

# **Sistema para el control y prueba de motores síncronos con base en el procesador digital de señales TMS320**

## ***Fermín Hugo Ramírez Leyva***

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, C.P. 69000,  
Oaxaca, Teléfono: (01953) 5320399 ext. (555)  
*hugo@mixteco.utm.mx*

## ***Mónica Edith García García***

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, C.P. 69000,  
Oaxaca, Teléfono: (01953) 5320399 ext. (555)  
*mgarcia@mixteco.utm.mx*

## ***Felipe Santiago Espinosa***

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, C.P. 69000,  
Oaxaca, Teléfono: (01953) 5320399 ext. (555)  
*fsantiag@mixteco.utm.mx*

## ***Gerardo Cruz González***

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, C.P. 69000,  
Oaxaca, Teléfono: (01953) 5320399 ext. (555)  
*gercruz@mixteco.utm.mx*

## **Resumen**

En este trabajo se explica la forma en que se integró una plataforma experimental para realizar control de velocidad y posición con un motor síncrono de imanes permanentes. Se usa una kit de desarrollo de la firma Texas Instruments con base en el controlador digital de señales TMS320F28335, el cual tiene todos los sensores de corriente, voltaje y el inversor para controlar este tipo de motores. Sin embargo no tiene capacidad de

capturar mediciones por periodos largos de tiempo, por lo que se implementó un sistema de acondicionamiento externo para el registro de los voltajes, corrientes y par de carga. Se montó un electrodinamómetro con un motor de CD para variar el par aplicado al motor y de esta manera probar al sistema ante diferentes condiciones de operación.

**Palabra(s) Clave(s):** control de campo orientado, controlador digital de señales, electrodinamómetro, motor síncrono de imanes permanentes.

## **1. Introducción**

La palabra “servo” tiene su origen en la palabra Latina “Servus”, la cual significa Esclavo. La palabra Servo es usada para describir, en sistemas automatizados, un sistema de control de movimiento, donde la posición de la carga es controlada por el movimiento (rotacional o lineal) del actuador [1]. Normalmente poseen un alto rendimiento dinámico. El rango de potencia de los servomotores varía de una fracción de kW hasta 100kW. Los servomotores se utilizan en periféricos de computadoras, vehículos eléctricos, máquinas herramientas, elevadores, robots, etc. El primer sistema servo se hizo con base en motores de corriente directa (CD), pero tienen baja eficiencia. Posteriormente se utilizaron motores de Corriente alterna (CA), los que tienen una mayor eficiencia. Los motores de CA se dividen en Motores de Inducción (MI) y los Motores Síncronos de Imanes Permanentes (MSIP). Los MSIP tienen magnetos hechos de NdFeB (Neodimio Hierro-Boro) que son físicamente más pequeños y demandan una menor corriente, por lo que se puede seleccionar un inversor de menor capacidad [11].

El control de posición y velocidad de los servos de CA usan técnicas de control más sofisticadas en comparación con un motor de CD, por lo que requieren un poder de cómputo mucho mayor. Las técnicas de control más populares son el Control de Campo Orientado (FOC) y el Control Directo de Par (DTC) [2]. El primero es el que viene implementado en la mayoría de variadores de velocidad comerciales porque es más robusto que el segundo. A partir de la década de los 80's la comunidad científica ha tenido una gran actividad para desarrollar nuevos esquemas de control que apliquen

técnicas de control no lineal, control por redes neuronales o lógica difusa y también en implementar sistemas sin sensor de posición (*sensorless*), con el fin de mejorar las prestaciones de este tipo de sistemas [9,10].

Para entender cómo funcionan los servomotores el primer paso es obtener el modelo dinámico del motor, que es no lineal y simular los controladores clásicos. Una vez que se supera esta fase, el siguiente paso es probar los resultados simulados con el sistema real, para lo cual se necesita contar con una plataforma de pruebas. La cual consta del motor, inversor y electrodinamómetro. El electrodinamómetro es un motor con un controlador de par o velocidad con el que se configura el perfil de carga que se le aplica a la máquina bajo prueba. Existen varios trabajos en los que se hace este tipo de sistemas [12].

La realización del control de campo orientado necesita de un procesador que realice operaciones matemáticas muy rápidas, ya que en su implementación necesita calcular senos, cosenos y operaciones de punto flotante. A nivel de simulación y experimental se requiere tener una frecuencia de muestreo de al menos 10kS/s. Para su implementación las alternativas que hay son usar FPGA's, controladores digitales de señales (DSC), o sistemas de prototipado rápido como dSpace. La firma Texas Instruments (TI) tiene la familia de DSC C2000 que son de los más rápidos y de bajo costo que existen en el mercado, además de que proporciona sistemas y librerías que facilitan la implementación de control de motores de CA [6].

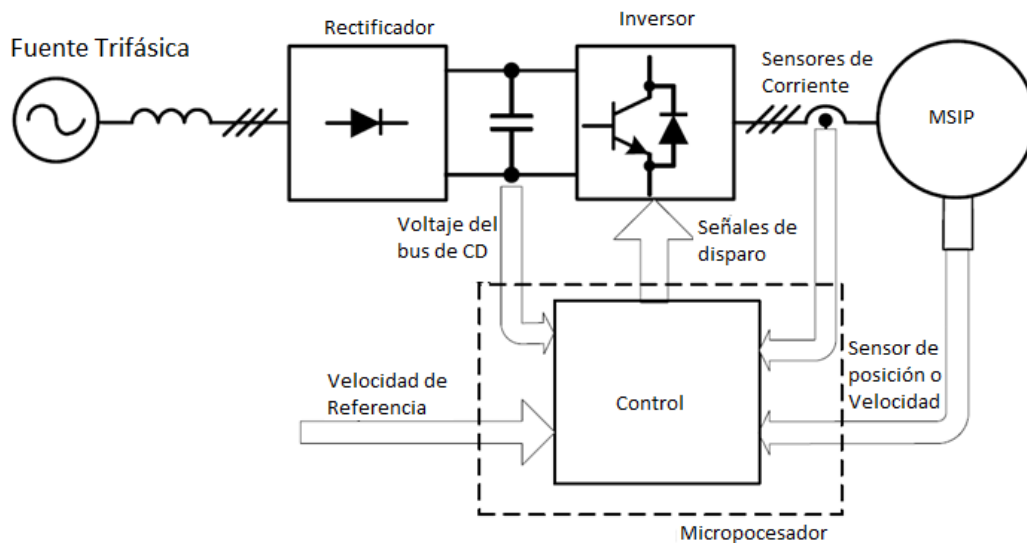
Para el control de motores se requiere de una plataforma experimental en el que estén acoplados el motor bajo estudio y un electrodinamómetro que varíe el par de carga. Además se necesita un sistema de adquisición de datos para capturar las corrientes, voltajes, posición y par de carga. Si el sistema de control es de arquitectura cerrada la adquisición tiene que realizarse en forma externa.

En este trabajo se expone la forma en que se integró un sistema para el control de velocidad del MSIP, el cual esta acoplado mecánicamente a un motor de CD que funciona como electrodinamómetro. El sistema de control probado usa la técnica de

control de Campo Orientado. Para tener una mejor explicación de la forma de simularlo y como se implementa este control consultar [3] y [4]. Se integró un sistema de medición con su acondicionamiento para medir las señales de corriente, voltaje, posición y velocidad del MSIP, así como la medición de la corriente y voltaje del electrodinamómetro. Se hizo un programa en LabVIEW con el que se monitoreo estas variables. En las siguientes secciones se explican las diferentes partes del sistema.

## 2. Desarrollo

Para realizar el control de motores de CA es necesario realizar un sistema como el que se muestra en figura 1. Los módulos requeridos son: Fuente de alto voltaje, Rectificador, Inversor, Sensores y Control.



**Fig. 1. Diagrama a bloques del control para un MSIP.**

La fuente trifásica es la preferida en aplicaciones de alto voltaje, normalmente se usan voltajes de fase de 120Vrms o 220Vrms. También se pueden usar una fuente monofásica. En vehículos eléctricos se usa un banco de baterías para alimentar al bus de CD, por lo cual el voltaje es mucho menor.

El rectificador transforma el voltaje sinusoidal de la fuente de alto voltaje en una de corriente directa. Para un voltaje monofásico, de 120Vrms, se obtiene un voltaje de

180V de CD, y para un rectificador trifásico con voltajes de línea de 220Vrms el voltaje de salida es de 300V de CD. Normalmente está hecho con diodos rectificadores, pero existen trabajos que usan transistores para tener un mejor control del factor de potencia. Al voltaje de salida de este módulo normalmente se le conoce como bus de CD.

El inversor convierte el voltaje de CD en CA de amplitud y frecuencia variable, que es el que requiere el motor de CA. Este bloque consta de un puente de 3 ramas hecho con transistores BJT, MOSFET's o IGBT's, y su conmutación es coordinada por el módulo controlador. La mejor técnica de modulación que existe es la sinusoidal directa, o Modulación Vectorial Espacial (SVM por sus siglas en inglés), ya que es la que genera menos armónicos. Para la conmutación de cada rama se tiene un generador de tiempos muertos, el que garantiza que cada transistor se apague completamente antes de encender otro.

Se usan sensores para conocer el estado del motor. La medición de los voltajes de fase y el del bus de CD usa divisores de voltaje, para disminuirlo a un nivel seguro. Los sensores de corriente miden la que demanda el motor, pueden ser de tipo resistivos o de efecto Hall. También es necesario un Encoder o resolver para medir la posición del rotor y velocidad.

El módulo de control configura al inversor para generar el voltaje trifásico que se le aplica al motor. Independiente del dispositivo que se use debe tener un convertidor analógico digital (ADC) de alta velocidad con el que se leen los voltajes de los sensores, una interfaz para leer el Encoder o resolver, generador de tiempos muertos y salidas digitales para disparar al inversor.

Cada uno de los bloques de la figura 1 se puede realizar en forma discreta o integrada en un equipo. Para aplicaciones de baja potencia (de hasta 700W), la firma TI vende el kit de desarrollo con todos los módulos requeridos para realizar control de motores. El controlador está hecho con un DSC que se inserta directamente en el kit, lo que permite tener una solución completa para realizar control de motores de CA, *brushless* o CD. El

número de parte del kit es TMDSHVMTRPFCKIT con el DSC TMS320F28335. La figura 2 muestra el diagrama a bloques del kit, el cual consta del inversor, rectificador, controlador y sensores. Desde una computadora personal, vía el puerto USB, se carga el programa y se pueden monitorear todas las variables del sistema. La medición de corriente usa sensores resistivos que están conectadas al final de dos ramas del puente del inversor, en la figura están marcadas como  $V(Ia)$  y  $V(Ib)$ . En la figura 3 se muestra una fotografía del kit de alto voltaje.

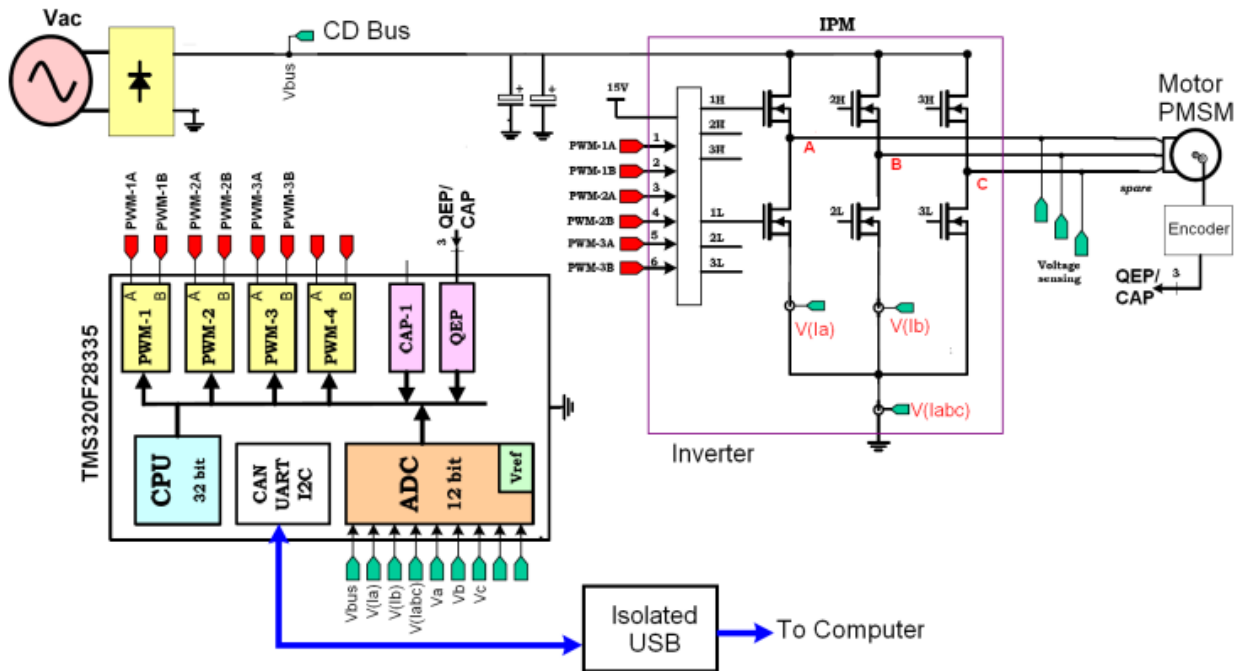


Fig. 2. Diagrama a bloques del TMDSHVMTRPFCKIT.

Se diseñó y fabricó una plataforma experimental en la que se monta el MSIP y acopla mecánicamente al motor de CD que funciona como electrodinamómetro. El diseño de la plataforma se hizo en Solid Works® y se muestra en la figura 4(a). La base fue hecha con una placa de hierro con 5mm de espesor, se sujetan ambos motores con abrazaderas tipo omega. La conexión de las flechas se hace con un cople ajustado con abrazaderas sin fin. En la figura 4(b) se muestra el diagrama explosivo con elementos de la plataforma.



Fig. 3. Fotografía del kit para control de motores TMDSHVMTRPFCKIT.

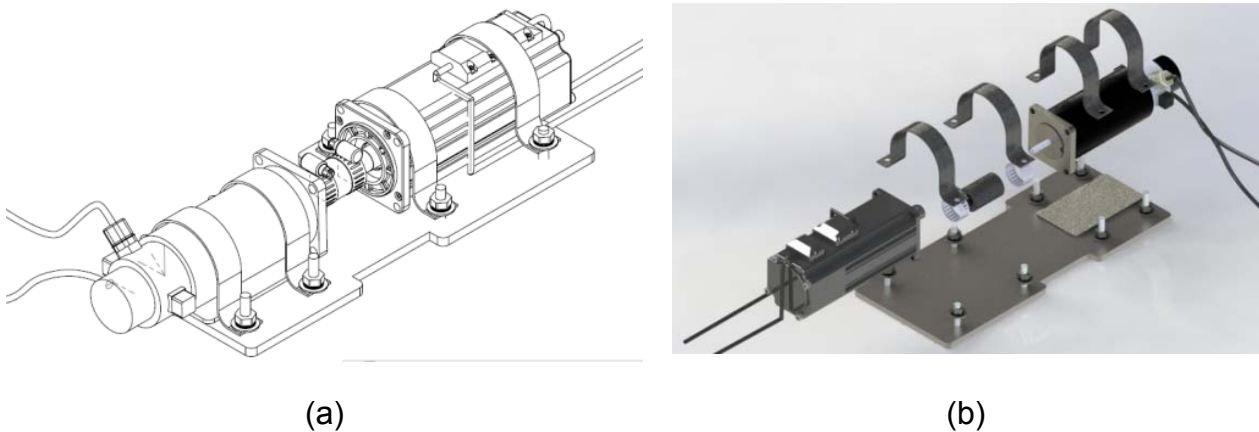


Fig. 4. (a) Vista frontal de la plataforma experimental. (b) Explosivo con los componentes de la plataforma experimental.

El MSIP usado es el EMJ-04APA22 de la firma Anaheim Automation y el de CD es el N23-53-10000 de la firma Galil's Motion Control. Las principales características del MSIP son: Par máximo de 180oz-in (1.27Nm), velocidad máxima sin carga 4,500rpm, 400W de potencia, encoder incremental integrado de 2500cpr (cuentas por revolución), magnetos de NdFeB, aislamiento clase F, P=4 par de polos, magnetización del imán  $\Psi_{PM}=0.09403\text{Wb}$ , Resistencia de las bobinas de  $R=2.35\Omega$ , Inductancia

$L=6.65\text{mH}$ , momento de inercia  $J=0.000031\text{Nms}^2$  y coeficiente de fricción viscosa  $b=0.0038\text{Ns}$  [5]. Las características del motor de CD son: Par de 53oz-in (0.374Nm), velocidad máxima de 6000rpm, corriente continua de 3.9A, Encoder de 1000cpr y salidas A, B, Index y sus complementos [8].

El motor de CD, en modo de generador, suministra potencia eléctrica a una carga de tipo resistivo. La potencia que absorbe la resistencia de carga es proporcional a la potencia mecánica (par) que experimenta el MSIP. La ecuación (1) relaciona el par mecánico generado  $T$  y es función de la corriente suministrada  $i(t)$ , voltaje  $u(t)$  y velocidad  $\omega(t)$  (cuyas unidades son N/m, A, V y rad/s respectivamente). El par variable se logra con un banco de resistencias conectadas al motor de CD, con lo que se varía la potencia mecánica demandada hacia el MSIP.

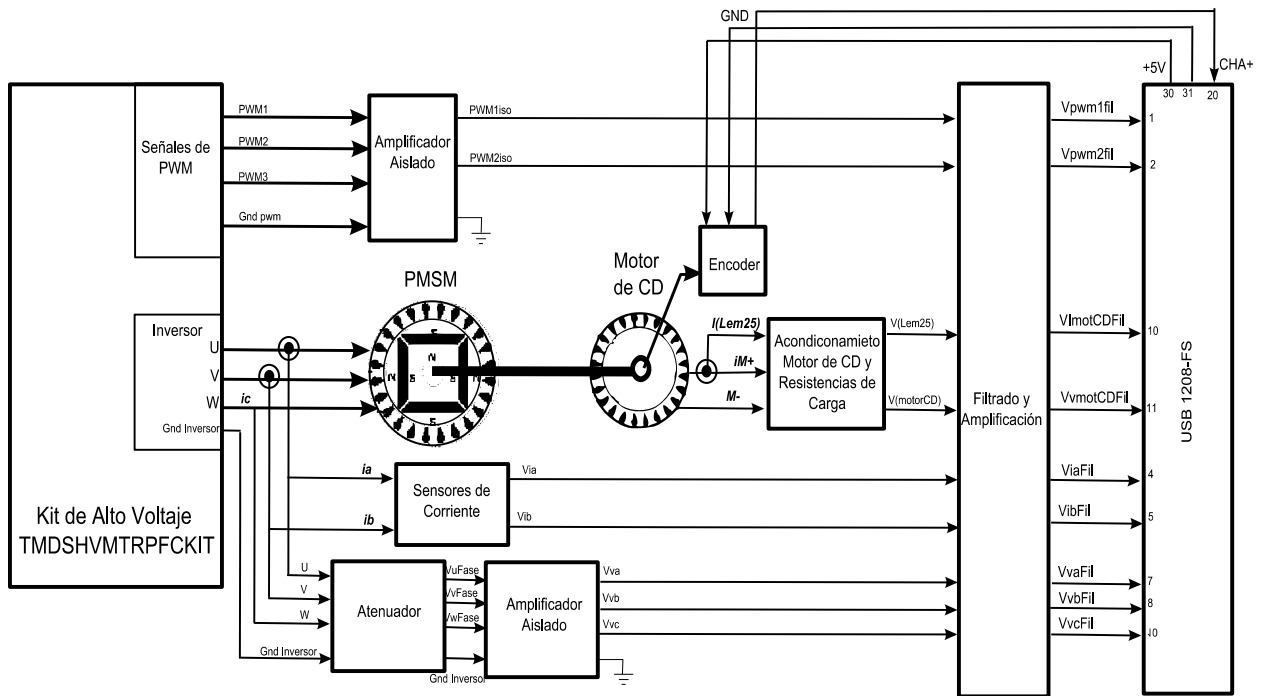
$$T = \frac{i(t)u(t)}{\omega(t)} \quad (1)$$

Con el kit de alto voltaje, la plataforma de motores y el electrodinamómetro se tiene capacidad de realizar experimentos de control de velocidad y posición con el MSIP. El algoritmo de control tiene una frecuencia de muestreo de 10kS/s. Para registrar el comportamiento dinámico y capturar las mediciones de todas las variables involucradas en el sistema, se desarrolló un sistema de adquisición de datos y acondicionamiento. Esto se hizo con una tarjeta de adquisición de datos (TAD) USB1208FS, de la firma Measurement Computing, las señales se acondicionan para ajustarlas al rango de medición de la TAD. Con un programa en LabVIEW se controla a la USB1208FS y se hizo una interfaz de usuario en el que se configura la frecuencia de muestreo por canal, el número de datos, y se presenta en forma gráfica cada una de las señales adquiridas. También permite guardar en un archivo todas las mediciones para su procesamiento posterior.

Las señales que capturar son 3 voltajes de línea ( $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  y  $V_{ca}$ ) o fase del inversor, dos corrientes de fase ( $I_a$  e  $I_b$ ), la posición y velocidad del rotor, el voltaje y corriente que genera el electrodinamómetro ( $I_{cd}$  y  $V_{cd}$ ). En total son nueve señales y la TAD solo puede admitir 8 voltajes en el rango de  $\pm 10\text{V}$ , por lo que 1 medición se debe cambiar



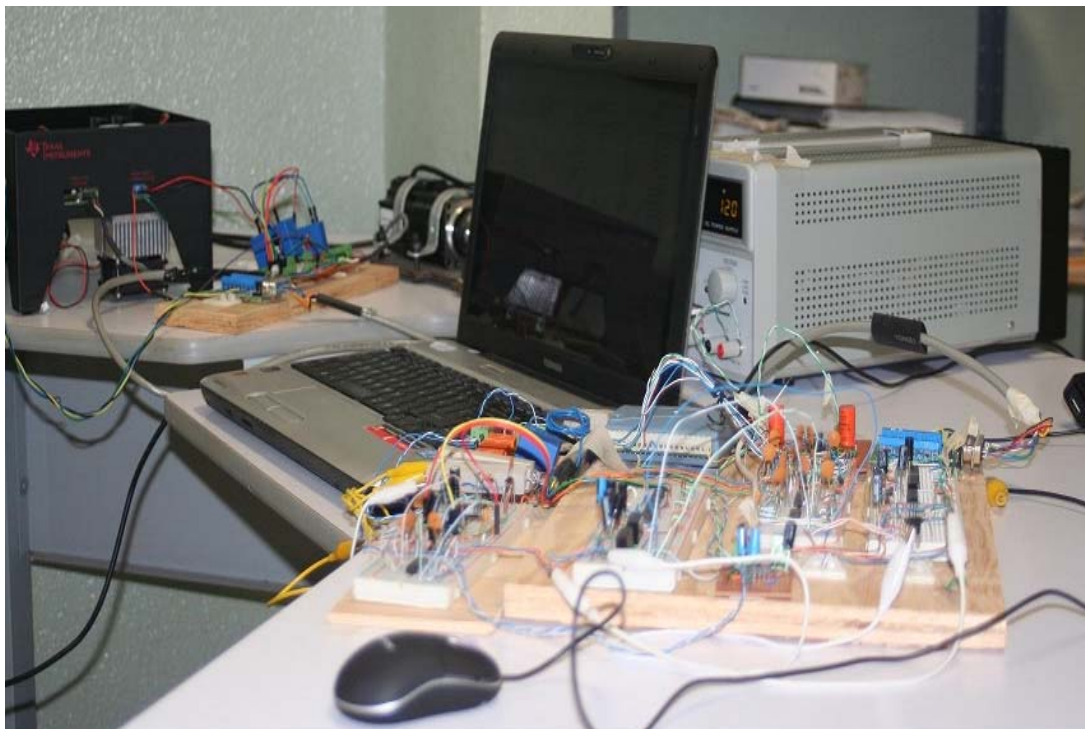
en forma manual. En la figura 5 se muestra el diagrama a bloques de todo el sistema, incluido el acondicionamiento. El sistema tiene aislamiento para poder interconectar 3 sistemas con tierras diferentes. Cada señal pasa por filtros pasa bajas para minimizar el ruido eléctrico y quitar componentes de alta frecuencia. En la figura 6 se muestran los diferentes componentes del diagrama a bloques de la figura 5.



**Fig. 5. Diagrama a bloques del sistema de acondicionamiento para el kit de alto voltaje.**

El kit de alto voltaje tiene 2 salidas moduladas en PWM con una frecuencia de portadora de 200kHz, las que son moduladas por una variable en el rango de  $\pm 1$ . Cuando la variable vale 1, 0 o -1 el voltaje promedio de la salida es 3.3V, 1.65V y 0V respectivamente. Las salidas de PWM se configuraron con la posición y velocidad que mide el DSC. La salida de posición cambia de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  (internamente se maneja de 0 a 1), cuando la posición toma estos valores, el voltaje es de 1.645V y 3.2V. La velocidad puede cambiar en el rango de  $\pm 3000$  rpm (internamente se maneja de +1 a -1), si la velocidad es de 3000 rpm el voltaje a la salida de PWM es de 3.3V, cuando se tiene -3000 rpm el voltaje es de 0V. El acondicionamiento para estas señales se hizo con 2

amplificadores aislados, y filtros con frecuencia de corte de 11.2kHz y 426Hz para la señal de posición y velocidad respectivamente.



**Fig. 6. Fotografía de los módulos de acondicionamiento, el kit de alto voltaje y la computadora.**

El inversor trifásico cambia el voltaje de cada fase de 0V a 180V, con una frecuencia en el rango de 0Hz a 300Hz. El acondicionamiento para medir los volajes se hizo con un divisor resistivo con factor de atenuación de 100 veces, un amplificador aislados y un filtro pasa bajas con frecuencia de corte 426Hz (ya que la máxima frecuencia de entrada es de 300Hz). Al final se tiene una señal sinusoidal con offset constante, que se remueve con procesamiento digital.

La corriente de fase se mide con sensores de corriente de efecto Hall de la firma LEM. La corriente máxima a medir es de 10 A, por lo que se ajustaron para disminuir su sensibilidad y capacidad máxima. Este tipo de sensores tienen aislamiento intrínseco, por lo que su acondicionamiento es un filtro pasa bajas con ancho de banda de 426Hz.

Se caracterizó al motor de CD en modo de generador, por lo cual se caracterizó para tener el voltaje vs la velocidad de rotación de la flecha. A 1800rpm genera un voltaje de 20V, el cual es mucho mayor al que permite la TAD. El acondicionamiento para su medición es atenuación, aislamiento y filtrado. Con un sensor de efecto Hall se mide la corriente por lo cual el acondicionamiento solo tiene filtrado.

El programa para controlar al MSIP se programó en el DSC que tiene integrado el kit de alto voltaje. Las operaciones que realiza son: Leer la velocidad deseada, medir la posición del rotor y las corrientes de fase, ejecutar el algoritmo FOC, determinar el voltaje de control que requiere el motor y configurar al inversor para que lo produzca y el proceso se reinicia. El tiempo de ejecución del programa es de 0.1ms, lo que resulta en una frecuencia de muestreo de 10kS/s. En [4] se explica cómo se implementó el controlador con más detalle.

Texas Instruments proporciona el ambiente de desarrollo Code Composer Studio para la programación de sus dispositivos y en particular del DSC TMS320F28235. Los programas se codifican en C, se compilan y descargan al dispositivo (Target). TI proporciona un proyecto de muestra con la implementación del control de campo orientado, lo que permite identificar y aprender a usar cada uno de los módulos de software que se usan para su realización. En la nota de aplicación [6] se muestran los pasos para comprobar el funcionamiento del FOC con el MSIP, así como la forma de configurar cada uno de los bloques, en forma incremental. El programa consta de 5 niveles incrementales (del 1 al 5). Todos los módulos vienen en la librería de control de motores y se le denominan MACRO [7]. En la figura 7 se muestra una representación gráfica de la forma en que implementa con software los diferentes controladores del programa hecho con el CCS.

### **3. Resultados**

La prueba del MSIP se hizo con una velocidad deseada de  $\pm 600$ rpm que cambia cada 2.5s. El par de carga se variable se genera con 3 resistencia en paralelo de  $10\Omega$  (resistencia equivalente de  $3.3\Omega$ ) y el algoritmo de control tiene un tiempo de muestreo

de 0.1ms. La adquisición de las mediciones se hizo con una frecuencia de muestreo por canal de 2kS/s durante 30s, y se capturaron 8 canales que da un total de 450kS.

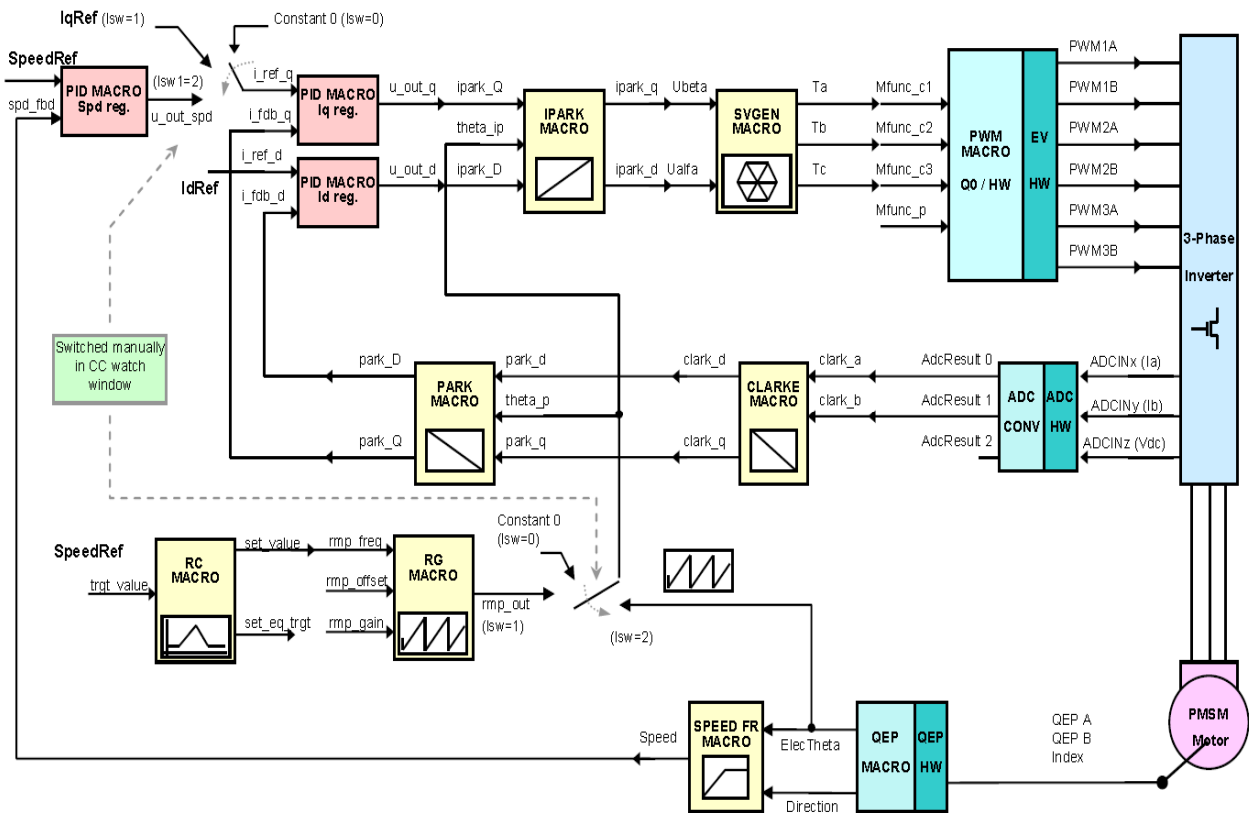
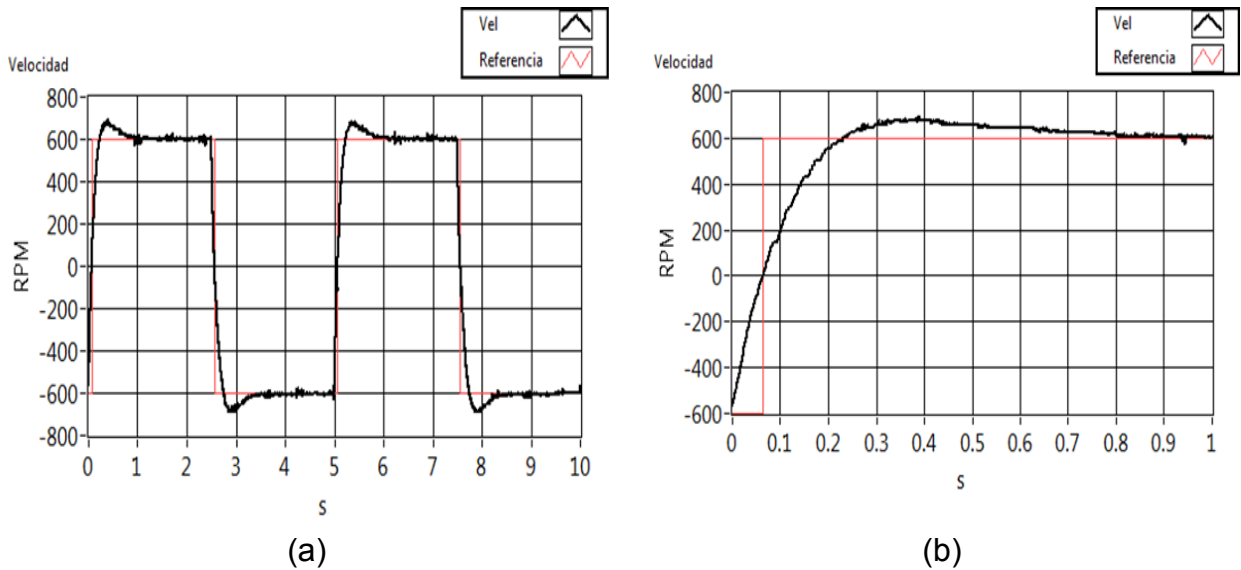


Fig. 7. Diagrama incremental de los módulos para el control FOC en CCS.

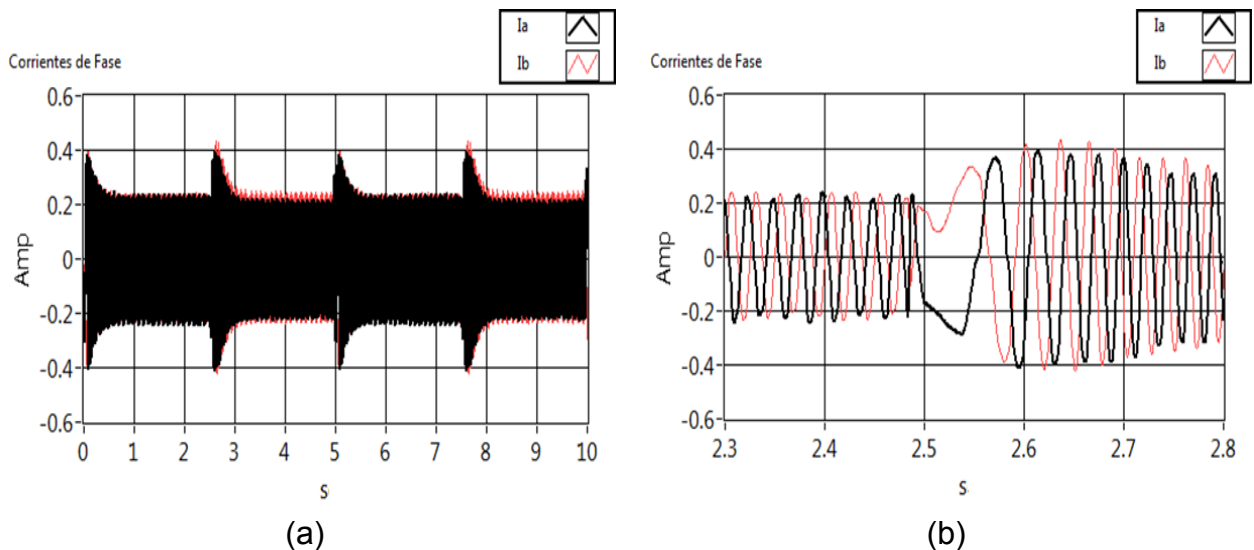
La figura 8(a) muestra la velocidad deseada y la medida y en la figura 8(b) se muestra un zoom en el rango de 0s a 1s para registrar el cambio de velocidad de -600rpm a 600rpm. Cuándo la velocidad cambia de negativa a positiva se tiene un sobre tiro de 16.7%, con un tiempo de establecimiento de 0.8s, cuando la velocidad cambia de positiva a negativa, el sobre tiro es de 15.8% con tiempo de establecimiento de 0.8s. Una vez que se estabiliza el error es prácticamente cero.

En la figura 9(a) se muestra la respuesta de la corriente en el rango de 0s a 10 s. Como se puede ver se mantiene estable en el rango de +0.24A. En la figura 9(b) se hace un zoom en la transición de velocidad negativa a positiva (en 2.5s), como se observa se mantienen las mismas condiciones con la diferencia de que la corriente  $I_a$  va retrasada

con respecto a  $I_b$ , a diferencia de cuando la velocidad es positiva. En estado estable la frecuencia es de 40Hz y la corriente eficaz de 170 mArms. En el transitorio las señales dejan de ser sinusoidales y una vez que pasa se mantienen estables.



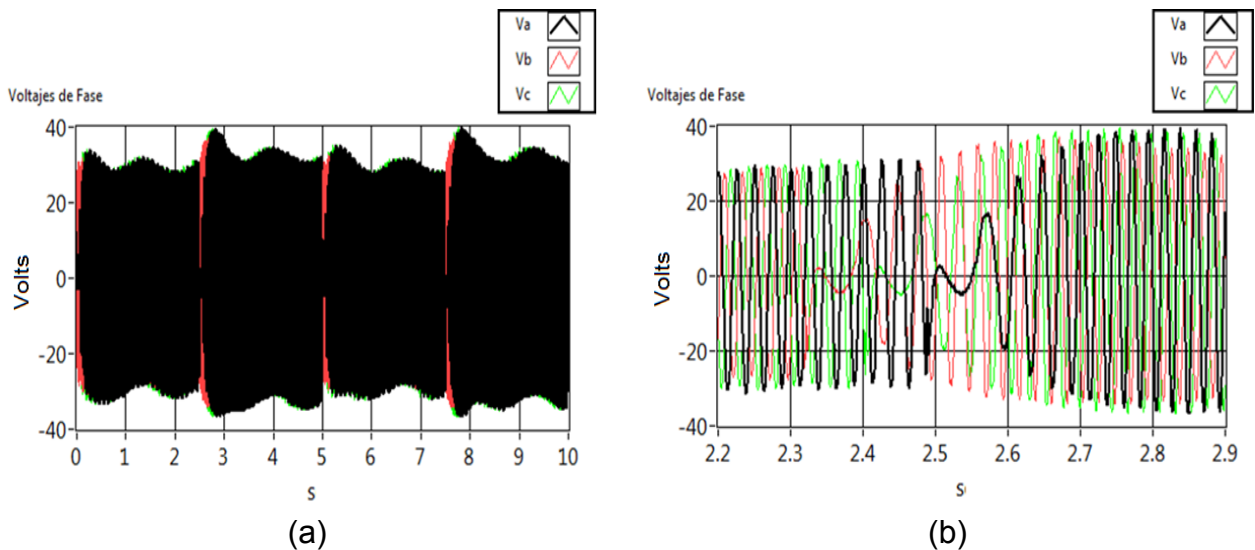
**Fig. 8. (a) Respuesta de la velocidad del MSIP con par de carga. (b) Acercamiento de la respuesta de velocidad con par de carga.**



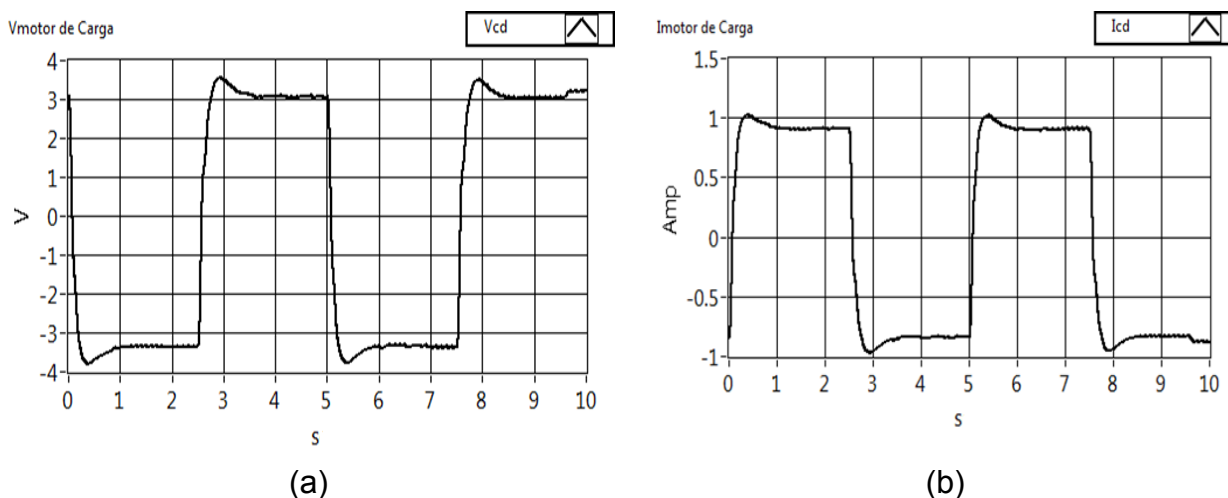
**Fig. 9. (a) Gráfica de la corriente de la fase a y b. (b) Gráfica de la corrientes de fase a y b en el rango de 0.2 a 0.3s.**

En la figura 10(a) se muestra la gráfica de los voltajes de fase en el rango de 0s a 10 s. Como se puede ver tienen un comportamiento estable, cada 2.5s ocurren los cambios de velocidad. En la figura 10(b) se muestra un acercamiento en la zona donde ocurre el transitorio, en condiciones estables la frecuencia del voltaje es de 40Hz con un voltaje eficaz de 23Vrms.

En la figura 11(a) se muestra la respuesta del voltaje generado por el motor de CD y en la 11(b) la corriente con una resistencia de carga de  $3.3\Omega$ . Si la velocidad es positiva genera un voltaje promedio de  $-3.3V$ , y  $+3.0V$  cuando la velocidad es positiva. De la gráfica de la corriente se ve que su magnitudes son de  $0.9A$  y  $-0.85A$ . Como estos valores y aplicando la ecuación (1) el par de carga de  $-0.05Nm$  cuando la velocidad es negativa y  $0.04Nm$  cuando la velocidad es positiva.



**Fig. 10. (a) Voltajes de fase aplicados al motor. (b) Acercamiento de la gráfica de los voltajes.**



**Fig. 11. (a) Voltaje medido en el motor de CD como generador con par de carga. (b) Corriente generada por el motor de CD.**

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se describió como se probó el MSIP usando el kit de desarrollo de la firma Texas Instruments ejecutando el algoritmo de control de campo orientado. El uso de esta tipo de plataformas permite experimentar, en forma rápida y bajo costo, el control de motores, permitiendo pasar de la fase de simulación a la implementación física del control, disminuyendo el tiempo de desarrollo. A nivel de software el mismo fabricante proporciona ejemplos que permiten implementar el control de campo orientado y también librerías especializadas para el área de control de motores.

Para obtener la respuesta del sistema se hizo un sistema de acondicionamiento con el que capturan las corrientes y voltajes aplicados al motor, y desde una interfaz gráfica en LabVIEW se controlan estas acciones. Con este sistema se tiene la capacidad de caracterizar la respuesta de las variables que intervienen en el funcionamiento del motor síncrono de imanes permanentes.

A futuro se pretende probar estrategias de control con base en sistemas de control no lineal, así como también colaborar con expertos en otras áreas como son de control inteligente, para probar técnicas de control basadas en redes neuronales y lógica

difusa. También se pretende usarlo en el desarrollo de aplicaciones de robótica y otras áreas en donde se necesita un control preciso de la velocidad y posición.

## 5. Referencias

- [1] JussiPuranen. "Induction Motor Versus Permanent Magnet Synchronous Motor In Motion Control Applications: A Comparative Study". Thesis Doctoral. 2006.
- [2] Dariusz Świerczyński, M. Sc., "Direct Torque Control with Space Vector Modulation (DTC-SVM) of Inverter-Fed Permanent Magnet Synchronous Motor Drive". Ph. D. Thesis. Warsaw University of Technology. Warsaw, Poland. 2005.
- [3] F. H. Ramírez-Leyva, "Simulación en SIMNON del Control Directo de Par de un Motor de Imanes Permanentes". VII semana Nacional de Ingeniería en Electrónica SENIE. 2011.
- [4] F. H. Ramírez-Leyva, "Implementación del control de campo orientado de un motor de imanes permanentes con base en un controlador digital de señales". Sexto Coloquio Interdisciplinario de Doctorado – Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. 2013.
- [5] Anaheim Automation. "EMJ-04 Series Servo Motor". <https://www.anaheimautomation.com/manuals/servo/L010976%20-%20EMJ-04%20Servo%20Motor.pdf>. Recuperado el 15 de mayo de 2014.
- [6] Bial Sensored Field Oriented Control of 3-Phase Permanent Magnet Synchronous Motors. Texas Instruments. Version 1.1 – Feb 2010.
- [7] Digital Motor Control, Software Library. Texas Instruments. Nota de aplicación SPRU485A. 2003.
- [8] Brushless Servo Motor, BLM-N23-50-1000. [http://www.galilmc.com/catalog/blm\\_n23.pdf](http://www.galilmc.com/catalog/blm_n23.pdf). Fecha de consulta 5 de Octubre de 2013



- [9] F. H. Ramirez-Leyva, E. Peralta-Sánchez, J .J. Vásquez-Sanjuan, F. Trujillo-Romero, "Passivity-Based Speed Control for Permanent Magnet Motors, *Procedia Technology*". Vol.1. 2013. 215-222 pp.
- [10] F. H. Ramirez-Leyva, F. Trujillo-Romero, S. O. Caballero-Morales, E. Peralta-Sanchez, "Direct Torque Control of a Permanent-Magnet Synchronous Motor with Neural Networks". *CONIELECOMP*. 2014.
- [11] Dariusz Świerczyński, "Direct Torque Control with Space Vector Modulation (DTC-SVM) of Inverter-Fed Permanent Magnet Synchronous Motor Drive". Ph. D. Thesis. Warsaw University of Technology. Warsaw, Poland. 2005.
- [12] Carlos Alberto Espinoza Arredondo, "Electrodinamómetro Experimental para Emular Cargas no Lineales en el Laboratorio". Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. 2011.

## **6. Autores**

Fermín Hugo Ramírez Leyva obtuvo el doctorado en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, la maestría en electrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. Actualmente es profesor investigador, adscrito al Instituto de Electrónica y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca desde 1999.

Mónica Edith García García. Tiene maestría en Redes de Computadoras. Es profesora-investigadora de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, impartiendo cursos de redes de computadoras y programación. Actualmente es responsable del cuerpo académico de Redes y Sistemas Distribuidos (CAEC-RESDI). También ha participado en proyectos de gestión PIFI (PROFOCIE). Sus áreas de interés son seguridad computacional y educación a distancia.

Felipe Santiago Espinosa es Maestro en Ciencias con especialidad en Electrónica por parte del INAOE, incorporado al IEM de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, en donde es Profesor-Investigador desde 1998. Actualmente está cursando el Doctorado en Robótica en la misma institución. En el año de 2012 publicó su libro titulado "Los Microcontroladores AVR de ATMEL".

Gerardo Cruz González. Tiene maestría en ciencias con especialidad en Ingeniería en Sistemas Computacionales. Es profesor-investigador de tiempo completo de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM). Ha impartiendo los cursos de base de datos, programación orientada a objetos, programación estructurada, sistemas

operativos e ingeniería de software. Actualmente es integrante del cuerpo académico de Redes y Sistemas Distribuidos (CAEC-RESDI). Sus líneas de investigación son desarrollo de arquitecturas y aplicaciones colaborativas y educación a distancia. También ha participado en la gestión académica como jefe de la carrera de Ingeniería en Computación y como secretario de la División de Estudios de Posgrado en la UTM.