

UNA ESTRATEGIA PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES EN LA ASIGNATURA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA UTILIZANDO UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Jorge Mendoza Baeza, Escuela de Ingeniería Eléctrica - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Ítalo Chiarella Tapia, Escuela de Ingeniería Eléctrica - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Iovani Chavez Rivera, Escuela de Ingeniería Eléctrica - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Jorge.mendoza@pucv.cl,

RESUMEN

En este trabajo se presenta una innovación metodológica a la asignatura de Sistemas Eléctricos de Potencia, de la carrera de Ingeniería Civil Eléctrica, de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso con el objetivo de mejorar el grado de comprensión de las materias y el desempeño de los estudiantes.

El proyecto desarrollado incorporó un laboratorio de simulación computacional utilizando el software comercial Digsilent Power Factory, reconocida herramienta de simulación de los sistemas eléctricos de potencia y muy utilizado en el ámbito profesional.

El artículo presenta las distintas acciones que se llevaron a cabo para implementar este laboratorio, incluyendo el uso de una plataforma virtual para apoyar proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Los resultados evidencian que se logró reforzar los conceptos teóricos de la asignatura y complementar las competencias de egreso de los estudiantes a través del aprendizaje de este software de uso comercial.

PALABRAS CLAVES

Desarrollo de competencias de egreso, enseñanza basada en simulación, cambio metodológico.

INTRODUCCIÓN

Muchas de las áreas de desempeño profesional de los ingenieros civiles eléctricos e ingenieros eléctricos se orientan a analizar, evaluar, planificar o diseñar diferentes soluciones a los problemas presentes en los sistemas eléctricos de potencia. Estas soluciones deben ser simuladas y probadas en instancias previas por algoritmos profesionales, especialmente desarrollados por grandes empresas. Existen varios softwares utilizados a nivel mundial por empresas de generación, transmisión, distribución, de asesorías y entidades gubernamentales para estos análisis. Sin embargo, en Chile se ha masificado el uso del software Digsilent Power Factory (PF), principalmente debido a que los Centros de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central y del Sistema Interconectado del Norte Grande (CDEC-SIC, CDEC-SING) lo utilizan como plataforma de simulación de estos dos importantes sistemas chilenos. Lo anterior conlleva a todos los estudios de consultoras y empresas deban realizar sus simulaciones bajo esta misma plataforma.

Por otra parte, muchos estudios han demostrado la eficacia del aprendizaje de los estudiantes en los temas de sistemas eléctricos de potencia a través del uso de laboratorios de simulación y laboratorios de experiencias prácticas, (Nedic y Nafalski 2014). Particularmente, Milano, Vanfretti y Morataya (2008) concluye en su trabajo que el uso de software de simulación en las asignaturas

de pregrado de sistemas eléctricos de potencia se traduce en un aumento del 14% de las calificaciones de los estudiantes, respecto de aquellos que no consideran los laboratorios. En el campo del uso de laboratorios de simulación, se han utilizado diversos softwares tales como ASPEN, ETAP (Ferris y Bass, 2013), PSAT (Vanfretti y Milano, 2011), Matlab, PowerWorld (Turner, Foreman, 2014), entre otros.; la gran mayoría de ellos por ser softwares libres de licencia o con licencias educacionales disponibles en las WEBS.

Actualmente, la asignatura del Sistemas Eléctricos de Potencia no considera de manera oficial el uso de software de simulación para complementar la cátedra, sin embargo producto del rediseño por competencia de la carrera de Ingeniería Civil Eléctrica, vigente desde el 2013, es que se ha incorporado un laboratorio como herramienta de aprendizaje.

Considerando lo anterior, es de especial importancia que el laboratorio de simulación de esta asignatura se realice sobre la plataforma de simulación Digsilent PF, ya que además de lograr desarrollar las competencias comúnmente desarrolladas a través del uso de estos softwares, los estudiantes aprenderán a utilizar una de las herramientas más requeridas por los empleadores del área, en los llamados a concurso de vacantes profesionales.

Por lo tanto, este proyecto busca que los egresados de la carrera de ingeniería civil eléctricas cuenten con los conocimientos necesarios para el manejo de este software, lo que les dará ventajas competitivas en las instancias de postulación a los empleos, así como también en su posterior desempeño profesional.

OBJETIVOS DE LA INNOVACIÓN METODOLÓGICA

El objetivo general de este proyecto de innovación metodológica, fue mejorar las competencias de egreso de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil Eléctrica, incorporando laboratorios de simulación utilizando el software comercial Digsilent Power Factory, en la asignatura de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Como objetivos específicos se planteó; reforzar en los estudiantes los conceptos teóricos respecto a los sistemas eléctricos de potencia a través de la simulación de redes eléctricas; desarrollar en los estudiantes la capacidad de realizar análisis críticos al funcionamiento de las redes eléctricas, revisión de aspectos normativos, y detección y propuestas de mejoras en este tipo de redes y finalmente generar los conocimientos para que puedan desempeñarse de manera efectiva en el uso del software Digsilent PF.

METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO

Para llevar a cabo esta propuesta, se desarrollaron varias acciones de tal forma que el desarrollo y posterior implementación del laboratorio cumpliera los objetivos propuestos.

Por lo anterior, en primer lugar se confeccionó un Syllabus de la asignatura, el objetivo fue que sirviera de referencia para el profesor y estudiantes acerca de la organización del curso, los resultados del aprendizaje, las evaluaciones y plazos, al igual que su enfoque y metodología. Además, nos permitió identificar las materias en las cuales fue posible incorporar el software de simulación Digsilent, como una herramienta de aprendizaje.

El segundo, hito relevante de este trabajo fue la confección de las guías de laboratorio, las cuales debieron cumplir con importantes requisitos, tales como que permitan reforzar los conocimientos teóricos de la asignatura, evidenciar problemas y posibles mejoras de los sistemas, reflejen

problemas reales y permitan adquirir los conocimientos necesarios para el uso de la herramienta de simulación.

Por lo anterior, el proyecto se estructuró en dos etapas; la primera asociada a los procesos de planificación del laboratorio, lo cual duró un semestre y la segunda etapa asociado a la implementación del laboratorio en la asignatura. A continuación se describen de manera general las etapas desarrolladas:

PRIMERA ETAPA

1) Confeccionar el Syllabus de la asignatura, considerando la realización de un conjunto de sesiones de laboratorio por parte de los alumnos. Para ello será necesario definir las materias y resultados de aprendizajes que serán desarrollados utilizando el software Digsilent.

2) Desarrollo de las guías de laboratorio a partir de los conocimientos que se deseen desarrollar.

En este caso se confeccionaron 4 guías para 4 laboratorios de las siguientes temáticas:

- a) Modelación de sistemas eléctricos de potencia utilizando Digsilent PF
- b) Realización de Flujos de Potencia utilizando Digsilent PF
- c) Cálculos de cortocircuitos utilizando Digsilent PF
- d) Análisis de estabilidad utilizando Digsilent PF

3) Considerando las necesidades de conocimientos y habilidades básicas que será necesario para el uso del software, se preparó una clase explicativa del algoritmo. Esta además de un archivo en power point para la realización de la clase se confeccionó un documento explicativo de los aspectos más relevantes.

4) Preparación de 10 videos de corta duración, de montaje, simulación y análisis de resultados de pequeños casos de ejemplo preparados en Digsilent PF. La idea principal será disponer en la plataforma virtual de la asignatura, de herramientas que permitan el auto-aprendizaje de tal forma que se transforme en una plataforma complementaria en el proceso de enseñanza. Los videos desarrollados son:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| a) Video 1: Primeros pasos | f) Video 5: Flujo de carga |
| b) Video 2: Conceptos de Modelación | g) Video 6: Análisis de fallas |
| c) Video 3.1: Modelación de un SEP | h) Video 7: Análisis de fallas simultáneas |
| d) Video 3.2: Modelación de un SEP | i) Video 8: Reportes de cortocircuitos |
| e) Video 4: Modelación de un SEP | j) Video 9: Gráfico de señales |

SEGUNDA ETAPA

1) Preparación de material en el aula virtual: La idea principal de esta etapa, es que los estudiantes al inicio de la asignatura se comiencen a familiarizar con la herramienta de simulación, con los resultados esperados de aprendizaje, posibilitar el auto-aprendizaje del software.

2) Desarrollo de la clase introductoria al software: Es importante destacar que esta asignatura se encuentra en el séptimo semestre de la carrera y hasta este instante no conocen esta clase de softwares por lo especializados que son. Por esta razón, se preparó una clase introductoria que tuvo como finalidad entregar a los estudiantes los conocimientos básicos del software y las diversas herramientas que le serán de utilidad para el desarrollo de cada una de las experiencias de laboratorio.

3) Realización de las sesiones de laboratorio: Las sesiones de laboratorio se desarrollaron a medida que los aspectos teóricos fueron entregados durante las clases de la asignatura, de tal forma que fueran un complemento a ello.

4) Evaluación final de la actividad

RESULTADOS

A modo de evaluar los resultados de esta mejora metodológica, se utilizaron tres herramientas de análisis, las cuales permitieron establecer una opinión fundada acerca de las ventajas de esta innovación metodológica.

La primera metodología apunta a evaluar si efectivamente hubo una mejor comprensión por parte de los estudiantes de la asignatura de Sistemas Eléctricos de Potencia producto del uso de software de simulación. Este proceso se realizó comparando, las calificaciones promedios finales de la asignatura del semestre 2 – 2015, con las obtenidas en semestres anteriores. Estas comparaciones se observan en la Tabla y figura N°1.

Tabla 1: Análisis estadístico de las notas de la asignatura

| AÑO | PROMEDIO | DESV. ESTANDAR | N° DE ALUMNOS | N° DE APROBADOS | % DE APROBADOS |
|------|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|
| 2012 | 3.8 | 0.8 | 19 | 11 | 57.9 |
| 2013 | 4.2 | 1.1 | 38 | 25 | 65.8 |
| 2014 | 3.9 | 1.3 | 31 | 20 | 64.5 |
| 2015 | 4.4 | 1.2 | 36 | 25 | 71.4 |

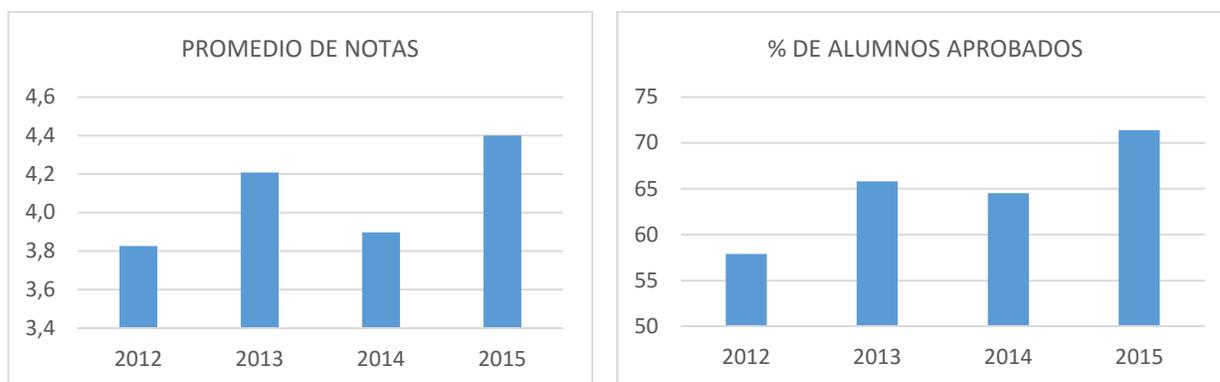


Figura 1: Comparación de los desempeños de los estudiantes

Como se observa, producto de esta nueva metodología el promedio de las notas de los estudiantes subió 0.5 puntos respecto del año 2014 y la aprobación se incrementó un 7%. Este promedio se incrementó 0.4 puntos respecto del promedio de las notas de los últimos 3 años y un 8.6% el porcentaje de aprobados respecto de los últimos 3 años.

El segundo proceso de evaluación tuvo por objetivo medir el grado de conocimiento adquirido en el uso del software Digsilent PF. Para ello se realizó una evaluación práctica de simulación final, donde los estudiantes debieron simular y analizar los resultados de una red desconocida, a través de ella tenían que demostrar los conocimientos y habilidades desde el punto de vista técnico y asociado al manejo del software. Se propuso considerar este objetivo como cumplido si el promedio de los estudiantes logra una evaluación superior a 5.0.

Los resultados se muestran en la figura 2, donde se puede evidenciar que el promedio de esta evaluación fue de 6.5, con valor mínimo de 4.7, un máximo de 7.0 y una desviación estándar de 6.34. Por lo anterior se considera cumplido este objetivo.

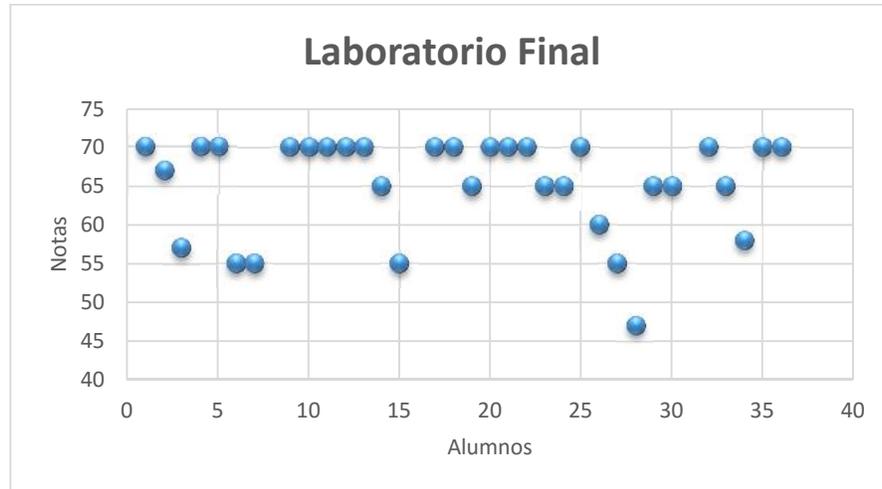


Figura 2: Evaluación de los alumnos en laboratorio final

Finalmente se desarrolló una encuesta para que los estudiantes puedan evaluar el mérito del laboratorio desarrollado, en cuanto a valorizar el aporte a su grado de comprensión de las materias, al material desarrollado y al conocimiento obtenido en el uso de la plataforma.

La encuesta desarrollada fue en base a escala Likert y se presenta en la imagen 1 y sus resultados en la tabla N°2.

ENCUESTA DE FINALIZACIÓN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA EIE 450

Conteste las siguientes preguntas según la siguiente escala, 1: Totalmente en desacuerdo, 2: En desacuerdo, 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4: De acuerdo, 5: Totalmente de acuerdo

| Pregunta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 01 La asignatura resultó más motivante al incluir un laboratorio de simulación | | | | | |
| 02 Logré entender mejor los contenidos del curso al desarrollar los laboratorios | | | | | |
| 03 Tuve un mejor desempeño en esta asignatura producto de las clases de laboratorio | | | | | |
| 04 Considero que <u>Digsilent</u> es una importante herramienta para mi desempeño profesional | | | | | |
| 05 Hubiera preferido que la asignatura se dictara de manera tradicional, es decir sin laboratorio | | | | | |
| 06 Las sesiones de laboratorios fueron suficientes para aprender a utilizar <u>Digsilent</u> a nivel básico | | | | | |
| 07 Los videos dispuestos en el aula fueron suficientes para aprender <u>Digsilent</u> | | | | | |
| 08 El material escrito dispuesto en el aula complementó adecuadamente el aprendizaje del software | | | | | |
| 09 El apoyo del ayudante durante los laboratorios es fundamental para aprender el software | | | | | |
| 10 Me parecen relevantes los contenidos abordados en los laboratorios | | | | | |
| 11 Me gustaría seguir aprendiendo <u>Digsilent</u> | | | | | |

Si lo desea, agregue un comentario respecto de los laboratorios, sobre todo aquellos comentarios que permitan mejorarlo.

Imagen 1: Encuesta de evaluación del laboratorio

Tabla 2: Resultados encuesta

| PREGUNTAS | Promedio | Desv. | DA/TDA | Neutro | DesA/TDesA |
|---|----------|-------|--------|--------|------------|
| La asignatura resultó más motivante al incluir un laboratorio de simulación | 4.8 | 0.4 | 25 | 0 | 0 |
| Logré entender mejor los contenidos del curso al desarrollar los laboratorios | 4.5 | 0.6 | 24 | 1 | 0 |
| Tuve un mejor desempeño en esta asignatura producto de las clases de laboratorio | 3.7 | 1.0 | 12 | 10 | 2 |
| Considero que Digsilent es una importante herramienta para mi desempeño profesional | 5.0 | 0.0 | 25 | 0 | 0 |
| Hubiera preferido que la asignatura se dictara de manera tradicional, es decir sin laboratorio | 1.3 | 0.7 | 1 | 0 | 24 |
| Las sesiones de laboratorios fueron suficientes para aprender a utilizar Digsilent a nivel básico | 3.9 | 1.1 | 19 | 3 | 3 |
| Los videos dispuestos en el aula fueron suficientes para aprender Digsilent | 3.6 | 1.0 | 16 | 5 | 4 |
| El material escrito dispuesto en el aula complementó adecuadamente el aprendizaje del software | 3.8 | 0.9 | 18 | 5 | 2 |
| El apoyo del ayudante durante los laboratorios es fundamental para aprender el software | 4.7 | 0.5 | 24 | 1 | 0 |
| Me parecen relevantes los contenidos abordados en los laboratorios | 4.7 | 0.5 | 24 | 1 | 0 |
| Me gustaría seguir aprendiendo Digsilent | 4.8 | 0.4 | 25 | 0 | 0 |

En cuanto al desarrollo de los laboratorios, el 76% de los estudiantes declaran que el número de laboratorios fue suficiente para aprender los aspectos básicos del software y solo el 12% estimó que era necesario agregar algunas sesiones extras. Lo anterior, se correlaciona con algunas de las propuestas de mejoras que libremente los mismos estudiantes indicaron como comentarios generales.

Respecto de los videos desarrollados, el 64% indicó estar totalmente de acuerdo o de acuerdo con que los videos fueron suficientes para aprender los aspectos básicos del software, un importante 36% no emitió opinión o indicó estar totalmente en desacuerdo o en desacuerdo con esta afirmación.

Una situación similar sucede con la respuesta asociada al material escrito donde el 72% indicó estar de acuerdo o muy de acuerdo con este. Respecto de la pregunta si considera que el apoyo del ayudante durante los laboratorios es fundamental para aprender el software, el 96% indica estar de acuerdo o muy de acuerdo.

Estas últimas tres respuestas nos indican que, en el proceso de aprendizaje, no basta con lo dispuesto de manera virtual, sino que es relevante la presencia de una persona que lo apoye con su aprendizaje. De todas formas será necesario revisar y mejorar el material desarrollado.

Finalmente, la encuesta evidencia que los estudiantes estuvieron de acuerdo con los contenidos vistos en el laboratorio en un 96% y el 100% de ellos quedó interesado en continuar aprendiendo a utilizar el software.

La encuesta evidenció que el laboratorio fue una fuente de motivación de los estudiantes con la asignatura, que lograron comprender mejor sus contenidos y casi la mitad considera que tuvo un mejor desempeño producto del laboratorio. Aun cuando la gran mayoría considera de gran nivel el material dispuesto en el aula, este requiere ser mejorado, lo que sin embargo no reemplazará a los laboratorios presenciales como la principal fuente de aprendizaje.

CONCLUSIONES

En este proyecto se incorporó el uso del software DigSILENT PF, muy utilizado en las empresas eléctricas de nuestro país, en un laboratorio de simulación para la asignatura de Sistemas Eléctricos de Potencia.

El laboratorio logró motivar la participación de los alumnos en la asignatura, mejorar su desempeño, aumentar los promedios de aprobación y las tasas de aprobación, con lo cual se consiguió el objetivo principal de este proyecto.

Por otra parte, se logró enseñar los aspectos básicos teóricos del software Digsilent PF y desarrollar las habilidades necesarias para su uso en pequeños estudios de las redes eléctricas, el nivel de aprendizaje fue bastante bueno y cumplió con creces con los mínimos esperados.

Se destaca particularmente, el trabajo con los alumnos ayudantes del proyecto, que fueron los futuros ayudantes de esta asignatura. Incorporarlos en los procesos de planificación y diseño de las actividades, permite una retroalimentación diferente a las asignaturas, que se da con los tiempos necesarios para revisar las alternativas que comúnmente se plantean los profesores.

REFERENCIAS

1. Jennifer Ferris & Robert Bass, A Power Systems Protection Teaching Laboratory for Undergraduate and Graduate Power Engineering Education, 120th ASEE Annual Conference & Exposition, June 23-26, Atlanta, USA 2013.
2. Federico Milano, Luigi Vanfretti, and Juan Carlos Morataya. "An open source power system virtual laboratory: The PSAT case and experience." Education, IEEE Transactions on 51.1 (2008);, pp. 17-23.
3. Zorica Nedic & Andrew Nafalski, Development of a modern power systems laboratory, World Transactions on Engineering and Technology Education, Vol. 12, N°4, 2014.
4. Matthew Turner, Chris Foreman, Computer Simulation Tools to Enhance Undergraduate Power Systems Education, 121st ASEE Annual Conference & Exposition, June 15-18, Indianapolis, USA, 2014.
5. Luigi Vanfretti, Member, IEEE, and Federico Milano, Facilitating Constructive Alignment in Power Systems Engineering Education Using Free and Open-Source Software, IEEE Transactions on Education, Vol. 55, N°3, 2011