

08.74.12

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| C.N.E.A. Biblioteca   |             |
| ARCHIVO PUBLICACIONES |             |
| Nº /                  | AÑO<br>1974 |

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
GERENCIA DE ENERGIA

BALANCE TERMICO DEL REACTOR RA-3

D. PARKANSKY

CNEA-Re 84

DEPARTAMENTO DE REACTORES

AREA DE REACTORES NUCLEARES  
DEPARTAMENTO DE REACTORES

Abril, 1974

BALANCE TERMICO DEL REACTOR RA-3

D. PARKANSKY

CNEA-Re 84

## R E S U M E N

En el presente informe se analiza:

- 1 - La determinación de la potencia del RA-3 a partir de mediciones térmicas.
- 2 - El error máximo previsible en dicha determinación.
- 3 - La posibilidad de registrar, a partir de mediciones térmicas, la disminución de rendimiento en los intercambiadores y torres de enfriamiento.

## INTRODUCCION:

Este informe tiene por finalidad, servir de guía al personal de operación y mantenimiento del RA-3.

En el se describe;

- a) como se debe realizar el balance térmico para obtener la potencia en forma precisa.
- b) las mediciones necesarias, el grado de precisión de estas y su ubicación en el circuito.
- c) que condiciones deben darse durante la medición para que el resultado sea optimo (error mínimo).
- d) Como, a partir de dichas mediciones puede detectarse un deterioro en los intercambiadores y /o torres de enfriamiento.

## PLANTEO DEL PROBLEMA

A fin de realizar el balance térmico del Reactor consideramos el sistema formado por la pileta, el muro de hormigón que la rodea, el circuito primario y los intercambiadores.

De acuerdo a dicho balance, para un dado intervalo de tiempo se cumple que:

Calor almacenado (o perdido) en el sistema = Calor que entra - Calor que sale

1) Calor almacenado o perdido por el sistema.

Este término aparece durante la puesta en marcha del reactor, la parada y ante variaciones de las condiciones climáticas. La magnitud del mismo se puede determinar conociendo la variación de la temperatura del sistema. Principalmente la temperatura del agua de la pileta.

Matemáticamente dicho término se puede expresar mediante:

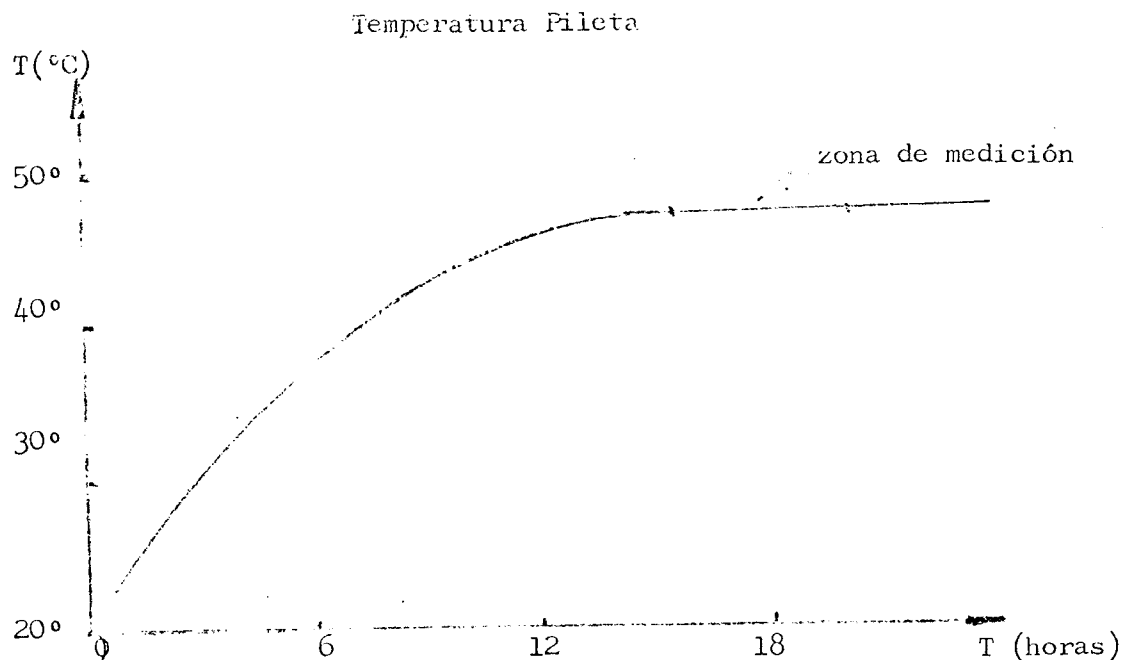
$$C_p \cdot M \frac{dT}{dt}$$

Donde M es la masa de agua contenida en la pileta y circuito primario. En realidad también se calienta o enfría el muro de blindaje pero en un orden de magnitud inferior al del agua.

De todos modos este término es difícil de calcular con exactitud y por lo tanto lo conveniente es realizar la medición cuando su valor sea nulo.

Las condiciones para asegurar esta situación son las siguientes:

a) Que la temperatura de la pileta haya alcanzado un valor estable. Para asegurarse en este sentido, se debe registrar, en forma permanente, la temperatura del agua a partir de la puesta en potencia. Graficar dicha temperatura en función del tiempo y realizar la medición cuando la curva se encuentre en un plateau horizontal. (ver gráfico).



- b) La evolución diaria de las condiciones ambientales (temperatura ambiente, humedad relativa) tiende a hacer variar la temperatura de la pileta. Si bien su magnitud es de menor importancia (en un período corto), se pueden tomar ciertas precauciones para atenuar su efecto. Estas son:
- a) Tratar de realizar las mediciones en un día estable.
  - b) Elegir horas de medición lejanas a la salida y puesta del sol. Un horario adecuado de medición podría ser de 1 a 4 y de 13 a 16hs.

## 2) Calor entrante al sistema.

El calor que entra al sistema es el generado por el reactor. Las bombas del circuito primario también entregan calor al sistema, pero su porcentaje es pequeño y se genera casi totalmente en el intercambiador de calor. Por lo tanto no se detectaría en el balance sobre el lado primario, aunque sí en el lado secundario.

Esto significa que, si la temperatura de bombas fuese apreciable, el balance sobre el lado secundario de los intercambiadores de calor sería superior al del lado primario.

## 3) Calor que sale del sistema.

Vimos que en caso de equilibrio el calor generado en el sistema coincide con el que sale del mismo.

Dicho calor se evacua por varios caminos:

- a) A través de los intercambiadores de calor. Este es evidentemente el término principal.

La potencia evacuada por los intercambiadores y calculada sobre el circuito primario es:

$$P_{ic} = P_{ic1} + P_{ic2}$$

$$P_{ic1} = 1.16 \times Q_{p1} \times (T_{ple} - T_{pls})$$

$$P_{ic2} = 1.16 \times Q_{p2} \times (T_{p2e} - T_{p2s})$$

Si los sensores miden correctamente

$$T_{ple} + T_{p2e} = T_{pe}$$

- b) Perdidas por evaporación y convección a través de la superficie de contacto entre el agua y el aire.

Dicha potencia depende del area superior del tanque, de la temperatura del agua en la superficie del tanque, de la temperatura y humedad en el recinto y del movimiento del aire.

Existen ciertas formulas para calcular dicha potencia pero no son de exactitud.

Un método ingenioso (ver ref. 1) fue usado en el balance térmico del Reactor francés Melusine.

Consiste en un cuba flotante colocada en la superficie de la pileta.

Dicha cuba contiene agua que se calienta con una resistencia eléctrica.

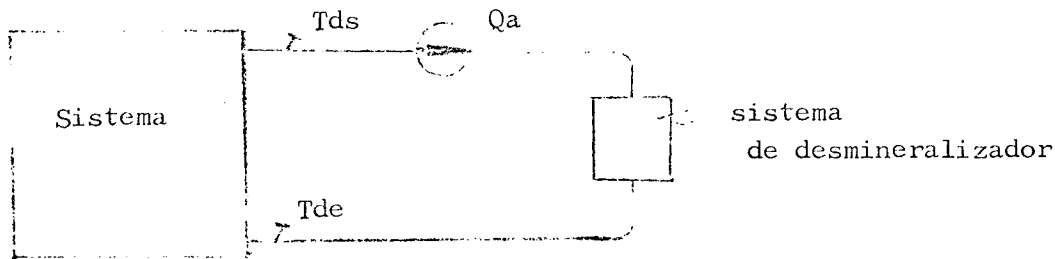
Se gradua el voltaje aplicado hasta que el agua de la cuba esta permanentemente a igual temperatura que la de la pileta. En dichas condiciones ambos estarán entregando al ambiente el mismo calor por unidad de area.

La potencia entregada por la cuba será al generada por efecto joule en la resistencia  $P = V^2/R$ .

La potencia entregada por la pileta al ambiente será la de la cuba multiplicada por la relación de superficies.

$$Pot (pileta) = (V^2/R) \times (S_{pileta}/S_{cuba}) = P_p$$

c) Pérdida de calor en el circuito de desmineralización de agua.



$$\text{Será } P_d = 1.16 \times Q_d (T_{ds} - T_{de})$$

Si no existe medición de  $T_{ds}$  y  $T_{de}$  se puede estar del lado conservativo asumiendo que  $T_{ds} = T_{pe}$  y que  $T_{de} = T_{\text{ambiente}}$ .

d) Pérdida de calor por convección en las cañerías del circuito primario y en los muros del blindaje.

#### 1) Cañerías

La potencia disipada en caños por convección natural al ambiente puede calcularse aproximadamente mediante:

$$P_c = \frac{Sc}{D^{1/4}} \times 4,18 \times 10^{-3} (T_{\text{caño}} - T_{\text{amb}})^{5/4}$$

$Sc$  superficie exterior caños ( $m^2$ )

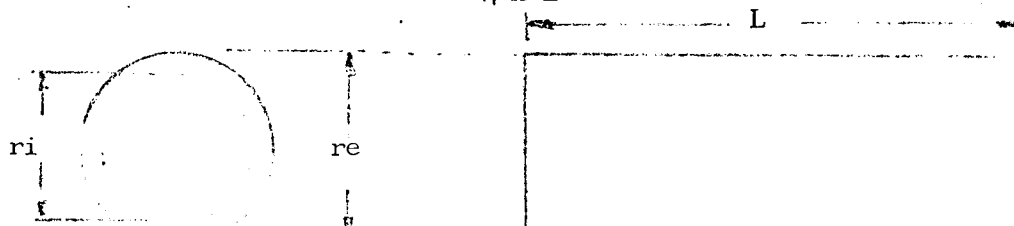
$D$  diámetro " " (cm)

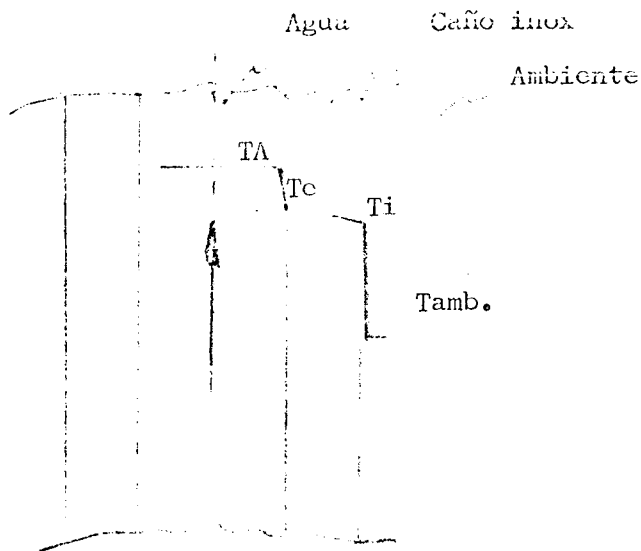
$P_c$  = potencia (Kw)

Como caso más desfavorable se puede suponer la temperatura exterior de los caños igual a la del agua que circula por su interior.

En caso contrario se puede calcular el salto a través de la pared del caño mediante

$$(T_e - T_i) = P_c \cdot \frac{\ln(r_e/r_i)}{2 \pi K L}$$





$K$  = conductividad del inox.

#### E) Muros.

Los muros que envuelven la pileta disipan el calor que reciben de ésta y de la cañería por dos mecanismos:

1) por convección al aire circundante.

$$P_{M1} = 1,77 \times 10^{-3} (T)^{1/4} \times S_m$$

$S_m$  superficie exterior muros ( $m^2$ )

$$T = T_{\text{muro}} - T_{\text{ambiente}} (^{\circ}C)$$

$$P_m \text{ (KW)}$$

2) por radiación a las paredes que rodean al muro.

$$P_{m2} = \int \sigma S_m (\theta_m^4 - \theta_{\text{pared}}^4) = r S_m (T_m - T_p)$$

$T_p$  temperatura paredes que rodean al muro

podemos suponer  $T_{\text{pared}} = T_{\text{amb}}$

coeficiente de transmisión por radiación

$$r = 4,92 \times \xi \times \frac{\frac{\theta_m^4}{100} - \frac{\theta_{\text{amb}}^4}{100}}{\theta_m - \theta_{\text{amb}}} \text{ (Kcal/h} \times m^2 \times ^{\circ}C)$$

$$\theta_m = T_m + 273 (^{\circ}K)$$

$$\theta_{\text{amb}} = T_{\text{amb}} + 273 (^{\circ}K)$$

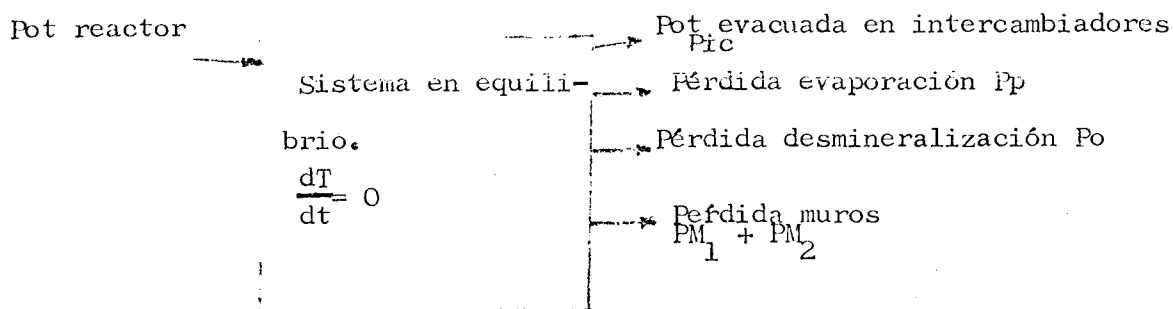
Suponiendo que  $\theta_m$  y  $\theta_{amb}$  están cercanas a la temperatura ambiente (293°K o 20°C), y que el coeficiente de emisividad  $\xi$  para el hormigón es  $\xi = 0.92$  podemos asumir que  $r$  es constante es igual a:

$$r = 4,62 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 5,37 \times 10^{-3} \text{ Kw/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para calcular estas potencias  $P_{M1}$  y  $P_{M2}$  se debe medir la temperatura  $T_M$  en varios lugares con termocuplas colocadas en dedos de guante metálicos sumergidos en el hormigón a pocos mm de la superficie y la temperatura ambiente cerca de la pared.

La pérdida por el fondo de la pileta es pequeña y podemos despreciarla.

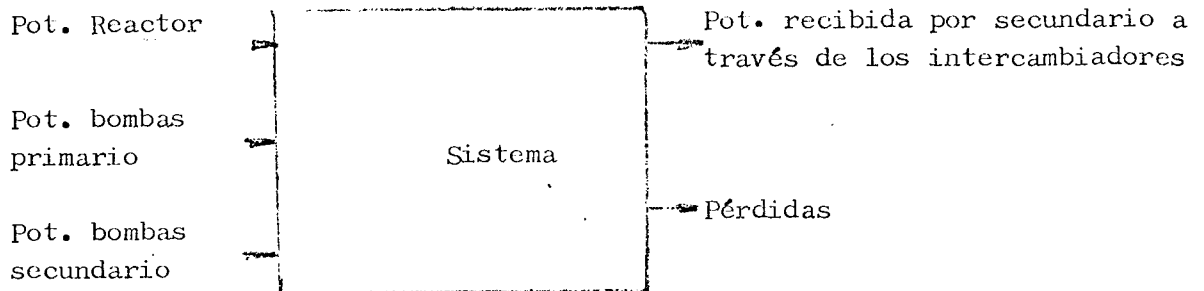
Del balance térmico en el sistema (ver fig. 1) medido sobre el circuito primario surge:



$$Pot \text{ reactor} = P_{Ic} + P_p + P_D + P_{M1} + P_{M2}$$

El balance térmico realizado sobre el circuito secundario sería similar pero se agregaría al sistema la potencia mecánica de las bombas del primario y secundario.

Dicha potencia se generaría en los Ic ya que en ellos se acumula casi la totalidad de la pérdida de carga en ambos circuitos (ver fig. 2)



$$P_{\text{ol reactor}} = P_{IC} (\text{sec}) + P_p + P_d + P_{m1} + P_{m2} - P_{Bp} - P_{Bs}$$

ya que  $P_{IC} (\text{sec}) = P_{(IC)} + P_{Bp} + P_{Bs}$

$$P_{IC} (\text{sec}) = 1.16 \times Q_s \times (T_{se} - T_{ss})$$

#### Análisis para casos especiales

- 1) Si la potencia aportada por las bombas es despreciable frente a la del reactor (podríamos suponer despreciable todo aporte o pérdida inferior al 1%), resultaría:

$$P_{ic} (\text{sec}) = P_{ic1} + P_{ic2} (\text{primario})$$

- 2) Si las pérdidas a través de los muros y caños fuesen despreciables, la potencia calculada sobre el lado primario de los intercambiadores de calor debe coincidir con la calculada entre la entrada y salida del reactor.

$$\text{Siendo } P = 1.16 (Q_{p1} + Q_{p2}) \times (T_{rs} - T_{re})$$

$$\text{debe ser } P = P_{ic1} + P_{ic2}$$

debiendo además coincidir

$$T_{rs} \text{ con } T_{pe}$$

En cualquier caso nunca puede ser  $T_{pe} > T_{sr}$

## METODOS DE MEDICION Y ANALISIS DE LOS ERRORES

A modo general se puede decir que si el ensayo es realizado a potencias altas, se reducirá el error relativo proveniente de la medición de temperaturas pero aumentarán las pérdidas y viceversa. Quizás a tal fin deberían hacerse dos ensayos a potencias diferentes.

Las mediciones de temperatura deben realizarse con sondas resistivas de platino previamente calibradas entre 35°C y 50°C.

Para determinar con que error máximo podemos medir las temperaturas se puede hacer este razonamiento (suponiendo que no existan pérdidas)

$$P = 1.16 \times Q \times (T_{fs} - T_{re}) = 1.16 \times Q \times \Delta T$$

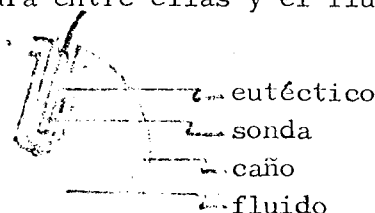
si el error en la temperatura es  $dt$  y el de  $Q$ ,  $dQ$  el error relativo en la potencia será

$$\frac{dP}{P} = \frac{dQ}{Q} + \frac{2 dT}{T}$$

Supongamos que no deseemos que  $\frac{2 dT}{T}$  supere el 3%. Supongamos también una potencia  $P = 3 \text{ MW}$  y un caudal  $Q = 750 \text{ m}^3/\text{h}$ , resultaría un  $T = 3,45^\circ\text{C}$  y haciendo  $dT = 0.03 \times \frac{3.45}{2}$  resulta  $dT = 0,052^\circ\text{C}$ .

Por lo tanto el error cometido en la medición de la temperatura incluyendo los errores sistemáticos y de lectura no debe superar 0,05°C.

Ver referencia 1 sobre calibración de sondas. Como regla general las sondas debieran estar repetidas como control por si una fallase. Las que miden temperatura del agua en las cañerías debieran introducirse en dedos de guante sumergidas en un eutéctico metálico a fin de asegurar que no habra gradientes de temperatura entre ellas y el fluido.



Por ejemplo se puede utilizar el eutéctico Cadmio, Plomo, Estaño de proporción en peso (50,50, 100), con un punto de fusión de 77°C.

Precisión en la medida del caudal:

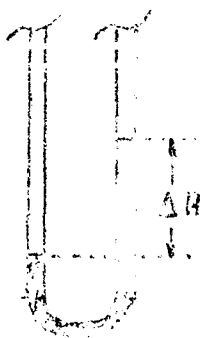
Lo correcto es calibrar los venturis del circuito primario y el diafragma del secundario de modo tal  $\frac{dQ}{Q} < 3\%$ .

Hasta tanto esto se realice se  $Q$  debe medir la diferencia de presión y calcular el caudal a través de la correspondiente correlación matemática.

Para los venturis es:

$$Q \frac{m^3}{h} = 85.93 \times \sqrt{\Delta h_1}$$

$\Delta h_1$  es la diferencia de presión en cm de  $H_2O$



$$\Delta h_1 = 13.6 \times \Delta H \text{ (cm Hg)}$$

Asumiendo un error relativo de 1% en  $K = 85.93$  y un error de lectura de 4 mm en la columna de Hg. el error relativo de  $Q$  sería

$$\frac{dQ}{Q} = 2\%$$

Para el diafragma es:

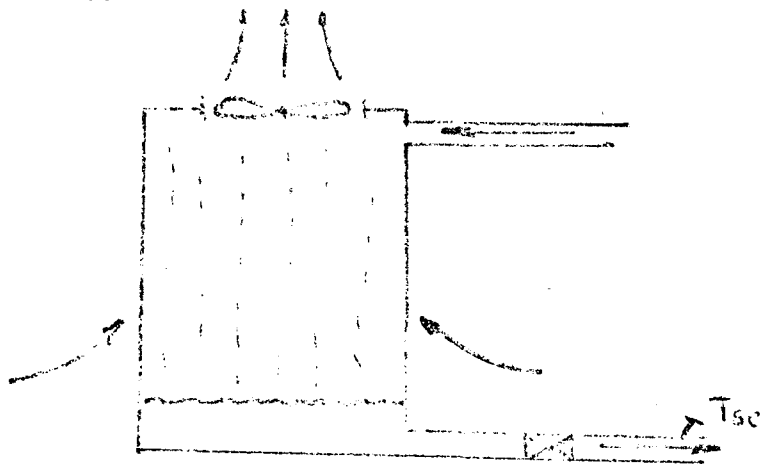
$$Q \frac{m^3}{h} = 173.17 \times \sqrt{\Delta h_1}$$

Para asegurarse que no aparecieran variaciones durante las mediciones, estas deben ser simultaneas.

Además se deberán realizar una serie de 4 o 5 mediciones en un intervalo de 1 a 2 horas (siempre en condiciones de equilibrio), a fin de eliminar los errores accidentales.

Los balances térmicos precisos deben realizarse periódicamente (por ejemplo cada seis meses) o ante variaciones de configuración del nucleo, etc.

### FUNCIONES COMPLEMENTARIAS DE LAS MEDICIONES



Periodicamente se deben realizar también las siguientes mediciones:

$T_{amb}$  temperatura ambiente

$\phi$  humedad relativa

o bien la  $T_{bh}$  temperatura de bulbo húmedo que depende de ambas.

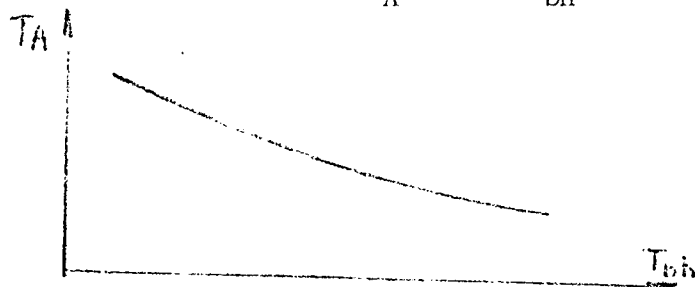
Sin entrar al análisis del funcionamiento de la torre de enfriamiento podemos decir que  $T_{se} = T_{bh} + T_A$

$T_{se}$  temp de entrada al intercambiador (lado secundario) o salida torres.

$T_{bh}$  temp bulbo húmedo tomada a 1 m de un costado de la torre. Esto se debe a que la torre aumenta la humedad relativa del ambiente a su alrededor.

$T_A$  salto de temperatura que depende de las condiciones ambientales y del rendimiento de la torre. Se denomina comúnmente aproximación de la torre.

Si graficamos  $T_A$  contra  $T_{bh}$  para diferentes condiciones ambientales



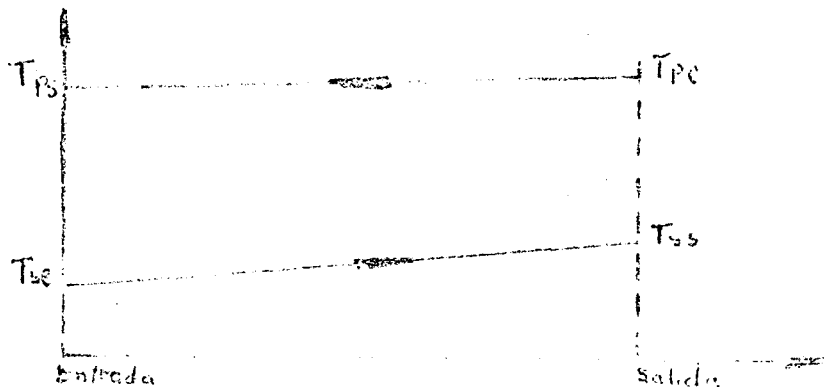
tendremos un elemento de comparación tal que si en una medida posterior  $T_A$  aumenta para una dada condición ambiente significará un deterioro en el rendimiento de la torre de enfriamiento, TE.

Analogamente podemos controlar el rendimiento de los intercambiadores

de calor.

Si graficamos para un IC las temperaturas de entrada y salida del lado primario y secundario podremos determinar el salto medio logarítmico de temperaturas que se define como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{pe} - T_{ss}) - (T_{ps} - T_{se})}{\ln \frac{T_{pe} - T_{ss}}{T_{ps} - T_{se}}}$$



La potencia transmitida a través de intercambiadores es:

$$P = \mu s \quad Ft \times \Delta T_{ml} \quad (1)$$

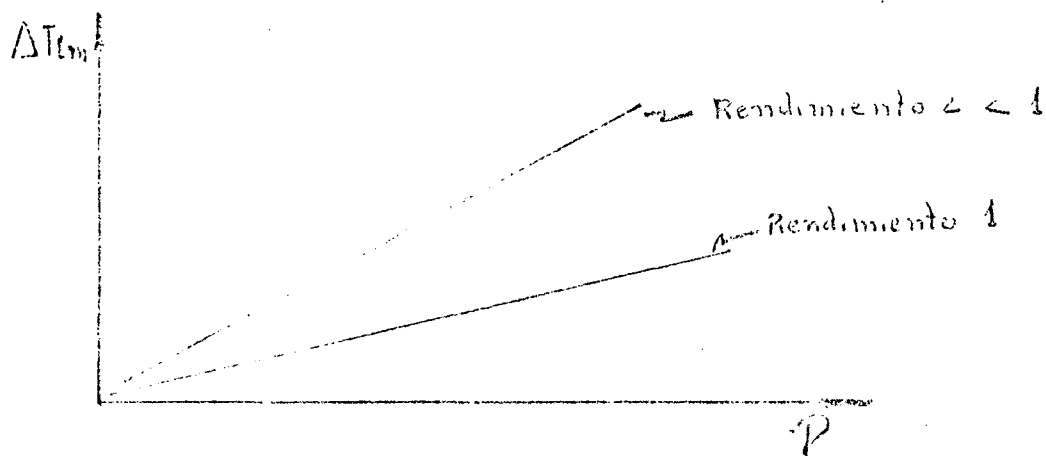
$s$   $(m^2)$  area de intercambio calórico.

$Ft$  factor que depende del tipo de intercambiador.

$\mu$  coeficiente de intercambio total que depende de las condiciones de circulación y del grupo de incrustación de los caños.

A medida que los caños se incrustan  $\mu$  disminuye y para transmitir la misma potencia sube la  $\Delta T_{ml}$  y consecuentemente la temperatura de la pileta.

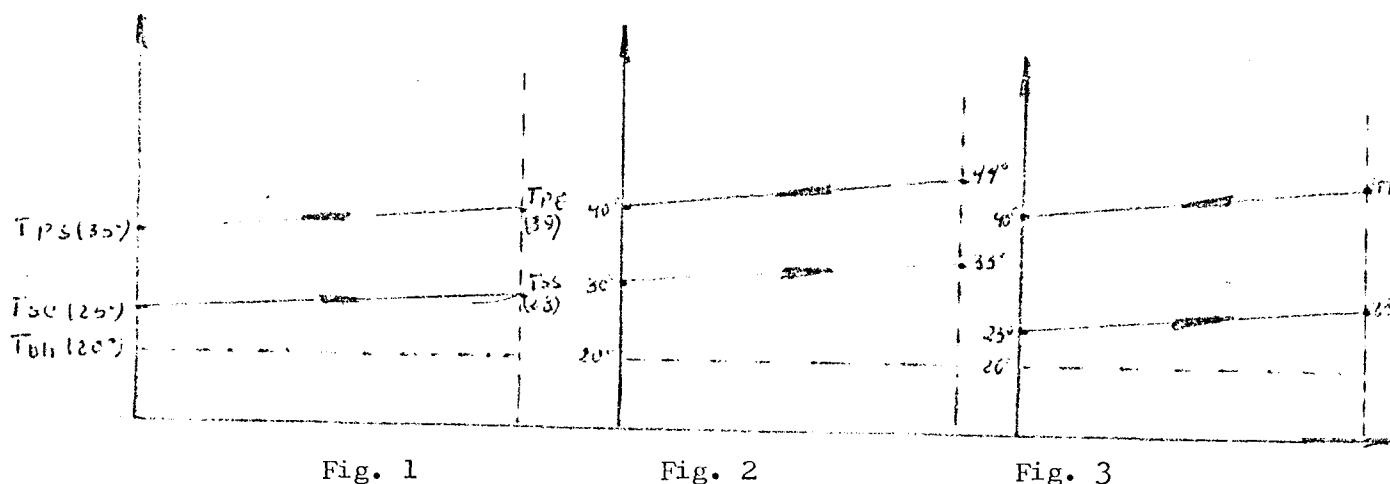
Para controlar este hecho se debe graficar el valor de  $\Delta T_{lm}$  en función de la potencia y si en mediciones posteriores, a una misma  $P$  le corresponde un  $\Delta T_{lm}$  mayor significa que  $\mu$  ha disminuido y que se debe limpiar los intercambiadores para recuperar su rendimiento.



En conclusión la temperatura de equilibrio que alcanzará la piletta para una potencia dada dependerá de  $T_{bh}$  y de los rendimientos de la torre de enfriamiento y del intercambiador.

En la Fig. 1 se muestra un caso normal, en la Fig. 2 un deterioro de la torre de enfriamiento y en la Fig. 3 un deterioro del intercambiador.

En ambos casos la temperatura de la piletta subió de 35 a 40°C pero las causas fueron diferentes. La comparación de mediciones térmicas realizadas periodicamente permite ubicar los deterioros y repararlos antes de que sea obligatorio bajar la potencia del reactor.

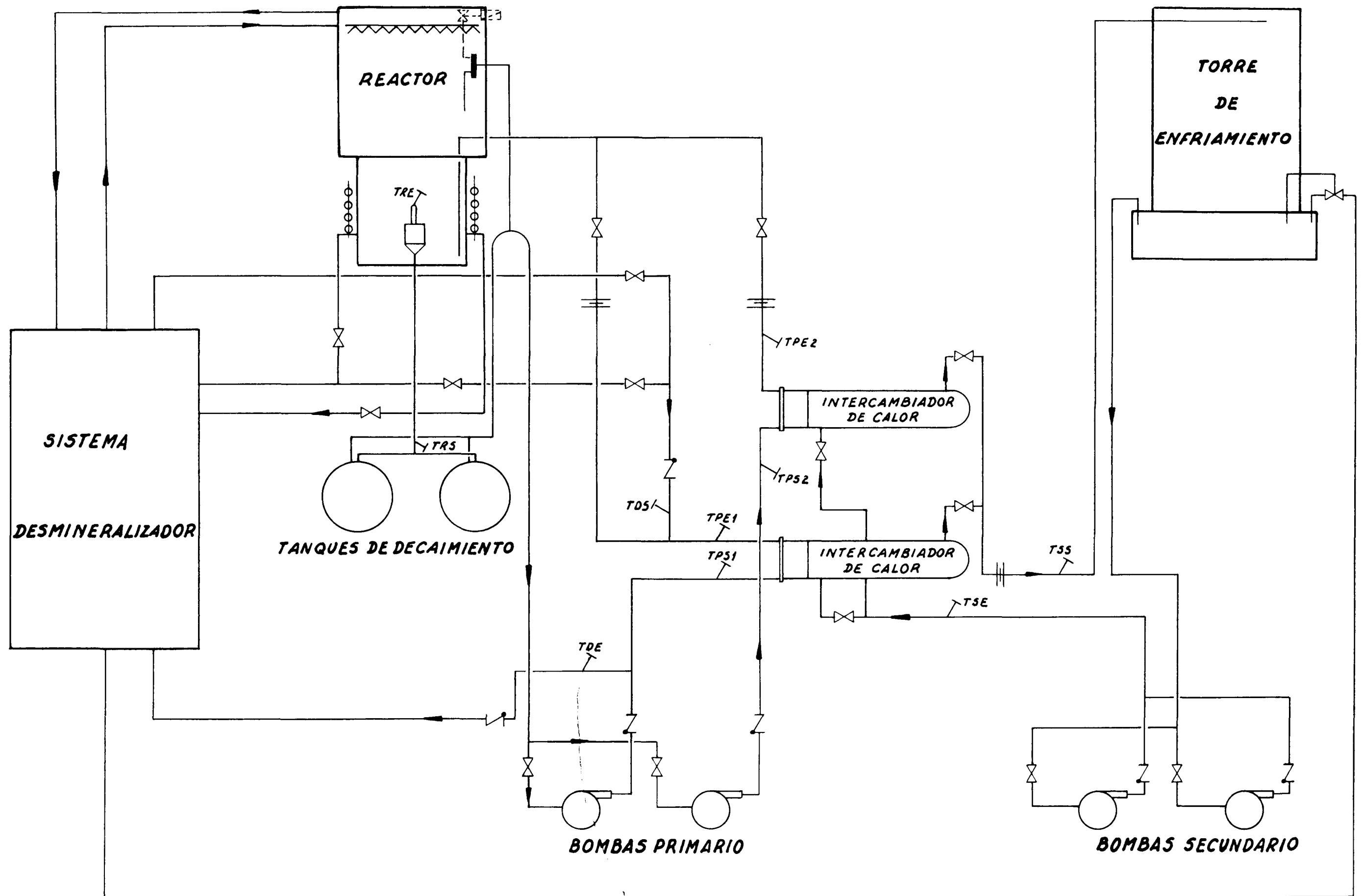


## CONCLUSIONES

Las mediciones térmicas precisas realizadas periódicamente permiten calcular con exactitud la potencia del reactor. Esto es de gran importancia para realizar la calibración neutrónica y para calcular el grado de quemado en el reactor.

Permite además verificar las variaciones de rendimiento de los intercambiadores y torres de enfriamiento y la descalibración de los instrumentos de medición.

Finalmente el análisis de las mediciones mejora la comprensión del funcionamiento termohidráulico del reactor y permite una mejor utilización del mismo.



### NOMENCLATURA

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| P (KW)                           | potencia           |
| T (°C)                           | temperatura        |
| $\theta$ (°K)                    | temperatura        |
| Q (m <sup>3</sup> /h)            | caudal             |
| M (Kg)                           | masa               |
| D (cm)                           | diámetro           |
| R (cm)                           | radio              |
| $\Delta h$ (cm H <sub>2</sub> O) | altura manométrica |

### SUBINDICES

|     |                |
|-----|----------------|
| r   | reactor        |
| ic  | intercambiador |
| p   | primario       |
| s   | secundario     |
| s   | salida         |
| e   | entrada        |
| e   | exterior       |
| i   | interior       |
| amb | ambiente       |
| m   | muro           |

## R E F E R E N C I A S

- 1 - Bilan Thermique de la Pile Piscine Melusine  
Rapport TT N° 5 CENG - Ricque
- 2 - Estudio térmico del aumento de potencia del RA-3  
Parkansky CNEA-Re 36
- 3 - Note TT/17/RR CENG
- 4 - Transmisión del calor y sus aplicaciones  
"Libro" H. J. Stoever
- 5 - Transmission de la chaleur et thermodynamique  
"Libro" F. Kreith