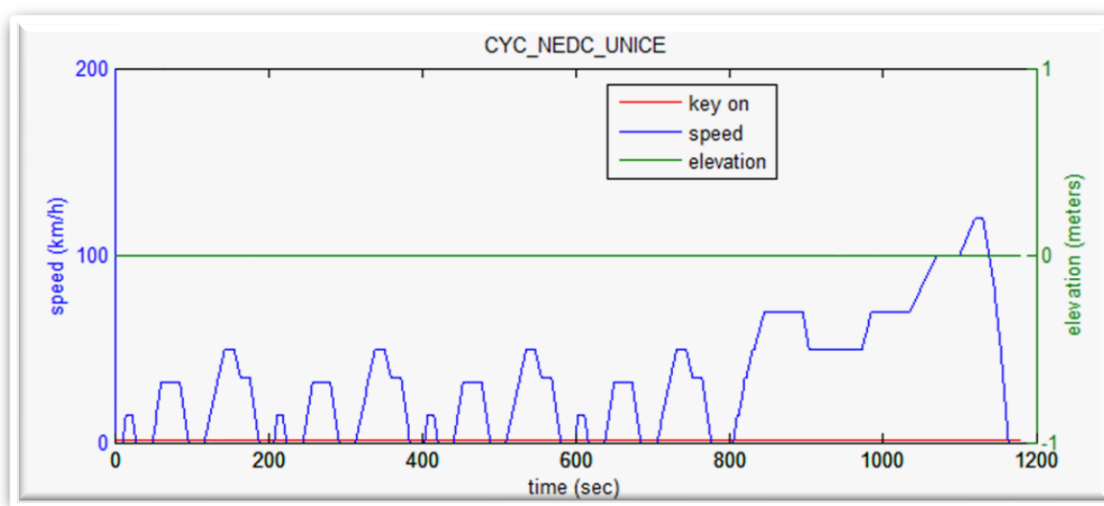
La tabla siguiente son algunos parámetros básicos del ciclo de manejo.

<i>Tiempo</i>	1270 s
<i>Distancia</i>	9.82 Km
<i>Velocidad máxima</i>	84.85 Km/h
<i>Velocidad promedio</i>	27.82 Km/h
<i>Aceleración máxima</i>	2.69 m/s ²
<i>Desaceleración máxima</i>	-5.42 m/s ²
<i>Aceleración promedio</i>	0.45 m/s ²
<i>Desaceleración promedio</i>	-0.58 m/s ²
<i>Tiempo inactivo</i>	385 s
<i>N° de paradas</i>	11
<i>Mayor ascenso</i>	17 %
<i>Promedio de ascenso</i>	2 %
<i>Mayor descenso</i>	12 %
<i>Promedio de descenso</i>	2 %

Tabla 5. Características del ciclo de manejo de la Ciudad de México 2019

El propósito de este trabajo es ver la configuración óptima de un VH en la Ciudad de México por lo se realizaron simulaciones con los dos ciclos de manejo anteriormente mencionados.

Como primera instancia se utilizará el ciclo de manejo europeo para vehículos ligeros NEDC con el fin cumplir con la normativa europea Euro IV la cual es utilizada para normativa en México para la venta de vehículos nuevos en acuerdo a la NOM-042-SEMARNAT-2003. El ciclo de manejo está formado por dos ciclos de manejo, el urbano (ECE-15) que es repetido 4 veces, seguidas del extra urbano (Extra Urban Driving Cycle, EUDC). Este ciclo se muestra en la Gráfica 11, así como sus parámetros básicos en la Tabla 6.



Gráfica 11. Ciclo de manejo NEDC

<i>Tiempo</i>	1180 s
<i>Distancia</i>	10.93 Km
<i>Velocidad máxima</i>	120 Km/h
<i>Velocidad promedio</i>	33.32 Km/h
<i>Aceleración máxima</i>	1.06 m/s ²
<i>Desaceleración máxima</i>	-1.39 m/s ²
<i>Aceleración promedio</i>	0.54 m/s ²
<i>Desaceleración promedio</i>	-0.79 m/s ²
<i>Tiempo inactivo</i>	294 s
<i>N° de paradas</i>	13
<i>Mayor ascenso</i>	0 %
<i>Promedio de ascenso</i>	0 %
<i>Mayor descenso</i>	0 %
<i>Promedio de descenso</i>	0 %

Tabla 6. Características del ciclo de manejo NEDC

Al decir vehículo ligero se requiere definirlos, por lo que el vehículo debe de cumplir las siguientes características.

- Vehículo con 4 neumático
- Motor de 4, 6,8 o 12 cilindros.
- Destinado al transporte de personas (de manera particular o para dar algún servicio público) o al transporte de mercancías menor a 2 toneladas.
- El peso bruto menor a 2600 Kg
- Distancia entre ejes de 2475 a 3000 mm

Cumpliendo estas características tenemos a los automóviles compactos, subcompactos, de lujo y deportivos, Sedan, SUV. Por lo que los VH entran en la categoría de vehículos ligeros, de mismo modo la camioneta FAW que se utilizara en los modelos de ADVISOR.

2.3. MODELADO DE VEHÍCULOS

Antes de realizar la selección de componentes para la construcción del vehículo, se necesita cargar los datos en la base de datos correspondientes al MCI, carrocería y ciclo de manejo.

MATLAB genera una carpeta por default en la ubicación de “Mis documentos”. dicha carpeta tendrá las herramientas que utiliza MATLAB, entre ellas la de ADVISOR. La carpeta destinada a ADVISOR, en este trabajo tiene el nombre de “ADVISOR2002bv7”. Ingresando a esta carpeta se encuentra varias subcarpetas. La que nos interesa modificar es la carpeta “data”. Los componentes de los modelos estarán organizados en carpetas como se observa en a Figura 35.

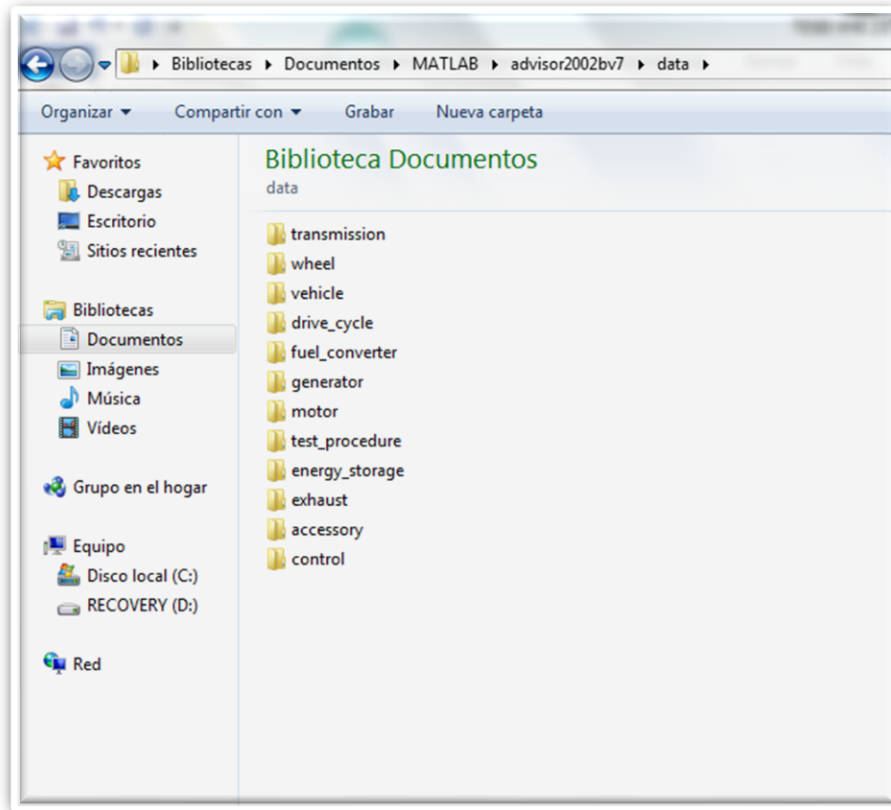


Figura 28. Carpeta data ADVISOR

El vehículo a modelar es una Mini Van FAW Jiabao V52 debido a que la UNICE dispone de un MCI que utiliza esta Mini Van y este trabajo serviría para trabajos a futuro para dicho motor. Sin embargo, no se encontraron los datos suficientes para modelarlo en ADVISOR, a pesar de eso, existe un modelo más nuevo del vehículo que se vende en México como GF-60, el cual tiene una carrocería similar, pero un motor de 1.3L. Por lo que se optara por modelar dicha Mini Van con Motor de 1.0L



Figura 29. Comparación FAW jiabao V52 (izquierda) y FAW GF-60 (derecha).

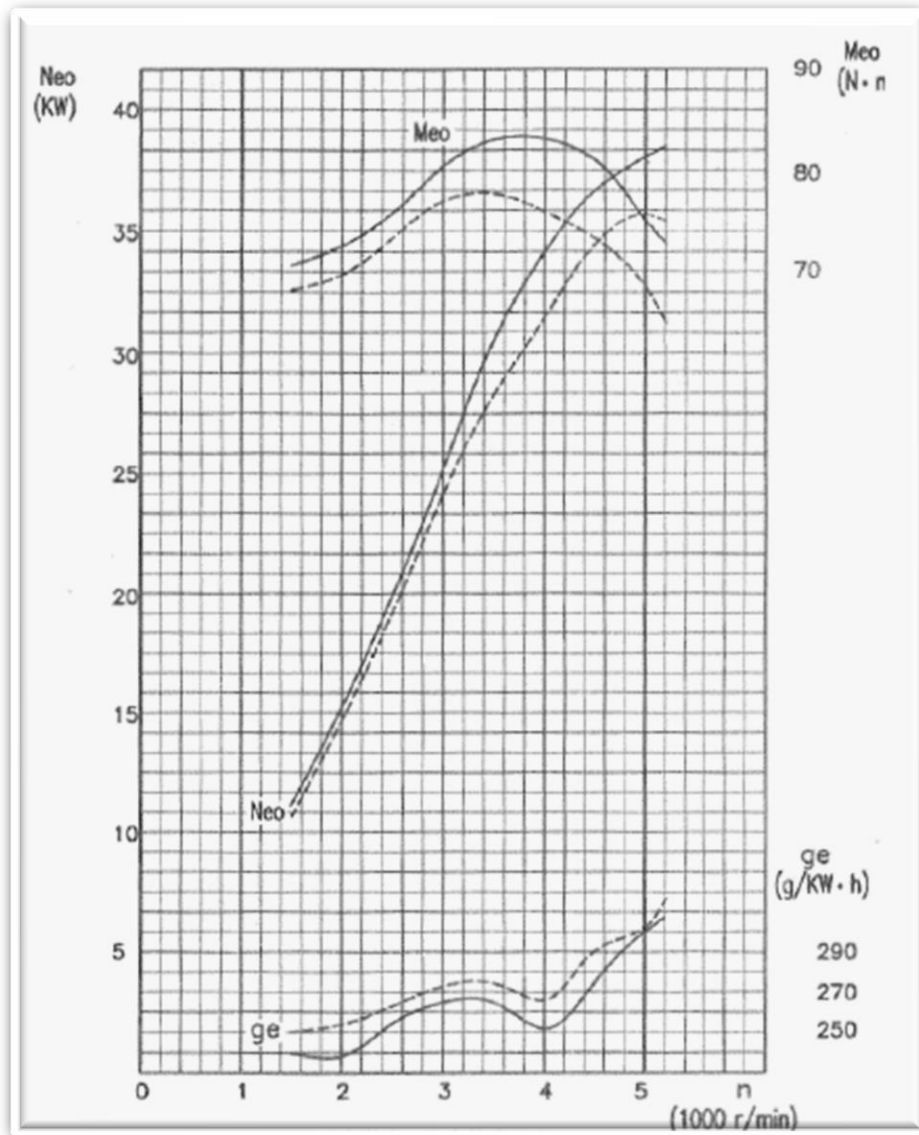
Algunas de las especificaciones técnicas necesarias para el modelado de la Mini Van virtual en ADVISOR están listadas en la Tabla 7., así como los datos técnicos y Curvas características del MCI, en la Tabla 8 y Gráfica 12 respectivamente.

Descripción	
Peso vehicular	1115 Kg
Peso Bruto vehicular	1745 Kg
Velocidad Máxima	130 Km/h
Relación de engranaje trasero	4.889
Coefficiente de arrastre	0.4 [CENGEL, 2006]
Área Frontal	2.4 m ²
Distribución de cargas en ejes	629/1116 Kg
Distancia entre ejes	2500 mm
Longitud de eje delantero	1350 mm
Longitud de eje trasero	1360 mm
Peso motor gasolina	98 Kg
Rendimiento de combustible	15 Km/L
Velocidad Máxima	130 Km/h
Tamaño de neumático	165/70R13
Transmisión	Manual
Peso de la Transmisión	16 Kg
Relación de engranes	3.505 2.043 1.383 1.0 0.806

Tabla 7. Especificaciones de Mini Van FAW GF-60[GML,2017]

Tipo	LJ465Q-1AE1
Cilindros	4
Dinámetro de Cilindro	65.5mm
Carrera	78mm
Relación de Compresión	9:1
Desplazamiento	1051cc
Potencia	38.5kW / 52 hp @3800 rpm
Par Máximo	83 Nm @3000rpm
Consumo mínimo de combustible	300g/kWh
Revoluciones en ralentí	850 ±50 rpm

Tabla8. Especificaciones del motor FAW 1.0L [ENGINE SERVICE MANUAL,2008]



Gráfica 12. Curvas Características motor FAW [ENGINE SERVICE MANUAL,2008]

El modelo virtual de la Mini Van se observa en la Figura 30, el cual es la Mini Van convencional, es decir, aun no es un VH.

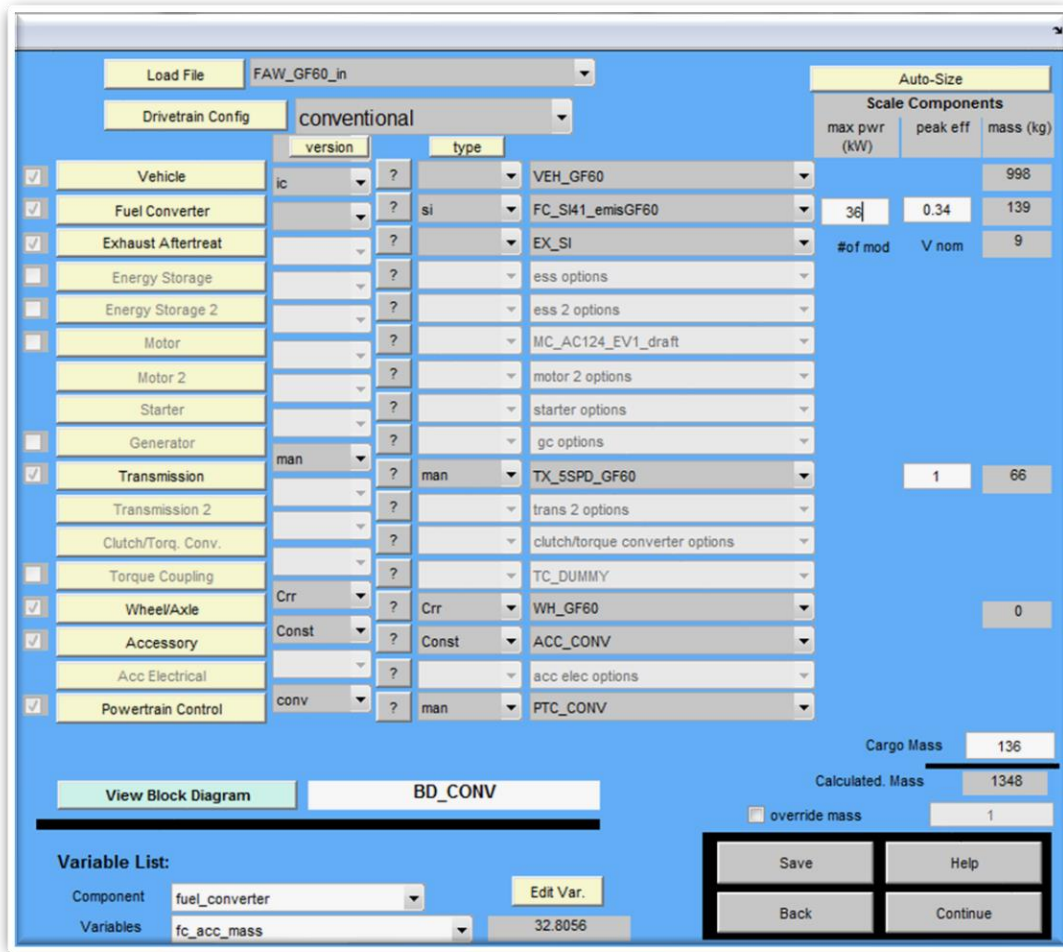


Figura 30. Modelo final Mini Van FAW.

En la Figura 30 se observa que en los apartados de vehicle, Fuel Converter, Transmission y Wheel/axle el archivo seleccionado tiene la terminación de la submarca GF60 de la marca FAW, dichos archivos fueron los que se modificaron con la inclusión de los datos técnicos de la Mini Van.

El software ADVISOR, posee las tres configuraciones de VH con su respectiva estrategia de control. En la sección powertrain Control de la interfaz mostrada en la Figura 30 se selecciona la estrategia del control del Vehículo híbrido.

En la configuración en Paralelo utiliza el control en modo restringido, para el caso de la Configuración en Serie, ADVISOR maneja la estrategia de control de termostato, mientras que en la configuración Mixto utiliza una estrategia de control que usa el vehículo Prius primera generación, la cual es muy similar a la de modo restringido.

Los grados de hibridación que se simularán serán en los rangos de VH de categoría Ligera (Mild Hybrid) y Fuerte (Strong o Full Hybrid), dejando fuera a los Enchufables (Plug in o de Rango Extendido), los cuales están en un GDH= 75%, debido a que en estos últimos su autonomía depende de la recarga de las baterías vía eléctrica, y en menor proporción la generada por el MCI.

Como primer punto se simulará el vehículo FAW GF60 convencional, con el fin de corroborar que cumple con la Normativa Oficial Mexicana para que sea vendido en el país, además de correrlo en los ciclos de manejo elaborados para la Ciudad del México, tanto el 2014, como el 2019 y obtener los resultados de emisiones, rendimiento y capacidad de ascenso, para su futuro análisis con las demás simulaciones.

En el transcurso de las simulaciones parámetros y componentes de los vehículos no serán cambiados a excepción de los que son necesarios para cada configuración de VH como lo es el Powertrain Control, en la Tabla 9, se muestra los componentes de la Mini Van FAW que se seleccionan en la interfaz de modelado del vehículo de ADVISOR y en la Tabla 10 el vehículo ya híbrido para cada configuración.

COMPONENTE	CONVENCIONAL
Vehicle	VEH_GF60
Fuel_Converter	FC_SI41_emisGF60
Exhaust_Aftertreat	EX_SI
Energy_Storage	-
Motor	-
Generador	-
Transmission	TX_5SPD_GF60
Wheel/Axle	WH_GF60
Accessory	ACC_CONV
Powertrain_Control	PTC_CONV

Tabla 9. Archivos seleccionados en ADVISOR para el vehículo convencional.

COMPONENTE	PARALELO	SERIE	MIXTO
Vehicle	VEH_GF60	VEH_GF60	VEH_GF60
Fuel_Converter	FC_SI41_emisGF60	FC_SI41_emisGF60	FC_SI41_emisGF60
Exhaust_Aftertreat	EX_SI	EX_SI	EX_SI
Energy_Storage	ESS_PB25	ESS_PB25	ESS_PB25
Motor	MC_PM32	MC_PM32	MC_PM32
Generador	-	GC_PM32	GC_PRIUS_JPN
Transmission	TX_5SPD_GF60	TX_1SPD	TX_PRIUS_CVT_JPN
Wheel/Axle	WH_GF60	WH_GF60	WH_GF60
Accessory	ACC_CONV	ACC_CONV	ACC_PRIUS_JPN
Powertrain_Control	PTC_PAR	PTC_SER	PTC_MIX

Tabla 10. Archivos seleccionados en ADVISOR para las tres diferentes configuraciones de los VH.

La configuración en paralelo utiliza el ME que propulsa al vehículo, como generador eléctrico, por eso no se selecciona nada en el apartado de generador.

En la configuración en serie como su propulsión es solo el ME, no utiliza una transmisión tal cual, como los demás vehículos, sino que solo es una relación de engranes la cual es la del ME, y en la componente de transmisión se utiliza una que solo tiene una velocidad.

En la configuración mixta, debido a que se utiliza la del Toyota Prius primera generación, ADVISOR no permite utilizar otro generador, y otra transmisión que no sea la CVT del vehículo original.

Por otro lado, para la modificación de los GDH la potencia del ME cambiará para aproximarse al GDH deseado., procurando que los intervalos de GDH sean constantes por debajo de los VH de rango extendido, además de tomar en cuenta su configuración del tren de potencia. Como se mencionó anteriormente el ME será el mismo independientemente de la configuración del VH, el Software ADVISOR realiza un escalamiento al modificar la Potencia del motor en la interfaz del software, sin cambiar su código de Matlab.

Adicionalmente el EDC se mantendrá en un rango entre **40%** y **70%**, con un estado de carga inicial de **60%**.

Considerando la potencia máxima del MCI de 36 KW, y la ecuación 5, los grados de hibridación que se simularan serán los mostrados en la Tabla 11 con la correspondiente potencia del ME para dicho GDH

<i>GDH (%)</i>	10	15	30	40	45	50	55	60
<i>ME (KW)</i>	4	6	15	24	29	36	44	54

Tabla 11. Grados de hibridación de las simulaciones.

Además, la siguiente tabla muestra la distribución de las simulaciones para cada configuración de VH, enfatizando que los híbridos en serie deben de estar cerca del 50 %.

	GDH %
Paralelo	10,15,30,45,60
Serie	40,45,50,55,60
Mixto	10,15,30,45,60,70

Tabla 12. Distribución de Grados de Hibridación

Todos los vehículos que serán simulados en este trabajo serán en condiciones iniciales en caliente, es decir, el MCI y sistema de tratamiento de gases de escapes están en una temperatura de trabajo inicial, mayor a la del medio ambiente.

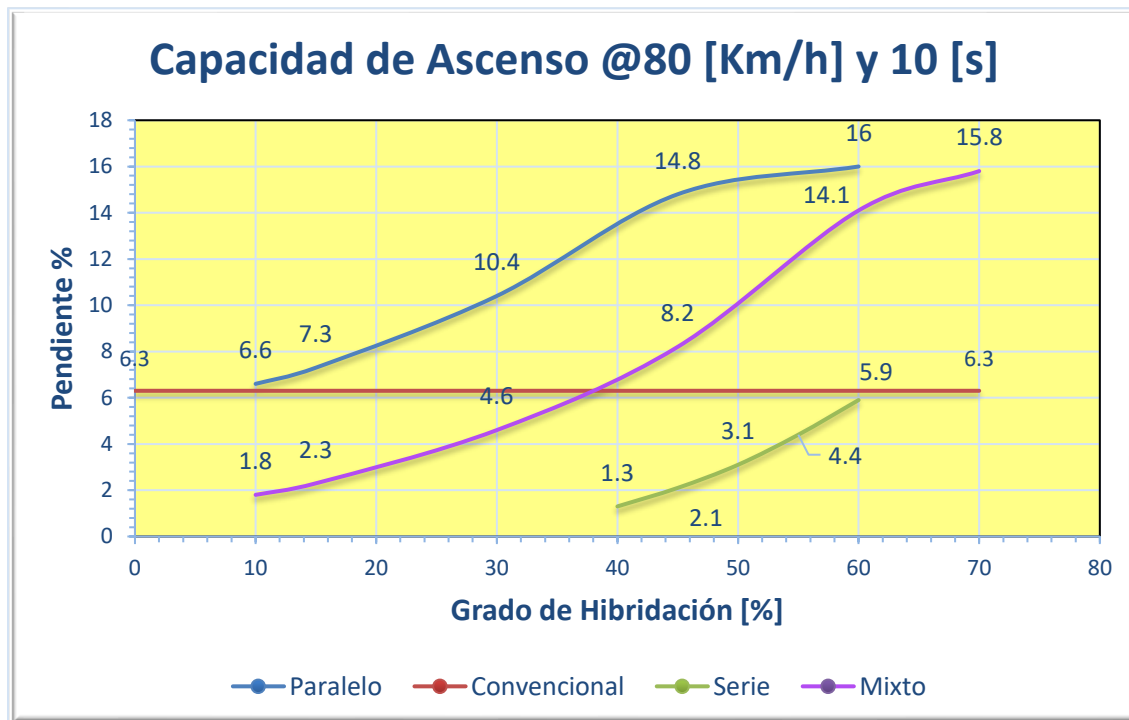
3. SIMULACIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán gráficas a manera de ejemplo y de análisis particulares. Las gráficas restantes estarán contenidas en los anexos de este trabajo, clasificadas por ciclo de manejo y grado de hibridación.

3.1. CAPACIDAD DE ASCENSO

En las pruebas de capacidad de ascenso (Gráfica 13) los VH en paralelo simulados, están por encima de la capacidad de ascenso del vehículo convencional, mientras más GDH mayor será su capacidad de ascenso, para la configuración mixta también incrementa mientras sea mayor el GDH, superando al convencional en este parámetro a partir de un GDH de 38%.

En contraste el VH en serie siempre se encuentra por debajo del convencional, a pesar de que se observa un incremento del mismo modo que los paralelos y mixtos.



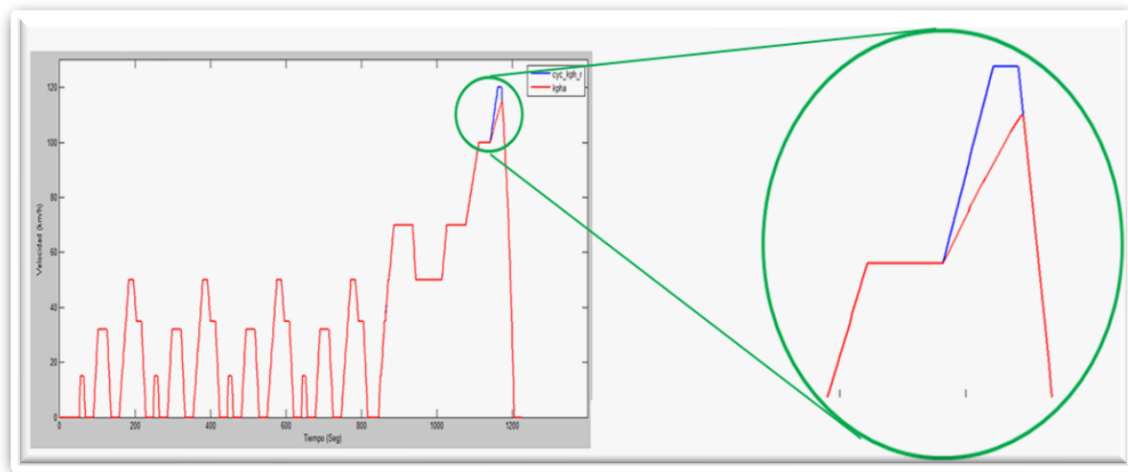
Gráfica 13. Capacidad de ascenso de los VH simulados.

Las configuraciones en paralelo y mixto tienen un incremento exponencial respecto a su GDH entre 25% y 45% para los paralelos y a partir de 25% y 60% para el mixto, después de estos rangos empiezan a tener un mínimo incremento en la capacidad de ascenso.

3.2. CICLO DE MANEJO NEDC

Se comenzó con la simulación del vehículo convencional con el ciclo de manejo europeo NEDC, para tener un marco de referencia, así como saber si cumple con la NOM-042-SEMARNAT-2003 la cual sigue vigente durante la elaboración del presente trabajo.

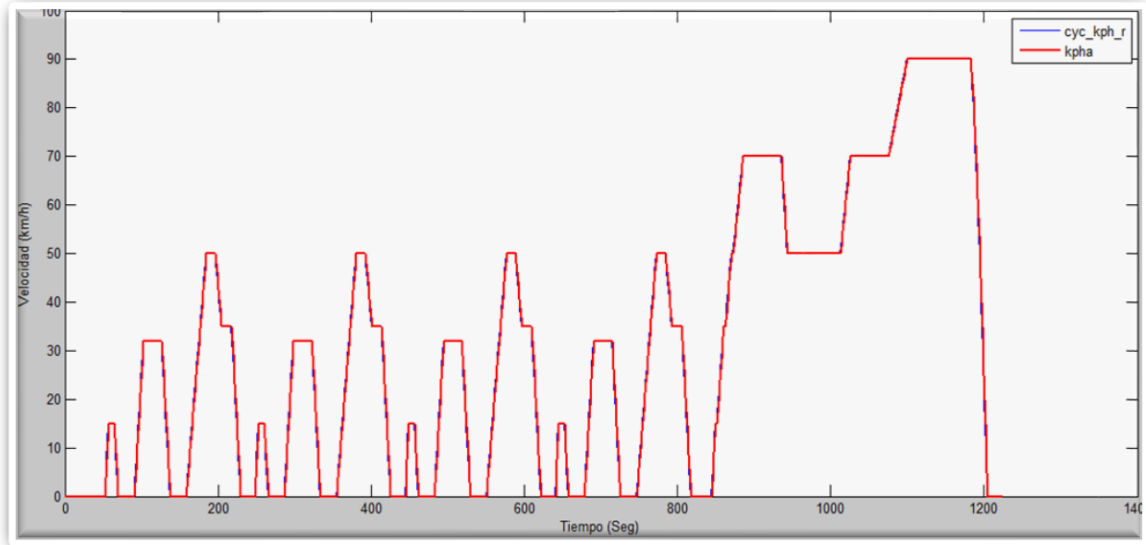
Al realizar la simulación el vehículo convencional, se obtuvo que éste no logra recorrer el ciclo de manejo NEDC. De acuerdo a las especificaciones de la Mini Van FAW GF60, la velocidad máxima es de 130 Km/h, razón por la cual no logra recorrer el ciclo NEDC ordinario, el cual tiene una velocidad máxima de 120 Km/h, esto hace que el vehículo trabaje a tope de sus capacidades.



Gráfica 14. Resultado de Simulación al recorrer el NEDC

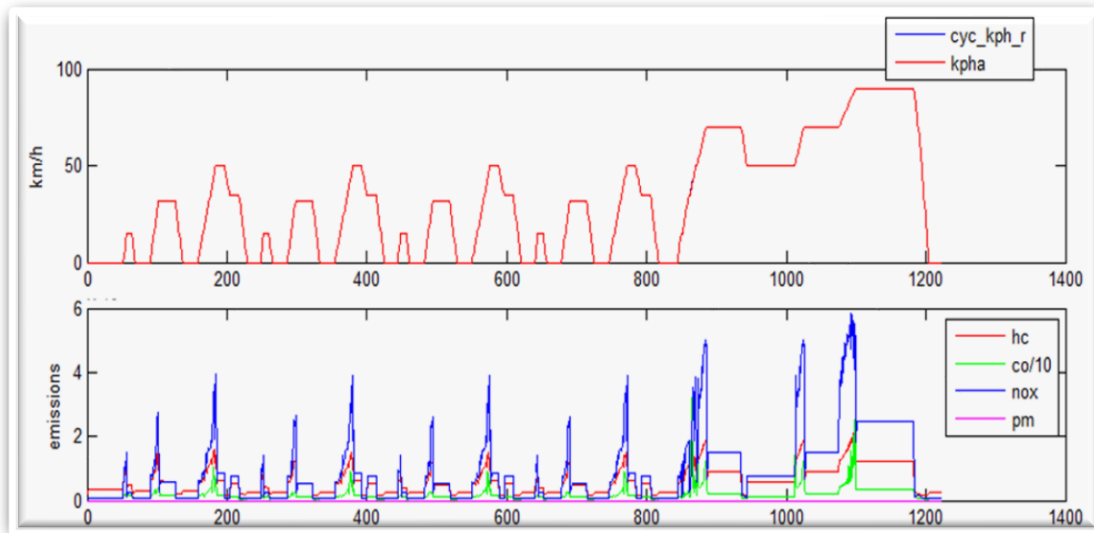
En la Gráfica 14 muestra el ciclo de manejo NEDC, como resultado de la primera simulación, donde se observa que la línea azul es el ciclo de manejo y la línea de color rojo la velocidad alcanzada durante la simulación que en la cúspide de la velocidad máxima el vehículo no logra recorrer el ciclo, a diferencia de las crestas de baja velocidad, que sin problema las recorre.

Sin Embargo, existe la alternativa del NEDC para vehículos de bajas velocidades, (Gráfica 15) este ciclo tiene una velocidad máxima menor al NEDC ordinario. Por lo que para este trabajo se utilizara dicho ciclo para las simulaciones.



Gráfica 15. NEDC baja velocidad

En la Gráfica 16 se muestra la interfaz de resultados de ADVISOR, generada para el vehículo convencional en el ciclo NEDC de baja velocidad.



Gráfica 16. Resultados de la Mini Van en ADVISOR.

Con la Gráfica 16 se puede observar que corre el ciclo NEDC sin dificultad, siendo posible comparar los valores de emisiones obtenido contra los requeridos en la Tabla 2 de la NOM-042-SEMARNAT-2003, los cuales se muestran en la Tabla 13

	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]
NOM-42 Estándar C /EURO 4	0.1	1	0.08
Vehículo Convencional	0.068	0.199	0.101

Tabla 13. Comparativa de Simulación vs Estándar Nacional

Se aprecia que para HC y CO el vehículo simulado se encuentra debajo de los límites de la Norma, en cambio, las emisiones de NOx rebasan el límite, lo que implica que no sería posible su venta en territorio mexicano. Sin embargo, se continúa con el estudio para ver el comportamiento al hibridar el modelo.

En lo que respecta a los valores de rendimiento de combustible y capacidad de ascenso se muestran en la siguiente tabla.

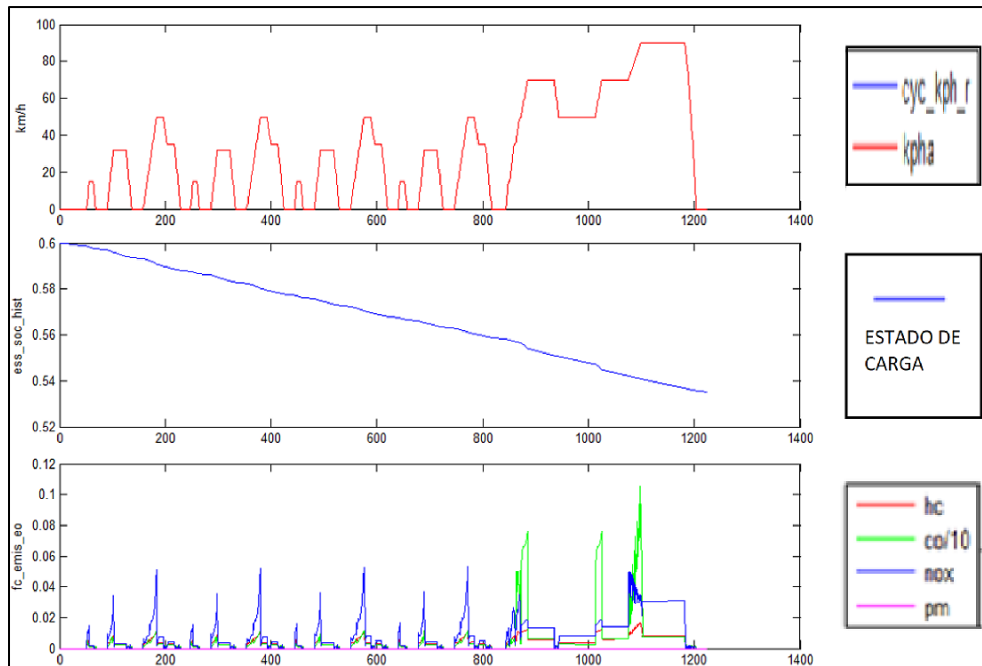
	Rendimiento [Km/L]	Capacidad de Ascenso@80 km/h [%]
Vehículo Convencional	14.93	6.3

Tabla 14. Resultados de rendimiento y Capacidad de Ascenso

De acuerdo a la ficha técnica de la Mini Van FAW GF60 el rendimiento promedio es de 15 Km/L [GML, 2017], por lo que el rendimiento obtenido en la simulación es cercano al publicado.

Teniendo como referencia los resultados del vehículo convencional, se procede a realizar las simulaciones como si fuera vehículo híbrido, con los grados de hibridación establecidos en la Tabla 12, en el ciclo NEDC de baja velocidad.

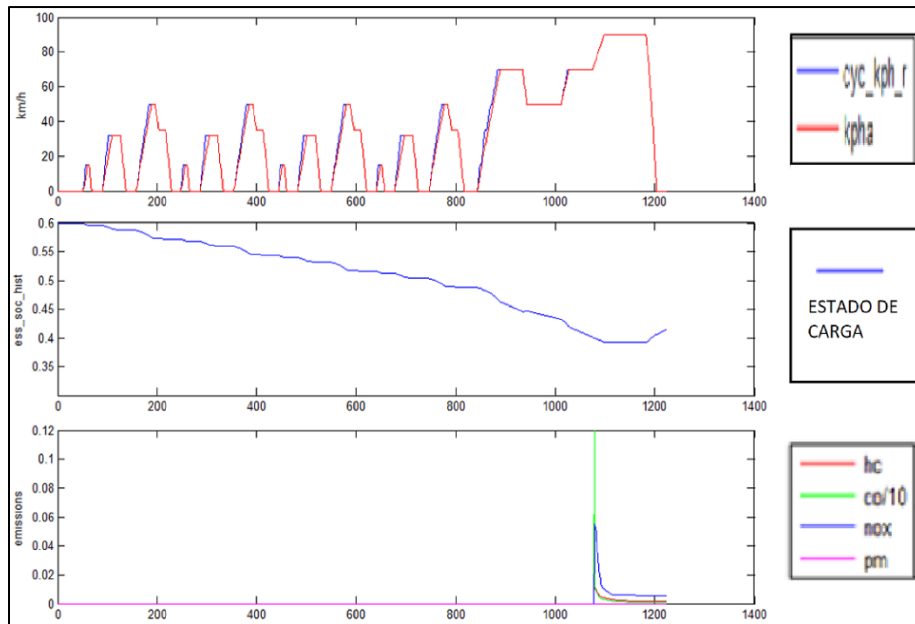
Para la configuración en paralelo los 5 grados de hibridación lograron recorrer el ciclo europeo.



Gráfica 17. Resultados del VH Paralelo GDH= 45% NEDC

En la Gráfica 17, se observa que la configuración en paralelo 45% recorre el ciclo sin dificultad. Respecto al EDC, durante el ciclo se descarga la batería sin llegar al mínimo de 40%, teniendo una autonomía suficiente para el ciclo de manejo, del mismo modo ocurre en los demás GDH, Sin embargo, para EDC no se realizará un análisis exhaustivo en este trabajo.

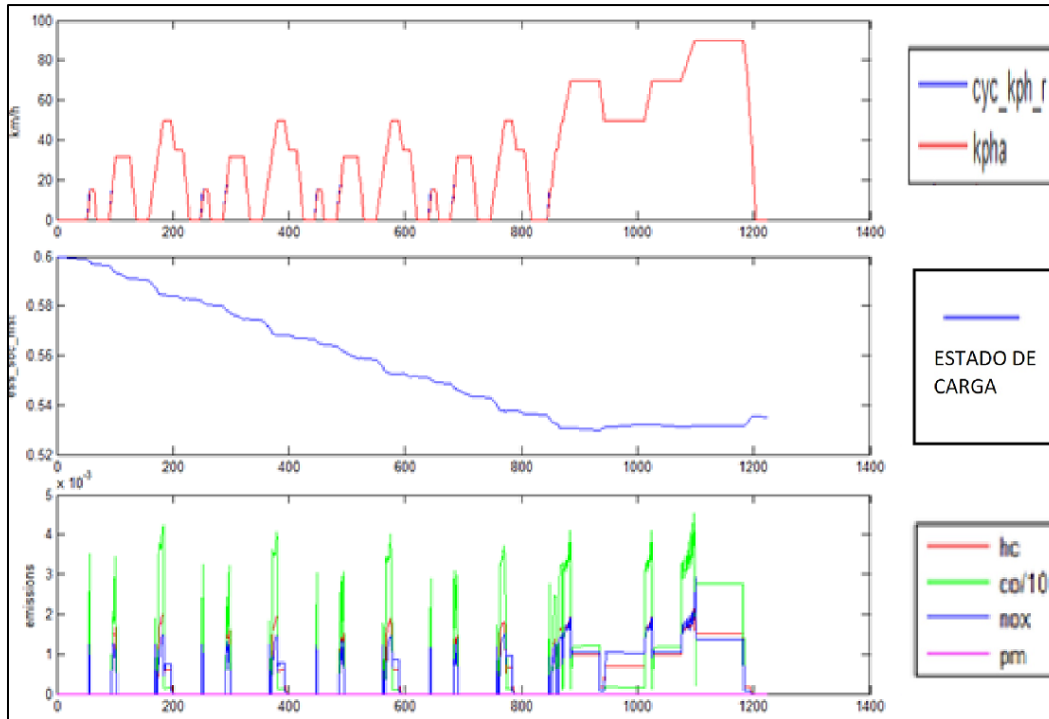
La configuración en serie, el VH con GDH= 40%, no logra recorrer el ciclo como se puede visualizar en la Gráfica 18.



Gráfica 18. Resultados del VH Serie GDH= 40% NEDC

La primera gráfica se observan dos colores (Azul: ciclo de manejo, Rojo: vehículo simulado) que no empatan, eso significa que el vehículo no logra recorrer el ciclo correctamente teniendo problemas en las aceleraciones al iniciar una cresta del ciclo esto conlleva que sus valores no sean válidos para comparación. Por otro lado, el EDC disminuye hasta llegar al valor mínimo de 40%, a partir de eso, empieza a funcionar el MCI, mostrando el comportamiento característico de la estrategia de control on/off o de termostato, dicho comportamiento se mostró para todos los demás GDH en serie.

Para el caso de los mixtos, los que tienen el GDH mayor a 30% recorren el ciclo (Gráfica 19).



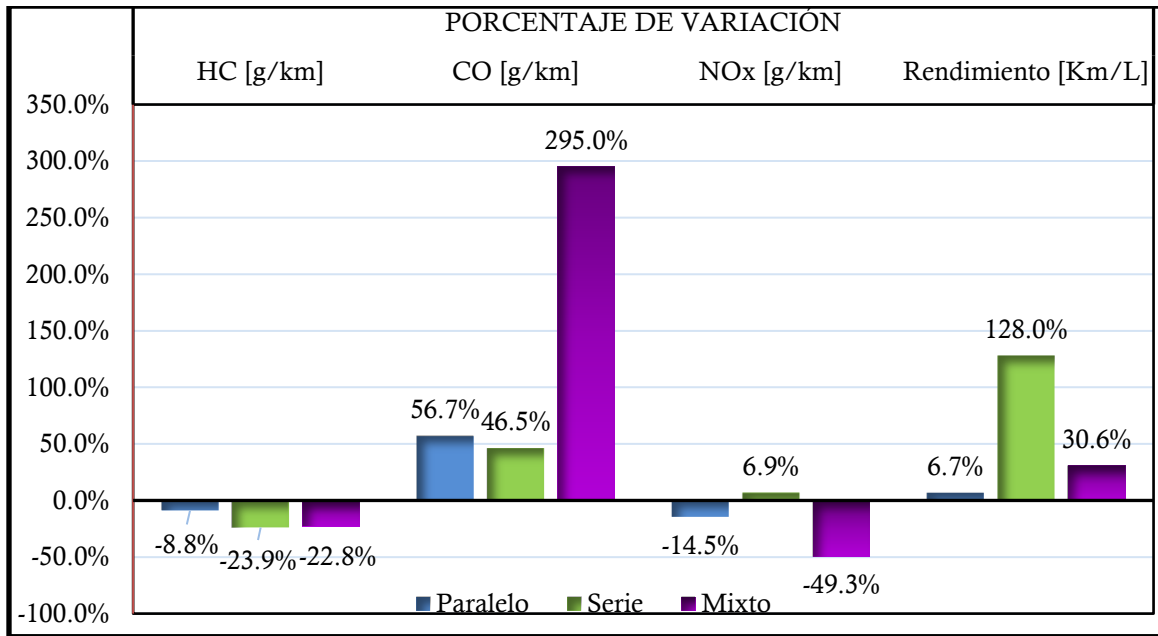
Gráfica 19. Resultados del VH Mixto GDH= 45% NEDC.

Con respecto al EDC los vehículos mixtos tienen suficiente autonomía para recorrer el ciclo. Manteniendo constante el EDC durante la parte de mayor demanda de potencia del ciclo.

La Tabla 15 muestra un resumen de las simulaciones en el NEDC, obteniendo el promedio de emisiones y rendimiento de los vehículos siempre y cuando hayan recorrido el ciclo de manejo y el porcentaje de variación en la Gráfica 20, siendo negativo cuando reduce y positivo cuando incrementa, respecto al vehículo convencional.

CONFIGURACIÓN	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]
Paralelo	0.062	0.312	0.086	15.929
Serie	0.052	0.292	0.108	34.026
Mixto	0.053	0.786	0.051	19.488

Tabla 15. Promedio de emisiones y rendimiento NEDC.



Gráfica 20. Porcentaje de variación VH NEDC.

Para las tres configuraciones se logra un incremento de CO y de rendimiento, una disminución de HC y NOx a excepción de la serie que aumenta sus emisiones en NOx, pero obtiene un rendimiento mucho mayor que el mixto y el paralelo, en esto último tiene que ver el estado de carga inicial ya que el vehículo empieza a cargar las baterías con el MCI casi al final del ciclo como se había mencionado en la Gráfica 18.

El vehículo mixto también tiene un incremento elevado de emisiones de CO, no obstante, son quienes tienen una mayor disminución de Nox que se encuentra por debajo de los límites de la NOM-42-SEMARNAT-2003. En este contexto, la configuración en paralelo no cumple con la normativa, por una mínima diferencia de miligramos (véase ANEXO 1).

3.3. CICLO DE MANEJO MEXICANO 2014

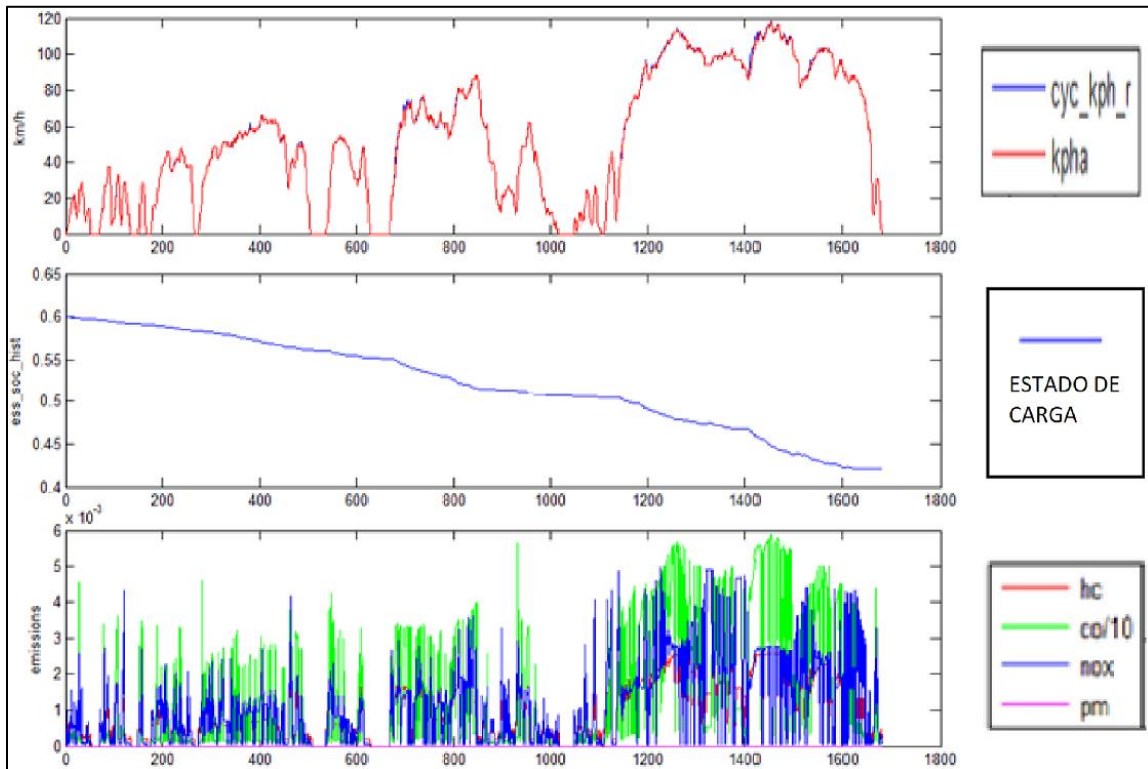
Para las simulaciones en el ciclo de manejo mexicano del 2014, el vehículo convencional si recorre el ciclo dando como resultado las siguientes emisiones.

	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]
Convencional	0.068	0.854	0.09	12.99

Tabla 16. Resultado de vehículo convencional 2014.

Observando que tuvo un incremento considerable para las emisiones de CO y una disminución de rendimiento, para el HC y los NOx no tuvieron un cambio significativo.

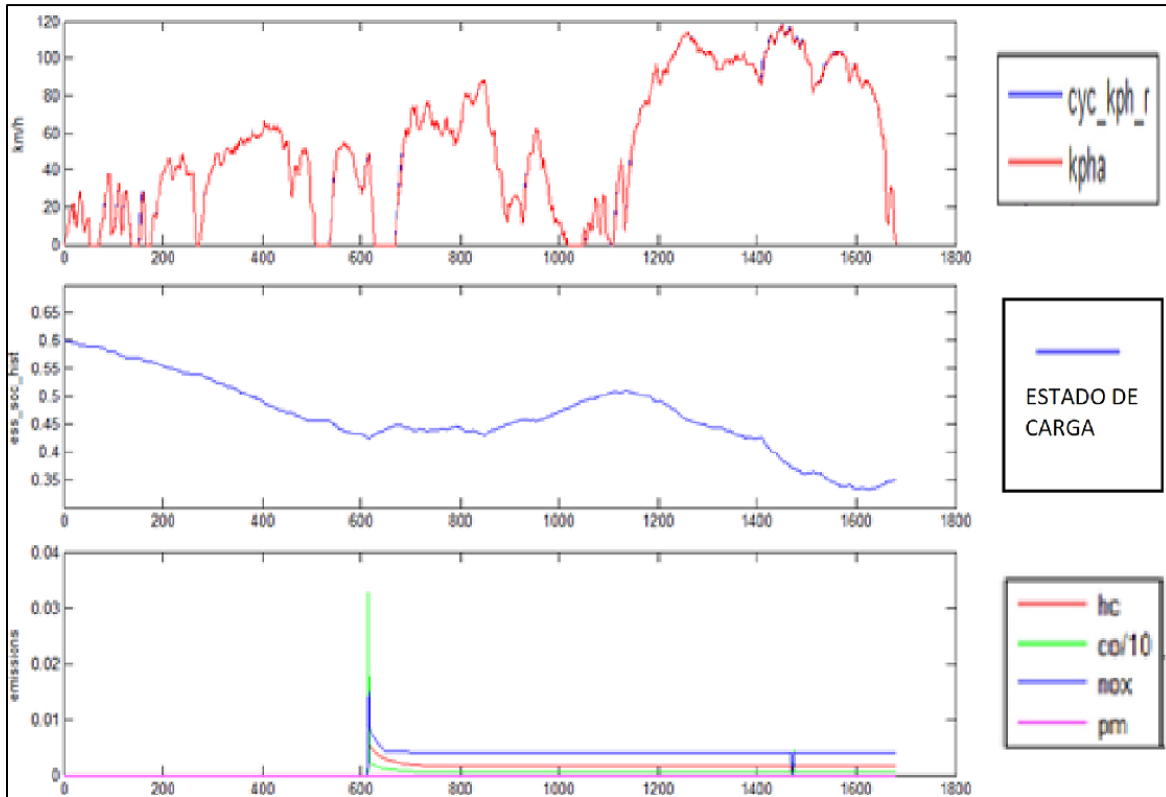
La configuración en paralelo que lograron recorrer el ciclo mexicano 2014 son los que están por arriba del 30 % de GDH



Gráfica 21. Resultados del VH paralelo GDH= 30% 2014.

A manera de ejemplo se analiza el paralelo GDH=30% (Gráfica 21). la tercera gráfica de arriba hacia abajo, muestra el comportamiento del MCI, a comparación del NEDC el MCI se encuentra en operación durante más frecuencia.

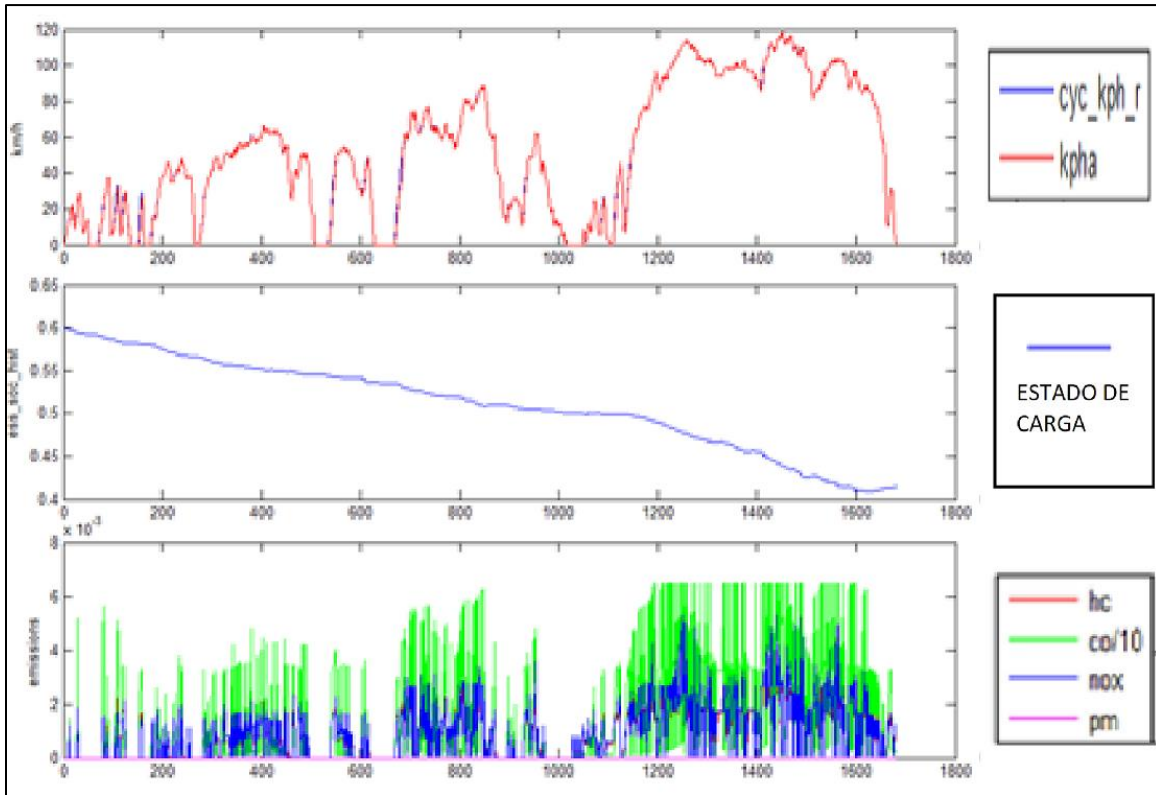
En el caso de la configuración en serie solo los GDH de 55% y 60%, recorrieron el ciclo.



Gráfica 22. Resultados del VH serie GDH= 60% 2014.

En el ejemplo mostrado en la Gráfica 22 el EDC baja hasta el valor mínimo de 40%, y empieza a cargar arrancando el MCI, sin embargo, cuando empieza la parte de carretera del ciclo, el vehículo no logra recuperar el EDC máximo y empieza a bajar nuevamente hasta por debajo del EDC mínimo establecido. A pesar de eso si recorrió el ciclo con las especificaciones del ME.

Lo que respecta a los vehículos mixto, recorrieron el ciclo los que están por arriba del GDH de 45%. De acuerdo a la Gráfica 23, las baterías si llega a descargarse hasta el valor mínimo de 40%.

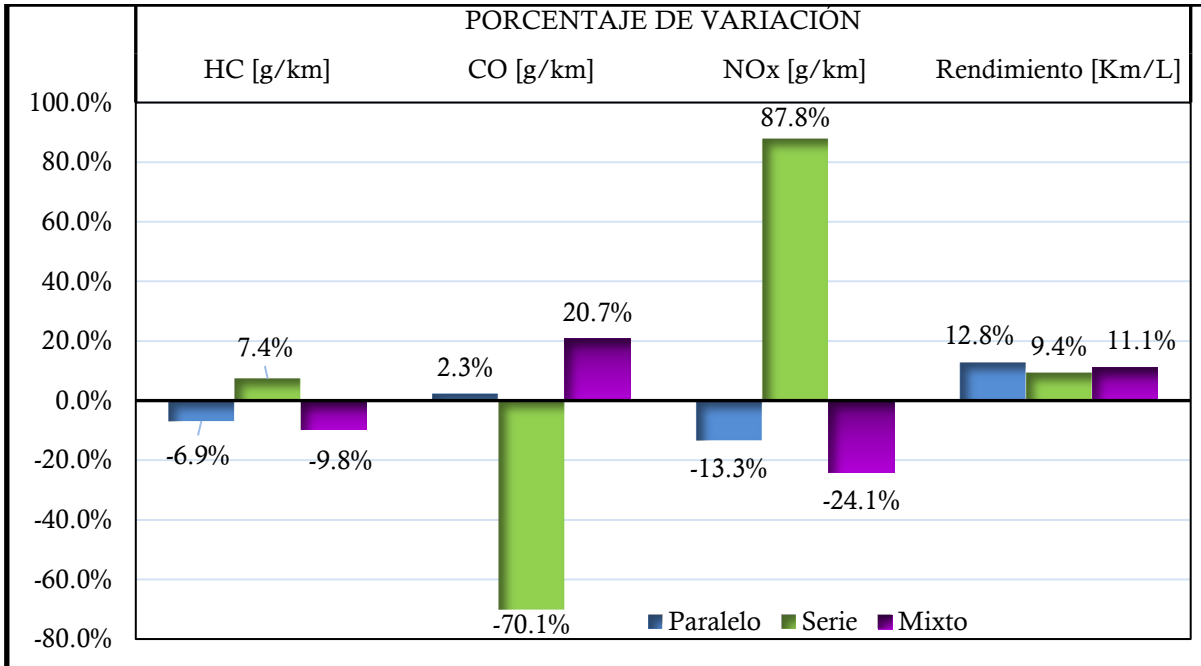


Gráfica 23. Resultados del VH mixto GDH= 45% 2014.

Del mismo modo que para el ciclo de manejo NEDC, se muestra una tabla y una gráfica comparativa de los vehículos que recorrieron el ciclo, respecto al convencional en el mismo ciclo de manejo.

CONFIGURACIÓN	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]
Paralelo	0.063	0.874	0.078	14.652
Serie	0.073	0.256	0.169	14.202
Mixto	0.061	1.031	0.068	14.428

Tabla 17. Promedio de emisiones y rendimiento 2014.



Gráfica 24. Porcentaje de variación VH 2014.

Las configuraciones en paralelo y mixto tienen una misma tendencia respecto a la reducción de HC, NOx, aumento de emisiones de CO rendimiento, sin embargo, resalta la diferencia de emisiones de CO y de NOx de la configuración en mixto respecto al convencional, observando favorable la hibridación en esta configuración para este ciclo de manejo. Comparado con el paralelo, la configuración mixta tuvo un mejor desempeño, a pesar de que en rendimiento el paralelo es por poco más alto.

Por otro lado, la configuración en serie tiene una disminución de CO del 70.1 % respecto al convencional, pero del mismo modo un 87.8 % de aumento de NOx, además de no tener un mínimo incremento en rendimiento. Cabe mencionar que estos valores son obtenidos solo con dos modelos los cuales fueron los que recorrieron el ciclo, por lo que no fue suficiente para ver un correcto comportamiento de la configuración en este ciclo de manejo (véase ANEXO 2)

3.4. CICLOS DE MANEJO MEXICANO 2019

Por último, para el ciclo de manejo mexicano 2019 primero, se realizaron simulaciones sin el perfil de la pendiente.

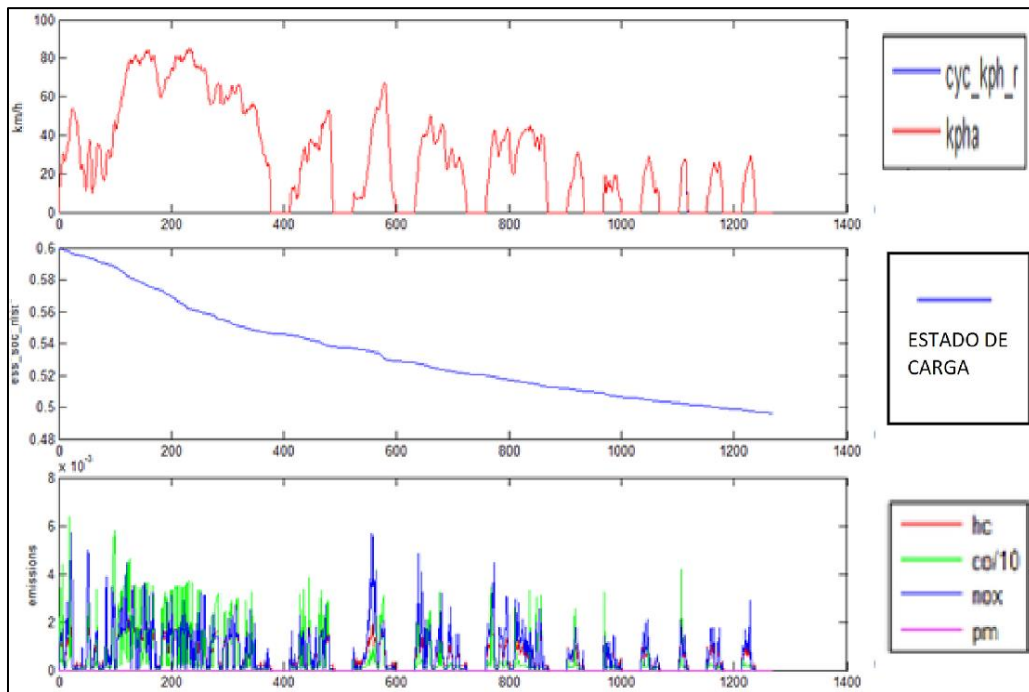
El vehículo convencional si recorrió el ciclo de manejo, dando como resultado los mostrados en la Tabla 18.

	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]
Convencional	0.076	0.509	0.099	12.66

Tabla 18. Resultado de vehículo convencional 2019.

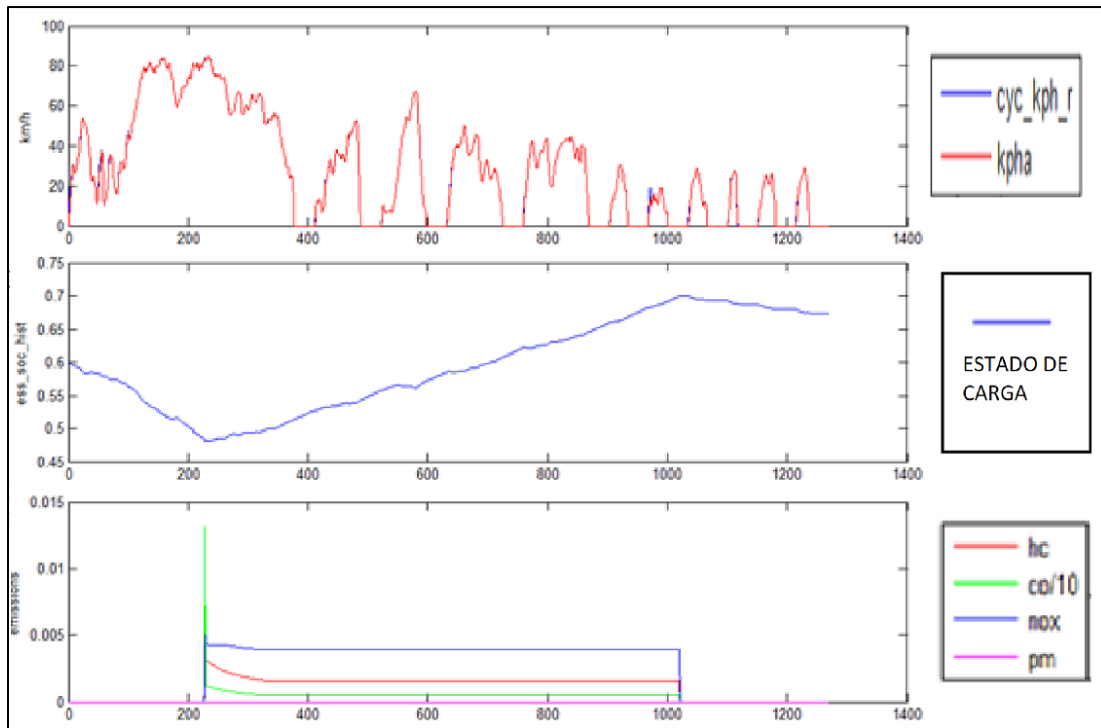
La configuración en paralelo recorrió el ciclo en todos sus GDH. En la Gráfica 25 se aprecia que el paquete de baterías es suficiente para poder recorrer el ciclo, marcando una tendencia a descargarse, pero sin bajar al límite de 40 % de EDC.

En comparación a gráfica de emisiones en el ciclo 2014, en el ciclo 2019 se ve una reducción de frecuencia de uso del MCI, no obstante, esto no significa que se obtiene un factor de emisión menor.



Gráfica 25. Resultados del VH paralelo GDH= 60% 2019.

En el caso de la configuración en serie, el único que pudo seguir el perfil de velocidades fue el que tiene un GDH=60%.

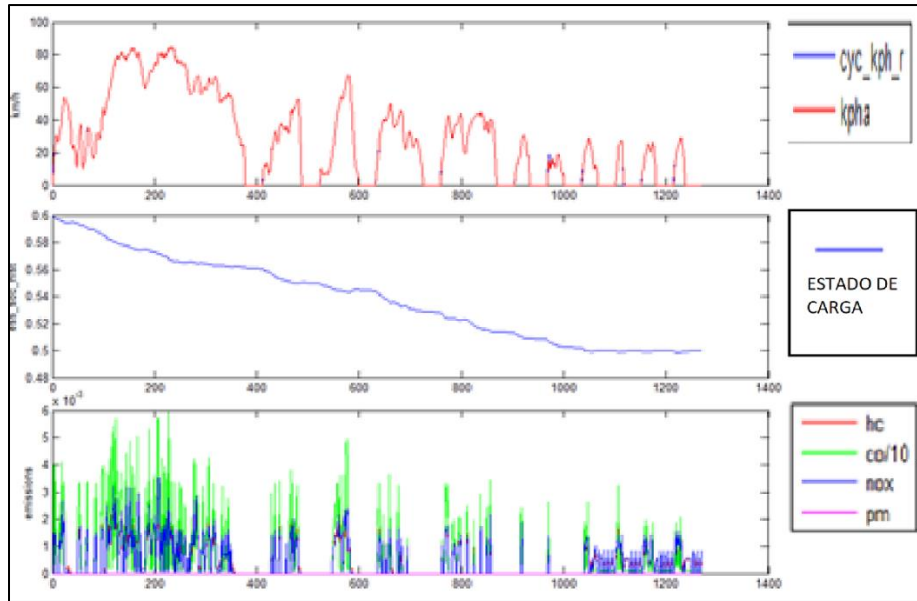


Gráfica 26. Resultados del VH serie GDH= 60% 2019.

Como se observa en la Gráfica 26 el ciclo de manejo 2019 empieza con la parte de autopista/carretera, donde la configuración en serie no puede sacar provecho al descargar inmediatamente la batería y requerir siempre del MCI como generador eléctrico, en la mayoría de lo que resta el ciclo, hasta llegar a su EDC máximo y se empieza a descargar, como su estrategia de control lo dictamina.

Otro aspecto apreciable en la Gráfica 26, es que el MCI empieza a funcionar antes de bajar a su límite de 40%, situación que no se encontró razón teórica, por lo que debe ser en el algoritmo del software, que considere una tolerancia antes de llegar al valor mínimo.

En la configuración mixta solo el de 60% y el 70% recorrieron el ciclo.



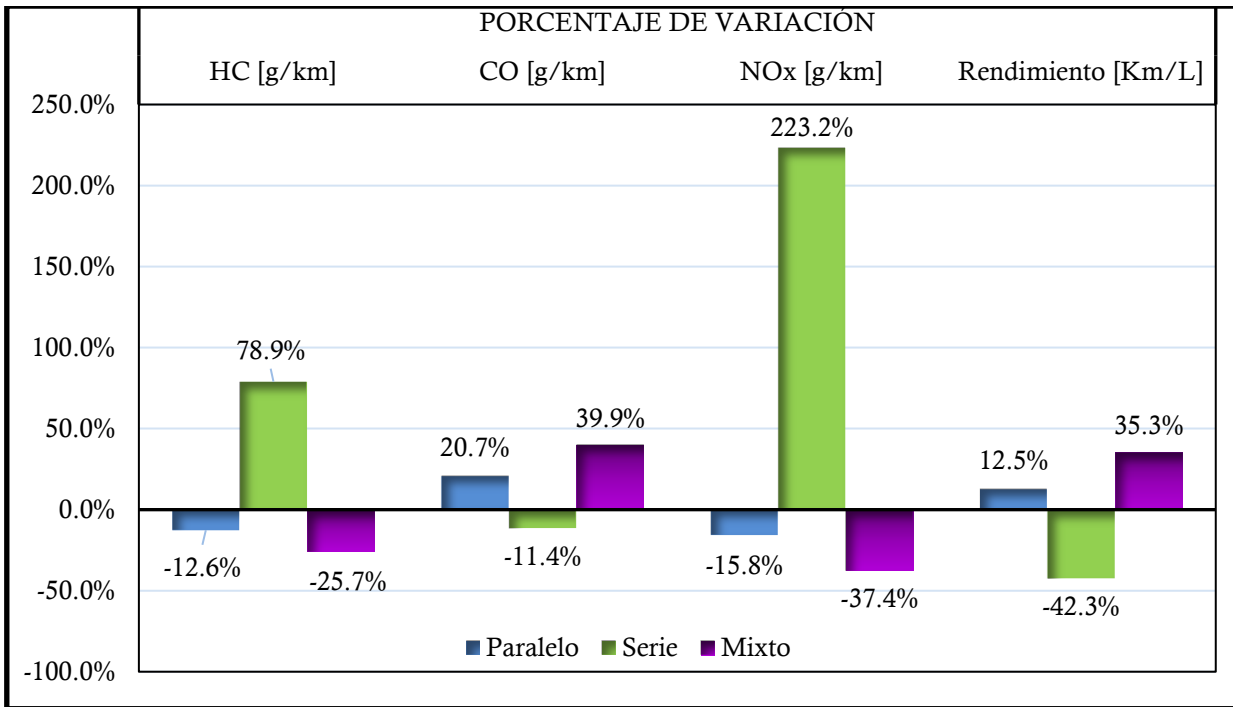
Gráfica 27. Resultados del VH mixto GDH= 60% 2019.

En la Gráfica 27 se observa que el EDC no disminuye hasta el límite de 40%, manteniéndose constante al final donde el ciclo ya no demanda tanta potencia.

El resumen se muestra en la Tabla 19 y Gráfica 28, donde se ve el incremento o disminución de parámetros respecto al convencional (véase ANEXO 3), tomando en cuenta que la configuración en serie sólo es el de GDH de 60% y el mixto de 60% y 70% los cuales recorrieron el ciclo.

CONFIGURACIÓN	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]
Paralelo	0.066	0.615	0.083	14.247
Serie	0.136	0.451	0.320	7.299
Mixto	0.057	0.712	0.062	17.125

Tabla 19. Promedio de emisiones y rendimiento 2019.



Gráfica 28. Porcentaje de variación VH 2019.

De manera similar que, en el ciclo del 2014, las configuraciones paralelo y mixto tuvieron disminución de HC y NOx, aumento de CO y rendimiento. A diferencia del ciclo de manejo 2014, donde el paralelo tenía mejor desempeño en los campos a analizar, en este ciclo quien tiene mejor los porcentajes de incremento y disminución de emisiones es la configuración mixta.

Por otra parte, la configuración en serie a pesar de que recorre el ciclo su desempeño fue desfavorable, ya que incrementa las emisiones de HC y NOx, debido a lo que se mencionó anteriormente respecto al ciclo de manejo, el cual empieza con la parte de autopista/carretera.

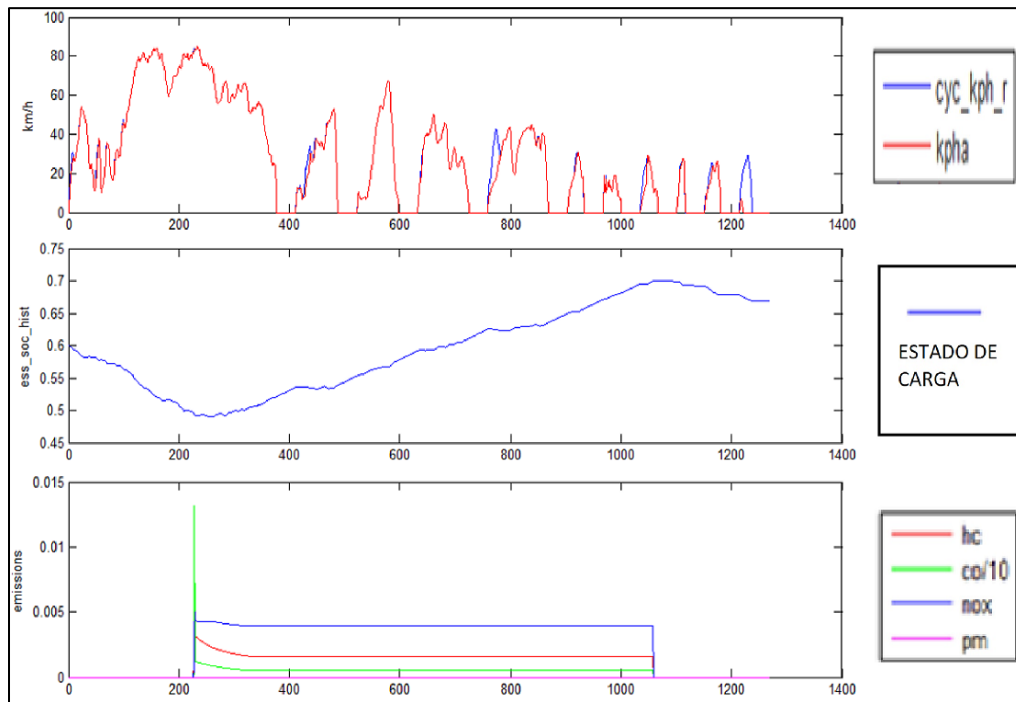
Después de analizar el comportamiento en el ciclo de manejo mexicano 2019 se procedió a realizar las simulaciones en el ciclo de manejo con pendiente (2019G), donde solo 5 vehículos siguieron el ciclo, incluyendo el convencional, los 4 VH son los mostrados en la Tabla 20, dejando afuera a las configuraciones en serie que no pudieron recorrer el ciclo.

Configuración	GDH %
Paralelo	30
Paralelo	45
Paralelo	60
Mixto	70

Tabla 20. VH que recorrieron el ciclo de manejo 2019G.

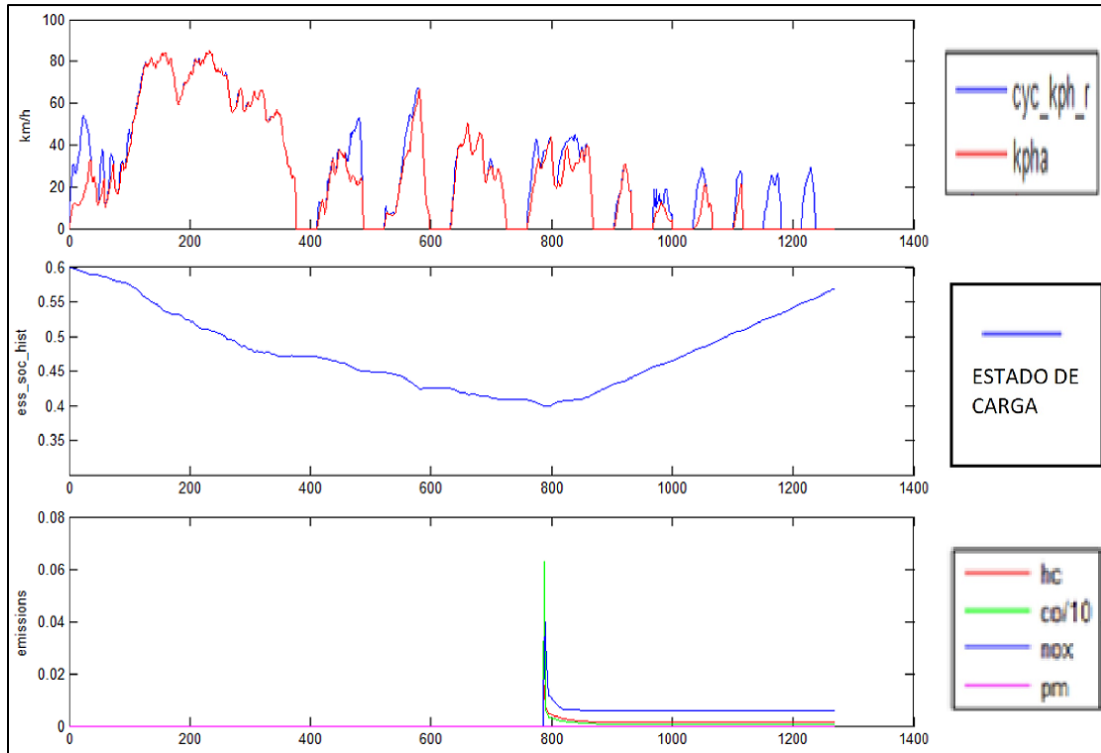
Esto se podría haber esperado, al analizar que los vehículos que recorrieron los 4 ciclos son los vehículos que mejoraron en su capacidad de ascenso al hibridar, por un poco más del doble de la que tenía el vehículo convencional, con excepción del paralelo con GDH=30%.

En la Gráfica 29 se muestra los resultados del VH en serie GDH=60% que había recorrido el ciclo sin la pendiente. El VH en serie no empata con la gráfica del ciclo de manejo, por lo que no le es suficiente para circular de forma adecuada en la Ciudad de México y sus alrededores.



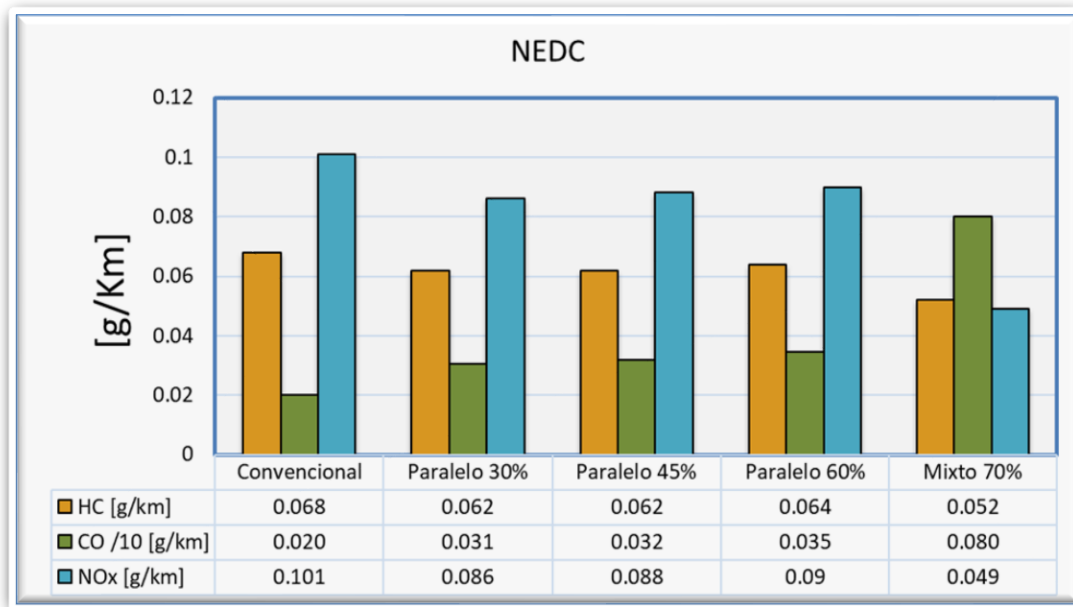
Gráfica 29. Resultados del VH serie GDH= 60% 2019G.

En la Gráfica 30 se muestra otro ejemplo para el VH en serie con GDH de 50%, donde se aprecia mejor el desfase del recorrido del vehículo respecto al ciclo de manejo.



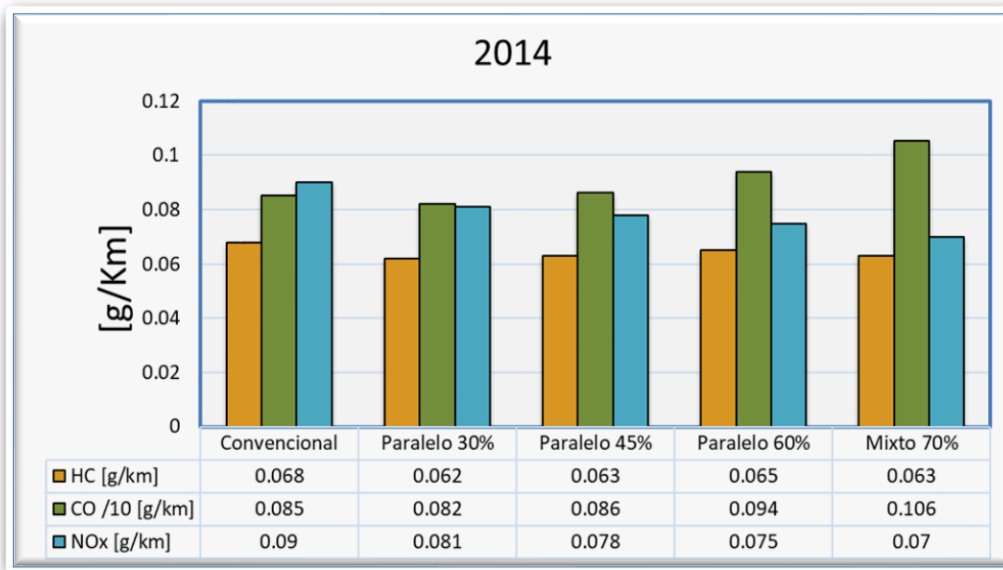
Gráfica 30. Resultados del VH serie GDH= 50% 2019G.

Analizando estos 4 VH, son los únicos que recorrieron los cuatro ciclos de manejos en los que se evaluaron los vehículos en este trabajo. A continuación, se mostrarán las gráficas comparativas entre estos VH y el convencional por cada ciclo de manejo.



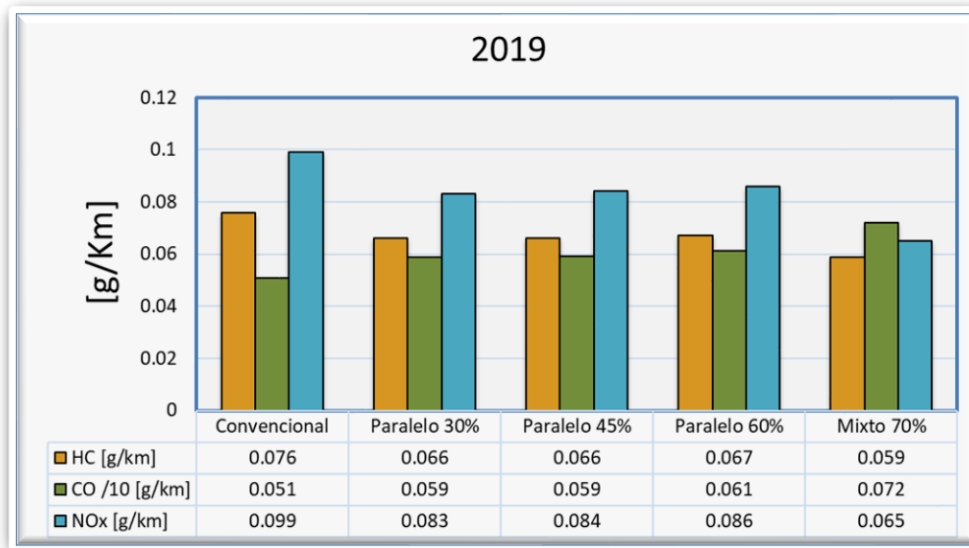
Gráfica 31. Emisiones ciclo NEDC.

Para el ciclo de manejo europeo (Gráfica 31), las configuraciones en paralelo, mejoran en emisiones de HC y NOx, pero incrementa en CO respecto al convencional, siendo el que tiene GDH=30% el que disminuyo más. A pesar de no cumple con los límites máximos permisibles de NOx para el territorio mexicano. En cambio, el VH mixto a pesar de que tuvo un incremento abrupto de emisiones de CO, no rebasa los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes establecidos en la Norma Oficial Mexicana (nótese el factor de escalamiento para las emisiones de CO).



Gráfica 32. Emisiones ciclo 2014.

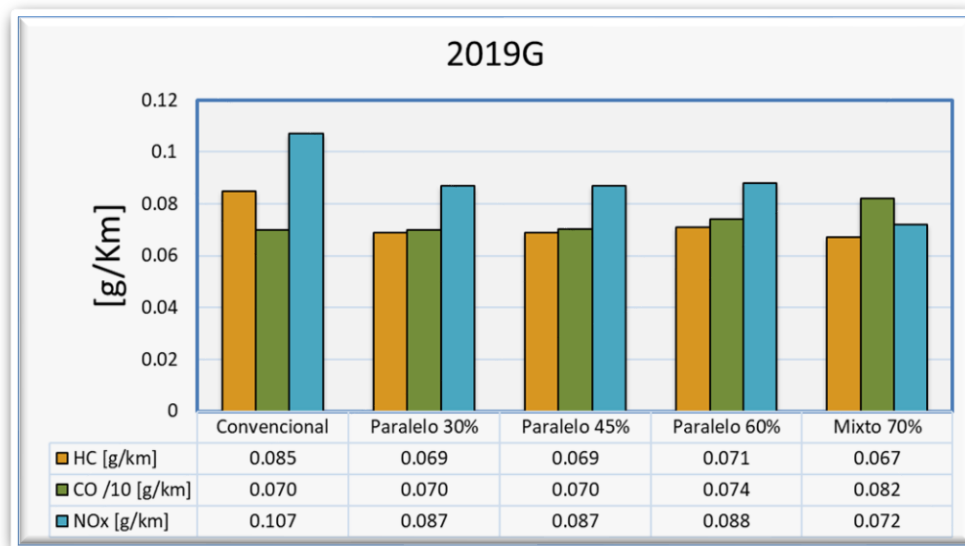
En el ciclo de manejo mexicano 2014, se puede apreciar un aumento de emisiones de HC y de CO en los 5 vehículos, pero en NOx tienen un comportamiento distinto. El convencional disminuye sus emisiones, los paralelos la incrementan mientras menor GDH tengan, y el mixto incrementa sus emisiones de NOx.



Gráfica 33. Emisiones ciclo 2019.

El ciclo 2019 para las configuraciones en paralelo, todas las emisiones aumentan al incrementa su GDH, en este ciclo el que volvió a mejorar su desempeño fue el mixto, incluso cuando sus emisiones de con son las más altas de los 5 vehículos, pero comparado con el ciclo 2014 el mixto reduce sus emisiones de CO.

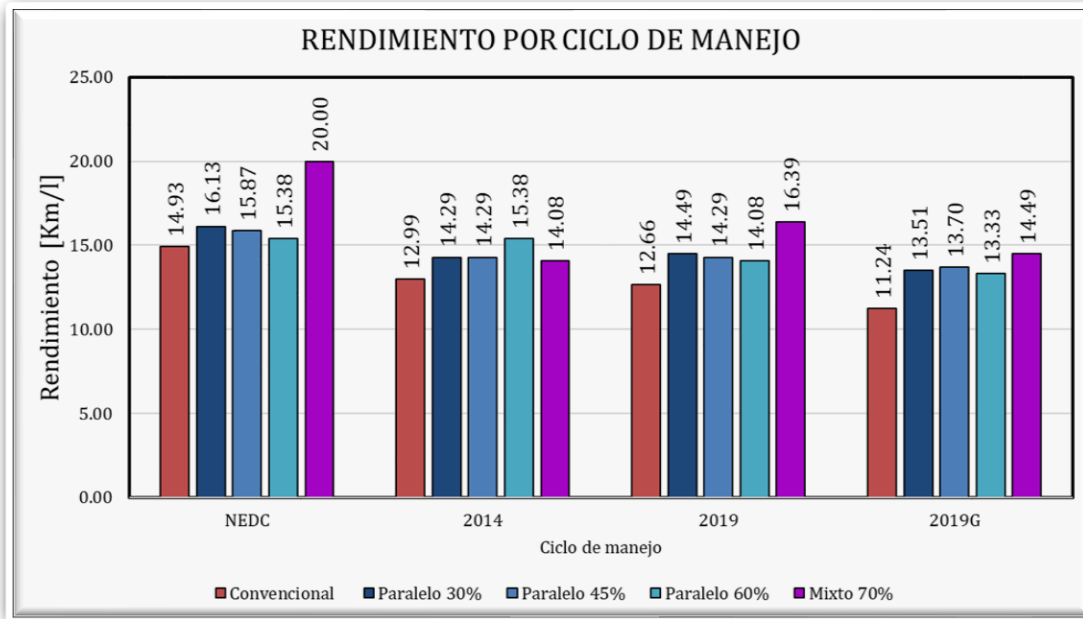
Si se compara el ciclo de manejo 2019 con el NEDC, se puede ver, con apoyo de las gráficas de barras, un aumento en CO provocando que los valores de emisiones se encuentren más equilibrados además de mantener el mismo comportamiento entre estos, es decir ninguno sobrepasa al otro.



Gráfica 33. Emisiones ciclo 2019G

Ya con el perfil de pendiente en el ciclo de manejo 2019, todas las emisiones aumentan para los 5 vehículos. Los VH en paralelo fueron los que tuvieron menor incremento en sus emisiones respecto al ciclo mexicano 2019, nuevamente se ve que al considerar la pendiente en el ciclo las emisiones de CO incrementaron, en todos los modelos.

En la Gráfica 34 se conjuntaron los rendimientos de estos 5 vehículos para ver su cambio en cada ciclo y entre ellos mismos.



Gráfica 34. Rendimiento de vehículos que recorrieron los 4 ciclos de manejo.

Los 5 vehículos fueron reduciendo su rendimiento al cambiar de ciclo de manejo, con excepción del vehículo mixto que su peor rendimiento lo obtuvo en el ciclo de manejo mexicano 2014, y fue ahí donde la configuración en paralelo lo superó.

En los cuatro ciclos de manejo se observa una mejora en rendimiento de estos VH que los recorrieron respecto al vehículo convencional incrementando entre 1 y 2 Km/l aproximadamente.

Los 3 VH en paralelo tienen una caída de rendimiento al aumentar su GDH en el ciclo de manejo NEDC y 2019. En el ciclo de manejo 2014, ocurre lo contrario, mientras que en el 2019 con pendiente el paralelo con GDH=45% es el que posee el rendimiento mayor.

Así como las emisiones aumentaron del ciclo de manejo NEDC al mexicano 2019, el rendimiento disminuyó, no obstante, se recalca que tienen un comportamiento similar entre estos dos ciclos.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se elaboraron 16 propuestas de la hibridación de una Mini Van originalmente de gasolina, repartidos en las tres diferentes configuraciones de vehículo híbrido, modificando su grado de hibridación, y así encontrar una Mini Van híbrida para la Ciudad de México que mejore su desempeño respecto a la convencional, en función de emisiones contaminantes, rendimiento y capacidad de ascenso.

El uso del software ADVISOR sigue siendo una herramienta útil para su uso en estudios de vehículos, a pesar de su antigüedad, como se había mencionado, tiene la versatilidad de actualización de su base de datos para así tener modelos más aproximados a los vehículos que se presentan en la actualidad.

Las configuraciones en paralelo y mixto fueron quienes tuvieron una mejora en la capacidad de ascenso con excepción de los mixtos con GDH menor a 38% aproximadamente, los VH en serie no tuvieron una mejora, esto es debido a que, en su modelado, se considera el ME y el motor generador, cuando el paralelo y el mixto utilizan uno solo para las dos funciones. Esto hace que el peso total del vehículo afecte en su capacidad de ascenso.

El estudio de capacidad de ascenso es importante para el desarrollo de estudios en la Ciudad de México, debido a las condiciones del terreno, existiendo muchos ascensos y descensos.

Considerando que la Mini Van modelada si se vendió en México, haciendo énfasis en el ciclo de manejo NEDC, no cumpliría con la normativa mexicana para su venta en territorio mexicano, por la cantidad de emisiones de NOx, sin embargo el valor está por encima de los límites por muy poco, esto hace creer que se necesitó afinar más el modelo en lo que tratamiento de gases de escape se refiere o que las emisiones de Nox del MCI de la base de datos son más altas que el MCI real de la Mini Van. A pesar de esto, el vehículo convencional logra recorrer los 4 ciclo de manejo incluyendo el 2019G que tiene el perfil con pendiente, concluyendo que si es capaz de circular en la mayoría de las vialidades de la Ciudad de México aun cuando el vehículo tiene una capacidad de ascenso inferior respecto a los híbridos modelados.

Los ciclos de manejo de la Ciudad de México tuvieron como resultado un incremento de emisiones de CO, tanto en el vehículo convencional como en los diferentes VH simulados (véase ANEXOS 2,3 y 4), esto puede ser atribuible a la cantidad de desaceleraciones cortas que se tienen en los ciclos, no obstante, esto pudo ser favorable para ciertos VH por el constante uso del freno regenerativo.

De acuerdo a su configuración, los VH en paralelo junto con los mixtos son los que desarrollaron un mejor desempeño a lo largo del trabajo teniendo pocas excepciones de modelos que no recorrían el ciclo, principalmente fueron los de GDH debajo del 30%, los cuales son los categorizados como Mild Hybrid, los cuales requieren un ajuste en la estrategia de control manejada con ADVISOR.

Para los VH en serie tuvieron un desempeño distinto en todos los aspectos, es decir al variar su GDH y el ciclo de manejo, como se observó En el ciclo de manejo 2019, se descarga pronto la batería porque el ciclo de manejo empieza con la parte de autopista/carretera, además de que fueron pocos los modelos en serie que recorrieron los ciclos, esto lleva a entender que para las configuraciones en serie se requiere un estudio diferente al de modificar su GDH. Sería comenzando con la potencia requerida por el ciclo de manejo para la selección del ME y escalonadamente seleccionar la capacidad de las baterías, generador eléctrico y MCI.

En cuanto a los VH mixtos, el modelo posee una transmisión CVT la cual no se pudo cambiar por una automática como en los paralelos, esto le pudo haber ayudado al VH en los ciclos de manejo de la Ciudad de México donde hay muchos cambios de velocidad en periodos cortos de tiempo.

Respecto al EDC de los VH dejando a un lado los de configuración en serie los cuales dependen mucho de la carga inicial las demás configuraciones no se ve un cambio sustancial en el EDC de las baterías siempre y cuando se encuentre dentro de los límite máximo y mínimo. Lo que se observó fue que el EDC no se logra apreciar bien el comportamiento en los ciclos de manejo, debido a que el ciclo de manejo es una síntesis, el resultado del EDC sería del mismo modo una síntesis que se convierte en una tendencia dependiendo del ciclo de manejo. O bien se requiere realizar un análisis de la capacidad de las baterías que se traduce en autonomía del VH.

Se cumplió con los objetivos de este trabajo al modelar y simular vehículos híbridos en los ciclos de la Ciudad de México y compararlos con su contraparte convencional.

Además de encontrar una configuración junto con su grado óptimo para la hibridación de un vehículo convencional. Dichos vehículos son los que recorrieron los 4 ciclos de manejo analizados al final.

Se concluye que la Mini Van híbrida con el MCI de 1.0L ideal para la Ciudad de México es de configuración paralelo con GDH mayor o igual a 30% o la configuración mixta alrededor de un GDH=70%. Estos vehículos cumplieron con el objetivo particular establecido de disminuir sus emisiones contaminantes de HC y NOx y mejora del rendimiento de combustible y capacidad de ascenso, respecto al convencional, con excepción de las emisiones de CO que aumentaron al hibridar y en los ciclos de manejo mexicanos. A pesar de esto, si la Mini Van tuviera un MCI con cilindrada más grande, mejor rendimiento y tecnología, como lo tienen la mayoría de VH en el mercado, la Mini Van podría tener mejor desempeño, incluso para las complicaciones para vencer las pendientes de los ciclos de manejo.

Un aspecto que se recupera de estas simulaciones es que los ciclos de manejo mexicanos provocan un aumento en las emisiones de CO, esto supone que los vehículos en circulación en la Ciudad de México están emitiendo más CO del que fueron regulados con los estándares europeos.

Adicionalmente, el software ADVISOR seguirá siendo útil para el porvenir del país, debido a que se empiezan a introducirse más vehículos híbridos en el mercado, para así saber el comportamiento de dichos vehículos en calles de la Ciudad de México y sus alrededores. Además de que estos aun no tienen una regulación de emisiones contaminantes y más aún los usados que siguen en circulación.

TRABAJO A FUTURO

- Afinar las estrategias de control de los vehículos híbridos en el software ADVISOR, como lo son los EDC máximo y mínimo, arranque con el ME, así como una metodología de selección de baterías y su mejor dimensionamiento de acuerdo al VH.
- Obtención de datos experimentales del MCI en el banco dinamométrico para cargarlos a la base de datos de ADVISOR y comparar simulaciones.
- Realizar estudios de Autonomía de Baterías y de frenada regenerativa debido a las características de las vías en la Ciudad de México.
- Desarrollo de una metodología para la selección óptima de un vehículo híbrido, conocidos como optimización multiobjetivo. tomando en cuenta factores como emisiones, rendimiento, capacidad de ascenso, aceleración, configuración híbrida, entre otras particulares de cada trabajo.
- Desarrollo de un ciclo de manejo para su aprobación en territorio nacional que incluyan factores de Estado de Carga, Grado de Hibridación.

5. FUENTES DE INFORMACIÓN

BIBLIOGRAFIA

ASOCIACION MEXICANA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ (AMIA). (2019). **Reporte de venta de vehículos híbridos eléctricos Julio 2019**. Recuperado de: <http://www.amia.com.mx/> 20/Enero/ 2020.

ANTONIOU, Antonis, KOMYATHY, Jhonathan, BENCH, Justin, EMADI, Ali (2005). **Modeling and Simulation of Various Hybrid Electric Configurations of the High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle (HMMWV)**. *2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 13-20p*. DOI: 10.1109/VPPC.2005.1554525

APARICIO, Francisco. **Teoría de los vehículos automóviles**. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre 1995. 580 p.

CENGEL, Yunus, BOLES, Michael. **Termodinámica**. Séptima edición. México. McGraw-Hill. 2012. 1009 p.

CENGEL, Yunus, BOLES, Michael. **Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones** Primera edición. México. McGraw-Hill. 2006. 575 p.

CHAN, C.C. (2007). **The state of the art of electric and hybrid vehicles**. *PROCEEDING OF THE IEEE, 95(4)*, 704-718 p. DOI: 10.1109/5.989873.

CLARKE, Seán. (21 December 2017). **How green are electric cars?** *The Guardian*. Recuperado de: <https://www.theguardian.com/football/ng-interactive/2017/dec/25/how-green-are-electric-cars>.

DHAMEJA, Sandeep. **Electric vehicle battery system**. United State of America. Newnes. 2001. 230 p.

DURAN, Marco A. **Conversión de un tren de potencia convencional a un tren de potencia híbrido eléctrico**. Tesis (Ingeniero Mecánico). Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 2018. 126 p.

EHSANI, Mehrdad, GAO, Yimin, y EMADI, Ali. **Modern Electric Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles**. Segunda edición. United State of America. CRC PRESS. 2010. 534 p.

FRANCO, Vicente, ZACHAROPOULOU, Theodora, HAMMER, Jan, SCHMIDT, Helge, MOCK, Peter, WEISS, Martin y SAMARAS, Zissis (2016). **Evaluation of Exhaust Emission form three Diesel-Hybrid Cars and Simulation of After-Treatment System of Ultralow Real-World NO_x Emission**. *Environmental Science & Technology, 50*, 13151-13159 p. DOI: 10.1021/acs.est.6b03585.

FUHS Allen E. **Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation.** United States of America. CRC Press. 2009. 470 p.

GARCIA, Fernando, HERNANDEZ, Luis. **Síntesis de ciclos de manejo vehicular para automóviles en la Zona Metropolitana del Valle de México.** Tesis (Licenciatura). México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 2019. 161 p.

GARCIA, Fernando. **Emisiones Contaminantes de las mezclas de combustibles convencionales con biocombustibles, criterio y no reguladas.** Tesis (Doctor en Ingeniería). México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 2014. 160 p.

GML, **Ficha técnica ECOVANGML GF60,** Folleto, 2017

GONZALEZ, Rogelio. **Análisis Paramétrico de las Emisiones de Partículas en un Motor Diesel de Inyección Directa Mediante Sonda de Muestreo.** Tesis (Doctoral Ingeniero Industrial). España, Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. 1993. 220p.

GONZALEZ, Rogelio (2005). **Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustibles y las emisiones contaminantes del auto transporte.** *INGENIERÍA Investigación y Tecnología*, Vol. VI, Num. 3. 147-162 p. México.

GUTIERREZ, Josefa. **Análisis del tren de transmisión de potencia de vehículos híbridos utilizando el ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator).** Tesis (Ingeniera Mecánico Eléctrico). México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Campus Aragón. 2001. 199 p.

HERNÁNDEZ, Pedro, SÁNCHEZ, Ever, SANDOVAL, Juan. **Actualización de los ciclos de manejo en el Valle de México para vehículos ligeros.** Tesis (Licenciatura en Ingeniería Mecánica). México, Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 2014. 90 p.

HEYWOOD, John B. **Internal Combustion Engine Fundamental.** United States of America. Mc Graw-Hill. 1988. 930 p.

HUSAIN, Iqbal. **Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals.** United State of America. CRC PRESS. 2011. 270 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA. México. **Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones.** Primera Edición. México D.F. Jiménez Editores e impresiones. 2005. 508 p.

JON, Ian, KAHRIMANOVIC, Elvir, EMADI, Ali, (2004). **Diesel Sport Utility Vehicles with Hybrid Electric Drive Trains.** *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 53, 1247-1256 p. DOI: 10.1109/TVT.2004.830945

LAKSHMINARAYAN. (2017) Electric **hybrid vehicle.** *Rajasthan technical university, Kota.* Recuperado de: <https://www.slideshare.net/LakshminarayanSolank/electric-hybrid-vehicle-seminar-report.20/Enero/2020>

LARRODÉ, Emilio. **Automóviles Eléctricos.** 1ª edición. Zaragoza, España. INO reproducciones S.A. 1997. 475 p.

LOPEZ, José María. **Vehículos híbridos y eléctricos.** 1ª edición. España. Dextra editorial S.L. 2015. 306p.

MILLER, John M. **Propulsion systems for hybrid vehicles.** London, United Kingdom. The institution of Engineering and Technology. 2010. 455 p.

MILLO, F., CUBITO, C., RONALDO, L., PAUTASSO, E. y SERVETTO, E. (2017). **Design and development of an hybrid light commercial vehicle.** *Elsevier: Energy*, 136, 90-99 p. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.084.

PUNDIR, B.P. **Engine Emissions Pollutant Formation and Advances in Control Technology.** Kanpur India. Alpha Science International Ltd. 2007. 314 p.

PITSTOIA, Gianfranco. **Electric and hybrid vehicles.** First edition. Great Britain. Elsevier B.V. 2010. 652 p.

ROOS, Dave (December 2010). **Does hybrid car production waste offset hybrid benefits?** Science HowStuffWorks. <https://science.howstuffworks.com/science-vs-myth/everyday-myths/does-hybrid-car-production-waste-offset-hybrid-benefits3.htm>. (26-junio-2018)

SHER, Eran. **Handbook of Air Pollution Form Internal Combustion Engines.** United States of America. Academic Press. 1998. 663 p.

U.S. Department of Energy (sin fecha). **Reducing Pollution with Electric Vehicles.** Recuperado de: <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/reducing-pollution-electric-vehicles>. 04/Octubre/2018

VANTAGE vehicle international, inc. **Engine Service Manual-LJ465Q.** 2008. US.

WILLARD, Pulkrabek. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine.** First edition. United States of America. Prentice Hall. 1997. 411 p.

MESOGRAFIA

https://www.guazi.com/hangu/4c9adedf6b6e4198x.htm?ca_kw=-&ca_n=default&ca_s=seo_google 20/Enero/2020

<https://k.autohome.com.cn/spec/1001240/ge7/?pvareaid=3454625#dataList> 20/Enero/2020

<https://www.autohome.com.cn/advice/201210/407454.html?pvareaid=3311700> 20/Enero/2020

https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/pxweb/pxweb/es/RAIAVL/RAIAVL/RAIAVL_11.px/?rxid=481cd60b-81da-408b-ac45-524d2501ebd5 03/Febrero/2020

NORMA OFICIAL MEXICANA

- NOM-42-SEMARNAT-2003


6. ANEXOS

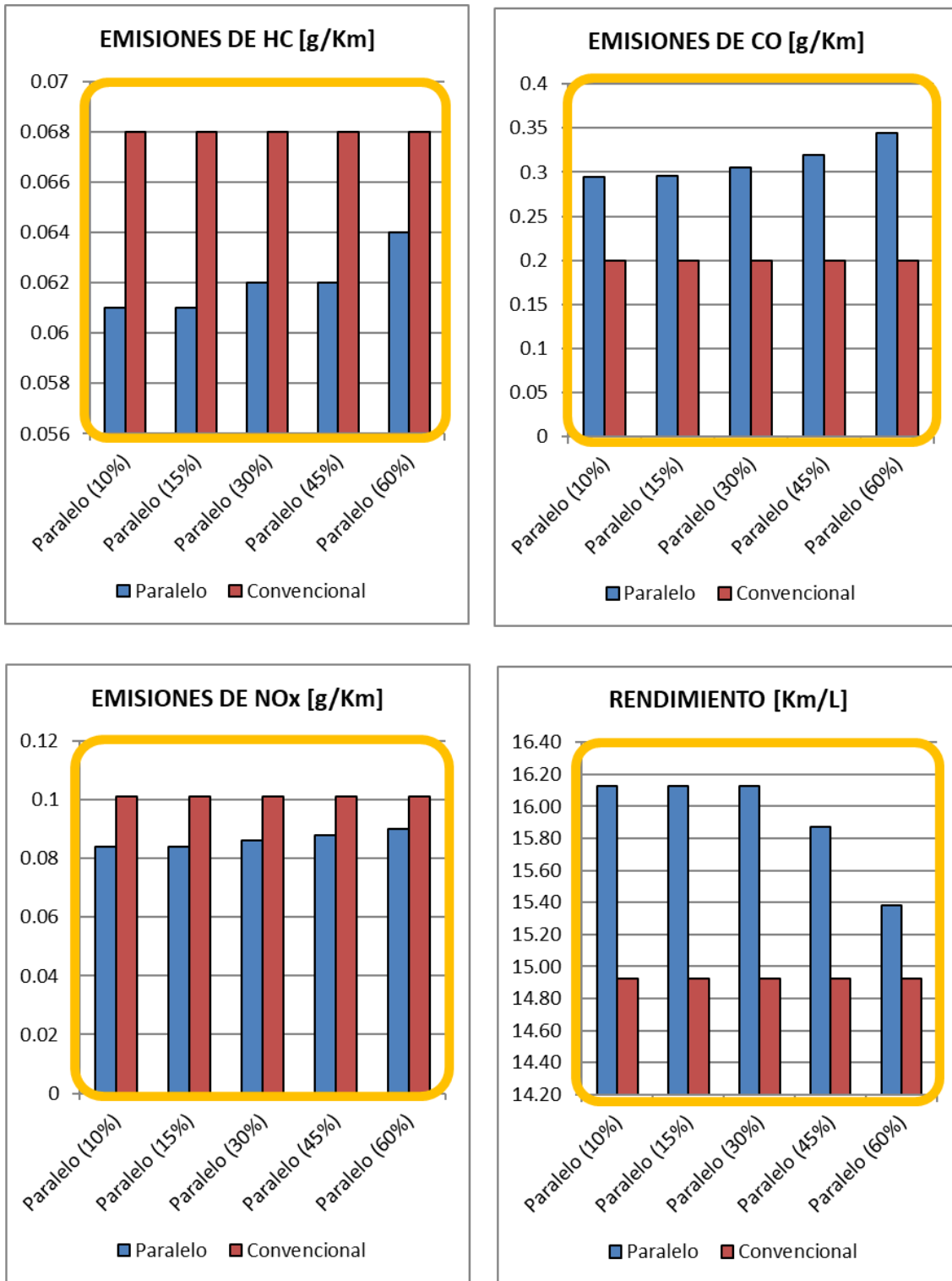
ANEXO 1: RESULTADOS CICLO DE MANEJO NEDC.

TABLA A1. Resultados NEDC.


	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]	Recorre el ciclo
Convencional MT	0.068	0.199	0.101	14.93	SI
Paralelo (10%)	0.061	0.294	0.084	16.13	SI
Paralelo (15%)	0.061	0.296	0.084	16.13	SI
Paralelo (30%)	0.062	0.305	0.086	16.13	SI
Paralelo (45%)	0.062	0.319	0.088	15.87	si
Paralelo (60%)	0.064	0.345	0.09	15.38	SI
Serie (40%)	0.039	0.379	0.13	35.71	NO
Serie (45%)	0.051	0.293	0.103	37.04	SI
Serie (50%)	0.051	0.289	0.107	34.48	SI
Serie (55%)	0.052	0.292	0.11	33.33	SI
Serie (60%)	0.053	0.292	0.112	31.25	SI
Mixto (10%)	0.079	1.245	0.083	12.05	NO
Mixto (15%)	0.071	1.101	0.074	13.33	NO
Mixto (30%)	0.056	0.796	0.057	17.54	SI
Mixto (45%)	0.051	0.764	0.05	20.00	SI
Mixto (60%)	0.051	0.783	0.049	20.41	SI
Mixto (70%)	0.052	0.801	0.049	20.00	SI

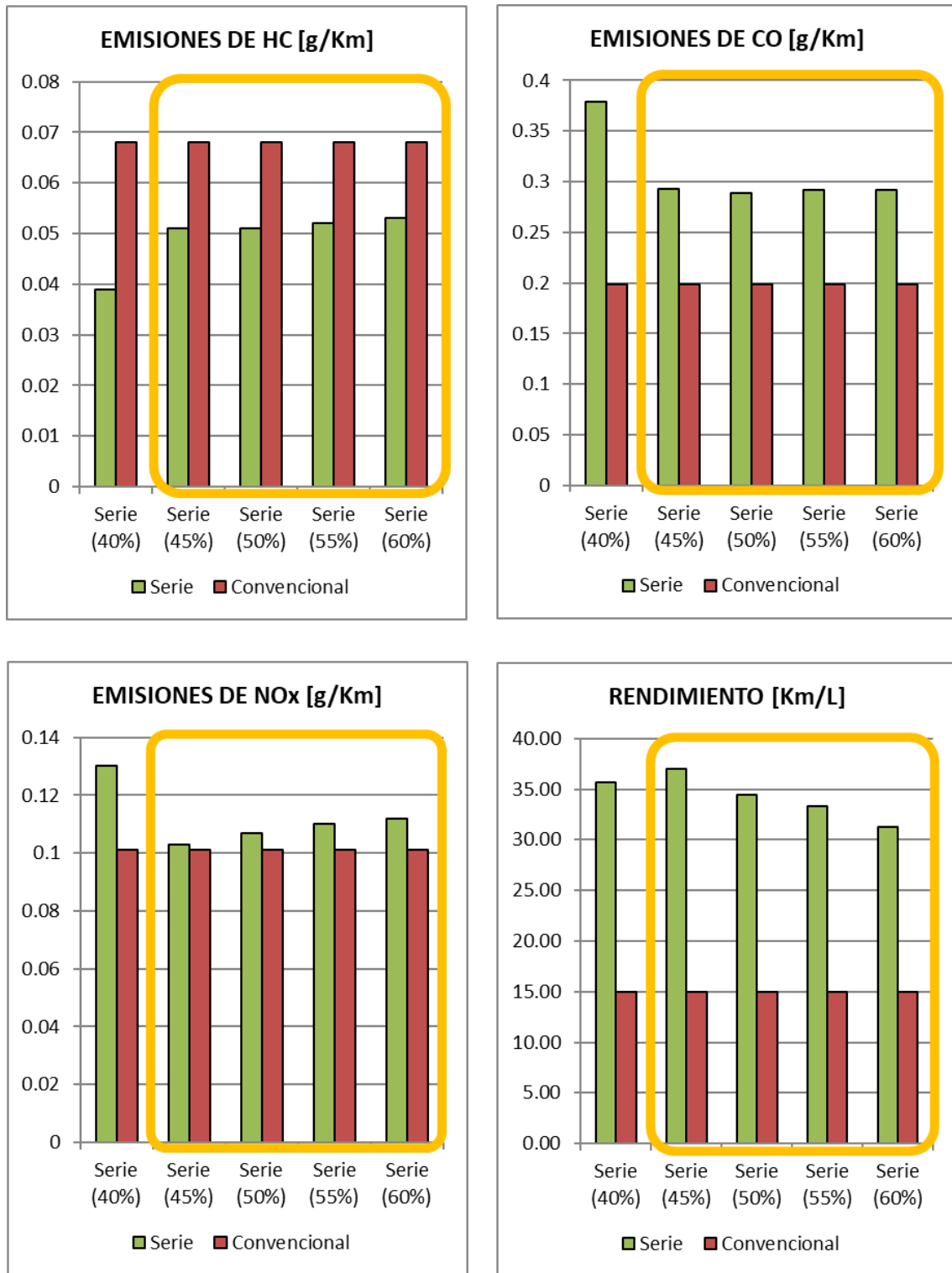
GRÁFICA A1.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo NEDC.

 Recorrieron el ciclo




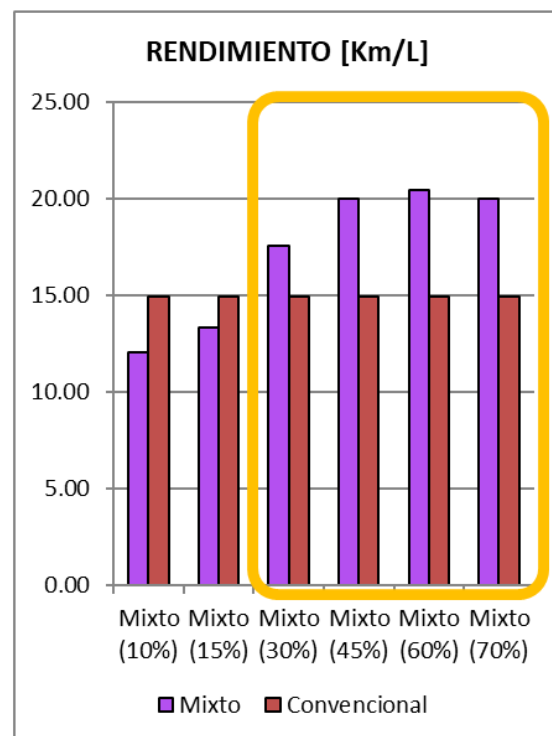
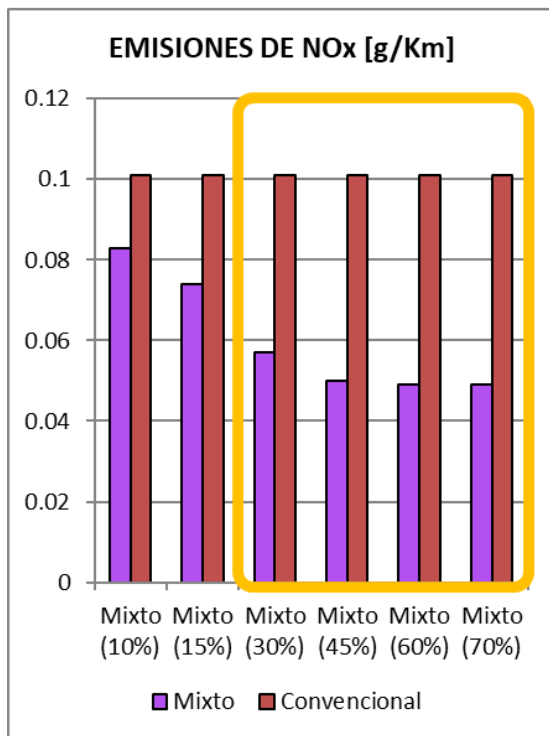
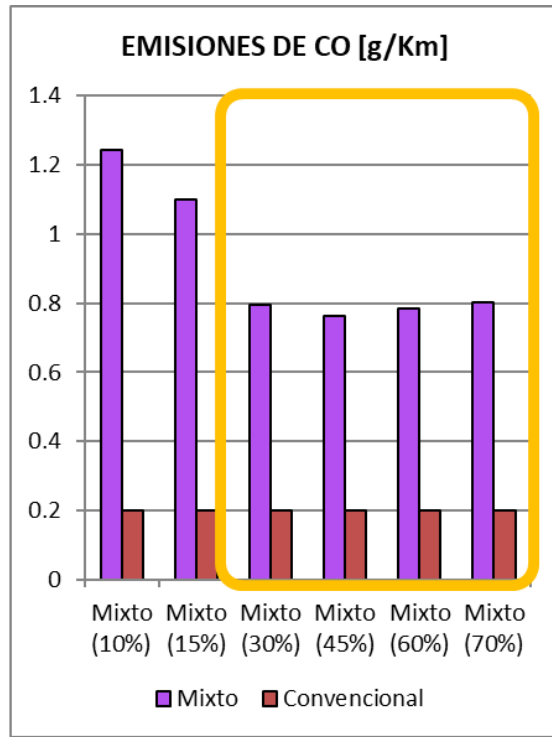
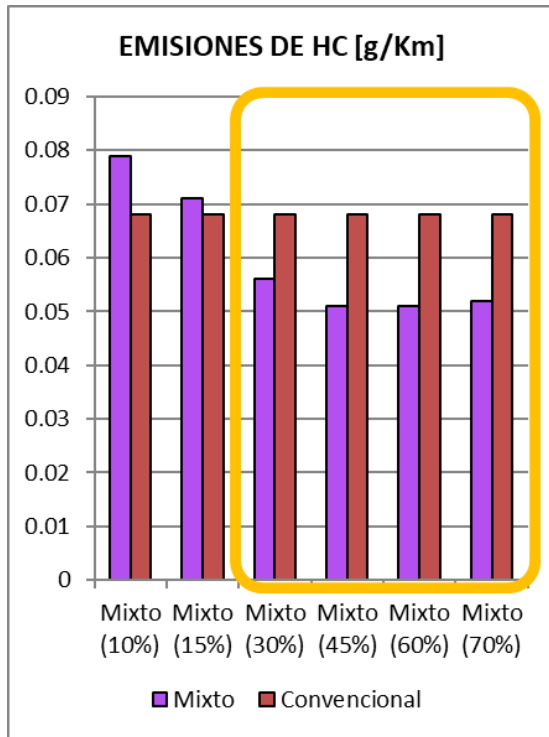
GRÁFICA A1.2 Resultados emisiones y rendimiento serie NEDC.

 Recorrieron el ciclo



GRÁFICA A1.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto NEDC.

 Recorrieron el ciclo



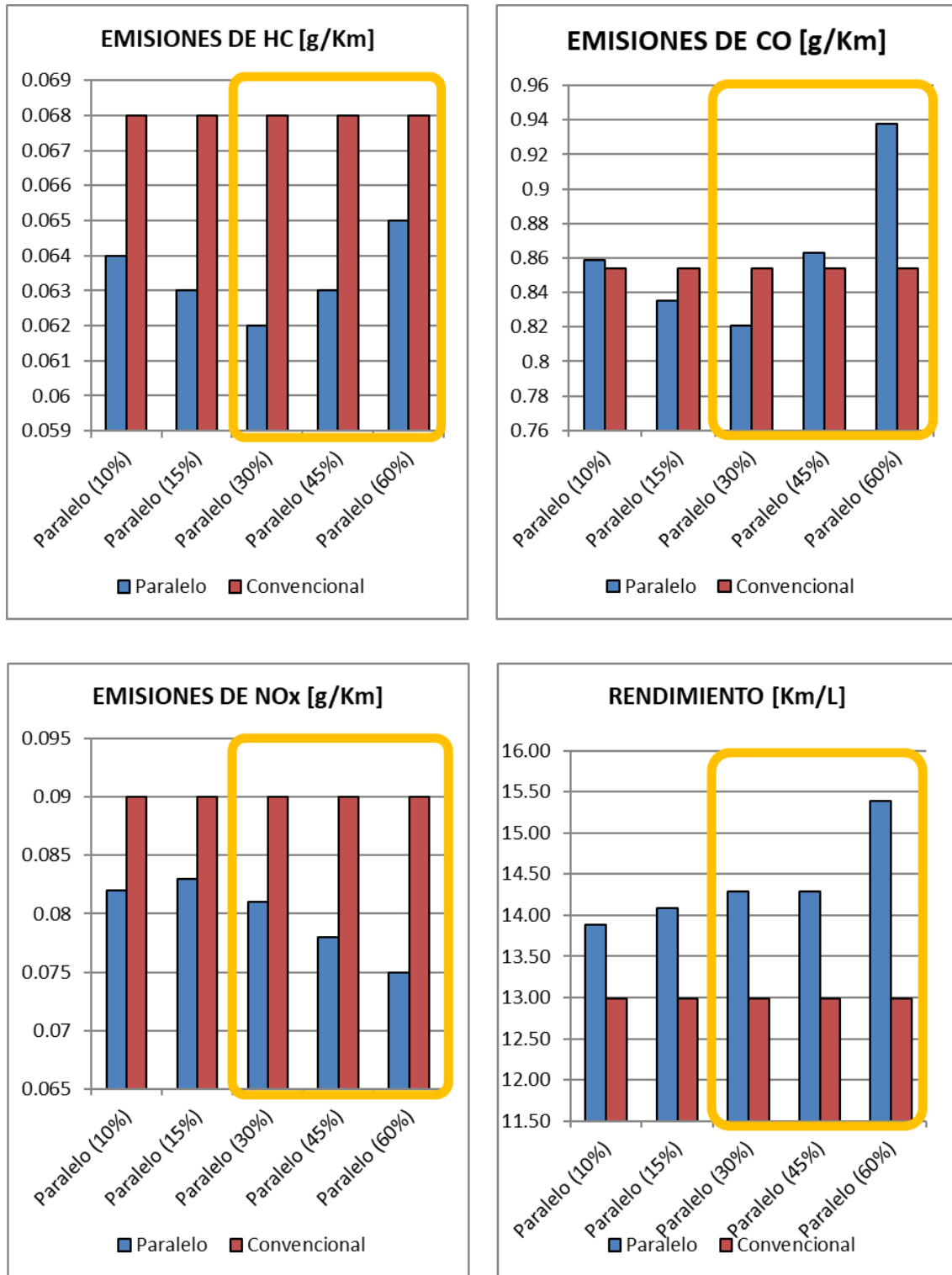
ANEXO 2: RESULTADOS CICLO DE MANEJO 2014.

TABLA A2. Resultados 2014.

	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]	Recorre el ciclo
Convencional MT	0.068	0.854	0.09	12.99	SI
Paralelo (10%)	0.064	0.859	0.082	13.89	NO
Paralelo (15%)	0.063	0.835	0.083	14.08	NO
Paralelo (30%)	0.062	0.821	0.081	14.29	SI
Paralelo (45%)	0.063	0.863	0.078	14.29	SI
Paralelo (60%)	0.065	0.938	0.075	15.38	SI
Serie (40%)	0.062	0.37	0.225	13.16	NO
Serie (45%)	0.07	0.256	0.155	15.15	NO
Serie (50%)	0.072	0.25	0.162	14.71	NO
Serie (55%)	0.071	0.251	0.164	14.71	SI
Serie (60%)	0.075	0.26	0.174	13.70	SI
Mixto (10%)	0.076	1.452	0.082	11.11	NO
Mixto (15%)	0.072	1.35	0.078	11.76	NO
Mixto (30%)	0.062	1.112	0.069	13.89	NO
Mixto (45%)	0.059	1.017	0.066	14.71	SI
Mixto (60%)	0.062	1.02	0.069	14.49	SI
Mixto (70%)	0.063	1.055	0.07	14.08	SI

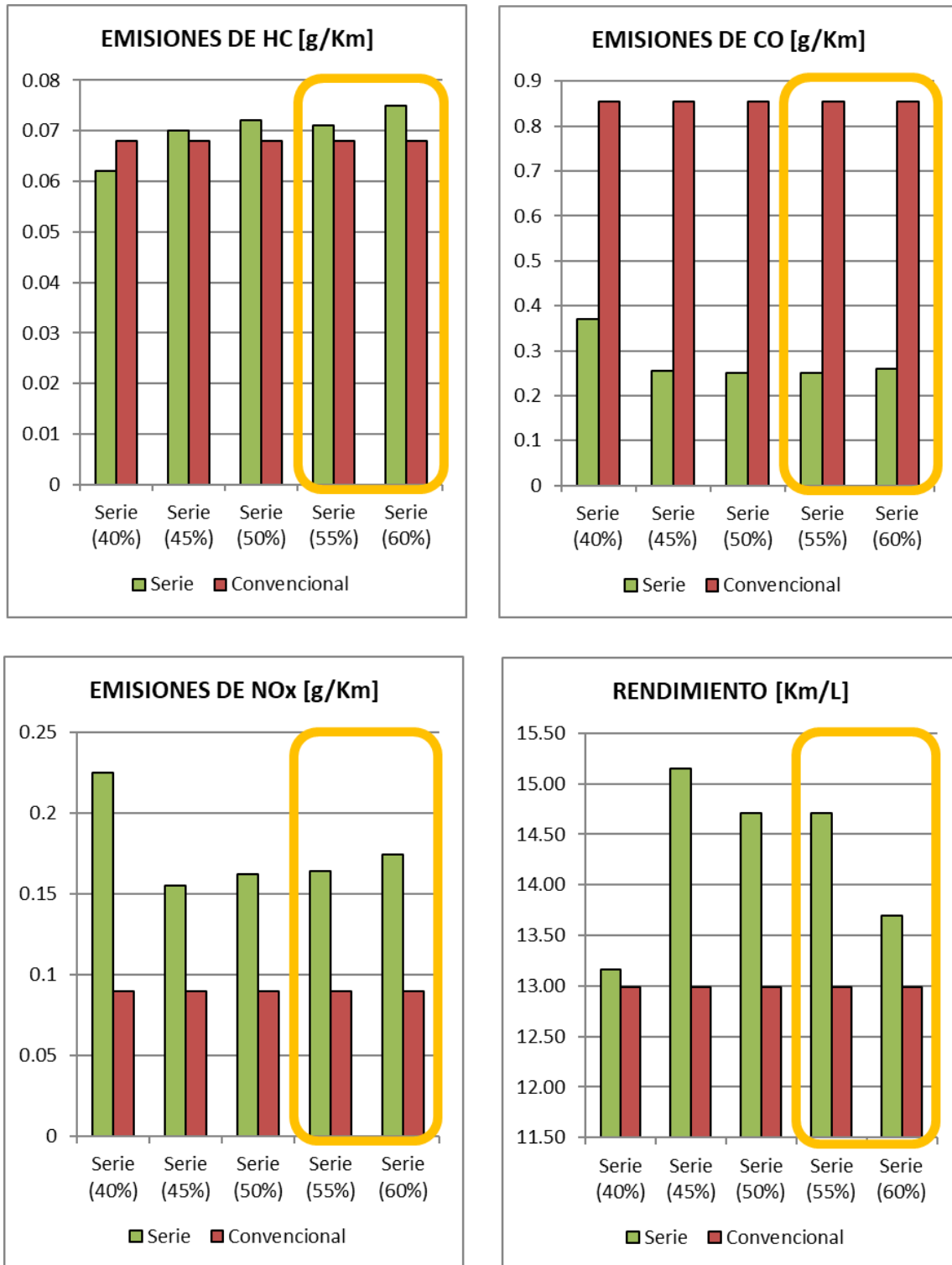
GRÁFICA A2.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo 2014.

 Recorrieron el ciclo




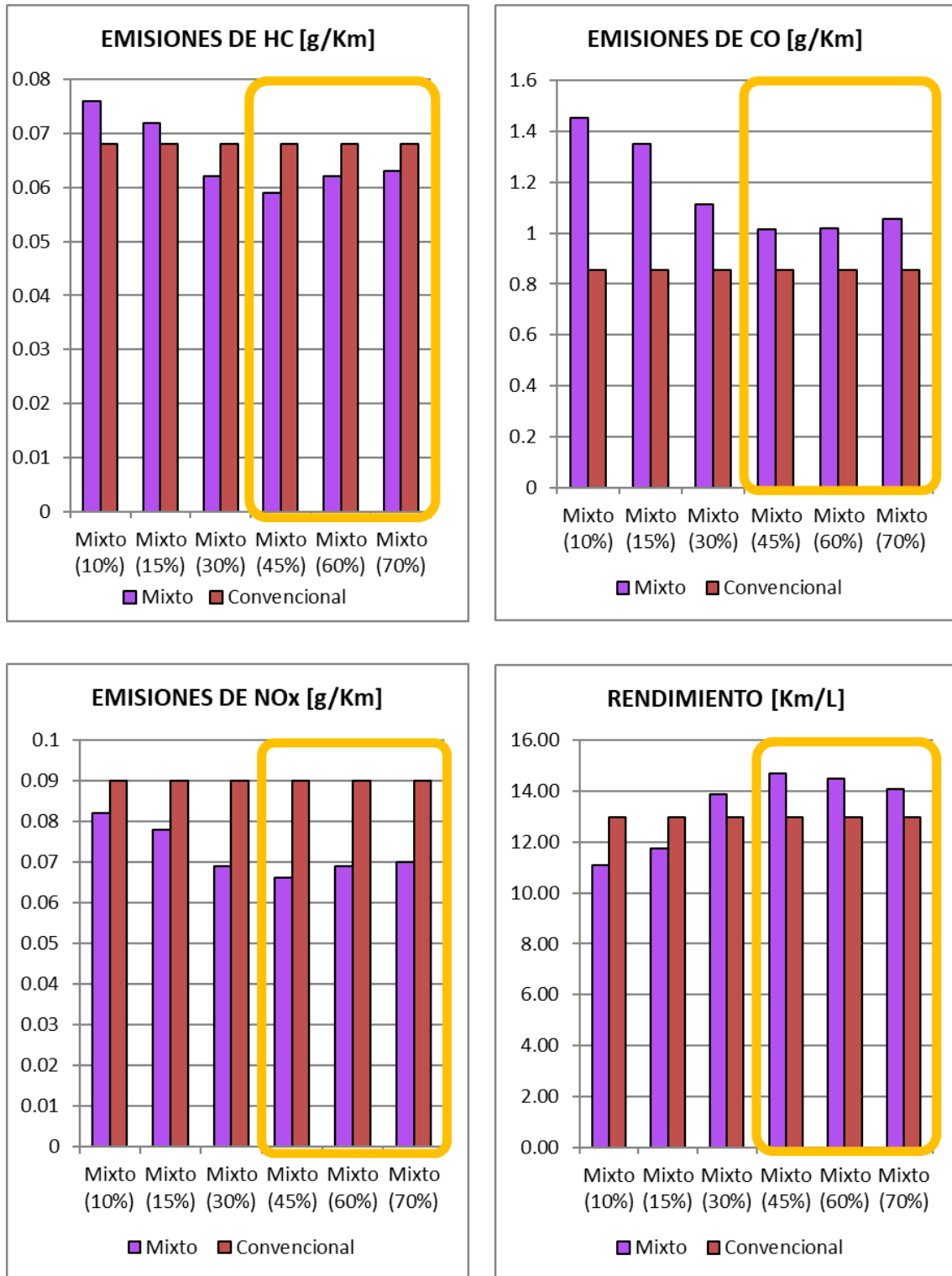
GRÁFICA A2.2 Resultados emisiones y rendimiento serie 2014.

 Recorrieron el ciclo



GRÁFICA A2.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto 2014.

 Recorrieron el ciclo




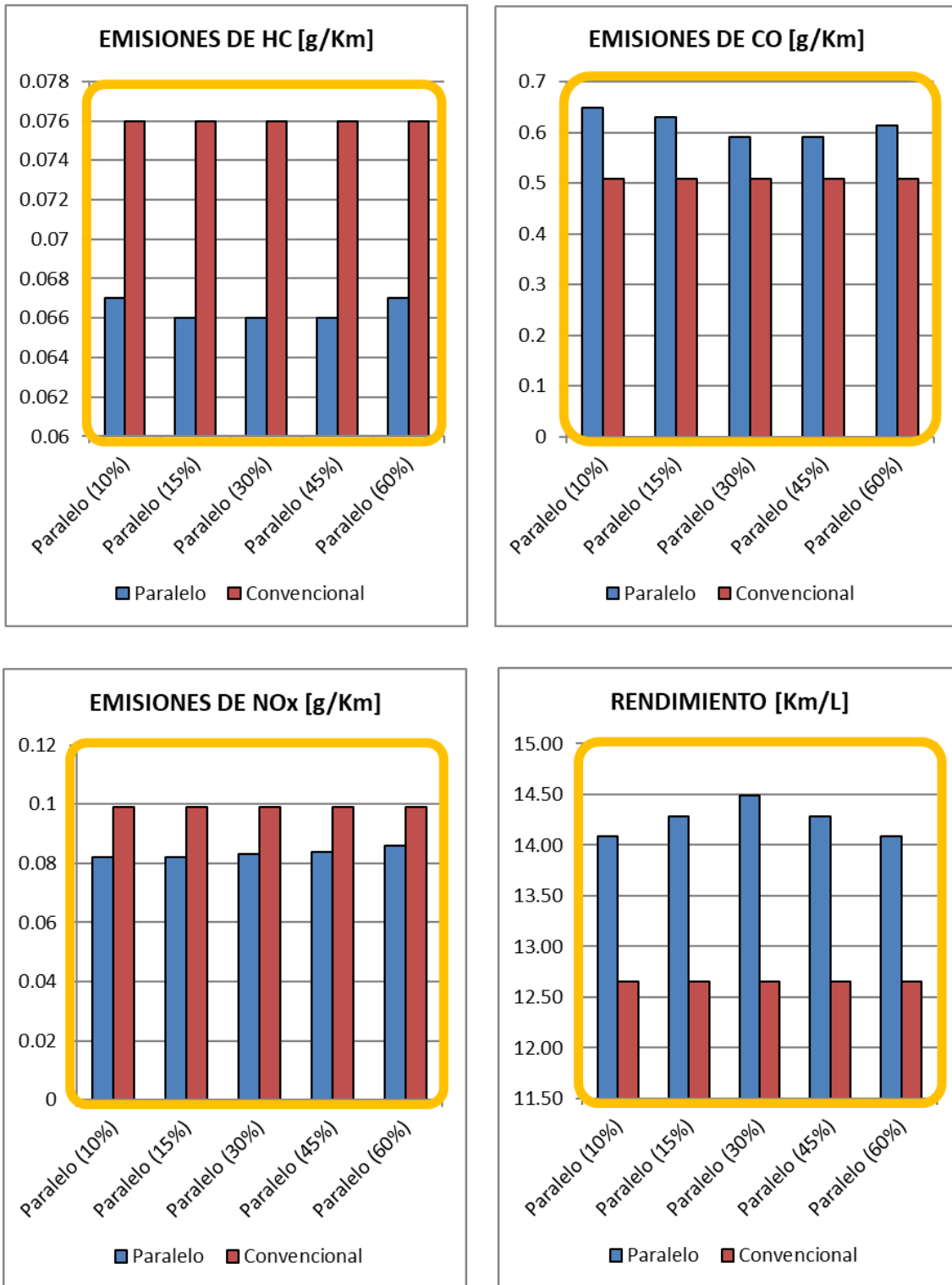
ANEXO 3: RESULTADOS CICLO DE MANEJO 2019.

TABLA A3. Resultados 2019.


	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]	Recorre el ciclo
Convencional MT	0.076	0.509	0.099	12.66	SI
Paralelo (10%)	0.067	0.649	0.082	14.08	SI
Paralelo (15%)	0.066	0.63	0.082	14.29	SI
Paralelo (30%)	0.066	0.59	0.083	14.49	SI
Paralelo (45%)	0.066	0.591	0.084	14.29	SI
Paralelo (60%)	0.067	0.613	0.086	14.08	SI
Serie (40%)	0.109	0.665	0.388	7.69	NO
Serie (45%)	0.109	0.665	0.388	7.69	NO
Serie (50%)	0.13	0.461	0.289	8.26	NO
Serie (55%)	0.133	0.44	0.312	7.46	NO
Serie (60%)	0.136	0.451	0.32	7.30	SI
Mixto (10%)	0.09	1.553	0.091	10.10	NO
Mixto (15%)	0.081	1.344	0.084	11.36	NO
Mixto (30%)	0.06	0.93	0.062	15.63	NO
Mixto (45%)	0.049	0.731	0.052	19.23	NO
Mixto (60%)	0.054	0.703	0.059	17.86	SI
Mixto (70%)	0.059	0.721	0.065	16.39	SI

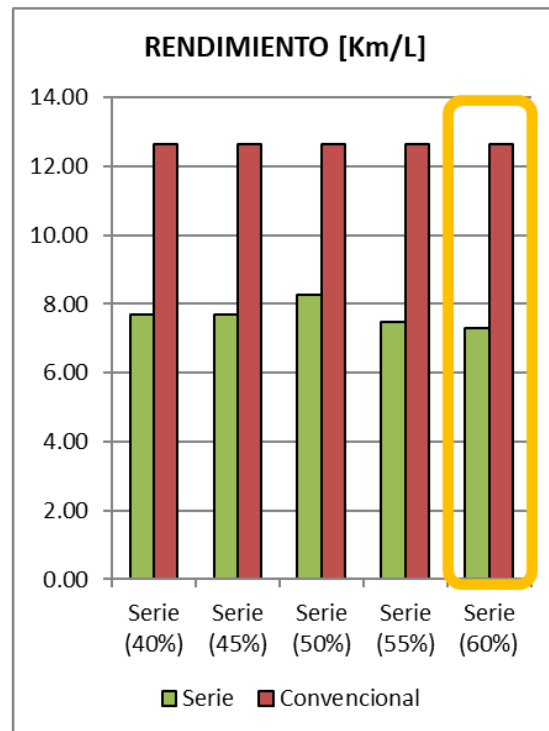
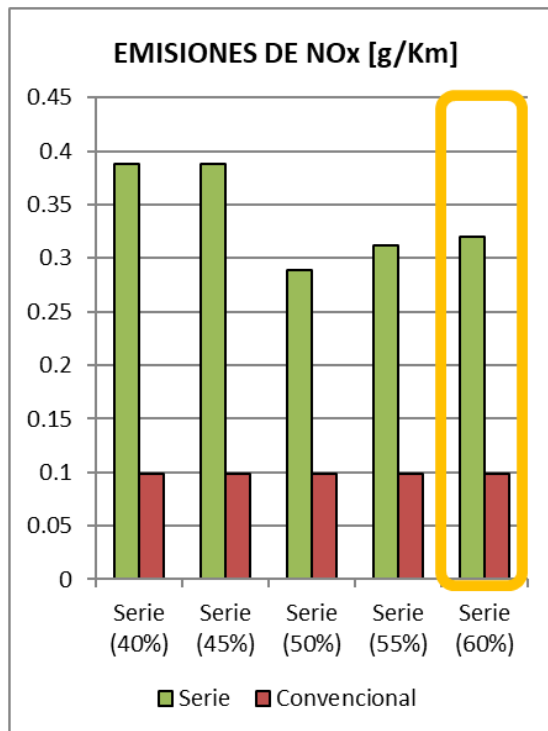
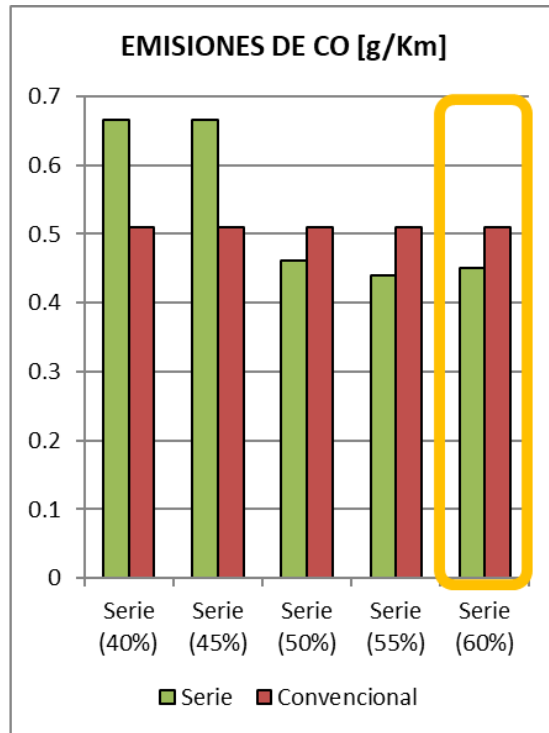
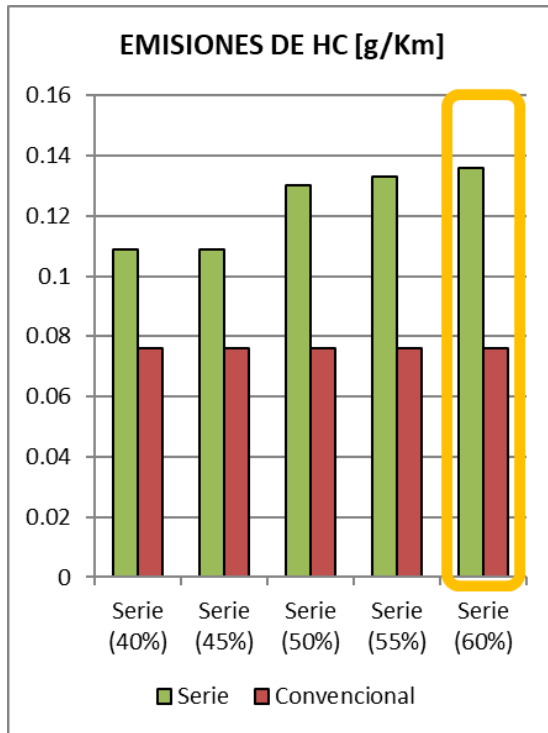
GRÁFICA A3.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo 2019.

 Recorrieron el ciclo




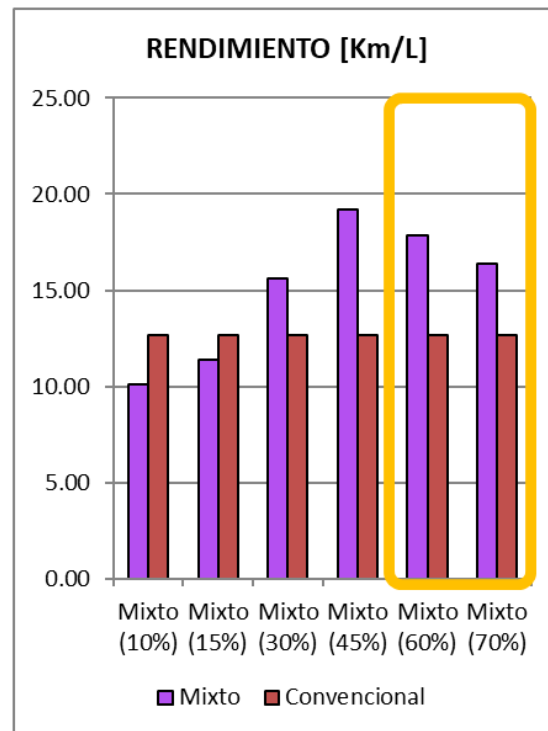
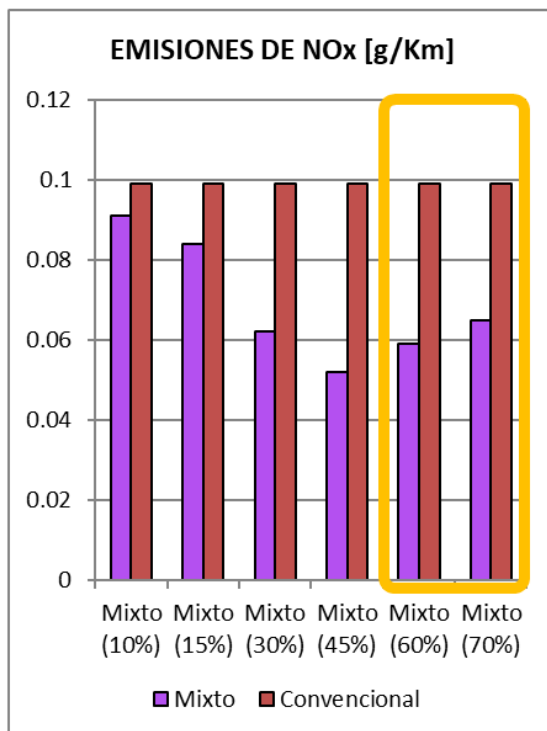
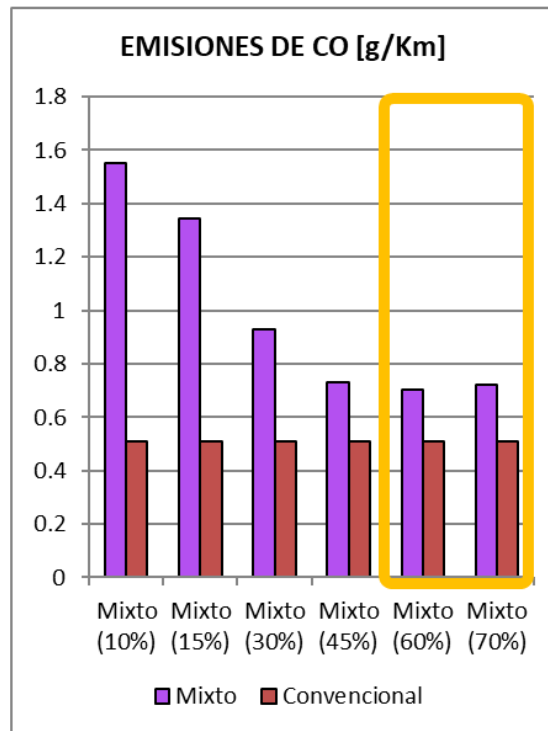
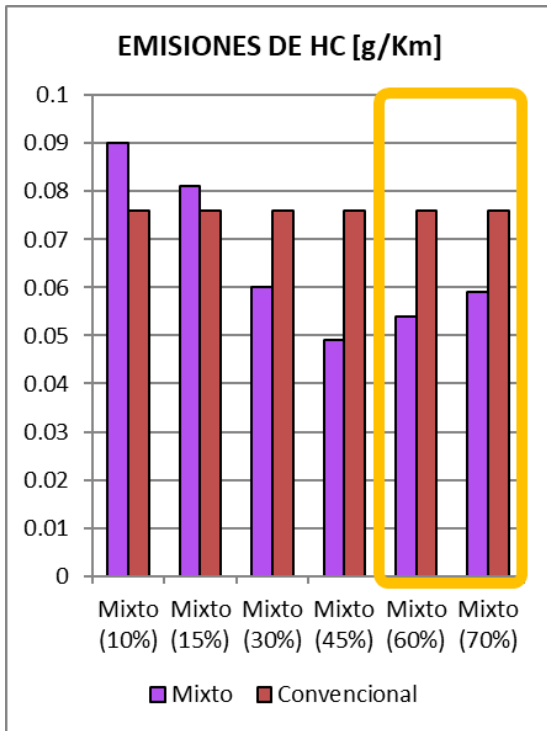
GRÁFICA A3.2 Resultados emisiones y rendimiento serie 2019.

 Recorrieron el ciclo



GRÁFICA A3.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto 2019.

 Recorrieron el ciclo




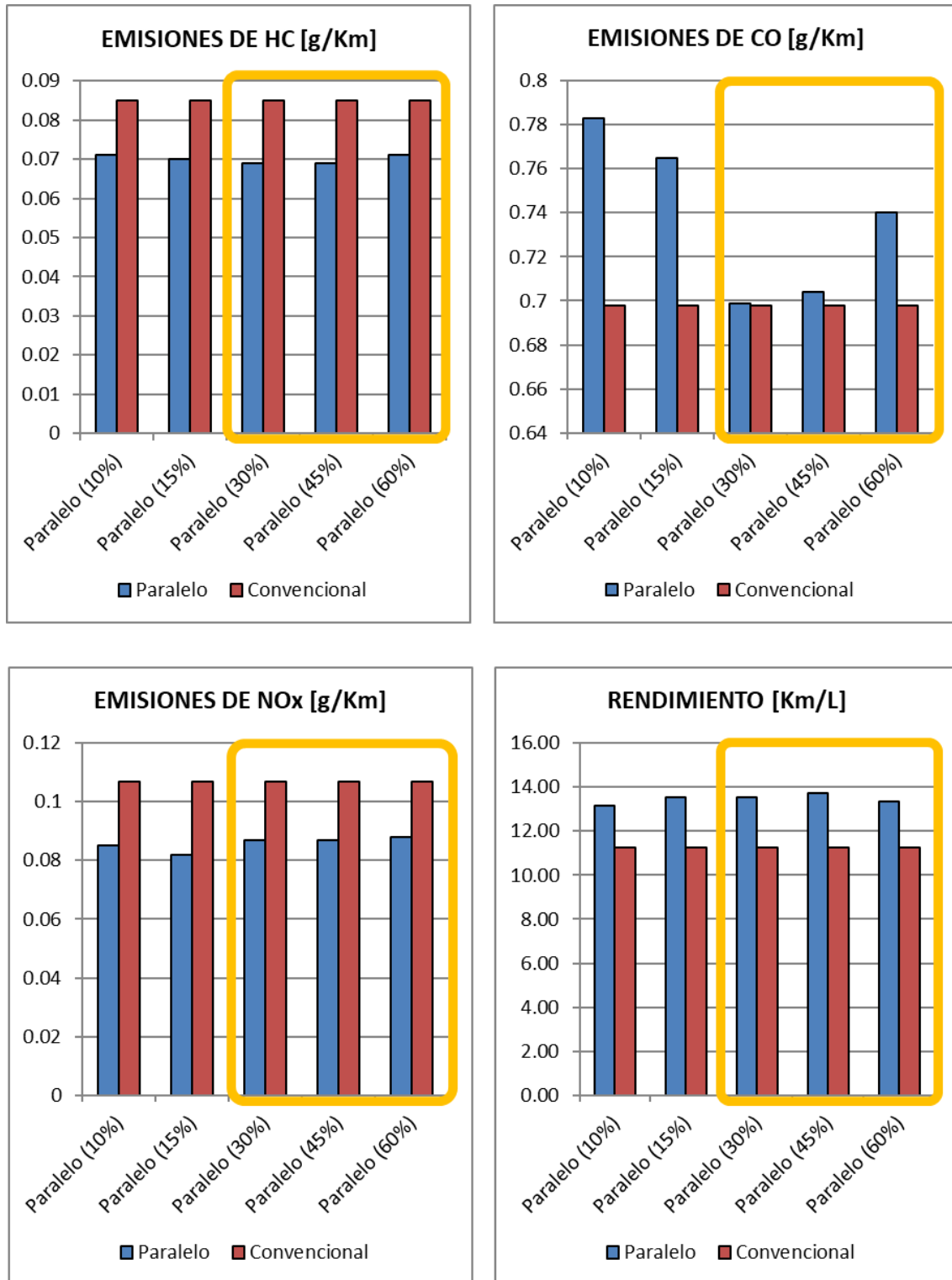
ANEXO 4: RESULTADOS CICLO DE MANEJO 2019G.

TABLA A4. Resultados 2019.

	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	Rendimiento [Km/L]	Recorre el ciclo
Convencional MT	0.085	0.698	0.107	11.24	NO
Paralelo (10%)	0.071	0.783	0.085	13.16	NO
Paralelo (15%)	0.07	0.765	0.082	13.51	NO
Paralelo (30%)	0.069	0.699	0.087	13.51	SI
Paralelo (45%)	0.069	0.704	0.087	13.70	SI
Paralelo (60%)	0.071	0.74	0.088	13.33	SI
Serie (40%)	0.098	0.633	0.345	9.01	NO
Serie (45%)	0.098	0.633	0.345	9.01	NO
Serie (50%)	0.098	0.633	0.345	9.01	NO
Serie (55%)	0.225	0.746	0.529	4.41	NO
Serie (60%)	0.146	0.484	0.345	6.76	NO
Mixto (10%)	0.076	1.275	0.077	12.05	NO
Mixto (15%)	0.067	1.073	0.07	13.70	NO
Mixto (30%)	0.061	0.988	0.063	14.93	NO
Mixto (45%)	0.057	0.855	0.059	16.67	NO
Mixto (60%)	0.064	0.807	0.068	15.15	NO
Mixto (70%)	0.067	0.82	0.072	14.49	SI

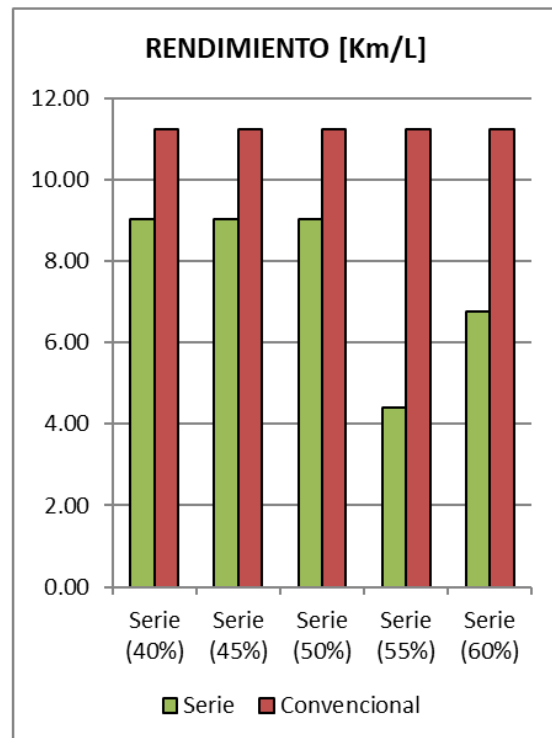
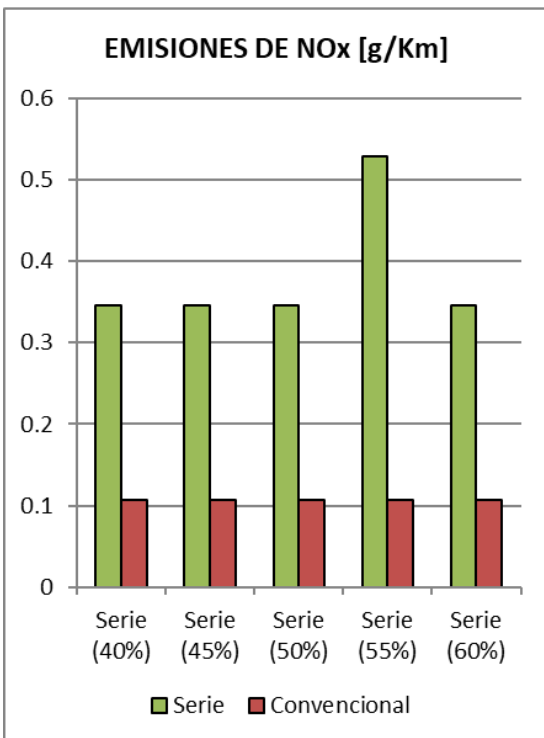
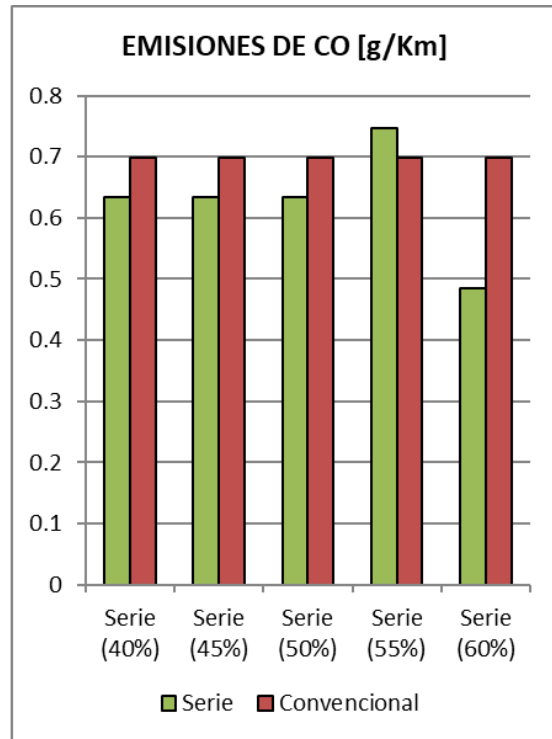
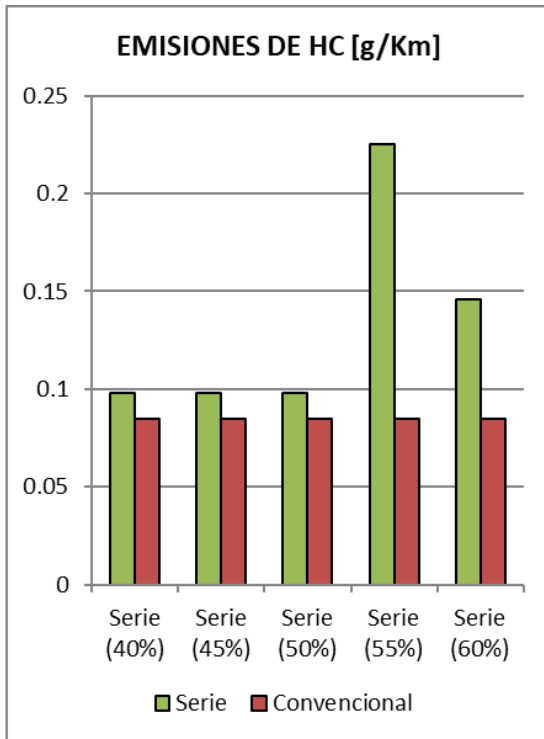
GRÁFICA A4.1 Resultados emisiones y rendimiento paralelo 2019G.

 Recorrieron el ciclo




GRÁFICA A4.2 Resultados emisiones y rendimiento serie 2019G.

 Recorrieron el ciclo



GRÁFICA A4.3 Resultados emisiones y rendimiento mixto 2019G.

 Recorrieron el ciclo

