

# Experimental B-Learning Laboratory for an Electrical Machines Undergraduate Course

F. J. P. Pinal, *Member IEEE*, S. Nava, J. C. Nuñez, *Member, IEEE*, I. Araujo, *Member IEEE*, E. Vera, *Member IEEE* and A. Barranco, *Member IEEE*

**Abstract**— This paper presents the development of an experimental B-learning laboratory for an electrical machines undergraduate course. A custom conditioning signal board was developed from scratch that fits a low-cost data acquisition board used to interact with the LabVIEW real time target. In addition a friendly graphical user interface was developed that allows real time remote user interaction. The system was developed and fully tested in a standard Lucas-Nulle 300W electrical machines module. It is shown that the resulting system can be extended to other modules already in the market, and the conditioning signal board adapted to other electrical engineering courses.

**Keywords**— B-learning, electric machines, real time control, LabVIEW.

## I. INTRODUCCIÓN

**B**LENDED learning (*B-learning*) se define como aquel modo de aprendizaje donde se combina la enseñanza presencial con la tecnología no presencial [1]. Es decir, es un modelo que reafirma los conceptos vistos en una sesión educativa mediante la interacción de tutoriales, simuladores, prácticas, entre otros. En general, los contenidos son puestos en una plataforma en línea dónde el usuario puede acceder a estos con el fin de esclarecer dudas sobre la teoría. El concepto de *B-learning* no es un concepto nuevo, ya que durante años se han combinando clases magistrales, estudio de casos, grabaciones de videos y audio, para difundir el conocimiento sobre temas selectos. En general *B-learning* hace uso de clases presenciales y contenidos en línea.

En los últimos años, *B-learning* se ha convertido en una nueva técnica de aprendizaje, ya que depende del estudiante y no del profesor aprovechar todas las cualidades de los sistemas B-learning (educación flexible). Un ejemplo de *B-learning* se

encuentra en el Campus Extens de la Universidad de las Islas Baleares [2], en ella se hacen uso de sistemas virtuales para complementar lo visto en sesiones presenciales. De 1998 a 1999 en los estudios de comunicación audiovisual en la Universidad de Barcelona, se comenzó a utilizar éste modelo y con el paso de los años ha sido adoptado por otras universidades [3]. Las ventajas principales de *B-learning* son las siguientes: [4], [5]

- La reducción de los elevados costos de la educación presencial.
- Aumento de capacidad de ingreso a los centros de enseñanza debido a la liberación de salones de clases.
- La disminución de la carga de docencia en las universidades, con el fin de que los docentes realicen tareas de investigación.
- La facilidad de acceder a contenidos de la web en sesiones presenciales.
- La utilización de las herramientas interactivas que presente la plataforma *B-learning* (presentaciones multimedia).
- La elevación de las habilidades cognitivas de los estudiantes.
- En general, cambiar el rol del estudiante de pasivo a activo.

La Tabla 1 enlista algunos trabajos de investigación de la enseñanza mediante el concepto de *B-learning* [6-14]. Para crear espacios de estudio virtual en este tipo de enseñanza, existen plataformas conocidas como gestores de contenido de aprendizaje (GCA) o *Learning Management System* (LMS). Estas administran los recursos tales como: a) gestión de usuario, b) cursos, c) foros, d) evaluaciones, e) ejercicios, entre algunos otros [15].

Ejemplos de estos GCA, actualmente en el mercado son: Moodle, Claroline, Dokeos, Blackboard, Desire2learn, entre algunos otros [16]. En general el concepto de *B-learning* puede tener tres tipos de enfoque: a) teórico, b) multimedia y c) experimental [17]. El enfoque teórico se basa principalmente en proporcionar al alumno los contenidos y materiales en forma tradicional requeridos para facilitar su aprendizaje. Generalmente en este enfoque se encuentran los temas vistos en clase y los próximos temas de estudio.

Este trabajo fue financiado por el Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya y el PRODEP.

F. J. P. Pinal, Departamento de Electrónica, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya México, francisco.perez@itcelaya.edu.mx

A. Barranco, Departamento de Electrónica, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya México, alejandro.barranco@itcelaya.edu.mx

S. Nava, Departamento de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Instituto Politécnico Nacional, ESIME Culhuacan, Ciudad de México, México, iaraujo@ipn.mx

I. Araujo, Departamento de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Instituto Politécnico Nacional, ESIME Culhuacan, Ciudad de México, México, shadow\_05721@hotmail.com

J. C. Nuñez, Instituto Politécnico Nacional, CITEDI, Tijuana B.C, México, nunez@citedi.mx

E. Vera, Departamento de Mecánica, Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala, Hgo., México, evera@upp.mx

TABLA I. TRABAJOS DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN A NIVEL SUPERIOR CON EL ENFOQUE DE *B-LEARNING* [6-14].

Año	Título del trabajo	Nivel	Área
2005	<i>B-learning</i> para ingeniería civil en aplicaciones en la asignatura de álgebra	Superior	Ingeniería
2006	<i>B-learning</i> utilizando software libre, una alternativa viable en educación superior	Superior	Colegios
2007	Campus virtual	Superior	Sociedad, Cultura e Ingeniería
2009	Una estrategia para el diseño e implementación de cursos	Superior	Ingeniería
2010	Un modelo de <i>blended learning</i> que soporta tecnologías Web 2.0	Superior	Ingeniería
2010	Prácticas de diseño instruccional para <i>blended learning</i>	Superior	Medicina
2011	Implementando aspectos motivacionales en reactivos de <i>blended learning</i> : Aplicación a un curso introductorio de control	Superior	Ingeniería
2013	La efectividad y experiencias de <i>blended learning</i> a la educación de programación de computadoras	Superior	Ingeniería

Por otra parte, en el enfoque multimedia los contenidos son proporcionados utilizando video tutoriales, simulaciones numéricas, grabaciones de clase y grabación de prácticas experimentales. En este tipo de enfoque generalmente se exponen diferentes ejercicios y solucionarios sobre los diferentes temas del curso. Los ejercicios pueden realizarse en línea con la flexibilidad de actualizar los resultados en la plataforma para que el instructor evalúe su desempeño durante el ciclo escolar. Algunos ejemplos de enfoque multimedia son: KhanAcademy [18], CourseConnect de Pearson [19] y McGraw-Hill Connect.

Finalmente, en el enfoque experimental se describe el funcionamiento de un dispositivo físico, visualizándose y manipulándose en tiempo real. Aquí es donde los alumnos pueden adquirir los conocimientos prácticos necesarios para asentar las bases teóricas adquiridas por clases presenciales y virtuales. En este esquema los docentes son los encargados de diseñar tales prácticas experimentales, haciendo uso de simuladores, emuladores o material físico existente en laboratorio de las universidades. En general los contenidos educativos pueden ser de dos tipos:

- Offline: se hace uso de simuladores, emuladores o laboratorios virtuales para reafirmar los temas vistos.
- Online: se expone en tiempo real mediante una clase virtual el experimento a realizar.

Un ejemplo del enfoque experimental, fue el realizado por la Secretaría de Educación de Bogotá [20], la cual entregó laboratorios virtuales a veinte colegios oficiales acompañada

de una capacitación a los docentes sobre el uso de dicha tecnología. Este proyecto instaló un laboratorio virtual de ciencias para reforzar los conocimientos en: a) mecánica, b) circuitos eléctricos, c) óptica, d) química cuántica, e) gases, y f) calorimetría. Este sistema permitió a los estudiantes trabajar de manera virtual haciendo pruebas con los elementos que ahí se proporcionaban y observar las consecuencias que resultan de estos de una manera real.

Continuando con esta tendencia, éste artículo explica y presenta la plataforma de desarrollo de un laboratorio experimental de *B-learning* de máquinas eléctricas a nivel licenciatura. La sección II presenta el diagrama a bloques del sistema propuesto, detalles de construcción y operación del mismo y reporta la interfaz gráfica desarrollada. Este sistema permite la interacción en tiempo real de un usuario remoto con el prototipo experimental de *B-learning*. A continuación, la sección III reporta los resultados experimentales de la plataforma aplicados al módulo de máquinas eléctricas de Lucas-Nulle. Finalmente en la sección IV se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

## II. DESARROLLO

La Figura 1 muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto, el cual consiste de: a) el módulo de máquinas comercial de Lucas-Nulle, b) un módulo de sensores de corriente y voltaje, c) una Tarjeta de Acondicionamiento de Señal (TAS), d) una Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD) de la marca Keithley, e) una etapa de control de corriente de campo y armadura, y f) una interfaz máquina humano (HMI) la cual fue desarrollada en el ambiente gráfico de LabVIEW.

Es necesario mencionar que este diagrama a bloques es general, y puede ser utilizado para el desarrollo de otros cursos de ingeniería eléctrica. Para esto, solamente se tendría que reemplazar el módulo del motor, la etapa de control de corriente de campo y armadura, y adaptar la interfaz máquina humano. A continuación se describen las etapas del sistema propuesto.

### A. Módulo de máquinas eléctricas de Lucas-Nulle

El módulo de máquinas EEM2 de Lucas-Nülle es un módulo de entrenamiento de motores de Corriente Directa (CD) de 300W, Figura 2. Este módulo permite realizar prácticas de máquinas eléctricas tales como: motor o generador de CD en conexión independiente, serie, paralelo y compuesto. En este módulo se analizan las características en estado transitorio y estable de la máquina de CD, para este fin se miden las señales de corriente, voltaje, torsión y velocidad. Debido a la limitación de módulos disponibles en el laboratorio, en condiciones normales, las prácticas se realizan en grupos de hasta cuatro personas en periodos de hora y media; en donde los estudiantes realizan las conexiones eléctricas y de instrumentación requeridas para las mediciones. Sin embargo, este proceso es lento y generalmente desalentador debido a que solamente uno o dos estudiantes son los encargados de manipular el sistema.

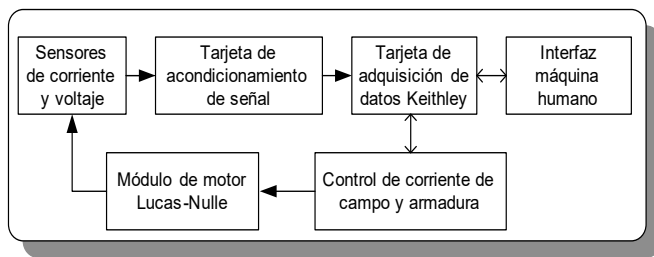


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema desarrollado.

### B. Módulo de sensores de corriente y voltaje

Para medir el voltaje de armadura y campo, se utilizó un divisor de tensión. En contraste, para medir las corrientes se seleccionó un sensor Pololu ACS714, el cual es un sensor  $\pm 5A$  de Allegro de efecto Hall, con 185 mV/A [22]. A todos los sensores anteriores se les agregó un amplificador operacional en configuración diferencial para obtener la medición con el menor ruido posible. Asimismo, se les agregó un amplificador inversor cuya ganancia fue ajustada para obtener un voltaje de salida de 3.54V.

### C. Tarjeta de Acondicionamiento de Señal (TAS)

La tarjeta desarrollada para la lectura en tiempo real de los parámetros del sistema se muestra en la Figura 3. La tarjeta consta de cinco secciones: un multiplexor, una etapa de aislamiento, una ganancia de potencia, filtro anti-alias y un circuito retenedor.

Esta tarjeta utiliza un multiplexor a la entrada de la TAS con la finalidad de reducir elementos y costos. Debido a que se leerán al menos seis parámetros del sistema: corriente de armadura, corriente de campo, voltaje de armadura, voltaje de campo, velocidad y torsión. Sin embargo, con la finalidad de no degradar la señal, se sincroniza el tiempo del multiplexor, el retenedor y la demultiplexación realizada en la TAD. La frecuencia de muestreo seleccionada fue de 5kHz.

La etapa de aislamiento es requerida con el fin de prever la inter-ferencia de señales externas y proteger el sistema de adquisición de datos, y al usuario de choques eléctricos. En general, el aislamiento puede ser óptico, magnético o capacitivo. En este sistema se utilizó el ISO124 [23], el cual es un amplificador operacional lineal aislado que utiliza un método capacitivo y requiere dos fuentes de alimentación.

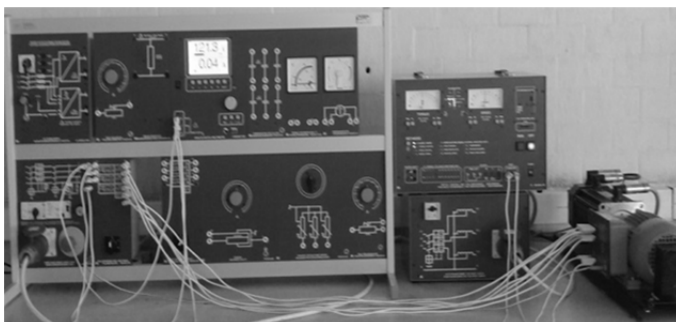


Figura 2. Módulo de máquinas eléctricas EEM2.

Para la etapa de amplificación se utilizó el amplificador de instrumentación INA114, debido principalmente a: i) presenta un voltaje de offset muy bajo, ii) la ganancia se puede programar con una sola resistencia externa, iii) la ganancia puede ser hasta mil veces y iv) la impedancia de entrada es sumamente grande como para evitar variaciones de la fuente a medir. La ganancia de este elemento puede ser calculada por la ecuación:

$$G = 1 + \frac{50k}{R_g} \dots \dots \dots (1)$$

Donde  $R_g$  es la resistencia externa.

Por otra parte, se diseñó un filtro pasa bajas para eliminar señales de *aliasing* de baja frecuencia. La frecuencia de corte seleccionada fue de 500Hz, y el filtro fue implementado con un amplificador operacional MAX291 [24].

La última etapa de la tarjeta es un circuito de muestreo y retención el cual fue sincronizado con el multiplexor y la TAD. El circuito seleccionado fue el AD585 [25], el cual tiene una baja impedancia de salida y la retención puede ser controlada con un disparo externo. Es necesario mencionar que el sistema propuesto se encuentra alimentado con una fuente de +12V, y para la etapa de aislamiento se utilizaron dos convertidores de Corriente Directa a Corriente Directa (CD/CD) TEL 2-1221 [26]. Los cuales tienen un aislamiento de 1500V, presentan un bajo ruido y rizado, así como un rango amplio de temperatura de operación. Puede observarse que la TAS desarrollada es de propósito general, la cual puede ser utilizada en otros sistemas de adquisición de señales para procesos de control o para el desarrollo de cursos *B-learning* en el área eléctrica; por ejemplo: mediciones eléctricas, circuitos eléctricos, entre algunos otros.

### D. Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD) de la marca Keithley

Para la adquisición de señales se empleó una tarjeta de bajo costo KUSB3102. En particular, se utilizó su Convertidor Analógico Digital (ADC) para la adquisición de las seis señales multiplexadas provenientes de la TAS. Las características de configuración del ADC fueron: voltaje de entrada de  $\pm 10V$ , frecuencia de muestreo de 5kHz, 100 muestras/s, tipo de conexión diferencial y disparo externo.

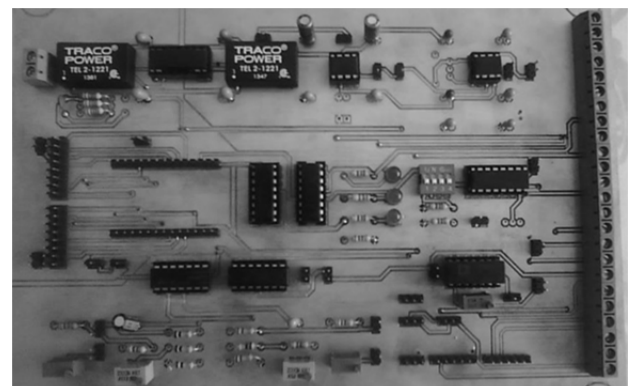


Figura 3. Tarjeta de acondicionamiento de señal desarrollada.

### E. Etapa de control de corriente de campo y armadura

Para la conmutación entre las diversas conexiones, serie, paralelo y excitación independiente se utilizó un circuito de conmutación basado en relevadores. En contraparte, para el control de la corriente en el campo y/o armadura se utilizaron pequeños motores de +12V de CD conectados a una resistencia de potencia (divisor de voltaje), una de 500Ω para variar la corriente de campo y otra de 600Ω para variar el voltaje de armadura. Estos últimos también son controlados por la interfaz gráfica desarrollada. A la salida de los sensores de velocidad, torsión, corriente y voltaje se utilizó un amplificador operacional cuya ganancia fue ajustada para obtener un voltaje de salida de 3.54V y es alimentado con un convertidor CD-CD de la TAS, Figura 4.

### F. Interfaz máquina-humano

La interfaz máquina-humano (HMI) fue desarrollada usando instrumentación virtual (VI) de Keithley; la cual corresponde al modelo de adquisición de datos LabVIEW de National Instrument. En el programa se configuraron las siguientes características: voltajes de entrada de +/-10V, de tipo diferencial, el puerto 0 como entrada analógica, muestras finitas (establecidas por el usuario) y fuente de disparo de la conversión externa.

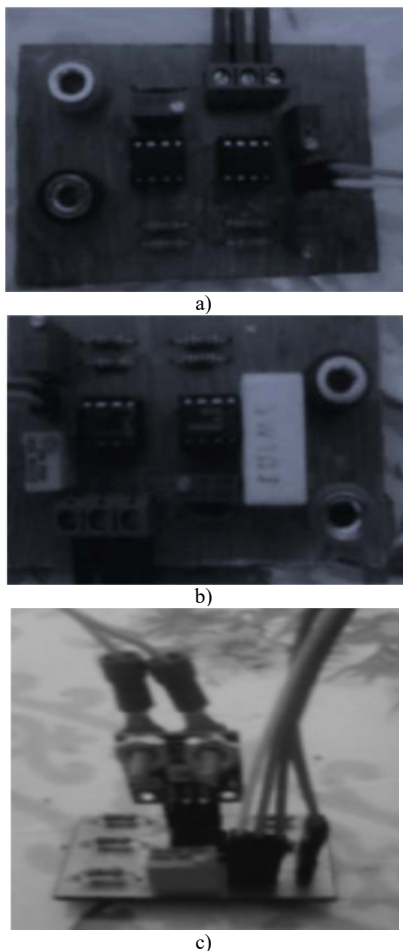


Figura 4. Tarjetas para realizar a) la medición de velocidad y torsión, b) la medición de voltaje en la armadura y corriente de campo y c) la medición de la corriente de armadura.

De igual forma, se configuraron los puertos de entrada y salida digital, se usó un ciclo *'for'* de ocho ciclos (correspondiente a los ocho canales del multiplexor) y una estructura *'while loop'*. Dentro de esta última estructura, se lleva a cabo la lectura del contador de tres bits con el objetivo de asegurar que este en el canal correcto; esto se logra comparando la entrada de los puertos digitales. Dentro del ciclo *'while loop'* se encuentra otro *'for'* de dos ciclos para generar una señal digital para el cambio de canal del multiplexor.

El ciclo *'while loop'* se repite indefinidamente hasta que el usuario detenga el programa. Dentro del segundo ciclo *'for'* están los VI's necesarios para cambiar la velocidad y torque del servomotor, también es posible establecer el tiempo de adquisición necesario para no medir el transitorio de la TAS. La Figura 5 muestra la programación realizada para llevar a cabo la visualización de los datos medidos, éstos son representados en la VI's de medición de LabVIEW y gráficas de visualización en tiempo real de los datos adquiridos. La información obtenida es guardada en un arreglo de dos dimensiones, para obtener cada línea de datos se usó la VI *'index array'* cuya función es obtener todas las columnas de una sola fila, para nuestro caso solo se usaron cinco canales del multiplexor correspondientes a cinco VI's de *'index array'*. Los datos adquiridos son mostrados en gráficas para ver su comportamiento en el tiempo, posteriormente de obtiene el valor promedio de las muestras leídas para ser desplegado en un instrumento de medición virtual. Para la manipulación remota se habilitó el LabVIEW Web Server y se incluyó el NI License Manager ejecutable para permitir el uso de los paneles frontales remotos. El procedimiento de habilitación y configuración puede encontrarse en [21].

## III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para iniciar el sistema se alimenta la TAS y se habilita la HMI. Mediante una tarjeta de conmutación se selecciona entre una conexión serie o paralelo, por defecto dentro de la programación de la HMI se realiza una conexión en serie. A continuación, el usuario establece una corriente de campo deseada mediante las resistencias externas. Cabe mencionar que para cambiar a la conexión paralelo es necesario quitar el suministro de energía para eliminar un posible corto circuito. Una vez seleccionado el tipo de conexión, se energiza el sistema y el servo motor Lenze del módulo de Luca Nulle. En ese momento el sistema está listo para adquirir datos de forma digital mediante los controles en LabVIEW. Posteriormente se presentan cuatro condiciones para variar los parámetros de velocidad y torsión sobre el eje del motor. Las variables  $E_0$  y  $E_1$  son pines de entrada que se encuentran en el servo motor para incrementar o disminuir la velocidad respectivamente. Las conexiones  $A_0$  y  $A_1$  son pines de entrada que simulan un aumento o disminución de torsión aplicada al motor. La Figura 6 muestra el sistema conectado al módulo de Lucas Nulle. La interfaz gráfica consta de tres secciones: desplegado de datos, selección de conexión (serie o paralelo) y manipulación de variables (velocidad, torsión y voltaje/corriente de armadura), Figura 7 a).



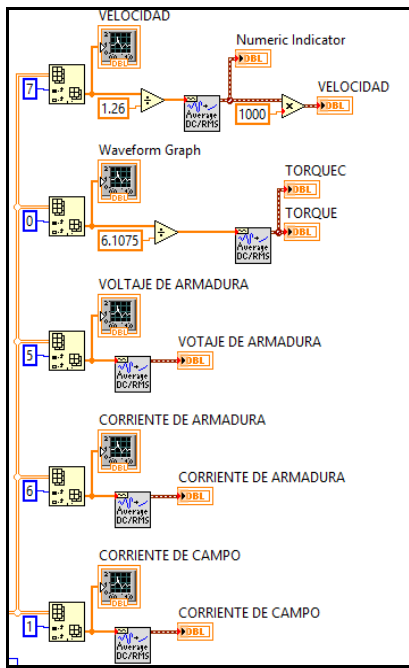


Figura 5. VI's para llevar a cabo la visualización de los datos medidos.

Analizando la Figura 7 b), puede observarse que existe coincidencia con las mediciones de torsión y velocidad en forma física y en el panel frontal remoto. En una primera prueba de conexión serie, se manipuló el voltaje de armadura y se tomaron medidas de velocidad. En una segunda prueba se seleccionó el voltaje nominal del motor y se fue variando la torsión aplicada. En esta última prueba se registró la velocidad y la corriente de armadura. Con estas dos pruebas se puede caracterizar la dinámica del motor de CD en este tipo de conexión. Las prácticas que se pueden realizar con esta primera versión del sistema son las siguientes. Lab. 1 Generador CD conexión serie, Lab. 2 Generador CD conexión paralelo, Lab. 3 Motor de CD conexión serie y Lab. 4. Motor de CD conexión paralelo. Para la realización de estas prácticas se debe llevar a cabo, en sus diferentes conexiones, las siguientes pruebas: control por voltaje de la armadura, cambio de giro y obtención de las características par/velocidad de la máquina.

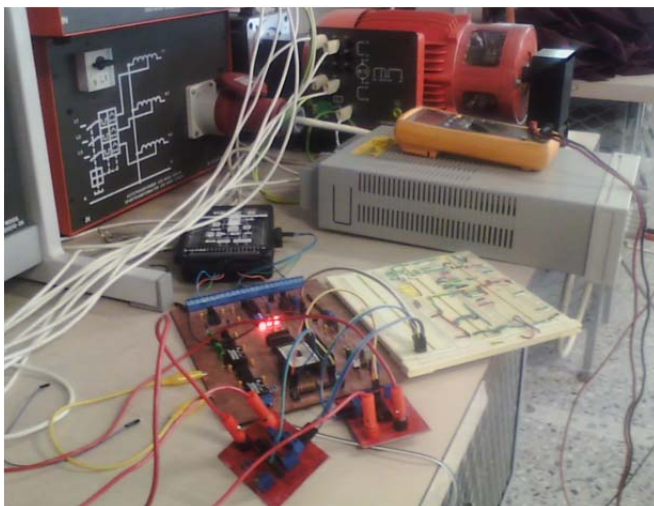


Figura 6. PCB para realizar la medición de la corriente de armadura.

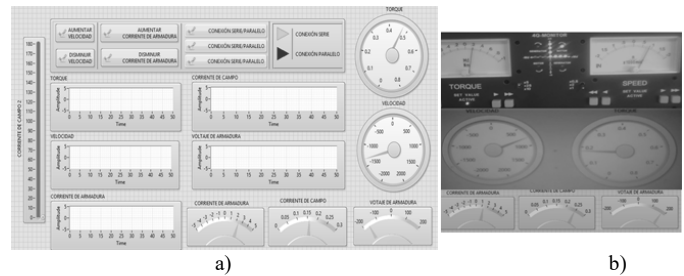


Figura 7. interfaz gráfica del usuario, a) panel frontal, b) comparación medición física y remota.

#### IV. CONCLUSIONES

Este artículo ha presentado el desarrollo de un laboratorio experimental utilizando *B-Learning* para un curso de máquinas eléctricas. Detalles del sistema desarrollado se reportaron, el cual incluye: a) un módulo de máquinas de Lucas-Nulle, b) un módulo de sensores de corriente y voltaje, c) una tarjeta de acondicionamiento de señal, d) una tarjeta de adquisición de datos, e) una etapa de control de corriente de campo y armadura, y f) una interfaz máquina humano la cual fue desarrollada en el ambiente gráfico de LabVIEW. El sistema fue desarrollado y totalmente probado en un módulo de máquinas eléctricas. Se muestra que el sistema propuesto tiene la versatilidad de ser extendido a otros módulos comerciales y la TAS adaptada a otros cursos de ingeniería.

#### AGRADECIMIENTOS

Francisco J. Pérez Pinal agradece el financiamiento y las facilidades del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya y el PRODEP.

#### REFERENCIAS

- [1] L. G. Lorenzo, *La educación a distancia. De la teoría a la práctica*. Ed. Ariel, 2002.
- [2] A. R. B. Pina, "Blended learning: conceptos básicos," *Pixel-Bit: revista de medios y educación*, vol. 23, pp. 7-20, 2004.
- [3] M. Grane, C.V. D'Hebron and P. V. D'Hebron, "Comunicación audiovisual, una experiencia basada en el blended learning en la universidad," *Pixel-Bit: revista de medios y educación*, vol. 23, pp. 83-91, 2004.
- [4] M. Aiello, "El blended learning como práctica transformadora," *Pixel-Bit: revista de medios y educación*, vol. 23, pp. 21-26, 2004.
- [5] J. Bersin, *The blended learning book: Best practices, proven methodologies, and lessons learned*, Ed. John Wiley & Sons, 2004.
- [6] A. Pincas. (2003, 05, 02). "Gradual and simple changes to incorporate ICT into the classroom," *elearningeuropa.info* [Online]. Available: <http://www.elearningeuropa.info/doc>
- [7] M. P. Pascual, "El Blended learning reduce el ahorro de la formación on-line pero gana en calidad," *Suplemento del Boletín Educaweb*, vol. 69, 2003.
- [8] R. C. Barrera, R. Santander and P. Montero, "B-learning para ingeniería civil: asignaciones en la asignatura de álgebra," *Apertura. Revista de Innovación Educativa*, vol. 5, no. 2, pp. 96-109, 2009.
- [9] J. C. G. Mariño, "B-Learning utilizando software libre, una alternativa viable en educación superior," *Revista complutense de Educación*, vol. 17, no. 1, pp. 121-133, 2006.
- [10] L. F. Ortiz, "Campus virtual: la educación más allá del LMS," *RUSS, Universities and Knowledge Society Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 3, 2007.
- [11] N. Hoic-Bozic, V. Mornar and I. Boticki, "A blended learning approach to course design and implementation," *IEEE Trans. on Educ.*, vol. 52, no. 1, pp. 19-30, 2009.
- [12] U. Kose, "A blended learning model supported with web 2.0 technologies," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 2794-2802, 2010.

- [13] K.S. Cheung, J. Lam, N. Lau and C. Shim, "Instructional design practices for blended learning," in *Proc. 2010 Int. Conf. on Computational Intell. and Software Eng. (CiSE)*, Wuhan, China, Dec. 2010, pp. 1-4.
- [14] J. A. Mendez and E. J. Gonzalez, "Implementing motivational features in reactive blended learning: application to an introductory control engineering course," *IEEE Trans. on Educ.*, vol. 54, no. 4, pp. 619-627, 2011.
- [15] O. Deperlioglu and U. Kose, "The effectiveness and experiences of blended learning approaches to computer programming education," *Computer Applicat. in Eng. Educ.*, vol. 21, no. 2, pp. 328-342, 2013.
- [16] E. Sancristobal, M. Castro, J. Harward, P. Baley, K. DeLong and J. Hardison, "Integration view of web labs and learning management systems," in *Proc 2010 IEEE Educ. Eng. (EDUCON)*, Madrid, Spain, Apr. 2010, pp. 1409-1417.
- [17] S. Graf, and I. C. Kinshuk, "A flexible mechanism for providing adaptivity based on learning styles in learning management systems," in *Proc. 2010 IEEE 10th Int. Conf. on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Sousse, Tunisia, Jul. 2010, pp. 30-34.
- [18] J. Hagel and A. G. Armstrong, *Net gain. Expanding markets through virtual communities*, Ed. Harvard Business School Press, 1997.
- [19] A. del Blanco, A. Serrano, M. Freire, I. Martinez-Ortiz and B. Fernandez-Manjon, "E-Learning standards and learning analytics. Can data collection be improved by using standard data models?," in *Proc. 2013 IEEE Global Eng. Educ. Conf. (EDUCON)*, Berlin, Germany, Mar. 2013, pp. 1255-1261.
- [20] L. F. Zapata-Rivera, J. L. Restrepo-Ochoa and J. L. Barbosa-Perez, "Improving student results in a statics course using a computer-based training and assessment system," in *Proc. 2013 IEEE Frontiers in Educ. Conf.*, Oklahoma City, OK, Oct. 2013, pp. 1898-1904.
- [21] LabVIEW. (2015, 05, 09). "Como habilito el LabVIEW web server o utilizo remote panels en un ejecutable hecho en LabVIEW," LabVIEW soporte [Online]. Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/8033F5E1536982D38625799700623412>
- [22] Pololu, (2016, 01, 18). ACS714 Datasheet. [Online]. Available: [https://www.pololu.com/file/download/ACS714.pdf?file\\_id=0J196](https://www.pololu.com/file/download/ACS714.pdf?file_id=0J196)
- [23] Texas Instruments. (2016, 01, 18). [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/iso124.pdf>
- [24] MAXIM Integrated, (2016, 01, 18). MAX291 Datasheet. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX291-MAX296.pdf>
- [25] Analog Devices, (2016, 01, 18). AD585 Datasheet. [Online]. Available: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD585.pdf>
- [26] Traco Power, (2016, 01, 18). TEL 2-1221 Datasheet. [Online]. Available: <http://www.tracopower.com/products/tel2.pdf>



**Francisco J. Perez Pinal (M'01)** received the M.Sc. degree jointly from the University of Birmingham, Birmingham, U.K., and the University of Nottingham, Nottingham, U.K., in 2002 and the Ph.D. degree from the University of San Luis Potosí, San Luis Potosí, Mexico, in 2008, all in electrical engineering. He is a Professor with the Department of Electronic Engineering, Instituto Tecnológico de Celaya,

Celaya, Mexico. His research interests include power electronics, electric motor drives, renewable energy, smart grid, energy conversion systems, and transportation electrification.



**Saul Alonso Nava Cruz** was born in Mexico, in 1992. He received the B.S. degree in communications and electronics engineering from the National Polytechnic Institute (IPN), Mexico City, Mexico, in 2015.

He is currently with CFE. His research interests are control, robotics, power electronics and embedded systems.



**José Cruz Núñez Pérez** was born in Uruapan Michoacan, Mexico, on April 2, 1978. He received the PhD degree from the Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA-Lyon), Villeurbanne France, in 2007. Since August 2008, he is a Professor at Digital Technology Research and Development Center of National Polytechnic Institute (IPN-

CITEDI), in Tijuana, Mexico. His research interests include digital and analog circuits design, device physic modeling, DSP and FPGA design, circuit and system co-simulation, and electromagnetic compatibility.



**Ismael Araujo Vargas (M'02)** received the Ph.D. degree in electrical and electronic engineering from The University of Manchester, Manchester, U.K., in 2007. He is currently with the Superior School of Mechanical and Electrical Engineering, IPN. His research interests include high-power-factor rectifiers, dc-dc converters, and modeling and control of power electronic systems for aerospace applications.



**Edgar E. Vera Cárdenas** was born in Santiago Tulantepec, Hidalgo, Mexico, in 1972. He received the PhD degree in ME from Instituto Politécnico Nacional, in 2009. He is a research professor in the Automotive Mechanic Department at Universidad Politécnica de Pachuca, Mexico.

His main areas of research interest are Mechanical design, Mechatronics and Tribology. Currently He is an active Member of the Mexico's National System of Researchers (SNI) Level I.



**Alejandro Israel Barranco Gutiérrez** was born in Mexico, City, Mexico in 1980. He received the Ph.D. degree from CICATA, National Polytechnic Institute in electronics and control. He is currently with the Department of Electronic Engineering, Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, Mexico. He is an active Member of the Mexico's National

System of Researchers (SNI) Level C. His research interests include control, robotics, and artificial intelligence.