

## Introducción

Este curso ofrece una visión general de los transitorios electromagnéticos en sistemas eléctricos de potencia y de las técnicas existentes en *DlgSILENT* para poder realizar un análisis. Proporcionará además al participante, los antecedentes necesarios para comprender los mecanismos transitorios complejos de los sistemas eléctricos, al tiempo que se detallarán los modelos necesarios para las simulaciones de tipo EMT. El curso introduce las diferentes categorías de fenómenos transitorios, desde transitorios de carácter más lento hasta transitorios que podrían estar causados por rayos o maniobras en los elementos de la red, tal y como se requiere para realizar un estudio de coordinación de aislamiento. Además de la revisión de todos los conceptos teóricos fundamentales, se realizarán muchos ejercicios prácticos para poder ayudar al participante a familiarizarse con la simulación de tipo EMT en *PowerFactory*.

## ¿A quién va dirigido este curso?

Este curso está dirigido a ingenieros de empresas eléctricas, de operación de sistemas eléctricos así como a ingenieros de desarrollo de proyectos, fabricantes, consultores e ingenieros de sistemas eléctricos en general, que estén interesados en el análisis de transitorios electromagnéticos en sistemas eléctricos de potencia.

Para garantizar un mejor aprovechamiento del curso, se recomienda a los participantes que ya estén familiarizados con el entorno de *DlgSILENT PowerFactory*. No es necesario que se disponga de experiencia previa en funciones de simulación en el dominio del tiempo en *PowerFactory* ya que se realizará una introducción en el curso.

## Día 1

### 09:00h Administración del Modelo de Red

Introducción a los conceptos fundamentales de *PowerFactory*. Funcionalidad, uso y terminología. Modelo de red, bibliotecas, casos de estudio. Tipos y elementos. Trabajando con el editor gráfico, el administrador de datos y el administrador del modelo de red.

### 10:30h Pausa café

### 11:00h Ejercicio: Administración del Modelo de Red

Modificación del modelo de red mediante el editor gráfico, administrador de datos y del modelo de red. Introducir datos de acuerdo al concepto original de *PowerFactory* de trabajar por módulos: páginas de elementos para cálculo de flujo de cargas, cortocircuito, simulaciones RMS, EMT, etc. Trabajar con las bibliotecas de proyecto locales y con la biblioteca global. Visualizar los resultados en el diagrama unifilar y en el administrador del modelo de red. Cálculo de flujos de cargas equilibrados y desequilibrados.

### 12:30h Pausa comida

### 13:30h Introducción a las Simulaciones en el Dominio del Tiempo

Cálculo de Condiciones Iniciales en sistemas eléctricos equilibrados y desequilibrados. Definir variables de resultados y eventos de simulación. Visualización de resultados y análisis.

### 14:00h Ejercicio: Uso de simulaciones RMS/EMT en el dominio del tiempo

Simulación de un evento de cortocircuito próximo a terminales de un generador empleando simulaciones en el dominio del tiempo de tipo RMS y EMT. Definir variables de resultados y eventos de simulación. Visualización de resultados y análisis.

### 15:00h Pausa café

## 15:30h Uso avanzado de PowerFactory

Transformada rápida de Fourier (FFT) a partir de resultados de simulación EMT. Archivos de resultados. Plantillas. Modelos DSL comunes y generales.

### 17:00h Fin del primer día

## Día 2

### 09:00h Fundamentos

Fenómenos transitorios en sistemas eléctricos. Clasificación de sobretensiones de acuerdo a la norma IEC60071: sobretensiones transitorias temporales, de frente lento, de frente rápido y de frente muy rápido. Simulaciones RMS frente a simulaciones EMT. El motor de cálculo EMT en *PowerFactory*. Definir eventos de simulación y variables de resultados. Visualizar resultados de simulación. Análisis rápido de Fourier (FFT).

### 10:00h Maniobra de conexión/desconexión de cargas inductivas

Fundamentos. Corriente de energización de un transformador. Características de saturación de la reactancia de magnetización. Flujo residual. Armónicos en las corrientes de energización. Sobretensiones causadas por resonancias causadas por corrientes de energización.

### 10:30h Pausa café

### 11:00h Ejercicio: Energización de un transformador

Energización de un transformador en una red débil. Determinar la corriente máxima de energización. Componente DC decreciente. Caída de tensión durante la maniobra de puesta en tensión del transformador. Análisis típico de cumplimiento de códigos de red. Atenuar corrientes de energización.

### 12:30h Pausa comida

## 13:30h Maniobra de conexión/desconexión de cargas capacitivas

Fundamentos. Corriente de energización y sobretensiones de maniobra durante la conexión de un banco de condensadores. Conexión de un banco de condensadores estando otro conectado (back to back). Atenuar corrientes de energización.

## 15:00h Pausa café

## 15:30h Ejercicio: Maniobra de puesta en tensión de un condensador

Frecuencias naturales de oscilación. Simulación de corrientes de energización y sobretensiones máximas transitorias en un banco de filtros. Puesta en tensión del segundo filtro, estando el primero conectado (back to back).

## 17:00h Fin del segundo día

## Día 3

## 09:00h Análisis de la tensión transitoria de restablecimiento (TRV)

Revisión de los fenómenos transitorios ocasionados por maniobras mal realizadas, energía atrapada y corte de corriente en un interruptor. Tensión Transitoria de Restablecimiento (TRV): rigidez dieléctrica, tensión entre electrodos una vez abiertos los contactos y apagado el arco eléctrico. Cebado y reencendido del arco eléctrico. Extinción de la corriente en un circuito eléctrico.

## 10:30h Pausa café

## 11:00h Maniobra de desconexión de reactancias

Evaluación de sobretensiones de maniobra originadas por la desconexión de reactancias. Modelo de interruptor de potencia de vacío. Extinción de la corriente.

## 12:30h Pausa comida

## 13:30h Modelos de Líneas para análisis de transitorios electromagnéticos

Modelos de líneas aéreas y conjuntos de cables subterráneos. Modelos de líneas de parámetros concentrados y distribuidos. Modelos de parámetros constantes y parámetros que dependen de la frecuencia. Ondas viajeras.

## 14:00h Ejercicio: Modelos de líneas aéreas y conjuntos de cables subterráneos

Definir líneas aéreas y conjuntos de cables subterráneos. Análisis de los modelos de líneas de parámetros concentrados o distribuidos. Comparación de modelos que usan parámetros constantes frente a modelos que usan parámetros que dependen de la frecuencia.

## 15:00h Pausa café

## 15:30h Maniobras en un sistema mixto, de líneas aéreas y cables subterráneos

Estudio de sobretensiones máximas transitorias debidas a la puesta en tensión y reconexión de una línea con energía atrapada. Análisis determinista y estocástico. Atenuación de sobretensiones: pararrayos y resistencias de pre-inserción. Protecciones. Ciclo de trabajo.

## 16:00h Ejercicio: Evaluación de sobretensiones de maniobra en un sistema mixto, de líneas aéreas y cables subterráneos

Estudio de sobretensiones máximas transitorias mediante análisis determinista y estocástico. Modelos de pararrayos y resistencias de pre-inserción. Estudio estocástico de apertura/cierre de contactos aleatorio.

## 17:00h Fin del tercer día

## Día 4

## 09:00h Descargas atmosféricas

Fundamentos de fenómenos causados por descargas atmosféricas y su interacción con los sistemas de potencia. Modelos de elementos de la red relevantes para este tipo de análisis: fuentes tipo impulso, impedancia característica de líneas y cables, impedancia de la

base de torres metálicas, rigidez dieléctrica de aisladores. Pararrayos. Capacitancia parásita de un transformador.

## 10:30h Pausa café

## 11:00h Ejercicio: Modelos para el análisis de descargas atmosféricas tipo rayo

Definir un modelo de línea aérea para análisis de descargas atmosféricas. Conductores de fase y de guarda. Acoplamiento entre líneas. Modelo de la impedancia de la torre. Interruptores controlados por tensión para representar las descargas eléctricas en aisladores. Fuentes de corriente tipo impulso.

## 12:30h Pausa comida

## 13:30h Ejercicio: Análisis de sobretensiones por descargas atmosféricas

Determinar el comportamiento de una línea de transmisión frente a una descarga atmosférica tipo rayo. Simulación de rayos directos. Simulación de rayos sobre conductores de guarda. Arco eléctrico en cadena de aisladores (BFO).

## 15:00h Pausa café

## 15:30h Ejercicio: Atenuación de sobretensiones ocasionadas por descargas atmosféricas

Atenuación de sobretensiones: selección de pararrayos, protecciones frente a rayo, ciclo de trabajo.

## 17:00h Fin del cuarto día