

08.79.02

ARCHIVO	RECEPCION
Nº 1	AÑO 1979

CNEA NT 4/79

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Dependiente de Presidencia de la Nación

DATOS TECNICOS DEL COMBUSTIBLE Y PRINCIPALES
CARACTERISTICAS DEL REACTOR Y LA CENTRAL
NUCLEAR EN ATUCHA

Llorca S.; Olezza R.; Pérez E.

Departamento Combustibles Nucleares

Gerencia de Desarrollo

BUENOS AIRES, 1979

I.- INTRODUCCION

II.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL

III.- EL REACTOR

- A) Características Generales
- B) Consideraciones Sobre El Balance Térmico
- C) Parámetros De Operación
- D) El Refrigerante
- E) Canal De Refrigeración
- F) Regulación De Potencia
 - 1. Características de las barras de control
 - 2. Regulación de la reactividad a través de la temperatura del reactor
 - 3. Medio adicional de control de la reactividad
- G) Instrumentación Interna Del Núcleo
 - 1. Detectores de temperatura
 - 2. Detectores de flujo neutrónico
- H) Moderador.

IV.- EL COMBUSTIBLE

- A) Criterio De Diseño
- B) El Elemento Combustible
 - 1. Características generales
 - 2. Propiedades físicas y químicas del Zry-4
 - 3. La barra combustible:
 - i) datos de diseño,
 - ii) componentes de Zry-4,
 - iii) combustible,
 - iv) componentes cerámicos,
 - v) gases de fabricación,
 - 4. Componentes estructurales:
 - i) acoplamiento del Elemento Combustible,
 - ii) cuerpo de relleno del canal de refrigeración (con acoplamiento),
 - iii) grilla superior,
 - iv) separadores,
 - v) tubo estructural,
 - vi) zapatas elásticas,
 - vii) muelle elástico,

V.- GESTION DEL COMBUSTIBLE

- A) Zonas De Gestión
- B) Recambio Del Combustible
- C) Fuente De Las Rampas De Potencia

VI.- BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

α : partícula alfa.

A.P.: alta presión.

$\text{\AA}$: Angstrom.

atm: atmósfera.

ate, ata: atmósfera absoluta.

B.P.: baja presión.

b.c.: barra combustible.

β : partícula beta.

cm: centímetro.

cm^3 : centímetro cúbico.

C.N.A.: Central Nuclear Atucha.

δ : densidad.

dpp,fpd: día de plena potencia.

ΔP : diferencia o incremento de reactividad.

ΔL : diferencia o incremento de longitud.

EC: elemento combustible.

Kcal/KWh: Kilocaloría por Kilowatt hora.

Cal. $^{\circ}$ C/g: Kilocaloría.grado centígrado por gramo.

Cal./ $^{\circ}$ C.cm.seg: Kilocaloría por grado centígrado,centímetro,segundo.

$^{\circ}$ C: grado centígrado.

$^{\circ}$ C/mm: grado centígrado por milímetro.

$^{\circ}$: grado (sistema sexagesimal).

g: gramo.

g/cm: gramo por centímetro.

g/cm^3 : gramo por centímetro cúbico.

γ : partícula gamma.

Kg: Kilogramo.

$\text{Kg/cm}^2/\text{seg}$: Kilogramo por centímetro cuadrado por segundo.

Kp/mm²: Kilogramo (presión) por milímetro cuadrado.

Kg/mm²: Kilogramo (masa) por milímetro cuadrado.

KV: Kilovolt.

KVA: Kilovolt ampere.

KW: Kilowatt.

Inox: inoxidable.

L_tEC: largo total del Elemento Combustible.

>: mayor.

≥: mayor o igual.

<: menor.

≤: menor o igual.

m: metro.

m³: metro cúbico.

m³/h: metro cúbico por hora.

m/seg: metro por segundo.

m/min: metro por minuto.

MeV: Mega electrón volt.

MV: mega volt.

MVA: mega volt ampere.

MW: mega watt.

MWd/ton U: mega watt.día por tonelada de uranio.

MWe: mega watt eléctrico.

μ: micro.

mb: milibarn.

mm: milímetro.

mm/min: milímetro por minuto.

min: minuto (tiempo).

': minuto (sistema sexagesimal).

n: neutrón.

$N/cm^2/s$: neutrón por centímetro cuadrado por segundo.

O/U: relación Oxígeno - Uranio.

ppm: partes por millón.

%: por ciento.

‰: por mil.

PHWR: Reactor de Potencia, refrigerado con agua pesada.

p: protón.

rpm: revoluciones por minuto.

seg: segundo (tiempo).

1/s, seg^{-1} : segundo a la menos uno.

ton: tonelada.

t/h, ton/h: tonelada por hora.

ton UO_2 : tonelada de Oxido de Uranio.

ton U: tonelada de Uranio.

W/cm: watt por centímetro.

W/cm^2 : watt por centímetro cuadrado.

Zry: zircaloy.

Zry-4: zircaloy-4.

1.- INTRODUCCION.

Se han recopilado en este trabajo las principales características, datos de diseño y operación de la Central Nuclear en Atucha, poniéndose énfasis especial en aquéllos referentes al combustible.

La recopilación surgió como una necesidad de disponer en forma ágil e inmediata, ya sea para consulta ó chequeo, de un conjunto de información al que es habitual recurrir, cuando se realizan trabajos relacionados con el reactor ó con el combustible.

La información reunida, si bien no es completa, constituye una base no sólo para su ampliación sino también para una continua actualización. Existen variables ó parámetros que por diversas razones se modifican con el transcurso del tiempo, lo que determina que en ciertos casos sea de interés conocer los períodos de vigencia correspondientes; este tipo de información, que en lo posible ha sido incluida, se tratará de mantener al día en el futuro.

Se han indicado las fuentes consultadas a los efectos de permitir una profundización de la búsqueda e indicar la confiabilidad del dato suministrado.

II.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL

Reactor tipo PHWR alimentado con Uranio natural, refrigerado y moderado con agua pesada.

- Refrigerador del moderador (1):

- . Cantidad: 2.
- . Diámetro exterior de la envoltura: 1.500 mm.
- . Altura total: 6.500 mm.

- Presurizador (1):

- . Cantidad: 1.
- . Contenido total: 26 m³.
- . Potencia de calefacción: 1.000 KW.
- . Diámetro exterior de la envoltura: 2.000 mm.
- . Altura total : 11.000 mm.
- . Peso total: 40 ton.

- Generador de vapor (1):

- . Cantidad: 2.
- . Altura total: 15.500 mm.
- . Diámetro mayor (lado del vapor): 3.600 mm.
- . Diámetro de la envoltura (lado del agua): 2.700 mm.
- . Peso total: 150 ton.

- Bombas de agua de alimentación (1):

- . Cantidad: 3.
- . Velocidad: 2.970 rpm.
- . Caudal: 900 ton/h.
- . Presión de bombas: 49 ata.

- Instalación de vapor (1):

- . Consumo térmico del turbogenerador: 2.790 Kcal/KWh.
- . Caudal de vapor vivo: 1.740 ton/h.
- . Presión de vapor a la salida del generador de vapor: 44,0 ata.
- . Humedad máxima del vapor a la salida del generador de vapor: 0,25%.
- . Construcción de la turbina: -1 carcasa de alta presión, (flujo en 2 direcciones).
- 3 carcasas de baja presión, (flujo en 2 direcciones).
- . Longitud de álabes finales: 750 mm.
- . Presión de vapor a la entrada de la turbina: 42,5 ata.
- . Humedad a la entrada de la turbina: 0,33%.
- . Presión de vapor, salida de A.P.: 3,7 ata.
- . Humedad, salida de A.P.: 11,0%.
- . Cantidad de vapor de entrada, parte de BP: 1.530 ton/h.
- . Presión de vapor de entrada, parte de BP: 3,5 ata.
- . Cantidad de vapor en el condensador: 1.240 ton/h.
- . Presión en el condensador: 0,045 ata.
- . Humedad final: 13%.
- . Temperatura del agua de refrigeración: 17° C.
- . Caudal de agua de refrigeración para el condensador: 62.000 m³/h.
- . Superficie de refrigeración (exterior): 31.000 m².

- . Temperatura del precalentador (final del precalentamiento): 135°C.
- . Temperatura de entrada en el generador de vapor: 165,4 ° C.

- Generador (1) :

- . Potencia aparente: 425 MVA .
- . Potencia efectiva: 340 MW .
- . Factor de potencia: 0,8.
- . Tensión de bornes: 21,0 KV.
- . Refrigeración de los arrollamientos del estator y del rotor: H₂/4 ata.

- Bombas principales de agua de refrigeración (1) :

- . Tipo: helicoidales, verticales.
- . Cantidad: 3.
- . Caudal: 2.400 m³/h.
- . Altura de impulsión: 30 m columna H₂O .
- . Potencia de accionamiento: 2.700 KW .

- Transformador de bloque de consumo propio 21/6,6 KV (1) :

- . Transformador trifásico en baño de aceite 1-100% .
- . Potencia nominal: 28/16/16 MVA .
- . Tensión de cortocircuito: 10/10/24% .

- Transformador de arranque 132/6,6 KV. (1) :

- . Transformador trifásico en baño de aceite 1-100% .
- . Potencia nominal: 28/16/16 MVA .
- . Tensión de cortocircuito: 9,5% .

- Grupo Diesel de emergencia (1) :

- . Grupos: 3 x 50% .
- . Potencia c/u: 950 KVA .

FIGURA 1

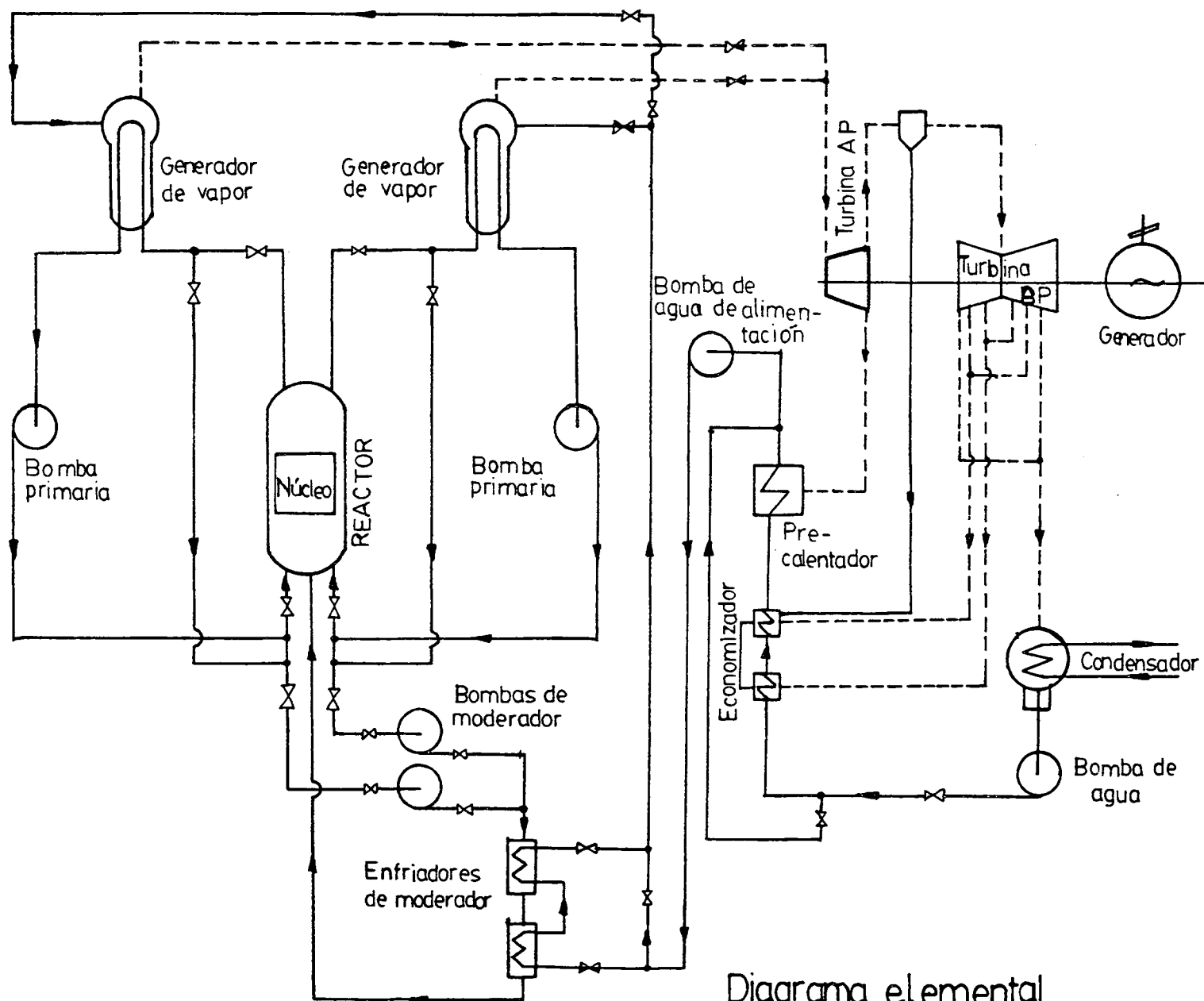
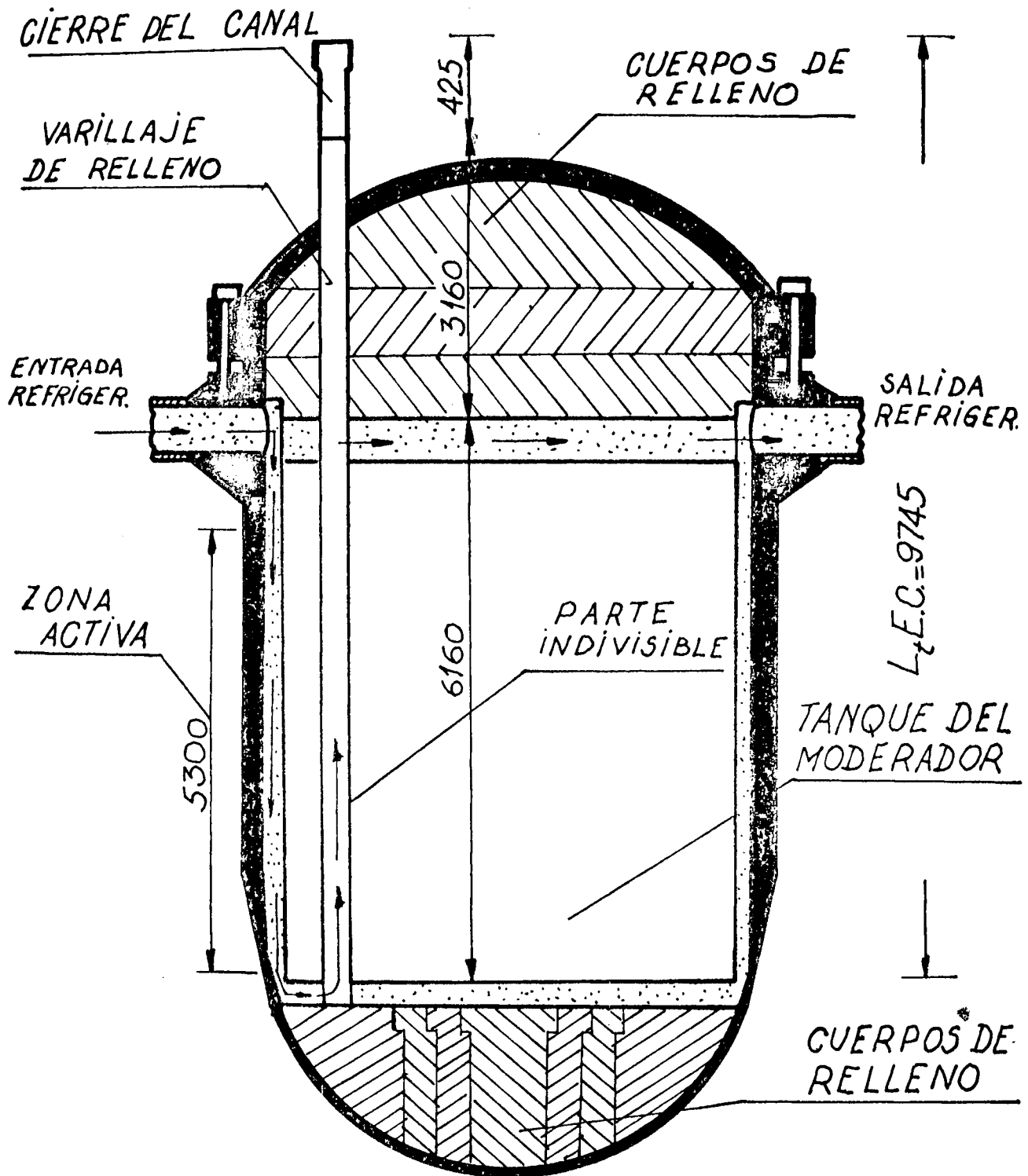


Diagrama elemental
Central PHWR.

III.- EL REACTOR.

A) Características Generales.

- Reactor tipo: PHWR.(2)
- Núcleo del reactor formado por:
 - . Recipiente del moderador.
 - . Tapa del recipiente del moderador.
 - . Cuerpos de relleno superior e inferior.
 - . Tuberías del moderador.
 - . Tuberías de Boro.
 - . Tubos de guía de las sondas.
- Combustible: U natural, como UO₂.(2)
- Número de canales: 253.(2)
- Número de Elementos Combustibles: 253.(2)
- Diámetro medio del núcleo del reactor: 454,31 cm.(3)
- Altura del reactor: 626,0 cm.(4)
- Radio de la celda: 14,281.(4)
- Disposición del reticulado: triangular.(3)
- Distancia interrecticular: 27,2 cm (3)
- Espesor del reflector inferior: 45,5 cm.(3)
- Espesor del reflector superior: 46,5 cm.(3)
- Recipiente de presión del reactor :
 - . Material componente: acero calmado de AL, de grano fino, del tipo A 508 - 64 Class 2, ASTM.(3)
 - . Altura exterior del recipiente, sin tapa: 9.860 mm.(1)
 - . Altura exterior de la tapa: 2.260 mm.(1)
 - . Diámetro interno, parte cilíndrica: 5.360 mm.(1)
 - . Diámetro externo, parte cilíndrica: 5.800 mm.(1)
 - . Presión de diseño: 136 ata. (1)
 - . Presión de prueba: 176 ata. (1)
 - . Peso de la parte inferior: 340 ton (3)
 - . Peso del recipiente, sin accesorios internos: 435 ton.(1)
 - . Peso del recipiente, con accesorios internos: 985 ton.(1)
- Bombas principales de refrigeración (1) :
 - . Cantidad: 2.
 - . Caudal: 11.750 t/h.
 - . Potencia de motor: 6.200 KW.
 - . Número de revoluciones: 1,490 r.p.m.
 - . Altura total: 6.000 mm.
 - . Peso total: 50 ton.
- Circuito de refrigeración principal (1) :
 - . Cantidad de circuitos: 2.
 - . Caudal medio de refrigerante en cada circuito: 10.000 t/h.



REACTOR DE LA C.N.A.

FIGURA 2

B) Consideraciones Sobre El Balance Térmico.

A 100% de potencia y a una temperatura media del moderador de 170°C , el circuito del refrigerante moderador extrae 39 MW, (del calor transmitido por el agua del circuito refrigerante primario a través de las paredes, fondo y tapa del tanque del moderador), más 11 MW, (debidos al aporte de agua del primario a través del juego que existe entre los canales de refrigeración y el fondo del tanque del moderador). En total son extraídos del moderador 105 MW. Los 995 MW restantes hasta completar los 1100 MW, más aproximadamente 8 MW (por el funcionamiento de las bombas del primario), son transferidos en el generador de vapor al agua de alimentación.

C) Parámetros De Operación .

- Potencia eléctrica de diseño: 313 MWe. (2)
- Potencia eléctrica bruta, anterior: 340 MWe
- Potencia eléctrica bruta, actual: 358 MWe. (5)
- Rendimiento neto: 29,0%. (1)
- Carga total del núcleo: $\left. \begin{array}{l} 43,769 \text{ ton } \text{UO}_2 \\ 38,597 \text{ ton } \text{U} \cdot 2 \end{array} \right\} (6)$
- Recarga anual del núcleo: 50 ton UO_2 . (2)
- Potencia térmica total media de diseño (100%): 1100 MW. (3)
- Potencia térmica total media de diseño (108%): 1179 MW. (3)
- Potencia total generada en el núcleo del reactor: 1100 MW. (3)
- Potencia generada en las b. combustibles: 1045 MW. (3)
- Potencia generada en el moderador:(el resto). (3)

D) El Refrigerante.

- Temperatura del refrigerante: 280°C .(4)
- Presión de trabajo en el refrigerante: 140 Kg/cm^2 , (115 atm) .(2)
- Densidad del refrigerante: $0,8368\text{ g/cm}^3$.(4)
- Concentración de D_2O : 99,75 molar .(4)
- Relación $\frac{\text{volumen refrigerante}}{\text{volumen mat. combust.}}$ 1,6 .(3)
- Límites máximos de principales impurezas en el refrigerante:

$$\text{Fe} \leq 0,04 \text{ ppm}$$

$$\text{LiOH} \leq 1-2 \text{ ppm}$$

$$\text{Cl} \leq 0,2 \text{ ppm}$$

$$\text{O}_2 \leq 0,05 \text{ ppm}$$

$$\text{D}_2 \leq 6 \text{ ppm} .$$

- Velocidad de flujo máximo del refrigerante: 9 m/seg.
- Temperatura del refrigerante, a 115 ata: $272^{\circ}\text{C} - 306^{\circ}\text{C}$.
- Temperatura de entrada del refrigerante: 272°C .
- Temperatura de salida del refrigerante: 306°C .

(6)

TABLA I

PRODUCTOS DE ACTIVACION DEL MEDIO REFRIGERANTE (7)

RADIONUCLEIDO	SEMIPERODO	ENERGIA γ (Mev)	ENERGIA β MAX. (Mev)	ELEMENTO ORIGINAL	REACCION	SECCION EFICAZ ACTIVACION
N - 16	7,4 seg.	6,0; 6,1; 7,1	10,3; 1,3; 3,8	O - 16	n,p (+)	20 μ barn
H - 3 (2)	12 años	-	0,018	Li - 6	n, α	945
Li - 8 (1)	0,9 seg.	-	(13, 6, 3)	Li - 7	n, γ	33
Na - 24 (3)	15 horas	1,38; 2,76	1,4	Na - 23	n, γ	0,6 barn
H - 3	12 años	-	0,018	H - 2	n, γ	0,57 mb
N - 17	4,14 seg.	-	3,7	O, 17	n,p	33 mb
Li - 7 (4)	estable	-	-	B - 10	n, α	2624 barn
O - 19	29 seg.	0,19; 1,37	-	O - 18	n, γ	-
F - 17	66 seg.	0,511	β^+ (aniquil)	O - 16	(d, p)	-

(+) neutrones con más de 9 Mev

(1) del agregado al D₂O de OHLi⁷ para alcalinizar el medio

(2) de la regeneración de las resinas aniónicas para extracción boro (regeneración con Linat = 7,52% Li-6 y 92,48% Li-7)

(3) de regeneración de resinas aniónicas para extracción boro al comienzo de la operación

(4) de la utilización de boro natural para control de reactividad B nat. = (19,61% B-10; 80,39% B-11)

TABLA II
PRODUCTOS DE CORROSION DE MATERIAL ESTRUCTURAL (7)

RADIONUCLEIDO	SEMIPERIDO	ENERGIA γ (Mev)	ENERGIA β MAX. (Mev)	PRECURSOR	REACCION	SECCION EFICAZ ACTIVACION
Co - 60	5,27 años	1,17; 1,33	0,3; 1,5	Co - 59	n, γ	36 barn
Co - 58	72 días	0,81	β^+ 1,3	Ni - 58	n,p	0,15 barn
Fe - 59	45 días	1,10; 1,29	0,5; 1,6	Fe - 58	n, γ	0,98 barn
Mn - 54	314 días	0,835	-	Fe - 54	n,p	0,054 barn
Zn - 65	245 días	1,115	β^+ 0,3	Zn - 64	n, γ	0,47 barn
Cr - 51	27 días	0,32	-	Cr - 50	n, γ	13,5 barn
Mn - 56	2,6 horas	0,85; 1,81; 2,11	2,9	Fe - 56	n,p	$9,5 \times 10^{-4}$ barn

TABLA III

PRODUCTOS DE ACTIVACION DEL AIRE DE REFRIGERACION DEL RECIPIENTE DE PRESION (7)

RADIO NUCLEIDO	SEMIPERODO	ENERGIA γ (Mev)	ENERGIA β MAX. (Mev)	PRECURSOR	REACCION	SECCION ACTIVACION
Ar - 41	109 min.	1,29	1,2; 2,5	A - 40	n, γ	0,61 barn

E) Canal De Refrigeración . (6)

- Diámetro interior del canal: $108,2 \pm 0,22$ mm.
- Diámetro de la circunferencia que pasa sobre la superficie exterior de las zapatas rígidas: $107,8 \pm 0,1$ mm.
- Fijación del EC al canal es asimétrica, con aproximadamente 0,4 mm de excentricidad. Excentricidad máxima: 0,7 mm.
- Cada canal refrigerante posee estrangulamiento en el extremo inferior del canal, a 545 mm del extremo inferior del EC.
- Existen 8 valores diferentes del caudal, de acuerdo a los diferentes estrangulamientos:

<u>Nº de canales en TRISIC</u>	<u>Zonas</u>	<u>A presión y Tª de trabajo</u>
76 al 85	zona 1	8,1 Kg/s
68 al 75	zona 2	10,3 Kg/s
58 al 67	zona 3	14,3 Kg/s
52 al 57	zona 4	17,4 Kg/s
42 al 51	zona 5	22,4 Kg/s
32 al 41	zona 6	26,2 Kg/s
14 al 31	zona 7	27,5 Kg/s
1 al 13	zona 8	33,9 Kg/s

- Velocidad másica máxima (estrangulamiento zona 1): $0,66 \text{ Kg/cm}^2/\text{seg}$.
- Pérdida de presión a lo largo del canal refrigerante: 5,5 atm.

F) Regulación De Potencia.

Como elementos para controlar la reactividad del reactor, pararlo en caso de emergencia de un modo seguro (scram), compensar el envenenamiento por Xe después de una reducción de potencia y controlar las oscilaciones eventuales de Xe cuenta con un:

- i) banco de barras negras,
- ii) banco de barras totalmente grises,
- iii) banco de barras parcialmente grises: eliminan posibles asimetrías axiales de la distribución de la densidad de potencia,
- iv) posible regulación de la temperatura del moderador.

15
TABLA IV

Características y componentes de las barras de control.(8)

Tipo de barra	Plano	Características				Componentes			
		Canti- por banco	Longi- tud (mm)	Peso (kg)	Recorri- do (mm)	Tubos absorbentes	Tubos (*) magnéticos	Tubos de soporte	Amortiguador
Barras negras	nº 1 RE 51-2076 a	24	10630	aprox. 180	5932	Hf	x 10 Cr 13	x 10 CrNiNb 189	x 10 Cr 13
Barras totalmen- te grises	nº 1 RE 51 - 2473	3	10630	aprox. 170	5932	x 10 C _r NiNb 189	x 10 Cr 13	x 10 CrNiNb 189	x 10 Cr 13
Barras parcial- mente grises	nº 1 RE 51-2472	2	10155	aprox. 130	3784	x 10 C _r NiNb 180/zry-4	x 10 Cr 13	x 10 CrNiNb 189	x 10 Cr 13
									x 10 CrNiNb 189

(*)1: consiste en material imantable y es la pieza de unión entre la barra de control y su accionamiento.

Observaciones de la Tabla IV

- Barras negras:

- . Tubos absorbentes son 2 tubos superpuestos, de Hf.
- . Tubo absorbente inferior suspendido del tubo magnético.
- . Tubo absorbente superior suspendido del amortiguador.

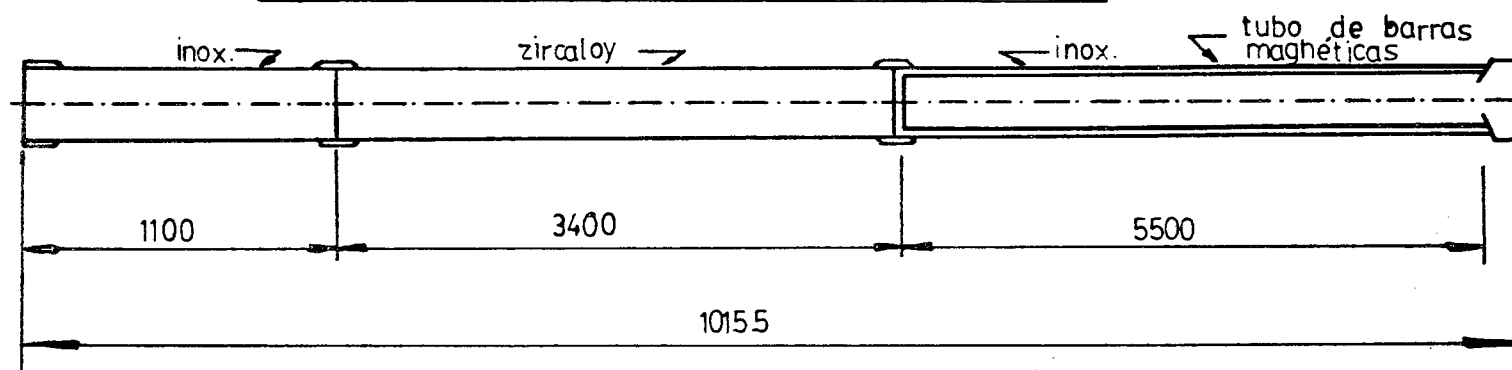
- Barras totalmente grises:

- . Tubo absorbente inferior es de acero ("gris")
- . Tubo de soporte llega hasta el extremo inferior del tubo magnético.

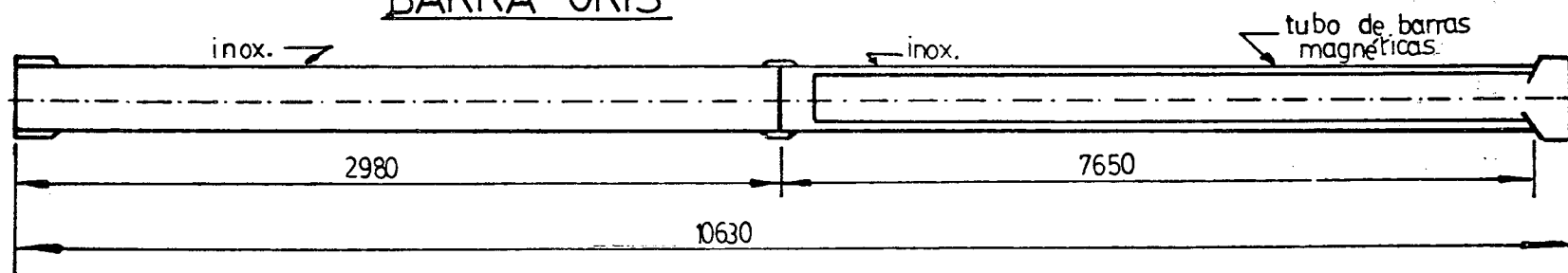
- Barras parcialmente grises:

- . Tubo magnético, en una porción de su extremo inferior se divide en una zona de Zry y otra de acero. El tubo de zry está intercalado entre el tubo magnético y el tubo inferior de acero.

BARRA GRIS DE LONGITUD PARCIAL



BARRA GRIS



BARRA NEGRA

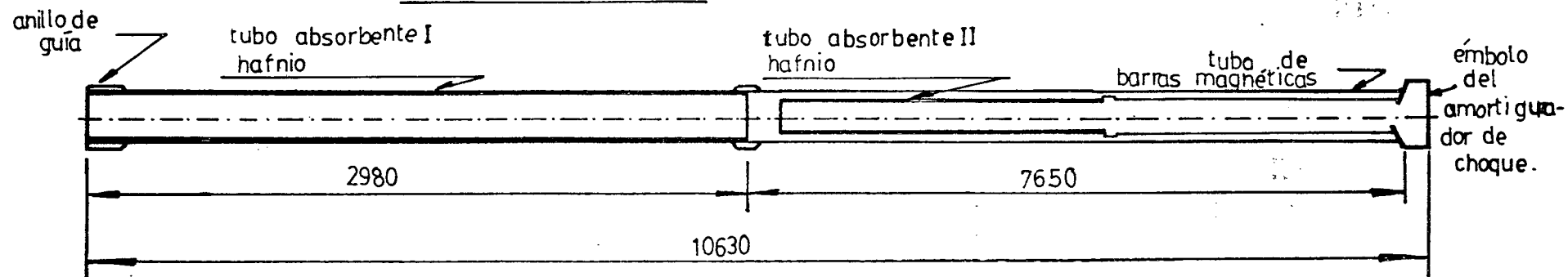


FIGURA 3

Efectividad de barras negras y
grises - C.N.A.

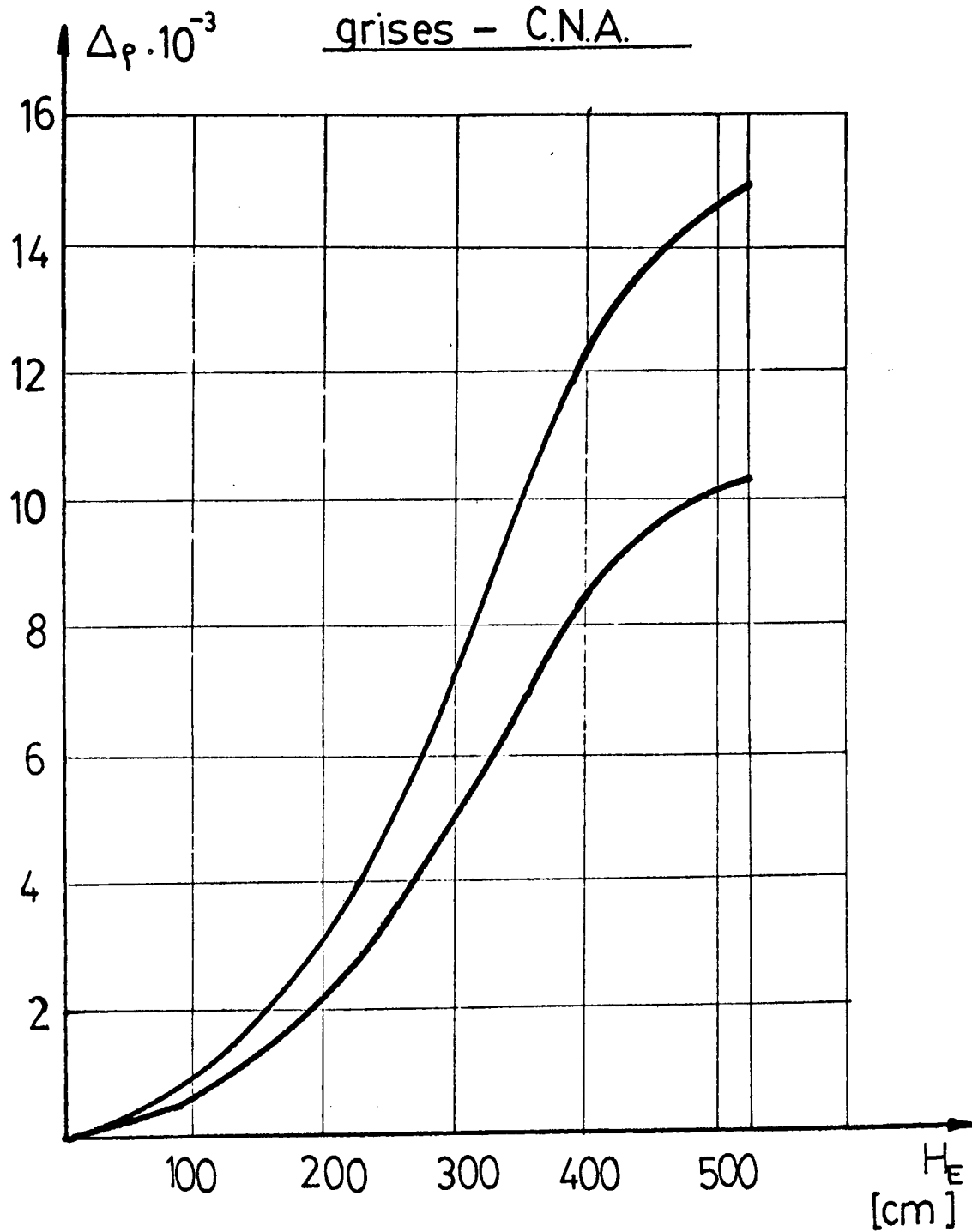


FIGURA 4

1.- Características de las barras de control.

- Total: 29 b. de control: Se introducen a través de tubos guía, en 6 grupos, entre los canales de refrigeración, formando un ángulo entre 15° y 21°.
- Presión de servicio: 114 ate. (8).
- Presión de diseño: 135 ate. (8).
- Presión de prueba (a tª ambiente): 175 ate. (8).
- Temperatura de servicio: 317 ° C.] (8)
- Temperatura de diseño: 330° C.]
- Medio ambiente: D2O, según especificación KL3/32-1111.(8)
- Posición: inclinada en un ángulo entre 15° y 21° .(8)
- Peso máximo: ca 180 Kg (sin empuje) .(8)
- Relación $\frac{\text{Esfuerzo de elevación}}{\text{Peso + fuerza de muelle}} \approx 2$.(8)
- Recorrido máximo: 5932 mm.(8)
- Velocidad de maniobra: aprox. 700 mm/min.(8)
- Flujo integrado de neutrones rápidos, a lo largo de 20 años, es aprox. 10^{22} n/cm² (E 0,5 MeV).(8)
- Precisión de medida de la posición a lo largo del recorrido total: + 50 mm valor experimental. (8)
- Exceso de reactividad, en operación normal, (para compensar el envenenamiento por Xe, que aparece al operar la planta en ciclos de carga 100% - 53,5% - 100%): 10‰ .(3)
- Precisión de respuesta para los contactores de posición límite: ± 1,5mm .(8)
- A 100% potencia, Tª moderador 180° C y Xe en equilibrio:
 - . las barras negras se encuentran insertadas 1,50 m] (8)
 - . las barras grises se encuentran insertadas 3,75 m.]
- Coordenadas de los extremos de las barras de control:
(corresponden a los planos superior e inferior de la zona activa de los elementos combustibles).

Superior

Barra de control N°	X (mm)	Y (mm)
1	1526,608961	-342,6194678
2	1459,650273	162,7241122
3	1186,213105	548,8576801
4	923,9033023	941,4156130
5	1531,138872	1104,750575
6	1060,018561	1409,117705
7	588,8983637	1602,564881
8	117,7783051	1660,029755
9	-353,3416815	1646,8295706
10	-206,6302016	1887,314652
11	-706,1665800	1631,721897
12	-807,0188209	1145,945275
13	-1085,519910	762,7358093
14	-1322,179288	355,3686579

Superior

Barra de Control N°	X (mm)	Y (mm)
15	-1498,776738	902,6878308
16	-1526,609869	342,6154172
17	-1459,649841	-162,7279844
18	-1186,211649	-548,8608261
19	-923,9008049	-941,4180645
20	-1531,135943	-1104,754635
21	-1060,014825	-1409,120516
22	-588,8941145	-1602,566443
23	-117,7739035	-1660,030068
24	353,3460482	-1646,894769
25	206,6352116	-1887,314104
26	706,1709117	-1631,720023
27	807,0218625	-1145,9443132
28	1085,521934	-762,7329289
29	1322,180232	-355,3651471

Inferior

Barra de Control N°	X (mm)	Y (mm)
1	-159,7741630	-1316,250007
2	-226,7328510	-810,9064275
3	-500,1700180	-424,7728590
4	-839,1831300	-76,49945600
5	1531,140336	-328,7811160
6	1060,020025	-244,1398500
7	588,8998274	169,0331910
8	117,7797688	226,4980650
9	-353,3402178	213,3640150
10	1034,839976	1170,540697
11	535,3035980	914,9479420
12	971,5116590	119,0947320
13	693,0105700	-264,1147340
14	364,1960860	-618,2753059
15	187,6038030	1876,322844

Inferior

Barra de Control N°	X (mm)	Y (mm)
16	159,7706720	1316,250431
17	226,7306990	810,9070283
18	500,1688910	424,7741870
19	839,1829270	76,50168200
20	-1531,141208	328,7770560
21	-1060,020090	24,41117400
22	-588,8993792	-169,0347530
23	-117,7791682	-226,4983780
24	353,3407836	-213,3630780
25	-1034,836869	-1170,543444
26	-535,3011690	-914,9493640
27	-971,5113440	-119,0973100
28	-693,0112720	264,1128930
29	-364,1977260	618,2743409

2.- Regulación de la reactividad a través de la temperatura del reactor. (3)

Temperatura media del Reactor: 140°C - 220° C.

Como la temperatura influye en la reactividad, ésta se modifica entre límites que dependen del valor del coeficiente que, a su vez, varía con el grado de quemado del núcleo entre:

- $17 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para núcleo nuevo.
- $5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para núcleo en equilibrio.

3.- Medio adicional de control de la reactividad. (3)

Otro medio de controlar la reactividad, consiste en la dosificación de ácido bórico en el moderador. Se le inyectan hasta 12 ppm, los que se extraen al alcanzarse los 95 dpp y comenzar el recambio.

Para detener la planta con seguridad, en el estado frío a 20°C, deben añadirse de 1 a 2 ppm de B.

BANCO DE BARRAS DE REGULACIÓN DE POTENCIA

- Banco de barras grises: 8, 18 y 28.
- " " " " " parciales: 13 y 29.
- " " " " " negras: 2, 12 y 22 ó 4, 14 y 24 ó 7, 17 y 27.

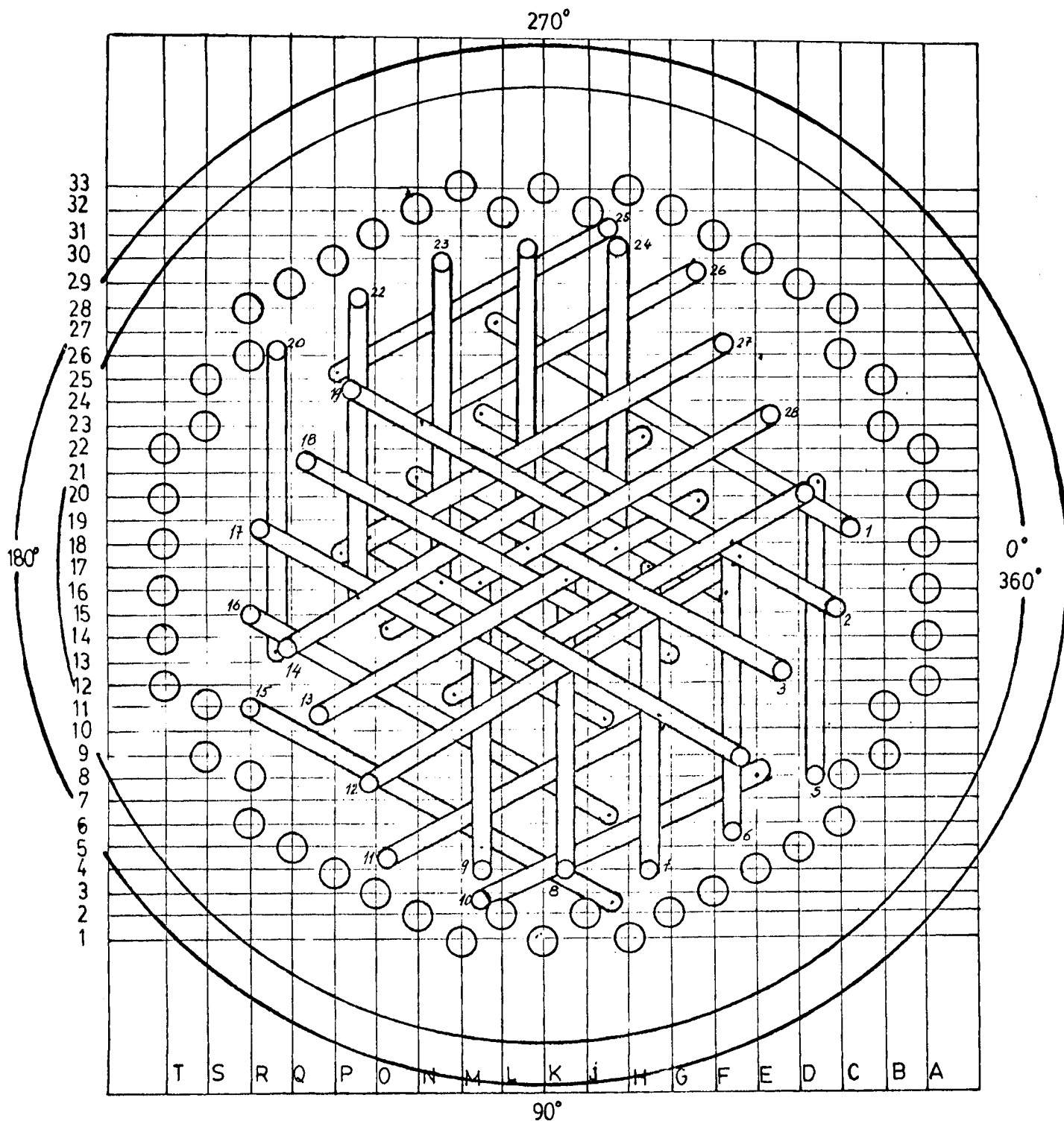


FIGURA 5

G) Instrumentación Interna Del Núcleo.

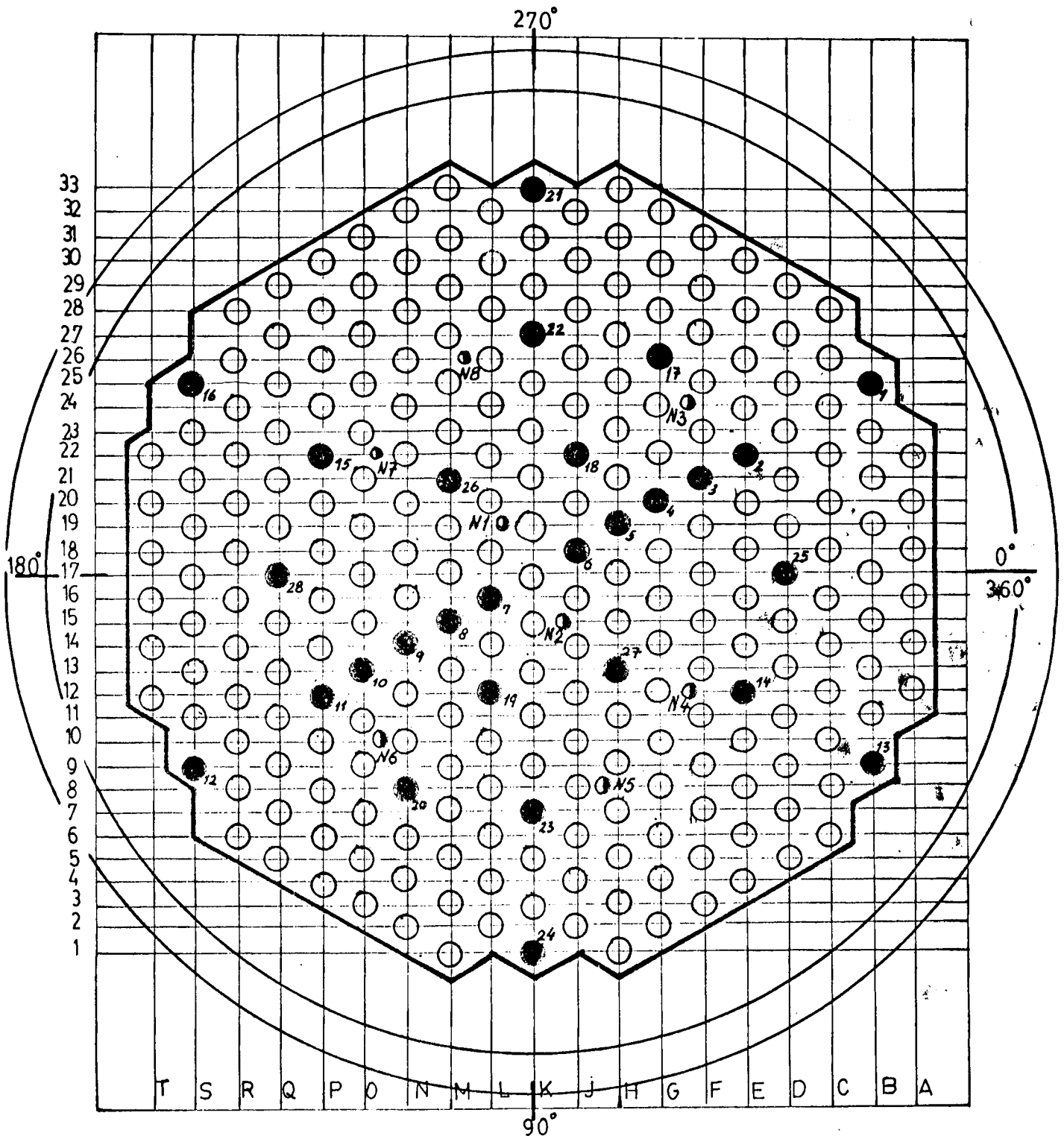
1.- Detectores de temperatura.(9)

- Función: determinación de distribución axial y radial de la potencia del reactor.
- Cantidad: 28 canales (NU01-NU01T28) con una termocupla cada uno.
- Ubicación: a la salida de los canales de refrigeración. Otra termocupla a la entrada del canal, mide la temperatura de entrada del refrigerante.

2.- Detectores de flujo neutrónico.(9)

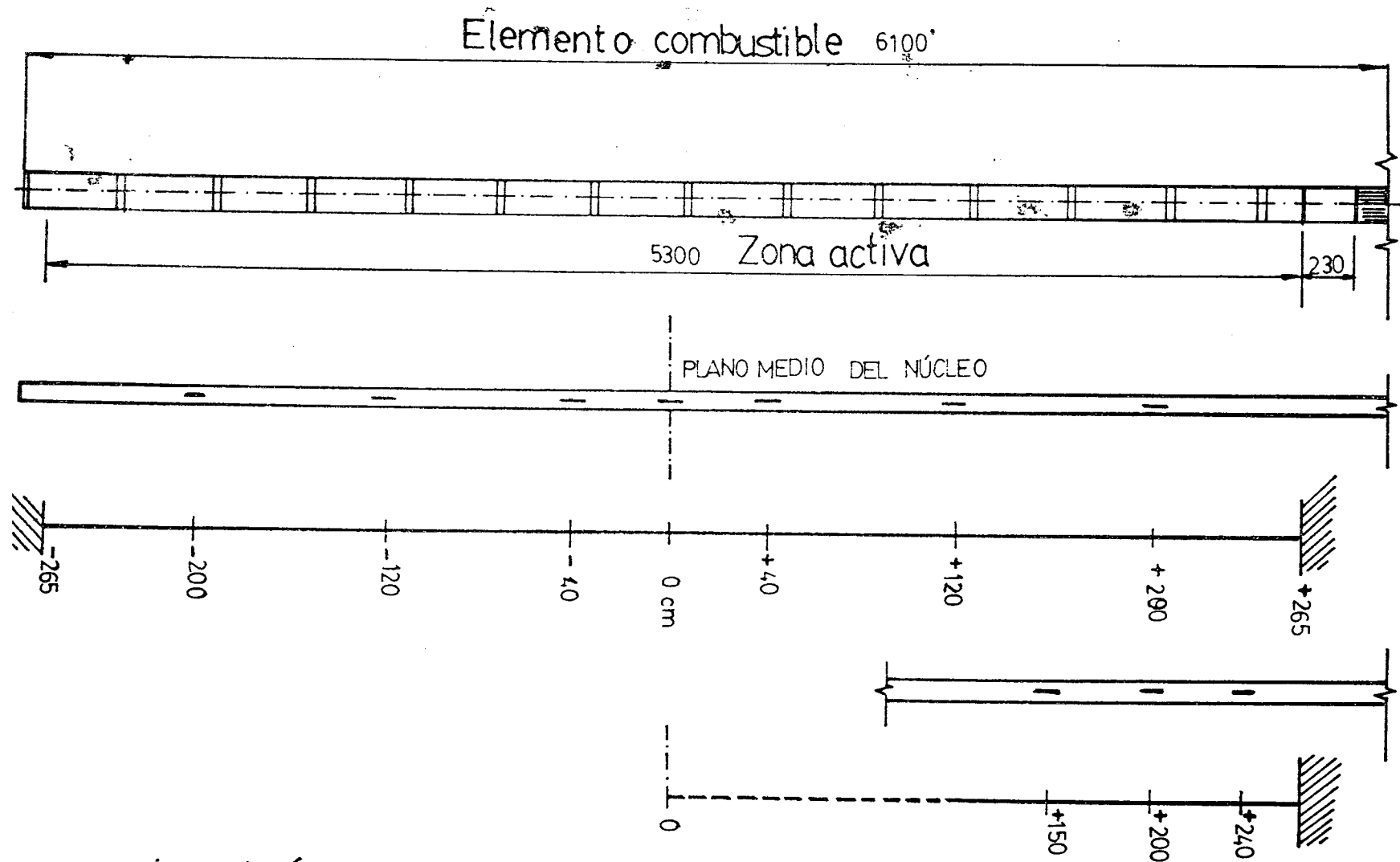
- Función: determinación de distribución axial de la potencia del reactor.
- Cantidad: 6 lanzas con 7 detectores cada una.
 - 2 lanzas (más cortas) con 3 detectores cada una.
- Ubicación: Las lanzas cortas se hallan a una distancia de 31,4 cm del centro del núcleo, tres lanzas largas se encuentran a 109,9cm del centro y las restantes a 128,5 cm.

- POSICIÓN DE LAS LANZAS PARA DETECTORES
 ● CANALES QUE POSEEN MEDICIÓN DE TEMPERATURA A LA SALIDA



VISTA DEL NÚCLEO INDICANDO LA POSICIÓN
DE LAS LANZAS PARA MEDICIÓN DE FLUJO
"IN CORE" Y LAS 4 ZONAS DE QUEMADO.

FIGURA 5



DISPOSICIÓN DE LOS DETECTORES β , AXIALMENTE, EN EL NÚCLEO.

FIGURA 7

H) Moderador.

- Material: D_2O .
- Concentración: 99,75 molar.
- Temperatura media del moderador: $180^{\circ}C$ (+ $40^{\circ}C$), durante el servicio.
- Densidad del moderador: $0,9896 \text{ gr/cm}^3$.
- Relación $\frac{\text{volumen del moderador}}{\text{volumen del mat. combustible}} = 16,4$.

IV.- EL COMBUSTIBLE.

A) Criterio De Diseño Del Elemento Combustible .(6)

La densidad de potencia, en el núcleo del reactor, está limitada por la capacidad de carga del material de la vaina en las barras combustibles del Elemento. Estas limitaciones están determinadas por:

- a) el requerimiento que la potencia de la barra no debe alcanzar, en ningún punto del núcleo del reactor, un valor lo suficientemente alto tal que, en el caso de ocurrencia simultánea más desfavorable respecto de las tolerancias y una sobrecarga del diseño en el centro de una barra combustible, el combustible comience a fundir,
- b) la tensión y expansión a la cual las vainas pueden estar expuestas, durante el período completo de operación, sin la probabilidad de defectos en las vainas que puedan disminuir la seguridad de la Central,
- c) el requerimiento que no ocurran deformaciones en las barras tal que puedan perjudicar el flujo de refrigerante del espacio canal - elemento combustible ó que destruyan el elemento combustible,
- d) el comportamiento ante la corrosión de las vainas de las barras combustibles. El principal aspecto de las consideraciones de diseño es que la contaminación radioactiva del refrigerante, a través de productos de fisión liberados por el combustible, deberá mantenerse debajo de un cierto nivel tomado como criterio, en el diseño de la seguridad de operación de la central.

B) El Elemento Combustible.1.- Características Generales.

- El Elemento Combustible está formado por (3):
 - . Parte inferior del acoplamiento
 - . Anillo de unión al acoplamiento
 - . 3 barras de acero inoxidable, que permiten la salida del refrigerante
 - . 1 anillo de acero inoxidable, que sirve de unión entre las barras de acero y la parte de Zry.
 - . 6 tubos de Zry-4, con tapones soldados, que unen grilla superior con el anillo intermedio.
 - . grilla superior
 - . 36 barras combustibles
 - . 1 tubo estructural, al que se hallan fijas las zapatas elásticas que fijan el elemento combustible al canal.
 - . 15 separadores
- Quemado de diseño: 7000 MWd/ton U. (2)
- Largo total del Elemento Combustible: 5450 mm (2)
- Longitud del Elemento Combustible, incluido acoplamiento: 6028,5 (-5,5mm)
- Cálculo del quemado:

$1Wd = 3 \cdot 10^5$ fisiones

para UO_2 de 95% de densidad teórica es:

$$1 \text{ MW día/ton U} = 2,75 \cdot 10^{16} \text{ fisiones/cm}^3 UO_2$$

$$A = c \cdot q'(z) \cdot t \quad (\text{MWd/ton U})$$

donde:

- . A = quemado para la posición z y al tiempo t,
- . $q'z$ = potencia lineal en la posición z,
- . t = tiempo,

$$c = \frac{h}{m_U} = \frac{1,133}{PM_{UO_2} \cdot R^2},$$

- . h = altura del combustible,
- . masa de U de la columna considerada,
- . 1,133 = relación $\frac{PM_{UO_2}}{PA_{tU}}$,

- Masa total del Elemento Combustible: 210 Kg. (6)
- Masa total de UO_2 en el Elemento Combustible: 173 Kg. (6)
- Relación en peso² de UO_2 /Zry :
 - . para el Elemento Combustible en la zona activa: 4,75.(6)
 - . en total (excepto acoplamiento y varillaje de acero): 3,9.(6)
- Flujo de neutrones al nivel del último separador inferior: $5 \cdot 10^{12}$ N/cm²/s.(6)
- Flujo máximo de neutrones sobre la vaina (1MeV): $2 \cdot 10^{13}$.

TABLA V

CANTIDADES Y PESOS DE LAS PIEZAS COMPONENTES DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE ATUCHA (11)

DENOMINACION	PESO MEDIO UNITARIO	Cantidad por Barra Combustible				Cantidad por Elemento Combustible				Peso por Barra Combustible				Peso por Elemento Combustible			
		Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total	Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total	Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total	Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total
PASTILLAS UO_2	11,2 g.	—	438	—	438	—	15768	—	15768	—	4900	—	4900	—	176.400	—	176.400
ARANDELAS APLAS- TABLES DE Zry-4	0,18 g.	3	26	1	30	108	936	36	1080	0,57	4,68	0,18	5,4	19,4	168,5	6,5	194,4
ARANDELAS APLAS- TABLES DE Zry-4	0,33 g.	2	—	1	3	72	—	36	108	0,66	—	0,33	0,99	23,7	—	11,9	35,6
PASTILLAS $Al_2 O_3$	7 g.	1	—	—	1	36	—	—	36	7	—	—	7	252	—	—	252
CASQUILLO DE Zry-4	1,64 g./cm.	20 cm.	—	8 cm.	28 cm.	720 cm.	—	288 cm.	1008 cm.	32,8	—	13,1	46	1100	—	472	1653
VAINA DE Zry-4	1,28 g./cm.	22,7 cm.	529,5 cm.	8,6 cm.	560,8 cm.	817 cm.	19062 cm.	309 cm.	20188 cm.	29	677	11,0	717	1046	24399	396	25841
PATINES DESLIZA- BLES DE Zry-4	0,475 g.	—	39	3	42	—	1404	108	1512	—	18,5	1,42	19,9	—	667	51	718
TAPON SUPERIOR DE Zry-4	10 g.	1	—	—	1	37	—	—	37	10	—	—	10	370	—	—	370
TAPON INFERIOR DE Zry-4	5,3 g.	—	—	1	1	—	—	36	36	—	—	5,3	5,3	—	—	191	191
TUERCAS APLASTA- BLES DE Zry-4	2,4 g.	—	—	—	—	31	—	—	31	—	—	—	—	74,4	—	—	74,4
TAPON INFERIOR VA- RILLAJE Zry-4	3,7 g.	—	—	—	—	6	—	—	6	—	—	—	—	22,2	—	—	22,2
TUBOS VARILLAJE DE Zry-4	1,28 g./cm.	—	—	—	—	(6x34) 2 ó 4 cm.	—	—	2 ó 4 cm.	—	—	—	—	261	—	—	261

TABLA V (Continuación)

DENOMINACION	PESO MEDIO UNITARIO	Cantidad por Barra Combustible				Cantidad por Elemento Combustible				Peso por Barra Combustible				Peso por Elemento Combustible			
		Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total	Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total	Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total	Reflector Superior	Zona Activa	Reflector Inferior	Total
TAPON SUPERIOR VARILLAJE Zry-4	6 g.	-	-	-	-	6	-	-	6	-	-	-	-	36	-	-	36
ANILLO INTERMEDIO VARILLAJE DE ACERO	600g.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	600
BARRAS VARILLAJE DE ACERO	200g.	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	600
ANILLO ACOPLE DE ACERO	780g.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
SEPARADORES DE Zry-4	120g.	-	-	-	-	-	13	1	14	-	-	-	-	-	1562	120	1682
ZAPATAS DE LOS SEPARADORES	7,5g.	-	-	-	-	-	39	3	42	-	-	-	-	-	292	22	314
PLACA PORTANTE DE Zry-4	508g.	-	-	-	-	1	-	-	4	-	-	-	-	508	-	-	508
ZAPATAS DE LA PLACA PORTANTE	13g.	-	-	-	-	3	-	-	3	-	-	-	-	39	-	-	39
TUBO ESTRUCTURAL DE Zry-4	2,64 g/cm.	-	-	-	-	22,7 cm.	529,5 cm.	8,6 cm.	560,8 cm.	-	-	-	-	60	1398	22,7	1480
ZAPATA ELASTICA DE INCONEL	13,5g	-	-	-	-	-	13	1	14	-	-	-	-	-	175	13	188
REMACHES ZAPATA ELASTICA	0,33g.	-	-	-	-	-	52	4	56	-	-	-	-	-	17	1,3	18,3
PARTE INFERIOR ACOPLE	1650g.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1650

TABLA VI

INVENTARIO PRINCIPALES PRODUCTOS DE FISION

NUCLEO CENTRAL NUCLEAR ATUCHA (7)

RADIONUCLEIDO	SEMIPERiodo	RENDIMIENTO DE FISION η_c (%)	PARA TIEMPO DE (ci) IRRADIACION	
			150 d = 0,41 a	250 d = 0,685 a
Kr 85	10,76 a	1,3	$3,12 \times 10^5$	$5,16 \times 10^5$
Kr 87	76 min	2,53	$2,34 \times 10^7$	$2,34 \times 10^7$
Kr 88	2,80 h	3,56	$3,29 \times 10^7$	$3,29 \times 10^7$
Ke 133	5,65 d	6,70	$6,19 \times 10^7$	$6,19 \times 10^7$
Xe 135	9,20 h	6,30	$5,82 \times 10^7$	$5,82 \times 10^7$
I 131	8,05 d	2,91	$2,68 \times 10^7$	$2,68 \times 10^7$
I 132	2,28 h	4,26	$3,94 \times 10^7$	$3,94 \times 10^7$
I 133	21 h	6,69	$6,18 \times 10^7$	$6,18 \times 10^7$
I 134	52 min.	7,8	$7,21 \times 10^7$	$7,21 \times 10^7$

TABLA VI (continuación)

RADIONUCLEIDO	SEMIPERODO	RENDIMIENTO DE FISION η_c (%)	(Ci) PARA TIEMPO IRRADIACION	
			150 d = 0,41 a	250 d = 0,685 a
I 135	6,7 h	6,17	$5,7 \times 10^7$	$5,7 \times 10^7$
Cs 137	30,2 a	6,20	$5,67 \times 10^5$	$8,99 \times 10^5$
Zr 97	16,8 h	5,90	$5,45 \times 10^7$	$5,45 \times 10^7$
Ru 105	4,43 h	0,90	$8,31 \times 10^6$	$8,31 \times 10^6$
Ce 141	32,4 d	6,10	$5,64 \times 10^7$	$5,65 \times 10^7$
Sr 90	28,8 a	5,83	$5,3 \times 10^5$	$8,83 \times 10^5$

TABLA VII
PRODUCTOS DE FISION (7)

RADIO NUCLEIDO	SEMIPERODO	ENERGIA γ (Mev)	ENERGIA β MAX. (Mev)	RENDIMIENTO DE FISION η (%)	COEF. ν DE ESCAPE (1/S)
Kr 85	10,76 años	-	0,7	1,3	$1,3 \times 10^{-8}$
Kr 87	76 min	0,4; 2,57; 0,85	3,5; 3,9	2	$1,3 \times 10^{-8}$
Kr 88	2,80 horas	0,19; 2,40; 0,85	0,5; 2,8	3,5	3×10^{-8}
Ke 133	5,65 días	0,08	0,3	6,8	8×10^{-9}
Xe 135	9,15 horas	0,25	0,9	0,92	$1,4 \times 10^{-8}$
I 131	8,05 días	0,36; 0,64; 0,28	0,6; 0,8	3,1	2×10^{-9}
I 132	2,4 horas	0,67; 0,77; 0,95	2,1	4,7	$1,3 \times 10^{-8}$
I 135	6,7 horas	1,14; 1,28; 1,72	1,0; 1,4	6,10	$1,4 \times 10^{-8}$
Cs 137	30 años		0,5; 1,2	6,15	$1,3 \times 10^{-8}$
Zr 97	16,8 horas	0,51; 1,15; 0,36	1,9	5,9	$1,6 \times 10^{-12}$
Ru 105	4,4 horas	0,73; 0,47; 0,68	1,2; 1,9	0,9	$1,6 \times 10^{-12}$
Ce 141	32,5 días	0,15	0,4; 0,6	6,4	$1,6 \times 10^{-12}$

- El Elemento está compuesto por dos tipos de barras combustibles: 27 barras denominadas "realización 3" y 9 barras denominadas "realización 4".
- Barras "realización 4", en la corona exterior, con patines con entalle.
- Barras "realización 3", patines sin entalle.
- Separación mínima permitida entre barras combustibles tomada a 100 mm de los separadores:

- . Corona interior: 3,90 mm.
- . Corona media: 3,40 mm.
- . Corona externa: 3,40 mm.

- Diferencias entre las barras combustibles "realización 3" y "realización 4":

- 1) la barra combustible realización 4 lleva patines con entalle para unirse a los separadores.
- 2) diámetro realización 3, considerando los patines fijos: 13,82 mm
diámetro realización 4, considerando los patines fijos: 15,00 mm] (10)

- Falta de rectilineidad permisible de la línea que pasa sobre la superficie de las zapatas de placa portante y separador: 0,5 mm/400 mm, (10)
- Identificación del Elemento Combustible:

- . grabado: con escritura gruesa.
- . altura media: 8 mm DIN.
- . profundidad: 0,6 mm.
- por ej.: RD 090.

] (10)

- Nº de barras combustibles por Elemento Combustible: 36. (3)
- Nº de tubos estructurales por Elemento Combustible: 1. (3)
- Disposición de las barras combustibles: círculos concéntricos:

- . 1 en el centro.
- . 6 en la circunferencia intermedia.
- . 12 en la circunferencia intermedia.
- . 17 en la circunferencia externa.
- . 1 tubo portador en la circunferencia externa.

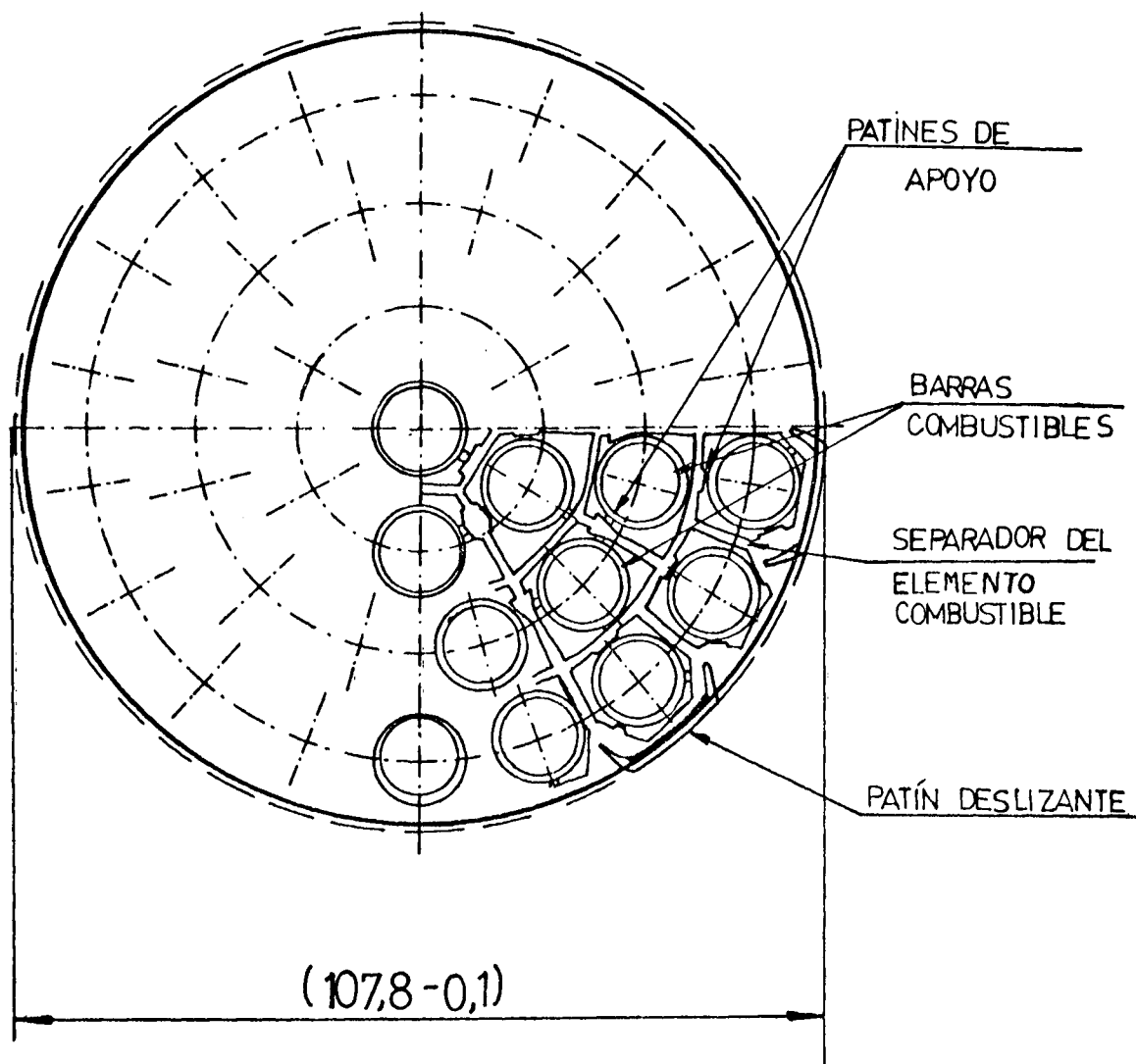
] (3)

- Radio de las circunferencias que determinan los centros de las barras:

- . 0 cm
- . 1,60 cm
- . 3,03 cm
- . 4,51 cm

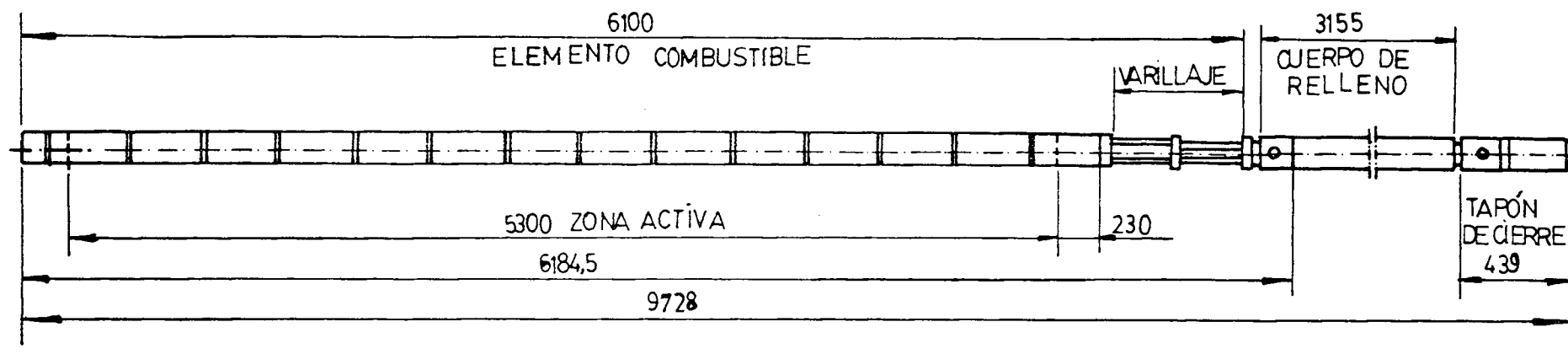
] (4)

- Diámetro global del conjunto: 96,6 mm. (3)



DISTRIBUCION DE LAS BARRAS COMBUSTIBLES
EN EL ELEMENTO COMBUSTIBLE

FIGURA 8



ELEMENTO COMBUSTIBLE.

FIGURA 9

2.- Propiedades físicas y químicas del Zircaloy-4.

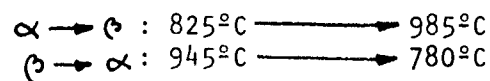
- Composición química: Zry con los siguientes aleantes (% en peso)

Sn: 1,20 a 1,70% .	0: 0,10 a 0,16% .
Fe: 0,18 a 0,24% .	Fe + Cr: 0,28 a 0,37% .
Cr: 0,07 a 0,13% .	

- 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	Si: 200	V: 50
Co: 20	Ti: 50	
Cu: 50	U: 3,5	
H: 25	W: 100	

- Densidad a 20° C: 6,6 gr/cm³.
- Calor específico a 20° C: 0,06 $\frac{\text{Cal.}^\circ\text{C}}{\text{gr}}$.
- Coeficiente de expansión térmica lineal entre 20° C - 350° C:
 $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C} .$
- Conductividad térmica a 20° C: 0,031 $\frac{\text{Cal}}{\text{cm.}^\circ\text{C. seg}}$.
- Conductividad térmica a 300° C: 0,037 $\frac{\text{Cal}}{\text{cm.}^\circ\text{C. seg}}$.
- Reactividad eléctrica a 20° C: $4,5 \cdot 10^{-6} - \text{cm}^{-1}$.
- 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: 10000 Kg/mm².
- Módulo de elasticidad transversal a 20° C: 3660 Kg/mm².
- Punto de fusión del Zry puro: 1852 °C .
- Estructura cristalina: el Zry presenta 2 variedades alotrópicas:



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

3.- La barra combustible .

i.- datos de diseño :

- Temperatura máxima de la superficie de la vaina: 324°C. (11)
- Temperatura de trabajo exterior de la vaina: 306°C. (2)
- Temperatura media de la vaina: 280°C. (2)
- Temperatura máxima del centro de la pastilla de UO_2 : menor de 2.200°C. (2)
- Temperatura máxima del combustible a 100% de carga: 2.250°C. (1)
- Temperatura máxima admisible del combustible: 2.550°C. (1)
- Temperatura máxima del centro del UO_2 , a 115% pot.: 2600°C. (6)
- Densidad: 1,28 gr/cm³
- Densidad lineal de potencia: 240 W/cm. (2)
- Potencia específica a disipar: 140 W/cm². (2)
- Longitud columna activa: 5250 mm. (2)
- Gas de llenado:
 - . He .
 - . 17 ± 1 atm., a temperatura ambiente*. (6)
- Potencia generada en las barras combustibles: 1045 MW**. (3)
- Potencia máxima de diseño de las barras combustibles
 - . 100% potencia nominal = 600 W/cm (6)
 - . 120% potencia nominal = 690 W/cm
- Potencia máxima permitida: Q 100% = 575 W/cm. (6)
- Integral de conductividad:
 - . q 100% = 45,8 W/cm (6)
 - . q 120% = 55 W/cm
- Gradiente térmico en la barra combustible = 350° C/mm. (6)
- Potencia lineal media de la barra combustible promedio del reactor = 218,5 W/cm. (6)
- Factor de sobrecarga = 1,15. (6)
- Máxima densidad de flujo calórico = 154 W/cm². (6)
- Quemado máximo alcanzable = 10000 MWd/ton U. (6)
- Masa de UO_2 por barra combustible = 4,809. Kg.
- 438 pastillas de UO_2 . (12)
- Luz pastilla - vaina (diametral): 0,18 mm ***.
- Unión barras exteriores a grillas: soldadura por brazing.
- Cámaras de gases de fisión: superior: 20 cm³
inferior: 8 cm³

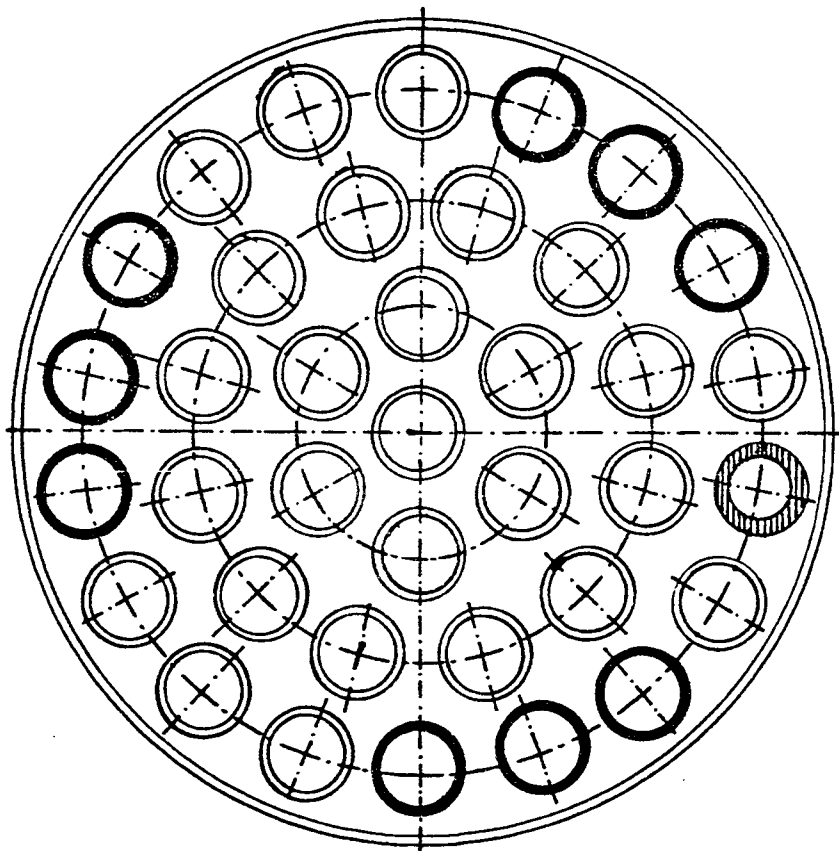
* presión crítica de colapso a 350°C.

** 95% del total de energía generada en el núcleo del reactor.

*** Espacio diametral varía entre 0,13 mm y 0,23 mm, que asegura:

- deformación plástica efectiva de la vaina 1%
- temperatura central UO_2 2200°C para 100% potencia.

FIGURA 10



Sección transversal
del E.C. de la CNAtucha
y disposición de los
diversos tipos de b.comb.

-  BARRA ESTRUCTURAL
-  BARRA COMB. REALIZAC. 4
-  BARRA COMB. REALIZAC. 3

ii) componentes de zircaloy -4:- Vaina :

- . Material: Zircaloy-4, (Zry-4).
- . Radio interno: 0,540cm.(11)
- . Radio externo: 0,595cm.(11)
- . Espesor: 0,055cm.(11)
- . Espesor mínimo de pared de vaina: 0,51mm.(6)
- . Densidad de la vaina: 1,28 g/cm³.
- . Falta de rectilineidad: 0,6/600.(12)

- Patines deslizantes :

- . Material: Zry -4.
- . 3 colocados a 120° C entre sí, a la altura de cada separador.
- . 45 patines (para 15 separadores).
- . 2 tipos de patines, de acuerdo a función.(ver figura N°11)

- Tapones :

- . Material: Zry -4.
- . Uno en cada extremo de la barra combustible, soldado por TIG.
- . Tapón inferior con un orificio de 1 mm de diámetro inicialmente para evacuar la barra durante el llenado y luego para hacer presión inicial 17 atm. con He.
- . Tapón superior es diferente al inferior. Aquel posee vástago de 30mm de largo.
- . Desviación permitida entre el chaflán del tapón superior y el patín: $\pm 3^\circ$.

PATINES DE LAS BARRAS COMBUSTIBLES.

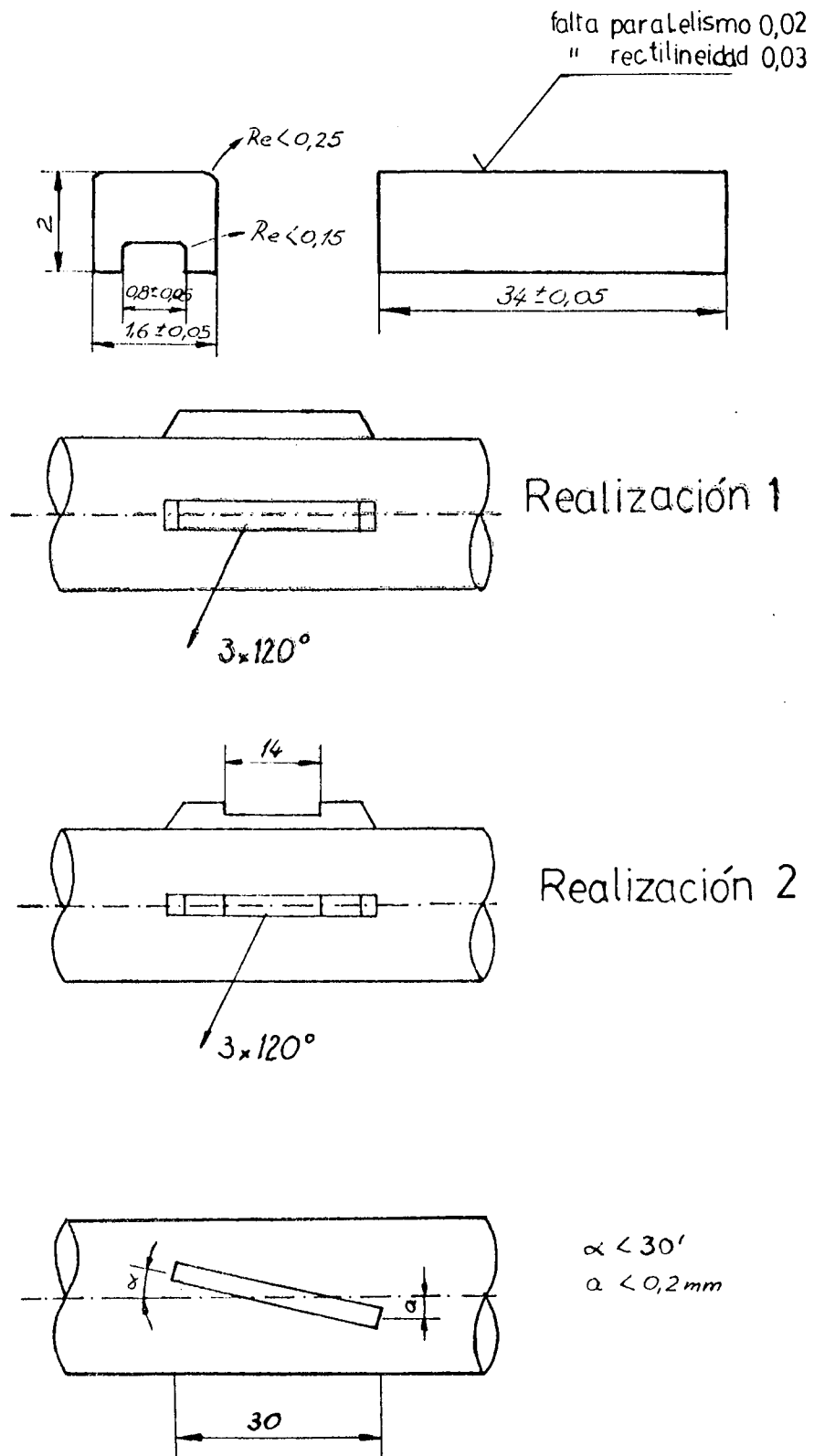
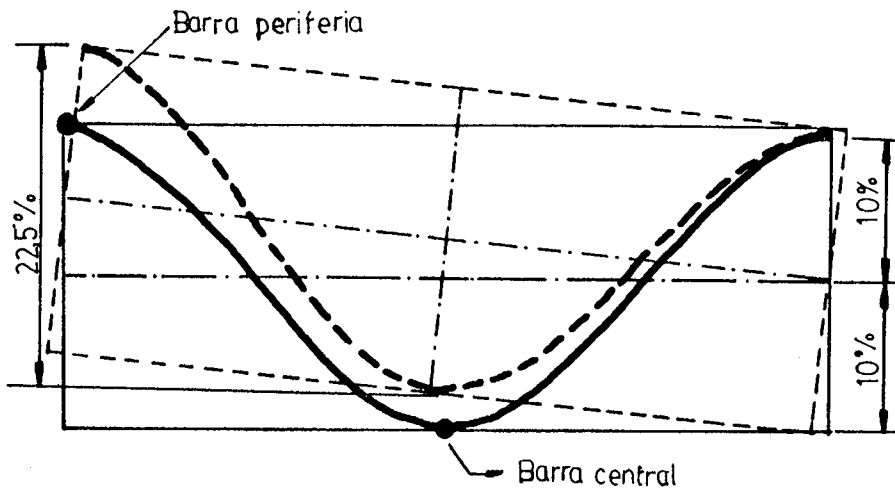


FIGURA 11



Desplazamiento de la curva de flujo en un "Bundle" de EC por efecto de la distribución radial potencia en el reactor.

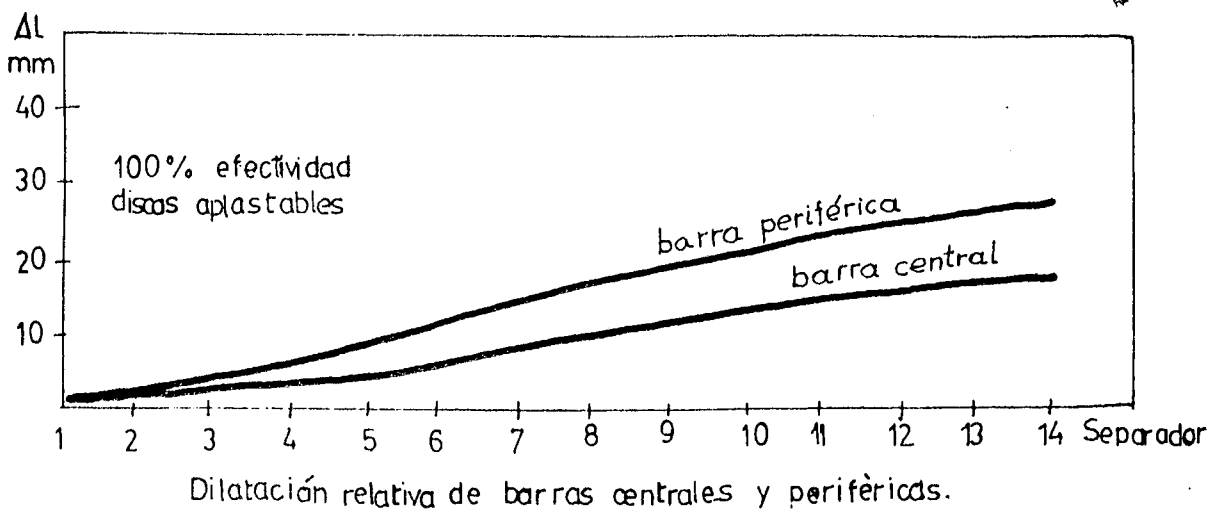
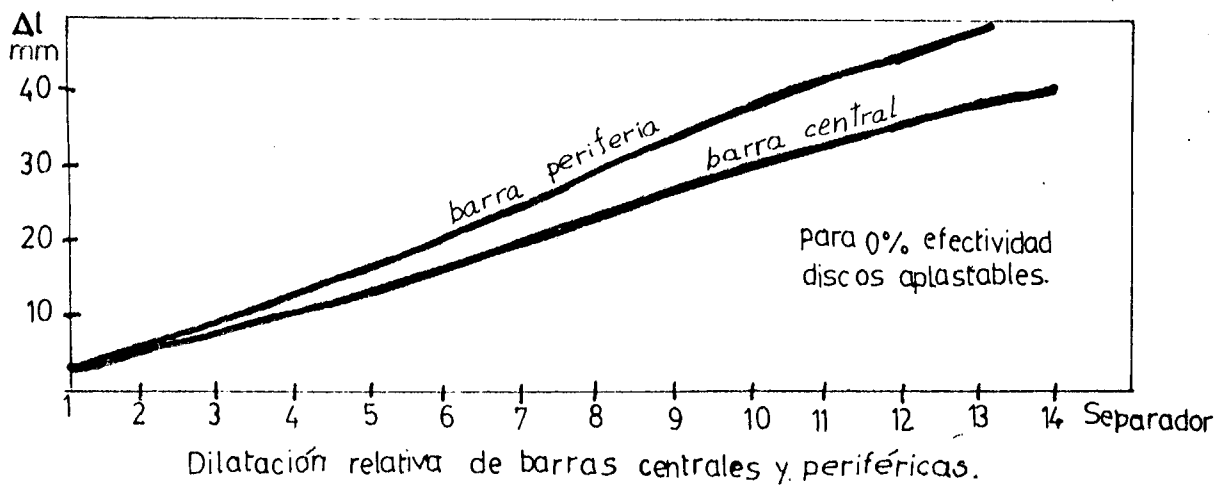
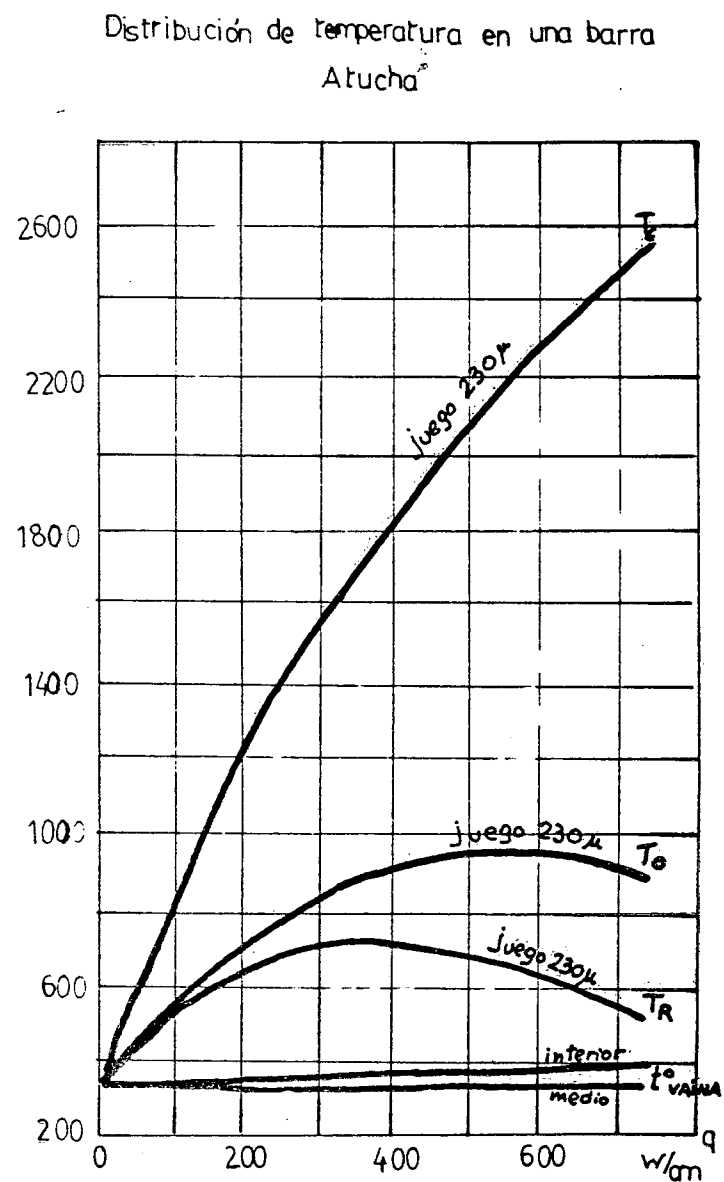
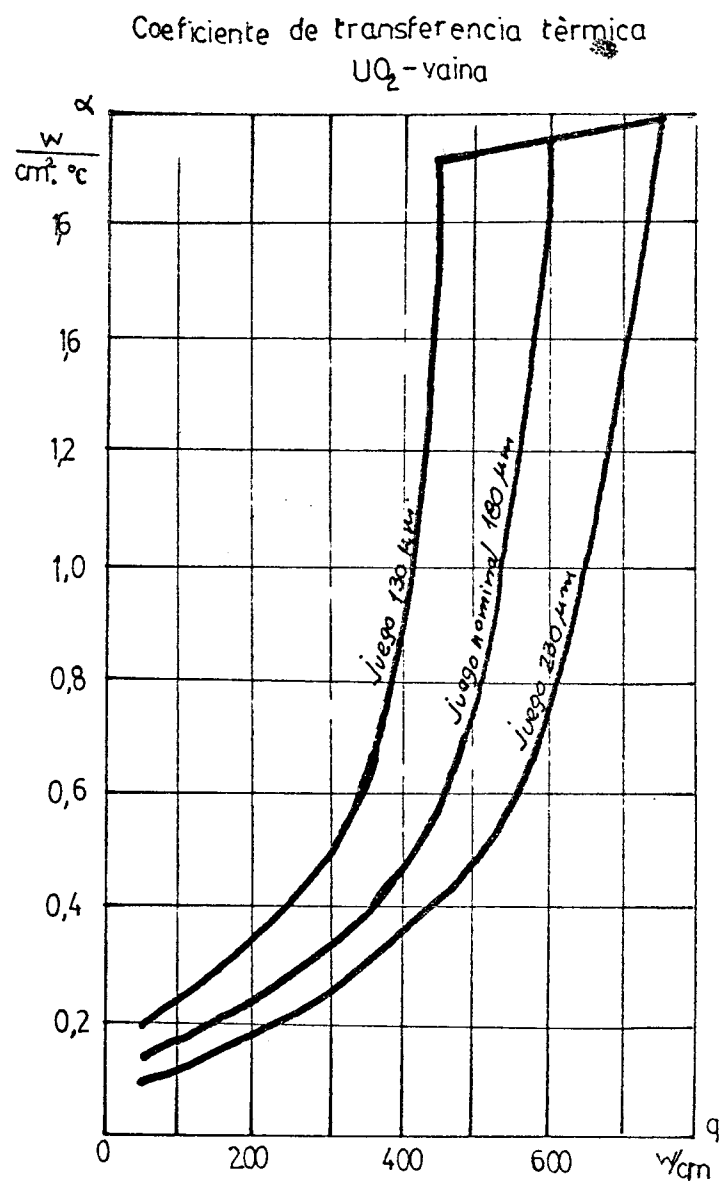


FIGURA 12

FIGURA 13



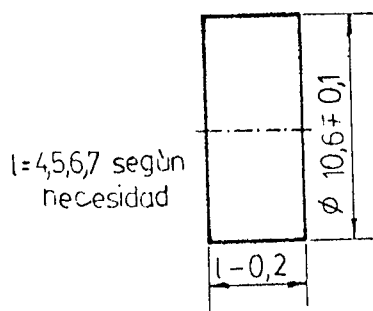
- Densidad: $10,4 - 10,7 \text{ gr/cm}^3$.
- Relación O/U: $2,00 \pm 0,01$.
- Humedad: $< 10\text{ppm}$.
- Microestructura (poros, granos finos, aglomeraciones) 10% sobre la superficie pulida.
- Masa de la pastilla: $11,2 \text{ g UO}_2$, ($d: 10,4 \text{ gr/cm}^3$).
- Límite de impurezas (ppm):

Ag: 2	Fe: 300	P : 50
B : 0,2	Gd: 0,1	Si: 500
C : 100	In: 10	Th: 500
Ca: 100	F : 50	V : 20
Cd: 1	Mn: 50	Zn: 100
Cl: 20	Mo: 50	Zr: 100
Cr: 200	N : 30	
	Ni: 100	

iv) componentes cerámicos :

- Disco y tabletas de Al_2O_3 :

- . Función: absorber tolerancias, tolerancia al llenar es de $+ 6 \text{ mm á } - 7 \text{ mm}$
- . Diámetro: $10,6 \pm 0,1\text{mm}$.
- . Longitud: $l - 0,2$, donde $l = 4, 5, 6, 7$ según necesidad.



TABLETA DE Al_2O_3

FIGURA 15

v) gases de fabricación :

- Al fabricar la barra combustible se incorpora He a $17 \pm 1 \text{ atm}$.
- Entonces, el espacio diametral vaina - pellet varía entre $0,13\text{mm}$ y $0,23\text{mm}$, según las tolerancias, asegurando una deformación plástica efectiva de la vaina menor que el 1% y una temperatura central del $\text{UO}_2 < 2200^\circ$ para 100% potencia.

Vaina interior para proteger espacio para gases:

- . 2 vainas de zry-4.
- . Diámetro externo: $10,64 \cdot (12)$
- . Diámetro interno: $9,28 \cdot (12)$
- . Longitud cámara inferior para gases: $7,89 \text{ mm} \cdot (12)$
- . Longitud cámara superior para gases: $199,86 \text{ mm} \cdot (12)$

- Disco de separación:

- . Material: zry -4.
- . Diámetro: $10,6 \pm 0,05 \text{ mm}$.
- . Diámetro orificio central: 2 mm .
- . Función: separa la última tableta de UO_2 del tubo para gases.

- Discos aplastables:

- . Material: zry -4.
- . 28 distribuidos en la columna más dos para absorber tolerancias.
- . La distribución de los discos aplastables es la siguiente:

1 entre la pastilla inferior de UO_2 inferior y la arandela intermedia inferior,
 1 a $275 \pm 6 \text{ mm}$ del borde interno del tapón,
 8 a $170 \pm 6 \text{ mm}$ entre sí (distancia entre el Nro. 2 y el Nro. 10 = 1360 mm),
 17 a $200 \pm 5 \text{ mm}$ entre sí (distancia entre el N° 10 y el N° 27 = 3400 mm),
 1 entre la pastilla de UO_2 superior y la arandela intermedia.

iii) combustible:

Las medidas de la pastilla son:

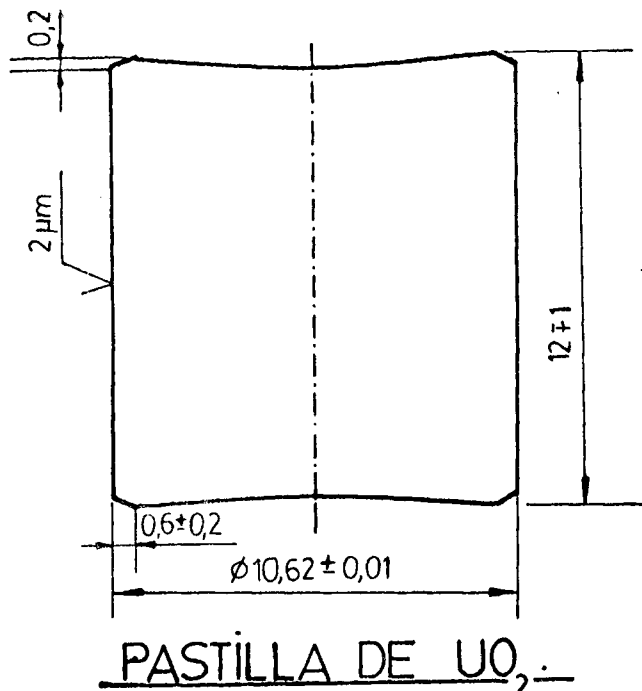


FIGURA 14

$\text{He} = 0,07 \cdot 10^{23}$ átomos,
 H_2 = trazas,
 Ar = trazas (su presencia es poco probable),
 Co = trazas (su presencia es poco probable),
 CO_2 = trazas (su presencia es poco probable).

- Volumen de gases de fisión, en condiciones normales: 463 cm^3 .

4.- Componentes estructurales.

i) acoplamiento del E.C. (3) :

- Función: unión E.C.-barra intermedia ("cuerpo de relleno") - pieza que lleva el cierre del canal.
- Material: acero 4122, con una parte endurecida a 30 Kp/mm^2 .
- Varillaje de acople del E.C. con el "cuerpo de relleno":
 - . 6 tubos de Zry-4, pared 0,55mm, unidos a 5 bc y al tubo estructural.
 - . 2 anillos de acero inoxidable, que unen los tubos en su parte inferior y superior, los cuales sirven de unión entre barras de acople y tubos de acople.
 - . 3 barras de soporte, de acero 4550, que atraviesan la salida del refrigerante. Están unidas por otro anillo con la parte inferior del acoplamiento.

ii) cuerpo de relleno del canal de refrigeración (con acoplamiento) (3) :

- Material: acero 4016.
- 2 caras, para suspenderlo en la pileta de E.C. y en la estación de acoplamiento.
- Acoplamiento: . 2 cilindros.
 - . sup. frontal de cada uno achaflanado en 15° .
 - . unidos por perno de seguridad, cónico 30° .

iii) grilla superior (3) :

- Mediante tornillos se le unen las barras combustibles.
- Material: Zry -4.
- Diámetro externo de la grilla: 100mm.
- Espesor: 20mm.
- Coeficiente de rugosidad $\cong 4$.
- Pared mínima entre agujeros: 1,5mm,
(en algunos lugares se debe admitir 1,45mm).
- 42 agujeros para el paso del refrigerante:
 - . 6 agujeros de $\varnothing 8 \pm 0,1\text{mm}$,
 - . 12 agujeros de $\varnothing 12,5 \pm 0,1\text{mm}$,
 - . 6 agujeros de $\varnothing 6 \pm 0,1\text{mm}$,
 - . 6 agujeros de $\varnothing 7 \pm 0,1\text{mm}$,
 - . 12 agujeros de $\varnothing 9,5 \pm 0,1\text{mm}$.
- 3 patines (trozos de anillos), soldados en la periferia.

iv) separadores (3) :

- Función: esqueleto estructural del E.C., junto a 9 barras combustibles de la corona externa que sostienen a los separadores por medio de ranuras en sus patines de guía.
- Material: Zry- 4, chapa estampada.

- Cantidad: 15.
- Distancia entre separador 1 y 2: 400mm,
2 y 3, 3 y 4,... 13 y 14: 340mm,
14 y 15: 160mm.
- Cada separador tiene 5 tipos diferentes de celdas para alojar a las barras combustibles:
 - . 1 central
 - . 6 en la primer corona interna
 - . 12 en la segunda corona interna
 - . 17 en la corona externa
 - . 1 en la corona externa para la barra estructural.
- 3 zapatas deslizantes rígidas por cada separador y 6 en el separador inferior:
 - . Material: Zry - 4
 - . 120° entre sí, (en las que llevan 3)
 - . Chaflán hacia abajo 5°.
- Tolerancia de la pared del separador: 0,03mm.
- Tolerancia de la superficie de apoyo de patines deslizantes: 0,03mm.
- Tolerancia posición de las barras para los
 - . diámetros: 0,01mm en coordenadas cartesianas
(ó 0,05mm en coord. polares)
 - . ángulos: $\pm 12'$ (ó $\pm 8'$).
- Giro permisible entre placa portante y separador N° 15: $\pm 3^\circ$.
- Rugosidad fija: $< 0,1\text{mm}$.
- Juego diametral entre patines deslizantes y separadores:
 - . inicial de armado, a temperatura ambiente: 0,00mm a 0,02mm.
 - . pos irradiación, luego de 1 año, * :
 - mínimo: 0,00mm á 0,02mm
 - más probable: 0,31mm
 - máximo: 0,40mm.

v) tubo estructural :

- Material: Zry-4.
- Abierto, sin tapones.
- Radio interno: 4,75mm.
- Radio externo: 5,95mm.
- Espesor: 1,20mm.
- Sujeto a la grilla superior.

* vi) zapatas elásticas :

- Función: ajuste del EC al canal.
- Material: chapa de acero aleado (muelle de Inconel).
- Espesor: 0,8mm.
- Cantidad: 15.
- Ubicación: en el espacio comprendido entre dos separadores.
- Unidas al tubo estructural mediante 2 piezas anulares.
- Rugosidad fija: $< 0,1\text{mm}$.
- Las zapatas sobresalen 2,5 - 0,5mm, de la línea que une las superficies de los patines soldados a los separadores.

* por extrapolación, tomando como base ensayos de 900 horas.

vii) Muelle:

- Cantidad: 2.
- Ubicación: entre la zapata elástica y el tubo estructural, en las zapatas inferiores.
- Función: reforzar la elasticidad de la zapata.

V.- GESTION DEL COMBUSTIBLE

A) Zonas De Gestión

El núcleo del reactor se ha dividido, a los efectos de la optimización del aprovechamiento del combustible, en 4 zonas de igual número de canales las cuales han sufrido ligeras modificaciones con el tiempo. Las zonas, los cambios y la vigencia de los mismos se indican en los gráficos siguientes:

NUMERACIÓN DE LOS CANALES DEL REACTOR DE LA C.N.A.

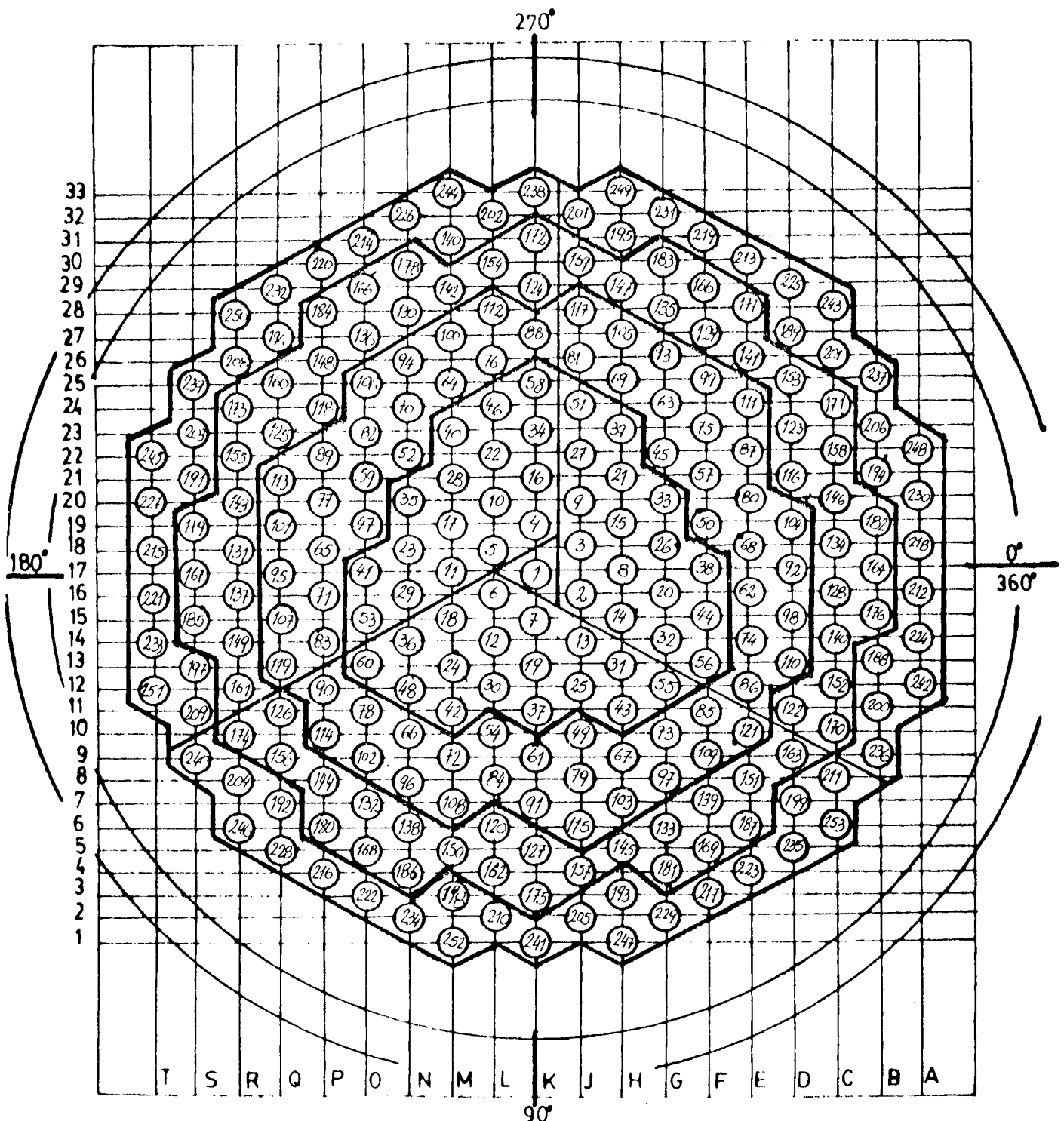


FIGURA 16

B) Recambio del combustible.(9)

- Camino A1) 3 $\longrightarrow$ 1 $\longrightarrow$ a pileta.
- Camino A2) 2 $\longrightarrow$ 4 $\longrightarrow$ a pileta.

A1 da un aumento de reactividad mayor, pero el factor de forma sube.

A2 da un aumento de reactividad no tan alto como A1 pero da mejor factor de forma:

$$\begin{aligned} \Delta \rho (A1) &= 1\%0 & (\Delta \rho &= \text{incremento de reactividad}) \\ \Delta \rho (A2) &= 0,5\%0 \end{aligned}$$

Una reducción $\Delta \rho 1\% \Rightarrow$ reducción del quemado igual a 1100 MW día/ton U.

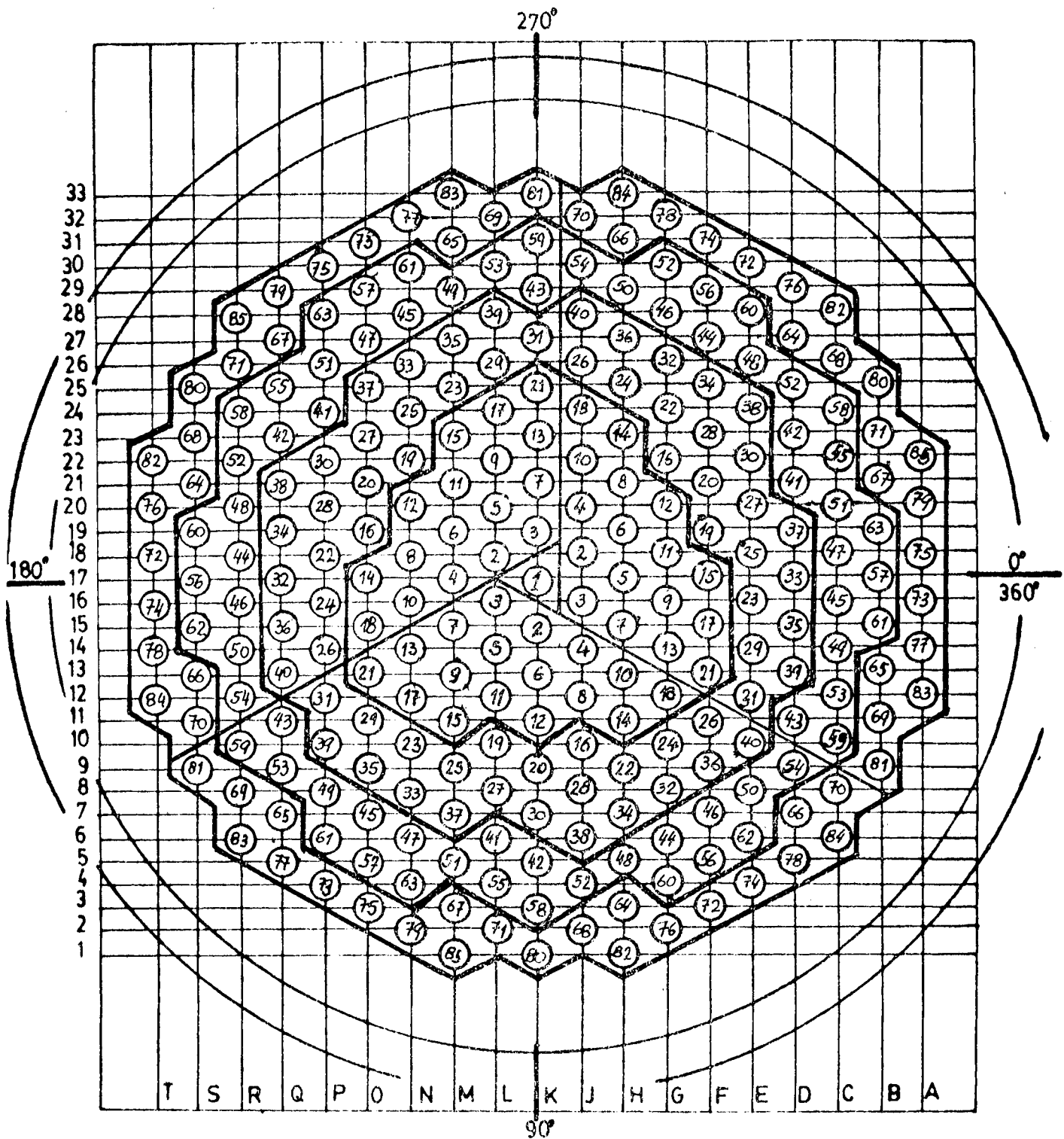
La determinación de las operaciones de recambio de posición de los Elementos Combustibles se hace tomando como criterio el óptimo aprovechamiento de los mismos, a través de la compensación del aporte de reactividad de los elementos nuevos mediante elementos con un grado de quemado relativamente alto y no mediante sustancias absorbentes.

Estos cálculos se realizan mediante los programas TRISIC y BRENDI 2.

El programa TRISIC opera en simetría tres: se hace el cálculo para un tercio del reactor (85 canales) y se supone que los resultados se repiten en los otros dos tercios. El programa TRISIC, en su versión original simulaba las barras de control mediante segmentos verticales de material absorbente distribuidos en el reactor de tal manera que la recta que une a un conjunto de segmentos tiene la inclinación de la barra de control que representan. Dichos segmentos se hallan insertos en canales vacíos, en vez de canales llenos de agua pesada. Una modificación introducida fue la simulación de las barras, dándole a cada banco de barras una inclinación efectiva de modo de mantener la simetría tres del reactor. Los resultados de ambas versiones difieren en hasta un 24%.

El programa TRISIC ofrece:

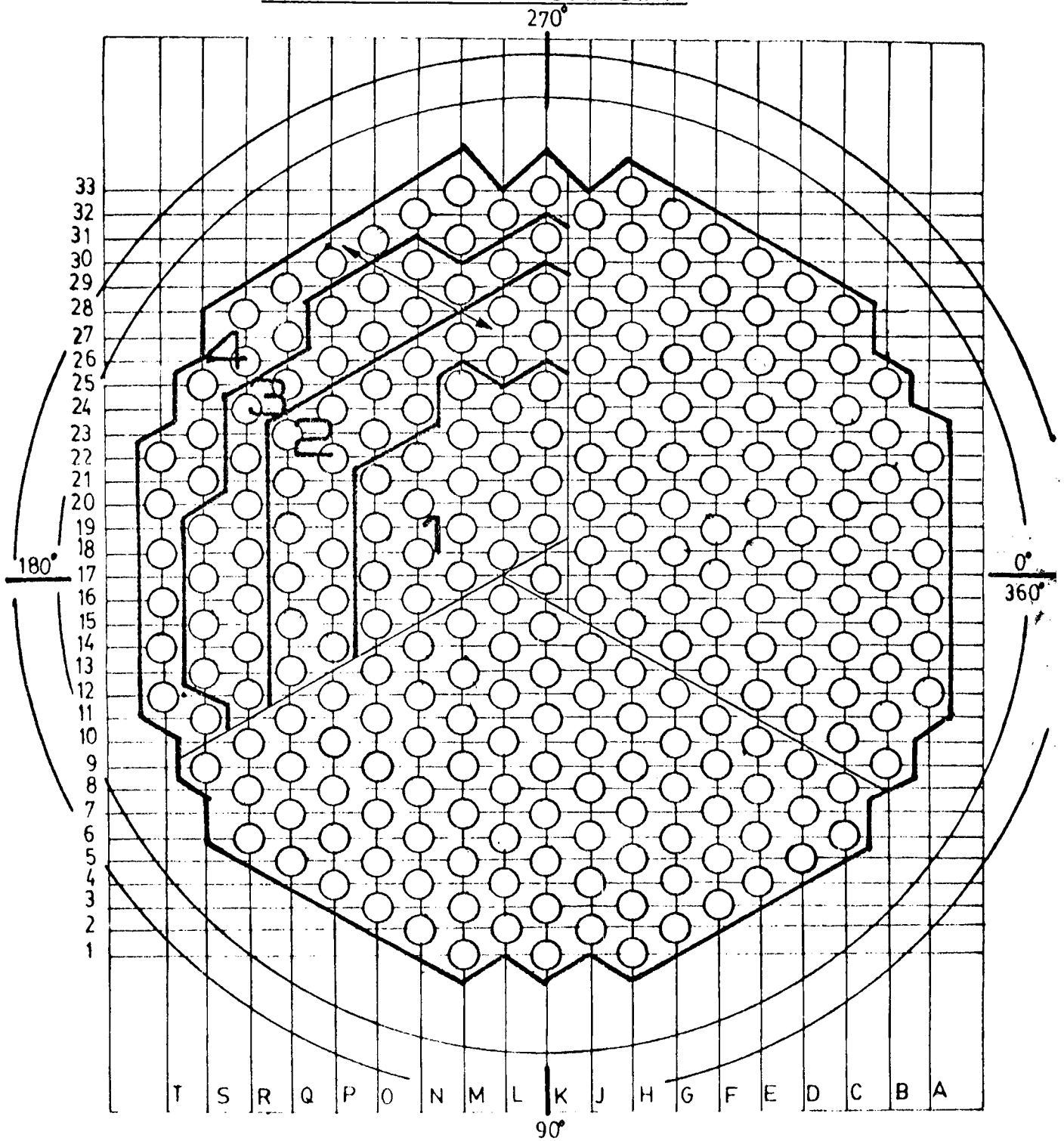
- a) Distribución axial del quemado para los combustibles presentes en los 85 canales, al momento del cálculo.
- b) Flujos térmicos normalizados.
- c) Flujos neutrónicos normalizados, para energías mayores que 0,025 ev.
- d) Potencias específicas normalizadas.



NUMERACIÓN DEL TRISIC.

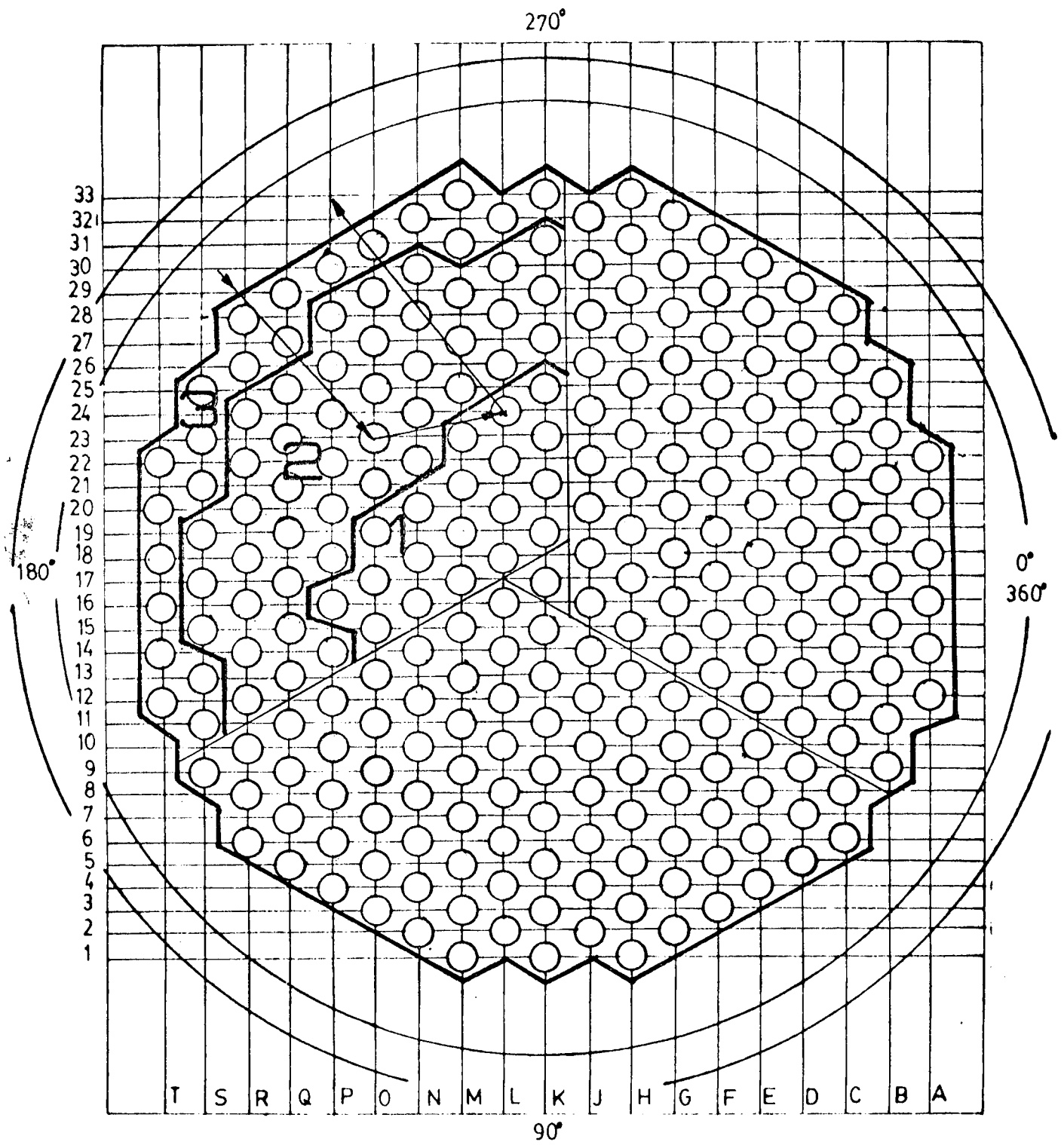
FIGURA 17.

VARIACIÓN DE LAS ZONAS DE QUEMADO Y SUS TIEMPOS DE VIGENCIA.



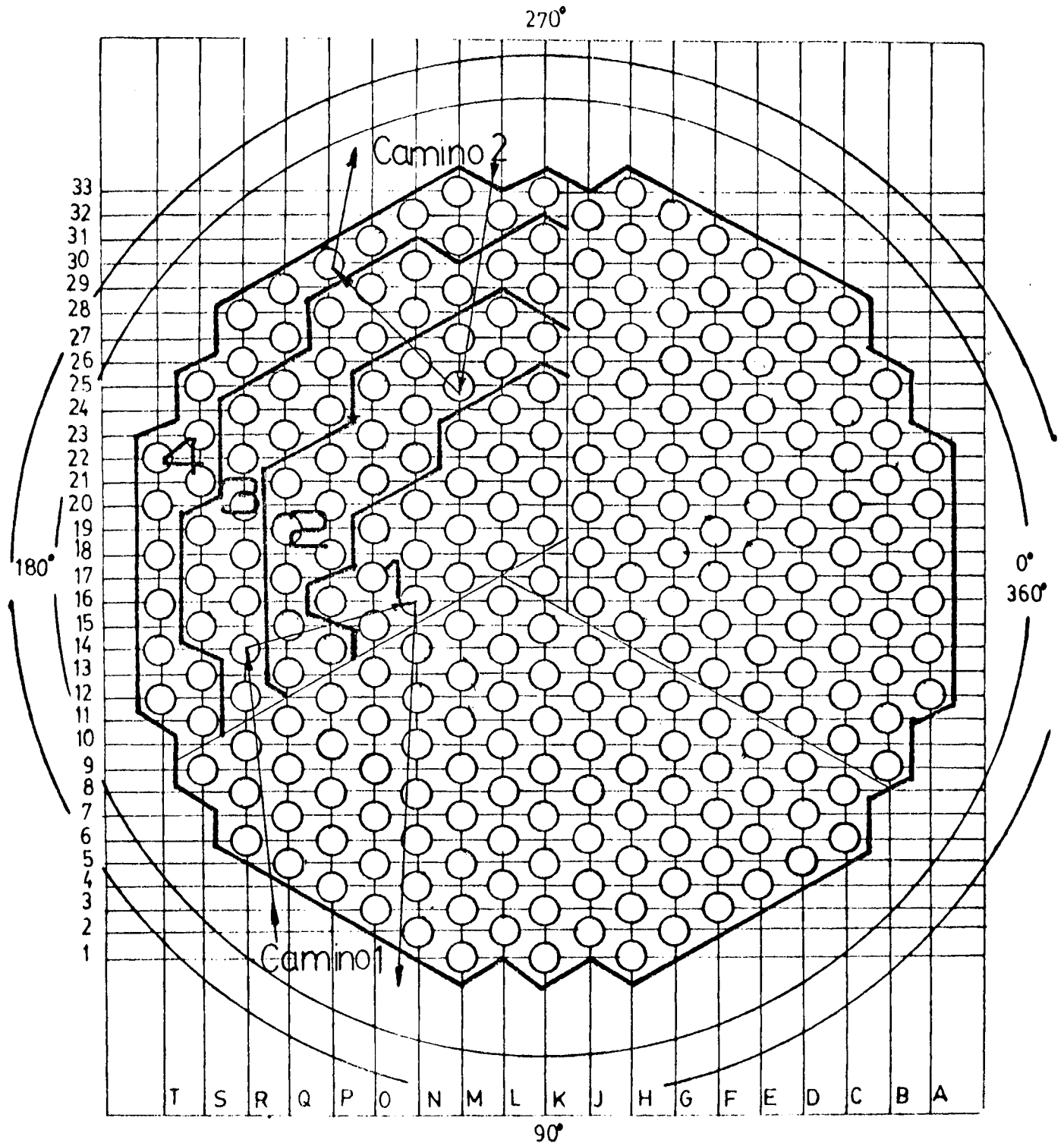
70-96 fpd

FIGURA 18



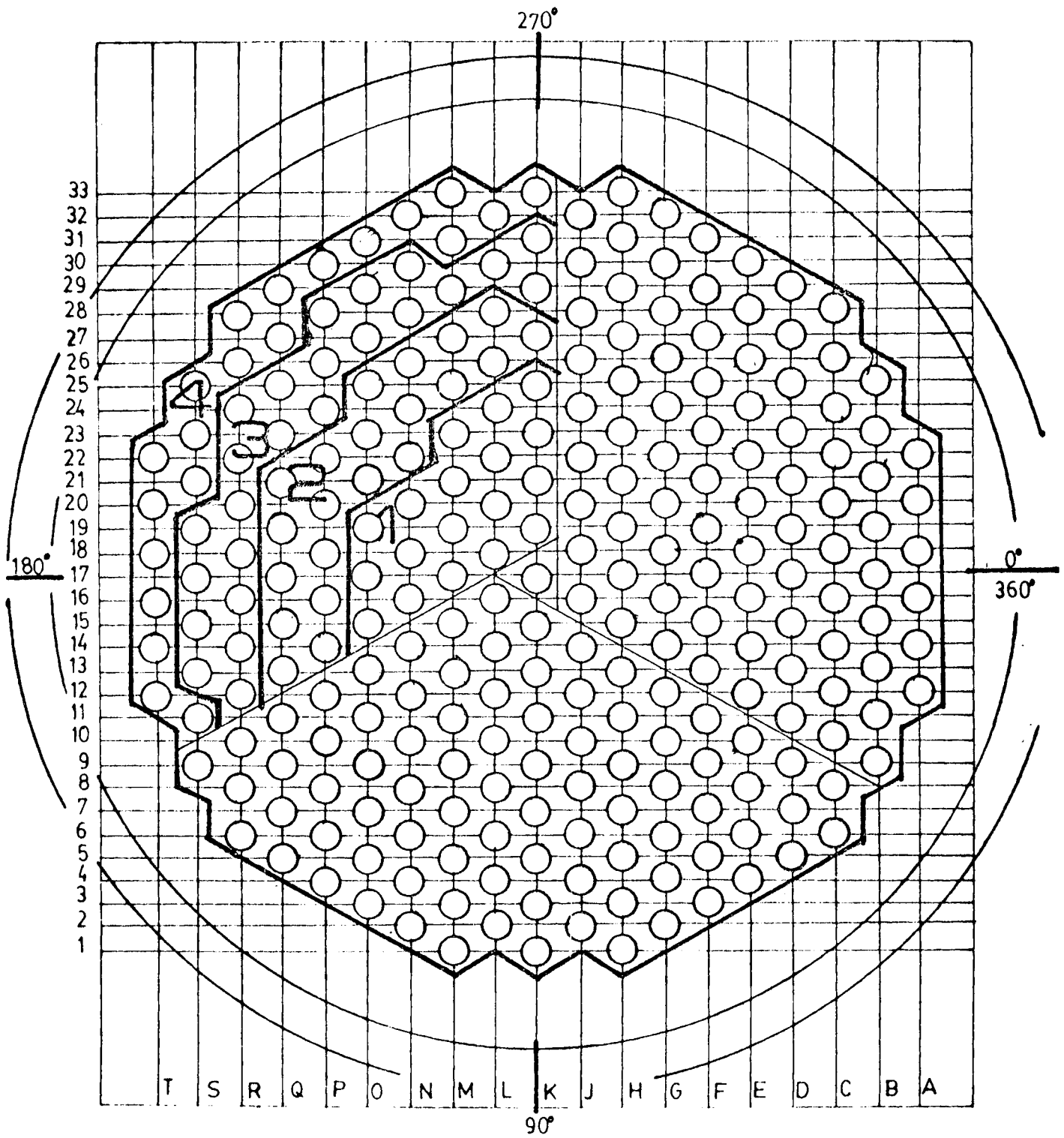
104-220 fdp

FIGURA 19



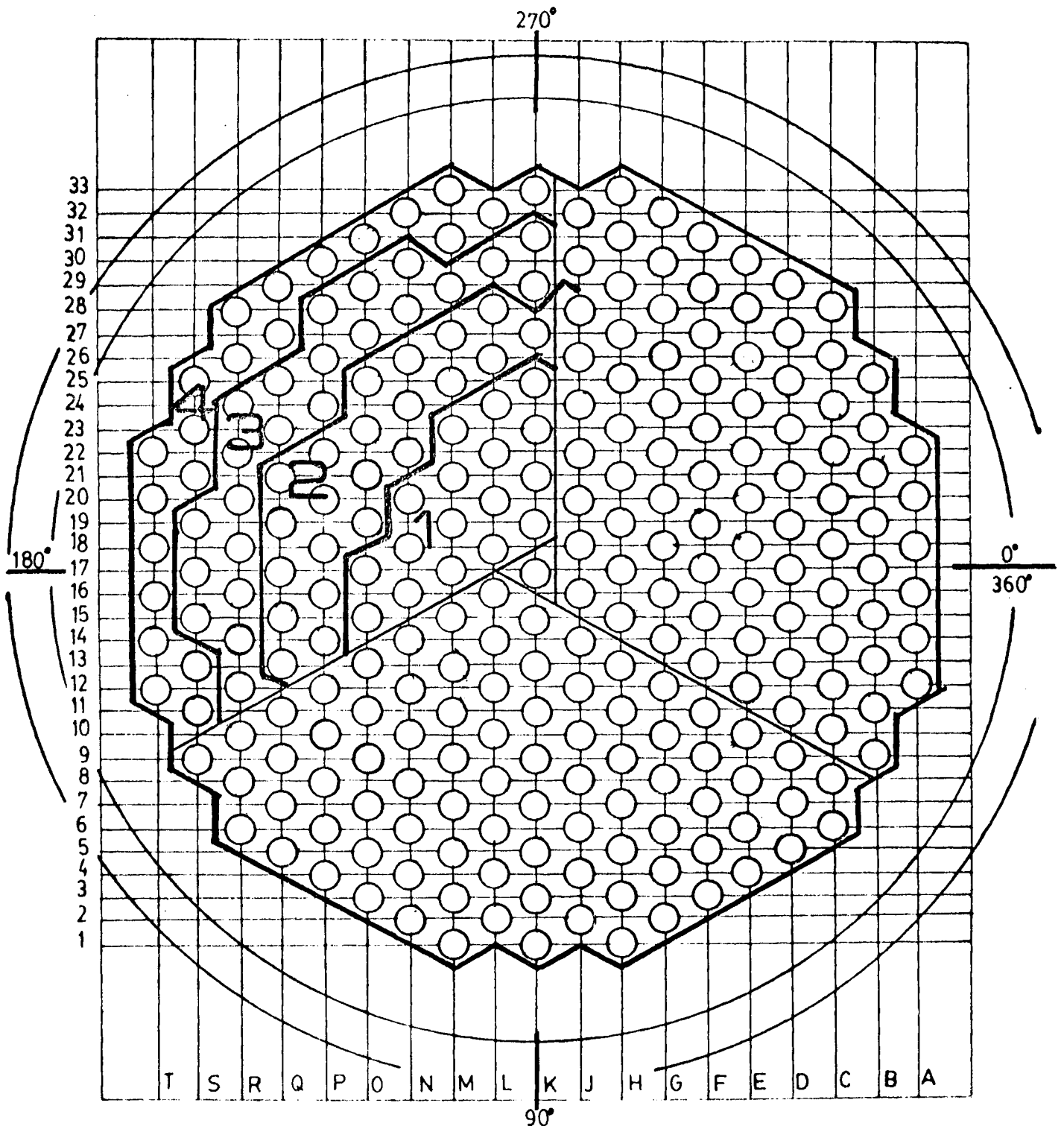
220-463 fpd

FIGURA 20



463-723 fpd

FIGURA 21



Desde 723 fpd

FIGURA 22