

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ENCHUFABLE EN EL VEHÍCULO TOYOTA PRIUS HÍBRIDO DE TERCERA GENERACIÓN

IMPLEMENTATION OF THE PLUG-IN SYSTEM IN THE THIRD GENERATION TOYOTA PRIUS HYBRID VEHICLE

Andrés Moreno Constante ^{1*} Dario Borja Soto² José Beltrán Ruiz³

1 Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Física y Matemáticas, Quito, Ecuador
E-mail: asmorenoc@uce.edu.ec

2 Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Física y Matemáticas, Quito, Ecuador
E-mail: dxborjas@uce.edu.ec

3 Comisión de investigación IST Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jbeltran@istct.edu.ec

* Autor a quien debe ser enviada la correspondencia

Resumen

En los vehículos híbridos uno de los mayores problemas que posee es la vida útil de las baterías de alta tensión por su autonomía y durabilidad. La investigación presenta una mejora en la autosuficiencia eléctrica del vehículo híbrido Toyota Prius de tercera generación al adaptar el sistema enchufable y baterías en paralelo de alta tensión. Se realiza pruebas dinámicas utilizando un modelo de protocolo a fin de realizar pruebas de recorrido con el vehículo en condición híbrida y con el sistema enchufable, los mismos que sirvieron para determinar el recorrido en ciudad en el distrito metropolitano de Quito(100 km) y carretera desde la ciudad de Latacunga hacia la ciudad de Quito(108 km), se monitoreo mediante el uso de una interfaz computacional (OBDLink SX EOBD), la cual muestra el consumo de combustible en galones y la distancia recorrida en millas, permitiendo descubrir una relación entre la distancia y consumo de combustible, donde se comprobó el incremento de la auto eficiencia eléctrica de 48[Km] en ciudad y 20 [Km] en carretera.

Palabras clave– Sistema Enchufable, Vehículo Híbrido, Batería de alto voltaje, Autonomía, Consumo de combustible, Protocolo de pruebas.

Abstract

In hybrid vehicles, one of the biggest problems it has is the useful life of high-voltage batteries due to its autonomy and durability. The research presents an improvement in the electrical self-sufficiency of the third-generation Toyota Prius hybrid vehicle by adapting the plug-in system and parallel high-voltage batteries. Dynamic tests are carried out using a protocol model in order to carry out route tests with the vehicle in hybrid condition and with the plug-in system, which were used to determine the route in the city in the metropolitan district of Quito (100 km) and highway from the city of Latacunga to the city of Quito (108 km), it was monitored through the use of a computer interface (OBDLink SX EOB), which shows the fuel consumption in gallons and the distance traveled in miles, allowing to discover a relationship between distance and fuel consumption, where the increase in electrical self-efficiency of 48 [Km] in the city and 20 [Km] on the highway was verified

Index terms—Plug-in System, Hybrid Vehicle, High-voltage battery, Autonomy, Fuel consumption, Test protocol.

INTRODUCCIÓN

El daño de salud de las personas son causados por numerosos problemas en los que destacan el perjuicio a la capa de ozono y el calentamiento global causado por la contaminación ambiental de los vehículos, por lo que nace la exigencia de utilizar automotores que contengan tecnologías limpias y que empleen energías renovables, con el fin de disminuir las emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera como afirma (Cajamarca & Garcia, 2016).

Los principales retos a cumplir en los últimos tiempos por parte de sector automotriz ha sido disminuir emisiones tóxicas a la atmosfera e incrementar la autonomía del vehículo ya que el problema del calentamiento global que sufre el planeta, se debe a los miles de millones de automotores que transitan alrededor del mundo y a las emisiones contaminantes que generan como se menciona (Naranjo & Moreno, 2017).

El desarrollo de nuevas tecnologías es una notable forma para proteger el medio ambiente, por medio de automotores híbridos que trabajan con baterías de alta tensión y un motor de combustión interna. Los vehículos menciona-

dos tienen hasta un 50% menos de consumo de combustible es así que generan menos gases contaminantes al medio ambiente a comparación de un automotor convencional como se menciona en la investigación de (Cajamarca & Garcia, 2016).

Los vehículos híbridos son un medio tecnológico eficiente con tecnología para el ahorro de combustible y mantener el medio ambiente, ya que el sector automotriz al igual que el mundo entero está pendiente de las emisiones contaminantes producidas por los automotores, es así que se fabrican vehículos con diferentes tipos de propulsión: motor térmico y con motores eléctricos; de esa manera se reduce los gases tóxicos. Al fabricar automotores híbridos se busca aumentar la eficiencia y autonomía mediante tecnología de punta como se menciona (Pástor, 2015).

Los vehículos enchufables tienen como ventaja de los vehículos híbridos en que las baterías de alta tensión se recargan de manera independiente ya que tiene acceso a un conector hacia la red eléctrica de 110 o 220 voltios. Además

que tienen dos condiciones de funcionamiento como son: en distancias que no superan los 10 kilómetros funcionan en modo híbrido y en distancias que son mayores a 10 kilómetros funciona el motor térmico a su vez la parte híbrida, dado estas condiciones la autonomía en modo eléctrico del vehículo va ser mayor como firma (Soto, 2019).

La reutilización de las baterías de alta tensión puede minimizar el impacto ambiental mediante la reducción de energía requerida para su producción, así como los daños medioambientales causados por los peligrosos materiales usados en su fabricación por lo cual el reciclaje de estas baterías de alto voltaje ayudarían en la adaptación de sistemas enchufables dando más vida útil a la batería original y a su vez ayudando en la autonomía del vehículo de acuerdo con (Iza, 2017).

La mayor movilidad que emplea la sociedad es mediante los automotores como medio de transporte es así que para desplazamiento de corta distancia los automóviles con el sistema enchufable son ideales para las ciudades en su entorno rural y urbano ya que en estos trayectos se puede recuperar la energía en las frenadas por medio de los frenos regenerativos y no consumir durante las paradas. Este sería impulsado por el motor generadores y su vez con un motor de ciclo atkinson para realizar autonomías mayores. Cabe destacar que con el sistema enchufable la mayor parte de distancias recorridas son por medio del uso de la energía eléctrica acumulada en las baterías de alta tensión lo que representa energía limpia de la red para su autonomía como expresa en la investigación de (Iniesta, 2015).

Los vehículos enchufables suelen operar en diferentes condiciones dependiente de la trayectoria de manejo que tenga, es así que primero funciona como su parte eléctrica pura hasta que se carguen las baterías de alta tensión ya sea por medio de red eléctrica o por los frenos regenerativos que posee el automotor según (Xiaosong, 2016).

En la comunidad ecuatoriana se puede desarrollar un posible impacto, como la que representa la introducción del vehículo enchufable lo que favorecería a la reducción de gases contaminantes al medio ambiente y mayor autonomía a los automóviles y así que contribuyan sosteniblemente el consumo energético renovable sin desmejorar la movilidad de los ecuatorianos en las ciudades y su calidad de transporte según (Santana, 2016).

Los vehículos enchufables tienen ventajas a comparación de los vehículos híbridos en términos de disminuir las emisiones de gases al medio ambiente, gracias al consumo de energía eléctrica adicional que posee este sistema, en lugar de gasolina u otros combustibles fósiles de acuerdo con (Laberteaux, 2019)(ii)

Los vehículos híbridos presentan la ventaja que tienen la facultad de convertirse en híbridos enchufables con el fin de conectar a la toma de la red eléctrica para recargar las baterías de alta tensión siempre y cuando se implemente el sistema enchufable y las baterías adicionales de alto voltaje .

Con el fin que el vehículo tenga energía adicional y que el motor térmico se encienda en un menor tiempo sin causar una disminución de la autonomía, y así tener la ventaja de la carga de la batería adicional ya que el vehículo puede ocupar la energía eléctrica y circular en modo solo eléctrico y cuando se termine dicha energía el automotor pasará a funcionar como un híbrido normal como señala la investigación de (Guevera, 2015).

En esta investigación se implementó el sistema enchufable, para recargar las baterías de alto voltaje adicionales por medio de un módulo cargador, además se realizó un proceso de carga, descarga y recarga de la batería con el fin de incrementar la autonomía del vehículo Toyota Prius y reducir gases contaminantes al medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación se utilizó un vehículo Toyota Prius de tercera generación en donde se implementó el sistema enchufable y así lograr reducir el consumo de combustible, emisiones de gases al medio ambiente y aumentar su autonomía.

2.1. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA BATERÍA ADICIONAL DE ALTA TENSIÓN

Se realizó la selección de la batería adicional de alta tensión por medio de los procesos de descarga y carga para determinar el porcentaje de duración de cada celda y a su vez una ecualización de voltajes, cabe recalcar que las celdas utilizadas fueron recicladas de los pack que realizan los cambios cuando el módulo del control híbrido detecta una variación de 1V entre cada bloque y es así que se preparó un nuevo pack de 28 celdas a un 75% de vida útil.

2.2. ECUALIZACIÓN DE LA BATERÍA ADICIONAL DE ALTA TENSIÓN

Con la batería adicional de alto voltaje que esta conformada por 28 celdas se procede con la ecualización, lo que consiste en lo siguiente: durante proceso de carga si existe alguna celda dañada esto quiere decir con su capacidad deficiente, existe el riesgo que durante el desarrollo la celda alcance la totalidad de su carga en un tiempo menor y exista una sobrecarga hasta que el resto de las celdas se carguen por completo. Lo que puede ocasionar el incremento de presión y temperatura y a su el deterioro de la celda.

En el proceso de descarga, la celda más dañada o deteriorada puede tener una descarga total llegando a ser probable que el voltaje de la celda disminuya con facilidad hasta que se in-

vierta sus polos, llegando así al daño total de las celdas y de la batería en conjunto.

Para evitar estos daños se realiza la ecualización de las celdas para que las que se encuentren con mayor voltaje cedan a las celdas que poseen menos voltaje equilibrando y obteniendo procesos de carga y descarga pareja.

La implementación del sistema se conformó con diferentes módulos los cuales son imprescindibles para su perfecto funcionamiento y se menciona a continuación.

- Módulo de conmutación del terminal positivo
- Módulo de seguridad
- Módulo de la señal del sensor app
- Cargador de la batería de alta tensión adicional.

Se utilizó el software de simulación de circuitos eléctricos Live Wire en donde se diseñaron los circuitos de cada uno de los módulos que ayudarán al control híbrido del vehículo.

2.3. MÓDULO DE SEGURIDAD

Este módulo es el encargado de no permitir la conducción del vehículo mientras se encuentre conectado el cable al toma corriente de la red de 220V, generando un código de diagnóstico que no habilita el "READY" o encender el vehículo, el diagrama del módulo se observa en la figura 1.

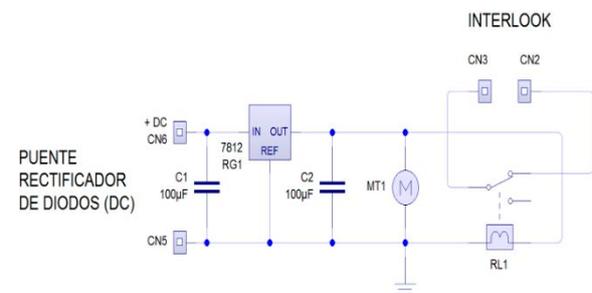


Figura 1. Diagrama eléctrico del módulo de seguridad
Fuente: Autores

2.4. Módulo de la señal del sensor de posición del pedal del acelerador

Para el diseño de este módulo se realizó previamente las mediciones en cada cable del sensor de posición del pedal de aceleración que se detallan a continuación en la siguiente tabla 1.

Tabla 1
Mediciones del sensor de posición del pedal del acelerador

COLOR	[V] CONECTADO	[V] DESCONECTADO	IDENTIFICACIÓN
VERDE	5 [V]	5	Vref
ROJO	8,2 [mV]	8,2 [mV]	GND
BLANCO	-	1,620 [V] / 3,87 [V]	Vs / 100%
AMARILLO	5 [V]	5	Vref
NEGRO	8,2 [mV]	8,2 [mV]	GND
AZUL	-	0,808 [V] / 3,119 [V]	Vs / 100%

Fuente: Autores

El comparador analógico que se seleccionó para poner en funcionamiento el módulo de la señal del sensor APP es el CA3140EZ debido a que es de tipo mosfet y muy sensible a bajas frecuencias siendo preciso al momento de enviar la señal al módulo de conmutación del terminal positivo.

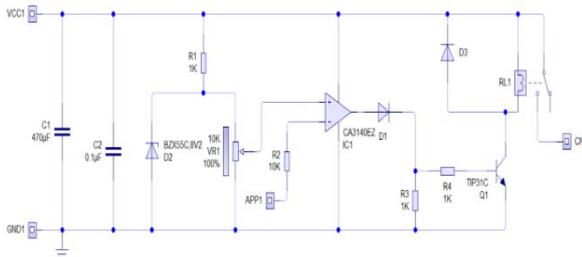


Figura 2: Diagrama eléctrico del módulo de la señal del sensor de posición del pedal de aceleración
Fuente: Autores

2.5. Cargador de la batería DE ALTA TENSIÓN adicional

Es el encargado de recargar la batería de alta tensión adicional a un amperaje de 0,74A, alimentado de la red eléctrica de 220V. El puente rectificador de AC-DC tiene una constante de 1,4 dependiendo del voltaje de la red como se

especifica en la ecuación (1) y en la figura 3 se verifica el diagrama eléctrico del cargador

$$V_f = V_{red} * 1.4 \quad (1)$$

Donde:

V_f : Voltaje de carga. [V]

V_{red} : Voltaje que entrega la red. [V]

$$V_f = V_{red} * 1.4$$

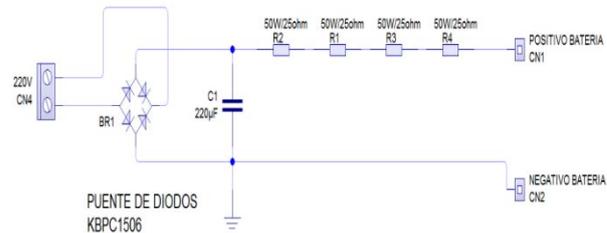


Figura 3: Cargador de la batería de alta tensión
Fuente: Autores

2.6. Módulo de conmutación del terminal positivo

A través de este módulo se conecta en paralelo el terminal positivo de la batería de alta tensión adicional hacia la original en el cual dispone de dos relés encargados de realizar el aporte antes o después del sensor de corriente dependiendo de la señal que reciba del módulo del sensor de posición del pedal del acelerador

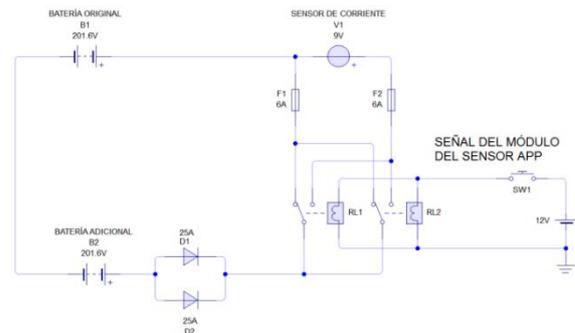


Figura 4: Diagrama eléctrico del módulo de conmutación del terminal positivo
Fuente: Autores

Los equipos utilizados para la comprobación de la batería de alta tensión adicional del vehi-

culo Toyota Prius híbrido de tercera generación fue el un multímetro automotriz para determinar voltajes al iniciales de la carga y final de la descarga, con la ayuda del interface OBDLink SX EOBD permitió elaborar una tabla comparativa del incremento de la autonomía del vehículo al implementar dicho sistema, con la ayuda de la ecuación 2 se pasa de millas a kilómetros.

$$Auto\ d \quad dist\ OBDWIZ \quad \frac{1\ 609\ km}{1\ milla} \quad (2)$$

Donde:

Auto.d: Autonomía de distancia del vehículo [Km]

dist.OBDWIZ: Distancia obtenida con el interfaz [millas]

El trayecto que se escogió para la investigación consistió en cuatro partes tanto en carretera y ciudad con el hibrido original y adaptado los componentes para el sistema enchufable, con el fin de obtener datos iniciales y finales de las dos rutas y verificar la autonomía del vehículo al implementar el sistema enchufable, las cifras de cada prueba son los siguientes: Ruta en autopista con un tiempo de 1 hora con 32 minutos y una trayectoria de 108 kilómetros, el punto de partida fue desde la estación de servicio Petro-Ecuador de la Ciudad de Latacunga hasta el centro comercial Santa María en el sector de Carapungo en la ciudad de Quito. El trayecto en la urbe tuvo como punto de partida desde el centro comercial el Condado hasta el Instituto Vida Nueva en la ciudad de Quito con un tiempo de 6 horas y con una trayectoria de 100 kilómetros.

RESULTADOS

3.1. Análisis de los valores obtenidos en el proceso de carga y descarga de la batería de ato voltaje adicional

Se realizó el proceso de carga de cada celda al finalizar esta prueba las celdas se dejan reposar durante 10 minutos y al realizar la medición con la ayuda de un voltímetro cada celda debe mantener la tensión nominal de 7.2V en caso de que la lectura sea inferior al nominal se descarta la celda. En la figura 5 de detalla los voltajes obtenidos

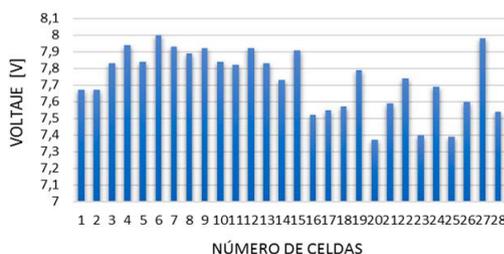


Figura 5: Voltaje de cada celda en proceso de carga Fuente: Autores

El proceso de descargar se lo realizó a 1 amperio durante 2 horas a la batería de alta tensión y a la vez se monitoreo cada 10 minutos el voltaje nominal de cada celda el cual no debe caer del 7,2 voltios, los resultados se identifican en la imagen 6.



Figura 6: Voltaje de cada celda en proceso de descarga Fuente: Autores

3.2. Analisis de resultados de la ecualización de la batería de alto voltaje adicional

Para la ecualización de la batería de alta tensión adicional, se debe conectar en paralelo los

polos de de las celdas, logrando así que las celdas que se encuentren con mayor voltaje cedan a las celdas que poseen menos voltaje equilibrando y emparejando, en la imagen 7 se muestran los resultados



Figura 7: Celdas ecualizadas
Fuente: Autores

3.3. Valores obtenidos en la ruta carretera con el sistema híbrido estándar y con el sistema enchufable.

Con la ayuda del interfaz OBDLINK SX EOBD se obtiene los siguientes valores y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Valores obtenidos en la ruta carretera

Hora Inicio	Hora final	Estado	Distancia [millas]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
07:45	09:17	Híbrido estándar	67.10	1,43
07:45	09:17	Plug in	67.10	1,16

Fuente: Autores

Se desarrolló la conversión de millas a kilómetros con la ayuda de la ecuación 2 obteniendo 108 km de autonomía con 1,43 galones de combustible en híbrido normal y 1,16 galones de combustible con el sistema enchufable obteniendo una autonomía adicional de 20 km en la figura 8 de observan los resultados.

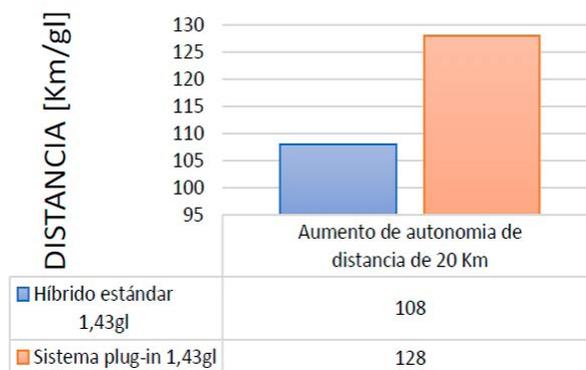


Figura 8: Aumento de autonomía en la ruta carretera
Fuente: Autores

3.4. Valores obtenidos en la ruta ciudad con el sistema híbrido estándar y con el sistema enchufable.

Con la ayuda del interfaz OBDLINK SX EOBD se obtiene los siguientes valores y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Valores obtenidos en la ruta ciudad

Hora Inicio	Hora final	Condición	Distancia [millas]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
08:40	14:40	Híbrido estándar	62.14	1,55
8:40	14:40	Plug in	62.14	0,8

Fuente: Autores

Con la ecuación 2 se realizó la transformación de millas a kilómetros obteniendo 100 km de autonomía con 1,55 gl de combustible en híbrido estándar y 0,8 gl de combustible con el sistema enchufable obteniendo una autonomía adicional de 48 km en la figura 9 de observan los resultados.

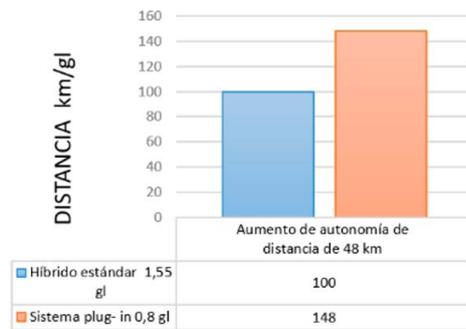


Figura 9: Aumento de autonomía del vehículo Toyota Prius en ciudad
Fuente: Autores

CONCLUSIONES

Se efectuó la selección de las celdas que conformaron la batería de alto voltaje adicional, en el Toyota Prius 3G, en donde se realizó un proceso de carga y descarga para determinar el porcentaje de vida útil de cada una de las celdas, y a su vez una ecualización de voltajes, y de esta manera se armó la batería adicional de 28 celdas, obteniendo un 75% de vida útil.

Se investigó la eficiencia energética del vehículo híbrido Toyota Prius tanto en estándar y con la implementación del sistema enchufable, haciendo énfasis en el aspecto ambiental donde se consideró consumo combustible y autonomía del mismo.

El sistema enchufable está conformado por lo siguiente: módulo de conmutación del terminal positivo, módulo de seguridad, módulo de la señal del sensor de posición del pedal de acelerador y cargador de la batería de alta tensión adicional, y se manejó el software de simulación de circuitos eléctricos Live Wire los que ayudarán al control híbrido del vehículo.

Para la recopilación de los valores, se estableció con pruebas dinámicas las cuales fueras en la ruta de autopista y urbe con una tra-

yectoria de 108 km y 100 km respectivamente en los siguientes estados tanto para híbrido y enchufable.

La prueba de ruta en ciudad se desarrolló dentro del distrito metropolitano de Quito a la misma hora y por consiguiente similar flujo de tráfico teniendo en consideración estados iniciales similares, tanto en híbrido normal y con el sistema enchufable mediante la interface OBD-Link SX EOBD que permitió identificar la distancia recorrida y ahorro de gasolina del vehículo logrando así comparar datos en cada etapa del protocolo de pruebas.

La prueba dinámica en la autopista se efectuó desde la Ciudad de Latacunga hacia el distrito metropolitano de Quito, con una distancia de 100 Km a la hora y estados iniciales similares tanto en el sistema híbrido normal y con el sistema enchufable mediante la interface OBDLink SX EOBD que permitió identificar el consumo de combustible y autonomía del vehículo.

En la prueba de ruta de ciudad que se realizó en distrito metropolitano de Quito en la cual se disminuyó de 1,55 galones a 0,8 galones teniendo así un ahorro de gasolina al adaptar el

sistema enchufable en 100 km teniendo así un aumento del 48 % de autonomía lo que representa 48 km adicionales al activar el sistema.

En la prueba de ruta en autopista desde la ciudad de Latacunga hacia Quito con una distancia de 108 Km se redujo de 1,43 galones a 1,16 galones de consumo de combustible al utilizar el sistema enchufable aumentó en un 18 % la autonomía lo que representa 20 km adicionales al activar el sistema

Una vez aplicado el protocolo de pruebas se identificó que la implementación tiene mayor beneficio en ciudad ya que se obtuvo un aumento de autonomía del 48 % y un ahorro de gasolina del 48.38 % dando así que con 0,8 galones de combustible se puede circular 148 km dando con éxito la investigación del sistema enchufable en el vehículo híbrido Toyota Prius.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cajamarca, D., & Garcia, V. (2016). Determinación De Las Ventajas Ambientales Que Presenta Un Vehículo Híbrido Respecto A Un Vehículo Normal De Similares Características.
- Guevera, E. (2015). Diseño Y Construcción De Un "Sistema Eléctrico Y Electrónico, Para Aumentar La Autonomía Eléctrica De Un Vehículo Híbrido Marca Toyota, Modelo Prius, Adaptando Un Sistema Phev (Plug-In Hybrid Electric Vehicle), En Un Sistema Hev (Hybrid Electric Vehicle)."
- Iniesta, Á. (2015). Vehículo Eléctrico: ¿Una Opción De Futuro En Los Sistemas Eléctricos? <https://E-Archivo.Uc3m.Es/Handle/10016/23352#.Xsurgdmqsoc.Mendeley>
- Iza, H. (2017). El Reciclaje Puede Minimizar El Impacto Ambiental De Las Baterías Mediante La Reducción De Energía Requerida Para Su Producción, Así Como Los Daños Medioambientales Causados Por Los Peligrosos Materiales Usados En Su Fabricación Como En La De Nuevas Bater. 1-126.
- Laberteaux, K. (2019). Optimizing The Electric Range Of Plug-In Vehicles Via Fuel Economy Simulations Of Real-World Driving In California. *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, 73(June), 15-33. <https://Doi.Org/10.1016/J.Trd.2019.05.013>
- Naranjo, L., & Moreno, A. (2017). Investigación De La Eficiencia Energética Del Vehículo Híbrido Toyota Prius Al Implementar El Sistema Enchufable Plug In".
- Pástor, J. (2015). Reutilización De Baterías De Vehículos Híbridos Para El Consumo Alternativo; Como Energía De Emergencia En Viviendas De Bajo Consumo Energético, Recargadas Mediante Paneles Solares.
- Santana, V. (2016). Análisis De La Implantación Del Uso De Vehículos Eléctricos Como Aporte Al Cambio Verónica Leticia Santana Chóez Tutor De Tesis: Ing . Timmy García Carpio , Mba. Análisis De La Implantación Del Uso De Vehículos Eléctricos Como Aporte Al Cambio De La Matriz Productiva Y Su Impacto En La No Utilización De Combustibles Fósiles En El Ecuador., 1-117.
- Soto, D. B. (2019). 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. 26-35.
- Xiaosong, H. (2016). Greener Plug-In Hybrid Electric Vehicles Incorporating Renewable Energy And Rapid System Optimization. *Energy*, 111, 971-980. <https://Doi.Org/10.1016/J.Energy.2016.06.037>