

# COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA HÍBRIDO ESTÁNDAR Y ENCHUFABLE EN UN TOYOTA PRIUS

## COMPARISON OF THE FUEL CONSUMPTION OF THE STANDARD AND PLUG-IN HYBRID SYSTEM IN A TOYOTA PRIUS

**Dario Borja Soto** <sup>(1)</sup> \*  
**Andrés Moreno Constante** <sup>(2)</sup>  
**Luis Alfredo Tipan** <sup>(3)</sup>

<sup>(1),(2)</sup> Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito-Ecuador

<sup>(3)</sup> Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador

<sup>(1)</sup> (e mail:dario.borja@outlook.es)

<sup>(2)</sup> (e mail:andressebas22@hotmail.com)

<sup>(3)</sup> (e mail:luisnt\_92@hotmail.com)

\* Autor a quien debe ser enviada la correspondencia

### Resumen

La búsqueda de nuevas fuentes energéticas y la mitigación de contaminantes producidos por los motores de combustión interna son objetivos definidos para el cuidado del ambiente, en este artículo se presenta la reducción del consumo de combustible del motor de combustión interna del vehículo híbrido Toyota Prius de tercera generación al implementar un sistema de carga enchufable, con el aumento de baterías de alto voltaje para mejorar su autonomía. Se planteó una metodología cuantitativa para la obtención de datos con un modelo de protocolo a fin de realizar las pruebas de recorrido con ambos tipos de sistemas (estándar y enchufable), para determinar los parámetros de consumo de combustible del vehículo en ruta de carretera y ciudad, los datos se obtuvieron monitoreando valores con protocolos estandarizados. La investigación generó una disminución de consumo de gasolina del 18% en carretera y 48% en ciudad, por su motor de combustión interna, logrando así difundir la implementación de los sistemas enchufables en vehículos híbridos, para mejorar su autonomía eléctrica.

Palabras claves: Sistema enchufable, Consumo de combustible, Protocolo de pruebas, Vehículo híbrido, Dióxido de Carbono.

## Abstract

The search of new energetical sources and mitigation of contaminants produced by internal combustion engines are defined objectives for the environmental care, this article presents reduction of fuel consumption in an internal combustion engine of the Toyota Prius third generation hybrid vehicle when it implements a plug-in charge system, with increase of high voltage batteries to improve your autonomy. It was proposed a quantitative methodology for got a data with a protocol model in order to perform the travel tests with both types of systems (standard and plug-in), for determining fuel consumption parameters of vehicle on road and city, this data was obtained by monitoring values with standardized protocols. The research generated a decrease gasoline consumption of 18% on road and 48% on city, in your internal combustion engine, thus we can achieve to extend the implementation of plug-in systems on hybrid vehicles. To improve your electric autonomy.

**Keywords:** Plug-in system, Fuel consumption, Test protocol, Hybrid vehicle, Carbon dioxide.

## INTRODUCCIÓN

Debido al cuidado del medio ambiente y concientización de la población que usa vehículos que funcionan a base de combustibles fósiles, es necesario la búsqueda de nuevas alternativas; una de ellas es la reducción de emisiones de gases contaminantes por parte de los motores de los vehículos, adicional del incremento proporcional de costos de los combustibles convencionales, por lo cual se han logrado alcanzar tecnologías alternativas, los cuales permitan mejorar las condiciones de propulsión del vehículo reduciendo los contaminantes. Dentro de las soluciones tecnológicas más novedosas se encuentra la creación de los vehículos híbridos, las cuales logran establecer cifras muy importantes de reducción de emisiones colocando esta tecnología en el nivel PZEV (Emisión Cero de forma parcial). Esto quiere decir que el vehículo por momentos genera emisiones cero, un logro muy importante puesto que en el momento que esta tecnología este de forma masiva existirá momentos de operación de los vehículos en los cuales no generan emisiones y esto reduce de forma importante los niveles de contaminación según la investigación de (Augeri, 2011).

El objetivo de incursionar en el uso de vehículos híbridos y eléctricos, además de su fabricación es inmiscuirse con el reto de sustituir el uso de combustibles fósiles y reemplazarlos por energía

eléctrica, aprovechando el cambio de matriz energética y productiva en los países en proceso de desarrollo, ya que a mediano plazo estos contarán con superávit de producción eléctrica, un claro ejemplo Ecuador. Adicionalmente, debido al no uso de combustibles fósiles se promueve disminuir la contaminación ambiental, según la (Vicepresidencia de la Republica del Ecuador, 2015).

La electricidad hoy en día tiene innumerables aplicaciones y usos, esto es debido a la facilidad con que se transforma en otras formas de energía, como mecánica, química o térmica. El principal suministro de energía eléctrica se realiza a través de la red eléctrica, sin embargo, hay muchas ocasiones en las que se necesita disponer de energía eléctrica sin poder adquirirla de la red eléctrica. Uno de los principales problemas, es la dificultad en su almacenamiento. Las baterías son una de las pocas formas fiables de almacenarla, convirtiendo por este medio, en energía química y viceversa. Por lo tanto, podemos disponer de electricidad cuando se necesite sin depender de la red. El desarrollo en los últimos años de nuevas aplicaciones (vehículos eléctricos, sistemas fotovoltaicos, sistemas de alimentación ininterrumpida, etc.) han propiciado el surgimiento y desarrollo de nuevas tecnologías de baterías, cada vez más eficientes y fiables, según, (Ordoñez, 2011).

Dado que la sociedad emplea el vehículo como medio de transporte para realizar sus actividades habituales y desplazarse cortas y largas distancias, el automotor híbrido enchufable es ideal para un entorno urbano donde se puede recuperar la energía con ayuda de sistemas de frenado regenerativo. Pero lo realmente importante es que, realizando un análisis global, la mayoría de kilómetros recorridos serían gracias al uso del motor eléctrico y, por tanto, sustentados con energía limpia renovable, según, (Iniesta, A, 2015).

Los vehículos conocidos como vehículos Plug-in se diferencian del vehículo híbrido en

que sus baterías tienen acceso a recargarse de forma independiente a través de un conector estándar a la red eléctrica. Estos vehículos tienen un doble comportamiento, pues en las distancias con no más de 10 kilómetros funcionan como vehículo eléctrico y en distancias de más de 10 kilómetros como híbrido eléctrico, dado que en esta tipología el uso del motor eléctrico va a ser mayor, sacándole el mayor partido y consiguiendo mayores autonomías en modo eléctrico durante 25 y 50 km, gracias al equipamiento de baterías de mayor tamaño, según la investigación de (Iniesta, A, 2015).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método de síntesis se aplicó para la recopilación de datos en las pruebas de consumo de combustible utilizando los dos sistemas, el estándar y el sistema de ayuda plug in. El método comparativo permitió realizar la comparación de los datos obtenidos por el método de síntesis, y obtener relaciones entre el sistema original y el sistema implementado. El método matemático se usó para operacionalizar los datos obtenidos y hallar resultados analizables para llegar a una conclusión en la investigación.

Para el estudio se utilizó un vehículo híbrido implementado de manera paralela un sistema de carga plug in a la red eléctrica de 110 voltios alternos, adicionando al vehículo Toyota Prius 3G una batería de 28 celdas de litio, el cual cumple un proceso de carga y descarga, con un voltaje nominal de cada una de las celdas no menor a 7,2 V, el cual no debe superar el 20% de tolerancia y una capacidad de 6.5 A-h. Mencionado procedimiento de implementación se detalla en la investigación de (Cuji-Sánchez, 2015), para el tratamiento del almacenaje de las baterías adicionales se detalla en la investigación de (Delgado, 2013).

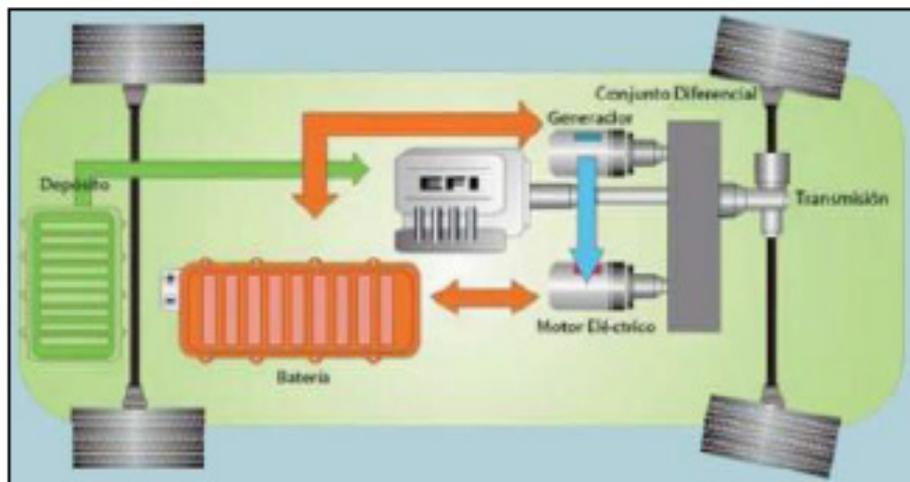


Figura 1: Circuito de funcionamiento de carga de sistema híbrido con baterías extras.

Fuente: (Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, 2007).

Al tener implementado el sistema plug – in en el vehículo híbrido Toyota Prius 3G se procede con las pruebas de consumo de combustible y autonomía eléctrica para lo cual se utiliza la interfaz OBDLink SX y el software OBDWIZ que diagnostica con rapidez y precisión los problemas del motor y proporcionará datos en tiempo real con la

ayuda de una computadora portátil con un puerto USB y capaz de apagar la luz MIL y detectar DTC que posee el vehículo. Ilustra sus propias pantallas, mide y muestra la economía de combustible, distancia recorrida y tiempo de encendido del motor de combustión interna entre otros PID's característicos de cada modelo de vehículo.



Figura 2: Pantalla de muestra de resultados interfaz OBDWIZ.

Fuente: Autores

La ruta seleccionada para este proyecto tiene una longitud de 108 Kilómetros los cuales se encuentran distribuidos en ruta de carretera de 108 kilómetros con un tiempo estimado de 1h32 con su inicio en la gasolinera Petro-Ecuador sector el Mayorista de Latacunga-Ecuador hasta Mega Santa María Carapungo, Av. Simón Bolívar, Quito-Ecuador. La ruta de ciudad posee una trayectoria de 100 kilómetros con un tiempo de 6 horas de transcurso promedio desde El Condado Shopping hasta el Colegio Vida Nueva, F, Quito-Ecuador.

El consumo de combustible al final de la prueba se obtiene por medio del display del vehículo que está en litros/Km y se realiza una conversión a galones para realizar una comparación con los datos obtenidos con el interfaz OBDWIZ y verificar que el consumo de combustible es similar Representada por la fórmula:

$$\text{Cons.C} = \text{Med.D} * \text{dist.V} \quad (1)$$

Fuente: (Calle, 2012)

Dónde:

- Cons.C=Consumo de combustible al final de la prueba (gl)
- Med.D=Medición del display del vehículo (lt)
- dist.V=Distancia recorrida por el vehículo(km)

El consumo de combustible al final de la prueba en galones se obtiene con el resultado de la ecuación 1 y así determinar el consumo del display del vehículo en galones. Definida por la fórmula:

$$\text{Cons.C en g} = \frac{\text{Cons.C} * k}{1 l} \quad (2)$$

Fuente: (Calle, 2012)

Dónde:

- Cons.C en gl=Consumo de combustible al final de la prueba en galones
- K=Cosntante para transformar de litros a galones
- 1 litro=0,264172 gl

El ahorro de consumo de combustible se obtiene al final de la prueba al obtener los resultados con la ecuación 1 y 2.

$$\text{Ahorro C.} = \left( \frac{\text{Reduc.C}}{\text{Cons.DV en (gl)}} \right) * 100 \% \quad (3)$$

Fuente: (Calle, 2012)

Donde:

- Ahorro C.=Ahorro de consumo de combustible (%)
- Reduc.C=Reducción de consumo de combustible (gl)
- Cons.DV en (gl)=Consumo de combustible del display del vehiculo en galones (gl)

## RESULTADOS

Análisis de los valores obtenidos en la ruta carretera con el sistema híbrido estándar y con el sistema enchufable.

Los datos obtenidos en las pruebas de carretera se detallan en la tabla 1, cabe recalcar que los datos fueron obtenidos con el interfaz OBDWIZ, el mencionado revelo los datos expuestos.

Tabla 1. Datos de consumo de combustible, ruta carretera.

Hora Inicio	Hora final	Condición	Consumo promedio Display [ l ]	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBD-wiz [ gl ]
07:45	09:17	Hibrido estándar	5,0	108	1,46
07:45	09:17	Plug in	4,1	108	1,26

Fuente: Autores

Con la ecuación 1 y 2 se realizó la transformación de galones de combustible a litros tomando los valores del consumo de combustible del display del vehículo en condiciones híbrido estándar de la tabla 1 es con 5 litros standar y con 4.1 litro.

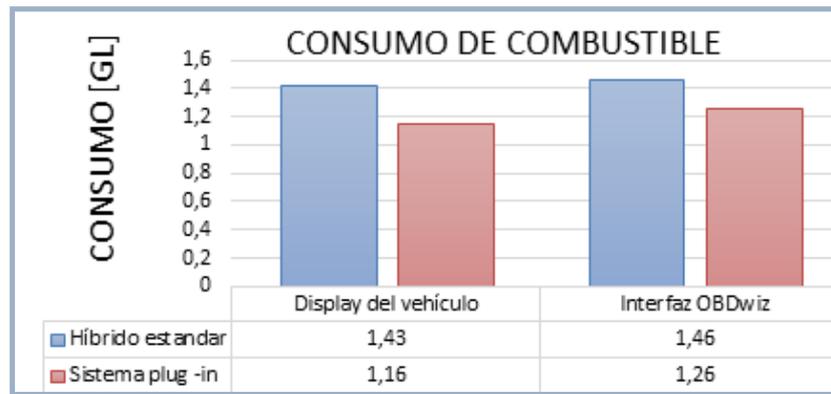


Figura 3: Valores del consumo de combustible en el estado híbrido estándar y sistema plug-in en carretera.

Fuente: Autores

En la figura 3 se observa los valores obtenidos en la ruta de carretera tanto con el sistema híbrido estándar y con sistema enchufable, se visualiza que los datos son similares con los dos dispositivos que se realizó las mediciones con lo cual se establece un porcentaje de ahorro de combustible con la ecuación 3, obteniendo un ahorro del 18%, en la prueba de carretera.

En la investigación de (Calle F. J., 2012) menciona que “Según la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH) un vehículo emite 2,4 kg de CO<sub>2</sub> por litro de gasolina consumido” (p.32). Al implementar el sistema plug-in al vehículo ayudo a reducir el consumo de combustible y disminuir el CO<sub>2</sub> al medio ambiente como se muestra en la tabla 3.

Tabla 2. Valores de CO<sub>2</sub> del vehículo Toyota Prius 3G en la ruta carretera

Ruta carretera		
Condición	Consumo de combustible 108 [km]	CO <sub>2</sub>
Híbrido estándar	5 [litros]	12 kg CO <sub>2</sub>
Sistema plug-in	4,1 [litros]	9,84 kg CO <sub>2</sub>

Fuente: Autores

En la figura 4 se ilustra la producción de dióxido de carbono que produce el vehículo Toyota Prius 3G en la ruta de carretera con una distancia de 108 km y una emisión de 12 kgCO<sub>2</sub> con el sistema híbrido estándar y, con el sistema de carga plug-in se reduce a 9,84 kgCO<sub>2</sub> lo que equivale al 18 % menos de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

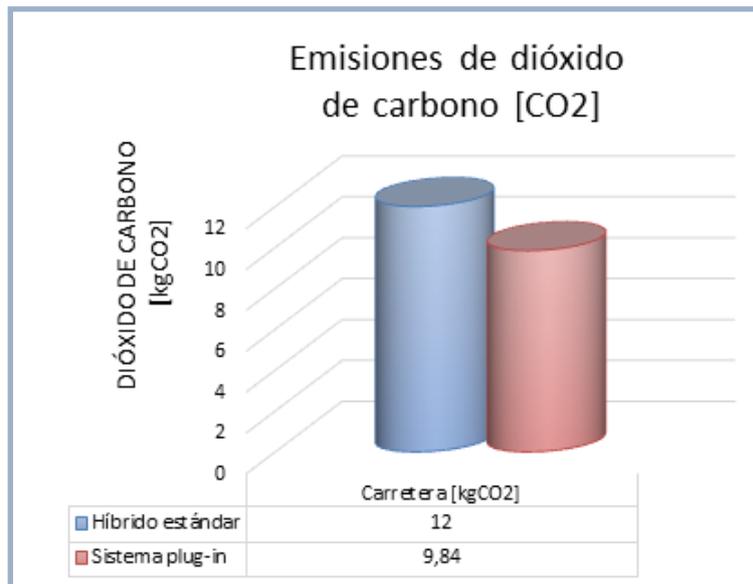


Figura 4. Emisiones de dióxido de carbono del vehículo Toyota Prius 3G  
Fuente: Autores

Análisis de los valores obtenidos en la ruta ciudad con el sistema híbrido estándar y con el sistema enchufable.

Por medio interfaz OBDLink SX y el display del vehículo se obtuvo las respectivas mediciones con el sistema híbrido enchufable en la ruta de ciudad con las mismas condiciones iniciales.



Figura 5: Valores al final de la prueba en ciudad en condiciones híbrido estándar con el interfaz OBDWIZ y el display del vehículo.  
Fuente: Autores

En figura 5 se observa los valores de la prueba en ciudad con el sistema híbrido estándar con un consumo de 1,55 galones en 67,10 millas en el interfaz OBDWIZ y 5,8 litros / 100 Km en 108 km en el display del vehículo, y con el sistema enchufable con un consumo de 0,8 galones en 67,10 millas en el interfaz OBDWIZ y de 3,0 litros / 100 Km en 108 km en el display del vehículo.

Tabla 3. Resultados de consumo de combustible, obtenidos durante la prueba de ciudad en condiciones de híbrido estándar e híbrido plug in

Hora Inicio	Hora final	Condición	Consumo promedio Display [l]	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
08:40	14:40	Híbrido estándar	5,8	100	1,55
08:40	14:40	Plug in	3,02	100	0,8

Fuente: Autores

Con la ecuación 1 y 2 se realizó la transformación de galones a litros tomando los valores del consumo de combustible del display del vehículo en condiciones híbrido estándar de la tabla 3, se obtuvo y , esto se ilustra en la figura 6.

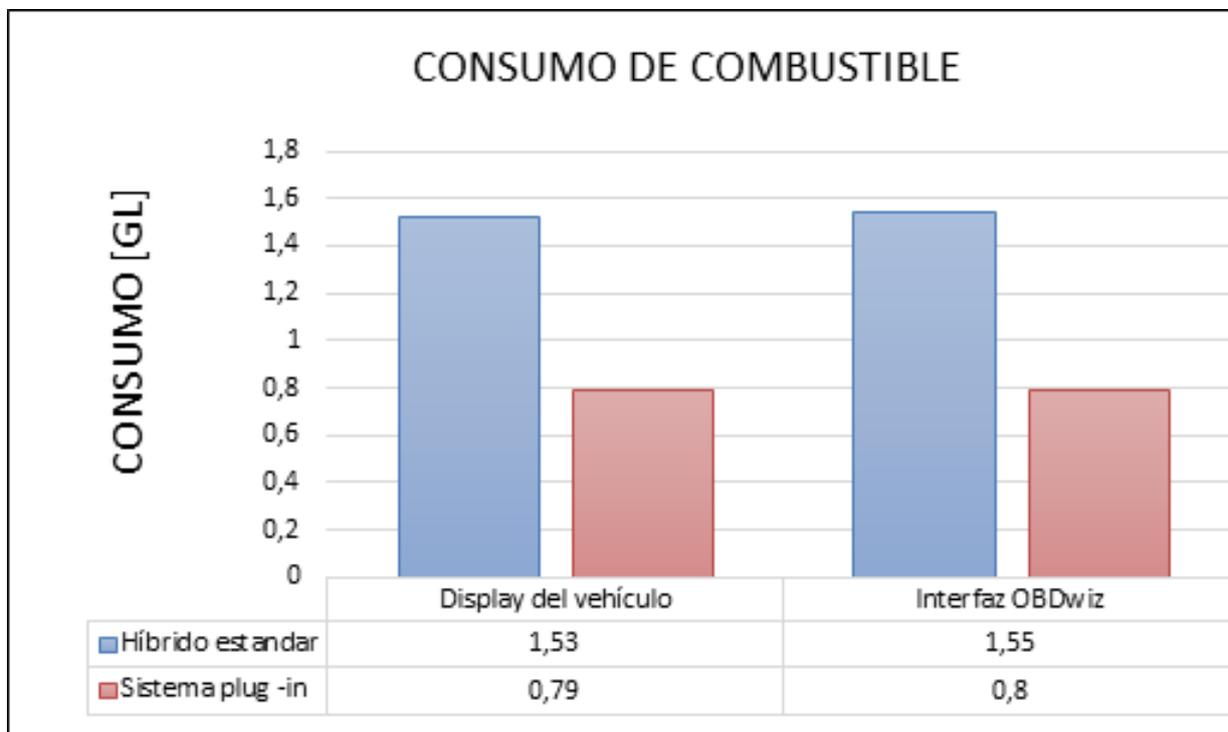


Figura 6: Valores del consumo de combustible en el estado híbrido estándar y sistema plug-in en ciudad.

Fuente: Autores

Al implementar el sistema plug-in en el vehículo Toyota Prius 3G se determinó comparando los valores obtenidos con los dos sistemas de prueba, que existió un ahorro de 48 % de consumo de combustible en la prueba de ciudad y ayudo a reducir el consumo de combustible y por ende se logró disminuir el CO2 al medio ambiente como se muestra en la tabla 4, estos datos de gases se realizó un cálculo como se demuestra en el estudio de (Castillo-Torres, 2011).

Tabla 4. Valores de CO2 del vehículo Toyota Prius 3G en la ruta ciudad

Ruta ciudad		
Condición	Consumo de combustible 100 [km]	CO2
Híbrido estándar	5,8[litros]	13,92 kg CO2
Sistema plug-in	3,02[litros]	7,25 kg CO2

Fuente: Autores

En la figura 7 se observa el dióxido de carbono que emite el vehículo Toyota Prius 3G en la ruta de ciudad con una distancia de 100 km, provocando una emisión de 13,92 kgCO2 con el sistema híbrido estándar y al implementar el sistema plug-in se reduce a 7,25 kgCO2 lo que equivale al 48 % menos de CO2 al medio ambiente.

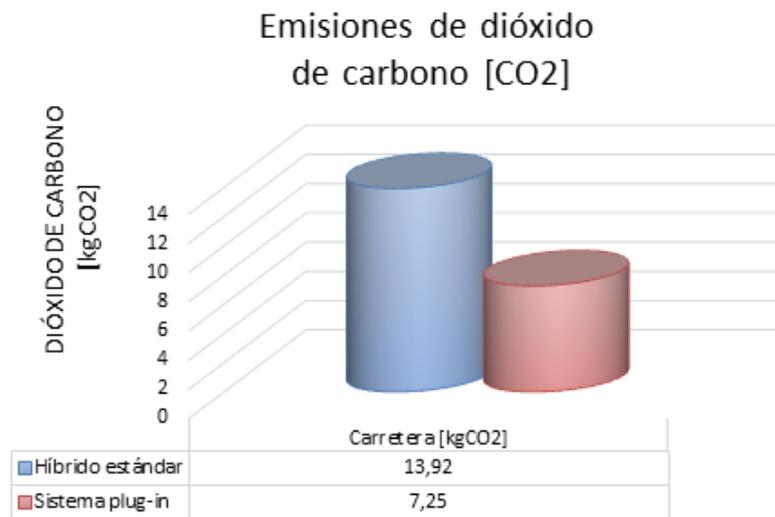


Figura 7: Emisiones de dióxido de carbono del vehículo Toyota Prius 3G con sus dos sistemas de control.

Fuente: Autores

## CONCLUSIONES

- El consumo de combustible en carretera se redujo de 1,46 galones a 1,26 galones al utilizar el sistema plug-in en 108 km, dando un ahorro de combustible en un 18 %, y en la prueba de ciudad en ciudad se redujo en un 48 %.
- En la ruta de carretera con una distancia de 108 km y una emisión de 12 kgCO2 con el sistema híbrido estándar y al implementar el sistema plug-in se reduce a 9,84 kgCO2 lo que equivale al 18 % menos de CO2 al medio ambiente.
- En la ruta de ciudad con una distancia de 100 km y una emisión de 13,92 kgCO2 con híbrido estándar y al implementar el sistema plug-in se reduce a 7,25 kgCO2 lo que equivale al 48 % menos de CO2 al medio ambiente.
- Para la recolección de datos, se estableció un protocolo de ruta tanto en ciudad como

- en carretera con un recorrido de 100 [Km] y 108 [Km] respectivamente, en condiciones de híbrido estándar y con el sistema plug in.
- El consumo de combustible por galón en carretera es de 75,52 [Km] con el sistema híbrido estándar y de 93,10 [Km] al implementar el sistema plug-in dando una autonomía eléctrica de 18 [Km] por cada galón.
- El consumo de combustible por galón en ciudad es de 64,51 [Km] con el sistema híbrido estándar y de 125 [Km] al implementar el sistema plug-in dando una autonomía eléctrica de 60,49 [Km] por cada galón.

## REFERENCIAS

Augeri, F. (17 de Abril de 2011). CISE Electronics Corp. Obtenido de <http://www.cise.com/portal/descargas/file/17-introduccion-al-funcionamiento-y-diagnostico-de-los-vehiculos-hbridos.pdf.html>

Calle, F. J. (2012). Evaluación técnica del desempeño y prestaciones del vehículo TOYOTA PRIUS III generación en la ciudad de Cuenca.

Castillo-Torres, F.-A. (2011). Análisis de rendimiento, consumo y emisiones generadas por los vehículos híbridos. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, 192.

Cuji-Sánchez, H. L. (2015). Diseño y construcción de un modelo de un sistema de recarga inductiva para autos eléctricos. 110.

Delgado, L. F. (2013). Diseño y aplicación de un protocolo de mantenimiento, diagnóstico y reparación del sistema de baterías de vehículos híbridos.

Iniesta, A. (2015). Vehículo eléctrico: ¿Una opción de futuro en los sistemas eléctricos?

Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil. (2007). Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia. Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil, 16.

Ordoñez, C. P. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos. pag.106.

Vicepresidencia de la Republica del Ecuador. (Marzo de 2015). Estrategia Nacional para el cambio de la matriz productiva. Obtenido de <http://www.vicepresidencia.gob.ec/secretaria-tecnica-del-comite-interinstitucional-para-el-cambio-de-la-matriz-productiva/>