

GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE DURANTE LAS RECARGAS EN ALMARAZ



RAQUEL HONTORIA SUÁREZ

Titulado Superior Especialista de Ingeniería del Reactor y Resultados
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO



DOMINGO MANSO PURAS

Técnico de Ingeniería del Reactor y Resultados
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

Desde la primera recarga en la central nuclear de Almaraz (CNA) tanto la gestión, como la manera de trabajar incluso la planta en sí misma han cambiado significativamente. Se podría pensar que todas las recargas, en lo que se refiere a gestión del combustible, son iguales, pero nada más lejos de la realidad. Año tras año han ido entrando en juego nuevas variables a la ecuación; desde la capacidad de las piscinas de combustible gastado (que cada vez se encuentran más llenas), hasta la coordinación con otras actividades relevantes y necesarias como inspecciones, carga de contenedores, etc. Se podría dividir la gestión del combustible durante una recarga en las siguientes fases, desde el punto de vista de planta; es decir, no teniendo en cuenta ni la fase fabricación de los elementos ni el diseño del núcleo:

- Actividades asociadas a la recepción de combustible.
- Actividades asociadas a la descarga/cambio de componentes/carga de combustible.
- Mapa final de la piscina de combustible.

Antes de nada, para entender bien el alcance de todas estas actividades hay que tener en cuenta dos puntos que no son exclusivos de las tareas durante las recargas:

1. Generación de las secuencias de movimientos de combustible.
2. Definición de las regiones de almacenamiento en la piscina de combustible gastado.

SECUENCIA DE MOVIMIENTOS DE COMBUSTIBLE

Antes de que se reciba el combustible nuevo (o fresco) en la central, desde la sección de Ingeniería de Reactor y Resultados (IR) se preparan las secuencias de combustible; es decir los movimientos de combustible, tanto dentro de la piscina, como entre la piscina y el reactor, que van a ser necesarios desde la recepción del fresco hasta la carga en el núcleo del reactor.

Esta tarea es muy delicada e implica tener la base de datos permanentemente actualizada, conocer todas las posiciones a las que puede ir (o no) cada elemento, los diferentes componentes (elementos de combustibles, tapones, venenos o barras de control), minimizar el número de movimientos, etc.

En CNA se cuenta con la ayuda de una aplicación informática (programa RECARGA) para realizar dichas secuencias. La base de datos de combustible proporciona al programa RECARGA la ubicación de cada EECC, su posición, su historial, si es manejable o no, si tiene barras de control o veneno, inspecciones que ha tenido, etc.

Es muy importante definir previamente las estrategias de los movimientos en el RECARGA ya que no todas las zonas son receptoras de elementos combustibles, no todos los elementos combustibles son receptores de tapones, hay zonas con dificultad de acceso que requieren herramientas

diferentes, etc. Esta estrategia es definida, de forma rigurosa, por el personal de CNAT con meses de antelación.

Adicionalmente, se actualiza, en el programa RECARGA la distribución de los EECC en el nuevo ciclo que comienza y otros datos requeridos por el programa para poder ejecutarse correctamente. Con toda esta información el RECARGA distribuye los EECC y los diferentes componentes en sus ubicaciones temporales o finales generando las diferentes secuencias de movimientos y los correspondientes mapas del núcleo y piscina de combustible en cada fase de la recarga (Figura 1).

REGIONES DE ALMACENAMIENTO EN LA PISCINA DE COMBUSTIBLE GASTADO EN ALMARAZ

La piscina de combustible está delimitada en dos regiones de almacenamiento diferentes:

- **REGIÓN 1** (176 posiciones): en esta región se colocan los elementos descargados del núcleo que van a volver a entrar al mismo en el ciclo que comienza, y aquellos que no cumplen con el requisito del grado de quemado requerido por las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la central. Todos los elementos que estén por encima de la curva REC (*Reactivity Equivalent Curve*), trazada con el grado de quemado y el enriquecimiento inicial de los EECC, pueden almacenarse en cualquier región de la piscina de combustible gastado. Los que

estén por debajo únicamente puede ser almacenados en la región 1 (Figura 2).

La región 1 tiene características de diseño específicas, como mayor grosor del bastidor o mayor distancia entre los bastidores, para garantizar la subcriticidad de esa zona, sin dar crédito al quemado.

Esta región, entre recargas, únicamente alberga los elementos que no cumplen los requisitos mencionados anteriormente. Durante el ciclo tiene que haber disponibles siempre 157 posiciones para el caso de tener que descargar el núcleo, en caso necesario.

- **REGIÓN 2** (1628 posiciones): elementos que sí cumplen los requisitos de quemado Vs. enriquecimiento establecidos en las Especificaciones Técnicas. En esta región en la que se almacenan todos los elementos que no van a entrar en el ciclo que se inicia, algunos de manera definitiva, podrán entrar otros en ciclos futuros en función del diseño. Actualmente, la ocupación de esta región supera el 90 % en ambas unidades de la Central Nuclear de Almaraz, lo cual ocasiona una dificultad adicional a la hora de generar las secuencias (Figura 3).

Veamos ahora las diferentes fases anteriormente mencionadas y sus trabajos asociados más relevantes dispuestas en orden cronológico a su ejecución:

ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA RECEPCIÓN DEL FRESCO

El Real Decreto 1464/1999 requiere, en su artículo 3.b) “*Tener almacenados en la central en la que van a ser utilizados los elementos constitutivos de una recarga con una antelación mínima de dos meses*”.

En una recarga estándar de Almaraz se cargan de 58 a 62 elementos de combustible nuevos en cada ciclo, de acuerdo con su diseño. Los EECC se transportan en contenedores “Traveller”, licenciados para tal fin, desde las instalaciones

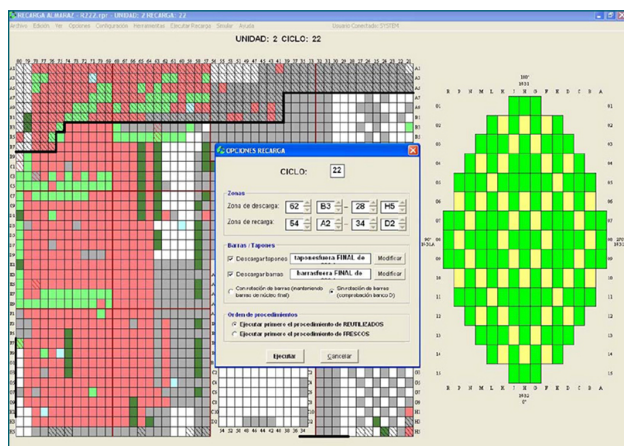


Figura 1. Ejemplo programa RECARGA.

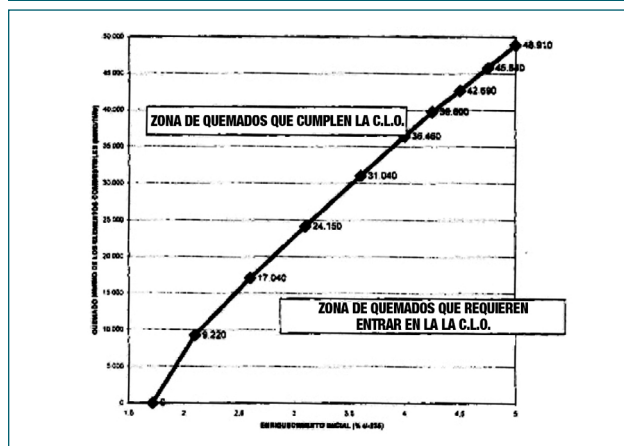


Figura 2. Curva REC C.N. Almaraz.



Figura 3. Piscina de Combustible gastado. Región 1 y parte de la 2.



Figura 4. Inspección combustible fresco.



Figura 5. Almacenamiento en seco (bastidores).



Figura 6. Almacenamiento en seco (perchas).

donde se fabrican hasta la central.

Debido a nuevos requisitos de planta, incorporados en las Especificaciones Técnicas, y al elevado número de actividades que se realizan en los edificios de Combustible (especialmente las asociadas con la carga de contenedores de combustible gastado), en los últimos años la programación detallada de la recepción del fresco ha adquirido un papel muy importante.

Las actividades en esta etapa comprenden:

Desembalaje/inspección de cada elemento de combustible nuevo

El cual será inspeccionado visualmente previo a su almacenaje por el personal cualificado, en toda su longitud y por las 4 caras, evaluando la integridad, el diseño, ausencia de marcas, etc. (Figura 4).

Almacenamiento en seco

En Almaraz hay dos tipos de almacenamiento: en bastidores (*racks*) similares a los existentes en la piscina de combustible gastado, con una capacidad de 56 EECC; o en perchas. Cada percha tiene capacidad para 4 EECC, habiendo 8 perchas en total. A todos los EECC una vez almacenados se les coloca protección FME (*Foreign Material Exclusion*) para evitar la entrada de objetos extraños en el núcleo (Figuras 5 y 6).

ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA DESCARGA/CAMBIO DE COMPONENTES/CARGA DE COMBUSTIBLE

Previo a la descarga del combustible es necesario realizar los siguientes movimientos de combustible:

Movimiento de elementos reutilizados

Movimiento de los EECC almacenados en la región 2, provenientes de otros ciclos a su coordenada correspondiente (según mapa de carga) la región 1. Estos EECC pueden haber estado 1 o 2 veces ya en el núcleo previamente. Dependiendo del diseño del ciclo, el número de elementos reutilizados puede variar considerablemente de un ciclo a otro.

Descarga del núcleo

En CNA hay dos edificios independientes para cada unidad que albergan combustible nuclear:

- Edificio del Reactor, no accesible, salvo excepciones, durante el ciclo.
- Edificio de Combustible, accesible durante todo el ciclo, donde se ubica la piscina de combustible gastado y piscina en seco para el combustible nuevo.

Ambos edificios están comunicados mediante un canal de transferencia, a través del cual se realizan los movimientos de elementos para las actividades de descarga y carga del núcleo del reactor, con un sistema de volteo y traslado (en horizontal) diseñado específicamente para estas actividades.

Durante la descarga, se trasladan todos los EECC del reactor (157) a la piscina del edificio de Combustible. Aquellos elementos que vuelven a entrar al núcleo se colocan en la región 1, en una coordenada de acuerdo con la secuencia de la posterior carga. Además, también se descargan en esta región los elementos que no cumplen con el grado de quemado requerido por Especificaciones Técnicas tal y como se ha visto anteriormente.

El resto, si cumplen la curva REC, se almacenan en la región 2 (Figura 7).

Tras accidente de Fukushima, se realizaron mejoras en la secuencia de descarga de los elementos en la región 2 para distribuirlos adecuadamente en función de la carga térmica de los mismos. Mediante esta práctica se minimiza la generación de zonas con alta temperatura en piscinas en caso de pérdida de la refrigeración.

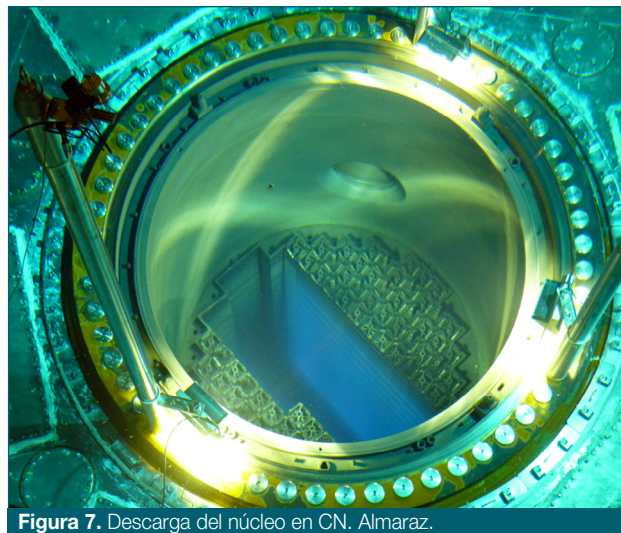


Figura 7. Descarga del núcleo en CN. Almaraz.

En CNA se ha procedimentado esta recomendación y al generar la secuencia de descarga, se tiene en cuenta el mapa térmico de la piscina y se realiza, en la medida de lo posible, lo que se conoce como “descarga en ajedrezado”, alternando elementos calientes con fríos o dejando celdas vacías alrededor de un elemento caliente (Figuras 8 y 9).

Paso del combustible fresco a la piscina

El combustible previamente almacenado en seco se traslada a la región 1 de la piscina de gastado. Los EECC irán a la posición que les corresponde en la secuencia de carga posterior.

Inserción de barras de control o tapones nuevos

La vida útil de los componentes *insert* de los elementos oscila entre los 15 años de las barras de control a los 20 de los tapones. Tras este periodo, estos deben ser inspeccionados o sustituidos por nuevos (Figuras 10 y 11).

Desde Ingeniería del Reactor y Resultados se lleva el control de dichos componentes, teniendo en cuenta los ciclos en los que han operado en el núcleo, duración, etc. y se prepara la secuencia para introducir los nuevos componentes a los EECC que correspondan. Como norma general, se intenta optimizar siempre el número de movimientos. Por

tanto, se prioriza la colocación de estos componentes nuevos a aquellos elementos nuevos que están almacenados en seco.

Cambio de componentes

En esta fase se redistribuyen los componentes (barras y tapones) con los que operarán los EECC en el ciclo que comienza.

Cuando finaliza esta actividad, se realiza un mapa de la región 1 (región de carga), verificando la correcta identificación de los EECC y sus componentes, comparándolos con el mapa correspondiente generado con la secuencia de carga con el programa RECARGA.

Carga del núcleo

Previo a la carga del núcleo se realiza una inspección visual con cámara subacuática de la placa inferior del núcleo, para verificar que no hay objetos extraños que puedan dañar el combustible durante el ciclo o incluso durante la carga, ya que existe experiencias operativas relacionadas con eventos cuyo origen era la presencia de algún material extraño o suelto y que ocasionaron caídas de elementos en el reactor.

La secuencia de carga sigue el esquema en la región 1 que se representa en la Figura 12.

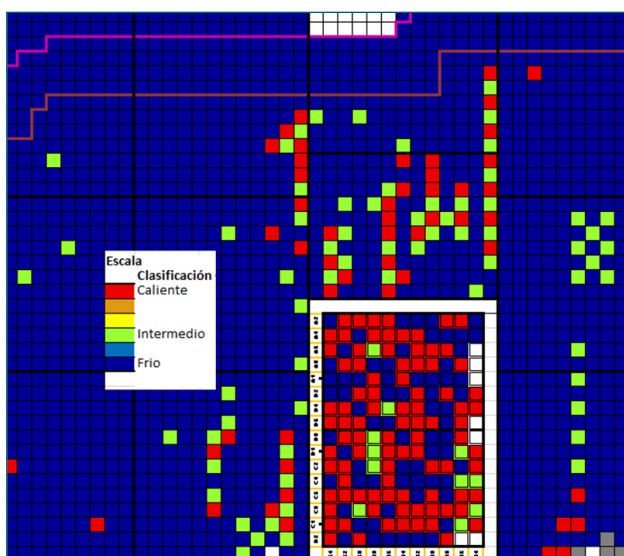


Figura 8. Mapa térmico piscina combustible gastado.

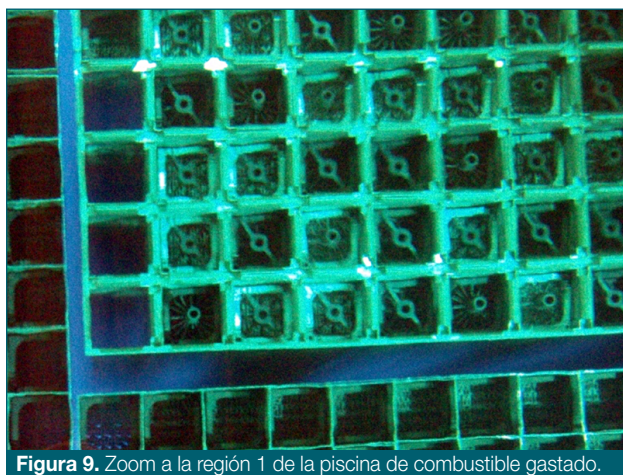


Figura 9. Zoom a la región 1 de la piscina de combustible gastado.

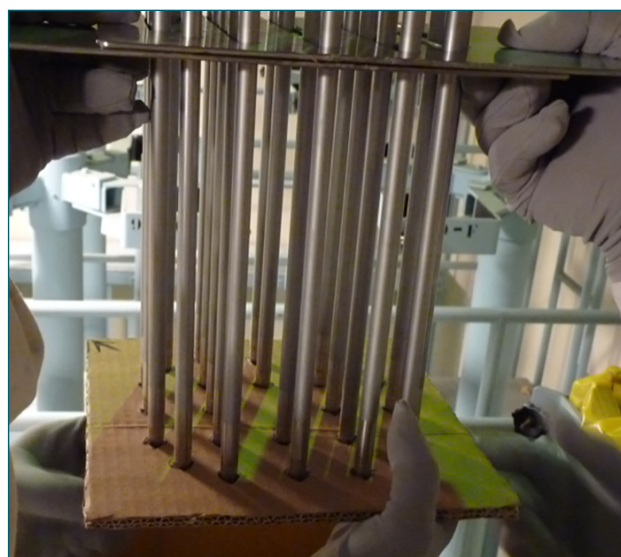


Figura 10. Barras de combustible nuevas.



Figura 11. Tapón nuevo.

ZONA DE CARGA

	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	
A2	CX11	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	A2
A4	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	A4
A6	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	A6
A8	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	A8
A10	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	A10
B2	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	B2
B4	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	B4
B6	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	B6
B8	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	B8
B10	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	B10
C2	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	C2
C4	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	C4
C6	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	C6
C8	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	C8
C10	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	C10
D2	CX13	CX44	CY97	CX38	CY55	CY07	CY56	CX40	CX90	CX90	CX90	D2

Figura 12. Región de carga. Orden de la carga.

	R	P	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
01								4	3	2							01
02							39	42	44	45	157	156	155				02
03							36	40	43	149	150	154	153	152	151		03
04							35	37	41	145	142	143	148	147	146	145	04
05							33	34	38	121	122	133	134	140	139	138	05
06							31	32	120	121	122	123	124	130	129	128	06
07							7	29	30	108	109	110	111	112	119	118	07
08							8	27	28	96	97	98	99	100	107	106	08
09							9	25	26	84	85	86	87	88	95	94	09
10							23	24	73	74	75	76	77	83	82	81	10
11							20	21	22	63	64	65	66	72	71	70	11
12							17	18	19	55	56	57	62	61	60	59	12
13							14	15	16	49	50	54	53	52	51		13
14							10	11	12	13	48	47	46				14
15										1	6	5					15
	R	P	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	

Figura 13. Mapa carga del núcleo.

Como se puede observar el orden de carga es consecutivo, de acuerdo con la posición que ocuparán en el reactor. De esta forma se minimiza la posibilidad de error de carga.

La secuencia de carga del lado del reactor se diseña atendiendo a criterios de seguimiento neutrónico durante la misma, así como para evitar daños estructurales de los EECC (Figura 13).

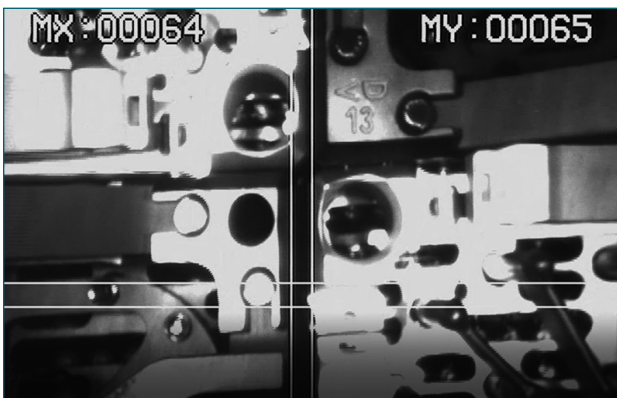


Figura 14. Medida huelgos entre cabezales.

Mapa final del núcleo

Posterior a la carga del núcleo se realiza un mapa del núcleo con cámara subacuática con el fin de:

- Verificar que cada EECC y su correspondiente componente están en la coordenada correcta, de acuerdo con el plano generado con la carga.
- Verificar que el huelgo entre los EECC y entre éstos (6.3 mm entre cabezales) y la pared del deflector (7.9 mm) están dentro de los máximos aconsejables, para garantizar que ningún EECC se extraiga enganchado de los pines del interno superior en la próxima parada para recarga (Figura 14).

MAPA FINAL DE LA PISCINA DE COMBUSTIBLE

Durante los siguientes 6 meses, una vez finalizada la carga hay que realizar un mapa con cámara subacuática de la piscina de combustible. Este mapa se irá actualizando durante el ciclo, ya que con la carga de contenedores la situación de la piscina no permanece constante; se mueven elementos de posición, se cambian *inserts*, se realizan inspecciones etc., un sinnúmero de actividades que hacen que la piscina de combustible gastado esté en continuo cambio, requiriendo más que nunca actualización, planificación y rigor.■