

SIMULADOR DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS: OPTIMIZANDO LAS OPERACIONES LOCALES



RAMÓN IZQUIERDO MARTÍN

Ingeniero Máster de Simulación - Modelación
TECNATOM



PATRICIA ROMERO MARTÍN

Responsable de Soluciones de Simulación
TECNATOM

INTRODUCCIÓN

El uso de simuladores en general, y especialmente para las centrales nucleares (por su gran efecto en la seguridad, medioambiente y opinión pública), son una magnífica herramienta para el entrenamiento del personal. Los simuladores permiten que los operadores y rondistas de las instalaciones eléctricas se puedan instruir en profundidad en los procedimientos operacionales, en los comportamientos dinámicos y mecánicos de la instalación y que practiquen operaciones sin asumir los riesgos inherentes a dichas maniobras. También afectan a la seguridad porque permiten analizar y evaluar potenciales riesgos y accidentes (que evidentemente no pueden ser probados en la instalación real) y realizar análisis predictivos de cambios y modificaciones de diseño de la instalación de referencia. Desde el punto de vista operacional, los simuladores son una gran herramienta para la adaptación, actualización y mejora de los manuales de operación y procedimientos tanto de operación normal como de emergencia, reduciendo las incidencias y los tiempos de reacción y maniobra, y consiguiendo a su vez una reducción de los costes de operación.

Tecnatom ha desarrollado un simulador de instalaciones eléctricas que, aunque permite simular las operaciones desde la sala de control, está dirigido fundamentalmente a las maniobras locales realizadas por operadores o rondistas que deben desplazarse a distintas zonas de la instalación y realizar operaciones sobre distintos equipos eléctricos.

Se define maniobra como la intervención concebida para cambiar el estado eléctrico de una instalación eléctrica no implicando montaje ni desmontaje de elemento alguno. Son por tanto operaciones voluntarias, que conducen a este cambio de estado por medio de interruptores, interruptores automáticos, seccionadores u otros aparatos, especialmente previstos a este efecto. Las maniobras pueden ser:

- **Maniobras de explotación**, que tienen por objeto la modificación del estado de una instalación o equipo eléctrico, desde el punto de vista de su funcionamiento y operatividad dentro de la red, por necesidades de su explotación.

- **Maniobras de seguridad**, que tienen por objeto garantizar la seguridad del personal que efectúa los trabajos sobre una instalación o equipos eléctricos.

El simulador de instalaciones eléctricas de Tecnatom, con un amplio alcance y uso, es un **simulador desarrollado a medida**, que simula equipos, aparatos eléctricos, componentes, etc. de diferentes instalaciones, y que también incorpora un unifilar que permite una configuración muy completa. Se han desarrollado cabinas, equipos, componentes, etc. de muy diversos fabricantes. Esta generalidad permite el entrenamiento de los operadores con una infinidad de equipos diferentes y que se encuentran localizados en prácticamente todas las instalaciones eléctricas.

MÓDULOS Y ESTRUCTURA DEL SIMULADOR

El simulador está conformado por la suma de varios módulos de simulación, es decir, su arquitectura es modular, de manera que combina diferentes esquemas y herramientas de simulación en función de las características y necesidades de la modelación. Podemos destacar los módulos de interfaz gráfica, de modelo eléctrico, de modelo lógico y de modelo termohidráulico.

El módulo de interfaz gráfica es encargado de modelar:

- por un lado, el aspecto físico del simulador y determina las animaciones derivadas de comportamientos lógicos y dinámicos (enclavamientos, palancas, llaves, etc.),
- y por otro, las interacciones del usuario con el simulador (actuación sobre componentes y equipos) y con la simulación a través de la consola de instructor que más adelante detallaremos.

Se realiza mediante la herramienta de Tecnatom TeamSketch® que genera pantallas de interfaz hombre-máquina a partir de fotografías de instalaciones reales. A partir de estas fotos se obtienen los elementos dinámicos y las bases donde montarlos. Con estas fotografías se componen los diferentes equipos, cabinas, componentes, etc. y ya con estos elementos se generan las diferentes salas donde

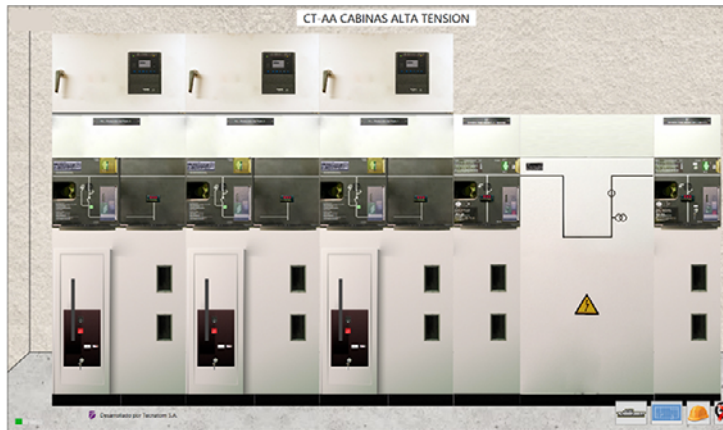


Figura 1. Sala de cabinas en simulador.

se encuentra las apartamentas a maniobrar localmente (Figura 1).

El módulo de modelo eléctrico es el encargado de simular la red eléctrica a través de la herramienta de Tecnomat TeamElectric®. Es un generador gráfico de código fortran de modelos eléctricos que reproduce el diagrama unifilar y resuelve la red eléctrica teniendo en cuenta las leyes de Kirchoff y el circuito de Northon equivalente y calculando el voltaje, frecuencia, fase, intensidad (total, real e imaginaria) y potencia (activa y reactiva) mediante un método numérico totalmente estable (Figura 2).

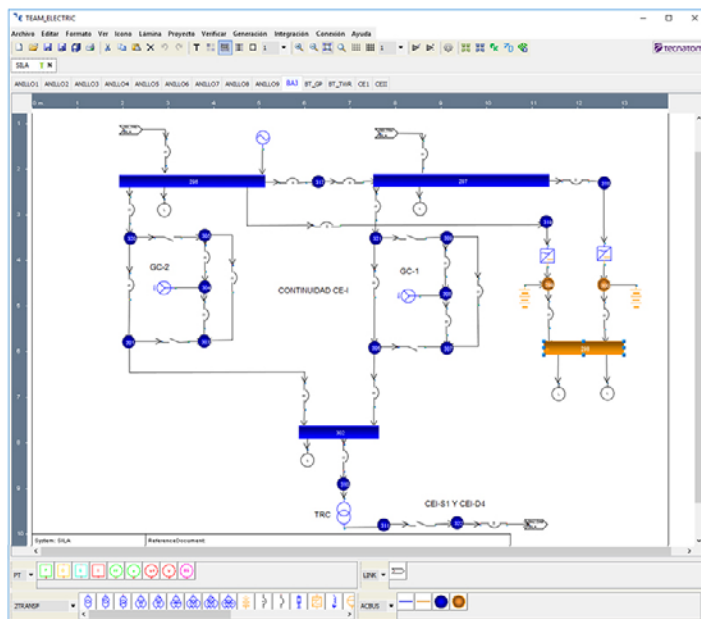


Figura 2. Herramienta gráfica de modelo eléctrico.

El módulo de modelo lógico es el responsable de reproducir el funcionamiento de los equipos y componentes eléctricos del simulador (cabinas de alta/media tensión, interruptores de baja tensión, relés de protección, generadores diésel, etc.). Este modelo está desarrollado a través de la herramienta de Tecnomat TeamLogic®, que es un generador gráfico de código fortran de modelos lógicos, de control y cableado (Figura 3).

El módulo del modelo termohidráulico es el encargado del modelado de sistemas de fluidos monofásicos y en este

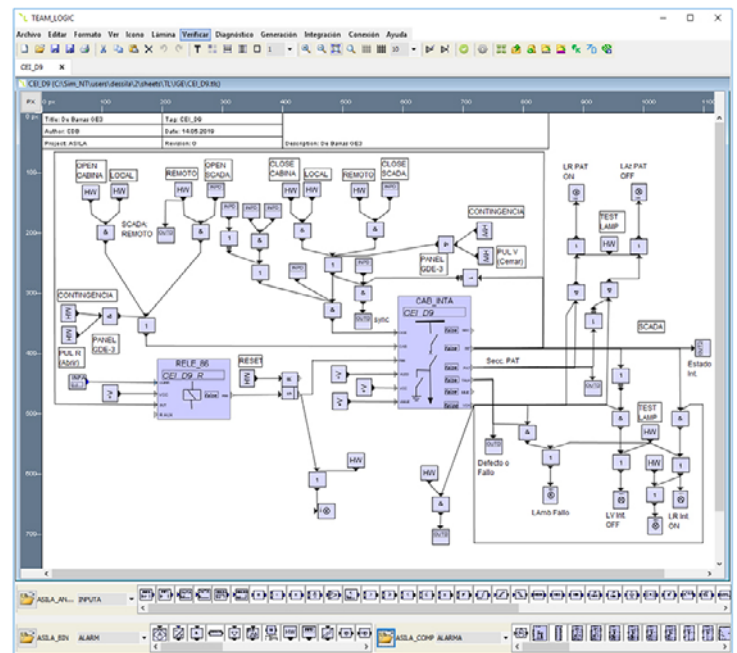


Figura 3. Herramienta gráfica de modelo lógico.

caso se ha usado para la modelación de sistemas de climatización a través de la herramienta propiedad de Tecnomat TeamFlow®, que es un generador gráfico de código fortran de modelos de redes de fluidos hidráulicos, gaseosos, etc. Calcula las presiones y los flujos en la ecuación de conservación de masa y la ecuación de conservación de momento (ecuaciones de Bernoulli). La ecuación de conservación de energía también se resuelve para calcular calores, temperaturas, etc. (Figura 4).

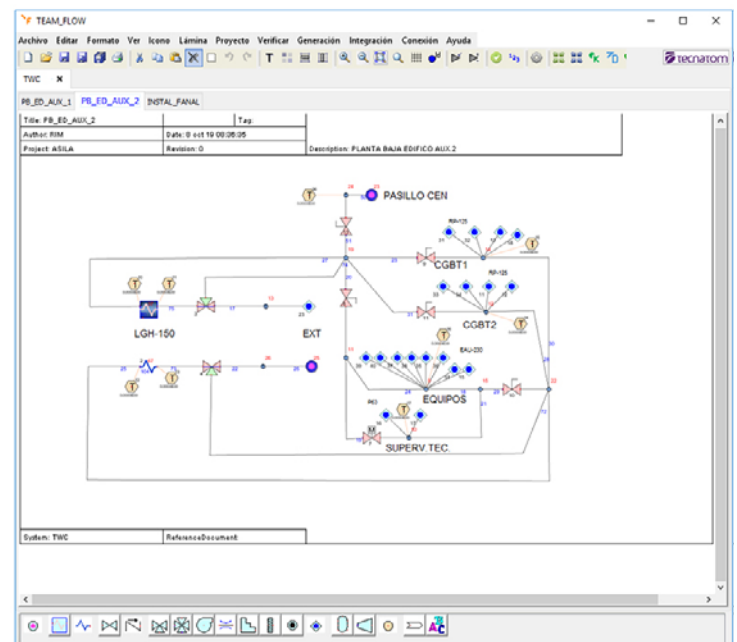


Figura 4. Herramienta gráfica de modelo termohidráulico.

En cuanto a la **estructura del simulador**, la plataforma consta del puesto del instructor, para gestionar la consola del instructor, visualizar DCS/SCADA/Sala de Control y para visualizar e interactuar con los equipos locales (cabinas, relés, interruptores, etc.) y del puesto del alumno con pantallas

táctiles para realizar las maniobras locales y donde visualizar el esquema unifilar de la instalación.

La consola del instructor contempla las capacidades necesarias para un simulador de entrenamiento:

- control de avance y parada de la simulación,
- carga de condiciones iniciales,
- gestión (configuración, activación y desactivación) de malfuncionamientos y averías eléctricas (tales como cortocircuitos en barras, faltas a tierra, distintos tipos de fallos en interruptores, en generadores diésel, en equipos de alimentación ininterrumpida, en relés de protección, en transformadores, etc.).
- gestión de acciones locales o fuera de alcance, tratadas como condiciones de contorno, (tales como modificación de los puntos de tarado de los relés de protección, modificación de los consumos de las cargas, modificación de temperatura y humedad ambiente, etc.).

Estas capacidades permiten disponer de una gran variedad de configuraciones que proporcionan una formación en múltiples escenarios.

Además, el simulador dispone de otras características avanzadas como el acceso desde una "Tablet PC" o desde cualquier pantalla de la interfaz gráfica que tenga activado el simulador.

INTERFAZ DE PANELES DE CABINAS LOCALES

El puesto de alumno del simulador cuenta con pantallas táctiles de grandes dimensiones donde se presenta la interfaz de los paneles locales. La interfaz de mandos de cabinas locales se distribuye según un esquema jerárquico de acceso con los siguientes niveles:

- **Nivel 0.** Plano general. Es una vista de la instalación donde se pueden identificar los diferentes edificios en los que se encuentran las cabinas de operación.
- **Nivel 1.** Edificios. Representa un plano en planta del edificio en el que aparecen otras salas o grupos de equipos: cabinas, armarios de bajas tensión, paneles de control, etc. El alumno puede seleccionar el grupo de cabinas al que desea acceder pasando con ello al siguiente nivel.
- **Nivel 2.** Conjuntos de cabinas - cuadros de baja - paneles, etc. Este es el nivel de operación sobre los equipos. En este nivel todos los elementos están dinamizados por los modelos de simulación, pudiendo el alumno operar los elementos de entrada (manetas, pulsadores, palancas, llaves, etc.) y actualizándose, de acuerdo con los cálculos de los modelos de simulación, los elementos de salida (indicadores, placas de señalización, luces, etc.). En este nivel se puede interaccionar con los mandos de manera táctil o a través del ratón. Para facilitar la operación e identificación de algunos equipos se puede realizar un *zoom* para que el alumno se pueda acercar a la zona que quiere ver u operar (Figura 5).

Todas las pantallas del simulador disponen al menos y en la parte inferior de una barra de herramientas que permite conocer el estado de la simulación, silenciar alarmas y bocinas, navegar entre distintos niveles y del acceso a los elementos de protección individual (casco, calzado de protección, distintos tipos de guantes, ropa de trabajo, alfombra aislante, pértiga de salvamento, etc.) y protecciones que deben utilizarse para la operación sobre el panel.



Figura 5. Nivel 2. Detalle de cabinas.

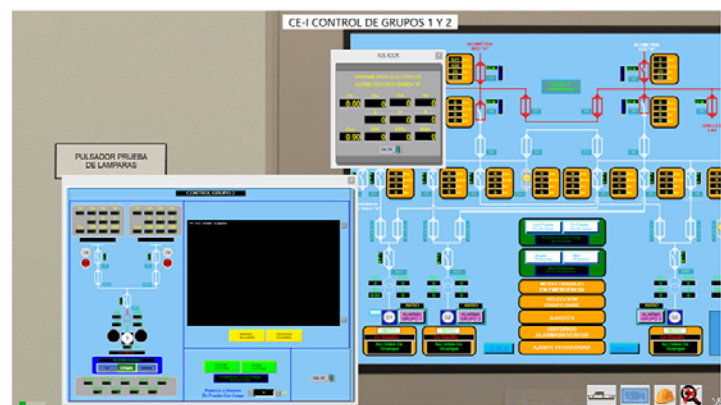


Figura 6. Panel de control grupo diésel.

INTERFAZ DE PANELES DE LOS GRUPOS DIÉSEL Y DE CONTINUIDAD

Otro de los elementos más característicos y formativos del simulador es la realización de maniobras sobre los grupos de continuidad (sistema que combina la funcionalidad de un sistema ininterrumpido de energía alimentado por batería o por volante y un generador diésel) y los distintos tipos de grupos diésel de emergencia fijos o móviles tanto en paneles de sala como sobre el propio motor diésel.

La lógica de funcionamiento de los grupos se consigue a través de la simulación de los PLC (controladores lógicos programables) traduciendo sus códigos de programación.

Accediendo desde una pantalla de nivel 1 de acceso a la sala de los grupos y posteriormente a una de nivel 2 donde se encuentran los paneles de los grupos se pueden operar los controles de los grupos diésel (Figura 6) y de continuidad desde sus ventanas de operación (Figura 7).

Las operaciones sobre los grupos diésel y de continuidad están enfocadas principalmente a las tareas de mantenimiento y pruebas periódicas. En estas operaciones de mantenimiento se pueden ejecutar pruebas tanto con carga como en vacío e incluso en modo degradado.

Algunas de estas maniobras se pueden realizar también sobre el propio motor diésel lo que permite el ejercitarse en operaciones sobre los propios cuadros de control de los motores y equipos (Figura 8).

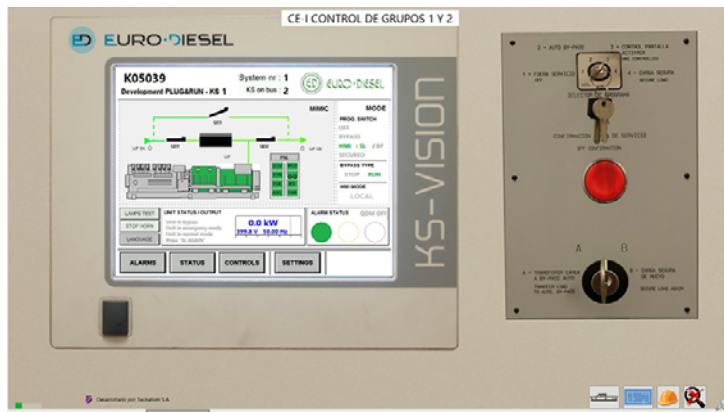


Figura 7. Panel de control grupo continuidad.



Figura 8. Panel de control grupo diésel.



Figura 9. Generador diésel portátil.

Con el fin de dar una mayor versatilidad también se simulan las maniobras en generadores diésel portátiles y enchufables que permiten operaciones muy realistas sobre equipos móviles o en el exterior (Figura 9).

INTERFAZ DE OPERACIÓN DE INSTRUMENTOS

En la interfaz gráfica existen dos tipos de instrumentos: algunos son instrumentos sobre los que no se actúa y solo proporcionan información, y otros instrumentos sobre los que si existe interacción por parte del usuario. El primer grupo consta de:

- Los **indicadores** que simplemente indican el valor de una variable simulada (tensión, intensidad, temperatura, etc.).

- Los instrumentos de **tipo luz y leds**, que muestran el estado lógico de la luz (encendido, apagado o intermitente) en función de los estados de calculados por la simulación de la variable asociada. Algunos **leds** tienen la particularidad de cambiar de color al pasar por diferentes estados.
- La mayoría de las cabinas de alta y media tensión disponen de **placas** que indican el estado de alguno de sus componentes (estado de interruptor y seccionadores, estado de la carga de muelles, etc.). Desde la interfaz gráfica no existe actuación sobre estos instrumentos. En función del estado de la variable de simulación la interfaz presentará una posición o un estado de las placas.

Respecto a los instrumentos incluidos en el simulador con los que existe interacción, mediante actuación táctil o mediante clic de ratón están los siguientes:

- **Las llaves**, que tienen diferente operativa dependiendo del tipo de llave (de enclavamiento, de selección y de arranque). Desde la interfaz se permite extraer e insertar la llave, así como sus distintos movimientos.
- **Los pulsadores**, que mediante actuación en la interfaz realizarán la misma acción que el instrumento real (cambios de estado, de posición, retorno o mantenido, etc.).
- La interacción con **las manetas** desde la interfaz se realiza sobre la zona en la que se desee posicionar la maneta. En el caso de selectores, el movimiento gráfico de la zona móvil de la maneta será realizado por la interfaz gráfica que en su estado final informa a los modelos de la posición alcanzada. Si la maneta corresponde a un mecanismo, es la simulación la que devolverá la posición de la maneta. Se pueden encontrar 3 tipos de manetas que se operan de forma diferente: manetas multiposición donde se actúa sobre la leyenda que indica la posición, las de dos posiciones que basta con actuar sobre el propio instrumento para que este cambie de posición y manetas de tres posiciones con retorno al centro.

En los interruptores de baja tensión se disponen de manetas generalmente de dos posiciones fijas.

- Otros de los componentes más característicos y que más condicionan la operación de las cabinas eléctricas y la maniobra del operador son las **palancas y manivelas**. Al igual que las manetas la interacción se realiza por actuación en la zona a la que se desee llevar la manivela. La interfaz gráfica generará el movimiento del instrumento y enviará la variable de estado a los modelos de simulación para su procesamiento.

Hay manivelas y palancas que pueden ser extraíbles y otras están fijas en el panel.

En cuanto al movimiento hay algunas que hacen un movimiento una vez y otras que requieren repetir el mismo movimiento varias veces.

Las maniobras de inserción manivelas y palancas se consigue interactuando con el "agujero" de la palanca y de esta manera aparecerá la palanca, en algunos casos la inserción viene condicionada a que este utilizada en otro equipo de la sala. La extracción se realiza mediante la interacción sobre el eje de la palanca.

- Si la manivela se puede accionar en dos direcciones, interactuando sobre cada uno de los extremos de esta se podrá realizar el movimiento en esa dirección.
- Otros elementos de seguridad que disponen las cabinas son **las tapas** que cubren algún elemento operable e inhabilitan su operación o **las puertas** que cubren e inhabilitan armarios enteros sobre todo de baja tensión.

La tapas pueden retornar solas a su posición original o permanecer en la última posición, pero las puertas siempre quedan en su última posición. La interacción desde la interfaz se realiza mediante actuación sobre la propia tapa o el picaporte de la puerta.

En el simulador están incluidos los **sonidos** de diferentes equipos. Estos sonidos se escuchan solamente cuando se tenga abierta alguna pantalla del centro o sala al que pertenece el equipo donde se produce el sonido.

Algunos de los sonidos que se reproducen en el simulador son los siguientes:

- Alarmas de grupos diésel y de continuidad.
- Apertura y cierre de disyuntores/interruptores.
- Apertura y cierre de seccionadores y de seccionadores de puesta a tierra.
- Carga de muelles.
- Motor de carga de muelles.
- Arranque de motor diésel.
- Marcha de motor diésel.

PÍLDORAS FORMATIVAS

Como complemento al simulador, Tecnatom ha desarrollado un conjunto de píldoras formativas de una serie de cabinas individuales de alta y media tensión. En su generación se aprovechan los desarrollos de los tres módulos anteriores tomando el código de la interfaz gráfica y parte de los códigos del modelo lógico y reconvertirlos para poder ser ejecutados en una aplicación web.

Las píldoras simulan el comportamiento lógico y mecánico de las cabinas eléctricas incluyendo los enclavamientos por llave, palancas, efectos sonoros y funcionamiento de luces.

Las píldoras formativas instaladas en un servidor permiten que los alumnos puedan entrenarse en la operación de la cabina desde cualquier sitio y previamente a su formación en el simulador adquiriendo un conocimiento previo con la consiguiente mejora en el aprovechamiento de los cursos presenciales y la duración de estos.

El alumno, aparte de realizar las maniobras sobre la cabina las píldoras, es también evaluado en distintos conceptos de la cabina tales con selección de EPI (Equipos de Protección Individual), estado de la cabina, identificación del tipo de cabina, del tipo del unifilar, etc. (Figura 10).

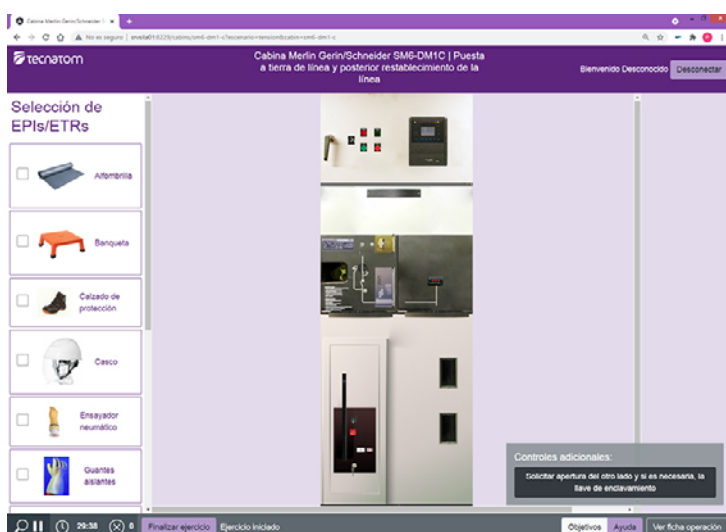


Figura 10. Píldora formativa.

Estas píldoras permiten dos perfiles de usuario (administrador y alumno) y disponen de un generador de informes (de las maniobras realizadas, de los mensajes aparecidos, del resultado del ejercicio, etc.). El administrador será el encargado de la gestión de todos los informes y será el único que puede acceder a todos ellos. Los alumnos solo pueden acceder a los informes propios.

CONCLUSIONES

El hecho de que hoy en día las instalaciones eléctricas (de generación, transformación o distribución) estén altamente automatizadas conlleva una especial problemática. El personal de operación de estas instalaciones no realiza, más que muy ocasionalmente, determinadas maniobras. Y esto implica un factor de riesgo.

Sin embargo, la comprensión y habilidades necesarias para la familiarización y operación con estas instalaciones se pueden desarrollar por medio de simuladores. Estos posibilitan, entre otros aspectos, el desarrollar mecanismos de respuesta frente a situaciones de emergencia.

El entrenamiento en un simulador de instalaciones eléctricas proporciona beneficios tales como:

- Constituye una herramienta básica de apoyo a la **operación y formación**:
 - En entrenamiento a los operadores en maniobras manuales, que debido al alto grado de automatización son infrecuentes en su realización, elevando así la capacidad de respuesta.
 - Entrenamiento en maniobras, aunque frecuentes, muy importantes.
- Maximiza la eficacia de la operación, la **seguridad** de la instalación, y homogeneizar los modos operativos.
- Ayuda a la adquisición de **conceptos básicos tecnológicos** de la instalación y componentes de esta.
- Permite la **ubicación e identificación** de los elementos de la instalación de forma precisa sin necesidad de desplazamiento a las diferentes zonas de esta.
- Permite estructurar el **reentrenamiento periódico** del personal de operación con lo que facilita la planificación y organización de la formación.

Pero este simulador tiene un valor significativo más allá del entrenamiento:

- También es una **herramienta de validación** de estrategias de normalización: estandarización de buenas prácticas de operación, diseños ergonómicos de las salas de control, etc.
- Proporciona un medio flexible que permite el **diseño y análisis de modificaciones**, futuras expansiones y mejoras.
- Es una herramienta para **validar y entrenar** en los sistemas de control SCADA/DCS etc. de ayuda a la operación en las salas de control.
- Y finalmente, permite asegurar e identificar la **documentación de referencia** de la instalación por su uso durante las sesiones de formación o mediante las píldoras formativas.

Por tanto, un simulador constituye una herramienta versátil a disposición del operador en sus instalaciones, lo que permitirá un entrenamiento en una **operación realista** del proceso simulado de las instalaciones eléctricas de una planta de referencia a través de escenarios de alta fidelidad.■