

HCC: LA HERRAMIENTA DE CARGA DE CONTENEDORES PARA LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO EN CNAT



MIGUEL A. RODRÍGUEZ GÓMEZ
Licenciado en Ciencias Físicas
NATURGY INGENIERÍA NUCLEAR S.L.



ROSA GONZÁLEZ GANDAL
NATURGY INGENIERÍA NUCLEAR S.L.



ALEJANDRO ALONSO
NEXUS5



JORGE BENAVIDES
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO (CNAT)



MARTA BOADA
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO (CNAT)



CARLOS MONTENEGRO
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO (CNAT)

INTRODUCCIÓN

Es práctica habitual que las centrales nucleares, tanto españolas como internacionales, lleven a cabo la gestión del combustible gastado mediante su almacenamiento en seco en contenedores diseñados a dicho propósito y almacenados en almacenes temporales individualizados (ATI).

Así ocurre en las centrales nucleares de Almaraz (cuyo ATI entró en operación en 2018), Trillo (2002), Cofrentes (2021), Ascó (2016), José Cabrera (2009) y Garoña (2022).

De cara a una mejor optimización de dicha gestión las Centrales Nucleares de Almaraz y Trillo (CNAT) consideraron necesario disponer de una herramienta informática que facilitara y optimizara la carga de los elementos combustibles (EC) en contenedores de combustible gastado en seco en función de las características y limitaciones de los propios contenedores y de los ATI.

Para ello, Naturgy Ingeniería Nuclear junto con Nexus5, ha desarrollado y puesto en producción la Herramienta de Car-

ga de Contenedores, en adelante HCC, mediante la cual se configuran las propuestas de carga de los contenedores mediante la selección de los mejores candidatos, de acuerdo con los parámetros de carga deseados por el usuario, y que cumplan con los requisitos de seguridad de los contenedores, así como las del almacén donde se ubicarán.

Esta herramienta tiene como objetivo, además:

- Facilitar y optimizar la carga de EC.
- Elaboración de la documentación necesaria para la carga de los contenedores.

DATOS DE PARTIDA

Antes de comenzar con el diseño la herramienta de contenedores se han tenido en cuenta una serie de factores, como son los tipos de contenedores a utilizar, las estrategias de carga y sus criterios, datos de irradiación de los elementos de combustible y su estado de caracterización.

Contenedores

En la actualidad las centrales nucleares de Almaraz y Trillo cuentan con varios contenedores licenciados para almacenar combustible gastado.

En el caso de C.N. Trillo, en el ATI se pueden almacenar contenedores metálicos tipo DPT, con capacidad para 21 EC y el ENUN 32P, con capacidad para 32 EC.

Mientras que en C.N. Almaraz, el único contenedor licenciado es el ENUN 32P, si bien tiene la posibilidad de albergar EC dañados que se encuentren en estuche.

En el caso del ENUN 32P, la carga de EC se puede realizar de forma uniforme o bien distribuidos en dos zonas (carga regionalizada) con diferentes limitaciones.

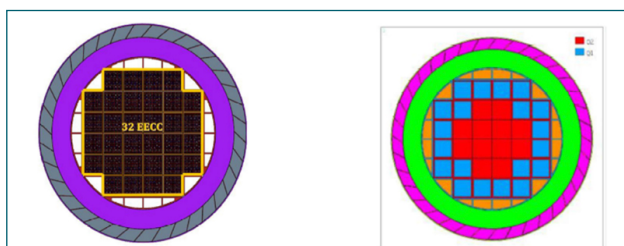


Figura 1. Distribuciones de EC en carga uniforme y regionalizada.

Criterios de carga

Existen varios criterios para la carga de EC en un contenedor, que deben tenerse en cuenta en el diseño de HCC. Estos varían en función del tipo de contenedor, y su estrategia de carga: se denominan curvas de carga y están relacionados con

- Límite de criticidad. Con el objetivo de evitar que se produzca la criticidad en el contenedor, los EC deben cumplir un quemado mínimo en función de su enriquecimiento inicial
- Límite térmico y radiológico. Con objeto de controlar el calor se establecen dos curvas limitantes: quemado máximo con relación a su enriquecimiento inicial y al tiempo de enfriamiento entre la descarga del EC del reactor y la fecha prevista de carga en el contenedor.

Adicionalmente, existe una limitación en el ATI de C.N. Almaraz relacionado con requisitos radiológicos que se traduce en un límite de quemado máximo y un tiempo de enfriamiento mínimo.

Elementos de combustible

Por otra parte, no todos los tipos de EC son admisibles en los contenedores, por lo que la herramienta debe discriminar aquellos que lo son.

Asimismo, debe considerarse los EC cuya caracterización de como conclusión que no están dañados, excepto en el caso de que se vaya a elegir la estrategia de carga con posiciones para EC en estuches (solo en C.N. Almaraz). Para ello, la herramienta debe considerar los 13 defectos que aplican a combustible PWR o que pudieran aplicar de los estipulados por ENRESA. Estos son:

- D1: Fugas en barras de combustible.
- D3: Exfoliación del espesor de la barra por abrasión.
- D4: Pérdida del espesor de la barra por abrasión.

- D5: Presencia de objetos, depósitos y CRUD.
- D6: Daños en el cabezal superior: resortes y tornillos.
- D7: Falta de tubos de bloqueo.
- D8: Falta de cabezal superior.
- D9: Defectos en rejillas.
- D10: Tornillos de tubos guía sueltos.
- D11: Falta de barras de combustible.
- D12: Corrosión de manguitos del cabezal superior.
- D13: Desgaste de tubos guía.
- D14: Variación excesiva de la geometría del combustible.

Con todos estos criterios y limitaciones es necesario disponer de la información de partida para que la herramienta realice los filtros y cálculos necesarios que devuelva un conjunto de EC candidatos a ser cargados en un contenedor.

En resumen, los datos identificados que son necesarios para poder realizar una propuesta de carga de EC en un contenedor son:

1. Inventarios de EC. Es la población existente en cada central.
2. Características del EC.
 - Tipo de licenciamiento del EC.
 - Quemado total del EC (MWd/TU).
 - Enriquecimiento inicial de U-235 (%).
 - Fecha de descarga a la piscina. Este dato es necesario para que la herramienta realice el cálculo del tiempo de enfriamiento, teniendo en cuenta la fecha prevista de carga en el contenedor.
 - Estado de caracterización del EC. De acuerdo con la clasificación de defectos los EC indicada, se establece el estado final del EC que se resume en no dañado o dañado. Estos últimos, no obstante, podrían ser cargables en contenedores en función del defecto y del contenedor/bastidor.
3. Tipos y características de contenedores.
4. Cálculos con ORIGEN.
 - Calor residual.
 - Fuente gamma y neutrónica.
5. Criterios de carga de EC en contenedores y almacenes.

Los datos de los tres primeros puntos se encuentran en la base de datos de combustible gastado y residuos especiales de las centrales nucleares Almaraz y Trillo, denominada AVI-CNAT, desde la cual se nutre a GECYRE, la base de datos de ENRESA para la gestión del combustible.

Los cálculos con ORIGEN (punto 4) se realizan por parte del Departamento de Diseño del Núcleo de CNAT cuando son requeridos. Se prevé que estén disponibles cuando HCC realice un listado de EC candidatos a la carga en el contenedor. Una vez ejecutados los cálculos se introducirán de forma automatizada en la herramienta.

En relación con los criterios de carga, punto 5, son los establecidos en los Estudios de Seguridad del contenedor y que han sido aprobados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

DISEÑO DE HCC

Teniendo en cuenta todos los criterios y limitaciones descritos anteriormente, HCC se ha diseñado con las siguientes premisas:

- Debe estar en comunicación continua con AVI-CNAT con el objeto de poder acceder al inventario de EC, con la última información disponible en la base de datos.

- Se han cargado todas las curvas de carga de los contenedores utilizados en Almaraz y Trillo.
- El usuario debe elegir determinados parámetros para que la herramienta pueda realizar filtros y cálculos.
- Se debe definir un fichero normalizado de intercambio de datos para completar la información necesaria (cálculos con ORIGEN).
- La herramienta debe proporcionar los mapas de carga y tablas de datos necesarias para la elaboración de informe de carga.
- Los contenedores generados deben actualizarse en AVI-CNAT una vez cargados los EC correspondientes. Los EC de reserva deben liberarse para poder formar parte de otra lista de candidatos.

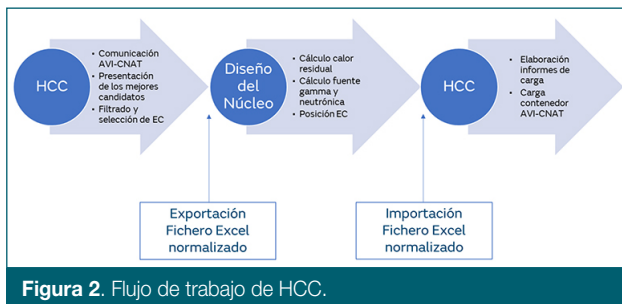


Figura 2. Flujo de trabajo de HCC.

FUNCIONALIDADES DE HCC

HCC es un servicio de aplicación al que se accede mediante escritorio remoto. Los usuarios registrados se conectan al servidor de aplicaciones usando sus credenciales y desde allí acceden a la aplicación HCC.

El proceso de carga de un contenedor por parte de la aplicación HCC se realiza en tres etapas que se corresponden con las pestañas de la misma.

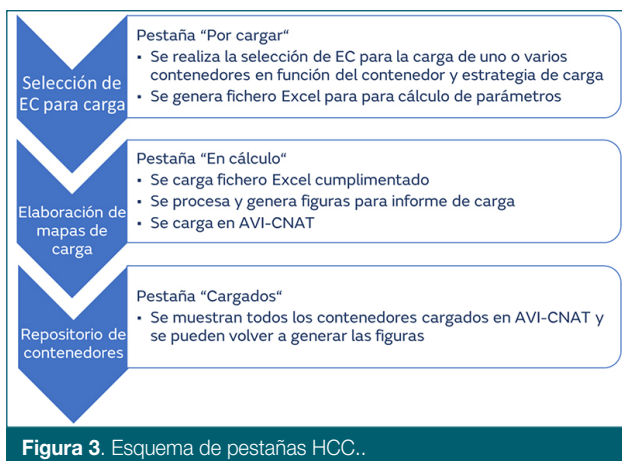


Figura 3. Esquema de pestañas HCC..

Dicho proceso se realiza de forma independiente para cada uno de los tres reactores: Almaraz I, Almaraz II y Trillo.

a) Por cargar

En esta pestaña se realiza para el reactor elegido, la propuesta de carga de un contenedor con las condiciones que el usuario establezca:

- Reactor. El usuario puede elegir entre los 3 reactores posibles (Almaraz I, Almaraz II o Trillo).

- Tipo. Se muestran los tipos de combinaciones disponibles contenedor/bastidor para el reactor escogido.
- Estrategia de carga. Se pueden seleccionar las estrategias de carga en función del tipo de contenedor/bastidor elegido anteriormente, estas podrán ser regionalizada o uniforme, habiendo, a su vez, varios tipos de regionalizada.
- Incertidumbre al quemado. Se puede seleccionar el valor de la incertidumbre, con los que se calcularán conservadoramente los valores del quemado para la verificación del cumplimiento de las curvas de carga.
- Fecha de carga. Es la fecha estimada de carga del contenedor y con la que se calculará el tiempo de enfriamiento de los EC.

Tras aplicar los filtros correspondientes HCC muestra la lista de los EC que cumplen los requisitos indicados en la propuesta y que son, por tanto, candidatos para la carga de uno o varios contenedores.

El usuario puede realizar filtros y ordenaciones adicionales de forma que de los candidatos que ofrece la aplicación, se pueden elegir, por ejemplo, los más fríos, los más calientes, los de determinado tipo de EC, los de un determinado enriquecimiento, o que pertenezcan a algún grupo específico (reparados, no dañados), incluso seleccionarlos de forma aleatoria, etc.

Posteriormente, se genera un Excel normalizado para que el Departamento de Diseño de Núcleo complete la información necesaria (calor residual, fuentes de neutrones, fuentes gamma y posición en el contenedor).

b) En cálculo

En esta pestaña se procesa el Excel normalizado, incluyendo toda la información necesaria. La herramienta genera todas las gráficas de las curvas de carga, donde se aprecia que cada EC se encuentra dentro de los parámetros especificados para su carga.

Asimismo, genera el mapa de carga del contenedor, donde se muestra cada EC en su posición final en el contenedor.

Todas estas gráficas son exportables con el fin de poder incluirse en el informe de carga de contenedores.

c) Cargados

En esta pestaña se pueden visualizar todos contenedores cargados en AVI-CNAT. Asimismo, desde aquí se pueden añadir nuevos contenedores, aunque no procedan de ninguna propuesta realizada en HCC.

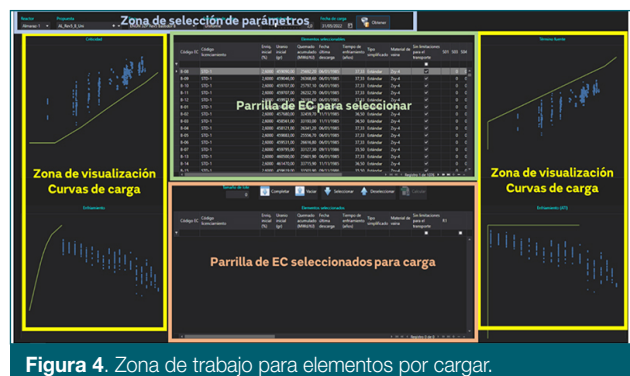


Figura 4. Zona de trabajo para elementos por cargar.

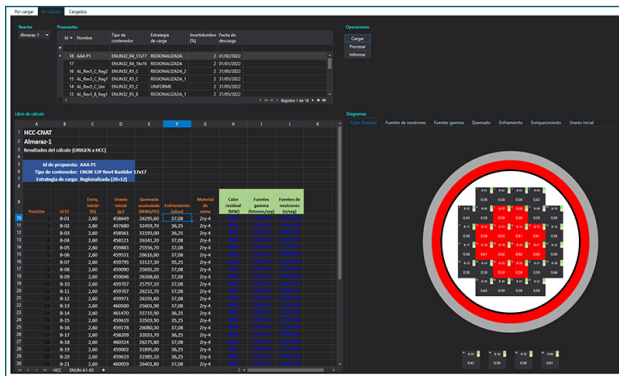


Figura 5. Zona de trabajo para contenedores en curso.

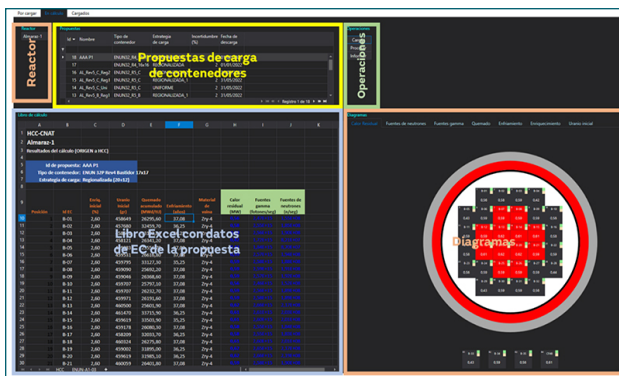


Figura 6. Zona de trabajo para contenedores cargados.

CONCLUSIONES

HCC es una aplicación ágil, fiable, con un entorno amigable y de fácil utilización que permite la selección de elementos combustibles para configurar la carga de contenedores, seleccionando los mejores candidatos que cumplen la estrategia de carga definida por el usuario, destacando además por su versatilidad a la hora de realizar filtros adicionales.

HCC genera las tablas y gráficos necesarios para la elaboración de los planes de carga.

Es una herramienta muy potente, ya que al tener la vinculación con AVI-CNAT permite el acceso y transferencia de la información de todos los EC y residuos especiales. En este sentido se dispone de los inventarios de EC con toda la información disponible actualizados a la última recarga realizada.

Por último, es una herramienta viva, a la que se pueden incorporar o modificar las limitaciones como consecuencia de procesos de licenciamiento, así como contenedores nuevos con sus correspondientes curvas de carga. Esto permite que la herramienta se vaya adaptando a los requisitos del sector en cada momento, como es el caso de la adaptación de AVI-CNAT y por tanto de HCC, a la nueva metodología de clasificación de la defectología de EC que Enresa ha desarrollado para GECYRE.

RETO FUTURO

Debido a la publicación en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) del cierre ordenado de las centrales nucleares, se hace imprescindible una herramienta de ayuda en la gestión del combustible gastado en los plazos establecidos.

Por este motivo se ha comenzado con el desarrollo de un módulo adicional denominado Herramienta de Vaciado de Piscina (HVP). El objetivo de este módulo es proveer al usuario de una herramienta de simulación de carga automatizada de contenedores que permita obtener una potencial secuencia de carga de contenedores futuros, con el objetivo de vaciar la piscina de forma optimizada y en el menor tiempo posible, de acuerdo con una estrategia de carga que se defina para el proceso.

El inventario de EC que será necesario gestionar en este modo de carga vendrá definido en función de la población que variará según el número de ciclos restantes de cada reactor o el establecido por el usuario. La aplicación realizará el cálculo de inventario en cada fecha establecida.

Con la información disponible sobre la población del EC dañados, la herramienta realizará una estimación del número de contenedores necesarios de los diseñados para tal fin.

A modo de resumen, para cada uno de los ciclos definidos la herramienta realizará un cálculo de la población de EC que cumplen los criterios para su carga en los contenedores disponibles, de forma que establecerá un programa de carga. Finalmente, indicará el listado de EC que no han podido ser cargados en la fecha definida.

La HVP será una herramienta muy eficaz en la toma de decisiones a futuro permitiendo mejorar en el establecimiento de estrategias de gestión del combustible gastado de las tres plantas.■