PROPUESTA DE DICTAMEN TÉCNICO

APRECIACIÓN FAVORABLE DE LA MODIFICACIÓN DE DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DE RECOMBINADORES PASIVOS AUTOCATALÍTICOS EN LA CENTRAL NUCLEAR COFRENTES

1. IDENTIFICACIÓN

1.1. Solicitante

Iberdrola Generación Nuclear S.A.U., Central Nuclear Cofrentes (en adelante CNC).

1.2. Asunto

Solicitud de apreciación favorable de la modificación de diseño para la instalación de recombinadores pasivos autocatalíticos (PAR) en la CNC.

1.3. Documentos aportados por el solicitante

La propia solicitud, carta de referencia *1599983301542*, enviada por Iberdrola, y recibida en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) con fecha 21 de abril de 2015 en su registro telemático, con número de registro de entrada 41688, que adjuntaba el informe "Solicitud de apreciación favorable para la modificación de diseño de instalación de recombinadores pasivos autocatalíticos (PAR) en la CN de Cofrentes", Nº 15/01 Rev. 0.

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:

- Anexo 1: Memoria descriptiva del proyecto de instalación de los PAR.
- Anexo 2: Matriz de Cumplimiento con el Anexo 3 de criterios aplicables a los PAR (CSN/INF/INSI/13/896).
- Anexo 3: Referencias de instalación a nivel internacional de PAR de AREVA. Extracto del documento "Delivery of passive autocatalytic Hydrogen recombiners and optional a Hydrogen removal analysis".
- Anexo 4: Programa de cualificación de AREVA para los PAR y experiencia operativa. Extracto del documento "Delivery of passive autocatalytic Hydrogen recombiners and optional a Hydrogen removal analysis".

- Anexo 5: Evaluación de Seguridad de la instalación de recombinadores pasivos autocatalíticos de la CN de Cofrentes.
- Anexo 6: Identificación de cambios propuestos al Estudio Final de Seguridad (DOE-04).

El análisis técnico soporte de la solicitud se encuentra recogido en el informe T49-5A098 Rev. 1"Análisis de distribución de hidrógeno y ubicación de PAR en contención y pozo seco de CN Cofrentes" de CNC, el cual había sido previamente remitido por el titular mediante la carta "CN Cofrentes. Revisión del informe de respuesta al apartado 4.2.4.i de la ITC CSN/ITC/SG/COF/12/01", de referencia *14999833304656*, y recibida en el CSN con fecha 19 de diciembre de 2014 en su registro telemático, con número de registro de entrada 44440.

1.4. Documentos de licencia afectados

La solicitud supone cambios en el Estudio de Seguridad. El titular no solicita aprobación de tales cambios en base a que, de la aplicación de la Instrucción de Seguridad IS-21 del CSN, concluye que no la requiere.

2. DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LA PROPUESTA

Antecedentes

Tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi, el CSN remitió a la CNC, el 26 de mayo de 2011, la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) de referencia CNCOF/COF/SG/11/06, denominada ITC-1, en la que se requería la realización del proceso de pruebas de resistencia europeas, el cual se llevó a cabo entre los meses de junio y diciembre de 2011.

Como consecuencia de este proceso, y para incrementar la capacidad de respuesta de las centrales frente a situaciones extremas, los titulares propusieron en sus informes de las pruebas de resistencia una serie de medidas de mejora. El CSN, por su parte, identificó acciones y estudios adicionales que, junto con las mejoras identificadas por los titulares, fueron requeridas por el CSN mediante la emisión de la ITC de referencia CSN/ITC/SG/COF/12/01, denominada ITC-3, enviada a CNC con fecha 15 de marzo de 2012.

En concreto, en el punto 4.2.4.i de la ITC-3 se requería:

"En relación con la capacidad de control del hidrógeno en contención: Elaborar un estudio de ingeniería con los detalles de la instalación de recombinadores pasivos autocatalíticos (PAR) en contención y pozo seco, incluyendo su número y ubicación. Posterior instalación de dichos PAR. Finalización: largo plazo. Antes del 31 de diciembre de 2013 el titular deberá presentar al CSN un estudio detallando la solución adoptada."

Una vez concluidos la mayoría de los plazos establecidos en las ITC post-Fukushima para la realización de análisis o evaluaciones cuyo objetivo era identificar posibles mejoras, el CSN consideró oportuno recopilar en una única ITC los requisitos

pendientes hasta finalizar la completa implantación de todas las medidas de mejora de la seguridad derivadas del accidente de Fukushima, con sus correspondientes fechas de finalización. A este fin, el CSN emitió la ITC de referencia CSN/ITC/SG/COF/13/05, ITC-adaptada, de fecha 9 de abril de 2014.

En concreto, en el apartado 2.5.c de esta ITC se requiere:

"Implantar un sistema de control de hidrógeno en contención mediante recombinadores pasivos autocatalíticos (PAR). Fecha límite de finalización: 31 de diciembre de 2016."

En respuesta a lo requerido en el punto 4.2.4.i de la ITC-3, CNC remitió al CSN la revisión 0 de los cálculos llevados a cabo por el titular para determinar el número y ubicación de los PAR (informe T49-5A098 Rev. 1"Análisis de distribución de hidrógeno y ubicación de PAR en contención y pozo seco de CN Cofrentes").

Con fecha 1 de octubre de 2014, se mantuvo una reunión entre el CSN y CNC en la que se trataron diversos aspectos de los cálculos enviados (Nota de Reunión CSN/ART/INSI/COF/1710/01), como consecuencia de lo cual CNC remitió al CSN una revisión 1 del citado informe, tal y como se menciona en el apartado 1.3 de la presente PDT, en la que se daba respuesta a lo acordado en la reunión, y en la que se recoge el análisis técnico que soporta la solicitud ahora presentada.

Razones de la solicitud

CNC plantea esta modificación de diseño al objeto de dar cumplimiento a los apartados 4.2.4.i de la ITC-3 y 2.5.c de la ITC-adaptada Post-Fukushima.

CNC presenta esta solicitud en respuesta a lo establecido en la carta de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear del CSN de referencia CSN/C/DSN/COF/14/42, en la cual se establecen los procesos de licenciamiento para modificaciones de diseño asociadas al cumplimiento de las ITC Post-Fukushima.

Descripción de la solicitud

La solicitud de apreciación favorable presentada por CNC tiene por objeto la implantación de una modificación de diseño consistente en la instalación de 53 PAR del modelo FR1-1500T del suministrador AREVA, cuya finalidad es la de minimizar los riesgos sobre la integridad del recinto de contención por fenómenos de combustión, sin necesitar el apoyo de ningún otro sistema de control de gases combustibles en contención.

Esta modificación de diseño prevé instalar PAR tanto en el pozo seco (6 unidades) como en contención (47 unidades). Dada la imposibilidad de acceso al pozo seco durante la operación a potencia de la central, los PAR del pozo seco se instalarán en una primera fase, durante la Recarga 20 (en el presente año 2015), mediante la orden de cambio de proyecto OCP-5243. Los PAR de contención, dado que se puede realizar

en operación, se instalarán en una segunda fase, a lo largo del ciclo 21 y antes de la finalización del plazo previsto para el cumplimiento con las ITC Post-Fukushima (31/12/2016), mediante la OCP-5039.

La distribución de los PAR en contención y en pozo seco propuesta por el titular se muestra en la siguiente tabla:

Zona	Cota	Nº PAR
Contención zona baja	+0.660	12
	+6.100	7
Contención zona media	+10.700 / +13.950	8
	+15.160 / +17.150	6
	+20.800	7
Contención zona alta	+28.420	7
Pozo Seco	+15.160	6

3. EVALUACIÓN

3.1. Referencia y título de los informes de evaluación:

En el proceso de evaluación por el CSN de la solicitud se ha elaborado el informe CSN/IEV/INSI/COF/1509/1123 “CN Cofrentes. Evaluación de la solicitud de apreciación favorable de la Modificación de Diseño de la Instalación de Recombinadores Pasivos Autocatalíticos “.

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 IS-21 del CSN, de 28 de enero de 2009, sobre requisitos aplicables a las modificaciones en las centrales nucleares.
- Instrucción IS-36 del CSN, de 21 de enero de 2015, sobre procedimientos de operación de emergencia y gestión de accidentes severos en centrales nucleares.
- Instrucción Técnica Complementaria en relación con los resultados de las pruebas de resistencia realizadas por las centrales nucleares españolas (ITC-3) de CN Cofrentes (CSN/ITC/SG/COF/12/01), de 15 de marzo de 2012.
- Instrucción Técnica Complementaria en relación con la adaptación de las ITC Post-Fukushima (ITC-adaptada) de CN Cofrentes (CSN/ITC/SG/COF/13/05), de 9 de abril de 2014.
- Anexo 3 “Criterios aplicables a los PAR” del informe CSN/INF/INSI/13/896 “Criterios de Evaluación a Considerar en las Modificaciones de Diseños post-Fukushima”, aprobado por el Pleno del CSN el 18 de diciembre de 2013.

- IAEA-TECDOC-1661 "Mitigation of hydrogen Hazards in Severe Accidents in Nuclear Power Plants" de julio de 2011. (Utilizado como referencia técnica).

En la evaluación del CSN se toma en consideración, asimismo, que dado que los cálculos de la generación y distribución de hidrógeno en la contención para la estimación del número y ubicación de PAR requieren del uso de códigos de cálculo complejos que precisan de elevados tiempos de análisis y computación, y que este tipo de estudios es la primera vez que se hace en España. Durante el proceso de evaluación de las propuestas de las centrales nucleares, se están identificando aspectos que podrían requerir cálculos adicionales para alcanzar un mejor conocimiento de los fenómenos asociados al hidrógeno y a su recombinación en los PAR. Las conclusiones de tales cálculos adicionales podrían conllevar que, a modo de mejora del diseño propuesto, se requiriera al titular la instalación de PAR adicionales.

Teniendo en cuenta que la instalación de los PAR en las centrales nucleares supone una mejora respecto a la configuración previa, que además es conveniente no retrasar, y, dado que la instalación de los PAR se puede realizar de forma modular, se considera adecuado, siempre que la propuesta del titular sea consistente con los criterios de evaluación del diseño de PAR aprobados por el Pleno del CSN, que en el caso de identificarse la conveniencia de disponer de PAR adicionales, estos sean instalados posteriormente a la implantación de la modificación de diseño sobre la que el titular haya realizado su solicitud de apreciación favorable.

En la Evaluación de Seguridad de la modificación de diseño presentada por el titular se responde negativamente a todas las preguntas incluidas en el cuestionario, indicando que la modificación supone una mejora para la seguridad y no interacciona con ninguno de los sistemas existentes, y que por lo tanto no requeriría autorización.

CNC solicita la apreciación favorable en respuesta a lo requerido al respecto por el CSN en su carta de establecimiento de los procesos de licenciamiento para modificaciones de diseño asociadas al cumplimiento de las ITC Post-Fukushima.

La evaluación del CSN de la solicitud de CNC se ha centrado en la verificación de su cumplimiento con los criterios establecidos por el CSN en el "Informe sobre criterios de evaluación a considerar en las modificaciones de diseño post-Fukushima" arriba citado. De la verificación realizada se extrae como más significativo lo siguiente:

<u>Aspectos relacionados con el diseño funcional</u>

En cuanto al criterio relativo a la **capacidad de los PAR de ponerse en funcionamiento de forma autónoma a bajas concentraciones de hidrógeno, en condiciones de alta humedad y a baja temperatura,** los recombinadores seleccionados, tipo FR1-1500T de AREVA, son capaces de iniciar la recombinación con concentraciones de hidrógeno en volumen superiores al 2%, y proporciona una tasa de eliminación de hidrógeno de 5.36 kg/h (a presión absoluta de 1,5 bar y concentración de hidrógeno de 4%).

CNC indica que los PAR a implantar han sido sometidos a un proceso de calificación por parte del fabricante, en el que se ha mostrado que son capaces de mantener sus capacidades funcionales bajo condiciones tales como: ambientes con venenos químicos causados por degradación de cables o aerosoles procedentes de la fusión del combustible, alta humedad inicial, bajo contenido en oxígeno, con sistemas de aspersión de agua en operación, tras combustiones de hidrógeno, y en operación a largo plazo bajo condiciones de accidente severo.

La evaluación del CSN considera que, en base a la información aportada, los PAR cumplen con lo requerido a este respecto.

En cuanto a los criterios asociados al **número de PAR a instalar, así como su localización**, cabe destacar lo siguiente:

El titular ha utilizado una metodología para la estimación del número y ubicación de los PAR que tiene en cuenta las tasas de liberación de hidrógeno, los tiempos de transporte y la distribución de hidrógeno en la contención. CNC ha utilizado los códigos MAAP 4.0.7 para el cálculo de la generación de hidrógeno y GOTHIC 8.0 para analizar la distribución del hidrógeno.

En el cálculo de la generación de hidrógeno CNC ha considerado las secuencias más representativas de su APS y las ha completado siguiendo las recomendaciones incluidas en el documento IAEA-TECDOC-1661, que sugiere elegir escenarios con distintos puntos de descarga del hidrógeno a la contención, con degradación del núcleo a alta y baja presión, e incluyendo también pérdidas de inventario para acelerar el inicio del proceso de degradación. Adicionalmente, siguiendo las recomendaciones del IAEA-TECDOC-1661, se ha analizado el impacto de aportaciones de refrigerante durante la fase de degradación del núcleo.

Los escenarios analizados por CNC han sido: pérdida total de agua de alimentación, pérdida de refrigerante en pozo seco con varios tamaños de rotura, pérdida total de alimentación eléctrica exterior e interior (SBO), una válvula atascada abierta en caso de pérdida de corriente alterna exterior y, transitorio de aislamiento de vapor principal con fallo del disparo del reactor y de la inyección de boro.

Los escenarios anteriores se han analizado bajo los siguientes supuestos: con y sin fallo en la despresurización de la vasija con ADS (sistema de despresurización automática), con y sin inundación de la contención mediante el sistema PCI (protección contra incendios) y, con y sin inyección tardía de la vasija (aportaciones de refrigerante en fase de degradación).

En función de los diferentes puntos de liberación del hidrógeno (parte alta del pozo seco, parte baja de la contención, parte baja del pozo seco), y teniendo en cuenta la fase de generación de hidrógeno “invessel /exvessel” (“invessel”- cubre puntos de generación de hidrógeno en la parte baja de la contención y en la parte alta del pozo seco; “exvessel”- cubre puntos de liberación en la parte baja del pozo seco), CNC ha identificado las siguientes secuencias como limitantes:

- Para descargas en la parte alta del pozo seco, escenario de LOCA intermedio y sin actuación del ADS (generaciones “invessel”).
- Para descargas en la parte baja de la contención, escenario de pérdida total de agua de alimentación (TLOFW), con degradación del núcleo a alta presión y con PCI inyectando a la contención (generaciones “invessel”).
- Para descargas en la parte baja del pozo seco, escenario de SBO con actuación del ADS sin sistemas aportando a vasija ni a contención (generaciones “exvessel”).

En el análisis de CNC se han calculado, para cada una de las secuencias seleccionadas, las siguientes contribuciones en la generación de hidrógeno: tasa de hidrógeno liberado a través de las válvulas de alivio y seguridad, tasa de hidrógeno descargado a través de la rotura, tasa de hidrógeno generado debido al fenómeno de interacción del chorro de “debris” y el agua, tasa de hidrógeno generado debido a la interacción del núcleo fundido con el hormigón, y tasa de hidrógeno generado debido al fallo de la vasija por fenomenología DCH (calentamiento directo de la contención).

Los valores resultantes del cálculo de masa total de hidrógeno generado en cada uno de los escenarios han sido:

- Descargas en la parte alta del pozo seco (LOCA intermedio a alta presión): 2093,5 kg. Toda la masa de zirconio del núcleo ha sido oxidada.
- Descargas en la parte baja de la contención (TLOFW a alta presión con inundación de la contención): 1026,6 kg.
- Descargas en la parte baja del pozo seco (SBO a baja presión): 1914 kg. Toda la masa de zirconio ha sido oxidada.

El análisis de distribución de hidrógeno se ha llevado a cabo con un modelo desarrollado con GOTHIC, de la contención y pozo seco, de más de 3600 nodos. En el análisis no se da crédito a ningún mecanismo de mitigación del hidrógeno adicional a los PAR.

Los datos de entrada a este modelo son los flujos de masa y energía de los gases liberados a contención calculados en el análisis realizado con MAAP 4.0.7. Según los resultados de este análisis, las fases “invessel” de los escenarios presentan unas tasas de generación de hidrógeno superiores a las fases “exvessel”. En base a esto, para la estimación del número y ubicación de PAR, CNC ha considerado únicamente la fase “invessel” por ser envolvente en lo que respecta a las tasas de generación de hidrógeno.

Una vez desarrollado y completado el modelo de GOTHIC, se realizó en primer lugar un estudio de distribución de hidrógeno en un modelo sin presencia de PAR, identificando los caminos de flujo y las zonas de riesgo. De este estudio, CNC obtuvo, para cada volumen, las celdas que entraban en condiciones de detonación, deflagración con ignitores o deflagración sin ignitores, y durante qué ventana de tiempo la celda se encontraba en esas condiciones.

En base a los resultados obtenidos del estudio anterior, las zonas de riesgo identificadas, y tras realizar un "*walkdown"* de comprobación, CNC realizó un estudio de ubicación inicial de los PAR. Con las ubicaciones seleccionadas, CNC realizó análisis de sensibilidad comparando con los códigos MAAP y GOTHIC los resultados obtenidos de la simulación de la evolución del hidrógeno en los escenarios seleccionados, para situaciones sin PAR y para situaciones con diversos números de PAR, ajustando su ubicación para minimizar las zonas de riesgo por acumulación de hidrógeno.

De estos análisis se obtuvieron comparativas para diferentes configuraciones de PAR, tanto de la reducción de tiempos de deflagración y detonación, como de la reducción de la concentración media de hidrógeno en la contención a lo largo del tiempo.

Las diferencias, para las secuencias analizadas, entre colocar 60 ó 47 PAR en la contención no resultaron significativas, por lo que la configuración finalmente seleccionada por CNC para los PAR consiste en la instalación de 53 PAR; 47 en la contención y 6 en el pozo seco.

Partiendo de este número y ubicación de PAR previstos, CNC realizó un análisis de la distribución del hidrógeno en contención y pozo seco con PAR, para las secuencias de SBO, LOCA y TLOFW, concluyéndose que para las tres secuencias se abrían ventanas de tiempo en las que se podría producir deflagración, siendo no obstante necesaria, en todos los casos, la presencia de una fuente térmica (ignitores) para que se produjera la combustión de la mezcla de gases.

Adicionalmente al cálculo de detalle con MAAP y GOTHIC, el titular ha estimado con MAAP la concentración media de hidrógeno en contención y pozo seco, durante las fases "invessel" y "exvessel", por medio de análisis de sensibilidad que maximizan las liberaciones de hidrógeno.

En concreto, para la fase "invessel", CNC ha analizado la evolución de determinados parámetros (concentración media de hidrógeno, tasa de recombinación media, temperatura, concentración media de oxígeno y concentración media de vapor de agua) en caso de SBO, LOCA y TLOFW, tanto en el pozo seco como en tres secciones de la contención (zona inferior de la contención, por encima de la piscina de supresión hasta la primera losa de hormigón; zona intermedia de la contención más las habitaciones interiores; parte superior de la contención, desde la planta de recarga hasta el domo).

Como fruto de este análisis, el titular obtuvo unas gráficas para cada escenario, de las que cabe remarcar lo siguiente:

- Para SBO, la concentración media de hidrógeno se mantuvo siempre por debajo del 7%, tanto en contención (se alcanza una concentración máxima del 4,5% en la sección 1) como en el pozo seco (se alcanza una concentración de hidrógeno media máxima del 0,85%).

- Para LOCA, a los 6000 segundos desde el inicio del accidente se observa un pico que muestra un 10% de concentración media de hidrógeno en la contención, con presencia de oxígeno.

  Según indica CNC en su informe, en este caso se produce un incremento de la tasa de recombinación de los PAR proporcional al incremento de la concentración de hidrógeno.

  En el caso del pozo seco la situación es diferente ya que, aunque se dan concentraciones muy elevadas de hidrógeno (entre 30 y 35%), no hay oxígeno y por eso los PAR no recombinan. A partir de los 7000 segundos del accidente, empieza a haber oxígeno en el pozo seco, los PAR empiezan a recombinar y la concentración de hidrógeno disminuye rápidamente. Según CNC, en estas circunstancias no se producen ventanas de deflagración.

- Para TLOFW, se observan tres picos en la concentración de hidrógeno en la contención (el más pequeño del 12% y los otros dos cercanos al 16%). Al igual que para LOCA, el titular indica que proporcionalmente aumenta la tasa de recombinación. El pozo seco permanece a concentraciones de hidrógeno inferiores al 1,7%.

Cabe mencionar que, si bien en momentos puntuales para las secuencias de LOCA y TLOFW se alcanzan concentraciones medias en la contención superiores al 8% (valor referenciado en el documento IAEA-TECDOC-1661 como límite inferior de la zona de riesgo de detonación), un incremento en el número de PAR no evitaría la presencia de estos picos en la concentración de hidrógeno. El motivo es que tales picos se producen de modo muy rápido y son de corta duración, por lo que no dan tiempo a los PAR a recombinar el hidrógeno generado aunque se utilizasen 60 PAR, según muestran los análisis de sensibilidad realizados por CNC.

Por otra parte, respecto a la fase “exvessel”, el titular considera que una vez concluida la fase “invessel” no se dan condiciones para que exista ningún tipo de combustión con riesgo para la integridad de la contención. Durante la reunión mantenida entre el CSN y CNC, el titular adquirió el compromiso de analizar, mediante el uso de MAAP, las liberaciones de hidrógeno y monóxido de carbono (CO) en la fase “exvessel” de accidente, para su consideración en las tasas de recombinación y al objeto de verificar la hipótesis considerada de que las generaciones en la fase “invessel” del accidente son envolventes respecto de la “exvessel”, y de realizar una estimación de la concentración media de hidrógeno en contención y pozo seco durante las fases invessel y exvessel (al objeto de garantizar que la concentración media de hidrógeno en la contención no sobrepasa el 8% en volumen, valor por debajo del cual no se prevén detonaciones). De los resultados obtenidos, la secuencia de SBO resultó ser la de mayor generación de gases combustibles en la fase “exvessel”, de manera que el titular utilizó esta secuencia para realizar sus cálculos.

En respuesta a este planteamiento, CNC incluyó en la revisión 1 de su informe de análisis de distribución de hidrógeno y ubicación de PAR un apartado contemplando una extrapolación del comportamiento de los PAR para la fase “exvessel”, obteniendo

en primer lugar los valores de masa, tasa media y tasa máxima tanto del hidrógeno como del CO generado en la misma.

En relación con la influencia del CO sobre la capacidad de recombinación de los PAR, CNC indica que el fenómeno de hidrógeno generado debido a la interacción del núcleo fundido con el hormigón eleva las concentraciones de los gases combustibles (hidrógeno y CO), desplazando el oxígeno presente en el pozo seco a la contención, impidiendo la existencia de combustiones en el pozo seco, al no ser combustible la mezcla de gases.

El caso de la contención es distinto, en ella el dimensionamiento de PAR permitiría gestionar con facilidad las cantidades de hidrógeno generadas "exvessel" porque son muy inferiores a las generadas "invessel". No obstante, el CO se genera en cantidades muy superiores y excede en pocas horas la capacidad de recombinación de los PAR. El titular indica que se trata de un comportamiento característico de plantas con hormigones de tipo "limestone", que es el caso de CNC.

Los estudios realizados muestran la evolución de las concentraciones de los gases de contención en las diferentes secciones de contención y en el pozo seco. Adicionalmente, CNC ha estimado la capacidad de los PAR para gestionar el hidrógeno, en ausencia de CO, calculando la cantidad de hidrógeno que recombinarían 47 PAR a 1,5 bar, un flujo constante de entrada de 0,50 kg/s y 4% ó 7% de concentración de hidrógeno a la entrada del PAR. Sin embargo, las cantidades de CO generadas en SBO o LOCA son elevadas, y CNC no incluye ninguna consideración acerca de cómo tratar este aspecto.

La concentración de CO supondría un problema menor en caso de que la concentración de oxígeno fuera lo suficientemente baja como para que no se dieran condiciones de inflamabilidad en la contención.

La evaluación del CSN considera que CNC deberá completar los estudios realizados mediante la simulación de la evolución completa del accidente de "Station Blackout", desde su inicio y extendiendo en el tiempo durante la fase "exvessel" al menos hasta que la concentración de oxigeno sea inferior al límite de inflamabilidad. El objeto de este estudio adicional es disponer de información más precisa sobre la composición de la atmósfera de la contención durante la fase "exvessel". En este estudio deberá incluirse la evolución del hidrógeno, del oxígeno y del monóxido de carbono, y deberá utilizarse la correlación asociada al comportamiento de los PAR frente al hidrógeno y monóxido de carbono suministrada por el fabricante. [Acción Adicional AA1]

Adicionalmente, la evaluación del CSN consideró conveniente que, además de los cálculos de detalle hechos con MAAP-GOTHIC y MAAP, el titular justificase que la capacidad global de recombinación de los PAR puede hacer frente a una generación de hidrógeno envolvente, tanto en la fase "invessel" como en la fase "exvessel", para lo cual, en la reunión mantenida entre el CSN y CNC se acordó que el titular realizaría un análisis de sensibilidad que maximizase las generaciones/liberaciones de hidrógeno con el fin de conocer la evolución de ese tipo de escenarios. En este análisis CNC

incluiría la generación de hidrógeno debida a otros materiales, la reinundación y posterior fenómeno limitante de hidrógeno generado debido a la interacción del núcleo fundido con el hormigón.

CNC ha realizado un análisis de sensibilidad maximizando la oxidación de las vainas del combustible. Para este estudio, el titular ha realizado la siguiente extrapolación:

Partiendo de los valores obtenidos de hidrógeno total recombinado y la tasa media de recombinación para cada secuencia del cálculo base y considerando que la tasa de recombinación de los PAR tiene un comportamiento prácticamente lineal, el titular ha extrapolado el hidrógeno total que se recombinaría a una concentración media de hidrógeno del 7% en vez de a la correspondiente al cálculo base.

Considerando que la masa de hidrógeno máxima que se generaría en caso de oxidación del 100% de las vainas de zirconio es de 1150 kg, según CNC los PAR serían capaces de recombinar el hidrógeno generado de la oxidación 96,77% de las vainas de zirconio en caso de SBO, el 126,44% en caso de LOCA y el 67,36% en caso de TLOFW.

En el compromiso adquirido por CNC, mencionado anteriormente, se indicaba que CNC debe considerar en su análisis otros materiales del núcleo, reinundación, etc. Aunque CNC expone que para la secuencia LOCA se recombinaría el hidrógeno generado por la oxidación del 126,44% del zirconio de las vainas de combustible, este valor se corresponde con 1448 kg de hidrógeno, lo que estaría por encima del 65% de oxidación de todo el zirconio del núcleo que había solicitado el CSN durante la reunión.

La evaluación del CSN considera que CNC deberá comprobar, mediante el uso de un código de cálculo específico para accidente severo, las conclusiones obtenidas en lo que respecta a la capacidad de recombinación de los PAR para el caso más limitante en cuanto al tanto por ciento de generación de hidrógeno (LOCA). [Acción Adicional AA2]

Según CNC, los PAR propuestos podrían llegar a recombinar el hidrógeno generado por la oxidación del 96,8%, 100% y 67,4% del zirconio total de las vainas del núcleo en caso de SBO, TLOFW y LOCA, respectivamente, manteniendo una concentración media de hidrógeno inferior al 7%.

En resumen, y según indica el titular, para seleccionar la ubicación de los PAR se ha considerado la adecuada gestión del hidrógeno liberado durante la fase “invessel” por ser la que tiene mayores tasas de liberación a contención. CNC considera que la ubicación de los PAR seleccionada también será adecuada para la fase “exvessel” porque tiene tasas de liberación menores, siempre que existan condiciones adecuadas al final de la fase “invessel”. Adicionalmente, CNC ha realizado estimaciones analíticas para demostrar su capacidad ante una mayor generación de hidrógeno en vasija o a su extensión a la fase “exvessel”, concluyendo que los PAR seleccionados permitirían gestionar ambas circunstancias.

Para la selección de la ubicación de los PAR en contención, CNC ha considerado los puntos de acumulación y los caminos preferenciales de paso, de acuerdo con los

resultados obtenidos con el código GOTHIC. La ubicación de los PAR en el pozo seco no corresponde a un problema de caminos de flujo crítico, de manera que CNC prevé ubicarlos en la zona alta, próximos a los puntos de descarga por las rompedoras de vacío y al sistema de mezcla de la atmósfera pozo seco / contención.

Las principales conclusiones extraídas por CNC de los análisis realizados de generación y distribución de hidrógeno con la implementación de los PAR son las siguientes:

- Se consigue una alta eficiencia en la cantidad de hidrógeno total recombinado y de la reducción de la ventana de tiempo con riesgo para la integridad de la contención. Estas eficiencias se consiguen con porcentajes de oxidación del zircaloy de las vainas del núcleo de en torno al 50%, pero según indica CNC, la concentración promedio de hidrógeno en el pozo seco y en la contención no superaría el 7% incluso con oxidaciones del 75% del zirconio de las vainas del núcleo.

- Los PAR de contención funcionan con altos rendimientos, a diferencia de los PAR de pozo seco, debido a que las descargas de hidrógeno con presencia de oxígeno suficiente para la recombinación se dan mayoritariamente en la contención.

- La contención no se encuentra inertizada por vapor en ninguna fase de los accidentes analizados. El pozo seco sí se encuentra inertizado por vapor en la secuencia de LOCA.

- Las bajas concentraciones de hidrógeno tanto en contención como en pozo seco al final de la fase “invessel”, permiten que los PAR gestionen adecuadamente nuevas liberaciones de hidrógeno tras el potencial fallo de la vasija. Las tasas generadas “exvessel” son inferiores a las generadas durante la fase “invessel”.

En lo que respecta a los tipos y características de los **códigos de cálculo y modelos utilizados** por CNC en los análisis, MAAP para el estudio de la generación de hidrógeno y GOTHIC para la distribución de hidrógeno, cabría destacar lo siguiente:

El código MAAP (código tipo “lumped parameters”), al igual que otros códigos de accidente severo, presenta grandes incertidumbres en la estimación de la generación de hidrógeno “invessel”. Estas incertidumbres han sido tenidas en cuenta por CNC a través de los propios parámetros de MAAP. Adicionalmente, cabe destacar que el informe IAEA-TECDOC-1661 menciona el código MAAP como uno de los códigos posibles para la estimación del hidrógeno generado.

El código GOTHIC (código de detalle) es un tipo de código que permite modelar tridimensionalmente la contención mediante su subdivisión en volúmenes de control. El informe IAEA-TECDOC-1661 identifica este código como adecuado para la simulación de la distribución del hidrógeno en la contención.

En lo que respecta a la verificación del modelo de planta del código MAAP, CNC indica que se han comparado los resultados obtenidos con la versión 4.0.7 frente a versiones

anteriores, siguiendo los criterios recogidos en el documento "MAAP Application Guidelines".

En cuanto a la verificación de que el modelo en GOTHIC representa adecuadamente la contención de CNC, el titular ha comparado los resultados obtenidos de la simulación de los escenarios de LOCA y SBO frente a los obtenidos de la simulación de los mismos transitorios con MAAP a fin de verificar que los fenómenos relevantes coinciden en ambos códigos.

Teniendo en cuenta que los códigos seleccionados son ampliamente utilizados por la industria, y así están reconocidos en el IAEA-TECDOC-1661, que CNC ha realizado adecuadamente un análisis de las incertidumbres asociadas al código MAAP, así como la validación del modelo de GOTHIC, además del nivel de detalle al que el titular ha llegado en sus cálculos, la Evaluación del CSN considera que en lo que respecta a los códigos de cálculo seleccionados, el titular cumple con lo establecido en los criterios de evaluación al respecto.

A priori se considera que las nodalizaciones usadas (20 nodos con MAAP, 3600 nodos con GOTHIC) ofrecen suficiente detalle para los objetivos del análisis realizado. No obstante lo anterior, la Evaluación del CSN ha considerado conveniente que el titular justifique que no hay un efecto significativo en lo relativo a la nodalización elegida con el código GOTHIC. Como consecuencia de ello, el CSN requirió al titular durante la reunión mantenida entre el CSN y CNC, que analizara el efecto de una nodalización de mayor detalle llevando a cabo comprobaciones que le permitan asegurar que la nodalización realizada con el código GOTHIC es suficiente.

La Evaluación del CSN considera que CNC deberá documentar las decisiones adoptadas en relación al número de nodos utilizado para la modelización de la contención con GOTHIC y analizar la variabilidad de los resultados al modificar dicho número de nodos. [Acción adicional AA3]. El objeto de este estudio adicional es determinar la influencia de la nodalización sobre las conclusiones obtenidas en los informes de cálculo de los PAR, verificando que nodalizaciones de mayor detalle no modificarían de manera relevante tales conclusiones.

En virtud de todo lo anteriormente expuesto, la Evaluación del CSN considera que los códigos de cálculo, las hipótesis y los análisis de incertidumbres, así como las secuencias seleccionadas por CNC para realizar sus cálculos son adecuados.

En lo que concierne al criterio de que **el sistema de PAR (eficiencia de recombinación de cada unidad, número y distribución) deberá ser capaz de limitar las concentraciones de hidrógeno en contención durante las diferentes fases del accidente severo de modo que se elimine la posibilidad de que se produzcan deflagraciones o detonaciones que pongan en peligro la integridad de la contención**, de los cálculos y análisis de sensibilidad realizados por el titular se desprende que se produce una reducción global de los tiempos en los que podrían darse combustiones en contención de entre el 87,9% (escenario TLOFW) y el 99,9% (escenario SBO) debido

a la instalación de los PAR propuestos. Sin embargo, aún se mantienen bolsas con picos en la concentración de hidrógeno por encima del 10%.

Como ya se mencionado en el presente informe, CNC ha realizado un análisis de sensibilidad al número de PAR, comparando la instalación propuesta de 47 PAR en contención frente al uso de 60 PAR, no obteniéndose la eliminación de estos picos ya que se generan de forma muy rápida, aunque son de corta duración. Esto es debido a la mayor velocidad a la que se generan dichos picos frente a la tasa de recombinación.

Los estudios aportados por CNC para la selección del número y ubicación de los PAR concluyen que la instalación de los PAR reduce notablemente los riesgos asociados a las detonaciones y deflagraciones de hidrógeno.

Teniendo en cuenta los cálculos vigentes, el número y ubicación de los PAR propuesto por CNC se considera adecuado. Sin embargo, se han identificado picos de hidrógeno que los PAR no son capaces de eliminar. Los análisis de sensibilidad realizados por CNC han mostrado que los picos seguirían presentes a pesar de incluir un número mayor de PAR debido a la velocidad a la que se generan frente a la tasa de recombinación de los PAR.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Evaluación del CSN considera aceptable la propuesta de CNC, si bien el titular deberá comprobar el potencial impacto que los picos de hidrógeno identificados en los estudios podrían representar sobre el comportamiento estructural de la contención. [Acción Adicional AA4]

El objeto de este estudio adicional es confirmar que la propuesta del titular es coherente con el criterio 6.2 dentro de los "Criterios de Evaluación a Considerar en las Modificaciones de Diseños post-Fukushima":

> *"El sistema de PAR (eficiencia de recombinación de cada unidad, número y distribución) deberá ser capaz de limitar las concentraciones de hidrógeno en contención durante las diferentes fases del accidente severo de modo que se elimina la posibilidad de que se produzcan deflagraciones o detonaciones que pongan en peligro la integridad de la contención".*

En cuanto al criterio de tener en cuenta la **minimización de la probabilidad de que actúen como fuente de ignición a la hora de determinar la ubicación de cada PAR**, CNC remitió con fecha 23 de septiembre de 2015 información que justificaba que los PAR no actuarían como fuente de ignición. En tal información, CNC expone que los valores necesarios para que exista una autoignición, se encuentran en torno al 8% de concentración. Por otra parte, la autoignición requiere de una temperatura en el medio elevada, de unos 800-900ºC, para lo cual es necesaria una presencia de oxígeno suficiente, que mantenga una recombinación intensiva en el PAR.

CNC también indica que de sus análisis se ha concluido que el máximo incremento de temperatura en los PAR derivado de la propia recombinación era de 55ºC, por lo que se hace prácticamente imposible que se alcance temperaturas de autoignición fuera

de los PAR. Además, CNC ha aplicado unos criterios de separación mínima entre PAR, establecidos por recomendación del fabricante, para limitar este fenómeno.

La evaluación del CSN considera que CNC deberá confirmar que las condiciones que se podrían alcanzar dentro del PAR, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, no dan lugar a un riesgo significativo en cuanto a la posible actuación de los PAR como fuentes de ignición. [Acción Adicional AA5]

En cuanto al criterio de que **los PAR deberán presentar una adecuada resistencia del catalizador a la degradación durante las condiciones de operación normal de la planta, y estará en consonancia con el programa de mantenimiento***,* CNC indica que no se prevé una degradación de la superficie catalítica de las placas instaladas en los PAR durante la operación normal de la planta. Según el titular, la experiencia operativa de estos equipos en otras plantas muestran una ausencia de degradación de las placas y el rendimiento de la reacción catalítica se mantiene constante después de más de 10 años de operación.

En cualquier caso, por recomendación del fabricante, CNC elaborará un programa de pruebas en el que el 100% de los PAR será monitorizado a lo largo de un periodo de 4 a 6 años. La prueba consistirá en la comprobación del rendimiento de la actividad catalítica de al menos 3 placas por PAR.

En base a la información aportada, la evaluación del CSN considera que se cumple razonablemente este criterio.

En cuanto al criterio de que **los PAR deberán estar diseñados, fabricados y ubicados de manera que la capacidad funcional de actividad catalítica pueda ser verificada según procedimientos de prueba periódica***,* según el propio diseño de los PAR, es posible extraer las láminas catalíticas para su inspección en servicio.

Según CNC, la ubicación de los PAR en contención y pozo seco tendrá en cuenta su accesibilidad para las labores de pruebas.

En base a la información aportada, la evaluación del CSN considera que se cumple razonablemente este criterio.

<u>Aspectos relacionados con la calificación</u>

En cuanto a los criterios sobre aspectos relacionados con la **calificación de los PAR**, CNC indica que en los análisis de tensiones que se están realizando durante la elaboración de las Ordenes de Cambio de Proyecto se tienen en cuenta las condiciones envolventes de cargas debidas al sismo de parada segura (SSE) y el margen adicional considerado en las pruebas de resistencia (SME, sismo de margen sísmico), y que dichos análisis se están realizando tanto para el propio equipo PAR como para sus soportes y anclajes.

Asimismo, CNC indica que en el proceso de calificación llevado a cabo por el fabricante se ha tenido en cuenta un amplio rango de condiciones en las que el equipo ha mantenido su funcionalidad. Las condiciones probadas incluyen el rango de parámetros de accidentes más allá de las Bases de Diseño de la Central. CNC indica que, adicionalmente durante el desarrollo del proyecto el fabricante realizará un informe de calificación para las condiciones particulares del pozo seco y contención de la central.

En lo que respecta a la ubicación y al efecto de otros elementos sobre los PAR (por ejemplo la rotura de tuberías), el titular remitió el 28 de septiembre de 2015 un correo electrónico en el que justificaba el cumplimiento con lo establecido en el criterio de aceptación a este respecto.

En la información aportada, CNC indica que las zonas de riesgo por roturas de alta energía son, fundamentalmente, el túnel de vapor y el pozo seco; y que en el caso de los PAR ubicados en pozo seco nunca se perdería más de uno debido a la separación existente entre ellos.

La evaluación del CSN considera, en base a la información aportada, que se cumple razonablemente con los criterios sobre aspectos relacionados con la cualificación. Al objeto de completar la documentación relativa a la calificación de los PAR, CNC deberá remitir al CSN los informes de resultados de los análisis de tensiones y el informe de calificación para las condiciones particulares del pozo seco y contención de los PAR, previstos a elaborar conforme se desarrolla el proyecto.

En base a todo lo anteriormente reflejado, la Evaluación del CSN considera adecuado apreciar favorablemente la modificación de diseño propuesta por CNC para la instalación de PAR, ya que supone una mejora notable respecto a la configuración existente que es conveniente no retrasar.

Por otra parte, la evaluación técnica del CSN de la información presentada por CNC ha dado lugar a la identificación de aspectos que, si bien no condicionan la apreciación favorable de la solicitud, requieren análisis adicionales de detalle por parte del titular que permitan ampliar la información disponible sobre determinados aspectos relativos a la utilización de los PAR. Fruto de la evaluación técnica de detalle es posible que se pudiera concluir la necesidad de instalar PAR adicionales. Sin embargo, y gracias al carácter modular de este tipo de sistemas, este hecho no debería afectar de modo relevante a la validez de las mejoras implantadas con las modificaciones de diseño para implementación de los PAR.

Tales análisis adicionales se han ido identificando a lo largo del apartado de evaluación (Acciones adicionales AA1, 2, 3, 4 y 5), y serán comunicados al titular mediante carta de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear.

- **Deficiencias de evaluación: NO**

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

4. CONCLUSIONES Y ACCIONES

Se propone apreciar favorablemente la solicitud de CNC Nº 15/01 de modificación de diseño para la instalación de recombinadores pasivos autocatalíticos (PAR) en la central nuclear Cofrentes.

CNC deberá realizar los siguientes análisis adicionales de detalle, y remitir la información que se indica, aspecto que será transmitido al titular mediante carta de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear:

a) Completar la simulación de la evolución completa del accidente de "Station Blackout", desde su inicio y extendiendo en el tiempo durante la fase "exvessel" al menos hasta que la concentración de oxigeno sea inferior al límite de inflamabilidad. El objeto de este estudio adicional es disponer de información más precisa sobre la composición de la atmósfera de la contención durante la fase "exvessel". En este estudio deberá incluirse la evolución del hidrógeno, del oxígeno y del monóxido de carbono, y deberá utilizarse la correlación asociada al comportamiento de los PAR frente al hidrógeno y monóxido de carbono suministrada por el fabricante.

b) Comprobar, mediante el uso de un código de cálculo específico para accidente severo, las conclusiones obtenidas en lo que respecta a la capacidad de recombinación de los PAR para el caso más limitante en cuanto al tanto por ciento de generación de hidrógeno (LOCA).

c) Documentar las decisiones adoptadas en relación al número de nodos utilizado para la modelización de la contención con GOTHIC y analizar la variabilidad de los resultados al modificar dicho número de nodos.

d) Comprobar el potencial impacto que los picos de hidrógeno identificados en los estudios podrían representar sobre el comportamiento estructural de la contención.

e) Confirmar que las condiciones que se podrían alcanzar dentro del PAR, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, no dan lugar a un riesgo significativo en cuanto a la posible actuación de los PAR como fuentes de ignición.

f) Con el fin de completar la documentación relativa a la calificación de los PAR, deberán remitir al CSN, antes de 1 mes tras la finalización de la Recarga 20, los informes de resultados de los análisis de tensiones y el informe de calificación para las condiciones particulares del pozo seco y contención de los PAR.

Enumeración de las conclusiones:

4.1. **Aceptación de lo solicitado: SI**

4.2. **Requerimientos del CSN: NO**

4.3. **Recomendaciones del CSN: NO**

4.4. **Compromisos del Titular: NO**