

# Estudio del funcionamiento de un vehículo híbrido convertido a enchufable, estudio de rendimiento y acoplamiento de baterías adicionales

Por Fernando Augeri - [fernando.augeri@cise.com](mailto:fernando.augeri@cise.com) – Fecha de publicación 02-12-2012

**Resumen**—En este trabajo se describe una investigación llevada adelante con un vehículo híbrido al cual se le ha adicionado un paquete de baterías, de tal forma de aumentar la capacidad originalmente instalada. Se intentará demostrar las ventajas del funcionamiento de un sistema enchufable o plug in.

## I. NOMENCLATURA

MG: Moto generador  
 VH: Vehículos Híbridos.  
 EV: Electric Vehicle  
 PHEV: Plug in Hybrid Electric Vehicle  
 MCI: Motor de combustion interna  
 ECU: Unidad de control electronico  
 SOC: Estado de carga  
 MG1: Motogenerador 1  
 MG2: Motogenerador 2

## II. INTRODUCCIÓN

Los vehículos híbridos en la actualidad constituyen uno de los productos cuyo mercado ha crecido considerablemente en los Estado Unidos y Latinoamérica. El aumento en los precios de combustibles y el alto consumo producto de la congestión en las ciudades han sido un factor muy importante para la determinación de compra por parte de los automovilistas de este tipo de tecnologías. En este sentido día a día los fabricantes nos sorprenden con las innovaciones modernas aplicadas para el ahorro de energía en cuanto a su uso y optimización.

La utilización de un motor-generador eléctrico o MG, como lo conocemos con un motor a combustión interna MCI, obligan a que siga existiendo un consumo de combustible, no de forma permanente sino bajo ciertas condiciones de manejo por lo que la necesidad de un vehículo 100% eléctrico se hace más fuerte para solventar este tipo de situaciones.

Sea cual sea la tecnología de automoción a utilizar existe un gran problema que hasta la actualidad ha generado

temas de discusión mundial; la capacidad y almacenamiento de carga de las baterías.

Es por este motivo que hemos desarrollado una investigación dando como resultado un producto final en donde se muestra que tan efectiva es la conversión de un vehículo híbrido convencional a uno enchufable o Plug in.

Es decir y para explicarlo de mejor forma, a un auto híbrido se le ampliara la capacidad de baterías utilizando una batería adicional de alta tensión, que trabajará de forma conjunta y bajo una administración específica. De esta manera perseguiremos disminuir el consumo de combustible en un recorrido inicial luego de una carga a partir desde un tomacorriente de 110 V.

Un punto importante será la adaptación de una toma de carga o plug in que mediante un cargador electrónico conmutado, nos permitirá recargar la batería adicional mediante la red eléctrica de nuestro hogar.

Está demostrado que la mayoría de los conductores recorren no más de 70 kilómetros o 45 Millas diarias. Por menos también.

Se trata entonces de optimizar este recorrido inicial recurriendo en un vehiculo híbrido a una batería de mayor capacidad que fue cargada anteriormente al recorrido.

Luego, y por supuesto, si recorre más de esos kilómetros iniciales, el vehículo será un híbrido normal y utilizará combustible como principal fuente de energía.

Constituye esta la idea motivadora del sistema plug in y en este estudio se intentara demostrar su conveniencia.

El desarrollo e implementación del sistema consta además de estudiar una etapa de CONTROL que nos permita administrar la batería adicional para acoplarla de la forma mas efectiva posible optimizando el SOC calculado por la ECU del sistema.

## III. CONSIDERACIONES INICIALES

### Estado de Carga SOC (State of charge)

Estado de carga (State of charge: SOC) se define como la capacidad disponible de una batería y que podría ser

comparada con el depósito de combustible de un vehículo. Se representa en porcentaje de una referencia de carga completa, el cual debe ser actualizado periódicamente. [1]

La estimación del estado de carga es esencial para alcanzar el comportamiento óptimo de un sistema que controla coches eléctricos o híbridos, para maximizar la utilización del motor eléctrico con respecto al de combustión.

No hay manera directa de medir el estado de carga (SOC) de una batería. Hay formas indirectas de estimación pero cada una sufre de limitaciones

Uno de los factores más importantes que afectan a la estimación del SOC de una batería es el envejecimiento. Debido a los ciclos de carga y descarga, la capacidad de las celdas que forman la batería decrece con el tiempo. Este hecho induce a actualizar el máximo estado de carga disponible para la batería periódicamente ya que es la referencia para calcular el porcentaje antes mencionado. En caso de tomar como referencia el valor nominal para la capacidad de la batería, la estimación puede contener errores de peso. Otros factores que intervienen en la estimación del SOC son los siguientes:

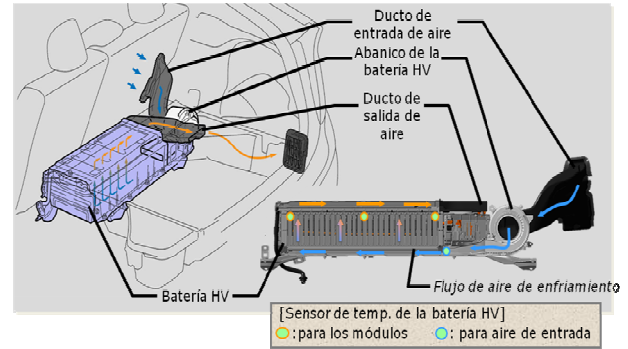
### Tasa de carga y descarga

El proceso electroquímico dentro de las celdas al cargarse y descargarse siempre toma un tiempo finito y no siempre es menor que el estímulo eléctrico que carga la batería. Durante el proceso de carga puede darse un pulso de descarga y no ser realizado por completo dando lugar a imprecisiones en la estimación del SOC. Además, los procesos tanto de carga como descarga consumen energía y la energía suministrada por la batería será menor que la utilizada para cargarla. Esta proporción es llamada Eficiencia coulombica y puede afectar hasta en un 3% de la capacidad disponible.

### Temperatura y tasa de descarga

La dependencia de la capacidad disponible en una batería con la temperatura es directa. Por tal motivo si la temperatura aumenta se pueden presentar imprecisiones en el SOC y esto podría llevar incluso a un fenómeno explosivo de la celda o batería.

Por este motivo todos los autos híbridos y eléctricos vienen con un sistema de enfriamiento únicamente para la batería de alta tensión para evitar este tipo de inconvenientes.



### Auto-descarga

Con el transcurso del tiempo, una batería sufre un proceso de auto-descarga que típicamente es menor del 3% cada mes. Este consumo de energía puede ser apreciable para el caso de tiempos largos entre procesos de carga.

### Procedimientos de carga. Ciclos de carga y descarga.

Sabemos que es posible generar energía a través de una reacción química; entre estas energías, la que nos interesa es la energía eléctrica. Los sistemas capaces de almacenar energía eléctrica en forma de energía química son denominadas celdas electroquímicas. La estructura fundamental de una celda electroquímica consiste en dos electrodos, metálicos en muchos casos, introducidos en una disolución conductora o electrolito: Electrodo Positivo, denominado Cátodo, y Electrodo Negativo, denominado Ánodo.

La caracterización de los materiales empleados como electrodos se basa en observaciones de su comportamiento durante varios ciclos de carga y descarga, denominado ciclabilidad. Algunos términos que se utilizan para caracterizar son:

#### Factor de carga:

Es el cociente entre la capacidad de la curva de descarga y la capacidad de la curva de carga.

#### Eficacia del ciclo:

Es el cociente entre la energía de la curva de descarga y la energía de la curva de carga.

#### Vida media:

Es el número de ciclos carga-descarga a la que puede ser sometido una celda electroquímica antes de descartarla.

#### Efecto memoria:

En el que en cada recarga se limita a la capacidad de almacenar energía.

## Métodos de Estimación del SOC

Existen varios métodos de estimación de estado de carga de baterías que se han ido desarrollando y mejorando. Éstos dependen del tipo de batería y de las posibilidades que cada una presenta, entre los más importantes se pueden mencionar:

### a-Estimación basada en voltaje

Este método se basa en una relación directa entre el voltaje actual de la batería y la capacidad disponible de la misma. Se trata de un método poco preciso debido al comportamiento no lineal de muchos tipos de baterías con respecto al voltaje como las de Ión Litio en un rango de valores intermedio

### b-Medida de la gravedad específica

También es conocido como medida de densidad relativa y es necesario tener acceso al electrolito líquido interno de la batería. La relación entre la densidad del agua y la de una sustancia electrolítica desciende linealmente con la descarga de la celda de batería. Por tanto, midiendo la densidad del electrolito se obtiene una estimación del SOC de la celda. Aunque se trata de un método bastante preciso, no es capaz de determinar la capacidad total de la batería.

### c-Estimación basada en la Intensidad o Corriente

Se llama también Coulomb counting, consiste en la integración de la corriente entrante y saliente en la batería. Este método integra en el tiempo la intensidad que carga y descarga las celdas y su resultado es la carga almacenada en el interior de las mismas. Es calificado como el método más preciso para la estimación del SOC debido a la medida directa de la carga fluyendo hacia y desde la batería.

## IV. OPERACION DEL HIBRIDO

### Funcionamiento del híbrido HV

Se denomina un vehículo híbrido al automóvil donde la energía para su propulsión procede de dos fuentes diferentes, en este caso del combustible y la energía eléctrica almacenada en baterías. En movimiento, el vehículo híbrido se comporta de acuerdo a la demanda de carga exigida por el conductor pudiendo funcionar:

- En modo solo eléctrico EV ( Electric Vehicle).
- En modo combinando utilizando motor de combustión y eléctrico. HV (Hybrid vehicle)
- Y en modo solo impulsado por el motor de combustión.

Los modos de operación resultan ser más que estos 3 descritos dado que en cada caso el sistema puede estar cargando la batería o tomando corriente de la misma.

Todos estos modos de operación se alternan sin que el conductor pueda percibir cual es la fuente de propulsión.

En los eventos donde sobra la energía que entrega el motor de combustión, esta es utilizada para cargar la batería de alta tensión, que luego estará disponible para entregar su energía acumulada y actuar en todas las ocasiones que el motor de combustión este apagado.

Eventos como el frenado son aprovechados para recargar la batería pasando parte de la energía del movimiento a energía eléctrica.

La eficiencia lograda al optimizar el uso de la energía producida por el motor de combustión es notable, y esto se manifiesta en un bajo consumo de combustible. Sobre todo en los recorridos en ciudad donde el consumo es mejor que en carretera, contrariamente a lo que ocurre en vehículos convencionales. Tal es así que podemos tener cómodamente un rendimiento de 15 a 20 kms por litro en ciudad, equivalente a 35 a 45 millas por galón.

De todas formas, y a pesar de la extraordinaria eficiencia, la energía sigue saliendo del combustible, es decir del motor de combustión interna.

### Funcionamiento del híbrido enchufable PHEV

Para este estudio del vehículo híbrido enchufable - PHEV – se incorpora la posibilidad de enchufarlo o conectarlo a la red eléctrica domiciliar para cargar una batería de mayor capacidad. El vehículo sigue siendo un híbrido, pero dispone entonces de una fuente adicional de energía, que mientras dura su carga hará que el sistema recurra menos al motor de combustión, optimizando aún mas el rendimiento durante los primeros kilómetros de recorrido, intentando en este proyecto optimizar al máximo los primeros 20kms de recorrido.

Cuando esta batería se descarga, el vehículo se debe comportar como un HV convencional, es decir volver automáticamente a su condición original.

Para el estudio contamos con un Toyota Prius equipado con un paquete de baterías de alta tensión de mayor capacidad, y el objetivo del presente estudio será estudiar su comportamiento y forma de aprovechamiento para probar la teoría del híbrido enchufable y determinar su conveniencia.

### Modos de operación de un híbrido HV

A partir de investigaciones llevadas adelante hemos determinado que en un vehículo híbrido Toyota Prius o semejante se pueden distinguir nueve (9) modos de operación.

Estos modos se pueden comprobar en otros híbridos de este fabricante como así también en otras marcas donde el diseño de la transmisión y disposición de moto-generadores es semejante. Esto se corresponde a dos moto-generadores MG1 y MG2 mas un motor de combustión interna acoplados en un sistema planetario. [2]

Los modos de operación puedes ser fácilmente vistos observando la pantalla monitor de energía disponible en el mismo automóvil.



Motor: MCI – Motor de combustión interna  
 Batería: Batería de alta tensión  
 Motor eléctrico: MG1 y MG2 (Moto-generadores)

Flecha 1:  
 Sentido saliente: Batería en descarga.  
 Sentido entrante: Batería en carga.

Flecha 2:  
 Hacia abajo: MCI mueve a MG1 y carga batería.

Flecha 3:  
 Hacia la izquierda: MG2 mueve el vehículo.  
 Hacia derecha: El movimiento del vehículo es usado para Mover MG2 y cargar batería.

Flecha 4:  
 Hacia izquierda: MCI empuja el vehículo.

Cuando un vehículo híbrido es encendido un testigo en el panel indica que esta listo para funcionar, esto es indicado usualmente con un indicador READY.

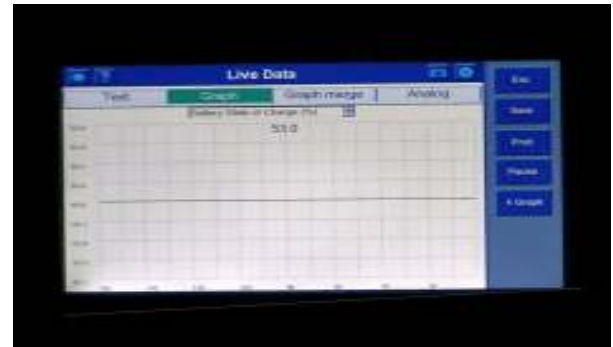


El testigo encendido no significa que MCI este funcionando, solo indica que esta listo para funcionar, es decir que al pisar el acelerador el vehículo se moverá, previa selección de la marcha – D – B o R

Indicador de estado de carga de la batería SOC del sistema.



El estado de carga SOC puede verse en el mismo display del monitor de energía o también en el scanner.



**Distinguimos en el funcionamiento y de acuerdo a las pruebas realizadas NUEVE modos de operación:**

**MODO 1: Vehículo detenido con carga suficiente**

En este modo el vehículo se encuentra detenido y no es necesario encender MCI para cargar la batería.

**MODO 2: Vehículo detenido arranca el MCI, movido por MG1 que actúa como Motor.**

**MODO 3: Vehículo detenido cargando batería, el MCI mueve a MG1 y carga la batería.**



**MODO 4: Vehículo en movimiento eléctrico**, este es el llamado modo EV que se produce a baja carga.



**MODO 5: Velocidad media, vehículo en movimiento cargando batería.** MCI empuja el vehículo y por medio de MG1 carga la batería.



**MODO 6: Carga alta, MCI y MG2 mueven al vehículo y MCI carga batería.**



**MODO 7: Plena aceleración, MCI, MG1 y MG2 actúan como motor.**



**MODO 8: Freno regenerativo**, en condición de pie levantado o frenado MG2 carga la batería cambio en D. Si el vehículo se encuentra en B MG1 y MG2 cargan la batería.



**MODO 9: Reversa**, MG2 gira en sentido inverso y el moviendo hacia atrás es eléctrico.

## V. DESARROLLO DEL PROYECTO

De la observación del monitor de energía y el SOC se sacan las siguientes conclusiones:

Cuando el vehículo se encuentre detenido MCI se pone en marcha para cargar la batería de alta tensión, esto ocurre cuando el SOC cae por debajo del 40% - unos dos segmentos - del indicador del display.

Cuando el SOC se aproxima al 50% el MCI se detiene y deja de cargar la batería.

Esto se corresponde a los MODOS 1, 2 y 3.

De la observación directa de IB (Intensidad de corriente de la batería) en el scanner se puede observar que el régimen de carga de la batería con vehículo detenido es de unos 20 Amp. aproximadamente.

La ECU de la batería del Prius, alojada en el mismo conjunto de la batería, se comunica con los principales equipos híbridos a través del bus CAN. Esta ECU calcula e indica el voltaje de la batería, la corriente que ingresa o sale de la batería por lectura del sensor de corriente, la temperatura, las estimaciones de estado de carga (SOC), la carga máxima y la corriente de descarga. [3]

Cuando el vehículo está en movimiento aparecen los MODOS 5, 6 y 7; hasta que el SOC se eleve llegando a un máximo de poco más de un 80% en conducción en carretera donde MCI es la fuente de propulsión principal del vehículo. En esta condición el display se pone verde.

La estimación del SOC por parte de la ECU de la batería es crítica, ya que el controlador híbrido mantiene el SOC dentro de un 40 a 80% (los límites inferior y superior de la gráfica de la pantalla - no lineal), y trata de mantenerlo en torno al 60%.

Cuando el SOC es superior al 60%, el controlador híbrido trabaja para descargar la batería por el uso de energía de la batería (y menos gasolina), incluso durante el cruceo normal. Esto aumenta a alrededor de 30A (~ 6 kW) a 70% y por encima.

Cuando el SOC está por debajo de 60%, el controlador híbrido funciona para cargar la batería, haciendo que el trabajo de ICE sea más intenso incluso durante el cruceo normal.

Por debajo de 40% del SOC, se suceden cosas no muy previsibles, y MCI suele mantenerse encendido.

Por lo expuesto si la ECU de la batería ve un SOC por encima del 60% el sistema funcionará con mas tendencia a descargar la batería. Si esta batería fuera una adicional de mayor capacidad podríamos lograr un mayor tiempo de conducción en esta condición, que denominaremos modo PHEV.

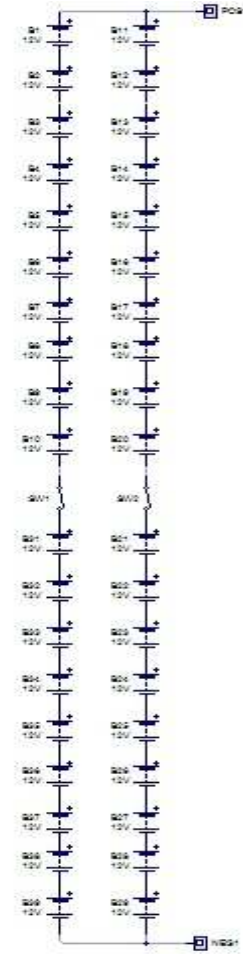
Para este proyecto de PHEV, el objetivo será mantener un SOC de un 60% o por encima hasta que una batería adicional se descargue lo suficiente como para aceptar una nueva recarga o una carga de baja intensidad en recorridos largos.

La corriente de frenado regenerativo se dejará para reponer la batería original tratando de mantener el mayor tiempo posible estados de carga SOC altos, preferentemente entre un 70-80% y de esa forma forzar a un menor uso de la gasolina incluso durante el modo de EV- solamente – hasta que el real estado de la carga de la batería haya llegado cerca de su límite inferior.

Como se presume, el proyecto consistirá en mantener un SOC alto utilizando un paquete de baterías adicional.

Será también interesante en una segunda etapa del proyecto emular el estado de carga SOC que la ECU de la batería lee, para que se pueda agotar más la batería adicional y que cuando esto ocurra el MCI solo vuelva a cargar la batería original.

A diferencia de otros proyectos semejantes el paquete de baterías adicional lo hemos compuesto de 38 baterías de 12 voltios 7.2 Amp/hora en 2 grupos paralelos de 19 baterías cada uno. De acuerdo al siguiente esquema:



Resulta así una batería de un voltaje nominal de 228V. Igual a 38 baterías de 12 voltios en dos series de 19 baterías.

En la mitad de la serie se han colocado dos interruptores para desactivar los paquetes.

Podemos ver los paquetes en las figuras siguientes:

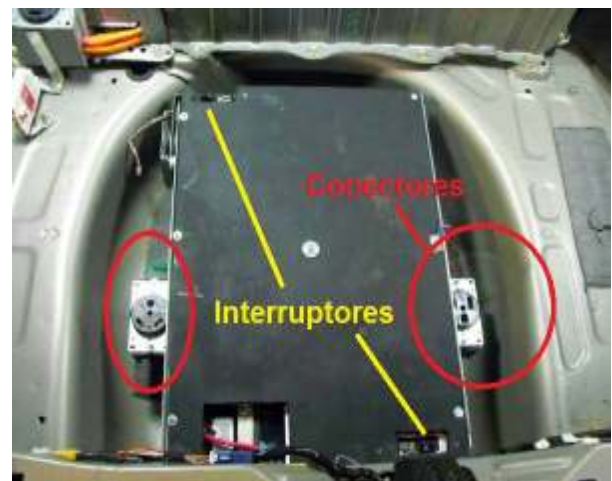


Figura 1: Paquete de baterías inferior - Interruptores



Figura 2: Paquete de baterías inferior



Figura 3: Cableados de conexión



Figura 4: Paquete superior

Se decidió colocar 38 baterías en 2 series de 19, dado que de esta forma y por el tamaño de las baterías empleadas no habrá ninguna alteración en el espacio disponible del baúl original del vehículo. Figura 4

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 corresponden a montaje del paquete de baterías auxiliar.

Se ha dividido en dos partes, la inferior con 14 baterías y la superior con 24 baterías.



Figura 5: Montaje de las baterías en serie de 12 V 7.2 A/H



Figura 6: Fans para enfriamiento y ventilación

La capacidad de la batería adicional será igual a 7.2 A/H duplicado por estar compuesta por dos series de 19 baterías en paralelo, resultando igual a 14.4 A/H.

La potencia de este paquete de baterías adicional será la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Pad} &= ((19 \times 12 \text{ V}) \times 7.2 \text{ A/H}) \times 2 = 3283 \text{ V} \cdot \text{A/H} \\ \text{Pad} &= 3283 \text{ W} = 3.28 \text{ KW} \end{aligned}$$

La capacidad de la batería original es de 6.5 A/H potencia de la batería original es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Pori} &= (28 \times 7.2 \text{ V}) \times 6.5 \text{ A/H} = 1310 \text{ V} \cdot \text{A/H} \\ \text{Pori} &= 1310 \text{ W} = 1.31 \text{ KW} \end{aligned}$$

La Potencia total disponible será = (3.28 + 1.31) KW  
Pot Total = 4.5 KW

Cuando una batería está cargada su tensión máxima es de aproximadamente un 20% más de la tensión nominal.

Es decir para la batería adicional =  $228 \times 1.2 = 273 \text{ V}$

Y para la batería original =  $201 \times 1.2 = 241 \text{ V}$

Teniendo en cuenta esta situación el proyecto buscará cargar ambas baterías, tanto la original como la adicional, cuando el tándem se conecte a la red eléctrica para su carga. Es decir cuando se enchufe.

Se tratará de buscar una forma simple de llevar a su máximo estado de carga a ambas baterías, la original y la adicional.

Para contemplar todas las hipótesis planteadas se recurre al siguiente montaje, que debe tener las siguientes características (Ver Figura 5):

1. Cuando el vehículo esta enchufado se activa el CARGADOR que debe cargar la batería adicional a una corriente de 2 A/H y por medio de la activación del relay RL4 debe enviarse una carga de 0.5 A/h a la batería original. Un sistema de CONTROL se ocupará de la gestión del relay RL4 enviando positivo al punto B cuando el vehículo se encuentre en carga.

2. Cuando el vehiculo se activa para funcionar y luego de la presión por parte del conductor del botón START, y una vez se acoplen los SMR, tomaremos un tiempo de 1 minuto para activar por medio del sistema de CONTROL al relay RL1 que permitirá que la corriente de la batería auxiliar pase por diodos, es decir que no puede retornar a la batería original. La premisa de colocar diodos para su acoplamiento es con el sentido que la batería auxiliar sea utilizada pero no cargada directamente por MG1 o MG2 en freno regenerativo. Se considera en ese punto que la carga almacenada durante el enchufado del vehículo deba ser usada pero no repuesta por el vehículo, que en todo caso debe cargar la batería original.

3. Por otra parte en funcionamiento y con START accionado y READY, el sistema de control debe activar 3l Relay RL4 que permitirá en caso de recorridos largos reponer la batería adicional junto a la original, por medio de las resistencias R4 y R6, a una baja tasa de corriente, menos de 1 Amp.

Todos estos pasos pueden lograrse con unos sistemas electrónicos muy simples de realizar por estudiantes, técnicos o profesionales del medio.

A continuación de muestra un ejemplo del equipo adecuado para las practicas. Se destaca el CARGADOR y el CONTROL.

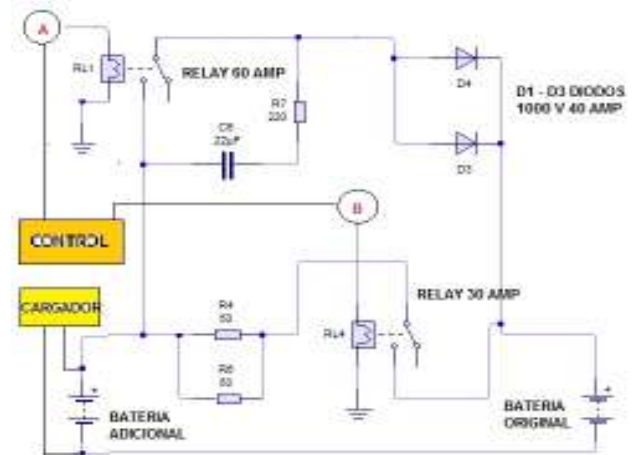


Figura 1 : Circuito de acoplamiento

En la Figura 1 se puede apreciar el sistema de acoplamiento.

BATERIA ADICIONAL: Paquete de baterías agregado.  
BATERIA ORIGINAL: Conjunto de baterías original

Es importante hacer notar que las conexiones sobre la batería original deben ser realizadas sobre las celdas en forma directa, sobre sus terminales directamente.

De esta forma esta conexión queda en paralelo antes del sensor de corriente del conjunto y antes de los relays SMR. Figura 6.



Figura 7: Conector para acoplamiento de batería adicional

El cargador es uno de los elementos mas delicados, Debe cargar un una tasa de 2.5 A/h constantes la batería adicional y la original.

Es uno de los puntos mas sofisticados dentro de este proyecto y es por este motivo que desarrollaremos un artículo especial luego de las pruebas normales de acuerdo a lo esperado. Este explicara el desarrollo del cargador conmutado, Figura 7 y de sistema de CONTROL.

Recurriremos a un cargador conmutado que trabaje por PWM.





Figura 8: Cargador conmutado utilizado en el proyecto

## VI. FUNCIONAMIENTO DEL PHEV

### 1 - Conexión a la red eléctrica – Plug in:

Al conectar el vehículo Figura 6, el CARGADOR es accionado desde un pulsador alojado en el interior. Un amperímetro indica la corriente de carga que se ha establecido en 2.5 amp. Figura 7.



Figura 9: Conector para Plug in

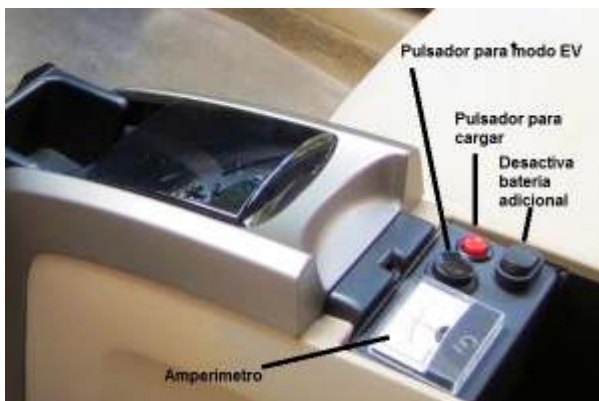


Figura 10: Pulsador y amperímetro



Figura 11: Vista montaje

Observando la Figura 7 el cargador PWM se activa y el sistema de control conecta el relay 4 de tal forma que 2 Amp. circulen por la batería adicional y 0.5 amp, por medio de las resistencias R4 y R6 a la batería original.

La vista del montaje puede verse en la Figura 8.

Adicionalmente se deben encender los ventiladores de la batería. En nuestro prototipo hemos incorporado también una fuente que mantiene con 5 voltios el ventilador del paquete original.

Según las pruebas realizadas todo el conjunto toma de la red eléctrica de 110 V una corriente de 5.4 Amperes.

Dado que las baterías no bajan de un 50 % de SOC a esta tasa de corriente es suficiente dejar en carga de 3 a 5 horas máximo para reponer las baterías.

### 2. Apagado del cargador:

En el prototipo se ha implementado un circuito que detiene el proceso de carga cuando una de las baterías de 12 V componentes del paquete adicional llega a 14.2 V.

Esto se realiza con un circuito comparador de tensión construido en torno de un OA-Amplificador operacional como comparador-, de tal forma de detener el proceso de carga en estas circunstancias. También se ha dotado de un reloj colocado sobre el tomacorriente de carga de tal forma de cortar el suministro eléctrico a las 4 horas. Este corte debe producirse sobre la línea de corriente de 110V AC.

Se han incorporado normas de seguridad sobre le vehículo, a saber:

-Cuando se encuentra conectado a la red eléctrica la carrocería queda conectada a tierra.

- Cuando se esta en modo plug in hemos colocado un relay abre el circuito del interlock de la batería original, de tal forma que es imposible que el vehículo pueda funcionar cuando esta en carga. Esto ultimo con el objetivo de

inmovilizar el automóvil si por error no se desconecta el cable a 110V y se pretende conducir.

3. Funcionamiento:

Al accionar el sistema y presionar START se deben activar los SMR en forma normal. En forma inmediata el CONTROL debe accionar RL4 y un minuto después RL1. Este tiempo de un minuto es para igualar un poco las diferencias de voltajes y disminuir la circulación de corriente, dado que la tensión de la batería adicional es superior a la batería original. Este proceso efectuado por medio de las resistencias R4 y R6 se vera favorecido porque normalmente MCI arranca luego de unos segundos luego de presionar START y READY encendido y carga un poco mas la batería original. Nótese que los diodos no dejan retroceder la corriente, salvo las resistencias que darán un retroceso o eventualmente carga en forma lenta.

El CONTROL debe activar los ventiladores. Transcurridos unos minutos se podrá ver el display totalmente verde y un SOC cercano al 80%.

Figura 9 y 10



Figura 12: Estado de carga alto en el display

ITEM	Unidad	Enlace	Gráficas	Analogo
DTC brake distance	0			km
Component Monitor ENA	Enable			
Component Monitor CMP1	Completo			
+B	13.800			V
Running Time from MIL ON	0			min
DTC brake temp	30			min
State of battery (charge/DOC)	78.5			%
Battery Current	1.78			A
Battery Block Vol-V01	16.91			V
Battery Block Vol-V02	16.94			V

SOC en un 78 %

Se puede observar como la carga de las baterías original y adicional han elevado el SOC del sistema. Dado que la tensión de la batería adicional es mayor que la de la batería original, continuará pasando carga eléctrica y el SOC subirá aun más. Especialmente si se espera que esto ocurra con el vehículo detenido.

VII. EVALUACION DEL PHEV

Para comprobar el funcionamiento se han realizado varias pruebas.

**Prueba 1** – Comparación sobre un recorrido inicial de 5 millas.

En esta prueba se parte inicialmente con la batería adicional descargada, es decir el sistema se comporta en forma original. Se parte de un SOC = 45%.

El monitor de consumo muestra luego de recorrer esas 5 millas y transcurridos 15 minutos un consumo promedio de 30.9 MPG.



Figura 13

Se procede a cargar las baterías y se parte con un SOC de un 80% para realizar idéntico recorrido. El resultado arroja 48.8 MPG.



Figura 14

**Prueba 2:** Otra prueba fue realizada optimizando el manejo observando el monitor de energía y mediante el pedal del acelerador buscando el mejor desempeño, partiendo de baterías cargadas y SOC del 80%.

Inicialmente se procedió a cargar las baterías por 3 horas de tal forma de que al colocar START la batería adicional deje pasar la carga a la batería original y el SOC aumente.

Se puede comprobar que el SOC es calculado en valores altos en la medida que la tensión de las baterías supere los 250Voltios. Vale decir que se puede intentar emular un SOC alto a la ECU de la batería haciendo que esta lea un voltaje alto entre los extremos la seria de baterías.

Partiendo de una condición de alta carga a los pocos minutos el rendimiento mejora conforme pasa carga de la batería adicional a la original.

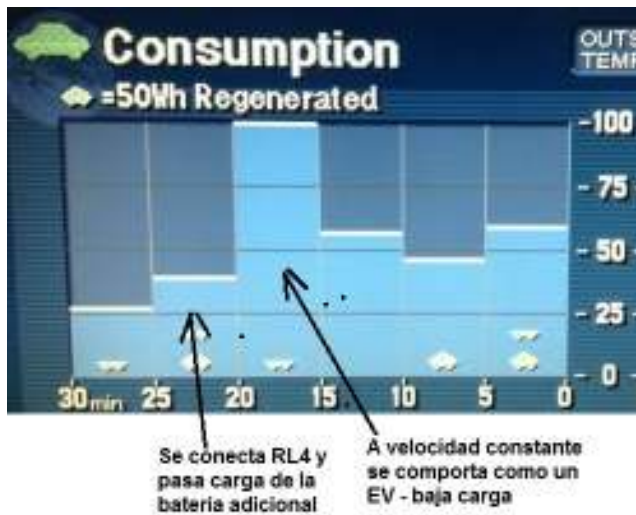


Figura 15

En esta prueba fue posible conseguir períodos de funcionamiento de 100 MPG.



Figura 16

En la imagen se puede observar el vehículo marchando a 43 M/h y comportándose como un EV.

Esta prueba permitió conducir el vehículo por 30 minutos en un recorrido de 15 millas, obteniéndose un rendimiento superior a los 50 MPG. Estimado este consumo dentro de los mas bajos considerados [4] y mejores dentro de este tipo de vehículos.

## VIII – CONCLUSIONES

Por las pruebas realizadas se puede estimar que el vehículo PHEV es una solución muy aceptable y racional a la reducción del consumo de combustibles.

En las pruebas hemos determinado que el mayor rendimiento se obtiene al usar el vehículo en modo PHEV, es decir dejando que el motor MCI funcione en forma combinada con los moto-generadores. Esto ha posibilitado reponer la batería adicional en solo 3 horas a un régimen de carga muy bajo y conseguir así una importante reducción en los primeros kilómetros o millas de recorrido.

Incluso el desempeño a sido mejor que en la opción pura en modo EV, que si bien no utiliza combustible lleva el SOC de la batería a un estado muy bajo y luego se necesita una carga importante para reponerla.

Se estima que la solución PHEV es la más apta en todo sentido, al menos hasta el momento que el vehículo 100 % eléctrico sea mas aceptado. Esto seguramente necesitara cambios y ampliaciones en la redes eléctricas.

En cambio el PHEV no necesita corrientes alta para ser cargado dado que la batería no es de gran capacidad.

Por estas pruebas quede demostrado que llevando la capacidad de la batería adicional a 8 KW se podría incrementar al moto PHEV a mas de 50 Kmts o 32 Millas, esto alcanzaria para cubrir recorridos en la ciudad quemando mucho menos combustible en el motor MCI.

Una batería de 8 KW se podría cargar a una tasa de 10 amperes en un tiempo corto.

Por otra parte el PHEV no tiene limitación alguna de autonomía mientras tenga combustible en el depósito. La gran ventaja es que si el conductor lo conecta diariamente el consumo de combustible disminuye notablemente.

Se deja en claro que este trabajo se lo desarrollo en base a un Vehículo Híbrido Real Toyota Prius 2005 lo que nos permitió realizar las diversas pruebas e investigaciones mencionadas.

Como parte del proyecto y en este caso en particular queda pendiente la posibilidad de emulación del SOC para que el vehículo cuando así se desea pueda operar descargando aun mas la batería en el modo PHEV a SOC menores del 60% y así descargar mas la batería adicional.

## IX. Referencias

Reportes Técnicos:

[1] <http://www.eaa-phev.org>

[2] "Introduction to Hybrid Vehicles II", Fernando Augeri - CISE Electronics – 2010

[3] "High-Voltage Battery", Toyota manual - 2009

4] "State of Charge", Don Anair and Amine Mahmassani. Union of Concerned Scientists (2012): 10  
[http://www.ucsusa.org/assets/documents/clean\\_vehicles/electric-car-global-warming-emissions-report.pdf](http://www.ucsusa.org/assets/documents/clean_vehicles/electric-car-global-warming-emissions-report.pdf)

Papers:

"Power Electronics and Motor Drivers Laboratory", "Hybrid and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Research" by Illinois Institute of Technology.

"Regeneration of Power in Hybrid Vehicles", R. Apter, M. Prätaler  
[http://www.ccat.ch/ccat\\_picture/regeneration.pdf](http://www.ccat.ch/ccat_picture/regeneration.pdf)

"Toyota's Newly Developed Electric Gasoline Engine Hybrid Powertrain", K. Sasaki, EVS 14, 1998.