

# Análisis de Sistemas de Potencia empleando DIgSILENT PowerFactory

## Análisis en Estado Estacionario

Santiago de Chile-Chile

28-29 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 (*load flow analysis*) dentro del PowerFactory.

## 2. Descripción

Los estudios de flujo de potencia, en forma muy simple, determinan el voltaje, corriente potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia en un sistema. Este es una excelente herramienta para la planificación del sistema. Un gran número de procedimientos de operación, pueden ser analizados, incluyendo condiciones de contingencias tales como la pérdida de un generador, una línea de transmisión, un transformador o una carga. Los estudios de flujo de potencia alertaran al usuario sobre condiciones que puede causar sobrecargas en los equipos, o pobre niveles de voltaje. Los estudios de flujo de potencia pueden ser usados para determinar la localización y tamaño óptimo de capacitores para la mejora del factor de potencia. También este estudio puede ser muy útil en determinar los voltajes del sistema bajo diferentes condiciones de carga. Los resultados de flujo de potencia con el punto de comienzo de muchos otros análisis al sistema de potencia, incluyendo estabilidad.

El DIgSILENT PowerFactory es usado muy extensivamente alrededor del mundo para estudios de flujo de potencia por muchas razones, pero entre ellas incluye poderosos algoritmos de solución que permiten el análisis de sistemas de transmisión, distribución, e industriales en condiciones balanceadas y desbalanceadas.

Este seminario teórico-práctico está diseñado para presentar principales opciones avanzadas de la funcionalidad de cálculo de flujo de potencia en DIgSILENT PowerFactory, y que son usadas para el análisis de flujo de potencia en los 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.

En particular éste seminario está destinado a abordar aspectos medios y avanzados del uso de la funcionalidad de flujo de potencia dentro del DIgSILENT PowerFactory:

- (i) **Representación de elementos de red.** El estudio clásico del flujo de potencia emplea modelos de secuencia positiva para la modelación de los componentes del sistema. DIgSILENT PowerFactory permite el uso de líneas de transmisión y cables DC y AC, incluyendo todas las tecnologías (trifásicos, bifásicos, monofásicos, con y sin conductores de neutro y cables de tierra, para tanto circuitos simples como para múltiples circuitos en paralelo. Todas estas opciones pueden ser manejadas con una selección adecuada de los tipos de elementos (element-type): (i) line element ElmLne, (ii) tower type TypTow y (iii) geometry type TypGeo. Representación de nodos de red: Nodos PQ, Nodos PV, Nodos Slack y Nodos de Equipos (nodos especiales usados para representar equipos tales como HVDC converters, SVSs, etc., con condiciones de control específicos).
- (ii) **Introducción al cálculo de flujo de potencia (load flow analysis).** Inicialmente se presenta la formulación matemática del problema de flujo de potencia en sistemas de potencia clásicos. Se aborda el problema clásico de flujo de potencia en sistemas de potencia trifásicos balanceados y se presentan los principales métodos de solución, indicando sus ventajas y desventajas. Una extensión a métodos de solución de flujo de potencia para redes desbalanceados es presentado. Una discusión sobre la apropiada selección de la representación de red y métodos de solución para el flujo de potencia son presentados.
- (iii) **Uso de la función de cálculo de flujo de potencia en DIgSILENT (ComLdf).** La función de cálculo de flujo de potencia en DIgSILENT (ComLdf) es

- utilizada para analizar el sistema de potencia en régimen estacionario y en condiciones no falladas. Esta funcionalidad, en esencia, permite calcular el flujo de potencia la potencia activa en todas las ramas (*branches*), y la magnitud y ángulo de fase del voltaje en todas las barras.
- (iv) **Opciones de la función de cálculo de flujo de potencia en DigSILENT (ComLdf).** Selección del método de cálculo: (i) Flujo de potencia AC balanceado, (ii) Flujo de potencia AC desbalanceado (*abc*) y (iii) Flujo de potencia DC. Métodos de solución del flujo de potencia empleando Newton-Raphson: (a) Modelo de Potencias -Clásico y (b) Modelo de corrientes.
  - (v) **Control de Voltaje y Potencia Reactiva:** Una apropiada discusión sobre los métodos de control de voltaje y potencia reactiva en sistemas de potencia. Producción y absorción de potencia reactiva. Métodos de control de voltaje: reactores shunt, capacitores shunt, capacitores series, condensadores sincrónicos. Principios de compensación de sistemas de transmisión. Aplicación de dispositivos de compensación en sistemas de transmisión. Transformadores con cambiadores de tomas. Tecnologías emergentes.
  - (vi) **Control de Potencia Reactiva en DigSILENT PowerFactory.** Ajuste automático de transformador con cambios de tomas, ajuste automático de elementos shunt, límite de potencia reactiva, límites de potencia reactiva considerando factores de escala.
  - (vii) **Modelado de Cargas en Flujo de potencia.** Cargas concentradas y cargas distribuidas. Dependencia de voltaje de las cargas. Modelo polinomial, Modelo exponencial y Modelo ZIP. Consideraciones en el modelado de la dependencia de voltaje en el análisis de flujo de potencia en DigSILENT PowerFactory. Selección de los coeficientes del modelo de dependencia de voltaje.
  - (viii) **Opciones avanzadas en el flujo de potencia.** Conceptos de control de potencia activa y balance de la red. Límites de potencia activa en unidades de generación. Introducción al control de potencia-frecuencia. Respuesta inercial, Respuesta primaria, secundaria y terciaria. Controles asociados a las respuestas: Control de potencia activa según despacho, control secundario, control primario, control de inercia. Significancia del balance de la red, modos de balancear la red en la solución del flujo de potencia.

Algunos aspectos de automatización en cálculos, manejos de base de datos y visualización de resultados serán tratados, pero como elementos no prioritarios en este seminario.

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*).

### 3. Objetivo Terminal

Los participantes en éste curso disfrutaran de una experiencia única de aprendizaje sobre la funcionalidad de cálculo de flujo de potencia en DIGSILENT PowerFactory

Los objetivos específicos del Nivel I son:

1. Introducir el problema de flujo de potencia y su solución.
2. Presentar una visión integral de las funciones básicas y avanzadas de la función de cálculo de flujo de potencia (ComLdf) en DIGSILENT PowerFactory para el análisis de flujo de sistemas de potencia.
3. Utilizar eficientemente la función de cálculo de flujo de potencia (ComLdf) en DIGSILENT PowerFactory para el análisis de flujo de sistemas de potencia.

Algunos aspectos de *Data Management and Handling*, pueden ser tratados en el curso a fin de optimizar el uso de la función de cálculo de flujo de potencia (ComLdf) en DIGSILENT PowerFactory

### 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: Planteamiento del problema de flujo de potencia, ecuación de balance de potencia, métodos de solución (Newton-Raphson, Gauss-Seidel, Desacoplado, Desacoplado Rápido, etc.), interpretación de la solución del flujo de potencia, control de potencia reactiva y voltaje.
- 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 esta 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 30 UF (treinta unidades de fomento) por persona y se dictará siempre y cuando se inscriban 15 asistentes. **Teniendo en cuenta que el Departamento de Ingeniería Eléctrica dispondrá equipos con licencias individuales para ejecutar el curso de manera práctica y expositiva.**

**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 Transmision  
Santiago de Chile



Power & Energy Society™

IEEE PES - Chile