

Relaciones de la teoría con la práctica en los laboratorios virtuales de la asignatura Sistemas Eléctricos I

Relationship between Theory and Practice in the Virtual Laboratories of the Course Electrical Systems I

Héctor Silvio Llamo Laborí¹ <https://orcid.org/0000-0002-8021-3692>

Ariel Santos Fuentesfría^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9131-5539>

¹Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba.

*Autor para la correspondencia. asfuentefria@electronica.cujae.edu.cu

RESUMEN

En la carrera Ingeniería Eléctrica, que se cursa en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), se imparte la asignatura Sistemas Eléctricos I, donde los alumnos deben resolver cuatro laboratorios virtuales sobre la base del aprendizaje basado en problemas (ABP) que les permite vincular la teoría con la práctica. En este trabajo se muestran las características de los laboratorios, su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje y en el grado de satisfacción de los estudiantes. Los resultados muestran que al aplicar el APB en los laboratorios y vincularlos con la solución de problemas reales los índices de promoción y calidad de las notas aumentan, el grado de satisfacción con la asignatura es el más alto de la carrera y más del 90 % de los estudiantes y el 100 % de los especialistas tienen una visión positiva sobre la metodología utilizada en los laboratorios.

Palabras clave: aprendizaje basado en problemas, laboratorios virtuales, vinculación teoría-práctica.

ABSTRACT

In the career of Electrical Engineering, which is studied in the Technological University of Havana José Antonio Echeverría (CUJAE), the subject Electrical Systems I is taught,

where students must solve four virtual laboratories on the basis of problem-based learning (ABP) that allows them to link theory with practice. This work shows the characteristics of the laboratories, their impact on the teaching-learning process and on the degree of satisfaction of the students. The results show that when applying the ABP in the laboratories and linking them to the solution of real problems, the promotion and quality indexes of the grades increase, the degree of satisfaction with the subject is the highest in the career and more than 90% of the students and 100% of the specialists have a positive view about the methodology used in the laboratories.

Keywords: *problem-based learning, virtual laboratories, linkage of theory and practice.*

Recibido: 3/7/2019

Aceptado: 7/5/2020

INTRODUCCIÓN

El inicio de la enseñanza de la Ingeniería Eléctrica en Cuba se remonta a principios del siglo pasado y ya cuenta con más de cien graduaciones. En la actualidad, en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), se aplican los planes de estudios D y E, caracterizados por la actualización de los conocimientos y un fuerte vínculo con la actividad laboral de la carrera gracias a la participación de las empresas y entidades del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y a la existencia del Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) que permiten una fuerte vinculación con los problemas del sector productivo, en particular de la Unión Eléctrica (UNE) y del MINEM.

En el modelo del profesional del mencionado plan de estudios se especifica sobre las ramas de la sociedad en que el ingeniero electricista debe tener una influencia directa: «Las esferas de actuación de este profesional son: plantas generadoras de energía, las redes eléctricas de cualquier nivel de tensión considerando las subestaciones eléctricas y los medios de protección de los sistemas electroenergéticos, los accionamientos eléctricos de cargas mecánicas industriales, la enseñanza y la pedagogía» (Ministerio de Educación Superior de Cuba, 2007, p. 1).

Un aspecto fundamental de la enseñanza en general y de la enseñanza universitaria en particular es lograr una alta vinculación de la teoría con la práctica. Esta vinculación está reflejada no solamente en los planes de estudio D y E de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la CUJAE, sino en las universidades de Nevada, en Estados Unidos (Department of Electrical and Computer Engineering, 2017); de Alfaisal, en Arabia Saudita (Alfaisal University, College of Engineering, 2016); y de Bolonia, Italia (Università degli Studi di Bologna, 2007); por poner algunos ejemplos.

La vinculación teoría-práctica puede lograrse de diversas maneras. Cómo alcanzarla y cuál es la mejor vía para hacerlo es un tema muy debatido en la comunidad científica internacional (Clemente Linuesa, 2007; Dole, Bloom y Doss, 2016; Whatman y MacDonald, 2017). Una de las formas utilizadas para vincular la teoría con la práctica es a través de laboratorios, que pueden ser reales o virtuales. Esta vinculación debe estar ligada a las necesidades, experiencias y realidades de cada universidad, región o país, logrando que la aplicación del conocimiento sea universalmente válida y que la práctica sea, en sí misma, generadora de conocimientos.

Los laboratorios virtuales se han utilizado para complementar los conocimientos de los estudiantes en asignaturas teórico-prácticas (Infante Jiménez, 2014), en la educación universitaria en general (Cáceres Flórez y Amaya Hurtado, 2016; Gé Chanfón, Gómez Crespo y Borroto Carmona, 2016) y en la carrera Ingeniería Eléctrica, en particular (Roldán-Blay y Pérez-Sánchez, 2017). En la CUJAE se han desarrollado algunos trabajos relacionados con los laboratorios virtuales para incrementar el aprendizaje de los estudiantes, uno de ellos fue realizado por Rodríguez-Llerena y Llovera-González (2014), donde muestran una serie de laboratorios virtuales de Física creados específicamente para estudiantes de ingeniería.

El aprendizaje basado en problemas (APB) o *Problem Based Learning* (PBL) ha sido uno de los procedimientos metodológicos más utilizados en los últimos años para lograr un mayor desarrollo en el proceso de aprendizaje e incrementar la vinculación teoría-práctica. Según Dahms (2014), el proceso de enseñanza con APB toma como punto de partida la solución de un problema real por parte del estudiante, lo que tiene un alto impacto en su motivación y aprendizaje. Plantea que una de las fortalezas del APB, además de crear competencias profesionales necesarias para los ingenieros, es que los educandos desarrollan

competencias metodológicas en áreas como la dirección, el trabajo en equipo, la comunicación y la solución de problemas, entre otros. Ozcan y Balim (2015) plantean que la realización de laboratorios incrementa y afianza los conocimientos obtenidos por los alumnos. La utilización del método ABP promueve la solución de problemas reales y obliga al uso de diversas habilidades, por lo que desempeña un papel fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En la literatura existen muchos ejemplos de la aplicación del método APB en carreras de ingeniería. Se aplica desde el 2013 en el primer año de la carrera Ingeniería Industrial en la escuela de Ingeniería de Lorena de la Universidad de Sao Paulo (Carvalho Pereira, Motta Barreto y Pazeti, 2017), con una gran aceptación por parte de dicha comunidad universitaria. También en la Universidad de Sao Paulo la aplicación del método APB mejora el curso Productos y Diseño de Procesos ofrecido por la Escuela Politécnica, pues aumenta el nivel de aprendizaje por parte de los estudiantes (Zancul, Sousa-Zorner y Cauchick-Miguel, 2017).

La Universidad de Stavanger, en Noruega (Lemu, 2017), tiene seis años de experiencia en la aplicación del APB. Las organizaciones estudiantiles han contribuido significativamente a crear un ambiente favorable en la relación estudiante-profesor y han iniciado diversos proyectos que han estrechado las relaciones entre la universidad y la industria. Otro ejemplo se encuentra en los estudios realizados en la Universidad de Thessaloniki, en Grecia (Aslanides *et al.*, 2016), los cuales muestran que la aplicación del método APB tiene gran aceptación por parte de estudiantes y profesores y que las compañías desempeñan un papel fundamental para que los educandos tengan el equipamiento necesario para realizar los laboratorios.

En la carrera Ingeniería Eléctrica Universidad Estatal de Medan, Indonesia (Tambunan, Dalimunte y Silitonga, 2017), los resultados muestran que el método facilita el aprendizaje de los estudiantes y el manejo del curso por parte de los profesores, siendo efectivo en la educación del futuro ingeniero eléctrico. La motivación es un factor importante para aumentar el éxito en la aplicación del APB.

En el currículo de la carrera existen asignaturas básicas como Matemática y Física, asignaturas básicas específicas como Circuitos Eléctricos y Electrónica y asignaturas de la especialidad como Sistemas Eléctricos, Accionamientos Eléctricos, Procesos Transitorios,

Protección de los Sistemas Eléctricos de Potencia. Sistemas Eléctricos I es la primera asignatura de la especialidad que reciben los alumnos en el cuarto año del plan D con seis temas:

1. Diagramas monolineales. Redes de transmisión y subtransmisión.
2. Curvas de Carga. Factores que caracterizan su comportamiento.
3. Parámetros eléctricos de las líneas de transporte de energía eléctrica.
4. Flujo de cargas en redes radiales y malladas.
5. Control de la tensión y la potencia reactiva en los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP).
6. Control de la frecuencia en los SEP.

Un aspecto trascendente en el trabajo de la carrera lo constituye la participación de los profesores y estudiantes en la solución de problemas territoriales y nacionales vinculados con diferentes ramas de la industria. Estos trabajos se realizan mediante proyectos de investigación que comprenden todo lo relacionado con el comportamiento de los sistemas y subsistemas asociados a los SEP: operación, mantenimiento y diagnóstico de los equipos eléctricos de las centrales y subestaciones eléctricas, las líneas de transmisión y distribución, los motores, los equipos eléctricos y las instalaciones eléctricas industriales, en general, con el objetivo de alcanzar el menor consumo de energía posible, el menor costo en las inversiones y la máxima confiabilidad en su operación, lo que garantiza mantener los parámetros requeridos de calidad de la energía. Incluye, además, las investigaciones relacionadas con la aplicación de la generación distribuida (incluidos los temas de fuentes renovables de energía) y las relacionadas con la elevación de la eficiencia energética en los equipos e instalaciones industriales con el objetivo de disminuir el consumo de energía eléctrica.

Este aspecto ha permitido tener una alta vinculación con los problemas del sector productivo, en particular con la UNE y el MINEM, donde más del 20 % de los graduados trabajan en temas relacionados con los que se imparten en la asignatura Sistemas Eléctricos I, siendo de vital importancia que aprendan desde su periodo como estudiantes a enfrentarse y resolver problemas reales.

Los cuatro laboratorios de la asignatura Sistemas Eléctricos I pueden ser desarrollados con cualquiera de los múltiples programas existentes que calculen:

1. Los parámetros de fase y secuencia de las líneas de transporte de energía eléctrica (LTEE), su potencia natural y su cargabilidad.
2. El impacto ecológico de las LTEE mediante el cálculo de los campos eléctricos y magnéticos máximos, en una zona de paso dada.
3. Las tensiones de naturaleza electromagnética y electrostática inducidas en otras líneas y en cuerpos metálicos cercanos, como las cercas perimetrales.
4. Los flujos de cargas en redes radiales y malladas.

1. LABORATORIO 1

El laboratorio 1 tiene un programa para calcular los campos eléctricos y magnéticos del corredor formado por las líneas doble circuito CUJAE-Cotorro a 220 kV y CUJAE-Naranjito a 110 Kv y compara los resultados con las recomendaciones de la American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). Esto se hace también para evaluar la seguridad de los linieros, las personas y los animales cercanos al área. Para establecer las medidas de protección para los linieros involucrados se calcula el valor de las tensiones electrostáticas inducidas en los conductores de la línea a 110 kV CUJAE-Naranjito cuando está fuera de servicio por trabajos de mantenimiento si la línea CUJAE-Cotorro, a 220 kV, está operando y, finalmente, las tensiones de naturaleza electrostáticas y electromagnéticas inducidas en cercas que corren paralelas a dichas líneas.

La traza de estas líneas pasa por el costado de la sede de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, por lo que los alumnos se motivan con su visualización. Este laboratorio complementa la necesidad actual de que los ingenieros conozcan el impacto ecológico de las líneas de transmisión.

2. LABORATORIO 2

Para las líneas doble circuito Mariel-Pinar del Río con aislamiento a 110 kV en un circuito y a 220 kV en el otro y Mariel-Cotorro con aislamiento a 220 kV en ambos circuitos, en el laboratorio 2 se calculan para comparar su comportamiento eléctrico:

1. Los parámetros inductivos y capacitivos de secuencia cero y positiva.
2. La potencia natural, el límite de estabilidad estática y la potencia máxima del recibo en mega volt ampere que las líneas pueden transferir, para una caída de tensión del 10 %.
3. Las impedancias mutuas de secuencia cero entre los circuitos I y II de una línea doble circuito.
4. Los desbalances a las secuencias cero y negativa y cómo se modifican con una transposición de la línea simétrica y otras asimétricas.
5. La longitud de la línea a partir de la cual se considera que debe utilizarse un circuito II Equivalente, en lugar del II Nominal.

3. LABORATORIO 3

El laboratorio 3 desarrolla en el estudiante habilidades para la entrada de datos y la interpretación de los resultados de un programa que calcule flujos de cargas en SEP. Se analiza, utilizando la red de nueve nodos del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) u otra red cualquiera, cómo se comportan las tensiones, las pérdidas y los flujos de potencia activa y reactiva en un SEP cuando opera en régimen estacionario normal y en el régimen postavería que surge cuando se disparan sus diferentes líneas una a una.

4. LABORATORIO 4

En el laboratorio 4 se utiliza la red de nueve nodos de la IEEE u otra cualquiera y un programa que calcule flujos de cargas en redes complejas para determinar:

1. Cuál es la variación de la potencia reactiva consumida o generada por los nodos de tensión controlada cuando el analista del SEP aumenta o disminuye la tensión especificada comprobando que, en los sistemas eléctricos mallados, el efecto de la potencia reactiva en la tensión es poco efectiva.
2. Cómo se modifican y por qué la generación del nodo de balance y las pérdidas de potencia activa y reactiva del SEP cuando se cambian nodos de carga por nodos de tensión controlada y se aumenta o disminuye la tensión especificada del nodo.
3. Cómo se distribuyen, en la línea de mayor transferencia del SEP modelado, las potencias activas y reactivas.
4. Cómo y a qué se debe la variación del factor de potencia entre el envío y el recibo.
5. Cuál es el valor de la potencia reactiva que inyecta la línea en el envío y en el recibo y por qué son diferentes.
6. Cuál es el sentido físico de las susceptancias que aparecen a ambos lados del circuito equivalente de un transformador de dos devanados con una derivación («tap») fija cuando se necesita elevar o bajar la tensión secundaria del transformador.

5. ASPECTOS GENERALES DE LOS LABORATORIOS

Las tareas desarrolladas por los estudiantes en estos cuatro laboratorios les permiten validar los conocimientos teóricos recibidos en los temas 3, 4, 5 y 6 de la asignatura Sistemas Eléctricos I y algunas de ellas son tareas cotidianas de un trabajador de la UNE.

Dichos laboratorios se aplican en la carrera Ingeniería Eléctrica desde el año 2000, por lo que se estima, suponiendo una matrícula promedio de sesenta estudiantes por año, que han sido beneficiados más de mil estudiantes. Como es natural, los objetivos de los laboratorios han ido modificándose de un curso en otro según han surgido nuevos problemas. La aplicación del método APB se empieza a utilizar en los laboratorios a partir del curso 2015-2016.

En el curso 2016-2017, en el que había pasado el huracán Irma, de categoría tres en la escala Saffir Sympon, por la región occidental del país, en lugar de utilizarse la red de nueve nodos de la IEEE, se utilizó una red simplificada del llamado Lazo de La Habana,

con veintidós nodos. El régimen postavería analizado fue la suposición de que dicho Lazo quedaba dividido en dos subsistemas o «islas» que el alumno debía poner a funcionar utilizando las acciones de control que hicieran que cada subsistema operara sin problemas en un régimen postavería.

La ejecución de estos laboratorios desarrolla en el alumno habilidades en su trabajo como futuro ingeniero del Despacho Nacional de Carga Eléctrica al resolver problemas de operación del SEP cubano. Los laboratorios se componen por equipos de hasta cinco estudiantes. Cada estudiante recibe una guía metodológica con los datos necesarios y la explicación de cómo se resuelven las tareas planteadas. El número de equipos oscila entre catorce y dieciséis y los datos son diferentes para cada uno. Cada equipo debe entregar un informe por cada laboratorio, el cual tiene las siguientes características:

- Carátula con nombre de la asignatura, número y 1 título del laboratorio, los nombres de los estudiantes, el número de la lista, el grupo y la fecha.
- Resumen.
- Introducción.
- Problema científico.
- Objeto de trabajo.
- Objeto de Investigación.
- Objetivos generales.
- Objetivos específicos.
- Hipótesis
- Desarrollo con las tablas de datos y de resultados, las figuras, etcétera.
- Conclusiones.
- Bibliografía consultada para realizar el informe.
- Anexos, si se consideran necesarios.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para analizar la influencia de los laboratorios en el rendimiento de los estudiantes se

tomaron en cuenta la promoción y las notas de la asignatura Sistemas Eléctricos I desde el curso 2011-2012 hasta el curso 2018-2019, o sea, cuatro años antes de aplicar los laboratorios con el método APB vinculados a problemas reales y cuatro años después de aplicarlos. Los resultados se muestran en la Figura 1:

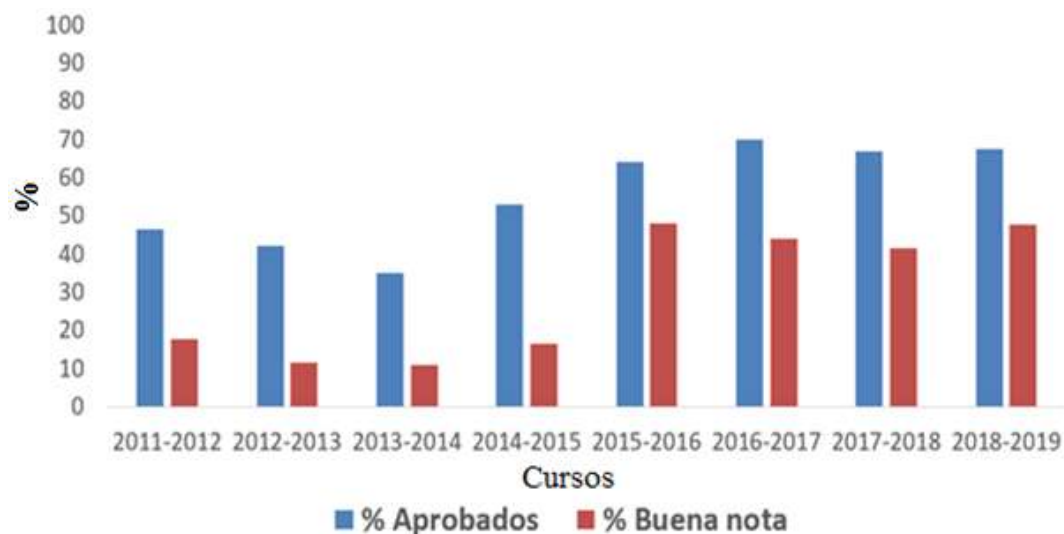


Figura 1. Índices de promoción y notas de Sistemas Eléctricos I.

Como se observa en la Figura 1, el porcentaje de aprobados hasta el curso 2014-2015 se mantuvo por debajo del 55 % con una media de un 44 %. Sin embargo, a partir de ese año y siendo el único cambio importante en la asignatura el nuevo formato de los laboratorios, el porcentaje de aprobados aumentó en más de un 21 % en todos los casos, siendo superior al 65 % desde el curso 2015-2016. El mayor porcentaje fue en el curso 2016-2017 con un 70 % y la media desde el curso 2015-2016 hasta la fecha es de 67,25 %.

Un comportamiento similar ocurrió con la obtención de mejores notas por parte de los estudiantes. En la CUJAE se evalúa con una escala desde 2 puntos (suspense) hasta 5 puntos (excelente). A partir de los 3 puntos se considera que el estudiante aprobó la asignatura y las notas de 4 y 5 puntos son consideradas como buenas. Hasta el curso 2014-2015 el porcentaje de los estudiantes aprobados con buena nota fue muy bajo, con un valor inferior al 18 % en todos los casos. Eso significa que, de 42 aprobados en el curso 2014-2015, solamente 7 obtuvieron notas de 4 y 5 puntos. A partir de las modificaciones en los

laboratorios estos porcentajes aumentaron significativamente a valores superiores al 40 % a partir del curso 2015-2016. Si se toma el curso 2017-2018, por ejemplo, hubo un total de 53 aprobados, de los cuales 13 obtuvieron 4 puntos y 9 obtuvieron 5, para un total de 22 estudiantes con buena nota, lo que representa el 41,5 %.

Una vez analizados los resultados de la promoción y comprobado un aumento en los dos indicadores estudiados se procedió a evaluar el grado de satisfacción de los estudiantes con respecto a la asignatura en general, ya que los laboratorios, además de las clases y el resto de las actividades docentes, podrían influir en la motivación y, por tanto, en la mejora de las notas. Para ello se procesó y analizó una encuesta que realiza la CUJAE todos los cursos, donde los educandos valoran a los profesores y a las asignaturas en diferentes aspectos. La encuesta fue realizada al azar a 30 estudiantes por año.

Sistemas Eléctricos I tiene examen final. Primero se compararon los resultados de las encuestas con las asignaturas con examen final de tercer, cuarto y quinto año, los cuales se muestran en la Figura 2, la Figura 3 y la Figura, 4 respectivamente. Luego se compararon los resultados contra el resto de las asignaturas de cuarto año (Figura 5).

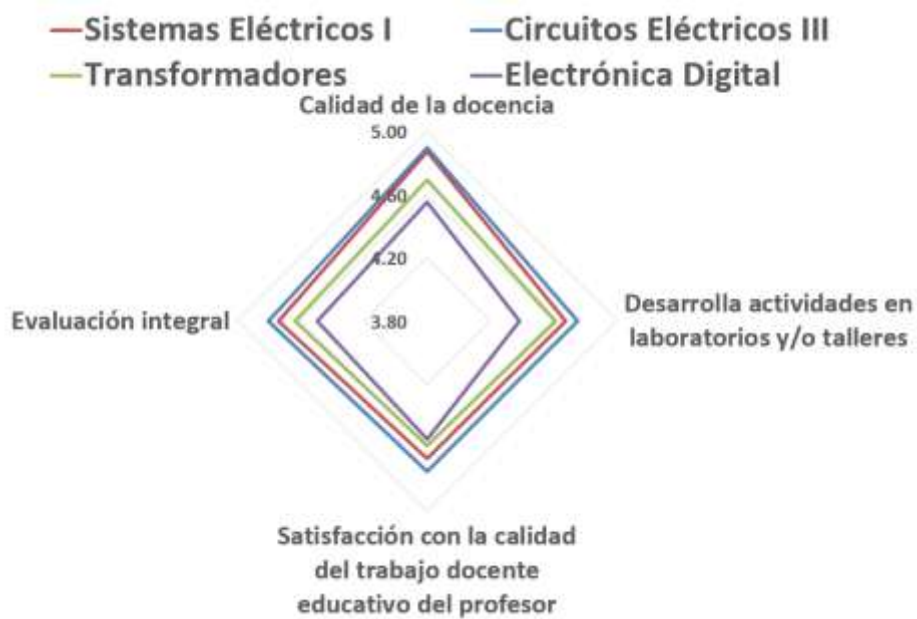


Figura 2. Comparación de Sistemas Eléctricos I contra las asignaturas con examen final de tercer año.

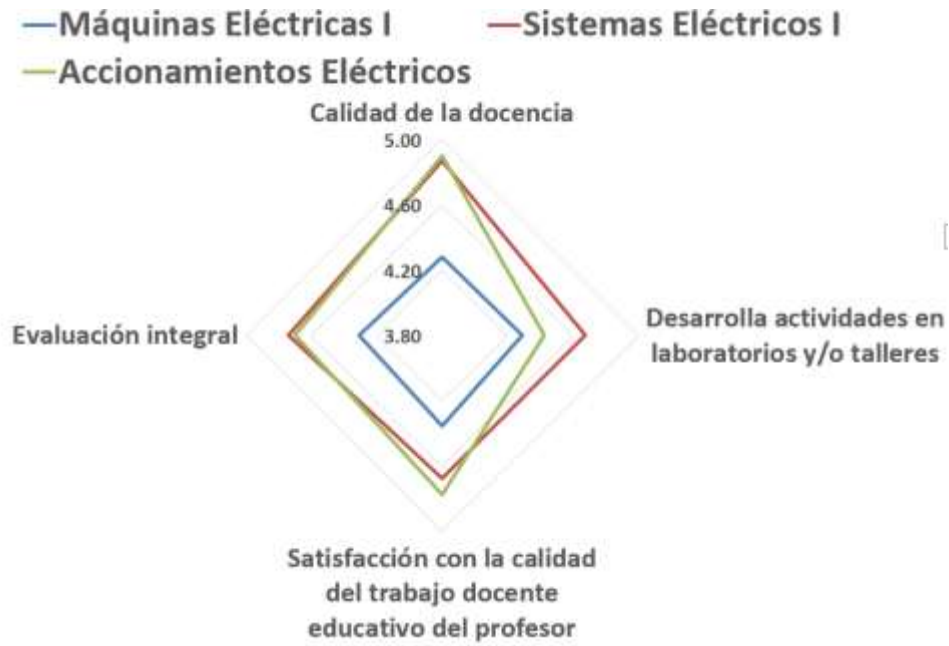


Figura 3. Comparación de Sistemas Eléctricos I contra las asignaturas con examen final de cuarto año.

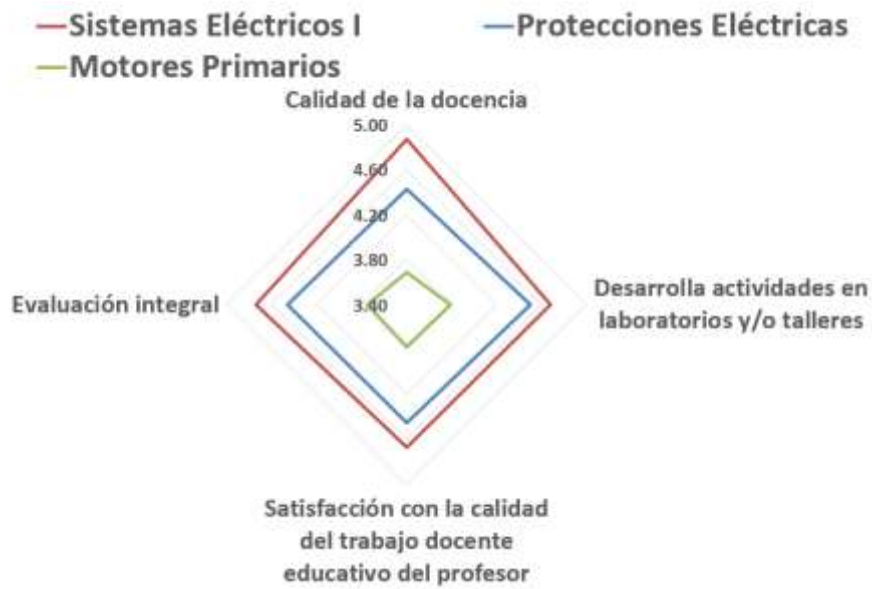


Figura 4. Comparación de Sistemas Eléctricos I contra las asignaturas con examen final de quinto año.

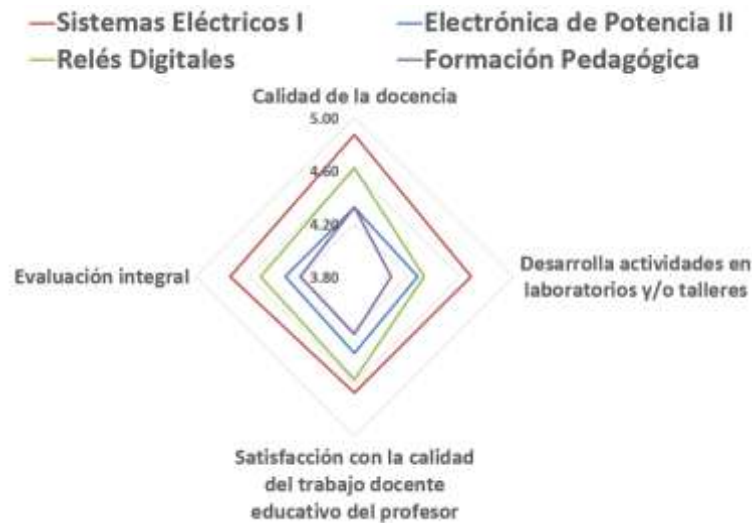


Figura 5. Comparación de Sistemas Eléctricos I contra las asignaturas sin examen final de cuarto año.

Para analizar los resultados obtenidos de las encuestas de satisfacción de los estudiantes con respecto al proceso docente-educativo de cada asignatura, se valoraron cuatro aspectos fundamentales: la calidad de la docencia, el desarrollo de las actividades en los laboratorios y en los talleres, la satisfacción de los estudiantes con la calidad del trabajo docente educativo y la evaluación integral.

Sistemas Eléctricos I junto con Circuitos Eléctricos III (tercer año) y Accionamientos Eléctricos (cuarto año) son las asignaturas con mayor calificación en cuanto a la calidad de la docencia: 4,9 puntos en Circuitos Eléctricos y Accionamientos y 4,87 en Sistemas. En cuanto al punto de los laboratorios solamente Circuitos Eléctricos con 4,76 está por encima de Sistemas, que tiene una valoración de 4,68. Cabe destacar que Circuitos Eléctricos tiene laboratorios reales donde los estudiantes puede armar y simular diferentes circuitos eléctricos. Algo similar sucede con Transformadores, aunque la valoración de este último se encuentra por debajo de Sistemas. El resto de las asignaturas tienen laboratorios virtuales, pero ninguna con el método APB ni con una relación clara con problemas reales del país, excepto Protecciones Eléctricas, valorada en este aspecto con 4,5.

Con respecto a la satisfacción del trabajo docente educativo por parte del profesor, aspecto donde están incluidos los laboratorios. La valoración de Sistemas Eléctricos I es la tercera con 4,67, solo por detrás de Circuitos Eléctricos y Accionamientos Eléctricos. Por último,

en la evaluación integral Sistemas Eléctricos I es la asignatura con mayor puntaje de toda la carrera con 4,74.

El resultado general de las encuestas de satisfacción muestra que los estudiantes valoran el trabajo que se realiza en los laboratorios de la asignatura. Sin embargo, no queda claro qué aspectos influyen en la valoración, ni como los estudiantes perciben la relación de la teoría con la práctica, el trabajo en equipo o la preparación que obtienen al realizar los laboratorios. Por esta razón se diseñó y aplicó una encuesta a los estudiantes de los cursos 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018. El total de estudiantes encuestados fue de un tercio de la matrícula de cada curso para obtener un nivel de confianza superior al 95 %, según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (1991). La encuesta fue repartida al azar.

Aunque la encuesta de satisfacción valora ciertos aspectos, en la primera pregunta el estudiante debía valorar de 1 a 5 (siendo 1 el más bajo) su grado de satisfacción con la carrera y con la asignatura. El 78,3 % de los estudiantes tienen un grado de satisfacción de 4 y 5 con respecto a la carrera y el 93,2 % con respecto a la asignatura. Este elemento es un punto de partida para valorar los aspectos relacionados con los laboratorios.

El primer elemento a tener en cuenta es si el estudiante entiende los laboratorios. Para ello se realizaron tres preguntas:

- ¿Entiende la explicación sobre los laboratorios brindada por el profesor en clases?
- ¿Entiende la explicación de los laboratorios que se encuentra en la Intranet de la Facultad?
- ¿Usted cree que posee las habilidades necesarias para realizar los laboratorios?

El 95,1 % entiende la explicación dada en clases, el 85,2 % entiende la explicación y las guías metodológicas que se encuentran en la Intranet y que fueron abordadas anteriormente en este trabajo y el 90,2 % opina que posee las habilidades necesarias para realizar los laboratorios.

En la siguiente pregunta los estudiantes debían calificar varios aspectos en cuanto a muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados se muestran en la Figura 6 y la Figura 7.



Figura 6. Evaluación en porcentaje de aspectos relacionados con los laboratorios.

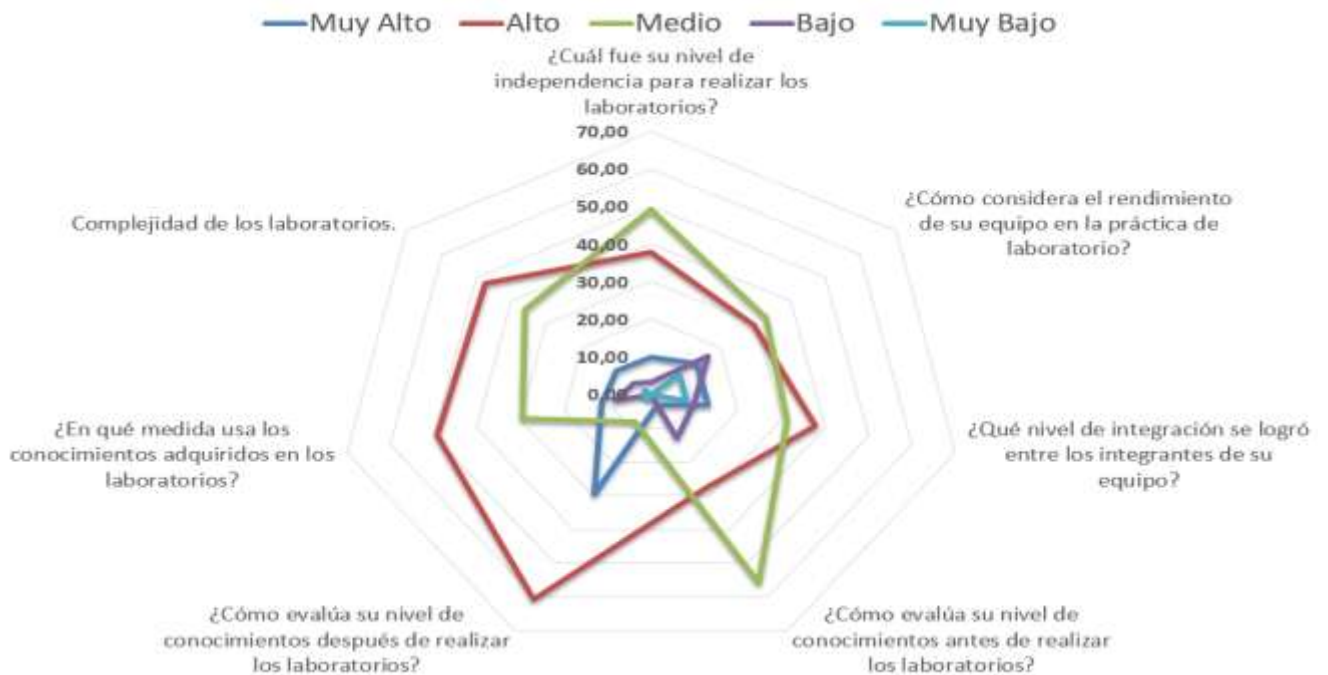


Figura 7. Evaluación en porcentaje de aspectos relacionados con los laboratorios.

El 67 % de los estudiantes encuestados considera muy alta la relación de los laboratorios con la asignatura Sistemas Eléctricos I y el 30 % la considera alta. Un resultado similar ocurre con la relación de los laboratorios con las clases impartidas, donde un 92 % considera que la relación es alta o muy alta. En estos dos casos no hubo ningún encuestado que expresara que la relación fuera baja o muy baja. En cuanto a la relación con las prácticas laborales, las cuales se realizan en su mayoría en la UNE, hubo un 83 % de los estudiantes que la consideraron de media a muy alta, aunque un 17 % la consideró baja o muy baja. Cabe destacarse que hay alumnos que realizan las prácticas en temas que no están relacionados con la asignatura y, por lo tanto, no tienen relación con los laboratorios.

El 98,4 % utilizó la guía metodológica, el 96,72 % tuvo la necesidad de utilizar la bibliografía dada para la solución de los laboratorios y el 85 % buscó, además, bibliografía diferente a la dada en clases. El 89 % consideró que la búsqueda bibliográfica realizada les sirvió para resolver los problemas planteados en los laboratorios.

El 97 % de los encuestados se sintió preparado para realizar los laboratorios de manera independiente. El 75 % consideró que el rendimiento de su equipo fue de medio a muy alto, y un 82 % calificó de medio a muy alto el nivel de integración del equipo de trabajo.

Antes de realizar los laboratorios solamente un 3 % consideraba muy alto su nivel de conocimiento, un 28 % alto, un 56 % medio y un 13 % entre bajo o muy bajo; después de realizados los laboratorios los estudiantes notaron que nivel de conocimiento aumentó, lo que se reflejó en las encuestas al subir a un 30 % los que valoraron sus conocimientos como muy altos, un 61 % como alto y un 8 % como medio, quedando solamente un 1 % como bajo o muy bajo. Por último, más del 90 % indicó que utiliza los conocimientos adquiridos en los laboratorios.

En la última pregunta de la encuesta los estudiantes deben indicar su nivel de aceptación de los laboratorios con las siguientes ideas:

- Los laboratorios promueven el trabajo en equipo.
- Los laboratorios le ayudan en su preparación para la prueba final.
- Los laboratorios resuelven problemas reales.

- Los laboratorios ayudan a afianzar los conocimientos obtenidos en clases.

Para ello hay cuatro niveles de aceptación: totalmente de acuerdo, de acuerdo, en contra y totalmente en contra. En los cuatro aspectos los porcentajes de los estudiantes que marcaron de acuerdo y totalmente de acuerdo estuvieron por encima de un 90 %. El más bajo fue el primero con un 90 %, el 95 % considera que resolver los laboratorios los ayuda para enfrentarse al examen final, el 97 % valoran que resuelven problemas reales y el 98 % están de acuerdo en que los laboratorios ayudan en su proceso de aprendizaje.

Una vez analizadas las encuestas se procedió a entrevistar y encuestar (solamente con los cuatro aspectos anteriores) a veinte especialistas de la Empresa Eléctrica de La Habana, del MINEM y de la UNE. El 100 % de los especialistas están de acuerdo o totalmente de acuerdo con los cuatro aspectos; cabe destacar que el 95 % está totalmente de acuerdo en que los laboratorios resuelven problemas reales. Los puntos comunes y los criterios más importantes dados por los especialistas entrevistados se pueden resumir en las siguientes ideas:

- Aumentar el uso del idioma inglés como parte de la realización de los laboratorios y del informe final entregado al profesor, donde algunos epígrafes pudieran escribirse en esa lengua extranjera. Esto es debido principalmente a que no se aprecia un dominio adecuado de dicho idioma por parte de algunos estudiantes al culminar sus estudios universitarios, fundamentalmente por la falta de la habilidad de comunicación, lo que constituye una preocupación cuando trabaja como ingeniero.
- Incluir dentro de los laboratorios 3 y 4 temas relacionados con la operación y tratamiento de las distintas fuentes de generación renovable debido al aumento de las fuentes renovables de energía dentro de la matriz energética cubana.
- Analizar la posibilidad de incluir especialistas de la UNE, MINEM y la Empresa Eléctrica de La Habana para participar en la revisión y presentación de los informes de los laboratorios. Se podrían seleccionar los trabajos más destacados para que participen en los eventos que se realizan en dichas empresas, lo que sirve, además, como motivación y reconocimiento a los estudiantes con los mejores trabajos.

CONCLUSIONES

La aplicación del método de ABP en los laboratorios virtuales de la asignatura Sistemas Eléctricos I, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la CUJAE, ha traído, en sus tres años de aplicación, varios resultados positivos. Se ha observado una mejora significativa en la promoción de la asignatura, en la calidad de las notas y en el grado de satisfacción con la asignatura, que es el más alto de la carrera. Esto se debe, en parte, al trabajo en los laboratorios por el aumento que trae en la motivación de los estudiantes debido, principalmente, al vínculo directo y claro entre la teoría y la práctica, donde el alumno debe solucionar problemas reales. Gracias a esto hay un aumento del aprendizaje y de la consolidación de los conocimientos adquiridos en clases.

Como parte del estudio realizado, de las encuestas hechas a los estudiantes y de las entrevistas a diversos especialistas, existen algunos aspectos que pudieran mejorarse en la confección de los laboratorios. El primer aspecto está relacionado con la búsqueda bibliográfica por parte de los estudiantes que, aunque más del 80 % considera estos aspectos entre medio y alto, presenta los menores porcentajes con respecto al resto de los puntos. Similar al tema de la bibliografía se encuentran el punto de la relación con la práctica laboral y con el tema del trabajo en equipo. En los tres casos deben buscarse estrategias que permitan aumentar estos índices. También debe aumentarse el uso del idioma inglés para la confección del informe y presentación del laboratorio. Por último, se debe crear un mecanismo que permita incrementar la vinculación de la carrera con los especialistas del sector eléctrico.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas y a Roberto Baelo Álvarez por sus importantes criterios como especialistas. Además, a los compañeros del MINEM, la UNE y la Empresa Eléctrica de La Habana por su tiempo y su ayuda con las entrevistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaisal University, College of Engineering. (2016). *Electrical Engineering Program*. Alfaisal.
- Aslanides, C. D., Kalfa, V., Athanasiadou, S., Gianelos, Z., y Karapatsias, V. (2016, septiembre). *Advantages, Disadvantages and the Viability of Project-Based Learning Integration in Engineering Studies Curriculum: The Greek Case*. https://www.researchgate.net/publication/325698433_Advantages_Disadvantages_and_the_Viability_of_Project-Based_Learning_Integration_in_Engineering_Studies_Curriculum_The_Greek_Case
- Cáceres Flórez, Camilo Andrés, y Amaya Hurtado, Darío. (2016). Desarrollo e interacción de un laboratorio virtual asistido y controlado por PLC. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10(19), 9-15.
- Carvalho Pereira, Marco Antonio, Motta Barreto, Maria Auxiliadora, y Pazeti, Marina. (2017). Application of Project-Based Learning in the First Year of an Industrial Engineering Program: Lessons Learned and Challenges. *Production*, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.223816>
- Clemente Linuesa, María. (2007). La complejidad de las relaciones teoría-práctica en educación. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 19, 25-46.
- Dahms, Mona Lisa. (2014, enero). Problem Based Learning in Engineering Education. En V. Villas Boas, y O. Giovannini (Eds.), *Attracting Young People to Engineering: ALE 2014* (págs. 10-21). Associação Brasileira de Educação em Engenharia (Abenge). https://www.vbn.aau.dk/files/207465598/Proceedings_ALE_2014_final_version.pdf
- Department of Electrical and Computer Engineering. (2017). *Electrical Engineering at University of Nevada, Las Vegas*. http://www.ece.unlv.edu/pdf/EE_Handout.pdf
- Dole, Sharon F., Bloom, Lisa A., y Doss, Kristy Kowalske. (2016). Rocket to Creativity: A Field Experience in Project-Based and Problem Based Learning. *Global Education Review*, 3(4), 19-32.

- Gé Chanfón, Joanna; Gómez Crespo, Modesto Ricardo, y Borroto Carmona, Gerardo. (2016). Impacto de la introducción de los laboratorios virtuales en la educación superior. *Congreso Universidad*, 5(5), 45-59.
<http://www.congresouniversidad.cu/revista/>
- Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos, y Baptista Lucio, Pilar. (1991). *Metodología de la investigación* (2.^{da} edición). McGraw-Hill.
- Infante Jiménez, Cherlys. (2014). Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico-prácticas. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 19(62), 917-937.
- Lemu, Hirpa G. (2017). On Competition-driven Teaching of Multidisciplinary Engineering Education: Implementation Cases at University of Stavanger. *Nordic Journal of STEM Education*, 1(1), 278-286.
- Ministerio de Educación Superior de Cuba. (2007). *Plan de Estudios D. Carrera Ingeniería Eléctrica*. Dirección de Formación de Profesionales.
- Ozcan, Erkan, y Balim, Ali Günay. (2015). *Effects of Problem Based Learning on Prospective Science Teachers' Problem Solving Skills*.
<https://www.conference.pixel-online.net/FOE/files/foe/ed0005/FP/1601-ITL1076-FP-FOE5.pdf>
- Rodríguez-Llerena, D., y Llovera-González, J. (2014). Estrategias de enseñanza en el laboratorio docente de Física para estudiantes de ingeniería. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(4), 1-8.
- Roldán-Blay, Carlos, y Pérez-Sánchez, Modesto. (2017). Laboratorio virtual como herramienta para comprender el funcionamiento de las líneas de alta tensión. *Modeling in Science Education and Learning*, 10(2), 95-106.
- Tambunan, Hamonangan, Dalimunte, Amirhud, y Silitonga, Marsangkap. (2017). Scenario Based E-Learning in Electrical Engineering Education. *International Education Studies*, 10(3), 26-34.
- Università degli Studi di Bologna. (2007). *Ordinamento Ingegneria Energia Elettrica LM*. Bologna.
- Whatman, Jenny, y MacDonald, Jo. (2017). *High Quality Practical and the Integration of Theory and Practice in Initial Teacher Education. A Literature Review Prepared for*

the Education Council.

https://www.teachingcouncil.nz/sites/default/files/Practica_Review_Full_Report.pdf

Zancul, Eduardo de Senzi, Sousa-Zomer, Thayla Tavares, y Cauchick-Miguel, Paulo Augusto. (2017). Project-based Learning Approach: Improvements of an Undergraduate Course in New Product Development. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.225216>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución autoral

HÉCTOR SILVIO LLAMO LABORÍ: contribuyó con el trabajo metodológico en la confección y actualización de los laboratorios. Participó en el procesamiento estadístico y análisis de los resultados de la encuesta que aplica la CUJAE. Colaboró en la confección de la segunda encuesta y el análisis de los resultados. Redactó el borrador del artículo. Hizo la revisión crítica de su contenido y la aprobación final.

ARIEL SANTOS FUENTEFRÍA: contribuyó con el trabajo metodológico en la actualización de los laboratorios. Participó en el procesamiento estadístico y análisis de los resultados de la encuesta que aplica la CUJAE. Participó en la confección de la segunda encuesta, su procesamiento estadístico y análisis de los resultados. Entrevistó a los especialistas de la Empresa Eléctrica de La Habana, del MINEM y de la UNE. Redactó el borrador del artículo. Hizo la revisión crítica de su contenido y la aprobación final.