

# Estudio del Sistema Electrónico y componentes del Inversor de un Automóvil Híbrido

Por Fernando Augeri - [faugeri@cise.com](mailto:faugeri@cise.com) - Fecha de publicación 23-02-2009

**Resumen**—En el siguiente trabajo se presenta estudio y análisis de los diferentes componentes electrónicos que se encuentran dentro de un sistema inversor en un vehículo híbrido y verificando su funcionamiento mediante simuladores electrónicos.

**Términos**—Live Wire, IGBT'S, IPM .

## I. NOMENCLATURA

DC: Corriente Directa.

PZEV: Emisiones Cero de Forma Parcial.

VH: Vehículos Híbridos.

MG: Motogeneradores.

## II. INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de reducción de emisiones contaminantes por parte de los vehículos y a los elevados costos que los combustibles convencionales han logrado alcanzar en los últimos tiempos se han comenzado a implementar desde hace varios años en los diferentes países tecnología alternativas, que permitan mejorar las condiciones de propulsión del vehículo reduciendo los contaminantes [2].

Dentro de las más novedosas tecnologías se encuentra la de los vehículos híbridos (VH), 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 ésta tecnología esté 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 [1].

La base importante de un VH está dada por un motor de combustión interna que trabaja de forma alternada con un motor eléctrico, este motor puede ser también generador en algunas condiciones y todo el sistema utiliza una batería de alto voltaje para almacenar carga eléctrica [1].

Esta tecnología es muy avanzada y permite utilizar por ejemplo la cinética del frenado para convertir al motor eléctrico en generador y establecer la carga de la batería de alta tensión. Lógicamente todo este evento se logra por la electrónica incorporada en la unidad de control del sistema [1].

En el diseño de un automóvil híbrido, el motor térmico es la fuente de energía que se utiliza como última opción, y se dispone un sistema electrónico para determinar qué motor usar y cuándo hacerlo [1].

En algunos es posible recuperar la energía cinética al frenar, que suele disiparse en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica. Este tipo de frenos se suele llamar "regenerativos".

En este trabajo se propone realizar un estudio de todos los componentes electrónicos que forman parte del sistema Inversor, analizando cada una de las funciones que cumplen para el accionamiento de los motores eléctricos y su lógica de control para lograr la eficiencia del sistema híbrido.

## III. DESARROLLO DEL PROYECTO.

El primer paso consiste analizar cada etapa de funcionamiento del inversor para ello contamos con un vehículo marca Prius para proceder a desarmar el módulo completo e interpretar cada uno de los elementos y la función que cumplen en el sistema. A continuación desarrollaremos en un simulador electrónico el circuito completo del inversor con el propósito de facilitar su estudio en futuros cursos ofertados por la empresa.

El diagrama de bloques del desarrollo del proyecto, se lo describe en la Figura 1.

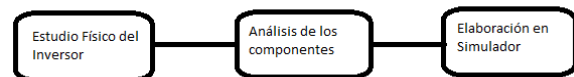


Fig. 1. Sistema completo en simulink.

Una vez manifestado nuestro punto de alcance dentro de este proyecto, procedemos a realizar cada uno de los puntos nombrados anteriormente.

#### IV. FUNCIONES DEL INVERSOR

Para el desarrollo de este punto se cuenta con un vehículo Prius - Figura 2, en donde situamos el inversor en el compartimiento del bloque motor de lado izquierdo.



Fig.2. Vehículo Prius.

El inversor cumple con las siguientes funciones principales:

Elevar la tensión de 220 V aproximadamente a una tensión de 500 VDC aproximadamente, esto lo logra con un circuito Amplificador.

Con la tensión de 500VDC y usando la electrónica de potencia generar una corriente Alterna en tres fases para conseguir el movimiento de MG2 y MG1 de forma independiente, dentro del inversor se consigue la etapa de potencia, pero el control está a cargo de la unidad de control del sistema HV.

Permitir invertir la situación de operación de MG1 Y MG2, logrando por momentos convertirlos en generadores, y llevando esta carga hasta la batería de alta tensión HV.

Utilizando la tensión de la batería de alta Tensión HV, generar una corriente alterna en tres fases, que sea capaz de mover un motor eléctrico que opera el sistema compresor para el Aire Acondicionado.

Permitir la carga de la batería de 12 V utilizando como fuente la carga de alta tensión de la batería HV, para esto utiliza un circuito convertidor DC – DC incorporado en el mismo conjunto del inversor, toda la gestión es dada por la unidad de control electrónico del sistema híbrido HV.

Aparte de estas funciones principales el inversor figura 2 se cuenta con otras adicionales, como es por ejemplo las mediciones de temperatura y corriente de los componentes internos del sistema, siempre basados en el monitoreo de la

ECU HV. Para prevenir cualquier malfuncionamiento que pueda colocar un riesgo el sistema.



Figuar 2. Sistema Inversor.

Luego de entender la utilización del inversor procedemos a desmontar el mismo para ubicar cada componente y proceder a realizar diferentes interpretaciones y verificar los diferentes circuitos electrónicos.

#### V. ELEMENTOS DEL SISTEMA INVERSOR

El procedimiento de desmontaje del inversor es muy sencillo, únicamente levantamos todos los tornillos que sujetan por la base y al momento de levantarlo es recomendable utilizar un pinza de presión para taponar la cañería de refrigerante y evitar que se derrame. Se recomienda colocarlo sobre una mesa para facilitar el trabajo figura 3.



Figura 3. Sistema Inversor desmontado.

Por la parte inferior presenta unos ductos por donde circula líquido refrigerante, esto contribuye con el enfriamiento del inversor ya que al estar sometido a voltajes y corrientes altas tiende a calentarse Figura 4.



Fig.4 Ductos de conducción de líquido refrigerante.

Al momento de analizar la parte interna del inversor nos damos cuenta que el sistema se divide en dos partes, una encargada de manejar los Moto Generadores y otra que maneja el motor del Aire Acondicionado y el conversor DC – DC. La primera contiene una fuente (ELEVADOR o BOOSTER), que levanta a partir de los 220 V aprox. de la batería hasta una tensión de 500 V y la segunda que opera con la tensión de 220 V aproximadamente, en la figura 5 se observa un diagrama sobre cada una de estas partes:

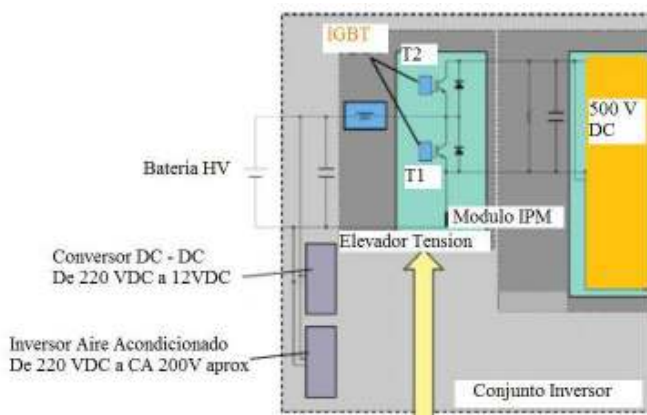


Figura 5. Etapas de trabajo del Inversor.

El elevador de tensión es la clave del mecanismo inversor, está compuesto por un reactor, y modulo denominado IPM que en su interior contiene un par de transistores IGBT, los cuales son accionados de forma muy precisa para cumplir dos funciones específicas la primera crear con el reactor una fuente SWTCH que eleve la tensión y siga a la parte de control de los moto Generadores y la segunda permitir el paso de tensión hacia la batería en el momento en que los moto generadores trabajen como generadores.

El Modulo IPM y el reactor son unos elementos de potencia importante y este módulo a la salida de 500 V cuentan con un circuito RC (Resistencia condensador, que genera estabilidad al sistema y descarga el condensador cuando se desconecta de las baterías, estos se observan en la figura 6.



Figura 6. Módulo IPM y grupo Resistencia Condensador

Este paquete cuenta con 3 condensadores cuya función es almacenar los picos altos de voltaje y entregar luego el voltaje manteniendo así un valor alto y mejorando el rizado, haciéndolo más constante. Dicho voltaje alcanza valores aproximados a 500 V. En paralelo a este paquete de bobinas encontramos una resistencia de descarga equivalente a 63 K ohm, consiste de varias resistencias de altos valores conectadas en paralelo para poder lograr una mejor disipación de la potencia en la descarga de los condensadores cuando el sistema es deshabilitado, ya que al tener una sola resistencia la potencia que debería disipar resultaría demasiado alta figura 7.



Figura 7. Resistencias de descarga

El reactor es una Bobina que se encuentra en serie con el circuito como se puede apreciar en la figura 8, todas sus conexiones se encuentran enlazadas con Tornillos fuertes y en este punto no deben existir resistencias o caídas de tensión.



Figura 8. Bobina o Reactor.

## VI. GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA.

Cada uno de los moto Generadores MG1 MG2 es un motor Trifásico de corriente alterna, la conexión de cada uno de ellos es tipo estrella como en la figura 9, el detalle de operación de los motores trifásicos se explicara más adelante, para este ejemplo se va a partir de la base que cada uno de estos motores Requiere Tres fases de corriente Alterna. Que se

encuentren desfasadas entre sí a 120 Grados, en relación a la rotación del motor.

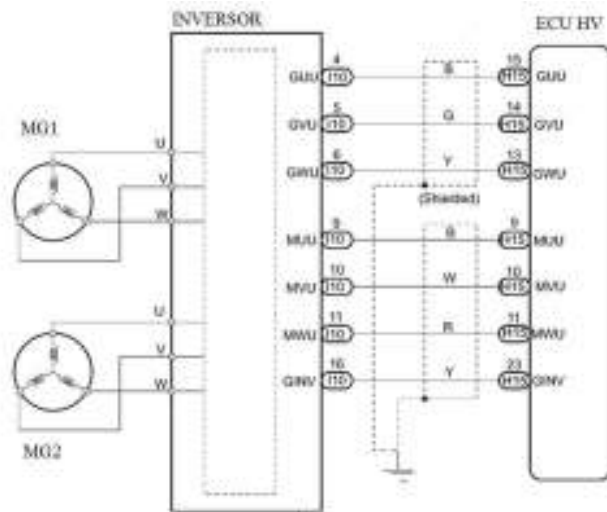


Figura 9. Sistema de control de los moto generadores

Según el grafico se debe analizar cada una de estas fases U, V, W en cada una de ellas, debe existir un flujo de corriente que cambie de sentido con relación al tiempo, toda la estrategia de generar esta corriente alterna y desfasarla en el momento correcto la gestiona la ECU HV, pero la potencia de este mecanismo está dada por el Inversor que Utilizando unos poderosos transistores IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), logra este complicado procedimiento. El circuito de conexión de cada una de esas fases, con el INVERSOR, específicamente en la parte de los transistores se puede observar en la figura 10.

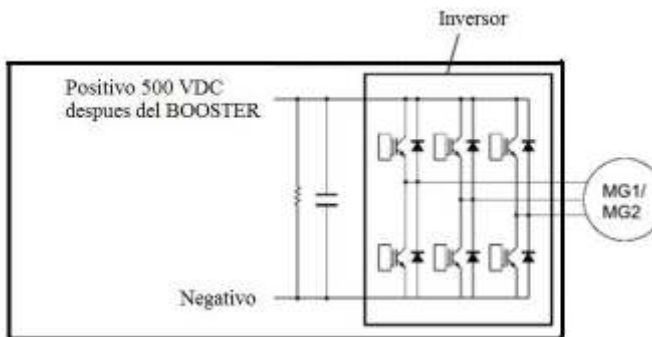


Figura 10 Control de MG1 y MG2.

Existen varios parámetros que el Modulo HV verifica, como son por ejemplo la temperatura de los motores o Inversor y la corriente que toman los mismos, estos datos se pueden apreciar en el scanner, pero para esto el sistema incorpora novedosos mecanismos en su interior que permiten evaluar estos parámetros, en la figura 11 se puede observar unos sensores que miden la corriente interna en los circuitos del inversor.



Figura 11. Sensores de Corriente dentro del Inversor.

Como complemento a la medida de corriente, el sistema HV puede evaluar la Temperatura Interna de circuito o cuerpo del Inversor o Motores, en este caso se puede apreciar figura 12 uno de estos sensores, que también se podría monitorear en el scanner



Figura 12. Sensor de temperatura en el inversor.

## VII. DESARROLLO DE CIRCUITOS PRIMERA ETAPA.

La primera parte para a estudiar consiste en el trabajo del IPM y la forma en la que eleva el voltaje. En el primer paso la unidad de control ECU HV activa al transistor IGBT T1 cargando la bobina (Reactor) directamente con la tensión de la batería HV, cuando la unidad de control del sistema Híbrido HV desactiva el transistor T1, se generara una auto inducción de la bobina reactiva, lo cual presentara una extra tensión en el Punto A. En este momento el Transistor 2 T2 se encuentra desactivado, quedando como único paso el diodo 2 D2 el cual se polarizara con una tensión positiva, es decir, solo pasara hacia el condensador tensiones positivas, y D1 no permitirá el paso de esa tensión positiva a masa puesto que no lograra ser polarizado figura 12.

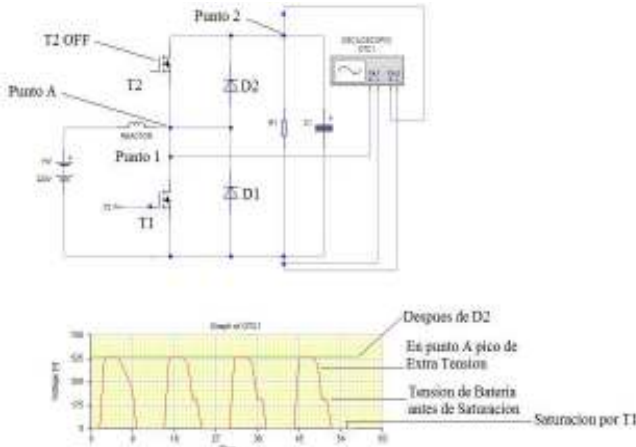


Figura. 12 Circuito en Simulador del elevador de tensión.

Al pasar los picos de extra Tensión a través del Diodo se llega al conjunto de condensadores los cuales ayudan a estabilizar esta tensión.

Para la operación del IPM en la estrategia de carga de la batería, cada una de las fases de los Moto - Generadores operan corriente alterna, esta es generada por el Inversor en la etapa 2 figura 13 y va hacia uno de los moto Generador MG cuando trabaje como motor eléctrico, pero por momentos este va a generar energía eléctrica usando por ejemplo el movimiento de vehículo (Freno Regenerativo), en ese momento funcionara como Generador y en ese caso será MG1 o MG2 quienes generen la corriente Alterna. Esta corriente debe entrar a la batería como Corriente Directa, para eso debe pasar por la Etapa 2 y el conjunto IPM.

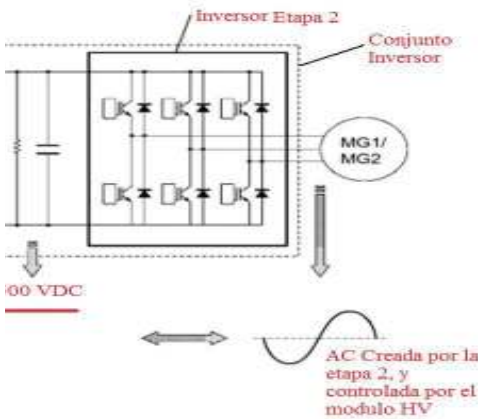


Figura.13 Etapa de Regeneración de Energía.

En la figura 14 que se evidencia a continuación se puede apreciar eléctricamente como opera este mecanismo, el cual es similar al de un Alternador Vehicular.

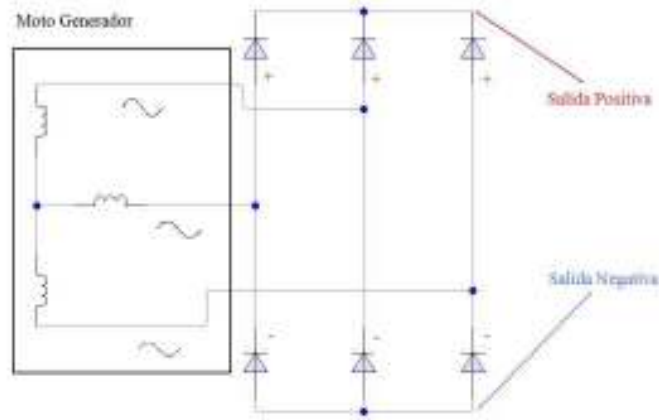


Figura 14. Circuito de Funcionamiento para la recarga de batería

Una vez que pasa por este circuito se tiene una salida Positiva y Negativa de Corriente directa, que también se estabiliza gracias al paquete de condensadores, lo interesante está en la forma en que esa tensión va a pasar a la batería HV.

La Tensión para que ingrese debe ser mayor que la de la batería HV como primera medida, luego cuando llegue al IPM esta tensión no podría pasar directamente puesto que el diodo 2 no está correctamente polarizado. Es en ese momento cuando la unidad de control del sistema Híbrido deja de operar a T1 (Quien controla la fuente conmutada) y permite la activación de T2 creando así un paso para la tensión que se encuentra en el Punto 3 Mostrado en la figura inferior. Se debe recordar que la tensión del Punto 3 es el producto de la generación de corriente de los MG.

En ese momento comenzara a ingresar carga a la batería, pasando por el reactor, que por su baja resistencia, no generará gran caída de tensión. En la figura 15 se puede Observar el paso de la tensión a través de T2 sombreado en naranja.

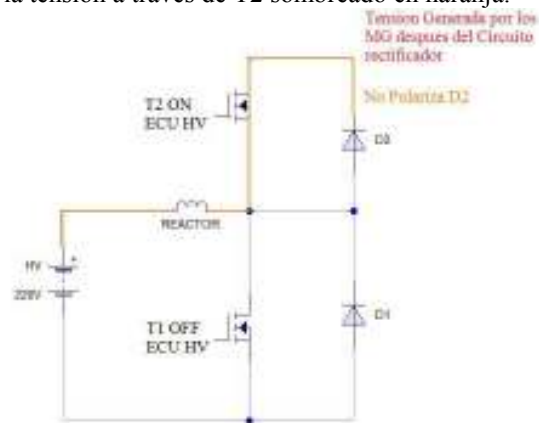


Figura 15. Circuito de carga de Batería

VIII CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DE LOS MOTO GENERADORES.

El motor trifásico se compone fundamentalmente de un rotor y un estator. Ambas partes están formadas por un gran número de láminas ferromagnéticas, que disponen de ranuras, en las cuales se alojan los devanados estatoricos y rotoricos respectivamente. Al alimentar el bobinado trifásico del estator, con un sistema de tensiones trifásicas, se crea un campo magnético giratorio, el cual induce en las espiras del rotor una fuerza electromagnética, y como todas las espiras forman un circuito cerrado, circula por ellas una corriente, obligando al rotor a girar en el mismo sentido que el campo giratorio del estator [4].

Para la activación de estos motores y representar el arreglo de Estrella del Motor en tres fases vamos a utilizar motores DC. Si se observa la Figura inferior se puede apreciar el conjunto de los transistores y la conexión de cada fase del motor. Se mostrará cómo se genera la inversión de la corriente. Figura 16.

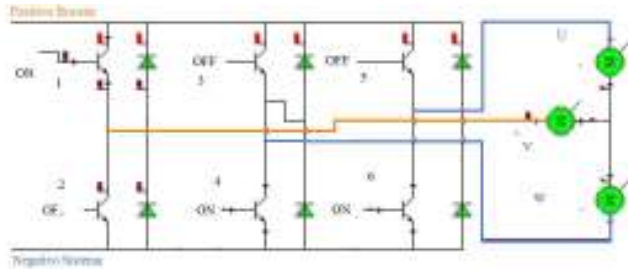


Figura. 16 Circuito de control de Motores Trifásicos.

En primera medida se va a tener activos los Transistores 1, 4, 6 de esta forma al activarse el No 1 conmutara positivo que toma por el colector y lo lleva directo a la fase V.

Al mismo tiempo se puede observar que activado el Transistor No 4 se conmuta negativo a la Fase W, al estar también Activado el Transistor No 6 se coloca Negativo en la fase U, si se quiere invertir la corriente sobre las bobinas de los Motores, es necesario activar los transistores 2, 3,5 y de esta forma al activarse el transistor No 2 conmutara negativo a la fase V, el negativo lo toma por el Emisor y lo conmuta a través del colector.

Al activarse el transistor No 3, este colocara positivo a la fase V, el positivo lo toma por el colector y lo transfiere a la fase a través del emisor, y en el momento que se activa el transistor No 5, este conmutara positivo también a la fase U, este lo tomara por el colector y lo pasara a la fase a través del emisor, las líneas rojas en la gráfica representan el Positivo y las Azules el negativo.

Si se puede observar en los dos grupos de activaciones se logran invertir las polaridades sobre las bobinas, al invertir las polaridades, realmente se realiza una inversión en la corriente que circula por las mismas con lo que se consigue una

corriente alterna, la frecuencia de operación será la frecuencia a la cual se activen los transistores y las características en la secuencia de la activación es la que permite el desfase a 120 Grados en los motores.

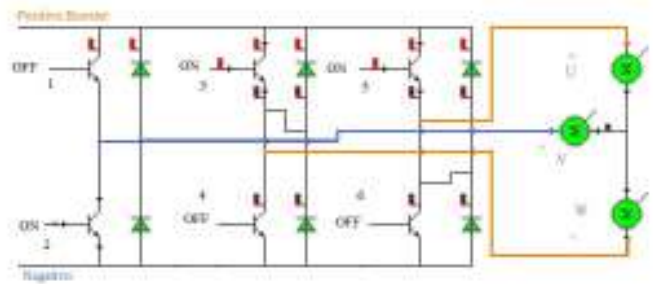


Figura. 17 Conmutación de la Corriente Trifásica

Toda la estrategia de operación la realiza, el Modulo HV pero la potencia del sistema la maneja el invertir, con los poderosos transistores IGBT.

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los primeros resultados a presentar son relacionados a la obtención de las señales U,V y W que comandan la activación de los Motogeneradores, mediante un osciloscopio Figura 18,

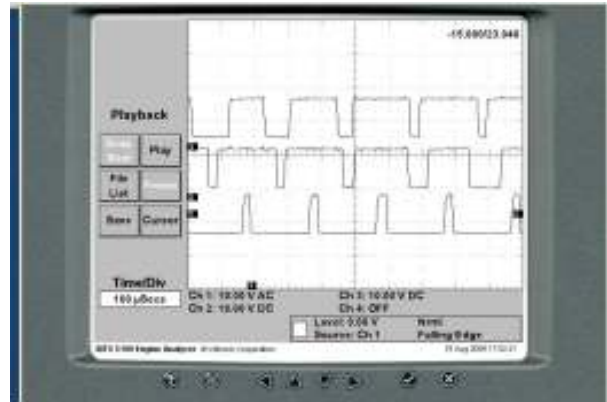


Fig. 12 Señal U,V,W de Inducción del Motogenerador

Las señales de disparo de los 6 IGBTs son presentadas a continuación, a partir de estas señales obtenidas se van formando las anteriormente mostradas.

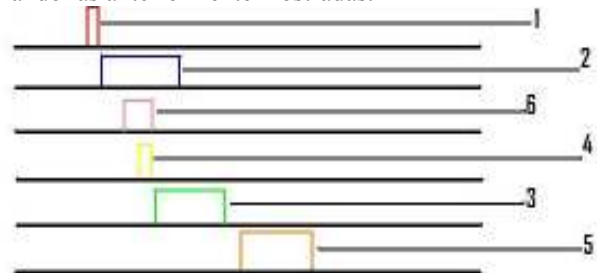


Fig. 13 Señales de Disparo de Igbts control de Motogeneradores.

## X. CONCLUSIONES.

Todo el trabajo desarrollado se implemento bajo una plataforma de simulación cuyos resultados se espera comprobarlos con la construcción y desarrollo de un prototipo a futuro.

Los resultados obtenidos son los esperados ya que se pudo entender el funcionamiento real del inversor y la participación que cumplen cada uno de los elementos que lo conforman.

Está técnica que utiliza el Modulo de control híbrido para el comando de los IGBTs es por PWM o modulación por ancho de pulso, para el control de motores eléctricos.

## XI. REFERENCIAS.

### Reportes Técnicos:

- [1] Fernando Augeri CISE Electrónica "Introducción a los Vehículos Híbridos 2008".
- [2] FITSA "Tecnologías de Propulsión Híbridas 2007"

### Libros:

- [3] Chee Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machine Using Matlab Simulink Indiana 1998 Pag 373.
- [4] Mohan/Undeland/Robbins, Power Electronics Converts Applications and Design, John Wiley and Sons, 1989.

### Papers:

- Power Electronics and Motor Drivers Laboratory Hybrid and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Research at Illinois Institute of Technology.
- R. Apter , M. Práthaler Regeneration of Power in Hybrid Vehicles
- K. Sasaki, "Toyota's newly developed electric gasoline engine hybrid powertrain", EVS 14, 1998.
- S Ayasun DC Motor Speed Control Methods Using MATLAB/ Simulink and Their Integration into Undergraduate Electric Machinery Courses