

Integración de contenidos en la asignatura "Práctica y Laboratorio III" de la carrera Ingeniería Eléctrica

por Delia Graciela Colomé y Juan Manuel Serrano Mora

Resumen

En este trabajo se presenta la experiencia didáctica de docentes de la asignatura "Práctica y Laboratorio III", de la carrera de Ingeniería Eléctrica, en la integración de contenidos de asignaturas pertenecientes a los bloques de las tecnologías básicas y aplicadas, a través de problemas de ingeniería. Problemas, que han sido definidos y elaborados sobre la base de la experiencia adquirida por los docentes, en su participación en proyectos de investigación y en convenios de transferencia de tecnología con empresas del sector eléctrico. En ellos se incluye la aplicación de conceptos teóricos y de técnicas de análisis, cálculo, modelación y simulación, estudiadas en la carrera, a los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

El propósito de esta experiencia didáctica es lograr, a través de la aplicación e integración de los contenidos estudiados en la carrera en el análisis de problemas reales de ingeniería eléctrica, un aprendizaje exitoso y que los estudiantes adquieran destrezas para plantear, analizar y resolver problemas complejos de ingeniería.

Abstract

This work puts forward the didactic experience of teachers from the subject Practice and Laboratory III, of Electric Engineering in the integration of contents from subjects belonging to blocks of basic and applied technologies through engineering problems.

Problems that have been defined and elaborated based on the experience acquired by teachers through their participation in research projects and in transference agreements of technology with utilities from the electric area.

These problems include the application of theoretical concepts and analysis techniques, calculations, modelling and simulation studied in the career to be applied to the energy generation, transmission and distribution systems.

The aim of this didactic experience is to achieve, through the application and integration of those contents studied in the career by the resolution of real problems of electric engineering, a successful learning and at the same time that the students acquire the necessary skills to state, analyze and solve complex engineering problems.

Los autores son ingenieros electrónicos, docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación y Creación (PIC) Código N°: 21/I928 aprobado y subsidiado por la UNSJ. Programación 2011 – 2012: "Supervisión y mejora en tiempo real de la estabilidad de los sistemas eléctricos de potencia utilizando sistemas de medición sincrofásorial".

Dirección de contacto: colome@iee.unsj.edu.ar, jserrano@iee.unsj.edu.ar

Trabajo recibido: 12/03/2012

Aceptado sin correcciones: 23/07/2012

Introducción

La enseñanza de las tecnologías básicas y aplicadas en una carrera de Ingeniería Eléctrica, se enfrenta con el desafío de lograr la integración de los contenidos para un aprendizaje exitoso. Para lograr esta integración se introduce al estudiante en la aplicación de técnicas de simulación y análisis de sistemas eléctricos, para la resolución de problemas de ingeniería que se pueden presentar en los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

A partir de la experiencia alcanzada por los docentes de la asignatura, en su participación en estudios técnicos para empresas del sector eléctrico, se ha identificado la posibilidad de aplicar conceptos y técnicas de la ingeniería eléctrica al análisis de sistemas eléctricos sencillos. Esta experiencia ha conducido a la elaboración de problemas que representan situaciones reales, y que tienen además una resolución que es factible alcanzar por los estudiantes dentro de la carga horaria asignada a la asignatura "Práctica y Laboratorio III".

Esta metodología para la actividad práctica se convierte así en un medio didáctico que permite al estudiante alcanzar la integración de contenidos teóricos estudiados en numerosas asignaturas con una aplicación práctica concreta.

Para la elaboración de los dos problemas descriptos en este trabajo se han completado dos casos de simulación de sistemas eléctricos utilizando la librería SymPowerSystem de Matlab propuestos en (ZAMORA BELVER y coautores, 2005) con funciones de cálculo y análisis de características técnicas no contempladas por los autores como son la actuación del sistema de protecciones y la evaluación de la calidad del producto eléctrico.

Es importante destacar que si bien la simulación de cortocircuitos es una temática ampliamente estudiada a través de ejemplos y/o problemas en los libros utilizados para la enseñanza del funcionamiento de los sistemas de potencia en el grado (GRAINGER y STEVENSON, 1996), (EL-HAWARY, 1995), (KUNDUR, 2004), no sucede lo mismo con la demostración de los principios de actuación y ajuste del sistema de protecciones ante estas fallas. También la introducción de armónicos de corriente en la red por parte de los convertidores, es un tema que se incluye en la bibliografía sobre electrónica de potencia y convertidores (MOHAN, UNDELAND, ROBBINS, 1995), (RASHID, 1993), (WILDI, 1997), pero no se destaca específicamente la deformación de la onda de tensión en el punto de suministro ni las normativas vinculadas con la medición, control y penalización de este tipo de perturbaciones en empresas de distribución.

Por otro lado se ha observado que, tanto los libros especializados en la simulación de sistemas eléctricos (ATTIA, 1999), (CHEE-MUN ONG, 1998), (ZAMORA BELVER y coautores, 2005) como las demostraciones de la librería SimPowerSystem especializada en sistemas de potencia (MATHWORKS, 2005), no incluyen entre los casos estudiados los principios de funcionamiento de los relés de distancia ni aspectos vinculados con la medición de la distorsión de tensión y su comparación con valores límites en sistemas de distribución. Estos antecedentes muestran que la temática elegida para los problemas que se presentan en este trabajo no ha sido antes abordada como problema de ingeniería o actividad práctica de simulación y cálculo para la enseñanza del funcionamiento de los sistemas de potencia en las carreras de ingeniería eléctrica.

En este trabajo se incluye en el capítulo 2 una breve descripción de la asignatura "Práctica y laboratorio III", sus objetivos y su ubicación en la carrera. En el capítulo 3 se definen los criterios aplicados en la elaboración de los problemas de ingeniería. En el capítulo 4 se presentan dos de los problemas de ingeniería elaborados, donde se hace referencia a los estudios que los inspiraron, se describe en forma sencilla y suficiente el problema, proporcionando el detalle del material que se ofrece al estudiante, para facilitar y agilizar su resolución. En cada caso se destacan las técnicas y conceptos aplicados y los conceptos que el estudiante profundiza y se muestran los principales resultados obtenidos. Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones de la aplicación de esta metodología de enseñanza y se reflexiona sobre su posible uso en otras universidades.

Asignatura "Práctica y laboratorio III"

Con la finalidad de que el estudiante logre una integración de los conceptos brindados por diferentes asignaturas, el plan de estudio 2006 de la carrera Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) implementa asignaturas en tres niveles de avance de los estudios cuya finalidad es el desarrollo de prácticas y laboratorio relacionados con las asignaturas cursadas hasta ese momento. "Práctica y laboratorio III" es la última de estas asignaturas y se ubica en ciclo de especialización de la carrera. Tiene un despliegue semestral de 17 semanas con una carga de 5 horas por semana para estudiantes universitarios del 4to. año (VIII semestre) de una carrera de diez semestres.

El objetivo de la asignatura es la integración de contenidos de las asignaturas cursadas hasta el momento a través de la realización de problemas prácticos, ensayos de laboratorio o desarrollo de proyectos.

El dictado, en los tres años que lleva la asignatura, ha abordado en sus primeras clases temas introductorios al uso del sistema Matlab y sus librerías Simulink y SimPowerSystem (COLOMÉ y SERRANO MORA, 2010), (Mathworks, 2005), plataforma en la que los estudiantes han realizado la modelación de los distintos componentes del sistema eléctrico, la simulación de su comportamiento dinámico, el procesamiento de las señales obtenidas para calcular magnitudes eléctricas y la programación de algoritmos de cálculo, análisis y graficación.

La gran diversidad de contenidos que se pueden abordar permite definir un sinnúmero de problemas, proyectos o prácticas de laboratorio, sin embargo la elaboración de nuevas actividades cada año requiere una dedicación del plantel docente adicional a la de asignaturas que mantienen el conjunto de actividades prácticas de un año a otro. Se ha observado que si los problemas se repiten existe la posibilidad de que los estudiantes utilicen modelos y funciones programadas por grupos de años anteriores y sean meros usuarios y no partícipes del desarrollo. Esto hace que la asignatura esté en permanente cambio, por ejemplo para el dictado del año 2012 se está pensando utilizar como plataformas de simulación los programas Power World y el ATP en vez de la SimPowerSystem de Matlab utilizada en 2010 y 2011.

La bibliografía del curso ha sido clasificada en dos grupos: a) de la plataforma de simulación de los sistemas eléctricos que se proponga para ese año y b) de los temas de ingeniería eléctrica abordados en los problemas.

Criterios aplicados en la definición de los problemas

La definición de los problemas parte de la consigna de que deben incluir la aplicación de conceptos, técnicas y herramientas contenidos en asignaturas correlativas y/o en las que están cursando los estudiantes, y estar formulados a partir de problemas reales de ingeniería cuya resolución se ha encarado en el Instituto de Energía Eléctrica (IEE) de la UNSJ, en el marco de proyectos de investigación, o en convenios de transferencia de tecnología o de prestación de servicios. Se cita y describe en forma resumida, el estudio en el cual se inspiran, con lo que se ubica a los estudiantes en el contexto real del problema.

La resolución debe ser accesible para los estudiantes, por lo que en muchos casos se modifica el problema original reduciéndolo o adaptándolo, hasta alcanzar un grado de dificultad que los estudiantes puedan abordar en la carga horaria asignada y con las herramientas disponibles.

Además, en la elaboración de los problemas de ingeniería, se han aplicado los siguientes criterios:

- El enunciado del problema y la descripción del contexto debe ser autosuficiente para su resolución.
- Con el objetivo de que los estudiantes utilicen en forma intensiva un soporte informático en la ejecución del proyecto, se introduce y asesora a los estudiantes en el uso de plataforma de simulación y cálculo a utilizar. Matlab/Simulink en el primer año (2009) y Matlab/Simulink/SimPowerSystems en los dos años siguientes (2010 y 2011).
- Se orienta al estudiante en las técnicas o herramientas de simulación y cálculo a aplicar, por ejemplo transformada rápida de Fourier para el cálculo de fasores.
- Se completan contenidos necesarios con el dictado de clases magistrales por parte de los profesores. Conceptos de calidad de producto técnico, cálculo de armónicos y de impedancia de falla en 2010 y 2011.
- Se brinda información adicional para agilizar su resolución: datos de la red eléctrica, bloques recomendados para la modelación de los distintos componentes, ecuaciones de cálculo, etc.
- Se estimula el análisis de los resultados obtenidos por simulación o cálculo en computadora con el objetivo de extraer conclusiones sobre el comportamiento del sistema.
- Se estimula el trabajo en grupo.
- Se requiere la presentación de un informe por escrito del trabajo desarrollado correctamente estructurado, y la exposición oral del proceso de solución, sus resultados y conclusiones.

Problemas de ingeniería

Cálculo y graficación de la impedancia de falla en un sistema de transmisión

En el marco del estudio del sistema de protección de las líneas con compensación serie de la empresa chilena de transmisión y generación (ORDUÑA y coautores, 2011) se desarrolló un modelo para la simulación del sistema en el ATP, un modelo de los relés de distancia y una función de análisis de los relés de distancia.

Se entregan a los estudiantes con el objetivo de verificar el ajuste y coordinación de las protecciones. Al ser la graficación de las impedancias de falla muy

ilustrativa sobre el principio de funcionamiento del relé y la identificación del tipo de falla, se decidió elaborar un problema con esta temática sobre un sistema eléctrico sencillo propuesto en (ZAMORA BELVER y coautores, 2005).

Los objetivos del problema son estudiar el comportamiento del sistema eléctrico de la figura 1 cuando se producen fallas en distintos puntos del sistema, calcular, graficar y analizar la trayectoria de las impedancias de falla en ambos extremos de la línea de interconexión que es donde se encuentran instalados los datos técnicos de los componentes: sistemas eléctricos A y B, línea aérea trifásica, transformador de máquina trifásico con reactancia trifásica de compensación en el terciario e impedancia equivalente de la red más la carga. También se les indica el estado estacionario inicial de operación del sistema a través de las tensiones nodales en módulo y ángulo pues a esta altura del semestre aún no dominan los conceptos de cálculo de flujo de carga. Adicionalmente se los orienta en como modelar cada uno de ellos utilizando bloques de la SimPowerSystem de Matlab.

Se les pide a los estudiantes:

- Modelar el sistema eléctrico utilizando bloques SimPowerSystem, figura 2.
- Simular durante 0.5 s el comportamiento del sistema sin fallas y calcular el valor eficaz de la tensión en las barras, la carga consumida en la barra B y el flujo de potencia por la línea a partir de las mediciones de las corrientes y tensiones de fase.

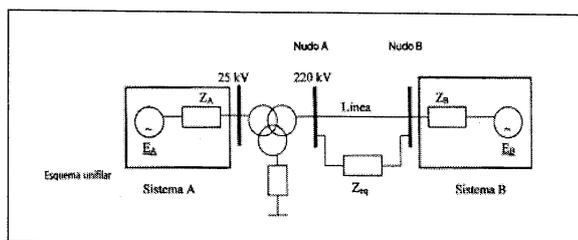


Figura 1. Sistema de transmisión. (ZAMORA BELVER y coautores, 2005).

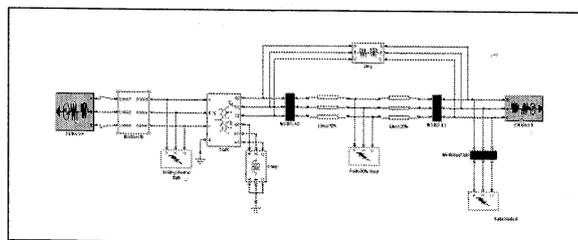


Figura 2. Modelo del sistema eléctrico con bloques SimPowerSystem de Matlab.

- Simular fallas a 0.1 s y despejarlas a los 0.2 s en la barra B, en lado de baja del transformador y al 80% de una de las líneas en paralelo. Fallas: trifásica a tierra, bifásica a tierra, bifásica aislada y monofásica a tierra sin y con impedancia de falla.
- Registrar y analizar el comportamiento dinámico de las tensiones y corrientes de fase en el primario del transformador y en ambos extremos de la línea, figura 3, y las corrientes de falla.
- Reproducir el modelo de cálculo del relé, incluyendo el filtrado de las corrientes y tensiones de fase con un filtro pasa bajo con frecuencia de corte de 250 Hz, el cálculo de los fasores de corriente y tensión y el cálculo de las impedancias a tierra y entre fases vistas por los relés de distancia ubicados en ambos extremos de la línea.
- Graficar (junto con la impedancia de la línea) la trayectoria de las impedancias, analizar la trayectoria de las impedancias vistas por cada relé y extraer conclusiones sobre la correcta actuación de las protecciones de distancia de la línea. Se observa en la figura 4 que el relé del nodo A ve correctamente la falla bifásica (R y S) a tierra en el extremo B.
- Los fasores se obtienen al aplicar la transformada de discreta de Fourier a las señales filtradas muestreadas con periodo de 0.001 s. La transformada de Fourier es aplicada en una ventana móvil de un ciclo (20ms) con 20 muestras de la señal. Para este cálculo los estudiantes deben programar una función que incluye un bucle, manejo de arreglos, interpolación, cálculo de la transformada de Fourier y extracción del fasor a partir del espectro calculado, figura 5.

El sistema de la Fig. 1 permite a los estudiantes acceder a la modelación de componentes fundamentales de los sistemas de transmisión estudiados en las asignaturas “Análisis de circuitos eléctricos” y “Transmisión y distribución de la energía eléctrica”, abarcando desde transformadores, líneas aéreas, barras, fuentes de tensión y compensadores, hasta un modelo de carga equivalente.

Con la simulación del funcionamiento del sistema sin fallas el estudiante logra visualizar, a partir de las mediciones de corriente y tensión en las tres fases, la relación entre valor máximo, magnitudes de fase y magnitudes de línea, además de programar el cálculo a partir de las ondas senoidales del valor eficaz y de la transferencia de potencia. Integrando contenidos de análisis de circuitos en corriente alterna AC y de medidas eléctricas.

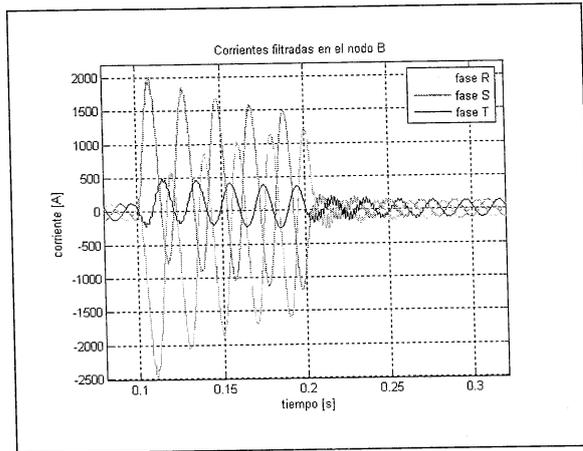


Figura 3. Corrientes ante un cortocircuito bifásico a tierra en el nodo B.

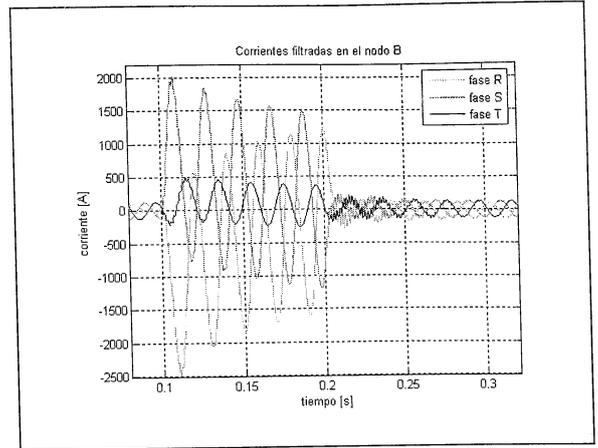


Figura 4. Impedancias a tierra vistas por relé en extremo A, falla bifásica a tierra en B.

```

%Corrientes en Nodo A muestreo con paso=0.001 s
% datos IF2: señal de corriente filtrada obtenida de simulación con el modelo paso variable
t=0:0.001:0.1999;           %Tiempo de señal muestreada
ir=spline(tout,IF2(:,1),t); %generación de señal muestreada con paso de 1 ms a partir de medición
% Fasores de corriente fase R
fm=1/0.001;                 %Frecuencia de Muestreo
for j=1:(length(ir)-19);    % generación de ventana móvil de un ciclo
    datos_r=ir(j:j+19);     % ventana de 20 datos
    aux_r=fft(datos_r,20);  % calculo de transformada rápida de Fourier
    fasor_ir(j)=(aux_r(2)/(fm/100)); % fasor construido con la fundamental
end
    
```

Figura 5. Programa de cálculo de los fasores de la corriente de la fase R.

Mientras que con la simulación de fallas el estudiante accede a una mayor comprensión del comportamiento transitorio de los circuitos trifásicos ante los principales tipos de fallas. Por otro lado avanzar en el cálculo, visualización y análisis de las impedancias de falla vistas en ambos extremos de la línea permite abordar el tema de protecciones en forma muy didáctica, quedando totalmente claros la operación y ajuste de los relés de distancia.

En el cálculo de las impedancias de falla los estudiantes manejan las magnitudes eléctricas de corrientes y tensiones de fase expresadas en forma fasorial. Estos fasores representan la onda de frecuencia fundamental obtenida a partir de la aplicación de la transformada de Fourier. Tanto la representación fasorial como el concepto de series y transformada de Fourier han sido estudiados en la asignatura "Variable compleja". Por otro lado en el procesamiento de las señales previo a la aplicación de la transformada es

necesario aplicar los conceptos de respuesta en frecuencia y de filtros pasa-bajo abordados en las asignaturas "Teoría de Control" y "Principios de electrónica y comunicaciones".

Finalmente para la programación de la función de cálculo de los fasores y de las impedancias complejas de falla el estudiante debe recurrir a habilidades de programación de algoritmos matemáticos adquiridas en la asignatura "Informática".

La gran variedad tanto de temáticas abordadas como de herramientas utilizadas en la resolución del problema propuesto muestra que se logra la integración, articulación y aplicación de contenidos de numerosas asignaturas en condiciones de falla durante las cuales el sistema eléctrico debe ser protegido.

Análisis de armónicos en la red

A partir de la experiencia obtenida en acciones

de transferencia para el estudio de armónicos en la red (SERRANO MORA, BARÓN y ZINI, 2005) y en la ejecución de mediciones en diferentes tipos de instalaciones de baja, media y alta tensión, se definió un problema de ingeniería para estudiar la calidad del producto técnico (SERRANO MORA, BARÓN y GALDEANO, 2009) en el sistema eléctrico sencillo propuesto por (ZAMORA BELVER y coautores, 2005) e integrado por una fuente de suministro trifásica y una carga no lineal representada por un rectificador de 6 pulsos implementado con diodos, tal como se muestra en la figura 6.

Los objetivos del problema consisten en simular las perturbaciones introducidas en la red por el puente rectificador, calcular, graficar y analizar el comportamiento dinámico de las señales de tensión y corriente tanto del lado de la carga como del lado de la red. En particular se evalúan la distorsión armónica individual y total de la forma de onda de la corriente consumida por el rectificador y de la tensión de suministro a la entrada del puente ante diferentes tipos de carga (resistiva pura, resistiva - inductiva, altamente inductiva). Adicionalmente se examina otra perturbación en el lado de la red tal como las muescas de tensión o "notches" generados por la conmutación de los semiconductores en el proceso de rectificación.

Se les pide a los estudiantes:

- Modelar el sistema eléctrico utilizando bloques SimPowerSystem, figura 7.
- Simular la operación del puente rectificador con diferentes tipos de carga. Para ello se conforman 3 grupos de trabajo y cada uno de ellos modela una carga diferente: carga resistiva pura, carga altamente inductiva y carga resistiva - inductiva.
- Analizar y visualizar el comportamiento dinámico de tensión y corrientes del lado de la carga y del lado de la red, figura 8. En relación con la corriente de entrada se puede observar la forma de onda y el espectro frecuencial con los armónicos característicos correspondientes a la operación normal de un puente rectificador de 6 pulsos.
- Calcular y graficar las amplitudes del espectro armónico de tensión y corriente en la red, figura 9.
- Calcular la distorsión armónica de la tensión a la entrada del puente y la corriente absorbida de la red. Analizar el espectro armónico obtenido.
- Analizar el efecto del tipo de carga en el es-

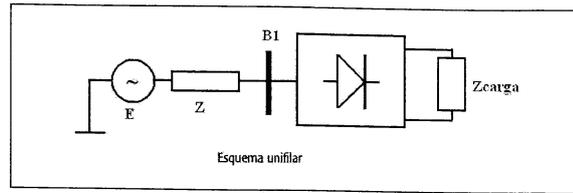


Figura 6. Esquema unifilar del circuito de potencia. (ZAMORA BELVER y coautores, 2005).

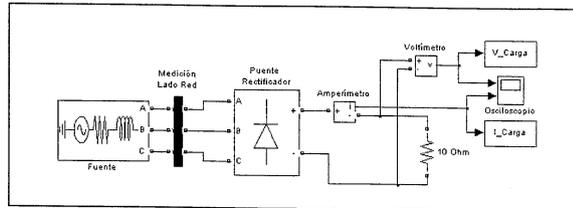


Figura 7. Modelo utilizado en la simulación con carga resistiva pura.

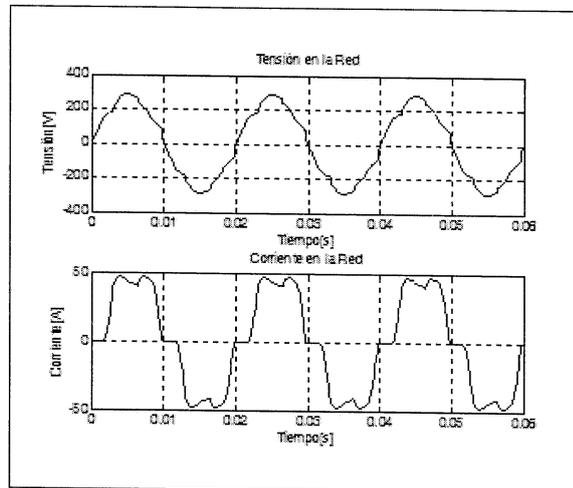


Figura 8. Tensión y Corriente en Lado Red.

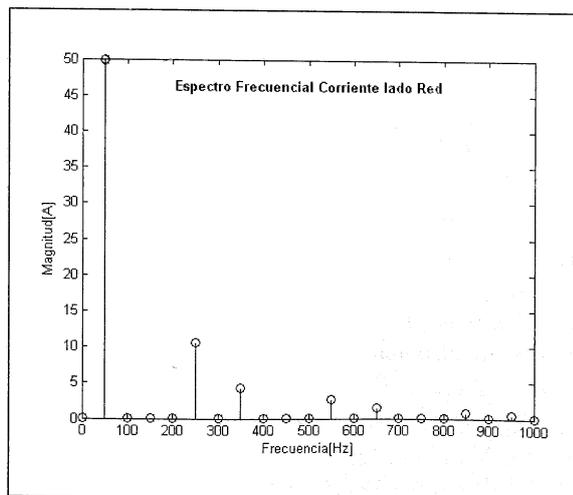


Figura 9. Espectro frecuencial de Corriente Lado Red.

pectro y distorsión armónica integrando los resultados y conclusiones de los 3 grupos de trabajo.

Como tarea adicional, se entrega a los alumnos los archivos correspondientes a datos de magnitud y fase de componentes armónicas de las señales de tensión y corriente obtenidas a la entrada de un Convertidor que acciona un motor de CC en una instalación industrial (SERRANO MORA, BARÓN y ZINI, 2005). A partir de estos datos se solicita la reconstrucción de la forma de onda empleando conceptos de Serie de Fourier, figura 10.

Finalmente y en forma complementaria se desarrolla una clase práctica en la cual se instala el mismo tipo de equipo de medición de perturbaciones empleado en (SERRANO MORA, BARÓN y ZINI, 2005), se explican sus prestaciones, características de hardware - software y su funcionamiento. Se ejecuta una medición de prueba en el laboratorio, se visualizan los datos y parámetros registrados relacionados con armónicos y se comparan con los límites de compatibilidad señalados en la normativa para los sistemas de distribución (GUIDI, SERRANO MORA, BARÓN, 2007) (SERRANO MORA, ZINI, PEREZ, VIDAL, 2005). En la figura 11 se muestra el equipo utilizado y un panorama del aspecto real del cableado y conexión en una instalación industrial.

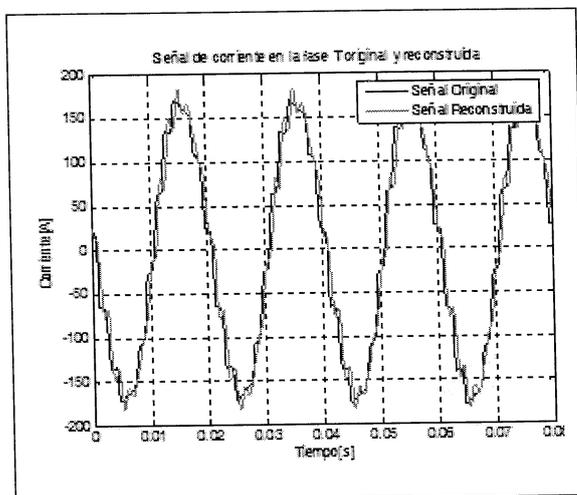


Figura 10. Corriente original y reconstruida.

El equipo utilizado es de tipo portátil y permite efectuar mediciones de tensión y corriente en una red de suministro eléctrico y calcular diferentes parámetros de interés en el monitoreo y evaluación de

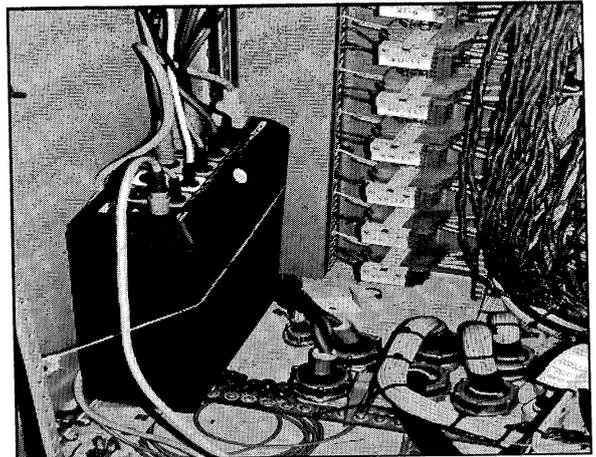


Figura 11. Equipo medidor en instalación.

la calidad de suministro de una red. Las ondas adquiridas y digitalizadas permiten calcular en forma simultánea diferentes parámetros tales como Tensión y Corriente eficaz; Potencia Activa, Reactiva y Apparente; Contenido Armónico, Índice de efecto Flicker, captura de perturbaciones tales como bajadas y subidas de tensión, interrupción o microcortes del servicio, etc.). Todos estos parámetros son almacenados en una memoria especialmente dedicada a este fin y visualizados en tiempo real. Posee una estructura de software modular que permite configurarlo de acuerdo a la necesidad de medición. El equipo se programa y parametriza desde un computador PC mediante una conexión Ethernet pudiendo monitorear el punto de medición en forma remota.

Conclusiones

La aplicación de esta metodología en la enseñanza de la ingeniería eléctrica ha tenido aceptación por parte de los estudiantes, los que se mostraron motivados para la resolución de problemas de ingeniería directamente relacionados con los sistemas de potencia. Con su aplicación se logra la integración de contenidos de distintas asignaturas de las tecnologías básicas y aplicadas, lo que contribuye a la formación de un profesional con una visión más amplia, sobre las posibilidades de aplicación de los conceptos y técnicas que estudia y aprende.

La temática que aborda el problema de análisis de impedancias de falla, incluye desde el: cálculo de magnitudes eléctricas a partir de la medición de corrientes y tensiones trifásicas, la modelación de un sistema de transmisión y la respuesta ante fallas, hasta el manejo y procesamiento de señales con filtros analógicos y con la transformada de Fourier, para finalmente realizar un programa de cálculo y visualización de impedancias.

En relación con la calidad del suministro eléctrico las actividades implementadas permiten integrar el conocimiento práctico de un equipo medidor de calidad de suministro similar a los empleados en las empresas de distribución de energía para evaluar la calidad del producto eléctrico, el cálculo y el análisis de los parámetros para valorar la forma de onda en un punto de suministro, incluyendo y ampliando los conocimientos adquiridos en la asignatura Electrónica de Potencia.

Para evaluar el nivel de aceptación de esta metodología de enseñanza por parte de los estudiantes, se realiza al finalizar cada curso una encuesta de opinión sobre los problemas abordados. Los estudiantes manifestaron que con esta metodología los docentes lograban mostrar la aplicación real de temas estudiados, además de integrar y relacionar contenidos de distintas asignaturas. Un resultado alentador es el interés puesto de manifiesto por dos estudiantes de realizar sus tesis de grado en temáticas relacionadas con las abordadas en los problemas.

Lamentablemente la cantidad de alumnos y el tiempo de aplicación de esta metodología no han permitido obtener resultados cuantitativos que, a través de parámetros estadísticos, midan la eficacia de la experiencia didáctica presentada en este trabajo. Sin embargo los resultados de las encuestas, el buen nivel observado en la resolución de problemas, y la apreciación de los docentes de un mayor interés y una comprensión más clara de los contenidos por parte de los alumnos, muestran que se logra mejorar la formación de los estudiantes.

La cantidad media de alumnos de la asignatura, del orden de 6 alumnos, distribuidos en grupos de dos, hace posible que los docentes asesoren y supervisen sin dificultad las actividades de simulación y análisis en la carga horaria asignada. Su implementación en universidades con mayor cantidad de alumnos puede verse complicada al requerir más dedicación de los docentes para atender una mayor cantidad de grupos.

Es importante destacar que no se tiene conocimiento de que la temática elegida para los problemas propuestos haya sido antes abordada como problema de ingeniería o actividad práctica de simulación y cálculo para la enseñanza del funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia en las carreras de ingeniería eléctrica.

Referencias Bibliográficas

ATTIA, John O. (1999). *Electronic and Circuit Analysis using Matlab*. CRC Press. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.

CHEE-MUN ONG (1998). *Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simulink*. Prentice Hall, New Jersey.

COLOMÉ, Delia G. y SERRANO MORA, Juan M. (2010). *Introducción a Matlab, Simulink y SimPowerSystem*. Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan. San Juan.

EL-HAWARY, Mohamed E. (1995). *Electrical Power Systems. Design and Analysis*. IEEE Press Power Systems Engineering Series. New York.

GRAINGER, John J. y STEVENSON, William D. (1996). *Análisis de Sistemas de Potencia*. Mc Graw Hill. México.

GUIDI, Guillermo; SERRANO MORA, Juan M.; BARÓN, Gustavo (2007). *Statistical Analysis of Measurements to Define the Minimum Features of Harmonics Recording Equipments in Distribution Systems*. IX Brazilian Power Electronic Conference - COBEP 2007 – Blumenau, SC – Brazil – ISBN: 978-85-99195-02-4.

KUNDUR, Prabha (1994). *Power System Stability and Control*. EPRI, Mc Graw Hill. New York.

MATHWORKS (2005). *Using MATLAB, SIMULINK and SimPowerSystems. User's Guide*.

MOHAN Ned, UNDELAND Tore M., ROBBINS William P. (1995): *POWER ELECTRONICS. Converters, Applications and Design*. Second Edition. Editorial Wiley & Sons, Inc.

ORDUÑA, Eduardo; COLOMÉ, Delia G.; GUIDI, Guillermo; RATTÁ, Giuseppe; TORRES, Mateo y SALINAS, Juan (2011). *Study of the Protection System of Series Compensated Transmission Lines. Experience with a Real Transmission System*. XIV ERIAC Seminario de Región Iberoamericana de la Cigré, Paraguay.

RASHID Muhammad H. (1993): *POWER ELECTRONICS. Circuits, Devices and Applications*. Second Edition. Editorial Prentice Hall.

SERRANO MORA, Juan M.; BARÓN, Gustavo y ZINI, Humberto (2005). *Estudio de Armónicos en Complejo Minero La Alumbraera, Catamarca*. Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan. San Juan.

SERRANO MORA, Juan M.; ZINI, Humberto; PEREZ, Héctor y VIDAL Pedro (2005). *Relaciones y diagnóstico de los niveles de perturbaciones armónicas en un Sistema de Dis-*

tribución. XI ERLAC - Encuentro Regional Iberoamericano de la CIGRE". Paraguay.

SERRANO MORA, Juan M.; BARÓN, Gustavo y GALDEANO, Carlos (2009). Curso de perfeccionamiento "Calidad de Suministro Eléctrico". Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan. San Juan.

WILDI Theodore (1997): Electrical Machines, Drives, and Power Systems. Third Edition. Editorial Prentice Hall.

ZAMORA BELVER, María I. y coautores (2005). Simulación de sistemas eléctricos. Pearson PrenticeHall, España.

