

## ELEMENTO COMBUSTIBLE CARA PARA CENTRALES ATUCHA Y PLAN DE DESARROLLO DEL CARA

BRASNAROF D.O.<sup>a,d</sup>, BIANCHI D.<sup>b</sup>,GIORGIS M.A.<sup>c</sup>, ORLANDO O.<sup>c</sup>,  
MUÑOZ C.<sup>c</sup>, MARINO A.C.<sup>a,d</sup>, FLORIDO P.C.<sup>a,b</sup> TABOADA H.<sup>e</sup>

- (a) **Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)**
  - (b) **Centro Atómico Ezeiza, CNEA**
  - (c) **Centro Atómico Constituyentes, CNEA**
  - (d) **Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo,**
  - (e) **Unidad Aplicaciones Tecnológicas Nucleares, CNEA**
- Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo km 9,5 (8400) Bariloche, Argentina**

**Contacto:** [brasnaro@cab.cnea.gov.ar](mailto:brasnaro@cab.cnea.gov.ar)

### **Resumen**

En este trabajo se presenta el estado actual y el plan de desarrollo del elemento combustible CARA. Entre las principales actividades llevadas a cabo, se destacan el armado de un elemento combustible CARA con grillas soldadas por un nuevo proceso, y el armado e izado de un elemento combustible CARA en su configuración para Atucha empleando un sistema de ensamble externo.

### **Abstract**

This paper presents the current state and the development plan of the CARA fuel element. Main activities were carried out towards to welding of the end plates of the CARA fuel element by a new process, and the assembling and hanging of the CARA fuel element in its Atucha configuration, by using an external basket.

### **Introducción**

La Comisión Nacional de Energía Atómica está desarrollando dentro del Programa Ciclo de Combustible, un nuevo elemento combustible (EC) denominado CARA (Combustible Avanzado para Reactores Argentinos). El mismo puede ser empleado en reactores de agua pesada de canales horizontales (Embalse) y verticales (Atucha I y II). Para ello aprovecha la experiencia tecnológica nacional alcanzada a lo largo de los años por diferentes sectores de nuestro país en el área de los combustibles nucleares (CNEA, CONUAR y NA-SA).

Diseñado para mantener las condiciones operativas de los canales refrigerantes y la compatibilidad mecánica con las máquinas de recambio, emplea 52 barras combustibles de igual diámetro con una longitud del manojo cercana al metro [1,2,3]. Este diseño permite extender el quemado a valores cercanos a 15000 Mwd/TonU (empleando uranio levemente enriquecido) con buenos márgenes termo hidráulicos y buen comportamiento termo mecánico [2,4,5,6]. Las barras combustibles se mantienen en posición mediante el empleo de tres separadores elásticos y dos grillas estructurales en sus extremos. El manojo combustible se puede emplear directamente en la central de canales horizontales, y mediante un sistema adicional de ensamble se posibilita su uso en reactores PHWR de canales verticales.

En este trabajo se presenta el estado actual del desarrollo del EC CARA a partir de una reseña de las actividades efectuadas para el armado del prototipo CARA para Atucha,

una descripción de los ensayos de caracterización hidráulica a ser llevados a cabo y el plan para la finalización de la fase II del desarrollo.

### **Fabricación de EC prototipos**

Se desarrolló un nuevo método de soldadura entre la grilla y las barras combustibles debido al menor diámetro de barras del CARA con respecto al elemento combustible Embalse. La unión mecánica de la grilla con la barra se realiza mediante un tetón practicado en el tapón (ver figura 1) y orificios pasantes practicados en la grilla. Este método contempla la automatización del proceso de soldadura y que permite una simple inspección visual [7,8].

El armado del EC CARA con grillas soldadas empleando este nuevo concepto, se realizó en la Unidad de Combustibles del Centro Atómico Ezeiza [9] a partir del desarrollo de una estación prototipo para la soldadura del manojó (ver figura 2). Este sistema emplea el proceso GTAW, un subsistema de ubicación de la torcha de soldadura que, conjuntamente con una máscara disipadora, realiza la soldadura en el interior de una cámara en atmósfera inerte. Una vez completada la soldadura de uno de los extremos se gira el conjunto para repetir la soldadura en el otro extremo.

El desarrollo de esta estación de soldadura tuvo por objetivo conocer y evaluar las dificultades características del manejo del conjunto de barras combustibles. Para ello se determinaron las secuencias de armado del conjunto de barras, montaje de máscaras de posicionamiento, disipadores y cabezal de soldadura.

Para realizar las pruebas en la etapa de desarrollo, se emplearon barras combustibles fabricadas en su totalidad en instalaciones de PPF AE. Los tapones se soldaron a las vainas por medio de un cordón de soldadura GTAW. Para la puesta a punto del proceso, se armó un prototipo de ensayos de soldadura (ver figura 3) previo al ensamblado y soldadura completa de un manojó CARA (ver figura 4).

Por otra parte se fabricaron en el CAB, prototipos de elementos combustibles con grillas desmontables (ver figura 5) a partir de vainas fabricadas en PPF AE, a las cuales se soldaron tapones con orificios roscados. Estos elementos combustibles (ver figura 6) permiten la evaluación de comportamiento hidráulico y análisis vibratorio de diferentes diseños de grillas y separadores para diferentes ensayos de caracterización, en la fase de desarrollo del proceso de soldadura y separadores.

Diferentes alternativas de diseños de grillas (ver figura 7), en lo referente a dimensiones y formas del tetón, y procesos de soldadura (GTAW-PAW-Laser) están siendo analizadas. Para la caracterización hidráulica se han llevado a cabo una serie de ensayos en el circuito horizontal del Circuito de Baja Presión (CBP) del Centro Atómico Constituyentes (CAC), con dos prototipos de elementos combustibles con grillas desmontables. Dichos ensayos consistieron en la medición de caídas de presión en la interfaz entre los dos elementos combustibles en función del caudal (de 20 a 40 kg/s), para tres diferentes diseños de grillas. Para ampliar los resultados en rango mayor del número de Reynolds se llevaron a cabo ensayos a dos temperaturas diferentes (55°C y 70 °C).

La pérdida de carga generada por las grillas enfrentadas entre dos ECs tiene una dependencia angular, donde se distinguen tres ángulos, el correspondiente al máximo, al mínimo y aquel que tiene el valor promedio. Experimentalmente se ha corroborado la

dependencia predicha por modelos para las grillas clásicas similares a las del EC Embalse, como se observa en la figura 8 [10]. El mínimo se observa para 0°, el máximo para 60° y el promedio en 90°. Esta serie de ensayos permiten determinar la incidencia de los diferentes diseños de grilla en la pérdida de carga hidráulica en las tres posiciones azimutales relativas descritas (0, 60 y 90 grados).

El diseño de la grilla y el proceso de soldadura con las barras combustibles se definen a partir de los resultados de los ensayos de caracterización hidráulica de las grillas y de los resultados provenientes de los ensayos mecánicos de tracción y torsión similares a los realizados en el estudio de factibilidad de los procesos en desarrollo.

Como paso siguiente se evaluará el comportamiento hidráulico en el circuito de baja presión del ensamble CARA para Atucha. Para ello se han montado cinco elementos combustibles CARA en el interior del prototipo de sistema de ensamble tipo 1. A partir de los resultados hidráulicos y de la experiencia de montaje se realizará una realimentación del diseño del sistema de ensamble.

### **Prototipo EC CARA para Atucha**

Para el armado del prototipo de elemento combustible CARA Atucha se empleó el sistema de ensamble tipo 1 [11] (ver figura 9). Este sistema aprovecha la diferencia de diámetros entre los canales refrigerantes de las diferentes centrales (5 mm mayor en Atucha I que Embalse) para contener cinco EC CARA mediante un canasto compuesto por tres flejes a 120 grados y 15 anillos de unión. La posición dentro del canal refrigerante se fija mediante zapatas elásticas montadas en los flejes.

El montaje de los 5 elementos combustibles en el sistema de ensamble, se realizó en una mesa en posición horizontal. El deslizamiento de los mismos en forma manual no presentó ninguna dificultad, lo que permitió verificar la compatibilidad dimensional y mecánica. En el extremo de carga se colocó un resorte y el varillaje de acople, que permite mantener en posición los elementos combustibles durante los ensayos hidráulicos en el canal vertical del circuito de baja presión del CAC. (ver figura 10).

Para caracterizar hidráulicamente el EC CARA Atucha, empleando las tomas de presión del canal de ensayos tipo Atucha del CBP, se fabricó un varillaje especial mediante la modificación de componentes del varillaje del combustible Atucha I. El prototipo de EC CARA para Atucha puede observarse en la figura 11.

La verificación de la posición (figura 12), maniobras de carga, traslado e izado del prototipo CARA Atucha, han sido realizadas en forma satisfactoria en el circuito de ensayos CBP del CAC (ver figura 13 y 14).

Los ensayos de caracterización hidráulica tienen en cuenta un rango de caudales (de 20 a 40 Kg/s) y dos temperaturas diferentes (55°C y 70 °C). A partir de los resultados hidráulicos y de la experiencia de montaje se realizará una realimentación del diseño del sistema de ensamble.

### **Plan de desarrollo**

Se ha comenzado con el desarrollo de diferentes separadores con insertos elásticos de Inconel para su empleo en combustibles ULE. Es necesario ensayar las diversas opciones posibles de apoyos elásticos, tales como cargas, materiales, espesores y formas geométricas de manera de no incrementar innecesariamente las absorciones parásitas en

el combustible, como se produciría con la copia directa de los parámetros del LWR, teniendo en cuenta que el daño por irradiación es significativamente menor que en los combustibles LWR.

Una vez consolidado el diseño luego de una realimentación general, es necesario realizar una revisión independiente de diseño en conjunto con la NA-SA cuyo resultado sean las pautas a seguir para el licenciamiento.

Un aspecto crítico del diseño de la barra combustible CARA es su comportamiento termomecánico. Una vaina de un EC CANDU se encuentra lubricada internamente con grafito (o Canlub®) con el fin de reducir el PCI y el PCMI. En el CARA la reducción del diámetro de la BC produce una disminución de la potencia lineal que, a su vez implica una reducción de la temperatura de pastilla y de las deformaciones y tensiones [5]. Esto determina que en el CARA no sea necesario dicho recubrimiento. Este punto debe ser verificado experimentalmente y fue la base central de la propuesta de irradiación de barras combustibles [12]. Analizando las capacidades instaladas en Argentina y las circunstancias de fin de vida de la central Atucha I y extensión de vida de la central Embalse, se están evaluando alternativas para su irradiación compatible con los plazos del proyecto CARA.

Para la finalización de la segunda fase se realizarán los ensayos estructurales e hidráulicos de pérdida de carga del conjunto combustible para el canal Atucha, la implementación de método de soldadura de grillas, el desarrollo mecánico del separador teniendo en cuenta ensayos de comportamiento vibratorio del elemento combustible y del sistema de ensamble, el desgaste, impacto, verificación de tubo acodado y realimentaciones de los ensayos de durabilidad en circuito de alta presión e irradiación de barras combustibles. Habiendo definido los principales parámetros y componentes del elemento combustible se llevará a cabo un cálculo neutrónico tridimensional de los núcleos de las centrales para analizar la gestión de transición y recambio.

## **Conclusiones**

Se ha implementado con éxito el nuevo proceso de soldadura de unión entre la grilla y las barras combustibles, pasando de esta manera de los primeros ensayos con tapones a un EC CARA completo con ambas grillas soldadas. Para ello se desarrolló una estación de soldadura con el método GTAW. La misma está compuesta por una cámara para atmósfera inerte con cabezales, máscaras disipadoras, una torcha de soldadura solidaria al sistema de posicionamiento y un sistema de giro vertical para soldar completamente un extremo por vez. En paralelo están siendo evaluados diferentes diseños de grillas y procesos de soldadura desde el punto de vista hidráulico y resistencia mecánica.

Mediante el empleo de 5 EC CARA se ensambló completamente el prototipo de EC CARA para Atucha. Se comprobó la compatibilidad dimensional y mecánica con el sistema de ensamble. El mismo no presentó dificultad alguna para la carga en forma horizontal y posterior izado vertical.

Se ha definido el plan de ensayos de caracterización hidráulica del EC CARA para Atucha en el circuito vertical de ensayos de baja presión del CAC, verificándose además la posición de las tomas de presión a ser empleadas.

Previo a la realimentación general y revisión crítica de diseño, se llevarán a cabo los ensayos estructurales e hidráulicos de pérdida de carga del conjunto combustible para el

canal Atucha, la implementación del método de soldadura de grillas y el desarrollo mecánico del separador teniendo en cuenta ensayos de comportamiento vibratorio del elemento combustible.

### **Agradecimientos**

Los autores quieren agradecer la colaboración brindada por las siguientes personas:

CAB: J.C. Eggenschwiller, F. Tutzauer, F. Szegedy, C. Dovidio, M. Rivarola.

CAC: M. Miceli, M. Sacchi, J. Fiori, V. Durand, A. Martin Ghiselli, P. Yedros

CAE: Grupo PFFAE , Grupo LMFAE, L. Dell Occhio,

SEDE: M. Ghio,

CONUAR: R. Lamuedra, F. Reale, N. Rubio, A. Perez

### **Referencias**

1. FLORIDO P.C., CIRIMELLO R.O., BERGALLO J.E., MARINO A.C., DELMASTRO D.F., BRASNAROF D.O., GONZÁLEZ H., "Factibilidad de un combustible avanzado para Atucha y Embalse (CARA)", XXIV Reunión Anual AATN (1997).
2. FLORIDO P.C., CIRIMELLO R.O., BERGALLO J.E., MARINO A.C., DELMASTRO D.F., BRASNAROF D.O., GONZÁLEZ H., "CARA, new concept of advanced fuel element for HWR", IAEA Technical Committee Meeting on "Fuel Cycle Options for Light Water Reactors and Heavy Waters Reactors", Victoria, Canada, 28 Apr-1<sup>st</sup> may, 1998. IAEA TECDOC 1122 Vienna Nov 1999, pp 129-140.
3. FLORIDO P.C., CIRIMELLO R.O., BERGALLO J.E., MARINO A.C., DELMASTRO D.F., BRASNAROF D.O., GONZALEZ J.H., JUANICÓ L.E., "CARA fuel bundle: A new concept for HWR present situation", 6<sup>th</sup> International Conference on CANDU Fuel Ontario, Canada Sept 26<sup>th</sup> – 30<sup>th</sup>, 1999 pp 258-267.
4. MARINO A.C. "Probabilistic assessment for nuclear fuel rods behavior", 6<sup>th</sup> International Conference on CANDU Fuel, 1999 September 26-30, Niagara Falls, Ontario, Canada, ISBN 0-919784-63-1.
5. MARINO A.C., "Probabilistic Safety Criteria on High Burnup HWR Fuels", IAEA's Technical Committee Meeting on "Technical and Economic Limits to Fuel Burnup Extension", November 15-19, 1999, Bariloche, Argentina. IAEA-TECDOC-1299, ISSN 92-0-112802-9, ISSN 1011-4289.
6. DAVERIO H., JUANICÓ L., DELMASTRO, D.F., "COBRA Code assessment for dry out of advanced CANDU fuels", 12<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Engineering ICONE 12, April 25-29, 2004, Arlington, Virginia, USA.
7. BRASNAROF D.O., TROIANI H.E., MARINO A.C., PELEGRINA J., RIQUELME P., MUÑOZ C., BANCHICK D., "Diseño y caracterización de la soldadura alternativa de unión entre barras combustibles nucleares y grillas estructurales de Zircaloy", Congreso Binacional SAM/CONAMET 2005 – MEMAT 2005, Mar del Plata, 18-21 Octubre de 2005.
8. BANCHICK D., MUÑOZ C., BIANCHI D., SABIO CALVET M., SAMPA R., BRASNAROF D., MARINO A. PELEGRINA J, RIQUELME P., "Desarrollo de la soldadura en uniones entre tapones y grillas para combustibles nucleares de Zircaloy", Congreso Binacional SAM/CONAMET 2005 – MEMAT 2005, Mar del Plata, 18-21 Octubre de 2005.
9. BIANCHI D., ORLANDO O., Soldaduras de Grillas en el Combustible CARA: Avances en el Proceso, Reunión de Primavera 2006 del Programa Ciclo Combustible, Centro Atomico Constituyentes, 25 al 27 septiembre 2006.
10. BRASNAROF D.O., BERGALLO J.E. MARINO A.C. FLORIDO P.C. GIORGIS M., MARKIEWICZ M., JUANICO L.E. TROIANI H.E. DAVERIO H., GONZALEZ H. MARTIN GHISELLI A., "CARA fuel assembly development", IAEA Technical Committee Meeting on Fuel Assembly structural Behaviour, Nov. 22-26, 2004, Cadarache, France.
11. BRASNAROF D.O., TOURN R., BERGALLO J., "Sistemas de alojamiento para cinco combustibles CARA en Atucha I", XXVII Reunión Anual AATN Buenos Aires del 22 al 24 de Noviembre de 2000.
12. MARINO A.C., BERGALLO J.E., BARRERA F., "Irradiación experimental de barras combustibles CARA en el Reactor OECD Halden", paper 68, XXVII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear (AATN 2000), 22 al 24 de Noviembre de 2000, Buenos Aires, Argentina

## Figuras



Figura 1: Prototipo de soldadura de grilla para el EC CARA.



Figura 2: Estación de soldadura y cabezales prototipo.



Figura 3: Prototipo de soldadura de ensamblaje.

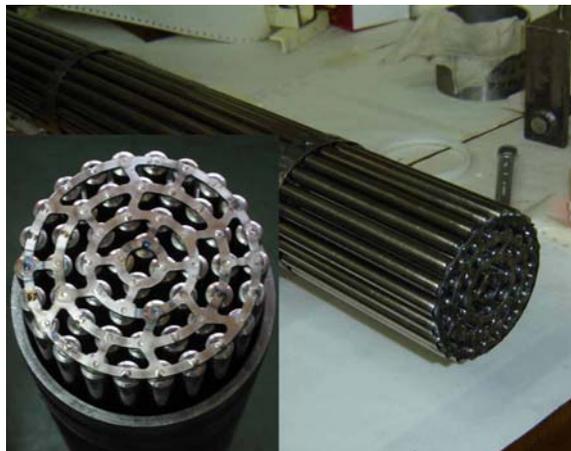


Figura 4: EC CARA con grillas soldadas.

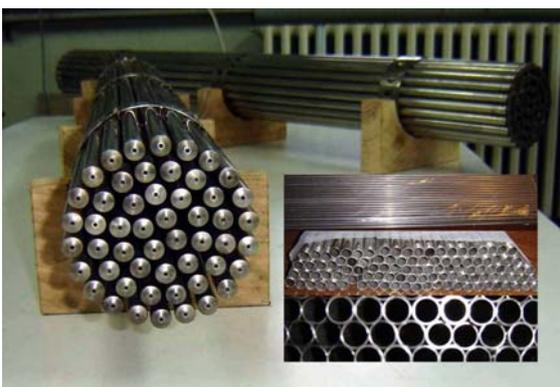


Figura 5: Vista del extremo del EC CARA sin grilla desmontables.



Figura 6: EC CARA con grillas.

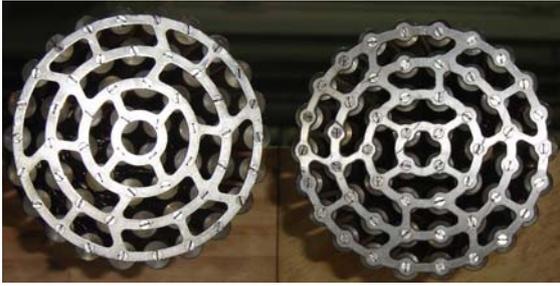


Figura 7: Grillas de diseño similar al EC Embalse y con sección de refuerzo.

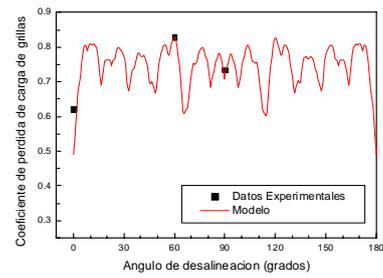


Figura 8: Dependencia angular del coeficiente de pérdida de grillas clásicas.



Figura 9: Carga del Sistema de ensamble CARA para Atucha.



Figura 10: Varillaje, extremo de sujeción y resorte del sistema de ensamble CARA.



Figura 11: Prototipo de EC CARA para Atucha en posición horizontal.



Figura 12: EC CARA para Atucha en posición - verificación de tomas de presión.



Figura 13: Vista inferior del EC CARA para Atucha en el CBP del CAC.



Figura 14: Vista superior del EC CARA para Atucha en el CBP del CAC.