

EVALUACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA CONTROL DE VELOCIDAD DE MÁQUINAS DE CD DE IMANES PERMANENTES

José Jiménez González

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
joseph31.ja@gmail.com

Felipe de Jesús González Montañez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
felipegonzalezmon@gmail.com

Francisco Beltrán Carbajal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
fran_belt29@hotmail.com

Irvin López García

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
irvinlopez@yahoo.com

Eduardo Campero Littlewood

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
ecl@correo.azc.uam.mx

José Luis Hernández Ávila

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
joeluish@gmail.com

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y construcción de una plataforma experimental para realizar adquisición de variables eléctricas y su aplicación en el control de una máquina de CD de imanes permanentes utilizando MATLAB®. La plataforma está formada por dos prototipos, uno destinado a realizar adquisición de datos y otro destinado a funcionar como un actuador en un sistema de control. El

prototipo de adquisición de datos consiste en sensores de voltaje y corriente y sus respectivos circuitos de acondicionamiento. El prototipo actuador para control consiste básicamente en un generador de PWM acoplado a un transistor de potencia que puede también recibir señales externas. Finalmente, se presenta la evaluación de ambos prototipos durante un esquema de control de velocidad de una máquina de CD de imanes permanentes utilizando la plataforma xPC Target de MATLAB®.

Palabra(s) Clave(s): Adquisición de datos, control de máquinas eléctricas, electrónica de potencia.

1. Introducción

El control de máquinas eléctricas representa un área de investigación y de desarrollo tecnológico muy activa y que sigue ofreciendo grandes retos en el diseño de esquemas de control que sean eficientes, robustos, fáciles de implementar y de bajo costo, debido al alto uso de este tipo de equipos en la industria y en los sectores doméstico y de entretenimiento, entre otros [1, 2, 3]. Sin embargo, para lograr altos niveles de desempeño, como eficiencia energética y robustez ante perturbaciones, es necesario monitorear adecuadamente todas las variables involucradas en el sistema que se está analizando. Esto se puede lograr con un sistema de adquisición de datos (SAD) eficiente y con un esquema de control robusto y confiable [4, 5]. Estas dos características se presentan de manera experimental en este trabajo, en el que se propone un esquema de control de velocidad para una máquina de CD de imanes permanentes y se evalúa a través de una plataforma experimental desarrollada en el Laboratorio LAPLACE de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Las mediciones las realizan sensores de voltaje, corriente y posición angular y pasan por una etapa de acondicionamiento para que puedan ser interpretadas correctamente por las tarjetas de adquisición de datos. Nos referiremos a este prototipo de adquisición de datos como MVE (Medidor de Variables Eléctricas). Con base en las mediciones realizadas por el MVE se genera una señal de control en forma de pulso de ancho variable PWM que es enviado al actuador,

que consiste en un optoaislador acoplado a un transistor de potencia que conmuta las terminales de una fuente de CD con las terminales de la máquina, y de esta manera se cierra el lazo de control. Nos referiremos a este prototipo actuador como CV (Controlador de Velocidad).

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: la segunda sección presenta el diseño y la construcción del MVE, así como de su comunicación con la plataforma xPC Target de MATLAB® y Simulink™, y el CV utilizado en la retroalimentación del control; la tercera sección habla sobre la máquina de CD de imanes permanentes y se propone el esquema de control; la cuarta sección incluye los resultados obtenidos en las pruebas experimentales y finalmente la quinta sección corresponde a conclusiones.

2. Diseño y construcción de los prototipos experimentales

Para realizar un control en lazo cerrado de una máquina de CD de imanes permanentes es necesario tener seguimiento de las variables eléctricas y mecánicas, así como un sistema de retroalimentación [6, 7]. Para cubrir el primero de estos requisitos se desarrolló un prototipo de adquisición de datos (MVE) y, para el segundo se desarrolló un prototipo actuador basado en un transistor de potencia (CV).

El MVE consiste en dos sensores de voltaje y dos sensores de corriente, junto con una etapa de acondicionamiento. La velocidad de la máquina de CD se mide indirectamente con un *encoder* incremental. El CV consta de tres etapas: generación PWM, aislamiento y potencia. La primera de estas se puede aislar del resto de los circuitos para evaluar el sistema de control con MATLAB®. El sensado de las variables involucradas en el prototipo se hace a través de tarjetas de adquisición de datos de la marca National Instruments™, que tienen alta compatibilidad con MATLAB®/Simulink™.

Medición de voltaje

Para la medición de voltaje se utilizaron dos sensores de la marca LEM modelo LV25-P que funcionan utilizando el efecto Hall. Estos sensores pueden

medir con gran precisión ± 500 V, con una salida de aproximadamente ± 0.8 V, por lo que también se diseñó una etapa de amplificación y filtrado. Nos referiremos a los sensores de voltaje como SV_1 , SV_2 , o $SV_{1,2}$. El sensor de voltaje utilizado se muestra en figura 1a.

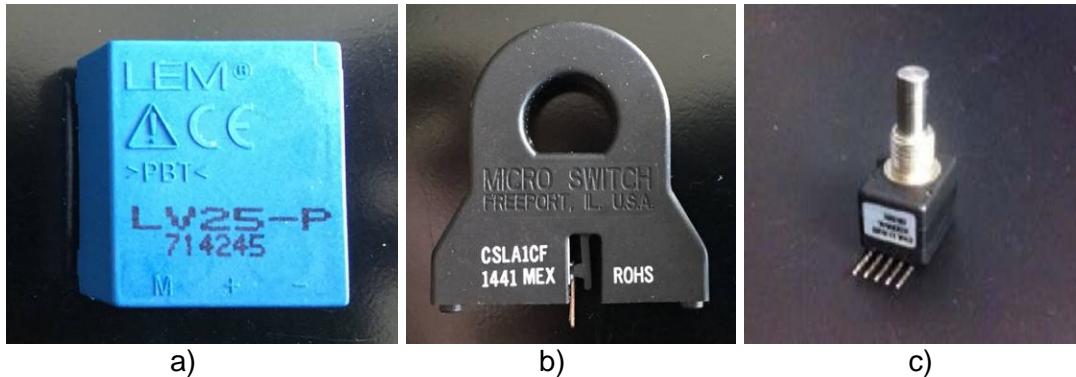


Figura 1 Sensor de voltaje, de corriente y *encoder* incremental utilizado en las pruebas.

Medición de corriente

Para la medición de corriente eléctrica se utilizaron dos sensores Honeywell modelo CSLA1CF como el que se muestra en figura 1b. Este modelo consiste en un sensor de efecto Hall montado en el entrehierro de un núcleo ferromagnético con forma de anillo. El rango de medición de este sensor es de ± 100 A, por lo que resultan poco sensibles para las aplicaciones en las que se implementaron. La manera en que opera este sensor es la siguiente: se alimenta el sensor con un voltaje de 8 a 16 V, el conductor que lleva la corriente que se desea medir se hace pasar por el centro del núcleo y se mide un voltaje entre el pin de salida y la referencia de 0 V del sensor. El voltaje entregado a la salida del sensor tiene un *offset* de aproximadamente la mitad del voltaje de alimentación. En el caso del MVE se alimentaron estos sensores a 12 V, por lo que el voltaje entregado por el sensor es de aproximadamente 6 V, para corrientes del orden de ± 2 A. Una manera de incrementar la sensibilidad del sensor es hacer pasar N vueltas del conductor por el centro del anillo ferromagnético, sin embargo, hacer esto modifica el voltaje de salida. Las aplicaciones que requerirán este tipo de sensores no superan los 30 A, por lo que se devanaron 4 vueltas alrededor del

núcleo del sensor. De esta manera se aprovecha todo el rango de salida del sensor. Nos referiremos a los sensores de corriente como SC_1 , SC_2 , o $SC_{1,2}$.

Medición de posición angular

Para la medición de velocidad se utilizó un *encoder* incremental (EI) acoplado a la flecha de la máquina de CD. Un EI es un dispositivo electromecánico capaz de convertir la posición angular de un eje en una señal digital. El *encoder* utilizado es de la marca BOURNS, modelo ENA1J-B28-R00064L con sistema de codificador de cuadratura, que permite determinar el sentido de giro y se muestra en la figura 1c.

Para acoplar el EI a la máquina de CD se fabricó una pieza de aluminio de manera que se pudiera atornillar al eje de la máquina y asegurarlo por medio de un tornillo prisionero.

Para la medición de la velocidad en el modelo de Simulink™, se deriva la señal de la posición que se obtiene del EI y se hace pasar por un filtro pasa bajas. Este filtro es utilizado debido a que la función de posición que se obtiene no es una onda suave y por lo tanto la derivada de dicha función da como resultado otra función con una gran cantidad de componentes espectrales, lo que hace difícil ver la función de velocidad para fines prácticos. Las salidas del EI corresponden a los dos sensores del sistema de cuadratura, y se conectan a la tarjeta de adquisición de datos PCI-6602 en entradas analógicas.

Circuitos de acondicionamiento

El MVE se diseñó para realizar distintas pruebas, no sólo las presentadas en este trabajo. El voltaje máximo que se pretende medir con este prototipo corresponde a un voltaje trifásico, cuyo valor máximo es de aproximadamente 311 V. De acuerdo con la caracterización de los sensores de voltaje, se puede asumir que al medir voltajes trifásicos la salida del sensor es de 1.4 V. Para aprovechar el rango completo de la tarjeta de adquisición de datos se diseñó un circuito amplificador con una ganancia $G \approx 5.7$ y el voltaje máximo entregado a la

tarjeta de datos de aproximado de 7.98 V. Para ello, se utilizó un amplificador operacional configurado como amplificador no inversor [8] (figura 2a).

Para disminuir el ruido de las señales, se implementaron filtros RC de primer orden, que consisten en una resistencia en serie con la señal de entrada y un capacitor en paralelo. Como se observa en la figura 2b, la entrada al circuito de filtrado de los $SV'_{1,2}$ es la señal que sale del circuito de amplificación. Por otro lado, la señal de entrada al filtro de corriente es la señal que entrega el sensor directamente, ya que los sensores de corriente no cuentan con etapa de amplificación (figura 2c). Los subíndices f indican que la señal del sensor correspondiente está filtrada.

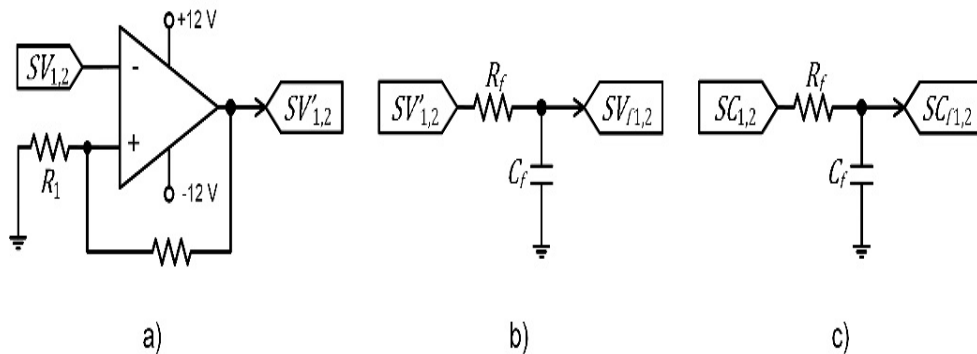


Figura 2 Circuitos de acondicionamiento.

Los filtros se diseñaron de tal manera que se redujera significativamente el ruido de medición de los sensores, sin modificar notablemente la dinámica de las variables medidas [8]. Se probaron distintos filtros de primer orden para seleccionar el adecuado para cada sensor. En la tabla 1 se muestran las frecuencias de corte de los filtros de cada sensor.

Una vez armados los circuitos de acondicionamiento se realizó la caracterización de las señales de voltaje y corriente. Se aplicaron voltajes y corrientes conocidos a los sensores y se midieron los valores de salida. Posteriormente se realizó un ajuste lineal de los valores experimentales utilizando la aplicación *Curve Fitting Tool* de MATLAB®. Los resultados de la caracterización sirven para conocer la relación entre el voltaje o corriente que se mide y los voltajes entregados por los

sensores. Esta relación se utiliza en los modelos de medición en tiempo real implementados con Simulink™.

Tabla 1 Frecuencias de corte de filtros conectados a los sensores de voltaje y corriente.

Señal	Frecuencia de corte f [Hz]
SV_1	589.46
SV_2	430.15
SC_1	338.63
SC_2	338.63

Las señales acondicionadas de voltaje y salida se conectaron a las entradas analógicas de una tarjeta de adquisición de datos National Instruments™ PCI-6621 para ser interpretados por el sistema xPC Target. Todos los sensores y los circuitos de acondicionamiento se alimentaron con 12 V que proporcionó una fuente conmutada. El MVE armado se muestra en la figura 3.

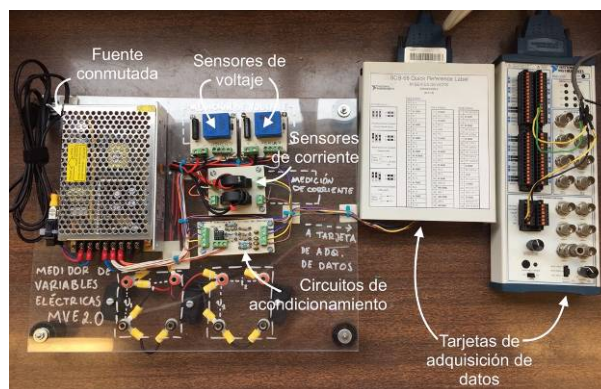


Figura 3 Medidor de variables eléctricas y tarjetas de adquisición de datos.

xPC Target

El sistema xPC Target es un sistema operativo que permite desarrollar de manera rápida prototipos de control, realizar pruebas y adquirir datos en tiempo real utilizando una computadora estándar. En este trabajo se utilizaron dos computadoras; una *host* para realizar modelos de sistemas utilizando Simulink™ y generar el código correspondiente con el objetivo de cargarlos en la segunda computadora (*target*). El *target* contiene el *kernel* del sistema operativo xPC

Target y éste asigna todos los recursos del hardware con el que cuenta para ejecutar el código correspondiente del modelo de Simulink™ en tiempo real. Las salidas de los sensores de voltaje y corriente se conectaron, como ya se mencionó, a las entradas analógicas de una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments™ modelo PCI-6621; por otro lado, el *encoder* se conectó a una entrada digital de la tarjeta también de la compañía NI modelo PCI-6602 (ver figura 3). Estas tarjetas están conectadas al *target*.

Control de Velocidad

El dispositivo actuador para variar la velocidad del motor de CD consiste en un transistor de potencia MOSFET de la marca NTE modelo 2987 cuya compuerta (*gate*) está conectada a un pulso PWM. Este pulso puede ser generado por un oscilador interno o por el xPC, la selección de alguna de estas entradas se puede hacer utilizando un interruptor con dos tiros y dos polos. El PWM interno se utilizó únicamente con el fin de verificar el correcto funcionamiento del circuito de potencia. El PWM se conecta a un optoaislador de la marca Texas Instruments con modelo 6N136 (figura 4a), con el objetivo de no dañar la tarjeta de adquisición de datos en caso de que exista una falla en la etapa de potencia [9]. Los pines de *drain* y *source* del MOSFET están conectados a una fuente de CD y a la máquina de CD, respectivamente. El diagrama de este circuito de potencia se muestra en la figura 4b. Adicionalmente, en paralelo con la armadura de la máquina se conecta un diodo de libre circulación para permitir el paso de corriente en la máquina cuando el transistor está en *off*. La figura 5 muestra el prototipo de CV armado.

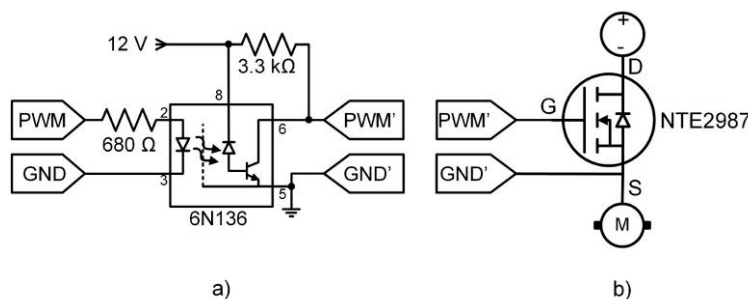


Figura 4 Circuito de potencia para el control de velocidad.

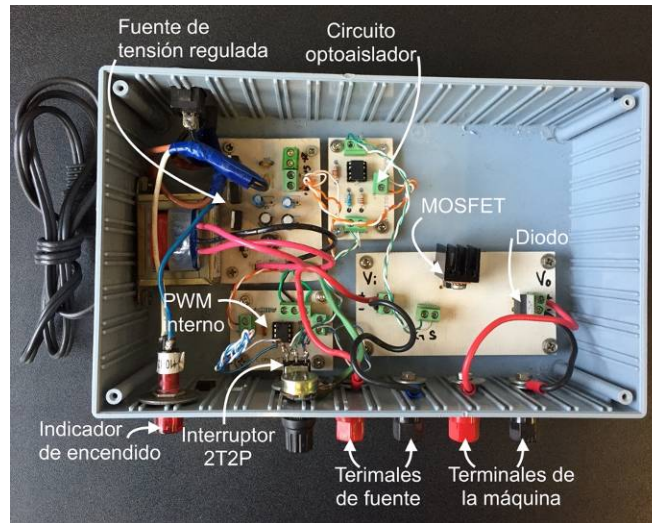


Figura 5 Prototipo de control de velocidad.

3. Máquina de CD de imanes permanentes

Una máquina de CD de imanes permanentes es un dispositivo de conversión de energía electromecánica. Consta de dos partes principales: estator (campo) y rotor (armadura) [10]. El campo necesario para realizar el acoplamiento entre el sistema eléctrico (devanados en el rotor) y mecánico (flecha) es generado por imanes permanentes colocados en el estator y magnetizados radialmente [11]. Una máquina de CD, como cualquier máquina eléctrica, puede funcionar como generador y como motor. Actualmente, este tipo de máquinas son muy utilizados en distintos campos industriales debido a que son económicas y muy fáciles de controlar. En este trabajo se realizaron pruebas en una máquina de CD de imanes permanentes cuyos valores nominales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Valores nominales de la máquina de CD.

Voltaje de armadura v_t [V]	90
Corriente de armadura i [A]	7.5
Potencia P_o [HP]	0.75
Velocidad n [rpm]	2500

El comportamiento dinámico de las máquinas de imanes permanentes está dado por las ecuaciones 1 y 2 [7, 12]:

$$v_t = Ri + L \frac{di}{dt} + k \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

$$ki = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + \tau_L \quad (2)$$

La ecuación 1 representa el circuito eléctrico de la máquina y la ecuación 2 representa la ecuación dinámica para movimientos rotatorios del rotor, donde v_t es el voltaje en terminales, i es la corriente de armadura, θ es la posición angular del rotor y τ_L es el par de carga de la máquina. Los parámetros del modelo son la resistencia de armadura R , la inductancia de armadura L , la constante de fuerza contraelectromotriz o constante de par k , el momento de inercia de la armadura J y el coeficiente de amortiguamiento B . Este modelo es un sistema de ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo. La mayor parte de los controladores requieren el conocimiento de estos parámetros, sin embargo, existen técnicas para estimarlos en caso de no ser conocidos [3, 13]. En este trabajo se realizaron pruebas con una máquina de CD de imanes permanentes de parámetros conocidos, mostrados en la tabla 3.

Tabla 3 Parámetros de la máquina utilizada en las pruebas experimentales.

Resistencia de armadura R [Ω]	1.27
Inductancia de armadura L [mH]	28.44
Constante de fem k [mVs/rad]	349.35
Momento de inercia J [kgm ²]	6.96×10^{-3}
Coefficiente de amortiguamiento B [Nm/s]	1.73×10^{-3}

Con este modelo matemático es posible proponer una estrategia de control de velocidad para la máquina funcionando como motor utilizando el voltaje en terminales como entrada de control [7, 4]. Para poder controlar la velocidad $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ de la máquina, se plantea un problema de seguimiento de trayectoria, dado por una velocidad deseada ω^* . El MVE permite medir voltaje, corriente y posición angular, por lo que se propuso el controlador PID sencillo de

un solo lazo con seguimiento de una velocidad deseada descrito por la ecuación 3.

$$v_r = \frac{JL}{k} \left[\frac{d^2 \omega^*}{dt^2} + Ri + k\omega - k_p e - k_i \int e dt - k_d \frac{de}{dt} \right] \quad (3)$$

Donde $e = \omega - \omega^*$ es la señal de error de la velocidad de la máquina, y k_p , k_i y k_d son las constantes de sintonización del PID.

Se utilizó la plataforma Simulink™ para poder desarrollar el sistema de control. Se configuró el MVE para medir el voltaje y la corriente de la fuente, así como el voltaje y la corriente de armadura de la máquina. La figura 6 muestra el diagrama de conexión utilizado en este experimento. Los bloques rojos corresponden a las mediciones eléctricas realizadas; se conectó un sensor de voltaje en paralelo con la fuente de alimentación y un sensor de corriente en serie con el *drain* del MOSFET. Se hizo un arreglo similar conectando un sensor de voltaje en paralelo con la armadura de la máquina y uno de corriente en serie. El bloque verde corresponde al control de velocidad descrito en la sección 2. El bloque violeta representa el circuito equivalente del MCDPM. El bloque azul claro representa el acoplado a la flecha del motor. La parte inferior de la figura 6 representa la conexión de las señales eléctricas medidas a la etapa de acondicionamiento y su conexión, junto con la señal del EI a las tarjetas de adquisición de datos y a la PC *target*. El PWM para el control de velocidad, se genera en el programa de Simulink™ y se transmite al CV a través de la tarjeta de adquisición de datos PCI-6602.

La figura 7 muestra la configuración del modelo de Simulink™ para adquisición de datos y control en tiempo real de la MCDPM. Este modelo se compila como una aplicación para que pueda ser descargada por el *target* y este pueda realizar las mediciones en tiempo real. En la figura 7, una vez más, los bloques en rojo corresponden a la adquisición de variables eléctricas y los bloques azul claro corresponden a la adquisición de posición angular. Adicionalmente, los bloques azul oscuro corresponden a la generación de la velocidad de referencias y sus derivadas indicadas en la ecuación (3). Los bloques en verde representan el sistema de control y la comunicación con la salida de PWM de la tarjeta de

adquisición de datos PCI-6602. Los bloques negros corresponden al manejo de las variables adquiridas y su almacenamiento.

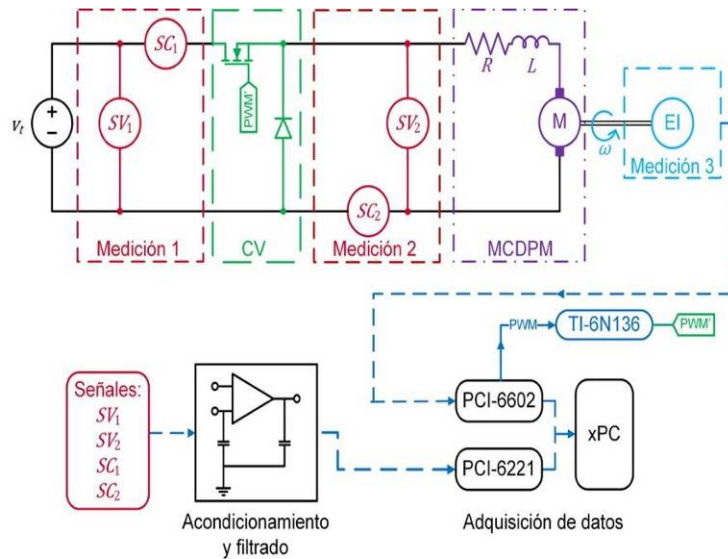


Figura 6 Conexión de la plataforma experimental para el control de la máquina.

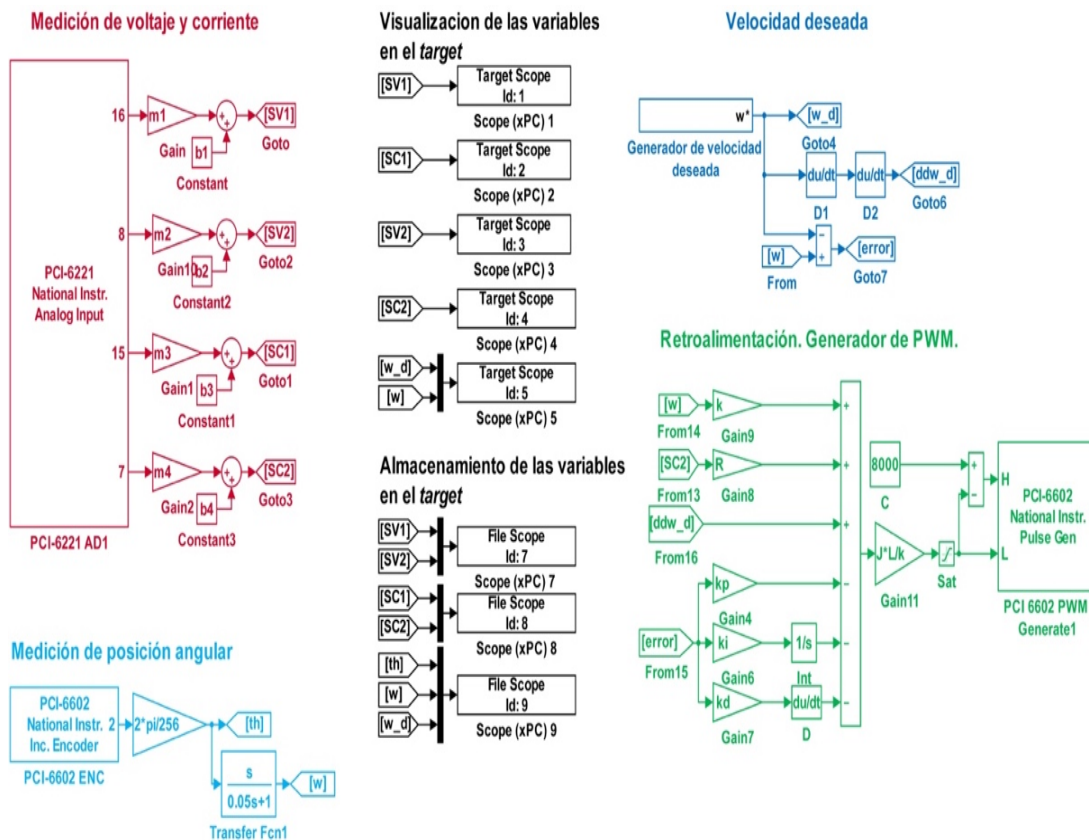


Figura 7 Modelo de Simulink™ para adquisición de datos y control.

El sistema de adquisición y control completamente acoplado se muestra en la figura 8.

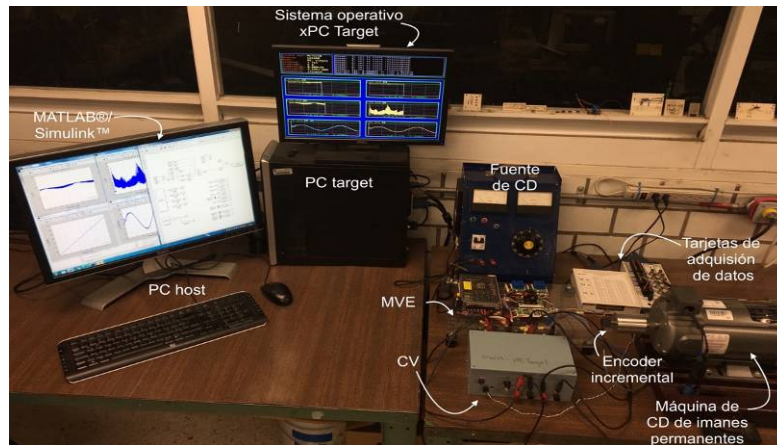


Figura 8 Plataforma de adquisición de datos y control de máquinas eléctricas.

4. Resultados

Se conectó la máquina de CD al circuito de CV y al MVE. Se alimentó el motor a su tensión nominal y se probaron tres distintas velocidades de referencia para evaluar al controlador. Las velocidades propuestas fueron una función sinusoidal de 1 Hz, una señal diente de sierra de 0.5 Hz y una función arbitraria. Las dos primeras señales varían entre 220 y 240 rad/s.

Es importante mencionar que la acción del optoacoplador es de salida inversa, es decir, cuando recibe una entrada baja, su salida está en alto. Esto influyó en la condición inicial de la máquina, ya que al comienzo de las pruebas la máquina gira a aproximadamente 240 rad/s.

Los resultados de tres experimentos de 10 s se muestran en la figura 9. La figura 9a muestra los resultados de la comparación entre la velocidad sinusoidal de referencia y la velocidad medida. Se puede ver que la máquina sigue la trayectoria adecuadamente, y alcanza el estado estacionario en aproximadamente 0.34 s. En la parte inferior de esta figura se muestra la variación del error relativo entre las velocidades durante la prueba. En la figura 9b se muestra el seguimiento de una señal diente de sierra, en este caso, debido a que se sometió a la velocidad a un cambio más brusco la curva de error relativo

muestra picos significativos de hasta casi 10%, sin embargo, el tiempo para que la máquina vuelva a seguir la trayectoria es nuevamente de aproximadamente 0.34 s. Finalmente, se programó una trayectoria aleatoria con cambios relativamente suaves, mostrada en la figura 9c. Nuevamente, la velocidad alcanzó sus valores deseados en 0.34 s, y debido a que esta trayectoria fue la menos demandante, el error se mantuvo muy cercano a cero durante esta prueba.

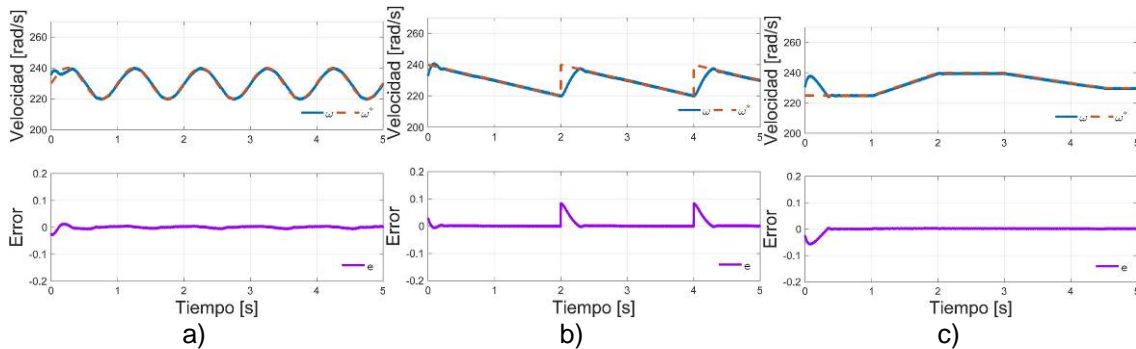


Figura 9 Resultados experimentales del sistema de control.

5. Conclusiones

Se desarrolló una plataforma de medición de variables eléctricas y un actuador basado en un transistor de potencia para la adquisición de datos y control en tiempo real de una máquina de CD de imanes permanentes de parámetros conocidos. Se propone un esquema de control de velocidad y se evalúa en un prototipo experimental para distintos seguimientos de trayectorias obteniéndose un tiempo de aproximadamente 0.34 s para alcanzar la trayectoria deseada y con errores menores al 2% en estado estacionario. Es evidente que la plataforma de adquisición de datos resulta muy útil en la implementación de sistemas de control, además, la caracterización de los sensores resulta ser un paso crucial para el correcto funcionamiento de estos sistemas retroalimentados.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] S. F. Alyaquout, P. Y. Papalambros, A. G. Ulsoy, "Combined robust design and robust control of an electric dc motor". IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. Vol. 16. N° 3. 2011. Pp. 574-582.

- [2] C.-F. Caruntu, C. Lazar, "Robustly stabilising model predictive control design for networked control systems with an application to direct current motors". *Control Theory & Applications*, IET. Vol. 6. Nº 7. 2012. Pp. 943–952.
- [3] Z. Li, G. Chen, G. Zhang, M. Gan, "Adaptive robust control for dc motors with input saturation". *Control Theory & Applications*, IET. Vol. 5. Nº 16. 2011. Pp. 1895-1905.
- [4] K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*. 2003. Pearson Educación.
- [5] J. E. Osorio, J. D. P. Ramírez, M. A. Rodríguez, "Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente directa". *Revista Tecnura*. Vol. 14. Nº 27. 2012. Pp. 60-68.
- [6] A. Hughes, B. Drury, *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. 2013. Newnes.
- [7] F. Beltran-Carbajal, A. Favela-Contreras, A. Valderrabano-Gonzalez, J. C. Rosas-Caro, "Output feedback control for robust tracking of position trajectories for dc electric motors". *Electric Power Systems Research*. Vol. 107. 2014. Pp. 183–189.
- [8] R. L. Boylestad, L. Nashelsky, *Electronic devices and circuit theory*. 1999. Granite Hill Publishers.
- [9] D. W. Hart, *Introduction to power electronics*. 1997. Prentice Hall. New Jersey.
- [10] S. D. Umans, *Fitzgerald and Kingsley's Electric Machinery*. 2013. McGraw-Hill Higher Education.
- [11] P. C. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, S. Pekarek, *Analysis of electric machinery and drive systems*. 2013. John Wiley & Sons.
- [12] J. Jiménez-González, F. Beltran-Carbajal, F. J. González-Montañez, I. López-García, "On Model Parameter Estimation Methods of DC Electric Motors" *Pistas Educativas*. Nº 112. 2015. Pp. 43-60.
- [13] Fliess, C. Join, H. Sira-Ramirez, "Non-linear estimation is easy". *International Journal of Modelling, Identification and Control*. Vol. 4. Nº 1. 2008. Pp. 12–27.

7. Autores

José Jiménez González (Cd. De México). Ingeniero Electricista por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A), donde se desempeña trabajando como auxiliar de investigación. Está interesado en el modelado, análisis y control de máquinas eléctricas.

Felipe de Jesús González Montañez (Cd. De México). Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica en el CINVESTAV unidad Zacatenco. Actualmente es profesor investigador del Área de Ingeniería Energética y Electromagnética en el Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Está interesado en el modelado, análisis y control de máquinas eléctricas.

Francisco Beltrán Carbajal (Cd. De México). Ingeniero Mecánico Electricista por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Obtuvo el doctorado en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica en el CINVESTAV-IPN de la Ciudad de México. Actualmente es Profesor-Investigador del Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Sus principales intereses son el control de vibraciones, máquinas rotatorias, mecatrónica y control automático de sistemas electrónicos y electromecánicos.

I. López García (Ixtaltepec, Oaxaca). Doctor en Ingeniería, con especialidad en control por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) e Ingeniero Electricista con especialidad en Máquinas Eléctricas por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Se incorporó a la Universidad Autónoma Metropolitana en 2006, donde ha impartido diversas asignaturas a nivel licenciatura y asesorado distintos Proyectos de Integración. Cuenta con el reconocimiento de perfil *PRODEP* y es candidato al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Sus áreas de interés en investigación son análisis, diseño y control de máquinas eléctricas aplicadas a fuentes alternativas en la generación de energía eléctrica.

E. Campero-Littlewood (México D.F.). En 1969 obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Electricista otorgado por la Universidad Nacional Autónoma de México

(UNAM). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica (con especialidad en máquinas eléctricas y sistemas de potencia), por el Imperial College of Science and Technology, de la Universidad de Londres, Inglaterra, en enero de 1977. Se incorporó a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A) en enero de 1977, donde es Profesor Titular "C" de tiempo completo. Ha ocupado diversos cargos dentro de la institución de los cuales destacan Jefe de departamento de Energía en el periodo 1980-1984 y Director de División de Ciencias Básicas e Ingeniería en el periodo 2000-2004. Ha impulsado diversos programas de impacto en el ahorro de la energía eléctrica dentro de la misma universidad. Sus áreas de interés en investigación son análisis y diseño de máquinas eléctricas, el ahorro y aprovechamiento de la energía.

J. L. Hernández-Ávila (México DF 1965). Es profesor titular nivel C, tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel II (2014-2018). Ingeniero Electricista por la UAM-A (1996). Doctor en Física por la Universidad Joseph Fourier-Grenoble I, Francia (1996).