

# **CRITERIOS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE SEPARADORES AUTOPORTANTES DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES**

**juanicó I.e. y brasnarof d.o.**

Comisión Nacional de Energía Atómica – Complejo Tecnológico Pilcaniyeu

## **1. Resumen**

En este trabajo se extiende y utiliza un modelo de las pérdidas de carga en separadores autoportantes, en el diseño hidráulico del elemento combustible CARA (Combustible Avanzado para Rectores Argentinos), comparando sus resultados con datos experimentales y utilizando éstos para realimentar el diseño. Se analiza la importancia en el desempeño hidráulico de distintos factores geométricos (espesor y longitud del separador, apoyos fijos a barras combustibles), generando criterios de diseño hidráulico para separadores.

## **HYDRAULIC DESIGN CRITERIA FOR SPACER GRIDS OF NUCLEAR FUEL ELEMENT**

### **Abstract**

In this paper a hydraulic model for calculating the pressure drop on the CARA spacer grids is extended. This model is validated and feedback from experimental hydraulic test performed in a low pressure loop. The importance of the spacer grid geometric parameter (that is, its thickness and length, the number and kind of their fix spacer), developing hydraulic design criteria for spacer grid on fuel element.

## **2. Introducción**

El diseño del combustible CARA tiene entre sus principales objetivos mantener la analogía hidráulica entre canales combustibles en las centrales tanto de Embalse como de Atucha I, permitiendo su uso en ambas centrales en convivencia con los actuales diseños. La compleja geometría de los elementos combustibles (en particular en cuanto a sus separadores autoportantes o grillas separadoras), vuelve casi imposible el resolver completamente el problema a partir de un enfoque puramente analítico. Es por ello que la realimentación de los modelos previamente desarrollados [1] con la información experimental es sumamente valiosa. Esto es relativamente fácil de implementar cuando los modelos tienen una base conceptual sencilla de los fenómenos físicos inherentes al problema en estudio.

En este trabajo se extiende un modelo de pérdida de carga hidráulica en separadores y se mejora el diseño de éstos para el CARA, realimentado con los resultados experimentales. Se utiliza esta herramienta para sintonizar el salto de carga del CARA a las condiciones de operación de la CNE (Central Nuclear Embalse).

### **3. Modelo Hidráulico.**

Se extendió un modelo hidráulico desarrollado para calcular las pérdidas de carga localizadas en los elementos estructurales de los elementos combustibles (EC), y se lo empleó para el cálculo de los separadores autoportantes del EC CARA.

Este modelo unidimensional se basa en considerar cada obstrucción local del flujo refrigerante por los subcanales hidráulicos acoplados del EC, calculando la pérdida de carga atribuible a éste por la suma de un término de fricción distribuida, proporcional al perímetro mojado que incorpora, y un término de “drag” o arrastre, proporcional a la contracción-expansión del área normal de pasaje proyectada en la dirección del flujo debida al mismo. De esta forma se modelan las pérdidas de carga ocasionadas en los flejes del separador, los apoyos fijos y elásticos a las barras combustibles y los patines exteriores de apoyo al canal (bateas).

Es posible también calcular sencillamente el efecto de ventanas o perforaciones realizadas sobre la estructura del separador, generalizado en los diseños actuales empleados en los reactores de agua liviana, considerando los mismos como una disminución del perímetro mojado y un término de contracción –expansión en el área de pasaje del orden del espesor del fleje, etc.

Los apoyos fijos a barras combustibles o tetones se diseñaron en el primer separador propuesto, con una sección circular. Además, el diseño mecánico del primer separador empleaba dos tetones alineados en lugar de uno, para aumentar el área de contacto con la barra, causando de este modo un aumento notable en las pérdidas de carga. Dado que en la medición experimental se se encontró que se necesitaban reducir fuertemente las pérdidas hidráulicas en los separadores, se diseñó un único tetón de sección elíptica con una relación de ejes 4:1 ubicado de forma lenticular respecto al flujo, para reducir fuertemente el coeficiente de arrastre a 0.35. Se tomó como criterio para dimensionar el nuevo tetón que debe mantener el área de apoyo, pero como la forma elíptica mejora el apoyo de la barra a lo largo de una generatriz, se mejora el contacto mecánico de esta manera. Esta mejora fue implementada en la tercera generación de EC, a ensayar próximamente en el CBP-CAC (noviembre 2000).

### **4. Validación del Modelo con Experimentos.**

Se ensayaron hidráulicamente los combustibles CARA con los separadores de primera y segunda generación, en el circuito CBP-IV, del CAC. Se calcularon con los resultados experimentales obtenidos el coeficiente de fricción ( $K_f$ ) del separador [3,4], y se lo comparó con los calculados por el modelo desarrollado. La comparación de estos dos puntos experimentales arrojó una concordancia cualitativa, dentro de márgenes aceptables (10%), que sirven para validar el modelo.

La segunda generación de separadores emplea flejes de altura variable, crecientes con el radio, de modo de disminuir el coeficiente de fricción pero sin alterar mayormente la rigidez del conjunto (aportado principalmente por el fleje circular exterior y el travesaño principal) y el contacto con el canal.

Dado que si bien se logró con este nuevo diseño disminuir en forma apreciable el coeficiente de fricción en el separador de la segunda generación, éste continuaba por encima de los valores requeridos, se diseñó (utilizando el modelo como herramienta de diseño) una tercera generación de separadores, empleando tetones elípticos en apoyos fijos y nuevas dimensiones de flejes.

Esta tercera generación de separadores se proyecta experimentar en la próxima generación de EC CARA y según las estimaciones previas permitiría alcanzar los

requerimientos hidráulicos de operación de la CNE. Los requerimientos de pérdida de carga que permitan introducir el CARA en la central nuclear de Atucha I (CNA-I), se alcanzarían también mediante el empleo y la consideración del sistema de acople, y será desarrollado en otra presentación.

## 5. Diseño Hidráulico del Separador.

Se construyeron mapas de diseño para ajustar el coeficiente de fricción del separador, considerando los principales parámetros de diseño. Se analizaron distintos medios para disminuir la pérdida de carga introducida por la grilla separadora, en función de cambiar su espesor y altura (en la versión CARA primera, de 0.55 mm de espesor y de 32 mm de altura), dado que superan ampliamente las dimensiones de los separadores utilizados en los reactores PWR y aún los de Atucha I. Sin alterar las demás variables del diseño (por ejemplo, el número y sección de los apoyos fijos a barras), se obtuvo el mapeo de valores de  $K_f$  ilustrado en la Fig.1. Este tipo de mapas sirven como herramienta de diseño, dado que permite comparar el peso de distintos factores en el desempeño hidráulico ( $K_f$ ) y realimentar éste con otro tipo de criterios, como por ejemplo, mecánicos.

Se observa que en los casos de espesor menor (0.3mm) y altura reducida (10 y 20 mm), la pérdida de carga producida por el arrastre en los tetones correspondía al 60% del total. Utilizando el modelo propuesto de tetón elíptico, el cual se refleja en el modelo como un cambio en el  $Cd$  de 1.5 a 0.35 y en el número de tetones alineados (antes 2, ahora 1), se obtuvo un nuevo mapeo de  $K_f$  en la Figura 2. Como ya fue mencionado antes, cabe destacar que la barra apoya a lo largo de una generatriz sobre el apoyo de sección elíptica, mejorando de esta manera el contacto mecánico.

Por último, la gran mayoría de los diseños de separadores empleados en reactores tipo PWR, utilizan ventanas a lo largo del separador, de forma de disminuir el perímetro mojado (término de fricción en el separador). Considerando una reducción en el área mojada del 30% (valor razonable), equivalente a un factor de ocupación del 70% del separador, se aprecia una reducción cercana al 20% (Figura 3).

Comparando las tres figuras anteriores, se observa que disminuyendo moderadamente tanto la longitud como el espesor del separador, dentro de un rango que no penalice su construcción ni su resistencia mecánica (por ejemplo, de 0.35 mm de espesor y 15 mm de altura) y cambiando simplemente el formato de los tetones estampados en la chapa, se lograría un separador de  $K_f = 0.24$ , con el cual el elemento CARA puede alcanzar las metas fijadas en cuanto a su utilización tanto en Embalse como en Atucha I, [2]. Si además se crean ventanas por un paso adicional de estampado en el fleje, del 30% del área total, conservando las dimensiones del separador, el valor de  $K_f$  se reduce un 20%, (0.19), con lo cual se obtiene un margen mayor. Una reducción casi equivalente se obtendría si en vez de realizar las ventanas, reduciendo el espesor de flejes a 0.30 mm ( $K_f = .20$ ) sin ventanas, lo cual tiene la doble ventaja de reducir el material necesario y no agregar pasos de fabricación.

## 6. Cálculo del desempeño hidráulico del CARA en Embalse y en Atucha I

Para calcular la pérdida de carga que produciría un elemento combustible tipo CARA, contando con la posibilidad de rediseñar el separador elástico sobre las consideraciones discutidas en el punto anterior, partimos de los siguientes supuestos:

1. El modelo permite modelar la pérdida en el separador, subestimando un 10% el valor real (atribuible a tolerancias de fabricación) como se observó en los experimentos.
2. Para ambas centrales se consideraron las condiciones de flujo y las pérdidas totales en el canal de diseño y en entrada/salida medido en grillas y de fricción distribuida mostrados en la Tabla 1.

La diferencia entre el coeficiente de pérdida total y la adición de los términos arriba detallados (considerando 5 grillas enfrentadas en Embalse y 4 en Atucha), **puede utilizarse en los 18 separadores en Embalse o los 15 en Atucha.**

Se calcula con estas consideraciones el coeficiente de pérdida de carga con el que debe diseñarse el separador para cumplir con los requerimientos de cada central, obteniéndose:

$$K_{sep} = 0.46 \quad \text{en condiciones Embalse}$$

$$K_{sep} = 0.206 \quad \text{en condiciones Atucha I}$$

Para poder convertir estos resultados a valores equivalentes en el CBP (dado que las condiciones de flujo son distintas en cada caso) y poder así utilizar los mapeos de las figuras anteriores directamente, estudiamos con nuestro modelo cual es la relación entre el  $K_{sep}$  bajo las condiciones de los tres casos. Encontramos que manteniendo la geometría del separador, al pasar de las condiciones del CBP a Embalse, el  $K_{sep}$  se reduce un 10%, y en Atucha I se reduce en un 40%. Es decir que un separador cuyo  $K_{sep}$  sea de 0.46 en Embalse, medido bajo las condiciones del CBP se obtendrá un  $K_{sep}$  (+10%) de 0.51, mientras que uno de 0.206 en Atucha I, tendrá un  $K_{sep}$  igual a 0.29 en CBP. Considerando finalmente que nuestro modelo subestima en un 10% los valores reales por defectos constructivos, los valores de diseño equivalentes en CBP son:

$$K_{sep} = 0.46 \quad \text{diseño Embalse, en condiciones CBP}$$

$$K_{sep} = 0.27 \quad \text{diseño Atucha I, en condiciones CBP}$$

Utilizando estos valores en las figuras 1 a 3 notamos que :

- 1) No se puede alcanzar la condición de diseño del canal de Atucha I (la más restrictiva) utilizando un modelo homogéneo (el más simple) para estimar la pérdida de carga en canal combustible con el primer diseño de separador, que utiliza dos tetones circulares alineados.
- 2) Se pueden alcanzar las condiciones de ambas centrales si se recurre a 1 tetón elíptico, utilizando en el separador espesores y/o alturas menores a 0.45 mm y 20 mm respectivamente.
- 3) Si se utilizan ventanas (30%), el rango anterior se expande a 0.47 mm y 30 mm.

Los valores anteriores de los puntos 1 a 3, son sólo indicativos, por cuanto a través de desarrollar un modelo hidráulico más refinado se encontró que los márgenes de utilización del separador se incrementaban, como se explicará en otro trabajo presentado [5].

## 7. Conclusiones.

Se extendió y aplicó al cálculo del separador del EC CARA un modelo de pérdida de carga hidráulica, con una base teórica sencilla, el cual fue validado con resultados experimentales. La sencillez del modelo permitió desarrollar criterios de diseño hidráulicos que permiten evaluar la importancia de los principales parámetros geométricos que definen el diseño del separador (espesor y ancho de flejes, número y tipo de apoyos a barras, ventanas en el separador, etc).

Utilizando los criterios de diseño desarrollados, se realizó el diseño de tres generaciones de separadores, que permitirían alcanzar los requerimientos de pérdida de carga del EC CARA en la CNE.

Estos criterios de diseño demostraron ser útiles al permitir realimentar el diseño hidráulico con otro tipo de criterios, de tendencias opuestas, como ser el diseño desde el punto de vista mecánico del separador.

## Referencias

- [1] Brasnarof, Daniel y Delmastro, Darío. *Cálculo de la pérdida de carga hidráulica en combustibles tipo cluster en canales*; informe técnico CNEA-CAB 62/29/98.
- [2] Juanicó, Luis y Brasnarof, Daniel. *Diseño hidráulico de Grillas Espaciadoras de Elementos Combustibles*; informe técnico CNEA-CAP 65/01/99.
- [3] Martín Ghiselli y Fioiri. *Ensayos en el CEBP para la caracterización hidráulica de prototipos de elementos combustibles CARA*; informe técnico N° IT-13-E-042-EE/99 (ENDE-CAC).
- [4] Martín Ghiselli y Fioiri. *Ensayos en el CEBP para la caracterización hidráulica de prototipos de elementos combustibles CARA – 2a parte*; informe técnico N° IT-13-E-050-EE/99 (ENDE-CAC).
- [5] Juanicó, Luis y Brasnarof, Daniel. *Diseño hidráulico del conjunto combustible CARA en Atucha I*; presentado a la reunión anual AATN 2000.

## Apéndice de Figuras

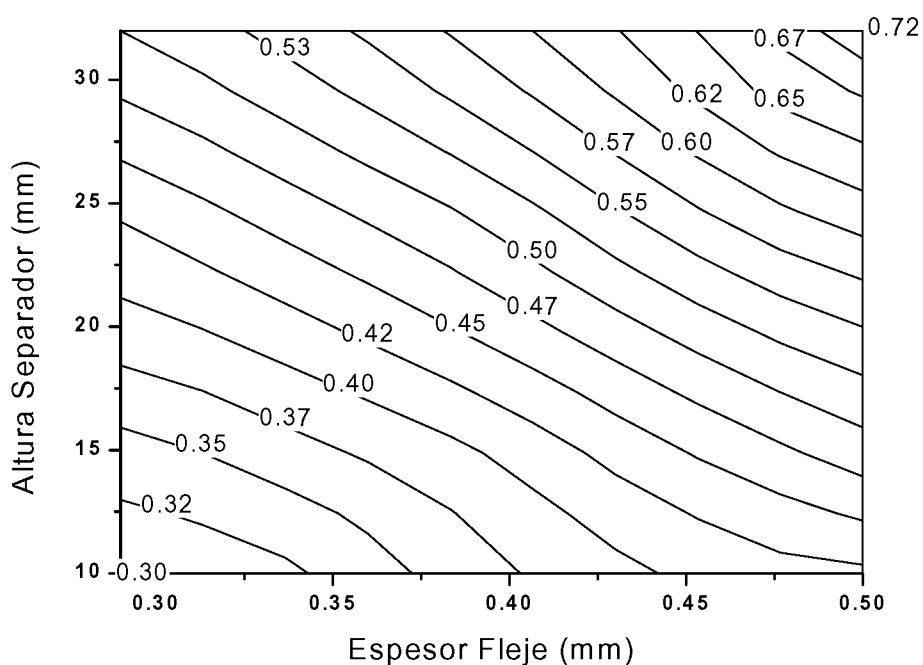


Figura 1. Mapeo de  $K_f$ , para el separador de la primera generación (2 tetones con  $Cd=1.5$ , sin ventanas).

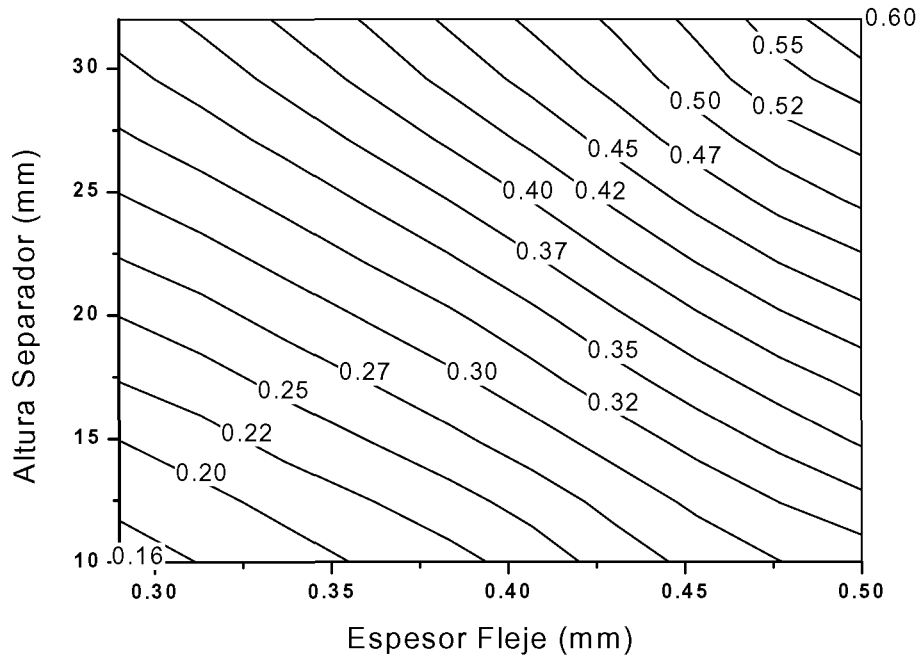


Figura 2. Mapeo de  $K_f$ , para el caso de 1 tetón elíptico (con  $Cd=.35$ ), sin ventanas.

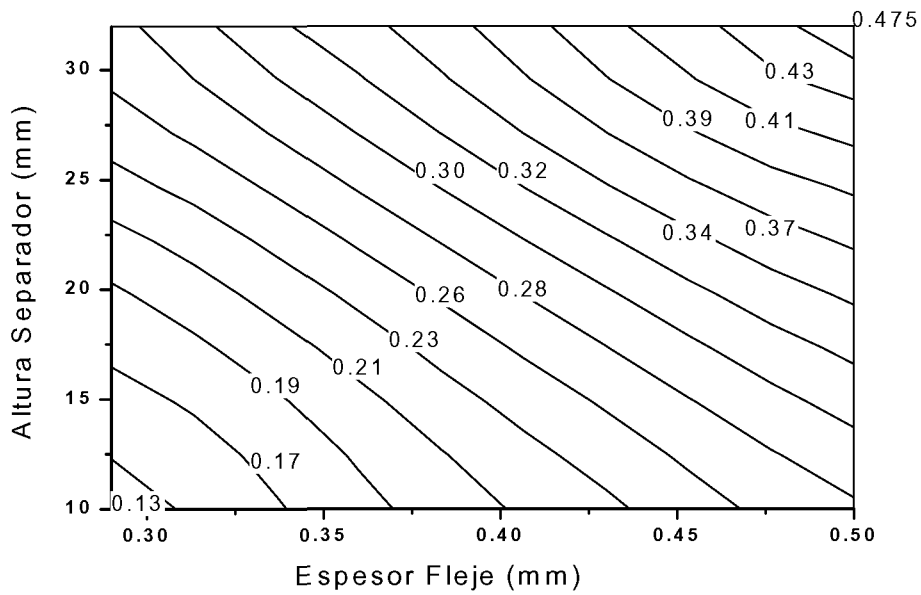


Figura 3. Mapeo de  $K_f$ , para el caso de 1 tetón elíptico (con  $Cd=.35$ ), con ventanas (Focup=70%).

## Apéndice de Tablas

<b>Parámetro</b>	<b>Embalse</b>	<b>Atucha I</b>
$v$ (m/s)	8.158	8.94
$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	819.67	840.34
$v$ (Kg/m s) *E4	1.01	1.06
$Ah$ (m <sup>2</sup> ) * E3	3.58	4.379
$\Delta p$ canal diseño (kPa)	758	537±50
$K_{total\ diseño}$	27.8	16
$K_{entrada\ (CARA)}$	0.30	0.27
$K_{salida\ (CARA)}$	0.44	0.37
$K_f$	14.76	9.79
$K_{grillas}$	0.81	0.62

Tabla I. Valores de diseño del CARA en ambas centrales, canal monotérmico.