

PRÁCTICAS DE SIMULACIÓN DE FLUJOS DE CARGA Y ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO EN SISTEMAS DE POTENCIA

RESUMEN

Este documento considera aspectos esenciales en el diseño e implementación de prácticas de simulación de sistemas de potencia, que complementan la comprensión de los fundamentos teóricos, para el estudio de flujos de carga y análisis de corto circuito, realizadas con los programas ETAP PowerStation 3.02 y PowerWorld Simulator 7.0, con el objeto de dar soporte computacional al curso de Sistemas de Potencia II del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Se presentan también las características principales de los programas de simulación de uso comercial empleados y se identifican algunas de sus potencialidades y limitaciones.

PALABRAS CLAVES: Prácticas de Simulación, Sistemas de Potencia, ETAP PowerStation, PowerWorld Simulator, Flujos de Carga, Análisis de Corto Circuito.

ABSTRACT

This paper take into account the essential aspects for designing and implementing guides for computer simulation of electrical power systems to give a support to the subject of Power Systems II in the program of Electrical Engineering at Universidad Nacional de Colombia in Manizales, related to the study of load flow and short circuit analysis. The document also presents the main characteristics, potentialities and limitations of the ETAP PowerStation 3.02 and PowerWorld Simulator 7.0 programs.

KEYWORDS: *Simulation practices, Power Systems, ETAP PowerStation, PowerWorld Simulator, Load Flow Analysis, Short Circuit Analysis.*

1. INTRODUCCIÓN

El uso extendido de los computadores, acompañado del creciente número de herramientas de software empleadas en el medio industrial para ayudar a la solución de problemas de ingeniería, ha impuesto desde las últimas décadas el reto de concebir, apropiar y/o aplicar estas herramientas para el uso educativo, familiarizando al futuro profesional con los medios usuales de solución de problemas en el ejercicio profesional [9], [10].

La anterior consideración puso de manifiesto la necesidad de introducir de una manera sistemática y ordenada a los estudiantes del curso de Sistemas de Potencia II, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, por medio de guías de prácticas de simulación en el estudio de problemas de flujo de carga y corto circuito a través del uso de las herramientas computacionales comerciales disponibles.

Estimulados por algunos ejemplos encontrados en la web [4], [5], [2], [12], las guías de prácticas propuestas han sido pensadas de forma tal que introduzcan gradualmente los componentes de un sistema de potencia, haciendo a cada uno de estos, objeto de un análisis de sensibilidad bajo la premisa “que pasa si” y en consideración de las posibilidades de manejo y análisis disponibles para cada elemento en los dos programas empleados.

Fecha de Recibo: 15 Agosto de 2003

Fecha de Aceptación: 3 Octubre de 2003

OSCAR E. DÍAZ

Ingeniero Electricista
Estudiante de Maestría en Ingeniería Eléctrica
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales
oedv_pil@hotmail.com

FRANCISCO ROLDÁN HOYOS

Ingeniero Electricista, D. E. A Génie Électrique
Profesor Asistente
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales
frolan@manizales.unal.edu.co

2. FORMULACIÓN DE GUÍAS DE SIMULACIÓN

A continuación se presenta una metodología sugerida y adoptada en este trabajo para la enseñanza del uso de una herramienta de simulación, que consta de 5 etapas y donde cada una de ellas persigue unos objetivos relacionados con el simulador como tal y también con los modelos de los sistemas a emplear. Las etapas propuestas son [1]:

- **Introducción:** en esta etapa se debe alcanzar un conocimiento general de la herramienta de simulación y además se debe contar con un dominio de la teoría fundamental necesaria.
- **Creación del modelo de simulación:** con esta etapa se pretende estudiar y comprender el modelo a simular así como aprender la forma de ingresar los datos al simulador.
- **Características del ambiente de trabajo:** etapa donde se estudian las opciones de configuración del simulador así como los efectos de las mismas sobre el modelo.
- **Especificación de las entradas y salidas:** en esta etapa se busca estudiar la forma de obtener e

interpretar los resultados del simulador respecto al modelo de estudio.

- Información avanzada: en esta última etapa se pretende explorar opciones avanzadas disponibles en la herramienta de simulación así como usar ejemplos donde se apliquen dichas opciones.

Las guías propuestas para la simulación de flujos de carga y análisis de corto circuito desarrolladas en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales consideran los objetivos planteados en la metodología anterior. Además en cada guía de simulación se proponen estudios de sensibilidad sobre los principales elementos del sistema, tales como: variación de la potencia de las cargas, variación del tipo de carga, modificación de los parámetros de las líneas de transmisión, cambio en el modo de control de transformadores y elementos de compensación, entre otros.

3. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN EMPLEADOS

En el caso particular de las guías desarrolladas para la asignatura de Sistemas de Potencia II, los programas utilizados fueron: ETAP PowerStation y PowerWorld Simulator. A continuación se presentan las características generales de ambos programas.

3.1. ETAP PowerStation 3.02

ETAP PowerStation es un programa computacional completamente gráfico utilizado para analizar transitorios eléctricos en sistemas de potencia. Para su ejecución se requiere de cualquiera de las siguientes plataformas operativas: Windows 95, 98, 2000 o NT, siendo esta última la más recomendada cuando se simulan sistemas de gran tamaño.

Los datos de los elementos pueden manipularse en cualquier manejador de bases de datos que cumpla con el estándar Microsoft ODBC. La estructura de archivos de ETAP PowerStation está constituida por dos tipos de archivo: uno correspondiente a una base de datos que incluye las tablas de datos de todos los elementos y otro que almacena los datos de información del usuario y de control del proyecto. Posee además archivos de librerías que almacenan datos de cables, motores, protecciones, entre otros.

Los tipos de análisis permitidos por este programa son:

Flujos de carga	Corto circuito
Arranque de motores	Análisis armónico
Estabilidad transitoria	Flujo de potencia óptimo
Flujo de carga DC	Corto circuito DC
Dimensionamiento de baterías	
Sistemas subterráneos	

La operación del programa se basa en dos modos: un modo de edición donde se construye el diagrama unifilar y se ingresan las propiedades de los elementos y un modo de estudio donde se dispone de todos los tipos de análisis permitidos por el programa.

3.2. PowerWorld Simulator 7.0

PowerWorld Simulator es un paquete de simulación de sistemas de potencia que posee una interfaz gráfica e interactiva con el usuario. Acepta las mismas plataformas operativas del ETAP PowerStation. Las principales características del programa son [11]:

- Simulación en el tiempo: permite que la solución de los flujos de carga se realice continuamente a medida que transcurre un período de tiempo determinado. Lo anterior permite que al realizar cambios en la generación, carga o intercambio en MW de un sistema de potencia, los resultados sean visualizados inmediatamente sobre el diagrama unifilar.
- Objetos y registros: cada elemento del sistema tiene asociado un registro de datos y un objeto que lo representa en el diagrama unifilar. El programa distingue claramente entre ambos, de manera que es posible borrar el objeto representativo de una línea u otro elemento sin borrar el registro de datos del mismo. Es de notarse que si el registro existe, el elemento se seguirá teniendo en cuenta en la simulación de flujos de carga.
- Gráficos y variación de carga: la generación y la carga pueden visualizarse por medio de gráficos que son realizados a medida que se efectúa una simulación en el tiempo; así mismo pueden definirse curvas de variación de la carga para un área o zona específica.

PowerWorld Simulator trabaja fundamentalmente con dos tipos de archivos: el archivo *.PWB (Power World Binary) que almacena los datos del caso de simulación y el archivo *.PWD (Power World Display) que almacena el diagrama unifilar con los objetos representativos de los elementos. Adicionalmente se pueden abrir y grabar archivos que posean información de un sistema de potencia en otros formatos, como son: PTI Raw Data Format, GE PSLF Format e IEEE Common Format.

Los análisis que se pueden realizar con este programa son:

Flujos de carga	Análisis de contingencias
Análisis de fallos	Estabilidad (PVQV)
Flujo de potencia óptimo	Análisis de ATC
Despacho económico	Operaciones de intercambio

4. GUÍAS DE SIMULACIÓN DE FLUJOS DE CARGA Y ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO

La Tabla 1 muestra los temas principales de las guías propuestas de manera independiente para los dos programas utilizados. El conjunto de guías de simulación puede descargarse desde la siguiente dirección web: http://www.geocities.com/oedv_pil/trabajodegrado.pdf

PRÁCTICAS DE FLUJOS DE CARGA	
PRÁCTICA No. 1	Tutorial para la simulación de un sistema simple generador-línea-carga.
PRÁCTICA No. 2	Simulación de flujos de potencia para diferentes tipos de carga en un sistema con transformadores de tap fijo.
PRÁCTICA No. 3	Flujos de carga en sistemas con transformadores LTC y de desfaseamiento.
PRÁCTICA No. 4	Barras de voltaje controlado. Regulación remota.
PRÁCTICA No. 5	Elementos de compensación paralela. Elementos de compensación en líneas de transmisión.
PRÁCTICA No. 6	Caso de prueba de 14 barras del IEEE. Caso de prueba de 9 barras del IEEE.
PRÁCTICA No. 7	Simulación de operaciones de intercambio de potencia entre áreas.
PRÁCTICAS DE ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO	
PRÁCTICA No. 1	Tutorial de análisis de fallos en un sistema simple generador-línea-carga.
PRÁCTICA No. 2	Influencia de las conexiones de transformadores y cargas en el análisis de fallos.
PRÁCTICA No. 3	Influencia de los generadores en el análisis de fallos. Cálculo de las corrientes de corto circuito considerando una impedancia de fallo. Fallos en líneas de transmisión.
PRÁCTICA No. 4	Influencia de los motores síncronos en el análisis de fallos.

Tabla 1. Prácticas de simulación de flujos de carga y análisis de corto circuito.

La Figura 1 presenta el diagrama unifilar de la práctica No. 5 de flujos de carga correspondiente al conjunto de guías de simulación con el programa PowerWorld Simulator (este sistema fue extraído de [7]).

Cada guía se encuentra dividida en 5 partes:

Objetivos
Prelaboratorio
Descripción del sistema
Procedimiento
Informe

Con el objeto de ambientar el tema de las prácticas, se solicita preparar el prelaboratorio, parte común a gran cantidad de experiencias en ingeniería [12]. Previamente al inicio de la práctica, el estudiante debe conocer lo que será el objeto de estudio, presentándose una breve descripción del sistema tanto en su topología como en los datos de sus elementos.

Luego de iniciar la práctica y a lo largo del procedimiento se formulan algunos interrogantes que sirven de ayuda para el análisis de la simulación. Así mismo, al finalizar la práctica, se proponen preguntas encaminadas a que el estudiante obtenga sus propias conclusiones.

5. OBSERVACIONES A LAS SIMULACIONES EFECTUADAS

ETAP PowerStation 3.02:

- La conexión de las cargas estáticas puede ser configurada en el programa, pero dicha conexión no se tiene en cuenta durante el análisis de corto circuito, es decir, estas cargas no son tenidas en cuenta para el cálculo de las corrientes de fallo.
- Para el análisis de los elementos de compensación paralela, sólo se cuenta con capacitores que pueden configurarse para compensación de barras. No se dispone de la opción para insertar elementos de compensación paralela de líneas de transmisión, como es el caso de los reactores.
- Los reactores sólo se utilizan como elementos limitadores de corriente conectados entre dos barras del sistema.
- El programa no acepta valores de resistencia de valor cero para los transformadores, ya que estos elementos reciben los datos de Z en porcentaje y de la relación X/R.
- Para el análisis de corto circuito se aplican las normas ANSI/IEEE e IEC.

PowerWorld Simulator 7.0:

- Para incluir el tipo de conexión a tierra de los generadores y las cargas no se dispone de una opción que permita definir dicha conexión (Y, Δ o Y aterrizada). Deben manipularse los valores de

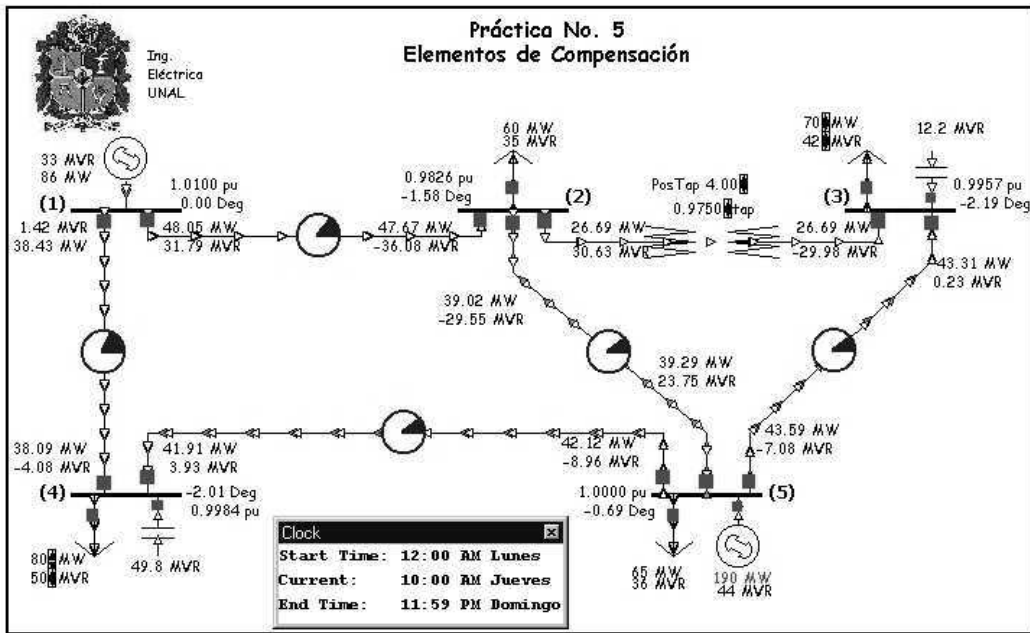


Figura 1. Diagrama unifilar en PowerWorld Simulator de la práctica No. 5 para la simulación de flujos de carga.

impedancias de puesta a tierra para los generadores y de admitancia paralelo en las barras, para el caso de las cargas.

- Se debe tener en cuenta si la carga modelada es a potencia constante, a corriente constante o a impedancia constante (relación con el voltaje).
- Las cargas son tenidas en cuenta al realizar el análisis de fallos. Los parámetros tenidos en cuenta por el programa son los valores de admitancia paralelo ingresados en los registros de las barras.
- No se aplican normas internacionales para el análisis de fallos. Dependiendo de las corrientes que quieran calcularse (subtransitorias o transitorias) deberán utilizarse las reactancias adecuadas para los generadores.

6. CONCLUSIONES

Para la realización de un conjunto de prácticas de simulación se requiere de un completo entendimiento del soporte teórico de los temas a tratar, constituyéndose esto en la base para la formulación de las mismas, así como para el usuario, en el fundamento de una correcta interpretación y análisis de resultados.

La estrategia de aprendizaje basada en la simulación por computador y soportada por sólidos conceptos teóricos, es una forma de aumentar la capacidad de entendimiento de los estudiantes.

El uso didáctico de las guías de simulación de sistemas de potencia se ve limitado por aspectos como la cantidad de información que los programas pueden manejar, la capacidad de simulación y el acceso a dichos programas por parte de los estudiantes, siendo esta última la limitación más grande.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANTAO B. A., BRODERSEN A. J., BOURNE J.R., CANTWELL J.R., "Building intelligent tutorial systems for teaching simulation in engineering education", IEEE Transactions on Education, vol 35, No. 1, Febrero 1992.
- [2] CAÑIZARES C., "Computer Simulation of Power Systems – Power Flow - Faults", E&CE 465, Selected Papers On-line, marzo 1999. <http://www.power.uwaterloo.ca/~claudio/courses/ec465/>
- [3] DÍAZ O. E., RODRÍGUEZ J. A., Prácticas computacionales sobre flujos de carga y análisis de corto circuito en sistemas eléctricos de potencia utilizando los programas ETAP PowerStation 3.02 y PowerWorld Simulator 7.0, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2001.
- [4] DOULAI P., "Computer assisted teaching/learning method for power systems education", Conferencia presentada en IPEC'95 (Singapore), versión postscript en: <http://www.uow.edu.au/pwrsysed/papers/ipec95a.ps>.

- [5] DOULAI P., "Power Systems Simulation Laboratory", Computer Simulation Tasks, 1993/1994.
http://www.uow.edu.au/pwrsysed/proj_gif/
- [6] ETAP POWER STATION, User Guide Release 3.01.
- [7] GRAINGER J. J., STEVENSON W. D., Análisis de Sistemas de Potencia, McGraw-Hill, México, 1996.
- [8] HATZIARGYRIOU N. D., "The educational role of personal computers in power system laboratories", IEEE Transactions on Education, vol. 32, No. 2, Mayo 1989.
- [9] IEEE, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis Std 399-1990.
- [10] IEEE PES, PEEC. "Electrical Engineering Curricula Content in the 21st Century", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, No. 3, Agosto 1994.
- [11] POWERWORLD CORPORATION. PowerWorld Simulator Version 7.0 User's Guide.
- [12] XU W., Curso EE525, Power System Design and Simulation Lab Manual, Universidad de Alberta, <http://www.ee.ualberta.ca/~wxu/teach/lab.zip>