Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

ACTA DE INSPECCIÓN

D. [redacted] **y Dª** [redacted] funcionarios del Consejo de Seguridad Nuclear, acreditados como inspectores,

CERTIFICAN: Que el día doce de mayo de dos mil dieciséis, se han personado en las Oficinas de la Empresa Nacional del Uranio (ENUSA) sitas en Madrid, [redacted], que actúa como suministradora del combustible nuclear a la Central Nuclear de Ascó, emplazada en el término municipal de Ascó (Tarragona). La C.N. Ascó, cuya propiedad está representada por la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II, A.I.E (ANAV), dispone de Autorización de Explotación concedida por Orden Ministerial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de fecha veintidós de septiembre de dos mil once.

El titular fue informado de que la inspección tenía por objeto realizar comprobaciones sobre los modelos de elementos finitos y la metodología FAD (Faillure Assessment Diagram)/FITNET, utilizados para la comprobación de la integridad de la barra de combustible en el documento ITEC-1832 "Mechanical Assessment of Fuel Rods with Spalling of Cladding Water Oxide Layer under Drying, Storage and Transportation Loads", de acuerdo con el contenido de la agenda enviada previamente.

La inspección fue recibida, como representantes de ANAV, por **D.** [redacted] **y D.** [redacted] y como representantes de ENUSA, por **D.** [redacted] **D.** [redacted] **Dª** [redacted], **D.** [redacted], y otro personal técnico, quienes manifestaron conocer y aceptar la finalidad de la Inspección.

Los representantes del Titular de la instalación fueron advertidos previamente al inicio de la inspección que el acta que se levante de este acto, así como los comentarios recogidos en la tramitación de la misma, tendrán la consideración de documentos públicos y podrán ser publicados de oficio, o a instancia de cualquier persona física o jurídica. Lo que se notifica a los efectos de que el Titular exprese qué información o documentación aportada durante la inspección podría no ser publicable por su carácter confidencial o restringido.

El Titular manifiesta que, en principio, toda la información o documentación que se aporte durante la inspección tiene carácter confidencial o restringido, y solo podrá ser utilizada a los efectos de esta inspección, a menos que expresamente se indique lo contrario.

De la información suministrada por los representantes de ANAV y ENUSA a requerimiento de la Inspección, así como de las comprobaciones documentales realizadas directamente por la misma, resulta:

Los representantes de ANAV/ENUSA indicaron que todos los cálculos, tanto los análisis por elementos finitos como los cálculos mediante la metodología FITNET, habían sido realizados por ENUSA y revisados por [redacted] y se había contado con la presencia de un ingeniero de [redacted] durante dos semanas en las oficinas de ENUSA.

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88

Modelo de elementos finitos para el análisis de la caída vertical

A preguntas de la Inspección, los representantes de ANAV/ENUSA indicaron que:

- Se ha realizado un análisis estático con la opción de grandes deformaciones mediante el programa de cálculo ANSYS. Se ha utilizado un elemento tipo viga de sección cilíndrica para modelar la barra de combustible, considerando veinte elementos en cada vano entre rejillas.
- La deformada inicial de la barra de combustible se genera en el primer paso de carga del análisis, introduciendo unos desplazamientos impuestos en el modelo, lo que originan un estado tensional en la barra que se toma como estado de partida en los siguientes pasos de carga.
- En los siguientes pasos de carga, la carga se va variando hasta llegar a 60g en 1000 pasos para evitar problemas de convergencia de la solución cuando se alcanzan las aceleraciones que provocan el pandeo de los distintos vanos de la barra de combustible. Al alcanzar dichas aceleraciones, los desplazamientos de algunos nodos que representan la barra de combustible llegan a alcanzar la pared de la celda que se simula mediante una condición de contorno que impide el desplazamiento horizontal, permitiendo el libre movimiento en la dirección vertical.
- Se ha analizado una barra central por considerarla representativa para el cálculo de tensiones en una barra sana, tensiones que posteriormente se utilizan para la verificación del defecto con la metodología FITNET.
- El material de vaina se ha caracterizado como un material bilineal elasto-plástico en función de la temperatura. Los representantes de ANAV/ENUSA mostraron en el documento de ENUSA, "Spalled Fuel Rod Analysis for an Axial 9m Free Drop Accident of the Cask System" de ref. INF-NC-006224 Revisión 0, de 22/5/2014, la comparación gráfica, para tres temperaturas diferentes, y para una de estas temperaturas dos contenidos de hidrógeno diferentes, de la función utilizada en el modelo de elementos finitos frente a la correlación determinada en el documento del Pacific Northwest National Laboratory "PNNL Stress/Strain correlation for Zircaloy", de ref. PNNL-17700, de julio de 2008, mostrando la comparación un buen acuerdo.

La Inspección comprobó, en el documento mostrado por ANAV/ENUSA "Data List for Analysis of Spalled Fuel Rods Under Drying, Storage and Transportation Loads" de ref. INF-TD-007802, Revisión 4, de 13/03/2015, algunos datos de la modelización de las rejillas, como la restricción de los desplazamientos horizontales en los nodos que simulan las rejillas y la rigidez y precarga asignada a los elementos que simulan la interacción barra de combustible-muelle de la rejilla. Estos últimos valores, tal como indicaba el documento, se habían tomado de: "17X17 Vantage 5H with IFM Fuel Assembly Models" de ref. PDT-90-095, May16, 1990.

Los representantes de ANAV/ENUSA explicaron que la salida del análisis se genera como una gráfica paso por paso, utilizando los valores de fuerzas axiales y momentos obtenido en el último paso de carga, aceleración vertical de 60g, para la posterior comprobación de integridad estructural de la barra mediante la metodología FITNET. A pregunta de la

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88

Inspección, indicaron que no se había comprobado si en los pasos de carga intermedios se obtienen valores de fuerzas y momentos superiores, o que puedan conducir a mayores solicitaciones a tracción, que los obtenidos en el último paso de carga.

A solicitud de la Inspección, los representantes de ANAV/ENUSA mostraron una gráfica con la salida del programa correspondiente al caso de caída sobre tapas donde se representaba la deformada de la barra de combustible y la posición correspondiente al máximo momento en los vanos cinco, seis y siete, para el último paso de carga.

Modelo de elementos finitos para el análisis de la caída lateral

A preguntas de la Inspección, los representantes de ANAV/ENUSA indicaron que:

- La modelización del conjunto combustible está basada en la que se utiliza en diseño para el análisis dinámico del conjunto combustible.
- En el Apéndice C del documento "Fuel Assembly FEM for Analysis of a Free 9 Meters Drop in Transportation Accident", de ref. INF-NC-006262 Revisión 0, de 23/05/2014, se ha hecho una validación del modelo del conjunto combustible utilizado en el análisis de la caída lateral, comparando con los ensayos realizados para el diseño del conjunto combustible recogidos en el documento "Low Pressure Drop 17X17 Zircaloy Grid Crush Test Report", de ref. PDT-88-183, de octubre de 1988.
- El modelo analizado, mediante un análisis transitorio no lineal con el programa ANSYS, incluye la masa total del conjunto del contenedor, y modela los limitadores de impacto como un muelle equivalente.
- Las fuerzas y momentos utilizados para la posterior verificación de la integridad estructural de la barra combustible eran los máximos obtenidos durante todo el transitorio analizado.

La Inspección preguntó sobre la consideración de la contribución de la presión interna a las fuerzas axiles en la barra de combustible para la comprobación de la misma, tal como se hacía en el Estudio de Seguridad del contendor modelizado en los análisis, respondiendo los representantes de ANAV/ENUSA que la presión interna sólo se había tenido en cuenta en la comprobación de la denominadas "pinch loads", sumando las tensiones circunferenciales a las que da lugar. En cuanto a la contribución de la presión interna a las fuerzas axiales sobre la barra, los representantes de ENUSA consideraban que su contribución debía analizarse globalmente en el modelo, puesto que el mismo efecto de aumentar las fuerzas axiales en la barra también tendería a reducir los momentos generados por las fuerzas inerciales durante la caída, aunque su inclusión en el modelo supondría una complicación adicional.

Metodología FAD/FITNET

A preguntas de la Inspección, los representantes de ANAV/ENUSA manifestaron que la Metodología FITNET recopila los procedimientos que se han venido utilizando en Estados Unidos y Europa, como el código API del American Petroleum Institute o las normas de British Energy Generation, para la evaluación de la integridad estructural de componentes que

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88

presentan defectos. Así mismo consideraban que dado que el uso del FAD (Faillure Assessement Diagram) está ampliamente extendido en las prácticas de ingeniería, y permite la verificación simultánea del componente frente al fallo bien por fractura, bien por fluencia plástica, la utilización de la Metodología FITNET con el uso del FAD, era la más adecuada para evaluar la integridad estructural de las barras de combustible con exfoliación.

Sobre el uso de la Metodología FITNET, los representantes de ANAV/ENUSA confirmaron que se había utilizado exclusivamente para definir el diagrama FAD, según la Opción 3 de dicha metodología, y para el cálculo de los valores de K_r y L_r mediante las tablas que proporciona el procedimiento. Sin embargo, no se había seguido la metodología FITNET para la definición del valor de la propiedad característica de resistencia a la fractura, K_{mat}, ni del valor de $L_{r,max}$.

En relación con el valor de K_{mat} utilizado, los representantes de ANAV/ENUSA explicaron que habían utilizado un valor de K_{IC}, en función de la temperatura, inferior a todos los datos disponibles de ensayos realizados hasta el momento, y siguiendo las recomendaciones de EPRI. A preguntas de la Inspección, indicaron que dadas las características del material y la geometría del componente, no todos los ensayos de tenacidad reportados se realizan de acuerdo a una norma.

En relación con el valor de $L_{r,max}$ los representantes de ANAV/ENUSA explicaron que al ser la curva tensión-deformación del Zircaloy 4 bastante plana, en la zona plástica, el valor usado de $L_{r,max}$ para establecer el corte en el diagrama FAD no influye de forma significativa en los resultados, más aun teniendo en cuenta que para los defectos de interés, los punto K_r/L_r no se sitúan en zonas cercanas al valor de $L_{r,max}$.

A preguntas de la Inspección, los representantes de ANAV/ENUSA manifestaron que no se había realizado ningún análisis utilizando la Opción 1 de la metodología FITNET, por considerar que al disponer de las curvas tensión-deformación del material era adecuado utilizar directamente la Opción 3.

La Inspección preguntó por el valor del exponente de endurecimiento por deformación (n) utilizado para definir la curva tensión deformación del Zircaloy 4, indicando los representantes de ANAV/ENUSA que finalmente se habían utilizado valores de n diferentes a lo indicado en el ITEC-1832, de forma que la zona admisible definida por el FAD quedaba reducida respecto a la que se obtendría utilizando los valores de n calculados según la formulación del ITEC-1832, presentando a la Inspección el documento "Strain Hardening Exponent of the Ramberg-Osgood Equation for the FAD Calculations in the Spalled Fuel Rod Analysis", de ref. INF-NC-006414 Revisión 1 de 6/11/2014, donde se realizaban las correspondientes comparaciones.

Que a petición de la Inspección, los representantes de ENUSA mostraron varias gráficas donde se representaba los valores de K_r y L_r en el diagrama FAD, obtenidos para los casos de grieta radial de 4mm de longitud y 40% de profundidad para los vanos 5 y 7 en caída horizontal, y los vanos 6 y 7 en caída vertical, comprobando la Inspección que dichos puntos se situaban en la zona aceptable del diagrama donde el fallo está influido tanto por las propiedades de tensión como de fractura del material.

Que los representantes de ANAV/ENUSA mostraron en el Volumen 2 de FITNET, revisión MK8, de dónde se habían extraído las fórmulas para el cálculo de los valores de K_r y L_r, indicando

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88

que al haber extendido el cálculo para un rango amplio de geometría de grieta, en algunas ocasiones la formulación de FITNET no resultaba directamente aplicable, habiéndose realizado una extrapolación de las fórmulas apoyada mediante análisis por elementos finitos.

Por parte de los representantes de CN. Ascó se dieron las facilidades necesarias para el desarrollo de la inspección.

Con el fin de que quede constancia de cuanto antecede, y a los efectos que señalan las Leyes 15/1980 de 22 de abril de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear y 33/2007 de 7 de noviembre de Reforma de la Ley 15/1980 de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear, el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes y el Permiso referido, se levanta y suscribe la presente Acta, por triplicado en Madrid y en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear, a veintisiete de mayo de dos mil dieciséis.

TRÁMITE: En cumplimiento con lo dispuesto en el Art. 45 del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas citado, se invita a un representante autorizado de Central Nuclear de Ascó para que con su firma, lugar y fecha, manifieste su conformidad o reparos al contenido del Acta.

Estamos conformes con el contenido del acta CSN/AIN/AS0/16/1099 teniendo en cuenta los comentarios adjuntos.

L'Hospitalet de l'Infant a 9 de junio de dos mil dieciséis.

Director General ANAV, A.I.E.

En relación con el Acta de Inspección arriba referenciada, consideramos oportuno realizar las alegaciones siguientes:

- **Página 1, quinto párrafo**. Comentario.

  Respecto de las advertencias contenidas en la carta de transmisión, así como en el acta de inspección sobre la posible publicación de la misma o partes de ella, se desea hacer constar que toda la documentación mencionada y aportada durante la inspección tiene carácter confidencial, afecta a secretos comerciales y además está protegida por normas de propiedad industrial e intelectual por lo que no habrá de ser en ningún caso publicada, ni aún a petición de terceros. Además, dicha documentación se entrega únicamente para los fines de la Inspección. Igualmente, tampoco habrán de ser publicados los datos personales de ninguno de los representantes de la instalación que intervinieron en la inspección.

- **Página 2, cuarta viñeta**. Comentario:

  Donde dice "*...para el cálculo de tensiones en una barra sana...*"

  Debería decir"*...para el cálculo de tensiones en una barra* **sin exfoliar**..."

  Se realiza esta puntualización dado que con el término "*barra sana*" se podría entender una barra sin irradiar.

- **Página 3, final de la segunda viñeta**. Comentario:

  Donde dice "*...recogidos en el documento "Low Pressure Drop 17x17 Zircaloy Grid Crush Test Report", de ref. PDT-88-183, de octubre de 1988.*"

  Debería decir "*...recogidos en el documento* "**Vantage 5 Hybrid Fuel Assembly Mechanical Test Report**", *de ref. PDT-88-***187**, **de noviembre** *de 1988*"

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88
www.csn.es

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

DILIGENCIA

En relación con los comentarios formulados en el "**Trámite**" del Acta de Inspección de referencia **CSN/AIN/AS0/16/1099**, correspondiente a la inspección realizada a la Central Nuclear de Ascó, el día doce de mayo de dos mil dieciséis, los inspectores que la suscriben declaran:

- **Página 1, quinto párrafo:** El comentario no afecta al contenido del acta, haciendo notar que la publicación del acta no es responsabilidad de los inspectores.
- **Página 2, cuarta viñeta:** Se acepta el comentario, que no modifica el contenido del acta.
- **Página 3, final de la segunda viñeta:** Se acepta el comentario, que modifica el contenido del acta.

Madrid, 22 de junio de 2016

Fdo. [redacted]
Inspector CSN

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Fdo.: [redacted]
Inspectora CSN