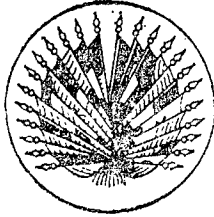
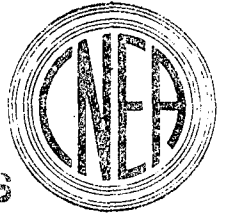


09.78.05



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA NUCLEAR
ORIENTADO A LA CAPACITACION BASICA PARA LA
IMPLEMENTACION DE PROGRAMAS NUCLEOELECTRICOS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 7	AÑO 1978

CNEA AC 59 /78

CONTROL DE REACTORES NUCLEARES

ING. J. LORENZETTI

BUENOS AIRES - ARGENTINA

OCTUBRE - 1978

1.- NOCIONES SOBRE CONTROL

1.1.- El proceso definido por sus variables.

Dado un proceso físico cualquiera se pueden establecer las ecuaciones dinámicas que fijan su comportamiento.

La complejidad de las ecuaciones dependen del sistema que se intenta representar.

Veamos, por ejemplo, un recipiente con un conducto de entrada de líquido y uno de drenaje cuyo diagrama se encuentra en la figura 1-1.

Si se llama Q_1 al caudal másico en el conducto de entrada y Q_2 al caudal de salida, la variación de masa dentro del tanque estará dada por

$$\frac{dM}{dt} = Q_1 - Q_2$$

El nivel del líquido, supuesto un recipiente de sección constante, estará dado por:

$$N = k M$$

En este caso se puede decir que:

N es la variable observada

M es la variable de estado del sistema

$Q_1 - Q_2$ es la fuerza de control aplicada.

En una forma más general esas ecuaciones pueden escribirse

$$\frac{dM}{dt} = a M + b (Q_1 - Q_2)$$

$$N = C \times M$$

En donde

$$a = 0$$

$$b = 1$$

$$c = k$$

Para un proceso más general puede escribirse:

2.-

$$\begin{aligned} X &= a x + b u \\ Y &= c x \end{aligned} \quad \text{ecs 1-1}$$

Suponiendo que se trata de una única fuerza de control u ; una única variable observada y una única variable de estado X .

Cuando se trata de sistemas más complicados se presenta un conjunto de ecuaciones similares a las anteriores en su estructura.

1.2.- Función transferencia.

Si se desea llenar el tanque hasta un determinado nivel interesa conocer que relación hay entre la diferencia de caudal que circula por la cañería y el nivel del líquido.

Bajo estas condiciones el proceso puede representarse como se indica en la figura 1-2 en donde existe una transformación T entre la diferencia de caudales y el nivel tal que, si aplicamos T a $(Q_1 - Q_2)$ obtendremos N .

$$\begin{aligned} Q_1 - Q_2 &= k \frac{dN}{dt} \\ N &= \frac{1}{k} \int (Q_1 - Q_2) dt \end{aligned}$$

Si suponemos que $Q_1 - Q_2$ está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_1 - Q_2 = Q_0 e^{j\omega t}$$

Donde j es la variable compleja y ω la frecuencia

$$N(j\omega) = \frac{1}{k} Q_0 \int e^{j\omega t} dt = \frac{1}{j\omega k} Q_0 e^{j\omega t}$$

$$N(j\omega) = \frac{1}{j\omega k} (Q_1 - Q_2)$$

$$N(j\omega) = (Q_1 - Q_2) T(j\omega)$$

$$T(j\omega) = \frac{1}{j\omega k}$$

...///

3.-

Esta función $T(jw)$ que relaciona el valor observado respecto de la acción de control será la función transferencia del sistema y define la forma en que la acción de control actuará sobre el valor observado.

En la fig. 1-3 puede representarse la amplitud y la fase de este número complejo en función de w .

Este gráfico muestra que para frecuencia $w=0$ la ganancia es infinita, es decir, si se hace en forma continua $Q_1 > Q_2$ el tanque desbordará y en caso contrario se vaciará.

Además dice que si mueve $Q_1 - Q_2$ en forma sinusoidal - con amplitud constante y frecuencia variable, la amplitud de variación del nivel será inversamente proporcional a la frecuencia y que el nivel estará retrasado en 90° respecto del caudal.

La figura 1-4 ilustra lo dicho anteriormente.

1.3 Necesidad de un lazo de control

Supongamos que se desea que el nivel del depósito sea N_0 y permanezca indefinidamente en ese valor. Para ello se ajusta $Q_1 = Q_2$ de forma que N sea constante supuesto que tenía el valor inicial deseado N_0 .

Si se deja el sistema en esas condiciones lo más probable es que al cabo de un tiempo el recipiente se halla llenado o vaciado completamente.

Por alguna razón aunque la posición de la válvula no se mueva los caudales varían produciéndose un desajuste.

Para evitar que esto suceda es necesario:

OBSERVAR continuamente el nivel.

COMPARARLOS con el valor deseado N_0 y

ACTUAR sobre la válvula de acuerdo a la comparación realizada a fin de mantener $N = N_0$.

La figura 1-5 muestra un esquema de un lazo de control para ese propósito en donde $T(w)$ es la transferencia del proceso y $H(w)$ es la transferencia que relaciona el error observado con la acción de control.

Se puede demostrar que si existe una frecuencia w tal que, con la llave abierta, aplicando a la entrada.

$N_0 - n \sin wt$ resulta a la salida $N = n \sin (wt + \phi)$ tal que $\phi = 180^\circ$ y $\frac{n}{n_0} \geq 1$ el sistema es inestable.

Esto se puede indicar diciendo que si:

$$G(w) = H(w) \quad T(w)$$

El sistema será inevitable si existe un w tal que

$$|G(w)| \geq 1.0 \text{ y } \angle [G(w)] = 180^\circ$$

Los especialistas en control deben diseñar específicamente el controlador, es decir la transferencia $H(w)$ que se adapte al proceso basados en las especificaciones del comportamiento deseado para la variable a controlar.

Todo lazo de control consta de:

- La observación del proceso
- La comparación con el valor deseado
- La estrategia que genera la fuerza de control

5.-

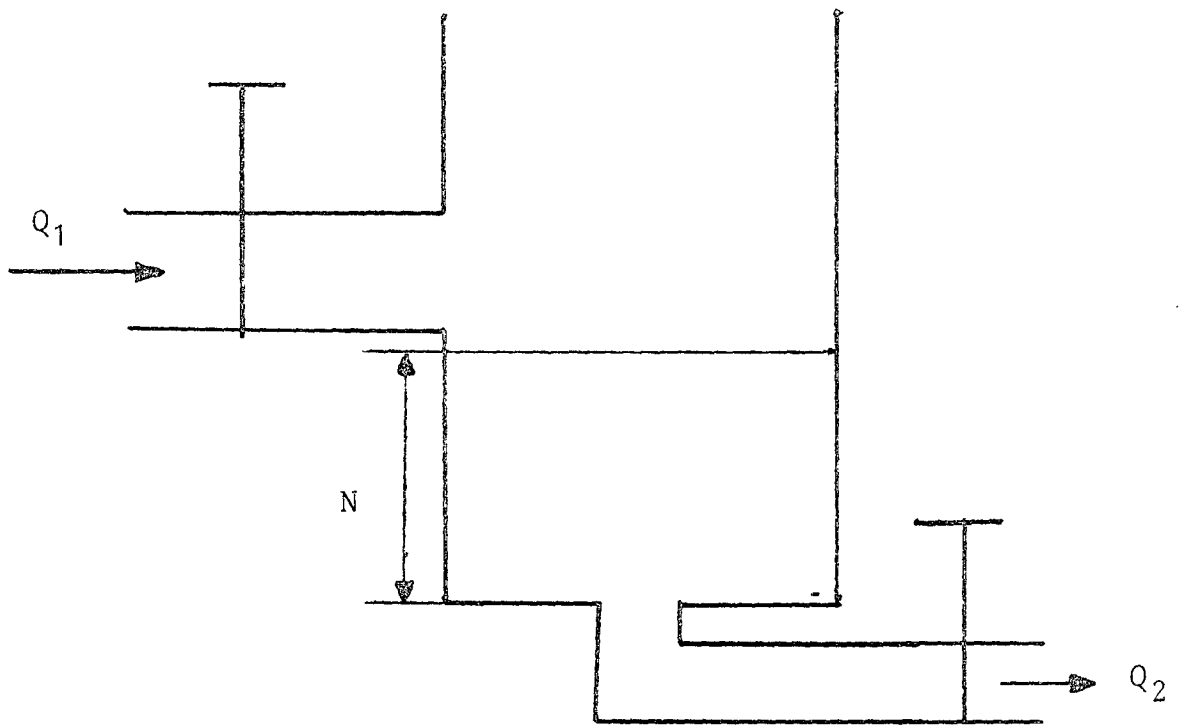


FIG. 1-1

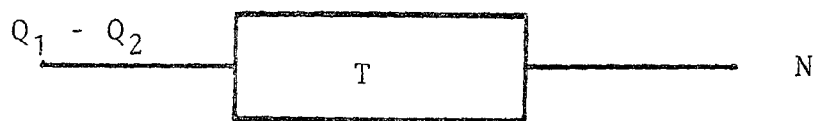


FIG. 1-2

6.-

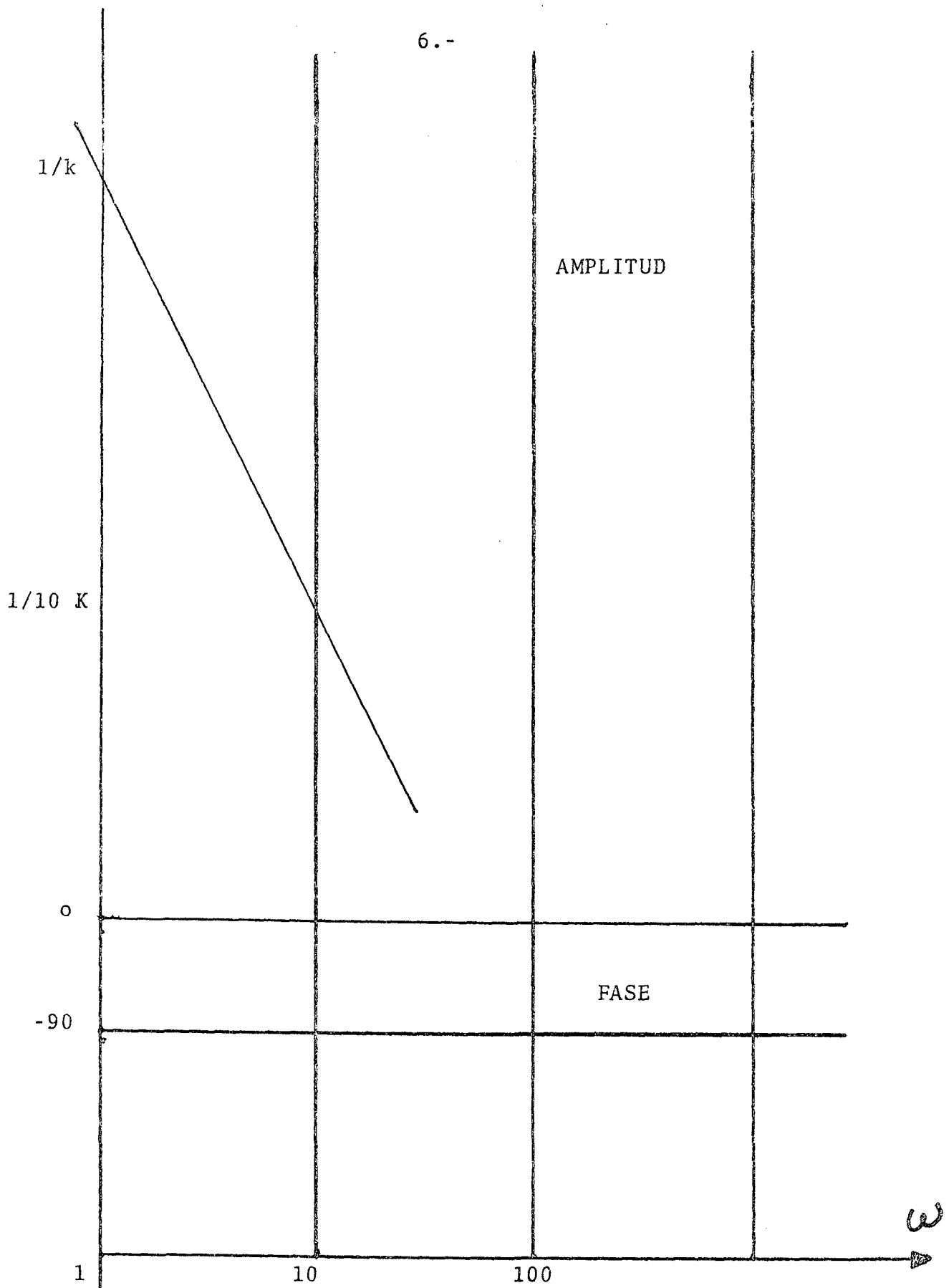


FIG. 1-3

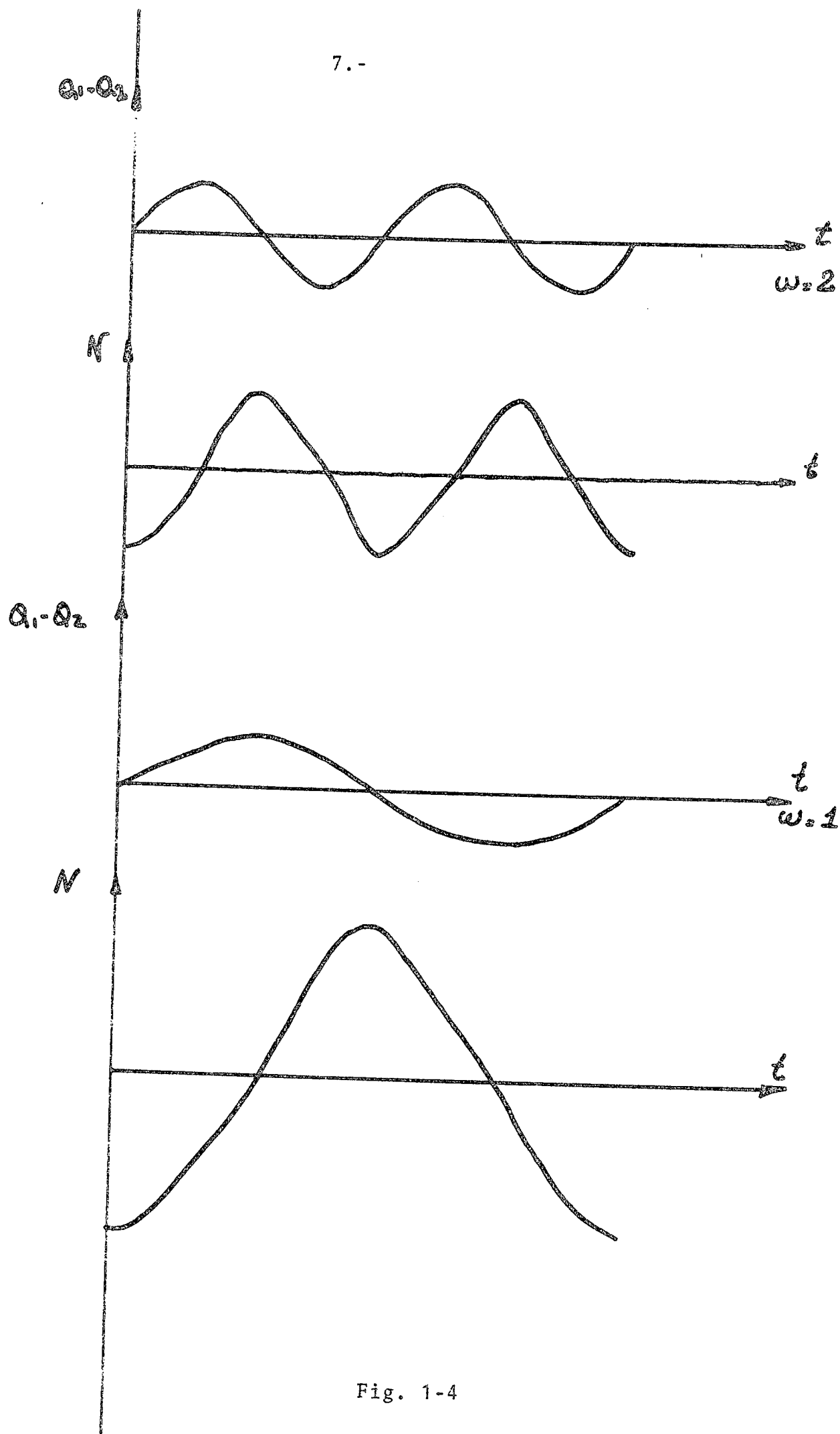


Fig. 1-4

8.-

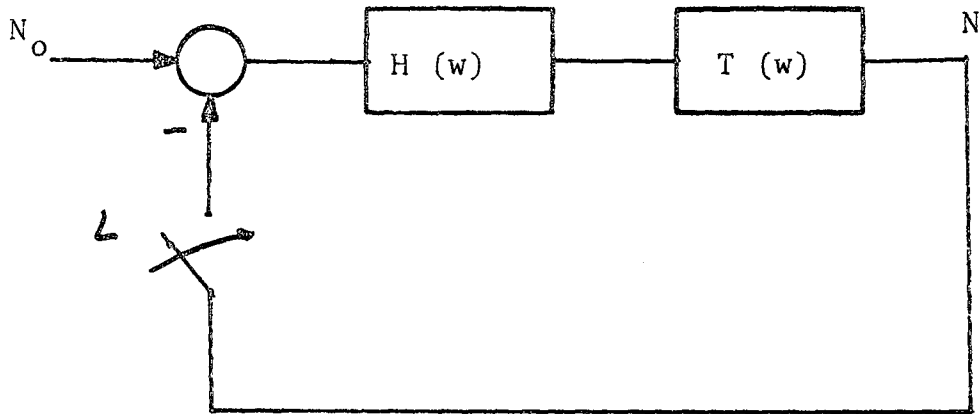


FIG. 1-5

2.- EL REACTOR VISTO COMO FUNCION TRANSFERENCIA

Del análisis de la función transferencia de un proceso se pueden establecer las características que debe de tener el sistema de control del mismo para cumplir con ciertas especificaciones de comportamiento.

Trataremos entonces de establecer cual es la función transferencia del proceso que significa un reactor nuclear.

Así como para determinar la función transferencia del recipiente se partió del proceso físico que lo generó, para determinar la función transferencia del reactor se parte de las ecuaciones dinámicas del mismo

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\beta_k - \beta}{l^*} n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{l^*} n - \lambda_i C_i$$

Comparando éstas ecuaciones con las ecs 1-1 puede verse que n y C_i corresponden a x ; β_k corresponde a u y la variable observada $y = n$

Una forma de escritura sería entonces

$$\dot{X}_n = a X_n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i X_{Ci} + b X_n u$$

$$\dot{X}_{Ci} = a_i X_n - \lambda_i X_{Ci}$$

Podemos ver que el término que tiene la variable u en éste caso depende de X_n . Esto hace que el sistema no sea lineal.

Dado que la función transferencia se obtiene para sistemas lineales, es necesario buscar un equivalente lineal del mismo.

Una forma de realizar el análisis es presuponer que se está en un determinado nivel del flujo neutrónico n y que se quiere analizar que pasa con pequeñas variaciones en el entorno de dicho punto de trabajo.

El flujo neutrónico será entonces

$$n = n_0 + \sum n$$

$$C_i = C_{i0} + \sum C_i$$

Resultará entonces

$$\frac{d}{dt} (\sum n) = \frac{\sum k}{1^*} n_0 + \frac{\sum k \sum n}{1^*} - \sum_{i=1}^6 \frac{d \sum C_i}{dt}$$

y despreciando $\frac{\sum k \sum n}{1^*}$ frente a $\frac{\sum k n_0}{1^*}$

resulta:

$$\frac{d}{dt} (\sum n) = \frac{\sum k}{1^*} n_0 - \sum_{i=1}^6 \frac{d \sum C_i}{dt}$$

La segunda ecuación se transformará en:

$$\frac{d \sum C_i}{dt} = \frac{\beta_{ii}}{1^*} \sum n - \lambda_i C_i$$

con el supuesto

$$\frac{d C_{i0}}{dt} = \frac{\beta_{ii}}{1^*} n_0 - \lambda_i C_{i0} = 0$$

Suponiendo nuevamente que se trata de funciones del tipo $x = x_0 e^{j\omega t}$

se obtiene como resultado

$$j\omega \sum n(\omega) = \frac{n_0}{1^*} \sum k(\omega) - j\omega \sum_{i=1}^6 \sum C_i(\omega)$$

$$j\omega \sum C_i(\omega) = \frac{\beta_{ii}}{1^*} \sum n(\omega) - \lambda_i \sum C_i(\omega)$$

...///

Operando con ambas ecuaciones obtendremos

$$\frac{\delta n(w)}{\delta k(w)} = \frac{n_0}{\ell^*} \frac{1}{jw \left[1 + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\ell^* (jw + \lambda_i)} \right]}$$

que se puede transformar en

$$T(w) = \frac{\delta n(w)}{\delta k(w)} = \frac{n_0}{\ell^*} \frac{\prod_{i=1}^6 (jw + \lambda_i)}{\prod_{i=1}^6 (jw + r_i)} \frac{1}{jw}$$

En donde la fracción

$$\frac{\prod_{i=1}^6 (jw + \lambda_i)}{\prod_{i=1}^6 (jw + r_i)}$$

se debe a la influencia de los neutrones retardados.

Obsevemos que si no existiera el efecto de los neutrones retardados la función transferencia sería parecida a la del recipiente del ejemplo inicial con la sola diferencia que en este caso la variación de δn respecto de un valor de la fuerza de control δk es tanto mayor cuanto mayor sea el flujo neutrónico con que opera el reactor en un determinado momento.

La figura 2-1 muestra el valor de la función transferencia para un reactor típico con los 6 grupos de neutrones retardados.

Podemos manipular la ecuación anterior de la siguiente forma

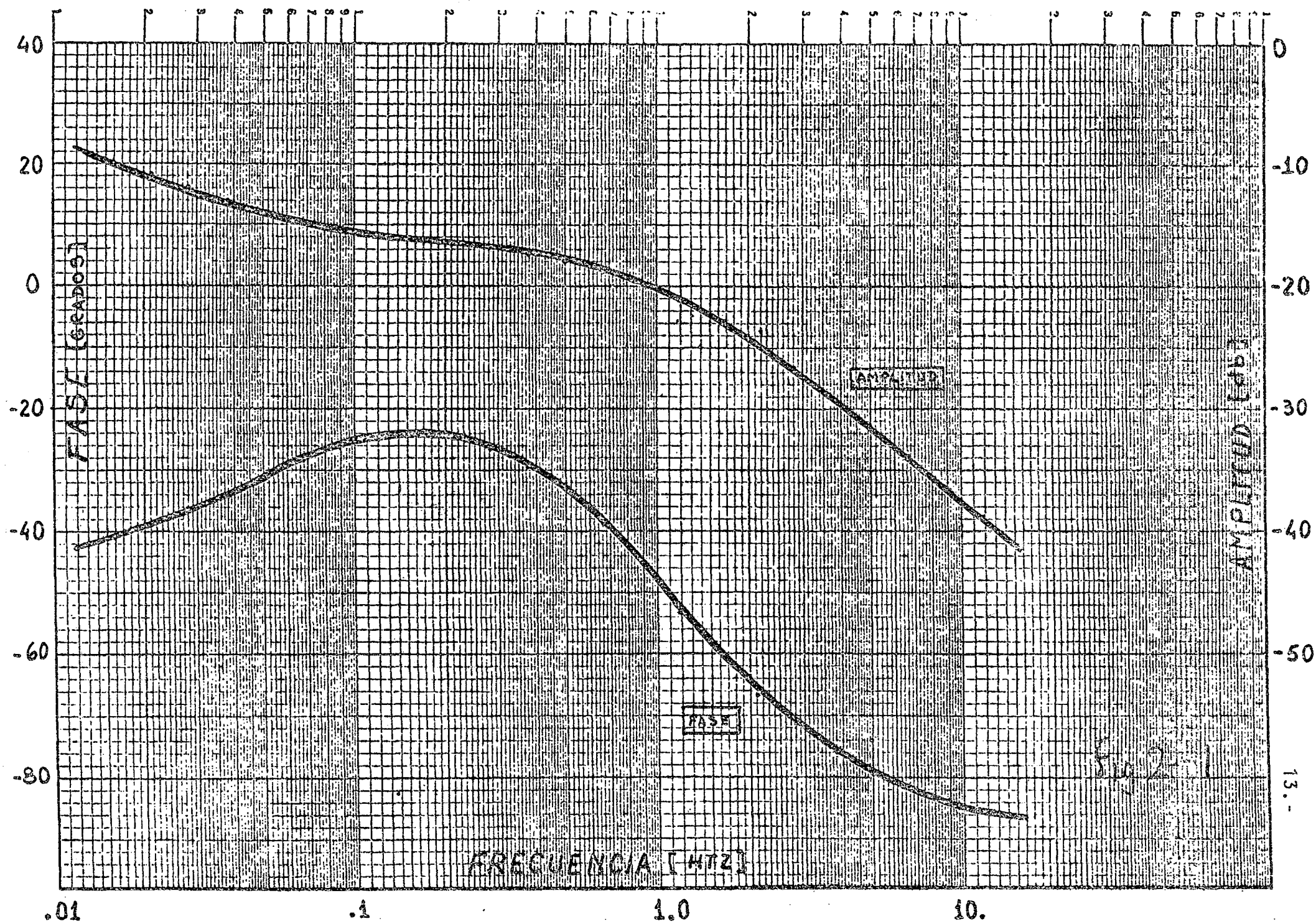
$$\frac{\delta n}{\delta k} = \frac{n_0}{\ell^*} \frac{\prod_{i=1}^6 (jw + \lambda_i)}{\prod_{i=1}^6 (jw + r_i)} \frac{1}{jw}$$

que se puede interpretar como:

$$\frac{\delta \ln n}{\delta k} = \frac{1}{\beta^*} \frac{\pi (j\omega + \lambda i)}{\pi (j\omega + r i)} \frac{1}{j\omega}$$

Esta última fórmula quiere decir que el reactor es un elemento eminentemente logaritmico, es decir, una variación de la fuerza de control produce una variación lineal en el logaritmo de la potencia neutrónica.

Esto quiere decir que la reactividad necesaria para incrementar en 1 %/seg la potencia al 100 % de potencia será 100 veces menor que la necesaria para incrementar el mismo 1 % de la potencia nominal por segundo al 1 % de la potencia.



3.- LAZOS DE REALIMENTACION INTERNA DEL REACTOR

El análisis anterior es un análisis simplista del comportamiento del reactor. Supongamos que a la temperatura ambiente tenemos el reactor crítico a potencia muy baja. A partir de un instante calentamos externamente el refrigerante de forma tal que su temperatura media suba. Por el proceso de calentamiento, en general, se producirá una reducción de densidad del moderador y reflector que llevará a una reducción en la reactividad.

De esta forma el reactor no estará más en estado crítico y será necesario agregar exteriormente reactividad para devolverlo a criticidad.

Si suponemos ahora que la temperatura de entrada del refrigerante permanece constante y sube la potencia del reactor, subirá también la temperatura de salida del mismo, incrementándose, por lo tanto, la temperatura media.

El aumento de temperatura media produce una reducción en la reactividad y, por lo tanto será necesario agregar reactividad para mantener el estado crítico. La figura 3-1 ejemplifica dicho proceso.

En el parrafo anterior se habia llegado a establecer una función transferencia para el reactor tal que

$$n(w) = T(w) \times \delta k(w)$$

En base a lo anteriormente dicho podemos establecer que:

$$\delta k(w) = \delta k_T(w) + \delta k_e(w)$$

en donde

$\delta k_T(w)$ es la reactividad debida a la temperatura del reactor

$\delta k_e(w)$ es la reactividad aplicada al reactor exteriormente.

$$\delta k_T(w) = GRTC(w) \times \delta n(w)$$

En donde GRTC es la transferencia que liga a la variación de reactividad con el flujo neutrónico.

La figura 3-2 muestra el esquema del reactor con su efecto producido por la temperatura.

En base a la figura podemos decir

$$\begin{aligned} \delta n(w) &= \delta k(w) \cdot T(w) = [\delta k_e(w) + \delta k_T(w)] \cdot T(w) \\ \delta k_T(w) &= G_{RTC}(w) \cdot \delta n(w) \\ \delta n(w) &= [\delta k_e(w) + \delta n(w) G_{RTC}(w)] T(w) \\ \delta n(w) &= \frac{T(w)}{1 + G_{RTC}(w) T(w)} \delta k_e(w) \end{aligned}$$

La transferencia del reactor con el efecto de temperatura incluido tendrá un nuevo valor y será

$$T_T(w) = \frac{T(w)}{1 + G_{RTC}(w) T(w)}$$

En la figura 3-3 puede verse como se ha modificado dicha transferencia.

Una de las diferencias más importantes es que, para frecuencia cero ya la ganancia no es infinita como en el caso anterior, sino que tiene un valor que depende del coeficiente de reactividad con la temperatura.

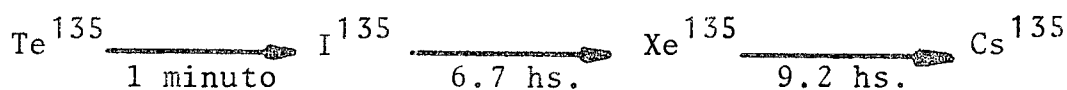
Para frecuencias altas en cambio no se notan variaciones respecto de la curva original.

La curva de fase indica que el efecto de temperatura hace variar la fase de la transferencia para bajas frecuencias desde -90° a 0° con lo que el efecto que tiene sobre el sistema es estabilizador. Como la realimentación por temperatura depende a su vez de la potencia se puede inferir que el sistema será más estable a altas potencias que a bajas potencias.

2. Efecto del Envenenamiento por Xe

Otro efecto que afecta la transferencia de un reactor de potencia es el envenenamiento producido por los productos de fisión.

Entre ellas el Xe135 es el más importante, debido a su gran sección eficaz de absorción de neutrones. Se produce como decaimiento del producto de fisión Te por emisión β a través de la siguiente cadena.



La producción del Te corresponde a más del 5 % del total de los productos de fisión.

De la misma forma que analizamos el efecto de la temperatura se pasará a analizar el efecto del Xe en la transferencia del reactor.

La ecuación de concentración de Xe en el reactor en un instante cualquiera será:

$$\frac{dX}{dt} = (\tau_x - \sigma_x X)_n + \lambda_I I - \lambda_x X$$

Donde:

- τ_x n: generación directa por fisión neutronica
- $\sigma_x X$: absorción neutrónica
- $\lambda_I I$: generación por decaimiento del Iodo
- $\lambda_x X$: decaimiento del Xenón.

A su vez el Iodo se genera por decaimiento del Telurio como la vida media de éste último es muy corta, podemos suponer que se genera directamente por fisión.

Entonces:

$$\frac{dI}{dt} = \tau_I n - \lambda_I I$$

Donde

- τ_I n: generación directa por fisión
- $\lambda_I I$: decaimiento del iodo.

Para el estado estacionario valdrá:

$$\frac{dI}{dt} = 0 \qquad \frac{dX}{dt} = 0$$

Entonces:

$$\begin{cases} \tau_I n = \lambda_I I \\ (\tau_X - \sigma_X X) n + \lambda_I I - \lambda_X X = 0 \end{cases}$$

De donde

$$X_0 = \frac{(\tau_X + \tau_I) n}{\lambda_X + \sigma_X n}$$

En la figura 3-4 puede verse la curva de equilibrio de Xe para los distintos valores de potencia con las siguientes valores típicos.

$$\begin{aligned} \lambda_I &= 2.9 \times 10^{-5} \\ \lambda_X &= 2.1 \times 10^{-5} \\ \tau_I &= 0.056 \\ \tau_X &= 0.003 \\ \sigma_X &= 3.5 \times 10^{-18} \end{aligned}$$

Veamos ahora el comportamiento transitorio.

Para ello se supone un entorno de un punto de equilibrio X_0, I_0, n_0 tal que

$$X = X_0 + \delta X \qquad I = I_0 + \delta I \qquad n = n_0 + \delta n$$

Operando en la forma conocida resulta

$$\begin{cases} \frac{d\delta X}{dt} = \lambda_I \delta I + (\tau_X - \sigma_X X_0) \delta n - (\tau_X n_0 + \lambda_X) \delta X \\ \frac{d\delta I}{dt} = -\lambda_I \delta I + \tau_I \delta n \end{cases}$$

...///

y, nuevamente suponiendo $y = y_0 e^{j\omega t}$

$$\frac{\delta X(\omega)}{\delta n(\omega)} = \frac{(\tau_x - \sigma_x X_0) \left(j\omega + \frac{\lambda_I \tau_I}{\tau_x - \sigma_x X_0} + \lambda_I \right)}{(j\omega + \lambda_I) (j\omega + \sigma_x n_0 + \lambda_x)}$$

Se puede observar que la transferencia depende mucho de X_0 y por lo tanto de n .

Un valor crítico resulta cuando $\tau_x = \sigma_x X_0$ ya que para valores mayores de X_0 se produce un desfase en altas frecuencias de 180° respecto de los valores menores.

La figura 3-5 muestra como varía la característica para distintos valores de flujo neutrónico.

Para las frecuencias que interesan en la transferencia del Xe el desfase de la función transferencia del reactor con realimentación de temperatura será 0° y la ganancia inversamente proporcional al coeficiente de reactividad con la temperatura (KTC).

Combinando ambas curvas puede obtenerse un valor mínimo del coeficiente KTC a fin de asegurar la estabilidad del sistema.

La figura 3-6 muestra un gráfico de ese tipo.

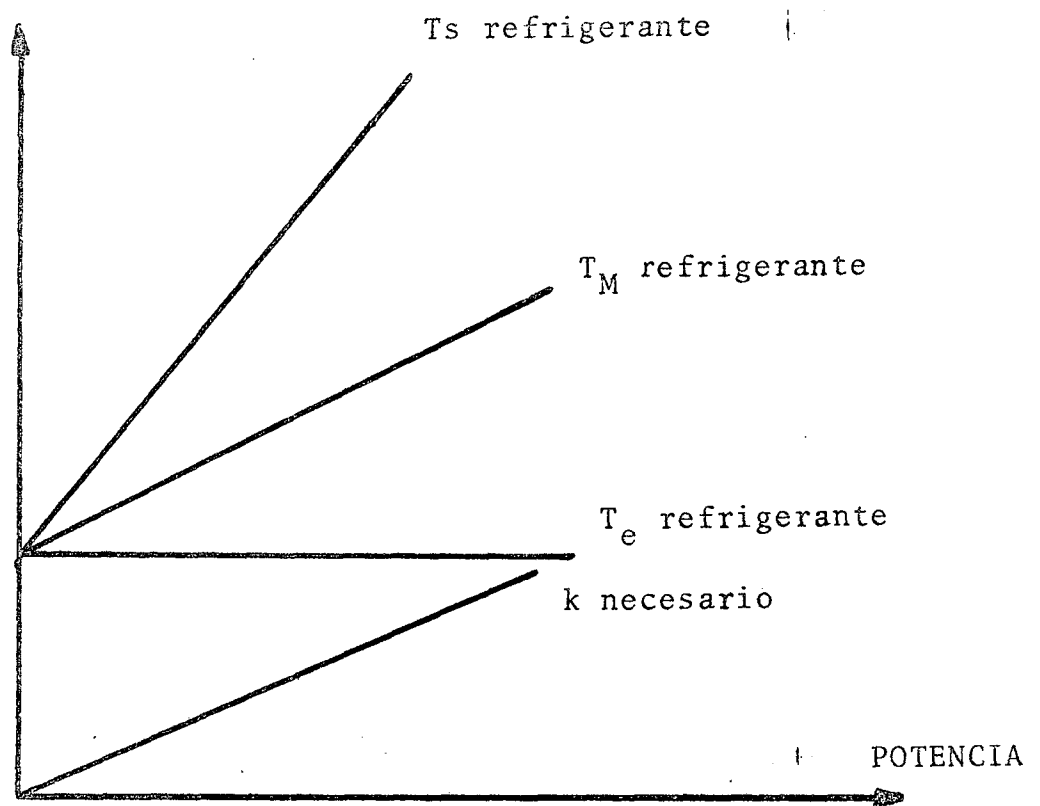


FIG. 3-1

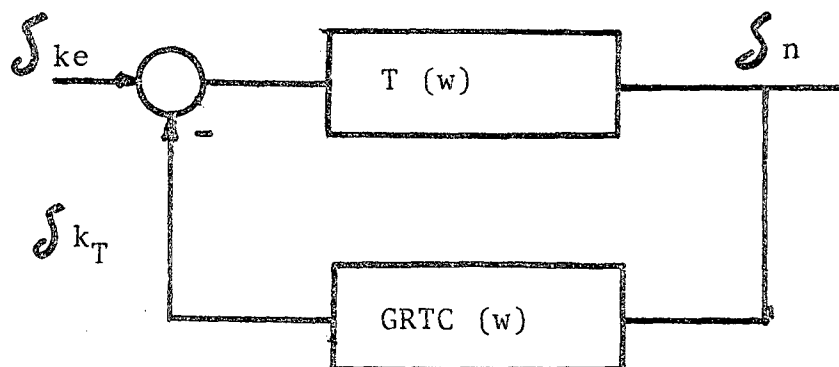


FIG 3-2

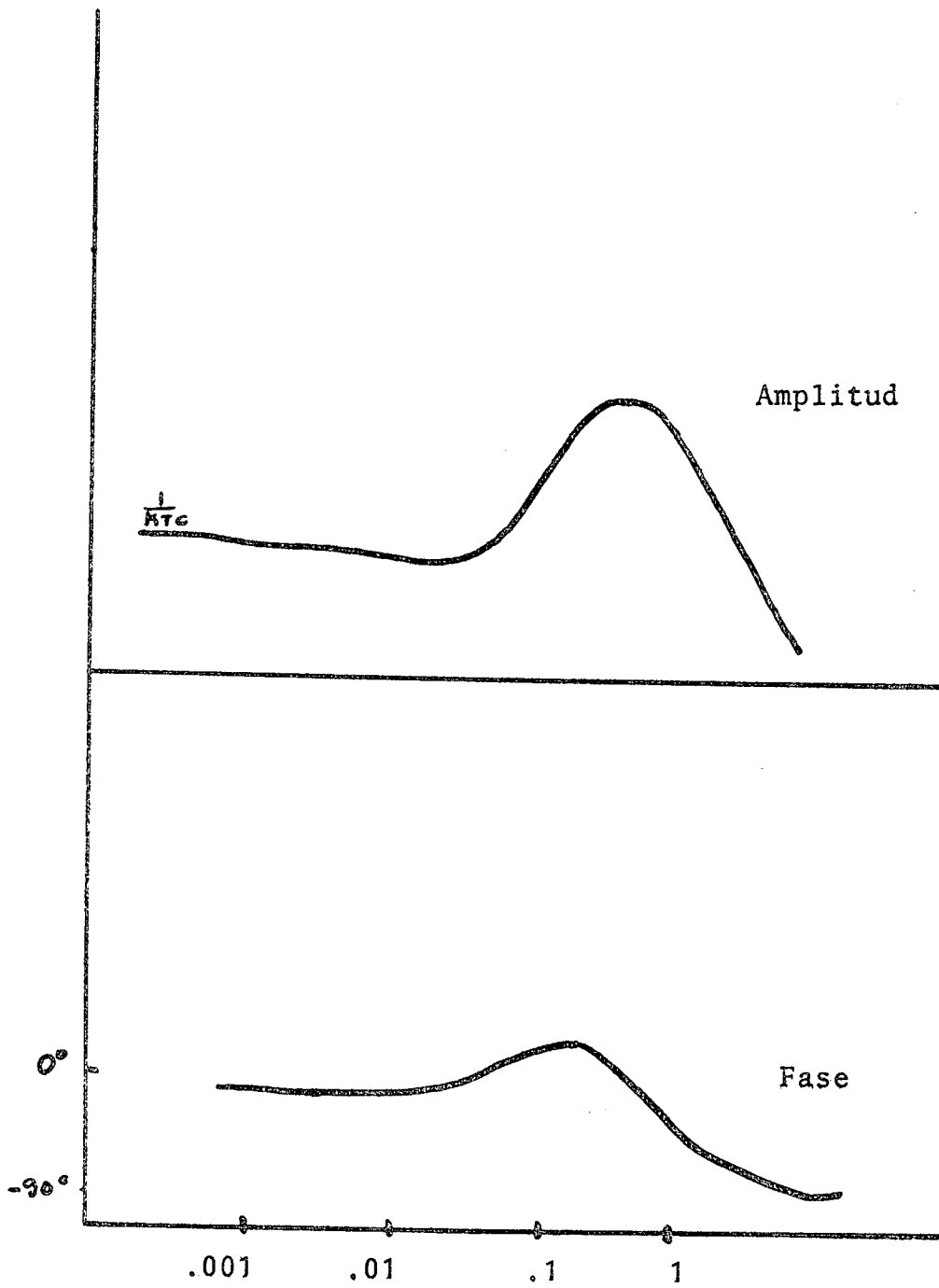


Fig. 3.3.

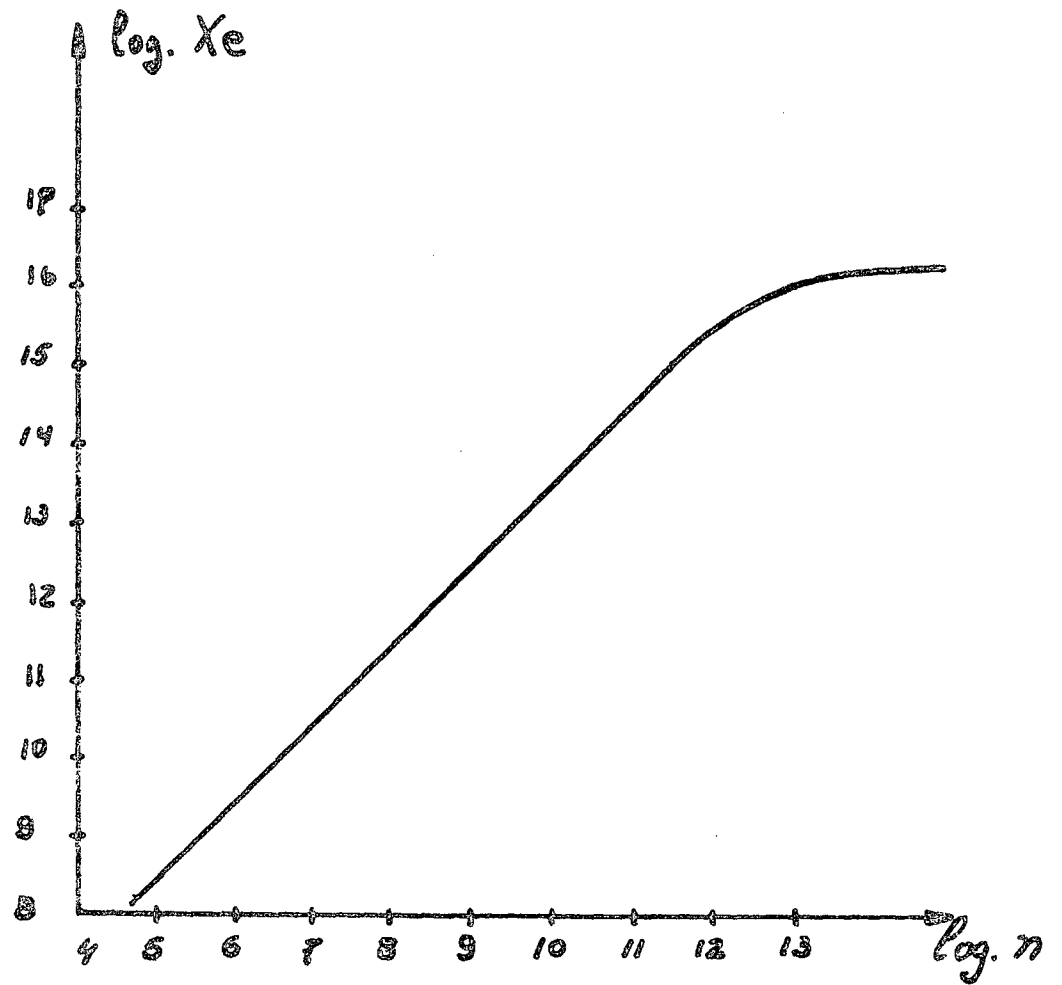


Fig. 3-4

CONTROL OF NUCLEAR REACTORS AND POWER PLANTS

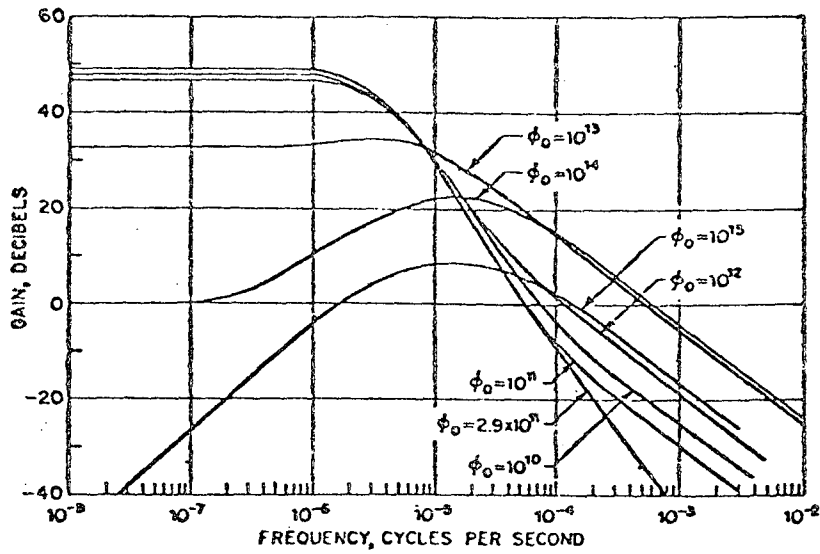
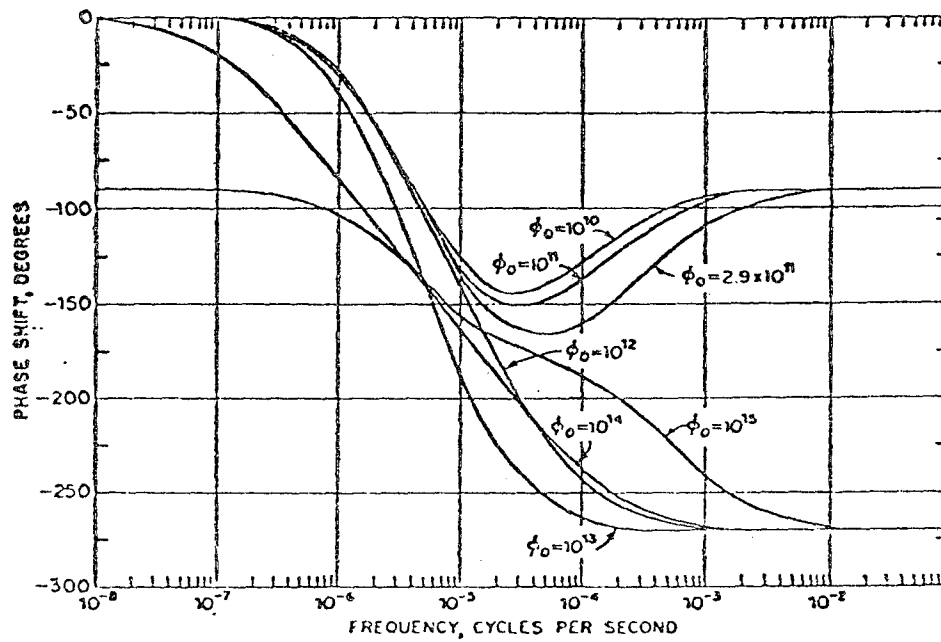
FIG. 4-7. Amplitude of transfer function of xenon feedback factor $\delta X(s)/\delta \phi(s)$.FIG. 4-8. Phase shift of transfer function of xenon feedback factor $\delta X(s)/\delta \phi(s)$.

fig 3.5

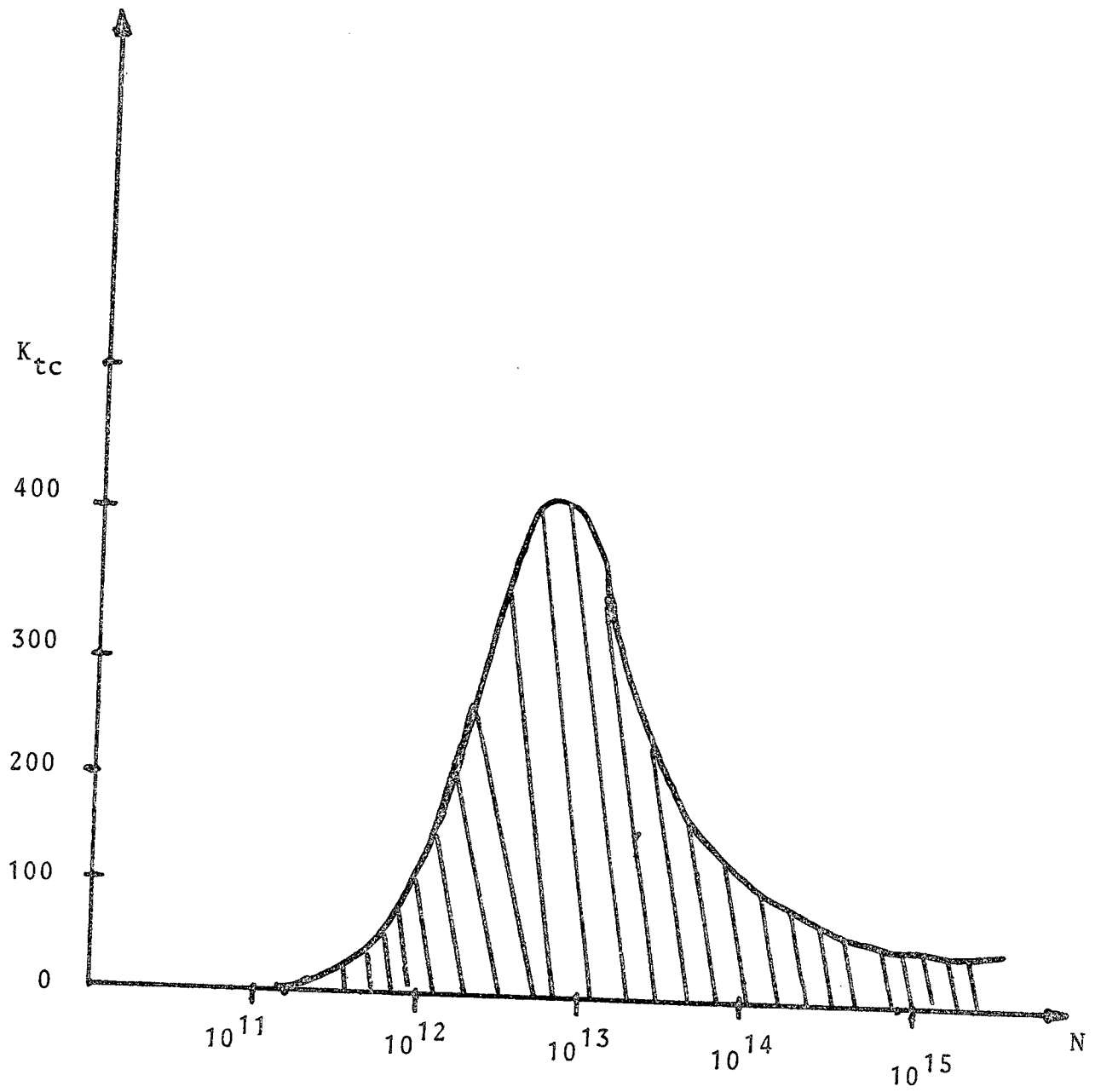


Fig. 3-6

4.- REQUERIMIENTOS GENERALES DE UN CONTROL AUTOMATICO DE NIVEL DE POTENCIA.

Conocido el comportamiento del reactor con sus propios lazos de realimentación interna, estamos ahora en condiciones de tratar de controlar el reactor mediante un lazo de control externo.

Para variar el nivel de potencia del reactor se requiere el movimiento de las barras de control de forma tal que el factor de multiplicación se desvíe de la unidad, una vez adquirida la potencia deseada las barras volverán a ajustarse de forma tal que el factor de multiplicación sea la unidad.

Un reactor puede tener varias barras de control que pueden moverse en grupos o bancos. Las barras agrupadas que tienen mucho "peso" en reactividad se mueven lentamente y son las que usualmente controlarán las variaciones lentas, tales como los efectos de envenenamiento.

Para controlar cambios deseados de potencia y responder a transientes rápidos se diseñan barras de regulación que se pueden mover más rápidamente, pero que, por cuestiones de seguridad no tienen valores mayores de 6 a 8 mk en reactividad.

En el caso que se necesite mayor reactividad, cuando la barra de regulación se va fuera de los límites de operación, se mueven lentamente las barras más pesadas con el objeto de volver a posicionar a la de regulación.

La acción de control se realiza, en condiciones normales, a través de las barras de regulación.

En la figura 4-1 puede verse el lazo de control automatico de potencia del reactor.

El factor de multiplicación del reactor se varía a través de las barras de regulación, la potencia neutrónica se mide por cámaras de ionización o detectores autopropulsados en el núcleo.

La potencia neutrónica medida se compara con un valor deseado, de dicha comparación se genera un algoritmo de control que actúa sobre la barra de regulación.

Las condiciones de estabilidad del lazo de control no dependen ahora solamente del reactor sino también del resto de los elementos que integran el lazo.

Las mediciones de potencia neutrónica se pueden realizar mediante cámaras de ionización; elementos que dan una co-

rriente eléctrica proporcional al número de neutrones por unidad de tiempo que inciden en el detector.

Estos detectores responden en forma suficientemente rápida como para no presentar problemas de respuesta de frecuencia en éste lazo de control.

El controlador es el elemento encargado de generar el algoritmo de control de acuerdo a la estrategia deseada. Se ha visto que el reactor es un elemento logarítmico, es decir, que su transferencia es proporcional al flujo neutrónico.

Con el objeto de linealizar la transferencia total del sistema de control se crea un algoritmo en base a funciones inversamente proporcionales a n . El tipo de ecuación que se emplea sigue la forma:

$$y = k \frac{\Delta n}{n} + kR S \frac{\Delta n}{n}$$

Donde Δn es la diferencia entre la potencia medida y la demandada.

En ciertos casos se emplea su similar logarítmica

$$y = k_p \Delta(\log n) + kR [R_M - R_D]$$

Donde

R_M : velocidad de crecimiento logarítmico medida

R_D : velocidad de crecimiento logarítmico deseada

Para evitar saltos en la potencia demandada que puedan originar abruptas inyecciones de reactividad al sistema se limita el crecimiento logarítmico de la misma.

También y con el mismo propósito se limita el valor máximo de potencia demandada respecto de la medida.

El algoritmo de control actúa sobre las barras de control cuya velocidad está limitada por cuestiones de seguridad.

La reactividad inyectada al reactor será la integral de dicha velocidad.

La velocidad de variación de reactividad podrá seguir

una ecuación de la forma:

$$\oint \dot{k}(w) = \frac{y(w)}{a + jw}$$

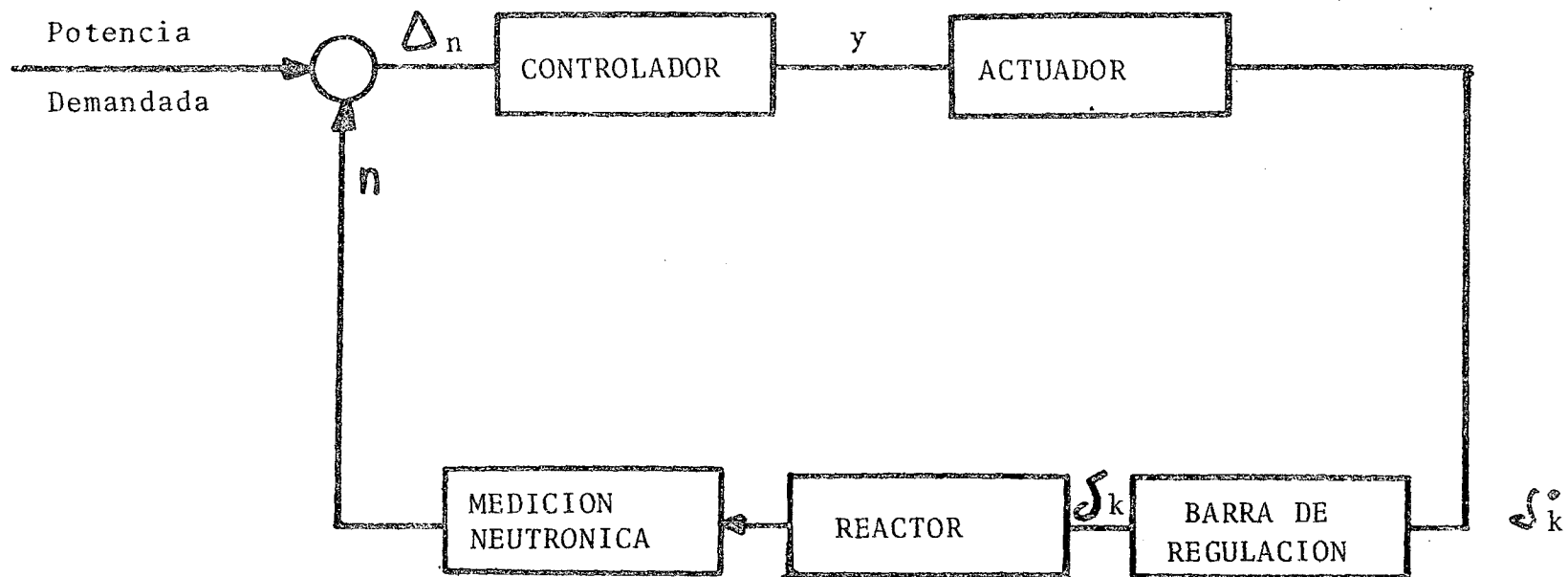


FIG. 4-1

5.- CONTROL DE UNA CENTRAL NUCLEAR

Hasta ahora se ha visto el comportamiento dinámico del reactor solo con sus propios lazos de realimentación interna, y el control del mismo.

Vamos a ver ahora como dicho elemento se integra en una Central Nuclear.

La figura 5-1 representa el diagrama simplificado de una Central Nuclear.

En una Central Nuclear podemos distinguir un elemento generador de energía: el reactor y un consumo de energía: la turbina y las válvulas de descarga de vapor a la atmósfera y al condensador.

Un circuito primario extrae el calor del reactor y la transporta para su empleo. Un circuito secundario entrega la energía a la turbina. El acople entre los circuitos primario y secundario lo realiza el generador de vapor.

El punto básico de operación de la planta consiste en mantener la presión de vapor del generador de vapor constante con la potencia.

El reactor, conectado a la planta tendrá dos lazos distintos que afecten su transferencia; uno local es el anteriormente estudiado, el otro proviene del refrigerante conectado a la planta de forma tal que cualquier variación en los parámetros del refrigerante afectará la reactividad del reactor.

Estos parámetros son la temperatura y la presión.

Para aislar estas dos variables se pueden definir dos coeficientes distintos

$$\left. \frac{d\beta_k}{dT} \right|_{p = \text{cte}}$$

$$\left. \frac{d\beta_k}{dp} \right|_{T = \text{cte}}$$

Si la presión del generador de vapor permanece constante, la temperatura de saturación del agua de secundario permanecerá constante. Como existe una relación lineal entre la potencia extraída del primario por el generador de vapor y la diferencia entre la temperatura media del refrigerante y la

del secundario

$$P = K (T_{av} - T_s)$$

Al ser T_s constante, cuando sube la potencia aumenta también T_{av} .

Dado el coeficiente negativo de reactividad con la temperatura la nueva posición de equilibrio alcanzada con una nueva potencia corresponderá a otra posición de las barras de control

Por otro lado se producirá una reducción en la densidad del líquido primario que deberá tener un volumen de expansión. Dicha expansión se realizará a costa de un incremento de presión del primario que es necesario controlar y que afectará la reactividad a través de su coeficiente.

La potencia del reactor responde a cambios en reactividad, como ésta última depende de valores de planta que, a su vez, dependen de la potencia generada por el reactor, la planta contiene inherentes lazos de realimentación, como se ve en la figura 5-2.

En la figura 5-3 se observa un esquema del lazo de realimentación por temperatura, en donde cada elemento indicado debe ser reemplazado por su función transferencia.

La multiplicidad de lazos interrelacionados y la gran cantidad de variables comprendidas en cada uno hace que sea necesario recurrir a técnicas de simulación para estudiar el comportamiento transitorio de las variables de planta.

La figura 5-4 representa el comportamiento dinámico supuesto que no existe ningún control respecto de la presión del generador de vapor cuando hay un salto escalón en la demanda de potencia. Se supone así mismo que no hay variación en la posición de las barras de control del reactor. En este caso se observa que la presión del generador de vapor disminuye y que la potencia del reactor aumentó para mantener la misma temperatura media del refrigerante.

En éste caso la planta es estable y se acomoda a la demanda de potencia, sin embargo la presión del generador de vapor no se mantiene constante.

Para mantener dicha presión constante se debe recurrir a un sistema de control global de la planta.

Se pueden emplear dos métodos distintos de control y

de acuerdo al método seleccionado será distinto el comportamiento de la planta.

a.- Control de presión variando la referencia de potencia del reactor.

En este caso la Central funciona siguiendo a la carga que es demandada por la red.

En la figura 5-5 puede verse el comportamiento de la planta para el caso de una demanda de potencia de la turbina.

b.- Control de presión del Generador de Vapor variando la válvula de admisión de la turbina.

En éste caso la Planta funciona como una Central de base no participando en la toma de potencia por demanda de línea. La apertura de la válvula de admisión produce una caída en la presión del generador de vapor, efecto que, a su vez cierra la válvula minimizándose los disturbios transmitidos al primario.

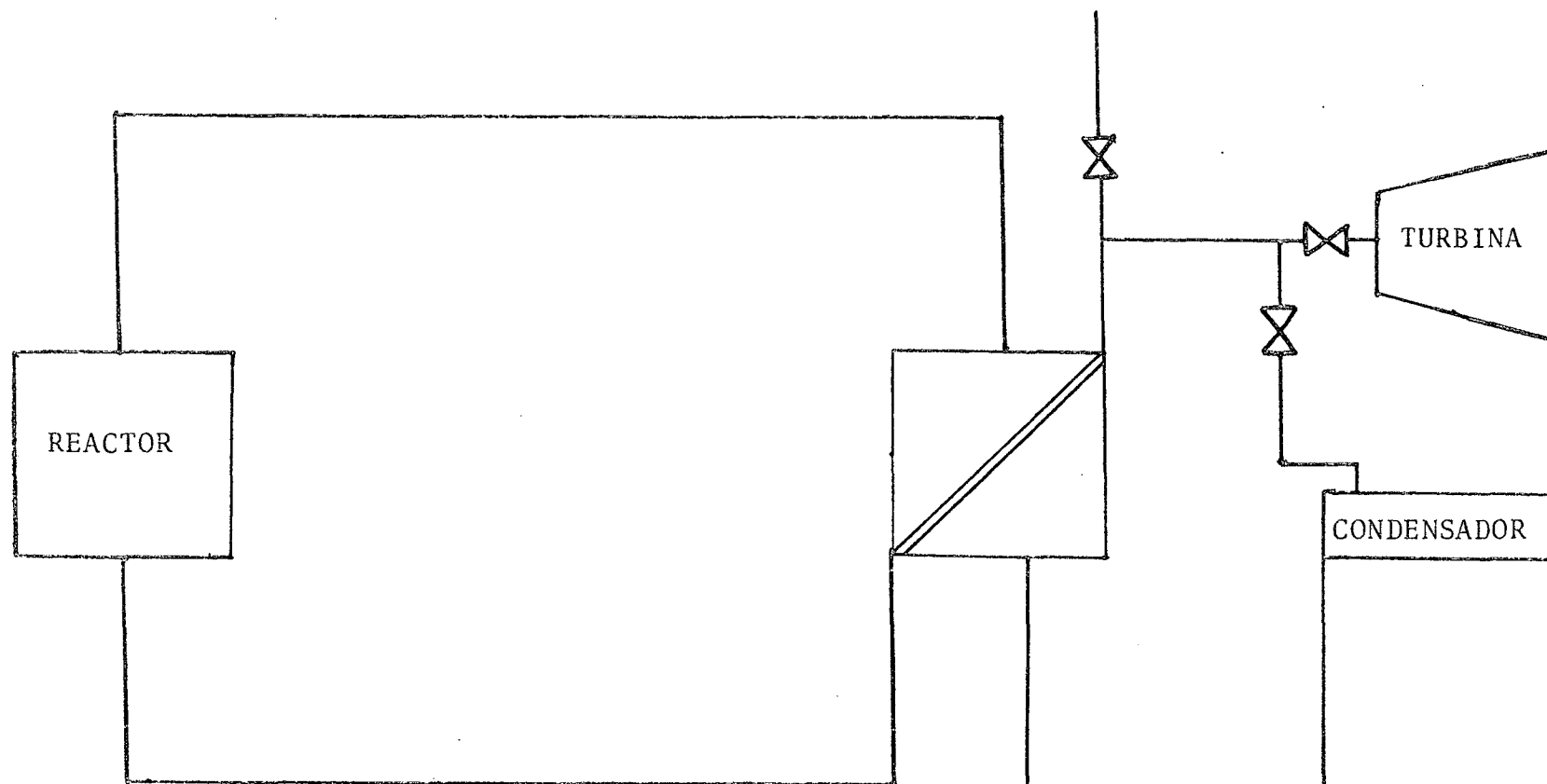


FIG. 5-1

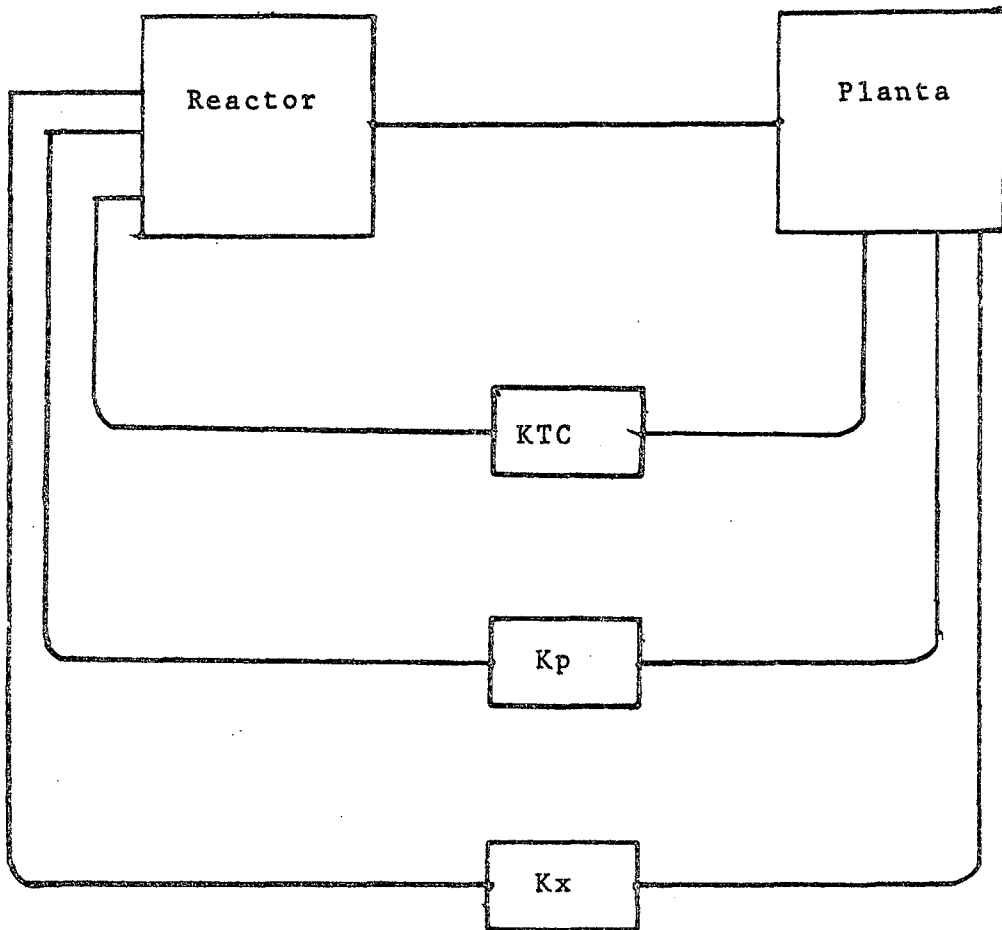


Fig. 5-2

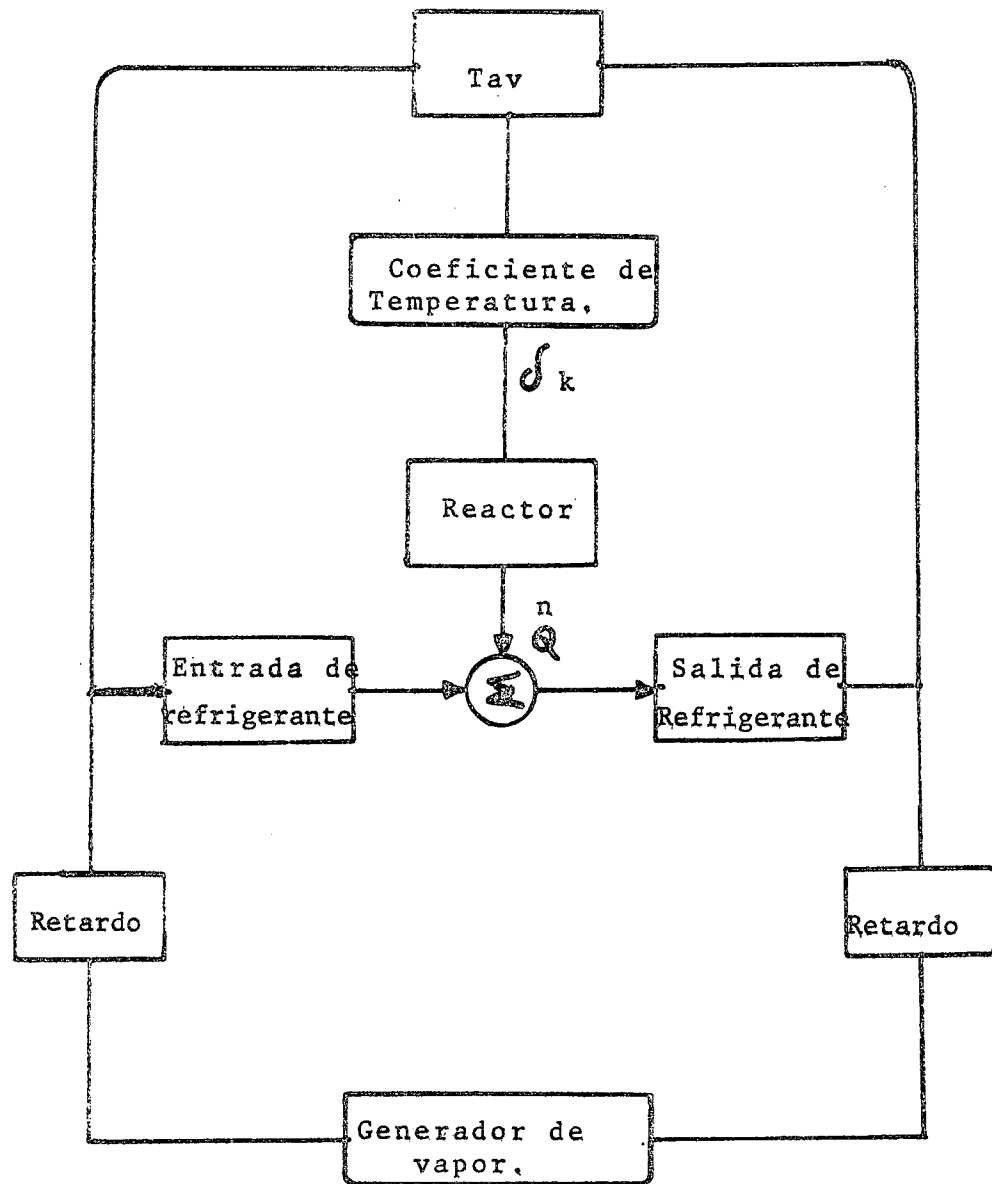


Fig. 5-3

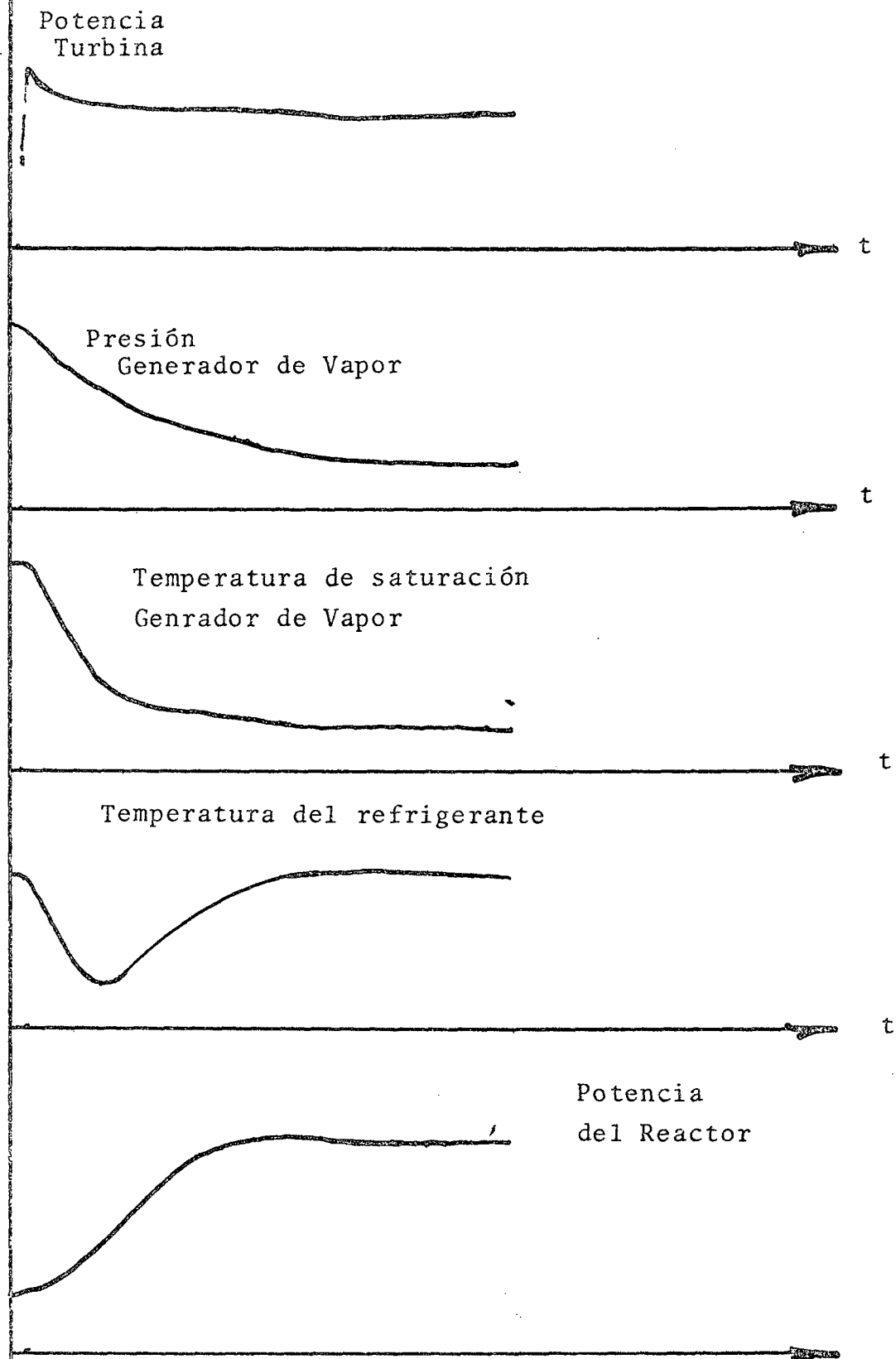


FIG. 5-4

