

PROPUESTA DE DICTAMEN TÉCNICO

INFORME FAVORABLE SOBRE LA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE LA MODIFICACIÓN DE DISEÑO PARA LA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DISEÑO MECÁNICO DEL ELEMENTO DE COMBUSTIBLE SVEA-96 OPTIMA2 Y DE APROBACIÓN DE LA CORRESPONDIENTE REVISIÓN DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD DE CN COFRENTES

1. IDENTIFICACIÓN

1.1. Solicitante

Iberdrola Generación Nuclear S.A.U., central nuclear de Cofrentes (en adelante CNC).

1.2. Asunto

Solicitud de autorización de la modificación de diseño para la actualización de la base de diseño mecánico del elemento de combustible SVEA-96 Optima2 y de aprobación de la modificación correspondiente del Estudio de Seguridad (ES), de CNC.

1.3. Documentos aportados por el solicitante

La propia solicitud, enviada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR), y recibida en el CSN con fecha 30 de diciembre de 2014 en su registro telemático, con número de registro de entrada 44549, que adjuntaba la solicitud nº 14/03 Rev. 0 “La actualización de la base de diseño mecánico del elemento SVEA-96 Optima2”, de la central nuclear de Cofrentes.

El documento contiene una descripción general del cambio, antecedentes, la justificación y análisis de aspectos relevantes para la seguridad, el impacto en documentos oficiales de explotación, y los siguientes Anexos:

- IT-CONUC-377 Rev.0 “Análisis de Seguridad del Cambio al Informe de Diseño Mecánico del Elemento Optima2 con Canales de Zirlo”.
- BTK 10-1284 Rev. 4 “CNC SVEA-96 Optima2 Fuel Assembly Mechanical Design Report”, December 2014.
- Hojas Actuales y Hojas Futuras del Estudio de Seguridad.

1.4. Documentos de licencia afectados

La solicitud afecta al Estudio de Seguridad de la central nuclear Cofrentes. En concreto, afecta al Capítulo 3.9 COMPONENTES Y SISTEMAS MECÁNICOS, en su sección 3.9.7 REFERENCIAS, y al Capítulo 4.2 PROYECTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE, en su Sección 4.2.6 REFERENCIAS, para su actualización en coherencia con la modificación de diseño propuesta.

2. DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LA PROPUESTA

Antecedentes y motivación

Desde hace tiempo se han venido observando, en reactores tipo BWR, un incremento, a nivel local, de la corrosión en las aleaciones base zirconio, en zonas próximas a otros metales de componentes del núcleo del reactor. Este tipo de corrosión, también conocida como “shadow corrosion”, y que afecta particularmente a las aleaciones tradicionalmente usadas como material de los canales de los elementos combustibles (Zircaloy-2 y Zircaloy-4), ha motivado la aparición de numerosos programas de demostración de nuevos materiales de canal en plantas BWR en todo el mundo.

Entre estos nuevos materiales se encuentra el Low Tin ZIRLO, o ZIRLO bajo en estaño, precursor del ZIRLO Optimizado, material que presenta una elevada estabilidad dimensional durante su irradiación, a la vez que una mayor resistencia frente a la corrosión.

El ZIRLO se ha usado como material de canal de forma satisfactoria por Westinghouse Sweden (WSE), desde hace varios años, en distintos reactores europeos y americanos para reducir los problemas de arqueamiento de canal. Desde el año 2004, WSE ha fabricado numerosos canales de combustible con este tipo de material para ser irradiados en diversos reactores como canales de demostración. En el caso concreto de la central nuclear de Cofrentes, el ZIRLO bajo en estaño se ha ido introduciendo de manera gradual en canales de prueba (Lead Test Channels) desde el ciclo 17, llevando a cabo entre 2007 y 2013 un plan de verificación del mismo como material de canal de los elementos combustibles SVEA-96 Optima2. El objeto de este programa ha sido verificar el crecimiento y la oxidación para condiciones envolventes de la operación de la central nuclear de Cofrentes.

Como cierre del proyecto, en 2014, CNC ha realizado un programa de inspección sobre los canales irradiados con el objeto de verificar su comportamiento, con medidas de espesor de óxido e inspecciones visuales. El comportamiento general de los canales ha sido satisfactorio, mostrando baja oxidación media y un crecimiento dentro de lo esperado. Sin embargo, los valores máximos medidos del espesor de óxido fueron superiores a los que se asumieron inicialmente en el diseño mecánico del canal de combustible, es decir, están por encima del límite recogido en la revisión 0 del documento de diseño mecánico del elemento (BTK 10-1284 Rev. 0 “CNC SVEA-96 Optima2 Fuel Assembly Mechanical Design Report”), de fecha octubre de 2010, particularmente en zonas en las que había presente “shadow corrosion”. Esto ha llevado a CNC a solicitar la revisión del citado documento de diseño mecánico del elemento SVEA-96 Optima2, para establecer unos límites superiores de espesor de óxido.

Adicionalmente, Westinghouse ha modificado el criterios de aceptación de límite de hidrógeno en el canal, que estaba basado en valores medios del canal, por considerar más apropiado usar valores máximos axiales como criterio para asegurar el mantenimiento de un nivel adecuado de ductilidad, lo cual ha llevado a CNC a incluir

también esta modificación en la solicitud de actualización del documento de diseño mecánico.

Razones de la solicitud

CNC presenta esta solicitud al objeto de incluir en la base de diseño mecánico del elemento de combustible SVEA-96 Optima2 unos límites superiores de espesor de óxido, como consecuencia de los resultados obtenidos en el programa de verificación sobre canales irradiados llevado a cabo en la central en el periodo 2007 y 2013, y de modificar el criterio de aceptación de límite de hidrógeno en el canal establecido en la misma, en coherencia con la propuesta de Westinghouse sobre este aspecto.

Descripción de la solicitud

La solicitud de CNC de modificación de la base de diseño mecánico del elemento de combustible SVEA-96 Optima2 incluye los siguientes cambios:

1. Reevaluación mecánica del canal para considerar un incremento del valor máximo del espesor de la capa de óxido por "shadow corrosion", que pasa de 100 micras a 160 micras.
2. Cambio del criterio de límite de concentración de hidrógeno en el material del canal, para usar valores máximos axiales en vez de medios del canal.
3. Reanálisis de las tensiones en el canal empleando valores de la presión diferencial en el canal más conservadores.
4. Actualización de los resultados de las pruebas de ciclados de presión y de cargas laterales en el canal.

En la solicitud de CNC se realiza el análisis de cumplimiento con la Instrucción de Seguridad IS-21 del CSN, sobre modificaciones de diseño en centrales nucleares, concluyéndose que únicamente los cambios 1 y 2 requieren autorización administrativa, no solicitándose por lo tanto para los cambios 3 y 4.

Asimismo, se solicita aprobación de la revisión del ES para su actualización en coherencia con la modificación de diseño planteada. En concreto, los cambios al ES propuestos contemplan lo siguiente:

- Página 3.9-103: se modifica la referencia al documento BTK 10-1284 "CNC SVEA-96 Optima2 Fuel Assembly Mechanical Design Report", que pasa de reflejar la Rev. 0 a reflejar la Rev. 4.
- Página 4.2-6: se modifica la referencia al documento BTK 10-1284 "CNC SVEA-96 Optima2 Fuel Assembly Mechanical Design Report", que pasa de reflejar la Rev. 0 a reflejar la Rev. 4.

3. EVALUACIÓN

3.1. Referencia y título de los informes de evaluación:

En el proceso de evaluación se han generado los siguientes informes:

- CSN/IEV/INNU/COF/1505/1111 Rev. 0 “Evaluación de la modificación de diseño para la actualización de la base de diseño mecánico del elemento de combustible Optima2”.
- CSN/IEV/IMES/COF/1505/1113 Rev. 0 “CN Cofrentes. Evaluación de la modificación de diseño para la actualización de la base de diseño mecánico del canal del os elementos combustibles SVEA-96 Optima2”.

3.2. Resumen de la evaluación

En la evaluación del CSN se ha considerado la normativa y documentación siguiente, de la que se derivan los criterios de aceptación aplicables:

- Instrucción de Seguridad IS-27 del CSN, sobre requisitos generales de diseño de centrales nucleares, en particular el criterio 21 sobre fiabilidad del sistema de protección y control de la reactividad.
- Instrucción de Seguridad IS-02 del CSN, sobre actividades de recarga en centrales de agua ligera, en particular el apartado 4.6 Nuevos tipos de combustible.
- Instrucción de Seguridad IS-21 del CSN, sobre requisitos aplicables a las modificaciones de diseño en centrales nucleares.
- NUREG-0800 Standard Review Plan Rev. 3, de la United States Nuclear Regulatory Commission (NRC), en particular el capítulo 4.2 Fuel System Design.

La evaluación del CSN ha consistido en la revisión de los cambios propuestos 1 y 2, recogidos en el apartado de *Descripción de la solicitud* del presente informe, frente a la normativa aplicable y a las bases originales de diseño de los canales de los elementos combustibles SVEA-96 Optima2, que pudiesen verse afectadas por tales cambios, y que se recogen en el apartado 7.3.1 del documento base de diseño mecánico.

Si bien CNC no ha solicitado autorización para los cambios descritos 3 y 4, la evaluación del CSN ha revisado los mismos por si pudiesen tener un impacto no previsto en la Evaluación de Seguridad realizada por el Titular. De la revisión realizada se concluye que estos cambios no implican una alteración de las bases de diseño existentes, y por tanto se consideran válidas las conclusiones obtenidas en la Evaluación de Seguridad realizada por CNC, de la que se deriva que dichas modificaciones no requieren autorización.

En el transcurso del proceso de evaluación de esta solicitud, el CSN remitió una Petición de Información Adicional (PIA), mediante la carta de referencia CNS/C/DSN/COF/ 15/13, de fecha 9 de marzo de 2015 y número de salida de registro telemático 1865, en la cual se solicitaban a CNC aclaraciones sobre aspectos puntuales de los cambios 1 y 2, así como la remisión de ciertos documentos de Westinghouse referenciados en su solicitud. CNC ha dado adecuada respuesta a esta petición

mediante su carta de referencia *1514641500062*, recibida en el registro telemático del CSN, con fecha 27 de marzo de 2015 y nº de registro de entrada 41305.

En las bases originales de diseño de los canales de los elementos combustibles SVEA-96 Optima2 del informe de diseño mecánico, BTK 10-1284 "CNC SVEA-96 Optima2 Fuel Assembly Mechanical Design Report", se contemplan 6 criterios, o requisitos, de diseño:

- A. Las tensiones resultantes en el canal, derivadas de la presión diferencial existente durante operación, deben cumplir los requisitos de la sección III del código ASME.
- B. Las tensiones en el canal resultantes de las cargas supuestas durante la manipulación de los elementos combustibles deben cumplir los límites de la sección III del código ASME.
- C. El análisis de fatiga del canal debe demostrar que es capaz de soportar un total de 2000 ciclados de presión sin pérdida de funcionalidad.
- D. Los cambios dimensionales experimentados por el canal durante su operación en el núcleo del reactor no deben suponer una pérdida de su funcionalidad desde el punto de vista mecánico o termohidráulico, ni causar interferencias con otros componentes del núcleo del reactor.
- E. La corrosión del canal no debe suponer una pérdida de su funcionalidad desde el punto de vista mecánico. El desprendimiento de la capa de óxido del canal debe limitarse de forma que no implique un problema de contaminación del refrigerante del reactor.
- F. El contenido medio de hidrógeno en el canal no debe exceder 500 ppm.

En cuanto al cambio 1 propuesto, relativo al incremento del valor máximo de espesor de la capa de óxido por "shadow corrosion" (corrosión galvánica), supone una variación en el valor del parámetro con el que se estima el cumplimiento con el criterio de diseño E, e implica un reanálisis para confirmar que se mantiene el cumplimiento con otros criterios de diseño con el nuevo valor del espesor de la capa de óxido.

En el diseño mecánico contemplado en la Rev. 0 (Octubre 2010) del documento base de diseño mecánico, BTK 10-1284, y basándose en datos que no incluían elementos afectados por el fenómeno de "shadow corrosion", WSE proponía una base de diseño para el espesor máximo aceptable de óxido en sus canales de ZIRLO bajo en estaño de 100 micras.

Basándose en datos experimentales sobre canales de ZIRLO irradiados, WSE ha comprobado que los espesores de la capa de óxido para quemados de hasta 60 MWd/kgU superan el valor de 100 micras y se mantienen por debajo de 160 micras en zonas afectadas por la corrosión galvánica, zonas que básicamente se limitan a las caras de los canales enfrentadas a las alas de las barras de control.

En la evaluación del titular del comportamiento mecánico del canal para una presión diferencial de 141 kPa (128 kPa + 10%) se ha considerado la pérdida 160 micras de espesor del canal al final de ciclo, como consecuencia de la capa de óxido ahora

contemplada. El incremento de tensiones derivado de dicha reducción no supone, no obstante, la superación de los límites de diseño de la sección III del código ASME, debido a que el incremento del límite elástico y la tensión última de rotura debido a la irradiación del material compensa sobradamente el incremento de las tensiones debido a la pérdida de espesor, lo que permite seguir cumpliendo con el criterio de diseño A.

En el nuevo análisis de fatiga del titular aplicando el cambio propuesto, que únicamente difiere del original en el espesor de la capa de óxido y en el incremento de la presión diferencial supuestos, se llega a un valor del factor de uso de 0.24, inferior a 1, por lo que el margen frente al fallo por fatiga del canal sigue siendo aceptable, lo que permite seguir cumpliendo con el criterio de diseño C.

En relación con el cumplimiento del criterio de diseño D, la evaluación del CSN ha verificado si los cambios dimensionales que implica este cambio no afectan al comportamiento mecánico y termohidráulico del elemento combustible, ni causan una interferencia inaceptable con otro componente del núcleo.

La capa de óxido, al reducir el metal base, puede afectar a la ductilidad del mismo y a su espesor, es decir, podría tener alguna consecuencia sobre las dimensiones del canal, lo que indirectamente podría afectar a la inserción de barras. Los canales de ZIRLO sometidos al programa de verificación, dos de los cuales han sido sometidos en la central nuclear Cofrentes a una "segunda vida", volviendo a introducirse montados en otros elementos ya quemados para alcanzar condiciones de quemado del propio canal más altas que las posibles con la vida normal de un solo elemento, y alcanzándose quemados equivalentes de 56 MWd/kgU, muestran resultados de los que se concluye que el fenómeno de corrosión galvánica no progresa continuamente con el quemado sino que tiende a mantenerse más o menos igual a partir de cierto quemado.

Basándose en lo anterior, y en que los espesores del ZIRLO varían muy poco entre los resultados de la anterior medida de quemado (43 MWd/kgU) y esta última, WSE concluye que una extrapolación de 160 micras de espesor máximo a 60 MWd/kgU cubriría la máxima corrosión previsible en la vida del canal, incluyendo el efecto de aceleración producido por la corrosión galvánica.

El canal de ZIRLO más quemado de Cofrentes (55.8 MWd/kgU) da espesores máximos de 144 y 147 micras, y cubre prácticamente todo el rango de quemado licenciado alcanzable en la central. La extrapolación a 60 MWd/kgU realizada por WSE cubriría holgadamente todo el rango.

De los análisis de deformaciones que WSE considera en su diseño de canales, solamente el cálculo de deformación por fluencia térmica ("creep") se ve afectado por la nueva base de diseño de corrosión. La deformación por "creep" se calcula considerando canales con los mínimos espesores permitidos que operan bajo sobrepresión interna. La tasa de corrosión se considera lineal con la dosis de neutrones rápidos y se asume un adelgazamiento promedio de 0.12 mm, correspondiente a un espesor de óxido de 90 micras por cada cara de cada pared del canal. La deformación elástica causada por las tensiones en las paredes del canal se considera que varía con

el espesor de pared elevado al cubo. Por lo tanto, la deformación por “creep”, tanto primaria como secundaria, se toma lineal con la tensión, de forma que se mantiene proporcional a la deformación elástica.

Se utiliza una corrosión promedio para los cálculos de “creep” debido a que la deformación por este motivo es un fenómeno más bien global, en el que amplias zonas del canal deben verse afectadas por la corrosión galvánica para que se vea afectado el “creep”. Esto no es lo que sucede en general y, en particular, tampoco en la cara interna. El modelo de “creep” empleado es un modelo de diseño que incorpora algunos conservadurismos y ofrece margen estadístico más que suficiente con respecto a los datos, por ejemplo de Cofrentes, que incluso cubrirían asumir el adelgazamiento del canal correspondiente a una corrosión de 160+160 micras (ambas caras), lo que supone que no es un problema la utilización del valor medio en este análisis.

Los resultados a fin de ciclo para las condiciones realistas de Cofrentes, extrapolados a 60 MWd/kgU, de deformaciones por “creep” máximas, en los cuales se ha tenido en cuenta un incremento del 10% en la carga de presión sobre las paredes del canal para cubrir incertidumbres, muestran que la anchura máxima del canal hacia fuera, tras la operación y a fin de ciclo, queda por debajo de la obtenida con los canales de diseños anteriores para las mismas condiciones de operación, con lo que se concluye que la deformación por “creep” es aceptable.

En base a lo anterior, la evaluación del CSN considera que el cambio de la base de diseño mecánico del canal de ZIRLO bajo en estaño para permitir espesores de corrosión de hasta 160 micras es aceptable, ya que su impacto no compromete los criterios de aceptación potencialmente afectados del diseño de canal que pueden influir en la interacción con las barras de control o la termohidráulica del núcleo, esto es, permite seguir cumpliendo con el criterio de diseño D.

Teniendo en cuenta los reanálisis anteriormente reflejados, se concluye que el incremento del espesor de la capa de corrosión en las zonas más susceptibles a sufrir “shadow corrosion” (caras de los canales enfrentadas a un ala de la barra de control) no supone una pérdida de la funcionalidad del canal desde el punto de vista mecánico, lo que permite mantener el cumplimiento con el criterio de diseño E.

En base a que el cambio 1 propuesto no afecta al cumplimiento con los criterios de diseño de los canales de los elementos combustibles SVEA-96 Optima2, la evaluación del CSN considera este cambio aceptable.

En cuanto al cambio 2 propuesto, relativo a la redefinición del límite de concentración de hidrógeno en el material del canal, específicamente consiste en modificar el requisito de diseño F para reflejar que el contenido medio de hidrógeno en cualquier sección del canal a cualquier elevación no debe exceder un total de 1000 ppm, en lugar del valor de 500 ppm actual para concentración media en todo el canal.

El ZIRLO presenta menor captura de hidrógeno que el Zircaloy-2, y esto hace que, aunque los espesores de óxido por “shadow corrosión” sean superiores, el contenido

de hidrógeno en el canal sea inferior. El cambio, que supone una alteración de las bases de diseño existentes, tiene por objeto sustituir un criterio de aceptación por otro más adecuado cumpliéndose ambos con márgenes similares.

La evaluación del CSN ha consistido en la revisión de aspectos exclusivamente mecánicos, ya que la concentración de hidrógeno solo afecta a la ductilidad mecánica del canal, no a su termohidráulica, ni a la neutrónica, ni a la inserción de barras.

Esta revisión ha consistido en la verificación del cumplimiento del nuevo criterio de diseño F en los distintos materiales (Zircaloy-2, Zircaloy-4 y ZIRLO) de canal presentes en Cofrentes, así como del cumplimiento del anterior criterio F de valor medio de concentración de hidrógeno para esos materiales, ya que el cambio propuesto no afecta al cumplimiento del resto de los requisitos de diseño.

Mientras que el límite anterior de 500 ppm, reflejado en la Rev. 0 del documento base de diseño mecánico para el criterio de aceptación del límite de hidrógeno en el canal (criterio F establecido para asegurar una suficiente ductilidad), se basa en concentración media y se refiere a la concentración de hidrógeno para el canal completo, el cambio propuesto en la revisión de la base de diseño se basa en el contenido medio de hidrógeno en cualquier elevación axial del canal, argumentándose que se considera técnicamente más relevante definir un límite máximo de concentración de hidrógeno de 1000 ppm, que aplicaría a la sección transversal del canal en cualquier elevación axial. Este límite, al ser concentración media, permitiría obtener secciones con concentraciones superiores a 1000 ppm, siempre y cuando el valor medio del elemento fuese inferior a 500 ppm; el nuevo límite permite garantizar que a cualquier elevación axial no se superan los 1000 ppm, por lo que se garantiza que las propiedades del material son las supuestas en el diseño mecánico del canal, lo que se considera aceptable.

Los datos obtenidos de inspecciones realizadas por WSE en canales de ZIRLO, en relación con la concentración de hidrógeno cubriendo quemados de hasta 49 MWd/kgU, confirman que la captura de hidrógeno en el ZIRLO es inferior a la que se experimenta en el Zircaloy-2. En base a tales datos, WSE ha extrapolado las concentraciones de hidrógeno para un quemado de 60 MWd/kgU, valor que envuelve la vida completa del canal, obteniéndose concentraciones estimadas en cualquier sección transversal del canal inferiores a 300 ppm, lo que verifica el cumplimiento con el criterio de diseño F. Por lo tanto, la evaluación del CSN considera aceptable el cambio 2 propuesto.

En base a lo anteriormente expuesto, la evaluación del CSN considera que los cambios 1 y 2 propuestos por CNC para la actualización de la base de diseño mecánico del elemento SVEA-96 Optima2 son aceptables.

No obstante, la evaluación del CSN considera que se debe continuar con la campaña de medidas sobre canales de ZIRLO en sucesivas recargas para confirmar que el comportamiento del material se mantiene dentro de la actual base de datos licenciada, considerando además que todavía existen pocos datos, sobre todo a quemados altos, sobre el comportamiento de los canales de ZIRLO bajo en estaño, en

relación con el arqueo y las variables que le afectan. En este sentido, CNC deberá proponer una campaña de medidas e inspecciones para las próximas recargas sobre los elementos SVEA-96 Optima2 con canales de ZIRLO, con alcance similar a lo realizado con los 4 "Lead Test Channels", para comprobar que el material se mantiene dentro de la base de diseño ahora licenciada.

Por otra parte, la evaluación del CSN ha revisado los cambios propuestos al ES como consecuencia de la modificación de diseño propuesta, recogidos en el apartado de Descripción de la solicitud del presente informe, y los considera aceptables.

- **Deficiencias de evaluación: NO**
- **Discrepancias respecto de lo solicitado: NO**

4. CONCLUSIONES Y ACCIONES

Se propone informar favorablemente sobre la solicitud de autorización de la modificación de diseño para la actualización de la base de diseño mecánico del elemento de combustible SVEA-96 Optima2 y de aprobación de la modificación correspondiente del Estudio de Seguridad, de CNC.

CNC deberá proponer al CSN una campaña de medidas e inspecciones para las próximas recargas sobre los elementos SVEA-96 Optima2 con canales de ZIRLO, con alcance similar a lo realizado con los 4 "Lead Test Channels", para comprobar que el material se mantiene dentro de la base de diseño ahora licenciada.

Enumeración de las conclusiones:

4.1. Aceptación de lo solicitado: SI

4.2. Requerimientos del CSN: SI

CNC deberá proponer al CSN una campaña de medidas e inspecciones para las próximas recargas sobre los elementos SVEA-96 Optima2 con canales de ZIRLO, con alcance similar a lo realizado con los 4 "Lead Test Channels", para comprobar que el material se mantiene dentro de la base de diseño ahora licenciada.

4.3. Recomendaciones del CSN: NO

4.4. Compromisos del Titular: NO