

EL NUCLEO DEL REACTOR RP-10

Modesto Montoya, Raúl Carpio y Juan Avila

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Apt. 1687, Lima, Perú

Recibido 7 Julio, 1988

Abstract

Some characteristics of the RP-10 reactor core at the Peruvian Nuclear Research Centre is presented.

Resumen

Se presenta algunas características del núcleo del reactor RP-10 del Centro de Investigaciones Nucleares del Perú.

Según el convenio realizado en 1978 entre el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA), se estableció que la CNEA construirá un reactor nuclear de investigación con una posición de irradiación central que alcance un flujo térmico de 1.4×10^{14} n/cm² s, a una potencia térmica de 10 Mw.

EL NUCLEO NUKEM

En 1980, la CNEA declara que no podrá suministrar los elementos combustibles del reactor RP-10. El IPEN confía entonces la construcción de dichos elementos a la empresa NUKEM. Además, NUKEM con INTERATOM elaboraron un informe de seguridad con estudios neutrónicos y termodrúalicos.

El estudio neutrónico incluye un estudio de gestión de combustible.

La gestión de combustible de la NUKEM empieza con un núcleo de transición cuya configuración es presentada en la Fig. 1. Esta configuración, que funciona a 5.5 Mw du-

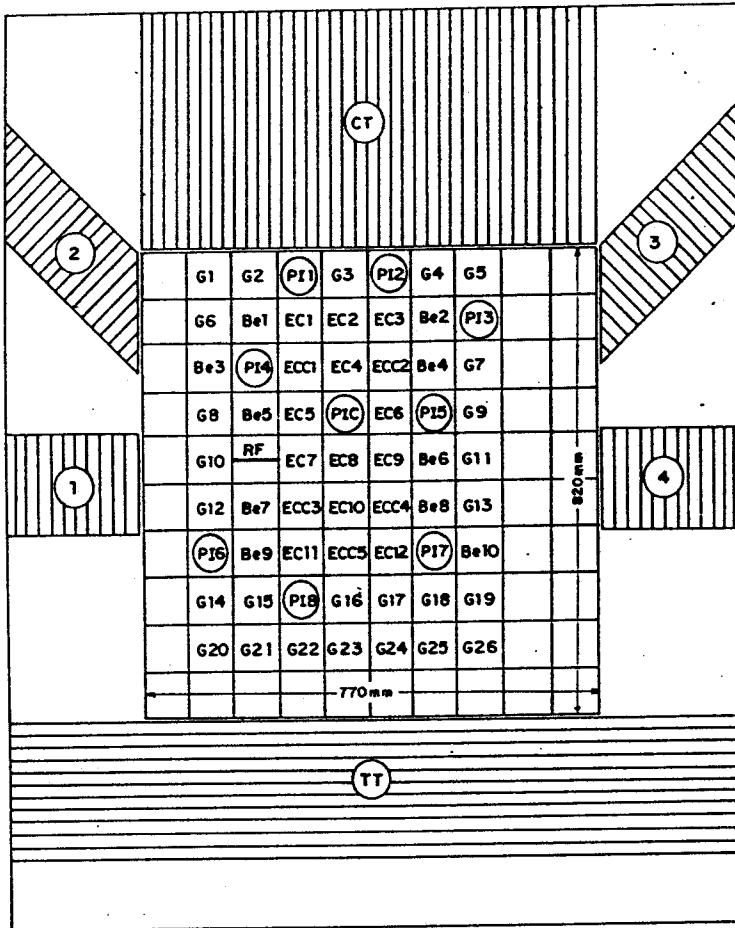


Fig. 1. Configuración del primer núcleo de la gestión de combustible del reactor RP-10, propuesta por la empresa NUKEM en 1978. Este núcleo funciona a 5.5 Mw. Se tiene 12 elementos de combustible normales (EC_i , $i = 1, 12$), 5 elementos de combustible de control (ECC_i , $i = 1, 5$), 26 elementos reflectores de grafito (G_i , $i = 1, 26$), 10 reflectores de berilio (Be_i , $i = 1, 10$), una barra de control fino (RF), cuya placa de control fino es de acero inoxidable. Por otro lado se tiene una posición de irradiación en el centro del reactor (PIC) y 8 posición de irradiación entre los reflectores (PI_i , $i = 1, 8$). Asimismo, se cuenta con 4 tubos radiales de irradiación (TR), uno tubo tangencial (TT) con dos salidas, y una columna térmica (CT).

rante 97 días, consta de 12 elementos combustible normales ($EC_i, i = 1, 12$), 5 elementos combustible de control ($ECC_i, i = 1, 5$), significando 4.41 kg de U-235. Asimismo, esta configuración presenta 26 elementos reflectores de grafito ($Gi, i = 1, 26$) y 10 elementos reflectores de berilio ($Bei, i = 1, 10$), 1 posición de irradiación en el centro (PIC) y 8 posiciones de irradiación en el reflector ($PLi, i = 1, 8$).

Para el segundo núcleo de transición se insertan otros 4 elementos combustible frescos, obteniéndose la configuración de la Fig. 2. Este núcleo funciona a la potencia de 7.1 Mw durante 59 días.

Después del núcleo anterior, hay 4 núcleos adicionales, antes de llegar al núcleo típico de trabajo, mostrado en la Fig. 3. En dicha configuración se tiene 24 elementos combustible normales ($EC_i, i = 1, 24$), 5 elementos combustible de control ($ECC_i, i = 1, 5$), una barra de control fino (RF), 32 reflectores de grafito ($Gi, i = 1, 32$), 10 reflectores de berilio ($Bei, i = 1, 10$), 1 posición de irradiación en el centro de núcleo (PIC) y 8 posiciones de irradiación en los reflectores ($PLi, i = 1, 8$).

Cada elemento combustible normal tiene 16 placas de combustible de U_3O_8 -Al enriquecido al 20 o/o en U-235, mientras que un elemento combustible de control tiene 12 de esas placas. Cada elemento combustible normal contiene 280 g de U-235, mientras que el elemento combustible de control tiene 210 gramos del mismo. En el núcleo típico de trabajo habrá menos de 7.77 kg. de U-235, debido a que en los núcleos transitorios ya se han quemado combustible. Los elementos combustible de control tienen 2 placas absorbentes de neutrones (In, Ag, Cd).

La gestión de combustible propuesta por NUKEM correspondía a un exceso de reactividad de 8500 pcm (partes por cien mil), implicando un ciclo de recambio de combustible de 60 días de operación a 10 Mw y un quemado de extracción de 55 o/o. Cada recambio concierne 5 elementos combustible (4 normales y uno de control).

El reactor RP-10 cuenta con 4 tubos radiales de irradiación, un tubo tangencial (con dos salidas) de irradiación y una columna térmica. En la fig. 3 se presenta los flujos de neutrones térmicos en algunos puntos en el núcleo cercanos a los tubos de irradiación y a la columna térmica, correspondientes al núcleo típico, calculados por la NUKEM. En las entradas a los tubos 1 y 4 se tiene un flujo de neutrones térmicos de 4.8×10^{13} n/cm² s y en las posiciones del núcleo cercanas a los tubos 2 y 3 habrán flujos de $3. \times 10^{13}$ n/cm² s y 2.4×10^{13} n/cm²s, respectivamente. El flujo en el núcleo cercano al tubo tangencial 0.3×10^{14} n/cm² s y en la columna térmica se tiene un flujo de 10^7 n/cm² s.

EL NUCLEO CNEA

A principios de 1987, la CNEA propone una gestión de combustible con recambio de 1 elemento combustible por ciclo y, además, 1 elemento combustible de control cada 4 ciclos. (Los ciclos de recambio duran entre 15 a 16 días. El primer núcleo de CNEA funciona primero a 7 Mw, para luego pasar 10 Mw. En setiembre del mismo año, la CNEA introduce modificaciones en las configuraciones de los núcleos de arranque transitorios y de trabajo sin cambios en la filosofía de la gestión ya propuesta que de acuerdo a los estudios de la CNEA implica el mejor uso de los elementos combustible que la

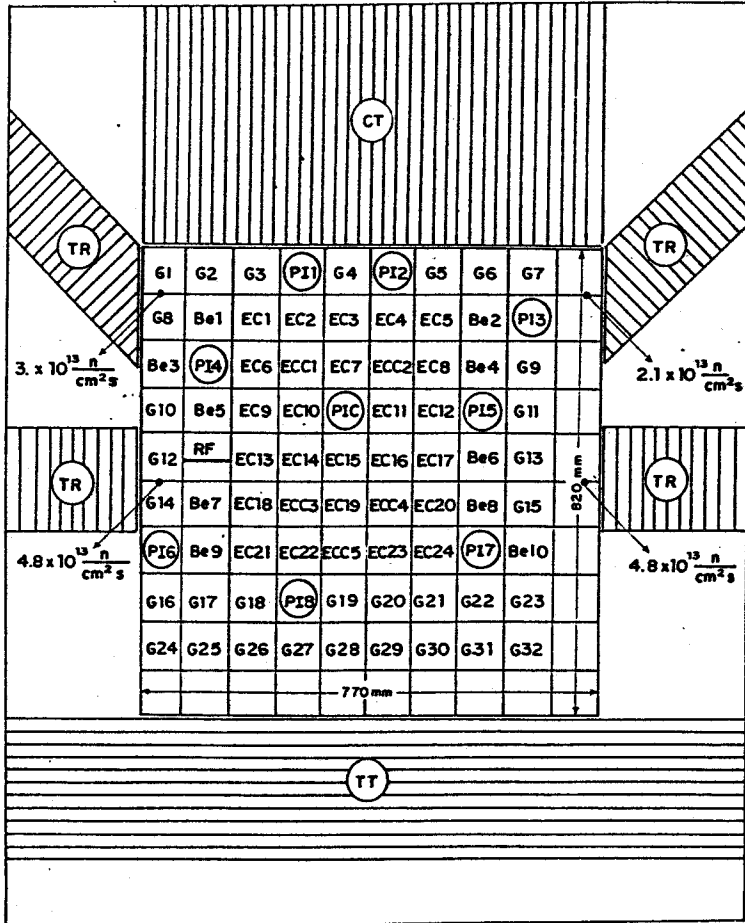


Fig. 3. Configuración del núcleo normal de trabajo a 10 Mw del reactor RP-10, propuesta por la empresa NUKEM en 1978. Se tiene 24 elementos de combustible normales (EC_i , $i = 1, 24$), 5 elementos de combustible de control (ECC_i , $i = 1, 5$), 32 elementos reflectores de grafito (G_i , $i = 1, 32$), 10 reflectores de berilio (Be_i , $i = 1, 10$), una barra de control fino (RF), cuya placa de control fino es de acero inoxidable. Por otro lado se tiene una posición de irradiación en el centro del reactor (PIC) y 8 posiciones de irradiación entre los reflectores (PI_i , $i = 1, 8$). Asimismo, se cuenta con 4 tubos radiales de irradiación (TR), un tubo tangencial (TT) con dos salidas, y una columna térmica (CT).

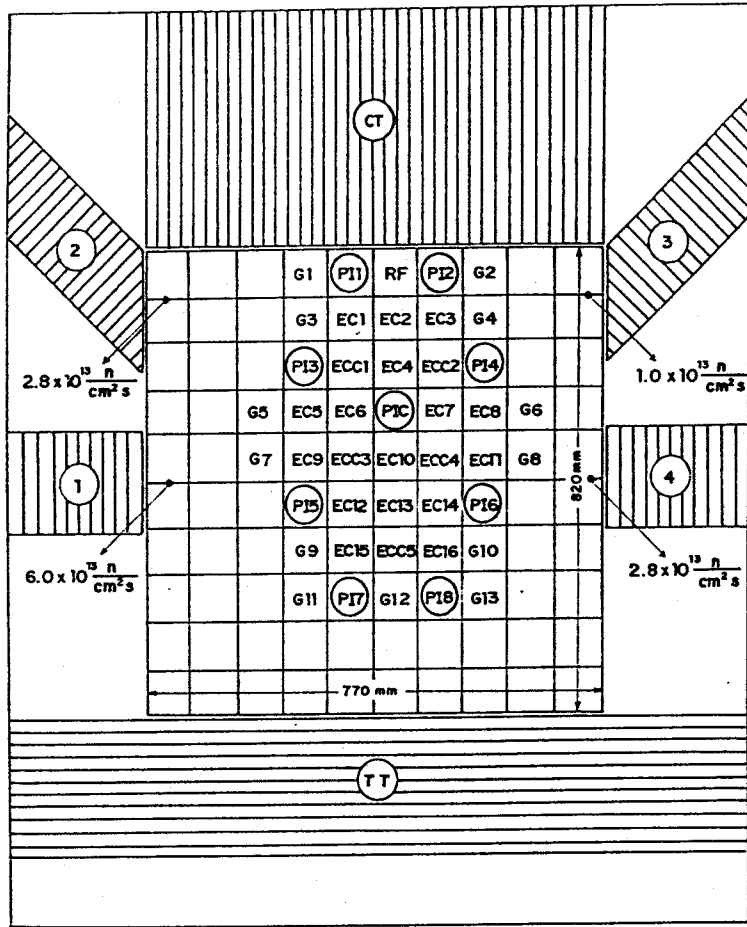


Fig. 4. Configuración del núcleo de arranque a 7 Mw del reactor RP - 10, propuesta por la CNEA en 1982. Se tiene 16 elementos de combustible normales (EC_i , $i = 1,16$), 5 elementos de combustible de control (ECC_i , $i = 1,5$), 13 elementos reflectores de grafito (G_i , $i = 1,13$), una barra de control fino (RF), cuya placa de control fino es de acero inoxidable. Por otro lado se tiene una posición de irradiación en el centro del reactor (PIC) y 8 posiciones de irradiación entre los reflectores (PI_i , $i = 1,8$). Asimismo, se cuenta con 4 tubos radiales de irradiación (TR), un tubo tangencial (TT) con dos salidas, y una columna térmica (CT). Se indican los valores de los flujos de neutrones térmicos en algunos puntos cercanos a los tubos de irradiación y de la columna térmica. En PIC se tiene un flujo térmico de $1.48 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$ y los flujos térmicos en las posiciones de irradiación PI_i , donde $i = 1,8$, serán 3.77, 3.77, 6.63, 7.10, 7.10, 4.30, 4.30, en unidades de $10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$, respectivamente.

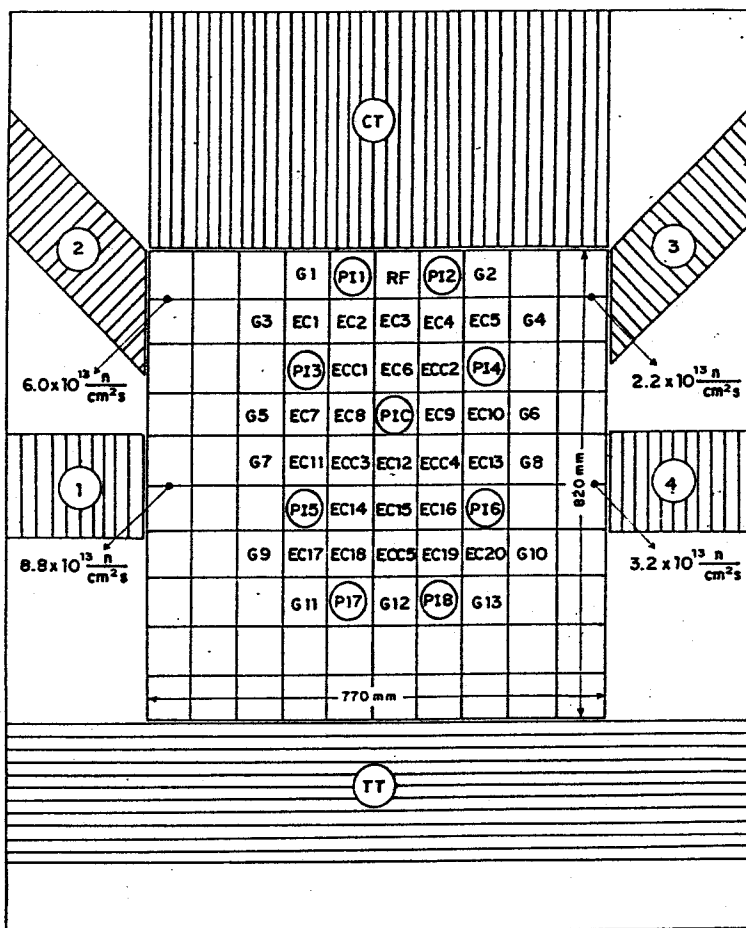


Fig. 5. Configuración del núcleo de transición a 10 Mw del reactor RP - 10, propuesta por la CNEA en 1978. Se tiene 20 elementos de combustible normales (EC_i , $i = 1, 20$), 5 elementos de combustible de control (ECC_i , $i = 1, 5$), 13 elementos reflectores de grafito (G_i , $i = 1, 13$), una barra de control fino (RF), cuya placa de control fino es de acero inoxidable. Por otro lado se tiene una posición de irradiación en el centro del reactor (PIC) y 8 posiciones de irradiación entre los reflectores (PI_i , $i = 1, 8$). Asimismo se cuenta con 4 tubos radiales de irradiación (TR), un tubo tangencial (TT) con dos salidas, y una columna térmica (CT). Se indican los valores de los flujos de neutrones térmicos en algunos puntos cercanos a los tubos de irradiación y de la columna térmica.

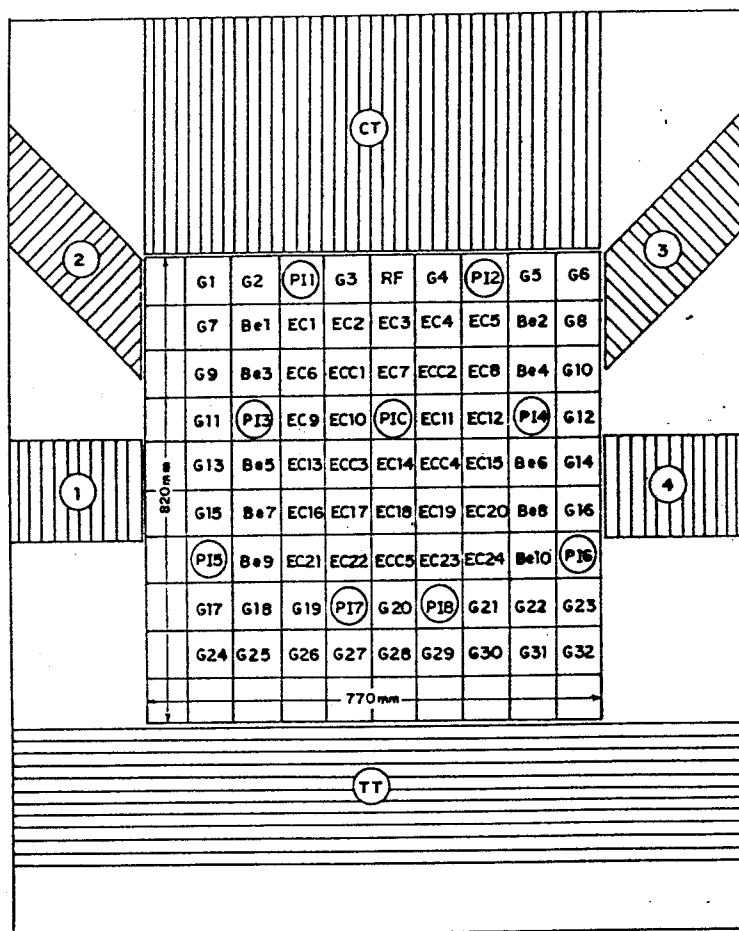


Fig. 6. Configuración del núcleo típico de trabajo a 10 Mw del reactor RP - 10, propuesta por la CNEA en 1978. Se tiene 24 elementos de combustible normales (EC_i , $i = 1, 24$) 5 elementos de combustible de control (ECC_i , $i = 1, 5$), 10 elementos reflectores de grafito (G_i , $i = 1, 10$), una barra de control fino (RF), cuya placa de control fino es de acero inoxidable. Por otro lado se tiene una posición de irradiación en el centro del reactor (PIC) y 8 posiciones de irradiación entre los reflectores (PI_i , $i = 1, 8$). Asimismo, se cuenta con 4 tubos radiales de irradiación (TR), un tubo tangencial (TT) con dos salidas, y una columna térmica (CT).

gestión de 4 o 5 elementos combustible.

La gestión de combustible propiamente dicha comienza con el núcleo de arranque. Este núcleo de arranque (Fig. 4) está conformado por 16 elementos combustible normales (EC_i, $i = 1, 16$), 5 elementos combustible de control (ECC_i, $i = 1, 5$) —lo que hace que en el núcleo se tenga 5.53 kg de U-235 — una barra de control fino (RF), 13 elementos de grafito (G_i, $i = 1, 13$), una posición central de irradiación (PIC) y 8 posiciones de irradiación en los reflectores.

La configuración anterior ha sido adoptada en forma definitiva desde el punto de vista de cálculo, sin embargo puede ser modificada si los resultados experimentales no concuerdan con los resultados del cálculo. El máximo exceso de reactividad de este núcleo de arranque es de aproximadamente 6300 pcm y por razones de seguridad, se decidió operar el mismo a una potencia de 7 Mw. Para esta potencia los flujos térmicos promediados espacialmente en las zonas cercanas a los conductos de irradiación y en las posiciones de irradiación se muestran en la Fig. 4.

En principio, este núcleo de arranque se irradiará durante 30 días a 7 Mw, pasándose luego al segundo núcleo de transición de la gestión de combustible propuesta por la CNEA. A partir del segundo núcleo, la potencia de operación podrá ser de 10 Mw.

Esta gestión de combustible involucra el armado de 14 núcleos de transición hasta llegar al núcleo de equilibrio (núcleo típico de trabajo). Cada uno de estos núcleos tendrá un determinado tiempo de irradiación. El tiempo necesario para alcanzar el núcleo de equilibrio desde que se inicia el núcleo de arranque es de 280 días a plena potencia.

Alcanzado el núcleo de equilibrio del RP-10, se estima un período de recambio de 15 días para un elemento combustible normal y 60 días para un elemento combustible de control. Esto implica una frecuencia de recambio de 24.3 EC y 6.1 ECC por año a plena potencia (10 Mw), obteniéndose quemados de extracción de 53.3 ± 2.3 o/o U-235 para el EC y $56. \pm 2.4$ o/o U-235 para el ECC.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a M. Higa por la lectura crítica de esta nota.

El núcleo del reactor RP-10 por Modesto Montoya, Raúl Carpio,
Juan Avila se distribuye bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.