

# Análisis de Sistemas de Potencia empleando DIgSILENT PowerFactory

## Flujo Óptimo de Potencia y Análisis de Contingencias

Santiago de Chile-Chile

24-25 Octubre 2013

### 1. Introducción

La complejidad de los sistemas de potencia ha crecido significativamente en los últimos tiempos, especialmente debido a la integración de energía renovable. En tal sentido, el análisis de los grandes sistemas de potencia modernos se ha transformado en un problema de complejidad creciente. Sin embargo, el acelerado desarrollo tecnológico ha permitido en tiempo reciente el desarrollo de programas de computación altamente eficientes para acometer los estudios de análisis de grandes sistemas de potencia. DIgSILENT PowerFactory,

DIgSILENT PowerFactory es una muy poderosa herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) en el análisis de sistemas eléctricos de potencia. Este programa permite al análisis de sistemas eléctricos de diversas aplicaciones: generación, transmisión, distribución e industrial. Este programa posee una característica de integración de funciones de cálculo y base de datos, que agiliza los cálculos, y combina capacidad de modelado flexible y altamente confiable con algoritmos de solución altamente eficientes.

Uno de los más comunes procedimientos computacionales usados en el análisis de sistemas de potencia es el cálculo del flujo de potencia o flujo de cargas. La planificación, diseño y operación de los sistemas de potencia requieren de tales cálculos para analizar el desempeño en régimen estacionario (*steady-state*) del sistema de potencia bajo variadas condiciones de operación y estudiar los efectos del cambio en configuraciones y equipos.

Este seminario ha sido diseñado para presentar una muy completa introducción al análisis de sistemas de potencia en condiciones de operación de estado estacionario, empleando la función de cálculo de flujo de potencia óptimo (*optimal load flow*) y análisis de contingencias (*contingency analysis*) dentro del PowerFactory.

## 2. Descripción

Este curso teórico-práctico está enfocado al análisis de contingencias y del flujo óptimo de potencia en DIgSILENT PowerFactory. La primera parte del curso se enfoca en el análisis de fallas (n-1), (n-2), etc., la evaluación de los resultados y el análisis de la efectividad para la determinación de posibles medidas correctivas. La segunda parte se enfoca en el flujo óptimo de potencia y presenta las diferentes opciones de restricción, funciones objeto a minimizar, inicialización y evaluación de los resultados.

Los estudios de flujo de potencia, es una herramienta muy importante de planificación, en forma muy simple, este determina el estado del sistema en condiciones de régimen estacionario. Sin embargo, en los sistemas de potencia reales, la solución del flujo de potencia en ocasiones requiere considerar una serie de restricciones para cumplir con una función objetivo, dando origen al denominado flujo de potencia óptimo (*optimal power flow OPF*).

El OPF nace con el problema del despacho económico. Este problema empezó a ser discutido a partir de 1920, o quizá un poco antes, cuando se debió repartir la carga total del sistema entre el número de unidades de generación disponibles. Hoy por hoy, el problema de OPF es más complejo que nunca pues requiere de una gran cantidad de restricciones y posibles objetivos sumamente complicados. Algunas restricciones aplicadas pueden ser: (a) técnicas (por ejemplo pérdidas, límites de potencia reactiva, límites de potencia activa, etc.) (b) económicas (por ejemplo costo de generación, costo de combustible, etc.) o incluso (c) ambientales (emisiones de CO<sub>2</sub>).

DIgSILENT PowerFactory incluye una función de cálculo de flujo de potencia óptimo (ComOpf), que es sumamente falible tanto en métodos de análisis como en restricciones. Este incluye tres métodos de optimización: *Punto interior*, *Programación lineal* (LP) y programación lineal considerando restricciones de contingencia. De igual modo, permite considerar el control sobre una gran cantidad de dispositivos como despacho de generadores (potencia activa y reactiva), posición del cambiador de tomas, etc. DIgSILENT PowerFactory es versátil en cuanto al tipo de restricciones a considerar e incluye límite de flujo de potencia en ramas por ejemplo, que puede ser usado para limitar intercambios entre área.

Algunos de los aspectos a considerar incluyen:

- Introducción al problema de flujo de potencia óptimo
- Solución del flujo de potencia óptimo.
- Análisis de sensibilidad lineal.
- Métodos de programación lineal
- Flujo óptimo de potencia considerando restricciones de seguridad.
- Algoritmo de punto interior
- Costos incrementales de barra
- Función de Cálculo de Flujo Óptimo de Potencia (ComOpf)
- Configuración de la función de cálculo para flujo óptimo.
- Optimización AC (método del punto interior) y DC (programación lineal)
- Variables de control y restricciones.
- Funciones objeto: minimización de costos, de pérdidas, de rechazo de carga
- Análisis de resultados. Precio marginal (marginal price) y sombra (shadow price)
- Configuración de la función de cálculo para Flujo Óptimo de Potencia con Restricción por Contingencia
- Optimización DC (programación lineal) con restricción por contingencias

- Consideración de acciones post-falla en la optimización

Por otra parte, uno de los estudios más importante de la seguridad de sistemas es el *análisis de contingencias*. De este estudio puede hacer parte el sistema de generación y transmisión y eventualmente el sistema de distribución. Un sistema de potencia debe tener la habilidad de continuar operando bajo condiciones de falla. Esto sin embargo es difícil de lograr por los costos asociados. En lugar de esto, se considera que un sistema debe operar normalmente ante condiciones de *contingencia simple*, esto es, ante la aparición de un evento simple ( $n-1$ ), o lo que es lo mismo, ante la salida de una línea de transmisión o cable, un transformador, un generador o una carga. Después de la salida de un elemento del sistema, este debe regresar a un estado de estabilidad en un nuevo punto de operación, dentro de los límites de voltaje y capacidad de los elementos permitidos.

El DigSILENT PowerFactory es usado muy extensivamente alrededor del mundo para análisis de contingencias por muchas razones, pero entre ellas incluye poderosos algoritmos de solución para el flujo de potencia en condiciones normales y anormales que permiten acometer el análisis de contingencia en muy corto tiempo. PowerFactory permite considerar: (a) *Single Time Phase Contingency Analysis* y (b) *Multiple Time Phase Contingency Analysis*, y en ambos casos permite considerar una evaluación no-probabilística (determinística). Además PowerFactory es muy poderoso en cuanto al tipo de contingencias a analizar, y además permite seleccionar condiciones posteriores a la contingencia como: Load shedding, re despacho de unidades de generación, operaciones de suicheo (apertura o cierre), cambio de tomas, etc.

Algunos de los aspectos a considerar incluyen:

- Introducción a la seguridad de sistemas eléctricos de potencia.
- Estados de operación de los sistemas de potencia.
- Factores que afectan la seguridad de sistemas de potencia.
- Vista general al análisis de seguridad
- Factores de sensibilidad lineal (*linear sensitivity factors*)
- Flujo de potencia AC, métodos, consideraciones.
- Selección de contingencias
- Relajación concéntrica
- Bounding.
- Uso de la función de cálculo de contingencias (ComSimoutage) en PowerFactory.
- Definición de casos ( $n-1$ ), ( $n-2$ ) etc.
- Análisis y presentación de los resultados: Reportes tipo texto, reporte tabulares
- Reproducción de los escenarios de contingencia
- Análisis de efectividad de generadores y QBs

Este seminario teórico-práctico está diseñado para presentar principales opciones avanzadas de la funcionalidad de cálculo de flujo óptimo de potencia y análisis de contingencias en DigSILENT PowerFactory, y que son usadas para las actividades de planificación de sistemas de potencia.

Estos análisis están especialmente orientados a las actividades de planificación y operación de sistemas de potencia (no limitativo), incluyendo los sectores: generación, transmisión, distribución y sistemas industriales.

El enfoque de este seminario es el uso del DigSILENT PowerFactory como una herramienta para la modelación y simulación en análisis de sistemas de potencia.

Este curso tiene un enfoque teórico-práctico (*activity led learning*), por lo que se prevé la realización de ejercicios de aplicación trabajando con el programa, a fin de ayudar a la interpretación de los fenómenos teóricos y al mismo tiempo, comprender los mecanismos prácticos para lograr los resultados (*problem based learning*).



All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form without permission of the author. Copyright © 2013. <http://www.fglongatt.org>

### 3. Objetivo Terminal

Los participantes en éste curso disfrutaran de una experiencia única de aprendizaje sobre la funcionalidad de cálculo de flujo de potencia optimo y analisis de contingencia en DIgSILENT PowerFactory

Los objetivos específicos incluyen:

1. Introducir el problema de flujo de potencia optimo y su solución.
2. Presentar una visión integral de las funciones básicas y avanzadas de la función de cálculo de flujo de potencia óptimo (ComOpf) en DIgSILENT PowerFactory para el análisis de flujo óptimo de potencia en sistemas de potencia.
3. Utilizar eficientemente la función de cálculo flujo de potencia óptimo (ComOpf) en DIgSILENT PowerFactory para el análisis de flujo óptimo de potencia en sistemas de potencia.
4. Presentar una visión integral de las funciones básicas de la función de cálculo de flujo de potencia óptimo (ComOpf) en DIgSILENT PowerFactory para el análisis de flujo óptimo de potencia en sistemas de potencia.
5. Utilizar eficientemente la función de cálculo de contingencias (ComSimoutage) en DIgSILENT PowerFactory para el análisis de contingencias a en sistemas de potencia.
6. Presentar una visión integral de las funciones básicas de la función de cálculo de contingencias (ComSimoutage) en DIgSILENT PowerFactory para el análisis de contingencias a en sistemas de potencia.

### 4. Prerrequisitos

El análisis de los sistemas eléctricos de potencia reales, requiere un buen conocimiento teórico/practico del comportamiento de los diferentes elementos que lo componen y en diferente régimen y condiciones de operación.

Los aspectos de modelación y simulación de sistemas eléctricos de potencia son importantes para comprender y analizar los resultados de simulaciones computarizadas.

En tal sentido, el participante del curso de análisis de sistemas eléctricos de potencia se espera que posea un buen background conceptual y práctico en modelación y simulación de sistemas de potencia.

Es altamente recomendables conocimientos elementales de:

- Flujo de Potencia
- Métodos de optimización.
- Nociones elementales de la actividad de planificación en sistemas eléctricos de potencia.

Por tratarse de un curso a nivel básico **se requiere que el participante disponga de un conocimiento básico de las técnicas básicas usadas en DIgSILENT PowerFactory** (sin embargo, sería altamente beneficioso). Buen manejo del ambiente Windows y aplicaciones como MS Office son requeridas.

## 5. Duración:

Este entrenamiento está diseñado para una duración total de dos (02) días, con un estimado de 8 horas de trabajo por día (Total 16 horas).

## 6. Ubicación:

Universidad de Santiago de Chile, DIE-Usach, Av. Ecuador 3519, Estación Central,  
Santiago de Chile, Chile.

## 7. Audiencia:

- Estudiantes de post-grado
- Ingenieros encargados de planificación y operación de sistemas de potencia
- Personal operador de red
- Consultoras relacionadas con análisis de sistemas de potencia.

## 8. Datos del Facilitador

Francisco M. Gonzalez-Longatt, PhD, SMIEEE, MIET, MCIGRE  
Senior Lecturer in Electrical Engineering  
Coventry University  
Faculty of Engineering and Computing  
Department of Aerospace, Electrical and Electronic Engineering  
Engineering and Computing Building, EC3-32  
Priory Street, Coventry, CV1 5FB  
United Kingdom  
Personal Webpage: <http://www.fglongatt.org>  
Phone: +44 779 5634298  
Email: [fglongatt@fglongatt.org](mailto:fglongatt@fglongatt.org)

Vice-President  
Venezuelan Wind Energy Association  
Webpage: <http://www.aveol.org.ve>

## 9. Biografía del Instructor

Francisco M. Gonzalez-Longatt es actualmente Senior Lecturer in Electrical Engineering en la Facultad de Ingeniería y Computación de la Universidad de Coventry en el Reino Unido, y es Vice-presidente de la Asociación Venezolana de Energía Eólica (AVEOL). Sus calificaciones académicas incluyen un grado en Ingeniería Eléctrica en el área de potencia del Instituto Universitario Politécnico de la Fuerza Armada Nacional, Venezuela (1994), Master of Business Administration (Honors) de la Universidad Bicentennial de Aragua, Venezuela (1999) y Doctor en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (2008). Él fue profesor de pre y post-grado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional Politécnico de la Fuerza Armada Nacional, Venezuela (1995-2009). También él estuvo en School of Electrical and Electronic Engineering, The University of Manchester como Postdoctoral Research Associate (2009-2011). Su principal área de interés es la masiva integración de fuentes de energías renovables dentro en las futuras redes de energía. Mas detalles en: <http://www.fglongatt.org>.

## 10. Costo, consultas e inscripciones

### Costo:

El valor del curso es de 20 UF (veinte unidades de fomento) por persona y se dictará siempre y cuando se inscriban 15 asistentes. **En esta ocasión, el Departamento de Ingeniería Eléctrica no dispondrá de equipos con licencias individuales por el carácter expositivo del curso. No obstante, los asistentes podrán utilizar su propio equipo y software de considerarlo necesario.**

**Para egresados del DIE-UdeSantiago se aplicará un 10% de descuento.**

Dr. Humberto Verdejo  
Mail: [humberto.verdejo@usach.cl](mailto:humberto.verdejo@usach.cl)  
Av. Ecuador N°3519, Estación Central.  
(+56 2) 718 3310

Ing. Cristhian Becker  
Mail: [cristhian.becker@usach.cl](mailto:cristhian.becker@usach.cl)  
Av. Ecuador N°3519, Estación Central.  
(+56 2) 718 3349

Webpage: [www.fglongatt.org.ve](http://www.fglongatt.org.ve), [www.die.usach.cl](http://www.die.usach.cl)

## 11. Sponsors



Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Santiago de Chile  
Santiago de Chile, Chile



Transelec. Red de Estudios de Transmisión  
Santiago de Chile



Power & Energy Society™  
IEEE PES - Chile