



**UNIVERSIDAD UTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO DEL DESEMPEÑO MECÁNICO USANDO  
MEDICIONES DE CAPACIDAD EN BASE A LA NORMA SAE  
J1491**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Autor  
FABIÁN ANDRÉS BRAVO TORRES**

**Director  
ING. ARTURO FALCONÍ BORJA MSc.**

**Santo Domingo, Enero 2019**

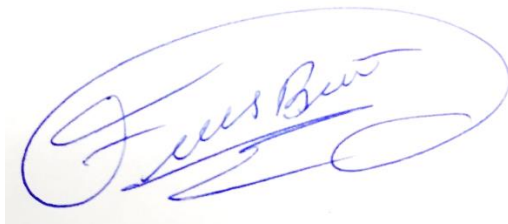
© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2019  
Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	110510922-5
APELLIDOS Y NOMBRES:	Fabián Andrés Bravo Torres
DIRECCIÓN:	Abraham Calazacón y Rio Toachi
EMAIL:	<a href="mailto:fabianandres593@hotmail.com">fabianandres593@hotmail.com</a>
TELÉFONO FIJO:	022751167
TELÉFONO MOVIL:	0993899996

DATOS DE LA OBRA					
TÍTULO:	Estudio del desempeño mecánico usando mediciones de capacidad en base a la norma SAE J1491				
AUTOR O AUTORES:	Fabián Andrés Bravo Torres				
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO TÉCNICO:	Enero, 2019				
DIRECTOR DEL PROYECTO TÉCNICO:	Ing. Arturo Falconí Borja, MsC.				
PROGRAMA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">PREGRADO</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 33%;">POSGRADO</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> </table>	PREGRADO	X	POSGRADO	
PREGRADO	X	POSGRADO			
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz				
RESUMEN:	<p>Actualmente el escenario energético ha sufrido muchos cambios esto por problemas como calentamiento global, escasez de combustibles fósiles y volatilidad de sus precios.</p> <p>Esto provoca que sea necesario una administración de nuestros recursos energéticos con un enfoque de eficiencia energética. Y es por ello que varios países y organizaciones han realizado esfuerzos para implementar estrategias para reducir la intensidad energética y mejorar la eficiencia en varios procesos productivos.</p> <p>El petróleo es el principal insumo de energía para el sector del transporte en todo el mundo. Las alternativas actuales a los combustibles fósiles son principalmente los biocombustibles líquidos y la electricidad, pero estos y otros sustitutos del petróleo aún pueden considerarse residuales. Se espera que este escenario cambie en un futuro próximo hacia una mezcla de combustible más equilibrada entre las diversas fuentes de energía.</p>				
PALABRAS CLAVES	Escenario energético, calentamiento global, combustibles fósiles, petróleo y fuente de energía.				

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



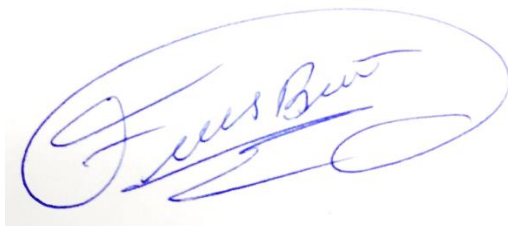
f: \_\_\_\_\_  
FABIÁN ANDRÉS BRAVO TORRES  
C.I. 110510922-5

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **FABIÁN ANDRÉS BRAVO TORRES** C.I. 110510922-5 autor del trabajo de titulación “**ESTUDIO DEL DESEMPEÑO MECÁNICO USANDO MEDICIONES DE CAPACIDAD EN BASE A LA NORMA SAE J1491**” previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 16 de enero del 2019



f: \_\_\_\_\_

**FABIÁN ANDRÉS BRAVO TORRES**  
C.I. 110510922-5

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título **Estudio del desempeño mecánico usando mediciones de capacidad en base a la Norma SAE J1491** para aspirar al título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** fue desarrollado por **FABIÁN ANDRÉS BRAVO TORRES**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a las evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



---

Ing. Arturo Falconi Borja, MsC.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
C.I. 1720162179

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme vivir, para cumplir y culminar esta gran etapa de mi vida con éxito.

A mi madre Sandra Torres, que desde siempre y para siempre será mi ángel celestial y mi motivación personal y profesional.

A mi padre Norman Fabián Bravo, por su incalculable esfuerzo y por acompañarme en este largo camino.

A mi abuelo paterno Norman Bravo, por su apoyo significativo y por ser ese ejemplo de esfuerzo y trabajo.

A mi abuelo materno Luis Torres, por sus sabias palabras y por ser ese ejemplo de persona que uno quisiera seguir.

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento reconociendo su grandeza a la Universidad Tecnológica Equinoccial en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz y a sus docentes que formaron parte de esta etapa de entrenamiento y superación personal, que se verá reflejada de la mejor manera en el campo ocupacional, siempre poniendo en alto el nombre de la institución.

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL DEL SECTOR TRANSPORTE .....	3
1.1.2. ECONOMÍA DEL COMBUSTIBLE POR PAÍSES.....	6
1.1.3. CONSUMO ENERGÉTICO DEL SECTOR TRANSPORTE.....	7
1.1.4. EL TRANSPORTE TERRESTRE .....	8
1.1.5. SITUACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE EN ECUADOR.....	9
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	12
2.1. ELM327 BLUETOOTH / WIFI .....	12
2.2. SOFTWARE TORQUE .....	13
2.3. QUINTA RUEDA .....	13
2.4. VEHÍCULOS A USAR .....	14
2.4.1. RUTA .....	14
2.4.2. ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN PARA LAS PRUEBAS....	15
2.4.3. PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA PRUEBA.....	15
2.5. VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	16
2.5.1. MOTOR DE 4 TIEMPOS.....	16
2.5.2. TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	18
2.5.3. MEJORA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN .....	18
2.6. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	18
2.6.1. HISTORIA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	19
2.6.2. CLASIFICACIONES DE VEHÍCULO ELÉCTRICO .....	20
2.6.2.1. Vehículo eléctrico puro (BEV).....	20
2.6.2.2. Vehículo eléctrico híbrido (HEV).....	21
2.6.2.3. Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) .....	23
2.6.2.4. Vehículo eléctrico de celdas de combustible (FCEV) .....	23
2.6.3. BENEFICIOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	24
2.7. VEHÍCULOS DE COMBUSTIBLE FLEXIBLE.....	26
2.8. IMPACTO DEL E85 EN EL DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO.....	28
2.8.1. DESEMPEÑO DE VEHÍCULOS.....	28
2.8.2. CAPACIDAD DE ACELERACIÓN DE UN VEHÍCULO. ....	29
2.8.3. Dinámica de vehículos .....	30
2.9. FUERZAS DE LOS NEUMÁTICOS .....	31
2.9.1. RESISTENCIA AL RODAMIENTO.....	32
2.9.2. RESISTENCIA AERODINÁMICA.....	34
2.9.3. RESISTENCIA DE PENDIENTE .....	35

2.9.4.	DINÁMICA LONGITUDINAL .....	35
2.10.	PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN: NORMA SAE J1491 .....	36
2.10.1.	NORMA SAE J 1491 .....	37
2.10.1.1.	Medición de la aceleración del vehículo.....	37
2.10.1.2.	Condiciones de prueba .....	38
2.10.1.3.	Preparación del vehículo.....	39
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
3.1.	Vehículo de combustión interna. ....	41
3.2.	Vehículo eléctrico .....	43
3.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	45
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>
4.1.	CONCLUSIONES.....	47
4.2.	RECOMENDACIONES .....	48
	BIBLIOGRAFÍA.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Principales contaminantes del Distrito Metropolitano de Quito	10
<b>Tabla 2.</b> Características del vehículo de combustión.....	14
<b>Tabla 3.</b> Comparación de vehículos .....	20
<b>Tabla 4.</b> Coeficientes de fricción.....	33
<b>Tabla 5.</b> Protocolos de evaluación.....	37
<b>Tabla 6.</b> Prueba 1 .....	41
<b>Tabla 7.</b> Pruebas realizadas motor de combustión.....	42
<b>Tabla 8.</b> Pruebas realizadas motor eléctrico.....	44
<b>Tabla 9.</b> Pruebas de manejo.....	46

# ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.</b> Evolución de las fuentes de energía. (International Energy Outlook 2017) .....	5
<b>Figura 2.</b> Consumo de Energía por el transporte.....	5
<b>Figura 3.</b> Crecimiento promedio anual de consumo de energía. ....	6
<b>Figura 4.</b> Energía entregada al sector del transporte.....	8
<b>Figura 5.</b> Consumo mundial de energía en transporte por modo.....	8
<b>Figura 6.</b> Consumo de Participación del transporte año 2017. ....	9
<b>Figura 7.</b> Consumos de energía por el transporte año 2017.....	9
<b>Figura 8.</b> Evolución histórica del parque automotor en el Ecuador .....	10
<b>Figura 9.</b> Interface.....	13
<b>Figura 10.</b> Señal OBD.....	13
<b>Figura 11.</b> Ruta de prueba .....	15
<b>Figura 12.</b> Ciclo de motor de cuatro tiempos .....	17
<b>Figura 13.</b> Configuración de la batería.....	21
<b>Figura 14.</b> Flujo de potencia durante la etapa de una unidad.....	22
<b>Figura 15.</b> Configuración de las celdas de oxígeno e hidrógeno en un vehículo .....	24
<b>Figura 16.</b> Emisiones de los sectores de energía eléctrica y transporte ....	25
<b>Figura 17.</b> Vehículo Flex Fuel .....	26
<b>Figura 18.</b> Capacidad de aceleración .....	29
<b>Figura 19.</b> Distancia de frenado en carretera mojada .....	31
<b>Figura 20.</b> Componentes de fuerza y distribución de presión .....	32
<b>Figura 21.</b> Distribución del coeficiente de fricción .....	34
<b>Figura 22.</b> Fuerzas que actúan en una desaceleración .....	36
<b>Figura 23.</b> Características de aceleración.....	42
<b>Figura 24.</b> Curvas de velocidad vs tiempo .....	43
<b>Figura 25.</b> Características de aceleración.....	44
<b>Figura 26.</b> Características de aceleración eléctrico vs combustión.....	45
<b>Figura 27.</b> Características de aceleración eléctrico vs combustión en pendientes .....	45

## RESUMEN

El uso de la energía está en constante transición, particularmente desde una perspectiva a largo plazo. Una transición energética es, por lo tanto, un cambio de un estado a otro, es decir, en términos de oferta, demanda y calidad. Un patrón común en la transición energética implica el traslado a fuentes que tienen un mayor contenido de energía, pero que requieren una experiencia técnica de nivel superior para ser utilizadas

El petróleo es el principal insumo de energía para el sector del transporte en todo el mundo. Las alternativas actuales a los combustibles fósiles son principalmente los biocombustibles líquidos y la electricidad, pero estos y otros sustitutos del petróleo aún pueden considerarse residuales. Se espera que este escenario cambie en un futuro próximo hacia una mezcla de combustible más equilibrada entre las diversas fuentes de energía.

En las curvas de aceleración del vehículo eléctrico se observó que a velocidades menores a 50km/h la pendiente de la curva es mayor a cuando las velocidades son mayores a 50km/h, lo que representa que la capacidad de aceleración es mejor a velocidades bajas, es decir en condiciones de conducción dentro de la ciudad, mientras que a condiciones de carretera (>50km/h) la capacidad de aceleración disminuye proporcionalmente al aumento de velocidad.

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el escenario energético ha sufrido muchos cambios esto por problemas como calentamiento global, escasez de combustibles fósiles y volatilidad de sus precios. Esto provoca que sea necesario una administración de nuestros recursos energéticos con un enfoque de eficiencia energética. Y es por ello que varios países y organizaciones han realizado esfuerzos para implementar estrategias para reducir la intensidad energética y mejorar la eficiencia en varios procesos productivos.

El petróleo es el principal insumo de energía para el sector del transporte en todo el mundo. Las alternativas actuales a los combustibles fósiles son principalmente los biocombustibles líquidos y la electricidad, pero estos y otros sustitutos del petróleo aún pueden considerarse residuales.

Se espera que este escenario cambie en un futuro próximo hacia una mezcla de combustible más equilibrada entre las diversas fuentes de energía. El crecimiento económico desempeña un papel esencial en la estructura del sector del transporte. El crecimiento económico provoca cambios en el volumen del transporte y en su organización, generando aumentos en el consumo de energía, que en última instancia tienen impactos negativos en el medio ambiente a través del aumento de las emisiones Achour y Belloumi (2016).

De hecho, el sector del transporte es uno de los sectores económicos más contaminantes en términos de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Según la (AIE, 2018), los últimos datos disponibles referentes a 2015 indicaron que el sector representa el 28,8% del consumo mundial de energía y el 65,2% del consumo final total de petróleo.

América Latina ha estado creciendo significativamente desde fines del siglo pasado, principalmente debido a los grandes flujos de inversión recibidos. Este crecimiento estuvo acompañado por aumentos sostenidos en la demanda de energía, siendo la región del mundo con el mayor crecimiento de consumo de energía (Chang y Carballo, 2011).

La región de América Latina presenta la tasa de motorización de más rápido crecimiento en el mundo desde 2000 ( Viscidi y O'Connor, 2017 ). Desde 2007, ha habido un notable incremento en la flota de vehículos. Por un lado, el número de automóviles por habitante ha determinado un aumento del 50%, de 2007 a 2012, de 113 a 169 automóviles por cada 1000 habitantes.

Este importante crecimiento de la flota de vehículos puede estar relacionado principalmente con el aumento del poder adquisitivo de los habitantes y el crecimiento de la clase media.

En Ecuador el transporte representa aproximadamente más de 30% del consumo energético global lo que significa un gran sector de oportunidades para proyectos y estudios de eficiencia energética. Una de las principales iniciativas mundiales a largo plazo en el transporte es el cambio de tecnologías de vehículos, pasar de uso de motores de combustión interna a vehículos híbridos y/o vehículos eléctricos. Esto ha sido motivo de análisis en muchos países ya que se debe estudiar su impacto de manera local por condiciones sociales, económicas diferentes de cada país.

Una de las principales interrogantes es si el desempeño Mecánico del vehículo cambiará al usar un vehículo con un tipo de tecnología diferente. Uno de los factores principales a considerar sería la capacidad de aceleración de un vehículo lo cual es el tiempo que tardaría en ir de 0 a 100km por ejemplo, para ello es necesario realizar un estudio en conducciones reales para determinar posibles variaciones.

El estudiar el desempeño mecánico usando mediciones de capacidad en base a la norma SAE J1491 como objetivo general se enfoca en comparar el desempeño mecánico de vehículos de diferente tecnología como combustión interna, híbrido y eléctrico usando como medida de comparación la capacidad de aceleración en carretera que tendrían estos vehículos para lo cual es necesario realizar mediciones a vehículos de similares características como potencia y/o cilindrada , la capacidad de aceleración será obtenida en condiciones reales de carretera mediante mediciones en campo usando la metodología de la SAE J1491. Para cumplir la investigación es necesario desarrollar los objetivos específicos del presente proyecto como: Determinar en condiciones reales de funcionamiento que el desempeño Mecánico de un vehículo se ve o no afectado por la tecnología que usa. Establecer en condiciones locales de funcionamiento que el desempeño Mecánico de un vehículo se ve o no afectado por la tecnología que usa.

## **1.1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL DEL SECTOR TRANSPORTE**

Las actividades humanas dependen en gran medida del uso de varias formas y fuentes de energía para realizar el trabajo. La energía es el potencial que permite el movimiento y / o la modificación de la materia. Por lo tanto, cuanto más energía se consume, mayor es la cantidad de trabajo



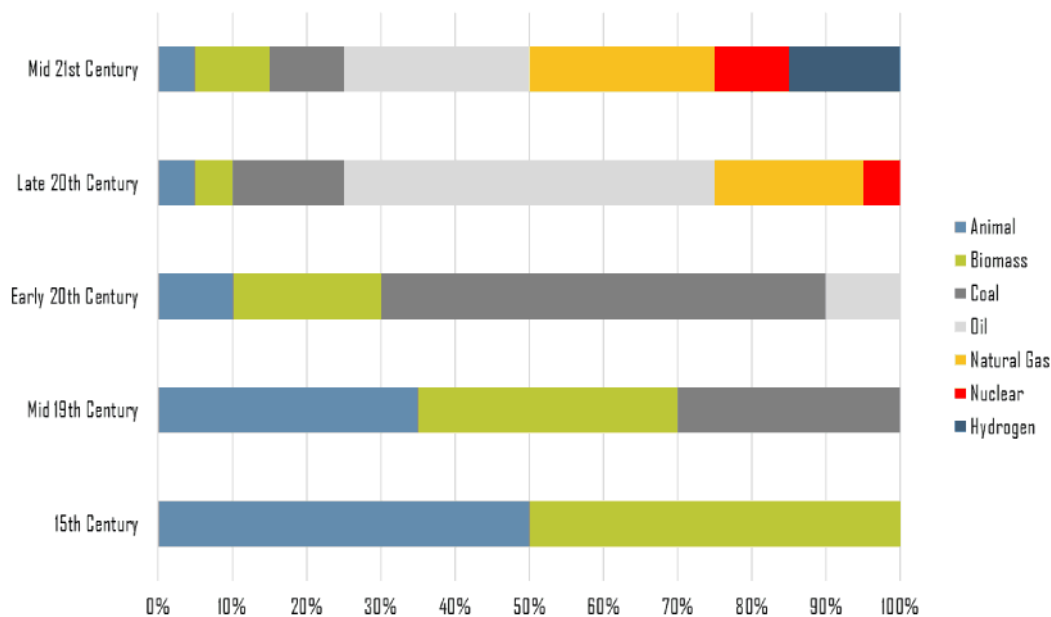
realizado y no sorprende que el desarrollo económico esté correlacionado con mayores niveles de consumo de energía.

Desde la revolución industrial, se han hecho esfuerzos para que el trabajo sea realizado por máquinas., lo que mejoró considerablemente la productividad industrial. El desarrollo industrial impone grandes exigencias a los combustibles fósiles. A principios del siglo XX, la invención y el desarrollo comercial del motor de combustión interna, especialmente en equipos de transporte, posibilitaron el movimiento eficiente de pasajeros y carga e incitaron el desarrollo de una red comercial global.

Con la globalización, el transporte representa una parte cada vez mayor de la cantidad total de energía gastada para implementar, operar y mantener el rango internacional y el alcance de las actividades humanas. El consumo de energía tiene una fuerte correlación con el nivel de desarrollo. Entre los países desarrollados, el transporte ahora representa entre el 20 y el 25% de la energía total que se consume.

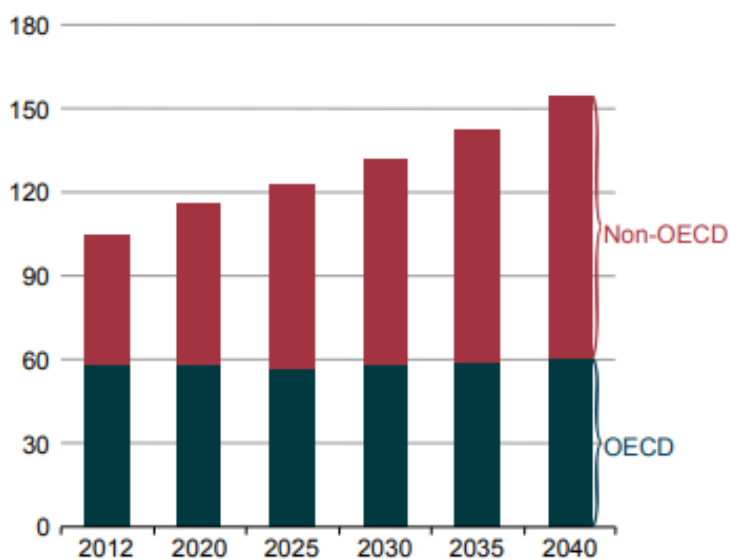
El uso de la energía está en constante transición, particularmente desde una perspectiva a largo plazo. Una transición energética es, por lo tanto, un cambio de un estado a otro, es decir, en términos de oferta, demanda y calidad. Un patrón común en la transición energética implica el traslado a fuentes que tienen un mayor contenido de energía, pero que requieren una experiencia técnica de nivel superior para ser utilizadas.

Con el tiempo, esto ha implicado un crecimiento de la cantidad consumida, cambios en las fuentes de energía y el uso de fuentes que tienden a tener un menor impacto ambiental. La primera transición energética significativa tuvo lugar durante la revolución industrial, que involucró principalmente la adopción del carbón como la fuente dominante de energía. Incluso si hay una transición gradual fuera del petróleo, aún domina los patrones de energía globales.



**Figura 1.** Evolución de las fuentes de energía. (International Energy Outlook 2017)

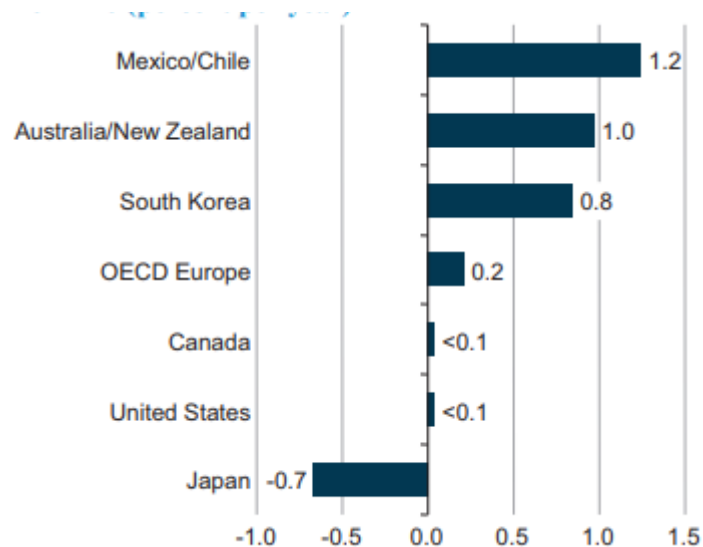
El consumo de energía en el sector transporte va en aumento año tras año según el informe de la EIA, International Energy Outlook 2017, el sector del transporte incrementará el consumo de energía a una tasa promedio anual de 1,4%, de 104 billones de unidades térmicas británicas (Btu) en 2012 a 155 billones de Btu en 2040. En 2012, las naciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) representaron el 55% del consumo mundial total de energía para el transporte, y las naciones que no pertenecen a la OCDE representaron el 45% (Figura siguiente). En 2020, se prevé que las cuotas de la OCDE y de la OCDE en el uso de la energía del transporte mundial sean iguales.



**Figura 2. Consumo de Energía por el transporte.**  
(International Energy Outlook 2017)

### 1.1.2. ECONOMÍA DEL COMBUSTIBLE POR PAÍSES

México, Chile, Australia, nueva Zelanda, Corea del sur, países de la OECD, Canadá, Estados Unidos y Japón son nueve países y regiones, que en conjunto representan el 75% del consumo mundial de combustible en vehículos ligeros, han adoptado normas obligatorias o voluntarias para aumentar el ahorro de combustible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a que las políticas de ahorro de combustible y emisiones de GEI tienen grandes efectos sobre el consumo de combustible. Algunos estándares se enfocan en reducir las emisiones de GEI o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), algunos se enfocan en mejorar el ahorro de combustible y otros se enfocan en combinaciones de los dos objetivos.



**Figura 3.** Crecimiento promedio anual de consumo de energía.  
(International Energy Outlook 2017)

La Unión Europea (UE) e India tienen estándares que apuntan específicamente a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. El estándar de Canadá incluye restricciones a todas las emisiones de GEI. Brasil y Japón tienen estándares que apuntan a aumentar el ahorro de combustible, lo que requiere que los vehículos ligeros consigan calificaciones específicas de millas por galón. El estándar de China exige que los vehículos ligeros reduzcan el consumo de combustible por milla recorrida. Los Estados Unidos y México tienen tanto economía de combustible como estándares de GEI, y los fabricantes deben satisfacer ambos. Los fabricantes de vehículos livianos de Corea del Sur pueden optar por cumplir con una economía de combustible o un estándar de emisiones de GEI.

En Japón, una población envejecida y en declive resulta en un menor uso de energía de transporte, cayendo en un promedio de 0.7% / año, con el consumo de energía de transporte de Japón cayendo de 3.9 billones de BTU

en 2012 a 3.3 cuatrillones de BTU en 2040. El mayor crecimiento en el uso de energía de transporte de la OCDE se proyecta para la región de México / Chile, que en combinación, el consumo de energía de transporte entregado aumenta en 1.2% / año de 2012 a 2040 en comparación con 0.2% / año para la OCDE en su conjunto.

### **1.1.3. CONSUMO ENERGÉTICO DEL SECTOR TRANSPORTE.**

El sector del transporte comprende tanto los modos de pasajeros como de carga. Los modos de pasajeros incluyen automóviles y camiones livianos, autobuses, vehículos de 2 y 3 ruedas, aviones y trenes de pasajeros.

Los modos de carga, que se utilizan en el movimiento de productos en bruto, intermedios y terminados a los consumidores, incluyen camiones (servicio pesado, mediano y liviano), embarcaciones marítimas (internacionales y nacionales), ferrocarriles y tuberías.

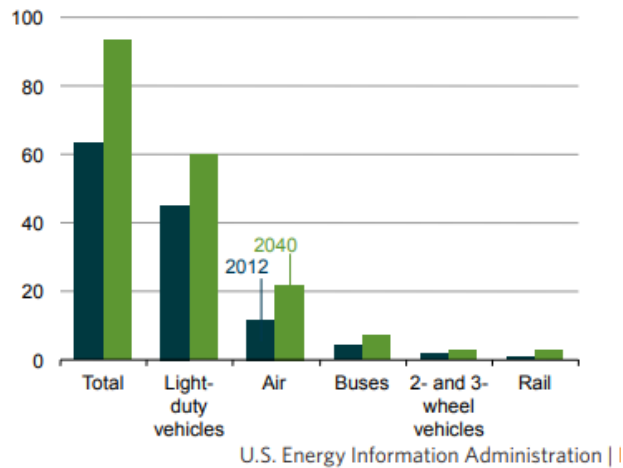
El consumo de combustible relacionado con la movilidad de pasajeros o personal representó el 61% del consumo de energía del transporte mundial total en 2012. Entre los modos de transporte de movilidad personal, los vehículos livianos representaron el 44% del uso de energía del transporte mundial, seguido del avión al 11%. Los autobuses, los vehículos de 2 y 3 ruedas y el ferrocarril representaron el 6% del uso total de energía del transporte mundial.

Los modos de carga representaron el otro 39% del consumo mundial total de energía de transporte. Los camiones de carga constituyen, con mucho, la mayor parte (23%) del uso total de energía en el transporte, seguidos por los buques marítimos (12%) y los ferrocarriles y tuberías (un 4% combinado). En todo el mundo, el consumo de energía proyectado para todos los modos de transporte aumenta de 2012 a 2040. Para los modos de viaje de pasajeros, el consumo de energía total aumenta en un promedio de 1.4% / año, de 63 mil billones de Btu en 2012 a 94 cuatrillones de Btu en 2040 (Figura 8-5).

Los vehículos ligeros muestran el mayor incremento absoluto (15 cuatrillones de Btu) entre 2012 y 2040 entre los modos de viaje de pasajeros, pero el crecimiento más lento (1.0% anual) entre todos los modos de transporte. La demanda combinada de energía para autobuses, vehículos de 2 y 3 ruedas y ferrocarril aumenta en 6 cuatrillones de Btu.

El consumo total de energía relacionado con el transporte de carga aumenta en un promedio anual de 1.5%, de 40 billones de Btu en 2012 a 60 cuatrillones de Btu en 2040 (Figura 8-6), ligeramente más rápido que los

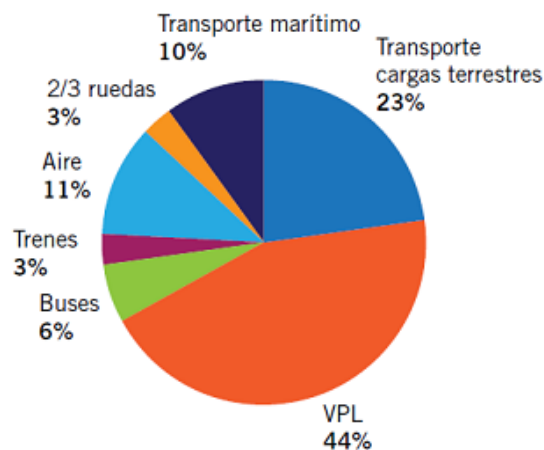
modos de pasajeros. El consumo de energía para los camiones de carga aumenta en un total de 13 cuatrillones de Btu desde 2012 hasta 2040, seguido por los buques marinos en 6 cuatrillones de Btu y los ferrocarriles y tuberías combinados en aproximadamente 2 cuatrillones de Btu.



**Figura 4.** Energía entregada al sector del transporte (International Energy Outlook 2017)

#### 1.1.4. EL TRANSPORTE TERRESTRE

El modo terrestre representa el 79% del consumo total de energía para el sector transporte. Probablemente, el mayor salto en productividad de la historia de la humanidad haya sido producido por los primeros motores, primero a vapor y luego a combustión interna, que permitieron, además de impulsar la producción de bienes y servicios, la posibilidad de transportar estos bienes desde los centros donde eran producidos hacia donde se los demandaba para su consumo.



**Figura 5.** Consumo mundial de energía en transporte por modo. (IEA 2010)

La figura anterior muestra que cerca del 80% del consumo de energía realizado por el transporte es debido a los distintos modos terrestres, y

también es el responsable del consumo final de más del 63% de todos los derivados del petróleo. Estos modos incluyen a los vehículos livianos de pasajeros (VPL: automóviles y camionetas), los camiones de carga de distinto porte, los vehículos de transporte de pasajeros (colectivos y autobuses), los vehículos motorizados de dos o tres ruedas (motonetas, motocicletas, triciclos, etcétera), y los ferrocarriles, tanto de carga como de pasajeros.

### 1.1.5. SITUACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE EN ECUADOR.

En Ecuador, el transporte ha sido el sector de mayor demanda y crecimiento en los últimos años, en el año 2010 representa el 60% del consumo final energético del país según el Ministerio de obras públicas, ver gráfica, siendo el sector consumidor de mayor peso (por encima del sector industrial y residencial) y a la vez, el que posiblemente muestra más ineficiencias.

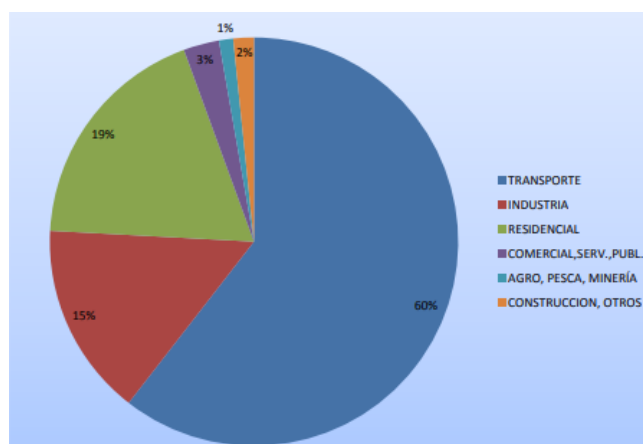


Figura 6. Consumo de Participación del transporte año 2017.

Se estima que, en el Ecuador alrededor del 38.75% del sector transporte consume gasolina, mientras que el 39% consume diésel (Ministerio de Obras Publicas, 2010).

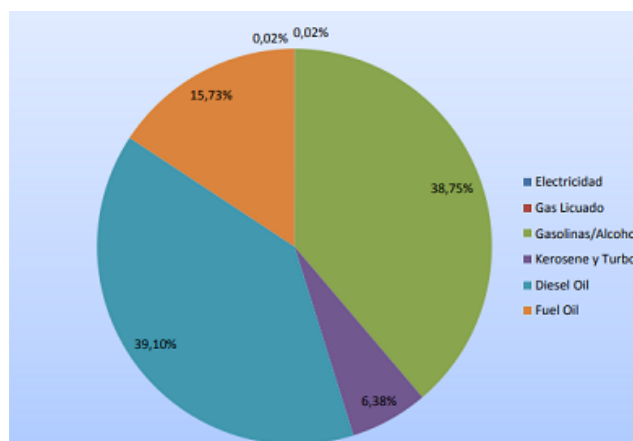


Figura 7. Consumos de energía por el transporte año 2017

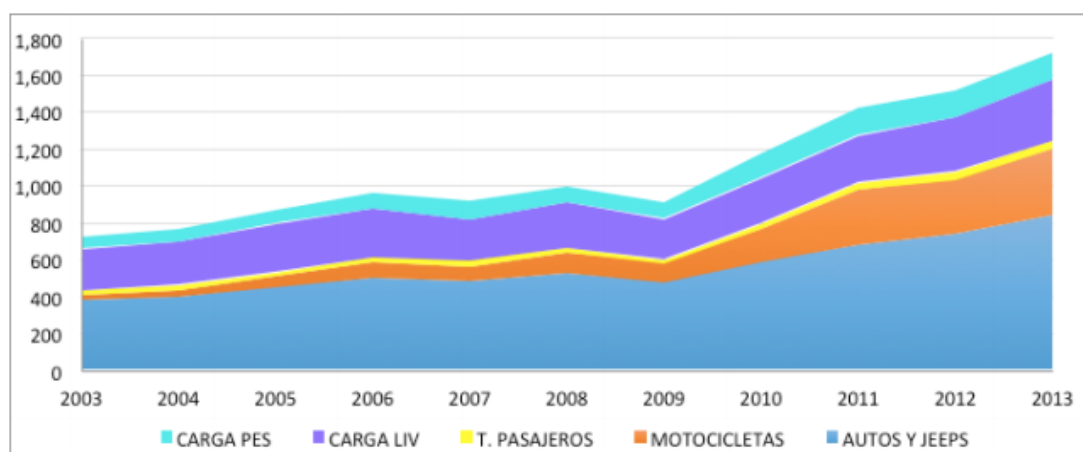
A nivel nacional, el 76% del total de la gasolina que se consume es de tipo extra (80 octanos) y el 24% de tipo súper (89 octanos) (MEER, 2008). En ciudades como Quito, la mayor porción de la demanda de energía se satisface con combustibles fósiles y está asociada al funcionamiento del parque automotor, al mismo tiempo que el consumo de energía del sector residencial está estrechamente ligado al uso cotidiano de sistemas de transporte (como el vehículo particular a gasolina). Según el Inventario de Emisiones Atmosféricas del año 2007, el tráfico vehicular es causante, en el DMQ, del 63% del total de emisiones de dióxido de carbono y del 97% del total de emisiones de monóxido de carbono (Corpaire, 2009a).

En ambos casos, el parque automotor a gasolina es responsable por la mayor parte de las emisiones debidas al tráfico vehicular (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Principales contaminantes del Distrito Metropolitano de Quito

Fuente de las emisiones	Tráfico vehicular	Vehículos a gasolina (total)	Automóviles particulares a gasolina	Camionetas a gasolina
<b>CO (Ton/año)</b>	101.174	84.499	30.934	21.823
<b>Observaciones</b>	97% de las emisiones totales de CO en el DMQ	84% del total del tráfico vehicular	62% del total de vehículos a gasolina	
<b>CO<sub>2</sub> (Ton/año)</b>	2.198.932	1.355.963	735.342	320.492
<b>Observaciones</b>	63% de las emisiones totales de CO <sub>2</sub> en el DMQ	62% del total del tráfico vehicular	78% del total de vehículos a gasolina	
<b>PM<sub>2.5</sub> (Ton/año)</b>	634	79	41	17
<b>Observaciones</b>	46% de las emisiones totales de PM <sub>2.5</sub> en el DMQ	12% del total del tráfico vehicular	73% del total de vehículo a gasolina	

Jaime Cevallos investigador de CEPROEC, encuentra que el parque automotor de Ecuador en el período 2003-2013 ha crecido a una tasa del 7,8% anual, que en su mayoría es resultado del aumento de automóviles y jeeps, es decir, de vehículos de uso privado.



**Figura 8.** Evolución histórica del parque automotor en el Ecuador. (INEC, ANT, 2017)

En cuanto a la distribución del consumo, el transporte terrestre representa el 77% del consumo total de combustibles. El transporte de mercancías implicó un 60% del consumo del sector del transporte, mientras que el transporte de pasajeros un 26%.

Cevallos analiza la evolución del parque por tipología de vehículo, la evolución del consumo, así como el impacto de los subsidios (un 68% del costo total del combustible del sector transporte) para aventurarse a una serie de recomendaciones de política energética y fiscal que incluyen, entre otras, la eliminación progresiva del subsidio a la gasolina que solo beneficia a la población con más recursos y no tendría efectos inflacionarios.



## **2. METODOLOGIA**

## **2. METODOLOGÍA**

Ya que actualmente el cambio de tecnología de un vehículo de combustión interna a un vehículo eléctrico es una tendencia que va en aumento y es necesario conocer que pasa con el rendimiento de los autos eléctricos, que variaciones existen.

Principalmente estamos buscando establecer comparaciones de rendimiento mecánico entre vehículos eléctricos y de combustión interna, enfocándonos en determinar el comportamiento de las capacidades de aceleración de ambas tecnologías y compararlas.

Para desarrollar una metodología a usar para la realización de las pruebas de capacidad de aceleración nos basaremos en las recomendaciones de la SAE J1491, para esto describimos un procedimiento estándar que se llevara a cabo antes y durante las pruebas para ambas tecnologías.

Cabe mencionar que estas pruebas se realizaran a un vehículo de combustión interna de características similares al vehículo eléctrico escogido para poder contrastar los resultados.

Se utilizó instrumentación para medir velocidad instantánea y el tiempo en cada prueba Para ambos vehículos se realizó mediciones cada segundo vía OBDII con el escáner ELM 327 y mediante la aplicación Torque.

### **2.1. ELM327 BLUETOOTH / WIFI**

El scanner súper mini car elm327 interface bluetooth / Wifi OBDII es una herramienta compatible con todos los protocolos EOBD, OBD2, como también con el protocolo CAN-BUS. Funciona con todos los vehículos OBD-II que tengan el conector de enlace de datos de 16 pines. Se utiliza para el diagnóstico de los códigos de error (fault codes) de los sensores eléctricos del motor, y la comunicación mediante la red inalámbrica (Wireless o bluetooth) con un dispositivo inteligente Android o Apple o una computadora de escritorio.

Donde este dispositivo tiene instalado un programa o software que se utilizará para mostrar, corregir y eliminar los errores del coche, como también se podrá ver gráficos, ubicación de la falla, entre otras funciones disponibles que son de interés para el mecánico.



Figura 9. Interface

## 2.2. SOFTWARE TORQUE

Torque es una aplicación disponible en el Play Store de Google, la cual utiliza la tecnología Bluetooth para conectarse al ordenador de a bordo del vehículo y transmitirnos un montón de datos útiles para el mantenimiento y el bajo consumo del mismo.

La tecnología OBD2 ya viene incluida en muchos de los nuevos vehículos. Para que esta aplicación haga su función correctamente, deberemos comprar un adaptador bluetooth que se acopla a la conexión de la toma de diagnóstico del vehículo.



Figura 10. Señal OBD

La tecnología OBD2, (On Board Diagnostic), ya se viene utilizando hace mucho tiempo entre los mecánicos, y no es otra cosa que conectar nuestro vehículo a un ordenador externo, el cual se conecta al ordenador de a bordo del vehículo para hacer un diagnóstico rápido. Dicha máquina les reporta una serie de códigos los cuales se traducen en averías y aspectos a mejorar del motor y funcionamiento del vehículo.

## 2.3. QUINTA RUEDA

Un sensor óptico convierte la rotación de la rueda del vehículo sobre la cual se monta el sistema en un tren de pulsos. El conteo de estos pulsos permite medir de manera discreta y directa la distancia recorrida por el vehículo.

Para cada rotación completa de la rueda se generan 50 pulsos (figura 1a). Por medio de derivaciones numéricas instantáneas se calculan la velocidad (i.e. derivada de la distancia recorrida con respecto al tiempo) y la aceleración (i.e. derivada de la velocidad con respecto al tiempo).

Actualmente se posee equipos tecnológicos que reemplazan a la quinta rueda como son los sistemas de posicionamiento global (GPS) los cuales son cada vez más precisos.

## 2.4. VEHÍCULOS A USAR

Vehículo de combustión interna marca KIA modelo Rio 5p 1.6L

**Tabla 2.** Características del vehículo de combustión

Parámetro	Vehículo 1
	Valor
Tipo de combustible	Gasolina
Cilindrada [L]	1,6
Aceleración 0-100 km/h	10.2 segundos
Tipo de transmisión	Manual - 5 velocidades
Velocidad Máxima	188 kmh
Potencia máxima	112 CV / 82,4 kW
Par máximo	146 Nm
Revoluciones potencia máxima	6.000 rpm
Consumo de combustible[L/100km]	8

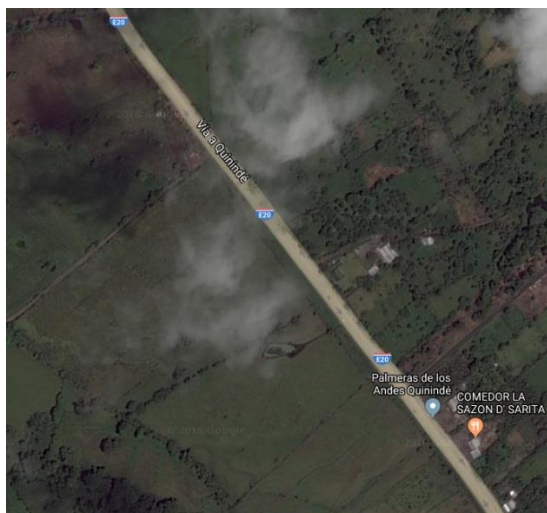
### 1. Vehículo eléctrico marca Kia modelo Soul EV

Características

- Motor - asíncrono, potencia máxima 81 kW y un torque máximo de 285 Nm
- Frenos - recuperación de energía;
- Enchufe de recarga - 360 Vac;
- Batería – polímero de litio hasta 59.6 kWh;
- Transmisión - accionamiento directo;
- Velocidad máxima - hasta 145 km;
- Distancia de carrera con una sola carga completa 200 km

#### 2.4.1. RUTA

Para realizar todas las pruebas se escogió un tramo de carretera de la vía a quinando a la altura del Km 10, con una altitud de 640 msnm, la vía es a doble carril de concreto, la cual es una recta de aproximadamente 1 km, es plana, y las pruebas se realizaron en la mañana ya que el trafico disminuye mucho a esas horas.



**Figura 11.** Ruta de prueba

## **2.4.2. ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN PARA LAS PRUEBAS**

En base a las recomendaciones de la norma SAE J 1491 se procede a verificar las condiciones y detalles para la realización de la prueba, esto se lo realizo antes de las pruebas, entre estas actividades esta:

- Se verifico que el vehículo este en un buen estado operativo: frenos, suspensión, llantas con labrado, tanque lleno de combustible.
- Se verifica que la presión en las llantas sea de 32 psi recomendadas por el fabricante antes de la prueba.
- Se determinó un día en el cual se tenga buenas condiciones climatológicas (no lluvias, no vientos fuertes, temperatura ambiente dentro del rango recomendado)
- Las pruebas se las realizara solo con el conductor sin ningún acompañante.
- Se instaló el escáner Elm327 en el puerto OBDII de los vehículos y se enlace mediante bluetooth al teléfono móvil del conductor para que registre los datos requeridos para las pruebas.

## **2.4.3. PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA PRUEBA**

- Se realizan un total de seis pruebas (viajes), tres en sentido Santo Domingo - La Concordia y tres en sentido opuesto.
- La prueba para medir la capacidad de aceleración del vehículo, cuantifica el tiempo requerido para llevar el vehículo de 0 km/h a 100 km/h, hay que tener en cuenta la manera del cambio de marcha en cada prueba, esta debe ser los más rápido posible y tratando que el mismo patrón de cambio de marcha se mantenga en todas las pruebas.
- Hay que configurar el escáner Elm327 para que registre los valores de variaciones de velocidad y tiempo con una precisión de  $\pm 0.1$ .

- Para mayor seguridad en todas las pruebas se debe superar el valor de la velocidad máxima (100 km/h) para que se registre el tiempo exacto que le tomo el vehículo alcanzarla.
- Se debe tomar en cuenta que durante todo el transcurso de la prueba no se debe realizar giros ni movimientos del volante hacia ningún lado, para esto al inicio de la prueba se debe colocar el vehículo en una posición en la que no se deba mover el volante hasta terminar la prueba.
- Durante las pruebas se debe tener luces, radio y aire acondicionado apagado para que el motor no pierda eficiencia al alimentar a estas cargas.
- Es importante mantener los vidrios cerrados para no tener pérdidas aerodinámicas.
- Se reportó los datos instantáneos de velocidad y tiempo de las pruebas extraídos del software Torque.
- El coeficiente de variación (desviación estándar/promedio) no debe ser mayor al 3%.

## **2.5. VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA**

El motor de combustión interna (ICE, por sus siglas en inglés) ha sido el motor principal dominante en nuestra sociedad desde su invención en el último cuarto del siglo XIX. Su propósito es liberar la energía química contenida en el combustible a través de la combustión del combustible dentro del motor para generar energía mecánica. Los ICE son la forma más común de motores térmicos, ya que se utilizan en vehículos, barcos, aviones y trenes.

Se nombran como tales porque el combustible se enciende para poder trabajar dentro del motor. La misma mezcla de aire y combustible se emite como escape. Esto se puede hacer usando un pistón (llamado motor alternativo), o con una turbina.

### **2.5.1. MOTOR DE 4 TIEMPOS**

La mayoría de los motores de combustión interna alternativos operan en lo que se conoce como el ciclo de cuatro tiempos (Figura 12), que se subdivide en cuatro procesos: admisión, compresión, expansión / potencia y escape.

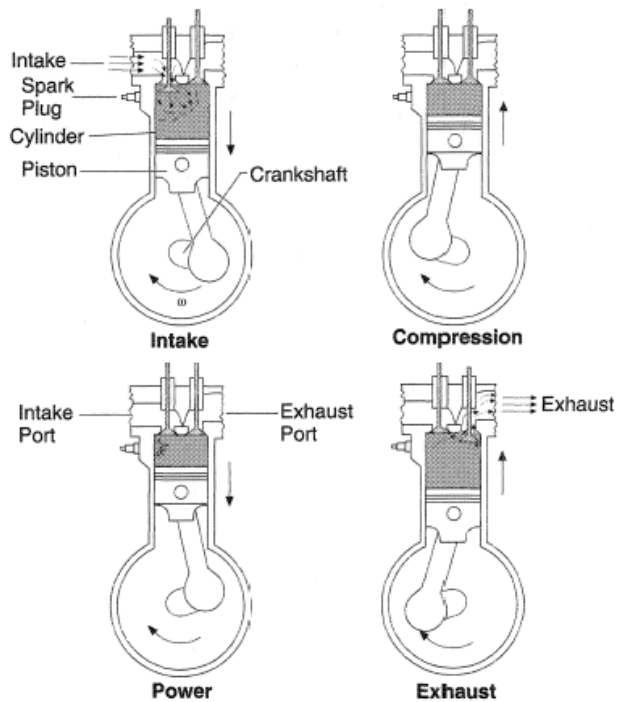


Figura 1. Ciclo de motor de cuatro tiempos.

**Figura 12.** Ciclo de motor de cuatro tiempos

Cada cilindro del motor requiere cuatro movimientos de su pistón que corresponde a dos revoluciones del cigüeñal para completar la secuencia que conduce a la producción de potencia. La carrera de admisión se inicia con el movimiento hacia abajo del pistón, que se introduce en la mezcla de combustible / aire fresco del cilindro a través de la válvula de admisión y termina cuando el pistón alcanza el punto muerto inferior (BDC). La mezcla se genera ya sea por medio de un carburador o por inyección de gasolina a baja presión.

La carrera de compresión comienza efectivamente en el cierre de la válvula de admisión, en el cual el pistón sube al punto muerto superior (TDC) disminuyendo el volumen la mezcla. Su propósito es preparar la mezcla para la combustión aumentando su temperatura y presión.

La carrera de potencia o expansión comienza con el pistón en TDC de compresión y termina en BDC. La combustión es iniciada por la energía liberada a través de la bujía hacia el final de la carrera de compresión y se asocia con un rápido aumento de la presión del cilindro. Los gases de alta temperatura y presión generados durante la combustión empujan el pistón hacia abajo, lo que obliga a que gire el cigüeñal.

La carrera de escape completa el ciclo del motor al evacuar el cilindro de los gases quemados, parcialmente quemados o incluso no quemados que escapan del proceso de combustión. Justo antes de que el pistón llegue a

BDC, la (s) válvula (s) de escape se abre y los gases quemados pueden salir del cilindro.

### **2.5.2. TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Hay dos tipos de motores de combustión interna actualmente en producción: el motor de gasolina de encendido por chispa y el motor diésel de encendido por compresión. La mayoría de estos son motores de ciclo de cuatro tiempos, lo que significa que se necesitan cuatro golpes de pistón para completar un ciclo.

Los motores a gasolina y los motores diésel difieren en la forma en que suministran y encienden el combustible. En un motor de encendido por chispa, el combustible se mezcla con el aire y luego se introduce en el cilindro durante el proceso de admisión. Después de que el pistón comprime la mezcla de aire y combustible, la chispa lo enciende y causa combustión. La expansión de los gases de combustión empuja el pistón durante la carrera de potencia. En un motor diésel, solo se introduce aire en el motor y luego se comprime. Luego, los motores diésel rocían el combustible en el aire comprimido caliente a una velocidad adecuada y medida, haciendo que se encienda.

### **2.5.3. MEJORA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN**

En los últimos 30 años, la investigación y el desarrollo han ayudado a los fabricantes a reducir las emisiones de contaminantes de ICE, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas (PM) en más del 99% para cumplir con los estándares de emisiones establecidos. La investigación también ha llevado a mejoras en el rendimiento de ICE (potencia y tiempo de aceleración de 0 a 60 mph) y eficiencia, ayudando a los fabricantes a mantener o aumentar la economía de combustible.

Los motores de combustión interna ofrecen una excelente capacidad de conducción y durabilidad, junto con la gasolina o el diésel, también pueden utilizar combustibles renovables o alternativos (por ejemplo, gas natural, propano, biodiesel o etanol). También se pueden combinar con motores eléctricos híbridos para aumentar la economía de combustible o sistemas eléctricos híbridos enchufables para ampliar la gama de vehículos eléctricos híbridos.

## **2.6. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

En los últimos tiempos, los vehículos eléctricos (EV) están ganando popularidad, y las razones detrás de esto son muchas. El más importante es



su contribución a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Como vehículo, un EV es silencioso, fácil de operar y no tiene los costos de combustible asociados con los vehículos convencionales. Como modo de transporte urbano, es muy útil. No utiliza ninguna energía almacenada ni causa ninguna emisión mientras está inactivo, es capaz de conducir con frecuencia de arranque y parada, proporciona el torque total desde el arranque y no requiere viajes a la estación de servicio. Tampoco contribuye a ninguno de los gases smog que hacen que la ciudad tenga un aire altamente contaminado.

El par instantáneo lo hace altamente preferible para los deportes de motor. La tranquilidad y la firma infrarroja baja también lo hacen útil en uso militar. El sector energético está atravesando una fase cambiante en la que las fuentes renovables están ganando impulso. También se está desarrollando la red eléctrica de próxima generación, llamada "red inteligente". Los VE se consideran un importante contribuyente a este nuevo sistema de energía compuesto por instalaciones de generación renovable y sistemas de red avanzados.

### **2.6.1. HISTORIA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Un vehículo eléctrico (EV) es un vehículo impulsado por un motor eléctrico, en lugar de un motor de combustión interna (ICE), y el motor funciona con la energía almacenada en las baterías. Las baterías deben cargarse con frecuencia enchufándolas a cualquier fuente principal (120 V o 240 V) de alimentación. EV tiene una historia mucho más larga de lo que la mayoría de las personas se dan cuenta. Los VE se vieron poco después de que José Henry introdujera el primer motor con alimentación de CC en 1830. El primer automóvil eléctrico conocido fue un modelo pequeño construido por el profesor Stratingh en la ciudad holandesa de Groningen en 1835.

El primer EV fue construido en 1834 por Thomas Davenport en los EE. UU., seguido de Moises Farmer, quien construyó el primer EV para dos pasajeros en 1847. En ese momento no había células eléctricas recargables (baterías). Un EV no se convirtió en una opción viable hasta que los franceses Gaston Plante y Camille Faure inventaron (1865) y mejoraron (1881) la batería de almacenamiento, respectivamente.

Los VE son conocidos como vehículos de cero emisiones (ZEV) y son muy amigables con el medio ambiente que los vehículos de gasolina o GLP. Como los EV tienen menos piezas móviles, el mantenimiento también es mínimo. Sin motor, no hay cambios de aceite, afinaciones ni sincronización y no hay escape. Los EV también son mucho más eficientes energéticamente que los motores de gasolina y tienen un funcionamiento muy silencioso.

## 2.6.2. CLASIFICACIONES DE VEHÍCULO ELÉCTRICO

Teniendo en cuenta el complemento de energía y los dispositivos de propulsión, el EV podría clasificarse en tres tipos diferentes:

- Vehículo eléctrico de batería (BEV)
- Vehículo eléctrico híbrido (HEV)
- Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)
- Vehículo eléctrico de pila de combustible (FCEV)

La tabla 1 muestra una breve clasificación de diferentes EVs. El BEV se alimenta exclusivamente de electricidad desde la unidad de almacenamiento de energía, mientras que la propulsión del BEV es proporcionada únicamente por un motor eléctrico.

El sistema de conducción de HEV combina el motor eléctrico y el motor, mientras que las fuentes de energía incluyen electricidad y gasolina o diésel. El FCEV es impulsado por un motor eléctrico y puede ser directa o indirectamente con hidrógeno, metanol, etanol o gasolina.

**Tabla 3.** Comparación de vehículos

EV Type	Driving Component	Energy Source	Features	Problems
BEV	• Electric motor	• Battery • Ultracapacitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No emission</li> <li>• Not dependent on oil</li> <li>• Range depends largely on the type of battery used</li> <li>• Available commercially</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Battery price and capacity</li> <li>• Range</li> <li>• Charging time</li> <li>• Availability of charging stations</li> <li>• High price</li> </ul>
HEV	• Electric motor • ICE	• Battery • Ultracapacitor • ICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very little emission</li> <li>• Long range</li> <li>• Can get power from both electric supply and fuel</li> <li>• Complex structure having both electrical and mechanical drivetrains</li> <li>• Available commercially</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Management of the energy sources</li> <li>• Battery and engine size optimization</li> </ul>
FCEV	• Electric motor	• Fuel cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very little or no emission</li> <li>• High efficiency</li> <li>• Not dependent on supply of electricity</li> <li>• High price</li> <li>• Available commercially</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost of fuel cell</li> <li>• Feasible way to produce fuel</li> <li>• Availability of fueling facilities</li> </ul>

### 2.6.2.1. Vehículo eléctrico puro (BEV)

Los BEV tienen que depender únicamente de la energía almacenada en sus paquetes de baterías; por lo tanto, la gama de tales vehículos depende directamente de la capacidad de la batería. Por lo general, pueden cubrir 100 km-250 km con una sola carga, mientras que los modelos de primer nivel de 300 km a 500 km. Estos rangos dependen de la condición, el estilo de conducción, las configuraciones del vehículo, las condiciones de la carretera, el clima, el tipo de batería y la antigüedad.

Una vez agotado, la carga de la batería lleva bastante tiempo en comparación con el reabastecimiento de combustible de un vehículo ICE convencional. Puede llevar hasta 36 h reponer completamente las baterías. El tiempo de carga depende de la configuración del cargador, su infraestructura y el nivel de potencia de operación.

Las ventajas de los BEV son su sencilla construcción, funcionamiento y conveniencia. Estos son considerados como cero emisiones y de forma directa no producen ningún gas de efecto invernadero (GEI), no crean ningún ruido y, por lo tanto, son beneficiosos para el medio ambiente. La propulsión eléctrica proporciona pares instantáneos y altos, incluso a bajas velocidades. Estas ventajas, junto con su limitación de alcance, los convierten en el vehículo perfecto para usar en áreas urbanas, la conducción urbana requiere correr a velocidades lentas o medias, y estos rangos exigen mucho torque.

La Figura 3 muestra la configuración básica para los BEV: las ruedas son accionadas por motor (es) eléctrico (es) que funciona con baterías a través de un circuito convertidor de potencia.

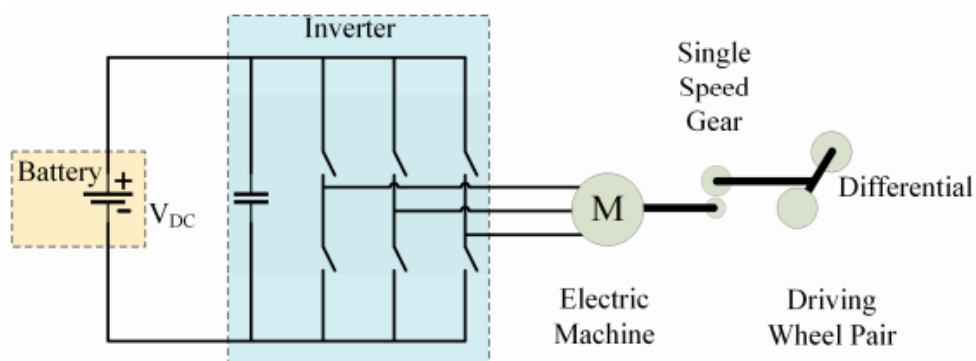


Figura 13. Configuración de la batería

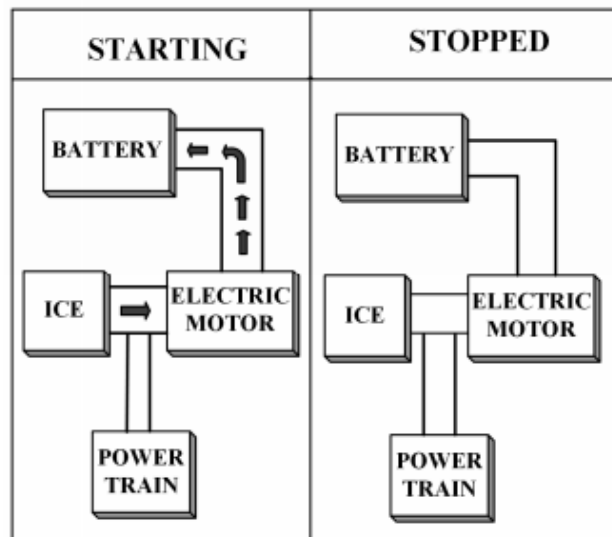
### 2.6.2.2. Vehículo eléctrico híbrido (HEV)

Los vehículos eléctricos híbridos emplean un motor de combustión interna (ICE) y un tren de potencia eléctrica para alimentar el vehículo. Un HEV utiliza el sistema de propulsión eléctrica cuando la demanda de energía es baja. Es una gran ventaja en condiciones de baja velocidad como las áreas urbanas; también reduce el consumo de combustible ya que el motor permanece totalmente apagado durante los períodos de ralentí, por ejemplo, atascos de tráfico. Esta característica también reduce la emisión de GEI.

Cuando se necesita una velocidad más alta, el HEV cambia al ICE. Los dos trenes de transmisión también pueden trabajar juntos para mejorar el rendimiento. Los sistemas de energía híbridos se utilizan ampliamente para

reducir o eliminar completamente el retraso del turbo, también mejora el rendimiento al llenar los espacios entre los cambios de marcha y proporcionar aumentos de velocidad cuando sea necesario.

El ICE puede cargar las baterías, los HEV también pueden recuperar energía mediante el frenado regenerativo.



(a) Direction of power flow during starting and when stopped.

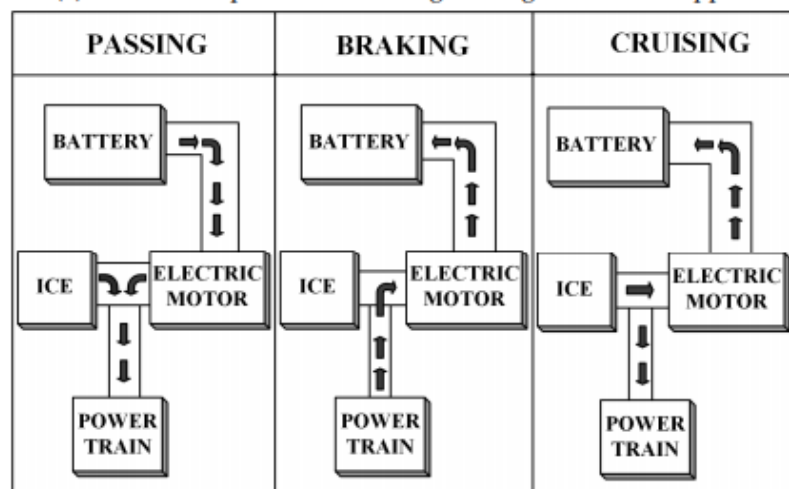


Figura 14. Flujo de potencia durante la etapa de una unidad

Por lo tanto, los HEV son principalmente automóviles impulsados por ICE que utilizan un tren de transmisión eléctrico para mejorar el kilometraje o para mejorar el rendimiento. Para lograr estas características, las configuraciones de HEV están siendo ampliamente adoptadas por los fabricantes de automóviles. La figura 4 muestra los flujos de energía en un HEV básico.

Al arrancar el vehículo, el ICE puede hacer funcionar el motor como un generador para producir algo de energía y almacenarlo en la batería. Para

rebasar se necesita un aumento de velocidad, por lo tanto, el ICE y el motor impulsan el tren de fuerza. Durante el frenado, el tren de potencia hace funcionar el motor como generador para cargar la batería mediante un frenado regenerativo. En modo crucero, ICE ejecuta el vehículo y el motor eléctrico trabaja como generador, que carga la batería. El flujo de potencia se detiene una vez que el vehículo se detiene.

### **2.6.2.3. Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)**

El concepto PHEV surgió para ampliar la gama completamente eléctrica de HEV. Utiliza un ICE y un tren de potencia eléctrica, como un HEV, pero la diferencia entre ellos es que el PHEV utiliza la propulsión eléctrica como la fuerza motriz principal, por lo que estos vehículos requieren una capacidad de batería más grande que los HEV.

Los PHEV se inician en el modo "completamente eléctrico", funcionan con electricidad y cuando las baterías tienen poca carga, solicitan al ICE que proporcione un impulso o que cargue la batería. El ICE se utiliza aquí para ampliar el rango. Los PHEV pueden cargar sus baterías directamente desde la red (lo que los HEV no pueden); También tienen la facilidad de utilizar frenado regenerativo.

La capacidad de los PHEV para funcionar únicamente con electricidad durante la mayor parte del tiempo hace que su huella de carbono sea más pequeña que los HEV. También consumen menos combustible y, por lo tanto, reducen el costo asociado.

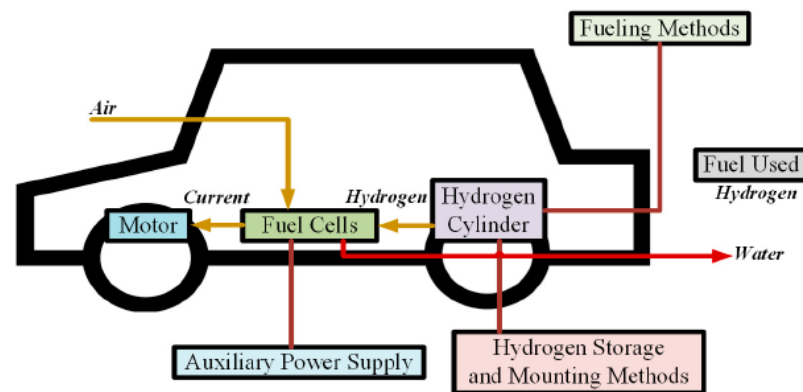
### **2.6.2.4. Vehículo eléctrico de celdas de combustible (FCEV)**

Los FCEV también reciben el nombre de Vehículo de celdas de combustible. Recibieron el nombre porque el corazón de tales vehículos son las celdas de combustible que usan reacciones químicas para producir electricidad. El hidrógeno es el combustible elegido por los FCV para llevar a cabo esta reacción, por lo que a menudo se los denomina "vehículos de celdas de combustible de hidrógeno". Los FCV transportan el hidrógeno en tanques especiales de alta presión, otro ingrediente para el proceso de generación de energía es el oxígeno, que adquiere del aire aspirado del ambiente.

La electricidad generada a partir de las celdas de combustible va a un motor eléctrico que impulsa las ruedas. El exceso de energía se almacena en sistemas de almacenamiento como baterías o supercapacitores. Los FCV solo producen agua como un subproducto de su proceso de generación de energía que se expulsa del automóvil a través de los tubos de escape.

La configuración de un FCV se muestra en la Figura 6. Una ventaja de tales vehículos es que pueden producir su propia electricidad que no emite carbono, lo que le permite reducir su huella de carbono más que cualquier otro EV.

Otra ventaja importante de estos son, y tal vez la más importante en este momento, volver a llenar estos vehículos lleva la misma cantidad de tiempo requerido para llenar un vehículo convencional en una bomba de gas. Esto hace que la adopción de estos vehículos sea más probable en un futuro próximo.



**Figura 15.** Configuración de las celdas de oxígeno e hidrógeno en un vehículo

Uno de los principales obstáculos actuales para adoptar esta tecnología es la escasez de estaciones de combustible de hidrógeno, pero, de nuevo, las estaciones de carga BEV o PHEV no eran un escenario común, incluso hace algunos años.

Un informe para el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés) señaló otra desventaja que es el alto costo de las celdas de combustible, que cuesta más de \$ 200 por kW, que es mucho mayor que ICE (menos de \$ 50 por kW). También hay inquietudes con respecto a la seguridad en caso de que salga hidrógeno de los tanques.

Si se eliminaran estos obstáculos, los FCV podrían representar realmente el futuro de los autos.

### 2.6.3. BENEFICIOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los VE proporcionan grandes beneficios para el medio ambiente, para los clientes, para la red de energía de la nación y para la seguridad nacional.

- **Beneficios ambientales.** El transporte eléctrico reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esto se debe a una combinación de energía

cada vez más limpia. A finales de 2016, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria de la energía eléctrica estaban casi un 25 por ciento por debajo de los niveles de 2005. Y, por primera vez en más de 40 años, las emisiones de CO<sub>2</sub> para el sector de energía estuvieron por debajo de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el transporte (ver Figura 3).

- **Beneficios del cliente.** El beneficio número uno para los clientes es el ahorro en costos de combustible. Los VE son más económicos de operar que los vehículos de gasolina, principalmente debido al menor costo de la electricidad en una base de costo equivalente, pero también debido a los menores costos de mantenimiento.
- Beneficios de la red de energía. Los EV, junto con la carga administrada, dan como resultado una utilización más eficiente de la red de energía, lo que reduce el costo promedio de servicio para todos los clientes.
- Beneficios de seguridad nacional. Cuando los EV se conectan, están 100% alimentados por una combinación doméstica de fuentes de energía, que incluyen gas natural, carbón, energía nuclear, energía hidroeléctrica, eólica y solar. Esto está en marcado contraste con los vehículos que funcionan con gasolina, que dependen únicamente del petróleo.

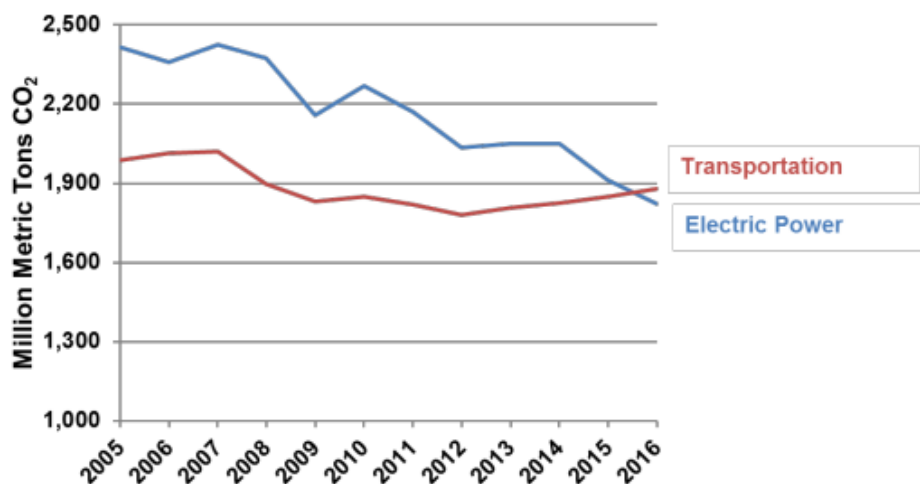


Figura 16. Emisiones de los sectores de energía eléctrica y transporte

A pesar de estos beneficios, varios problemas limitan la aplicación generalizada de automóviles eléctricos. Los autos eléctricos son significativamente más caros que los vehículos con motor de combustión interna convencional (IC) debido al costo adicional de su paquete de baterías.

Sin embargo, los precios de las baterías están bajando y se espera que caigan más. Otros factores que disuaden la adopción de automóviles eléctricos son la falta de infraestructura pública de recarga y la falta de familiaridad del conductor con las características dinámicas del automóvil eléctrico en comparación con los vehículos impulsados por motores IC.

## 2.7. VEHÍCULOS DE COMBUSTIBLE FLEXIBLE

Un vehículo de combustible flexible, como su nombre lo indica, tiene la flexibilidad de funcionar con más de un tipo de combustible. Los FFV se pueden cargar con gasolina sin plomo, E85 (mezcla de combustible de etanol de 85% de combustible de etanol y 15% de gasolina u otro hidrocarburo por volumen) o una combinación de ambos.

De la misma manera que los vehículos de gasolina convencionales, los FFV tienen un solo tanque, sistema de combustible y motor. Y se ofrecen en una amplia gama de modelos, como sedanes, camionetas y minivans. Los vehículos FFV livianos están diseñados para funcionar con por lo menos un 15% de gasolina, fundamentalmente para poder arrancar en climas fríos.



Figura 17. Vehículo Flex Fuel

Los FFV están equipados con componentes modificados, diseñados especialmente para ser compatibles con las propiedades químicas del etanol. Las modificaciones principales que se realizan en los FFV se describen a continuación:

- **Modificaciones en la calibración del motor:** La computadora del vehículo calibra la alimentación de combustible y el avance de chispa para controlar la combustión, permitir el arranque en frío y el cumplimiento con los requisitos de emisiones.



- **Piezas internas del motor:** Los aros de pistón, asientos de válvulas, válvulas y otros componentes tienen que fabricarse con materiales compatibles con etanol y están diseñados para reducir al mínimo los efectos limpiantes de los combustibles con alcohol, que pueden disolver los lubricantes de las piezas.
- **Sistema de identificación de combustible:** El sistema detecta automáticamente la composición del combustible y ajusta el motor para las distintas mezclas de etanol y gasolina.
- **Sistema de inyección de combustible:** Se tiene que fabricar con materiales compatibles con el etanol y permitir un flujo mayor para compensar por la menor densidad energética del etanol.
- **Colectoras y líneas de combustible:** Se tienen que fabricar con materiales compatibles con etanol, con sellos, juntas y mangueras de goma clasificadas para uso con etanol.
- **Tanque de combustible:** Se tiene que fabricar con materiales compatibles con etanol y diseñar para reducir al mínimo las emisiones evaporativas del etanol.
- **Conjunto de llenado de combustible:** Sistema antisifón y amortiguador de chispas diseñado para tener en cuenta la mayor conductividad del etanol.
- **Conjunto de bomba de combustible:** Los componentes dentro del tanque tienen que estar fabricados con materiales compatibles con etanol y deben permitir el mayor flujo necesario para compensar por la menor densidad energética del etanol.
- **Conexiones eléctricas y cables del sistema de combustible:** Los sistemas tienen que estar eléctricamente aislados y se tienen que fabricar con materiales diseñados para tener en cuenta la mayor conductividad y corrosividad del etanol (si se llega a exponer al combustible).

Estas modificaciones garantizan un funcionamiento uniforme y una larga vida con diversas mezclas de etanol. En Estados Unidos hoy en día, circulan casi 8 millones de vehículos de combustible flexible en las autopistas del país. Se produce en forma predominante en los Estados Unidos a partir de cosechas locales, y su combustión es más limpia que la de la gasolina.

Es técnicamente posible convertir un vehículo convencional a gasolina en uno que funciona con E85. En EEUU las conversiones a FFV deben ser realizadas por compañías autorizadas y requieren certificación por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) o la Junta de Recursos del Aire de California.

Los dispositivos especiales que se deben instalar para que los vehículos funcionen con E85 pueden agregar un costo mínimo al precio de compra. El combustible, sin embargo, puede ser un factor de costo importante.

El menor contenido energético del E85 en comparación con la gasolina, puede aumentar el costo del combustible. Este costo diferencial es altamente variable, porque se basa en las diferencias de precio entre el etanol y la gasolina. De la misma manera que la gasolina, los precios del etanol fluctúan y se determinan por la oferta y demanda del mercado.

Esta variabilidad hace que un conductor pueda o no experimentar una diferencia en el costo global de combustible dependiendo de los precios locales en el surtidor.

## **2.8. IMPACTO DEL E85 EN EL DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO.**

Los FFV que funcionan con E85 en general se comportan y desempeñan de la misma manera que cuando se los alimenta con gasolina. Los sensores del sistema de los FFV automáticamente compensan por el tipo de combustible utilizado para que las emisiones y el desempeño de potencia y aceleración no varíen significativamente por usar E85. Una diferencia entre E85 y la gasolina, no obstante, es en la economía de combustible.

El etanol contiene menos energía por galón, lo cual causa una reducción en la economía de combustible cuando se lo compara con gasolina. Sea cual fuere el tipo de combustible utilizado, sin embargo, el consumo de combustible depende de los hábitos de manejo, el clima y otros factores.

### **2.8.1. DESEMPEÑO DE VEHÍCULOS**

Por desempeño mecánico se entiende todo lo referente a las partes que afectan el movimiento del vehículo evaluado. Las partes involucradas más importantes, pero no las únicas, son: el motor, el sistema de combustible y la transmisión.

De manera general se pueden mencionar dos aspectos relevantes en la evaluación del desempeño de vehículos automotores. El primer aspecto es el rendimiento de combustible. El segundo aspecto general para evaluar el desempeño de vehículos es la caracterización de emisiones a la atmósfera, principalmente hidrocarburos no quemados.

Otro factor importante es la potencia generada por el vehículo en condiciones de carretera, que por lo general los fabricantes anuncian la

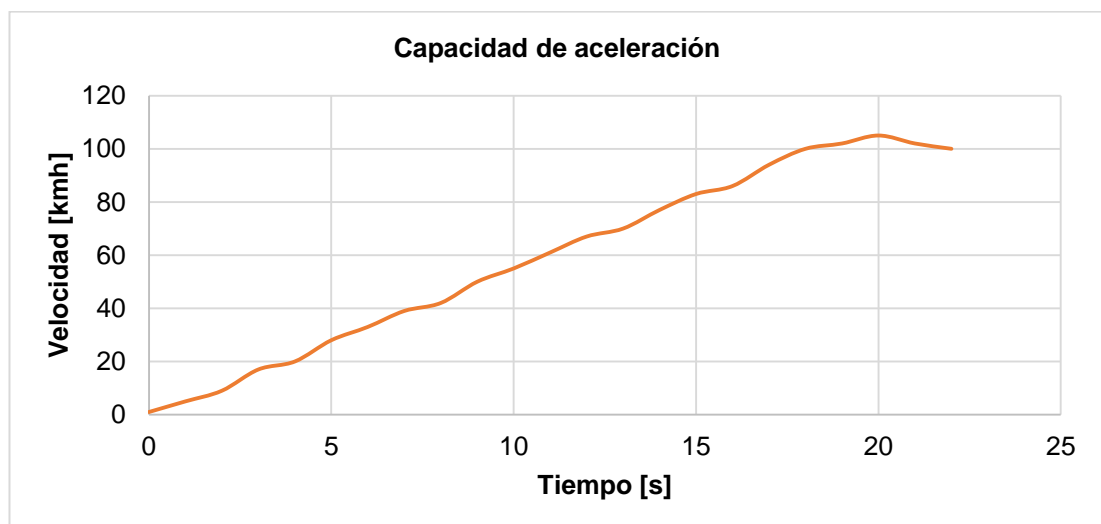
potencia de salida del motor conectado a un volante o disco en un espacio cerrado, sin embargo, no toda llegará a las ruedas debido a las pérdidas de potencia por fricciones en zonas como a transmisión, por eso se recurre a los bancos de potencia que nos permiten medir la potencia total transmitida a las ruedas así como el par motor disponible en cada franja de revoluciones.

En un banco de potencia, un vehículo suele dar de media un 15% menos de potencia que la anunciada por el fabricante debido a estas pérdidas aunque en algunos casos, los vehículos con tracción a las cuatro ruedas pueden perder hasta un 25 %. Existen un sin número de métricas para evaluar el comportamiento y funcionamiento de un vehículo. Una de las métricas vehiculares es la capacidad de aceleración.

### 2.8.2. CAPACIDAD DE ACELERACIÓN DE UN VEHÍCULO.

La capacidad de aceleración es un factor muy importante a analizar, el cual es el tiempo requerido por un vehículo para alcanzar una velocidad dada partiendo desde el reposo.

La cual tiene dos limitantes principales, primero está limitado por la fricción entre la llanta y el suelo y segundo está limitado por la potencia del motor. Generalmente este valor se obtiene realizando mediciones en campo obteniendo un conjunto de datos de aceleración instantánea vs tiempo. Con esto se puede realizar un diagrama velocidad vs tiempo para un mejor análisis, como se muestra en la figura.



**Figura 18.** Capacidad de aceleración

Este factor se puede calcular de forma analítica mediante la teoría de dinámica de vehículos, para lo cual podríamos estimar la velocidad instantánea del vehículo ya sea en pendientes o en terreno plano.

### **2.8.3. Dinámica de vehículos**

Un cuerpo sólo puede moverse o cambiar de rumbo por la acción de las fuerzas. Muchas fuerzas actúan sobre un vehículo cuando está siendo conducido. Un papel importante es desempeñado por los neumáticos, ya que cualquier cambio de velocidad o dirección implica fuerzas que actúan sobre los neumáticos.

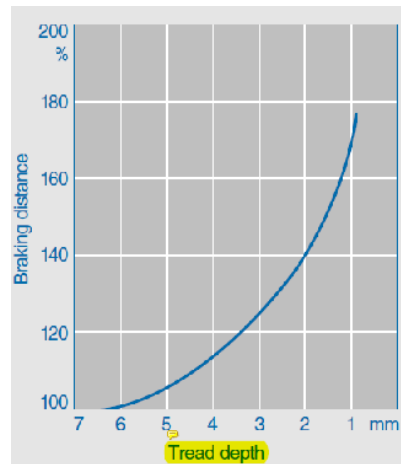
El neumático es el eslabón de conexión entre el vehículo y la carretera, además transmite fuerzas motrices, de frenado y laterales dentro de un entorno físico cuyos parámetros definen los límites de las cargas dinámicas a las que está sometido el vehículo.

Cuando los neumáticos están en uso, es decir, cuando están montados en la rueda, se debe tener cuidado para asegurar que:

- Las ruedas están equilibradas para garantizar una uniformidad óptima de marcha,
- Todas las ruedas están equipadas con el mismo tipo de neumático y los neumáticos son del tamaño correcto para el vehículo,
- El vehículo no se conduzca a velocidades superiores al máximo permitido para los neumáticos montados, y
- Los neumáticos tienen suficiente profundidad de banda de rodadura.

Cuanta menos banda de rodadura hay en un neumático, más delgada es la capa de material que protege la correa y la carcasa debajo. Y sobre todo en automóviles y vehículos comerciales rápidos, la profundidad insuficiente de la banda de rodadura sobre las superficies de la carretera mojada tiene un efecto decisivo en las características de manejo seguro debido a la reducción en el agarre.

La distancia de frenado aumenta desproporcionadamente a medida que disminuye la profundidad de la banda de rodadura (Figura 19).



**Figura 19.** Distancia de frenado en carretera mojada

Un escenario de manejo especialmente crítico es el aquaplaning en el que se pierde toda la adherencia entre los neumáticos y la superficie de la carretera y el vehículo ya no es orientable.

## 2.9. FUERZAS DE LOS NEUMÁTICOS

Un vehículo de motor sólo puede ser hecho para mover o cambiar su dirección de una manera específica por fuerzas que actúan a través de los neumáticos. Esas fuerzas se componen de los siguientes componentes (figura 2):

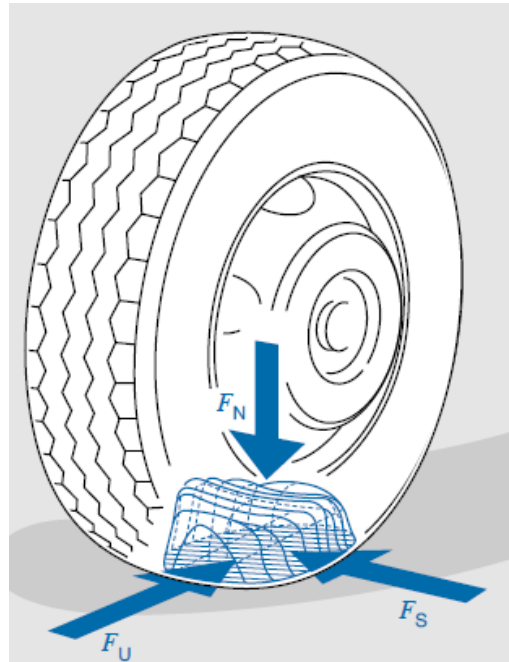
**Fuerza circunferencial:** La fuerza circunferencial  $F_U$  es producida por transmisión de potencia o frenado. Actúa sobre la superficie de la carretera como una fuerza lineal en línea con el eje longitudinal del vehículo y permite al conductor aumentar la velocidad del vehículo con el acelerador o ralentizar con los frenos.

**Fuerza vertical del neumático (fuerza normal):** La fuerza vertical que actúa hacia abajo entre el neumático y la superficie de la carretera se denomina fuerza normal  $F_N$ . Actúa sobre los neumáticos en todo momento, independientemente del estado de movimiento del vehículo, incluyendo, por lo tanto, cuando el vehículo está parado.

La fuerza normal está determinada por el peso combinado del vehículo y de la carga útil que actúa sobre la rueda individual concernida. También depende del grado de pendiente hacia arriba o hacia abajo de la carretera sobre la que se encuentra el vehículo. Los niveles más altos de fuerza vertical ocurren en un camino plano.

La fuerza vertical del neumático deforma la parte del neumático en contacto con la carretera. Como las paredes laterales del neumático son afectadas por esa deformación, la fuerza vertical no puede distribuirse uniformemente.

Se produce un patrón de distribución de presión trapezoidal. Las paredes laterales del neumático absorben las fuerzas y el neumático se deforma de acuerdo con la carga aplicada al mismo.



**Figura 20.** Componentes de fuerza y distribución de presión

- **Fuerza lateral:** Las fuerzas laterales actúan sobre las ruedas cuando se dirige o cuando hay un viento cruzado, por ejemplo. Ellos hacen que el vehículo cambie de dirección.
- **Par de frenado:** Cuando se aplican los frenos, las zapatas de freno presionan contra los tambores de freno (en el caso de frenos de tambor) o las pastillas de freno presionan contra los discos (en el caso de frenos de disco). Esto genera fuerzas de fricción, cuyo nivel puede ser controlado por el conductor por la presión aplicada al pedal de freno.

El producto de las fuerzas de fricción y la distancia a la que actúan desde el eje de rotación de la rueda es el par de frenado  $MB$ . Ese par es efectivo en la circunferencia del neumático bajo frenado.

### 2.9.1. RESISTENCIA AL RODAMIENTO

La resistencia al rodamiento se produce por procesos de deformación que se producen cuando el neumático está en contacto con la carretera. Es el producto de peso ( $P$ ) y coeficiente de resistencia a la rodadura ( $fr$ ) y

aumenta con un diámetro de rueda menor y mayor es el grado de deformación del neumático, por ejemplo, si el neumático está inflado. Sin embargo, también aumenta a medida que aumenta el peso sobre la rueda y la velocidad.

Además, varía según el tipo de superficie de la carretera - en el asfalto, por ejemplo, es sólo alrededor del 25% de lo que está en una pista de tierra.

$P$ : Dynamic weight. In practice it is used the static weight

$M_f$ : Moment due to drag on the wheel

$R_x$ : Rolling resistance force

$r$ : Rear

$F$ : Front

$$R_x = \frac{F_z \Delta x + M_f}{r}$$

$$R_x = R_{xf} + R_{xr} = f_r P$$

- **Coefficiente de fricción:** El factor  $f_r$  es el coeficiente de fricción. Define las propiedades de fricción de los distintos pares de materiales posibles entre el neumático y la superficie de la carretera y las condiciones ambientales a las que están expuestos.

El coeficiente de fricción es, por lo tanto, una medida de la fuerza de frenado que se puede transmitir. Depende de

- La naturaleza de la superficie de la carretera,
- La condición de los neumáticos,
- La velocidad del vehículo, y
- Las condiciones climáticas.

El coeficiente de fricción determina en última instancia el grado en que el par de frenado es realmente efectivo. Para los neumáticos del vehículo, el coeficiente de fricción está en su punto más alto sobre una superficie de carretera limpia y seca y está en su punto más bajo en el hielo. Los fluidos (por ejemplo agua) o suciedad entre el neumático y la superficie de la carretera reducen el coeficiente de fricción. (Tabla 4).

**Tabla 4.** Coeficientes de fricción

Vehicle road speed	Tire condition	Dry road	Wet road (depth of water 0.2 mm)	Heavy rain (depth of water 1 mm)	Puddles (depth of water 2 mm)	Icy (black ice)
km/h		$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$
50	new	0.85	0.65	0.55	0.5	0.1 and below
	worn out	1	0.5	0.4	0.25	
90	new	0.8	0.6	0.3	0.05	
	worn out	0.95	0.2	0.1	0.0	
130	new	0.75	0.55	0.2	0	
	worn out	0.9	0.2	0.1	0	

En superficies de carreteras mojadas en particular, el coeficiente de fricción depende en gran medida de la velocidad del vehículo. A altas velocidades en superficies de carreteras inferiores a las ideales, las ruedas pueden bloquearse en el frenado porque el coeficiente de fricción no es lo suficientemente alto para proporcionar una adhesión suficiente para que los neumáticos agarren la superficie de la carretera.

Una vez que una rueda se bloquea, ya no puede transmitir fuerzas laterales y el vehículo ya no es orientable. La Figura 21 ilustra la distribución de frecuencia del coeficiente de fricción en una rueda bloqueada a varias velocidades de carretera en carreteras mojadas. La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie de la carretera determina la capacidad de la rueda para transmitir fuerza. Los sistemas de seguridad ABS (sistema de frenado antibloqueo) y TCS (sistema de control de tracción) utilizan la adhesión disponible a su máximo potencial.

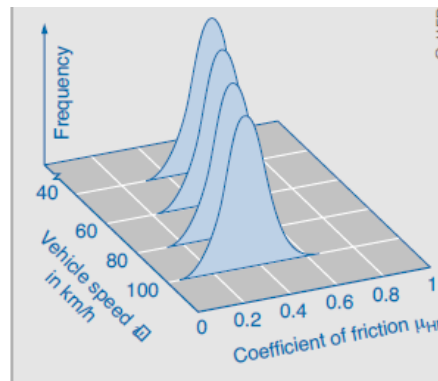


Figura 21. Distribución del coeficiente de fricción

## 2.9.2. RESISTENCIA AERODINÁMICA

La resistencia aerodinámica  $F_D$  se calcula a partir de la densidad del aire  $\rho$ , el coeficiente de arrastre  $C_d$  dependiendo de la forma de la carrocería del vehículo, el área de la sección transversal  $A$  del vehículo y la velocidad de conducción  $V$  teniendo en cuenta la velocidad del viento de frente.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2$$

where:

$F_d$	Drag force
$\rho$	Density
$C_d$	Drag coefficient
$A$	Cross sectional area
$V$	Speed



Otra forma de obtenerlo es mediante mediciones de velocidad instantánea en intervalos de tiempo de 0.1 segundos la cual será la metodología a aplicar en este estudio. Para ello necesitamos aplicar la norma SAE J1491. Los estándares desarrollados por la SAE han sido diseñados con la finalidad de cuantificar el desempeño de los vehículos en diferentes aspectos. Por medio de estos estándares es posible comparar diferentes vehículos con base en parámetros similares.

### **2.9.3. RESISTENCIA DE PENDIENTE**

La resistencia de una pendiente depende del perfil de la calzada y de la masa del vehículo. El vehículo precisa disponer de una mayor fuerza de propulsión para vencer la resistencia ofrecida por la pendiente. Es necesario contar por lo tanto con una mayor potencia de motor para evitar un descenso de la velocidad y compensar la potencia de pendiente. Esta resistencia puede minimizarse si:

- Se engrana oportunamente la relación de transmisión adecuada antes de comenzar la subida.
- Cambiar lo menos posible durante la subida.
- Circular con brío en el motor dentro de los límites fijados.

La fuerza de resistencia de pendiente se calcula:

$$F_s = W * \sin\theta$$

La pendiente de una carretera es el valor de la tangente del ángulo que forma con la horizontal. Obviamente, en casos de pendiente negativa (cuesta abajo) esta fuerza de pendiente o gravitatoria cambia de signo y deja de ser una fuerza de oposición al movimiento del vehículo para convertirse en un apoyo al esfuerzo motor del móvil.

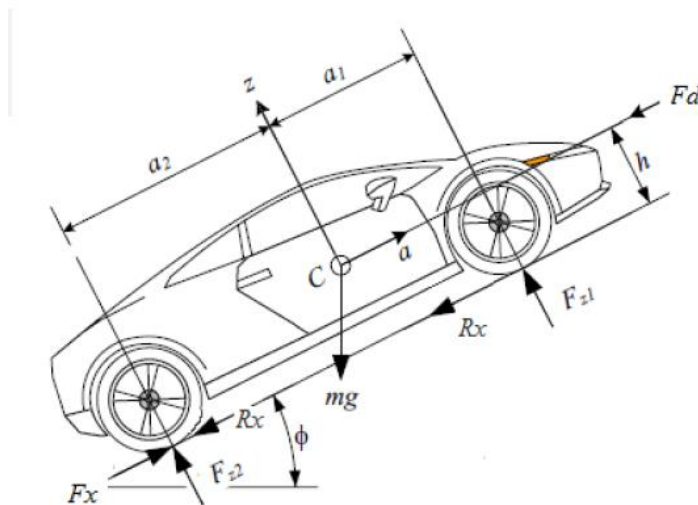
### **2.9.4. DINÁMICA LONGITUDINAL**

Como hemos visto un automóvil en movimiento puede estar sometido a muchas cargas y fuerzas externas durante un viaje, y algunas de ellas influyen directamente en la capacidad de aceleración que puede tener un vehículo. Para analizar este fenómeno de mejor manera se aplica la segunda ley de Newton.

Al aplicar las ecuaciones de fuerzas sobre el vehículo en sentido longitudinal, tenemos en primer lugar las fuerzas resistivas indicadas anteriormente (resistencia gravitatoria o de pendiente, resistencia de rodadura y resistencia aerodinámica).

En oposición a estas fuerzas resistivas, está el esfuerzo de tracción ( $F_x$ ) proporcionado por el motor. Véase figura. Si la fuerza de tracción supera a las fuerzas resistivas habrá una fuerza neta hacia delante que impulsará al vehículo con un movimiento uniformemente acelerado.

Cuando la fuerza de tracción sea igual a las fuerzas resistivas, la fuerza neta será igual a cero, por tanto la aceleración también será nula y el vehículo se moverá con velocidad constante. Si el esfuerzo motor no es capaz de igualar a las fuerzas resistivas, el vehículo sufrirá una deceleración e irá perdiendo velocidad



**Figura 22.** Fuerzas que actúan en una desaceleración

$$\sum F_x = ma_x \quad Ma_x = F_x - R_x - F_d - W \text{sen} \phi$$

$$Ma_x = \frac{\eta_f N_t \tau_m}{R} - m_r a_x - R_x - F_d - W \text{sen} \phi$$

$$dv = \frac{1}{(M + m_r)} \left( \frac{\eta_f N_t \tau_m}{R} - R_x - F_d - W \text{sen} \phi \right) dt$$

Analizando detenidamente la ecuación de velocidad podemos observar que esta depende de la resistencia a la rodadura  $R_x$  y la fuerza aerodinámica las cuales a más de la gravedad son las principales fuerzas que se oponen al movimiento de un vehículo.

## 2.10. PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN: NORMA SAE J1491

La SAE ha desarrollado protocolos para la evaluación de numerosos parámetros que definen el comportamiento de los vehículos. Estos protocolos están aprobados internacionalmente, por lo tanto se adoptaron para la evaluación de los vehículos.

Los protocolos seleccionados para ser empleados en la evaluación de vehículos permiten evaluar los aspectos necesarios para cuantificar cada tipo de desempeño de manera sencilla, precisa y confiable.

**Tabla 5.** Protocolos de evaluación

<b>Nombre de la Prueba</b>	<b>Norma</b>	<b>Desempeño</b>
Medida de la aceleración del vehículo (en plano, en pendiente y recuperación)	SAE J1491 [1]	Mecánico
Procedimiento de manejabilidad y arranque en frío	SAE J1635 [2]	Mecánico
Procedimiento de prueba para medir el ahorro de combustible	SAE J1082 [3]	Energético
Ciclos de conducción	SAE J1506 [4]	Energético / Ambiental
Prueba de Emisiones en condiciones estáticas	Resol. 160/96 DAMA	Ambiental
Prueba de emisiones en condiciones dinámicas	Resol. 906/96 MMA	Ambiental

### **2.10.1. NORMA SAE J 1491**

La prueba de aceleración en plano (SAE J 1491) consiste en llevar el vehículo desde el reposo hasta alcanzar una velocidad de 100 km/h (aprox. 60 mph) a lo largo de un terreno plano.

Los resultados obtenidos son comparados entre vehículos, de manera que se cuantifica la diferencia asociada con el desempeño mecánico de los vehículos como una función de la diferencia de los parámetros utilizados (tiempo, velocidad, aceleración y distancia).

A continuación se presenta varios extractos más relevantes de la norma.

#### **2.10.1.1. Medición de la aceleración del vehículo**

- **Alcance:** Definir un procedimiento de prueba que, cuando se realice, proporcionará una medida repetible del rendimiento máximo de aceleración de un vehículo.
- **Propósito:** Esta práctica recomendada de SAE proporciona un medio estandarizado para medir el rendimiento de aceleración de los automóviles de pasajeros y los camiones ligeros.

- **Speed-Time:** En este procedimiento se utiliza un instrumento para medir la velocidad del vehículo en función del tiempo transcurrido. El dispositivo debe cumplir las siguientes especificaciones:

a) Tiempo

1. Precisión  $\pm 0.1$  s
2. Resolución 0.1 s

b) Velocidad del vehículo

1. Precisión  $\pm 0,8$  km / h ( $\pm 0,50$  mph)
2. Resolución 0,4 km / h (0,25 mph)

c) Velocidad del motor (tacómetro)

1. Precisión  $\pm 50$  rpm
2. Resolución 25 rpm

**Peso del vehículo:** El peso del vehículo debe medirse con una precisión de  $\pm 5$  kg ( $\pm 10$  lb) por eje.

**Presión de los neumáticos:** Debe medirse con una precisión de  $\pm 7$  kPa ( $\pm 1$  psi).

### 2.10.1.2. Condiciones de prueba

- **Temperatura ambiente:** La prueba debe realizarse a temperaturas ambientales entre  $-1$  y  $32$  ° C ( $30$  y  $90$  ° F).
- **Condiciones climatológicas adversas:** Las pruebas no se pueden realizar durante condiciones de niebla, lluvia o nevadas.
- **Velocidad del Viento:** Las pruebas no se pueden realizar cuando las velocidades del viento promedio son más de 24 km / h (15 mph) (o cuando las velocidades pico del viento son más de 32 km / h).
- **Condiciones del camino:** Las carreteras deben estar secas, limpias, lisas y no deben exceder el 0.5% de grado. Además, el grado debe ser constante y el camino debe ser recto. La superficie de la carretera debe ser hormigón o asfalto laminado (o equivalente) y en buen estado; las pruebas no deben realizarse en carreteras resbaladizas.
- **Limitación de Velocidad:** Estas pruebas deben ser ejecutadas en una pista controlada o pruebas. Si se ejecuta en carreteras públicas o carreteras, la velocidad no debe exceder el límite de velocidad establecido y el vehículo no debe interferir con el flujo de tráfico o de otra manera operar de una manera que sería peligrosa.

### 2.10.1.3. Preparación del vehículo

El vehículo debe tener al menos 3218 km (2000 millas) de operación antes de la prueba. Los neumáticos deben tener al menos el 75% de la banda de rodadura restante y la banda de rodadura debe estar en buenas condiciones. Todos los neumáticos deben tener al menos 161 km (100 millas) de recorrido antes de la prueba.

- **Instrumentación:** El dispositivo de medición de la velocidad y otros equipos de prueba necesarios deben instalarse de manera que no obstaculicen el funcionamiento del vehículo ni alteren las características de funcionamiento del vehículo.
- **Peso de prueba:** el peso del vehículo sin carga más 136 kg (incluye el conductor y todos los instrumentos) y la quinta rueda en la posición elevada.
- **Presión de los neumáticos:** La presión de los neumáticos fríos debe ser la recomendada por el fabricante para el peso de prueba del vehículo y los neumáticos instalados.
- **Calentamiento del vehículo:** El vehículo debe conducir un mínimo de 32 km (20 millas) a una velocidad media de 88 km / h (55 mph  $\pm$  5 mph) inmediatamente antes de la prueba. No debe haber más de un lapso de tiempo de 5 min entre el calentamiento y el inicio de la prueba.
- **Datos del vehículo:** Registre toda la información especificada en la Hoja de Especificaciones del Vehículo.

#### Procedimiento de prueba

Efectúe aceleraciones de aceleración abiertas (WOT) desde un principio y registre lo siguiente:

- a) 0 a 48 km / h (0 a 30 mph) -Record Tiempo transcurrido
- b) 0 a 80 km / h (0 a 50 mph) -Record Tiempo transcurrido
- c) 0 a 97 km / h (0 a 60 mph) -Record Tiempo transcurrido
- d) 402 m (1/4 de milla) -Record Tiempo transcurrido y velocidad terminal
- e) 0 a 5 s Distancia de grabación cubierta y velocidad terminal

**Procedimiento de operación de la caja de cambios manual:** desde el principio, el vehículo debe funcionar para lograr el máximo rendimiento con un mínimo de giro de la rueda. El funcionamiento del embrague, así como la selección del punto de cambio, deben optimizarse para el rendimiento sin

exceder las rpm máximas especificadas del motor. El tiempo cero comienza en el instante del movimiento del pedal del embrague.

### **Datos de prueba**

Ejecutar un mínimo de tres pares de pruebas, con cada par conducido en direcciones opuestas. Cuando la dificultad se experimenta en una carrera, el par se excluye.

Registre todos los datos especificados en la Hoja de Datos del Vehículo.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de registrar los datos de las pruebas realizadas se procedió a analizarlos, obteniendo primero el perfil de aceleración de los vehículos.

Para esto se filtran los datos instantáneos de velocidad y tiempo medidos, luego se encuentra el tiempo en el que el vehículo alcanzo los 100 km/h y este sería el valor de la capacidad de aceleración de la prueba y luego se registra este valor para su posterior análisis, como ejemplo en la tabla siguiente se muestra parte de los datos de una prueba realizada donde se identifica el valor del tiempo 0 – 100 km/h.

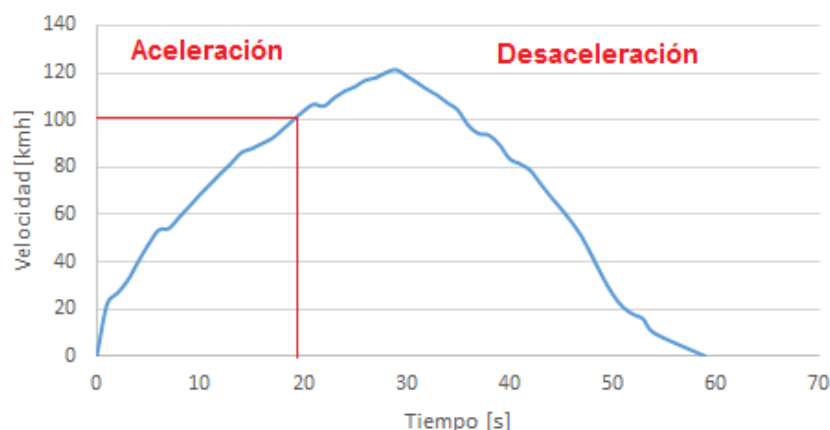
**Tabla 6. Prueba 1**

	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
Prueba 1	0,000	0,00
	1,001	22,28
	2,000	27,76
	3,001	34,19
	4,000	40,04
	5,000	47,38
	6,001	53,46
	6,999	54,23
	8,001	58,99
	8,999	63,69
	10,000	68,57
	11,002	72,98
	12,001	77,46
	13,001	81,63
	14,001	86,25
	15,001	87,91
	16,002	90,06
	17,002	92,36
	18,002	96,01
	19,002	99,88
	20,002	103,74
	21,002	106,71
22,002	105,92	

#### 3.1. Vehículo de combustión interna.

Para la primera se usó el vehículo de combustión interna y se obtuvo la siguiente gráfica, donde se puede apreciar la aceleración y la desaceleración del vehículo durante la prueba 1, además se muestra el tiempo que tardo el vehículo en llegar a los 100 km/h que es de aproximadamente 19 segundos.





**Figura 23.** Características de aceleración

Cabe mencionar que el valor registrado por el fabricante de la capacidad de aceleración es de 10.2 segundos en un vehículo nuevo.

Valor que está muy por debajo del obtenido en las pruebas. Este patrón sucedió en todas las pruebas realizadas, el valor medido del tiempo de 0 a 100 km/h es mayor al establecido por el fabricante.

Este escenario es normal primero porque los datos que reportan los fabricantes son para vehículos nuevos y con el pasar de los años el rendimiento tiende a bajar, segundo las condiciones para obtener este valor para ambos casos son diferentes, los fabricantes lo realizan en pruebas de laboratorio en dinamómetros y siguiendo un ciclo que conducción establecido, lo cual varía mucho cuando se realizan mediciones en “campo” ya que en condiciones reales de conducción los valores de capacidad de aceleración, rendimiento e índices de emisiones cambian.

A manera de resumen se muestran en la tabla siguiente los valores del tiempo 0 – 100 km/h de las seis pruebas, para el sentido de cada prueba se estableció como “Ida” al sentido Santo Domingo – La Concordia y “Vuelta” al sentido contrario La Concordia - Santo Domingo.

**Tabla 7.** Pruebas realizadas motor de combustión

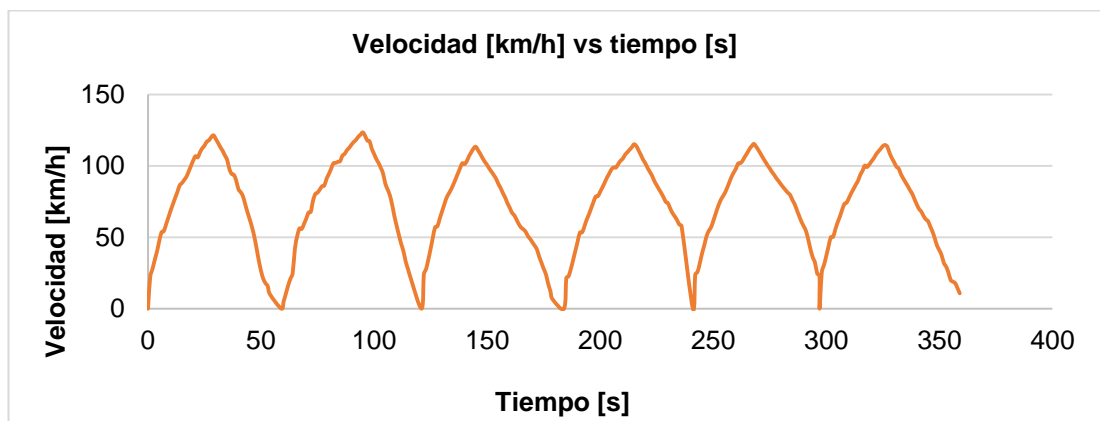
Prueba	Sentido	Tiempo 0 - 100 km/h [s]
1	Ida	19,0
2	Vuelta	23,0
3	Ida	18,0
4	Vuelta	24,0
5	Ida	20,0
6	Vuelta	22,0
Capacidad de acel [s]=		21,0
Desv. Estándar [s]=		2,366
IC (95%)=		2,483

En base a estos resultados podemos decir que el tiempo 0 – 100 km/h está en un mínimo de 18 segundos y un máximo de 24 segundos.

Además se observa que los tiempos en sentido de Ida son menores a sus correspondientes tiempos en sentido de vuelta, esto probablemente se debe a que la vía tiene un pequeño desnivel que favorece al viajar en sentido Santo Domingo – La Concordia con lo que se comprueba que el desnivel que tiene la vía influye en la capacidad de aceleración de un vehículo y por ende en su rendimiento.

Considerando que existen variaciones por el sentido y por prueba, se obtiene un valor promedio de capacidad de aceleración del vehículo que es de 21 segundos este valor es aceptable un índice de confianza al 95% de 2.48 y con una desviación estándar de 2.4% que es menor al 3% valor mínimo sugerido por la norma **SAE J 1491**.

Las curvas de velocidad vs tiempo del total de las pruebas se las muestra a continuación.



**Figura 24.** Curvas de velocidad vs tiempo

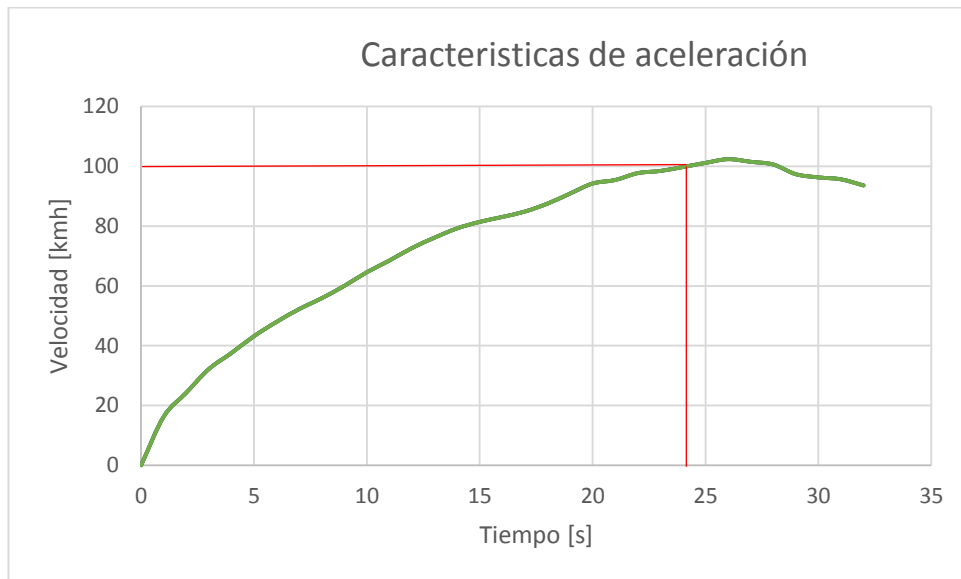
### 3.2. Vehículo eléctrico

Antes del experimento se realizó una carga completa de la batería, y se procedió a hacer la prueba de la misma forma que se realizó al vehículo de combustión interna.

Cada prueba se repitió tres veces en ambos sentidos de la carretera, en total se realizaron seis pruebas teniendo precaución con el tránsito para que no afecte las mediciones.

Al final de las pruebas se analizaron los resultados tomados y se construyó la curva velocidad vs tiempo que muestra la característica de la aceleración del vehículo eléctrico.

Como ejemplo se muestra una gráfica de una prueba donde el vehículo alcanza la velocidad de 100 km/h a los 24 segundos con la batería completamente cargada.



**Figura 25.** Características de aceleración

Se elaboro una tabla resumen con los tiempos de cada prueba del vehiculo Kia Soul EV la cual se muestra a continuación.

**Tabla 8.** Pruebas realizadas motor eléctrico

Prueba	Sentido	Tiempo 0 - 100 km/h [s]
1	Ida	24,0
2	Vuelta	31,0
3	Ida	25,0
4	Vuelta	30,0
5	Ida	26,0
6	Vuelta	29,0
Capacidad de acel [s]=		27,5
Desv. Estándar [s]=		2,881
IC (95%)=		3,023

Para el vehículo eléctrico el tiempo 0 – 100 km/h está en un mínimo de 24 segundos y un máximo de 31 segundos. De la misma manera que el vehículo de combustión interna los tiempos en sentido de Ida son menores a los de vuelta, lo cual ratifica el factor de una pequeña variación de inclinación en la vía.

Igualmente se obtiene un valor promedio de capacidad de aceleración del vehículo EV que es de 27 segundos, un valor muy bueno, con un índice de confianza al 95% de 3 y con una desviación estándar de 2.9% que es menor al 3% valor mínimo sugerido por la norma **SAE J 1491**.

### 3.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Se puede determinar que para llegar a una velocidad de 100 km/h el vehículo de combustión interna tarda menos tiempo (6.5 segundos menos), al parecer el vehículo eléctrico tiene un 23.6% menor dinámica en carretera para llegar a la velocidad máxima establecida por la SAE.

A continuación se muestra una comparación grafica de los perfiles de aceleración de los dos vehículos para analizarlos de mejor manera.

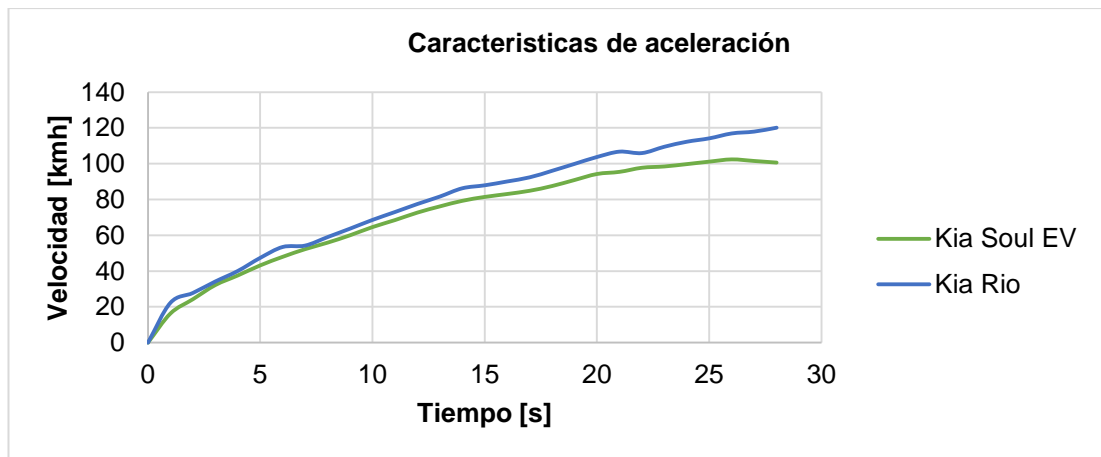


Figura 26. Características de aceleración eléctrico vs combustión

De esta gráfica podemos decir que la curva del kia rio es más irregular tomando en cuenta que es un vehículo con caja de cambios manual esto podría deberse a los cambios de marcha, además la pendiente de la curva es mayor a la del kia soul EV. Analizando más estas curvas podemos observar que al llegar a velocidades más altas sus pendientes tienen una variación más grande mientras que en velocidades bajas ( $\leq$  a 60) sus pendientes son muy parecidas, como lo muestra la figura siguiente.

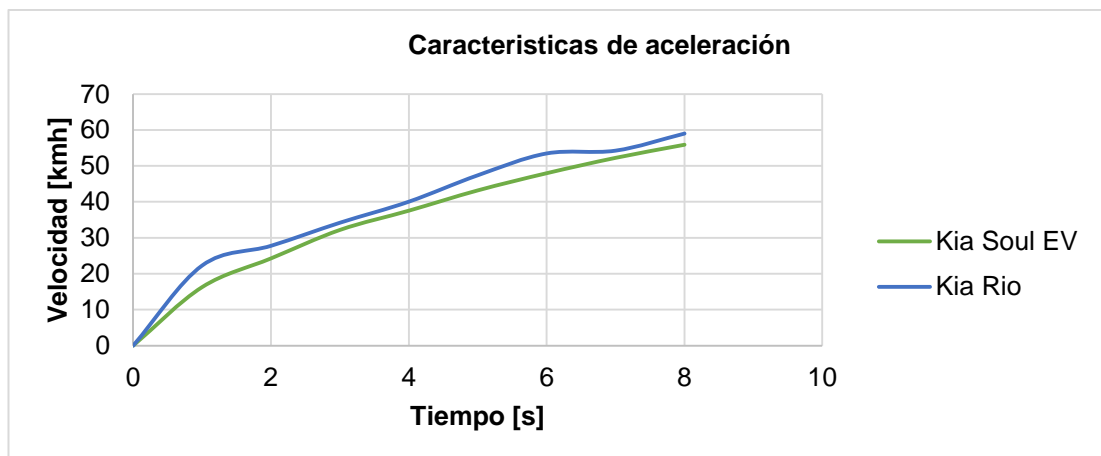


Figura 27. Características de aceleración eléctrico vs combustión en pendientes

Hay que tener en cuenta que la velocidad máxima del automóvil de gasolina es de 188 km/h y la velocidad de la prueba (100 km/h) está lejos del máximo velocidad, mientras que para el coche eléctrico (145 km/h) esta velocidad es casi máxima. Además tomando en cuenta que a bajas velocidades las pendientes de las curvas son muy parecidas se podría hacer una comparación con una velocidad más baja.

Considerando que la velocidad promedio máxima permitida para transitar en la ciudad es de 50 km/h se hará una comparación a esta velocidad para determinar cómo difiere el manejo de estos dos vehículos en ciudad. La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 9.** Pruebas de manejo

<b>Pruebas</b>	<b>Kia Rio</b>	<b>Kia SOUL EV</b>	<b>variación %</b>
Prueba 1	6	6,5	7,69
Prueba 2	7,3	7,7	5,19
Prueba 3	6,8	7,3	6,85
Prueba 4	5,2	5,5	5,45
Prueba 5	6,4	7	8,57
Prueba 6	5,8	6	3,33
	Promedio		6,18
	Desv. Estándar [s]=		1,9
	IC (95%)=		1,99

De esta manera podemos observar que los rangos de variación disminuyen mucho, recordando que la variación de tiempo 0 – 100 km/h era de un 23.6% en el que el vehículo de combustión interna alcanzaba más rápido la velocidad objetivo, al cambiar la velocidad objetivo a 50 km/h las variaciones disminuyen a un promedio de 6 % con lo que el vehículo eléctrico tiene buen rendimiento para conducirse en la ciudad a velocidades de máximo 50 km/h.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- Según las curvas de aceleración del vehículo eléctrico se observó que a velocidades menores a 50km/h la pendiente de la curva es mayor a cuando las velocidades son mayores a 50km/h, lo que representa que la capacidad de aceleración es mejor a velocidades bajas, es decir en condiciones de conducción dentro de la ciudad, mientras que a condiciones de carretera (>50km/h) la capacidad de aceleración disminuye proporcionalmente al aumento de velocidad.
- Se determinó que la capacidad de aceleración del vehículo eléctrico es menor al del vehículo de combustión interna cuando se viaja a velocidades mayores a 50 km/h, al alcanzar la velocidad de 100km/h que es la velocidad objetivo establecido por la SAE J1491 el vehículo de combustión interna lo hace en 21 segundos mientras que el vehículo eléctrico lo hace en 27.5 existe una variación del 23.6%.
- En condiciones de velocidad menor a 50km/h la capacidad de aceleración del vehículo eléctrico mejora, al cambiar la velocidad objetivo a 50km/h se obtienen valores de capacidad de aceleración muy parecidas a los valores obtenidos por el vehículo de combustión interna llegando a una diferencia promedio de 6% en sus capacidades de aceleración.
- Los tiempos para alcanzar la velocidad de 100km/h en sentido Santo Domingo – La Concordia de la carretera son menores a sus correspondientes tiempos en sentido contrario, esto probablemente se debe a que la vía tiene un pequeño desnivel con lo que se comprueba que el desnivel que tiene la vía influye en la capacidad de aceleración de un vehículo y por ende en su rendimiento.
- Las capacidades de aceleración obtenidas para los dos vehículos son mayores a los reportados por los fabricantes, esto se debe a que los datos que reportan los fabricantes son realizadas en pruebas de laboratorio siguiendo un ciclo que conducción establecido, lo cual varía mucho cuando se realizan mediciones en “campo” ya que en condiciones reales de conducción los valores de capacidad de aceleración.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las pruebas estrictamente como establece la norma SAE J1491, cumpliendo las mismas rutas y en las mismas condiciones ambientales, con combustible estándar (sin aditivos), para obtener datos de ambos vehículos que se pueda comparar. Además el manejo de los vehículos (eléctrico y de combustión interna) se debe realizar por el mismo piloto ya que el modo de conducción también influye en los resultados, hay que considerar que en esta prueba se trata de llevar al automóvil a una velocidad establecida en el mínimo de tiempo.
- Para validad de mejor manera los datos adquiridos se recomienda realizar cada prueba (viaje ida y vuelta) varias veces, ya que como se dijo anterior el modo de manejo del conductor influye en los resultados y este es muy difícil de replicar de manera exacta en cada viaje, de esta manera si se tiene variaciones de resultados posiblemente por el modo de manejo se realizaría un promedio para atenuar el rango de variación de resultados.
- Si al realizar varias mediciones de una prueba y se tiene resultados diferentes, con variaciones muy altas, se descartara los resultados y se debe repetir la prueba, no sin antes verificar los equipos de medición y el vehículo.
- Es muy importante recalcar que los equipos deben ser de alta precisión y deben estar calibrados antes de realizar las pruebas, además se debe cerciorar que el vehículo de combustión interna tenga su motor estándar y sin ninguna modificación tanto a motor, chasis, carrocería, además se debe revisar que para ambos vehículos los neumáticos deben tener rin estándar y llantas del mismo tipo.



## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- Achour H & Belloumi M. (2016). Decomposing the influencing factors of energy consumption in Tunisian transportation sector using the LMDI method.
- Autocosmos (2018). Ficha técnica del Kia Soul EV. Kia (2018). Soul EV.
- Bansal R. (2005). Electric Vehicles. Recuperado de: Scanner automotriz (2017). Elm327 Wifi review 2017: Qué es, características y funcionamiento.
- Cengage Learning (2010). Energy Consumption in the Transportation Sector. Chapter 13. Recuperado de:
- CEPROEC. (2015). Consumo de combustible del transporte terrestre en Ecuador. Cevallos, J., Ramos-Martin, J. (2018): "Spatial assessment of the potential of renewable energy: the case of Ecuador". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 81:1154-1165.
- Creutzig F., a Dubeux C., Hupe J. & Kobayashi S. (2014). Energy End-FLASCO Ecuador (2011). *Revista Letras Verdes, Revista del programa de estudios Socioambientales FLASCO-ECUADOR*.
- Department of energy (2013). Internal Combustion Engine Basics. Thermopedia (2011). INTERNAL COMBUSTION ENGINES.
- Ding N., Prasad K.& Lie T. (2017). The electric vehicle: a review.
- El telégrafo (2015). AEA: El 35% de autos en Ecuador causa altos niveles de contaminación. Torre H. & Domínguez A. (2013). Performance of a hybrid vehicle and of an internal combustion vehicle under real-world drive conditions in a Mexican city.
- Energy Information Administration (EIA) (2016). Chapter 8, Transportation sector energy consumption.
- F. Rehermann & M.Pablo-Romero (2018). Economic growth and transport energy consumption in the Latin American and Caribbean countries.
- Hanifah R., Toha S. & Ahmad S. (2015). Electric Vehicle Battery Modelling and Performance Comparison in Relation to Range Anxiety.
- IEA (2018). IEA Statistics. IEA, Paris (2018). Chang C & Carballo C. (2011). Energy conservation and sustainable economic growth: the case of Latin America and the Caribbean.
- Karsner G. (2018). DEER Conference, Energy Outlook for the Transport Sector.
- Km77 (2010). KIA Rio 5p 1.6 DOHC Emotion (2010-2010) | Precio y ficha técnica.
- Martínez J., Cruz A. & Bedoya C. (2015). Evaluación de vehículos en carretera.
- MEER, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2008). Hacia un cambio en la matriz energética. Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

- Perez A. (2012). Eficiencia energética en el transporte terrestre en el Ecuador.
- Rashid M., Daniyal H. & Mohamed D. (2017). Comparison performance of split plug-in hybrid electric vehicle and hybrid electric vehicle using ADVISOR.
- Viscidi L. & O'Connor R., (2017). The Energy of Transportation: a focus on Latin American urban transportation. Rodrigue J. (2017). The Geography of Transport Systems. Chapter 8 – Transport, Energy and Environment.
- Wikipedia (2007). Vehicular metrics. Mruzek M., Gajdáč I., Kučera L. & Barta D. (2016). Analysis of Parameters Influencing Electric Vehicle Range.