

CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO EN LA CENTRAL NUCLEAR DE COFRENTES



BEATRIZ LAMELA PASCUA

Servicio Técnico Nuclear: Combustible
Gastado
IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR



SUSANA GUTIÉRREZ

Servicio Técnico Nuclear: Combustible
Gastado
IBN



LUIS LÓPEZ

Servicio Técnico Nuclear: Combustible
Gastado
IBN

CARACTERIZACIÓN DE COMBUSTIBLE GASTADO

El sábado 19 de junio de 2021 se realizó la carga del primer contenedor HI-STAR 150 con 52 elementos combustibles gastados de C.N. Cofrentes, que fue trasladado posteriormente al Almacén Temporal Individualizado (ATI), construido en la central. La carga se realizó de acuerdo al “Plan de carga de la primera campaña, Lote 1”. Para el desarrollo de los “Planes de carga” es necesario disponer de una caracterización y clasificación de los elementos de combustible gastados.

La caracterización de los elementos combustibles (EECC) tiene como objetivo final su clasificación para su carga en un sistema de almacenamiento/transporte. El proceso de caracterización consiste en recabar información acerca del estado del elemento combustible que justifique el cumplimiento de las funciones de seguridad del sistema de almacenamiento.

En el caso de la C.N. de Cofrentes, el sistema de almacenamiento seleccionado es el contenedor de doble propósito HI-STAR 150, cuyo suministro ha sido adjudicado por ENRESA a la empresa HOLTEC International. La caracterización realizada tiene en cuenta las características de dicho

contenedor y, por tanto, la clasificación de los elementos deberá ser revisada en caso de contemplarse un nuevo contenedor.

La caracterización del combustible debe permitir identificar si un determinado defecto está presente en un elemento combustible y, en caso afirmativo, si dicho defecto compromete alguna de las funciones de seguridad del sistema de almacenamiento. Como consecuencia, debe permitir clasificar un elemento combustible en Dañado o No Dañado para su almacenamiento y/o transporte respecto a un defecto concreto y, además, proporcionar información relevante para su gestión posterior.

C.N. Cofrentes, al igual que hizo la C.N. de Sta. María de Garroña, ha optado por la caracterización preliminar de todo el inventario de elementos combustibles gastados almacenados actualmente en las piscinas PACO y PACE, de acuerdo a los criterios acordados entre UNESA y ENRESA recogidos en la Especificación Técnico-Administrativa sobre “Criterios y metodología para la aceptación de combustible gastado y de combustible dañado acondicionado”.

En base a dicha caracterización preliminar se seleccionan los elementos candidatos para la carga de un lote de contenedores y se realizan las inspecciones necesarias para

proceder a la clasificación definitiva de los elementos y a la elaboración del “Plan de Carga”.

La caracterización se irá actualizando añadiendo los EECC que van siendo almacenados en las piscinas de combustible gastado tras las recargas, lo que conlleva la actualización de los informes soporte generados y de la base de datos de combustible de C.N. Cofrentes SIRENA [1] y de la de ENRESA para la gestión de combustible gastado y residuos especiales GECYRE [2], siguiendo el procedimiento que se ha elaborado para ello.

ANTECEDENTES

En el año 2013 se creó el Grupo Mixto UNESA-ENRESA para el desarrollo de los “Criterios de Aceptación del Combustible Gastado y seguimiento del proyecto ATC”. Uno de los principales objetivos de este grupo se fijó en el desarrollo del apéndice B del Contrato-Tipo entre ENRESA y las empresas propietarias de las centrales nucleares, relativo a los “Datos y Especificaciones del Elemento Combustible Gastado”.

En este marco de trabajo ENUSA elaboró el informe ITEC-1828 “Propuesta de metodología de clasificación de combustible gastado y residuos especiales”, editado en julio de 2014 [3], donde se recogen los fundamentos técnicos que posteriormente se elevan a la categoría de Especificación Técnico-Administrativa de acuerdo a los requisitos del Real Decreto 102/2014 para la gestión responsable y segura del combustible gastado y los residuos radiactivos.

El informe ITEC-1828 toma como punto de partida la normativa norteamericana para la clasificación de combustible usado ISG-1 “*Classifying the Condition of Spent Nuclear Fuel for Interim Storage and Transportation based on function*” [4] y desarrolla los diagramas que constituyen la base para definir las actividades necesarias de un Plan de Caracterización. Estos diagramas, recogidos a su vez en el documento de ENRESA A40-CD-IA-0002 [5], introducen los códigos de categorización de defectos implantados en GECYRE.

La clasificación de todo el inventario determinará qué elementos se declararán como dañados o no dañados para su almacenamiento y transporte, y las medidas de acondicionamiento necesarias para su gestión.

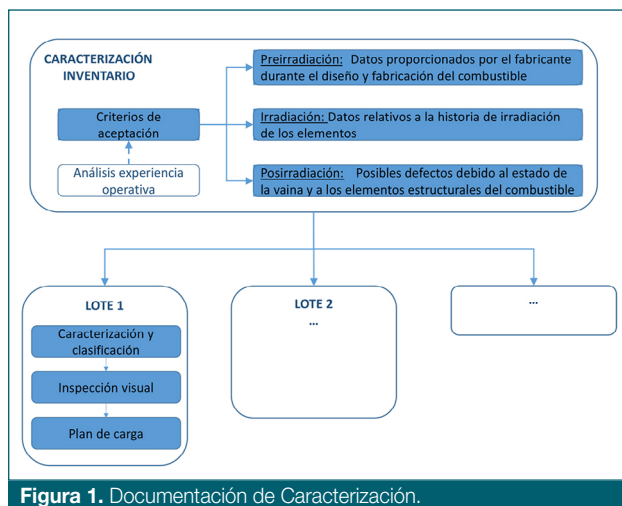


Figura 1. Documentación de Caracterización.

DOCUMENTACIÓN DE CARACTERIZACIÓN

El esquema de los documentos generados durante el proceso de caracterización y clasificación de los EECC de combustible gastado en C.N. Cofrentes se recoge en la Figura 1.

La información relevante a efectos de la caracterización y clasificación de los EECC se estructura de acuerdo a las diferentes fases del ciclo en las cuales se modifica la forma y contenido de los elementos combustibles, y se recopila en los siguientes informes:

- Informe de preirradiación: recoge los datos proporcionados por el fabricante durante el diseño y fabricación del combustible.
- Informe de irradiación: recoge los datos relativos a la historia de irradiación de los elementos.
- Informe de posirradiación: recoge los datos del estado de la vaina y de los elementos estructurales del combustible tras su descarga del reactor y clasifica los elementos en función de estos defectos.

Dichos documentos incluyen la información relativa a todo el inventario de EECC de combustible gastado almacenados en piscina. Dicha información se almacena en la base de datos de combustible SIRENA [1] que constituye el principal soporte para la gestión del combustible gastado en etapas posteriores, incluyendo las características relevantes para el almacenamiento y transporte.

De acuerdo a los criterios de aceptación establecidos, se consideran aceptables para la carga aquellos EECC que cumplen con las funciones de seguridad del contenedor, por el momento se considera el HI-STAR 150.

Para cada campaña de carga, formada por uno o varios contenedores (Lote) se seleccionará, en un proceso de caracterización y clasificación preliminar, un número suficiente de EECC para la carga, incluyendo un número adicional de reserva. En base a la inspección visual que se lleva a cabo se determinan finalmente los elementos a cargar y se realizará el “Plan de Carga”.

Criterios de aceptación

El objetivo de este informe es establecer los criterios de aceptación en el proceso de clasificación que se va a aplicar al inventario de elementos combustibles gastados presentes en las piscinas de C.N. Cofrentes, de modo que se pueda proceder a su almacenamiento en seco y transporte en contenedores de combustible gastado de acuerdo a las condiciones recogidas en las distintas autorizaciones.

Basándose en los defectos susceptibles de aparecer en elementos combustibles BWR y tipificados en el informe ITEC-1828 [3], se analizan en este informe los defectos susceptibles de aparecer en los diseños de combustible irradiados de C.N. Cofrentes, y se determinan los criterios que permiten clasificar los elementos combustibles gastados como dañados o no dañados desde el punto de vista de cada uno de esos defectos. Los criterios son función del sistema de almacenamiento y transporte y, por tanto, deberán modificarse en caso de cambio de contenedor. El informe deberá además actualizarse en caso de identificarse un nuevo defecto aplicable al combustible BWR como consecuencia del análisis de experiencia operativa.

Análisis de experiencia operativa

Como ya se ha indicado, la caracterización del combustible de C.N. Cofrentes se basa en los defectos susceptibles de aparecer en elementos combustibles BWR y tipificados en el informe ITEC-1828 (ref. 1). El objetivo de este informe es analizar la experiencia operativa desde el año de edición de dicho informe, 2014, de cara a valorar si fuera necesario considerar algún defecto no considerado en los criterios de aceptación, que sea de aplicación al combustible gastado de C.N. Cofrentes.

El informe se actualizará cuando exista nueva experiencia operativa relacionada con el combustible gastado tipo BWR, pudiendo agruparse varias experiencias operativas en un periodo de tiempo razonable si no impactan en la caracterización.

Informe de preirradiación

Todos los datos recogidos en este informe son proporcionados por el fabricante del combustible y corresponden al periodo anterior a su irradiación.

Su contenido es el siguiente:

- Tipos de combustible: se identifican los distintos diseños de combustible utilizados en C.N. Cofrentes.
- Datos geométricos: se recopilan los datos dimensionales, físicos y de diseño de los distintos tipos de elementos.
- Datos de enriquecimiento: información relativa al grado de enriquecimiento y su distribución en cada uno de los tipos de EC (mapas de configuración).
- Densidad de pastilla y densidad de apilamiento.
- Masa de cada tipo de combustible y desglose para cada uno de los materiales estructurales que lo forman.
- Composición de los materiales. Se recoge la composición de cada una de las aleaciones que conforman el *hardware* del EC.

En este informe se listan los EECC cargados a lo largo de todos los ciclos en C.N. Cofrentes.

Cada vez que se cargue en el núcleo de C.N. Cofrentes un nuevo diseño de combustible se incluirán los datos correspondientes en este informe.

Informe de irradiación

En este informe se recopila la información del combustible correspondiente a los registros de irradiación. La fuente principal de información es el código SIMULATE y la base de datos de combustible SIRENA [1]. Su contenido es el siguiente:

- Información sobre los ciclos: fecha inicio y fin, duración, fecha de la recarga y elementos descargados.
- Información, para cada elemento, los ciclos en los que ha sido irradiado, el quemado alcanzado en cada ciclo de irradiación y el quemado acumulado en la descarga. Estos datos se han obtenido con el código SIMULATE.
- Distribución axial de quemado.
- Factor de pico axial.
- Datos operacionales (datos obtenidos de SIRENA): potencia media por elemento, temperatura y densidad promedio del refrigerante, temperatura máxima de la vaina y temperatura media del combustible.

Al finalizar cada ciclo de combustible se incluirán los datos correspondientes a los elementos descargados del núcleo y almacenados en las piscinas de combustible gastado en este informe.

Informe de posirradiación

El informe contiene:

- Inspecciones realizadas.
- Caracterización de defectos: como ya se ha indicado, en el informe de criterios de aceptación se definen los criterios de caracterización y clasificación del combustible en base a los datos de posirradiación. De acuerdo a esta referencia se analizan los siguientes defectos:
 - D1 - Falta de estanqueidad de la vaina.
 - D2 - Corrosión local acelerada de la vaina por depósitos de crud (CILC).
 - D5 - Presencia de objetos, depósitos de óxido y crud.
 - D11 - Falta de varilla de combustible.
 - D15 - Distorsión del canal.
 - D16 - Deformación del asa del cabezal superior.
 - D17 - Ausencia del *channel fastener*.
 - D18 - Desplazamiento de rejillas.
- Clasificación del inventario: se incluye la tabla que contiene la clasificación final de los elementos combustibles gastados del inventario de C.N. Cofrentes, almacenada en GECYRE ([2]).

Este documento se revisará al finalizar cada ciclo de combustible, añadiendo los elementos descargados del núcleo y la información sobre las inspecciones llevadas a cabo desde la recarga anterior (informes de radioquímica *sipping*, etc.), incluyendo inspecciones específicas de carga de contenedores. El informe deberá además actualizarse en caso de identificarse un nuevo defecto aplicable al combustible BWR como consecuencia del análisis de experiencia operativa.

Para la elaboración del informe se ha seguido el siguiente proceso, de aplicación también para su actualización:

a) Recopilación de informes de inspección

Se han recopilado los informes de las inspecciones realizadas a los elementos combustibles desde el inicio de operación de la central. Muchos de estos informes, en papel, se han localizado en el archivo documental físico de C.N. Cofrentes y se han escaneado para poder cargarlos en GECYRE.

Se ha recopilado y analizado la siguiente información:

- Informes de radioquímica de los ciclos de operación.
- Informes de todas las inspecciones realizadas a los elementos: *sipping* en reactor o piscina, inspecciones visuales, medida de *bow* en canales, medidas de óxido en varillas o en canales...
- Registros de sustitución de varillas falladas, (des)canalizaciones y recanalizaciones, cambios de posición y sustitución de elementos, reparaciones e incidentes de manejo y otros registros de operación.

b) Denominación de la inspección

Se le ha asignado un identificador a cada inspección, de acuerdo al siguiente código:

AAAA-MM-METODO-X

Tipo de Inspección	Código	Código ENRESA
Radioquímica del ciclo	RQ	I2 Radioquímica
Inspección Visual	VIS	I7 Visual
Inspección sipping	SIP	I3 In-mast sipping I4 In-can sipping I5 Water sipping
Reconstitución	REC	R10 Reconstitución EC
Reparaciones	REP	---
CRUD	CRU	R3 Extracción de objetos
Handle	HDL	R9 Reparación asa cabezal superior (BWR)
Recanalizaciones	CAN	A2 Actuaciones sobre el canal
Inspecciones de BOW	BOW	I9 Dimensionales
Oxido de Canales	CHA	I9 Dimensionales
Cambio de rejilla	GRD	---
Reparación de Subelemento	SUB	---
Gamma Scanning	SCN	---
Grabación	GRA	I7 Visual
Documental	DOC	I1 Registros de operación

Tabla 1. Tipo / Método de Inspección

siendo AAAA el año, MM el mes, METODO el código del tipo/método de inspección de acuerdo a la Tabla 1 (se incluye la equivalencia con la codificación utilizada en GECYRE).

c) Creación de la carpeta de inspección

Se ha creado una carpeta para cada inspección con el código anterior en la que se recoge:

- Fichero Excel denominado INDICE.XLX (mismo nombre en todas las carpetas por requisito de carga de GECYRE). Se relacionan los elementos combustibles que han sido alcance de la inspección y se codifica el defecto que aplica de acuerdo a los criterios de aceptación [5] y a las conclusiones recogidas en el informe de la inspección (Tabla 2).
- Informe de la inspección.
- Otra información: informes adicionales, hojas de movimiento, mediciones de canales....

d) Fichero "IndiceInspecciones.xlsx"

Se ha creado un fichero denominado "IndiceInspecciones.xlsx" que contiene dos columnas:

- Denominación de la inspección.
- Descripción de la misma: recoge en la medida de lo posible el contenido de la inspección que se ha incluido en el informe de posirradiación (máximo 250 caracteres).

Este deberá ser actualizado cada vez que se proceda a una nueva carga de la base de datos.

e) Carga de la base de datos

Se ha procedido a cargar en la base de dato SIRENA todas las inspecciones. La aplicación utilizada permite la carga de inspecciones de forma individual de manera que se actualizan según estén disponibles para ello.

f) Tabla Resumen

Con la base de datos GECYRE se genera la Tabla Resumen, incluida en el informe de posirradiación, que recoge la clasificación final de cada elemento:

- No Dañado: cualquier combinación de categorías en las que no intervengan las siguientes: "RD", "D" o "DD".
- Dañado: si alguna de las categorías de los defectos inspeccionados es "RD" o "D".
- Desechos de combustible: si alguna de las categorías de los defectos inspeccionados es "DD".
- Pendiente: si algún defecto no ha sido inspeccionado, por tanto, no tiene categoría asignada (vacío).

Caracterización y clasificación de un lote

El objeto de este documento es definir el conjunto de elementos combustibles seleccionados para la carga de un lote de contenedores, entendiendo lote como un conjunto de contenedores que se cargan en la misma campaña de carga y que puede estar formado por un único contenedor o por varios, de acuerdo con los criterios de aceptación y a los datos de preirradiación, irradiación y posirradiación.

Para ello se tendrá en cuenta principalmente el cumplimiento de los criterios de aceptación y se podrán establecer otros criterios de selección. A continuación, se incluye un diagrama de los pasos a seguir en el proceso de selección.

Para cada elemento combustible, el análisis del cumplimiento con las funciones de seguridad se llevará a cabo en tres etapas, correspondientes con las fases descritas anteriormente (preirradiación, irradiación y posirradiación).

Además, se deben tener en cuenta las restricciones radiológicas impuestas por el cumplimiento de los límites de dosis en el ATI (Figura 2).

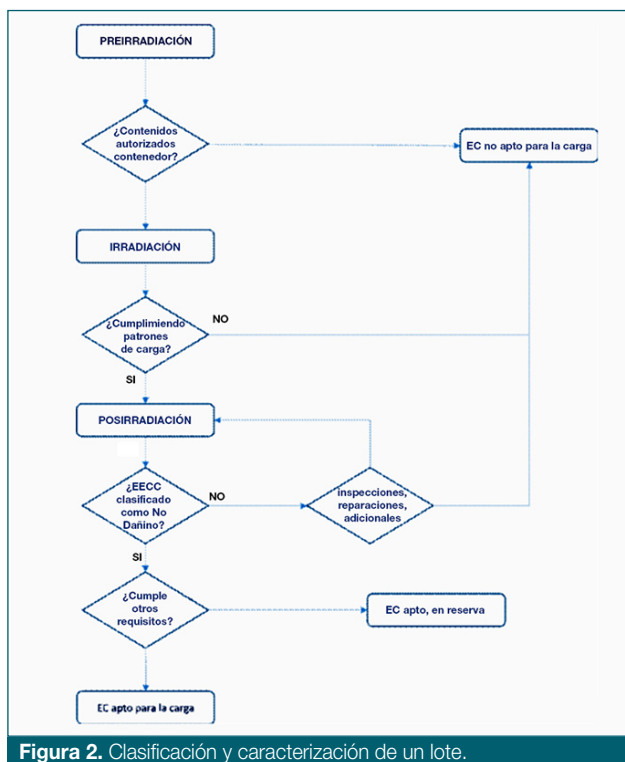
Inspección visual

Los elementos seleccionados preliminarmente serán objeto de una inspección visual previa a la carga para verificar la ausencia de defectos estructurales como la presencia de *channel fastener*, el estado del asa y la ausencia de objetos extraños sobre el cabezal superior, de acuerdo al procedimiento PIM 53 "Inspección visual de combustible gastado previa a la carga de contenedores" [6].

Dicha inspección tiene como objetivo confirmar la clasificación de los elementos como "No Dañados". En cualquier caso, como medida de contingencia ante la posible aparición durante la inspección de cualquier anomalía que pudiese

Identificación EC/TIPO/CICLO	1 Fugas	2 CILC	3 Exfoliación	4 Abrasión	5 Objetos	11 Falta de barras	15 Distorsión canal	16 Deformación asa	17 Fastender	18 Despl. rejillas	19 Observaciones

Tabla 2. Contenido del fichero INDICE.xlsx



se afectar a la clasificación, la selección preliminar incluirá EECC de reserva.

El informe de esta inspección visual formará parte del “Dossier de Carga” de cada contenedor.

Durante esta campaña se realiza una reubicación de los EECC, agrupándolos en una zona acotada de las piscinas para facilitar las tareas asociadas a la carga en el contenedor. En algunos casos es necesario mover las barras de control y desmontar los colgadores para acceder a los elementos almacenados.

En la inspección visual con cámara se comprueba el asentamiento correcto de las cuatro caras del canal, presencia y estado del *chanel fastener*, estado del asa, ausencia de materiales extraños, FME, sobre el cabezal superior y se procede a pesar del elemento (Figura 3).

Plan de Carga

El Plan de Carga justificará el cumplimiento de los EECC seleccionados en la Caracterización y Clasificación preliminar de un Lote con los contenidos autorizados para el HI-STAR 150 de acuerdo a su Estudio Final de Seguridad para almacenamiento y transporte y con las restricciones radiológicas

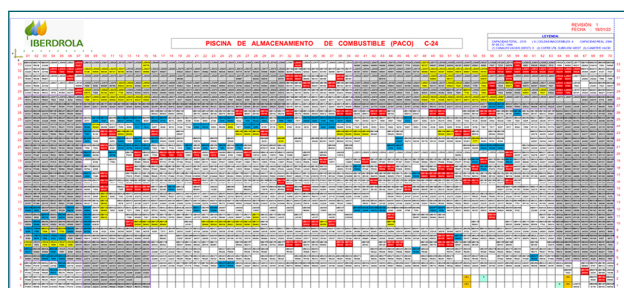


Figura 3. Inspección de EECC y reubicación en piscinas.

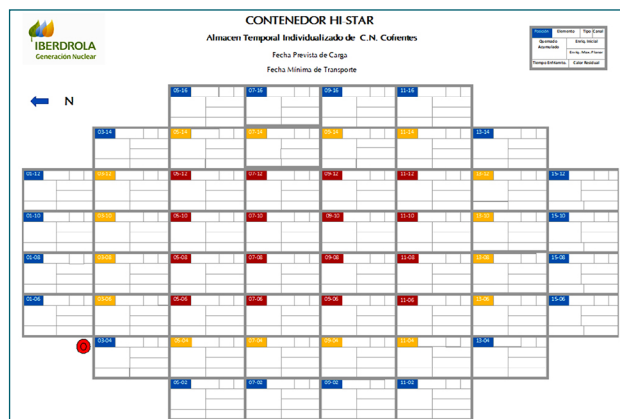


Figura 4. Mapa de carga Contenedor HI-STAR 150.

impuestas por el cumplimiento de los límites de dosis en el ATI. Para ello hará referencia a los documentos anteriores donde se habrán analizado dichas cuestiones.

Este documento incluirá la posición concreta de cada elemento en el bastidor del contenedor, así como todos los datos relevantes para la carga como pueden ser el diseño, grado de quemado, enriquecimiento, años de enfriamiento, potencia térmica residual, y clasificación frente a la defectología (Figura 4).

Una de las limitaciones establecidas tanto en el Estudio de Seguridad (ES) de almacenamiento como en el de transporte del contenedor corresponde a la máxima carga térmica admisible por posición de almacenamiento. Para demostrar el cumplimiento con estos límites es necesario determinar el calor residual de todos los elementos seleccionados en la fecha a partir de la cual se llevará a cabo la carga, a partir de los valores de quemado (potencia térmica en W).

Se calcula también la fuente de fotones, neutrones y gamma de activación (Co-60) para poder estimar la tasa de dosis asociada a cada contenedor y la cantidad de Kr-85 en cada elemento (actividad de Kr-85 en curios) en la fecha de carga para determinar el límite de actividad específica de Kr-85 asumible durante la carga de un contenedor.

Para la realización de estos cálculos se ha ejecutado el código ORIGEN-ARP [7] a través de una opción habilitada para ello en la aplicación SIRENA, base de datos de combustible

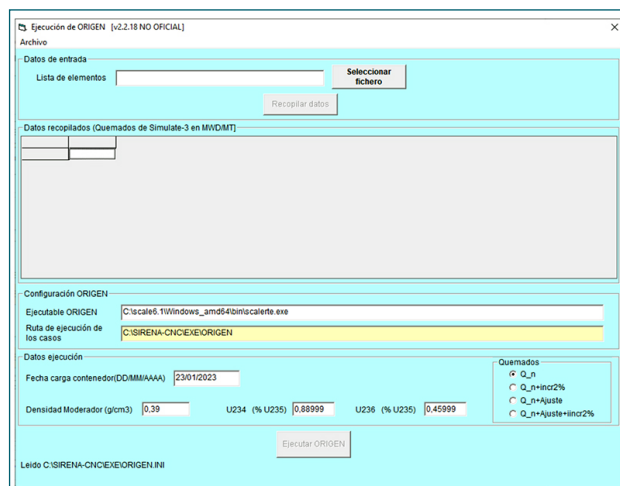


Figura 5. Pantalla de ejecución del código ORIGEN-ARP con la aplicación SIRENA.

de C.N. Cofrentes. Los datos asociados a cada diseño de combustible considerados en este cálculo son los mismos que los utilizados en la determinación del término fuente de licencia del ATI (diseño, materiales estructurales, composición...). Los parámetros específicos para los cálculos de cada elemento del Lote, que la aplicación obtiene directamente de la base de datos de combustible SIRENA, minimizando con ello los posibles errores, son:

- Masa de uranio.
- Enriquecimiento inicial (% de U^{235} en peso).
- Numero de ciclos que ha permanecido en el núcleo y su duración.
- Quemado alcanzado en cada ciclo (MWd/MTU).
- Duración de las recargas.
- Tiempo de enfriamiento considerando el tiempo transcurrido desde la descarga del núcleo del elemento hasta la fecha de carga en el contenedor (Figura 5).

REFERENCIAS

- [1]. SIRENA: Base de datos de combustible gastado y residuos especiales de C.N. Cofrentes.
- [2]. GECYRE “Diccionario de datos de la base de datos de combustible gastado y residuos especiales”. Ref. 21056100006 Naturgy.
- [3]. ITEC-001828 Rev.1 “Propuesta de metodología para clasificación de combustible gastado y residuos especiales”, julio 2014.
- [4]. NRC ISG-1 Rev. 2, “Classifying the Condition of Spent Nuclear Fuel for Interim Storage and Transportation based on function”, mayo 2007
- [5]. “Revisión de diagramas de caracterización de CG aplicando los criterios preliminares de aceptación del CG - Propuesta para GECYRE” ENRESA, Ref. A40-CD-IA-0002.
- [6]. PIM 53 – “Inspección Visual de combustible gastado previa a la carga de contenedores”, IBERDROLA Generación Nuclear.
- [7]. ORNL/TM-2005/39 “Scale: A Comprehensive Modelling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design” Version 6.1. Junio 2011: D1 ORIGEN-ARP: Automatic rapid processing for spent fuel depletion, decay and source term analysis (I.C. Gauld, S.M. Bowman, J.E. Horwedel).■