

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1980

04.80.14

NT. 5/80.

Comisión Nacional de Energía Atómica

Dependiente de la Presidencia de la Nación

DATOS TECNICOS DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE,  
Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL REACTOR  
Y DE LA CENTRAL NUCLEAR EN EMBALSE

LLORCA, S. ; OLEZZA, R.

Gerencia de Desarrollo

Buenos Aires, 1980

I - INTRODUCCION

II - PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL.

A) Sistema Principal De Transferencia Calórica.

1. Sistema de transporte de calor.
2. Sistema de presurización y control de volumen.
3. Sistema de refrigeración en paradas.
4. Sistema de colección de  $D_2O$ , del sistema de transporte de calor.
5. Circuito de Nitrógeno.
6. Sistema de recuperación, transparencia y almacenaje de  $D_2O$ .

B) Sistemas Químicos Y Tratamiento De Residuos Radioactivos.

1. Sistema de transferencia de resinas.
2. Sistema de de-deuteración y deuteración de los sistemas correspondientes al primario de transporte de calor y máquina de recambio de elementos.
3. Sistema de purificación del sistema primario de transporte de calor.
4. Sistema de purificación del moderador.
5. Sistema de refrigeración y purificación de las piletas de elementos combustibles consumidos.
6. Sistemas de muestreo.
7. Sistema de drenajes activos.
8. Sistema de manejo de residuos líquidos radioactivos.
9. Sistema de manejo de resinas agotadas.
10. Sistema de adición de Hidrógeno al sistema primario de transporte de calor.

C) Sistemas De Procesamiento De Agua Pesada.

1. Sistema de suministro de  $D_2O$ .
2. Sistema de limpieza de  $D_2O$ .

D) Sistemas de Seguridad.

E) Sistemas Auxiliares, Comunes y De Servicio.

1. Sistema líquido de control zonal,
2. Sistema de gas anular.
3. Sistema colector de  $H_2O$ .
4. Sistema de refrigeración de blindajes.
5. Sistema de agua de procesos de baja presión del edificio del reactor.
6. Sistema de refrigeración del edificio del reactor.
7. Sistemas de suministro de aire al edificio del reactor.

### III - EL REACTOR.

- A) Características Generales.
- B) El Refrigerante.
- C) Canal De Refrigeración.
- D) Regulación De Potencia.
- E) Instrumentación Interna Del Núcleo.
- F) Moderador.

- 1. Circuito principal del moderador.
- 2. Sistema del gas de cobertura.
- 3. Sistema de colección de agua (D<sub>2</sub>O) del moderador.
- 4. Sistema de venenos líquidos.

### IV - EL COMBUSTIBLE.

- A) El Elemento Combustible.

- 1. Características generales.
- 2. Propiedades físicas y químicas del Zircaloy.
- 3. La barra combustible:
  - 3.1. datos de diseño.
  - 3.2. detalles de construcción.
  - 3.3. componentes de Zry-4.
  - 3.4. combustible.
  - 3.5. recubrimiento de grafito.

### V - GESTION DEL COMBUSTIBLE.

### VI - BIBLIOGRAFIA.

## SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

°  
Å: Angstrom.  
cal/cm°C: Caloría por centímetro. grado centígrado. segundo.  
cal/°C.gr: Caloría por grado centígrado. gramo.  
ca: Circa.  
dm<sup>3</sup>: Decímetro cúbico.  
dpp: Día plena potencia.  
E.C.: Elemento Combustible.  
°C: grado centígrado.  
°C/min: grado centígrado por minuto.  
K: Kelvin.  
Kg/cm<sup>2</sup>: Kilogramo(fuerza) por centímetro cuadrado.  
Kg/mm<sup>2</sup>: Kilogramo (fuerza) por milímetro cuadrado.  
Kg: Kilogramo (masa).  
Kg/s: Kilogramo (masa) por segundo.  
KPa: Kilo Pascal.  
kW, KW: Kilowatt.  
KW/m: Kilowatt por metro.  
psia: Libra (fuerza) por pulgada cuadrada.  
Lbs/hr: Libra(masa) por hora.  
l/s, l/seg: Litro por segundo.  
MPa: Mega Pascal.  
MW: Megawatt.  
MWh/kgU: Megawatt hora por kilogramo de Uranio.  
MW(th): Megawatt térmico.  
m: Metro.  
m<sup>3</sup>: Metro cúbico.  
m/s: Metro por segundo.  
ug: microgramo.  
um: micrómetro.  
mm<sup>2</sup>: milímetro cuadrado.  
mg: Miligramo.  
mm: milímetro.  
min: Minuto.  
Ω/cm: ohm por centímetro.

ppm: Partes por millón.

% P/P: Porcentaje en peso.

seg<sup>-1</sup>, 1/seg: segundo a la menos uno

ton: Tonelada.

Mg/m<sup>3</sup>: Tonelada por metro cúbico.

## I. INTRODUCCION

Este trabajo se encaró con la idea de suministrar una ayuda a quienes se encuentran vinculados al desarrollo de la tecnología del elemento combustible tipo CANDU.

Se procesó y reunió información relativa al diseño, a la fabricación y al comportamiento de este tipo de elemento, así como a las características y propiedades de sus materiales y componentes, con el propósito de contar con material de consulta que permita acceder en forma rápida y concisa a detalles y aspectos del combustible, a los cuales es necesario recurrir con frecuencia.

Se estimó que se lograría mejor el objetivo, si se incluía, también, información sobre las principales características de la Central Nuclear Embalse, de su reactor, y de las condiciones de operación de este último.

Ninguno de los temas fue encarado con intención de agotarlo, sino con la de posibilitar una aproximación a los mismos, razón por la cual se puso especial cuidado en señalar el material utilizado como referencia.

## II. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL

### A) Sistema Principal de Transferencia Calórica

#### 1. Sistema de transporte de calor.(1)

-Función: conectar los colectores de salida del refrigerante con los generadores de vapor. Se realiza por medio de dos tuberías que tienen 18 pulgadas en el primer tramo, incrementándose a 20 pulgadas en la porción de aguas abajo.

-Temperatura del D<sub>2</sub>O a la salida del generador de vapor a plena potencia: 267°C.

-Generadores de vapor:

- . cantidad: 4, con precalentadores integrales,
- . compuestos por un manojó de tubos en U invertida, dentro de una carcasa,
- . estructura del lado primario: calota.

#### 2. Sistema de presurización y control de volumen.(1)

-Función: mantener la presión del sistema primario de transporte de calor en un valor pre-establecido y actuar sobre las contracciones y dilataciones que tienen lugar durante el calentamiento y enfriamiento del mismo.

-Compuesto por los siguientes circuitos:

- . de alimentación y extracción
- . del condensador-desgasificador
- . de adición de nitrógeno
- . de protección contra sobre presión

#### 3. Sistema de refrigeración en parada. (1)

-Función: enfriar el sistema de transporte de calor desde 177°C - hasta 54°C y mantenerlo a esta temperatura por un período indefinido de tiempo. En una parada en condiciones de emergencia es capaz de refrigerar el sistema desde los 260°C.

#### 4. Sistema de colección de agua pesada del sistema de transporte de calor.(1)

-Funciones: .reunir las pérdidas de D<sub>2</sub>O provenientes de los componentes mecánicos,  
 . recibir del D<sub>2</sub>O drenado de los equipos antes de su mantenimiento,  
 . coleccionar los gases venteados desde los equipos durante el llenado con D<sub>2</sub>O,  
 . indicar la ubicación de los puntos con pérdida anormal.

## 5. Circuito de nitrógeno.(1)

- Función: . llenar con  $N_2$  gaseoso varios recipientes y sistemas, para protegerlos de la corrosión, cuando es drenada el agua ( $H_2O$  o  $D_2O$ ),
- . suministrar un medio para drenar algunos recipientes y cañerías,
  - . mantener una atmósfera de gas inerte ( $N_2$ ) por encima del nivel de agua en un tanque llenado parcialmente.

6. Sistema de recuperación, transferencia y almacenaje de  $D_2O$ .(1)

- Funciones: . almacenar el  $D_2O$  durante el calentamiento primario del transporte de calor desde "parada fría" ( $38^\circ C$ ) hasta "parada caliente" ( $260^\circ C$ ),
- . transferir el  $D_2O$  desde el tanque de almacenaje hacia los tanques del sistema de suministro de  $D_2O$ , cuando se deban realizar trabajos de mantenimiento en el sistema primario de transporte de calor,
  - . recuperar el  $D_2O$  derramada en los fosos de los recintos de las máquinas de carga, retornándola al sistema primario de transporte de calor.

## B) Sistemas Químicos y Tratamiento De Residuos Radioactivos.

## 1. Sistema de transferencia de resinas.(1)

- Funciones: . recibir y transferir resina nueva desde el tanque de transferencia de resina a los sistemas de proceso,
- . transferir la resina agotada desde los sistemas de proceso hacia los tanques de almacenaje de resina agotada.

-Caudal de agua desmineralizada para el transporte de la resina:  
2 l/s.

## 2. Sistema de deuteración y de-deuteración de los sistemas correspondientes al primario de transporte de calor y máquina de intercambio de elementos.(1)

## 3. Sistema de purificación del sistema primario de transporte de calor.(1)

- Funciones: . minimizar la producción de los productos de corrosión radiactivos e impurezas iónicas no activas en el sistema,
- . controlar la concentración de los productos de fisión (lodo) provenientes de defectos en los elementos combustibles,
  - . colaborar en mantener un adecuado pD en el refrigerante,
  - . proveer una fuente de  $D_2O$  purificada a requerimiento

- . del sistema de presurización y control de volumen,
- . proveer una fuente de D<sub>2</sub>O purificada al tanque condensador desgasificador,
- . proveer un medio de purificación del sistema primario de transporte de calor durante una parada de la Central.

#### 4. Sistema de purificación del moderador.(1)

- Funciones:
- . mantener la pureza del D<sub>2</sub>O del moderador con el objeto de minimizar la radiólisis y con ello prevenir una excesiva producción de D<sub>2</sub> y minimizar la corrosión en los componentes por medio del ajuste de pD,
  - . ajustar la concentración de los venenos solubles (Boro y Gadolínio) en respuesta de demandas de reactividad,
  - . remoción del Gadolínio después de habercomenzado la utilización del sistema de parada por veneno líquido.

-Intercambiador de calor:

- . cantidad: uno (1),
- . tipo: carcasa y tubos en U,
- . horizontal,
- . material de la carcasa: acero al Carbono,
- . material de los tubos: acero inoxidable.

-Columnas de intercambio iónico:

- . cantidad: cinco(5),
- . una contiene resina aniónica-catiónica,
- . dos contienen resina aniónica fuerte, para la remoción del Boro,
- . las dos restantes son usadas para la remoción del Gadolínio,
- . existe control automático de la temperatura de entrada a la resina (43°C),
- . existe alarma por alta temperatura (60°C),
- . existe control manual para la regulación del caudal de purificación,
- . existe alarma por bajo caudal (4,2Kg/s).

#### 5. Sistema de refrigeración y purificación de las piletas de elementos combustibles consumidos.(1)

- Funciones:
- . proveer una adecuada refrigeración al agua de la piletas de descarga, de recepción y transferencia de combustible encapsulado y de almacenaje de combustible consumido,
  - . mantener el agua de las piletas mencionadas dentro de un grado de pureza y baja actividad.

-Máxima refrigeración requerida para la piqueta de almacenaje: 2MW (th).

- Máxima refrigeración requerida para las piletas auxiliares: 0,21MW(th)
- pH del agua de piletas: 5 á 7.
- Caudal diario de reposición de agua en las piletas: 15,1 á 30,2 l/s

#### 6. Sistema de muestreo.(1)

- Función: extraer muestras representativas de fluídos provenientes de sistemas de procesos, con el objeto de determinar su rendimiento por medios físicos y químicos y, cuando corresponda, protección radiológica.
- Existen cinco(5) métodos de muestreo: de volumen, hipodérmico, mediante botellones para alta presión, en línea y de sólidos,
- Materiales usados: principalmente acero inoxidable austenítico, serie AISI 300, así como también plástico, goma tipo EPR, teflón y el fluorcarbón PTFCE (KEL-F).
- Temperatura de la muestra: menor de 60°C.
- Presión de la muestra: 0,67 MPa (g)

#### 7. Sistema de drenajes activos.(1)

#### 8. Sistema de manejo de residuos líquidos radioactivos.(1)

- Función: coleccionar, almacenar, procesar (cuando es necesario), y eliminar cualquier residuo líquido radiactivo producido en la Central.
- Radioactividad para cualquier afluente: 1% del valor máximo permisible básico anual dictado por la IPCR (Comisión Internacional de Protección Radiológica), que es un MPC ( $3 \cdot 10^{-7}$   $\mu$ Ci/ml), en la interfase del efluente de la Central con el medio ambiente,

#### 9. Sistema de manejo de resinas agotadas.(1)

- Funciones:
  - . recibir la suspensión de la resina agotada en agua desmineralizada,
  - . almacenar temporariamente (ca 10 años) la resina bajo agua en recintos blindados,
  - . extraer el líquido remanente desde los recintos hacia el sistema de manejo de residuos líquidos radioactivos.

#### 10. Sistema de adición de Hidrógeno al sistema primario de transporte de calor.(1)

- Caudal de operación: 5ml H<sub>2</sub> /Kg de D<sub>2</sub>O.
- Dos (2) grupos de cuatro (4) botellones cada uno, permiten la adición de H<sub>2</sub>.

-Lugar de la adición: punto intermedio en la cañería que une al generador de vapor con la bomba primaria en cada uno de los circuitos.

-Presión: ca 10 MPa (g).

### C) Sistemas de Procesamiento De Agua Pesada.

#### 1. Sistema de suministro de D<sub>2</sub>O.(1)

-Funciones:

- . recibir y almacenar el D<sub>2</sub>O proveniente de tambores o camiones tanques,
- . recibir y almacenar el D<sub>2</sub>O drenado desde cualquiera de los sistemas de D<sub>2</sub>O de la Central,
- . proveer un volumen de almacenaje en exceso correspondiente a los sistemas primario de transporte de calor o del moderador,
- . bombear D<sub>2</sub>O a los sistemas de D<sub>2</sub>O de la Central de acuerdo a la demanda solicitada,
- . recibir y almacenar en tambores el contenido de D<sub>2</sub>O proveniente de los tanques de suministro.

#### 2. Sistema de limpieza de D<sub>2</sub>O.(1)

-Funciones:

- . recibir y almacenar toda el D<sub>2</sub>O degradada recuperada en la Central de acuerdo a su concentración isotópica y de tritio,
- . recibir y almacenar en tambores D<sub>2</sub>O conteniendo aceite u otros contaminantes,
- . procesar el D<sub>2</sub>O almacenado en los tanques de alimentación o tambores, a través del filtro de carbón activado y columnas de intercambio iónico, para purificarlo a un nivel aceptable de enriquecimiento,
- . recibir y almacenar en los tanques de producto, el D<sub>2</sub>O procesada antes de su envío al sistema de enriquecimiento o llenado de tambores,
- . recibir en las columnas de intercambio iónico resina nueva y proceder a la de-deuteración una vez agotada la misma para su envío al sistema de almacenaje de resina agotada. De la misma forma se procede con el filtro de carbón activado,

### D) Sistemas De Seguridad.(2)

Están agrupados en dos conjuntos:

- Grupo 1: sistema de regulación, \*
- . sistema de corte n°1 (SDS1), \*
- . sistema de Refrigeración de Emergencia (ECC), \*
- . sistemas de procesos, (todos excepto la refrigeración auxiliar del moderador), \*
- Grupo 2: sistema de corte n°2 (SDS2), \*

- .sistema de contención, \*
- .sistema de refrigeración auxiliar del moderador, \*
- .sistema de Agua de Emergencia (EWS), \*\*
- .sistema de suministro de Potencia Eléctrica de Emergencia (EPS), \*\*

## Referencias:

- \* : sistemas de seguridad.
- \*\* : sistemas relacionados con la seguridad.

TABLA N° 1

MECANISMOS DE REACTIVIDAD (2)

CANTIDAD Y TIPOS DE MECANISMOS	VALORES DE REACTIVIDAD	COMENTARIOS
21 Ajustes de Control	Todas las barras desde la posición insertada a la posición fuera + 15 mk. Un banco máx. veloc.: $\pm 0,14$ mk/seg.	En bancos de 5 barras como máximo. Las barras están normalmente insertadas en ausencia de veneno en el moderador. Son comandadas por el sistema de regulación.
28 Barras de Corte	Promedio reactiv. 1 barra: -2,86 mk. Velocidad de un banco al reponer el sistema después de un disparo: 0,6mk/seg. Margen de corte: -74mk Margen de corte con comb. fresco: - 64 mk, debido al exceso de 10 mk por haber combustible fresco.	En dos bancos de 14 barras cada uno. Las barras están normalmente retiradas y se dejan caer por acción del sistema de corte. (son independientes del sistema de regulación).
14 Absorbedores Líquidos de Control	Velocidad de todas las barras: $\pm 0,14$ mk/seg. Variación total de vacío a llenas: 5,5mk a 6,6mk. dependiendo de la distribución de flujo. Rango normal de trabajo: 4mk.	Las barras están ubicadas en 6 tubos verticales. Son comandadas por el sistema de regulación con el objeto de aplanar la distribución del flujo y regular el nivel del mismo.

TABLA N° 1 (Cont.)

CANTIDAD Y TIPOS DE MECANISMOS	VALORES DE REACTIVIDAD	COMENTARIOS
4 Absorbedores Mecánicos de Control	Variación total: $8 \pm 2$ mk Veloc. máx. (todas): $\pm 0,11$ mk/seg. Veloc. máx. cuando caen: $-5$ mk/seg.	Las barras están normalmente fuera del núcleo se insertan para suplementar la reactividad neg. de las barras líquidas. Se dejan caer para hacer un stepback. Están comandadas por el sistema de regulación.
Inyección de veneno de Emergencia (Gadolinio)	Margen de corte 1300 mkl o sea: - 300 mk	Inyecta veneno a través de 6 nozzles por medio de He a presión.
Inyección de veneno en el moderador (son dos, uno de Boro y otro de Gadolinio)	Reactividad negativa sin límite, depende de la cant. de veneno que se inyecte.	Inyecta veneno por gravedad para arrancar el reactor después de una parada larga, o para mantenerlo parado por largo tiempo. Comandado por sistema de regulación.
Recarga de un canal	Veloc. + 0,0125 mk/seg.	

TABLA N° 2  
DETECTORES (2)

	UBICACION	NUMERO Y TIPO DE DETECTORES	FUNCION
Detectores fuera del núcleo	3 Housings Lado "B"	3 cám. Ionizac.	Regulación
		3 cám. Ionizac.	SDS # 1 (disparo por período)
	3 Housings Lado "D"	3 cám. Ionizac.	SDS # 2 (disparo por período)
		3 conts. de Boro 10	Instr. de arranque (2° rango)
Detectores dentro del núcleo	26 Tubos Verticales	28 Platino single ended	Regulación Reactor Bulk Power Flux Tilt Control
		40 Platino single ended	SDS # 1 Alto N
		102 Vanadio Single ended	Flux Mapping y Calibrac.
	5 Tubos horizontales	36 Platino Double ended	SDS # 2 Alto N
	Viewing Port	3 Contadores de Uranio enriquecido	Instrumentación de arranque (1° rango)

E) Sistemas Auxiliares, Comunes y De Servicios

1. Sistema líquido de control zonal. (1)

-Función: controlar la reactividad, actuando sobre el nivel de agua

desmineralizada que llena compartimientos como un absorb  
dor de neutrones.

-El reactor está dividido en catorce (14) zonas teóricas, ubicadas en seis (6) tubos verticales de circaloy. Dos (2) de ellos están ubicados en la línea transversal central, con tres (3) compartimientos cada uno, y los cuatro (4) restantes están en los bordes extremos, con dos (2) compartimientos cada uno. Su capacidad varía entre 18 y 38 l, según su ubicación en el reactor, dando en su conjunto un control de la reactividad, desde completamente llenos a vacíos, de 6,5 mk.

-Considerando un caudal de salida constante de 0,45 l/s y un máximo de 0,90 l/s, la velocidad de variación de la reactividad alcanza a 0,14 mk.

-El sistema consiste en:

- . un circuito de suministro y recirculación de agua desmi  
neralizada,
- . un circuito de suministro y recirculación de Helio.

## 2. Sistema de gas anular.(1)

-Funciones: . proveer una barrera térmica entre el tubo de presión y el tubo calandria con el objeto de restringir la -  
transferencia de calor desde el refrigerante primario al moderador,  
 . proveer un medio de detección e identificación del lu  
gar de pérdida ( canal fallado ) con un mínimo de ex-  
posición a la radiación por parte del personal,  
 . proveer una atmósfera de gas seco de CO<sub>2</sub> en el espa-  
cio anular para prevenir la corrosión en los componen-  
tes del canal de combustible,  
 . proveer un medio de detección e identificación de la  
obstrucción de un tubo de interconexión entre espacios  
anulares.

-El espacio anular entre los tubos de calandria y presión (corres-  
pondientes a 380 canales de combustibles) están llenos con  
CO<sub>2</sub> de pureza 99,9% y un punto de rocío de alrededor de  
-40°C, provenientes de dos (2) grupos de cinco (5) botello  
nes.

-Los 380 canales están agrupados en 22 columnas con un número de ca  
nales que van desde 6 en los extremos hasta 22 en el cen-  
tro.

-Las 44 líneas de llegada, (28 del lado Norte y 16 del lado Sur de  
la calandria), están subdivididos en cuatro (4) ramales  
independientes, de 11 líneas cada uno, cuyos colectores  
provienen del suministro de CO<sub>2</sub> a través de las válvulas  
de reducción de presión.

- Total del volumen de CO<sub>2</sub>: ca 11 m<sup>3</sup>.
- Contenido de CO<sub>2</sub> por cada recinto anular: 0,028 m<sup>3</sup>.
- Rango de presión normal en el espacio anular: varía entre 13,8KPa (g) en frío hasta 96,5 KPa (g) en caliente, correspondiente a una temperatura aproximada de 192°C.
- Válvulas de alivio:
  - . tipo: a resorte,
  - . cantidad: dos (2),
  - . función: protección contra la sobrepresión,
  - . ubicación: en la línea de suministro (138KPa (g) )  
y en la línea de purgado (124 KPa (g) ),
  - . material: acero inoxidable.

### 3. Sistema colector de agua. (1)

- Función: recolectar las pérdidas de agua y el condensado de los equipos en las áreas secas del edificio del reactor.

### 4. Sistema de refrigeración de blindajes.(1)

- Función: remover el calor generado por radiación en los blindajes extremos de la calandria y el agua de blindaje que ocupa el recinto de la calandria exteriormente a ésta (tanque de blindaje).

### 5. Sistema de agua de procesos de baja presión del edificio del reactor.(1)

- Equipos alimentados por este ramal son:
  - . intercambiadores de calor del circuito principal del moderador,
  - . intercambiadores de calor de las bombas principales, del moderador,
  - . intercambiadores de calor del sistema líquido de control zonal,
  - . enfriadores de aire del edificio del reactor,
  - . enfriadores del sistema de detección por neutrones retardados de elementos combustibles dañados,
  - . tanque de colección y condensador de venteo del sistema de colección de D<sub>2</sub>O del sistema primario de transporte de calor,
  - . intercambiadores de calor y enfriadores de aceite de los circuitos auxiliares de la máquina de recambio de elementos combustibles,
  - . intercambiadores de calor de las bombas del sistema de refrigeración en la parada,
  - . intercambiadores de los compresores del sistema de gas de cobertura del moderador.

### 6. Sistema de refrigeración del edificio del reactor.(1)

- Funciones: . conservar la temperatura del aire ambiente en 40,6°C en las áreas inaccesibles,
- . extraer el calor producido por bombas, cañerías, luces de iluminación, etc., en las áreas accesibles.

#### 7. Sistemas de suministro de aire al edificio del reactor.(1)

### III. EL REACTOR

#### A) Características Generales

- Tipo: PHWR. (4)
- Combustible: U natural. (4)
- Moderador: Agua pesada, (D<sub>2</sub>O). (4)
- Posee tubos de presión. (4)
- Flujo de refrigerante: 23,94 Kg/s. (6)
- Caída de presión estimada  
(12 elementos combustibles): 7,13 Kg/cm<sup>2</sup> ó 110 psia. (6)
- Número de tubos de refrigerante en el núcleo: 380. (6)
- Temperatura máxima del UO<sub>2</sub> : 1900°C. (6)
- Temperatura máxima de la vaina(exterior) 326°C. (6)
- Temperatura del colector de entrada: 266,4°C.(6)
- Temperatura del colector de salida - hirviendo: 310°C. (6)
- Presión del colector de entrada: 115,3 Kg/cm<sup>2</sup> ó 1640 psia. (6)
- Presión del colector de salida: 101,9 Kg/cm<sup>2</sup> ó 1450 psia.(6)
- Concentración aproximada del vapor a la salida: 2,9%. (6)
- Velocidad máxima promedio del refrigerante a la salida del canal (basada en dimensiones nominales frías y propiedades de fluido caliente):
  - .una fase: 9,33 m/s,
  - .dos fases: 12,18 m/s. (6)

El núcleo del reactor está constituido por:

- Calandria .material: acero inoxidable,
- .longitud: 5,94 m,
- .longitud total, incluyendo los blindajes extremos: 7,77 m,
- .diámetro: 7,60 m,
- .contenido: agua pesada del moderador, mecanismos de control y 380 canales de combustible,
- .los tubos de presión pasan concéntricamente a través de los tubos mandrilados a las placas tubo de la calandria,
- .el espacio entre los tubos de calandria y los tubos de presión es llenado con CO<sub>2</sub>. La función del mismo es aislar térmicamente el refrigerante primario y el moderador, y además permite detectar las fallas en tubos de presión.(1)
- Placas tubo de la calandria:
  - .material: Circaloy-2,
  - .diámetro interno: 129 mm,
  - .espesor de pared: 1,37 mm.(1)

- Cierre de los canales de presión: disco de sello flexible, montado sobre un cuerpo que ajusta dentro de la conexión extrema, por medio de un conjunto de mandíbulas extensibles. (1)
- Blindajes extremos:
  - . forman un conjunto integral, junto con la calandria, a la cual soportan,
  - . material: acero inoxidable,
  - . espesor de placa del tubo común a la calandria: 50,8mm,
  - . ambas están conectadas por una carcasa exterior y por 380 tubos alineados con los tubos de calandria. (6)

## B) El Refrigerante

- Refrigerante: D<sub>2</sub>O. (7)
- Existen dos circuitos de transferencia térmica:
  - . primario: con agua pesada ("refrigerante"). El calor es transportado a los generadores de vapor.
  - . secundario: con agua liviana: comprende los generadores de vapor, en los cuales se produce vapor que mueve el turbogenerador. (1)
- Existen dos circuitos de circulación; cada uno de los cuales extrae calor de una mitad del núcleo. Los componentes principales son:
  - . trescientos ochenta (380) canales de combustible,
  - . cuatro (4) generadores de vapor verticales,
  - . cuatro (4) bombas,
  - . cuatro (4) colectores de entrada,
  - . cuatro (4) colectores de salida,
  - . un (1) presurizador, calentado eléctricamente,
  - . cañería de interconexión. (1)
- El sistema de transporte de calor cumple los siguientes requerimientos de diseño:
  - . hacer circular refrigerante, con el reactor en marcha, parado o en mantenimiento,
  - . suministrar refrigeración en el caso de detención de los motores de las bombas,
  - . suministrar el flujo adecuado para remover el calor durante la parada,
  - . proteger contra la sobrepresión a los componentes del sistema,
  - . refrigerar el sistema de transporte de calor,
  - . posibilitar el adecuado control químico del refrigerante, por medio del filtrado, intercambio iónico y desgasificado,
  - . impedir sobrecalentamiento del combustible, en caso (muy improbable) de pérdida de refrigerante en el sistema de transporte de calor, lo que se logra con el sistema de refrigeración de emergencia. (1)
- Concentración de vapor en agua (D<sub>2</sub>O) al abandonar el canal: 0 a 4,1% p/p de vapor, en promedio, ya que cada canal individualmente puede poseer una mayor concentración de vapor. (8)

- Concentración de vapor en agua (D<sub>2</sub>O) en los colectores: aprox. 4% P/P. (1)
- Concentración de vapor en agua (D<sub>2</sub>O) a la entrada de los generadores: aprox. 4,8% P/P. (1)
- Caudal máximo nominal del refrigerante que circula por un canal: 23,94Kg/seg. (190.000 Lbs/hr). (8)
- Temperatura de entrada del agua (D<sub>2</sub>O) a cada colector de salida del reactor:
  - . normal: 310°C,
  - . máxima: 316°C. (7)
- Temperatura de entrada del agua (D<sub>2</sub>O) a cada colector de entrada del reactor:
  - . en potencia: 267°C,
  - . en parada: 272°C. (7)
- Presión de entrada del agua (D<sub>2</sub>O) a cada colector de entrada del reactor:
  - . normal: 11,31 MPa ó 1640 psia,
  - . máxima: 12,41 MPa ó 1800 psia. (7)
- Presión de salida del agua (D<sub>2</sub>O) de cada colector de salida del reactor:
  - . normal: 9,99 MPa ó 1449 psia,
  - . máxima: 10,69 MPa ó 1550 psia. (7)
- pD (análogo al pH): 9,5 á 10,5. (7)
- Deuterio disuelto:
  - . normal:  $5 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ D}_2/\text{Kg D}_2\text{O}$ ,
  - . máximo:  $25 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ D}_2/\text{Kg D}_2\text{O}$ . (8)
- Oxígeno disuelto:
  - . normal: 10 ug/Kg,
  - . máximo: 50 ug/Kg. (7)
- Nivel de "crud":
  - . normal: 0,1 mg/Kg D<sub>2</sub>O,
  - . máximo: 100 mg/Kg D<sub>2</sub>O. (7)
- Area nominal de flujo de refrigerante (basado en dimensiones nominales frías): 3421,1 mm<sup>2</sup>. (6)

### C) Canal De Refrigeración

- Nº de canales: trescientos ochenta, (380). (1)
- Material de los tubos de presión: aleación de Zirconio y 2,5% P/P de Niobio. (7)
- Material de las conexiones terminales de los tubos de presión: acero inoxidable. (1)
- Diámetro interno mínimo de los tubos de presión(frío , sin presión): 103,38 mm. (7)

- Espesor de los tubos de presión: 4,19 mm. (1)
- Longitud de los tubos de presión: 6,30 mm. (1)
- Ubicación de los tubos de presión: casi totalmente dentro del núcleo. (1)
- Contenido:
  - . combustible,
  - . refrigerante (agua pesada). (1)
- Los tubos de presión pasan concéntricamene a través de tubos mandrilados a las placas tubo de la calandria, denominados "tubos de calandria". (1)
- Longitud del núcleo (entre planchas de tubos de la calandria): 5,94 m. (6)
- Potencia máxima del canal (normal): 6,5 MW. (6)
- Espaciamiento de la red: 285,8 mm. (6)
- Cantidad de elementos combustibles en el canal: 12. (6)
- Area nominal de la sección transversal del tubo de presión (frío, sin presión, 103,38 mm de diámetro interior): 8393,6mm<sup>2</sup>. (6)

#### D) Regulación De Potencia

##### Mecanismos de reactividad y barras Booster. (5)

- Barras booster o absorbedores se usan para proveer la reactividad extra requerida para compensar el incremento del veneno Xenón luego de alcanzar la plena potencia.
- Booster:son barras de combustible enriquecido, mantenidas fuera del reactor según requerimientos de operación.
- Control de reactividad: se realiza tanto con un sistema de absorción neutrónica sólido (barras de control), como con un sistema de absorción neutrónica líquido (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). (1)
- Parada rápida del reactor se logra:
  - . mediante barras de parada,
  - . mediante la inyección de un veneno líquido (Nitrato de Gadolínico) dentro del moderador. (1)

#### E) Instrumentación Interna del Núcleo

##### Detectores de flujo neutrónico:

Dentro del reactor se cuenta con detectores de flujo neutrónico y cámaras de ionización fuera del mismo.

## F) Moderador

## 1. Circuito principal del moderador. (1)

- Funciones:
  - . moderar los neutrones de fisión de alta energía, en el núcleo del reactor, a los niveles de energía térmica requeridos para obtener la fisión nuclear,
  - . extraer el calor generado en el proceso de moderación, la proveniente del sistema primario de transporte de calor y componentes adyacentes ( $120\text{MW/h} - 4,09 \times 10^8 \text{ BTU/h}$ ),
  - . servir como medio de dispersión de los compuestos químicos necesarios para el control de la reactividad,
  - . proveer un sumidero de calor para los elementos combustibles, en el caso de accidente de pérdida de refrigerante coincidente con la indisponibilidad del sistema de refrigeración de emergencia.

- El sistema está compuesto por dos circuitos interconectados y compuestos cada uno por:
  - . una bomba del 100%,
  - . un intercambiador de calor del 50%.

-Temperatura media del moderador:  $68 \pm 5,6^\circ \text{ C}$ .

-Temperatura de salida del moderador:  $71^\circ \text{ C}$ .

-Temperatura de ingreso del moderador a la calandria (a través de 8 boquillas):  $43^\circ \text{ C}$ .

-Caudal de operación: 939 l/seg.

- Intercambiadores de calor:
  - . tipo de carcasa y tubos en "U", verticales, refrigerados con agua de procesos con un caudal entre 695 l/seg. y 830 l/seg,
  - . número de pasos por el lado tubos: 4

-Balance térmico:

	MW(th)
I - Calor de fisión generado en el moderador.....	98,5
II - Calor de fisión generado en el reflector.....	9,1
III - Calor de fisión generado en los tubos calandria.	3,4
IV - Calor de fisión generado en los tubos guía y mecanismos de reactividad .....	2,0
V - Calor ganado desde los canales de E.C. ....	3,0
VI - Calor ganado desde la carcasa y placas-tubo ....	<u>2,0</u>
Calor neto ganado por el moderador .....	118,0
VII - Pérdida de calor en las cañerías .....	- 0,3
VIII- Calor de bombeo .....	<u>0,7</u>
Calor neto transmitido a los intercambiadores de calor .....	118,4

## 2. Sistema del gas de cobertura. (1)

- Funciones:
- . proveer un gas inerte en los espacios libres de la calandria, conductos de alivio y tanque de cabeza, por encima de los niveles de  $D_2O$ ,
  - . circular la mezcla de gas helio, vapor de  $D_2O$  y pequeñas cantidades de  $D_2$ ,  $O_2$  y otros gases, de manera de evitar una insignificante concentración local de  $D_2$ ,
  - . controlar la cantidad de  $D_2$  por la recombinación con  $O_2$ ,
  - . controlar la presión del gas compatible con la de equilibrio del  $D_2$  disuelto en el  $D_2O$  y restablecerla a su valor de consigna luego de un transitorio,
  - . proveer la reposición de He con el objeto de mantener la presión. Purgar aire luego de un mantenimiento o cuando algún componente no está disponible,
  - . proveer una conexión con el circuito de medición por un cromatógrafo de gases para conocer la cantidad de  $D_2$  disuelto en la mezcla gaseosa,
  - . proveer un medio de presión para los mecanismos de reactividad y sistema de parada por inyección de veneno líquido,
  - . limitar transitorios de presión a valores aceptables para la fila más baja de tubos de calandria,
  - . proveer He a otros sistemas.

## 3. Sistema de colección de agua ( $D_2O$ ) del moderador. (1)

- Funciones:
- . coleccionar las fugas de  $D_2O$  de los sellos de las bombas principales del moderador,
  - . coleccionar las fugas de  $D_2O$  provenientes del espacio provisto en las empaquetaduras de las válvulas esclusas del sistema principal del moderador,
  - . coleccionar las fugas de  $D_2O$  en las juntas de las bridas de los intercambiadores de calor y bombas del sistema principal del moderador,
  - . recircular y muestrear el contenido del tanque de colección de  $D_2O$ ,
  - . transferir el contenido del tanque de colección de  $D_2O$  al sistema principal del moderador a través de la línea de retorno del sistema de purificación,
  - . transferir el contenido del tanque de colección de  $D_2O$  al sistema de limpieza de  $D_2O$ .

## 4. Sistema de venenos líquidos. (1)

- Funciones:
- . adicionar reactividad negativa al moderador para compensar el exceso de reactividad durante la operación con carga nueva o por la introducción de elementos combustibles nuevos,
  - . adicionar reactividad negativa al moderador para compensar la pérdida de reactividad aportada por el  $X_e$  luego del período de envenenamiento o parada larga,

- . proveer un medio de disminución de reactividad en conjunción con otros mecanismos de control de la reactividad,
- . proveer un medio para garantizar suficiente veneno en moderador con el objeto de prevenir la criticidad durante la parada.

#### IV. EL COMBUSTIBLE

##### A) El Elemento Combustible

##### 1. Características generales

-El elemento combustible del Reactor tipo CANDU está compuesto por:

- . vaina,
- . pellets de  $UO_2$ ,
- . placas terminales,
- . tapones,
- . patines deslizantes,
- . separadores.

TABLA N°:4 - CARACTERISTICAS DEL E.C. TIPO CANDU (7) (5)

N° de barras combustibles por elemento combustible		37
Barra Combustible	material	Zry-4
	diámetro externo (mm)	13,08
	expesor mínimo de vaina (mm)	0,38
Elemento Combustible	longitud (mm)	495
	diámetro máximo (mm)	102,4
	N° de E.C.por canal en la zona activa	12
	Espacio entre E.C.(mm)	1,02

- Valor máximo de potencia de diseño del EC: 904KW (8)
- Peso total de Uranio en el núcleo: 84ton U. (6)
- Peso de U por elemento combustible: 18,70Kg
- Peso del elemento combustible: 23,45Kg
- Peso total del Zry-4 por Elemento Combustible: 2,27Kg (7)
- Diámetro exterior nominal de la vaina en frío: 13,081 mm (6)
- Espesor de la vaina (promedio:0,419 mm) (6)
- Espacio entre barras, frío (Mínimo junto a los espaciadores):  
1,55mm (6)
- Diámetro nominal del UO<sub>2</sub> frío: 12,154 mm. (6)
- Cantidad de elementos combustibles en el núcleo del reactor:  
4560 (6)
- Cantidad de elementos combustibles en el canal: 12 (6)
- Tiempo máximo de residencia del elemento combustible: 600 dpp (7)
- Tiempo medio de residencia del elemento combustible: 295 dpp (6)
- Tiempo medio de residencia del elemento combustible:
  - . región interior: 279 dpp,
  - . región exterior: 297 dpp. (6)
- Cantidad promedio de elementos combustibles cargados por semana  
con factor 80% de capacidad: 88 (7)
- Promedio estimado de quemado de descarga: 180MWh/KgU (7)
- Longitud mínima, del elemento combustible: 494,54mm (8)
- Longitud máxima, del elemento combustible: 496,06mm (8)

TABLA N° : 5 Distribución de Potencia en el Elemento Combustible (de 37 barras combustibles), a la Potencia Nominal de Diseño de 800 kW, sin considerar Intensidad Máxima de Flujo. (7)

Corona de barras en el elemento.	Longitud efectiva (mm)	Potencia lineal de la barra combustible con relación al promedio.	Cantidad de barras combustibles.	$\int \lambda d\theta$ (Kw/m)	Potencia lineal de la barra combustible. (Kw/m)	Potencia lineal por arillo sobre longitud efectiva. (Kw/m)	Potencia total por corona de barra combustible. (Kw)
Externa	470,31	1,145	18	4,034	50,7	912,6	429,24
Intermedia	480,31	0,908	12	3,317	41,7	500,4	240,35
Interna	480,31	0,793	6	2,897	36,4	218,4	104,90
Barra Central	480,31	0,758	1	2,744	34,5	34,5	16,57

-Diámetro de las coronas de barras en el Elemento Combustible:

- . externa: 86,61mm,
- . intermedia: 57,49mm,
- . interna: 29,76mm (7)

-El elemento combustible de la Central Nuclear Embalse, de 600MWe, es similar al de la Central Nuclear Bruce, (600MWe), que tiene 37 barras, excepto en su perfil externo que es similar al elemento combustible de Pickering de 28 barras combustibles. La similitud se debe a que el Reactor de Córdoba tiene el mismo tipo de canal y máquina de recambio que Pickering. (7)

-Potencia nominal de diseño del elemento combustible: 800kW. (7)

-Potencia máxima de diseño del elemento combustible, (115% del valor nominal): 920kW. (7)

-Potencia nominal máxima lineal de diseño del elemento combustible: 1675,8 kW/m. (6)

-Temperatura máxima de la vaina a la potencia nominal de diseño:

- . exterior: 325° C (599°K) (6)
- . interior: 148° C (625°K) (6)

-Disipación de calor nominal de diseño: 1315 kW/m<sup>2</sup> (6)

TABLA N°: 6. Potencia del Elemento Combustible de la Central Nuclear

Embalse (7)

Corona de barras en el elemento	Nominal (basada en 800 Kw como máxima potencia del Elemento combustible durante su vida. (Kw/m)	Sobrepotencia de referencia, (basada en 900Kw como máxima potencia del Elemento combustible durante su vida (Kw/m)
Externa	50,7	57,1
Intermedia	41,7	46,9
Interna	36,4	41,0
Barra Central	34,5	38,9

-Quemado de diseño de descarga del elemento combustible:  
(no existe especificación acerca del quemado máximo):  
320MW t/Kg U (7)

-Area transversal del elemento combustible (en frío): 4972,5 mm<sup>2</sup>  
(5)

TABLA N°: 7 Distribuciones de Potencia y Quemado para Análisis de Defectos del Combustible.

Posición de Elementos	Potencia de Elementos (kW)		Quemado justo antes de una transferencia de 8 elementos (MWh/kgU)
	Justo antes de una transferencia de 8 elementos.	Siguiendo una transferencia de 8 elementos	
1	169	169	38
2	406	419	91
3	570	619	132
4	658	741	154
5	640	745	160
6	644	762	164
7	642	765	164
8	633	755	160
9	618	770	189
10	504	628	219
11	344	410	219
12	144	162	189

TABLA N°: 8 Potencia Relativa de Barra de Elementos de 37 Barras

Quemado Promedio de Elementos (MWh/kgU)	Potencia Relativa de Elementos (Promedio de Elemento= 1,000)			
	Anillo Exterior	Anillo Intermedio	Anillo Interior	Barra de Centro
0	1,1267	0,9248	0,8092	0,7666
20	1,1308	0,9214	0,8046	0,7612
40	1,1332	0,9194	0,80195	0,7579
60	1,13255	0,9195	0,8035	0,7591
80	1,1305	0,9205	0,8070	0,7630
100	1,12775	0,9220	0,8114	0,7681
120	1,1250	0,92335	0,81605	0,7735
140	1,1223	0,92465	0,82065	0,7789
160	1,1199	0,92565	0,82495	0,7843
180	1,1181	0,9262	0,8285	0,7888
200	1,1168	0,92645	0,83125	0,7927
220	1,1161	0,9263	0,8332	0,7954
240	1,1159	0,92575	0,83455	0,7975
260	1,1162	0,92495	0,83505	0,7987
280	1,1169	0,92395	0,83485	0,7993
300	1,11795	0,9227	0,83425	0,7990

Precisión:  $\pm$  0,00015

TABLA N°: 9 Envolverte de Operación de Diseño del Elemento Combustible de 37 barras.

Potencia de Elementos (kW)	Quemado Promedio de Elementos (Mwh/kgU)
778	0.0
788	18.9
800	38.6
796	58.7
784	79.1
768	99.4
751	119.5
733	139.4
715	159.0
697	178.2
679	197.2
662	215.9
647	234.3
634	252.4
622	270.3
610	288.0
600	305.5
591	322.9

## 2. Propiedades físicas y químicas del Zry-4.

TABLA N° 10 Composición química del Zry-4

Aleante	Porcentaje en peso
Sn	1,20 - 1,70 %
Fe	0,18 - 0,24 %
Cr	0,07 - 0,13 %
Ni	-
Fe+Cr+Ni	0,28 - 0,37 %
C	150 - 400 ppm
O	900 - 1400ppm
Zr + Impurezas permitidas	Hasta completar

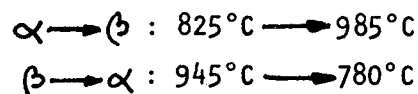
-Contenido máximo de impurezas (en ppm):

Al : 75	Hf : 200	Mg : 20
B : 0,5	N : 80	Na : 20
C : 270	Ni : 70	Ca : 30
Cd : 0,5	Mn : 50	Pb : 130
Cl : 20	Ti : 50	V : 50
Co : 20	U : 3,5	Si : 200
Cu : 50	W : 100	
H : 25		

-Densidad a 20° C : 6,6 gr/cm<sup>3</sup>.

-Calor específico a 20° C : 0,06 cal / °C gr.

- Conductividad térmica a 20°C : 0,031 cal/cm. °C.seg.
- Conductividad térmica a 300° C : 0,037 cal/cm.°C.seg.
- Coeficiente de expansión térmica lineal entre 20°C. y 350°C:  
6,5 .10<sup>-6</sup> 1/°C
- Resistividad eléctrica a 20°C : 45.10<sup>-6</sup> Ω/cm.
- Sección transversal de captura para neutrones térmicos: 0,23 barns
- Coeficiente de Poisson a 20°C : 0,37 - 0,38.
- Módulo de elasticidad longitudinal a 20°C: 1000Kg/mm<sup>2</sup>.
- Punto de fusión del Zr puro: 1852°C.
- Estructura cristalina: el Zr presenta dos variedades alotrópicas:



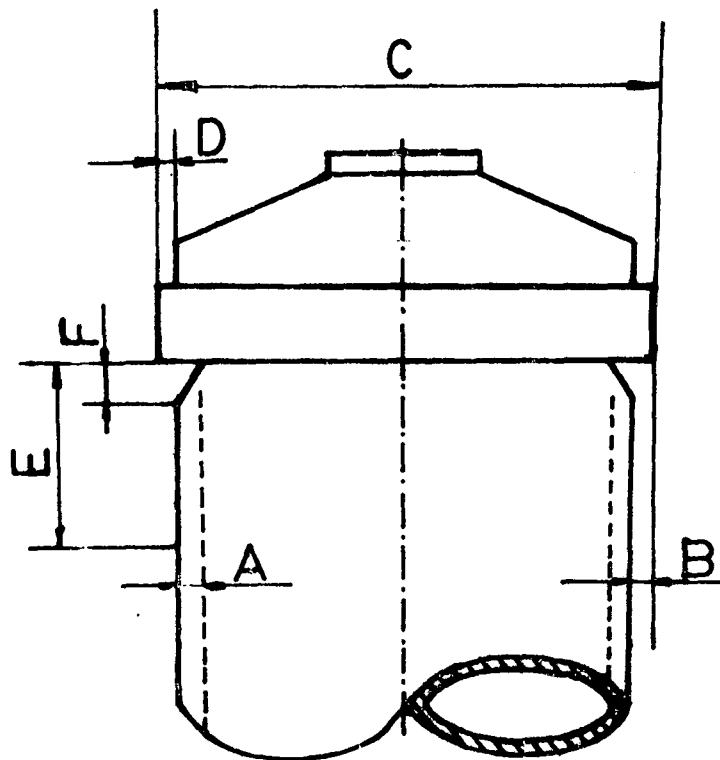
- La estructura  $\alpha$ , a 25°C, presenta:
  - . parámetros de red: a=3,23 Å,
  - c=5,15 Å,
  - . distancia interatómica: 3,18 Å.
- El Zry recocido presenta una microestructura de granos de fase  $\alpha$ -equiaxiales, que pueden tener algo de fase  $\beta$  en los bordes.

### 3. La barra combustible

#### 3.1. datos de diseño:

- N° de barras combustibles por Elemento Combustible : 37.(7)
- Gas de llenado: mezcla de Argón - Helio, en la proporción 80%-20% respectivamente. (7)
- Máxima cantidad de H<sub>2</sub> permitida en el gas de llenado: 1mg. por elemento combustible. (7)
- Máxima claridad axial dejada por la columna activa: 5mm. (7)
- Claridad nominal axial por la columna activa: 2,50mm. (7)
- La velocidad de deformación por creep debido a la presión de gases de fisión no deberá superar 10<sup>-9</sup>  $\frac{1}{\text{seg.}}$
- Espacio mínimo entre las barras:
  - . en los espaciadores: 1,55mm,
  - . en los extremos: 1,55mm,
  - . en cualquier lugar: 1,32mm.(7)
- Espacio mínimo de la barra al canal del refrigerante: 1,02mm.(7)





A máx : 0,13mm.      B máx : 0,216mm.

C máx :  $\varnothing 13,246$ mm.

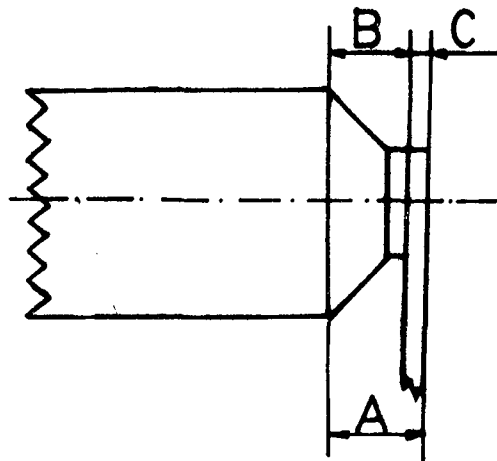
D máx : 0,18mm.

E, distancia a la cual se deben  
medir "A" y "B" : 5,0 - 7,0mm.

F : aprox. 2mm.

FIGURA N°: 5 - Extremo de barra combustible

FIGURA N°: 6-Detalle de la unión placa - barra. (8)



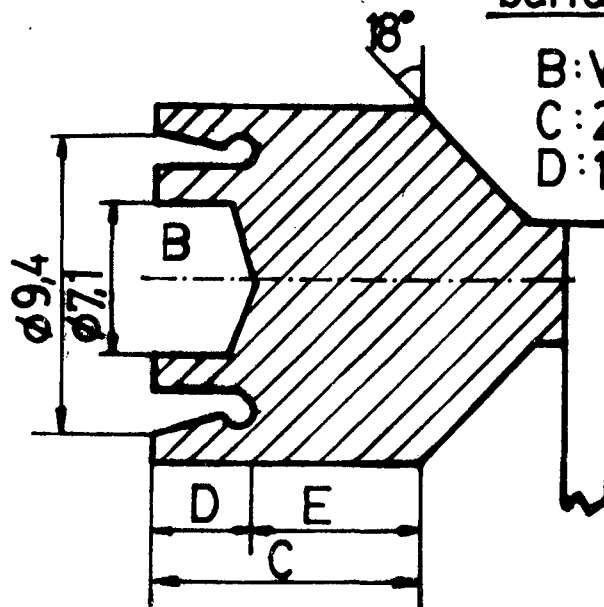
Aplastamiento:  $0,4 \pm 0,1$  mm

A:  $3,37 \pm 0,19$  mm

B:  $2,23 \pm 0,07$  mm

C:  $1,52 \pm 0,05$  mm

FIGURA N°: 7 - Corte del tapón de la barra combustible.



B: Vol. mín:  $50 \text{ mm}^3$

C:  $2,90 \pm 0,13$  mm

D:  $1,67 \pm 0,10$  mm

E<sub>mín</sub>:  $1,52$  mm

## 3.3. componentes de Zry-4:

## -Vaina:

- . de tipo colapsable, acompaña las contracciones y dilataciones de las pastillas,
- . espesor: 0,4mm, (7)
- . espesor mínimo de vaina: 0,38mm, (7)
- . estabilidad satisfactoria por lo menos hasta 17 MWd/KgU, (2)
- . rugosidad: menor de 0,8  $\mu$ m, (8)
- . diámetro externo:  $13,08 \pm 0,04$ mm, (7)
- . espacio diametral pellet-vaina (excluyendo Canlub): 0,038 - 0,13mm, (7)
- . temperatura máxima del lado interno de la vaina: 360°C, tubo de circaloy revelado de tensiones, sin costura. (7)

## -Placas terminales:

- . soldadas a los extremos de las barras, (7)
- . función: mantener las barras combustibles unidas, (7)
- . diámetro nominal: 90,8mm, (7)
- . espesor mínimo: 1,52mm, (7)
- . espesor máximo: 1,62mm (8)

## -Espaciadores:

- . tipo: de alambre rectangular,
- . relación de forma: 3,5 ,
- . montado de forma tal que el eje mayor del espaciador tiene un ángulo de 15°(nominal) con respecto al eje máximo de la barra combustible,
- . soldados por "brazing" en la zona media de las vainas
- . función: mantener distancia deseada entre vainas en el medio del elemento combustible,
- . posición: en el plano medio del elemento combustible, de forma tal que dos barras vecinas queden en contacto por medio de los espaciadores,
- . longitud mínima: 8,26mm,
- . espesor mínimo: 0,64mm,
- . ancho mínimo: 0,64mm,
- . N°de espaciadores por elemento combustible: 156. (7)

## -Tapones:

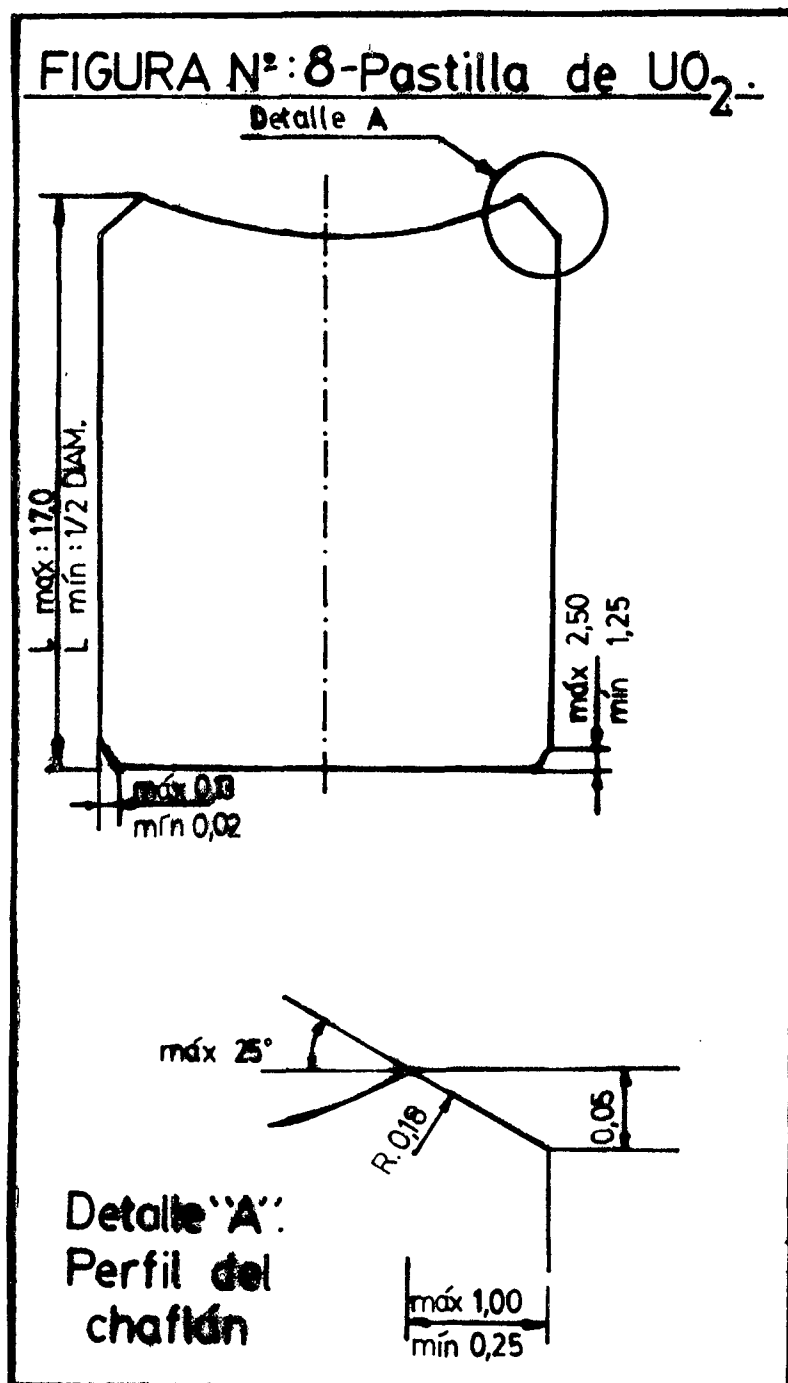
- . soldados a las vainas por soldadura por resistencia,
- . espesor mínimo: 2,50mm. (7)

## -Patines deslizantes:

- . 3 planos de patines,
- . longitud mínima de la superficie deslizante: 25,4mm,
- . ancho mínimo de la superficie deslizante: 2,03mm,
- . espesor mínimo: 1,15mm en el plano central y 1,20 en los planos extremos,
- . número de patines deslizantes por elemento combustible: 54. (7)

## 3.4. combustible:

- Material combustible:  $UO_2$  Natural sinterizado, el cual contiene 0,7% p/p de  $U_{235}$  en el U total, (7)
- Rugosidad permitida de las pastillas: menor de 0,8  $\mu m$ . (8)
- Diámetro nominal: 12,16mm. (7)
- Longitud nominal: 16,0mm. (7)
- Volumen del dishing, en % del volumen de la pastilla: 1,9% (aproximadamente). (7)
- Longitud activa nominal: 480mm. (7)
- Número de pastillas nominal, por columna activa: 30. (7)
- Densidad: 10,45 - 10,75 Mg/m<sup>3</sup>. (7)
- Masa de  $UO_2$  por elemento combustible: 21,0Kg. (7)
- Volumen total del dishing en cada barra 1,90% del volumen de apilamiento de pastillas en la barra externa y 1,30% del volumen apilamiento de pastillas del resto de barras combustibles. (8)



- Masa de U por elemento combustible: 18,7 Kg. (7)
- Temperatura máxima en el centro de la pastilla de UO<sub>2</sub>: 1800°C, durante operación normal. (7)
- Área de UO<sub>2</sub>, plano medio, en frío: 4292,6 mm<sup>2</sup> (6)

### 3.5. recubrimiento de grafito.

Minimiza el efecto de rampas de potencia y de los productos de fisión

- Se realiza con una suspensión de grafito en alcohol isopropílico (de grado electrónico),
  - . pureza mínima del grafito: 95,5% p/p,
  - . impurezas de la suspensión final en partes por millón:

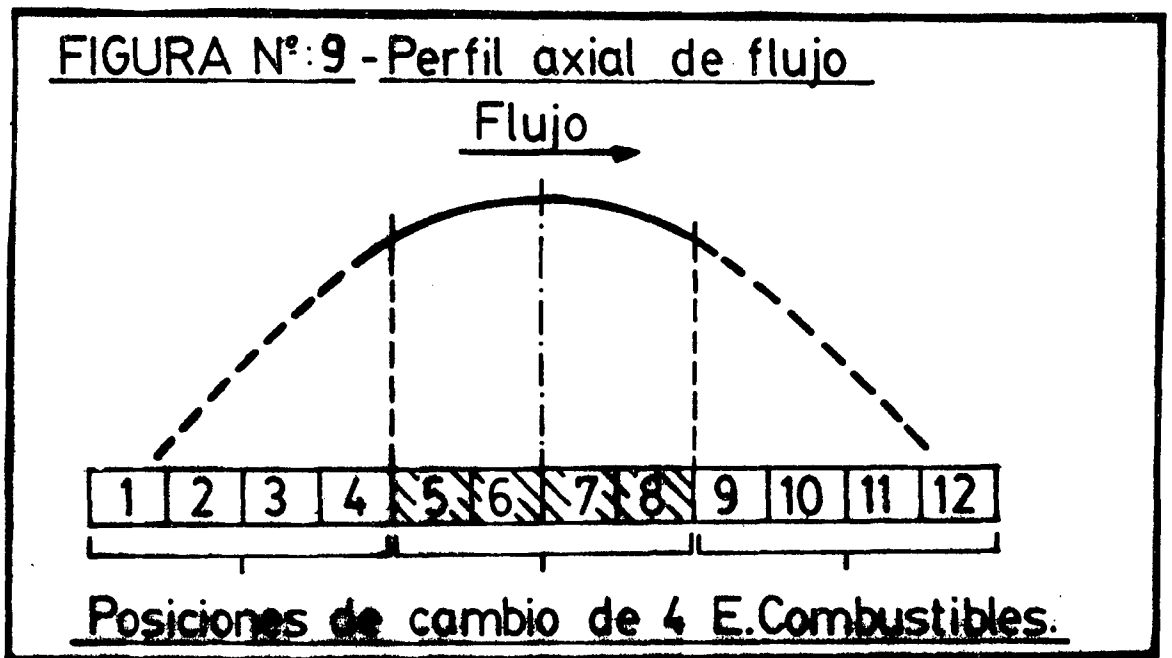
Al: 500	Fe: 5000
B : 200	Mg: 200
Ca: 500	Na: 500
Cd: 700	Si: 5000
Cl: 500	Ti 200
F : 300	

y no más de 50 ppm de cualquier elemento que no sea grafito.

- . recubrimiento de grafito es realizado por escurrimiento y posterior horneado a 510°K - 520°K (237°C - 247°C) en aire o vacío menor que 13,3 mPa (10<sup>-4</sup> torr), por un mínimo de 2 horas,
  - . contenido de H<sub>2</sub> residual, por extracción con vacío a 550°C: 100 - 200 ugH<sub>2</sub> residual, para una vaina de 50cm.
- Espesor mínimo (Canlub): 0,0025mm. (7)
  - Existen 3 espesores:
    - . delgado: 2-4 um,
    - . medio: 4-8 um,
    - . grueso: 8-12 um. (8)
  - Adherencia: se mide haciendo pasar un calibre del mismo diámetro que la pastilla de UO<sub>2</sub>. Valor máximo del grafito desprendido por dicho calibre: 2mg. (8)

## V. GESTION DEL COMBUSTIBLE

- Recambio de elementos combustibles se efectúa con el reactor operando.
- En el reactor el combustible es agregado por inserción de un número fijo de nuevos elementos combustibles por un extremo del canal, extrayendo el mismo número de consumidos por el otro extremo, (2)
- El combustible en canales adyacentes es cambiado en direcciones opuestas ("bidireccional refuelling"). De ese modo, combustible fresco en el extremo de un canal está en forma adyacente a combustible quemado en el canal que es vecino inmediato. Esto tiende a lograr que las propiedades, en promedio, sean uniformes a lo largo del canal, produciendo una distribución simétrica axial de potencia similar a un coseno. (5)



- Mientras una máquina se encarga de introducir un elemento combustible nuevo aguas arriba, la que está en el otro extremo debe recoger uno agotado. (1)
- Combustible agotado es transferido a una piletta de almacenaje, con agua, ubicada en el edificio de servicio, adyacente al edificio del reactor. Dicha piletta tiene una capacidad de almacenaje equivalente a 10 años de operación del reactor. (1)
- En condiciones normales de operación, las dos máquinas de recambio, trabajan al mismo tiempo, operando una en cada extremo del canal de refrigeración. Las máquinas de recambio son capaces de procesar 2, 4, 6, 8, 10 ó 12 elementos combustibles y el recambio de referencia está planeado sobre la base de ocho elementos por recambio. (7)
- La secuencia de movimientos del elemento combustible en el canal, durante el típico recambio de ocho elementos, es la siguiente:
  - i) ocho nuevos E.C. son insertados, dos por vez, desde el extremo de aguas arriba (en la dirección del flujo del refrigerante en el canal),
  - ii) el conjunto de los 20 E.C. (12 E.C. "agotados" más los 8 E.C. "frescos") es movido hacia el extremo aguas abajo,
  - iii) ocho E.C. "agotados" son descargados, dos por vez, desde el extremo de aguas arriba,
  - iv) el conjunto de los doce E.C. remanentes es regresado a la correcta posición en el canal del reactor. (7)
- Todos estos movimientos son realizados por deslizamiento de los e-

- lementos combustibles en el interior del canal. (7)
- Tiempo de contacto con el aire durante la parte final de la operación de recambio: menos de dos minutos. (7)
  - Velocidad media de decaimiento de la temperatura alcanzada durante dicha estadía al aire, por el elemento combustible: 58°C/min. (7)
  - Nivel de oxidación, durante la estadía al aire: muy por debajo de 1 um. (7)

IV. BIBLIOGRAFIA

- (1) "Introducción a la Central Nuclear en Embalse - Reactor Tipo CANDU", N. Pérez y B. Klajman, C.N.E.A., 1977.
- (2) "Sistemas de seguridad de la Central Nuclear Embalse"  
J. Espejo, C.N.E.A.
- (3) "Sistema Eléctrico - Generalidades de la C.N.E.",  
C.A. Bianchi, F.A. Mella, M.A. Ferraris y R.A. Schwedler,  
1977, C.N.E.A.
- (4) "Questions and Answers on CANDU" - C.A.E.L.
- (5) "Canadian Power Reactor Fuel",  
R.D. Page.
- (6) "Manejo de combustible",  
S. Simches, C.N.E.A., 1977.
- (7) "Fuel Technical Description",  
R.D. Page and V.C. Orpen.
- (8) Plano/Combustible tipo CANDU, numeración provisoria:  
4.0.10.023a.