

MAYO, 1978.-

RA-3

CAUDAL EFECTIVO DE REFRIGERACION

A.E. GARCIA
D. PARKANSKY

CNEA-Re-150

RA-3

CAUDAL EFECTIVO DE REFRIGERACION

RESUMEN:

Definimos como caudal efectivo de refrigeración aquel que circulando por dentro y entre las cajas de elementos combustibles, refrigera las placas generadoras de calor.

Definimos como caudal externo la suma de aquellos que, circulando conjuntamente con el primero, por el circuito primario de refrigeración no refrigeran el núcleo del reactor.

El caudalímetro del circuito primario mide la suma de ambos caudales.

La potencia máxima a que se puede operar el reactor depende exclusivamente del caudal efectivo de refrigeración.

El presente trabajo tiene por objeto:

- 1) Mostrar los componentes seguros y pasibles del caudal externo.
- 2) Explicar los métodos experimental y analítico para la determinación del caudal efectivo de refrigeración.
- 3) Encontrar la relación cuantitativa entre ambos caudales, demostrando la importancia de la determinación del caudal efectivo de refrigeración.

1 ANALISIS DEL PROBLEMA

La configuración actual del núcleo del RA-3 consiste en 30 cajas de elementos combustibles, las cuales se encuentran calzadas sobre una grilla rectangular constituida por 80 orificios (8×10) en los cuales se insertan dichas cajas y que permite la circulación del fluido refrigerante (H_2O).

Se define como caudal externo la suma de aquellos que circulando por el circuito primario no refrigeran el núcleo del reactor (Q_{ext}).

Se define como caudal efectivo de refrigeración (Q_{ER}) aquel que circulando por dentro y entre las cajas de elementos combustibles refrigera las placas generadoras de calor.

La suma del caudal externo (Q_{ext}) y del caudal efectivo de refrigeración (Q_{ER}) constituyen el caudal total (Q_t) registrado por el caudalímetro ubicado en el circuito primario (Figura 1).

El caudal externo se encuentra integrado por:

Q_1 : caudal de refrigeración de la placa de plomo interpuesta entre el núcleo y la columna térmica de grafito, que actúa como blindaje, impidiendo el calentamiento gamma (γ) de la misma.

Q_2 : suma de todos los caudales que circulando por la grilla no son aprovechables en la refrigeración del núcleo.

Las placas extremas de los elementos combustibles

son refrigeradas por un caudal que atraviesa la grilla por los orificios de 2,225 cm de diámetro (esquema c) cuya distribución en la grilla se observa en el esquema (a).

Las cajas combustibles se encuentran rodeadas por cajas de grafito envainadas en aluminio que actúan como reflector.

Si bien los orificios grandes no utilizables están tapados, existe una pérdida de caudal, a través de los orificios pequeños (3 del esquema (d)) que rodean a los elementos de grafito y que si bien refrigeran a éstos, no aportan a la refrigeración efectiva del núcleo.

Siendo éste un reactor de producción de radioisótopos, cierto número de cajas de elementos combustibles son reemplazadas por cajas de irradiación de muestras. El calentamiento de muestras por la irradiación implica también un consumo de caudal de refrigeración (pequeño pero no despreciable), no aprovechable para el núcleo.

Q₃: Caudal que circularía en "by-pass" al núcleo en la eventualidad de un cierre no hermético de la clapeta de convección natural.

Q₄: Caudal que circularía por la interconexión entre el caño de aluminio de salida del núcleo y el caño de inoxidable del circuito primario, en el caso de deterioro o desaparición del relleno de plomo ubicado

entre éstos.

CAUDAL EFECTIVO DE REFRIGERACION

Se define como caudal efectivo de refrigeración del núcleo del reactor a la sumatoria de los caudales que circulan por dentro de las cajas de elementos combustibles y los que circulan entre éstas y cuya finalidad es refrigerar exteriormente las placas combustibles extremas (placa 1 y 19 de cada caja).

a) Caudal de refrigeración que circula por las cajas

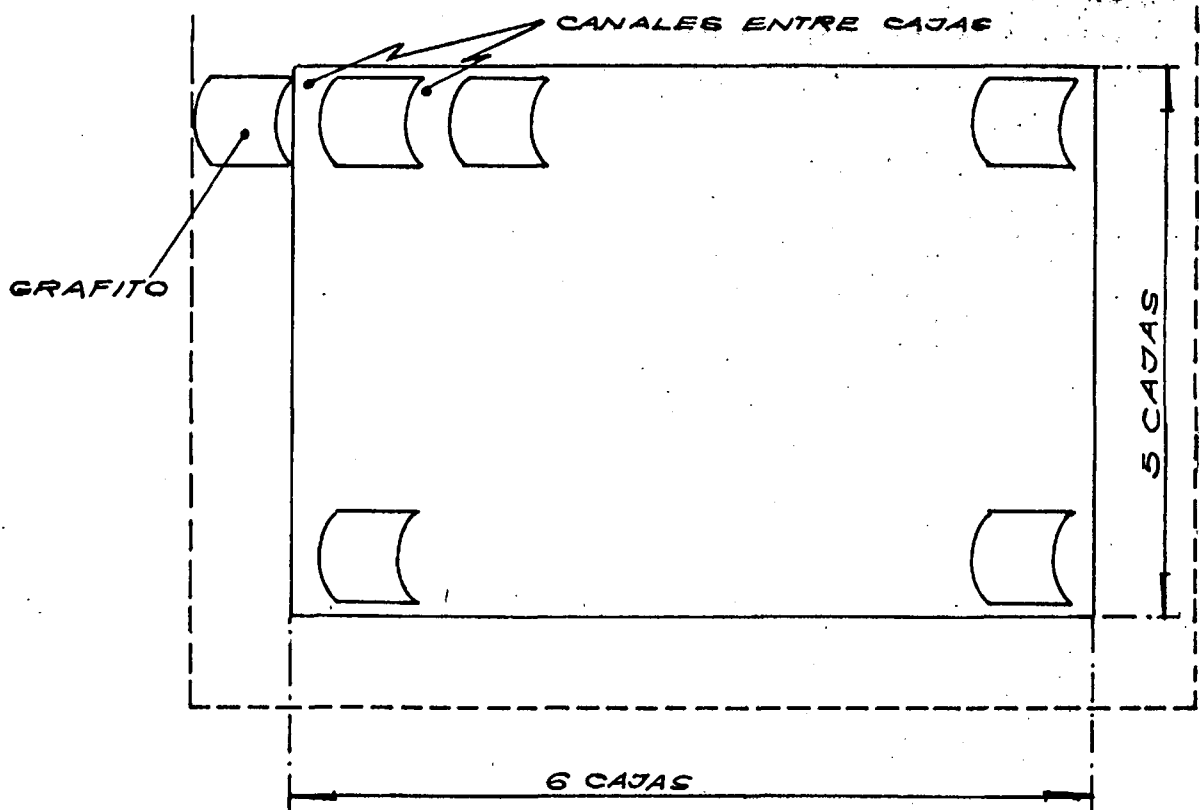
Una caja de elementos combustibles contiene 19 placas combustibles entre las cuales quedan comprendidos 18 canales de refrigeración.

La suma de las superficies de dichos canales es una caja $SR = 29,475 \text{ cm}^2$. La relación que liga el caudal que circula por una caja (Q_c) y su velocidad de circulación es:

$$Q_c = SR \cdot V \quad [1]$$

El caudal total que circula en el núcleo por dentro de las cajas será $= N_c Q_c$ donde N_c : es el número de cajas de elementos combustibles que contiene el núcleo.

b) Caudal que circula entre las cajas de elementos combustibles



De la figura se deduce que para una configuración usual del RA-3 de $N_c = 30$ cajas, el número de canales de entre cajas es igual a $N_c + 5$. La superficie de cada canal de entre cajas es $SEC = 3,12 \text{ cm}^2$. La velocidad de circulación en dichos canales resultó ser (a partir de las determinaciones analíticas y experimentales realizadas) un 12% superior a la velocidad de circulación en las cajas. De este modo se llega a que el caudal efectivo de refrigeración será igual a:

$$Q_{ER} = N_c Q_c + (N_c + 5) \cdot S_{EC} (1,12 \cdot V) \quad [2]$$

o bien

$$Q_{ER} = V [N_c S_R + 1,12 (N_c + 5) \cdot S_{EC}] \quad [2']$$

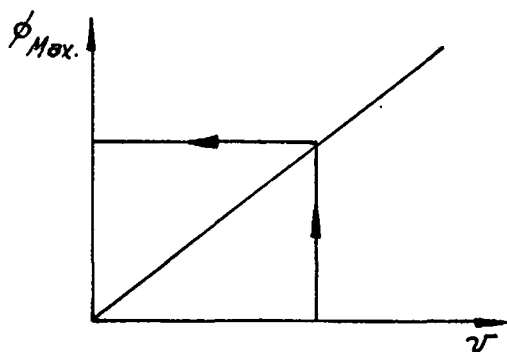
Todos los análisis a los que nos referimos en adelante han sido realizados sobre la base del caudal circulante por el interior de 1 caja de elementos combustibles (Q_c).

RELACION EXISTENTE ENTRE: Velocidad de circulación, caudal efectivo de refrigeración, flujo calórico máximo admisible y potencia máxima admisible.

Se define como flujo calórico medio en el núcleo, la relación entre la potencia de operación y la superficie total. A través de la cual las placas combustibles evacuan dicha potencia al refrigerante.

La distribución del flujo calórico en el núcleo no es uniforme y existe un flujo máximo que para el caso del RA-3 resulta ser de 2,5 ϕ_{medio} [Ref. 2].

Para una dada presión y temperatura de entrada al núcleo, el flujo calórico máximo admisible en el mismo, es función de la velocidad de circulación. Por lo tanto conocida ésta, es posible determinar la potencia máxima admisible en el núcleo.



$$S_{ct} = S_p \times (19 \times N_n + 15 \times N_{bc}) \quad [3]$$

S_{ct} = superficie calefactora total

S_p = superficie de 1 placa de elemento combustible.

N_n : Número de cajas standard (con 19 placas)

N_{bc} : Número de cajas con barras de control (con 15 placas).

$$\text{Pot. máx. admisible} = \frac{\phi_{\text{máx}}}{2,5} \cdot S_{\text{ct}} \quad [4]$$

Se desprende de lo antedicho que para fijar la potencia máxima admisible de operación del reactor es necesario determinar la velocidad de circulación. De [1] y [2] se deduce que existe una relación directa entre v , Q_c y Q_{ER} .

2 CAUDAL REFRIGERANTE EN UNA CAJA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

2.1 Determinación analítica

Para un determinado Q_c circulando por una caja de elementos combustibles es posible determinar analíticamente la pérdida de carga por frotamiento en tramos rectos y singularidades, las que pueden apreciarse en la Figura 2.

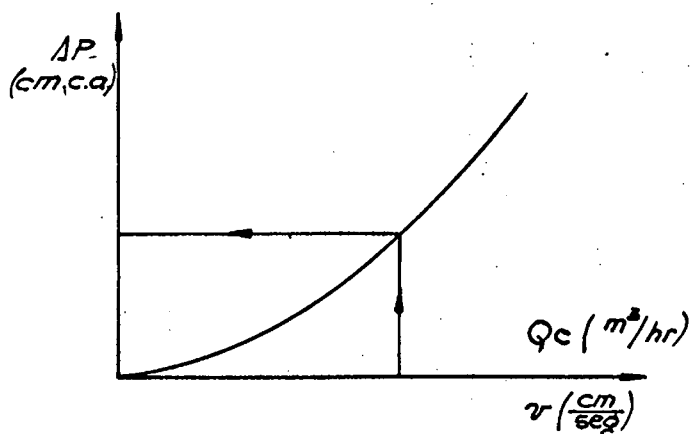
ΔH_1 : Puesta en velocidad

$\Delta H_2, \Delta H_4, \Delta H_6, \Delta H_8$ y ΔH_{10} : Tramos rectos

$\Delta H_3, \Delta H_7$: Contracciones bruscas

$\Delta H_5, \Delta H_9$ y ΔH_{11} : Expansiones bruscas

Los términos ΔH_1 a ΔH_{10} son funciones exclusivas de Q_c , mientras que ΔH_{11} depende del valor de la sección S_6 , (núcleo o circuito hidráulico) y del número de cajas por las que circula dicho caudal (Ref. [1])



2.2 Determinación experimental del caudal efectivo de refrigeración.

2.2.1 Descripción del circuito de ensayos hidráulicos

A fin de determinar experimentalmente la relación existente entre el caudal pasante por una caja ubicada en el núcleo del reactor (o la velocidad de circulación) y la pérdida de carga que en consecuencia se establece entre la entrada y la salida del núcleo (entrada a la caja y salida de la grilla) se montó un dispositivo experimental (Figura 3) consistente en un circuito de ensayos hidráulicos (en adelante C.E.H.).

Dicho dispositivo consta de:

- a) un tanque que simula al tanque principal del reactor, en forma de prisma de base cuadrada. Dicho tanque contiene un sector de grilla con 9 orificios principales (para la ubicación de los "elementos combustibles") y un orificio menor destinado a evacuar el fluido que circula entre cajas.

En la parte superior de dicho tanque se ha ubicado un "nido de abejas" a fin de evitar turbulencia en el agua que ingresa al mismo.

La altura de dicho tanque es aproximadamente 5 m,

y a fin de evitar que el fluido transporte burbujas de aire, lo cual alteraría el valor de la pérdida de carga, se ha incrementado la presión en el tanque, conectándolo a un tanque atmosférico más elevado.

- b) A los fines de la medición se han utilizado "elementos combustibles" contruidos totalmente en aluminio, geométricamente iguales a las cajas de elementos combustibles reales e hidráulicamente equivalentes a los mismos.
- c) El tanque principal desagua por su parte inferior en un circuito hidráulico que contiene:
- Una bomba centrífuga con un caudal máximo de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura de carga de 20 m de columna de agua.
 - Un "by-pass" conectado entre la entrada y salida de la bomba.
 - Dos válvulas reguladoras de caudal; una sobre el circuito principal y a la salida de la bomba, y la otra en el "by-pass". Estas válvulas permiten regular el caudal del circuito principal (que pasa por los elementos combustibles a ensayar) desde cero hasta el caudal máximo entregable por la bomba.
 - Un caudalímetro de tipo placa-orificio con placas intercambiables y calibradas, que permiten cubrir todo el rango de operación.

El circuito retorna al tanque principal por la

parte superior del "nido de abejas".

Con dicho circuito se han realizado una serie de ensayos, variando el número de cajas de "elementos combustibles" ubicados en la grilla hasta el máximo de 3 cajas. A pesar de que la disponibilidad de la grilla es de 9 posiciones para elementos combustibles, la utilización de un número mayor de tres cajas, teniendo en cuenta el caudal máximo disponible, ubicaría el rango de velocidades por debajo de los valores normales de circulación en el reactor.

2.2.2 Adaptación de los resultados experimentales al núcleo del RA-3.

Para el mismo caudal, Q_c , circulando por una caja de elementos combustibles, la pérdida de carga entre la entrada a la caja y la salida de la grilla, se ve afectada según:

- la medición se haya realizado para 1 caja ubicada en el núcleo o en el C.E.H.
- por el número de cajas existentes en el núcleo o en el C.E.H. en el momento de realizarse la medición.

Dicha diferencia se manifiesta en la pérdida de carga parcial ΔH_{11} (Figura 2) correspondiente a una expansión brusca a la salida de la grilla.

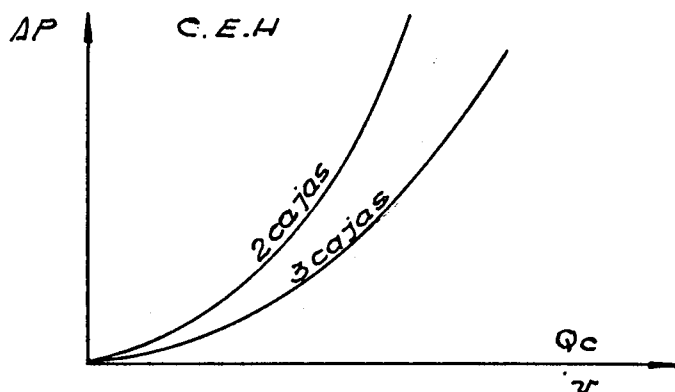
La expresión de pérdida de carga por expansión brusca es:

$$\Delta H_{11} = \frac{(v_5 - v_6)^2}{2g} \quad [5]$$

donde v_5 es la velocidad de circulación en el orificio de la grilla y resulta igual a (Q_c/S_5) , siendo S_5 la superficie de pasaje del orificio ($29,90 \text{ cm}^2$) por lo que v_5 resulta ser exclusivamente función de Q_c .

En cambio v_6 es la velocidad del refrigerante a la salida de la grilla y será igual a (Q_n/S_6) . En el caso del núcleo $Q_n = Q_{ER}$ (ver ecuación 2') y S_6 la superficie a la salida de la grilla (5166 cm^2), en realidad $Q_n = Q_{ER} + Q_2$, pero siendo $Q_2 \ll Q_{ER}$ asumimos que $Q_n = Q_{ER}$. En el caso del C.E.H., (Figura 3), $Q_n = N \cdot Q_c$ donde N es el número de cajas con que se haya realizado la experiencia (1, 2 o 3 cajas) y S_6 es la superficie de salida de la grilla de dicho circuito (610 cm^2).

De lo arriba analizado surge que v_6 y consecuentemente ΔH_{11} resulta ser función del caso que se esté considerando.



Las curvas obtenidas en el C.H.E., ΔP vs v (o Q_c) han sido realizadas a 25°C .

A los fines de determinar la velocidad de circulación y el caudal efectivo de refrigeración, (Q_{ER}) en condiciones normales de operación en el núcleo, in-

teresa la curva $\Delta P = f (Q_c)$ para la configuración actual del núcleo (N Cajas) y para la temperatura del fluido refrigerante en el mismo (aproximadamente 45°C). Esto implica la necesidad de aplicar dos correcciones a la curva $\Delta P = f (Q_c)$, obtenida en el C.E.H.

La primera corrección consiste en reemplazar, en el valor de ΔP obtenido experimentalmente en el C.E.H. el ΔH_{11} calculado para dicho circuito por el calculado para el núcleo (la corrección debe hacerse por cálculo, dada la imposibilidad de medir pérdidas de carga parciales). De este modo obtendremos $\Delta P = f (Q_c)$ para el núcleo trabajando a 25°C.

$$\Delta P_{NU}^{25^\circ} = \Delta P_{C.E.H.}^{25^\circ} - \Delta H_{11}^{25^\circ}_{C.E.H.} + \Delta H_{11}^{25^\circ}_{NU} \quad [6]$$

A fin de corregir dicha pérdida de carga por temperatura (núcleo a 45°C) y dado que todas las mediciones en C.E.H. han sido realizadas a 25°C nuevamente la corrección debe hacerse a través del método analítico.

Se calculan entonces para el núcleo las curvas

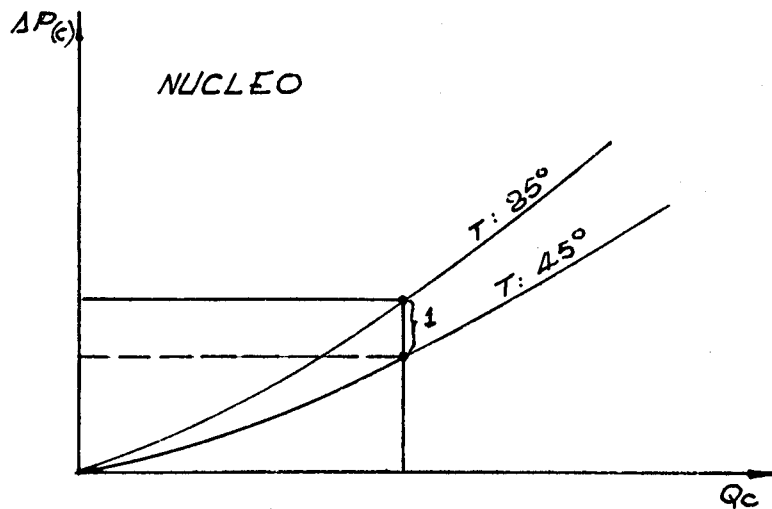
$\Delta P_{NU(c)}^{25^\circ} = f (Q_c)$ y $\Delta P_{NU(c)}^{45^\circ} = f (Q_c)$ y la relación entre ellas, resultando que;

$$\Delta P_{NU}^{45^\circ} = \Delta P_{NU}^{25^\circ} \cdot \frac{\Delta P_{NU(c)}^{45^\circ}}{\Delta P_{NU(c)}^{25^\circ}} \quad [7]$$

1

(c) = calculado

Gráfico del cálculo analítico para el núcleo



Los valores de pérdida de carga medidos en el C.E.H. a 25°C (con 2 y 3 cajas de elementos combustibles) en función de la velocidad (v) y/o de Q_c se aprecian en las columnas 1, 2 y 3 de la Tabla I y en el Gráfico I.

En las columnas 4 y 5 se puede apreciar las pérdidas de carga parciales (ΔH_{11}) calculadas a 25°C para el C.E.H. y para el núcleo.

La columna 6 indica los valores de pérdida de carga corregidos para el núcleo y para una temperatura de 25°C . (Ver ecuación [6] y Gráfico II).

Las columnas 7, 8 y 9 indican los valores de pérdida de carga calculados para temperaturas de 25°C y 45°C en el núcleo del reactor y su relación.

Finalmente la columna 10 indica los valores de pérdida de carga corregidos para el núcleo a 45°C (ver ecuación [7] - Gráfico II).

3. MEDICION DE LA PERDIDA DE CARGA EN EL NUCLEO Y DETERMINACION DEL CAUDAL EFECTIVO DE REFRIGERACION Y LA VELOCIDAD.

La pérdida de carga en el núcleo se medirá mediante el dispositivo descrito en Fig. 4 constituido por:

- un manómetro de tubo en U en el cual se utiliza como fluido de referencia tetrabromoetano de peso específico $\rho = 3 \text{ gr/cm}^3$.

A un extremo de dicho manómetro llega la primera rama de medición constituida por una tubería de acero inoxidable que termina en el cono de salida del núcleo por debajo del nivel de la grilla. Al otro extremo llega la segunda rama que termina dentro del tanque principal y fuera del núcleo. Ambas ramas pasan por sobre el nivel superior de dicho tanque y en su punto más alto están conectadas a sendos recipientes de lucite. Dichos recipientes tienen por función facilitar el llenado de los tramos de tuberías que se introducen en el tanque del reactor (dichos recipientes se encuentran a una presión inferior a la atmosférica) y permitir la eliminación de los gases que pudiesen acumularse en dichos tramos de tuberías.

Cuando no existe caudal circulando por el núcleo, el nivel de ambas ramas es el mismo. Al circular un cierto caudal, la diferencia acusada por el manómetro indica la pérdida de carga que se establece entre la entrada a las cajas y la salida de la grilla.

Entrando con el valor de dicha diferencia de presión a la curva que resulta de la ecuación [7] Gráfico II. Se determina el caudal Q_c pasante por una caja. Aplicando las relaciones dadas en las ecuaciones [1] y [2] detenemos también la velocidad de circulación y el caudal efectivo de refrigeración.

Una vez en conocimiento de dicha velocidad y entrando en el Gráfico III (Ref. 2) podemos determinar el flujo máximo admisible en el núcleo. Con dicho valor y la ecuación [4] se obtiene la potencia máxima admisible en el núcleo.

4 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES REALIZADAS EN ABRIL DE 1978.

4.1 Descripción del circuito primario de refrigeración del RA-3.

Si recorremos el circuito primario de refrigeración en el sentido de circulación del agua, partiendo del núcleo encontraremos sucesivamente: (Fig. 5).

- Dos tanques de decaimiento (TD) de 15 m^3 cada uno, cuya función es disminuir la actividad del agua en sala de bombas a un nivel compatible con las tareas de operación y mantenimiento.
- Dos bombas de circulación en paralelo (B_1 y B_2).
- Dos intercambiadores de calor. El intercambiador IC1 preparado para una potencia nominal de trabajo de 4 MW y un intercambiador IC2 cuya potencia de opera-

ción nominal es de 3 MW.

- Una rama de interconexión (R) que comunica las conexiones B_1 - IC1 y B_2 - IC2 y que mediante la adecuada distribución de apertura y cierres de válvulas, permite diferentes modos de operación.

En abril de 1978 se realizaron mediciones de pérdida de carga en el núcleo para cuatro posibles modos de operación. (Fig. 6).

El circuito primario no cuenta con válvulas de regulación de caudal por lo que, sólo los modos de operación fijan los caudales de circulación a través del núcleo (Q_{ER}). Las válvulas esclusas existentes en el circuito tienen por función la aislación de los distintos componentes.

4.2 Tabla de valores correspondiente a las mediciones realizadas

Las mediciones fueron realizadas a una temperatura cercana a los 25°C ya que el reactor se encontraba fuera de servicio. Por tal motivo las velocidades de circulación fueron obtenidas ingresando con los valores ΔP_{NU} en la curva a 25°C del Gráfico II.

En la Tabla II y para los diferentes modos de operación descriptos en la Fig. 6, se consignaron los valores de ΔP_{NU} , v , ϕ calóricos máximos y las potencias máximas admisibles de operación en el núcleo (considerando la situación más desfavorable de una temperatura de entrada al núcleo de 45°C).

Los flujos máximos admisibles se obtuvieron entrando con las velocidades de circulación en el gráfico II. (Ref. 2). Se han consignado también en dicha tabla (columnas 6 y 7) los caudales medidos en el caudalímetro (Q_t) y los Caudales efectivos de refrigeración calculados mediante la ecuación [2'].

4.3 Conclusiones

De las columnas 6 y 7 de la Tabla II se desprende que el caudal Q_t supera el caudal efectivo de refrigeración en porcentajes que según el modo de operación sobrepasan el 50%. Este hecho pone de manifiesto la importancia de determinar, a través de la medición de la pérdida de carga en el núcleo el caudal efectivo de refrigeración.

Es evidente también de acuerdo a la Tabla que si las potencias de trabajo se determinasen a partir de los caudales totales (Q_t) medidos en el circuito primario a) se reduciría considerablemente el grado de seguridad en la operación, y b) se superaría las temperaturas máximas de vaina (85°C) aconsejadas para lograr una buena "performance" del elemento combustible.

5 UTILIZACION DE LA MEDICION DE PERDIDA DE CARGA EN EL NUCLEO COMO SISTEMA DE SEGURIDAD

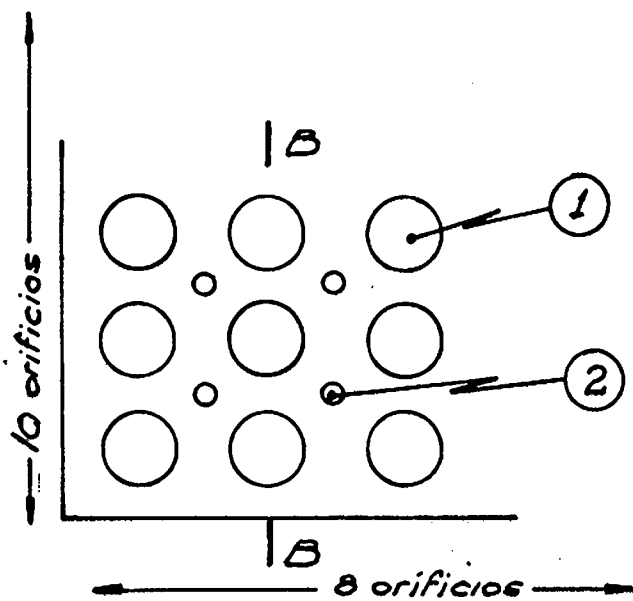
En los reactores de piscina con elementos combustibles tipo MTR, la pérdida de carga total en lo largo del circuito primario de refrigeración está determinada

en su casi totalidad por el intercambiador de calor. La pérdida de carga en el núcleo es muy pequeña frente a ésta. Por tal motivo un aumento del caudal externo implicaría la consecuente disminución en el caudal efectivo de refrigeración, quedando prácticamente invariado el caudal total registrado en el caudalímetro (Q_t). Por el contrario dicha variación en el Q_{ER} se traduciría en una modificación de la pérdida de carga medida en el núcleo (ΔP_{NU}).

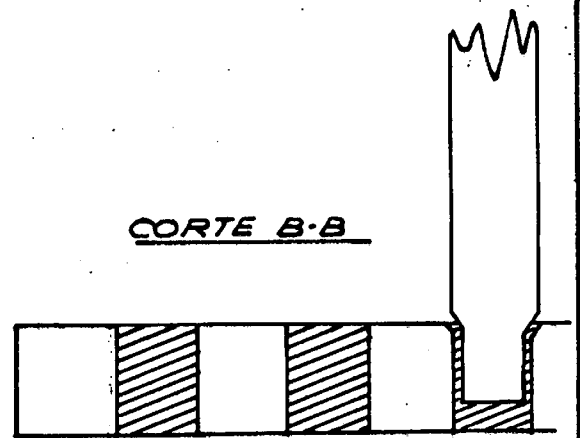
Por ejemplo un accidente posible con aumento del caudal externo, sería la traba en posición abierta de la clapeta de convección natural.

Una medida de seguridad para este tipo de accidente podría ser la colocación de tres medidores de ΔP_{NU} trabajando en paralelo, cuya señal actuase mediante una lógica 2 en 3 sobre el sistema de alarma o parada del reactor.

Esta solución ha sido adoptada en el reactor SILOE (Grenoble, Francia). [Ref. (3)]

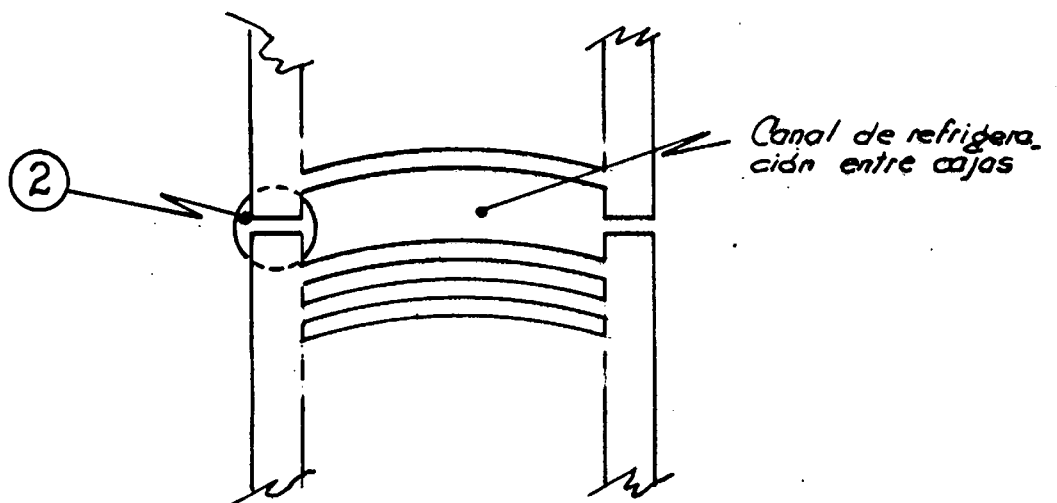


(a)

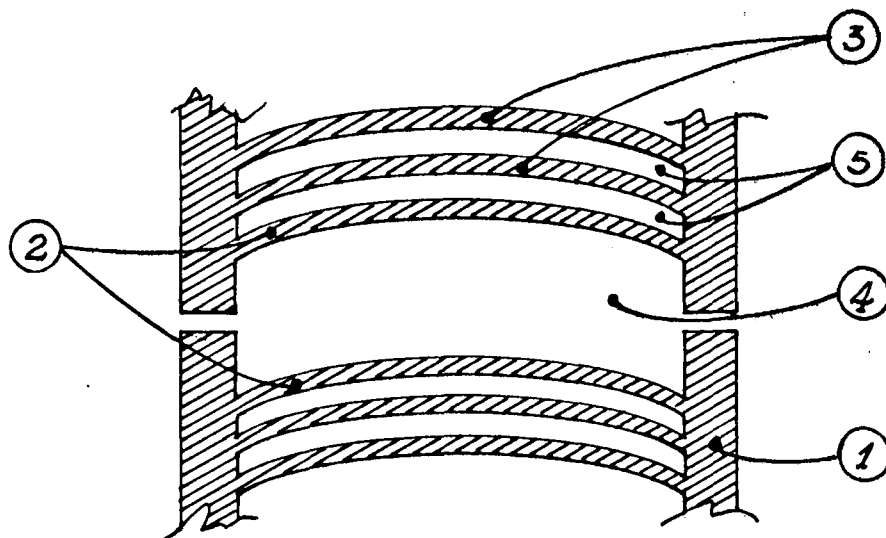


(b)

- 1.- Orificio que permite el pasaje del caudal que circula por dentro de una caja de elementos combustibles. ($d = 6,17$ cm.)
- 2.- Orificio que permite el pasaje del caudal que circula entre cajas de elementos combustibles.



(c)



- 1.- Caja de elemento combustible.
- 2.- Placa extrema generadora de calor.
- 3.- Placa generadora de calor.
- 4.- Canal de refrigeración entre cajas de el. comb.
- 5.- Canal de refrigeración entre placas de una caja de elementos combustibles.

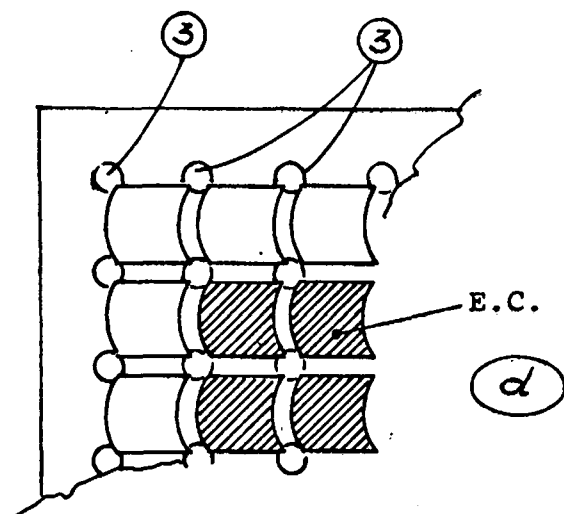
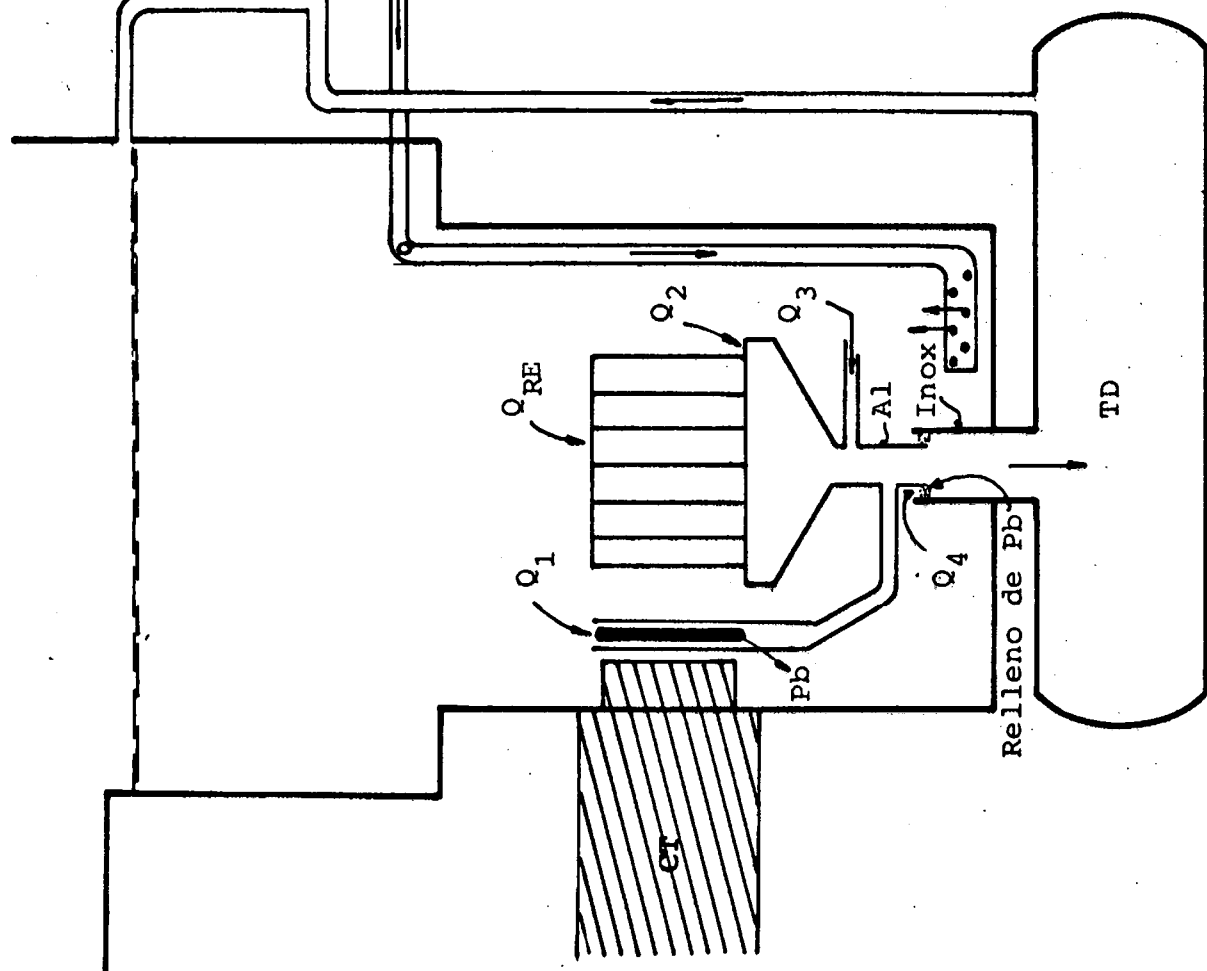


FIGURA I - ESQUEMA DEL CIRCUITO PRIMARIO DE REFRIGERACION DEL RA-3.-



$\dot{Q}_{RE}$ = Caudal de Refrigeración Efectivo

$$Q_E = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots =$$

CAUDALIMETRO
 $Q_T = Q_{ER} + Q_E$

$$Q_T = Q_E + Q_F$$

Repleno de Pb

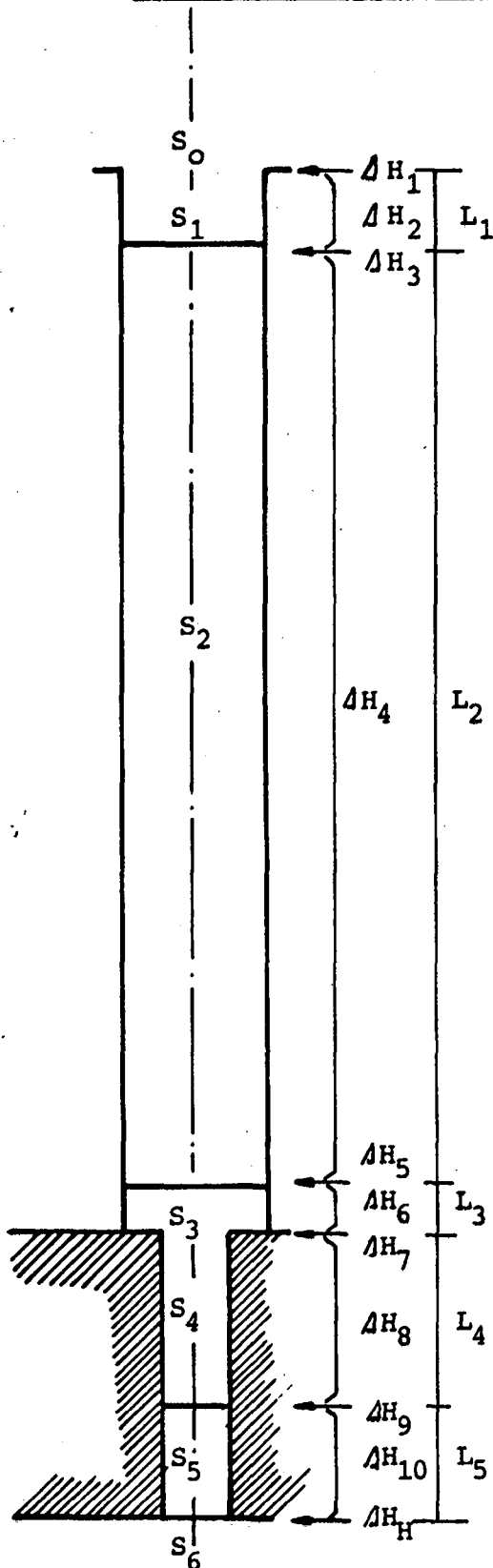
CT

B.P.

21

TD: Tanque de decaimiento
BP: Bomba de circulación
IC: Intercambiador de calor

LA CAJA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES ESTA FORMADA POR 19 ELEMENTOS Y TIENE LAS DIMENSIONES INDICADAS EN LA FIG.



$L_1 = 5 \text{ cm}$	$S_1 = 48.47 \text{ cm}^2$
$L_2 = 65.5 \text{ cm.}$	$S_2 = 29.475 \text{ cm}^2$
$L_3 = 3 \text{ cm}$	$S_3 = 48.47 \text{ cm}^2$
$L_4 = 12 \text{ cm}$	$S_4 = 22.48 \text{ cm}^2$
$L_5 = 8 \text{ cm.}$	$S_5 = 29.9 \text{ cm}^2$
	$S_6 = 5166.6 \text{ cm}^2$

$$d_i = \frac{4 \times S_i}{P_i} \quad \leftarrow \text{PERIMETRO}$$

- $d_1 = 6.95 \text{ cm.}$
- $d_2 = 0.48 \text{ cm.}$
- $d_3 = 6.9 \text{ cm}$
- $d_4 = 5.35 \text{ cm}$
- $d_5 = 6.17 \text{ cm.}$

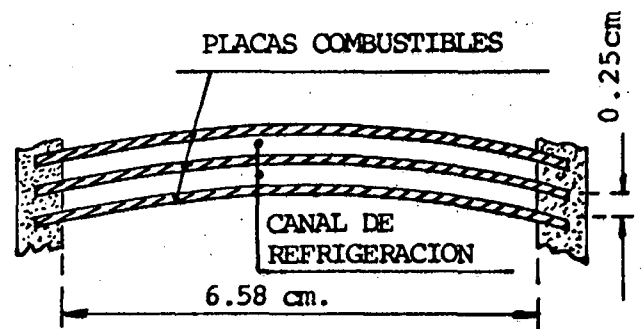


FIG. 2

FIGURA 3 - CIRCUITO DE ENSAYOS HIDRAULICOS PARA SIMULACION
 NUCLEO RA-3.-

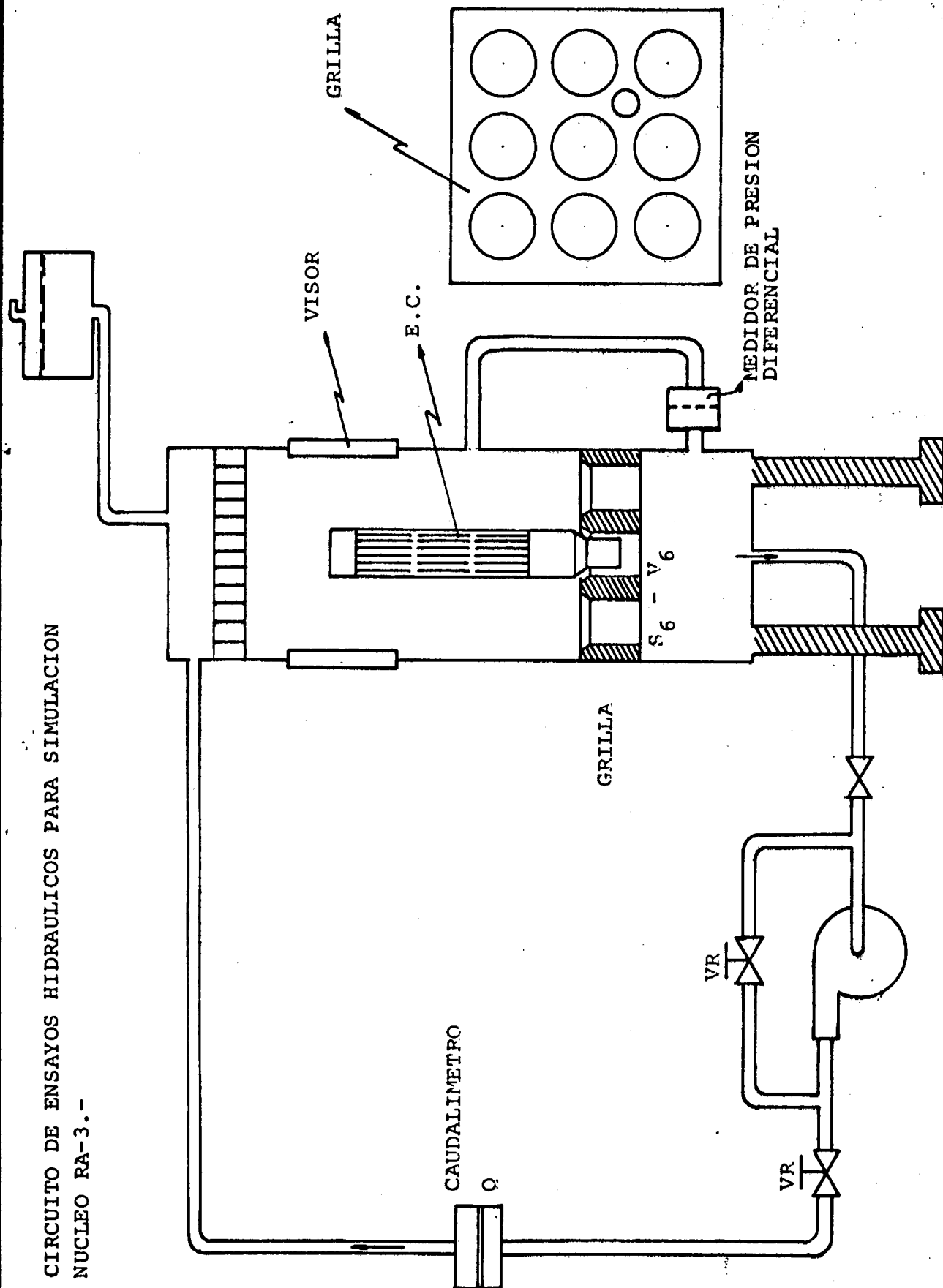


FIGURA 4 - CIRCUITO DE MEDIDA DE PERDIDA DE CARGA EN EL NUCLEO.-

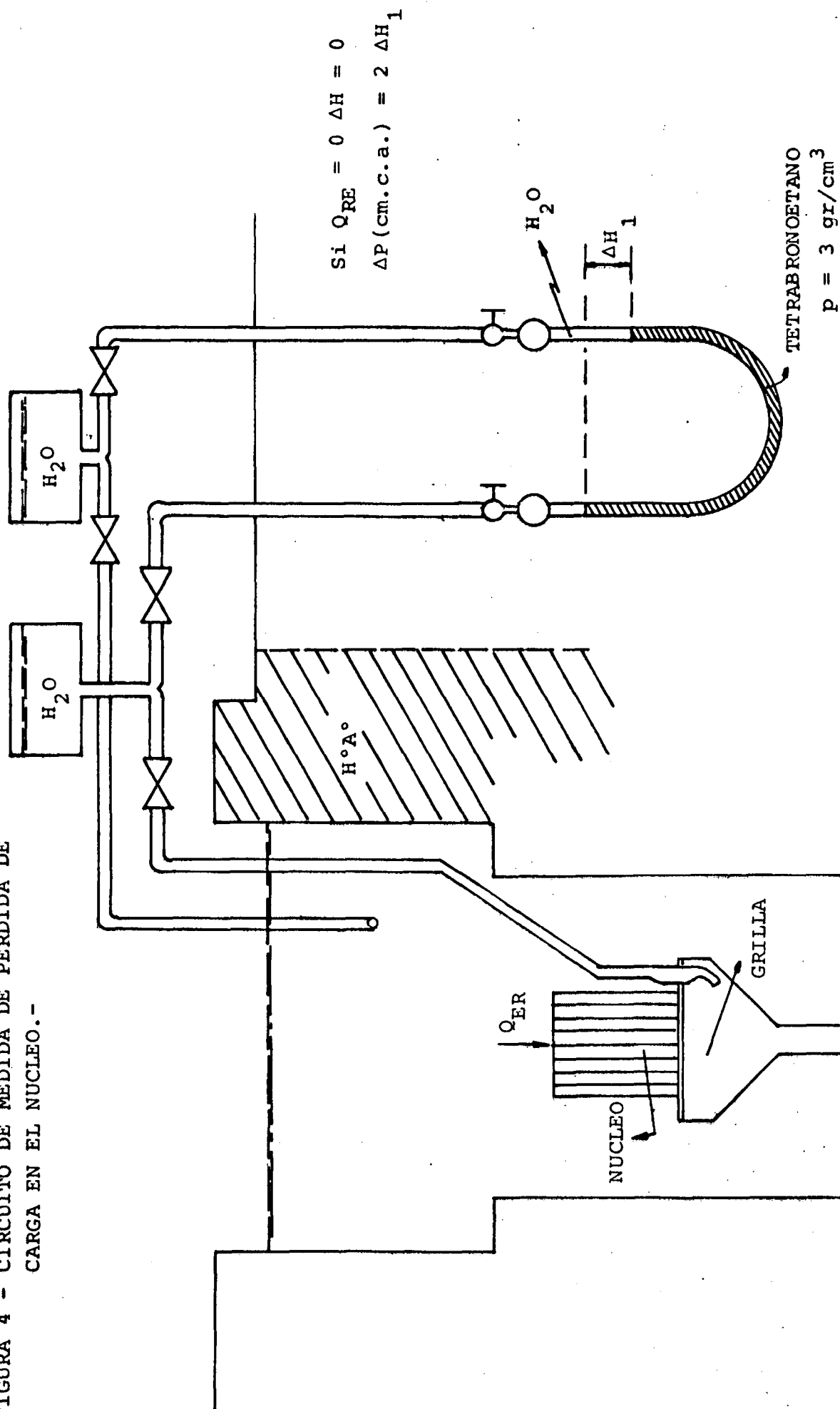


FIGURA 5 - CIRCUITO PRIMARIO DE REFRIGERACION DEL NUCLEO
(simplificado). -

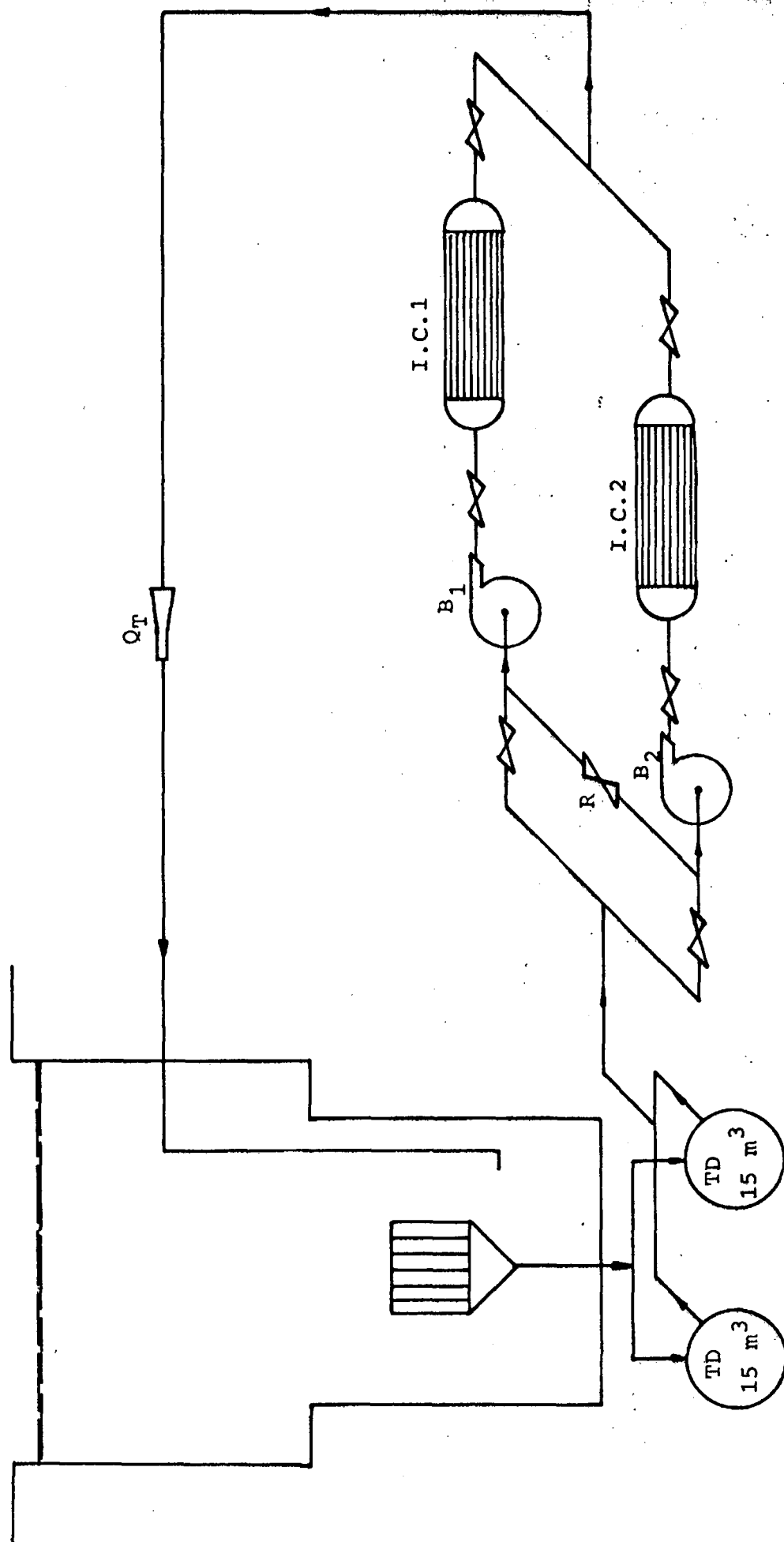


FIGURA 6. -- MODOS DE OPERACION

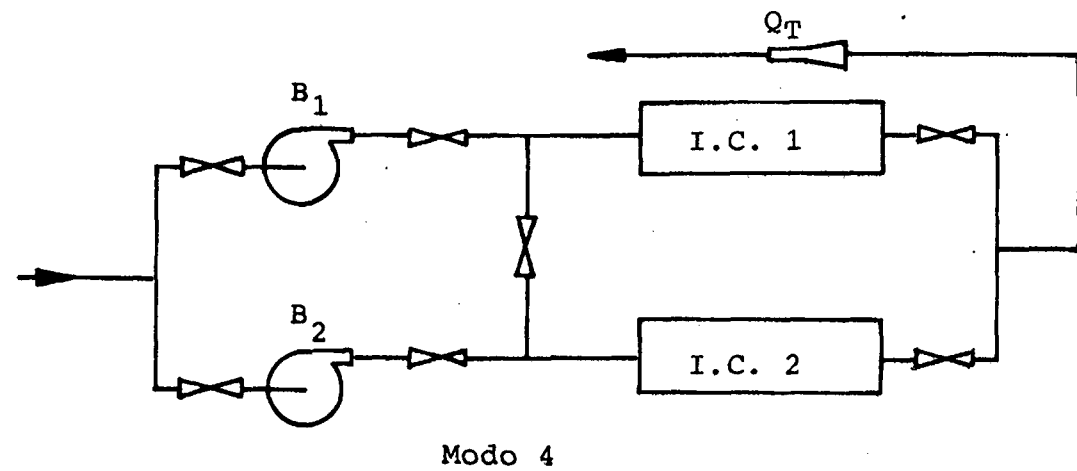
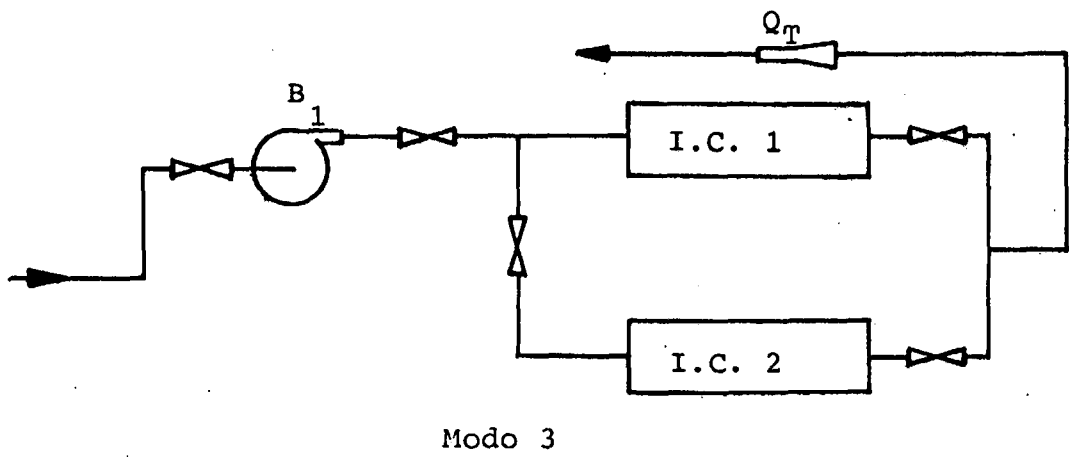
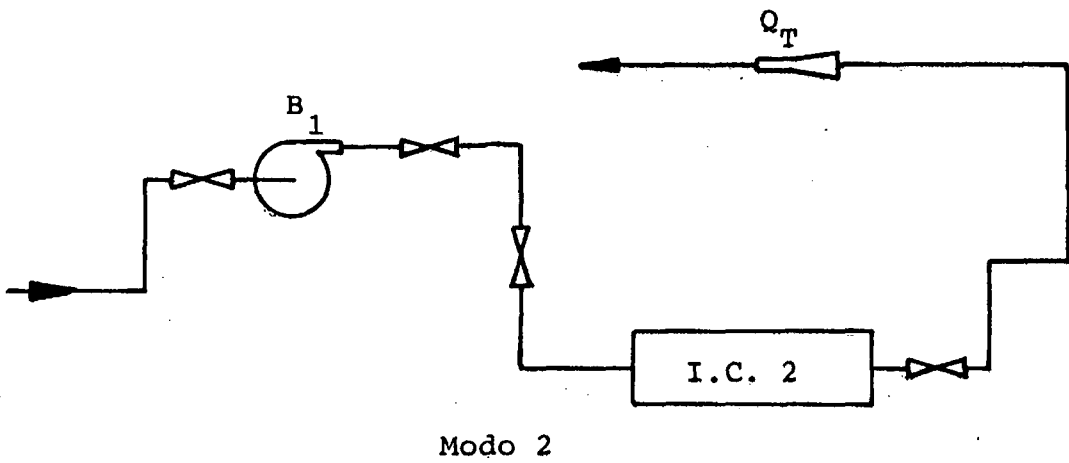
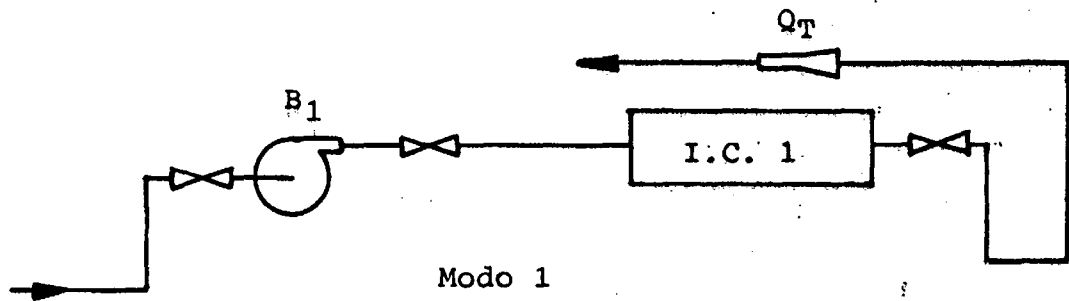


TABLA I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v \frac{cm}{seg}$	$Q_c \frac{m^3}{h}$	ΔP_{medido} (cm, c.a.) 25°C 2 y 3 cajas	ΔH_{11} (c) (cm, c.a.) 25°C	ΔH_{11NU} 25°C (cm, c.a.)	ΔP_{medido} corr. a. NU (cm, c.a.) 25°C	ΔP_{NU} (c) 25°C	ΔP_{NU} (c) 45°C	$R = \frac{\Delta P_{NU}^{45^\circ}}{\Delta P_{NU}^{25^\circ}}$	ΔP_{medido} corr. a. NU extrap. 45°C
50	5,30	8,75	0,999	0,8456	8,173	10,2344	9,8406	0,926	7,568
100	10,61	28,75	3,816	3,3824	28,315	35,9693	33,4337	0,929	26,304
150	15,91	60,25	8,586	7,6105	59,221	75,2356	70,0804	0,931	55,134
200	21,22	106,75	15,265	13,5298	105,013	127,1658	118,6370	0,933	97,977
250	26,53	161,75	23,852	21,1403	159,039	191,208	178,6054	0,934	148,540

TABLA II

MODOS DE OPERACION	v (cm/seg)	ΔP_{30° NU (cm . o. a.)	$\phi_{m\acute{a}x}$ (W/cm ²)	Pot. m $\acute{a}x$. adm. (MW)	Q_t medido (m ³ /h)	Q_{ER} (m ³ /h)
I	94	25,90	27	4,40	500	340
II	87	22,90	25	4,10	450	315
III	133,0	47,70	38	6,2	645	482
IV	166,0	74,70	45,5	7,4	925	601

ΔP (cm c.a.)

CIRCUITO DE ENSAYOS HIDRAULICOS

□ Mediciones realizadas con 2 cojos

○ " " " 3 "

GRAFICO 1

v (cm/seg)

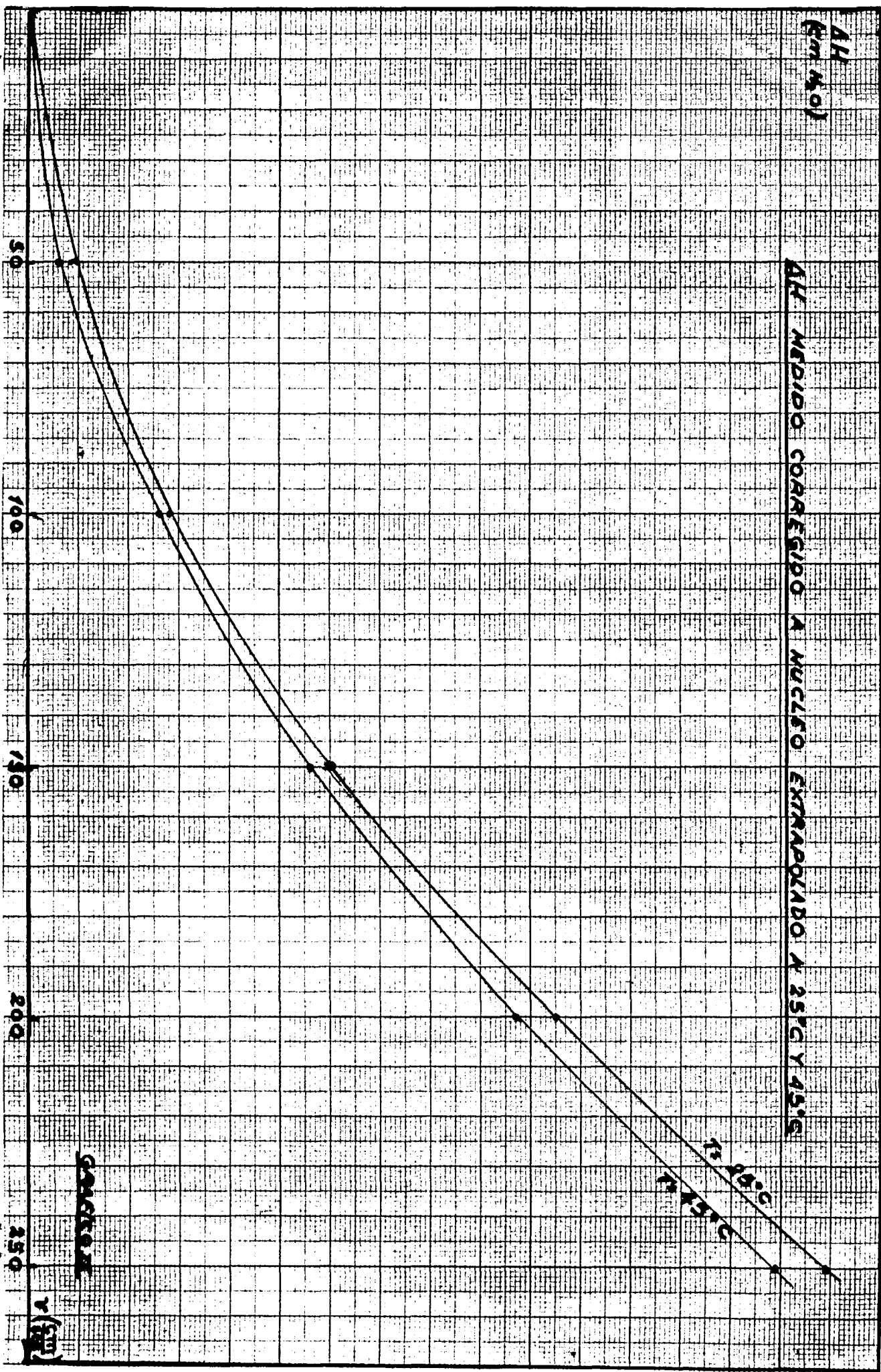
AH
(cm Mo)

AH MEDIDO CORREGIDO A NUCLEO EXTRAPOLADO A 25°C Y 45°C

25°C
45°C

0.000000

$\nu(\frac{cm}{m})$



d_{max}
(cm)

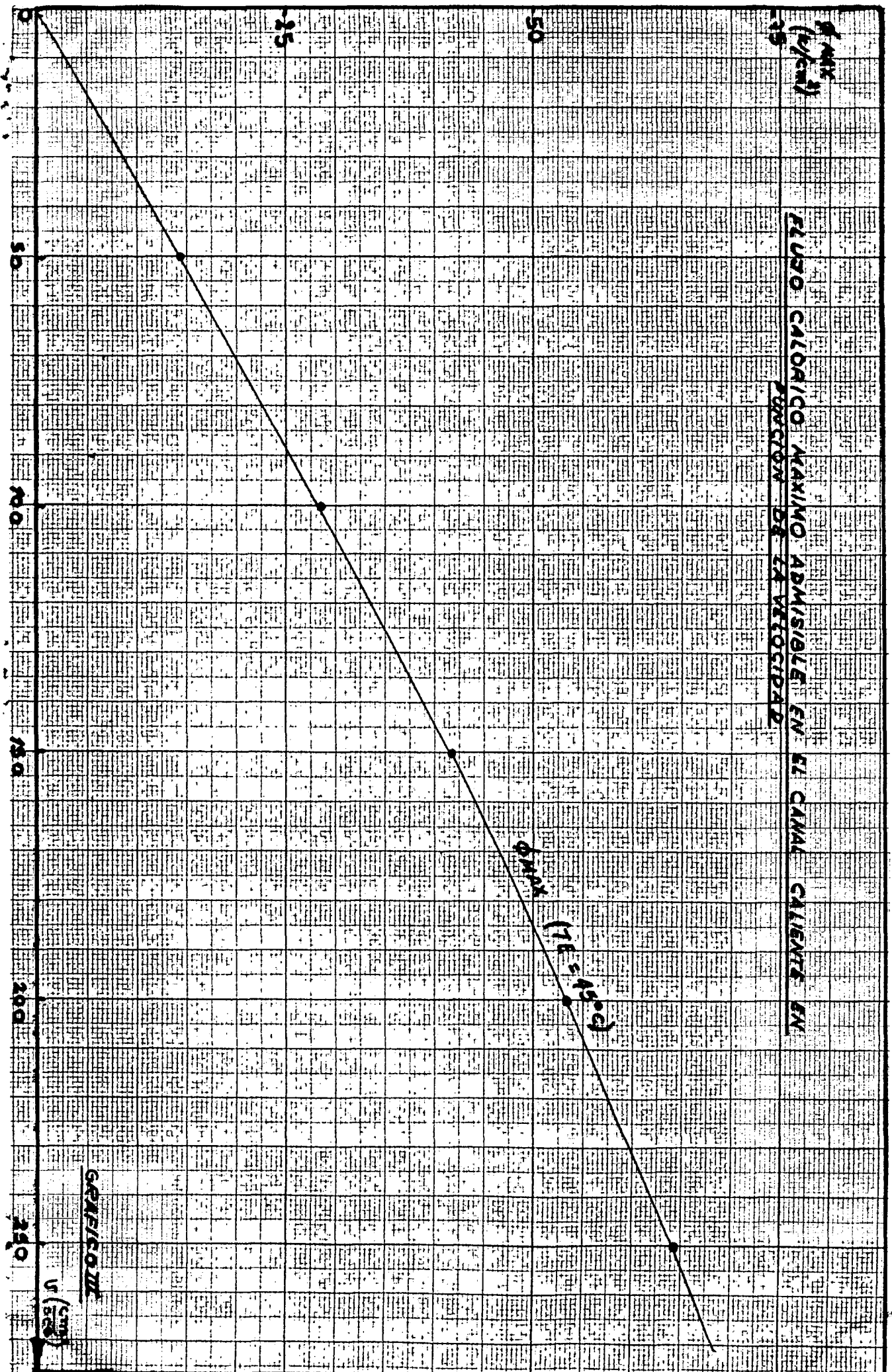
FLUJO CALORIFICO MAXIMO ADMISIBLE EN EL CANAL CALIENTE EN

PORCION DE LA VELOCIDAD

d_{max}
($18-45^{\circ}C$)

GRANICOLITE

U (cm/sec)



R E F E R E N C I A S

- 1 - Pérdida de presión en el RA-3 - CNEA-Re-61.
- 2 - RA-3 - Termic 1 - CNEA-Re-53
- 3 - Essais mecaniques el hidrauliques de SILOE a 30 MW.
CEA - C.E.N.G. Pi(R) 760-105/68.

En la preparación del trabajo se agradece la colaboración del Sr. Carlos A. Puzzo.-

I N D I C E

	RESUMEN	1
1	ANALISIS DEL PROBLEMA	2
2	CAUDAL REFRIGERANTE EN UNA CAJA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES	7
2.1	Determinación analítica	7
2.2	Determinación experimental	8
2.2.1	Descripción del circuito de ensayos hidráulicos	8
2.2.2	Adaptación de los resultados experimentales al núcleo del RA-3	10
3	MEDICION DE LA PERDIDA DE CARGA EN EL NUCLEO Y DETERMINACION DE Q_c , v Y Q_{ER}	14
4	RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES REA- LIZADAS EN ABRIL DE 1978	15
4.1	Descripción del circuito primario de refrige- ración del RA-3	15
4.2	Tabla de valores correspondiente a las medi- ciones realizadas	16
4.3	Conclusiones	17
5	UTILIZACION DE LA MEDICION DE PERDIDA DE CARGA EN EL NUCLEO COMO SISTEMA DE SEGURIDAD	17

FIGURAS

TABLAS

GRAFICOS

REFERENCIAS

FLUJO CALORICO MAXIMO ADMISIBLE EN EL CANAL CALIENTE EN
FUNCION DE LA VELOCIDAD

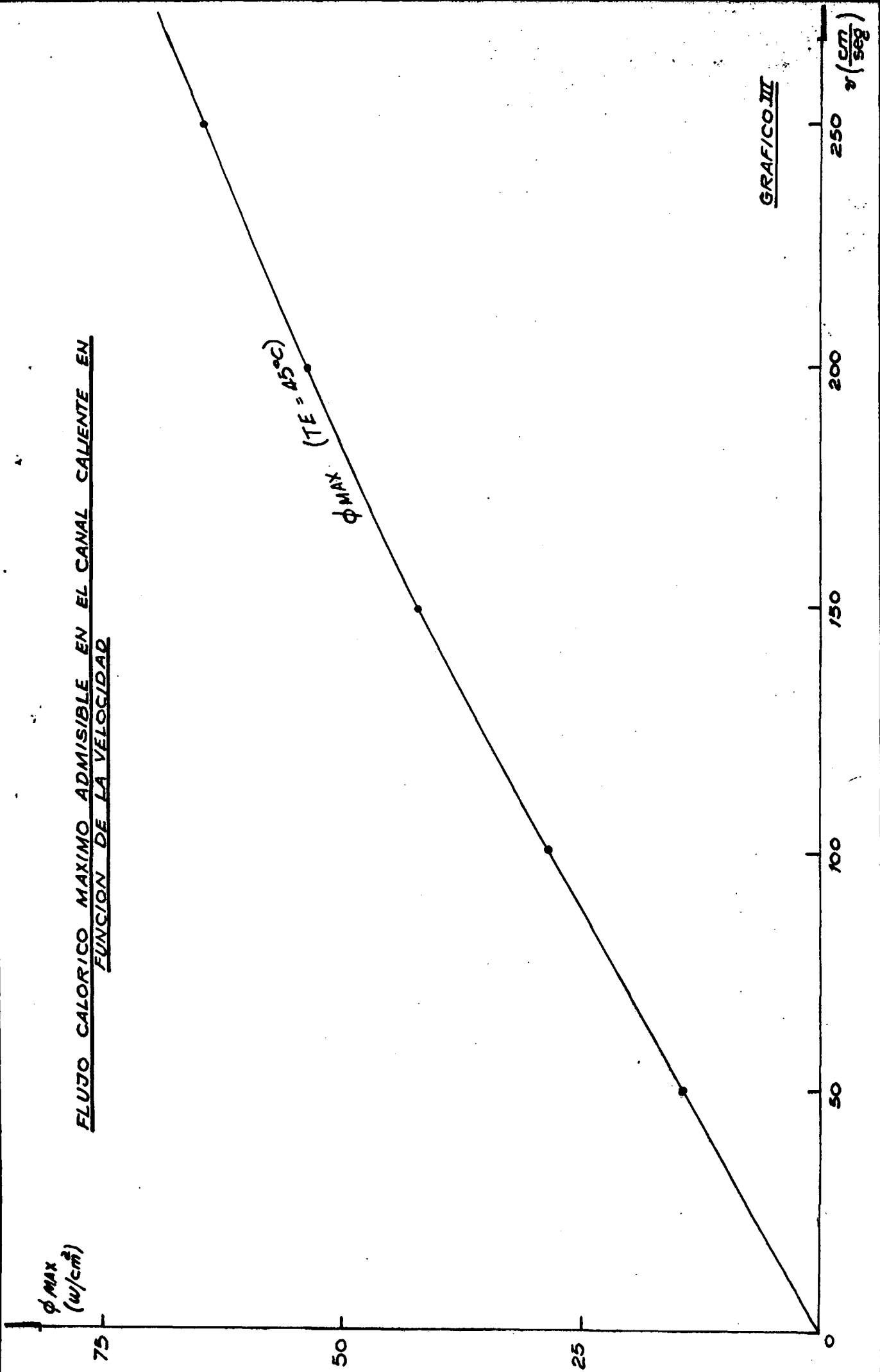


GRAFICO III

CIRCUITO DE ENSAYOS HIDRAULICOS

10

ΔP
(cm.c.a.)

150

100

50

0

$\square$ Mediciones realizadas con 2 cajas
 $\odot$ " " " 3 "

10

10

10

10

GRAFICO I

$Q (\frac{m^3}{hr})$
 $q (\frac{cm}{Seg})$

250

150

100

50