

# SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Jesús Riquelme Santos  
José Antonio Rosendo Macías  
José Luis Martínez Ramos  
Esther Romero Ramos  
Antonio Gómez Expósito  
Dpto. de Ingeniería Eléctrica.  
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 la 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 knowlegde from theory classes, as well as to develop skills in communication, team work and problem handling.

## 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 es imposible realizar prácticas reales. Las prácticas aquí expuestas deberían desarrollarse en los centros de control y planificación de las compañías eléctricas, y el 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 y Singh, 1991), o como ocurre en la mayoría de las escuelas de ingeniería, a limitar su enseñanza a los aspectos puramente teóricos del problema.

Ante esta situación estos últimos años dentro de los programas de calidad de la enseñanza, se han desarrollado una serie de prácticas de simulación que cubran una serie objetivos que se exponen a continuación.

## 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.

### 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 multidisciplinares, que abarcan cuestiones tan diversas como son las económicas, ecológicas y técnicas, no suelen ser tratadas globalmente ante la dificultad que conlleva su docencia. 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, 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.

### 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.

## 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 halla 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 adaptase 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 interface 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 interface 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:

- Centrada en los aspectos relativos a un funcionamiento seguro y eficiente de un sistema eléctrico.
- Orientada a introducir factores de coste y de valoración económica de intercambios energéticos.
- Enfocada 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 1).

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 comprensión. Sin embargo, en base a la realimentación anteriormente nombrada, este proceso se ha visto modificado, 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.

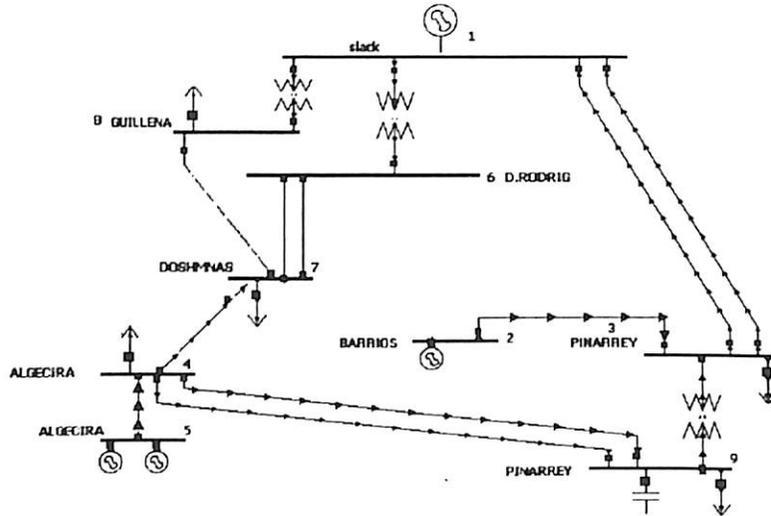


Figura 1. Red de trabajo.

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 entre dos y cuatro miembros; si bien, debido a la flexibilidad que se concedió el primer año (curso 97/98), hubo desde trabajos individuales hasta grupos de cuatro alumnos. Además, los grupos que se formaron en un primer momento fueron sufriendo una evolución temporal, con la incorporación de alumnos nuevos a algunos de ellos y con la escisión por parte de otros; llegándose finalmente a una configuración de 18 grupos, con tamaños como se muestra en la tabla 1.

Tamaño	No.de grupos
1	4
2	1
3	6
4	7

Tabla 1. Tamaño de los grupos.

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; que en total suman 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 un versión académica de prestaciones limitadas que los realizadores del programa facilitan a través de internet para usos como este. Dichas versiones estuvieron disponibles tanto accediendo a la página web de *PowerWorld 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.

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

### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En general, la acogida de estas prácticas por el alumnado ha sido buena. Así mismo, el trabajo desarrollado por ellos ha sido bastante satisfactorio, como lo demuestran las soluciones adoptadas y los informes presentados.

Dentro de la evaluación de los trabajos surgió el problema de cómo evaluar los trabajos individuales frente a los colectivos. Los alumnos que optaron por hacer la prácticas individualmente tuvieron que hacer más trabajo que sus compañeros de grupos mayores. Sin embargo, este trabajo individual al no sufrir el efecto enriquecedor del 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 (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, se ha hecho evidente la necesidad de controlar más estrictamente el tamaño de los grupos, de modo que exista una mayor homogeneidad de los mismos, y desde el año pasado se instó a que se hiciese por parejas.

### 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.

### 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.