

DISEÑO DE BARRA COMBUSTIBLE PARA LA CNA-II

G. Coroli, J.A. Casario, L.A. Alvarez, H. Gross\*

Gerencia Combustibles Nucleares (CNEA);

\* KWU, República Federal de Alemania

### 1. INTRODUCCION

En este trabajo se presentan cálculos y verificaciones efectuadas para verificar que con el diseño adoptado para las Barras Combustibles (BC) de la CNA-II no son esperables defectos sistemáticos durante la operación normal del reactor.

### 2. DISEÑO ADOPTADO PARA LA BC

El diseño adoptado para la BC CNA-II es, en líneas generales, similar al de la BC CNA-I, sin embargo merecen destacarse dos diferencias importantes. En la BC CNA-II se emplea un resorte de compresión axial alojado en el extremo superior de la BC como se observa en el esquema de la fig. 1. Este resorte, que reemplaza a las arandelas deformables de la BC CNA-I, está diseñado para reducir los deterioros en las pastillas combustibles provocados durante el manipuleo y transporte de BC. El espacio axial que libera el resorte al comprimirse absorbe parte de la expansión térmica de la columna combustible reduciendo así la deformación axial de la vaina.

La segunda diferencia mencionada es que la presión del gas de llenado en la BC CNA-II es superior a la empleada para CNA-I. La presión de llenado para la BC CNA-II fue finalmente adoptada luego de efectuar los cálculos que se presentan en este trabajo y de hacer consideraciones referidas al comportamiento del combustible en condiciones accidentales de operación por pérdida de refrigerante.

### 3. CALCULOS EFECTUADOS

Durante la etapa de definición del diseño se establecieron los límites en operación para cada uno de los parámetros importantes de la BC. Estos límites se verificaron fundamentalmente mediante los siguientes cálculos:

- a. Simulaciones del comportamiento de la BC ante excursiones o rampas de potencia ocurridas al comienzo de la vida del combustible o luego del cambio de posición dentro del núcleo. Los cálculos de "canal caliente" se efectuaron para excursiones hasta la potencia lineal máxima posible de alcanzar en condiciones autorizadas de operación del reactor.
- b. Simulaciones del comportamiento de las BC hasta alcanzar el quemado máximo de diseño de extracción del reactor, considerando distintas historias de potencia dependientes del camino que recorre el elemento combustible en el núcleo.
- c. Cálculo de las tensiones en la vaina en diferentes situaciones de operación.
- d. Cálculo de los márgenes de seguridad referidos al colapso elástico y plástico de la vaina.

Estos cálculos se efectuaron fundamentalmente con los programas CARO para la simulación del comportamiento de la BC y SPAN para el cálculo de tensiones en vai

nas; en ellos se tuvieron en cuenta además de los efectos termomecánicos aquellos referidos al comportamiento bajo irradiación de los materiales estructurales y el material combustible propiamente dicho.

Los cálculos mencionados se efectuaron considerando distintas presiones del gas de llenado; también se realizaron para una BC sin resorte de compresión axial, simulando así la situación hipotética en la que el resorte no trabaja debido al bloqueo de algún segmento del extremo de la columna activa.

#### 4. CALCULOS EN CANAL CALIENTE

Los cálculos de simulación de rampas permiten demostrar que en condiciones normales de operación del reactor, las máximas potencias específicas desarrolladas no provocan la fusión de las pastillas combustibles y las deformaciones en las vainas permanecen por debajo del límite de diseño fijado para deformaciones por rampas.

En la fig. 2 se muestran los resultados obtenidos para los cálculos conservativos de máximas temperaturas en distintas condiciones. En ningún caso se supera la temperatura de fusión del  $UO_2$  que es aproximadamente  $2.800^{\circ}C$ .

Los resultados de los cálculos conservativos de deformaciones se muestran en la fig. 3. Las deformaciones axiales y tangenciales, tanto en BC con y sin resorte de compresión axial, permanecen por debajo del límite de diseño establecido.

#### 5. CALCULOS PARA LARGOS TIEMPOS

En los cálculos de simulación del comportamiento de la BC hasta el final de la irradiación se consideran dos casos de interés: la máxima presión interior final alcanzada en la BC y la máxima deformación en vaina producida por la interacción mecánica pastilla combustible-vaina.

Las presiones finales alcanzadas son calculadas en forma conservativa para diferentes situaciones, como se indica en la fig. 4; los resultados obtenidos permiten demostrar que en ningún caso se alcanza la presión del refrigerante, siendo esta la condición de diseño que debía ser verificada.

Las deformaciones axiales y tangenciales calculadas también permanecen por debajo de los límites de diseño establecidos.

#### 6. CALCULO DE TENSIONES

Las verificaciones efectuadas sobre las BC comprendieron también el análisis tensional de las vainas. En este análisis se consideran los dos casos que se muestran en la fig. 5 en los que las vainas son solicitadas conservativamente en condiciones diferentes. Las tensiones se calculan para las zonas de BC entre separadores y próximas a la soldadura tapón-vaina, estableciéndose límites de diseño diferentes según la zona.

Las tensiones resultantes obtenidas se muestran en la fig. 6, resultando en todos los casos inferiores a los límites de diseño previamente establecidos.

También fueron calculadas las tensiones cíclicas obteniéndose resultados que no superan los límites de diseño corrientemente aceptados para este tipo de componentes estructurales.

#### 7. CALCULO DE MARGENES DE SEGURIDAD PARA COLAPSO

Se calcularon las presiones críticas de colapso elástico y plástico por presión externa en distintas condiciones conservativas y se calcularon los márgenes de seguridad correspondientes. Los resultados obtenidos se indican en la fig. 7.

#### 8. CONCLUSIONES

Los resultados de los cálculos y verificaciones aquí presentados y de otros cálculos complementarios como espesor final de capa de óxido y concentración final de hidrógeno en vaina permiten entonces afirmar que para condiciones normales de operación del reactor y con el diseño detallado adoptado para las BC Atucha II no es esperable la aparición de defectos sistemáticos durante la operación normal de la Central.

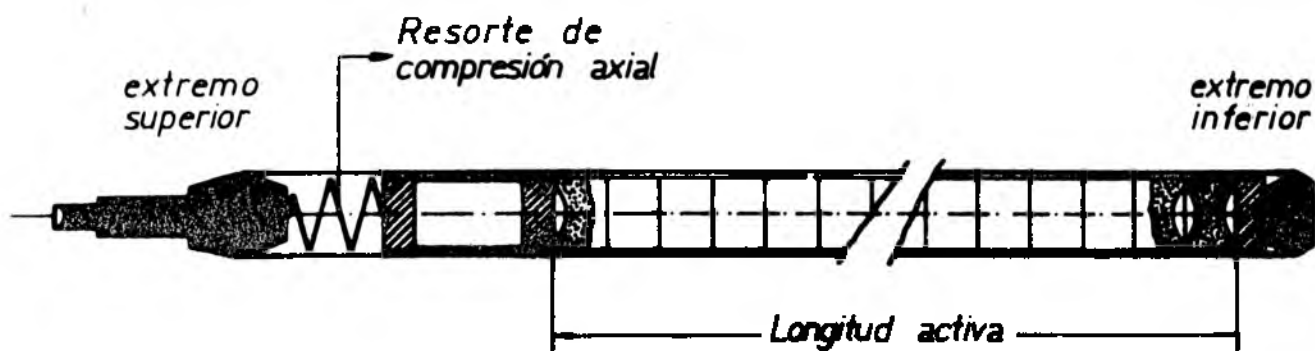


FIG. 1. Esquema de una BC

CALCULO EN CANAL CALIENTE		
MAX. TEMP. EN PASTILLAS		
CONDICION	PRESION DE LLENADO	
	18 bar	22,5 bar
COMIENZO DE VIDA (BOL)	2375°C	2377°C
LUEGO DEL RECAMBIO	2480°C	2476°C

FIG. 2. Cálculo de temperaturas máximas en PC.

CALCULOS EN CANAL CALIENTE				
BC SIN RESORTE		INICIO DE VIDA (BOL)	BC CON RESORTE	
Presión de llenado			Presión de llenado	
18 bar	22,5 bar		18 bar	22,5 bar
0,64	0,64	$E_{t,el+pl}\%$	0,64	0,64
0,2446	0,2392	$E_{a,el+pl}\%$	0,0545	0,0520
-	-	Cierre del gap	480W/cm	482W/cm
-	-	Inver. de tensiones	500W/cm	500W/cm

FIG. 3. Cálculo de deformaciones.

CALCULOS PARA FIN DE VIDA

	PRESION DE LLENADO	
	18 bar	22,5 bar
PRESION FINAL (bar)	74,74	86,93
Gases de fisión liberados (cm <sup>3</sup> )	165,84	162,34
% de gases de fisión liberados	13,55	13,26
PRESION DEL REFRIGERANTE 115 bar		

FIG. 4. Cálculos de presión interior máxima.

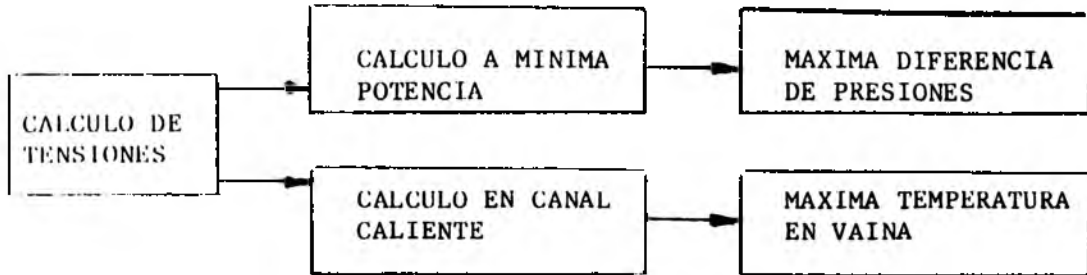


FIG. 5. Casos para cálculos de tensiones.

CALCULO DE TENSIONES			
CONDICION DE CALCULO	PRESION DE LLENADO (bar)	TENSION EQUIVALENTE (N/mm <sup>2</sup> )	
		ZONA ENTRE ESPACIAD.	ZONA DE SOLDADURA
Canal caliente (BOL)	18	66,6	31,1
	22,5	48,8	22,0
Mínima potencia (BOL)	18	103,9	51,1
	22,5	94,6	46,4

FIG. 6. Tensiones calculadas.

CALCULO A MINIMA POTENCIA			CALCULO EN CANAL CALIENTE		
Presión de llenado [bar]	18	22,5	Presión de llenado [bar]	18	22,5
Presión interior [bar]	33	43,2	Presión interior [bar]	79	87,7
Presión diferencial [bar]	103	93,8	Presión diferencial [bar]	57	48,2
$P_{crit,el}$ [bar]	140	140	$P_{crit,el}$ [bar]	131,7	131,7
$S_{el}$	1,36	1,49	$S_{el}$	2,31	2,72
$P_{crit,pl}$ [bar]	214,2	214,2	$P_{crit,pl}$ [bar]	185	185
$S_{pl}$	2,08	2,28	$S_{pl}$	3,24	3,83

FIG. 7. Márgenes de seguridad para colapso.