

MONTAJE Y ANÁLISIS DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN

Esther Romero Ramos
Jesús Riquelme Santos
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 la práctica consistente en un montaje a escala en un laboratorio de una red eléctrica de distribución. Esta práctica, realizada por alumnos de penúltimo curso de Ingeniería Eléctrica, requiere la manipulación de componentes eléctricos y electrónicos, así como el uso de paquetes informáticos que permitan el control de la red construida. De este modo, se proporciona al alumno una oportunidad para conocer de cerca las redes eléctricas y su comportamiento, así como la resolución de problemas relacionados con el seguimiento y control de las mismas en tiempo real.

ABSTRACT

This paper outlines a work of developing a distribution automation laboratory for undergraduate education at Electrical Engineering Department of Sevilla University. A scaled-down three phase distribution system model with a data acquisition system connected to a personal computer is built to facilitate physical experiments and real-time measurements. This project allows to the student to have the opportunity to structure the knowlegde from theory classes, as well as to examine how electrical componets work. They have to get and analyse measurements in order to control the network.

1. INTRODUCCIÓN

La profesión del Ingeniero Industrial requiere una preparación universitaria donde el contacto directo con situaciones reales constituya una parte importante de la misma. La necesidad de este contacto directo facilita la asimilación de las clases y familiariza al alumno con la tecnología que posteriormente encontrará en el mercado y la industria. Sin embargo, en asignaturas de un alto contenido tecnológico, como suele ocurrir en las correspondientes a las de la especialidad, y donde, en muchos casos, es necesario visualizar estructuras muy extensas y

complejas, es imposible realizar prácticas reales. La práctica desarrollada emula situaciones con las que se puede encontrar un Ingeniero Industrial de la especialidad Eléctrico como responsable de la red de distribución de una compañía eléctrica. La imposibilidad de estudiar de cerca un sistema de media tensión, así como el control del mismo obliga al educador recurrir a simulaciones en laboratorio y de tipo informático que palien esta limitación.

El artículo se estructura en los siguientes apartados:

- Planteamiento del problema y fines perseguidos.
- Metodología desarrollada para la elaboración y realización de la práctica.
- Resultados y conclusiones.

2. PLANTEAMIENTO

Esta práctica se diseñó con carácter voluntario para los alumnos de la especialidad eléctrica de la titulación de Ingeniero Industrial correspondientes a las asignaturas de “Líneas y Redes Eléctricas”, de 4º curso, “Sistemas Eléctricos de Potencia” de 5º curso e “Instalaciones y Medidas Eléctricas” de 5º curso, siendo las dos primeras obligatorias y la tercera optativa.

La embergadura inicial de esta práctica, que ha requerido la adquisición de gran cantidad de material informático y de laboratorio (ordenador, tarjeta de adquisición de medidas, resistencias, bobinas, etc.), ha resultado bastante más dificultosa y lenta de lo inicialmente planificado. Esto, junto a la complejidad inherente al montaje de la red a simular, ha alterado en gran medida el desarrollo de la práctica, afectando en primer lugar al número de estudiantes involucrados en la misma. Debido a ello y a lo avanzado del curso académico, la implicación de los alumnos se retrasó en dos meses de acuerdo a la temporalización inicialmente estimada, lo cual obligó a su vez a limitar el número de estudiantes que participaran más directamente en la práctica. Se optó por tanto en acudir tan solo a los matriculados en la asignatura de Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), por considerarse que éstos poseen un grado de conocimiento más completo en relación a muchos de los elementos y conceptos involucrados en la práctica, y por poseer mayor número de alumnos que la otra asignatura de 5º curso Instalaciones y Medidas Eléctricas.

SEP es una asignatura muy específica y tecnológica. Su objetivo es que el ingeniero comprenda los grandes sistemas de energía eléctrica (generación, transporte y consumo), y las distintas actividades relacionadas con los mismos: 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 la encuesta realizada al final del curso: un 40% responde entre 4 y 5 (5: Muy de acuerdo; 1: Muy en desacuerdo), y más de 75% lo hace entre 3 y 5, en respuesta a la pregunta «Valoración global del grado de satisfacción con la asignatura y la enseñanza recibida en la misma».

A pesar de estos resultados más o menos 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 en este departamen-

to, (Rosendo, Martínez, Gómez y Riquelme, 1999; Riquelme, Rosendo, Martínez y Romero, 2000). Sin embargo, con la intención de que el alumno tenga la posibilidad de un aprendizaje lo más realista posible, y, asumida la imposibilidad de acudir a sistemas reales, se ha desarrollado esta práctica con el objetivo de llegar un poco más allá de lo que permiten las técnicas de simulación informáticas, acudiendo por tanto al laboratorio y optando, en este caso, por el desarrollo de una red eléctrica a escala.

Intentando ajustarnos al máximo al calendario de actividades propuesto, éste quedó finalmente de la siguiente forma:

1. Noviembre-Marzo: Adquisición de los elementos necesarios para el montaje de la práctica mediante personal cualificado y del seminario de introducción a la práctica.
2. Abril: Impartición del seminario a toda la clase y realización de la práctica por parte de tres de los diez alumnos que se presentaron con carácter voluntario.
3. Mayo: Exposición a toda la clase de la práctica por parte de los mismos alumnos implicados directamente en el proyecto.

3. OBJETIVOS

Los objetivos buscados se pueden englobar dentro de dos vertientes principales: por un lado los meramente académicos, y por otro fomentar la relación profesor-alumno y motivar al estudiante en relación a problemas más reales que los planteados en las clases teóricas.

3.1. ACADÉMICOS

La correcta comprensión de la red de distribución y las distintas actividades involucradas en la explotación de la misma, resulta cada vez más relevante en la formación de un Ingeniero Eléctrico debido al nuevo marco regulatorio eléctrico implantado no sólo en nuestro país sino a nivel europeo.

Hasta ahora la red de distribución, a diferencia de la red de transporte, apenas si era teledirigida y controlada debido al coste económico que esto implicaba, y a que eran muy pocas las aplicaciones de seguimiento y control bajo ordenador a la que eran sometidas dichas redes. Sin embargo, el carácter liberalizador al que ha quedado sometido el sistema eléctrico ha potenciado el control de estas redes debido a su incidencia directa en la calidad de la señal eléctrica que recibe el consumidor final. Alguno de los estudios sobre esta red que permiten optimizarla y mejorar la calidad del servicio y suministro al usuario son: reconfiguración de redes, optimización de tensiones mediante la adecuada inyección de reactiva, estimadores de estado específicos para redes de distribución, entre otros.

El objetivo académico de este proyecto es el de ilustrar al alumno de forma práctica, en el laboratorio, sobre las características propias de las redes de distribución, frente a las habitualmente bien conocidas redes de transporte, y la problemática que conlleva su control. En concreto se pretende mostrar la topología, parámetros y forma de funcionamiento habitual en estos niveles de tensión, así como el análisis y tratamiento de la señal eléctrica para medida de la calidad de la misma.

Además del objetivo obvio de reforzar la asimilación de los conocimientos teóricos mediante casos prácticos, también se ha buscado que el alumno se familiarice con el manejo de material eléctrico: conexión de elementos eléctricos e informáticos, utilización de equipos de medida, conexión de la tarjeta de adquisición de datos, entre otros, así como el trabajo directo con herramientas informáticas, muy presentes en el mercado que se van a encontrar (no sólo eléctrico), para la presentación de medidas y análisis de la señal adquirida.

3.2. MOTIVACIÓN

Junto a la problemática de la mejor enseñanza para hacer comprender al alumno una serie de conocimientos, el docente tiene habitualmente dificultad en conocer el grado de aprendizaje y asimilación de sus alumnos. Esta tarea se vuelve aún más compleja cuanto más teórica es 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. Además el recién titulado habitualmente se encuentra en mayor o menor grado falto de seguridad en sí mismo la hora de enfrentarse en su vida laboral a problemas reales de ingeniería. Esta situación se puede minimizar en parte, y así lo manifiestan los mismos alumnos, si durante los años académicos se fomenta el contacto directo en el laboratorio con la tecnología presente en el mercado, eléctrica en este caso, y conocen y resuelven problemas que surgen como consecuencia de dicha experiencia.

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. El haber contando con un número bajo de estudiantes en el desarrollo de la práctica facilitó enormemente el diálogo entre los integrantes del mismo y con el profesor, a debatir y a saber aportar su conocimiento y soluciones. El trabajo en grupo ha sido constante, lo cual les prepara para lo que con toda seguridad será una forma de trabajo muy habitual en su profesión.

4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta práctica se ha tomado como referencia el artículo (Yuan-Yih H y otros, 1998) donde describe una experiencia similar al proyecto que nos atañe. Este trabajo ha facilitado la decisiva e importante fase inicial de cualquier proyecto, esto es, objetivos, recursos, materiales necesarios y el material necesario para el montaje y desarrollo de la práctica.

La red que se deseaba simular a escala se muestra en la figura 1. Se ha construido, en esta primera fase de esta experiencia, una línea trifásica típica de distribución escalada, para la cual se ha utilizado una resistencia y una reactancia por fase, de tal modo que el valor de la impedancia total sea equivalente, previo escalado, a los que tendría dicha línea en un sistema real, utilizando para ello el adecuado cambio de base.

La línea se alimenta desde la toma trifásica disponible en el laboratorio, y alimenta una carga trifásica equilibrada en principio, de modo que una vez efectuada la conexión se puedan realizar medidas, y en su caso, en un futuro cuando se disponga de los relés necesarios para ello actuar como se estime conveniente sobre los interruptores de la red, pudiendo conectar o desconectar a antojo la línea e incluso si se desea la carga de alguna de las fases, observando así los desequilibrios que se producirían.

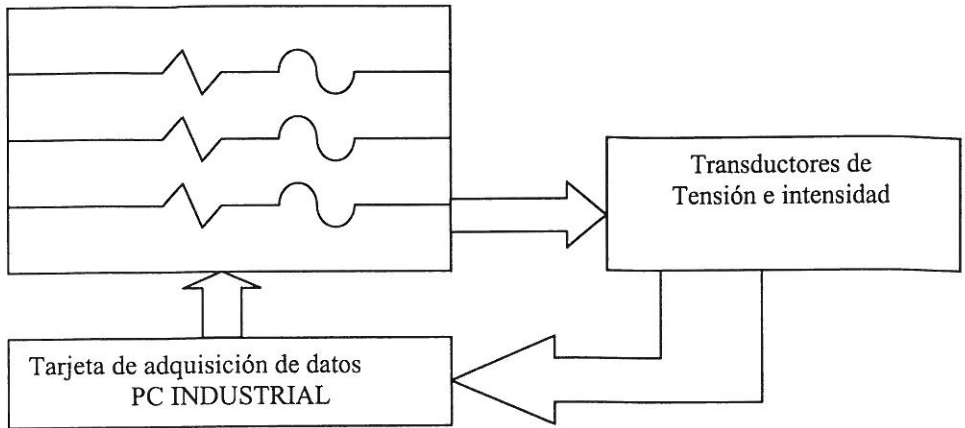


Figura 1. Esquema general de la red y equipos de medida

Además de los componentes que configuran la línea eléctrica y los consumos, se ha adquirido el siguiente equipo:

- Ordenador industrial Pentium -II 400 MHz.
- Tarjeta de National Instruments PCI6033 para adquisición de datos y salidas analógicas, junto con cable y bloques de conexión.
- Equipos de medida transductores de tensión e intensidad que adapten la señal eléctrica para su entrada en la tarjeta de adquisición de datos.

Las medidas de la línea son tomadas mediante unas tarjetas diseñadas y construidas exclusivamente para este proyecto (ver figura 2). Éstas constan de entrada Fase-Neutro, alimentación de continua ((15 V, tierra) y , mediante los transductores y acondicionadores de señal, se captan medidas (salidas V_{out} , medida de intensidad, y M_{out} , medida de tensión) que se derivan hacia la tarjeta de adquisición de datos, la cual, conectada al PC nos posibilita la toma de medidas altamente fiables para su posterior tratamiento y monitorización, abriendo una amplia gama de alternativas de estudio y aprendizaje, sin mas que diseñar el software adecuado en cada caso.

Con este material disponible se procedió a la impartición del seminario que ilustraba las características más relevantes y diferenciadoras de las redes de distribución, la explicación del escalado realizado para modelar la red, montaje de los elementos y medidas a procesar en el ordenador para presentación al usuario.

Los alumnos proceden entonces a la conexión de todos los elementos eléctricos entre si, dando lugar al esquema de conexión mostrado en la tabla 1 y figura 3.

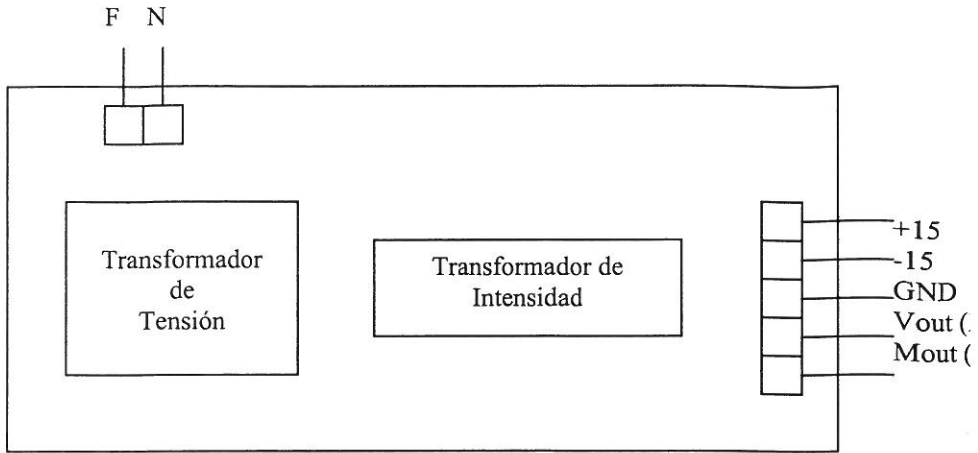


Figura 2. Esquema equipo traductor de V e I.

Tabla 1. Conexiones de la caja de bornas.

	ENTRADAS ANALÓGICAS				SALIDAS DIGITALES
	CANAL TENSIÓN	PINES TENSIÓN	CANAL INTENSIDAD	PINES INTENSIDAD	SOBREINTENSIDADES GND común (pin 24)
FASE A	0	3 4	1	5 6	25
FASE B	2	7 8	3	9 10	27
FASE C	4	11 12	5	13 14	29

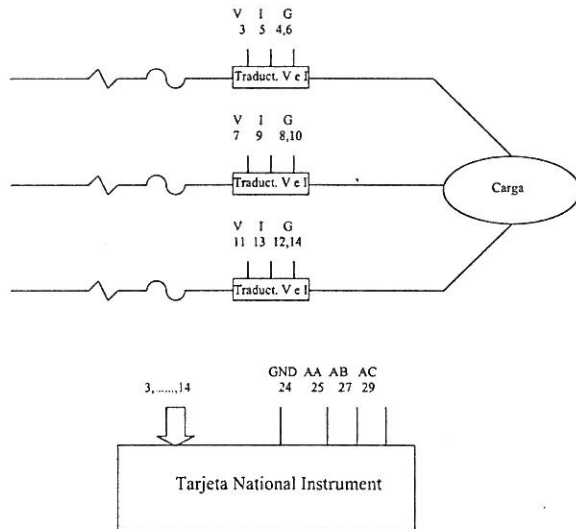


Figura 3. Conexiones de la línea y la tarjeta NI

Como herramienta de programación se ha utilizado un software adecuado que permite el tratamiento de la señal., centrándonos esencialmente en su aplicación para la adquisición de datos y tratamiento posterior de éstos.

Los alumnos han desarrollado dos programas, uno para el estudio de una sola fase (tensión, intensidad y frecuencia), y otro para el estudio de las tres fases (tensión, intensidad y desfases).

Cada uno de los programas realizados consta de un diagrama en forma de bloques (software desarrollado) y un panel de presentación (visualización de las medidas, alarmas, actuaciones, etc.).

El primer programa, denominado FASE, se obtiene la tensión, intensidad y espectros de frecuencia de la señal eléctrica correspondiente a una de las fases de la línea objeto de estudio.

La esencia del segundo programa (TRIFASICO) es la misma que el programa "FASE", habiéndose utilizado éste como base para la realización de "TRIFASICO". En éste se utilizó "FASE" para el tratamiento de las señales de tensión e intensidad de cada una de las tres fases de la línea objeto de estudio, utilizando seis canales para la captura de estas medidas (tres para la tensión y tres para la intensidad), presentando las tres señales de tensión en una pantalla, y las tres de intensidad en otra, pudiendo de esta forma observar desfases, desequilibrios,...etc., entre ellas.

Como variante frente a "FASE" se a introducido la generación de salidas digitales, cuya misión será la actuación, en la futura ampliación del proyecto, sobre elementos de la red, tales como relés, interruptores, conexión y desconexión de baterías de condensadores, actuación sobre tomas de transformadores,etc.

Para la visualización de los resultados en la ejecución de los dos programas realizados, los estudiantes han diseñado unos paneles de presentación cuyo aspecto durante la ejecución de los mismos en el laboratorio se muestran en la figura 4 y 5.

Una vez finalizado el trabajo de laboratorio por parte de los alumnos voluntarios, éstos procedieron a una exposición en el laboratorio del trabajo que habían realizado al resto de sus compañeros de asignatura, resolviendo personalmente las dudas que planteaban relacionadas fundamentalmente con los problemas con los que se habían encontrado a la hora de obtener las medidas en tiempo real.

Respecto a la evaluación de los alumnos participantes en la práctica, este trabajo ha permitido elevar su nota media en la asignatura hasta un punto

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La valoración de esta practica por el alumnado ha sido buena, especialmente por los alumnos directamente implicados en la misma. Los aspectos más relevantes destacados por los estudiantes han sido los siguientes:

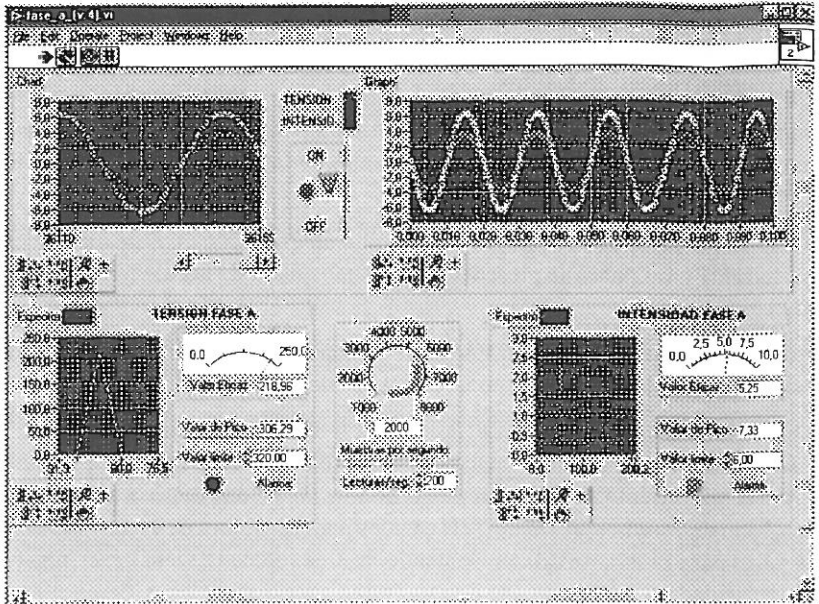


Figura 4. Pantalla salida programa FASE

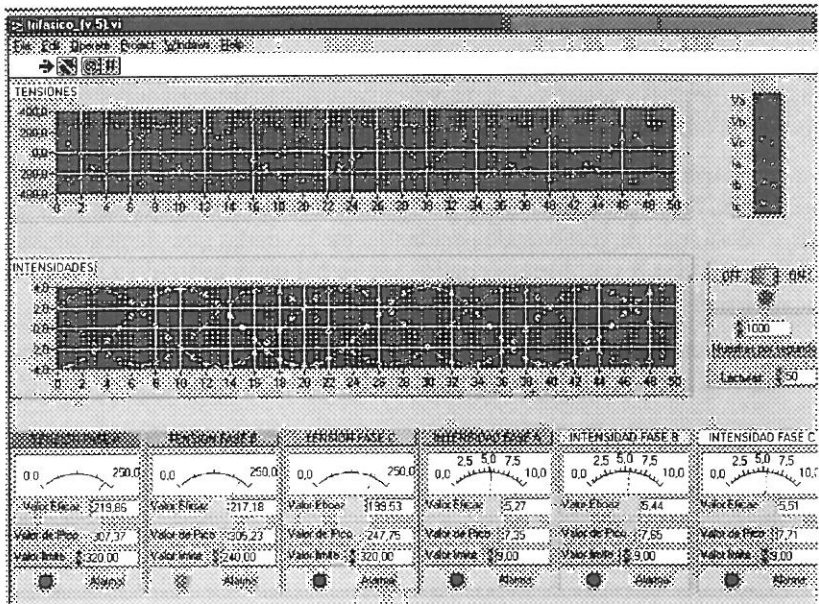


Figura 5. Pantalla salida programa TRIFASICO

- Resaltan el hecho de tener una oportunidad para conocer, manipular y desarrollar la potencialidad de una tarjeta de adquisición de datos, elemento presente en muchos sistemas: térmicos, mecánicos, eléctricos, químicos o de otra naturaleza, que se desean medir y analizar.
- Coinciden todos en afirmar lo interesante de haber desarrollado una red distribución en el laboratorio, no solo por lo inalcanzable de estos sistemas en la realidad, si no también por la notoriedad de los mismos en el nuevo marco eléctrico.
- Manifiestan su deseo de continuar el siguiente año académico en contacto con este proyecto, estudiándose la posibilidad de desarrollar proyectos fin de carrera en base al mismo.

En cuanto a la calidad de los trabajos ha sido bastante satisfactoria, como lo demuestran las soluciones adoptadas y los informes presentados.

Como resumen señalar la idoneidad de la labor realizada, así como la conveniencia de seguir por este camino, potenciando la ampliación de la red a muestrear para dar mayor solidez a la red a estudiar y para incorporar un mayor número de alumnos.

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 para el curso 1999-2000.

BIBLIOGRAFÍA.

YUAH-YIH HSU y otros (1998). A Distribution Automation Laboratory for Undergraduate and Graduate Education. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, No. 1 ,pag. 1-7.

ROSENDO MACIAS J. A., MARTINEZ RAMOS J.L., GOMEZ EXPOSITO A. y RIQUELME SANTOS J., (1999). Diseño de prácticas de simulación de Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica, *Revista de Enseñanza Universitaria* , Número extraordinario 1999, *Innovaciones en la Enseñanza Universitaria*, ICE, pag 549-556.

RIQUELME SANTOS J.,

ROSENDO MACIAS J. A., MARTINEZ RAMOS J.L., y GOMEZ EXPOSITO A. (2000). Simulación de los Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica, *II Jornadas Andaluzas de Calidad en la enseñanza: Desarrollo de Planes de Calidad para la Universidad*, ICE, 7-8 de Marzo de 2000.