

SUSTITUCIÓN DE LAS COMPUERTAS DE AISLAMIENTO DE LA CONTENCIÓN SECUNDARIA DE LA CENTRAL NUCLEAR DE TRILLO



CRISTIAN PRIETO CALVO

Ingeniero de Sistemas HVAC
Departamento de Proyectos de Apoyo a Centrales Nucleares Almaraz-Trillo
EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL



JORGE LÓPEZ TANCO

Responsable del Grupo de Ingeniería de Sistemas de HVAC Nucleares
Departamento de Proyectos de Apoyo a Centrales Nucleares Almaraz-Trillo
EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL

En la Central Nuclear de Trillo se ha llevado a cabo la sustitución de las compuertas de aislamiento de la Contención Secundaria al objeto de garantizar la estanqueidad requerida por la normativa KTA 3601 (2005). Este artículo aborda los trabajos de ingeniería realizados identificando los aspectos técnicos más relevantes y ofreciendo una visión global del proceso.

INTRODUCCIÓN

Las compuertas de aislamiento de la Contención Secundaria (Edificio del Anillo) constituyen uno de los componentes más importantes de los sistemas de ventilación de la Central Nuclear de Trillo (C.N. Trillo). Su cierre estanco durante un accidente tipo LOCA permite confinar el edificio y, con el apoyo del Sistema de Extracción de Emergencia, garantizar el mantenimiento de presión subatmosférica evitando dispersión de contaminación y actuando como barrera secundaria de la Contención Primaria (Edificio del Reactor).

El proyecto de sustitución de estas compuertas en C.N. Trillo tuvo su origen en una instrucción técnica del CSN, al objeto de garantizar la estanqueidad requerida por la normativa KTA 3601 (2005).

La gran envergadura del proceso de sustitución, dadas las dimensiones de las antiguas y de las nuevas compuertas, sus interfases, las limitaciones temporales para su montaje (durante Recarga y dentro del ajustado intervalo en que el sistema de ventilación del Edificio del Anillo puede estar parado) así como la coordinación del desarrollo con el suministrador principal (KÜHME), pone en evidencia la complejidad de la modificación realizada para permitir la continuidad de la operación en el medio y largo plazo de la Central.

ESTADO INICIAL DE LA INSTALACIÓN

C.N. Trillo dispone de cuatro compuertas de aislamiento del Edificio del Anillo en las penetraciones asociadas a los conductos de impulsión y extracción de aire del Sistema de Ventilación del edificio. Cada penetración dispone de dos compuertas en serie, una dentro del Edificio del Anillo y otra en el Edificio Auxiliar (contiguo al Edificio del Anillo) (Figura 1).

Las antiguas compuertas eran rectangulares de cierre mediante lamas de tipo puerta provistas de actuadores neumáticos.

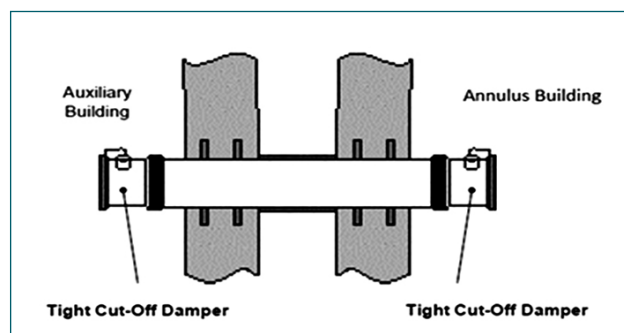


Figura 1. Esquema de penetración de ventilación con sus respectivas compuertas de aislamiento.

Su soportado consiste en una estructura en forma de jaula, formada por perfiles tubulares y rigidizadores transversales soldados al conducto que atraviesa los muros del Edificio del Anillo y del Edificio Auxiliar, situándose las compuertas de aislamiento en los extremos. Dichas compuertas se sitúan en el interior de habitáculos de ajustadas dimensiones que sirven como *plenums* de ventilación.

Para el control se dispone de una placa neumática con los siguientes elementos: válvula solenoide, presostato y válvula antirretorno, además de depósitos acumuladores de aire comprimido.

En concreto, cada acumulador de reserva suministra el aire para realizar la actuación de las compuertas en caso de fallo de alimentación eléctrica o en caso de pérdida de suministro de aire comprimido, el cual es detectado por medio de un presostato individual que transmite una señal para desenergizar la válvula solenoide correspondiente, pasando la compuerta correspondiente a la posición cerrada (posición de fallo seguro).

Las antiguas compuertas también disponían de mandos manuales de socorro que permitían el movimiento libre de las lamas de las compuertas, despresurizando el aire contenido en los pistones a través de los tapones de la placa base. De esta forma el movimiento se independizaba del sistema de aire comprimido.

Las compuertas y sus componentes están clasificados como componentes Relacionados con la Seguridad y Categoría Sísmica I. Las solenoides de los correspondientes actuadores tienen alimentación de seguridad desde barras de servicio ininterrumpido.

NUEVAS COMPUERTAS Y PROYECTO DE SUSTITUCIÓN

En primer lugar, se desarrolló una detallada especificación técnica que recogiese todos los requisitos que debían cumplir las nuevas compuertas. Tras salir a petición de oferta se evaluaron diferentes alternativas optándose por un modelo innovador en el sector nuclear diseñado por el suministrador KÜHME.

KÜHME suministró cuatro (4) compuertas modelo Multi-PKIII/S (Figura 2), cada una de ellas formada por una matriz compuesta de un conjunto de seis (6) válvulas DN600



Figura 2. Nuevas compuertas de aislamiento del Edificio del Anillo.

de tipo mariposa, en disposición 2 x 3 (filas x columnas), instaladas en una caja de acero de dimensiones 1.800 x 1.500 mm y accionadas por pistones neumáticos de doble efecto. Las principales características son las siguientes:

- Caudal total 83.650 m³/h.
- Resistencia estructural de 128 mbar.
- Temperatura de operación normal: 10-40°C. Resistencia mecánica hasta 100°C. Humedad relativa del 20 al 90%.
- Dosis integrada en accidente 8,4 Rad (gamma) / 1,69E+3 Rad (beta).

Se solicitó al suministrador que fabricase una compuerta adicional de las mismas dimensiones y características que las anteriores para someterla a ensayo sísmico, y que fue utilizada para la formación del personal de mantenimiento encargado de su montaje y posteriores pruebas.

Debido a las limitaciones en el espacio disponible (Figura 3) para el acceso, transporte y montaje, se requirió concebir una construcción modular para las nuevas compuertas. La matriz de la compuerta se divide en dos partes de forma que se facilitó su transporte por la planta a cada uno de los cubículos del Edificio Auxiliar y del Edificio del Anillo. En concreto para estos últimos, se requirió trasladar cada parte de la compuerta a través del canal de ventilación que comunica ambos edificios una vez fueron desmontadas las antiguas compuertas. Fue necesaria la formación del personal para el ensamblado de las partes, a fin de garantizar que, durante la recarga, dentro del ajustado intervalo en que el sistema de ventilación del Edificio del Anillo puede estar parado, se pudieran disponer de las cuatro compuertas totalmente sustituidas y operables.

La compuerta en cada una de sus lamas circulares dispone de una junta EPDM de doble labio para garantizar la estanqueidad del asiento al cierre de las mismas, con un nivel de cero fugas (*bubble tight*). También se dispone de junta EPDM de doble labio en la unión de la matriz superior e inferior y en la brida de unión al marco suministrado por KÜHME, formando un canal que puede ser probado desde el exterior. Cada una de las conexiones de prueba de fugas es individual (Figura 4).

Cada compuerta incluye todos los accesorios requeridos para su satisfactoria indicación de estado: dos finales de carrera para cada una de las válvulas DN600. Se dispusieron cajas de conexionado que permitieran integrar las señales de los diferentes finales de carrera.

El tiempo de apertura y cierre de las compuertas se estableció de modo que con la actuación de una solenoide cerrasen las seis válvulas que forman el conjunto, en un máximo de 10 segundos.

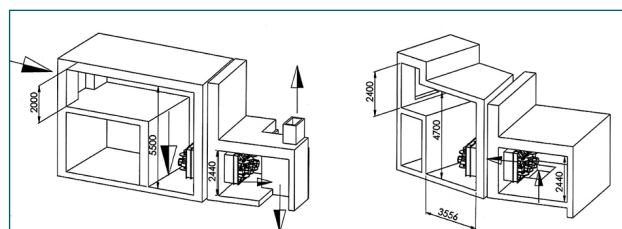


Figura 3. Croquis del plenum de ventilación. Sistema de impulsión y de extracción.

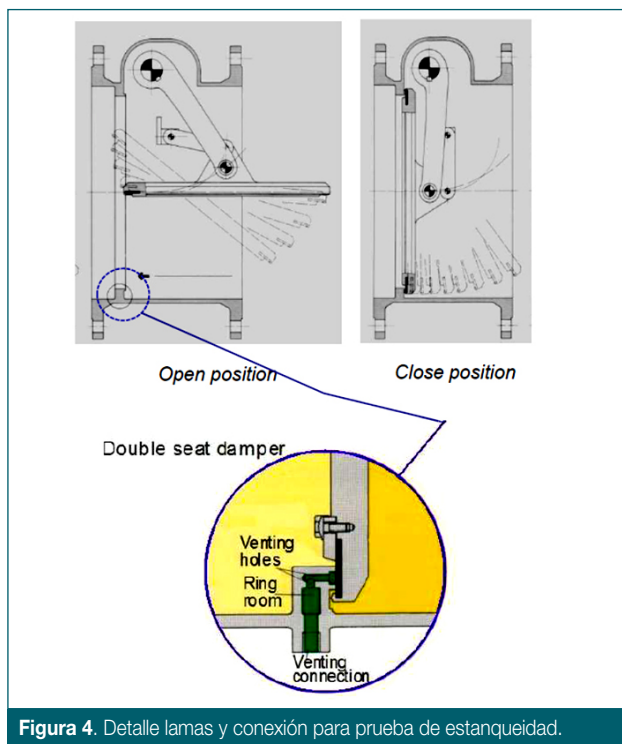


Figura 4. Detalle lamas y conexión para prueba de estanqueidad.

Se desarrolló una integración total de los nuevos actuadores neumáticos de las compuertas con el sistema de aire comprimido de planta (acumuladores, válvulas solenoides y presostatos), manteniéndose la lógica de control ante los distintos sucesos postulables (LOCA, pérdida de corriente exterior y sismo).

Se realizaron los oportunos cálculos para comprobar que el consumo de aire de los actuadores de las nuevas compuertas fuera compatible con el volumen disponible en los depósitos acumuladores de aire existentes. No obstante, se tuvo que modificar el trazado de las líneas de aire comprimido y tubings de acometidas de cable eléctrico para la conexión de los nuevos actuadores y sus elementos auxiliares junto con los componentes del circuito neumático existente.

La nueva placa neumática que contiene los elementos auxiliares a conectar con el circuito neumático existente (válvulas de bola, válvula de cuatro vías y filtro regulador) se instaló en pared (Figura 5) reduciendo los esfuerzos sísmicos a los que estaban sometida, ya que la antigua se situaba sobre la estructura de jaula de la compuerta.



Figura 5. Detalle de placas neumáticas.

Para el accionamiento manual de emergencia frente a atrapamientos, se diseñó un sistema formado por dos (2) válvulas de bola enclavadas y una (1) válvula de 4 vías. Dicho sistema inhibe cualquier señal sobre la solenoide y permite el accionamiento manual local de la compuerta. Las válvulas neumáticas que permiten el accionamiento manual de las compuertas, disponen de enclavamiento mecánico con el fin de evitar cambios de posición de la compuerta no permitidos.

Se comprobó que el funcionamiento de las nuevas compuertas sería compatibles con las condiciones de presión y calidad de aire del sistema de aire comprimido de la planta. La acometida de los actuadores incluye un filtro-regulador ajustado a la presión aceptable para el funcionamiento de los actuadores.

Se realizaron cálculos de dinámica de fluidos computacional para asegurar que la restricción al paso del aire debida a las nuevas compuertas resultara compatible con el adecuado funcionamiento de los sistemas de ventilación dado que a través de dichas compuertas discurren, en su totalidad, los caudales de aire de impulsión y de extracción del Edificio del Anillo (Figura 6).

Fue necesario modificar la estructura del soportado existente para adaptarlo a las nuevas compuertas y se realizaron cálculos por elementos finitos tanto para comprobar su capacidad como para determinar la amplificación sísmica a considerar en los ensayos vibratorios en mesa para la compuerta prototipo.

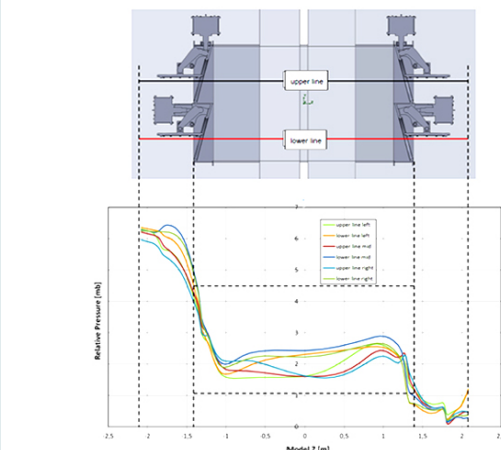
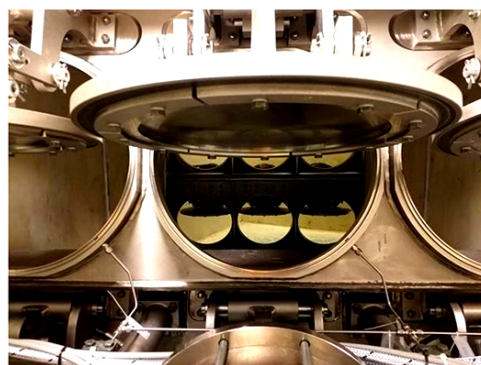


Figura 6. Detalle de estudios de cálculos de pérdida de carga a través de las compuertas.

Durante la fase de diseño de las compuertas se realizaron, adicionalmente, análisis por elementos finitos con objeto de garantizar que se superaría el ensayo en mesa durante el cual debían demostrar su correcta operabilidad durante y después del sismo (Figura 7).

El espectro sísmico bajo el cual KÜHME realizó el ensayo de dichos componentes es envolvente del espectro requerido conforme a los factores de amplificación que introduce la estructura existente junto con el nuevo peso de las compuertas.

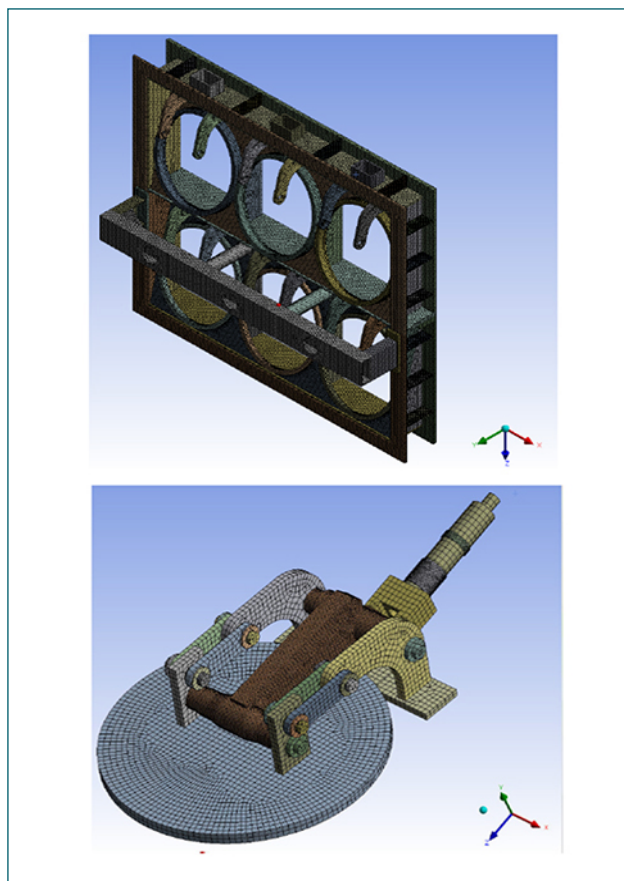


Figura 7. Detalle modelización por elementos finitos.

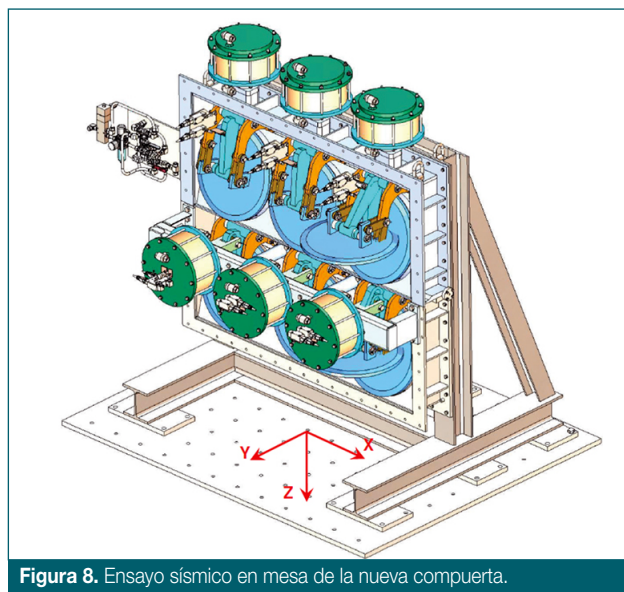


Figura 8. Ensayo sísmico en mesa de la nueva compuerta.

PRUEBAS

Como parte del proyecto se desarrolló un completo programa de pruebas a realizar tanto en fábrica como en emplazamiento, que permitieron verificar las adecuadas prestaciones de las compuertas así como la funcionalidad integrada de la instalación (estanqueidad, apertura/cierre, ensayos dinámicos, tiempos de actuación, señales lógicas, etc.).

Pruebas realizadas en Fábrica

En la compuerta suministrada para el ensayo sísmico y en el resto de compuertas del suministro (cuatro unidades), se realizaron las siguientes pruebas principales: estanqueidad en asiento y marcos, pruebas cíclicas, prueba de apertura y cierre dinámico y prueba de capacidad estructural.

Las pruebas de fugas en asiento y marco, se realizaron antes y después del ensayo sísmico (Figura 8), con el fin de verificar que ante un sismo no se pierde estanqueidad en el conjunto.

Pruebas realizadas en Planta

Una vez fue ejecutada la modificación, y con objeto de validar el montaje, se realizaron las siguientes pruebas:

- Comprobación de apertura y cierre bajo señal manual y automática desde Sala de Control.
- Pruebas de estanqueidad en asiento y marco (incluyendo el canal de separación entre la matriz superior e inferior que constituye el conjunto de las compuertas).
- Comprobación del accionamiento manual de emergencia frente a atrapamientos.
- Comprobación de los adecuados caudales de aire (impulsión y extracción) a través de las compuertas con el sistema de ventilación del Edificio del Anillo en funcionamiento.
- Comprobación de la capacidad de los acumuladores de aire comprimido para llevar las compuertas a posición de fallo seguro (cierre).



Figura 9. Montaje de nueva compuerta de aislamiento del Edificio del Anillo.

CONCLUSIONES

El proyecto realizado ha permitido a la Central Nuclear de Trillo disponer, en plazo, de nuevas compuertas de aislamiento del Edificio del Anillo que cumplen con la Instrucción Técnica del Consejo de Seguridad Nuclear para garantizar un resultado satisfactorio en las pruebas de estanqueidad.

Con la modificación realizada, se ha dotado de mayor robustez al sistema de aislamiento del Edificio del Anillo mediante compuertas de cero fugas y con un diseño adecuado para el buen funcionamiento de los sistemas de ventilación del edificio.

Con todo ello se ha desarrollado una modificación de vital importancia para C.N. Trillo y en un plazo de tiempo óptimo. Se destaca la dificultad añadida que supuso la pandemia

global por Covid-19 dado que los principales trabajos de montaje tuvieron lugar durante el mes de recarga de mayo de 2020 (Figura 9).

AGRADECIMIENTOS

A la colaboración del personal de C.N. Trillo por su gran implicación para la correcta implantación y pruebas de las compuertas; al fabricante KÜHME por la calidad de los equipos suministrados; y al personal de TAMOIN por la excelente ejecución de la modificación de diseño durante la recarga de 2020.

REFERENCIAS

KTA 3601 (11/2005) Ventilation Systems in Nuclear Power Plants (Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken).■