

# Características y Utilidades de un Laboratorio Virtual de Máquinas de Inducción en el Entorno Docente

John Milton Ramírez Romero y Sergio Raul Rivera Rodríguez, *SENIOR MEMBER*

CÓMO REFERENCIAR ESTE ARTÍCULO:

Jhon Ramírez, Sergio Rivera. "Features and Utilities of a Virtual Laboratory of Induction Machines in the Teaching Environment", *IEEE-RITA*, Nov. 2018, Volume 13, Issue 4, Pages AA-BB

DOI: [https://doi.org/...](https://doi.org/)

**Title— Features and Utilities of a Virtual Laboratory of Induction Machines in the Teaching Environment**

**Abstract— This paper presents the development and implementation of a Virtual Laboratory that allows to recreate the fundamental aspects of induction machines tests. These machines are widely used in the industry and their tests require a good preparation of the personnel that manipulates them. The proposed laboratory recreates the Electrical Machines Laboratory of the National University of Colombia that has the necessary equipment to develop tests to induction machines. Among the advantages of the proposed laboratory, the Virtual Laboratory of Induction Machines (LVMI) facilitates student inclusion and can be used by educational institutions as a component for the expansion of academic coverage. The LVMI can also be used for other educational purposes, for instance, it can be used in statistics for the study of correlation and trend curves. This document shows the background, usefulness and characteristics of this project. Since it is a material that the National University of Colombia has prepared for the general public, readers are invited to use this material.**

**Index Terms— Inclusivity, Induction Machine, Optimization; Simulation, Virtual Laboratory.**

## I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

LA Dirección Nacional de Innovación Académica (DNIA) de la Universidad Nacional de Colombia es una dependencia encargada de dar asesoría y soporte a estudiantes, docentes y demás en el uso y desarrollo de medios y tecnologías de información y comunicación (también conocidos como MTICs) [1]. En el 2017, la DNIA creó un simulador de ensayos a máquinas de inducción llamado Laboratorio Virtual de Máquinas de Inducción (de aquí en adelante llamado LVMI) para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Nacional.

Los laboratorios virtuales son una innovación pedagógica en la rama de ingeniería consistente en aplicaciones computarizadas que han revolucionado los ambientes de aprendizaje al poder simular el comportamiento físico de configuraciones experimentales [2], [3].

Manuscrito recibido el día de mes de año; revisado día de mes de año; aceptado día de mes de año.

English versión received Month, day-th, year. Revised Month, day-th, year. Accepted Month, day-th, year.

J. Ramírez, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia); email: [jmramirezro@unal.edu.co](mailto:jmramirezro@unal.edu.co).

ORCID: [orcid.org/0000-0002-0982-2284](https://orcid.org/0000-0002-0982-2284)

S. Rivera, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia); email: [sriverar@unal.edu.co](mailto:sriverar@unal.edu.co).

ORCID: [orcid.org/0000-0002-2995-1147](https://orcid.org/0000-0002-2995-1147)

Los ensayos que se realizan a las máquinas de inducción dentro de los laboratorios de la Universidad son presenciales. Debido a los riesgos que se derivan del trabajo con máquinas eléctricas y a los costos de la reparación de los daños de los dispositivos involucrados, se decidió desarrollar el proyecto LVMI. Para disminuir los riesgos mencionados, los estudiantes deben trabajar primero con el LVMI, para después realizar los montajes físicos de las máquinas de inducción. De esta manera, a través de un computador, un alumno puede recrear las condiciones de una práctica o un experimento contenido en el laboratorio. Esta característica es ideal para recrear el funcionamiento de un sistema cuyo ambiente es potencialmente peligroso antes de que el alumno se enfrente físicamente con las máquinas y equipos reales [4].

El LVMI tiene como antecedente directo el desarrollo del Trabajo de Grado titulado *Desarrollo de un Laboratorio Virtual computarizado de un transformador monofásico (LVTM) para el Laboratorio de Conversión Electromagnética*, desarrollado por J. Ramírez y dirigido por el Ing. S. Rivera (autores de este artículo). El producto final de este trabajo es un software que simula los aspectos fundamentales de los ensayos realizados en el Laboratorio [5] a estos dispositivos, los cuales son usados en distribución de energía eléctrica. Los usuarios pueden descargar el simulador desde la página web *Laboratorio Virtual de Transformadores Monofásicos*, que se encuentra en el site de *Experiencias Innovadoras* de la Universidad Nacional (el link es: <http://www.virtual.unal.edu.co/innovaciones/lvtm>). Cualquier persona con conexión a Internet y una computadora con sistema operativo Windows® puede descargar el Simulador.

El LVMI fue desarrollado entre los meses de mayo y noviembre de 2017, consiste en un software que cuenta con módulos para la simulación del cableado de máquinas de inducción a dispositivos de alimentación, protección y medición. La descripción de los antecedentes, las características del LVMI, su utilidad en procesos de inclusión académica, sus ventajas de su uso en la educación basada en Internet y los posibles usos que se pueden dar al simulador en otros contextos educativos se muestran a lo largo de este documento.

## II. ENSAYOS EN LAS MÁQUINAS DE INDUCCIÓN

Wildi describe los motores de inducción como máquinas eléctricas de inducción que se usan ampliamente en la industria ya que son simples, baratas, resistentes y su operación es sencilla [6], [7]. Operan con conexiones

eléctricas trifásicas. Se usan en una gran cantidad de aplicaciones dentro de la industria (por ejemplo, para generar movimiento rotativo en herramientas de corte y fresado). En la figura 1 se muestra la fotografía de un motor de inducción y en la figura 2, su representación en el LVMI.

Las pruebas que se realizan para conocer sus parámetros internos se conocen como Ensayo de Vacío (se pone en marcha el motor sin conectar mecánicamente ningún elemento en su rotor) y Ensayo de Rotor Bloqueado (sujetar el rotor mecánicamente con un freno y alimentarlo apropiadamente para tomar mediciones de corrientes, tensiones y potencias para conocer sus pérdidas) [6].

En el ensayo de rotor bloqueado se trabaja con corrientes que deben llegar a las nominales de la máquina. Según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, las corrientes altas pueden provocar daños en el organismo asociados a quemaduras y desfibrilaciones [8]. En su interior los motores tienen bobinas de cable de cobre cubiertos con esmalte, éste se deteriora si se aplica una corriente muy alta durante un tiempo prolongado. Por ello, si el alumno sobrepasa el tiempo límite dañará el aislamiento, lo que ocasionará un daño serio al motor.

En el ensayo de vacío, los riesgos están asociados al giro del rotor y a las corrientes altas de arranque. Si los alumnos con pelo largo no usan algún medio para sujetarlo, usan ropa holgada o con secciones largas (por ejemplo, una bufanda), se pueden enredar en el rotor provocando daños físicos serios.

### III. EL PROYECTO LVMI

El LVMI es un simulador de ensayos de rotor bloqueado y de vacío a motores de inducción. Antes de desarrollar las prácticas en un motor real, los alumnos usan el LVMI para recrear las conexiones de los ensayos y hacen las mediciones. La Universidad Nacional ha dispuesto este software y sus manuales al público, se puede descargar desde la página de internet <http://168.176.60.11/cursos/ingenieria/electrica/>.

Los alumnos recrean la conexión del motor desde el tablero de protecciones, pasando por la caja de paso, hasta el motor y el Analizador de Redes. En la Figura 3 se muestra la conexión de un motor para un ensayo de vacío, incluyendo

el Analizador de Redes (derecha) y los Transformadores de Corriente (centro).

Una de las ventajas del uso del LVMI está relacionada con el entrenamiento que los alumnos reciben para la conexión de un Analizador de Redes, el cual es un dispositivo que se usa actualmente para realizar mediciones de tensión, corriente y potencia. En la Figura 4 se muestra el Analizador de Redes junto con el Variac (dispositivo que permite variar la tensión de entrada) y el arrancador estrella-delta (permite poner en marcha el motor).

Dentro de la academia, el LVMI se utilizará como un recurso que será usado antes de las prácticas presenciales. Con ello, adquieren destrezas que facilitarán su aprendizaje. Dado que los Laboratorios usados en la industria para realizar estos ensayos son muy similares, los usuarios del LVMI pueden retomar su uso y reforzar sus conocimientos para su ejercicio laboral.

El enfoque del LVMI está centrado en el aprendizaje paso a paso, indicando al alumno cuáles cables debe conectar en los bornes (puntos de conexión), estableciendo una secuencia de cableado similar a la que se realiza en las prácticas reales. A diferencia del Laboratorio Virtual de Transformadores Monofásicos [5], el LVMI cuenta con gráficos más realistas y reproduce las características más relevantes de los elementos involucrados en el proceso de aprendizaje. En la Figura se muestra una parte de las conexiones realizadas a un motor durante un ensayo (en este caso, es un ensayo de rotor bloqueado). Los cables tienen colores diferentes para facilitar al alumno la identificación de las conexiones que se van realizando.

Es importante generar conciencia a los alumnos acerca del uso de los implementos de seguridad necesarios para el desarrollo de los laboratorios. Para ello, el LVMI cuenta con un módulo llamado Almacén, en el cual los alumnos deben proveerse de un overol, gafas de protección, guantes y botas. En la Figura 5 se muestra la pantalla de este módulo. Si el usuario no lleva a su inventario la totalidad del equipo necesario, el LVMI impedirá al usuario realizar los ensayos. Desde el almacén, el usuario también selecciona uno de los motores para realizar la práctica.

El LVMI cuenta con un editor que permite añadir y editar motores de inducción. Los usuarios toman nota de las mediciones obtenidas de un motor real, obtienen los coeficientes de la correlación de las variables de tensión, corriente y potencia realizando los pasos descritos en el manual del usuario e ingresan los datos obtenidos en el editor de máquinas [9].



Figura 1. Motor de inducción. Fuente: los autores

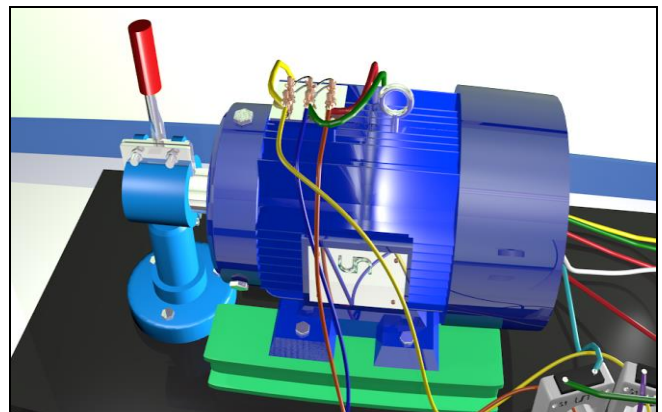


Figura 2. Motor de inducción incluido en el LVMI. Fuente: los autores

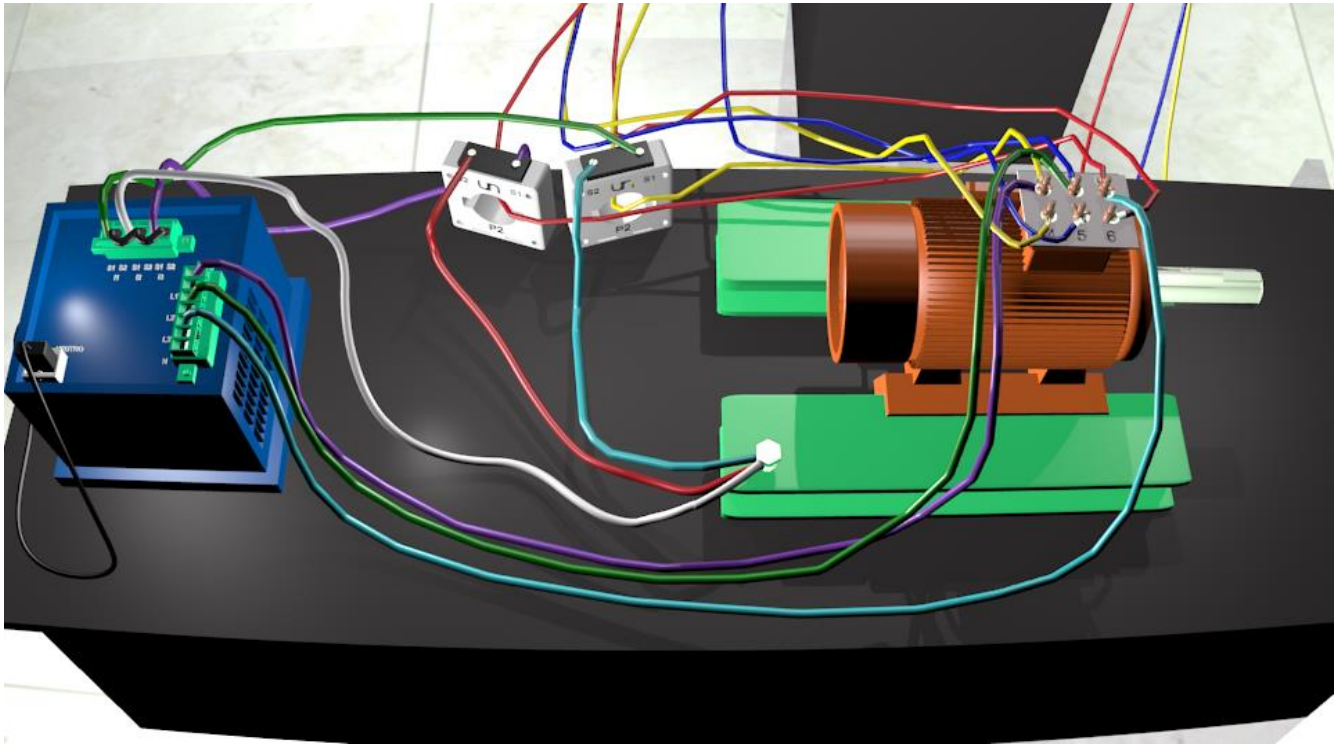


Figura 3. Ensayo de vacío en el Laboratorio Virtual de Motores de Inducción. Fuente: los autores

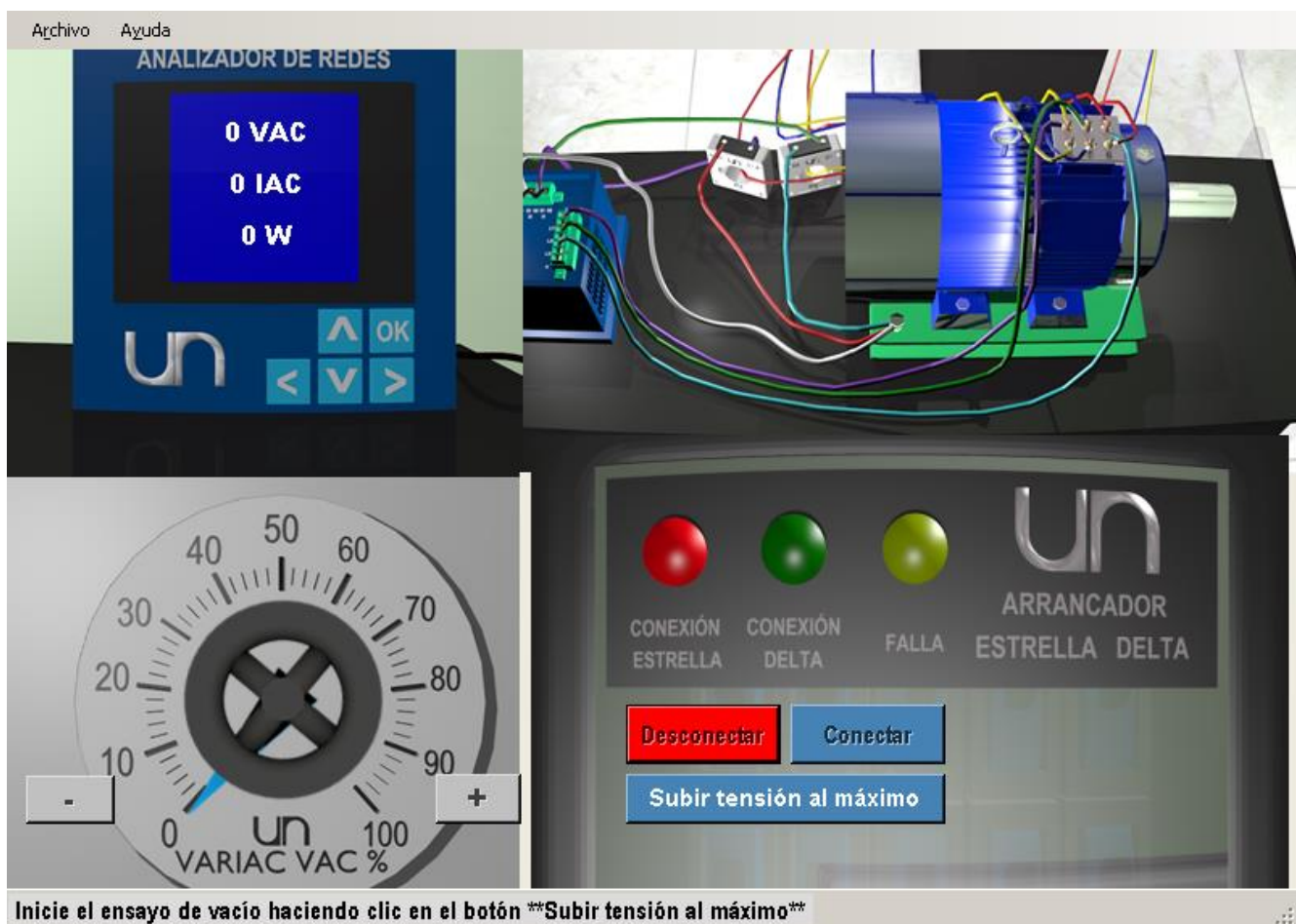


Figura 4. Toma de datos en el ensayo de vacío. Fuente: los autores

El software también permite editar y seleccionar para el motor hasta cuatro carcasas incluidas. El proceso del editor de motores corresponde a una vez seleccionado el motor a trabajar, el software conoce el circuito equivalente de este

(Figura 6) y la salida de datos se presentará en la representación del analizador de redes (Figura 7).

Los usuarios más experimentados del LVMI pueden omitir la realización de conexiones cuando hayan alcanzado un número mínimo de ensayos efectuados (el simulador



Figura 5. Almacén del LVMI. Fuente: los autores.

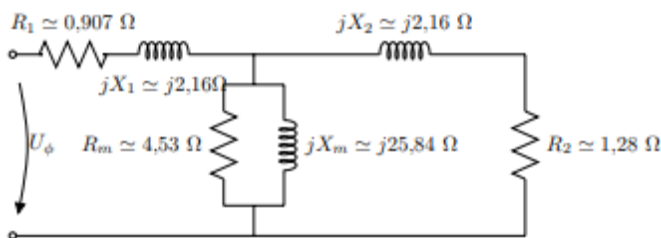


Figura 6. Circuito equivalente del motor seleccionado. Fuente: los autores

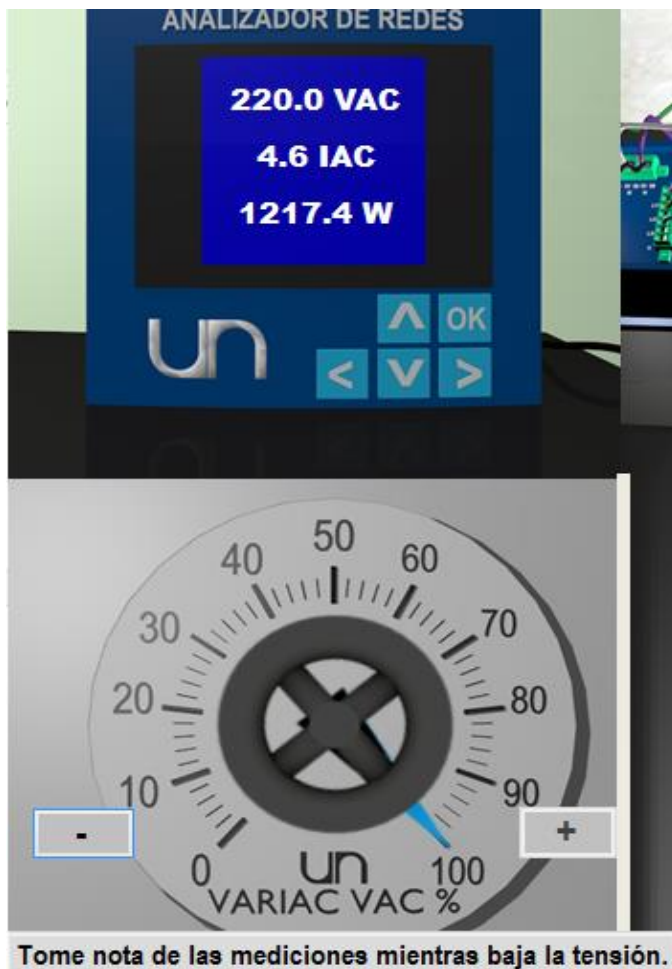


Figura 7. Salida de datos en la representación del analizador de redes utilizado en el laboratorio a medida que se varía la tensión. Fuente: los autores

publica este dato en la pantalla de inicio). De allí en adelante, pueden omitir la realización de conexiones y centrarse en la toma de datos. Se invita a los lectores descargar el LVMI y sus manuales a través del link que se presentó en la sección III.

#### IV. EL LVMI Y SU PAPEL DENTRO DE LA INCLUSIVIDAD EDUCATIVA

La inclusión es un término que define los procesos de apoyo a la superación de obstáculos que ejercen limitaciones a los estudiantes en su asistencia y participación a las clases. La UNESCO dirige la comprensión de la Educación Inclusiva para que el sistema educativo se fortalezca, a través de la eliminación de todas las barreras que les impide a los estudiantes con diferencias individuales disfrutar de una educación de calidad para todos. La UNESCO también invita a los responsables de la política educativa de las naciones a apoyar la inclusividad educativa a través de la reglamentación y el financiamiento de los sistemas educativos [10].

Una definición más amplia de la inclusión es mostrada por Escribano y Martínez, enfocando este término a las oportunidades a las que puede acceder las personas diferentes para su participación dentro de diferentes actividades (ya sean actividades económicas, consumo, educativas, sólo por nombrar algunos ejemplos) [11].

Examinando el entorno de las máquinas eléctricas, los Laboratorios Virtuales permiten a la población con necesidades especiales obtener una aproximación a las condiciones reales del desarrollo de las prácticas, esto es muy útil en la población que puede tener limitaciones motrices.

Dentro del Laboratorio de Máquinas Eléctricas, el uso de Laboratorios Virtuales fortalece la Inclusividad al permitir a los alumnos con discapacidades la realización a las prácticas sin entorpecer su proceso de aprendizaje. Así mismo, recordando el lema de la UNESCO *todos las y los estudiantes cuentan por igual*, los alumnos podrán tener la oportunidad de aprender los aspectos fundamentales de la realización de los ensayos a las máquinas de inducción.

Aun cuando los procesos de inclusividad se dirigen hacia la población estudiantil con necesidades educativas especiales, también se debe resaltar que la población estudiantil que no se encuentra en condiciones especiales también podrían beneficiarse del LVMI. Aquellos estudiantes de otras sedes de la Universidad o de otras instituciones que no cuentan con la infraestructura ni los recursos para crea un Laboratorio de Máquinas Eléctricas, pueden usar el LVMI como un instrumento efectivo para la transmisión de conocimientos entre docentes y alumnos.

Ya que el internet puede llegar a zonas apartadas, se puede fortalecer la inclusividad al permitir a sus habitantes el acceso al LVMI. Es muy probable que en esos lugares no sea factible la creación de un Laboratorio de Máquinas Eléctricas, pero se haga necesario el aprendizaje de sus ensayos.

#### V. EL LVMI Y SU PAPEL COMO FACILITADOR EN LA TRANSMISIÓN DEL CONOCIMIENTO

El desarrollo histórico de Colombia ha estado limitado, entre otros factores, a su geografía. Los habitantes de las zonas más apartadas del país (casi todas ellas son rurales) tienen dificultades para acceder a la educación desde los niveles más básicos hasta los estudios técnicos y universitarios. En el 2017, la Corte Constitucional obligó al Gobierno Nacional a tomar medidas que faciliten el acceso de la educación de niños y jóvenes de zonas apartadas [12].

Los criterios económicos y técnicos redirigen la atención de las soluciones a aplicar hacia el uso de las TICs, ya que

éstas permiten que las instituciones hagan presencia en zonas con dificultades de acceso.

Tanto el LVMI, como cualquier simulador, permitirán al Gobierno Nacional reducir costos e incrementar la cobertura y la oferta académica. En el momento de la elaboración de este artículo, la forma más eficiente y sencilla de llevar las aulas a las zonas apartadas es una combinación de sistemas de comunicaciones basadas en la Internet, y el desarrollo de material didáctico computarizado.

Soltani y Aliyev resaltan algunas ventajas de la educación virtual basadas en la Internet: no es necesario que los alumnos estén presentes en las aulas, la información puede ser ofrecida en alta calidad, se pueden aclarar dudas de una gran cantidad de estudiantes, se facilita el acceso a librerías digitales y se incrementa el nivel científico de la comunidad [13]. Dentro del estudio de las máquinas de inducción, el LVMI es un ejemplo de las ventajas descritas anteriormente.

El nivel de desarrollo de las bases de datos y la facilidad del acceso a su información contenida permitirá incluir otras características. Mejía y otros realizan recomendaciones en educación virtual, entre ellas, la creación de un módulo que registre el historial del aprendizaje de lectura de los alumnos [14]. Si se generaliza esta recomendación y se aplica al LVMI, la información de la evolución de la adquisición del conocimiento por parte de los alumnos permitirá a los docentes redirigir sus esfuerzos hacia vías más eficientes de uso del simulador, tal como un médico usa la historia médica de un paciente para decidir el tratamiento a seguir.

## VI. UTILIDADES DEL LVMI

Dentro de las utilidades estimadas del LVMI, se pueden encontrar:

- Realización de ejemplos de toma de datos dentro de un entorno práctico para la realización del análisis de correlación y hallazgo de curvas de tendencia de primer y segundo grado, útil en el desarrollo de clases de probabilidad y estadística. Lay muestra ejemplos de aproximaciones cuadráticas de parejas de datos, los estudiantes pueden usar el simulador para obtener datos con los que pueden desarrollar ejercicios de estas áreas [15].
- Simulación de toma de datos de ensayos de rotor bloqueado y de vacío de máquinas de inducción.
- Aprendizaje del cableado de máquinas de inducción desde su fuente de alimentación hasta el instrumento de medición.
- Enseñanza de la secuencia de cableado de un Analizador de Redes a máquinas de inducción. La Asea Brown Boveri (ABB) distribuye Analizadores de Redes y en sus manuales de usuario muestran una completa descripción de los conectores de estos dispositivos [16]. Por ejemplo, se muestran los diagramas de cableado que se debe realizar, junto con los transformadores de corriente y la carga, para efectuar la conexión Aron. De la Hoz describe el proceso para la determinación de la potencia activa trifásica en circuitos balanceados y desbalanceados empleando esta conexión [17].
- Aprendizaje del cableado de alimentación a tensión variable de un dispositivo de corriente alterna con un tablero de protecciones.

- Dentro de las clases en las materias de Máquinas Eléctricas y Conversión Electromagnética, el LVMI sirve para generar ejemplos prácticos de obtención de parámetros del circuito equivalente de Máquinas de Inducción. Casals realiza la descripción de una práctica de laboratorio de máquinas de inducción describiendo su estructura física, las fórmulas que describen su funcionamiento, el proceso de obtención del circuito equivalente, las conexiones trifásicas, la utilidad del arrancador estrella triángulo y el cambio en su sentido de giro [18]. El LVMI puede ser usado para complementar las prácticas propuestas similares por los docentes en el área de electrotecnia.
- La nueva herramienta (LVMI) ha mejorado la adquisición de destrezas por parte del alumnado. Estos se pueden comprobar con los datos recolectados después del primer semestre de uso de este laboratorio. La tasa de aprobación del curso subió de 76% a 89%. Disminuyó el número de fusibles dañados por semestre en los 4 grupos que se dicta la materia, de 8 fusibles por semestre se bajó a 2. La apreciación de la calidad del curso subió de 85% a 96%. Subió la inscripción al curso, donde por semestre era dictado a 30 personas y ahora se dicta a 36.

## VII. CONCLUSIONES

El Laboratorio Virtual de Máquinas de Inducción permite complementar la educación presencial efectuada en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, permitiendo a los alumnos recrear previamente las actividades de las prácticas relacionadas con motores de inducción.

Un Laboratorio Virtual no debe ser entendido como un sustituto de un Laboratorio Real, sino como un modelo que recrea unas condiciones controladas con el fin de transmitir conocimiento generado en un entorno delimitado. En el caso del LVMI, se debe entender como un modelo que describe los aspectos fundamentales del comportamiento de un motor. En una práctica real ocurren muchos otros fenómenos que son objeto de estudio académico, pero que no están incluidos actualmente en el LVMI.

La libre distribución del Laboratorio Virtual de Máquinas de Inducción facilitará su difusión dentro de la comunidad académica. Tanto los alumnos como los docentes deben tener en cuenta que este proyecto no debe considerarse como un producto definitivo, por lo que es importante la retroalimentación entre usuarios y desarrolladores para el desarrollo de nuevas versiones que amplíen sus funcionalidades.

El desarrollo de Laboratorios Virtuales dentro de las aulas fortalece los procesos de inclusión educativa al permitir a alumnos con condiciones especiales su inclusión dentro del sistema educativo. En concreto, el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Nacional cuenta con dos Laboratorios Virtuales, el financiamiento de otros proyectos que permitan cubrir la totalidad de las prácticas desarrolladas fortalecerá el proceso educativo.

## REFERENCIAS

- [1] Universidad Nacional de Colombia - Dirección Nacional de Innovación Académica, "Acerca de la DNIA.," [Online] Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/quienes-somos>. Consultado: enero 16 de 2018.
- [2] E. Stark, P. Bisták and E. Kučera, "Virtual laboratory with experiment manager implemented into Moodle," 2018 Cybernetics & Informatics (K&I), Lazy pod Makytou, Slovakia, 2018, pp. 1-6.
- [3] J. Ramirez and S. Rivera, "Aplicación del ciclo de vida y el análisis estructurado en el desarrollo de un laboratorio virtual de transformadores monofásicos," Revista Educación en Ingeniería, v. 12, n. 23, 2017, p. 43-48.
- [4] S. B. Nolen and M. D. Koretsky, "Affordances of Virtual and Physical Laboratory Projects for Instructional Design: Impacts on Student Engagement," in IEEE Transactions on Education (early access).
- [5] Universidad Nacional de Colombia. Laboratorio virtual de transformadores monofásicos (2017). [online] Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/innovaciones/lvtm>. Consultado: enero 16 de 2018.
- [6] College of Engineering of Pune. "Blocked-Rotor Test". [Online] Disponible en: [iitg.vlab.co.in/?sub=61&brch=168&sim=916&cnt=2](http://iitg.vlab.co.in/?sub=61&brch=168&sim=916&cnt=2). Consultado: abril 11 de 2018.
- [7] Wildi, T. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. México D.F.: Pearson. 2007.
- [8] República de Colombia – Ministerio de Minas y Energía. "Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE" [Online] Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>. Consultado: abril 11 de 2018.
- [9] Ramírez, J. Laboratorio Virtual de Motores de Inducción – Manual Técnico (2018). [Online] Disponible en: <http://168.176.239.58/cursos/ingenieria/electrica/assets/manualtecnico.pdf>. Consultado: abril 12 de 2018.
- [10] UNESCO. Guía para asegurar la inclusión y la equidad en la educación. [online] Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002595/259592s.pdf>. Consultado: enero 30 de 2018.
- [11] Escribano, A. y Martínez, A. Inclusión Educativa y Profesorado Inclusivo. Narcea S.A. Madrid. 2013. ISBN: 978-84-277-1906-4. pag.25
- [12] Colprensa. "Gobierno debe garantizar educación en las zonas más apartadas del país: Corte". [online] Disponible en: <http://www.elcolombiano.com/colombia/gobierno-debe-garantizar-educacion-en-las-zonas-mas-apartadas-del-pais-corte-HF6214696>. Consultado: abril 12 de 2018.
- [13] M. Soltani and A. Aliyev, "Virtual teaching at the education centers," 2011 5th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Baku, 2011. [Online] Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.unal.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6110948&isnumber=6110878>. Consultado: abril 12 de 2018.
- [14] C. Mejía, S. Gomez, L. Mancera and S. Taveneau, "Inclusive Learner Model for Adaptive Recommendations in Virtual Education," 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Timisoara, 2017, pp. 79-80. [Online] Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.unal.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8001723&isnumber=8001692>. Consultado: abril 12 de 2018
- [15] Lay, D. Álgebra lineal y sus aplicaciones. Pearson Educación, México 2007. 3° ed. ISBN 978-970-26-0906-3. Pag. 439 y 440.
- [16] Asea Brown Boveri ABB. ANR96 Electrical Multifunction Analyzer – User manual. [online] Disponible en: <https://library.e.abb.com/public/7d414a13202d4ebdbc451f99287a95aa/ANR96%20IM125-U-A-%20v4%204.pdf>. Consultado: enero 31 de 2018. Pag. 17 y 18.
- [17] De la Hoz, J. Máquinas Eléctricas I: Prácticas. Ediciones UPC. Barcelona, 2006. Volumen 1.pag 36 y 37. ISBN: 978-84-8301-870-5
- [18] Casals, P y Bosch, R. Máquinas eléctricas: aplicaciones de ingeniería eléctrica a instalaciones navales y marinas. Ediciones UPC. Barcelona, 2005. Pag 37 – 41. ISBN: 84-8301-813-6.

**J. Ramirez** es Ing. Electricista de Universidad Nacional de Colombia (2016), Bachiller Técnico en Sistemas y Computación del Instituto Técnico Industrial Piloto; programador de Laboratorios Virtuales de Transformadores Monofásicos (2016), Máquinas de Inducción (2017) y Ensayos de Tensión a Varillas de Acero (2017). e-mail: [jmramirezro@unal.edu.co](mailto:jmramirezro@unal.edu.co) ORCID: [orcid.org/0000-0002-0982-2284](http://orcid.org/0000-0002-0982-2284).

**Sergio Rivera Rodríguez**, PhD. Ingeniero Electricista de Universidad Nacional de Colombia (2001); Especialista en Ingeniería Eléctrica con Énfasis en Sistemas de Distribución (2004), PhD en Ingeniería Eléctrica del Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan (2011). Postdoctorado Asociado en el MIT – Massachusetts Institute of Technology (2013); Postdoctoral Fellow en el MIST – Masdar Institute of Science and Technology (2014). Profesor en Universidad Nacional en el área de sistemas de potencia y máquinas eléctricas (2014). e-mail: [sriverer@unal.edu.co](mailto:sriverer@unal.edu.co) ORCID: [orcid.org/0000-0002-2995-1147](http://orcid.org/0000-0002-2995-1147)