

## PROPUESTA DE DICTAMEN TÉCNICO

### INFORME SOBRE LA SOLICITUD DE APRECIACIÓN FAVORABLE DE LA METODOLOGÍA PARA CONSIDERAR COMO “NO DAÑADOS” ELEMENTOS COMBUSTIBLES CON BAJO GRADO DE EXFOLIACIÓN EN CN ASCÓ

#### 1. IDENTIFICACIÓN

**1.1 Solicitante:** Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II A.I.E. (ANAV).

#### 1.2 Asunto

Solicitud de apreciación favorable de la metodología para considerar como “no dañado” elementos combustibles con bajo grado de exfoliación de capa de óxido.

#### 1.3 Documentos aportados por el solicitante

Con fecha 14 de junio de 2017, nº de registro de entrada 42732, se ha recibido la carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3697, remitida por ANAV adjuntando el documento ITEC-2057 “Verificación mecánica del combustible gastado AEF y AEF+IFM con exfoliación durante secado, almacenamiento y transporte en contenedor” que soporta la solicitud de apreciación favorable para considerar como “no dañado” elementos combustibles con bajo grado de exfoliación de capa de óxido.

Como resultado del proceso de evaluación, con fecha 6 de febrero de 2018, el titular ha remitido al CSN la carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3805 (nº de registro 40478) adjuntando el documento INF-TD-8216 Rev. 3 “Metodología para la clasificación de combustible gastado respecto al estado de la capa de óxido para el secado, almacenamiento en seco y transporte”.

#### 1.4 Documentos oficiales

N/A.

#### 2. DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LA PROPUESTA

##### 2.1 Descripción de la solicitud

ANAV solicita al CSN la apreciación favorable de la metodología para la clasificación como combustible no dañado elementos con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido. En el informe que se adjunta a la solicitud, se define el proceso a seguir para establecer la clasificación anterior y además se detallan las actividades en las que ha participado ANAV para desarrollar y soportar esta metodología.

Las solicitudes iniciales (SA-AC/15/06 y SA-AC/15-07 Rev.0) de ANAV, presentadas el 4 de junio de 2015 (nº de registro de entrada 42313) y 14 de octubre de 2015 (nº de registro de entrada 43627), respectivamente, incluían los elementos tipo AEF, AEF+IFM, STD y OFA.

La nueva metodología, presentada con carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3697, de 14 de junio de 2017, se ha modificado como resultado de las evaluaciones realizadas por el personal técnico del CSN, y aplica únicamente a los dos primeros tipos de elementos mencionados, es decir a elementos AEF, AEF+IFM.

En cuanto a los contenedores, la metodología es válida únicamente para el sistema de contenedor Holtec HI-STORM/HI-STAR 100 para almacenamiento (ATI de CN Ascó) y transporte del combustible gastado de CN Ascó.

Con esta metodología se analizan tres escenarios:

- (1) secado del interior del contenedor una vez cargado con combustible,
- (2) el almacenamiento en seco del combustible (ATI) y
- (3) el transporte del combustible en el contenedor hasta una nueva ubicación.

## 2.2 Motivo de la solicitud

ANAV presenta esta solicitud para la carga de elementos combustibles con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido en los sistemas HI-STORM y HI-STAR 100 de Holtec, licenciados para el almacenamiento y el transporte del combustible gastado de CN Ascó.

La exfoliación del óxido consiste en la pérdida local, durante la irradiación, de una fracción del óxido formado en la superficie exterior de la barra combustible. La pérdida local del óxido conlleva la generación de un punto frío en el que, bajo determinadas circunstancias (que haya hidrógeno disponible, elevada temperatura y suficiente gradiente térmico para que se pueda producir la difusión del hidrógeno hacia el punto frío), se puede producir una precipitación acumulada de hidruros de circonio, formando una ampolla o "blíster" de hidruro.

El hidruro de circonio que se forma durante la irradiación tiene el comportamiento mecánico propio de los materiales cerámicos, esto es, propiedades mecánicas iguales o superiores a las del material metálico original de la vaina bajo cargas de compresión y potencialmente frágil a tracción. Por ello, la existencia de un blíster puede suponer una pérdida de capacidad mecánica de la vaina bajo cargas de tracción, y requiere una verificación del cumplimiento de las funciones de seguridad del sistema contenedor/combustible.

El desprendimiento de la capa de óxido de barras combustibles es un fenómeno que ya se había observado en inspecciones de elementos de combustible con vaina de Zircaloy-4, en plantas nucleares PWR, que se manifiesta con más probabilidad en barras combustibles con quemados cercanos o superiores a 38-40 MWd/kgU. Por lo tanto, este fenómeno no es exclusivo del combustible de CN Ascó, ni es consecuencia de la forma en la que ha sido operada la instalación.

Como ya se ha indicado, el desprendimiento de la capa de óxido en barras irradiadas de Zircaloy-4 puede ser un mecanismo de degradación de la capacidad de la vaina de combustible para realizar sus funciones de seguridad durante almacenamiento en seco y transporte.

A efectos de la elaboración de los planes de carga de contenedores de almacenamiento en seco de combustible gastado de CN Ascó, ANAV se encuentra con dos dificultades: la ausencia de una metodología de análisis de la integridad estructural de vaina de combustible con exfoliación en las condiciones de los escenarios de secado, almacenamiento en seco y transporte; y la carencia de un criterio objetivo que permita clasificar el combustible como “dañado” o “no dañado” para su carga en contenedores.

Ante la posibilidad de que el combustible gastado de CN Ascó I y II susceptible de ser almacenado en seco en el ATI (el combustible con mayor tiempo de enfriamiento, fabricado con vaina de Zircaloy-4) pudiera presentar indicaciones de exfoliación (como después se confirmó en las inspecciones realizadas), ANAV, CNAT, ENRESA y ENUSA lanzaron en 2013 un proyecto para el desarrollo de una metodología de análisis que permitiese realizar la clasificación del combustible con exfoliación como “dañado” o “no dañado”.

### 2.3 Antecedentes

En la carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3318, de 4 de junio de 2015, ANAV presentó el dossier de solicitud de apreciación favorable de referencia SA-AC/15-06 Rev.0, para considerar como “no dañado” elementos combustibles tipos AEF, AFE+IFM y STD con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido.

Posteriormente, el 14 de octubre de 2015, ANAV presentó una nueva solicitud de apreciación favorable de referencia SA-AC/15-07 Rev.0 (carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3373), para considerar como “no dañado” elementos combustibles tipo OFA también con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido.

Estas solicitudes, y en particular la metodología que se proponía en sus documentos de apoyo, fue evaluada por las áreas INNU e IMES. Durante el proceso de evaluación hubo diversas interacciones con ANAV así como con ENUSA como autor de los documentos de cálculo. En particular, las evaluaciones se centraron en el documento ITEC-1832 Rev.0 incluido en el informe DST-2015-095 y que recogía los cálculos realizados para demostrar la integridad de la vaina.

Como conclusión del proceso de evaluación, la DSN envió la carta de referencia CSN/C/DSN/AS0/16/60 en la que se indicaba lo siguiente:

*“En el caso de que la alternativa seleccionada por ANAV fuera continuar por la vía de obtener aprobación para la metodología, ésta debería ser objeto de una puesta al día respecto de la presentada con las solicitudes mencionadas, teniendo en cuenta los distintos intercambios de información que han tenido lugar entre el CSN y ANAV-Enusa”.*

Durante el año 2017 tuvieron lugar dos reuniones en las que se plantearon por parte de CN Ascó y Enusa nuevas posibilidades y enfoques para la metodología incluyendo una nueva hipótesis para simular el *blíster* como una pérdida de material en vez de como una grieta en algún escenario.

En respuesta a la carta de la DSN, el titular envió la carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3697, adjuntando el ITEC-2057 "Verificación mecánica del combustible gastado AEF y AEF+IFM con exfoliación durante secado, almacenamiento y transporte en contenedor", con el fin de recoger los acuerdos alcanzados en las reuniones técnicas mantenidas los días 17/02/2017 y 17/03/2017. Por consiguiente, los elementos de combustible tipo STD y OFA, incluidos en las solicitudes iniciales, no se encuentran en el alcance de las evaluaciones recogidas en el presente informe.

Finalmente, como resultado del proceso de evaluación, el titular ha remitido al CSN la carta de referencia ANA/DST-L-CSN-3805 adjuntando el documento INF-TD-8216 Rev. 3 "Metodología para la clasificación de combustible gastado respecto al estado de la capa de óxido para el secado, almacenamiento en seco y transporte".

### 3. EVALUACIÓN

#### 3.1 Informes de evaluación:

**CSN/IEV/INNU/AS0/1801/931, rev. 1:** Evaluación de la metodología presentada por CN Ascó para considerar como "no dañado" elementos combustibles con bajo grado de exfoliación de capa de óxido.

**CSN/IEV/IMES/AS0/1712/928:** Evaluación de los análisis de la verificación mecánica para clasificar como "no dañado" elementos de combustible gastado con bajo grado de exfoliación en el sistema de almacenamiento HI-STORM 100 y de transporte HI-STAR 100 en la CN Ascó.

#### 3.2 Normativa y documentación de referencia

- Instrucción IS-26 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a instalaciones nucleares, de 16 de junio del 2010
- NUREG-1536, "Standard review Plan for spent Fuel Dry Storage Systems at a General License Facility", rev.1, Julio 2010.
- NUREG-1617 "Standard Review Plan for Transportation Packages for Spent Nuclear fuel", Enero 2000.
- NRC Interim Staff Guidance (ISG)-1 Rev.2, "Classifying the Condition of Spent Nuclear Fuel for Interim Storage and Transportation Based on Function", May 2007.
- Interim Staff Guidance (ISG)-11, rev. 3. "Cladding considerations for the transportation and storage of spent fuel". November 2003.

- NRC Interim Staff Guidance (ISG)-12 Rev.1, “Buckling of Irradiated Fuel under Bottom End Drop Conditions”.

La aceptabilidad de los análisis mecánicos se verifica frente a los criterios de la metodología “European Fitness-for-Service Network”, FITNET MK8, noviembre 2006.

### 3.3 Resumen de la evaluación

La nueva metodología presentada por CN Ascó para apreciación favorable viene recogida en el documento ITEC-2057 elaborado por ENUSA, empresa contratada por ANAV para realizar este desarrollo. Las áreas de Ingeniería Mecánica y Estructural (IMES) e Ingeniería del Núcleo (INNU) han realizado la evaluación del dicho documento.

#### 3.3.1. Evaluación del área INNU

El área INNU ha evaluado la metodología establecida en el informe ITEC-2057 centrándose en los siguientes aspectos:

1. Las hipótesis y datos del combustible utilizados como entrada de los análisis realizados.
2. Los datos relativos a las propiedades del material de vaina irradiado correspondientes con su grado de hidruración y con la morfología de los hidruros.
3. Las características (tamaño y morfología) asumidas para el defecto que supone la existencia en la vaina de una posible lente de hidruros (*blíster*) en las zonas en la que se ha identificado la exfoliación.

Además, el área INNU ha evaluado el documento INF-TD-8216 Rev. 3, relativo a la metodología para la clasificación del combustible respecto al estado de la capa de óxido, enviado por CN Ascó con posterioridad a la emisión inicial del IEV, lo que ha motivado la revisión 1 del mismo.

El concepto “combustible con bajo grado (o nivel) de exfoliación” no está definido en la documentación soporte. El área INNU considera que, para esta evaluación, este concepto se corresponde con las características analizadas en la solicitud, y que se concretan en:

- Elementos combustibles de los tipos AEF y AEF+IFM,
- Con exfoliación en los vanos 5, 6 y 7, pero no en los inferiores,
- Con quemado medio de elemento inferior o igual a 45 GWd/TU, espesor de capa de óxido menor de 150  $\mu\text{m}$  (valor *upper bound*) y una tensión circunferencial en cualquier barra durante secado inferior o igual a 90 MPa, y
- Alojado en el sistema contenedor de Holtec HI-STORM/HI-STAR 100 para CN Ascó.

Esta clarificación es necesaria, puesto que la solicitud de CN Ascó propone cargar en los contenedores Holtec como “no dañados” elementos combustibles de bajo quemado y afectados por “bajo nivel de exfoliación”; y la evaluación, que debe verificar (para considerarlos no dañados) que los elementos combustibles de “bajo nivel de exfoliación” no pierden su integridad durante las condiciones normales ni durante los accidentes postulados,

en los escenarios de secado, almacenamiento y transporte, se circunscribe a elementos combustibles que cumplen las características mencionadas.

La evaluación de los aspectos indicados en el párrafo anterior concluye lo siguiente:

1. De acuerdo con la solicitud, la metodología aplica a los elementos combustibles que cumplen las características indicadas anteriormente.
2. Los datos de entrada de la metodología (curva de enfriamiento, grado de quemado, espesor máximo de la capa de óxido, tensión circunferencial, propiedades mecánicas y tenacidad a la fractura del Zircaloy-4, propiedades del *blíster* en compresión y dimensiones del *blíster*) se consideran adecuados.
3. Las condiciones de la barra durante el escenario de secado, así como los resultados de este escenario, se consideran adecuados.
4. El estudio de posible fallo por excesiva fluencia mecánica (*creep*) durante el almacenamiento, incluidos las hipótesis, el tipo de fallo, el modelo, el criterio de fallo y los resultados, se consideran adecuados.
5. La metodología usada para la clasificación del combustible respecto al estado de la capa de óxido se considera adecuada.

Por todo lo anterior, dentro de sus competencias, el área INNU considera que la solicitud soportada por el documento ITEC-2057 demuestra adecuadamente que el combustible con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido de la barra de combustible (*spalling*) que cumple las características descritas anteriormente puede ser clasificado como “no dañado” para su carga en el sistema contenedor de Holtec HI-STORM/HI-STAR 100 para CN Ascó.

La evaluación destaca que la solicitud no implica que el combustible considerado de bajo grado de exfoliación pueda clasificarse como no dañado para otros sistemas de contenedores o cápsulas de almacenamiento y/o transporte diferentes del Holtec, o en posteriores operaciones que se realicen con este combustible (por ejemplo, en el almacén temporal centralizado, ATC). Por ello se considera necesario que en la información relacionada con los contenedores en los que se carguen elementos con bajo grado de exfoliación se haga constar este hecho.

### **3.3.2. Evaluación del área IMES**

El área IMES ha evaluado la validez de los cálculos presentados en el ITEC-2057 Rev.0 para clasificar como “no dañado” elementos de combustible de los tipos AEF y AEF+IFM que presentan un bajo grado de exfoliación de la capa de óxido de la barra de combustible (*spalling*), aplicados a los escenarios de secado y accidentes postulados de transporte, centrándose en los siguientes aspectos:

1. Alcance del documento ITEC-2057 rev. 0.
2. Criterios utilizados para la evaluación mecánica de la integridad de la barra de combustible con *spalling*: metodología FITNET.

3. Hipótesis y modelos de cálculo utilizados para determinar el nivel de tensiones en la barra de combustible.
4. Modelización de las ampollas de hidruros (*blíster*) para la verificación de la barra de combustible con *spalling* mediante los criterios de aceptación de FITNET y resultados obtenidos.

Un elemento de combustible (EC) puede considerarse como “no dañado”, para un sistema de almacenamiento y/o transporte, si cumple todas las funciones requeridas específicas del combustible y relacionadas con el sistema de almacenamiento y/o transporte.

Las posibles ampollas de hidruro (*blíster*) formadas en el espesor remanente (descontando el óxido) de la vaina de la barra de combustible, asociadas con la presencia de *spalling* (exfoliación), pueden mermar la capacidad resistente de la misma y provocar, en caso de rotura, la liberación de material radiactivo a la cavidad del contenedor. La metodología que se utiliza en el ITEC-2057 trata de determinar si los EC con *spalling* cumplen con las funciones requeridas en los Estudios de Seguridad del Sistema de Almacenamiento HI-STORM y del contenedor de transporte HI-STAR de CN Ascó, y por lo tanto pueden ser cargados como no dañados en este sistema de almacenamiento y transporte.

La evaluación de los aspectos indicados anteriormente concluye lo siguiente:

1. En el ITEC-2057 se analiza el comportamiento de la barra de combustible con bajo *spalling* frente a las cargas producidas durante el proceso de carga y secado del contenedor y durante las caídas en los casos hipotéticos de accidente en transporte. La evaluación considera que las situaciones contempladas en el ITEC-2057 son las necesarias y suficientes para verificar la integridad mecánica de la barra afectada por el defecto asociado con *spalling* en el Sistema de Almacenamiento y Transporte HI-STORM /HI-STAR 100.
2. La aplicación de la metodología FITNET para la verificación de las propiedades mecánicas de una barra de combustible con *spalling* es adecuada y se ha utilizado un nivel de análisis conservador y congruente con el conocimiento existente de las propiedades del material.
3. Las condiciones de contorno utilizadas en los análisis, en cuanto a combinación de temperatura de vaina y propiedades mecánicas, se considera que envuelven adecuadamente la vida de diseño del sistema de almacenamiento y transporte HI-STORM /HI-STAR 100.
4. Los modelos de cálculo utilizados para el análisis de las caídas en caso de accidente en transporte son adecuados para calcular de forma conservadora las cargas/tensiones en la sección de la barra de combustible, que son utilizadas posteriormente para la verificación de la integridad de la vaina mediante el FAD (Failure Assessment Diagram).
5. La modelización del defecto para simular el blíster de hidruros (grieta plana frente a cargas radiales y falta de material frente a cargas de flexión) es adecuada para evaluar de forma

conservadora la integridad de la vaina de combustible mediante la metodología FITNET. Los factores de seguridad calculados en todos los casos de carga estudiados son mayores que 1, por lo que el ITEC-2057 concluye que no se pierde la integridad de la barra de combustible con *spalling* ni durante el secado, ni en las caídas postuladas desde nueve metros en transporte y considera demostrado que el elemento de combustible con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido cumple las funciones de seguridad en el sistema de almacenamiento HI-STORM 100/Transporte HI-STAR, y es posible clasificarlo como “no dañado”.

La evaluación del área IMES parte de hipótesis y características del defecto consideradas en los cálculos presentados por ANAV cuya evaluación no entra en las competencias de dicha área, que han sido evaluadas y aceptadas por la evaluación del área INNU.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la evaluación considera que los análisis presentados en el ITEC-2057 para los elementos combustibles tipo AEF y AEF+IFM demuestran de forma razonablemente conservadora, teniendo en cuenta el nivel de conocimiento actual del fenómeno de *spalling*, que se mantiene la integridad estructural de las barras de combustible tipo con ligera exfoliación en el sistema de almacenamiento HI-STORM 100 utilizado en CN Ascó y en el contenedor de transporte HI-STAR, durante las operaciones de corta duración, y en los casos de operación normal y condiciones hipotéticas de accidente, y por lo tanto puede clasificarse como “no dañado” para su uso en este sistema de almacenamiento y transporte.

Las conclusiones del informe señalan dos aspectos adicionales:

- Se deberán actualizar los Estudios de Seguridad del HI-STORM 100 y del HI-STAR, para que incluyan la definición de combustible “no dañado” de acuerdo con la ISG-1 rev.2.
- Los elementos de combustible tipo AEF y AEF+IFM con bajo grado de exfoliación de la capa de óxido se pueden clasificar como “no dañados” de acuerdo con los análisis realizados en el ITEC-2057, exclusivamente para su almacenamiento y transporte en el Sistema HI-STORM/HI-STAR 100. Estos análisis no son válidos para justificar dicha clasificación en otros sistemas de contenedores de almacenamiento y transporte, ni en posteriores operaciones que se realicen con este combustible.

#### **3.4 Desviaciones:** No.

**3.5 Discrepancias respecto de lo solicitado:** La metodología se considera válida únicamente para almacenamiento y transporte de elementos combustibles tipo AEF y AEF+IFM, en el sistema contenedor HI-STORM/HI-STAR 100 licenciado para CN Ascó, que cumplen unas determinadas características en cuanto a quemado y *spalling*.

## **4. CONCLUSIONES Y ACCIONES**

Como resultado de la evaluación efectuada, la solicitud de apreciación favorable de CN Ascó se considera aceptable con las siguientes condiciones:

1. Aplica a elementos combustibles “con bajo grado de exfoliación” definidos como:
    - Elementos combustibles de los tipos AEF y AEF+IFM,
    - Con exfoliación en los vanos 5, 6 o 7, pero no en los inferiores, y
    - Con quemado medio de elemento inferior o igual a 45 GWd/TU, espesor de capa de óxido menor de 150  $\mu\text{m}$  (*valor upper bound*) y una tensión circunferencial en cualquier barra durante secado inferior o igual a 90 MPa.
  2. Los elementos de combustible definidos en el punto anterior se pueden clasificar como “no dañados” de acuerdo con los análisis realizados en el ITEC-2057, exclusivamente para su almacenamiento y transporte en el sistema contenedor de Holtec HI-STORM/HI-STAR 100, licenciado para CN Ascó.
  3. La metodología no es válida para justificar la clasificación de estos elementos combustibles como “no dañados” en otros sistemas diferentes de contenedores de almacenamiento y transporte, ni en posteriores operaciones que se realicen con este combustible.
  4. En la información relacionada con los contenedores en los que se carguen elementos con “bajo grado de exfoliación” de acuerdo con esta apreciación se hará constar este hecho.
  5. El titular deberá revisar los Estudios de Seguridad del sistema contenedor HI-STORM/HI-STAR 100 licenciado para CN Ascó, para incluir la definición de combustible “no dañado” de acuerdo con la ISG-1 rev.2 de la NRC.
- 4.1. Aceptación de lo solicitado:** Sí, con las condiciones indicadas en el apartado 4.
- 4.2. Requerimientos del CSN:** No.
- 4.3. Compromisos del Titular:** No.
- 4.4. Recomendaciones del CSN:** No.