

## ÍNDICE

Introducción .....	1
Función de transferencia de un Reactor Nuclear .....	2
1 - Principios teóricos elementales .....	2
2 - Solución de las ecuaciones cinéticas para una variación senoidal de $\delta k$ .....	5
Material utilizado .....	9
Procedimiento experimental .....	10
Datos experimentales y cálculos .....	13
Determinación de $\beta / \rho^*$ .....	17
Conclusiones .....	17
Apéndice .....	19

## A N E X O S

Anexo 1: Sistema de transmisión y regulador de velocidad del oscilador

Anexo 2: Circuito electrónico

Anexo 3: Registro del panel del Reactor con período negativo

Anexo 4: Amplitud de la función de transferencia del Reactor (Curva experimental)

Anexo 5: Desplazamiento de fase de la función de transferencia del Reactor

Anexo 6: Amplitud de la función de transferencia del Reactor (curvas teóricas para 6 grupos y  $\beta = 0,0075$ )

## INTRODUCCION

La medida de la función de transferencia de los componentes de un servo sistema es una técnica común en controles de ingeniería.

La medida de la función de transferencia resulta particularmente importante en el estudio de los reactores nucleares. Este trabajo, si bien es realizado en un reactor térmico de baja potencia, su técnica puede extrapolarse, a otros tipos de reactores, en particular a los rápidos, donde el conocimiento de la función de transferencia es fundamental para el estudio de su estabilidad.

Los reactores rápidos difieren de los térmicos desde ciertos puntos de vista. Los parámetros más importantes que influyen sobre su comportamiento son:

- El tiempo de vida de los neutrones dentro del reactor es mucho menor en los reactores rápidos que en los térmicos. En aquellos el tiempo de vida es del orden de  $10^{-8}$  a  $10^{-7}$  segundos, mientras que en éstos es del orden de  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  segundos.

- Las secciones eficaces de captura y de fisión son mucho menores en los neutrones de energía elevada.

Esto origina dos consecuencias importantes:

Por un lado, el efecto de envenenamiento es muy reducido, lo que evita prever un gran margen de reactividad compensadora.

Por otro lado, la masa crítica es elevada. No obstante, para potencias comparables, la ausencia de moderador representa volúmenes críticos mucho menores que en el caso de los reactores térmicos.

A pesar de estas diferencias importantes, reflejadas en el espectro de neutrones de los reactores rápidos, el comportamiento cinético de los tipos es bastante vecino, desde que, en los dos casos depende esencialmente de la influencia de los neutrones retardados.

De esta manera, dentro de los casos más comunes, las ecuaciones de cinética establecidas en el estudio de los reactores térmicos pueden adaptarse a los reactores rápidos, mediante un ajuste conveniente de los coeficientes.

En consecuencia la medida de las funciones de transferencia de un reactor reviste gran importancia para el estudio de las condiciones de estabilidad

y control.

El método más directo de medir la función de transferencia es estudiar la respuesta del sistema introduciendo una señal senoidal. En el caso particular de los reactores la función de transferencia implica una variación senoidal de  $\delta k$ . Este método solamente es posible si los ruidos del sistema son suficientemente bajos.

La medida de la función de transferencia del Reactor Argonauta del Instituto de Engenharia Nuclear, en el presente trabajo, fue realizado con el Oscilador Modelo 302, especialmente construido por la Reactor Experiment, Inc. para este reactor y con modificaciones hechas en el propio Instituto para ajustar su funcionamiento correcto. Este equipo está acondicionado de manera de producir una variación periódica del flujo de neutrones.

La experiencia consiste en observar la variación del flujo de neutrones y el desplazamiento de fase en función de la frecuencia de  $\delta k$  producida por el oscilador.

#### FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE UN REACTOR NUCLEAR

##### 1 - Principios teóricos elementales

- Factor de multiplicación: El factor de multiplicación  $k$  puede definirse como la relación entre el número de neutrones de una generación y el número de neutrones de la generación anterior. Para que la reacción en cadena dentro de un reactor pueda mantenerse, la producción de neutrones debe ser igual a las fugas más la absorción.

$$k = \frac{\text{producción}}{\text{perdidas} + \text{absorción}}$$

Si  $k$  es igual o levemente mayor que la unidad, la reacción se mantiene; si es menor que la unidad, va decayendo hasta detenerse.

$k$  exceso, representa el exceso del factor de multiplicación respecto de la unidad.

$$k_{ex} = k - 1$$

En los reactores de dimensiones finitas es más usual el factor de multiplicación efectivo,  $k_{\text{eff}}$ .

La reactividad en un reactor finito está definida por la relación:

$$\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}} = \delta k \quad (1)$$

- Tiempo de vida de los neutrones: El tiempo promedio entre sucesivas generaciones de neutrones en un reactor infinito se define como tiempo de vida de los neutrones,  $\ell$ . El símbolo  $\ell^*$  se usa para expresar el tiempo de vida efectiva de los neutrones en un reactor finito conteniendo uranio 235. En otros términos, es el tiempo medio desde que los neutrones son producidos en una fisión hasta que ellos vuelven a una nueva fisión o se pierden de la reacción. El valor de  $\ell^*$  puede expresarse como:

$$\ell^* = \frac{\ell}{k} \quad (2)$$

En términos más precisos, esta ecuación es el resultado del cálculo de la teoría de "un grupo", y puede ser aplicada rigurosamente sólo a reactores grandes.

- Nivel de neutrones: El exceso de neutrones en un reactor finito entre una generación y la precedente es  $\delta k$ . Si inicialmente existen  $n$  neutrones por centímetro cúbico en el carozo, la velocidad de crecimiento en cada generación es  $n \delta k$ . Si  $\ell^*$  es el tiempo de vida efectivo entre sucesivas generaciones.

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k}{\ell^*} n \quad (3)$$

Integrando esta ecuación, resulta

$$n = n_0 e^{(\delta k / \ell^*) t} \quad (4)$$

donde  $n_0$  es el número de neutrones por centímetro cúbico inicial y  $n$  el número después de un lapso de tiempo  $t$ .

- Período: El período  $T$ , de un reactor puede definirse arbitrariamente, como el tiempo necesario para que la población de neutrones aumente en un fac

tor e. En consecuencia, de la ecuación (4), el periodo T es:

$$T = \frac{\ell^*}{\delta k} \text{ seg.} \quad (5)$$

o

$$T = \frac{1}{(1/n) (dn/dt)} \quad (6)$$

- Neutrones atrazados: En las ecuaciones precedentes se ha considerado que todos los neutrones generados en una fisión son producidos instantáneamente y tienen un tiempo de vida  $\ell$ . En realidad, una pequeña fracción de neutrones se producen con un cierto retardo respecto de la fisión. Estos neutrones representan aproximadamente el 0,75% del total de neutrones producidos y se llaman neutrones atrazados. El fundamento del control del reactor está basado en los neutrones atrazados.

Los neutrones atrazados son emitidos en seis grupos con diferentes tiempos de retraso y en diferentes cantidades.

$\beta$  representa la fracción total de neutrones atrazados.  $\beta_i$  es la fracción de neutrones atrazados del grupo i. Similarmente,  $\lambda_i$  representa la constante de atrazo del grupo i de neutrones atrazados. Para algunos problemas se usa sólo un grupo de neutrones atrazados, con una fracción  $\beta = 0,0075$  y con una constante promedio de atrazo  $\lambda = 0,1 \text{ seg}^{-1}$

$$\beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i \quad (7)$$

- Ecuaciones cinéticas clásicas del reactor

Teniendo en cuenta la existencia de neutrones atrazados, la ecuación (3) del nivel de neutrones, resulta:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k}{\ell^*} n - \frac{\beta}{\ell^*} n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \quad (8)$$

donde  $C_i$  es la concentración de precursores del grupo i en el instante t.  $C_i$  resulta definido por:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i n}{\ell^*} - \lambda_i C_i \quad (9)$$

(8) y (9) son conocidas como las ecuaciones cinéticas clásicas del reactor.

Para cada tipo de reactividad  $\delta k$  tendremos una una solución para este sistema de ecuaciones. Nosotros solamente analizaremos el caso en que  $\delta k$  varíe según una ley senoidal.

## 2 - Solución de las ecuaciones cinéticas para una variación de $\delta k$ :

### Función de transferencia

El concepto de la función de transferencia para un reactor implica necesariamente una variación senoidal de  $\delta k$ . Por otro lado, como la función transferencia sólo existe para un sistema que satisface ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes, es necesario primeramente linealizar las ecuaciones cinéticas. Para ello debemos realizar pequeñas variaciones de  $n$  y  $C_i$  respecto del equilibrio.

$$\text{Sea pues: } n = n_0 + \delta n \quad (10)$$

$$C_i = C_{oi} + \delta C_i \quad (11)$$

donde  $n_0$  y  $C_{oi}$  son los valores para las condiciones de equilibrio;  $\delta n$  y  $\delta C_i$  pequeñas variaciones entorno del equilibrio luego:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{d \delta n}{dt} \quad (12)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{d \delta C_i}{dt} \quad (13)$$

De la ecuación (9) resulta:

$$\sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i = \frac{n}{\ell^*} \sum_{i=1}^6 \beta_i - \sum_{i=1}^6 \frac{dC_i}{dt} \quad (14), \text{ reemplazando}$$

en (8).

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k}{\ell^*} n - \frac{\beta n}{\ell^*} + \frac{n}{\ell^*} \sum_{i=1}^6 \beta_i - \sum_{i=1}^6 \frac{dC_i}{dt} \quad (15)$$

siendo  $\sum_{i=1}^6 \beta_i = \beta$ , es

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k}{\ell^*} n - \sum_{i=1}^6 \frac{dC_i}{dt} \quad (16)$$

Siendo:

$$\frac{d \delta n}{dt} = \frac{k (n_o + n)}{\ell^*} - \sum_{i=1}^6 \frac{d \delta C_i}{dt} \quad (17)$$

$\frac{\delta k}{\ell^*} \delta n$  puede despreciarse frente a  $\frac{\delta k}{\ell^*} n_o$ , luego

$$\boxed{\frac{d \delta n}{dt} = \frac{\delta k}{\ell^*} n_o - \sum_{i=1}^6 \frac{d \delta C_i}{dt}} \quad (18)$$

Por otro lado:

$$\frac{d C_i}{dt} = \frac{d \delta C_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\ell^*} (n_o + n) - \lambda_i (C_{oi} + C_i) \quad (19)$$

En equilibrio estacionario  $C_i = C_{oi}$ , es

$$\frac{d C_{oi}}{dt} = \frac{\beta_i}{\ell^*} n_o - \lambda_i (C_{oi}) = 0 \quad (20)$$

y

$$\boxed{\frac{d \delta C_i}{dt} = \frac{\beta_i \delta n}{\ell^*} - \lambda_i C_i} \quad (21)$$

Aplicando transformadas de Laplace a las ecuaciones (18) y (21), estas toman la forma.



$$s \delta n(s) = \frac{n_0}{l^*} \delta k(s) - s \sum_{i=1}^6 \delta C_i(s) \quad (22)$$

$$s \delta C_i(s) = \frac{\beta_i}{l^*} \delta n(s) - \lambda_i \delta C_i(s) \quad (23)$$

en las cuales  $\delta n(t)$  y  $\delta C_i(t)$  igual a cero para  $t = 0$ . Esto es posible desde que la función de transferencia la hemos definido en términos de la respuesta de un estado estacionario.

Eliminando  $\delta C_i(s)$  por combinación de la (22) y (23) se obtiene:

$$s \delta n(s) = \frac{n_0}{l^*} \delta k(s) - s \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i \delta n(s)}{l^* (s + \delta_i)} \quad (24)$$

Resolviendo para la función de transferencia.

$$\frac{n(s)}{k(s)} = \frac{n_0}{l^* s} \frac{1}{\left[ 1 + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{l^* (s + \lambda_i)} \right]} \quad (25)$$

Para uranio 235, los valores de  $i$  y son:

$\beta_1 = 2,5 \times 10^{-4}$	$\lambda_1 = 14,3 \text{ seg}^{-1}$
$\beta_2 = 8,5 \times 10^{-4}$	$\lambda_2 = 1,612 \text{ seg}^{-1}$
$\beta_3 = 2,4 \times 10^{-3}$	$\lambda_3 = 0,456 \text{ seg}^{-1}$
$\beta_4 = 2,13 \times 10^{-3}$	$\lambda_4 = 0,1535 \text{ seg}^{-1}$
$\beta_5 = 1,6 \times 10^{-3}$	$\lambda_5 = 0,0315 \text{ seg}^{-1}$
$\beta_6 = 2,5 \times 10^{-4}$	$\lambda_6 = 0,01246 \text{ seg}^{-1}$

La (25) puede escribirse:

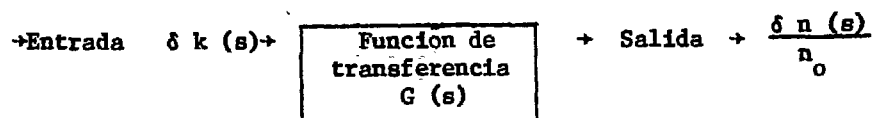
$$\delta k(s) = l^* s \left[ 1 + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{l^* (s + \lambda_i)} \right] \frac{\delta n(s)}{n_0} \quad (26)$$

donde  $k(s)$  juega el rol de una variable de entrada,  $\frac{\delta n(s)}{n_0}$

el de una variable de salida y  $\ell^* s$   $\left[ 1 + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\ell^* (s + \lambda_i)} \right] = G(s)$  8

el de una función de transferencia.

Considerando al reactor como una caja negra:



De la forma en que hemos expresado  $G(s)$ , resulta independiente de la potencia del reactor.

En realidad en la salida se mide la corriente  $I$  del electrometro ligado a la cámara de ionización, es decir

$$\delta n(s) = K \delta I(s)$$

$$n(s) = K I(s)$$

$$\frac{n(s)}{n_0} = \frac{\delta I(s)}{I_0}$$

Luego:

$$\delta k(s) = G(s) \cdot \frac{\delta I(s)}{I_0} \quad (27)$$

ó

$$\frac{1}{G(s)} = \frac{\delta I(s)}{\delta k(s) \cdot I_0} \quad (28)$$

El trabajo experimental consiste en determinar las siguientes curvas:

- a)  $\log \frac{\delta I(\omega)}{\delta k(\omega) I_0}$  vs log frecuencia.
- b) Desplazamiento de fase entre  $\delta k(\omega)$  y  $\delta I(\omega)$  vs log frecuencia
- c) A partir de la curva a) determinar gráficamente  $\beta / \ell^*$

MATERIAL UTILIZADO

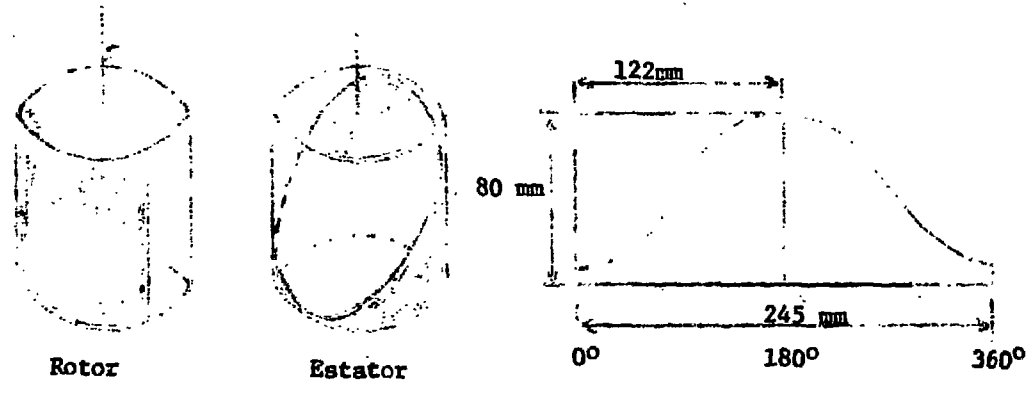
1 - Oscilador con lámina de cadmio y accesorios para regular su velocidad. (Ver anexo 1)

2 - Circuito electrónico para detección del nivel de neutrones con registro gráfico de dos bandas. (Ver anexo 2)

- El oscilador en esencia consiste en un cilindro de grafito (rotor), cuya superficie está soldada una lámina de Cd rectangular, que ocupa un área de 180° de dicho cilindro. El rotor está cubierto con una cámara cilíndrica que no rota (estator) sobre cuya superficie interior esta soldada una lámina cortada en forma senoidal.

La combinación de esta lámina estática con la que gira en el rotor aseguran una variación senoidal de  $\delta k$ .

Esquemáticamente, desarrollando las láminas:



Conforme puede verse en el anexo 2, el registro gráfico de dos bandas, recibe una señal para cada banda.

Una banda registra los pulsos de la fotocélula, correspondientes al pasaje de luz a través de las perforaciones que tiene el disco acoplado en el extremo del eje del oscilador. Estos pulsos permiten dar la base de tiempo en

el gráfico.

La otra banda registra la variación de  $\delta I(\omega)$  detectada en la cámara detectora de neutrones.

El disco perforado acoplado en el extremo del eje del oscilador tiene dos orificios dispuestos a  $180^\circ$ , de manera que cada pulso de la fotocélula responde a media vuelta,

Otros detalles del material utilizado puede en los respectivos manuales de cada instrumento, los cuales se encuentran disponibles en el Instituto.

#### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

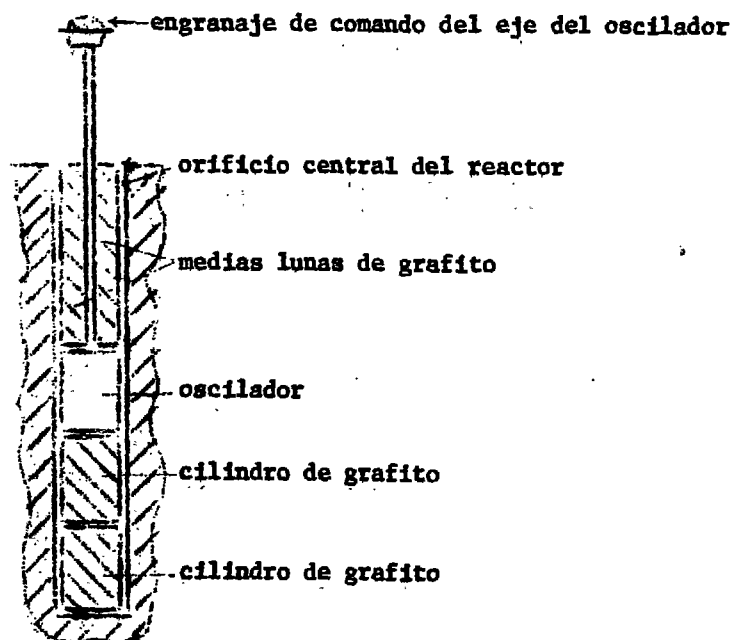
La secuencia de las operaciones es la siguiente:

##### 19 - Montaje del circuito electrónico:

Montado conforme al diagrama block anexo 2.

##### 20 - Montaje del oscilador:

Montado según el siguiente esquema:



En el montaje del oscilador deben tenerse en cuenta los siguientes detalles:

a) - La boca del orificio central, después de haber hecho el montaje, debe ser blindada con ladrillos de plomo.

b) - El estator debe colocarse de manera que la parte de mayor veneno se encuentre diametralmente opuesta a la lámina de elementos combustibles del reactor. (La marca punteada en la parte exterior corresponde a mínimo veneno y por lo tanto debe quedar de frente a la lámina de combustible).

### 39 - Determinación experimental de $\delta k$ del oscilador

Antes de montar el mecanismo de accionamiento del oscilador es necesario determinar el valor de  $\delta k$  del mismo. Para ello se sigue el siguiente procedimiento:

a) - Observar el punto marcado en el engranaje superior (que aun se encuentra descubierto). Este punto corresponde al centro de la lámina de cadmio del rotor.

b) - Colocar dicho punto en la dirección del centro de la lámina de elementos combustibles, es decir en la posición de máximo veneno.

c) - Poner en funcionamiento el reactor y llevarlo a crítico en baja potencia (aproximadamente 1 watt).

d) - Girar  $180^\circ$  el rotor del oscilador. Esta operación debe realizarse manualmente, girando lo más rápido posible, de manera de introducir una reactividad  $\delta k$  tipo salto.

e) - Se mide el periodo de doblamiento  $T_2$ . Este dato será utilizado para determinar  $\delta k$  positivo.

f) - Sin modificar la posición del oscilador se vuelve a llevar el reactor a crítico.

g) - Girar manualmente  $180^\circ$  el rotor del oscilador. Esta operación debe también realizarse lo más rápido posible para introducir un  $\delta k$  tipo salto.

h) - Se deja caer la potencia del reactor y luego se retira el registro gráfico nº 1 de caída de corriente del canal lineal A. Este gráfico se usará para determinar el periodo negativo.

#### 49 - Determinación experimental de la función de transferencia

a) Montar el equipo de accionamiento y regulador de velocidad del oscilador. En esta operación debe tomarse la precaución de engranar el eje de comando horizontal con el vertical del oscilador de manera tal que cuando uno de los orificios del disco perforado enfrente la fotocélula, el oscilador se encuentre en la posición de veneno intermedio ( $90^\circ$  respecto de la posición de máximo o mínimo veneno). Para ello, debe guiarse por el punto marcado en el engranaje superior que corresponde al centro de la lámina del rotor.

b) - Se conectan los equipos electrónicos. El terminal de la cámara compensada detectora de neutrones inicialmente se conecta en el canal C del panel instrumentos del reactor para determinar  $I_0$ .

c) - Se lleva el reactor a crítico. En la fase final de esta operación se pone en movimiento al oscilador a 2400 rpm. La caja de cambios del oscilador debió estar inicialmente en la relación 1:1.

Esto tiene por finalidad asegurar que la criticalidad del reactor sea independiente de la posición del oscilador. Potencia de trabajo  $\approx 0,2 \times 10^{-6}$  Amperes en la corriente del canal A (aproximadamente 8,5 wattos)

d) - Se lee la corriente  $I_0$  en el canal C. Se desconecta la cámara compensada detectora del nivel de neutrones de dicho canal y se la conecta en el circuito electrónico conforme se indica en el diagrama block anexo 2. Se ajusta el electrómetro (Keithley) hasta anular  $I_0$  el registro gráfico.

e) - Se levantan los datos experimentales consignados en la planilla, correspondiente. Para ello:

1 - Se lleva el oscilador a la velocidad (frecuencia) deseada mediante observación del tacómetro. Luego se ajusta la misma midiendo el tiempo que corresponde a 1/2 giro en el osciloscopio.

2 - Se pone en funcionamiento el registrador gráfico hasta tomar dos o tres senoides completas. Usar en el registrador a una velocidad adecuada con respecto a la frecuencia de la perturbación.

3 - Con el registrador gráfico detenido (sin desplazarse) se ajusta una nueva velocidad en el oscilador y se repite 1 y 2 sucesivamente.

Es aconsejable comenzar con la frecuencia mas alta e ir decreciendo has

ta que lo permita el registro de velocidad del oscilador. Luego se pasa el registro de la caja de cambio a una relación menor compatible con las velocidades de rotación que aun faltan realizar. Para esta operación debe bajarse la potencia del reactor antes de subir al tope del reactor. Luego se vuelve a la potencia inicial y se continúa el levantamiento de datos. De esta manera se evita la exposición a una dosis alta de radiación.

Terminada la experiencia se apaga el reactor.

f) - Concluido el levantamiento experimental de datos debe calibrarse el registro gráfico, a saber:

- 1 - Se desconecta la cámara del electrómetro.
- 2 - Se conecta en lugar de la cámara un generador de corriente.
- 3 - Se determina la cantidad de corriente necesaria para el desplazamiento de 1 cm en el gráfico.

g) - Se determina la función de transferencia del equipo electrónico experimental utilizando un generador senoidal de gran estabilidad y usando las mismas frecuencias de la experiencia con el oscilador. Estos datos permitirán realizar las correcciones correspondientes a los datos experimentales iniciales

Esta parte experimental fué realizada por el Técnico Manoel Júlio Stuck Rebelo da Silva y el analisis de los datos permitió establecer que en la faja de frecuencias del trabajo, la repuesta del sistema es lineal y constante, por lo que hubo necesidad de corrección alguna.

#### DATOS EXPERIMENTALES Y CALCULOS

##### 1 - Reactividad del rotor del oscilador

##### a) - Por medida del período de doblamiento positivo $T_2$

- Se realizaron tres medidas:

$$T_{2-1}^+ = 2 \text{ m } 39 \text{ seg} ; T_{2-2}^+ = 2 \text{ m } 41 \text{ seg} ; T_{2-3}^+ = 2 \text{ m } 37 \text{ seg}$$

$$\text{Valor medio: } T_2^+ = 2 \text{ m } 39 \text{ seg}$$

$$T^+ = T_2^+ / 0,693 = 159 \text{ seg} / 0,693 = 228 \text{ seg.}$$

De la curva: Reactividad positiva vs. período asintótico positivo para una variación tipo salto

$$\rho = 0,048 \text{ dólares}$$

$$\% \delta k = \frac{\rho \beta}{100} = 0,035 \%$$

b) Por medida de período negativo

Del registro gráfico de variación de corriente en el canal A (Anexo 3) se obtuvo los siguientes datos:

Tiempo (seg.)	$\phi$	$\phi/\phi_0$
0	29,5	1
10	25,8	0,875
20	24,5	0,830
30	23,3	0,793
40	22,5	0,760
50	21,5	0,730
75	20,5	0,695
100	18,5	0,630

De la curva:  $\phi/\phi_0$  vs. tiempo para una variación tipo salto:

$$\rho = 0,051 \text{ dólares}$$

$$\% \delta k = \frac{\rho \beta}{100} = 0,038\%$$

Teniendo en cuenta que la variación fue manual y que no puede asegurarse la posición exacta del giro de 180°, se tomó el valor medio de  $\% \delta k$  entre las dos determinaciones.

$$\% \delta k = 0,0365\%$$



2. Cuadro de resultados experimentales y cálculos

15

Nº	r.p.m.	Tiempo 1/2 giro (seg)	frec. c/s	Sentido rotación	$\theta^\circ$	$\delta I(\omega)$ mm	$\delta I(\omega)$ Amp x x $10^8$	$\log \delta I(\omega)$	$20 \log \delta I(\omega) +$ $+ 0,535$
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(5)
1	0,6	55	0,010	I	?	40	24	1,380	37,30 db
2	0,96	34	0,016	D	?	25	15	1,176	34,22 db
3	1,5	20	0,025	I	?	19	11,4	1,057	31,84 db
4	1,8	15	0,03	I	?	17	10,2	1,009	30,88 db
5	2,4	12,5	0,04	D	?	18	10,8	1,033	31,36 db
6	3	10	0,05	I	?	16	9,6	0,982	30,34 db
7	6	5	0,10	D	25	11	6,6	0,820	27,10 db
8	9	3,33	0,15	I	33,5	6,5	3,9	0,591	22,52 db
9	12	2,5	0,20	D	22	6,5	3,9	0,591	22,52 db
10	15	2	0,25	I	33,5	5,5	3,3	0,518	21,06 db
11	30	1	0,50	D	24	5,0	3,0	0,477	20,24 db
12	60	0,5	1	I	36	5,0	3,0	0,477	20,24 db
13	90	0,33	1,5	D	34	4,5	2,7	0,431	19,32 db
14	120	0,25	2	I	48	4,5	2,7	0,431	19,32 db
15	150	0,20	2,5	D	45	4,5	2,7	0,431	19,32 db
16	180	0,178	3	I	49	4,5	2,7	0,431	19,32 db
17	240	0,125	4	D	48	4,0	2,4	0,380	18,30 db
18	300	0,100	5	I	60	4,0	2,4	0,380	18,30 db
19	450	0,0667	7,5	D	73,5	3,0	1,8	0,255	15,80 db
20	600	0,050	10	I	103	2,5	1,5	0,176	14,22 db
21	720	0,0417	12	D	90	2,0	1,2	0,079	12,28 db
22	900	0,0333	15	I	126	2,5	1,5	0,176	14,22 db
23	1200	0,0250	20	D	128	2,0	1,2	0,079	12,28 db
24	1500	0,020	25	I	?	1,8	1,08	0,033	11,36 db
25	1875	0,016	31,25	D	?	1,0	0,6	1,778	6,26 db

Observaciones al cuadro de resultados experimentales y cálculos

Las medidas fueron realizadas en las siguientes condiciones:

- Corriente de cámara del canal A:  $0,2 \times 10^{-6}$  Amp (corresponde a una potencia de 8,5 watis).

- Corriente de cámara compensada del Canal C:  $I_0 = 0,8 \times 10^{-5}$  Amp

(1) Sentido de rotación del oscilador

D: directo (igual sentido agujas del reloj)

I: inverso (sentido contrario agujas reloj)

(2) Desplazamiento de fase en grados sexagesimales entre señal de entrada ( $\delta k(\omega)$ ) y respuesta de salida ( $\delta I(\omega)$ ).

Este valor se determina gráficamente por medida en los registros.

(3) Amplitud de  $\delta I(\omega)$  medida en mm en el registro gráfico.

(4) Amplitud de  $\delta I(\omega)$  en amperes  $\times 10^8$ . Por calibración del circuito electrónico, 10 mm de amplitud en el registro gráfico corresponde  $0,6 \times 10^{-8}$  Amp

(5) Normalización de la función de transferencia (Calibración de la curva).

- Valores de normalización

$$I_0: 8 \times 10^{-6} \text{ Amp}$$

$$\delta I: 3,3 \times 10^{-8} \text{ Amp}$$

$$f: 0,2 \text{ c/s}$$

$$\delta k: 0,0365\% = 3,65 \times 10^{-4}$$

$$|db| = 20 \log \frac{\delta I}{\delta k I_0} = 20 (\log \delta I + 0,535)$$

(donde  $\delta I$  se toma en amperes  $\times 10^8$ )

- para 0,2 c/s resulta:

$$db(0,2 \text{ c/s}) = 20 (\log \delta I + 0,535) = 20 (0,591 + 0,535) = 22,52 \text{ db}$$

3. Gráfico de resultados

Con los datos obtenidos se trazaran las siguientes curvas anexas.

a)  $20 \log \frac{\delta I}{\delta k I_0}$  vs. log frecuencia (Anexo 4)

b) Desplazamiento de fase entre  $\delta k(\omega)$  y  $\delta I(\omega)$  vs. log frecuencia (Anexo 5)

#### DETERMINACION DE $\beta/\ell^*$

En el anexo 4 se trazaron las curvas teóricas de la función de transferencia para  $\beta = 0,0075$  y 6 grupos de neutrones retardados.

Por superposición de la curva experimental con las teóricas puede verse que  $\ell^* = 150 \mu s$ .

Es de hacer notar que para la determinación de  $\beta/\ell^*$  solamente interesa la coincidencia entre la curva experimental y la teórica en las frecuencias más altas.

El alejamiento de la curva experimental respecto de la teórica en las frecuencias más bajas se debe a que la primera corresponde a un reactor de dimensiones finitas con reflector, mientras que las teóricas corresponden a un reactor de dimensiones infinitas sin reflector.

Tomando como base, el valor de  $\beta = 0,0075$  para 6 grupos de neutrones atrazados, resulte:

$$\beta/\ell^* = 0,0075/150 \times 10^{-6} \text{ seg} = 50 \text{ seg}^{-1}$$

$\beta/\ell^* = 50 \text{ seg}^{-1}$
--------------------------------------

#### CONCLUSIONES

19) El equipo utilizado se presta perfectamente para realizar la experiencia de determinación de la función de transferencia.

20) Esta experiencia puede utilizarse para aulas didácticas siguiendo simplemente las instrucciones del presente relatorio.

30) El valor de  $\beta/\ell^*$  obtenido ( $50 \text{ seg}^{-1}$ ) es compatible con los valores obtenidos para otros reactores similares al Argonauta del IEN. No obstante, sucesivas experiencias podrán dar mayores datos para el trazado de las curvas y consecuentemente obtener un valor mayor de  $\ell^*$ .

Por otro lado debe tenerse en cuenta que el valor de  $\beta/\ell^*$  se determi

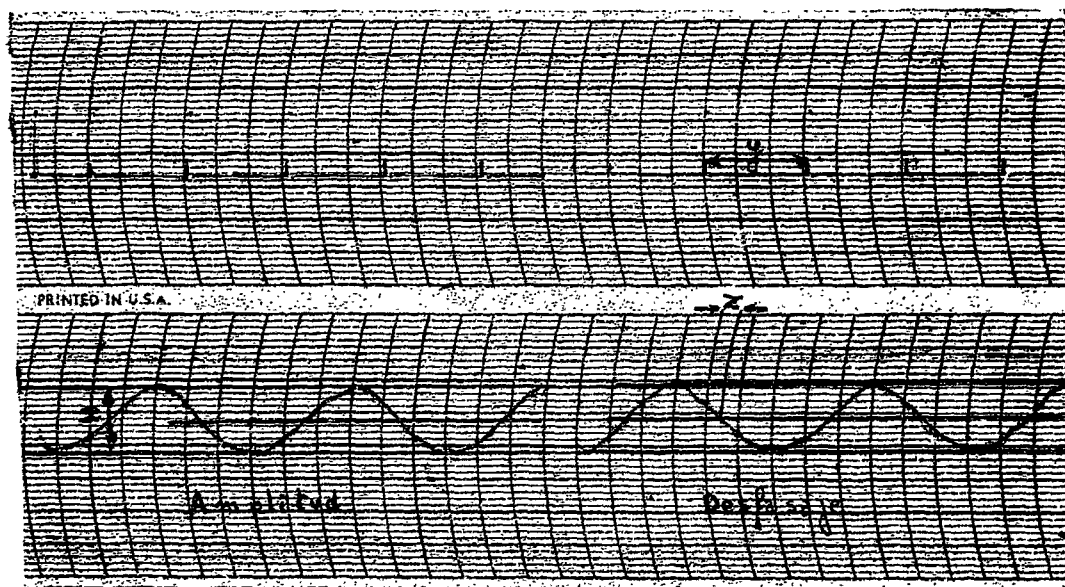
nó sobre la base teórica de  $\beta = 0,0075$ , cuyo valor no podemos asegurar sea el del Reactor Argonauta del IEN.

En ese sentido, se sugiere representar gráficamente curvas teóricas para diferentes valores de  $\beta/\ell^*$  y comparar con la experimental para ver a cual valor corresponde. De esta manera se obtendría un valor más correcto. Por razones de tiempo el autor no ha podido realizarlo, pero sugiere la necesidad de realizarlo.

APENDICE

Para la lectura de los registros se procede de la siguiente manera:

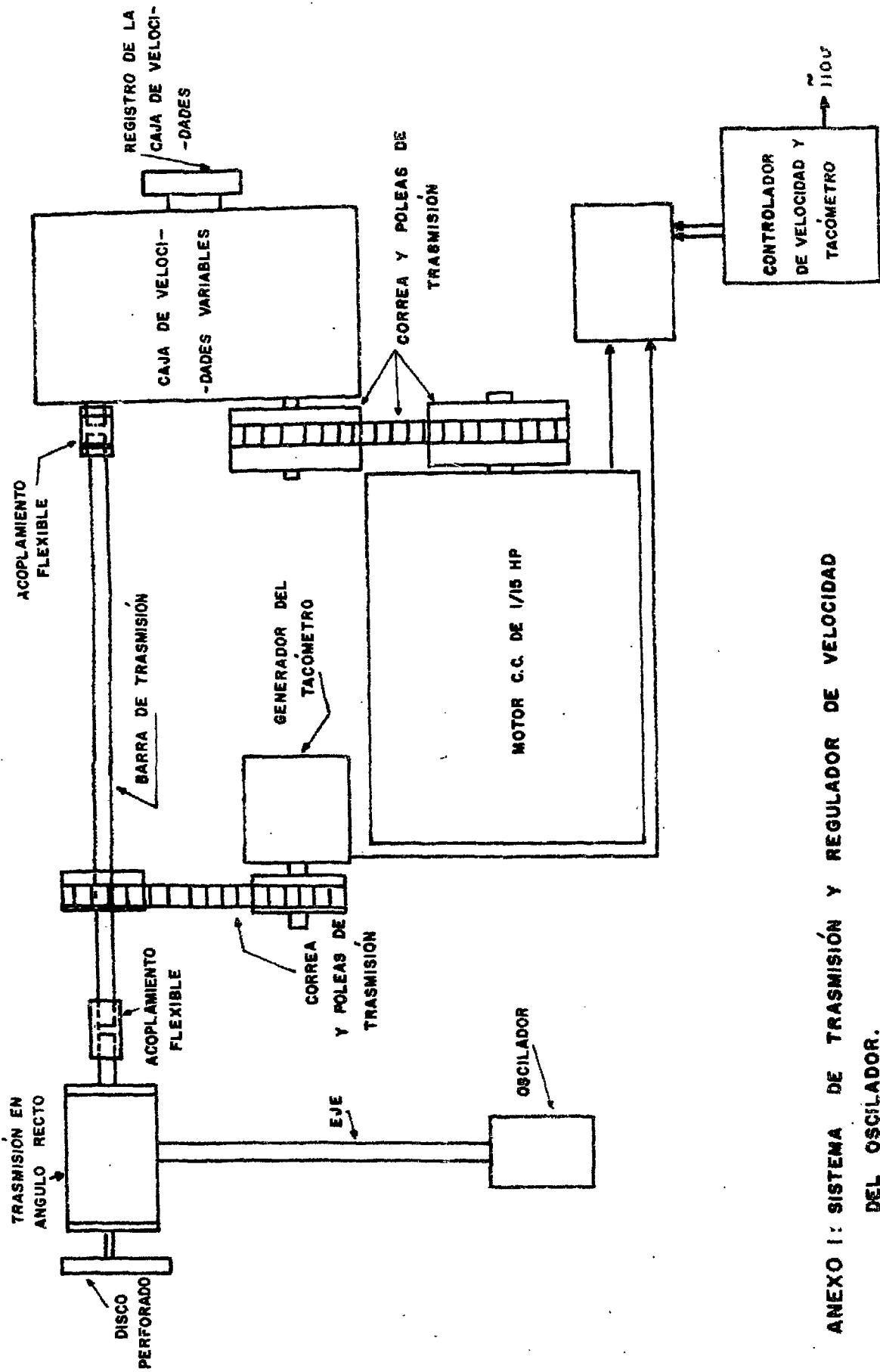
- Se traen dos paralelas que abarquen la amplitud de la senoide.
- Se traza una tercer paralela equidistante de ambas. Esta corresponde a  $I_0$ . Si  $\delta k(\omega)$  y  $\delta I(\omega)$  estuviesen en fase, la señal del registro superior coincidiría con el corte de la senoide con la línea  $I_0$  del registro inferior.



a) Amplitud:  $\delta I(\omega) = \frac{x \text{ mm. } 0,6 \times 10^{-8} \text{ Amp}}{10 \text{ mm}}$

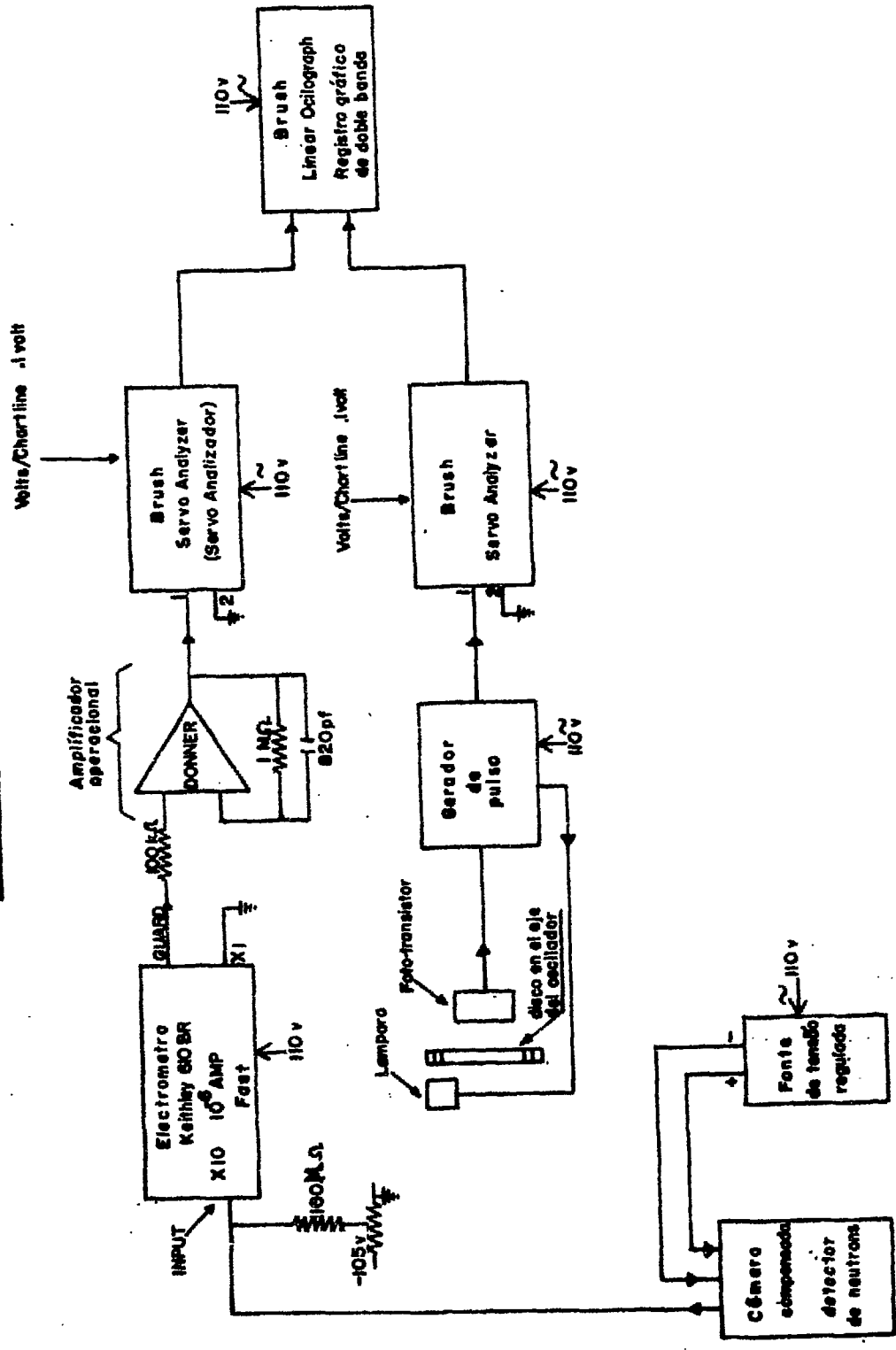
donde  $0,6 \times 10^{-8}$  Amp es el valor de calibración para el desplazamiento d 10 mm.

b) Angulo de fase:  $\theta = \frac{z \text{ mm. } 180^\circ}{y \text{ mm}}$

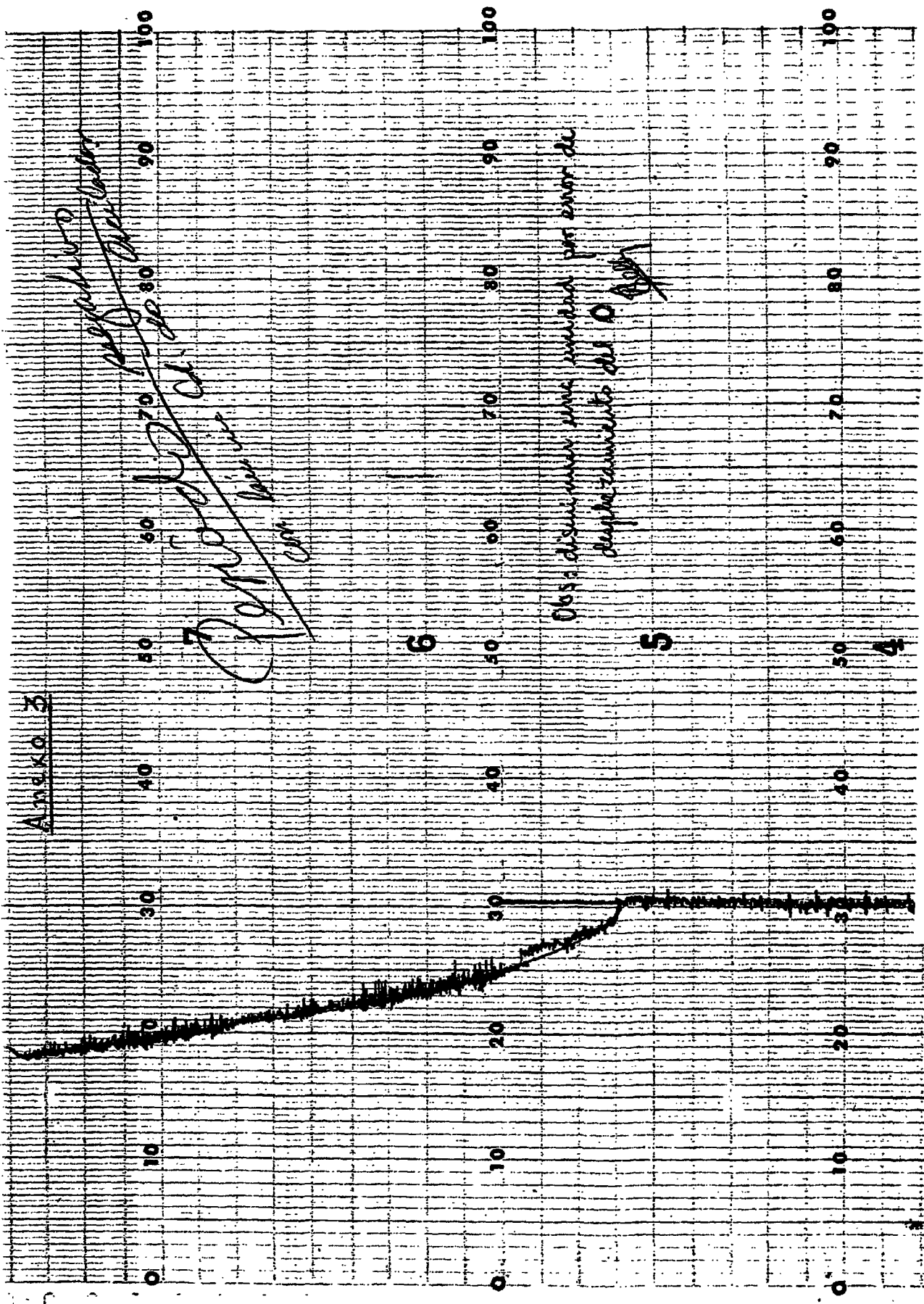


ANEXO 1: SISTEMA DE TRASMISION Y REGULADOR DE VELOCIDAD DEL OSCILADOR.

ANEXO 2: CIRCUITO ELECTRÓNICO



Anexo 3



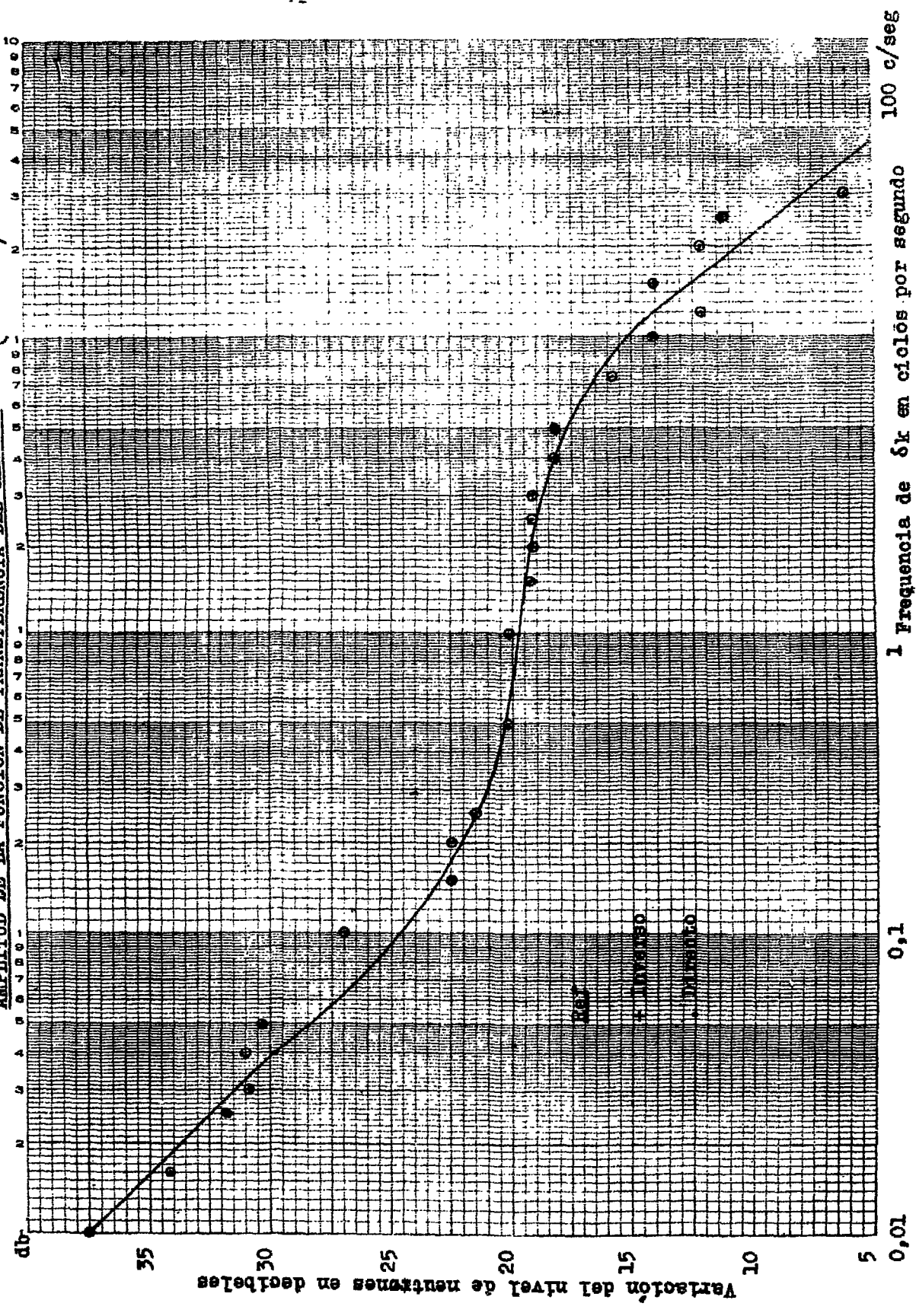
*Handwritten notes:*  
 con  
 7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

AMPLITUD DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL REACTOR (Anexo 4)





AMPLITUD DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL REACTOR (Anexo 4)



5

0,01

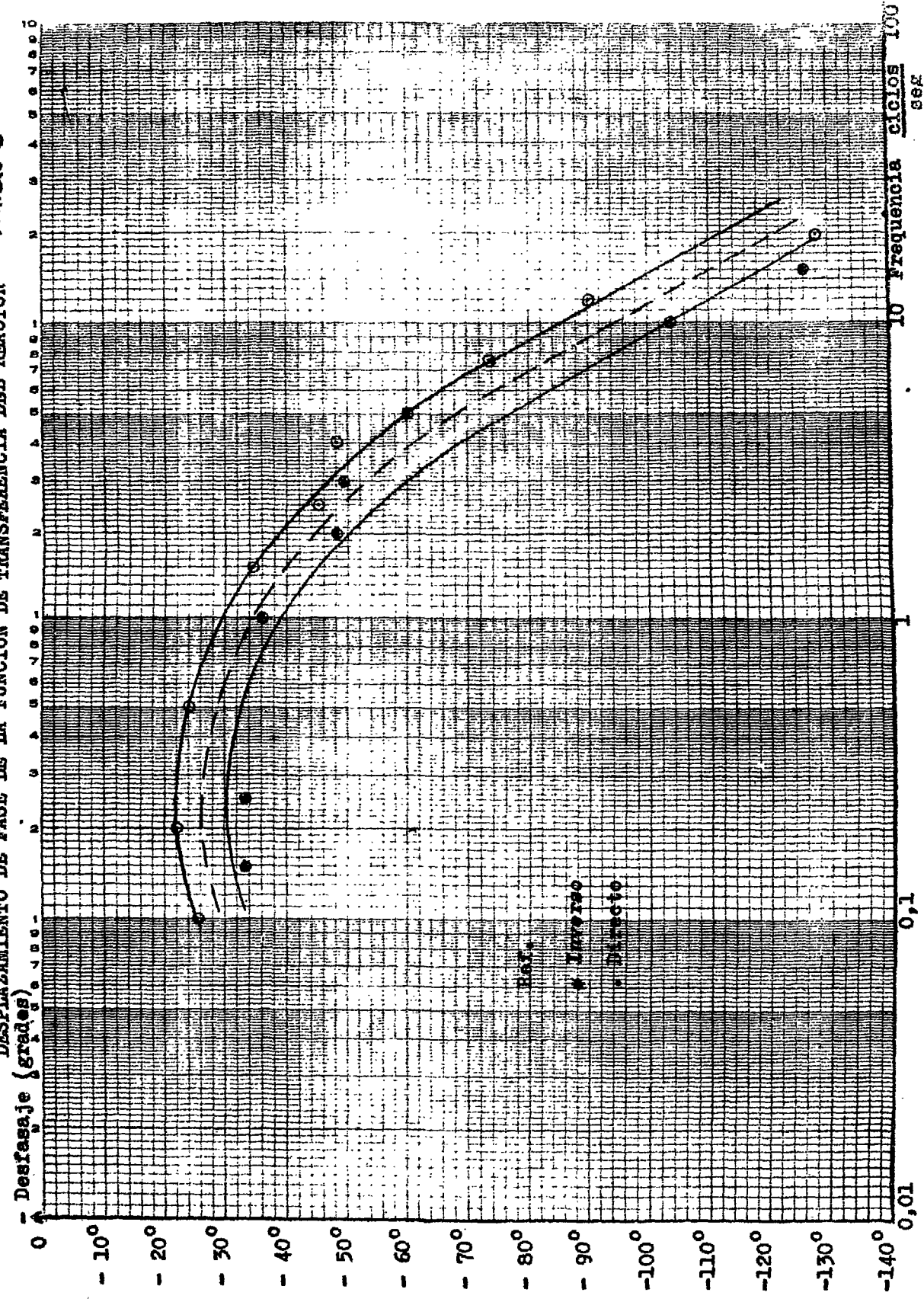
0,1

1 Frecuencia de  $\delta k$  en ciclos por segundo

100 c/seg

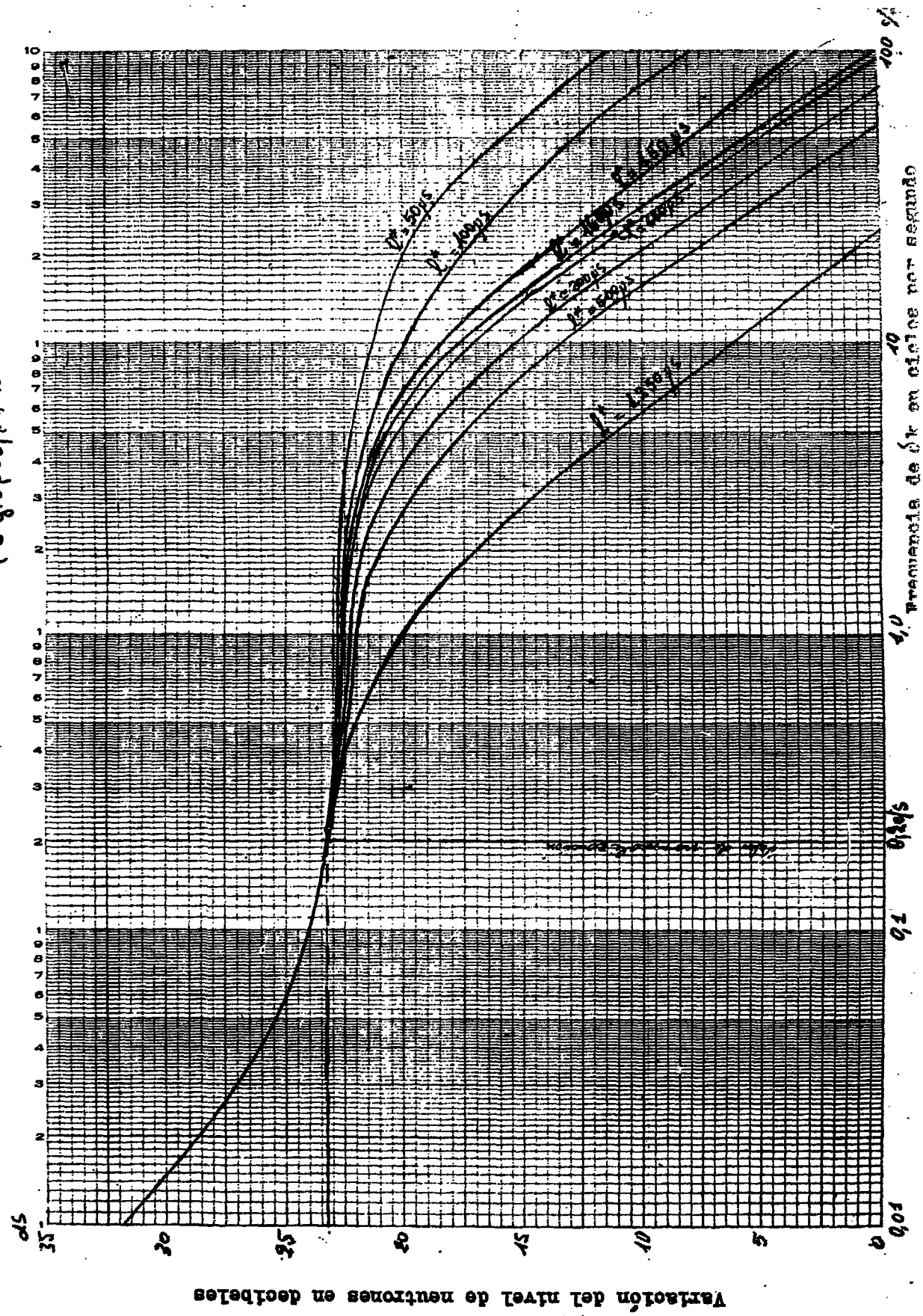
Anexo 5

DESPLAZAMIENTO DE PASE DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL REACTOR





AMPLITUD DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL REACTOR (CURVAS TEORICAS) - ANEXO 6  
 (6 grupos de  $\beta = 0.075$ )



Variación del nivel de neutrones en decibelios

Frecuencia de  $\beta$  en ciclos por segundo

## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al personal del IEN que de una u outra manera colaboraran en la preparación del material y equipos necesarios para montar la experiencia.

En particular meo agradecimientos a:

- Ingeniero Luiz Osório de Brito Aghina por la orientación prestada y por las modificaciones hechas en el oscilador original, como asimismo por el proyecto del circuito electrónico de medidas, sin los cuales este trabajo no hubiera podido realizarse con la rapidez necesaria.

- Ingeniero Juan Bautista Soto por su apoyo en la preparación del trabajo.

- Ingeniero Sílvia Du-bugras de Brito por la tediosa labor de lectura de los registros gráficos.

- Técnico Manoel Júlio Stuck Rebelo da Silva por el entusiasmo y eficiencia con que preparó y montó el circuito electrónico necesario para la experiencia.

- Secretarias Célia Rejane Pereira de Mello , Leny Manchester de Almeida Oliveira por la buena voluntad en transcribir el presente relatório en idioma castellano.

Rio de Janeiro, febrero de 1970

BIBLIOGRAFIA

- Measurement of the Transfer Function of Argonaut by Gerard S. Pawlicki (Argonne National Laboratory).
- Measurements of the Transfer Function of the Florida University Training Reactor by T. F. Parkinson (Engineering Progress at the University of Florida, June, 63)
- Dipole Effect of Pile Oscillator by Toshio Kawai (Journal of Nuclear Science and Technology, 2, (6), p. 217 - 224 (June 1965).
- Control of Nuclear Reactors and Power Plants by M. A. Schultz (Mc Graw-Hill Book Company, Inc.).
- Théorie de la Réaction de Fission en Chaîne par A. Blaquiére.
- Medida da função de transferência no Argonauta (Argonne-USA), LUIZ OSÓRIO DE BRITO ACHINA.



/crpm-lmao.