

MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y PRUEBAS

APLICACIÓN DE CODE CASES DE ASME PARA EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE DEFECTOS EN TUBERÍAS Y COMPONENTES DE CLASE NUCLEAR

FRANCISCO JAVIER CAMPAÑA MARTÍN
TECNATOM

CARLOS CUETO-FELGUEROSO GARCÍA
TECNATOM

DAVID FLÓREZ DEL OLMO
TECNATOM

MARTA BALADÍA OLMEDO
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

Los *Code Case* de ASME BPVC (*Boiler and Pressure Vessel Code*) aportan métodos o guías para aquellos casos no cubiertos por el propio Código. Concretamente, en el área de evaluación y reparación de tuberías de Clase Nuclear 2 y 3, Tecnatom ha desarrollado unas guías particularizadas para las Centrales Nucleares de Almaraz y Trillo para la aplicación de dichos *Code Case*. Las principales ventajas de disponer de estas guías es la reducción del tiempo de respuesta y la selección del mejor método de evaluación/reparación aplicable.

INTRODUCCIÓN

En caso de detectar una degradación en tuberías o componentes de Clase Nuclear es necesario realizar una evaluación y/o reparación del área degradada. La Sección XI del Código ASME provee métodos de evaluación y de reparación de áreas degradadas. Para algunas situaciones que no están cubiertas por el Código ASME, se publican *Code Cases* que aportan métodos complementarios de evaluación y/o reparación. Los métodos de evaluación y reparación de los *Code Cases* están orientados a defectos detectados durante la operación (normalmente defectos pasantes que producen una fuga), de manera que la planta pueda seguir operando hasta la siguiente recarga programada. Además, los *Code Cases* de reparación son, en la mayoría de los casos, para reparaciones temporales, cuya validez suele estar limitada hasta la siguiente recarga, mientras que los métodos de reparación de ASME XI son permanentes.

Tecnatom ha aplicado los métodos de evaluación de la Sección XI del Código ASME y de los *Code Cases* a distintos componentes de centrales nucleares españolas. Además, ha desarrollado guías para la evaluación y reparación de tuberías de Clase Nuclear 2 y 3 de moderada energía, particularizadas para las centrales nucleares de Almaraz y Trillo.

Dependiendo del tipo de degradación y del tipo de sistema afectado (su clasificación como Clase Nuclear 1, 2 o 3 y según la temperatura y presión de operación como moderada o alta energía) hay distintos métodos de evaluación y reparación que pueden ser aplicados. Empleando las guías y aplicaciones desarrolladas por Tecnatom para la evaluación y reparación de áreas degradadas se han podido dar soluciones de forma rápida y eficiente a distintas centrales nucleares españolas.

En esta ponencia se presenta el desarrollo de las guías de aplicación de los *Code Case*, así como dos ejemplos en los

que han sido aplicadas para la evaluación y reparación de las líneas afectadas.

DESARROLLO DE LAS GUÍAS DE APLICACIÓN

Los métodos de evaluación y de reparación para componentes de Clase Nuclear 1, 2 y 3, se encuentran en la Sección XI del Código ASME, en los artículos IWA/IWB/IWC/IWD-3000 (evaluación) e IWA-4000 (reparación/sustitución). En dichos artículos se distingue entre las distintas clasificaciones de Clase Nuclear, pero no entre alta o moderada energía.

De acuerdo con el *Code Case* N-513-4 se consideran líneas de moderada energía aquellas cuya temperatura de operación no supere 200 °F (93 °C) y cuya presión máxima de operación no supere 275 psig (presión relativa de 1,9 MPa o 19 bar).

Para el caso de sistemas de tuberías de Clase 2 y 3, de moderada energía, se han desarrollado varios *Code Cases* para la evaluación y la reparación de dichas líneas que son más permisivos y dan más opciones que las que se incluyen en la Sección XI de ASME.

Por ejemplo, se permite la evaluación temporal de degradaciones de la pared interior, incluyendo indicaciones pasantes, como consecuencia de uno o varios fenómenos de degradación como fatiga, corrosión bacteriológica (*Microbiologically Influenced Corrosion*, MIC) y corrosión bajo tensión (*Stress Corrosion Cracking*, SCC). Por tanto, podría ser temporalmente aceptable una fuga en un sistema de Clase 2 y 3 de moderada energía, verificando la integridad estructural de la tubería y que la tasa de fuga es aceptable. Generalmente el periodo para el cual un defecto pasante podría ser aceptable es como máximo hasta la siguiente recarga de combustible.

En cuanto a los métodos de reparación, se permite el empleo de recargue de material (*Weld overlay*), la colocación de una camisa de refuerzo o la colocación de una placa de refuerzo en la zona degradada, que son métodos no permitidos por la Sección XI de ASME.

Los *Code Cases* para los cuales se han desarrollado las guías de aplicación, se muestran en la Tabla 1. Estos *Code Cases* son aplicables a tuberías de moderada energía de Clases 2 y 3.

Las guías desarrolladas por Tecnatom constan de un procedimiento particularizado para la planta en el que se indican los pasos a seguir en caso de detectar una indicación. En dicho procedimiento se combina la aplicación de la Sección XI de ASME con la aplicación de los *Code Cases*. Por ejemplo, en el *Code Case* relativo a la evaluación de defectos, se indican modificaciones a las ecuaciones de ASME XI para la evaluación de defectos pasantes.

En las guías de aplicación también se incluyen las propiedades de los materiales necesarias para la evaluación de defectos. Para ello se parte de un listado de las líneas de moderada energía de la planta, en el que se incluyen las dimensiones y los materiales de las tuberías, así como las temperaturas y presiones de operación (o en su defecto de diseño). Todos estos datos facilitarán la aplicación de las guías en caso de detectar algún tipo de degradación.

Otro aspecto importante de las guías es el estudio de aplicabilidad de los distintos métodos de reparación que se realiza de forma particularizada para las líneas de Clase 2 y 3 de moderada energía de la planta. En este caso se estudian los prerrequisitos y los requisitos de instalación, de diseño, de examen y de las inspecciones en servicio. También se incluyen las condiciones que requiere el CSN para la aplicación de los *Code Cases* en la planta objeto de estudio, en caso de haberlas. De esta forma, se puede determinar de forma más eficaz si los métodos de reparación son aplicables a la línea en la que se ha localizado el defecto.

También es relevante el estudio que se realiza para determinar el método de cualificación del procedimiento de soldadura. En función del grupo de material, el espesor y el contenido en carbono, puede ser necesario o no hacer tratamiento térmico postsoldadura. Por otra parte, los materiales pueden estar requeridos o no a ensayos de impacto. Estos y otros aspectos determinan las variables del procedimiento de soldadura que es necesario controlar para su cualificación.

En resumen, sin el desarrollo de las guías de evaluación y reparación, la aplicación de los *Code Cases* no es directa. Por tanto, para poder dar soluciones de forma rápida y eficiente a los distintos tipos de degradaciones que puedan surgir, se requiere del estudio previo y del desarrollo de las guías de aplicación particularizadas para la planta.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Evaluación de degradación pasante

Durante una prueba de presión se detecta una fuga en el cuerpo de una válvula, en la zona cilíndrica que conecta con la tubería horizontal, a 30 mm de la soldadura. La línea en la que se detecta el defecto es de Clase 2, por lo que podría ser aplicable el CC-N-513.

La evaluación temporal de indicaciones en líneas de Clases 2 y 3 de moderada energía, de acuerdo con el CC-N-513, consta de las siguientes etapas:

- Verificación de la aplicabilidad del *Code Case*.
- Caracterización de la indicación.
- Evaluación de la indicación acorde con su caracterización.
- Realización de inspecciones adicionales.

En el momento en que se realizó la evaluación de este defecto pasante se aplicó el CC-N-513-3, puesto que el uso del CC-N-513-4 no había sido aprobado por el CSN en ese momento.

El primer punto que hay que verificar es la aplicabilidad del CC y para ello se comprueba que la temperatura y la presión de operación del componente cumplen los criterios de líneas de moderada energía. En este caso el poro se localiza en el cuerpo de la válvula, pero cerca de la soldadura y en la zona cilíndrica que conecta con la tubería. Aunque el CC-N-513-3 indica que no es aplicable a válvulas, la zona en la que aparece el defecto es una zona que, por su geometría, puede considerarse como tubería. Además, existe experiencia operativa de plantas de Estados Unidos donde la NRC ha aceptado el uso del N-513-3 en esta zona de las válvulas.

Tras la detección de la fuga, se procedió a la caracterización de la degradación: se realizaron medidas por ultrasonidos para determinar la tipología y el tamaño del defecto y además realizar una medida de espesor de la zona adyacente a la fuga.

El examen por ultrasonidos de la zona indica que se trata de un defecto volumétrico (poro) pasante de aproximadamente 0,5 mm de diámetro en el exterior y menor de 1,5 mm en la base, descartándose la existencia de un defecto plano tipo grieta. Las mediciones del espesor en torno al poro indican que no hay pérdida generalizada de espesor en la tubería (Figuras 1 y 2).

El *Code Case* presenta dos métodos de evaluación para defectos no planos pasantes: el método del área refuerzo y la evaluación como dos defectos planos proyectados en dirección axial y circunferencial.

Con el método del área de refuerzo, el agujero pasante se idealiza como un agujero de diámetro constante (diámetro

Code Case	Title
CC-N-513-4	Evaluation Criteria for Temporary Acceptance of Flaws in Moderate Energy Class 2 and 3 Piping.
CC-N-661-2	Alt. Requirements for Wall Thickness Restoration of Class 2 and 3 Carbon Steel Piping for Raw Water Service.
CC-N-786-1	Alternative Requirements for Sleeve Reinforcement of Class 2 and 3 Moderate-Energy Carbon Steel Piping.
CC-N-789-1	Alternative Requirements for Pad Reinforcement of Class 2 and 3 Moderate Energy Carbon Steel Piping For Raw Water Service.
CC-N-504-4/ASME XI App. Q	Alternative Rules for Repair of Class 1, 2, and 3 Austenitic Stainless Steel Piping, Section XI, Division 1.

Tabla 1. *Code Cases* de ASME XI relativos a evaluación y reparación de líneas de moderada energía.



Figura 1. Foto de la zona degradada.



Figura 2. Detalle de la localización del poro con respecto a la soldadura.

ajustado, d_{adj}) en el cual debe satisfacerse que el espesor remanente sea superior a un determinado valor de espesor (espesor del ligamento remanente $t_{c,avg}$) (Figuras 3 y 4).

En este caso concreto se comprobó que el diámetro del poro era inferior al diámetro ajustado y que el espesor medido mediante ultrasonidos en la zona del poro es superior al espesor del ligamento mínimo calculado, verificando la integridad estructural del componente.

Adicionalmente, el orificio se evaluó como dos defectos planos pasantes, uno axial y otro circunferencial (Figura 5).

Las longitudes admisibles de los defectos pasantes axial y circunferencial se determinan variando el espesor t_{adj} (Figura 3) entre el espesor de la tubería t_{nom} y el espesor mínimo t_{min} .

En este caso, se ha supuesto que el defecto volumétrico es cilíndrico y de 1,5 mm de diámetro, lo que es conservador dado que el diámetro medido del poro varía entre 1,5 mm (por el interior) y 0,5 mm (por el exterior) de diámetro. Por ello, la longitud tanto del defecto axial como del circunferencial a evaluar es 1,5 mm.

Asimismo, el espesor medio de ligamento remanente $t_{c,avg}$ sobre el área degradada limitada por l_{axial} y l_{circ} deberá satisfacer la ecuación (9) del Code Case. Dicho requisito se satisface dado que los espesores mínimos medidos en las

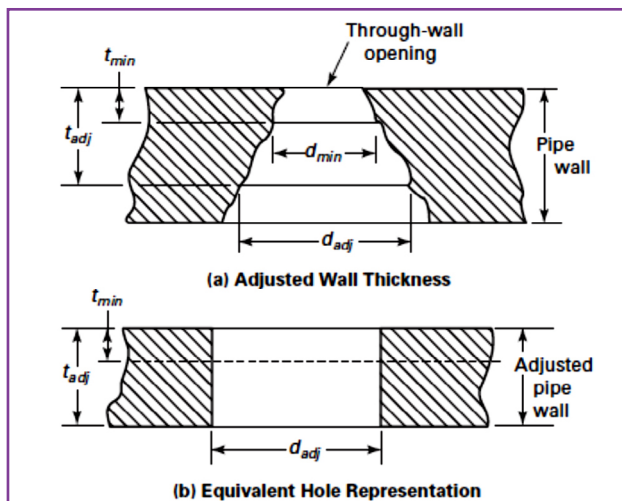


Figura 3. Representación del espesor ajustado y del diámetro equivalente del orificio.

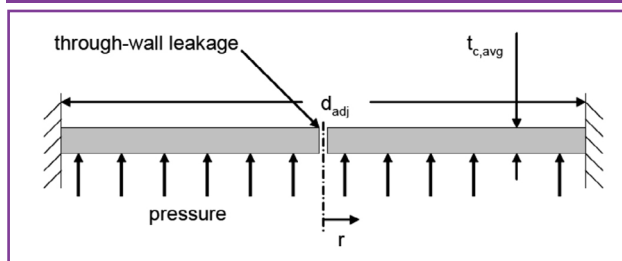


Figura 4. Representación esquemática del espesor medio remanente.

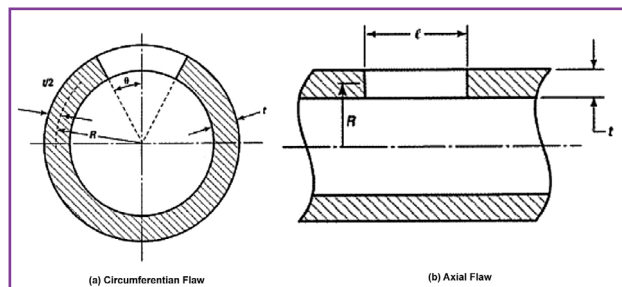


Figura 5. Geometría de grietas pasantes: circunferencial (a) y axial (b).

celdas adyacentes al poro son mayores que $t_{c,avg}$. Asimismo, en el análisis de los defectos planos se supondrá que el espesor de la sección es igual a $t_{c,avg}$.

La evaluación se realiza siguiendo el Apéndice C de la Sección XI del Código ASME. El defecto plano axial de 1,5 mm de longitud en una tubería de espesor $t_{c,avg}$ es aceptable ya que para todos los Niveles de Servicio satisface que la longitud del defecto es menor que la admisible.

$$l_{detectada} < l_{allow}$$

En cuanto a las inspecciones adicionales, en caso de detectarse una indicación, el CC-N-513-3 requiere realizar una inspección adicional volumétrica o por medidas físicas para determinar la degradación en el sistema afectado.

Se deberá realizar una evaluación de ingeniería para identificar las localizaciones más susceptibles. Se inspeccionará una muestra de al menos cinco, y si son menos de cinco,

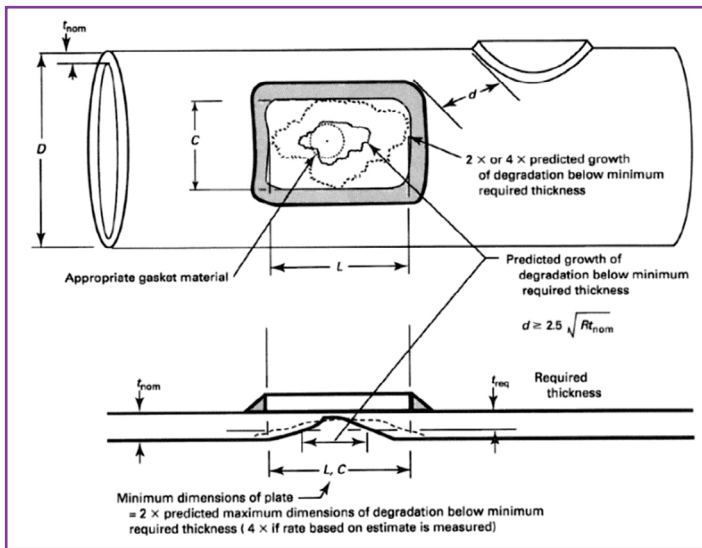


Figura 6. Placa de refuerzo para presión.

todas las localizaciones más susceptibles y accesibles en el plazo de 30 días desde la detección de la indicación. Si se detectara una nueva indicación, se inspeccionará otra muestra del mismo tamaño que la anterior.

El proceso se repetirá para cada muestra en el plazo de 15 días hasta que no se detecte ninguna indicación significativa, o hasta que todas las localizaciones susceptibles y accesibles hayan sido examinadas.

Reparación de degradación pasante

En este caso se muestra el proceso seguido para el diseño de una placa de refuerzo de acuerdo con el CC-N-789 para la reparación de un defecto pasante con fuga en un codo de una línea de 8" de un sistema de Clase 3 (Figura 6).

La reparación temporal de defectos pasantes en líneas de Clases 2 y 3 de moderada energía, de acuerdo con el CC-N-789, consta de las siguientes etapas:

- Verificación de la aplicabilidad del Code Case.
- Caracterización de la indicación.
- Diseño de la placa de refuerzo.
- Exámenes de aceptación.
- Prueba de presión.
- Monitorización en servicio.

Primeramente, se verifica que la línea es Clase 2 o 3 y se comprueba que la temperatura y la presión de operación del componente cumplen los criterios de líneas de moderada energía.

Después es necesario realizar una medición de espesores mediante ultrasonidos en la zona degradada para determinar las dimensiones mínimas que deberá tener la placa de refuerzo. En este caso se determina que el espesor mínimo requerido para esta línea concreta es de 5,6 mm, lo que determina las siguientes dimensiones de la placa de refuerzo: 31 mm en sentido contrario al flujo; 45 mm en el sentido del flujo; 29,5 mm a 90° en sentido horario con respecto a la dirección del flujo; 42,5 mm a 270° con respecto a la dirección del flujo.

En la fase de diseño de la placa es necesario determinar también el espesor de la misma, así como verificar que

las tensiones en la soldadura son admisibles. Para ello se realiza un análisis de tensiones siguiendo los requisitos del CC-N-789. En este caso concreto se comprueba que con un espesor de placa de refuerzo igual al espesor mínimo de 5,6 mm, se verifican todos los límites tensionales.

La soldadura, una vez completada, será examinada por líquidos penetrantes o partículas magnéticas y deberá satisfacer los estándares de aceptación de ND-5300 de la Sección III del Código ASME.

En cuanto a la prueba de presión, se realiza una prueba de fugas de acuerdo con IWA-5000 antes de o como parte de la vuelta a servicio.

Por último, de acuerdo con el CC-N-789, el refuerzo a presión se monitorizará mensualmente para controlar la presencia de indicios de fuga. Si los resultados de la monitorización detectan fugas o indican que los márgenes estructurales requeridos no se mantienen hasta la siguiente recarga, pueden realizarse actividades de reparación o sustitución adicionales que no incluyan un reforzado adicional sobre la placa de refuerzo ya existente, antes de que se vulneren los límites de diseño. En cualquier caso, la placa de refuerzo no podrá permanecer instalada después de la próxima parada para la recarga.

CONCLUSIONES

El desarrollo de guías y aplicaciones desarrolladas por Tecnomat para la evaluación y reparación de áreas degradadas permite dar respuesta de forma rápida y eficiente a la detección de defectos, incluso pasantes, en tuberías de Clase 2 y 3 de moderada energía.

En los ejemplos mostrados, en el primer caso, la evaluación realizada ha permitido a la planta seguir en operación y planificar la reparación para la siguiente recarga. En el segundo caso se ha diseñado la reparación temporal de la zona afectada que es válida hasta la siguiente recarga.

REFERENCIAS

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section XI "Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plants Components". Edición de 2013.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III "Rules for construction of nuclear facility components", Edición de 2013.
- ASME Code Case N-513-4 "Evaluation Criteria for Temporary Acceptance of Flaws in Moderate Energy Class 2 and 3 Piping, Section XI Division 1".
- ASME Code Case N-789 "Alternative Requirements for Pad Reinforcement of Class 2 and 3 Moderate Energy Carbon Steel Piping for Raw Water Service", Section XI Division 1".
- ASME Code Case N-786-1 "Alternative Requirements for Sleeve Reinforcement of Class 2 and 3 Moderate-Energy Carbon Steel Piping Section XI, Division 1".
- ASME Code Case N-661-2 "Alternative Requirements for Wall Thickness Restoration of Class 2 and 3 Carbon Steel Piping for Raw Water Service. Section XI, Division 1". ■