

ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS DE PLANIFICACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA

Jesús Riquelme Santos
Esther Romero Ramos
José Luis Martínez Ramos
José Antonio Rosendo Macías
Antonio Gómez Expósito
Dpto. Ingeniería Eléctrica
Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla

RESUMEN

Este artículo describe el diseño y desarrollo de prácticas de simulación de un sistema de transporte de energía eléctrica. Estas prácticas, realizadas por los alumnos de penúltimo curso de ingeniería eléctrica, requieren el uso de un paquete informático con elementos como las líneas de transmisión, y funciones como repartos de carga, despacho económico y análisis de contingencias. De este modo, se proporciona al alumno una oportunidad para estructurar el conocimiento de las clases teóricas, así como para desarrollar habilidades en comunicación, trabajo en equipo y resolución de problemas.

ABSTRACT

This paper describes the design and development of Power System class projects. These class projects, undertaken by senior electrical engineering students, requires a computer application with elements such as transmission lines, and tools like load flows, economic dispatch and contingency analysis. In this way, the student has the opportunity to structure the knowledge from theory classes, as well as to develop skills in communication, team work and problem handling.

1. INTRODUCCIÓN

En una profesión eminentemente práctica como la del ingeniero es necesario, en la preparación y educación del alumno durante sus años de carrera, el contacto directo con situaciones prácticas reales. Esto no sólo refuerza y potencia los conocimientos del estudiante, sino que favorece y facilita su asimilación, a la vez que desarrolla la capacidad de inserción del futuro ingeniero en campos laborales específicos. Sin embargo, en asignaturas de un alto contenido

tecnológico no siempre es posible realizar prácticas reales. Las prácticas aquí expuestas debían desarrollarse en los centros de control y planificación de las compañías eléctricas, y banco de prueba sería el sistema eléctrico. Esta imposibilidad física de practicar con sistemas reales obliga a utilizar herramientas de simulación, (Glover y Dow, 1990; Ranade, Tester Singh, 1991), o como ocurre en la mayoría de las escuelas de ingeniería, a limitar su enseñanza a los aspectos puramente teóricos del problema.

En el artículo se desarrolla en los siguientes apartados:

- En los primeros apartados se exponen el planteamiento del problema y los objetivos buscados.
- Seguidamente se describe la metodología desarrollada.
- Por último, se detallan los resultados y conclusiones.

2. PLANTEAMIENTO

La asignatura objeto del estudio es Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP). Esta materia es obligatoria en quinto curso de Ingeniero Industrial (especialidad Electricidad). SEP es una asignatura específica y muy tecnológica. Su objetivo es que el futuro ingeniero comprenda los sistemas de energía eléctrica y las distintas actividades involucradas: control, explotación y planificación. Todas estas actividades tienen una gran base teórica, pero su puesta en práctica en sistemas reales no es posible en el ámbito universitario. A pesar de ello los alumnos tienen un buen concepto de la asignatura, como así lo demuestran los resultados obtenidos en encuesta realizada al final del curso:

En respuesta a la pregunta «Valoración global del grado de satisfacción con la asignatura y la enseñanza recibida en la misma» se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 1 (sobre 30 alumnos).

A pesar de estos resultados razonablemente satisfactorios y en aras a mejorar la calidad de la enseñanza y la metodología docente, en estos últimos años dentro de los programas de calidad de la enseñanza, se han desarrollado una serie de prácticas de simulación que cubren los objetivos que se exponen a continuación.

3. OBJETIVOS

Los objetivos buscados se pueden englobar dentro de dos vertientes principales: por un lado los meramente académicos, y por otro fomentar la participación en clase y la relación profesor-alumno.

3.1. ACADÉMICOS

El objetivo académico es la correcta comprensión de las distintas actividades involucradas en la planificación y explotación de un Sistema Eléctrico, entendiendo como tal, la generación, transporte y distribución de energía eléctrica al usuario final. Estas actividades multidisciplinarias, que abarcan cuestiones tan diversas como son las económicas, ecológicas y técnicas, no suelen ser tratadas globalmente ante la dificultad que conlleva su docencia

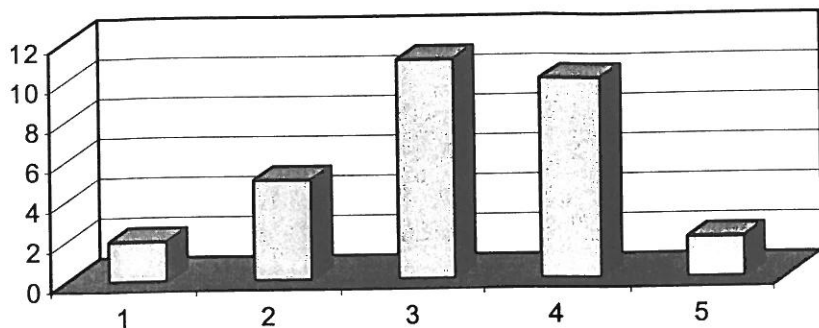


Figura 1: Valoración global del grado de satisfacción con la asignatura y la enseñanza recibida en la misma (entre 1 y 5)

Desde el punto de vista técnico de la explotación conviene saber si se trabaja con un margen amplio de seguridad; para la vertiente económica interesa saber el aprovechamiento de los elementos y el coste de explotación. Para la planificación la dificultad estriba en estudiar el comportamiento del sistema eléctrico ante la incorporación de un nuevo elemento eléctrico: ¿Con ello se aumenta la seguridad del suministro?, ¿Se disminuyen las pérdidas eléctricas?, ¿Es rentable la inversión?, etc. Hace años, estas cuestiones las resolvían las compañías eléctricas mediante complejos programas de diseño y usando grandes equipos informáticos, limitándose su enseñanza a los aspectos puramente teóricos del problema y obviando la parte práctica en la formación de los alumnos. Sin embargo, hoy en día es posible la utilización de programas docentes de simulación de sistemas eléctricos para familiarizar al alumno con el diseño y explotación de la red de transporte de energía eléctrica.

Además del objetivo obvio de reforzar la asimilación de los conocimientos teóricos mediante casos prácticos, también se ha buscado que el alumno adquiera y haga suya una serie de pautas que le serán útiles a lo largo de su vida profesional. Se pretende por una lado que el alumno se familiarice con un programa de simulación de un sistema eléctrico, favoreciendo de este modo el uso de recursos informáticos (los de la propia Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla), y por otro lado que sea capaz de elaborar propuestas y plasmarlas en informes técnicos.

3.2. MOTIVACIÓN

Aparte de los problemas de enseñar y hacer comprender al alumno una serie de conocimientos, el docente muchas veces tiene dificultad en conocer el grado de aprendizaje y asimilación de sus alumnos. Generalmente esta tarea se vuelve más tediosa cuanto más teórica sea la asignatura, mayor el número de alumnos, y con exámenes teóricos como única fuente de información sobre la comprensión y progreso del alumno durante el curso.

El hecho de que el alumno tenga que enfrentarse a un problema práctico le provoca dudas, obligándolo a que se ponga en contacto con el profesor, cosa difícil de otro modo. Al ser los trabajos en grupo, obliga al diálogo entre los integrantes del mismo, a discutir, a saber aportar

su conocimiento y soluciones, y asumir las de los otros, haciéndolas suyas, pues del trabajo del grupo depende su nota individual.

4. METODOLOGÍA

Este proceso potenciador de las prácticas en la asignatura de Sistemas Eléctricos de Potencia lleva desarrollándose durante los últimos años dentro de distintos programas de Calidad de la Enseñanza de la Universidad de Sevilla. Esto ha permitido que haya existido un proceso enriquecedor a través de encuestas y diálogos con los alumnos que han motivado una corrección y mejora de la actividad docente desarrollada.

Como etapa previa fue necesario seleccionar un paquete de simulación que se adaptara bien a las necesidades docentes: que incluyese los elementos básicos de un sistema eléctrico así como las principales funciones necesarias. Todo ello eludiendo modelos demasiado complicados y utilizando una interfaz amigable con el usuario.

A través de una lista de correo electrónico, *Power-Globe*, especializada en el área de Sistemas de Potencia, dentro de la Ingeniería Eléctrica, se tuvo conocimiento del paquete de simulación PowerWorld Simulator, realizado por la empresa PowerWorld Corporation (<http://www.powerworld.com>), el cual reúne holgadamente los requisitos citados, incluyendo una agradable interfaz gráfica con el usuario.

Tras comprar la adecuada licencia de uso de dicho paquete, se han establecido distintos escenarios eléctricos donde los alumnos pueden analizar la problemática de la explotación de un sistema eléctrico, el coste de la misma, y analizar la posterior ampliación de la red, poniendo especial énfasis en las actividades orientadas al control de la seguridad del suministro y a la optimización económica del mismo. Para ello se han desarrollado diversas prácticas con las siguientes características:

- Centradas en los aspectos relativos a un funcionamiento seguro y eficiente de un sistema eléctrico.
- Orientadas a introducir factores de coste y de valoración económica de intercambios energéticos.
- Enfocadas al estudio de la ampliación de un sistema eléctrico existente y sus repercusiones, tanto económicas como de seguridad.

Como escenario se ha optado por una red que resulte familiar y conocida al alumno, usándose para ello unos esquemas simplificados de los niveles de tensión de 400 y 220 kV, de la red de Andalucía (véase figura 2).

En una primera fase sólo se desarrollaron las dos primeras prácticas. En la actualidad la tercera ha englobado a la segunda. Para el desarrollo de ambas prácticas, en un principio, se impartía un seminario de introducción al paquete informático de dos horas de duración. En él se ilustraba el procedimiento a seguir para el modelado del sistema, así como el uso de las herramientas disponibles en el programa para el control de la red. Dicho seminario se impartía tras haber terminado en las clases teóricas todo el temario necesario para su correcta com-

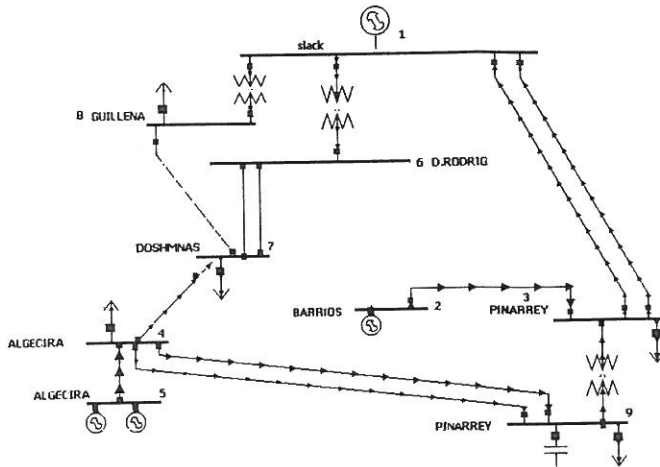


Figura 2: Red de trabajo.

presión. Sin embargo, en base a la realimentación anteriormente mencionada, este proceso se ha visto modificado, de modo que el seminario se imparte conforme las clases teóricas han ido avanzando. Con ello se busca que el trabajo se pueda ir desarrollando de manera gradual, sin acumularse al final del curso.

En cuanto se inicia el seminario y se expone el trabajo a realizar se insta a los alumnos a que se estructuren en grupos de dos miembros, formándose 28 grupos, dos de ellos individuales. Este tamaño de grupo se estima el adecuado teniendo en cuenta la experiencia pasada. En años anteriores surgió el problema de cómo evaluar los trabajos individuales frente a los colectivos. Los alumnos que optaron por hacer las prácticas individualmente tuvieron que hacer más trabajo que sus compañeros de grupos mayores. Sin embargo, este trabajo individual, al no intervenir ningún tipo de diálogo, hace que se desarrolle de un modo más rápido. Por contra, si se realiza el trabajo en grupos, es normal que se proceda a un reparto de las tareas parciales (procedimiento no deseable), de modo que si los grupos son muy grandes, puede haber alumnos que lleguen a perder la visión de conjunto. Por ello, en este curso se estableció que los trabajos se desarrollasen en parejas. Los dos grupos individuales son dos excepciones motivadas por problemas personales.

Los alumnos han venido disponiendo para la realización de la práctica de los recursos informáticos del Centro de Cálculo de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla; en total suma 150 ordenadores personales, mayoritariamente con microprocesador Pentium a 120 MHz, distribuidos en cinco aulas de acceso libre durante toda la jornada, en los que se instaló el paquete de simulación *PowerWorld* por parte del personal de dicho centro de cálculo. Pese a la disponibilidad de estos recursos, muchos grupos optaron por trabajar también en sus propios ordenadores para lo que usaron una versión académica de prestaciones limitadas que los realizadores del programa facilitan a través de internet para usos como éste.

Dichas versiones estuvieron disponibles tanto accediendo a la página web de *PowerWord Corporation*, como mediante accesos a la página web del departamento.

Además de las consultas presenciales, se usó el correo electrónico como posibilidad para la resolución de dudas.

Por último, para potenciar la capacidad de expresión y comunicación entre los alumnos se ha realizado una puesta en común entre los distintos grupos, de tal manera que cada grupo debe defender su propuesta y la conveniencia de ésta frente a las del resto.

Respecto a la evaluación del alumno se estimó que las prácticas debían ser obligatorias, que éstas influirían en la nota final del curso aumentándola hasta un máximo de dos puntos una vez que hubiese aprobado la asignatura.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En general, la acogida de estas prácticas por el alumnado ha sido buena, como así lo demuestran los resultados de la encuesta que se recogen en las figuras 3, 4 y 5. Respecto al número de horas dedicadas a las mismas los resultados varían enormemente (véase tabla 1). De esta tabla puede concluirse que:

- En la práctica segunda, aún siendo más complicada que la primera, los alumnos tardaron menos tiempo en realizarla. Esto está motivado porque, aunque el programa es de fácil manejo, se requiere una cierta práctica para su uso.
- Los alumnos que tardaron mucho en la primera práctica también lo hicieron en la segunda.
- Los alumnos que tardaron más de 30 horas evalúan muy negativamente la práctica.

La calidad de los trabajos ha sido bastante satisfactoria, como lo demuestran las soluciones adoptadas y los informes presentados. Esto ha repercutido muy favorablemente sobre la nota del alumnado, aumentando la nota final como se indica en la tabla 2. Destacar que sólo dos alumnos no han realizado las prácticas.

En lo referente a la puesta en común cabe destacar que las exposiciones han sido muy dispares. Unas han sido aceptables y en cambio otras dejaban mucho que desear. Muchos alumnos no sabían como exponer el trabajo. Reconocían que nunca habían hablado en público, pues durante la carrera nunca han expuesto ningún otro trabajo.

Como resumen señalar la idoneidad de la labor realizada, así como la conveniencia de seguir por este camino, potenciando la puesta en común de los trabajos realizados. Por otra parte, de cara a una continuidad en la realización de estas prácticas en años sucesivos, será necesaria su reformulación para evitar que los nuevos alumnos puedan usar las del presente curso como puntos de partida.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al Instituto de Ciencias de la Educación (I.C.E.) de la Universidad de Sevilla, la concesión de dos ayudas para la financiación de este trabajo dentro de la Convocatoria de Ayudas a la Docencia Universitaria.

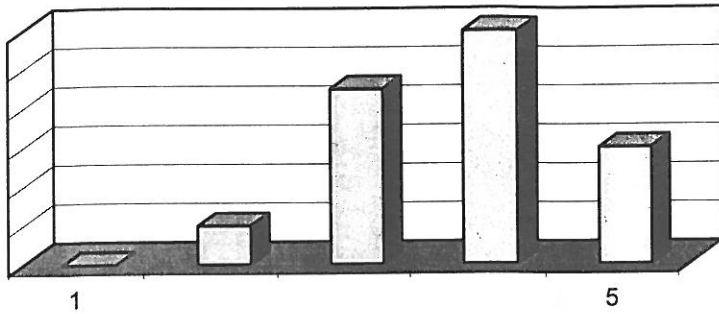


Figura 3: El contenido de las prácticas es instructivo y clarificador de lo estudiado en la teoría

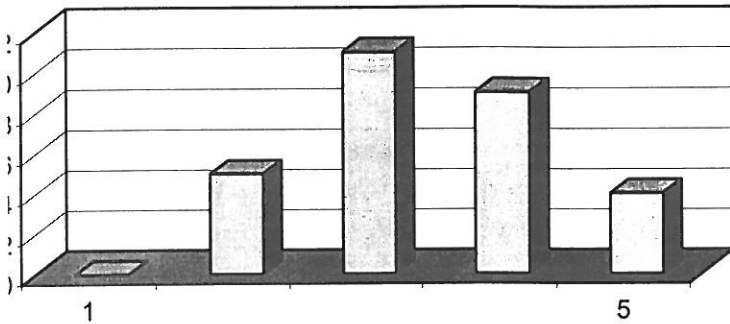


Figura 4: La labor realizada en las prácticas es interesante y motivadora

Tabla 1: Número de alumnos que dedicaron un número determinado de horas

Número de horas	1º Práctica	2º Práctica
0-10	7	7
10-20	4	5
20-30	3	2
30>	4	3

Tabla 2: Calificaciones obtenidas

Incremento de nota	Nº de alumnos	Incremento de nota	Nº de alumnos
2	5	0.75	4
1.75	8	0.5	10
1.5	4	0.25	7
1.25	4	0	3
1	9	Suspensos	2



Figura 5: Valoración global de las prácticas

BIBLIOGRAFÍA.

- GLOVER, J.D. y DOW, L.F. (1990). Student Design Projects in Power Engineering. *IEEE Transactions on Power Systems*, 5, 4, 1390-1399.
- RANADE, S.J., TESTER, J. y SINGH, J. (1991). A Power Systems Design Projects Class. *IEEE Transactions on Power Systems*, 6, 1, 414-419.