

Objeto de la revisión 1 de la Propuesta de Dictamen Técnico de referencia CSN/TFCN/II/AFA-1/E-0155/17, aprobada por el Pleno del CSN en su reunión de 28 de julio de 2017

Como resultado de la revisión efectuada de la PDT de referencia CSN/TFCN/II/AFA-1/E-0155/17 (revisión 0), aprobada por el Pleno del CSN en su reunión de 28 de julio de 2017, con el fin de identificar la información propietaria y los datos personales que, previamente a su publicación y al amparo de la normativa aplicable debe ser eliminada, se detectaron una serie de pequeñas erratas que modifican el texto de la PDT, sin afectar al contenido técnico de la misma ni a las conclusiones alcanzadas en la revisión 0.

Las erratas encontradas y corregidas en esta revisión 1 son las siguientes:

Localización	Texto revisión 0	Texto Revisión 1	Observaciones
n/a	---	Nuevo apartado	Se introduce para explicar el objeto de la revisión
Pg 12	Están fabricados en un material compuesto de matriz metálica de aluminio y carburo de boro disuelto en dicha matriz (Al+B ₄ C), con capacidad de absorción neutrónica.	Están fabricados en un material compuesto de matriz metálica de aluminio y carburo de boro disuelto en dicha matriz (Al+B ₄ C), con capacidad de absorción neutrónica (MMC).	Se introduce el acrónimo de MMC, que posteriormente es utilizado a lo largo del informe.
Pg.16 (Tabla)	Se indica la opción de grado quemado medio mínimo	Se elimina esa opción dejando solo grado quemado medio máximo	No hay ninguna limitación que implique un grado de quemado mínimo. En el condicionado propuesto en la rev. 0 ya había sido corregido.
Pg. 22 Fila del párrafo del OIEA nº 617	(ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)	(ver condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)	Se modifica la referencia cruzada para indicar correctamente la condición de la propuesta de apreciación favorable.
Pg. 23 Fila del párrafo del OIEA nº 638	Ver condición 11 de la propuesta de apreciación favorable	Ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable	
Pg. 26 Fila del párrafo del OIEA nº 654	(ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)	(ver condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)	
Pg. 31 2º párrafo	(Este requisito se ha establecido en la condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)	(Este requisito se ha establecido en la condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)	

Pg. 42 2º párrafo	(ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)	(ver condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)	
Pg. 42 Último párrafo	logrando unas temperaturas límite de secado que oscilan entre las 111.48 y 30.65 horas	logrando unos tiempos límite de secado que oscilan entre las 111.48 y 30.65 horas	Errata
Pg. 43 Último párrafo	(ver condición 11 de la propuesta de apreciación favorable)	(ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)	Se modifica la referencia cruzada para indicar correctamente la condición de la propuesta de apreciación favorable
Pg. 43 4º párrafo	(lo que se especificará en la condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)	(lo que se especificará en la condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)	
Pg. 56 1º párrafo	Se recoge solo la situación de la condición caliente, debido a que los resultados para la condición fría son muy similares. El ES	Se recoge solo la situación de la condición caliente, debido a que los resultados para la condición fría son muy similares.	Eliminación de palabras. Errata
Pg. 63 6º párrafo	(ver condición 11 de la apreciación favorable)	(ver condición 9 de la apreciación favorable)	Se modifica la referencia cruzada para indicar correctamente la condición de la propuesta de apreciación favorable
Pg. 95 Con dición 4 a)	264 (a)	264	Errata. Se elimina la referencia (a) de la fila correspondiente a nº de barras combustibles. (Esta errata ya se corrigió en la carta de apreciación favorable, por lo que no afectaría a la misma)

ÍNDICE

1. IDENTIFICACIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES DEL BULTO.....	5
3. DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LA SOLICITUD.....	5
4. DOCUMENTACIÓN PRESENTADA	6
5. DESCRIPCIÓN DEL BULTO	7
5.1. DESCRIPCIÓN BÁSICA.....	7
5.2. DESCRIPCIÓN EN DETALLE DEL EMBALAJE	8
5.3. DESCRIPCIÓN EN DETALLE DEL CONTENIDO	15
5.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTENCIÓN.....	18
5.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONFINAMIENTO	18
6. EVALUACION.....	18
6.1 ALCANCE	18
6.2 REQUISITOS REGLAMENTARIOS	20
6.3 EVALUACIÓN DEL TÉRMINO FUENTE	27
6.4 EVALUACIÓN DE BLINDAJE	28
6.5 EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS TÉRMICOS.....	31
6.5.1 Sistema de evacuación de calor	32
6.5.2 Materiales y Límites de Diseño.....	33
6.5.3 Cargas térmicas y condiciones ambientales.....	35
6.5.4 Modelos Térmicos	35
6.5.5 Métodos Analíticos.....	37
6.5.6 Propiedades térmicas de los materiales.....	38
6.5.7 Cálculos para las condiciones rutinarias y normales de transporte (CNT) y las condiciones de accidente	39
6.5.8 Calculo de la temperatura máxima en las operaciones de carga, drenaje y secado del contenedor	41
6.5.9 Calculo de la presión interna	42
6.5.10 Dilataciones diferenciales.....	43
6.5.11 Temperaturas mínimas: verificación de la ductilidad de la vaina.	44
6.5.12 Temperaturas mínimas en las forjas de acero de la barrera de contención.....	45
6.5.13 Conclusiones de la evaluación térmica	46
6.6 EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS ESTRUCTURALES.....	48
6.6.1 Condiciones rutinarias y normales de transporte (CNT)	50
6.6.2 Fallo por fractura frágil.....	53
6.6.3 Fallo por fatiga.....	54
6.6.4 Condiciones de accidente de transporte (CAT)	54
6.6.5 Evaluación del sistema de cierre.	57
6.6.6 Análisis del combustible.	58
6.6.7 Análisis de los limitadores de impacto.....	59
6.6.8 Conclusiones del análisis estructural.....	60

6.7 EVALUACIÓN DE LA CONTENCIÓN	60
6.8 EVALUACIÓN DE LA CRITICIDAD Y ESTADO DEL COMBUSTIBLE	63
6.8.1 Evaluación de la criticidad	63
6.8.2 Estado del combustible con quemados medios superiores a 45 GWd/tU.....	67
6.9 EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE GARANTIA DE CALIDAD DENTRO DEL SISTEMA DE GESTIÓN	73
6.10 INSTRUCCIONES DE USO Y MANTENIMIENTO.....	75
6.10.1 Instrucciones de uso	75
6.10.2 Instrucciones de mantenimiento y criterios de aceptación.	78
6.11. ANALISIS DE DEFENSA EN PROFUNDIDAD.....	80
6.11.1 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis estructural.....	80
6.11.2 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de blindaje	81
6.11.3 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis térmico.....	82
6.11.4 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de criticidad	83
6.11.5 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de la contención.	85
6.11.6 Conclusiones del análisis de reconfiguración.....	85
7. CONCLUSIONES.....	85
8. PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS.....	85
9. RELACIÓN DE INFORMES	86
10. REFERENCIAS	87
Anexo I: Propuesta de apreciación favorable y condicionado	89

1. IDENTIFICACIÓN

ENTIDAD SOLICITANTE

NOMBRE: Equipos Nucleares S.A.

DOMICILIO SOCIAL C/ José Ortega y Gasset 20, 5º

LOCALIDAD: Madrid

PAÍS: España

FIRMANTE DE LA SOLICITUD:

NOMBRE: [REDACTED]

CARGO: [REDACTED]

FECHA DE ENTRADA EN EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN):

ENSA remitió al CSN el 18 de mayo de 2015 (reg. entrada 8236) la solicitud de apreciación favorable del nuevo diseño de bulto ENUN 24P como bulto de transporte [1], según el artículo 82 del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), adjuntando la revisión 0 del Estudio de Seguridad del Contenedor [2]. Posteriormente, el 4 de agosto de 2015, se recibió en el CSN la aceptación por ENSA del presupuesto emitido por el CSN del precio público para la citada solicitud, de acuerdo con Ley 14/1999 de 4 de mayo, *de Tasas y Precios Públicos del Consejo de Seguridad Nuclear*.

En fecha 2 de noviembre de 2015 (reg. entrada 17665) ENSA remitió al CSN la revisión 1 del Estudio de Seguridad (ES) del contenedor, introduciendo una serie de pequeñas modificaciones en el diseño del bulto, así como actualizaciones de la edición aplicable de las normativas internacionales sobre transporte de mercancías peligrosas y la incorporación de comentarios avanzados por el CSN durante la evaluación llevada a cabo hasta esa fecha.

Con posterioridad, el 26 de julio de 2017 (nº de registro 43475) [4], y también procedente de ENSA se recibe escrito solicitando la apreciación favorable del diseño del bulto, acompañado de la revisión 2 del Estudio de Seguridad [5], que actualiza el documento y recoge las modificaciones finales derivadas del proceso de licenciamiento.

2. ANTECEDENTES DEL BULTO

- TIPO DE BULTO

B FISIONABLE: B(U)F

- APROBADO ANTERIORMENTE EN ESPAÑA: NO

- MODOS DE TRANSPORTE:

CARRETERA: SI

FERROCARRIL: SI

MAR: SI

AIRE: NO

- OBSERVACIONES:

El bulto ENUN 24P es un contenedor de doble propósito, diseñado tanto para el almacenamiento como para el transporte de combustible gastado, aunque ENSA solo ha solicitado la apreciación favorable del diseño del modelo ENUN 24P como bulto de transporte.

El diseño conceptual es similar al del ENUN-32P, ya aprobado en España a solicitud de ENSA, y que va a ser utilizado en centrales nucleares españolas. Sin embargo, el contenedor ENUN 24P será fabricado por ENSA

no previendo su distribución en España, ya que está diseñado para transportar en su interior elementos combustibles gastados tipo PWR cuyo diseño no se utiliza en nuestro país.

3. DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LA SOLICITUD

El Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [6] en el que se basa la normativa nacional vigente, establece la necesidad de que el diseño de los bultos de transporte tipo BF se someta a un proceso de aprobación multilateral. Este requisito se encuentra recogido en los apartados 6.4.22.2 del Acuerdo europeo para el transporte de mercancías peligrosas por carretera (ADR) [8], del Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías

peligrosas por ferrocarril (RID) [9], y del Código marítimo internacional de mercancías peligrosas IMDG) [10].

En base a esa normativa para la aprobación del diseño de bulto la autoridad competente ha de emitir un certificado de aprobación caracterizado con una determinada marca de identificación (apartado 6.4.23.11 del reglamento ADR).

De acuerdo con el artículo 77 del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, la autoridad competente para emitir las aprobaciones de los diseños de bulto es la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (Minetad), previo informe preceptivo y vinculante del CSN. Independientemente de ello desde el CSN se consideró que, previamente al proceso definido por el artículo 77 del RINR, el diseño debía someterse al proceso de apreciación favorable para nuevos diseños definido por el artículo 82 del RINR.

Por tanto, en cumplimiento con el artículo 82 del RINR, ENSA ha solicitado la apreciación favorable del nuevo diseño del contenedor ENUN-24P como bulto de transporte, acompañando su solicitud con el Estudio de Seguridad de referencia 1AG9-T, en revisión 2 [8] y con el resto de documentación identificada en la Guía de Seguridad 6.4 del CSN [7]. Posteriormente, ENSA podría solicitar el certificado de aprobación del diseño del contenedor ENUN-24P, de acuerdo con lo establecido en la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas, tal y como indica el punto 2 del artículo 82 del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.

El objeto de este informe es la evaluación de la apreciación favorable del nuevo diseño de bulto de transporte, de acuerdo con el artículo 82 del RINR, y se tomarán como referencia los requisitos establecidos en la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas para un bulto del tipo B(U)F.

4. DOCUMENTACIÓN PRESENTADA

La solicitud presentada en fecha 26 de julio de 2017 se acompañó de la siguiente documentación:

- Información General (1AG9IG001, rev. 2).
- Especificaciones del Contenido Radiactivo del Bulto (1AG9EC001, rev. 2).
- Especificaciones del Embalaje (1AG9EE001, Rev.2).
- Informe de Ensayos (1AG9IE001, Rev. 2).
- Estudio de Seguridad (1AG9-T, Rev. 2).
- Plan de Calidad (9231QP001, Rev. 9).

- Informes de Cálculo Soporte y Planos de Licencia.
- Informes del análisis de defensa en profundidad para el combustible de alto grado de quemado.

5. DESCRIPCIÓN DEL BULTO

5.1. DESCRIPCIÓN BÁSICA

El contenedor ENUN 24P ha sido diseñado para albergar 24 elementos combustibles gastados tipo PWR "no-dañados", según diseños de AFA 2G, AFA 3G, AFA 3GAA, cuyas características se incluyen en la tabla 1.2.5 "Descripción de los Elementos Combustibles autorizados para ser transportados en el contenedor ENUN 24P, y Parámetros Operativos de la CN "del Estudio de seguridad.

El contenedor ENUN 24P no dispone de ninguna función activa de seguridad. Cada función de control de criticidad, protección radiológica, contención y térmica (evacuación de calor) es realizada mediante medios pasivos.

Es un contenedor metálico multipropósito capaz de operar en la modalidad de transporte, la cual podrá ser intermodal: terrestre (ferrocarril, carretera) y marítima.

Sus dimensiones (ver figura1 del Anexo I) y pesos aproximados son:

- Diámetro de la cavidad interna: 1669 mm
- Longitud de la cavidad interna: 4142,5 mm
- Diámetro del cuerpo o vaso: 2513 mm
- Longitud del cuerpo o vaso: 4812,5 mm
- Diámetro de los limitadores de impacto: 3300 mm
- Longitud del bulto (con limitadores de impacto): 7901 mm
- Peso del bulto vacío sin limitadores: 89851 kg
- Peso aproximado del bulto cargado: (sin limitadores): 105782-105885 kg
- Peso aproximado del bulto cargado (con limitadores): 120183-120286 kg

Las variaciones en el peso aproximado del bulto cargado dependen del tipo de combustible acondicionado en su interior (tabla 1.2.1 del Estudio de Seguridad).

5.2. DESCRIPCIÓN EN DETALLE DEL EMBALAJE

El contenedor ENUN 24P, se basa en cuatro grupos principales de componentes (figura 5.1):

- Cuerpo o vaso.
- Sistema de cierre
- Bastidor de combustible
- Limitadores de impacto

a) Cuerpo o vaso

El contenedor ENUN 24P es un cilindro formado principalmente por dos **virolas cilíndricas** (superior e inferior) y un fondo, soldados entre sí formando el cuerpo del contenedor. A su vez, el fondo lo constituye una pieza de forja circular que va soldada a la virola inferior. En la parte más externa se dispone la virola envolvente del tanque de blindaje neutrónico.

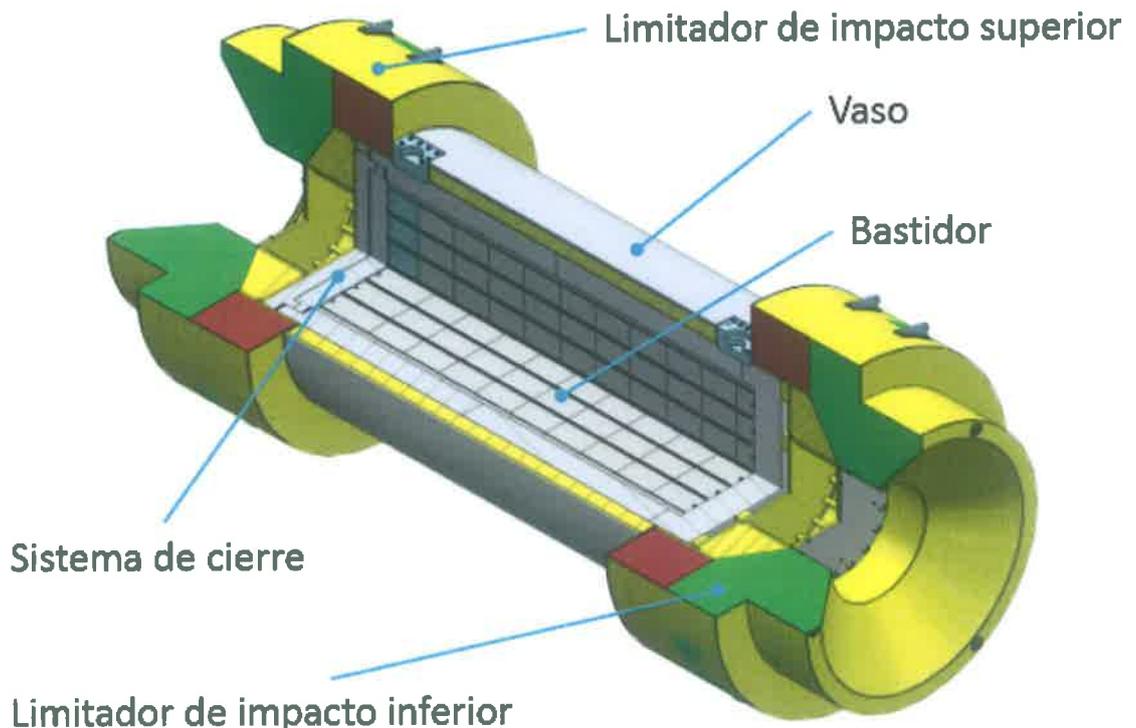


Figura 5-1 Vista general de los componentes del bulto ENUN- 24P

Situadas radialmente entre las virolas cilíndricas y la virola de blindaje neutrónico se sitúan las aletas de aluminio disipadoras de calor y, entre ellas, el material de blindaje neutrónico (ver figura 5.2).

Para facilitar la descontaminación, las superficies externas del contenedor se han diseñado y terminado de forma que no tengan partes salientes.

Las **aletas de aluminio disipadoras de calor** forman un conjunto situado en el espacio anular existente entre las virolas interiores y la virola del tanque de blindaje neutrónico, y presentan un esviaje respecto a la dirección radial del contenedor. En el espacio interior de las aletas va instalado el material de blindaje neutrónico (ver figura 5-2).

Los principales componentes del contenedor ENUN 24P con funciones de blindaje contra la radiación lo componen el bastidor de combustible, el vaso del contenedor, las tapas interior y exterior, el material de blindaje neutrónico, la virola envolvente, los discos de blindaje neutrónico de los limitadores de impacto:

- El blindaje contra las radiaciones gamma en dirección radial, lo proporcionan el acero al carbono del vaso del contenedor y de la virola envolvente exterior. Las tapas y el fondo del contenedor proporcionan el blindaje en dirección axial.

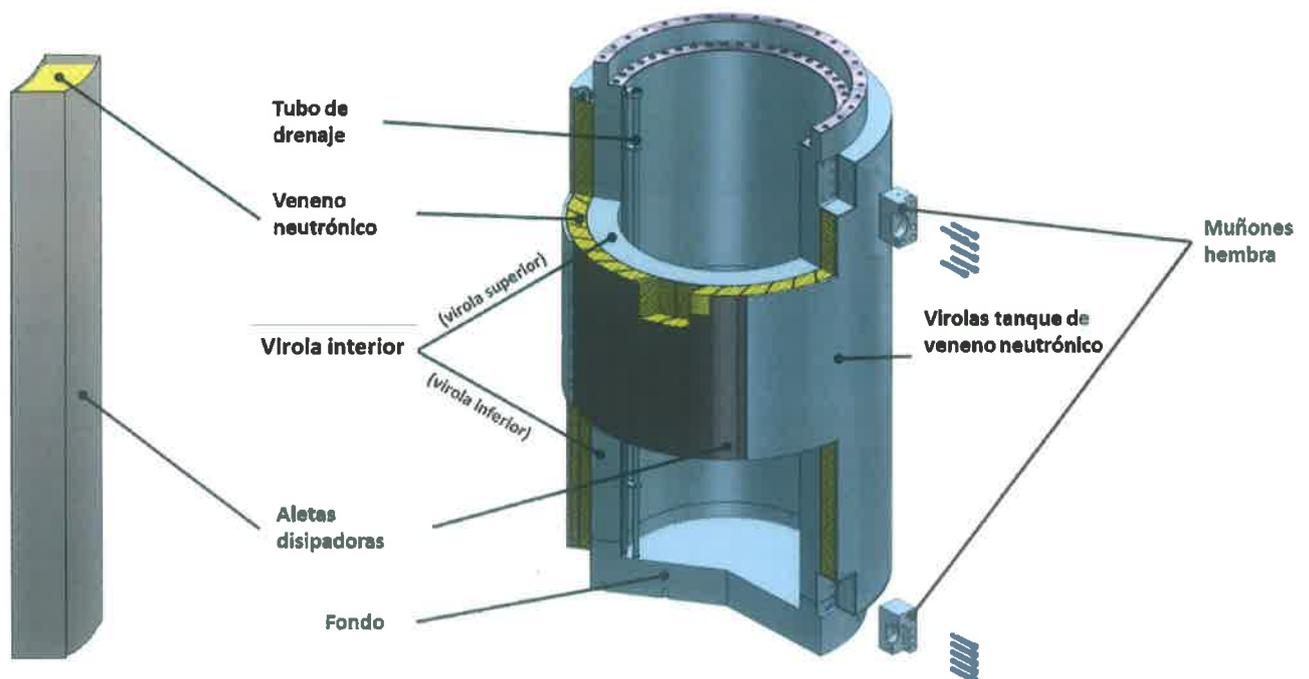


Figura 5-2 Figura esquemática del cuerpo del contenedor ENUN-24P

- El blindaje neutrónico lo proporciona un polímero sintético sólido con una base de resina epoxi sobre el que se adhiere carburo de boro (por ejemplo: NS4-FR) y que se encarga de absorber la radiación neutrónica. Este material se introduce en el interior de las aletas disipadoras de calor, situadas entre la virola interior y la virola envolvente (ver figura 5.2)

Dos muñones hembra de elevación macizos, de acero de alta resistencia, fijados con pernos a la virola superior (ver figura 5-2) y que tienen como función el izado y manejo del contenedor. Para poder ubicar los muñones ha sido necesario recortar la envolvente del tanque del blindaje neutrónico en esta zona.

Dos muñones hembra de rotación macizos, de acero de alta resistencia, fijados con pernos a la virola inferior (ver figura 5-2) y que tienen como función el manejo del contenedor. Para poder ubicar los muñones ha sido necesario recortar la envolvente del tanque del blindaje neutrónico en esta zona.

Los muñones superiores y los muñones inferiores serán los elementos principales de amarre del contenedor a la cuna de transporte.

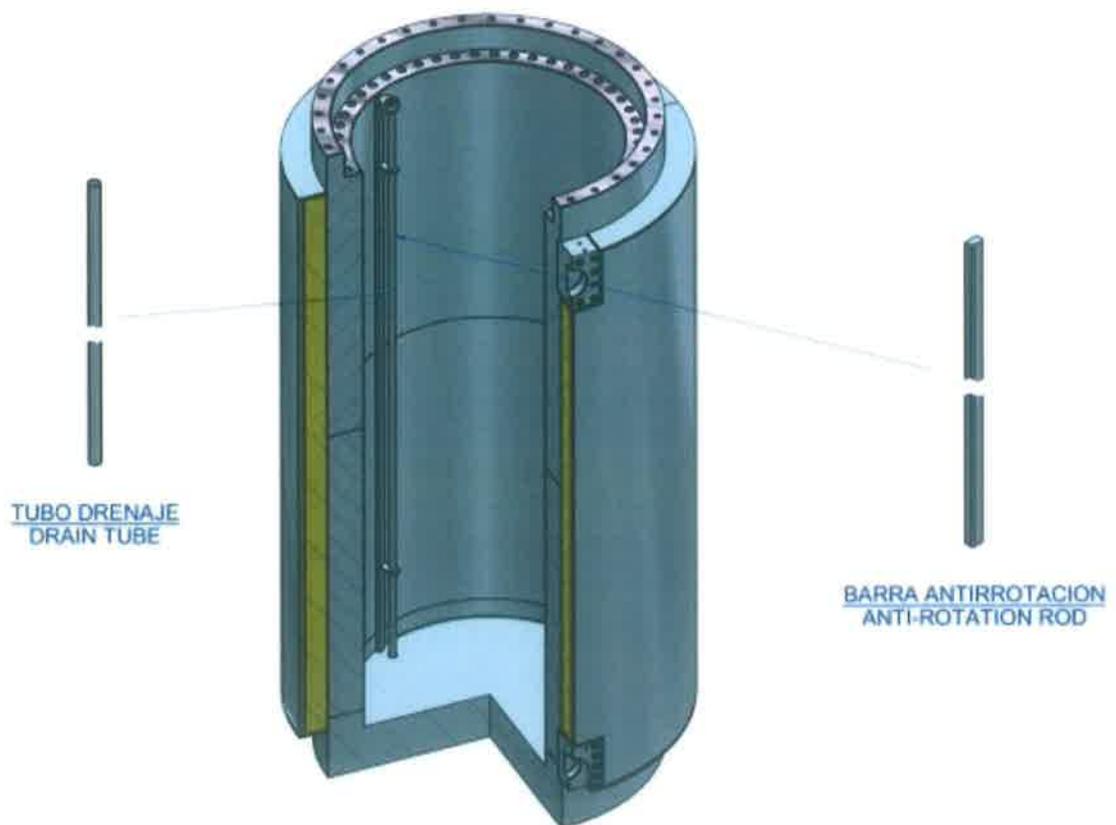


Figura 5-3 Detalle de componentes del cuerpo del contenedor ENUN-24P

El **tubo de drenaje** es de acero inoxidable dispuesto paralelamente al eje del contenedor y de longitud igual a la de la cavidad interna. Su función es la conducción del agua durante la operación de drenaje, y la recirculación de nitrógeno durante el secado posterior.

El tubo de drenaje va fijado mediante unos soportes a una **barra antirrotación**, la cual a su vez va soldada a la superficie interior de la virola. Se trata de una barra de sección

cuadrada y de acero al carbono, cuya función consiste en mantener al bastidor en posición y evitar su giro en cualquier condición de operación (ver figura 5-3).

b) Sistema de cierre

El contenido que se aloja en la cavidad interna del cuerpo del contenedor se aísla del exterior mediante dos tapas: interior y exterior.

La tapa interior consiste en una placa plana circular fabricada en el mismo acero al carbono que la virola. En su periferia hay 48 agujeros pasantes para su unión a la virola superior del contenedor mediante tornillos de acero al carbono aleado. Se evita la posibilidad de escape radiactivo mediante la instalación de una junta metálica doble de estanqueidad.

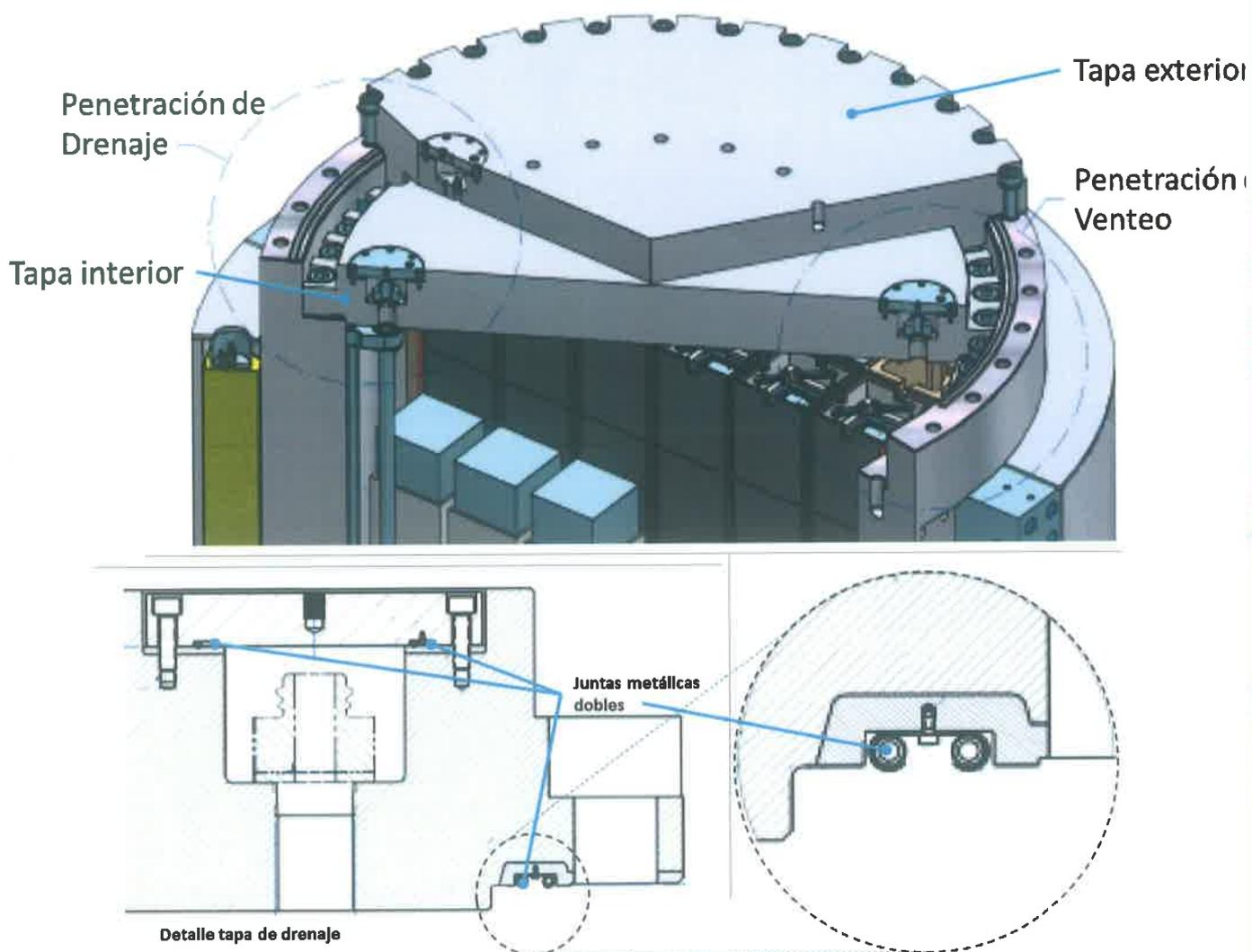


Figura 5-4 Detalle del cierre del ENUN-24P

Va provista de 2 penetraciones idénticas embebidas para las operaciones de venteo y drenaje. La hermeticidad de las penetraciones mencionadas queda asegurada

mediante el empleo de sendas juntas metálicas dobles de estanqueidad y de sus correspondientes tapas de las penetraciones, también empernadas.

La tapa exterior consiste en otra placa plana circular de acero al carbono, muy similar a la tapa interior. Incluye, además, un resalte anular en su parte inferior, que tiene como función proteger a los tornillos que conforman la unión con la virola interior de los esfuerzos cortantes. En su periferia hay 36 agujeros pasantes para su unión a la virola superior del contenedor mediante tornillos del mismo acero al carbono aleado que los de la tapa interior. Va provista de una única penetración embebida. Su función es el alojamiento de un transductor de presión, mediante el que se registrará y monitorizará el valor de la presión en el espacio entre tapas, durante el almacenamiento. Para la modalidad de transporte, se sustituye el transductor de presión por un tapón.

En su cara exterior contiene 16 agujeros roscados para amarrar los tornillos del limitador de impacto superior. La cara inferior de la tapa cierra sobre la superficie de asiento del vaso con una junta metálica doble.

c) Bastidor de combustible

Es el componente más cercano al contenido que aloja el contenedor (combustible gastado). Su misión es múltiple ya que da soporte y mantiene la geometría de los elementos combustibles cargados, les proporciona protección estructural, participa en la disipación de calor residual y participa en el control de la reactividad mediante la utilización de venenos neutrónicos.

El bastidor de combustible está compuesto de los siguientes componentes (ver figura 5-6): estructura de emparrillado, tubos combustibles, conjunto de placas periféricas y guías del bastidor.

La **estructura de emparrillado** está formada por un conjunto doble de chapas de acero inoxidable austenítico encajadas entre sí por medio de ranuras. Constituyen un emparrillado que sirve de soporte de los elementos combustibles. La estructura doble del emparrillado dispone de un espacio de 16 mm entre cada una de las chapas paralelas, constituyendo una "trampa de agua" (ver figura 5.5).

Los **tubos de combustible** son tubos de sección cuadrada que se instalan dentro de las celdas formadas por la estructura de emparrillado. Están fabricados en un material compuesto de matriz metálica de aluminio y carburo de boro disuelto en dicha matriz (Al+B₄C), con capacidad de absorción neutrónica (MMC).

El **conjunto de placas periféricas** está formado por chapas de acero inoxidable situadas en disposición periférica y soldadas a las chapas de la estructura de

inoxidable. Permiten afianzar el conjunto y la conexión de las guías del bastidor mediante unas varillas roscadas soldadas y fijadas mediante tuercas y arandelas. También proporcionan blindaje frente a las radiaciones gamma

Las **guías del bastidor** son perfiles de aleación de aluminio que rodea la estructura de acero inoxidable, y constituyen la transición entre la periferia poligonal de dicha estructura y el interior cilíndrico del vaso. Su sección tiene celdas con formas triangular y cuadrangular, siendo siempre curva la cara próxima a la envolvente cilíndrica del vaso.

Las guías del bastidor van atornilladas a las placas verticales de refuerzo que están soldadas a las caras exteriores de las chapas del bastidor (ver detalle en la figura 5-5).

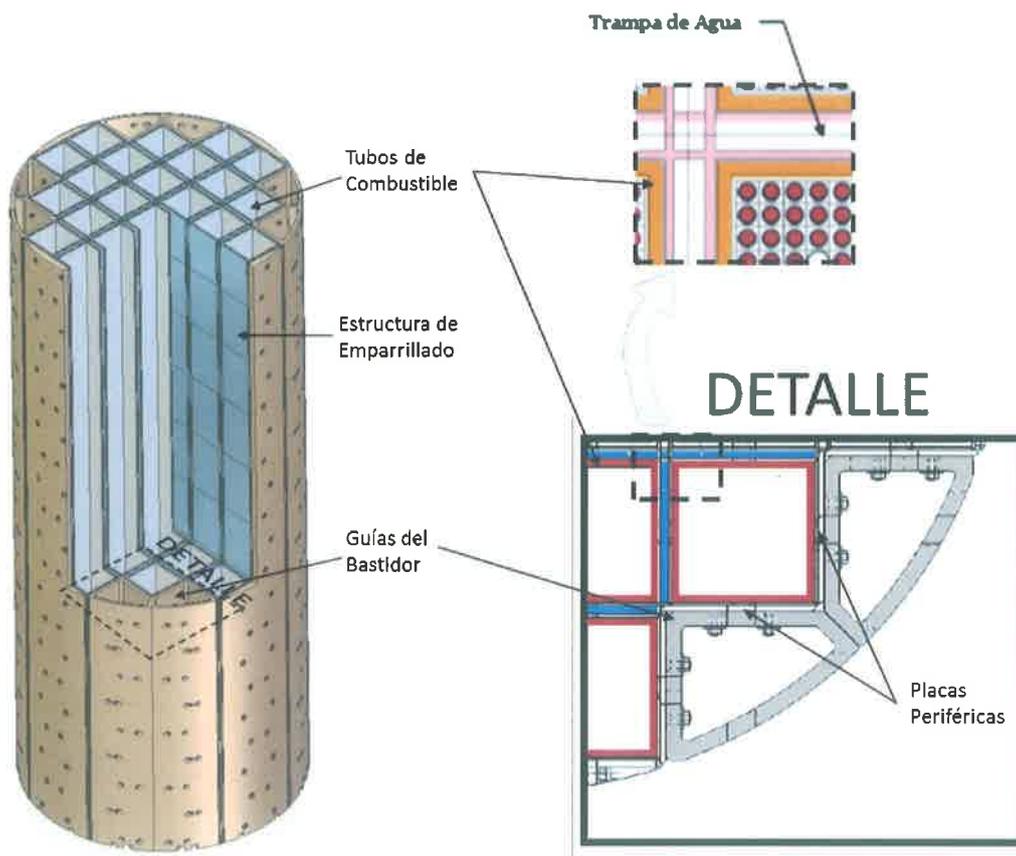


Figura 5-5: Componentes del bastidor de combustible del contenedor ENUN-24P

d) Limitadores de impacto

Son componentes con forma vasiforme, utilizados únicamente en la modalidad de transporte para amortiguar las fuerzas de impacto originadas en las caídas que pudieran producirse en las condiciones de transporte normales o de accidente.

Los limitadores de impacto deberán garantizar que no se superen las fuerzas de impacto consideradas como límite de diseño del contenedor. Además, como criterio

adicional de diseño, se establece que ambos limitadores de impacto deberán permanecer unidos al contenedor después de una caída.

Los limitadores de impacto están constituidos por espuma de poliuretano, una estructura de aluminio en forma de panel de abeja y una carcasa o cuerpo que dispone de orejetas de elevación, y se unen al cuerpo del contenedor mediante 16 pernos de amarre (ver figura 5-6)

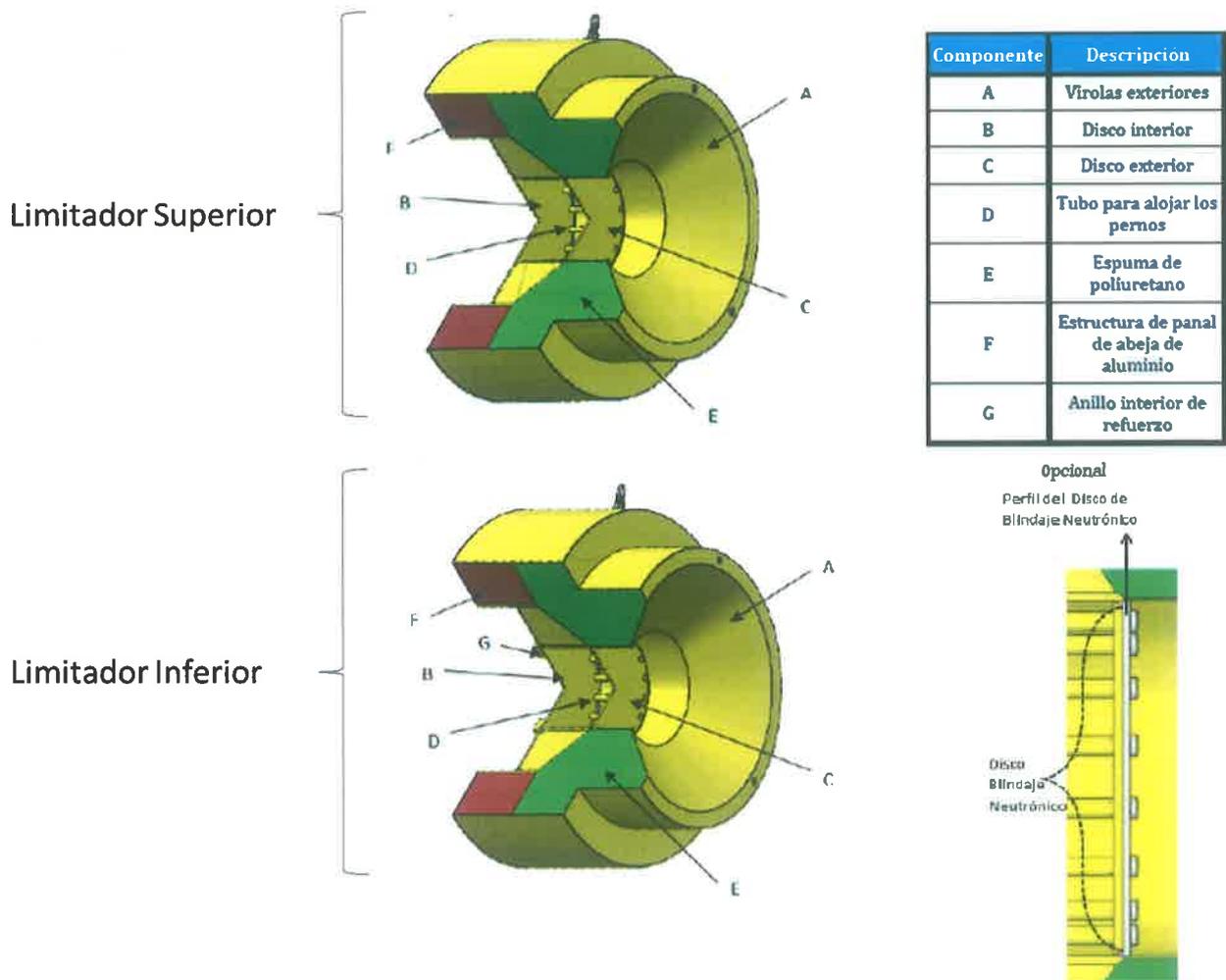


Figura 5-6: Detalle de los componentes de los limitadores de impacto del ENUN-24P

La **espuma de poliuretano** es un polímero poroso utilizado para amortiguar las fuerzas de impacto originadas en las caídas, absorbiendo la energía del impacto. Este material está dispuesto en el interior de la carcasa o cuerpo del limitador de impacto de forma que absorbe el impacto principalmente de las caídas con orientación vertical, y en esquina.

La **estructura de aluminio** está formada por un conjunto de 19 bloques de estructura de panel de abeja de aluminio unidos entre sí, dispuestos radialmente, y formando un anillo concéntrico alrededor de la envolvente más exterior del contenedor (zona de

encastre). Están situados inmediatamente a continuación de la espuma de poliuretano.

Se utilizan para garantizar que, en las caídas más severas, principalmente con orientación horizontal o ligeramente inclinada no se agote el volumen disponible de los limitadores de impacto para absorción de energía.

La carcasa del limitador de impacto está formada por virolas exteriores fabricadas de chapas de acero inoxidable austenítico que constituyen el envoltorio que contiene a la espuma de poliuretano y a la estructura de panal de abeja de aluminio.

La estructura de discos y virola interior, en contacto con el contenedor, están fabricadas de chapa en acero al carbono y define el cuerpo interior de la carcasa. El espacio entre los dos discos del cuerpo interior está conectado por tubos redondos a través de los cuales pasan los pernos de amarre de los limitadores de impacto al contenedor.

El limitador de impacto inferior o trasero incluye además un anillo interior de refuerzo cuyo diseño permite mejorar el amarre con el fondo del vaso y aumenta la longitud de encastre en el limitador para que ésta sea igual a la del limitador de impacto superior.

Los limitadores de impacto incluyen tres cáncamos giratorios de elevación roscados sobre unos casquillos soldados a la virola exterior. Se utilizan para las maniobras de ensamblaje de los limitadores de impacto al fondo y a la tapa exterior del contenedor, respectivamente.

Los limitadores de impacto pueden, opcionalmente, incorporar sendos discos de blindaje neutrónico, atornillados junto al disco exterior (ver detalle en figura 5-6). Están fabricados en polietileno borado de alta densidad. La función de estos discos es, únicamente, reducir la tasa de dosis en el exterior de los limitadores de impacto por debajo de los 2 mSv/h.

5.3. DESCRIPCIÓN EN DETALLE DEL CONTENIDO

El contenedor ENUN 24P ha sido diseñado para almacenar un máximo de 24 elementos combustibles irradiados no dañados del tipo PWR con pastillas de dióxido de uranio, de diseño AFA 2G, AFA 3G y AFA 3GAA, con las características resumidas en la tabla 1.2.5 del capítulo 1 del Estudio de Seguridad.

No se permite la carga de elementos combustibles con aditamentos (barras de control, tapones, etc...).

El contenedor ENUN 24P ha sido inicialmente diseñado para una estrategia de carga de combustible uniforme, en la que cualquier elemento combustible que cumpla con los criterios del combustible autorizado para ser cargado puede alojarse en cualquiera de las 24 posiciones del bastidor de combustible. Sin embargo, en el caso de que los 24 elementos combustibles no tengan la misma potencia térmica, se han definido unas restricciones adicionales térmicas a la carga del combustible en el bastidor de manera que aquellos elementos combustibles con mayor potencia térmica estén situados en las posiciones centrales, mientras que los elementos con menor potencia térmica se sitúen en la periferia.

Los parámetros del contenido autorizado se detallan en la Sección 1.2.2 del Estudio de Seguridad. A continuación se enumeran una serie de características del contenido

Característica	AFA 2G	AFA 3G	AFA 3GAA
Masa total del elemento (kg)	663,8	668,1	667,4
Longitud del elemento (mm)	4102	4107	4107
Nº de barras combustibles	264	264 (a)	264 (a)
Material de vaina	Zircaloy 4 (Zr-4)	M5	M5
Masa total de pastillas UO ₂ (kg)	521,8	521,8	521,8
Pastilla de combustible	UO ₂	UO ₂ / UO ₂ + Gd ₂ O ₃ (a)	UO ₂ / UO ₂ + Gd ₂ O ₃ (a)
Enriquecimiento inicial (máximo) (% en peso de U-235)	3,7 %	4,5 % (f)	4,5 % (f)
Enriquecimiento inicial (mínimo) (% en peso de U-235)	1,7	1,7	1,7
Potencia térmica mínima por EC (W)	> 360 (d)		
Potencia térmica máxima por EC (W)	1337,84	1638,87	1638,87
Potencia Térmica mínima total del bulto (kW)	12 (d)		
Potencia Térmica máxima total del bulto (kW)	39,33 (e)		
Tiempo de enfriamiento (años)	3,2 a 5 (b)	3 a 5 (c)	3 a 5 (c)
Grado de quemado medio por elemento (max) (GWd/tU)	47	57	

(a) Un cierto número de las barras combustibles podrían contener gadolinio.

(b) Tiempo de enfriamiento en función del enriquecimiento mínimo inicial y del quemado. Ver tabla 1.2.3 del capítulo 1 del ES

(c) Tiempo de enfriamiento en función del enriquecimiento mínimo inicial y del quemado. Ver tabla 1.2.4 del capítulo 1 del ES

(d) Las potencias mínimas por elemento y por bulto provienen del cálculo de la carga mínima de operación (ver apartado 6.5.12)

(e) Se ha considerado en este apartado la carga térmica más limitante, que se corresponde con una carga de 24 elementos combustibles AFA 3G/3GAA con la máxima potencia térmica.

(f) Máximo valor utilizado en los cálculos de criticidad.

Los límites administrativos de los parámetros radiológicos del combustible autorizado a cargar en el contenedor ENUN 24P se obtienen seleccionando las combinaciones de grados de quemado máximo, enriquecimiento iniciales y tiempos de enfriamiento más restrictivas de entre las que cumplen con los requisitos de las evaluaciones de blindaje, térmica y de contención. En este caso, la evaluación térmica ha resultado ser la más restrictiva de forma general, razón por la cual, los límites administrativos coinciden con los resultados derivados de la evaluación térmica. Dichos límites administrativos se indican en la Tabla 1.2.3 y la Tabla 1.2.4 del ES para el combustible base de diseño AFA 2G y AFA 3G/3GAA respectivamente.

Consideraciones específicas tras el proceso de evaluación

- i. El combustible perteneciente a cualquiera de los diseños aprobados deberá ser transportado en un periodo de 6 meses, comprendido desde la carga de los elementos combustibles hasta la finalización del transporte (ver apartado 6.5.12 de esta PDT sobre el cálculo de temperaturas mínimas en las forjas de acero de la barrera de contención)
- ii. El combustible perteneciente a cualquiera de los diseños aprobados deberá tener, en el momento de la carga, una potencia térmica superior a 360 W por elemento combustible (ver apartado 6.5.12 de esta PDT sobre el cálculo de temperaturas mínimas en las forjas de acero de la barrera de contención).
- iii. La potencia térmica mínima total del bulto (suma de las potencias térmicas de todos los elementos combustibles cargados) debe ser superior a 12 kW en el momento de la carga (ver apartado 6.5.12 de esta PDT sobre el cálculo de temperaturas mínimas en las forjas de acero de la barrera de contención)
- iv. Los elementos combustibles con quemados superiores a 45 GWd/tU deberán cumplir una serie de requisitos adicionales:
 - El combustible perteneciente a cualquiera de los diseños aprobados que tenga “spalling”¹ no podrá ser transportado en el contenedor ENUN 24P (Ver apartado 6.8.2 de esta PDT sobre el estado del combustible con quemados medios superiores a 45 GWd/tU)
 - El valor límite (“upper bound”) con una incertidumbre del 95% de la capa de corrosión de las barras de los elementos combustible de diseño AFA 2G no podrá ser mayor de 80 µm. (Ver apartado 6. 8.2 de esta PDT sobre el estado del combustible con quemados medios superiores a 45 GWd/tU)

¹ El “spalling” es un término que cubre un fenómeno de desprendimiento de las capas de óxido que se forman sobre la superficie externa de la vaina durante la operación normal, lo que ocasiona una disminución en la pared de la vaina, que puede afectar al comportamiento termo-mecánico de las mismas.

5.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTENCIÓN

De acuerdo con la definición de “sistema de contención”² de la reglamentación de transporte, en este bulto estará constituido por los componentes del contenedor destinados a aislar los materiales radiactivos del exterior en la modalidad de transporte.

De acuerdo con lo definido en el ES del bulto, son los siguientes:

- Vaso (virola interior y fondo).
- Tapa interior, pernos de cierre y anillo tórico interior de su junta metálica doble de estanqueidad.
- Tapa de la penetración de venteo, pernos de cierre y anillo tórico interior de su junta metálica doble de estanqueidad.
- Tapa de la penetración de drenaje, pernos de cierre y anillo tórico interior de su junta metálica doble de estanqueidad.

5.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONFINAMIENTO

De acuerdo con la definición de “sistema de confinamiento”³ de la reglamentación de transporte, en este bulto el sistema de confinamiento está formado por el combustible almacenado, el diseño del bastidor y los absorbentes neutrónicos utilizados (tubos de combustible de MMC).

6. EVALUACION

6.1 ALCANCE

El objetivo de esta evaluación es determinar si la información presentada demuestra adecuadamente o no el cumplimiento de cada uno de los requisitos de seguridad requeridos en los reglamentos modales de transporte de mercancías peligrosas, es decir,

² Por *sistema de contención* se entenderá el conjunto de componentes del embalaje, especificados por el autor del diseño, que están destinados a contener los materiales radiactivos durante el transporte (SSR-6 Ed.2012, párrafo 213)

³ Por *sistema de confinamiento* se entenderá el conjunto de sustancias fisionables y componentes del embalaje especificados por el autor del diseño y aprobados por la autoridad competente al objeto de mantener la seguridad con respecto a la criticidad (SSR-6 Ed.2012, párrafo 209)

el ADR [8], en su edición de 2015 para el transporte por carretera, el RID [9], en su edición del 2015, para el transporte por ferrocarril y el código IMDG [10], enmienda 37/14, para el transporte por vía marítima.

Todos estos reglamentos modales se basan en la edición del 2012 del Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo de la OIEA, de referencia SSR-6 [6]. En el apartado 6.2 se presenta un resumen del análisis del cumplimiento de este bulto con los requisitos reglamentarios.

Dado que la apreciación favorable del diseño del bulto conlleva una evaluación similar a la que se lleva a cabo para la emisión del certificado de aprobación del contenedor como bulto de transporte, se ha seguido el procedimiento de evaluación para la aprobación y convalidación de bultos de transporte, PT.IV.28 [12].

Dentro del procedimiento de evaluación para la aprobación y convalidación de bultos de transporte se establece la necesidad de hacer un análisis de la evaluación del blindaje (apartado 6.4 del presente informe), de la evaluación térmica (apartado 6.5 del presente informe), de la evaluación estructural del bulto (apartado 6.6 del presente informe), de la evaluación de la contención (apartado 6.7 del presente informe), de la evaluación de la criticidad y estado del combustible (apartado 6.8 del presente informe) y de la garantía de calidad (apartado 6.9 del presente informe) asociada al transporte. También se ha evaluado el término fuente (apartado 6.3 del presente informe), necesario tanto para la evaluación térmica como para la evaluación del blindaje. Así mismo se ha analizado el contenido del ES en cuanto a las instrucciones de uso y mantenimiento (apartado 6.10 del presente informe).

Además, en este caso particular, se ha requerido de ENSA que realizara un análisis de defensa en profundidad del contenedor ENUN 24P, en el que se han analizado todas las funciones de seguridad del mismo, en un hipotético escenario de reconfiguración del combustible gastado en la cavidad interior del contenedor tras un suceso de accidente,

Este análisis de defensa en profundidad se ha realizado a raíz del requisito de la norma ISG-11, Rev. 3 [11], de realizar evaluaciones específicas para contenedores de transporte de combustible gastado con grados de quemado promedio por elemento superiores a 45GWd/tU y con objeto de aportar garantías adicionales al análisis base de diseño que da crédito a la integridad de la vaina y que como tal se incluye en el Estudio de Seguridad.

Las evaluaciones y criterios de aceptación de este análisis de defensa en profundidad están fuera de las bases de diseño del contenedor ENUN 24P, las cuales quedan justificadas en los 8 capítulos que constituyen su Estudio de Seguridad. La evaluación del análisis de defensa en profundidad se encuentra descrita en el apartado 6.11 del presente informe.

6.2 REQUISITOS REGLAMENTARIOS

La edición de los reglamentos modales de transporte vigentes recoge los requisitos incluidos en la edición vigente de 2012 del Reglamento de transporte del OIEA, que se identifica como SSR-6. La última documentación presentada por ENSA, que incluye la revisión 2 del ES del bulto, se adapta a la edición vigente del Reglamento de transporte del OIEA y a la siguiente reglamentación internacional e aplicación en España:

- Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR) edición 2015 [8].
- Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID) edición 2015 [9].
- Código Marítimo Internacional de Mercancías peligrosas (Código IMDG), enmienda 37/14 [10].

Por otra parte, el ES indica que además de la normativa nacional, se cumplen los requisitos de la normativa de Estados Unidos de América: sección 71 del Código de Regulaciones Federales (10 CFR 71) [13] y el NUREG-1617, "Standard Review Plan for Transportation Packages for Spent Nuclear Fuel" [14], U.S. Nuclear Regulatory Commission, March 2000 que, salvo en puntos concretos, que en su caso se indicarían, se corresponde con los requisitos aplicables en España y que, en general, define de manera detallada la forma de cumplir los diferentes requisitos reglamentarios. En definitiva, ENSA ha utilizado en algunos apartados del ES del bulto la normativa americana para dar cumplimiento con los requisitos nacionales y ha sido utilizada en el proceso de evaluación del CSN como normativa técnica de referencia de detalle.

A continuación se realizará un resumen de los requisitos que, de acuerdo con la reglamentación de transporte, debe cumplir un diseño de bulto tipo B(U)F, indicando cómo se cumplen en el caso particular del diseño ENUN 24P. Para ello, se tomarán como referencia los requisitos del Reglamento SSR-6, edición 2012 del OIEA [6], considerando que se trasladan plenamente a los reglamentos modales internacionales aplicables en España antes citados. El ES incluye en el capítulo 1 la Tabla 1.0.1 "Referencias Cruzadas de Cumplimiento de los Requisitos Reguladores" que relaciona, para cada capítulo, los apartados de las principales normativas aplicables a los que se hace referencia a lo largo de todo el ES (Guía de Seguridad 6.4 del CSN, ADR, SSR-6 del OIEA, 10 CFR 71, NUREG-1617, y Guía Reguladora 7.9 de la USNRC).

De acuerdo con el Reglamento del OIEA, los bultos tipo B(U)F deberán diseñarse de modo que cumplan:

1. Requisitos generales relativos a todos los tipos de bultos (párrafos 607 al 618).
2. Requisitos relativos a bultos de tipo A (párrafos 635 a 651).
3. Requisitos relativos a bultos de tipo B(U) (párrafos 652 a 666).
4. Requisitos relativos a bultos que contengan sustancias fisionables. (párrafos 673 al 686).

Requisitos generales relativos a todos los tipos de bultos (párrafos 607 al 618 del OIEA)

El cumplimiento de estos requisitos se deduce del propio diseño del bulto, de los materiales y de los cálculos presentados en el ES del bulto, lo que se resume en la siguiente tabla. En ella se incluye, cuando se deriva alguna acción, la referencia a los informes de evaluación en los que han sido tratados de forma más específica algunos requisitos. En caso de no referir a un informe concreto, la evaluación se realiza directamente a través del desarrollo de esta PDT.

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
608 Y 609	Los dispositivos de enganche no fallarán en la manipulación del bulto	-Apartado 2.4. "Elementos de elevación y amarre" del ES. Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
610 y 611	En la medida de lo posible, diseño sin partes salientes y de fácil descontaminación (610) y que no recoja agua (611)	- Apartado 1.2.1.2 "Componentes estructurales" del ES - Apartado 1.2.3 "Características de operación" - Apartado 2.5.6 "Rociado de Agua"
612	Los elementos que durante el transporte se añadan a los bultos y que no formen parte de éstos no deberán menoscabar su seguridad.	No aplica.
613	Los bultos deberán resistir los efectos de toda aceleración, vibración o resonancia vibratoria que pueda producirse en las condiciones de transporte rutinarias ⁴ .	-Apdo. 2.5.5 "Vibración" del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
614	Componentes, materiales y contenidos compatibles física y químicamente	-Apdo. 2.2 "Materiales" del ES Se sigue el código ASME III de fabricación de componentes nucleares (tabla 1.1.2 del ES)

⁴ Según la SSR-6 las condiciones rutinarias implican que el transporte está libre de incidencias.

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
615	Todas las válvulas a través de las cuales pueda escapar el contenido radiactivo se protegerán contra la manipulación no autorizada.	No aplica
616	En el diseño del bulto se tendrán en cuenta las temperaturas y las presiones ambiente que probablemente se den durante el transporte en condiciones rutinarias.	- Capítulo 2 del ES. Se sigue ASME III para la fabricación de componentes nucleares Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
617	El diseño del bulto deberá proporcionar suficiente blindaje para que, con el contenido radiactivo máximo, el nivel de radiación en la superficie no supere los valores especificados en el reglamento.	- Apartados 5.1.2.1 y 5.1.2.2 del ES. Evaluación: CSN/IEV/APRT/TRA/1701/97 El análisis revela que pueden existir niveles de radiación mayores de 2 mSv/h en la superficie del bulto, por lo que, en ese caso, debería transportarse en la modalidad de uso exclusivo (ver condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)
618	Se tendrán en cuenta en el diseño otras propiedades peligrosas	No aplica.

Requisitos relativos a bultos de tipo A (párrafos 635 a 651)

El cumplimiento de estos requisitos se expone de manera resumida en la tabla siguiente:

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
635	Cumplimiento con los requisitos generales	Ver tabla anterior
636	La menor dimensión total externa del bulto no será inferior a 10 cm.	- Apdo. 2.3.1 "Tamaño mínimo del bulto"
637	Opción de uso de precinto o sello durante el transporte	-Apartado 2.3.2 del ES.
638	Condición relativa a dispositivos de fijación del bulto al medio de transporte	- Apartado 2.4.1 "Elementos de elevación y manejo" del ES - Tabla 1.1.2 "Resumen de los Criterios de Diseño..." Apartado 2.1.2.2.2 "Muñones de elevación y rotación" del ES. - Capítulo 9 del documento 1AG9EE001 "Especificaciones del embalaje" Evaluación_CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103 (evalúa los análisis de los muñones en la

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
		configuración de transporte). El informe no hace una evaluación de la cuna de transporte, ya que esta no es parte del diseño del bulto. Ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable)
639	Los componentes han de diseñarse teniendo en cuenta temperaturas entre -40°C y $+70^{\circ}\text{C}$	- Apdo. 2.5.1.1 "Resumen de presiones y temperaturas" del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
640	Técnicas de diseño y fabricación ajustadas a normas aceptables	-Capítulo 2 "Evaluación estructural" del ES. Se sigue ASME III para la fabricación de componentes nucleares Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
641	Sistema de contención firmemente cerrado	-Sección 2.3.3 "Sistema de cierre seguro" del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
642	Los materiales radiactivos en forma especial podrán considerarse parte del sistema de contención	No aplica
643	Condiciones si la contención está separada	No aplica
644	Consideración en el diseño de la descomposición radiolítica de los líquidos y generación de gases en el contenido	El material radiactivo está en estado sólido y la descomposición radiolítica no aplica. El Capítulo 4 del ES "Análisis de la contención" tiene en cuenta la liberación de gases de las barras en condiciones normales y accidentales. Evaluación: CSN/IEV/INNU/TRA/1707/102
645	Capacidad de retención de la contención con reducción de P ambiente hasta 60 kPa.	-Apartado 2.5.3 "Reducción de la presión externa" del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
646	Diseño de la válvulas que no sean las de alivio de presión.	No aplica
647	Blindaje como componente del sistema de contención del bulto	No aplica
648	Ensayos de condiciones normales ⁵ .	- AG9IE001 "Informe de Ensayos" - Apartado 2.5 "Condiciones normales de

⁵ Según la SSR-6 las condiciones normales implican pequeños percances. La guía SSG-26 de la OIEA, da más detalles indicando que las condiciones normales de transporten implican la existencia de pequeños incidentes que podrían tener lugar durante el manejo de los bultos tales como la caída de un bulto desde un vehículo, el golpe con penetración contra objetos alargados, etc.

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
		transporte” del ES: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo de aspersión con agua: apartado 2.5.6 ▪ Ensayo de caída libre: apartado 2.5.7. ▪ Ensayo de apilamiento: Este ensayo no aplica a este bulto ya que por su diseño no va a existir apilamiento. Evaluación CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
649 a 651	Relativo al contenido líquido o gaseoso.	No aplica

Requisitos relativos a bultos de tipo B(U) (párrafos 652 a 666)

El cumplimiento de estos requisitos se expone de manera resumida en la tabla siguiente:

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
652	Cumplimiento con los requisitos generales y los exigidos al diseño de bulto tipo A.	Ver tablas anteriores
653	El bulto debe diseñarse para soportar el calor generado por su contenido en condiciones normales de transporte	La temperatura máxima de las barras de combustible, contenedor, bastidor y componentes de seguridad está indicada en la tabla incluida en el apartado 3.1.3 “Resumen de Tablas de Temperaturas” del ES, así como el rango de operación de los componentes de seguridad para las condiciones analizadas Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
654	Tª exterior bulto ≤ 50º C a Tª ambiente o, en caso contrario, necesidad de transporte bajo uso exclusivo.	La temperatura, según el apartado 3.3.1.3.1. del ES “Temperaturas máximas (Caso 1)” puede superar los 50 ºC para algunos contenidos. Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98 Si las temperaturas superan los 50 º C el transporte se debe llevar a cabo según la modalidad de uso exclusivo (ver condición 7 de la propuesta de apreciación favorable)

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
655	Tª máxima superficie accesible en uso exclusivo $\leq 85^{\circ}$ C en ausencia de irradiación solar	En el apartado 3.1.3 del ES “Resumen de temperaturas” y en el apartado 3.3.1.3.2 “Temperaturas Máximas en las Zonas Accesibles del Bulto” se establece que las superficies accesibles son la rejilla o barrera personal y los limitadores de impacto y que su Tª solo podría llegar a 73,6 °C, por lo tanto inferior a 85°C Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
656	Tª ambiente de 38° C a considerar en los análisis térmicos	Según el apartado 3.3.1.3 “Temperaturas máximas” del ES, en el cálculo de las temperaturas máximas se ha tenido en cuenta una temperatura ambiente de 38°C Evaluación_CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
657	Condiciones de irradiación solar a considerar en los análisis térmicos	Según la tabla 3.1.1 “Condiciones envolventes de los análisis térmicos” del ES, la radiación solar utilizada coincide con los casos 4 y 5 del cuadro 12 del SSR-6. Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
658	Mantenimiento de la protección térmica en condiciones normales y de accidente mecánico	-Apartado 3.3 y 3.4 del ES, correspondiente a la evaluación térmica en condiciones de transporte normales y de accidente. Evaluación_CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
659	Ensayos para condiciones normales y condiciones de accidente ⁶	- AG9IE001 “Informe de Ensayos” - <u>Capítulo 2 del Estudio de seguridad:</u> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Ensayos para condiciones normales:</u> Ver resumen indicado sobre el cumplimiento del párrafo 648 de la SSR-6 del OIEA. • <u>Ensayos de condiciones de accidente:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Apdo. 2.6.1 del ES para los ensayos de caída libre - Apdo. 2.6.2 para el ensayo de punzonado. - Apdo. 2.6.3 para el ensayo de fuego - El ensayo de aplastamiento no aplica a este bulto al tener una masa superior a 500 kg Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103 La base de estos análisis es la integridad del combustible. Las condiciones del combustible

⁶ Según la guía SSG-26 de la OIEA, las condiciones de accidente intentan reproducir accidentes graves.

Párrafo del OIEA	Resumen del contenido	Cumplimiento
		de alto quemado están analizadas en el apartado 6.8.2 y conducen a limitaciones en los niveles de corrosión y en la defectología del combustible (ver condición 4 e) de la propuesta de apreciación favorable)
660	Ensayo reforzado de inmersión para contenidos con una actividad $>10^5 A_2$	- Apdo. 5.8 del documento de ENSA 1AG9IE001, Rev. 1 – Febrero 2016 “Informe de Ensayos” (método analítico) - Apdo 2.6.4 “Inmersión” del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103
661	Independencia filtros o sistema mecánico refrigeración	No aplica
662	Sistema alivio de presión no permitido en condiciones normales y de accidente	No aplica
663	Diseño del bulto adecuado para soportar la presión normal de trabajo máxima en condiciones normales y de accidente.	-Apartado 4.2.4 “Evaluación de la contención” del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
664	Presión normal de trabajo máxima no superior a 700 kPa (7 bar)	Valores calculados en el apdo 3.3.2 “Presión normal de operación máxima”, del ES Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98
665	Para el caso de contenido con materiales radiactivos de baja dispersión	No aplica
666	Diseño bulto para Tª entre -40º C y +38º C	Capítulo 3 “Evaluación térmica” del ES. Evaluación: CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98 El análisis para justificar una temperatura ambiente de -40ºC se ha llevado a cabo para definir de las temperaturas mínimas de operación. Este análisis ha dado lugar a las condiciones establecidas sobre la potencia térmica mínima del elemento y del bulto descritas en la tabla incluida en la condición 4 a), y las condiciones 4 b) y 4 d) de la propuesta de apreciación favorable.

Requisitos relativos a bultos que contengan sustancias fisiónables (párrafos 673 al 686)

Estos bultos de transporte, por estar destinados a contener sustancias fisiónables, deben cumplir unos requisitos adicionales cuya demostración se recoge fundamentalmente en el

capítulo 6 del ES del bulto, relativo a la seguridad frente a la criticidad, y su evaluación se tratará posteriormente en el apartado 6.8 del presente informe.

6.3 EVALUACIÓN DEL TÉRMINO FUENTE

El término fuente radiológico del bulto de transporte ha sido evaluado mediante el informe de evaluación de referencia [CSN/IEV/INNU/TRA/1707/102](#).

El alcance de la evaluación llevada a cabo en el CSN del término fuente ha sido el análisis de:

- El término fuente radiológico usado en los cálculos de blindaje (evaluado en el apartado 6.4 del presente informe).
- El término fuente térmico del combustible utilizado en el análisis térmico (evaluado en el apartado 6.5 del presente informe).
- Las masas y composición de los gases de fisión utilizadas en el cálculo de la presión interna del contenedor (evaluado en el apartado 6.7 del presente informe).

Para dicha evaluación, el CSN ha procedido a valorar la caracterización realizada al combustible y la determinación del combustible base de diseño y ha examinado el proceso general seguido por ENSA para la obtención de los resultados, incluyendo las herramientas y cálculos utilizados para este fin. Por último, se han verificado los resultados anteriores mediante cálculos independientes utilizados en la secuencia SAS2H del Sistema de códigos SCALE, versión 5.1.

Las conclusiones de dicha evaluación indican que:

- La elección de los dos elementos combustibles base de diseño y los parámetros asociados a los mismos es aceptable, cubriendo los combustibles para los que se solicita autorización para su transporte en el contenedor ENUN24P.
- La metodología y los datos utilizados para la determinación del término fuente del combustible base de diseño son aceptables. Los valores obtenidos de término fuente se consideran aceptables habiendo sido contrastados por cálculos independientes y se consideran envoltentes de los tipos de combustible para los que se solicita la autorización.

El Informe de evaluación se ha realizado sobre la propuesta de revisión 2 del Estudio de Seguridad del bulto presentada por ENSA en junio de 2017. En la revisión 2 final,

presentada por ENSA el 26/07/2017, no han existido cambios sobre el alcance de la evaluación del término fuente.

En definitiva, la evaluación del término fuente incluida en la revisión 2 del ES del bulto de transporte ENUN 24P se considera aceptable.

6.4 EVALUACIÓN DE BLINDAJE

En el capítulo 5 del ES se recoge el análisis del blindaje del contenedor ENUN 24P. Se ha procedido a evaluar los cálculos de dosis presentados por el solicitante y su conformidad con la normativa aplicable en condiciones rutinarias, normales y de accidente en el transporte, teniendo en cuenta la especificación del término fuente analizado anteriormente.

Los criterios de aceptación de la normativa de transporte son (se indican los aplicables al transporte por carretera y ferrocarril):

Condiciones rutinarias de transporte

- 2 mSv/h en la superficie externa del bulto, a no ser que el transporte se realice en la modalidad de *uso exclusivo*⁷ y se cumplan las siguientes condiciones, en cuyo caso el límite es 10 mSv/h:
 - En las condiciones rutinarias de transporte el vehículo esté equipado con un recinto cerrado que impida a las personas no autorizadas acceder al interior del recinto.
 - Se hayan adoptado disposiciones para inmovilizar el bulto, de modo que éste permanezca en la misma posición en el interior del vehículo en las condiciones rutinarias de transporte.
 - No se realicen operaciones de carga ni descarga entre el principio y el fin de la expedición.
- 2 mSv/h en cualquier punto de las superficies exteriores del vehículo, comprendidas las superiores e inferiores, o cuando se trate de un vehículo descubierto en cualquier punto de los planos verticales proyectados a partir de los bordes exteriores del

⁷ *Uso exclusivo*: el empleo exclusivo, por un solo remitente, de un medio de transporte o de un gran contenedor, respecto del cual todas las operaciones iniciales, intermedias y finales de carga y descarga y expedición sean efectuadas de conformidad con las instrucciones del remitente o del destinatario, cuando el presente Reglamento así lo exija.

vehículo, en la superficie superior de la carga, por ejemplo: barrera personal, si se usa, y en la superficie externa inferior del vehículo.

- 0.1 mSv/h en cualquier punto situado a 2 metros de los planos verticales constituidos por las superficies laterales externas del vehículo (excluyendo la parte superior e inferior del vehículo); o cuando la carga se transporte en vehículo descubierto en cualquier punto situado a 2 metros de los planos verticales proyectados a partir de los bordes exteriores del vehículo (excluyendo la parte superior e inferior del vehículo).

Además, el solicitante ha considerado como criterio de referencia el valor de 0,02 mSv/h en cualquier espacio ocupado normalmente en el vehículo, excepto cuando los transportistas sean considerados como trabajadores expuestos sometidos a control dosimétrico mediante dispositivos de dosimetría individual de la radiación. Este criterio se basa en el definido en 10 CFR 20.1502 [15], pero es más restrictivo que el aplicado en España, que sigue el Reglamento del OIEA, donde no se define un límite concreto para las zonas ocupadas del vehículo, de manera que el objetivo, en cuanto a las dosis de los conductores, es la aplicación del criterio ALARA durante las operaciones de transporte.

Condiciones normales de transporte.

- Tras los ensayos que simulan estas condiciones, la tasa de dosis en la superficie del bulto no debe superar el 20% del valor de antes del ensayo.

Condiciones de accidente

- La tasa de dosis de radiación externa no deberá exceder los 10 mSv/h a 1 metro de la superficie externa del bulto (se trata del valor de tasa de dosis que no debe ser superado tras la realización sobre el bulto de los ensayos que simulan las condiciones de accidente)

La evaluación llevada a cabo por el CSN se ha basado en la revisión de la documentación de detalle que recoge los cálculos de término fuente y blindaje, así como en la realización de cálculos independientes confirmatorios.

Los resultados de la evaluación del blindaje en condiciones rutinarias de transporte y de accidente se incluyen en el informe de evaluación de referencia CSN/IEV/APRT/TRA/1701/97.

Desde el punto de vista radial, el blindaje principal lo realiza el cuerpo del contenedor. Para ello el cuerpo dispone de una virola de acero interna, que proporciona el blindaje contra las radiaciones gamma, y un polímero hidrogenado borado, que proporciona el blindaje contra las radiaciones neutrónicas y una virola envolvente de acero al carbono. En la dirección axial, el blindaje lo realiza el cuerpo del contenedor, teniéndose en cuenta

además los limitadores de impacto y los discos de blindaje neutrónico de los limitadores de impacto que son opcionales y cuya función es reducir la tasa de dosis en la zona axial a valores inferiores a 2 mSv/h.

El término fuente gamma proviene principalmente de la desintegración de los productos de fisión y actínidos radiactivos y de la actividad del Co-60 que se forma por la activación de los materiales estructurales de los elementos combustibles. El término fuente neutrónico surge principalmente por fisión espontánea y por reacciones que se producen en el combustible de UO₂.

Se han realizado cálculos independientes en el CSN con el programa MAVRIC, incluido en el sistema SCALE 6.2.1, que utiliza el programa de Monte Carlo MONACO e implementa FW-CADIS como técnica de reducción de varianza. Salvo algunas discrepancias en la zona de los muñones, debidas principalmente a la definición del modelo, los resultados obtenidos por el CSN son similares (en general inferiores) a los presentados por ENSA, cumpliéndose en todos los casos con los criterios de aceptación de las tasas de dosis establecidos por la normativa.

Por otra parte, en relación con la evaluación del blindaje en condiciones normales (pequeñas incidencias):

- Los ensayos de caída llevados a cabo sobre el contenedor, como base para garantizar que el bulto cumple con las condiciones normales de transporte, demuestran que el contenedor no se ve afectado, siendo los limitadores de impacto los que absorben la energía del choque.
- Respecto al ensayo de penetración, se analiza con la caída de una barra de 6 kg sobre el contenedor. ENSA ha analizado dos posibles escenarios: a) Impacto sobre la tapa de control de presión, despreciándose los limitadores de impacto y b) Impacto sobre la envolvente del blindaje neutrónico. El resultado de impacto en ambos escenarios no produce efecto significativo alguno.

Por lo tanto, el análisis de blindaje en las condiciones normales de transporte quedaría cubierto por los resultados de la evaluación llevada a cabo para condiciones rutinarias que ya se recoge en el informe CSN/IEV/APRT/TRA/1701/97.

De la evaluación realizada se concluye que:

- La metodología y los datos utilizados para estimar las tasas de dosis en el bulto de transporte ENUN 24P son aceptables.
- Las tasas de dosis reportadas por el titular están por debajo de los criterios de aceptación. Sin embargo, hay que resaltar aquí que, para una carga que suponga el

máximo término fuente radiológico, la zona interior de los muñones hembra inferiores y en la zona de la base del contenedor daría valores de tasa de dosis superiores a 2 mSv/h en la superficie externa del bulto.

En caso de que una vez cargado el bulto, los valores de tasa de dosis en la superficie del bulto fueran superiores a 2 mSv/h, el bulto deberá transportarse en la modalidad de uso exclusivo, tal y como se refleja en la normativa de transporte (Este requisito se ha establecido en la condición 7 de la propuesta de apreciación favorable).

El informe de evaluación CSN/IEV/APRT/TRA/1701/97 se basa en el borrador de la revisión 2 del ES del bulto que fue posteriormente remitido por ENSA oficialmente el 26/07/2017 con un cambio en la documentación soporte que fue evaluado mediante Nota de Evaluación Técnica de referencia CSN/NET/APRT/TRA/1707/56. Se concluye, por tanto, que las conclusiones de la evaluación del blindaje son válidas para la revisión 2 del Estudio de Seguridad del bulto de transporte ENUN 24P.

6.5 EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS TÉRMICOS

En el capítulo 3 del ES del bulto se recoge la evaluación térmica presentada por ENSA como soporte a la solicitud. La evaluación llevada a cabo en el CSN se encuentra recogida en el informe CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98.

El alcance de la evaluación de los análisis térmicos ha sido:

- Descripción del sistema de evacuación de calor, en el que se identifican las características de diseño del contenedor relevantes para la función de disipación de calor.
- Materiales y límites de diseño, en el que se comprueba la definición de los límites térmicos que garantizan la integridad del combustible y del contenedor, y su coherencia con los materiales considerados en el diseño.
- Cargas térmicas y condiciones ambientales, cuya definición constituyen las condiciones de contorno aplicables en cada escenario del análisis postulado en el ES.
- Modelos térmicos y métodos analíticos, en el que se revisan los mecanismos de transmisión considerados en cada momento, así como su implementación en modelos analíticos, y se verifica el conservadurismo de las hipótesis de cálculo empleadas.

- Propiedades térmicas de los materiales, en el que se revisan las referencias que se han empleado para definir las propiedades de los diferentes materiales que caracterizan su comportamiento térmico.
- Cálculos para las condiciones rutinarias y normales de transporte (CNT) y las condiciones de accidente (CA), en el que se verifica el cumplimiento de los resultados obtenidos frente a los límites de diseño definidos.
- Análisis específicos para combustible con quemado medio de elemento superior a 45 GWd/tU, para comprobar que la temperatura mínima en el combustible, en todas las condiciones de transporte, se mantiene por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil correspondiente a las aleaciones del material de vaina consideradas: Zr-4 y M5.

6.5.1 Sistema de evacuación de calor

La operación del contenedor ENUN 24P en la modalidad de transporte comprende todas las actividades desde que se inicia la carga del contenedor con CG en la instalación de partida, hasta que se descarga el contenedor en la instalación destinataria, incluyendo los escenarios de accidente previstos en la normativa aplicable. En todas las situaciones, la evacuación del calor residual del CG se realiza mediante medios pasivos, considerándose la transferencia de calor por conducción y radiación en el interior del contenedor, despreciando conservadoramente la convección en el interior de la cavidad, mientras que la disipación al ambiente circundante se realiza mediante convección y radiación a través de las superficies exteriores.

Pese a que prácticamente todos los componentes que forman parte del contenedor participan de alguna manera en la disipación de la carga térmica del CG, existe un componente expresamente incorporado al diseño, las aletas de aluminio que rodean el exterior del cuerpo o vaso, cuya función específica es facilitar la disipación de calor.

La Potencia Térmica total de diseño definida para la configuración térmica más limitante de los 24 elementos combustibles es de 39.33 kW, mientras que en los cálculos se ha considerado de manera conservadora una potencia térmica total de 39.75 kW⁸. ENSA define la potencia térmica de diseño para cada tipo de elemento combustible de 1340 W para el AFA 2G y 1640 W para el AFA 3G y el AFA 3GAA, valores que son envolventes de las potencias térmicas obtenidas en la evaluación del término fuente (1337.84 W para AFA 2G y 1638.87 W para AFA 3G y el AFA 3GAA).

⁸ Valor conservador obtenido a partir del máximo calor de desintegración correspondiente al combustible AFA 3G o AFA 3GAA.

Así mismo, ENSA ha definido una condición de potencia térmica mínima de operación para el bulto de 12 kW (ver apartado 6.5.12).

6.5.2 Materiales y Límites de Diseño

El objetivo principal del contenedor es garantizar la integridad del combustible gastado alojado en su interior en todas las condiciones de transporte: rutinarias, normales y accidentales. Este objetivo se logra manteniendo la temperatura de las vainas de combustible por debajo de un cierto valor, para prevenir su fallo, seleccionando los materiales constituyentes del contenedor y manteniendo las condiciones adecuadas de temperatura y presión, de forma que los componentes puedan seguir cumpliendo con la función de seguridad para la que fueron creados.

Para alcanzar este objetivo, el NUREG-1617 establece unos límites térmicos aplicables tanto al combustible como al resto de los componentes del contenedor, así como el establecimiento de un límite de presión interna en todas las condiciones de diseño postuladas en el transporte.

- **Los límites térmicos del combustible gastado** se resumen en la tabla 1.1.2 del ES. Para condiciones rutinarias y normales de transporte, el límite de la vaina del elemento combustible es de 400°C, con independencia del grado de quemado. Este límite es superior para operaciones de corta duración, como las de carga y descarga, y para las condiciones de accidente, cuyo valor es de 570°C. De igual forma, el número de ciclos térmicos de calentamiento/enfriamiento que implican variaciones de temperatura de vaina superiores a 65°C queda limitado a 10. Estos límites están de acuerdo con la revisión 3 de la ISG-11 en revisión 3.

El uso de los límites térmicos de la ISG-11 se considera aceptable para Combustible Gastado con grado de quemado de hasta 45 GWd/tU. Para quemados superiores, y para las condiciones de carga y transporte inmediato (6 meses desde la carga hasta la finalización del transporte), la NRC se ha posicionado a través del documento RIS 2015-XX considerando aceptable la aplicación de los límites térmicos definidos en la revisión 3 de la ISG-11, siempre que dicha verificación se complemente con la comprobación de que, para todas las condiciones de transporte, la temperatura mínima que alcanza el Combustible Gastado es superior a la correspondiente temperatura de transición dúctil-frágil (DBTT) del material de la vaina y, por lo tanto, se garantiza un grado de ductilidad suficiente de la vaina durante todo el transporte del Combustible Gastado.

El aumento de temperatura que sufre el combustible durante las actividades de carga (debido principalmente al proceso de secado de la humedad del interior del contenedor mediante el método de vacío), implica la posibilidad de que exista una reorientación de los hidruros que se forman en la vaina durante la operación en el

reactor, que conduzca a un deterioro de sus propiedades mecánicas llevando a un aumento en la DBTT antes citada.

Este deterioro no es significativo si la temperatura no supera un cierto valor, CST, que depende de las propiedades del material con el que se fabrica la vaina (para los materiales de vaina utilizados, Zr-4 y M5, el valor de CST aceptado es de ⁹. Las justificaciones aportadas en el capítulo 2 para el establecimiento de la CST y DBTT están evaluadas en el apartado 6.8.2 del presente informe.

- **Los límites térmicos de los componentes** importantes para la seguridad se definen en la tabla 1.1.2 del ES.
- **Presión interna máxima** de la cavidad del contenedor

La presión de diseño en el interior de la cavidad del contenedor se define en la tabla 1.1.2 del ES, fijando un valor de 8 bar⁹. Dicho valor, que representa el límite superior de la presión interna que puede ser alcanzada en las CNT y CHA que se analizan en el ES, se emplea para verificar el comportamiento estructural del contenedor en el capítulo 2 del ES, y se considera válido.

- **Limitaciones en operaciones de carga y descarga**

Dentro de las operaciones normales que se prevén en el ES durante la carga y descarga del contenedor, se identifican tres escenarios en los que se podría producir un transitorio de presión/temperatura:

- Secado del contenedor mediante vacío de la cavidad interior
- Ebullición del agua de la cavidad interior del contenedor durante la carga
- Reinundación de la cavidad interior previamente a la descarga del contenedor

Para cada uno de ellos se definen unos límites, de tiempo de duración de los procesos en los dos primeros casos y de presión interna máxima en el último.

Estos límites se han incluido en el capítulo 7 “Procedimientos de operación” del ES para que se tengan en cuenta a la hora de redactar los procedimientos de carga y descarga de la instalación.

⁹ ENSA ha fijado el valor de la presión de diseño en el interior de la cavidad del contenedor en 8 bares. Este valor es superior al valor límite que se establece en la normativa (SSR-6, para 664), 7 bares, lo cual es conservador.

6.5.3 Cargas térmicas y condiciones ambientales

El apartado 3.5.1.3 del NUREG-1617 requiere que el ES identifique y justifique las cargas térmicas base de diseño que se emplean en la verificación térmica del contenedor. En relación con las cargas térmicas base de diseño que se emplean en la verificación térmica del contenedor:

- La evaluación comprobó que el valor de la carga térmica de diseño utilizada para las evaluaciones térmicas considera únicamente el esquema de carga uniforme. Para el caso del combustible gastado de diseño AFA 2G, la potencia máxima obtenida asciende a 1337,84 W/elemento, mientras que para el combustible gastado de los diseños AFA 3G, asciende a 1638,87 W/elemento. La potencia térmica de diseño resultante del contenedor se sitúa, por tanto, en 32,11 kW y 39,33 kW para los diseños AFA 2G y AFA 3G, respectivamente. No obstante, según el apartado 1.2.1.4 del ES, los cálculos llevados a cabo en las evaluaciones térmicas del bulto consideran una carga térmica superior envolvente de la potencia de diseño, de 33,12 kW para elementos AFA 2G y de 39,75 kW obtenida conservadoramente para una carga de elementos combustibles AFA 3G/AFA 3GAA¹⁰.
- Las cargas de insolación o irradiación solar del contenedor tenidas en cuenta se consideran aceptables, de acuerdo con lo requerido por la reglamentación de transporte.
- El rango de temperaturas ambientales considerado fue de -40° a 38°C, considerándose aceptables al cumplir los requisitos del apartado 3.5.5.1 del NUREG-1617¹¹ y de la reglamentación de transporte. Dichas temperaturas no son aplicables al caso del análisis del transitorio de carga, drenaje y secado del contenedor, en el que se supone una temperatura ambiente de 35°C y un rango de temperaturas de piscina para la carga de 20 °C a 46°C. Estos límites se han trasladado al capítulo 7 del ES, "Procedimientos de Operación", de forma que sean tenidos en cuenta a la hora de redactar los procedimientos de carga del contenedor

6.5.4 Modelos Térmicos

De acuerdo con el contenido del capítulo 3 del ES, los mecanismos de transferencia de calor considerados para evacuar el calor residual del CG al ambiente son:

¹⁰ Valores extraídos de la Tabla 2-1 "Potencia Térmica Total Considerada en los Cálculos Térmicos" del documento 1AG9RDT08 "Evaluación térmica tridimensional del contenedor en condiciones normales de transporte"

¹¹ Este rango de temperaturas es el exigido por el párrafo 666 del Reglamento para el transporte Seguro de Material Radiactivo de la OIEA, (SSR-6, de 2012)

- **Conducción:** a través de los componentes internos del contenedor, incluyendo el helio empleado para crear una atmósfera inerte en el contenedor.
- **Radiación:** considerándose el intercambio de calor entre las superficies de las vainas del CG y las superficies internas del contenedor (placas del bastidor y superficie interior del vaso), así como entre la superficie de la virola envolvente y el ambiente, y las superficies exteriores de los limitadores de impacto y el ambiente.
- **Convección:** a través de la superficie de la virola envolvente del contenedor y de las superficies exteriores de los limitadores de impacto.

El diseño del contenedor contempla que no hay interrupción en la transmisión de calor por conducción desde el interior de las pastillas de UO_2 hasta la superficie exterior de la virola envolvente. En los espacios no ocupados por el CG o por los diferentes componentes del contenedor se da crédito a la presencia de un medio que permite la transmisión de calor por conducción hasta la superficie exterior de la virola, de forma que dicha transmisión no queda interrumpida dando crédito, entre otros factores, a la presencia de Helio.

El crédito a la presencia de helio requiere que el diseño contemple las medidas necesarias que garantizan que el gas queda retenido a lo largo de la vida del contenedor, considerándose que la presencia del gas queda garantizada limitando su fuga de acuerdo a los criterios exigidos para la barrera de contención del contenedor y probando la virola envolvente para garantizar su estanqueidad.

La presencia de helio en el interior de la cavidad tiene como consecuencia el establecimiento de una circulación natural que favorece la evacuación del calor residual del CG. No obstante, dicho efecto se desprecia conservadoramente en los modelos de análisis.

Dado que los mecanismos de transmisión de calor a considerar dependen de las condiciones específicas de operación del contenedor, el ES no considera un único modelo térmico, sino un conjunto de modelos que cubren todas las condiciones rutinarias y normales (CNT) y las condiciones hipotéticas de accidente (CHA) previstas.

Por otra parte, el transporte de combustible gastado de quemado medio por elemento combustible superior a 45 GWd/tU requiere además de la verificación de los límites térmicos establecidos por la revisión 3 de la ISG-11, de manera que se compruebe que, para todas las condiciones de transporte, la temperatura mínima que alcance la vaina del CG es superior a la correspondiente DBTT de su material, por lo tanto, que se garantiza un grado de ductilidad suficiente de la vaina durante todo el

transporte del CG. A este respecto, el ES ha introducido una serie de conservadurismos:

- El tiempo admisible entre la carga de los elementos combustibles en el contenedor y el fin del transporte no puede ser superior a 6 meses. (según el apartado 6.5.12 de esta PDT, esta condición aplica todo el contenido. Ver condición 4b) de la propuesta de apreciación favorable)
- Se han considerado diferentes escenarios de carga regionalizada. Para evitar la que la temperatura del combustible sea más baja, la carga de elementos de alto quemado más calientes debe producir en la zona central del bastidor, por lo que se restringe la carga a una disposición con el combustible con mayor potencia térmica en la región interior. (según el apartado 6.5.12 de esta PDT, esta condición aplica a todo el contenido. Ver condición 4d) de la propuesta de apreciación favorable)
- Condiciones ambientales que conducen a la temperatura mínima en el contenedor, esto es, una temperatura ambiental mínima (-40°C), sin considerar el efecto de la insolación. Ese valor de temperatura ambiental es el valor mínimo del rango que establece la reglamentación de transporte para el diseño de un bulto de transporte tipo B.
- En los cálculos se ha tomado la sección mínima de diseño de los tubos MMC, que son los que conducen a la temperatura mínima en el combustible gastado, y por tanto los que se emplean para la verificación de la ductilidad de las vainas.

6.5.5 Métodos Analíticos

Los modelos térmicos correspondientes a cada una de las condiciones de análisis del ES se han implementado mediante el código ANSYS, versión 14, simplificándose la modelización de manera que:

- Se ha modelado la longitud activa de los elementos combustibles empleando un material homogéneo de propiedades térmicas equivalentes,
- El plenum y los cabezales del combustible se sustituyen por materiales de propiedades térmicas equivalentes
- Se ha aplicado una potencia térmica residual en la longitud activa del combustible gastado que varía según el perfil axial para los diseños AFA 2G y AFA 3G.

La comprobación de la validez del perfil axial de quemado empleado para definir la distribución de la carga térmica se ha evaluado en el informe CSN/IEV/INNU/TRA/1707/102.

La evaluación, detallada en el informe CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98, analiza:

- La metodología empleada para el cálculo de las propiedades térmicas equivalentes del combustible, plenum y cabezales.
- Los coeficientes totales de transmisión en la superficie exterior del contenedor.
- Las tensiones térmicas: dilataciones diferenciales.
- Las temperaturas mínimas en el combustible: verificación de la ductilidad de la vaina.

La interacción térmica de un contenedor con el medio exterior considera la disipación del calor residual a través de mecanismos de convección y radiación, así como un calentamiento del contenedor que resulta de la aplicación de las cargas térmicas definidas en el 10 CFR 71.71 para las diferentes superficies exteriores del contenedor. Esto se tiene en cuenta en los diferentes modelos desarrollados.

De igual forma, el análisis de las dilataciones diferenciales que pueden existir en los diferentes componentes estructurales del contenedor, derivados de los gradientes térmicos no homogéneos e interferencias existentes como consecuencia de la dilatación térmica de los diferentes componentes, se ha realizado mediante modelos de elementos finitos implementados mediante el código ANSYS.

Los análisis de huelgos radiales se analizan a partir de modelos bidimensionales en ANSYS. Para huelgos axiales, la metodología es similar, pero utilizando modelos tridimensionales.

6.5.6 Propiedades térmicas de los materiales

Los parámetros relevantes a definir según el mecanismo de transmisión de calor considerado son:

- Conductividades térmicas de los materiales en los que se considera transmisión de calor por conducción.
- Emisividades de las superficies en las que se considera intercambio de calor por radiación.
- Absortividades de las superficies en las que se considera calentamiento por fuego o insolación.

- Densidades y capacidades caloríficas de los diferentes materiales para considerar la inercia térmica en escenarios en los que se realiza un análisis transitorio (secado por vacío y ensayo de fuego).
- Coeficientes de expansión térmica, empleados para la verificación del mantenimiento de los huelgos radiales y axiales.
- Propiedades del aire para la obtención de los números de Grashof y Prandtl, utilizados en los cálculos de transferencia de calor por convección.

Se han revisado las referencias utilizadas para la definición de estos parámetros, encontrándose válidas

6.5.7 Cálculos para las condiciones rutinarias y normales de transporte (CNT) y las condiciones de accidente

La evaluación revisó los resultados obtenidos por ENSA de las temperaturas de los diferentes componentes del contenedor, para los escenarios analizados en el ES, verificando el cumplimiento con los límites térmicos.

En el capítulo 3 del ES se han considerado tres casos de carga atendiendo a la carga térmica, temperatura ambiente e insolación consideradas:

- Caso 1: Condición de máxima temperatura, en el que se aplica la potencia térmica envolvente del valor de diseño (39,75 kW para el combustible de diseño AFA 3G y 33,12 kW para el combustible AFA 2G), considerándose una temperatura ambiente de 38°C, además del efecto de la insolación.
- Caso 2: Condición de mínima temperatura, en el que se considera ausencia de carga térmica, ausencia de insolación y una temperatura ambiente de -40°C.
- Caso 3: en el que se modifica el caso 2 para tener en cuenta la carga térmica del combustible (39,75 kW para el combustible de diseño AFA 3G y 33,12 kW para el combustible AFA 2G), y que, junto con los resultados del caso 1, se emplea para la evaluación las tensiones térmicas.

Se verifica que en ningún caso se superan los límites térmicos, por lo que los análisis realizados resultan aceptables.

Respecto a la temperatura máxima en las superficies accesibles del bulto, la reglamentación establece un límite de 50°C, a menos que el transporte se realice en la modalidad de uso exclusivo, y que, en cualquier caso, la temperatura en la superficie fácilmente accesible del bulto no superará los 85°C durante el transporte, en ausencia de irradiación solar.

Entendiendo como superficies accesibles todas aquellas con las que se pueda establecer contacto directo, resultan como tales únicamente algunas superficies externas de los limitadores de impacto y la rejilla de la barrera personal que protege el acceso a la virola envolvente del bulto. Se concluye que, incluso considerando el aporte de calor por insolación, la temperatura máxima en las superficies accesibles de los limitadores de impacto permanecerá por debajo del límite de 85°C, pero la temperatura en las rejillas de la barrera personal podría llegar a los 73,6 °C.

Por tanto, el bulto deberá ser transportado en la modalidad de uso exclusivo, salvo que la verificación operacional de la temperatura en las superficies accesibles del bulto en estado estacionario, que debe ser cumplimentada en la preparación del contenedor indique valores inferiores a 50 °C, en cuyo caso, el bulto no debe ser transportado en la modalidad de uso exclusivo (Anexo III apartado i) del Reglamento del OIEA, SSR-6) (ver condición 7 de la propuesta de apreciación favorable).

En cuanto a las temperaturas máximas en condiciones de accidente, en el ES del bulto se han calculado las temperaturas máximas en las tres fases del accidente de fuego definido por la reglamentación considerando únicamente el caso del combustible gastado de modelo AFA 3G, que es más penalizante.

- Fase 1: Estacionario inicial. Tiene por objeto definir la configuración térmica de partida del contenedor previamente al inicio del fuego. La distribución inicial de temperaturas del contenedor se ha establecido a partir del análisis estacionario obtenido en las CNT, considerando una temperatura ambiental adversa (38°C).
- Fase 2: Exposición al fuego. Se considera un escenario de 30 minutos de duración en el que se produce un calentamiento de la superficie del contenedor a consecuencia de una llama de fuego a una temperatura de 800°C. El calor se transfiere a la superficie del contenedor mediante mecanismos de convección forzada y radiación. Durante la fase de fuego no se considera la influencia de la insolación. Tanto la duración del fuego, como la temperatura de llama y las emisividades se han tomado del punto 10CFR71.73(c)(4).
- Fase 3: Enfriamiento. Una vez finalizado el fuego se restablecen los mecanismos de transmisión de calor supuestos en la condición normal de almacenamiento, con determinadas particularidades debidas a la ocurrencia del fuego. Así, se considera que la pintura de las superficies exteriores del contenedor ha desaparecido por efecto del fuego, con lo que se modifican conservadoramente los parámetros de emisividad de las superficies para minimizar la capacidad de transferencia por radiación, y de absortividad para maximizar la carga transferida al contenedor por insolación. De forma conservadora se supone que tras la fase de fuego el blindaje neutrónico ha quedado dañado, por lo que no se da crédito a la conducción a través del mismo. A efectos del cálculo térmico se supone que el espacio en que se

ubica el blindaje está relleno únicamente por aire, considerándose únicamente la transferencia de calor por conducción a través del mismo.

Las temperaturas máximas alcanzadas en los componentes del contenedor para cada una de las fases de análisis se resumen en la tabla 3.5.7 del ES. En ningún caso se superan los límites térmicos por lo que resultan aceptables.

6.5.8 Calculo de la temperatura máxima en las operaciones de carga, drenaje y secado del contenedor

Se ha llevado a cabo un análisis del transitorio de subida de temperatura durante la **carga** del contenedor, que permite calcular el tiempo transcurrido desde la colocación de la tapa interior del contenedor hasta que se alcanza la temperatura de ebullición en el punto más caliente. Estos cálculos se han realizado para cada diseño de combustible gastado, AFA 2G y AFA 3G, en función de los rangos de carga térmica y de temperatura de la piscina. De los análisis se añade una restricción a la carga de un contenedor cuando la temperatura de la piscina es superior a los 46°C considerados en el análisis.

Durante la fase de **drenaje**, se han realizado análisis de los transitorios de subida de temperatura, para ambos diseños de combustible, en las condiciones más restrictivas (máxima carga térmica de los elementos combustibles, máxima temperatura en la piscina, 46°C y en las condiciones aceptables más limitantes que se obtienen durante el transitorio de carga). Se calcula el tiempo máximo para la fase de drenaje: $t_{drenaje}$ para el combustible de diseño AFA 2G y $t_{drenaje}$ para el combustible de diseño AFA 3G.

Una vez concluido el drenaje, se considera la presencia del gas de arrastre, Nitrógeno, a la presión correspondiente al criterio de aceptación de secado (P_{CG}), lo cual resulta conservador, ya que minimiza la conductividad térmica del nitrógeno, y por tanto la conductividad equivalente del CG. A partir de dicha configuración, mediante el cálculo del transitorio de temperaturas se obtiene el tiempo necesario para que el CG alcance la temperatura correspondiente al límite aplicable a las condiciones de corta duración, esto es, 400°C. Para la fase de secado se obtienen tiempos máximos de t_{secado} para el combustible de diseño AFA 2G y t_{secado} para el combustible de diseño AFA 3G.

Debido al valor tan restrictivo para el combustible AFA 3G, que puede penalizar la carga de un contenedor con CG de este diseño, pero de menor carga térmica, para aumentar la flexibilidad de la carga, ENSA ha realizado análisis adicionales considerando potencias térmicas inferiores. Los resultados se recogen en la tabla 3.4.9 del ES y consideran una potencia térmica del contenedor entre el 85% y el 100% de la carga térmica de diseño, logrando unos tiempos límite de secado que oscilan entre las

Sin embargo, debido a las condiciones contempladas en el análisis de ductilidad de las vainas (ver apartado 6.8.2 de la PDT) para elementos combustibles gastados con un quemado medio superior a 45 GWd/tU, el límite se fija en - (en caso de que el valor obtenido por la tabla 3.4.9 sea menor de las , se tomará el valor indicado en la tabla), siempre y cuando se cargue al menos un elemento de CG de quemado superior al indicado.

Los análisis incluyen planes de contingencia en el caso de que exista algún suceso que impidiera completar el secado del contenedor en el tiempo límite propuesto. En ese caso se inyectaría helio para reducir la temperatura del combustible gastado, reanudándose el secado del contenedor. En este caso, se han analizado los escenarios y, en función del tiempo en que se haya mantenido la atmósfera de helio (rango entre 12 y 36 horas) se obtienen los nuevos tiempos máximos para la nueva fase de secado del contenedor: para el combustible modelo AFA 2G y para el combustible modelo AFA 3G.

El ES analiza la posibilidad de que se produzcan ciclos térmicos en el combustible gastado con amplitud superior a 65°C y concluye que la aplicación de los planes de contingencia citados en el párrafo anterior, suponen variaciones de temperatura superiores a 65 °C, por lo que dicha acción supondrá contabilizar un ciclo térmico, debiéndose limitar el máximo de ciclos a 10, tal y como requiere la ISG-11 en revisión 3.

6.5.9 Calculo de la presión interna

Se ha evaluado, así mismo, la metodología y los resultados de los cálculos de presión interna máxima en la cavidad durante las condiciones normales de transporte, y durante las condiciones de accidente. Los resultados confirman que en condiciones normales la Presión Normal de Operación Máxima (PNOM)¹² (2,14 bar para el combustible de diseño AFA 2G, y 2,29 bar para el combustible de diseño 3G) es inferior al límite definido por la reglamentación (7 bar) y que en condiciones de accidente la presión interna máxima (5,65 bar para el combustible de diseño AFA 2G, y 5,92 bar para el combustible de diseño AFA 3G y AFA 3GAA¹³) es inferior a la presión de diseño (8 bar), por lo que se considera que, tanto la metodología empleada para el cálculo de la presión interna, como los resultados son aceptables.

¹² *Presión Normal de operación máxima* es el término utilizado en el ES del bulto presentado por ENSA, pero coincide con el concepto *Presión Normal de Trabajo Máxima*, que es la terminología utilizada en el Reglamento de transporte SSR-6 del OIEA y, por tanto en los reglamentos de transporte de aplicación en España

¹³ Dado que la distribución térmica más desfavorable en Condiciones Normales de Transporte (CNT) corresponde al combustible AFA 3G, la temperatura utilizada en el cálculo de la presión interna de la cavidad en condición de accidente se toma conservadoramente la del combustible AFA 3G.

6.5.10 Dilataciones diferenciales

La evaluación revisó el tratamiento de las dilataciones diferenciales entre los diferentes componentes del bulto. La evaluación considera que, con los resultados obtenidos, se garantiza que no se crearán tensiones térmicas adicionales en los distintos componentes del contenedor.

En la verificación del huelgo radial, los cálculos del ES garantizan que no se generarán tensiones térmicas entre el bastidor y el vaso del contenedor, y que el huelgo nominal habilitado es suficiente para absorber las dilataciones térmicas.

Respecto a los huelgos axiales, el análisis de las condiciones rutinarias y normales de transporte concluye que la longitud final del vaso es suficiente para acomodar las dilataciones de los componentes del bastidor y tubos de MMC.

Para las condiciones de accidente de fuego, analizadas en el apartado 3.5.4 del ES, se obtienen los siguientes resultados:

- Del análisis de dilataciones radiales entre tubos de MMC y chapas del bastidor, al igual que ocurre para las CNT, se produce un contacto entre ambos componentes, con las tensiones térmicas que dicho contacto origina.
- El huelgo radial entre bastidor y vaso y huelgos axiales tubo MMC-vaso y chapas bastidor-vaso son suficientes para acomodar la dilatación de estos componentes en condiciones de fuego.
- El huelgo axial entre el vaso del contenedor y las guías de aluminio del bastidor es suficiente para acomodar la libre expansión de las guías.
- Como resultado de los análisis de comprobación de los huelgos nominales ante las dilataciones térmicas diferenciales entre los diferentes componentes del contenedor, se ha verificado que, exceptuando el caso del huelgo radial entre los tubos de MMC y chapas del bastidor, no se producen interferencias entre los componentes del contenedor, para todas las condiciones normales de transporte e hipotéticas de accidente.

La evaluación térmica se limita al contenedor y a sus componentes en configuración de transporte (es decir, incluyendo los limitadores de impacto), pero descarta otros elementos accesorios como la cuna de transporte en la que se fija el contenedor en el vehículo de transporte. El análisis de las dilataciones de los muñones indica que la cuna de transporte deberá permitir la dilatación del contenedor tanto axial como radialmente. La evaluación de estos accesorios deberá tenerse en cuenta previamente al transporte del contenedor (ver condición 9 de la propuesta de apreciación favorable).

Se concluye, por tanto, que la evaluación térmica de las dilataciones diferenciales, incluida en la revisión 2 del Estudio de Seguridad del bulto de transporte ENUN 24P se considera aceptable.

6.5.11 Temperaturas mínimas: verificación de la ductilidad de la vaina.

En el ES se describen los análisis térmicos necesarios para garantizar el comportamiento dúctil de las vainas de los elementos combustibles de quemado superior a 45 GWd/tU cargados en el contenedor ENUN 24P, considerando el periodo de tiempo comprendido desde la carga de los elementos combustibles en el contenedor hasta la finalización del transporte del mismo (6 meses).

Debe considerarse que, como evaluación complementaria a la recogida en este apartado, en el apartado 6.8.2 se incluye la evaluación de la idoneidad de las propiedades mecánicas de las vainas de los elementos combustibles de diseños AFA 2G Y AFA 3G/3GAA, de manera que permanezcan intactas en cualquier condición de transporte para el combustible con quemados medios superiores a 45 GWd/tU.

La formación de hidruros radiales degrada las características de ductilidad del material de vaina. Para la formación de los hidruros radiales, deben producirse varias condiciones:

- En primer lugar, se ha considerado que para que el hidrógeno contenido en las vainas de los elementos combustibles se disuelva en una cantidad significativa, la temperatura en las mismas debe superar un valor de temperatura umbral (CST) de
- Además, si la tensión circunferencial en la vaina es superior a 90 MPa, en condición de temperatura máxima, la re-precipitación del hidrógeno disuelto provocará que el material de la vaina pierda su ductilidad.
- Por último, después de haberse cumplido las dos condiciones anteriores, para que el material de las vainas pierda su ductilidad, su temperatura debe descender por debajo de su temperatura de transición dúctil-frágil (DBTT).

En los análisis de temperaturas mínimas, con independencia de los tiempos de secado, se ha partido de la hipótesis de una duración máxima de la fase de secado de a la hora de verificar los puntos del material equivalente en los que se superan los (valor de la temperatura umbral, CST, para los dos materiales de vaina, Zr-4 y M5, utilizados en los elementos combustibles considerados).

EL ES ha analizado la evolución de la temperatura de todos los puntos de los elementos combustibles que superen en algún momento la CST, obteniéndose como resultado la temperatura mínima registrada en los mismos hasta la finalización del transporte del contenedor. En este análisis se ha realizado un estudio de sensibilidad frente a la potencia térmica cargada en el contenedor y en el momento de finalización del transporte, así como las distintas configuraciones de carga (uniforme o regionalizada), analizando además por separado los combustibles AFA 2G y AFA 3G o AFA 3GAA.

En el caso del combustible AFA 3G o AFA 3GAA, la temperatura mínima se ha obtenido para la configuración de carga regionalizada con 6 elementos calientes y doce fríos, siendo la potencia térmica total del contenedor 100 MW.

Las combinaciones de carga analizadas se muestran en la tabla 3.6.2 del ES y los resultados correspondientes en las tablas 3.6.6 y 3.6.7.

La temperatura mínima obtenida, 100 °C, es superior a la DBTT del material de la vaina 100 °C, por lo que puede garantizarse la ductilidad de las vainas de los elementos combustibles AFA 3G y AFA 3GAA. Análogamente, para el combustible AFA 2G el valor mínimo obtenido es 100 °C, en este caso correspondiente a una configuración de carga uniforme con una potencia térmica total de 100 MW. Este valor es superior a la DBTT del material de la vaina 100 °C, por lo que puede garantizarse la ductilidad de las vainas de los elementos combustibles AFA 2G.

Por último, ENSA ha analizado la influencia del número de elementos en la región caliente. Para ello ha realizado casos adicionales contemplando una región central de 4 elementos, limitando el análisis a valores de potencia térmica total próximos a la que produce el valor mínimo de temperatura (valores resumidos en la tabla 3.6.3 del ES), verificando que la temperatura mínima alcanzada durante el transporte en aquellos puntos del material equivalente que superaron la temperatura umbral CST, es superior al criterio de temperatura de transición dúctil-frágil, o DBTT.

A la vista de los análisis realizados por ENSA, se considera verificado el requisito complementario establecido en el RIS 2015-XX, y por lo tanto se garantiza la ductilidad de las vainas de combustible gastado durante las condiciones previstas durante el transporte.

6.5.12 Temperaturas mínimas en las forjas de acero de la barrera de contención.

6.5.13 Conclusiones de la evaluación térmica

De la evaluación del bulto ENUN 24P para el modo de transporte se deduce que, atendiendo a los razonamientos térmicos, tanto en condiciones de transporte rutinario, normal o de accidente se mantienen las funciones de seguridad, considerándose que:

- Los rangos de temperatura límite de operación para los materiales importantes para la seguridad, estructurales, blindaje y control de criticidad, que aseguran un comportamiento adecuado de los mismos, así como las cargas térmicas y condiciones ambientales, se han establecido de acuerdo con la normativa aplicable.

- Se ha verificado el comportamiento térmico del contenedor ENUN 24P, para las condiciones normales de transporte e hipotéticas de accidente, utilizando medios analíticos que representan de forma conservadora el comportamiento de dicho conjunto. Los resultados de dichos análisis muestran que las temperaturas de todos los componentes se mantienen por debajo de los límites establecidos con márgenes adecuados.
- Para el combustible gastado con quemado superior a 45 GWd/tU se ha verificado que la temperatura mínima alcanzada en las barras de combustible permite garantizar un comportamiento dúctil de la vaina durante todo el transporte. Lo anterior se ha verificado suponiendo que el transporte se realiza tras un periodo máximo de 6 meses desde la carga del contenedor (ver condición 4 b) genérica para todos elementos combustibles considerados como contenido permitido de la propuesta de apreciación favorable).
- Las presiones internas máximas resultantes de las condiciones normales de transporte e hipotéticas de accidente, se han determinado empleando las hipótesis requeridas en la normativa, verificándose que eran inferiores a las correspondientes presiones de diseño y a la Presión Normal de Trabajo Máxima definida por la reglamentación de transporte.
- La temperatura de las superficies accesibles del contenedor, teniendo en cuenta la máxima carga térmica de diseño, superan la temperatura de corte de 50°C indicada en la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas (en ADR, párrafo 6.4.8.3), por lo que para el transporte del bulto deberá considerarse la modalidad de uso exclusivo indicada en dicha reglamentación en el caso de que para un contenido concreto se supere el citado valor de temperatura (lo que se especificará en la condición 7 de la propuesta de apreciación favorable).
- Como resultado de los análisis de comprobación de los huelgos nominales ante las dilataciones térmicas diferenciales entre los diferentes componentes del contenedor, se ha verificado que, exceptuando el caso del huelgo radial entre los tubos de MMC y chapas del bastidor, no se producen interferencias entre los componentes del contenedor, para todas las condiciones normales de transporte e hipotéticas de accidente.
- ENSA ha obtenido las temperaturas mínimas de servicio (LST) en las forjas de los componentes que forman parte de la barrera de contención del bulto (virola interior, tapa interior y fondo). Estos valores realimentan el análisis de tenacidad a la fractura (ver apartado 6.6 de esta PDT). La validez de las temperaturas mínimas de servicio obtenidas queda sujeta a la imposición de las siguientes condiciones:

- Potencia térmica total del contenedor a la finalización del transporte superior a 10,18 kW, que según los cálculos de ENSA se corresponden con una potencia térmica total del contenedor en el momento de la carga de 10,8 kW. (ver tabla de la condición 4 a) de la propuesta de apreciación favorable).
- Potencia térmica de cada elemento combustible a la finalización del transporte superior a 356,5 W, con independencia del grado de quemado que, según los cálculos de ENSA, se corresponden con una potencia térmica por elemento combustible en el momento de la carga de 360 W (ver tabla de la condición 4a) de la propuesta de apreciación favorable).
- Tiempo máximo transcurrido desde la carga del contenedor hasta la finalización del transporte de seis meses (ver condición 4 b) de la propuesta de apreciación favorable).

6.6 EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS ESTRUCTURALES

En el capítulo 2 del ES del bulto se recoge el análisis estructural presentado por ENSA como soporte a la solicitud, con el objetivo de demostrar el comportamiento del contenedor en cualquiera de las situaciones de transporte: rutinarias, normales y de accidente.

Los principales criterios de aceptación están recogidos en la siguiente documentación:

- Para el cálculo mecánico-estructural son los límites de tensiones de la subsección WB “Class TC Transportation Containments” de la división 3 de ASME III, que es exigida por el NUREG-1617 para los componentes que forman parte de la barrera de contención.
- Para el resto de componentes con responsabilidad estructural debe cumplir los límites especificados en la subsección NB “Class 1 Components” de la división 1 de ASME III.
- Para la estructura de acero inoxidable del bastidor se deben de cumplir los límites establecidos en la sección NG “Core Support Structures”, para garantizar que las deformaciones sufridas por el mismo no alteren la geometría de los elementos combustibles, y por tanto no afecten a los análisis de criticidad del contenedor.
- Para el resto de componentes que forman parte del bastidor (tubos MMC, guías de aluminio, conjunto de placas periféricas y componentes de unión roscados) no se les exige el cumplimiento de límites tensionales, al no tener carácter estructural. Sin embargo, tanto los tubos de MMC como las guías de aluminio, están incluidos en los

modelos de elementos finitos del contenedor, ya que actúan como condiciones de contorno en los análisis realizados. El ES establece para estos componentes la no superación de su límite elástico tanto para las condiciones normales de transporte (CNT) como para las condiciones hipotéticas de accidente (CHA).

- Para los puntos de izado (muñones de izado superiores y pernos de unión), su diseño debe estar de acuerdo con el NUREG-0612 "Control of heavy loads at Nuclear Power plants" y la norma ANSI N 14.6-1993 "Special lifting devices for shipping containers weighing 10.000 pounds (4500 kg) or more"
- Para los muñones de rotación (inferiores) tan solo se les exige que no alcancen la tensión de fluencia, debiendo satisfacer tanto estos como los muñones superiores el artículo 10 CFR 71.45 (b), de manera que en situación del bulto amarrado para el transporte, no ha de superarse la fluencia suponiéndolo sometido a 2, 10 y 5 veces su peso en las direcciones vertical, horizontal longitudinal y horizontal transversal según la dirección de avance del vehículo.
- Para los pernos de las tapas del contenedor, adicionalmente al cumplimiento con los límites de ASME III descritos anteriormente (subsecciones WB para los pernos de la tapa interior y NB para los pernos de la tapa exterior) se considera que deben cumplir los límites recogidos en el NUREG/CR-6007.
- Para las vainas del combustible gastado, durante caídas verticales, se les exige el cumplimiento con los criterios incluidos en la ISG-12 "Buckling of irradiated Fuel under end drop conditions", rev.1 [22], de manera que no se supere la tensión de fluencia, garantizándose así su integridad sin romperse por pandeo o flexión.

Adicionalmente a los requisitos y criterios de aceptación definidos por la reglamentación de transporte y los relacionados con los límites tensionales, la fractura frágil y el fallo por fatiga, el bulto ha sido diseñado para que, tanto en las condiciones normales de transporte como en las condiciones de accidente:

- Los limitadores de impacto no se desprendan del contenedor.
- Las tapas no se desprendan tras una caída y se mantenga la integridad de la contención.
- Los elementos de combustible gastado (CG) no sufran daños y puedan ser adecuadamente recuperados.
- En todas las situaciones anteriores, el CG se mantenga íntegro y sin romperse por pandeo o flexión.

En general, la documentación presentada indica que ENSA ha llevado a cabo sus análisis mediante dos tipos de cálculos, bien de manera aislada, bien combinándolas adecuadamente en función del caso concreto:

- Análisis computacional empleando el método de los elementos finitos. A menudo ha empleado el código de cálculo ANSYS. También, para simulaciones fuertemente no lineales, se ha usado el código de cálculo LS-DYNA, empleando modelos basados en la metodología explícita.
- Cálculos clásicos manuales. Se emplean, mayormente, fórmulas clásicas de la teoría de resistencia de materiales.

La evaluación llevada a cabo en el CSN se encuentra recogida en el informe CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103, utilizándose tanto la información incluida en el ES como en la documentación soporte aplicable (documentos de requerimiento de trabajo –RDT-).

La evaluación ha tenido en cuenta tanto el comportamiento estructural del bulto en las diferentes condiciones de operación (condiciones de transporte rutinarias, normales y accidentales), como el comportamiento de algunos de sus componentes (sistema de cierre, combustible y limitadores de impacto).

6.6.1 Condiciones rutinarias y normales de transporte (CNT)

Este apartado cubre las condiciones rutinarias y normales de transporte, tal y como se definen en el Reglamento SSR-6 y en los reglamentos modales.

Entre los aspectos analizados están los siguientes:

Análisis de muñones

En comparación con los contenedores ENUN 32P y ENUN 52B, los muñones son hembra, es decir, disponen de un agujero donde, en situaciones de manejo y elevación encaja el bulón del yugo de elevación (muñones superiores) o de un elemento sobre el que se apoye y rote (muñones inferiores). En las figuras incluidas en el ES, se indica que los bulones de los elementos auxiliares que encajan en los muñones tienen un diámetro igual al de los agujeros correspondientes del muñón. ENSA ha aclarado que los bulones de los elementos auxiliares tienen el mismo diámetro, menos una ligera tolerancia de ajuste. Así mismo, estos bulones van provistos en la parte externa de casquillos de bronce cuya deformación garantiza que el contacto se de en toda la superficie disponible.

Se han analizado dos situaciones: situación de elevación y manejo y situación de amarre.

En la situación de elevación y manejo del contenedor ENSA ha analizado los muñones por elementos finitos, mediante un modelo específico implantado en ANSYS, abarcando aparte del propio muñón, sus pernos y la zona adyacente del vaso. El CSN considera adecuado el modelo y las cargas aplicables. Los resultados son satisfactorios (solo se producirían plastificaciones muy pequeñas en el muñón superior, en zonas de concentración de tensiones), y cumplen con los criterios de aceptación que les son aplicables.

En la situación de amarre a la cuna de transporte se han utilizado los mismos modelos analizados para la situación de elevación y manejo, para la configuración del bulto provisto con los limitadores de impacto y en posición horizontal. Los resultados obtenidos son también satisfactorios cumpliéndose los criterios de aceptación.

Tras la evaluación realizada, el análisis se considera aceptable.

Análisis de la temperatura ambiente

Se han analizado dos situaciones de temperatura externa con el contenedor con los limitadores de impacto dispuesto horizontalmente sobre la cuna de transporte cargado y presión interna de 8 bar: máxima temperatura ambiente de 38°C con máxima insolación solar y mínima temperatura ambiente de -40°C.

En la situación de máxima temperatura ambiente con máxima insolación se ha tenido en cuenta la máxima carga térmica máxima (39,33 kW) generada por los elementos combustibles. Se comprueba que las dilataciones térmicas diferenciales no inducen tensiones capaces de producir un daño al contenedor. Se considera que los análisis presentados por ENSA para CNT de temperatura 38 con máxima insolación y máxima carga térmica son correctos y aceptables.

En la situación de mínima temperatura ambiente -40 °C y sin carga térmica interna (el peso de los elementos combustibles se incluye) también emplea el modelo de elementos finitos utilizado durante el caso anterior. De acuerdo con el análisis presentado en el ES de los resultados obtenidos en el modelo, el bulto se comporta de manera satisfactoria en todos sus componentes. En cuanto al criterio de fractura frágil, este aspecto se trata en el apartado 6.6.2 de esta PDT. Como conclusión, se considera que el diseño del contenedor en este caso es adecuado.

Análisis de las variaciones de presión externa

Se ha analizado la situación de reducción de la presión externa a un valor de 0.25 bar de acuerdo con el 10 CFR 71. Esta reducción es conservadora respecto al requisito del párrafo 645 Reglamento del OIEA (SSR-6) que establece una reducción de la presión externa a un valor de 0.6 bar. Esta situación se ha analizado en el ES a través de un

cálculo de la presión efectiva (presión diferencial entre la presión interna y externa por debajo de la cual no se afectarían los análisis de la contención incluidos en el ES).

Dado que esta presión efectiva de diseño es de 6.987 bar, y las condiciones rutinarias o normales de transporte la presión diferencial es de 2,29 bar, se concluye que la disminución de la presión externa a los valores considerados no tiene influencia adversa alguna en la operatividad del contenedor ENUN 24P.

De igual forma se analiza la situación de incremento de la presión externa a un valor máximo de 1,4 bar, que presenta una presión diferencial incluso menor que en el caso anterior y por lo tanto queda acotada por los valores de presión efectiva.

Análisis de vibraciones

ENSA ha utilizado valores envolventes recomendados por el "Sandia National Laboratory" (SNL), tanto por carretera como por ferrocarril. Se ha descompuesto el análisis en dos componentes: una componente continua (efectos del pavimento o discontinuidades en los carriles) y otra discreta (debido a impactos ocasionados por baches, badenes, cambios de vías, acoplamiento de vagones, etc).

En cuanto a la componente continua del análisis vibratorio, y para cada componente del contenedor considerado como relevante, el ES establece la tensión alternativa a la que está sometido, y utilizando la curva de fatigas de ASME III, se obtiene el número de ciclos admisible frente al fallo por fatiga. Siguiendo esta metodología, el componente más limitante, con 1731 ciclos, serían los pernos de la tapa interior a temperatura mínima. Los valores obtenidos permiten concluir la ausencia de fenómenos de fatiga, debido al extremado conservadurismo del cálculo.

Todos estos análisis han sido revisados y se consideran aceptables, concluyendo que el comportamiento frente a vibraciones del bulto se considera apropiado.

Ensayo de rociado de agua para CNT

El ES considera que debido a su gran tamaño y peso, la capacidad estructural y la respuesta térmica del bulto no se ven influenciadas por el ensayo de rociado. Por otra parte, las superficies externas del contenedor están recubiertas de pintura epoxi, por lo que la corrosión que pudieran provocar las gotas de lluvia no supondría un problema. El CSN considera aceptable esta aproximación.

Ensayo de caída libre para CNT

El ES analiza diferentes caídas del contenedor con los limitadores de impacto desde 0,3 m a temperatura máxima (38°C, irradiación solar y máxima carga térmica, a 8 bar de presión interna) y a temperatura mínima (-40°C sin carga térmica, a 8 bar de

presión interna, considerando la masa de los elementos combustibles) con distintas orientaciones, que cubren el espectro completo de posibilidades que pueden darse: i) caída vertical sobre la tapa del contenedor; ii) caída lateral (posición horizontal del contenedor); y caída de esquina sobre la tapa, (con el centro de gravedad en la vertical del punto de impacto).

Estos casos han sido simulados con el código ANSYS. De acuerdo con los resultados obtenidos, ninguna de esas caídas produce una amenaza para la integridad del bastidor y del cuerpo, tapas y pernos del contenedor. El CSN considera la metodología y los resultados obtenidos como aceptables.

Ensayo de penetración para CNT

ENSA analiza la caída de una herramienta de 6 kg y 32 mm de diámetro desde 1 metro de altura en dos escenarios considerados como desfavorables: el impacto sobre la tapa de control de presión, y el impacto sobre la envolvente del blindaje neutrónico. Se han llevado a cabo análisis elastoplásticos mediante el código de cálculo LS-DYNA (metodología explícita, no lineal), considerándose una metodología adecuada para modelar este tipo de escenarios. Se han realizado los análisis para dos situaciones térmicas (+38 °C y -40°C).

En el caso de la caída sobre la tapa de control de presión no se ha dado crédito al limitador de impacto y pese a tener deformaciones locales, no se espera fallo en la tapa. En relación con la caída sobre la envolvente del blindaje neutrónico, también se esperan deformaciones plásticas localizadas, sin un daño en la envuelta.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, el CSN concluye que ninguno de estos dos impactos produce en el bulto un efecto significativo.

6.6.2 Fallo por fractura frágil

En cuanto a la posibilidad de que se dé un fallo por fractura frágil, la temperatura mínima postulada en la normativa de transporte (apartado 666 del documento SSR-6 del OIEA) es de -40 grados centígrados.

Para los componentes forjados de la barrera de la contención (virola interior, tapa interior y fondo), la subsección WB de ASME III, como código de diseño aplicable, impone una temperatura de transición dúctil-frágil (RT_{NDT}) para los materiales utilizados (acero tipo SA-350 LF3 Cl2) significativamente inferior a los -40°C de temperatura mínima de servicio.

Este margen en la temperatura de transición se introduce para tener en cuenta no solamente las incertidumbres en la determinación de la temperatura de transición o en las propiedades del material, sino también por el hecho de que las cargas a las que

se somete el contenedor en condiciones de accidente son cargas de impacto (bruscas) con una tasa de carga (velocidad de impacto) muy notable.

El análisis de fallo por fractura frágil está recogido en el apartado 2.1.2.5.1 del ES. El ES exige valores de RT_{NDT} mucho más cercanos a los -40°C que los que prevé la mencionada subsección WB de ASME III.

Para los demás componentes ferríticos el ES establece una serie de requisitos basados en el código de diseño o norma aplicable que ha de cumplir cada uno de ellos (establecidos en diferentes subsecciones, WB, NB y NF de ASME III y en el ANSI-N14.6).

El tratamiento que se ha dado a cada componente y los criterios de aceptación incluidos en las tablas 2.1.8 y 2.1.9 del ES se han revisado y se han considerado satisfactorias.

Como conclusión, el análisis por fractura frágil presentado en el ES se considera apropiado, así como los requisitos que de él se deducen.

6.6.3 Fallo por fatiga.

Se analizan los ciclos de carga transporte y descarga del bulto con la carga térmica máxima sobre diferentes componentes y zonas de interés del bulto que cubre el vaso del contenedor (esquina inferior entre virola y fondo), la zona de agujeros para los pernos de las tapas interior y exterior del vaso, los pernos de ambas tapas y el material austenítico del bastidor.

Del análisis llevado a cabo, se concluye que el diseño a fatiga del contenedor ENUN 24P es correcto.

6.6.4 Condiciones de accidente de transporte (CAT)

Las condiciones de accidente se garantizan con la superación de una serie de ensayos (caída libre desde 9 metros, punzonado, accidente térmico e inmersión) considerados de manera secuencial, salvo el de inmersión, de tal forma que el daño provocado por cada uno se va acumulando.

Entre los aspectos analizados están los siguientes:

Caída de 9 metros

Con objeto de cubrir el requisito de que el bulto esté orientado de manera que se genere el mayor daño, se han analizado cuatro posibles caídas: vertical sobre tapas, lateral (horizontal), en esquina sobre tapas, con el centro de gravedad sobre el punto de impacto, y en oblicuo (“*slap down*”) con inclinación de 10 ° respecto de la horizontal de forma que el impacto secundario ocurre sobre la tapa exterior

La aceleración que sufre el centro de gravedad del bulto en cada caída se mantiene por debajo del valor correspondiente obtenido del cálculo de los limitadores de impacto, y que se ha validado mediante los ensayos reales de caídas, llevados a cabo a escala 1/3 para el modelo de contenedor ENUN 32P.

Se tiene en cuenta el pretensado de los pernos, y se consideran dos condiciones térmicas: temperatura ambiente de +38 °C y de -40 °C, con 8 bar de presión interna.

ENSA ha llevado a cabo estos análisis mediante el código de cálculo ANSYS, utilizando el modelo del contenedor ya empleado para los análisis de las condiciones normales de transporte. De esta forma, se han calculado las tensiones que aparecen tanto en el vaso, tapas y pernos como en el bastidor para las diferentes caídas. En cada una de las diferentes caídas los resultados han sido satisfactorios, manteniéndose el espaciado entre los elementos combustibles, y por lo tanto su geometría.

Se considera que cuando se supera algún límite de tensiones, esta superación está adecuadamente justificada, garantizándose el buen comportamiento del bulto ante las caídas de 9 metros. Por tanto, se concluye que queda suficientemente justificada la respuesta adecuada del bulto, desde el punto de vista mecánico- estructural.

Se ha llevado a cabo una comprobación a pandeo independiente del tubo de MMC con resultados satisfactorios. Por otra parte, en cada una de las caídas se lleva a cabo una comprobación de las chapas de MMC y de las guías de aluminio del bastidor, sin que ninguno de estos componentes supere su límite elástico. Estas caídas y los análisis son envolventes para estos componentes para las caídas de las condicione

Punzonado

Consiste en dejar caer el espécimen sobre una barra rígida maciza (punzón) desde 1 m. La caída debe ser tal que se produzca el máximo daño. El ES analiza tres situaciones: punzonado sobre el centro de la virola (el contenedor cae en horizontal), sobre el centro de la tapa exterior (el contenedor cae vertical invertido), y sobre el fondo (caída vertical de pie). Los cálculos llevados a cabo mediante elementos finitos suponen el contenedor desprovisto de limitadores (aunque se tiene en cuenta su masa).

Se han hecho los cálculos con el código de cálculo LS-DYNA (metodología explícita, situación no lineal), considerándose apropiada para este tipo de cálculos. Se recoge solo la situación de la condición caliente, debido a que los resultados para la condición fría son muy similares.

Al igual que en el caso de las caídas desde 9 m, se tiene en cuenta el pretensado de los pernos, y se consideran dos condiciones térmicas: temperatura ambiente de +38 °C y de -40 °C, con 8 bar de presión interna para la Tª máxima y 1 bar de presión interna para la mínima.

No se tienen en cuenta los limitadores, ni el blindaje neutrónico ni su envolvente, ni las aletas, ni la virola de protección externa, lo cual resulta conservador (ya que frenarán, aunque ligeramente, la penetración del punzón). Por lo tanto, lo que se ha modelado pues es el impacto del punzón directamente sobre la barrera de contención del contenedor.

Tras las evaluaciones realizadas se concluye que el contenedor se comporta adecuadamente ante el accidente de punzonado, en las situaciones analizadas.

Térmico

Consiste en someter al contenedor a un fuego de 800 °C durante 30 minutos. El análisis llevado a cabo por ENSA refleja que no se superan los límites térmicos del combustible y de los componentes relacionados con la seguridad (Ver también lo recogido en el apartado 6.5. de esta PDT en relación con la distribución de temperaturas que se obtiene en el bulto tras este ensayo, así como las dilataciones térmicas diferenciales asociadas).

Tras las evaluaciones llevadas a cabo se concluye que el bulto se comporta adecuadamente ante el accidente de fuego.

Inmersión

Consiste en someter al bulto a 200 m de columna de agua durante una hora. ENSA ha llevado a cabo una serie de análisis encaminados a demostrar el buen comportamiento del contenedor a una presión exterior de 2 MPa (presión que se corresponde con 200 m de presión de columna de agua). Estos análisis afectan a la tapa exterior, a la tapa de la penetración de control de presión, y a las juntas de las dos tapas citadas que son, a priori, los componentes más débiles de la barrera de contención, y los más expuestos.

Los resultados de los análisis cumplen los requisitos de la normativa y, por tanto, se considera que el bulto supera adecuadamente los criterios de aceptación para el accidente de inmersión.

En definitiva, los análisis llevados a cabo para demostrar el buen comportamiento del bulto en condiciones hipotéticas de accidente son, de acuerdo con la normativa aplicable, suficientes. Los estudios llevados a cabo han sido evaluados y sus resultados son satisfactorios.

6.6.5 Evaluación del sistema de cierre.

El análisis llevado a cabo en el apartado 2.12 del ES “Apéndice 2B: Cálculo analítico de los pernos de las tapas” se añade como comprobación adicional a los cálculos por elementos finitos llevados a cabo en otros puntos del ES y se examina el comportamiento de los pernos que intervienen en el sistema de cierre del bulto ENUN 24P, y de manera

Pernos de las tapas interior y exterior

La metodología se ciñe a lo requerido por el NUREG/CR-6007 y consiste en evaluar la resistencia estructural de los pernos ante las diferentes condiciones de operación (condiciones normales y de accidente) siguiendo los siguientes pasos:

- Obtención de fuerzas y momentos actuantes e las diferentes condiciones de diseño,
- Cálculo del par de apriete en los pernos que garantice la estanqueidad en todas las condiciones anteriores,
- Obtención de las cargas combinadas obtenidas en los puntos anteriores y, en función de la rigidez de la unión, obtener la fracción de carga que actúa sobre cada uno de los pernos, y
- Calcular las tensiones sobre el perno y compararlo con los límites admisibles.

Se consideran como cargas la presión interna y externa, las diferentes caídas, el punzonado, el pretensionado de los pernos de las tapas (del límite elástico en los pernos de la tapa interior y en los pernos de la tapa exterior), y se tiene en cuenta el asentamiento de las juntas. Finalmente, ENSA combina las cargas, calcula las tensiones y obtiene los coeficientes de seguridad frente a los límites admisibles. Se comprueban también las longitudes mínimas de roscado.

El proceso se ha comprobado en detalle considerándose las seguridades obtenidas satisfactorias. Se considera que el análisis presentado es correcto por lo que el diseño de los pernos se considera aceptable.

Pernos de las tapas de las penetraciones

El ES calcula la fuerza de pretensado que sirve para contrarrestar tanto la fuerza ejercida por la presión de diseño sobre las tapas como la fuerza generada en las condiciones de accidente más severas. Se comprueba que es suficiente tanto en condiciones normales como accidentales. Se comprueba, así mismo, la suficiencia de la longitud roscada. Los análisis realizados sobre los pernos de las tapas de las penetraciones se consideran satisfactorios.

6.6.6 Análisis del combustible.

El ES recoge, en su apartado 2.8 un análisis de los elementos de combustible gastado que pueden transportarse en el bulto. En este apartado, ENSA lleva a cabo una comprobación a pandeo y a flexión del combustible, que son las solicitaciones a las que este tiene que hacer frente en caso de caída vertical u horizontal respectivamente. Se analizan las caídas vertical y horizontal requeridas en caso de accidente, desde 9 metros, por ser el caso más severo.

La ISG 11 en revisión 3, establece que para los elementos combustibles con quemado medios de elemento superior a 45 GWd/tU se deben de utilizar las propiedades reales del combustible irradiado.

Estas propiedades fueron evaluadas independientemente (ver apartado 6.8.2 del presente informe). Se consideraron aceptables como dato de entrada para los análisis mecánicos llevados a cabo los datos correspondientes a un quemado máximo por vaina de 100 GWd/tU o de 100 GWd/tU que se corresponden con los quemados medios por elemento de 45 GWd/tU o 45 GWd/tU respectivamente.

Las principales hipótesis y características de los análisis presentados por ENSA en el ES son:

Para ambas caídas (vertical y horizontal):

- Se tiene en cuenta el 100% del peso de las pastillas de Uranio, y no se da crédito a la resistencia estructural de las pastillas.

Para la caída vertical:

- Modelo de elementos finitos en ANSYS representando una barra de combustible con elementos viga.

Para la caída horizontal

Los resultados obtenidos con estas hipótesis son inferiores a los límites en todos los casos.

Se considera que los análisis son aceptables y que bajo las premisas supuestas como hipótesis y los resultados obtenidos, el combustible soportará adecuadamente las sollicitaciones esperadas.

6.6.7 Análisis de los limitadores de impacto.

Se ha hecho un cálculo mediante elementos finitos efectuado para la validación de los limitadores. Las comprobaciones llevadas a cabo sobre los limitadores de impacto concluyen que estos elementos, en los escenarios de caídas, limitan las aceleraciones a valores aceptables, que ningún componente del bulto a excepción de los propios limitadores contacta con la superficie de impacto, y que los pernos de amarre permanecen unidos al contenedor después de cada caída, considerándose demostrado el cumplimiento de los objetivos establecidos para los limitadores de impacto, por lo que su diseño se considera aceptable.

Este cálculo de elementos finitos de validación de limitadores, se encuentra validado a su vez por una serie de ensayos a escala llevados a cabo en SNL para ENSA, planteados con objeto de validar el diseño de contenedor ENUN 32P y sus limitadores. En concreto, mediante los ensayos se pretendieron cualificar los análisis estructurales del contenedor y validar los modelos analíticos empleados en el cálculo.

Los ensayos mencionados fueron llevados a cabo en SNL (Nuevo Méjico, EE.UU.), en noviembre de 2010, y se efectuaron sobre un prototipo del bulto ENUN 32P, a escala reducida 1/3. En concreto, se llevaron a cabo 8 ensayos de caída, a saber, uno desde 0,3 m (CNT), cinco desde 9 m (CHA), y dos de punzonado (CHA).

El apartado 701 b) del SSR-6, equivalente al 6.4.12.1 b) del ADR, permite hacer referencia a ensayos anteriores satisfactorios de naturaleza suficientemente comparable, por lo que no ha sido necesario llevar a cabo ensayos específicos para el contenedor ENUN 24P (igual sucedió en el caso del diseño del contenedor ENUN 52B). Los sistemas de absorción de

impacto son del mismo material con las mismas propiedades críticas en ambos casos (rigidez a aplastamiento, densidad), y la geometría y configuración es equivalente: ambos contenedores presentan el mismo ratio entre longitud del contenedor y diámetro (con los limitadores de impacto instalado), y los materiales en ambos casos mantienen la misma relación de proporcionalidad con el peso.

A la vista de los resultados obtenidos, el ES concluye que se cumplen los objetivos en cuanto a aceleración y ausencia de contacto.

Se ha hecho un análisis de los pernos de fijación de los limitadores de impacto y de los pernos de fijación del anillo suplemento del limitador de impacto inferior, considerándose en ambos casos satisfactorio.

En resumen, se considera que con los análisis presentados y con los datos obtenidos, queda demostrado el cumplimiento de los objetivos establecidos para los limitadores de impacto del ENUN 24P, por lo que su diseño se considera aceptable.

6.6.8 Conclusiones del análisis estructural.

De la evaluación del bulto ENUN 24P para el modo de transporte se deduce que, atendiendo a los razonamientos mecánico-estructurales, tanto en condiciones de transporte rutinario, normal o de accidente se mantienen las funciones de seguridad estructurales del contenedor, y se considera su diseño aceptable siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Comprobación de que la geometría de los elementos que encajan en los muñones presenten un diámetro igual al de los agujeros correspondientes en estos. (ver condición 9 de la apreciación favorable)
- Cumplimiento de los requisitos asociados al fallo por fractura frágil establecidos en el ES.
- No superación de la carga térmica y del quemado del combustible gastado empleado en los análisis.

6.7 EVALUACIÓN DE LA CONTENCIÓN

En el capítulo 2 del ES se muestra que todos los componentes de la barrera del sistema de contención se mantienen dentro de los límites de tensiones permitidos durante todas las condiciones de transporte: rutinarias, normales y de accidente (ver apartado 6.6 de este informe).

En el capítulo 3 del ES se muestra que la presión y la temperatura obtenidos durante esas condiciones de transporte no superan los valores de diseño (ver apartado 6.5 de este informe).

En el capítulo 4 del ES se recoge la evaluación la contención presentada por ENSA como soporte a la solicitud. La evaluación llevada a cabo en el CSN se encuentra recogida en el informe CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98 y es el objeto del presente apartado.

El alcance de la evaluación de la contención se limita a verificar el cumplimiento de los requisitos contenidos en el NUREG 1617 relativos a la definición del sistema de contención y a la determinación de la tasa de fugas admisible.

La barrera de contención se diseña para resistir las condiciones rutinarias, normales y accidentales de transporte, de manera que se cumplan los requisitos establecidos en la normativa de transporte. El sistema de contención en la modalidad de transporte se encuentra definido en el apartado 5.4 del presente informe.

El sistema de contención del bulto se diseña, fabrica e inspecciona conforme a los requisitos de la subsección WB, "Class TC Transportation Containments" de la división 3 del código ASME, sección III, lo que se considera aceptable por estar expresamente contemplada en el apartado 2.4.1 del NUREG 1617.

Se ha revisado el contenido de la tabla 1.2.2 del ES en la que se resume la clasificación de seguridad de cada componente del contenedor, comprobando que todos aquellos componentes que forman parte de la barrera de contención identificada en el ES se han clasificado de acuerdo con el NUREG/CR-6407 como importantes para la seguridad, categoría A.

Se revisaron los análisis de los pares de apriete de los pernos de unión de las tapas y el vaso, de manera que se alcance una compresión óptima de las juntas metálicas empleadas, y se minimice la fuga.

La información proporcionada por el fabricante relativa a las juntas metálicas se incluye como apéndice al capítulo 7 del ES. De acuerdo con el citado apéndice, las juntas, con denominación , han sido diseñadas para garantizar una tasa de fugas inferior a $1E-9$ cc/sec.atm bajo una diferencia de presión de 1 atmósfera. Para lograr dicha tasa de fugas, el fabricante proporciona los datos de la compresión óptima que debe aplicarse a la junta de acuerdo con sus características y dimensiones.

La evaluación concluye que los valores de los pares de apriete aplicados a los pernos que comprimen dichas juntas son tales que garantizan la compresión requerida por el diseñador de las juntas en todas las condiciones postuladas en el Estudio de Seguridad. . Se ha verificado, asimismo, que los pares de apriete empleados en la evaluación estructural de los pernos se han trasladado a la tabla 7.1.1 del capítulo 7 del ES, de forma que los procedimientos a desarrollar apliquen los valores correctos.

En cuanto al análisis de las tasas de fuga admisibles, para calcular los valores de fuga se ha seguido la metodología del apéndice A del 10 CFR 71. Se determina en primer lugar el valor límite de actividad para el caso de material radiactivo no en forma especial, A_2 , de acuerdo con las características y el contenido del bulto y para ello se ha tenido en cuenta tanto los diferentes diseños de combustible que permite cargar el contenedor como los diferentes esquemas de carga.

Posteriormente, a partir del valor calculado más restrictivo de la actividad A_2 , se han determinado las tasas de liberación admisibles para las condiciones de transporte normales y de accidente, según lo requerido en el 10 CFR 71.51(a)(1) y 10 CFR 71.51 (a)(2), que coincide con los criterios definidos en la reglamentación de transporte que se aplica en España (apartado 6.4.8.8 del ADR, que se corresponde con el párrafo 659 del Reglamento del OIEA SSR-6). Las tasas de liberación obtenidas se refieren a fuga de helio en las condiciones de presión y temperatura correspondientes al escenario particular de análisis, que se convierten a un valor de tasa de fugas de aire en condiciones estándar de presión y temperatura, siguiendo lo indicado en la norma ANSI N14.5 y el NUREG/CR-6487.

El cálculo de las actividades radiológicas liberables desde el sistema de contención toma como referencia las fracciones de liberación desde los elementos combustibles que se incluyen en la tabla 4-1 del NUREG-1617.

Para el caso de quemados superiores a 45 GWd/tU, ENSA ha decidido aplicar, para bultos que hayan cargado algún elemento con un grado de quemado medio superior a ese valor, un criterio *leaktight* según norma ANSI N14.5, limitando la fuga de cada uno de los elementos que conforman la barrera de contención a un valor de $1E-7$ std cm^3/s , incluidos los anillos interiores de las juntas tóricas de la tapa interior y tapas de las penetraciones de venteo y drenaje. Tal y como se menciona en el ANSI N14.5, la aplicación del criterio *leaktight* asegura un grado de contención tal que, en el sentido práctico, permite excluir cualquier liberación radiológica significativa del bulto. Por tanto, se considera aceptable su aplicación al CG de quemado medio por elemento superior a 45 GWd/tU.

Para el resto de combustible, con quemados medios inferiores o iguales a 45 GWd/tU, la evaluación concluye que la aplicación del criterio de aceptación definido respecto de la tasa de fugas a través de la barrera de contención del contenedor, garantiza que el término fuente radiológico liberado cumpla con los límites radiológicos establecidos en la normativa en todas las condiciones postuladas en el Estudio de Seguridad

Se concluye entonces que las tasas de fugas definidas para el combustible en función de su quemado son válidas para definir el criterio de aceptación de las pruebas de estanqueidad del capítulo 8 del ES: Criterios de Aceptación y Programa de Mantenimiento.

La evaluación concluye que el diseño del sistema de contención, incluida en la revisión 2 del ES del bulto de transporte ENUN 24P, es consistente con los requisitos reglamentarios, por lo que se considera que proporciona una garantía razonable respecto a la contención del material radiactivo almacenado bajo todas las condiciones previstas en el ES del bulto.

6.8 EVALUACIÓN DE LA CRITICIDAD Y ESTADO DEL COMBUSTIBLE

6.8.1 Evaluación de la criticidad

En el capítulo 6 de la revisión 2 del ES se recoge el análisis de criticidad presentado por ENSA como soporte a la solicitud. La evaluación llevada a cabo en el CSN se encuentra recogida en el informe CSN/IEV/INNU/TRA/1707/100.

De acuerdo con los resultados de los ensayos de caída del bulto, se ha considerado que el contenedor no sufre daño significativo como resultado de ninguna condición anormal o de accidente postulada, y de acuerdo con los correspondientes análisis mecánicos del combustible, se mantiene la geometría del mismo en todo momento (ver también apartado 6.6 del presente informe).

La solicitud incluye un rango de quemados de combustible base de diseño de hasta 57 GWd/tU, es decir combustible con quemados por encima de los 45 GWd/tU (alto quemado). Esto implica requisitos adicionales de licenciamiento para demostrar el cumplimiento con las funciones de seguridad del bulto en condiciones de transporte, esencialmente la integridad de la vaina en condiciones de accidente en este rango de quemados, lo que ha sido objeto de evaluación en los apartados 6.6.4, 6.5.11 y 6.8.2 de esta PDT.

En la evaluación realizada se ha comprobado el cumplimiento de los requisitos de la reglamentación aplicable en lo referente a que:

- El factor de multiplicación neutrónica (k_{eff}), incluidos todos los sesgos e incertidumbres, no deberá superar 0,95 con una probabilidad del 95% y un nivel

de confianza del 95%, en ninguna condición normal, anormal o de accidente, incluida la inundación total del contenedor con agua no borada.

- En condiciones normales, anormales o de accidente, deberán producirse, al menos, dos sucesos independientes, improbables y concurrentes para que pueda producirse una condición de criticidad (principio de doble contingencia).
- Cuando sea posible, la seguridad frente a criticidad del diseño se establecerá sobre la base de una geometría favorable, materiales absorbentes de neutrones (venenos) fijados de modo permanente, o mediante una combinación de ambos métodos. Cuando se empleen materiales absorbentes sólidos, el diseño debe proporcionar medios adecuados para verificar que su eficacia se mantiene durante el transporte.
- La seguridad frente a criticidad no debe dar crédito a los venenos neutrónicos consumibles integrados en el combustible, ni a más del $\frac{1}{2}$ del absorbente neutrónico fijo realmente presente en los materiales del sistema (el porcentaje puede ser mayor de este $\frac{1}{2}$ si la presencia y la uniformidad de la distribución del material absorbente se demuestra mediante pruebas adecuadas).

Dado que en los cálculos se modela combustible fresco, no es necesario incluir requisitos relativos a la operación y condiciones de irradiación del mismo.

El caso base analizado por ENSA, como condición envolvente de los requisitos de transporte para este análisis, es el correspondiente a una red infinita de contenedores en condiciones de inundación total de la cavidad del contenedor con agua pura, con el huelgo pastilla-vaina también inundado.

Se han analizado condiciones de operación normal (cavidad en seco) y de accidente hipotético de transporte, cubiertas por el caso base, para un contenedor aislado y redes de contenedores en contacto como requiere la normativa, obteniéndose un Índice de Seguridad con respecto a la Criticidad de 0, lo que significa que, desde un punto de vista de seguridad frente a criticidad, podrían transportarse juntos cualquier número de contenedores.

Las comprobaciones realizadas en la evaluación han sido las siguientes:

- Modelos utilizados.

De acuerdo con las especificaciones de los diseños de combustible PWR AFA 2G, 3G y 3GAA, objeto de la aprobación, se ha comprobado que las características establecidas

para el combustible base de diseño reproducen conservadoramente estos combustibles (geometría, materiales), en su condición de combustible fresco, desde el punto de vista de seguridad frente a criticidad.

De acuerdo con las especificaciones del contenedor ENUN24P, se ha comprobado que el modelo empleado en los análisis reproduce conservadoramente el diseño del mismo (geometría, materiales) desde el punto de vista de seguridad frente a criticidad.

Por tanto, se considera que los modelos empleados son aceptables.

- Escenarios analizados

De acuerdo con la normativa deben analizarse los siguientes escenarios de transporte:

- Contenedor aislado (reflexión total) en condiciones de operación normal y accidente
- Red de contenedores en contacto en condiciones de operación normal y accidente. Como resultado de este escenario se concluye que desde el punto de vista de seguridad frente a criticidad podrían transportarse un número total N de infinitos contenedores. Por tanto el ISC (Índice de Seguridad de Criticidad, CSI en inglés) definido como $50/N$ tendría un valor de 0 para el contenedor ENUN24P en su modalidad de transporte.

Se ha comprobado que se han analizado estos escenarios en la documentación presentada, tomando como caso base envolvente una red infinita de contenedores inundados con agua pura y con el huelgo pastilla-vaina inundado, haciendo análisis de sensibilidades representativos del resto de escenarios.

Por tanto, se considera que los escenarios analizados cubren conservadoramente las condiciones requeridas por la normativa.

- Hipótesis aplicadas

Las siguientes hipótesis aplican de manera general al análisis de criticidad presentado por Ensa:

1. No se da crédito al quemado de combustible, modelándose combustible fresco con un enriquecimiento envolvente del 4,5%.
- 2.
3. Modelo de elementos combustibles con los valores nominales de diámetro de pastilla, espesor de vaina, pitch, etc.: está históricamente demostrado el bajo impacto de variar estos valores dentro de su rango de tolerancias al compensarse

el aumento/disminución de los mismos con la disminución/aumento de la cantidad de agua, manteniéndose la fracción H/U.

4. Contenido de boro en las chapas de MMC, material absorbente neutrónico de los tubos de los bastidores,
5. Configuración del combustible y del contenedor en condiciones nominales de diseño en todas las condiciones de transporte, normales y de accidente. De acuerdo con los resultados de ensayos, los diseños del contenedor y de los limitadores de impacto, el cuerpo del contenedor y el combustible están protegidos de cualquier daño debido a accidentes de caída y/o incendios.

Se considera este conjunto de hipótesis adecuadas para garantizar el conservadurismo del análisis que soporta la demostración de la subcriticidad del sistema ENUN24P en condiciones de transporte.

- Metodología aplicada

La metodología seguida por ENSA para la realización de los análisis de criticidad del ENUN24P analiza todas las condiciones requeridas por la normativa y utiliza un código, MCNP5, reconocido y convenientemente validado para las condiciones del análisis. Se trata de la misma metodología licenciada en anteriores autorizaciones de contenedores ENUN.

Por tanto, se concluye que la metodología aplicada es adecuada.

- Criterios de aceptación incluidos en el Estudio de Seguridad

ENSA ha calculado el USL, Límite Máximo de Seguridad, para la k_{eff} en las condiciones de los análisis, lo que incluye tanto la incertidumbre de cálculo del código MCNP5 como los incrementos de k_{eff} resultantes del análisis de sensibilidades.

Se ha verificado este cálculo con la fórmula presentada así como el cumplimiento de los resultados con este límite para la concentración de boro del material absorbente

Se ha comprobado el cumplimiento de los resultados de los análisis presentados con los límites de seguridad establecidos que de acuerdo con la normativa aplicable demuestran la subcriticidad de las configuraciones analizadas.

Se concluye, por tanto, que la evaluación de la criticidad incluida en la revisión 2 del ES del bulto de transporte ENUN 24P se considera aceptable sobre la base de la justificación de

que el comportamiento mecánico de la vaina garantiza la geometría del combustible asumida en todas las condiciones analizadas.

6.8.2 Estado del combustible con quemados medios superiores a 45 GWd/tU

La evaluación ha tenido por objeto evaluar la idoneidad de las propiedades mecánicas con las que se demuestra que las vainas de los elementos combustibles de diseños AFA 2G Y AFA 3G/3GAA permanecen intactas tanto en condiciones normales como en los accidentes postulados de transporte, para el combustible con quemados medios superiores a 45 GWd/tU que se pretende cargar en el contenedor ENUN-24P, de acuerdo con la revisión 2 del Estudio de Seguridad de transporte presentado.

De acuerdo con la solicitud presentada, el contenido para el que se requiere aprobación para su transporte en el contenedor ENUN-24P son elementos combustibles no dañados, de diseño PWR 17x17, de dos materiales de vaina:

1. Vaina de Zr-4: combustible de diseño AFA 2G, con quemado medio de elemento máximo de 47 GWd/tU
2. Vaina de M5: combustible de diseños AFA 3G y AFA 3GAA, con quemado medio de elemento máximo de 57 GWd/tU.

Todos los análisis de seguridad incluidos en el Estudio de Seguridad, se basan en que bajo cualquier condición de transporte se mantiene la geometría de los elementos combustibles irradiados, es decir, no se produce una reconfiguración del combustible durante el transporte. Los criterios de aceptación requeridos sobre la vaina del combustible se encuentran recogidos en el documento de la NRC, ISG-11 "Cladding Considerations for the Transportation and Storage of Spent Fuel" Rev.3. Nov. 2003 [19].

Para combustible de alto quemado (> 45 GWd/tU de quemado medio de elemento) la ISG-11 no proporciona unos criterios de aceptación específicos para limitar la reconfiguración de combustible durante el transporte, debido al desconocimiento existente en el momento de su publicación (2003) respecto de las propiedades mecánicas y de fractura de las vainas que presentan, como es el caso del combustible de alto quemado con un alto contenido de hidrógeno. Por ello la ISG-11 indica que la evaluación deberá hacerse caso por caso, teniendo en cuenta las condiciones reales de los materiales de vaina.

El escenario físico de interés es como sigue: Tras la carga del combustible en el contenedor se procede al secado del mismo. Durante esta fase se produce un calentamiento del combustible, por ser la transmisión de calor peor en gas que en agua

líquida. Este calentamiento puede dar lugar a que el hidrógeno presente en las vainas (proveniente de la absorción parcial del generado durante la corrosión que se produce durante la operación) se disuelva y durante el (lento) enfriamiento posterior (fase de almacenamiento) vuelva a precipitar pero en una configuración distinta, por ocurrir este enfriamiento con mayor tensión circunferencial, de modo que el modo preferente sea una precipitación en dirección radial en la vaina. En principio, las propiedades mecánicas de las vainas irradiadas con hidruros radiales son peores.

En el caso que nos ocupa, con transporte directo (dentro de los 6 meses posteriores a la descarga del combustible de la piscina de combustible gastado), ENSA trata de demostrar que las vainas mantienen suficiente ductilidad para poder utilizar en la evaluación estructural las propiedades mecánicas (límite elástico, tensión de rotura y módulo de Young) de las vainas irradiadas, sin necesitar propiedades correspondientes a la presencia de hidruros radiales.

El comportamiento de la vaina de elementos combustibles de alto quemado depende de ciertos parámetros sensibles (quemado, contenido de hidrógeno, presión interna y tensión circunferencial, temperatura umbral –CST- y temperatura de transición dúctil frágil –DBTT-), que han sido analizados en el informe de evaluación CSN/IEV/INNU/TRA/1706/98.

La evaluación llevada a cabo ha consistido en comprobar la validez de las hipótesis citadas anteriormente para cada uno de los dos materiales de vaina propuestos: vaina de Zr-4 con quemado medio máximo de elemento de 47 GWd/tU y vaina de M5 con quemado medio máximo de elemento de 57 GWd/tU.

De la evaluación de los parámetros utilizados para caracterizar los materiales de vaina propuestos, cabe destacar:

Quemado

En general, los experimentos que producen datos utilizables para estudiar el comportamiento mecánico se realizan con muestras de barras combustibles de las que se conoce su quemado. Por ello es necesario referir el quemado de barra al de elemento.

Conocido el quemado medio del elemento, la experiencia del CSN es que hay una dispersión de quemados de barra que se estima entre el $\pm 10\%$.

. Sin embargo, los datos experimentales que se usarán cubren de forma suficiente el valor indicado por ENSA, por lo que se consideran aceptables los valores de quemado de barra aportados por ENSA.

Contenido de hidrógeno

El contenido de hidrógeno en la vaina del combustible gastado es función del material de vaina, del quemado y del tipo de operación (temperaturas de operación durante los ciclos en que ha sido utilizado). Normalmente el contenido de hidrógeno se suele calcular a partir del espesor de corrosión que tiene la vaina al final de su irradiación, a través de un parámetro denominado “pickup fraction”. En general, la corrosión es función del material y del tipo de operación, mientras que la “pickup fraction” es función del material.

Debido a que los análisis se han llevado a cabo basándose en este valor de contenido de hidrógeno, la evaluación llevada a cabo concluye que se debe imponer una condición sobre el combustible a transportar en el bulto de manera que se establezca un límite de corrosión UB de elementos con vaina de Zr-4, de forma que no se sobrepasen los espesores UB reportados, es decir: el valor *Upper Bound*, con una incertidumbre del 95%, de la corrosión de las barras de los elementos combustible de diseño AFA 2G no podrá ser mayor de 80 μm .

Se considera que ambos valores son coherentes con las referencias internacionales standard para el quemado de barra máximo de 62 GWd/tU. Por tanto, no se considera necesario imponer una condición, distinta a la del quemado máximo fijado en el Estudio de Seguridad de Transporte para el combustible AFA 3G y AFA 3GAA.

Presión interna y tensión circunferencial

El dato de tensión circunferencial máxima que soporta la vaina durante el secado está relacionado con la reorientación de hidruros, ya que si la precipitación de los mismos durante el enfriamiento propio de la fase de almacenamiento se hace a tensiones circunferenciales elevadas, es más fácil que esta precipitación se produzca en dirección radial.

La tensión circunferencial es función de la diferencia entre la presión interna de la barra y la del contenedor, y del espesor de vaina "sano", es decir sin la capa de corrosión. En este sentido no se considera vaina sana cuando presente descamamiento del óxido ("spalling"), por lo que se concluye que debe establecerse esta condición en la apreciación favorable, es decir: *El combustible con "spalling" no podrá ser transportado en el contenedor ENUN-24P.*

Se considera que el valor de ENSA es coherente con la experiencia actual, por lo que se considera aceptable.

Tras el análisis realizado, se considera adecuado el método de cálculo, así como los valores de tensión circunferencial máxima resultantes.

Temperatura umbral (CST) y temperatura de transición dúctil frágil (DBTT)

Se consideran correctos los argumentos presentados por ENSA para el cálculo de la CST, tanto para los materiales de vaina de Zr, como de M5. Así, el valor de 1000°C de temperatura umbral (CST), calculado para evitar la reorientación de hidruros en dirección radial de las vainas combustible para ambos materiales, se considera aceptable.

El otro parámetro necesario en la metodología que ENSA ha usado para demostrar que se pueden usar las propiedades de vaina de combustible de alto quemado sin reorientación, consiste en la definición de una temperatura por debajo de la cual sí aparece una disminución significativa de la ductilidad (DBTT).

Los datos experimentales utilizados para la determinación de la DBTT proceden de una serie de experimentos de compresión en anillo (sin pastilla combustible en su interior) realizados con muestras de distintos materiales de vaina, procedentes de barras combustibles irradiadas, con distintos contenidos de hidrógeno. Se considera que estos experimentos son aplicables al caso del combustible de alto quemado a cargar en el ENUN-24P, sin embargo, estos datos experimentales son escasos y sobre una muestra que proviene de un número reducido de elementos combustibles.

En el análisis presentado, ENSA concluye que, para los elementos AFA 2G con vaina de Zr-4, la DBTT a considerar en los análisis térmicos es de 1000°C , y, a la vista de la evaluación realizada, se concluye que dicha determinación es aceptable.

Por otra parte, para los elementos AFA 3G/3GAA con vaina de M5, la DBTT considerada en los análisis térmicos es de 1000°C , y, tras la evaluación llevada a cabo se concluye que también es aceptable.

No obstante, teniendo en cuenta los datos disponibles, se considera que existe un problema previo de representatividad de los datos obtenidos experimentalmente, dado que los datos disponibles se han obtenido de unos pocos elementos combustibles provenientes de uno o dos reactores para cada material. Además, en otras ocasiones se ha comprobado que la influencia del reactor de origen de los especímenes es

considerable, debido a distintos factores entre los que hay que indicar distintas estrategias de operación, distintos fabricantes o lotes de fabricación, distintas técnicas de fabricación de las probetas, etc. Estos aspectos introducen una incertidumbre adicional que no puede ser tratada estadísticamente.

Por tales motivos, se consideró que el Estudio de Seguridad presentado (Rev.1) se debería completar con unos análisis de defensa en profundidad que demostraran la seguridad del transporte sin considerar la hipótesis de integridad de vaina y que tuvieran en cuenta, de alguna manera, la posible reconfiguración del combustible nuclear en las condiciones de accidente en transporte. El hecho de solicitar los estudios como defensa en profundidad (no como base de diseño) permite una mayor flexibilidad, tanto en las hipótesis como en los criterios de aceptación, que han de ser considerados, lo que se considera aceptable.

Tras la evaluación de los análisis de reconfiguración presentados (ver apartado 6.11 del presente informe), el CSN concluye que las propiedades mecánicas (límite elástico, tensión de rotura y módulo de Young) recogidas en el apartado 2.8.2.2 del Estudio de Seguridad se consideran adecuadas, dada la garantía adicional de estos análisis de reconfiguración.

En resumen, la evaluación de las propiedades mecánicas de las vainas de elementos combustibles con un quemado medio de barra superior a 45 GWd/tU alcanza las siguientes conclusiones:

- 1) Se considera aceptable el valor de temperatura umbral (CST) de 250°C , definido para ambos materiales de vaina de la barra de combustible, a fin de evitar la reorientación de hidruros en dirección radial de las vainas.
- 2) Los valores de temperaturas de transición dúctil-frágil (DBTT) calculados para cada material de vaina (150°C para Zr-4 y 100°C para M5), por encima de las cuales no hay pérdida significativa de propiedades mecánicas, se consideran aceptables en función de los datos disponibles.
- 3) Para las barras de combustible cuyas temperaturas durante el secado no se eleven por encima de la CST, o que si lo hacen, durante los 6 meses a los que se limita el posible transporte, no bajen de las correspondientes DBTT, podrán asumirse propiedades mecánicas correspondientes a alto quemado sin reorientación.
- 4) Debido a la posible falta de representatividad de los pocos datos experimentales disponibles para la determinación de las DBTT, se ha requerido a ENSA la realización de un análisis de defensa en profundidad que demuestre la seguridad del bulto ENUN-24P con fallos de vaina y, por tanto, considerando reconfiguración de combustible. Estos estudios han sido presentados, y su análisis será tratado en el apartado 6. 11 de esta PDT.

- 5) Las propiedades mecánicas (límite elástico, tensión de rotura y módulo de Young) recogidas en el apartado 2.8.2.2 del Estudio de Seguridad se consideran adecuadas, dada la garantía adicional de los análisis de reconfiguración presentados.

No obstante, para que las conclusiones anteriores sean válidas se propone que se establezcan las siguientes condiciones para la aprobación del diseño del contenedor:

- a. El valor upper bound, con una incertidumbre del 95%, de la capa de corrosión de las vainas de las barras de los elementos combustible de diseño AFA 2G no podrá ser mayor de 80 μm . Esto se refleja en la condición 4 f) de la propuesta de apreciación favorable.
- b. El combustible con desprendimientos de la capa de óxido o "spalling" no podrá ser transportado en el contenedor ENUN-24P. Esto se refleja en la condición 4 e) de la propuesta de apreciación favorable.

En la conclusión b) del proceso de evaluación se indica que el combustible con quemados medios superiores a 45 MWd/tU con desprendimientos de óxido o "spalling" no podrá ser transportado en el contenedor. A todos los efectos, el combustible con "spalling" no puede ser definido *a priori* como combustible "no dañado", y por lo tanto no podría transportarse en este bulto, ya que está diseñado para cargar únicamente elementos combustibles no dañados. Ello significa que, para poder ser transportado en el contenedor ENUN-24P, cualquier tipo de combustible con defectologías similares a ésta, de cualquier quemado, deberá tener una justificación de que el combustible sigue cumpliendo con los requisitos de los análisis de seguridad que permita que sea clasificado como no dañado. Esto se refleja también en la condición 4 e) de la propuesta de apreciación favorable.

6.9 EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE GARANTIA DE CALIDAD DENTRO DEL SISTEMA DE GESTIÓN

Los aspectos de garantía de calidad han sido analizados mediante el informe de evaluación CSN/IEV/GACA/TRA/1609/93 "*Evaluación de los aspectos competencia del área de Garantía de calidad de la solicitud de aprobación del certificado de bulto de transporte modelo ENUN 24P*".

La solicitud original de ENSA establecía como normativa a seguir, las ediciones del 2013 de los reglamentos modales (ADR y RID), así como la edición de 2009 del Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo de la OIEA, de referencia TS-R-1.

La evaluación llevada a cabo por el área de Garantía de Calidad tuvo en cuenta estas ediciones. Sin embargo, la revisión 2 del Estudio de Seguridad del contenedor ENUN-24P

ya tiene en cuenta las ediciones de 2015 de los reglamentos modales, así como la edición de 2012 del Reglamento de la OIEA, cuya referencia es SSR-6.

Los aspectos de garantía de calidad no difieren entre las ediciones de la reglamentación inicialmente propuesta por ENSA y considerada por el área GACA y la vigente, por lo que se concluye que los resultados de la evaluación llevada a cabo siguen siendo válidos.

En relación con la normativa de transporte vigente, basada en la edición 2012 del Reglamento de transporte de material radiactivo del OIEA (SSR-6) [6], se requiere que se establezca y aplique un Sistema de Gestión de todas las actividades relacionadas con el transporte tales como el diseño del bulto, la fabricación, el mantenimiento y la reparación del embalaje, y la preparación, expedición, carga, acarreo (incluido el almacenamiento en tránsito), descarga y recepción en el destino final del material radiactivo.

Por otra parte, la guía de seguridad del OIEA TS-G-1.4, "The Management System for the Safe Transport of Radioactive Material" [16], se apoya en la norma del OIEA sobre sistemas de gestión de instalaciones y actividades que define los requisitos para establecer, implementar, evaluar y mejorar un sistema de gestión que integre aspectos tales como la seguridad radiológica, la salud en el trabajo y en el medio ambiente, la protección física, la calidad y los aspectos económicos asociados para asegurar que los aspectos de seguridad se toman en cuenta en todas estas actividades. Esta guía TS-G-1.4 señala, asimismo, que el término "sistema de gestión" refleja e incluye el concepto inicial de "control de calidad" y su evolución a través de la garantía de calidad y la "gestión de la calidad".

Así pues, los aspectos de garantía de calidad se cumplirán a través de la aplicación de los oportunos programas de garantía de calidad para las diferentes actividades relacionadas con el transporte de material radiactivo: el diseño del bulto, la fabricación, el mantenimiento y la reparación del embalaje y la preparación, expedición, carga, acarreo (incluido el almacenamiento en tránsito), descarga y recepción en el destino final del material radiactivo.

La solicitud de aprobación del diseño de un bulto de transporte incluye documentación que solo abarca las fases de diseño y condiciones para la fabricación del embalaje, no incluyendo aspectos de la fase de transporte del bulto. Por lo tanto, en este apartado se evaluará tan solo el plan de calidad asociado al diseño del bulto y fabricación de los embalajes.

ENSA dispone de un Plan de Garantía de Calidad (PGC) para el diseño, licenciamiento, fabricación y ensayos de un contenedor para almacenamiento y transporte de combustible gastado de referencia 9231QP001 [17]. Asimismo, en el apéndice 1.3.1 "Garantía de Calidad" del ES del bulto se recogen las líneas generales de garantía de calidad aplicables al diseño y fabricación del contenedor ENUN 24P.

Este plan de calidad es aplicable a los distintos modelos de bulto ENUN (ENUN 52B, ENUN 32P y ENUN 24P), habiendo sido evaluado en sus distintas revisiones durante el proceso de licenciamiento de los contenedores ENUN 32P y ENUN 24P.

La revisión 9 del Plan de Calidad (9231QP001) tuvo por objeto fundamental incluir el modelo ENUN 24P en el alcance del mismo, así como incluir modificaciones menores. La evaluación realizada ha analizado los cambios existentes en la revisión 9 de dicho plan de calidad respecto con la revisión 8, ya aprobada, considerándolos aceptables.

Tras la evaluación realizada, se consideran aceptables los requisitos de garantía de calidad establecidos por ENSA para las actividades relacionadas con el diseño, análisis de la cualificación, aprovisionamiento de materiales, fabricación, montaje y ensayos en fábrica, mantenimiento, reparación y modificaciones de estructuras, sistemas y componentes del contenedor ENUN 24P clasificadas como importantes para la seguridad. Asimismo, la evaluación concluye que las operaciones de transporte no se encuentran incluidas en el PGC por lo que se deberá condicionar la aprobación del diseño del bulto a que exista un plan de calidad que cubra también los aspectos de transporte cuando se vaya a utilizar. Esta conclusión da lugar a la condición 6 de la de la propuesta de apreciación favorable.

6.10 INSTRUCCIONES DE USO Y MANTENIMIENTO

6.10.1 Instrucciones de uso

Las operaciones generales de uso del sistema ENUN 24P se encuentran detalladas en el capítulo 7 del ES del bulto. De acuerdo con el NUREG-1617, este capítulo debe contener un esquema enfocado en aquellos pasos que son importantes para asegurar que el bulto será preparado para el transporte y operado en una manera consistente con el diseño del bulto, así como los datos mínimos necesarios para la elaboración de los procedimientos detallados a implantar en la instalación donde se realice la carga del contenedor.

Además del análisis recogido en esta misma PDT, la evaluación llevada a cabo sobre los aspectos relacionados con los análisis estructurales, térmicos y de la contención se encuentra recogida en el informe de referencia CSN/IEV/IMES/TRA/1707/104.

En esta evaluación se ha puesto especial atención en los aspectos diferenciales del contenedor ENUN 24P respecto a diseños de contenedores de ENSA similares ya autorizados por el CSN (ENUN 32P y ENUN 52B). En relación con las operaciones de cierre, drenaje, secado y pruebas de fugas del contenedor, se contemplan las operaciones para la preparación del contenedor para transporte inmediato (tiempo inferior a seis meses entre la carga del contenedor y su transporte), que se requiere a todo el combustible (ver apartado 6.5.12 de esta PDT y condición 4b) de la apreciación favorable).

Una vez analizada dicha información se concluye que en la descripción de las operaciones a realizar se han tenido en cuenta los requisitos establecidos en la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas (párrafos 501 y 502 del Reglamento del OIEA (SSR-6), tanto los relativos a la primera expedición como los requisitos previos a cada expedición.

Asimismo, los distintos pasos han sido descritos en orden secuencial, incluyendo inspecciones, ensayos y comprobaciones previas a cada operación tal como se detalla en la Guía de Seguridad 6.4 del CSN "Documentación para solicitar autorizaciones en el transporte de material radiactivo: aprobaciones de bultos y autorización de expediciones de transporte".

En el apartado 7.1 *Procedimientos de recepción, carga del contenedor y preparación para el transporte* se describen secuencialmente las operaciones necesarias para la realización de las mencionadas operaciones, indicando que se da por hecho que se ha cumplido con las pruebas de aceptación y con el programa de inspección final de fabricación. En esta sección se contempla tanto la posibilidad de que el contenedor se transporte directamente tras la carga de combustible o después de un tiempo prolongado de almacenamiento.

En la sección 7.1.4.6 se indican, respectivamente, las operaciones de "preparación para el transporte". Se supone la convalidación de las pruebas de estanqueidad realizadas tras la carga de combustible del contenedor para cumplimentar el requisito de probar la estanqueidad inmediatamente antes del transporte.

En relación con los aspectos estructurales, térmicos y de contención analizados para la aprobación del contenedor ENUN 24P, se ha verificado que los procedimientos descritos incluyen las acciones necesarias para garantizar que:

- El par de apriete de los pernos de los muñones superiores de elevación es el correcto antes de cualquier operación de elevación del contenedor y está de acuerdo con los análisis de diseño del Capítulo 2 del ES.
- Se protegen las superficies de asiento de las juntas de estanqueidad durante las operaciones.
- Se inspeccionan todos los pernos, arandelas y tapones del contenedor y se indica que se sustituyen los dañados.
- Están disponibles los accesorios necesarios para el manejo del contenedor.
- Se comprueba que el combustible que se va a cargar corresponde al combustible autorizado, de acuerdo con lo establecido en el EST 24P. Así mismo se especifica: la limitación de potencia térmica mínima total cargada en el contenedor, la limitación de potencia térmica mínima de elemento combustible cargado en el contenedor; y la colocación de los elementos combustibles en el contenedor atendiendo a su potencia térmica requeridos (ver apartado 6.5.12 de esta PDT).

- Todas las tapas se cierran con los pares de apriete especificados en el Capítulo 2 del ES. También se especifican las secuencias de apriete de los pernos de las tapas de las penetraciones de venteo y drenaje y de la tapa de la penetración control de presión. Para las tapas interior y exterior la secuencia de apriete no se incluye específicamente en el Capítulo 7, remitiendo a los procedimientos detallados de operación que se desarrollarán antes de poner en servicio el primer contenedor ENUN 24P.
- La operación de drenaje de la cavidad del contenedor se realiza en un tiempo adecuado para impedir la ebullición del agua dentro de la misma, de acuerdo con lo analizado en el Capítulo 3 del ES.
- La operación de secado se realiza en un tiempo que impide que la temperatura de la vaina supere los 400°C o 370°C según el tipo de combustible de acuerdo con lo analizado en el Capítulo 3 del ES. .
- Todos los sellos del sistema de contención del contenedor se prueban para verificar el cierre correcto del contenedor de acuerdo con los requisitos de la norma ANSI N14.5, especificando los criterios de aceptación, el tipo de prueba y la sensibilidad mínima de la prueba de acuerdo con lo establecido en los análisis realizados en el Capítulo 4 del ES, tanto para contenedores cargados con elementos de combustible de quemados medios por elemento hasta 45 GWd/tU como para contenedores cargados con uno o más elementos de combustible de quemados medios por elemento superiores a 45 Gwd/tU. En las tablas 7.1.4 y 7.1.5 del ES se resumen los datos de las pruebas de fugas.
- Además, se han especificado dos métodos diferentes de prueba para los anillos de sellado de las tapas de las penetraciones de venteo y drenaje en función de si el combustible cargado es de alto quemado o de medio y bajo quemado, de acuerdo con los límites y sensibilidades requeridos según el Capítulo 4 del ES. Se verifica el comportamiento térmico del contenedor, una vez cargado, especificando la realización del ensayo de comportamiento térmico de acuerdo con lo especificado en los capítulos 8 y 3 del ES.
- Las maniobras para posicionar el contenedor sobre la cuna de transporte se realizan de forma adecuada.
- Los limitadores de impacto se montan con los pares de apriete de acuerdo con los análisis de diseño del Capítulo 2 del ES y se incluye la secuencia recomendada para el apriete de los pernos.
- El bulto se etiqueta de acuerdo a los requisitos de la normativa aplicable.
- Se instala la barrera de personal sobre la cuna del contenedor y se verifica que todas las superficies accesibles tienen temperaturas inferiores a 85°C.

Además, se incluyen acciones de contingencia en caso de que:

- No se consiga el secado en el tiempo estipulado. Esta acción está analizada en el Capítulo 3 del EST 24P (ref.1), y según dichos análisis, el tiempo disponible para el

secado tras realizar esta acción está limitado tal cómo se indica en las Tablas 7.1.2 y 7.1.3.

- Las pruebas de las juntas de sellado de la barrera de contención resulten no aceptables.

En cuanto a los procedimientos de descarga del contenedor (punto 7.2 del ES), describen las operaciones de manejo y apertura del contenedor, indicando los útiles de manejo necesarios y las secuencias recomendadas para aflojar los pernos, inversas a las especificadas para su apriete. Las operaciones para la descarga de los elementos combustible son las inversas a las descritas para la carga, incluyendo controles para evitar sobrepresiones en la cavidad interior. Así mismo se incluyen las operaciones para el secado de la cavidad interior del contenedor, una vez que se han descargado los elementos combustible, de forma que se eliminen restos de agua de su interior que pudieran conducir a un deterioro de la misma.

Tras la evaluación realizada se considera que el Capítulo 7 del ES (ref.1) contiene la información necesaria para asegurar que el contenedor ENUN 24P será preparado para el transporte y operado en una manera consistente con el diseño del bulto y con las condiciones asumidas en su evaluación para la aprobación

Se considera que las instrucciones de uso que se describen en el ES resultan una base adecuada sobre la que deberán desarrollarse procedimientos detallados que tendrán en cuenta las características y equipamiento de la instalación en la que van a ser ejecutados, así como sus procedimientos operacionales e instrucciones de control de calidad.

6.10.2 Instrucciones de mantenimiento y criterios de aceptación.

Los criterios de aceptación y el programa de mantenimiento del bulto ENUN 24P se encuentran detallados en el capítulo 8 del ES. De acuerdo con el NUREG-1617, este capítulo debe contener la información sobre los ensayos y pruebas que se deben hacer a los materiales y componentes del contenedor, así como sobre los criterios de aceptación de esos ensayos y pruebas, para demostrar que el comportamiento de los diferentes componentes del contenedor está de acuerdo con el diseño aprobado.

Criterios de aceptación. Pruebas

Este capítulo describe los exámenes, inspecciones y ensayos a realizar sobre el contenedor antes del primer transporte, para garantizar que, una vez fabricado, cumple con los planos de licencia aplicables y con los demás requisitos del ES.

La evaluación llevada a cabo se encuentra recogida en el informe de referencia CSN/IEV/IMES/TRA/1707/104. El alcance de esta evaluación se limita a verificar el

cumplimiento de los siguientes aspectos relacionados con el comportamiento estructural, de transferencia de calor y de contención.

De la evaluación llevada a cabo se desprende que se consideran adecuados los ensayos y pruebas estipuladas en el capítulo 8 para los materiales y componentes del contenedor ENUN 24P para garantizar que la fabricación del contenedor se realiza de acuerdo con los parámetros utilizados en los análisis de diseño para su aprobación.

Programa de mantenimiento

Una vez que el contenedor entra en servicio, se debe contar con un programa de mantenimiento de forma que se garantice que el contenedor sigue cumpliendo con los requisitos aplicables a lo largo de toda la vida útil. Para ello el capítulo 8 del ES proporciona una serie de requisitos que deben tenerse en cuenta a la hora de desarrollar dichos programas de mantenimiento. Se destaca:

- La realización de pruebas estructurales periódicas sobre los muñones de izado, con los requisitos que se especifican en la norma ANSI N14.6.
- La realización de pruebas de estanqueidad periódicas sobre los componentes del sistema de contención, con los requisitos indicados en la norma ANSI N14.5.
- La sustitución de los pernos empleados en las tapas interior y exterior, tapas de las penetraciones de venteo, drenaje, control de presión y limitadores de impacto, una vez alcanzados el número de ciclos admisibles frente a fallo por fatiga. El número de ciclos admisibles para los pernos se determina en la evaluación estructural del capítulo 2 del ES (Ver apartado 6.6. de esta PDT).
- Un programa de mantenimiento de la pintura exterior del contenedor, de forma que permita garantizar las propiedades de disipación térmica supuestas en la evaluación térmica del capítulo 3 del ES

Se considera que los requisitos generales para el desarrollo del programa de mantenimiento están de acuerdo con los requisitos especificados en el apartado 8.3 del NUREG-1617[21], por lo que se consideran aceptables.

Como conclusión final de la evaluación de este apartado, se considera que los criterios de aceptación y el programa de mantenimiento se han establecido empleando códigos y normas aceptados por el NUREG-1617, lo que proporciona una garantía razonable del comportamiento del contenedor según diseño.

Se considera que los criterios de aceptación y el programa de mantenimiento que se describen en el ES resultan una base adecuada sobre la que deberán desarrollarse procedimientos detallados que tendrán en cuenta las características y equipamiento de la

instalación en la que van a ser ejecutados, así como sus procedimientos operacionales e instrucciones de control de calidad.

6.11. ANALISIS DE DEFENSA EN PROFUNDIDAD.

Este análisis de defensa en profundidad se ha realizado a raíz del requisito de la norma ISG-11, rev. 3, de realizar evaluaciones específicas para contenedores de transporte de combustible gastado con grados de quemado promedio por elemento superiores a 45GWd/tU, teniendo en cuenta las condiciones reales del combustible a transportar.

Las condiciones del combustible con grados de quemado promedio por elemento inferiores o iguales a 45 GWd/tU están ampliamente respaldadas por una base experimental que permiten asegurar que los valores utilizados en los análisis de seguridad son aceptables.

Para elementos con quemado promedio por elemento superiores, debido a la posible falta de representatividad de los pocos datos experimentales disponibles para la determinación de las DBTT del material de vaina, el CSN requirió a ENSA la realización de estudios de Defensa en Profundidad en los que se demuestre la existencia de márgenes de seguridad en el diseño del bulto ENUN 24P; para ello se solicitó que se postularan fallos de vaina y, por tanto, que se considerara la situación denominada “reconfiguración de combustible”.

ENSA llevó a cabo este análisis, que se describe en el documento 1AG9RDT99, en revisión 0 “*Defensa en profundidad del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24 - Análisis de reconfiguración de combustible*” [18], en donde se documenta una evaluación de todas las funciones de seguridad del contenedor ENUN 24P en un hipotético escenario de reconfiguración de todo el combustible dentro de su cavidad interior. Se trata de un postulado de cambio de geometría del material radiactivo, desde el punto de vista de las cinco funciones de seguridad del contenedor: estructural, térmica, contención, criticidad y blindaje.

A efectos de análisis, no se ha considerado un único caso de reconfiguración, sino que para cada función de seguridad analizada, se generan uno o varios escenarios en los que se producirían las condiciones más desfavorables para el cumplimiento de la función de seguridad en cuestión.

6.11.1 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis estructural

El análisis de reconfiguración parte de una situación en la que las vainas de combustible han perdido su integridad estructural. No se prevé una situación más desfavorable desde el punto de vista estructural que las estudiadas dentro de las bases de diseño, por lo que

no se plantea un análisis estructural específico para el escenario de reconfiguración. Se considera aceptable que no se haya hecho un análisis estructural para la reconfiguración del combustible, puesto que no se postula que dicha reconfiguración afecte a los análisis estructurales evaluados en el apartado 6.6 del presente informe.

6.11.2 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de blindaje

El análisis térmico detallado del escenario de reconfiguración de combustible se ha evaluado mediante el informe CSN/IEV/APRT/TRA/1706/99.

ENSA ha analizado dos escenarios:

- En condiciones de transporte rutinarias o normales, en el que se supone que un 3% del combustible se reubica en la posición más limitante bajo el punto de vista de dosis, esto es, en el fondo del contenedor.
- En condiciones accidentales, en las que el 100% del combustible se deposita en el fondo del contenedor o en un lateral de los tubos del MMC del bastidor.

La fuente considerada es la más limitante en cuanto a tasas de dosis y corresponde con combustible AFA 3G/3GAA, con un quemado medio por elemento de 57 GWd/tU, y un tiempo de enfriamiento de 4,3 años.

Los criterios de aceptación son los mismos que los exigidos por los reglamentos modales (ADR, RID y código IMDG) que son equivalentes a los exigidos por el Reglamento del OIEA (SSR-6).

Se han hecho cálculos independientes utilizando el programa MAVRIC, en el sistema SCALE 6.2.1 que utiliza el programa de Monte Carlo MONACO e implementa FW-CSDIS como técnica de reducción de varianza, siendo los factores de conversión de flujo a tasa de dosis los correspondientes a la ICRP Publication 60 [21].

Se han analizado los escenarios y los resultados obtenidos, llegándose a las siguientes conclusiones:

- Se considera que los escenarios son adecuados para el estudio del impacto radiológico en caso de una hipotética reconfiguración, así como la metodología seguida por ENSA.
- Las tasas de dosis calculadas son inferiores a las reportadas por el titular, lo que puede deberse a las diferencias en los factores de conversión de flujo a dosis utilizados por el titular (ANSI/ANS 6.1, 1977), que son más conservadores que los utilizados en los cálculos independientes.

Se concluye, por tanto, que a pesar de que los elementos combustibles sufran una reconfiguración que desplace el 100% de los elementos combustibles al fondo o a un lateral de los tubos de MMC, se siguen cumpliendo los criterios de tasa de dosis establecidos en la normativa aplicable de transporte.

6.11.3 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis térmico

Se han revisado los escenarios, cálculos y metodología seguida por ENSA para analizar el impacto de la reconfiguración en el análisis térmico en el informe de evaluación de referencia CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98.

Los análisis térmicos tienen por objeto verificar la integridad de aquellos componentes del contenedor que pudieran comprometer alguna de las cinco funciones de seguridad.

En este sentido, ENSA identificó como componentes limitantes

Con los resultados obtenidos, ENSA concluye que la temperatura máxima alcanzada en las juntas metálicas de la tapa interior y las tapas de las penetraciones de venteo y drenaje, permanecen en todos los casos por debajo de las temperaturas admisibles definidas para dichas juntas, por lo que el contenedor mantiene su capacidad de contención en el escenario considerado. Así mismo, la temperatura máxima de los tubos de MMC permanece por debajo de su temperatura de fusión, dando crédito a la presencia del absorbente neutrónico durante el escenario de relocalización.

6.11.4 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de criticidad

Como los análisis presentados forman parte del estudio de defensa en profundidad, no es requerido que se cumplan los mismos criterios y límites que sí se aplican en los análisis base de diseño, debiendo evaluarse de manera específica los escenarios, análisis y resultados presentados por el titular.

La evaluación se encuentra reflejada en el informe CSN/IEV/INNU/TRA/1707/101, y se centró en la comprobación de que los escenarios de reconfiguración seleccionados son los adecuados y en la comprobación de que los cálculos de criticidad se han hecho de forma adecuada y los resultados demuestran subcriticidad.

En este sentido se han aplicado los siguientes criterios:

- Para la selección de escenarios de reconfiguración aplicables al contenedor ENUN-24P, ENSA utilizó el NUREG/CR-7203, lo que se consideraba adecuado. ENSA ha llevado a cabo un cribado de los escenarios incluidos en el NUREG y ha seleccionado tres:

La selección de escenarios se considera aceptable.

- En relación con los análisis de criticidad de los escenarios de reconfiguración, se considera aceptable que se verifique de modo técnicamente razonable, siguiendo una metodología validada, la subcriticidad de los casos identificados, sin necesidad de aplicar estrictamente los criterios de la base de diseño.

En cuanto a la metodología:

En cuanto a los resultados, con los sesgos e incertidumbres aplicables, indican que el escenario más limitante permanece subcrítico.

Como conclusión, la evaluación de los análisis de criticidad de los escenarios de reconfiguración de combustible presentados por ENSA concluye que se considera aceptable el análisis presentado por ENSA para demostrar la subcriticidad de los escenarios de reconfiguración seleccionados.

El Informe de evaluación se ha realizado sobre la propuesta de revisión 2 del Estudio de Seguridad del bulto presentada por ENSA en junio de 2017 y de la documentación soporte. En la revisión 2 final, presentada por ENSA el 26/07/2017, no han existido cambios sobre el alcance de la evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de criticidad, por lo que se mantienen las conclusiones de dicho informe

6.11.5 Evaluación del impacto de la reconfiguración en el análisis de la contención.

El estudio de los distintos escenarios de reconfiguración es un análisis que se plantea únicamente en el caso de transportar combustible con un quemado medio superior a 45 GWd/tU.

El criterio de aceptación adoptado para las pruebas de fugas de los distintos componentes que conforman la barrera contención del contenedor ENUN 24P, cuando está cargado con al menos un elemento combustible de alto grado de quemado, es el de estanqueidad (en Inglés 'leaktight'). Se usa como referencia para establecer las condiciones de este criterio el indicado en la guía ANSI N14.5, el cual establece una tasa de fugas máxima admisible de 1.0×10^{-7} std.cm³/s. La aplicación del criterio de estanqueidad o "leaktight" asegura un grado de contención tal que, en el sentido práctico, permite excluir cualquier liberación radiológica significativa del bulto. Se considera aceptable que no se haya hecho un análisis específico tras la reconfiguración del combustible.

6.11.6 Conclusiones del análisis de reconfiguración.

En conclusión, se considera que los escenarios seleccionados, la metodología empleada y los resultados obtenidos, son aceptables para asegurar que incluso ante la rotura del 100% de los elementos combustibles, el contenedor será capaz de cumplir con sus funciones de seguridad.

7. CONCLUSIONES

Considerando las conclusiones de las áreas técnicas del CSN en las evaluaciones llevadas a cabo se estima que, desde el punto de vista de la seguridad y protección radiológica, puede apreciarse favorablemente el nuevo diseño del modelo de bulto ENUN 24P para su uso en el transporte de material radiactivo, de conformidad con los límites y condiciones establecidos en el Anexo 1.

8. PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS

Para la realización del presente informe se han seguido el procedimiento PT.IV 28 "Procedimiento de evaluación para la aprobación y convalidación de bultos de transporte", dentro del Manual de procedimientos técnicos.

9. RELACIÓN DE INFORMES

CSN/IEV/GACA/TRA/1609/93	“Evaluación desde el punto de vista de garantía de calidad de la solicitud de apreciación favorable del diseño del contenedor para transporte de combustible gastado ENUN-24P”
CSN/IEV/APRT/TRA/1701/97	“Evaluación de las tasas de dosis en el bulto de transporte ENUN 24P para combustible gastado”
CSN/IEV/IMES/TRA/1707/104	“Informe de evaluación de la solicitud de aprobación del diseño del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24P de ENSA: Procedimientos de operación y Criterios de aceptación y programa de mantenimiento”
<u>CSN/IEV/IMES/TRA/1707/103</u>	“Informe de evaluación de la solicitud de apreciación favorable del diseño del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24P de ENSA: aspectos mecánico-estructurales.”
CSN/IEV/INNU/TRA/1707/100	Evaluación de los análisis de criticidad que soportan la solicitud de apreciación favorable del diseño del contenedor ENUN 24P para el transporte de combustible gastado.
CSN/IEV/INNU/TRA/1707/98	Evaluación de las propiedades mecánicas de las vainas de combustible de alto quemado necesarias para la realización de los cálculos de evaluación estructural de integridad de vaina combustible para el contenedor de transporte ENUN-24P de ENSA
CSN/IEV/INNU/TRA/1707/102	Solicitud de Aprobación del Diseño del Contenedor ENUN 24P para transporte de combustible gastado. Evaluación del término fuente
CSN/IEV/IMES/TRA/1705/98	Informe de Evaluación de la solicitud de apreciación favorable del diseño del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24P de ENSA: Aspectos térmicos y de contención.
CSN/IEV/INNU/TRA/1707/101	ENUN 24P. Evaluación de la propuesta de Ensa de análisis de criticidad en escenarios con reconfiguración del combustible. Cribado de casos y resultados

CSN/IEV/APRT/TRA/1706/99	Evaluación del impacto en el blindaje en situaciones de reconfiguración de combustible de alto quemado en el bulto de transporte ENUN 24P
CSN/NET/APRT/TRA/1707/56	Análisis de las tasas de dosis en el bulto de transporte de combustible gastado ENUN 24P debido a la nueva revisión de los cálculos de blindaje efectuada por el titular

10. REFERENCIAS

- [1] ENSA; Solicitud de apreciación favorable de diseño del contenedor para transporte de combustible Gastado ENUN 24P el 18 de Mayo de 2015, (referencia de entrada 13866)
- [2] ENSA; *"Estudio de Seguridad del Contenedor de Transporte de Combustible Gastado ENUN 24P"*, 1AG9-T rev.0, abril de 2015
- [3] Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (BOE 313 de 31 de diciembre de 1999)
- [4] ENSA; Solicitud de apreciación favorable de diseño del contenedor para transporte de combustible Gastado ENUN 24P el 26 de julio de 2017 (referencia de entrada 43475)
- [5] ENSA; *"Estudio de Seguridad del Contenedor de Transporte de Combustible Gastado ENUN 24P"*, 1AG9-T rev.2, julio de 2017
- [6] OIEA; *"Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos"*, de referencia SSR-6, Edición 2012
- [7] CSN; *"Documentación para solicitar autorizaciones en el transporte de material radiactivo: aprobaciones de bultos y autorización de expediciones de transporte"*, Guía de seguridad 6.04, 2006.
- [8] UNECE; *"Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera"* (ADR) edición 2015, publicado en el BOE de 16 abril 2015
- [9] COTIF; *"Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril"* (RID), Edición 2015, publicado en el BOE de 23 de febrero de 2015
- [10] IMO; *"Código internacional de mercancías peligrosas"* (IMDG)
- [11] USNRC; *"Cladding Considerations for the Transportation and Storage of Spent Fuel"*, Spent Fuel Project Office Interim Staff Guidance - 11, Revision 3
- [12] CSN; *"Procedimiento de evaluación para la aprobación y convalidación de bultos de*

transporte", PT.IV.28, en revisión 2, Diciembre de 2014.

- [13] USNRC; sección 71 del Código de Regulaciones Federales: 10 CFR 71 *"Packaging and transportation of radioactive material"*
- [14] USNRC; "Standard Review Plan for Transportation Packages for Spent Nuclear Fuel", NUREG 1617, Marzo de 2000
- [15] USNRC; *"Conditions requiring individual monitoring of external and internal occupational dose"*, 10CFR20.1502
- [16] OIEA; "The Management System for the Safe Transport of Radioactive Material", TS-G-1.4, 2008
- [17] ENSA; *"Plan de Garantía de Calidad (PGC) para el diseño, licenciamiento, fabricación y ensayos de un contenedor para almacenamiento y transporte de combustible gastado"*, 9231QP001
- [18] 1AG9RDT99, en revisión 0 *"Defensa en profundidad del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24 - Análisis de reconfiguración de combustible"*, de 29/06/2017.
- [19] NRC, ISG-11 *"Cladding Considerations for the Transportation and Storage of Spent Fuel"* Rev.3. Nov. 2003

- [21] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21
- [22] NUREG/CR-7203, *"A quantitative impact assessment of hypothetical spent fuel reconfiguration in spent fuel storage casks and transportation packages"*, September 2015
- [23] USNRC, "Buckling of irradiated fuel under end drop conditions", ISG-12, revision 1, 2014

Anexo I: Propuesta de apreciación favorable y condicionado

EQUIPOS NUCLEARES, S.A. (ENSA)
Avda. Juan Carlos I, 8
39600 MALIAÑO - CANTABRIA

Atn: D. Alfonso Álvarez-Miranda
Director de Operaciones

ASUNTO: APRECIACIÓN FAVORABLE SOBRE EL NUEVO DISEÑO DE BULTO DE TRANSPORTE ENUN 24P, SOLICITADA POR EQUIPOS NUCLEARES, SA (ENSA)

Muy Sr. mío:

El 18 de mayo de 2015 (nº de registro de entrada 8236) se recibió en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) solicitud de Equipos Nucleares SA (ENSA) de apreciación favorable del nuevo diseño del contenedor ENUN-24P como bulto de transporte para combustible gastado, de conformidad con lo establecido en el artículo 82.1 del Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.

La solicitud presentada por ENSA incluía la revisión 0 del *“Estudio de seguridad del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24P”*, de referencia 1AG9-T.

Posteriormente, el 4 de agosto de 2015 (nº de registro de entrada 13469) se recibió en el CSN la aceptación por ENSA del presupuesto de precio público aplicado a la citada solicitud, de acuerdo con lo establecido en la Ley 14/1999, de 4 de mayo, de tasas y precios públicos del CSN.

Con fecha 2 de noviembre de 2015 (nº de registro de entrada 17665) ENSA remitió al CSN la revisión 1 del Estudio de Seguridad del contenedor, introduciendo una serie de pequeñas modificaciones en el diseño, así como actualizaciones de la edición aplicable de las normativas internacionales sobre transporte de mercancías peligrosas y la incorporación de comentarios avanzados por el CSN durante la evaluación llevada a cabo hasta esa fecha.

Posteriormente, a fin de considerar las conclusiones alcanzadas por las evaluaciones llevadas a cabo en el CSN, ENSA presentó la revisión 2 del Estudio de Seguridad del bulto, que tuvo entrada en el CSN en fecha 26 de julio de 2017 (nº de registro de entrada 43475).

El diseño del contenedor ENUN 24P permite transportar 24 elementos combustibles gastados no dañados del tipo PWR del diseño AFA 2G, AFA 3G y AFA 3GAA.

El Pleno del Consejo, en su reunión de de de 2017, ha estudiado la solicitud de ENSA, así como el informe que, como consecuencia de las evaluaciones realizadas, ha efectuado la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear y ha acordado apreciar favorablemente el nuevo diseño de bulto ENUN 24P, con los límites y condiciones que se recogen en el Anexo.

Esta resolución se ha tomado en cumplimiento del apartado j) del artículo 2º de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.

De conformidad con lo establecido en el artículo 82.2 del Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, la presente declaración del CSN podrá ser incluida como referencia en la solicitud del certificado de aprobación de modelo de bulto de transporte de material radiactivo para el contenedor ENUN 24P, que requieren las reglamentaciones de transporte de mercancías peligrosas aplicables, siempre que se cumplan los límites y condiciones impuestos en la declaración. La citada solicitud se llevará a cabo a través del Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, según lo establecido en el artículo 77 del mismo Real Decreto.

Madrid, de de 2017

EL SECRETARIO GENERAL

Manuel Rodríguez Martí

LÍMITES Y CONDICIONES A LOS QUE QUEDARÁ SOMETIDA LA APRECIACIÓN FAVORABLE DEL NUEVO DISEÑO DE BULTO DE TRANSPORTE ENUN-24P

- 1) Se considera que el diseño de contenedor ENUN 24P cumple con los requisitos exigidos para bultos del tipo B(U)F por el Reglamento del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)¹ y la reglamentación española sobre transporte de mercancías peligrosas² para los siguientes modos de transporte: carretera, ferrocarril, marítimo.
- 2) El diseño de bulto objeto de esta apreciación favorable es el denominado ENUN 24P, previsto para el transporte de combustible gastado, que se corresponde con el documento “Estudio de Seguridad del contenedor de transporte de combustible gastado ENUN 24P”, de referencia 1AG9-T, Rev. 2, de fecha julio de 2017, presentado por la empresa Equipos Nucleares S.A (ENSA).
- 3) Descripción del embalaje:

(Se adjunta figura 1: plano básico del bulto)

El contenedor ENUN 24P es un contenedor de doble propósito (almacenamiento y transporte), que empleado en la modalidad de transporte consta de cuatro elementos principales: cuerpo o vaso, sistema de cierre, bastidor de combustible y limitadores de impacto.

- Cuerpo o vaso

Es un cilindro formado principalmente por dos virolas cilíndricas (superior e inferior) y un fondo, soldados entre sí formando el cuerpo del contenedor. Situadas radialmente sobre las virolas se sitúan unas aletas de aluminio disipadoras de calor y, como superficie más exterior, la virola envolvente

¹ Requisitos de seguridad Nº SSR-6, *Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos*, Edición 2012, publicada por el OIEA

² Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español, que remite al Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR). Real Decreto 412/2001 de 20 de abril por el que se regulan diversos aspectos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril, que remite al Reglamento relativo al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas (RID). Código Marítimo Internacional sobre transporte de mercancías peligrosas (IMDG) de la OMI.

que rodea a las aletas de aluminio. En el espacio interior de las aletas va instalado el material de blindaje neutrónico, que consiste en un polímero sintético hidrogenado con carburo de boro.

El cuerpo dispone de cuatro muñones hembra, dos de elevación situados en la parte superior del vaso y dos de rotación en la parte inferior. Los cuatro muñones serán los elementos principales de amarre del contenedor a la cuna de transporte.

- Sistema de cierre

El contenido que se aloja en la cavidad interna del cuerpo del contenedor se aísla del exterior mediante dos tapas: interior y exterior, con una junta metálica doble de sellado en cada una.

La tapa interior es de acero y en su periferia cuenta con 48 agujeros pasantes para su unión al cuerpo del contenedor mediante pernos de acero al carbono aleado. Esta tapa dispone de dos penetraciones idénticas embebidas para las operaciones de venteo y drenaje.

La tapa exterior se fija al cuerpo del contenedor con 36 pernos de acero al carbono aleado y dispone de una penetración con dos orificios: uno se corresponde con el transductor de presión, que permitirá medir la presión entre tapas durante el almacenamiento, y no tiene ningún uso durante el transporte (orificio taponado), y el otro es una válvula de conexión rápida que permitirá dar la presión requerida al espacio entre tapas.

- Bastidor de combustible

Es el componente más cercano al contenido (combustible gastado) y consta de las siguientes partes: estructura de emparrillado, tubos combustibles, conjunto de placas periféricas y guías del bastidor.

La **estructura de emparrillado** está formada por un conjunto doble de chapas de acero inoxidable austenítico encajadas entre sí por medio de ranuras. Constituyen un emparrillado que sirve de soporte de los elementos combustibles. La estructura doble del emparrillado dispone de un espacio de 16 mm entre cada una de las chapas paralelas, constituyendo una "trampa de agua".

Los **tubos de combustible** son tubos de sección cuadrada que se instalan dentro de las celdas formadas por la estructura de emparrillado. Están fabricados en un material compuesto de matriz metálica de aluminio y carburo de boro disuelto en dicha matriz (Al+B₄C).

El **conjunto de placas periféricas** está formado por chapas de acero inoxidable situadas en disposición periférica y soldadas a las chapas de la estructura de inoxidable.

Las **guías del bastidor** son perfiles de aleación de aluminio que rodea la estructura de acero inoxidable, y constituyen la transición entre la periferia poligonal de dicha estructura y el interior cilíndrico del vaso.

- Limitadores de impacto

Los limitadores de impacto están constituidos por espuma de poliuretano, una estructura de aluminio en forma de panel de abeja y una carcasa o cuerpo que dispone de orejetas de elevación, y se unen al cuerpo del contenedor mediante 16 pernos de amarre. Puede, opcionalmente incorporar discos de blindaje neutrónico atornillados junto al disco exterior cuya función es reducir la tasa de dosis medida en el sentido longitudinal del contenedor.

El **sistema de contención** está formado por:

- Vaso (virola interior y fondo).
- Tapa interior, pernos de cierre y anillo tórico interior de su junta metálica doble de estanqueidad.
- Tapa de la penetración de venteo, pernos de cierre y anillo tórico interior de su junta metálica doble de estanqueidad.
- Tapa de la penetración de drenaje, pernos de cierre y anillo tórico interior de su junta metálica doble de estanqueidad.

El **sistema de confinamiento** del bulto ENUN 24P está formado por el combustible almacenado, el diseño del bastidor y los absorbentes neutrónicos utilizados en los tubos de combustible.

4) Contenido permitido:

- a) El contenedor ENUN 24P ha sido diseñado para almacenar un máximo de 24 elementos combustibles irradiados no dañados del tipo PWR con pastillas de dióxido de uranio, de diseño AFA 2G, AFA 3G y AFA 3GAA, con las características resumidas en la tabla 1.2.5 del Estudio de Seguridad del bulto.

A continuación se enumeran las características básicas del contenido:

Característica	AFA 2G	AFA 3G	AFA 3GAA
Masa total del elemento (kg)	663,8	668,1	667,4
Longitud del elemento (mm)	4102	4107	4107
Nº de barras combustibles	264	264	264
Material de vaina	Zircaloy 4 (Zr-4)	M5	M5
Masa total de pastillas UO ₂ (kg)	521,8	521,8	521,8
Pastilla de combustible	UO ₂	UO ₂ / UO ₂ + Gd ₂ O ₃	UO ₂ / UO ₂ + Gd ₂ O ₃
Enriquecimiento inicial (máximo) (% en peso de U-235)	3,7 %	4,5 %	4,5 %
Enriquecimiento inicial (mínimo) (% en peso de U-235)	1,7	1,7	1,7
Potencia térmica mínima por EC (W)	> 360		
Potencia térmica máxima por EC (W)	1337,84	1638,87	1638,87
Potencia Térmica mínima total del bulto (kW)	12		
Potencia Térmica máxima total del bulto (kW)	39,33 (c)		
Tiempo de enfriamiento (años)	3,2 a 5 (a)	3 a 5 (b)	3 a 5 (b)
Grado de quemado medio por elemento (max) (GWd/tU)	47	57	

(a) Tiempo de enfriamiento en función del enriquecimiento mínimo inicial y del quemado. Ver tabla 1.2.3 del capítulo 1 del ES

(b) Tiempo de enfriamiento en función del enriquecimiento mínimo inicial y del quemado. Ver tabla 1.2.4 del capítulo 1 del ES

(c) Se ha considerado en este apartado la carga térmica más limitante, que se corresponde con una carga de 24 elementos combustibles AFA 3G/3GAA con la máxima potencia térmica.

- b) El transporte del contenido autorizado para este diseño de bulto deberá realizarse en un periodo de 6 meses, comprendido desde la carga de los elementos combustibles hasta la finalización del transporte.
- c) No está permitido el transporte de elementos combustibles con aditamentos (barras de control, tapones, etc...) incorporados.

- d) En el caso de que los 24 elementos combustibles no tengan la misma potencia térmica, estos deben colocarse dentro del bastidor de manera que aquellos con mayor potencia térmica estén situados en las posiciones centrales, mientras que los elementos con menor potencia térmica se deben cargar en las posiciones de la periferia.
 - e) Los elementos combustibles de cualquiera de los diseños aprobados como contenido del bulto que tengan barras que presenten en sus vainas defectologías tales como desprendimientos de la capa de óxido o *spalling*³, se considerarán como elementos dañados, salvo que exista una justificación aceptada por el organismo regulador competente de que el combustible sigue cumpliendo con los requisitos de los análisis de seguridad incluidos en el ES y pueda ser clasificado como no dañado.
 - f) Los elementos combustibles con quemado medio por elemento superior a 45 GWd/tU deberán justificar que el valor de la capa de corrosión de las barras de las vainas de los elementos combustibles de diseño AFA 2G no podrá ser mayor de 80 µm (valor UB con el 95% de incertidumbre).
- 5) El índice de seguridad con respecto a la criticidad (ISC) del bulto ENUN 24P es igual a cero.
- 6) La garantía de calidad de los aspectos relacionados con el diseño, fabricación y pruebas del bulto ENUN 24P, deberá adecuarse a los requisitos incluidos en el “Plan de Calidad para Diseño, Licenciamiento, Fabricación y Ensayos de un Contenedor para almacenamiento y transporte de Combustible Gastado,” de referencia 9231QP001, emitido por ENSA.

Para el uso, mantenimiento y operaciones de transporte del bulto ENUN 24P se deberá disponer de los correspondientes programas de garantía de calidad aplicados a esas actividades.

- 7) El transporte del bulto ENUN 24P se debe llevar a cabo en la modalidad de uso exclusivo, salvo que con antelación al inicio de la expedición se confirme que el valor de la temperatura en las áreas accesibles es inferior o igual a 50 °C y que la tasa de dosis en cualquier punto de la superficie del bulto es inferior o igual a 2 mSv/h.

³ *Spalling*: fenómeno de desprendimiento de las capas de óxido que se forman sobre la superficie externa de la vaina durante la operación normal en el reactor.

- 8) El expedidor del bulto deberá seguir las instrucciones de uso y mantenimiento especificadas en el Estudio de Seguridad del bulto de referencia 1AG9-T.
- 9) Los elementos auxiliares y la cuna de transporte no son objetos de esta apreciación favorable. No obstante, antes de su utilización para el manejo y transporte del contenedor, deberá tenerse en cuenta que:
 - a. La geometría de los bulones de los equipos auxiliares que encajan en los muñones debe presentar un diámetro igual al de los agujeros correspondientes en estos.
 - b. La cuna de transporte deberá permitir la dilatación del contenedor ENUN 24P tanto axial como radialmente.
- 10) El transporte de estos bultos a través del territorio español precisará del certificado de aprobación como modelo de bulto emitido por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, de acuerdo con lo establecido en el artículo 77 el Reglamento sobre instalaciones Nucleares y Radiactivas.

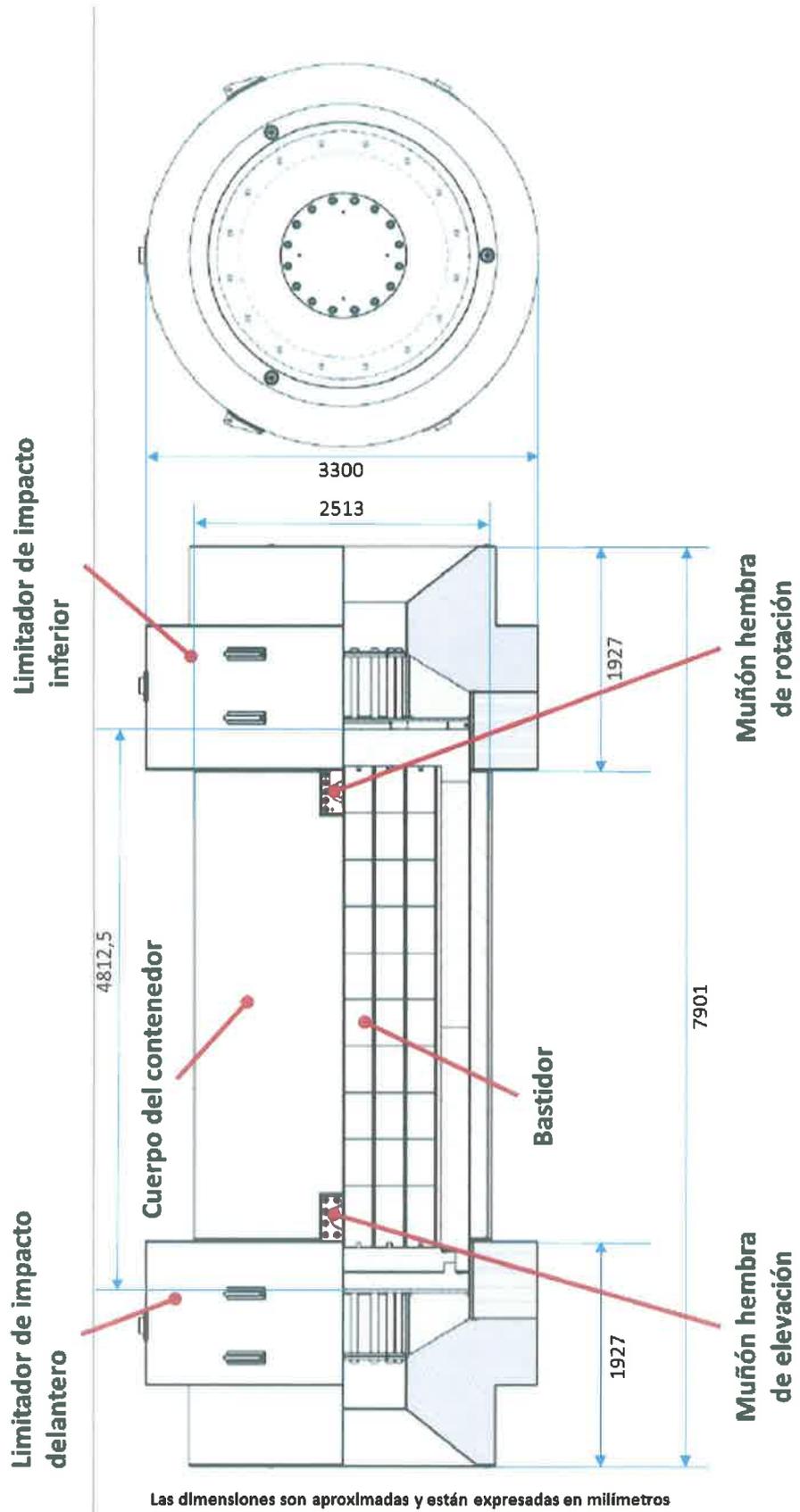


Figura 1: Plano básico del diseño de bulto ENUN 24P