

TRASLADO DEL SIMULADOR DE ALCANCE TOTAL (SAT) A LAS INSTALACIONES DE LA C.N. ALMARAZ



PAULA HERNÁNDEZ IZQUIERDO
Ingeniero Senior I&C
TECNATOM



FERNANDO RAIGOSO ROBLEDO
Responsable de Mantenimiento
de Simuladores
TECNATOM

HISTORIA DEL SIMULADOR

El simulador de Almaraz inicialmente se configuró a partir del simulador de Lemóniz, desarrollado en el año 1978 en las instalaciones de Tecnatom. Tras el cierre definitivo de la central nuclear de Lemóniz, se decidió adaptar este simulador a la C.N. Almaraz con el proyecto PASCAL (Proyecto de adaptación del simulador a C.N. Almaraz). Este proyecto se dividió en dos fases: en la primera fase entre 1989 y 1992, con el proyecto PASCAL I, se adaptó el *software* para que representase el comportamiento de la planta de Almaraz 1, y con el proyecto PASCAL 2 entre 1997 y 1998, se consiguió la fidelización física, cambiándose los paneles para que representase fielmente la sala de control de Almaraz 1. El simulador entró en explotación el 1 de noviembre de 1998.

El simulador de alcance total de la C.N. Almaraz ha sido una herramienta clave para la seguridad, ya que ha permitido instruir a los operadores en profundidad, practicando maniobras sin asumir riesgos inherentes a dichas operaciones. Desde que el simulador está en activo, hace más de 20 años, el uso principal del simulador ha sido la cualificación a operadores, tanto en procesos de formación inicial -primera licencia- como en el de recalificación para renovación de la misma. De hecho, el simulador se ha empleado no solo para entrenamiento de personal de Almaraz, si no también para formación a otras plantas que no disponían de simulador específico en su momento, como Ascó, Vandellós y Angra-1.

La versatilidad funcional del simulador permite utilizarlo en la práctica de operación de la central y como simulador de principios básicos (para consolidar conocimientos básicos en áreas de termohidráulica y cinética del reactor. Así, se ha dado formación a muchos otros profesionales que necesitaban tener un conocimiento del funcionamiento y la operación de la central (instrumentistas, personal de ingeniería, ...),

así como personal de Tecnatom y del CSN. En total se han realizado unas 40.000 horas de formación, en torno a unas 2.000 horas anuales de diferentes tipos de cursos.

Por otro lado, el simulador cada vez ha ido tomando más relevancia como herramienta de ingeniería (*Simulation Assisted Engineering*, SAE), para realizar análisis predictivos de cambios y modificaciones analizando y evaluando potenciales riesgos y accidentes, y validándolas previamente a la instalación en la propia planta.

A lo largo de todos estos años, el simulador ha evolucionado, incorporando mejoras y ampliado su alcance, con nuevos paneles y nuevos sistemas simulados.

A principios de 2020, CNAT identifica la necesidad de trasladar el Simulador desde San Sebastián de los Reyes a una nueva edificación en la propia Planta de la C.N. de Almaraz. Esta necesidad se justifica, entre otros aspectos, por los siguientes motivos:

- Minimiza los desplazamientos CNA-Madrid y optimiza y compatibiliza el tiempo del personal a formar (Jefe de Operación, Responsable de Turno, etc.).
- Facilita la formación asociada al simulador del personal de Planta y posibilita el acceso de otras secciones.
- Facilita la comunicación instructor-alumno por la presencia física en Planta.
- Mejora el aprovechamiento del simulador.

Esta decisión conllevó la realización de innumerables actividades, agrupadas en dos etapas: Construcción del edificio que albergaría el simulador y traslado y puesta en marcha del simulador. Al realizarse una gestión conjunta de ambas etapas se han optimizado las interfases con el traslado del simulador, en relación a la calidad, plazos y alcance teniendo en cuenta la complejidad de los trabajos que se deben acometer.

Los equipos que se han trasladado durante la segunda etapa incluyen las consolas, paneles y puestos de operación del Simulador de Alcance Total y el Simulador Gráfico Interactivo (SGI).

CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO

Para llevar a cabo el proyecto, se tuvieron muy en cuenta los requisitos y necesidades que conlleva albergar el simulador de alcance total, y se mantuvo una visión clara de las necesidades derivadas del uso y la normativa nuclear asociada.

Durante esta etapa fue crítico garantizar la ejecución en el tiempo establecido ya que la inoperabilidad del simulador fuera del periodo estipulado podría comprometer el funcionamiento de la planta.

Los sistemas auxiliares debían mantener las salas debidamente acondicionadas para evitar el deterioro del simulador. Para ello, las infraestructuras del edificio se realizaron teniendo en cuenta criterios como la climatización (tanto en la parte del edificio más convencional, como aulas y despachos, como en el recinto del simulador), la disposición de la iluminación (a imagen y semejanza de la sala de control real), el correcto suministro eléctrico (sin interrupciones ni fluctuaciones, de gran importancia para la multitud de equipos sensibles del simulador) y la necesidad de introducción de paneles de grandes dimensiones. Además, se definieron los espacios auxiliares y las salas necesarias para el desarrollo de las actividades de mantenimiento y soporte a la operación del simulador que se vayan a realizar en el emplazamiento.

Además, se realizó un seguimiento del cumplimiento de la normativa en edificación e instalaciones y específicamente dentro del sector nuclear de la Norma ANSI 3.5 que establece requisitos muy estrictos de fidelidad física y condiciones ambientales y de entorno, cuyo incumplimiento puede llevar asociado la pérdida de la certificación del simulador, por parte del Consejo de Seguridad Nuclear.

Las fases que comprenden esta etapa son las siguientes

1- Movimiento de tierras

El movimiento de tierras estuvo sujeto a la realización de un análisis previo de la implantación de la infraestructura, donde se definió la ubicación precisa dentro de la zona propuesta. En este análisis se verificó la ausencia de interferencias de cualquier tipo (en superficie o enterradas) y la correcta accesibilidad, incluyendo la coordinación entre los resultados del estudio geotécnico y el levantamiento topográfico.

Tras dicho análisis, se procedió a la realización de una explanada a lo largo de todo el edificio y del muelle de carga y descarga y el relleno de tierras para salvar el desnivel existente del terreno y muro de contención de tierras.

2- Edificación, edificio listo para permitir el traslado del simulador

Esta fase, conllevó la realización de innumerables tareas interdependientes entre ellas, realizadas por distintas subcontratas. La planificación, supervisión exhaustiva y definición anticipada de las futuras causas de cualquier posible



Foto 1. Construcción del edificio del simulador.

desviación fueron clave para poder llevar a cabo esta fase con éxito.

En todo momento se siguió una planificación muy estricta, dentro del marco de incertidumbre que generó la pandemia debida al COVID-19 en sus inicios. Las medidas llevadas a cabo dentro de las instalaciones con respecto a la protección contra el contagio del covid-19, hizo que, aunque surgieran casos por covid-19 entre los trabajadores, estos casos se mantuvieron aislados evitando una propagación dentro de la jornada laboral a otros trabajadores, evitando que esto produjera daños mayores en el ejercicio de los trabajos.



Foto 2. Edificio del simulador listo para el traslado.

3- Infraestructura del edificio operativa y legalización (final de la obra civil)

En esta fase, la dirección facultativa acredita que el edificio se ha terminado. Se realizaron reuniones entre la propiedad y los instaladores para realizar un traspaso adecuado con la propiedad, teniendo esta una información detallada del funcionamiento de las instalaciones y su correcto mantenimiento.

Tecnatom, como responsable de la relación empresarial con la propiedad y de la gestión con el contratista principal, lideró esta fase con un estricto control y supervisión de la ejecución y avances, además de identificar las interfases con el proyecto del traslado, coordinando las tareas que afectaban a ambas fases, para que no se vieran afectadas.

TRASLADO DEL SIMULADOR

La segunda etapa del proyecto fue el traslado y la puesta en marcha del simulador. Fue clave en ella, la experiencia en el mantenimiento de simuladores, así como en otros traslados

de simuladores como los de Cofrentes, Angra y Atucha. Se contó con un buen estudio de alcance, planificación y tareas a ejecutar para realizar el traslado, con el objetivo de satisfacer las pruebas y requisitos de aceptación.

Durante esta etapa, se mantuvo la necesidad del cumplimiento de plazos para minimizar posibles inoperabilidades del simulador, así como de adherencia a la norma ANSI 3.5 (fidelidad física, condiciones ambientales y de entorno). Además, fue crítico mantener una buena trazabilidad en la fase de desmontaje para asegurar un correcto montaje y asegurar la integridad de paneles, equipos e instrumentos.

La duración de esta etapa fue de 4 meses y engloba las siguientes fases:

1- Planificación

Se hizo un estudio con el objetivo de identificar el alcance real de equipos a trasladar (paneles, mobiliario y consolas del simulador), así como los tipos de cableados a efectuar en los elementos del simulador; como también se identificaron los cuadros eléctricos a trasladar e instalar. Además, se identificó la documentación que debía formar parte de este suministro.

Asimismo, en esta fase, se identificaron las pruebas y los requisitos de aceptación. Se definieron las pruebas para asegurar que el simulador siga cumpliendo los requisitos que exige la normativa aplicable de referencia para el empleo de simuladores en la formación de operadores, reflejada en CCS-017 según RG-1.149, NEI-09-09 y ANSI-ANS 3.5.

Las pruebas se definieron teniendo en cuenta las particularidades del simulador de Almaraz y aprovechando las experiencias previas en el traslado de simuladores. No se realizaron pruebas específicas en origen (ya que el simulador se encontraba funcionando correctamente y se contaba con referencias de comportamiento). En cambio, se realizó un reportaje fotográfico (que se utilizó posteriormente para las comprobaciones en las pruebas de aceptación) que incluía fotografías de todos los paneles con la condición del 100 % de potencia (como prueba del correcto funcionamiento de los elementos, que se utilizaría también para las comprobaciones de fidelidad física), fotos generales de la sala (para posterior comprobación de la disposición de los distintos elementos) y fotos de la parte trasera de los paneles (tanto de conexiones como del estado de los elementos).

2- Desmontaje y desconexión

Para realizar el desmontaje de una forma óptima se tuvo en cuenta principalmente el posterior montaje en la nueva ubicación, tamaño de la posible división de paneles, transporte y la prevención de posibles errores evitando en la mayor medida el recableado.

Antes de iniciar los trabajos de desmontaje y desconexión, se comprobó que todo el cableado de señales y de la interfaz está debidamente etiquetado en ambos extremos con la información de inicio-fin de cableado, dicha información se compiló para poder acceder y verificar en la fase de montaje y conexionado. También se realizó un reportaje fotográfico (previamente explicado).

Todos los equipos que iban a ser desmontados de los propios paneles fueron debidamente etiquetados para su posterior montaje.

En el caso de los armarios *Ovation*, se documentó el detalle de las cabinas y rack de ordenadores de estos sistemas, así como de las conexiones de tarjetas y módulos.

Se realizó el desmontaje, desconexión (en caso necesario) y embalaje de: paneles, equipos, puestos de operación pertenecientes a la sala de control, equipos y mobiliario en la sala de la consola del instructor, cuadro de alimentación principal, equipos informáticos anexos al simulador (incluido el sistema *Ovation*). Además, se embolsó la documentación asociada al simulador, así como los repuestos y material necesario para el mantenimiento.

Se desconectan del orden de 500 cables tanto de instrumentos como de equipos. Un punto importante en esta fase fue la realización de un inventario completo para su posterior reconexión en la nueva ubicación.



Foto 3. Extracción de las consolas.

3- Transporte

Se realizó el transporte desde las instalaciones de Tecnatom (San Sebastián de los reyes) hasta la C.N. Almaraz (Navalmoral de la Mata) de todos los equipos anteriormente citados en la fase de desmontaje y desconexión. En esta fase fue crítico en el transporte de los paneles ya que acarreo las tareas de mayor dificultad, necesitando de un buen estudio y planificación para realizar esta fase con éxito.

Las siguientes tareas fueron las necesarias para el desarrollo de esta fase: extracción de los paneles de las instalaciones hasta el punto acordado con el transportista, el transporte de los paneles y la introducción de estos en el nuevo emplazamiento.

Para poder realizar la extracción y desplazamiento de los paneles hasta el punto de embarque se tuvieron que realizar las siguientes obras/adaptaciones en las instalaciones de Tecnatom: creación de un hueco en la pared del edificio que contenía el simulador y la adaptación con una rampa para facilitar su desplazamiento.

Para el transporte, se identificó el tipo de camión utilizado (medidas-tonelaje) para cada carga y el número de viajes necesarios para realizar el traslado completo.

La introducción de los paneles en el nuevo emplazamiento se tuvo en cuenta en la etapa de construcción del edificio; la puerta de embarque contaba con las dimensiones adecuadas para poder realizar esta tarea, y el edificio fue diseñado con única planta y se encontraba a nivel de acera. Se coordinó entre las dos etapas el montaje del suelo y la entrada de los paneles para anclarlos a las bancadas para que no se obstaculizara ninguna de las dos tareas. Además, se tuvo en cuenta la disposición de los paneles dentro del emplazamiento, para identificar el orden de entrada de dichos paneles dentro del edificio.

Como dato particular, se trasladan 17 paneles, 8 de ellos de grandes dimensiones, de más de 5 metros de largo y 2,5 metros de altura, con un peso aproximado de 2000 kg.



Foto 4. Introducción de los paneles en el nuevo edificio.

4- Montaje y conexionado

Es esta fase se realizó el desembalaje, montaje y conexionado de los diversos equipos anteriormente citados teniendo en cuenta el estudio hecho en el inicio de la fase del traslado del simulador, los registros tomados en la fase de desmontaje y desconexión.

En el caso de los paneles, fue especialmente crítico el su posicionamiento en la nueva ubicación recurriendo a la instalación en bancadas, previamente situadas en el lugar correcto donde deben ir anclados.

5- Puesta en marcha

Una vez que se instaló el simulador en el edificio y a medida que se desembalaron los equipos que forman parte de él, realizando la conexión para su utilización final, se comenzaron a realizar las siguientes pruebas de puesta en marcha:

Inicialmente se llevaron a cabo Pruebas de Integridad y Ubicación, donde se realizó una revisión visual de los diferentes elementos trasladados, comprobando que no se hubieran producido desperfectos durante el desmontaje, traslado y montaje. También se comprobó la colocación en su ubicación original o tal y como se especificó en el documento del proyecto. Estas pruebas se realizaron sobre la sala de control, PPA y PRB, sala de ordenadores y consola del instructor

En las Pruebas Eléctricas, se dispuso de las líneas de fuerza, incluida la de iluminación con respaldo de UPS, para ejecutar una serie de acciones para cada uno de los circuitos del cuadro de gobierno: comprobación de los cuadros, com-



Foto 5. Instalación de los paneles en bancadas.



Foto 6. Conexión del simulador.

probación de tensión en diferenciales y magnetotérmicos, comprobación de la activación mediante los correspondientes pulsadores de cada uno de los contactores y comprobación de la desactivación mediante los correspondientes pulsadores de cada uno de los contactores. También se realizaron pruebas y detecciones de fallo eléctrico en paneles, tanto las comprobaciones de protecciones de corriente alterna como de protecciones de corriente continua.

Durante las Pruebas de Fidelidad Física, se comprobó que los equipos y elementos desmontados en Madrid fueran colocados en su posición original mediante el reportaje fotográfico previo. Se dedicó especial atención a los paneles de alarmas y biestables, comprobando que estaban bien sujetos y en su lugar. Se completaron los formatos que se habían generado en la desconexión de equipos y su posterior reconexión en la nueva ubicación del simulador y se realizaron las mediciones de iluminación según la metodología aplicable.

Posteriormente se validó el Funcionamiento de Equipos Informáticos. En primer lugar, se verificó que los equipos no habían sufrido desperfectos visibles a simple vista. A conti-

nuación, se fueron arrancando ordenadamente los equipos informáticos y comprobando el correcto funcionamiento.

Durante el Conexionado de Redes se comprobó la correcta conexión entre los distintos equipos y redes (realizándolo en paralelo con el punto anterior).

En cuanto a las Señales *hardware*, se realizó un mantenimiento preventivo completo, incluyendo la comprobación de todas las señales del simulador tanto de entrada como de salida.

No se consideró necesario comprobar el direccionamiento de señales de todos los instrumentos del simulador, pero sí se comprobaron todos y cada uno de los desmontados para el traslado, así como el cableado que fue necesario retirar para la separación de los paneles y su traslado. Para ello se recurrió al listado de desmontaje correspondiente. También se dispuso de la consola de mantenimiento para comprobar este direccionamiento y con la posibilidad de uso de la aplicación de la alteración de instrumentos de la consola del instructor. El resto de las señales que no se desmontaron, se consideraron comprobadas a través de las pruebas de señales *hardware* y mediante las posteriores pruebas de operación.

Los dos sistemas *Ovation*, por su importancia y criticidad en el simulador, se probaron en primer lugar de forma independiente y posteriormente de forma integrada con el resto del simulador.

Estas pruebas y resultados fueron archivados como pruebas de conformidad para la aceptación final.

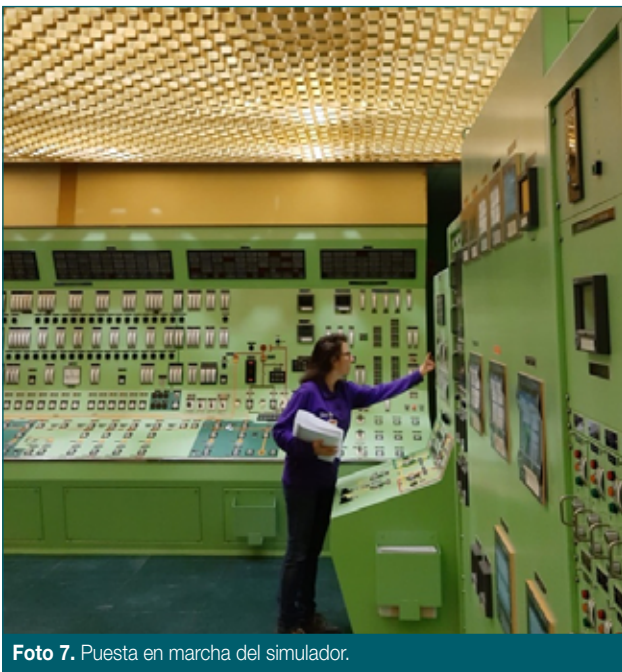


Foto 7. Puesta en marcha del simulador.

6- Pruebas de aceptación

Una vez que se verificó que todas las instalaciones, conexiones y equipos funcionaban correctamente se iniciaron las pruebas de operación del simulador.

Durante las pruebas de operación se realizaron las siguientes comprobaciones: Estabilidad en 3 condiciones iniciales significativas (100 %, Espera Caliente, Parada Fría); Opera-

ciones de bajada de carga desde 100 %; Operaciones de subida de carga desde Espera Caliente; Operaciones de arranque de la Unidad; Transitorios que impliquen operación extensa sobre paneles como disparo del Rx desde 100 % y recuperación de la Unidad, LOCA, SGTR; Puesta en servicio de sistemas o equipos que no lo están en operación normal como TRS, 5DG, PPA y PRB.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Los criterios para la aceptación oficial del suministro se basan en los siguientes aspectos:

- Sala de Control del Simulador operativa, con la correcta posición relativa de paneles, con toda instrumentación instalada y cableados finalizados.
- Todos los equipos y funciones de la sala del Simulador en condiciones de plena operatividad.
- Ninguna discrepancia de impacto alto y medio pendiente.
- El número de discrepancias de impacto bajo abiertos debe ser mínimo y no deben generar perjuicios de consideración en el uso del simulador. Estas discrepancias deben ser solucionadas por el suministrador en el plazo de un mes.
- Toda la documentación asociada al suministro y necesaria para el mantenimiento del Simulador disponible para su repositorio y revisión.

Estos criterios, que se establecieron previamente al comienzo de la etapa de traslado, fueron chequeados y documentados al término de este. Las incidencias de la etapa de Pruebas de Emplazamiento fueron recopiladas y documentadas.

CONTEXTO, RETOS Y DIFICULTADES

El traslado del simulador se inició en un contexto que propiciaba un alto grado de riesgo, coincidiendo con la pandemia COVID-19 en su fase inicial, momento de mayor incertidumbre por el desconocimiento de esta, confluyendo con el proyecto durante todo el desarrollo del proyecto.

El hecho de existir dos etapas (proyectos en sí) que confluyen en el tiempo y espacio que son dependientes entre ellas, supuso una dificultad añadida. Se supieron identificar las interfases entre el proyecto de construcción del edificio y el proyecto del traslado, coordinando las tareas que afectaban a ambas fases, para que no se vieran afectadas y optimizando estos procesos. Además, se une a la complejidad del proyecto la intervención de diferentes subcontratas, con actividades interdependientes entre ellas.

Otro de los retos de este proyecto han sido las actividades realizadas dentro de las instalaciones de la central nuclear de Almaraz, con requisitos específicos para la entrada y salida de materiales, formación y certificación de las subcontratas adicionales y gestión de permisos de trabajo.

Tecnatom ha podido mitigar estos riesgos a través de una buena gestión y control de las distintas subcontratas, actividades y fechas asignadas. El proyecto se concluyó según lo previsto en marzo de 2021, con el simulador listo para entrenamiento, con un balance final muy positivo: el resultado ha sido satisfactorio en términos de calidad, sin desviaciones ni fallos, y los plazos se han cumplido a pesar de las dificultades.■