

Contenido de la formación

Verificación de la capacidad de potencia reactiva según la NTS, cortocircuito IEC 60909 y calidad de suministro

Estudios de impacto de la conexión a la red de plantas eólicas y fotovoltaicas con PowerFactory 2026

Introducción

Esta formación de tres jornadas introduce a los participantes en las herramientas y en las técnicas que se emplean en la práctica para los estudios de impacto de la conexión a la red, orientados principalmente a las plantas eólicas y fotovoltaicas. El curso parte del manejo de la plataforma de simulación DIgSILENT PowerFactory y de su base de datos central, y avanza hasta los tres estudios que exige el código de red español: la verificación de la capacidad de potencia reactiva según la Norma Técnica de Supervisión (NTS), en sus secciones 5.7 (capacidad de potencia reactiva a la capacidad máxima y por debajo de la capacidad máxima) y 7.4 (procedimiento de modelado para las simulaciones complementarias de capacidad de potencia reactiva y de los modos de control de potencia reactiva); el cálculo de cortocircuito según la norma IEC 60909, con los modelos de aerogenerador y de inversor fotovoltaico de la edición de 2016; y la calidad de suministro, con el flujo de cargas armónico, el barrido de impedancia, el flicker y el análisis del desequilibrio. Cada módulo alterna una presentación de los conceptos y de la normativa aplicable con ejercicios prácticos sobre el proyecto de formación.

¿A quién va dirigido este curso?

A ingenieros de promotoras, de ingenierías y de empresas de operación y mantenimiento responsables de los estudios de acceso y conexión de plantas eólicas y fotovoltaicas, y a los ingenieros de las compañías eléctricas que revisan esos estudios. No se requiere experiencia previa con DIgSILENT PowerFactory: la primera jornada parte de la creación del proyecto y de la entrada de datos. Sí se da por supuesto un conocimiento básico de la teoría de los sistemas eléctricos de potencia, en particular del flujo de cargas y del cortocircuito. Los ejercicios se resuelven sobre un parque fotovoltaico de ejemplo y siguen la metodología de la NTS en su versión vigente, de modo que los participantes se llevan un procedimiento de trabajo directamente aplicable a sus propios expedientes.

JORNADA 1

MÓDULO 1: Introducción a PowerFactory y estructura de datos

Presentación: Presentación del seminario e introducción a PowerFactory 30 min

Presentación de los participantes, de los objetivos de la formación y del parque fotovoltaico de ejemplo que se utiliza a lo largo de las tres jornadas. Situación de PowerFactory dentro de las herramientas de análisis de sistemas eléctricos de potencia: alcance funcional, módulos de cálculo que intervienen en un expediente de acceso y conexión y flujo de trabajo típico de un estudio. Conceptos básicos del programa, esquema de licencias y recursos de ayuda, documentación y soporte disponibles.

Presentación: Estructura de datos y proyectos en PowerFactory 30 min

Organización de la información en la base de datos central: proyecto, modelo de red, bibliotecas de tipos y casos de estudio. Distinción entre tipo y elemento, y consecuencias prácticas de compartir un tipo entre varios elementos, que es la situación habitual en un parque con decenas de inversores idénticos. Carpetas de operación, variaciones y escenarios dentro del árbol del proyecto. Proyectos activos e inactivos y recomendaciones para nombrar y versionar los proyectos que se entregan al gestor de la red.

Presentación: Manejo general del programa: entrada de datos, editor gráfico y Administrador de Datos 30 min

Recorrido por la interfaz: barras de herramientas, ventana de salida y ventana de datos. Entrada de datos por el diálogo del elemento y por el Administrador de Datos, con edición masiva de columnas y filtros por clase, que es la vía práctica para dar de alta los circuitos de media tensión de un parque. Editor gráfico del diagrama unifilar: dibujo, conexión de elementos, celdas y capas. Explorador de la base de datos y uso de los filtros y de los conjuntos de selección.

MÓDULO 2: Flujo de cargas y modelado de la planta de generación

Presentación: Conceptos fundamentales del cálculo de flujo de cargas 45 min

Aplicaciones del flujo de cargas en un estudio de conexión: comprobación de las tensiones en el punto de conexión, de la carga de los elementos y de las pérdidas. Métodos de cálculo disponibles, equilibrado y desequilibrado, y opciones que más influyen en la convergencia. Modelos de los elementos que componen una planta renovable: generador estático, transformador de dos y de tres devanados con cambiador de tomas, línea y cable, y red exterior con su potencia de cortocircuito. Criterios de convergencia y lectura de la ventana de salida.

Ejercicio: Creación de un parque fotovoltaico y cálculo del flujo de cargas 1 h 15 min

Construcción del modelo del parque a partir de los datos de proyecto: inversores agrupados, transformadores de máquina, circuitos de media tensión, transformador de potencia y línea de evacuación hasta el punto de conexión. Cálculo del flujo de cargas y revisión de los resultados en el diagrama unifilar, con los cuadros de resultados configurados para mostrar las magnitudes que pide el gestor de la red. Presentación de los resultados en tablas y exportación a hoja de cálculo.

MÓDULO 3: Controles de planta y regulación de la tensión**Presentación: Controlador de planta: control de potencia activa, de potencia reactiva y de tensión 30 min**

Estructura del controlador de planta en PowerFactory: el control de potencia activa y frecuencia y el control de tensión y potencia reactiva, y su relación con los generadores estáticos que gobiernan. Modos de consigna disponibles (tensión, potencia reactiva, factor de potencia y estatismo de tensión), reparto entre máquinas y tratamiento de los límites. Interacción entre el controlador de planta y el cambiador de tomas en carga del transformador de potencia.

Ejercicio: Control de potencia activa y de potencia reactiva con un controlador de planta 1 h 15 min

Incorporación al modelo del controlador de potencia activa y frecuencia y comprobación de la respuesta al escalón de consigna y a la limitación de la potencia inyectada. Incorporación del controlador de tensión y potencia reactiva, y comparación de los tres modos de consigna sobre el mismo caso: tensión en el punto de conexión, potencia reactiva y factor de potencia. Revisión del reparto de la potencia reactiva entre los inversores y del efecto de sus límites de capacidad.

Ejercicio: Control de tensión mediante el cambiador de tomas en carga 45 min

Configuración del cambiador de tomas del transformador de potencia: rango, paso, nudo controlado y banda muerta. Comparación del punto de operación con la regulación automática y con la toma fijada, y análisis de cómo el reparto entre la toma y la potencia reactiva de los inversores condiciona el margen de reactiva disponible en el punto de conexión, que es la magnitud que se verifica en la segunda jornada.

JORNADA 2

MÓDULO 4: Marco normativo y requisitos de capacidad de potencia reactiva

Presentación: Estado actual de la normativa nacional y europea 45 min

Recorrido por la cadena normativa que da origen al estudio: el Reglamento UE 2016/631, que establece los requisitos de conexión de los módulos de generación de electricidad; el Real Decreto 647/2020 y la Orden TED/749/2020, que lo transponen y fijan los requisitos aplicables en España; los procedimientos de operación 12.2 y 9.0; y la Norma Técnica de Supervisión, que define el procedimiento de verificación. Clasificación de los módulos por tipo y consecuencias sobre los ensayos y las simulaciones exigibles.

Presentación: Secciones 5.7 y 7.4 de la NTS: requisitos y procedimiento de modelado 30 min

Lectura detallada de la sección 5.7: capacidad de potencia reactiva a la capacidad máxima, verificada sobre el diagrama U-Q en el punto de conexión, y capacidad de potencia reactiva por debajo de la capacidad máxima, verificada sobre el diagrama P-Q. Lectura de la sección 7.4: procedimiento de modelado para las simulaciones complementarias, con el procedimiento de modelización completa en el punto de conexión y el procedimiento alternativo en bornes de la central. Criterios de aceptación y contenido del informe que se entrega.

MÓDULO 5: Automatización de los cálculos con DPL

Presentación: Sintaxis básica del lenguaje de programación de DIgSILENT 30 min

Estructura general de un script DPL y lugar que ocupa dentro del caso de estudio. Tipos de variables disponibles: entero, doble precisión, cadena de caracteres y referencia a objeto, y sintaxis del formato de cadena. Estructuras de control: condicionales y bucles for() y while(). Parámetros de entrada del script y presentación de los mensajes en la ventana de salida, que es la vía para documentar el barrido mientras se ejecuta.

Presentación: Objetos, conjuntos y ejecución de comandos de cálculo 30 min

Recuperación de objetos de la base de datos y lectura y escritura de sus parámetros, distinguiendo los atributos de entrada de los resultados de cálculo. Conjuntos de objetos y métodos para recorrerlos y filtrarlos. Ejecución de los comandos de cálculo desde el script, modificación de sus opciones antes de lanzarlos y comprobación del código de retorno, sin la cual un barrido puede dar por buenos puntos que en realidad no han convergido.

Ejercicio: Revisión de los scripts DPL de las curvas U-Q y P-Q**45 min**

Recorrido por el código de los dos scripts que se emplean en el resto de la jornada: cómo recorren el rango de tensión o de potencia activa, cómo buscan el límite de potencia reactiva en cada punto, cómo detectan la no convergencia y cómo almacenan y presentan los resultados. Modificación de los parámetros de entrada para adaptarlos a los datos del parque de ejemplo y primera ejecución de comprobación.

MÓDULO 6: Verificación de la capacidad de potencia reactiva según la NTS**Ejercicio: Capacidad de potencia reactiva a la capacidad máxima: curva U-Q****1 h 30 min**

Obtención del diagrama U-Q en el punto de conexión con la planta a capacidad máxima, siguiendo el procedimiento de modelización completa de la sección 7.4 sobre cinco ejemplos que cubren las configuraciones habituales de control y de posición de las tomas. Resolución después de los dos casos del procedimiento de modelado alternativo en bornes de la central, y comparación de ambos resultados con el perfil exigido por la NTS, identificando el elemento que limita la capacidad en cada extremo de la curva.

Ejercicio: Capacidad de potencia reactiva por debajo de la capacidad máxima: curva P-Q**1 h 30 min**

Obtención del diagrama P-Q en el punto de conexión barriendo la potencia activa desde el mínimo técnico hasta la capacidad máxima, de nuevo con los cinco ejemplos del procedimiento completo y los dos casos del procedimiento alternativo. Análisis del efecto de la potencia reactiva consumida por la red de media tensión y por el transformador de potencia sobre el margen disponible a baja carga. Elaboración de las tablas y de las figuras que componen el informe de verificación y discusión de las medidas correctoras cuando la planta no cumple.

JORNADA 3

MÓDULO 7: Cálculo de cortocircuito según la norma IEC 60909

Presentación: Conceptos fundamentales y comparación de los métodos de cálculo 45 min

Explicación y comparación de los métodos de cálculo disponibles en PowerFactory y áreas de aplicación de cada uno: la norma IEC 60909, el método completo y los métodos normalizados equivalentes. Evolución temporal de la intensidad de cortocircuito y significado de las magnitudes que se calculan. Influencia del régimen de neutro sobre el cortocircuito a tierra y diferencias de resultado entre las distintas puestas a tierra.

Ejercicio: Cortocircuito trifásico y monofásico en barras y circuitos 45 min

Cálculo de cortocircuitos trifásicos en las barras y a lo largo de los circuitos del modelo, con la lectura de las intensidades inicial simétrica, de pico y de corte. Cálculo de cortocircuitos monofásicos y comprobación del efecto de la compensación de la falta a tierra. Comparación de los escenarios de máxima y de mínima potencia de cortocircuito de la red exterior y presentación de los resultados en el diagrama y en tablas.

Presentación: Modelos de aerogenerador y de inversor fotovoltaico en la IEC 60909:2016 30 min

Cambios que introduce la edición de 2016 de la norma para la generación conectada por convertidor y forma en que PowerFactory los implementa. Método iterativo de cálculo de la intensidad de cortocircuito y contribución real de los inversores eólicos y fotovoltaicos, gobernada por su estrategia de control de la intensidad durante el hueco y no por una reactancia subtransitoria. Comparación sistemática entre el método IEC y el método completo sobre el mismo defecto, y criterios para elegir uno u otro según el uso que se dé al resultado.

Ejercicio: Método completo, faltas múltiples y cortocircuito en una planta renovable 1 h

Cálculo de la intensidad de cortocircuito por el método completo a partir del flujo de cargas previo y análisis de faltas múltiples simultáneas. Aplicación al parque de ejemplo: comparación de la contribución de los inversores obtenida por los dos métodos y revisión de los valores que se declaran al gestor de la red. Cortocircuito monofásico en la red de media tensión con neutro aislado y dimensionado de la resistencia de puesta a tierra del neutro.

MÓDULO 8: Calidad de suministro y análisis de armónicos

Presentación: Conceptos fundamentales y normativa aplicable**45 min**

Magnitudes que definen la calidad del suministro y perturbaciones que introduce una planta conectada por convertidor. Reparto de los niveles de emisión entre los usuarios de la red según las normas IEC/TR 61000-3-6 para los armónicos, IEC/TR 61000-3-7 para las fluctuaciones de tensión y el flicker y IEC/TR 61000-3-13 para el desequilibrio. Requisitos mínimos de diseño y de equipamiento exigidos a las instalaciones conectadas a la red de transporte y datos que debe aportar el fabricante del inversor.

Ejercicio: Flujo de cargas armónico y barrido de impedancia**1 h**

Introducción del espectro de emisión del inversor y de las características de frecuencia de los elementos de la red. Ejecución del flujo de cargas armónico y lectura de las tensiones y de las intensidades armónicas en el punto de conexión. Barrido de impedancia en el punto de conexión para localizar las resonancias que introducen los cables de media tensión, y comprobación de cómo se desplaza la resonancia al cambiar la potencia de cortocircuito de la red o el número de circuitos en servicio.

Ejercicio: Flujo de cargas desequilibrado, flicker y evaluación de HD y THD**1 h 15 min**

Cálculo del flujo de cargas desequilibrado y evaluación del grado de desequilibrio en el punto de conexión frente al límite admisible. Análisis de flicker a partir de los coeficientes declarados por el fabricante, en operación continua y en las maniobras de conexión y desconexión. Evaluación de la distorsión armónica individual y total frente a los límites de emisión asignados, elaboración de las tablas y de las figuras del informe de calidad de suministro, resumen de la formación y espacio para preguntas abiertas.

Horario (hora peninsular)

Jornada	Hora
Primer bloque de 90 minutos	9:00
Segundo bloque de 90 minutos	10:30
Tercer bloque de 90 minutos	12:00
Cuarto bloque de 90 minutos	13:30
Fin de la jornada	15:00



DIGSILENT Ibérica, S.L.
Javier Ferrero 8 dup, Bajo A
28002 Madrid
España

T +34 91 125 33 79
info@digsilentiberica.es

www.digsilentiberica.es