

II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS
Investigaciones y Estudios, Ensayos y Modelos de Cálculo



Capacidad Última de una Contención Nuclear de Hormigón Pretensado
Francisco Martínez Pr. Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Joaquín Martí Pr. Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
José Luis San Vicente. Ingeniero de Caminos, C. y P.
David G. Alcántara. Ingeniero de Caminos, C. y P.

1. INTRODUCCIÓN

El consorcio nuclear japonés Nuclear Engineering Corporation (NUPEC) y el organismo regulador americano Nuclear Regulatory Commission (NRC) están financiando un programa conjunto de investigación sobre contenciones nucleares. Como parte de dicho programa una contención de hormigón pretensado se ensayó frente a sobrepresiones internas hasta alcanzar la rotura funcional (pérdida de estanqueidad) durante el año 2000 y, finalmente, hasta la rotura estructural (colapso catastrófico) en octubre de 2001. El experimento tuvo lugar en el Laboratorio Nacional Sandia en Albuquerque (Nuevo Méjico).

El modelo objeto del ensayo es una réplica, a escala 1:4, de una contención típica de agua a presión (PWR) japonesa. Los objetivos planteados para la realización del ensayo de presurización interna fueron básicamente tres. En primer lugar, obtener los datos de la respuesta estructural frente a cargas superiores a las de diseño, que permitiesen la verificación y validación de las herramientas analíticas de predicción. En segundo lugar, determinar la capacidad real de la contención frente a sobrepresiones accidentales. Finalmente, comprobar la respuesta y el modo de rotura de contenciones pretensadas como la ensayada frente a este tipo de solicitaciones accidentales.

Con el fin de cumplimentar el primer objetivo planteado, se propuso un ejercicio de predicción analítica con anterioridad a la realización de los ensayos, designado en el mundo anglosajón como “Round Robin”. Un total de 17 organizaciones de todo el mundo participaron en dicho ejercicio de predicción, entre las que Principia figuraba como único representante español.

Durante la fase de construcción de la contención se puso a disposición de las organizaciones participantes un mismo paquete básico de información para sus respectivos análisis. La información consistía en los planos constructivos de la contención de hormigón pretensado, así como las propiedades de los materiales constituyentes de los distintos elementos estructurales. Cada organización trabajó de manera independiente empleando

sus propias herramientas numéricas de análisis para predecir los efectos (tensiones, deformaciones, desplazamientos, etc) en 55 puntos especificados del modelo, las predicciones se enviaron en julio de 1999, un año antes del inicio de los ensayos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA CONTENCIÓN

La contención de hormigón pretensado corresponde a un modelo a escala 1:4 de la contención de la Unidad 3 de la central nuclear de agua a presión en Ohi (Japón) cuya potencia es de 1180 MW. La contención Ohi-3 es una estructura cilíndrica de hormigón pretensado con una cúpula semiesférica y dos pilastras verticales para el anclaje de los tendones de los cables de pretensado.

La estructura a escala tiene un diámetro interior de 10,75 m y una altura de 16,40 m. El espesor de la pared cilíndrica es de 32,5 cm, mientras que en la cúpula esférica es de 27,5 cm. Todo el interior de la contención se encuentra recubierto por una camisa de acero de 1,6 mm.

Se reprodujeron todos los aspectos geométricos representativos de la contención, particularmente las penetraciones en las que se ubican las compuertas de equipos y de acceso de personal. Asimismo, los elementos estructurales tales como las armaduras y los tendones de pretensado se han escalado en la medida de lo posible. Aunque no se intentó preparar un hormigón a escala, se ha limitado el tamaño máximo del árido a 10 mm para facilitar su puesta en obra.

El modelo se instrumentó con un total de 1493 canales de adquisición de datos, consistentes en galgas extensométricas, transductores de desplazamientos, células de carga, así como sensores de presión y temperatura. Además de estos sistemas discretos de adquisición, se dispuso de un sistema de captación acústica y diversas cámaras de vídeo.

3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El modelo de la contención fue sometido a distintas pruebas de presurización cuasiestática hasta llegar a la rotura funcional en el ensayo de estado límite. El medio empleado para llevar a cabo la presurización fue nitrógeno a temperatura ambiente. Todas las pruebas de presurización se efectuaron de manera cuasiestática, aplicando gradualmente la presión y

manteniéndola constante en cada incremento de carga hasta que la respuesta del modelo se equilibrase.

Las pruebas de presurización efectuadas durante el año 2000 fueron tres. La primera es la que se denomina “prueba de funcionalidad del sistema” (SFT) en la que se aplica el 10% de la presión de diseño (0,04 MPa) en dos etapas. El objetivo, como su mismo nombre indica, es verificar la funcionalidad de la contención y detectar posibles fugas originadas por defectos de construcción.

La segunda prueba se subdivide en dos fases que se denominan, respectivamente, “prueba de integridad estructural” (SIT) y “prueba integrada de tasa de fugas” (ILRT). En la primera fase el modelo se presuriza en cinco etapas hasta alcanzar la presión de diseño (0,44 MPa). Una vez alcanzada, se inicia la segunda fase, en la que el modelo se despresuriza hasta alcanzar el 90% de la presión de diseño (0,35 MPa) y se mantiene un mínimo de 4 horas antes del inicio de la medición de la tasa de fugas que dura 24 horas.

La tercera y última prueba se denomina de “estado último” (LST). En este caso la presión se incrementa hasta alcanzar la rotura o el límite del sistema de presurización, que corresponde a 5,2 veces la presión de diseño (2,0 MPa). La rotura del modelo puede ser estructural (que corresponde a una rotura catastrófica de la contención) o funcional; esta última rotura ocurre cuando el sistema de presurización no puede mantener la presión como consecuencia del exceso de fugas cuyo límite por día se fija en 10 veces el volumen interior de la contención.

En septiembre de 2000 se efectuó la prueba de estado último y la contención alcanzó la rotura funcional sin que se produjesen daños estructurales significativos. Como consecuencia de ello, el alcance del programa experimental se prorrogó con el fin de efectuar una prueba adicional que condujera a la rotura estructural de la contención. Esta prueba adicional de presurización implicaba el sellado con resina de la camisa interior para efectuar la presurización con agua. El ensayo hasta la rotura catastrófica de la contención tuvo lugar el pasado mes de octubre de 2001.

4. ANÁLISIS DE PREDICCIÓN

Principia ha sido la única organización española de las 17 que ha participado en el ejercicio de predicción. Principia cuenta con una amplia experiencia en cálculos de capacidad última de varias contenciones nucleares españolas. Desde este punto de vista el programa experimental constituía una ocasión excepcional de contrastar y verificar las metodologías y los procedimientos de cálculo aplicados en este tipo de estructuras. Con dicho fin, en julio de 1999 se presentaron los resultados de predicción en la mayor parte de los puntos solicitados.

El modelo de cálculo corresponde a un modelo de elementos finitos que contempla los aspectos estructurales más significativos de la contención, tales como las armaduras, tendones de pretensado horizontales adherentes y tendones verticales no adherentes. Asimismo se representaron todos los materiales de la manera más realista posible. El acero de la camisa, las armaduras activas y pasivas se ha modelado como materiales elastoplásticos con endurecimiento por deformación. El hormigón se ha representado con un modelo que contempla la fisuración y la plastificación por compresión. Los cálculos se efectuaron con el programa comercial de elementos finitos ABAQUS/Standard (HKS, 1999).

Los resultados obtenidos y su contraste con los resultados experimentales han sido bastante satisfactorios.

5. CONTENIDO DE LA PONENCIA

La ponencia presenta una descripción del programa experimental de ensayos, mostrando los resultados más relevantes del modo de fallo de la contención. Asimismo se presenta la comparación de los resultados de la predicción numérica con los obtenidos experimentalmente. Finalmente se analizan las diferencias encontradas discutiendo aquellos aspectos de la modelización que resultan más significativos para reproducir el comportamiento estructural.