

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1966

08.66.03

Septiembre de 1966

COMPARADOR PARA CONTROL

AUTOMATICO

Horacio Erber

Septiembre de 1966

COMPARADOR PARA CONTROL AUTOMATICO
DE UN REACTOR NUCLEAR

Horacio Huber
Ingeniero del departamento de reac-
-tores de la Comisión Nacional de
Energía Atómica.

-I- INTRODUCCION

Un sistema de control automático usado generalmente en reactores, es el que se muestra en el esquema a continuación.

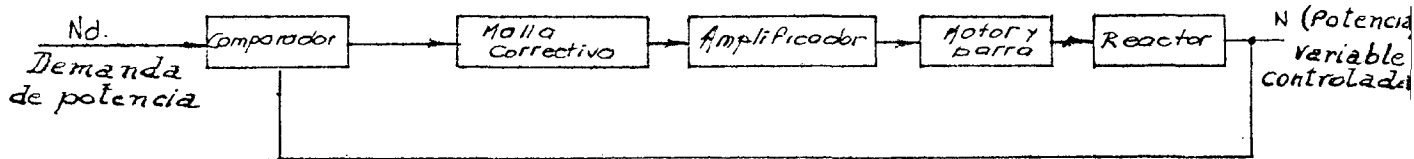


Figura 1

Este sistema actúa sobre una barra de control del reactor, designada barra de regulación, que puede ser accionada por medios eléctricos, hidráulicos o neumáticos. En general, la velocidad de desplazamiento es proporcional a la magnitud de la variable actuante.

La potencia del reactor se mide en términos de su flujo neutrónico, utilizando un detector de neutrones, generalmente una cámara de ionización. Esta señal, que representa la potencia real del reactor, se compara con la variable de entrada, que en este caso representa la potencia requerida o nivel de demanda. Esta comparación se realiza en el circuito comparador, que suministra a la salida una señal proporcional a la diferencia entre las variables comparadas. Esta señal o error como se la suele llamar, puede ser corregida por una malla correctora, con el objeto de mejorar la estabilidad del sistema.

Un amplificador comanda finalmente el órgano motor del mecanismo de accionamiento de la barra, en el sentido conveniente hasta eliminar el error producido.

II - FUNCION DEL COMPARADOR

En todo sistema de comando automático está incluido el comparador. Su misión consiste en detectar cualquier diferencia entre la demanda y la salida. En el caso de un reactor nuclear, además de esta función, cumple otra que tiene por objeto linealizar el lazo de control, pues la presencia del reactor dentro del mismo da al sistema características no lineales.

La función transferencia simplificada del reactor es de la forma (1)

$$K \cdot G(s) = \frac{n_0}{s \cdot l^*} \cdot \frac{s + \bar{\lambda}}{s + \bar{\lambda} + \bar{\beta}/l^*} \quad (1)$$

n_0 : potencia del reactor

l^* : vida media de los neutrones

$\bar{\lambda}$: constante de decaimiento promedio; $\bar{\lambda} = \frac{\beta}{\sum \beta_i t_i}$

$\bar{\beta}$: fracción de neutrones retardados; $\bar{\beta} = \sum \beta_i$

El hecho de que la ganancia de la F.T. sea dependiente del nivel de operación del reactor, permitiría operar satisfactoriamente al sistema de control, sólo a potencias próximas al valor de equilibrio; en un servosistema como el que se usa para el control automático, valores elevados de la ganancia pueden tornarlo inestable.

Si dentro del sistema existe un elemento cuya salida es inversamente proporcional al nivel de potencia, la F.T. en lazo abierto del mismo, no dependerá del nivel de operación.

Esta función la realiza generalmente el comparador, suministrando una señal de error de la forma

$$\frac{N_d - N}{N_d} \quad \begin{array}{l} N_d : \text{potencia de demanda} \\ N : \text{potencia real} \end{array}$$

Prácticamente es más simple realizar la división por N_d , lo que no altera fundamentalmente las cosas pues estos valores, al nivel que actúa el control automático, son próximos entre sí.

Resumiendo, las funciones del comparador son:

- a) - Proveer la señal de error necesaria para el sistema automático.
- b) - Eliminar la no linealidad del reactor, dividiendo el error por N_d .

-.--.-.-.-.-.-

III - DESCRIPCION DEL COMPARADOR

Se describe a continuación un comparador que suministra una señal de error eléctrica y que fuera utilizado en ensayos del sistema de control automático del R.A.1.-

El circuito básico del comparador es un amplificador operacional, conectado como sumador(1), en el que una de las resistencias de entrada es un potenciómetro lineal.

Las características principales que presenta este montaje son:

- La señal de potencia se obtiene directamente del amplificador de corriente del canal lineal.-
- En el dial del potenciómetro se selecciona el valor de N_d como fracción del valor N_{max} de la década en que está midiendo el amplificador de corriente.-
- La potencia puede ser modificada, accionando a velocidad constante el cursor del potenciómetro. La potencia del reactor sigue estrechamente las variaciones de N_d .

El esquema del comparador se detalla en la figura 2. Con referencia a esta figura, tenemos:

$$\text{Si } E \text{ ref. } = -V_1 \text{ máx.}$$

$$V_1 = - \frac{N}{N_{máx.}} E \text{ ref.} \quad (2)$$

$$V_e = - \left[V_1 \cdot \frac{R_f}{DR_a} + E \text{ ref.} \cdot \frac{R_f}{R_b} \right] \quad (3)$$

$$\text{Si } R_a = R_b \text{ y } \frac{R_f}{R_a} = K$$

$$V_e = - K \left[V_1 \frac{1}{D} + E \text{ ref.} \right] \quad (4)$$

$$\text{Como } D = \frac{N_d}{N_{máx.}} \quad (5)$$

(1) Referencia 2.

Reemplazando (5) y (2) en (4)

$$V_E = -K \left[-\frac{N}{N_{m\acute{a}x}} \frac{N_{m\acute{a}x}}{N_d} + 1 \right] E_{ref}$$

$$V = -K \cdot E_{ref} \left[\frac{N_d - N}{N_d} \right] \quad (6)$$

Si $R_f = R_a = R_b$, $K = 1$

Donde:

N : potencia del reactor

$N_{m\acute{a}x}$: valor máximo de potencia de la década seleccionada en el amplificador de corriente.

V : tensión que representa el error.

V_1 : tensión a la salida del amplificador de corriente, proporcional a N .

D : relación entre el valor de la potencia deseada y la máxima de la década.

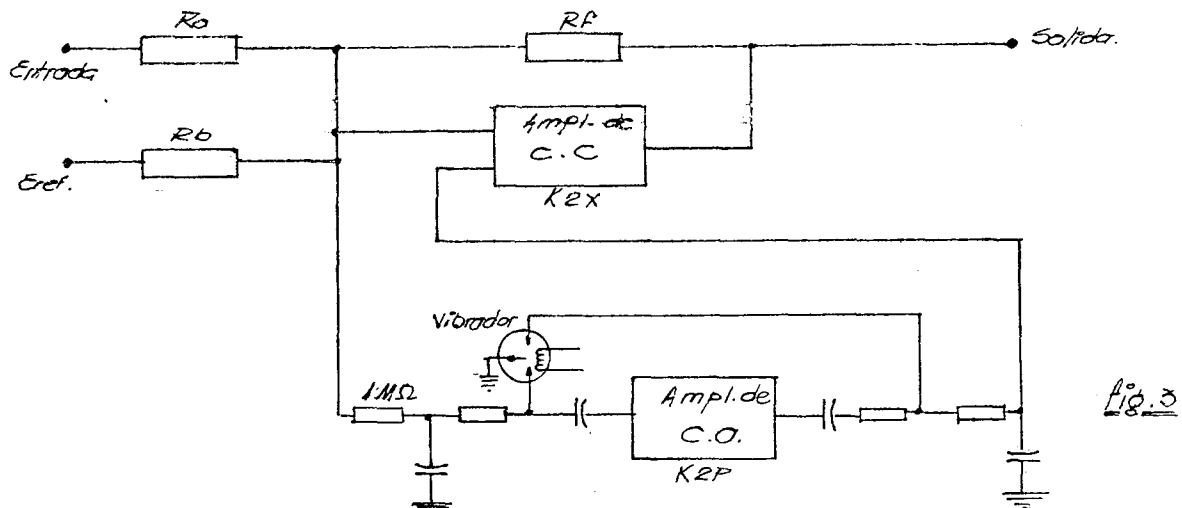
N_d : valor de potencia deseada.

E_{ref} : tensión de referencia.

Si $E_{ref} = 10$ volt, el comparador produce una señal de 0,1 volt cuando el error es de 1%. Aumentando el valor de R_f en relación con R_a y R_b , puede obtenerse una ganancia mayor.

IV - EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

El comparador exige, que el amplificador operacional posea una elevada estabilidad, ya que cualquier deriva, produciría un error en el valor de la potencia de estabilización, error que iría aumentando con el tiempo. Es por ello que se utilizó en el equipo ensayado, un amplificador operacional con balance automático (1); la deriva propia del amplificador de continua, queda dividida por la ganancia del amplificador de c.a. El diagrama block del amplificador completo se muestra a continuación:



El amplificador operacional utilizado, es un modelo desarrollado en el Departamento de Instrumentación de la C.N.E.A.- Se midió la deriva a la salida, registrando la tensión durante 24 horas de funcionamiento. El valor obtenido resultó inferior a 100 μ volt. El circuito completo se ve en la figura 4.

(1) Referencia 2.

V - SEÑAL DE ERROR COMPLETA

Cuando además de estabilizar la potencia del reactor en un valor constante, se desea que las variaciones de potencia sean comandadas automáticamente entre los valores inicial y final de la evolución, la señal del comparador debe corregirse para lograr la estabilidad necesaria del lazo.

Una forma de conseguirlo, es adicionar a la señal de error del comparador un término proporcional a la derivada del logaritmo de la potencia (1). La señal de comando es en tal caso

$$V_c = A \frac{N_d - N}{N} - B \frac{1}{N} \frac{dN}{dt} \quad (7)$$

Donde A y B son constantes.

Esta señal es normalmente suministrada por el medidor de período, que como equipo de medición posee en general una constante de tiempo relativamente larga a fin de obtener una lectura estable en valores de corriente bajos. Este inconveniente puede obviarse o bien elaborando por medio de un calculador especial la señal $\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$ (2) o utilizando un canal de medición logarítmico exclusivo para el control automático.

En caso de variarse bruscamente el valor de N_d , el error es muy grande y la barra de regulación se desplaza a máxima velocidad hasta tanto V_c se anule. Para este momento ya el período sería intolerablemente corto. Para limitar a un valor máximo la velocidad de crecimiento de la potencia, es necesario limitar la señal de error de potencia. Si llamamos $|C|$ a este valor, el período de la evolución de potencia será:

$$T = \frac{B}{A \cdot |C|} \quad (8) \quad \text{Pues} \quad T = \frac{1}{\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}} \quad (9)$$

Esta limitación se realiza para tensiones positivas y negativas utilizando diodos polarizados en sentido inverso, realimentando el amplificador. Las tensiones de polarización se obtienen de un divisor de tensión.

• • • • •

VI - CIRCUITO DEL LIMITADOR

De acuerdo con la expresión (8), el período puede controlarse variando la relación A/B o bien el valor límite $|C|$; el primer método debe desecharse o limitar su uso a ajustes finos ya que dicha relación se elige teniendo en cuenta la estabilidad óptima del sistema(1). Luego queda como recurso alterar el valor de la tensión límite del comparador, que es lo que se ha hecho en el equipo ensayado.

Una llave conmutadora selecciona dos tensiones límites tales que se obtienen períodos de 30 segundos y 55 segundos.

Conociendo el valor de las constantes A y B, se obtiene: —

$$\begin{aligned} A &: 0,1 \text{ volt/\%} \\ B &: 2 \text{ volt/\%} \quad (2) \end{aligned} \quad |C| = \frac{B}{A} \cdot \frac{1}{T} \quad \begin{aligned} |C|_{T_1} &= 0,36 \\ |C|_{T_2} &= 0,66 \end{aligned}$$

El valor de las tensiones límites correspondientes resulta:

$$V_{T_1} = |C|_{T_1} \cdot A = 3,6 \text{ volt}$$

$$V_{T_2} = |C|_{T_2} \cdot A = 6,6 \text{ volt}$$

En el caso que la evolución se verifique con período de 30 segundos, la barra de regulación ha introducido aproximadamente 0,003 δk de reactividad positiva. Para que la potencia final se alcance sin ser sobrepasada, la barra debe eliminar este exceso a partir del instante en que el error comienza a ser inferior al valor limitado. (3,6 ó 6,6 volts).

La velocidad de crecimiento de la potencia medida en %/seg, se obtiene conociendo el período:

$$s \left(\frac{\%}{\text{seg}} \right) = \left(\frac{dN/N}{dt} \right) \cdot 100 = \frac{100}{T}$$

(1) Referencia 6 y 7.

(2) Valores del equipo C.N.E.A. montado en el R.A.1

Para un período de 30 segundos, $s = 3,3 \frac{\%}{\text{seg}}$.

El tiempo que dispone la barra para regresar a $\delta k = 0$ será:

$$t = \frac{|c| (\%)}{s \left(\frac{\%}{\text{seg}} \right)} = \frac{66 \%}{3,3 \frac{\%}{\text{seg}}} = 20 \text{ seg.}$$

La velocidad de la barra deberá ser por lo tanto superior al valor.

$$a_{\text{Reg}} \geq \frac{(\delta k)^+}{t} = \frac{0,003}{20} = 15 \frac{\text{p cm}}{\text{seg}} \quad (1)$$

En general

$$t = \frac{|c| (\%)}{s \frac{\%}{\text{seg}}} = \frac{|c| (\%) \cdot T}{100}$$

$$y \quad a_{\text{Reg}} \geq \frac{(\delta k)_{\text{máx}}^+ \cdot 100}{|c| (\%) \cdot T} = \frac{A}{B} (\delta k)_{\text{máx}}^+$$

Un valor erróneo de la tensión E_{ref} conduciría a regular una potencia distinta de N_d , por lo que es conveniente verificar periódicamente su valor. Una llave conmutadora colocada en el frente del panel permite realizar esta verificación, por comparación con una tensión del valor correcto, pero de sentido contrario; el instrumento de cero colocado a la salida aprecia si existe desviación en el momento de efectuar la verificación.

El circuito completo puede verse en el Figura 5.

---.---.---.---.---

$$(1).- 1 \text{ pcm} = 10^{-5} \delta k.$$

VII - R E S U L T A D O S

Los resultados de los ensayos del comparador, instalado primeramente controlando automáticamente el RA-1 y luego el RA-0, se muestran en los registros de potencia de las figuras 6, 7 y 8.

En las figuras 6 y 7 se observa la evolución de la potencia ante demandas de variación automática. El comportamiento no es del todo satisfactorio, pues se observan oscilaciones antes de la estabilización en el valor final. Además el valor de potencia deseado no se mantiene con la precisión especificada.

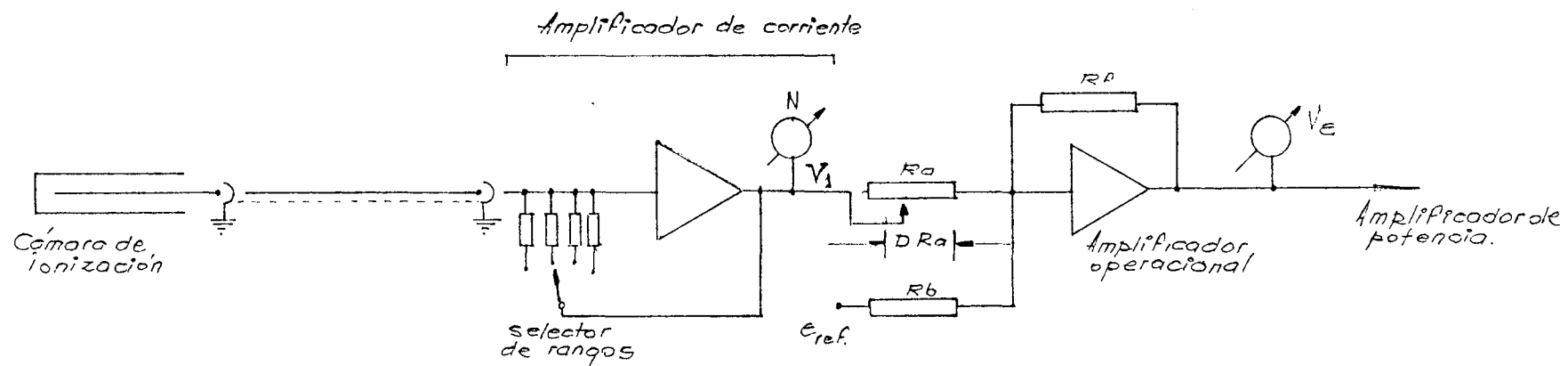
Estos resultados no eran inesperados ya que el periodómetro utilizado, que forma parte de la instrumentación del RA-1, posee una constante de tiempo del orden de 10 segundos, lo que perjudica la estabilidad y el comportamiento transitorio del sistema.

En la figura 8 se observa el registro de la potencia estabilizada automáticamente sin agregar la señal del periodómetro a la señal de error del comparador. La potencia se mantenía en el valor deseado, con oscilaciones que podían leerse en el instrumento del comparador, de sólo 0,2%.

Si bien aún no se han efectuado ensayos en el reactor con un nuevo medidor de período, de constante de tiempo apropiada, el problema se planteó en la computadora analógica con vistas a la utilización de este sistema en el RA-3. Los registros obtenidos fueron totalmente satisfactorios (1).

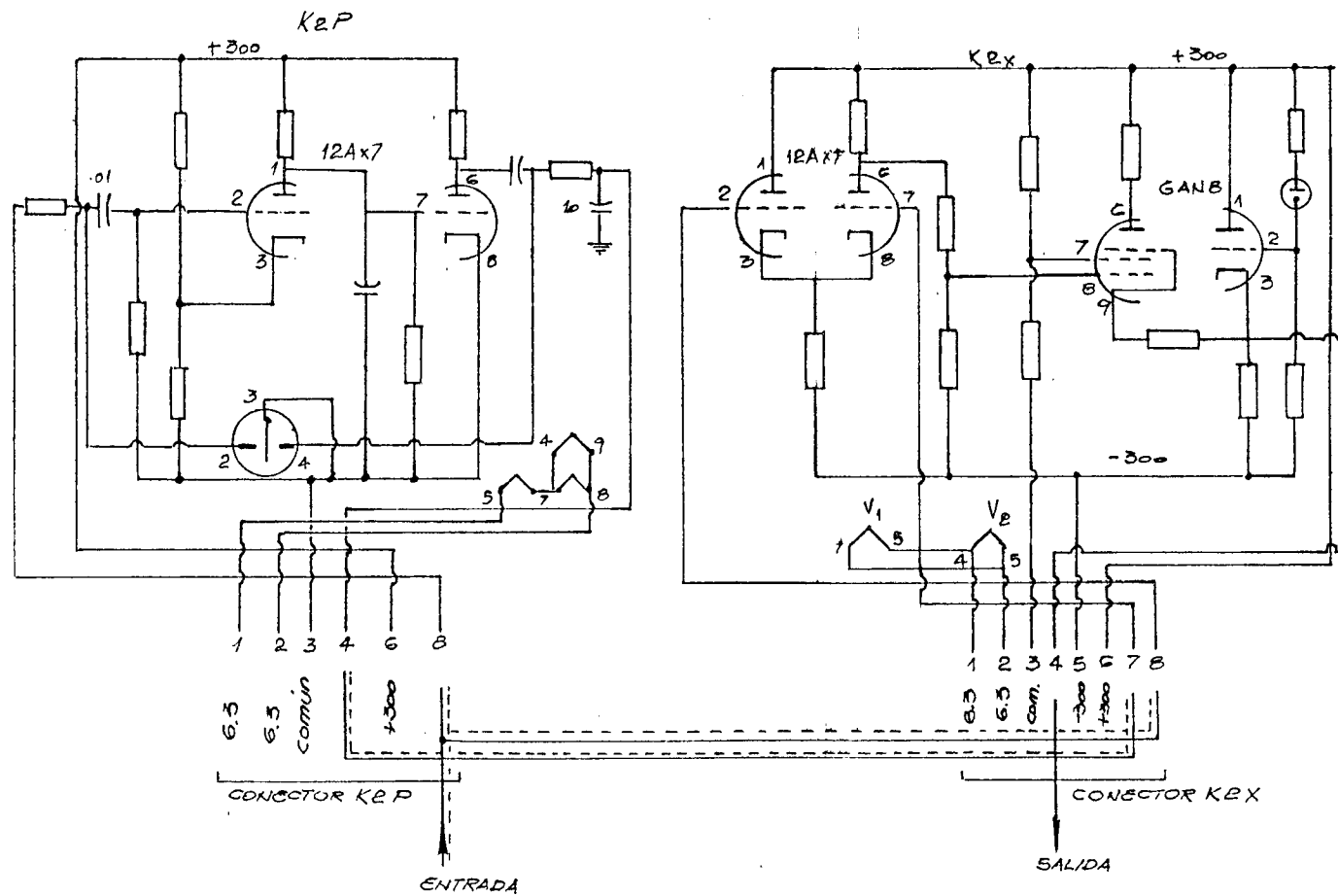
En cuanto al comparador, funcionó de acuerdo con lo previsto. La potencia se mantenía en el valor indicado por el dial del potenciómetro.

(1) Referencia 7.



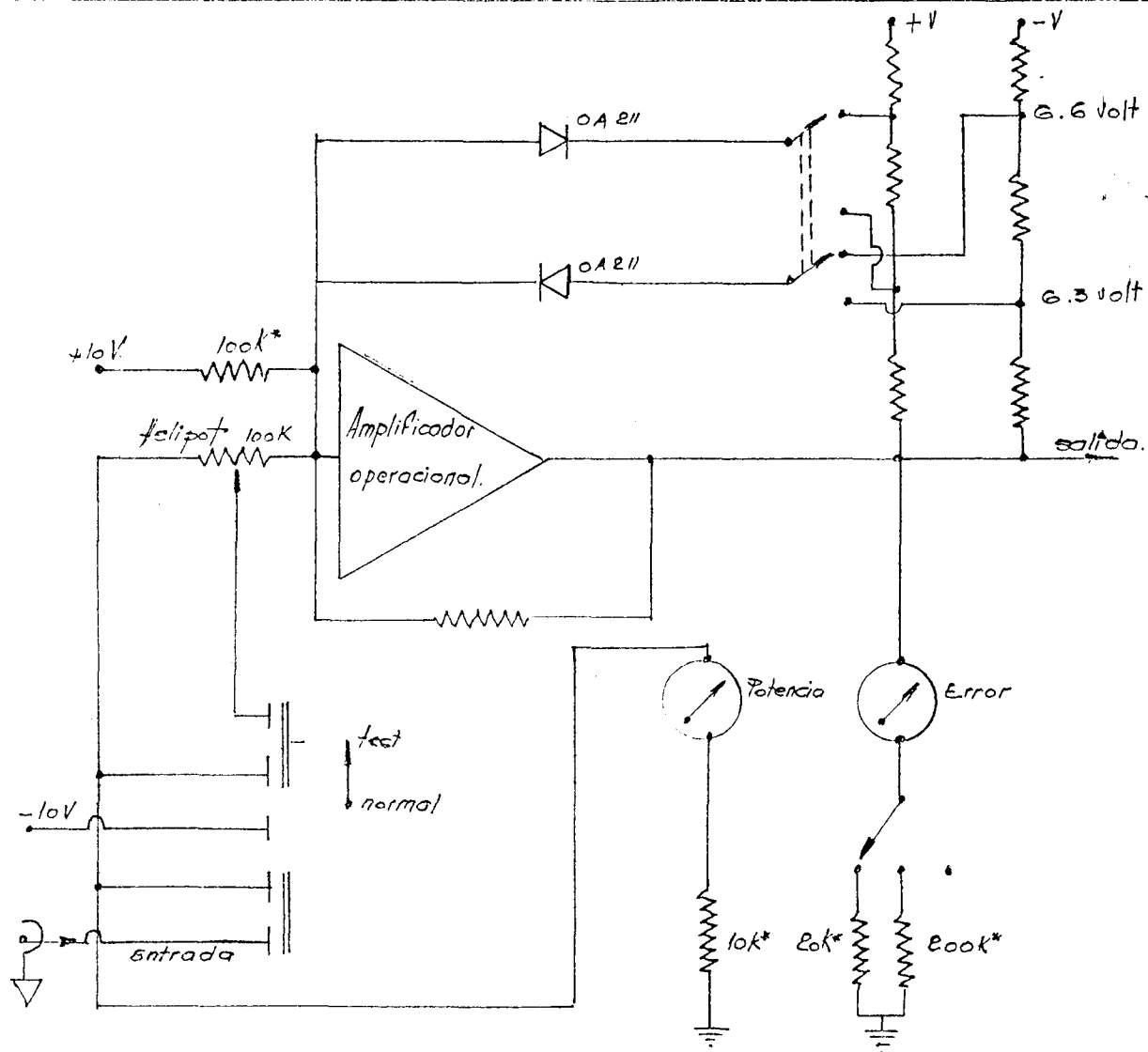
$$0.1 \geq D \geq 1 \quad R_a = R_b$$

Figura 2



AMPLIFICADOR OPERACIONAL

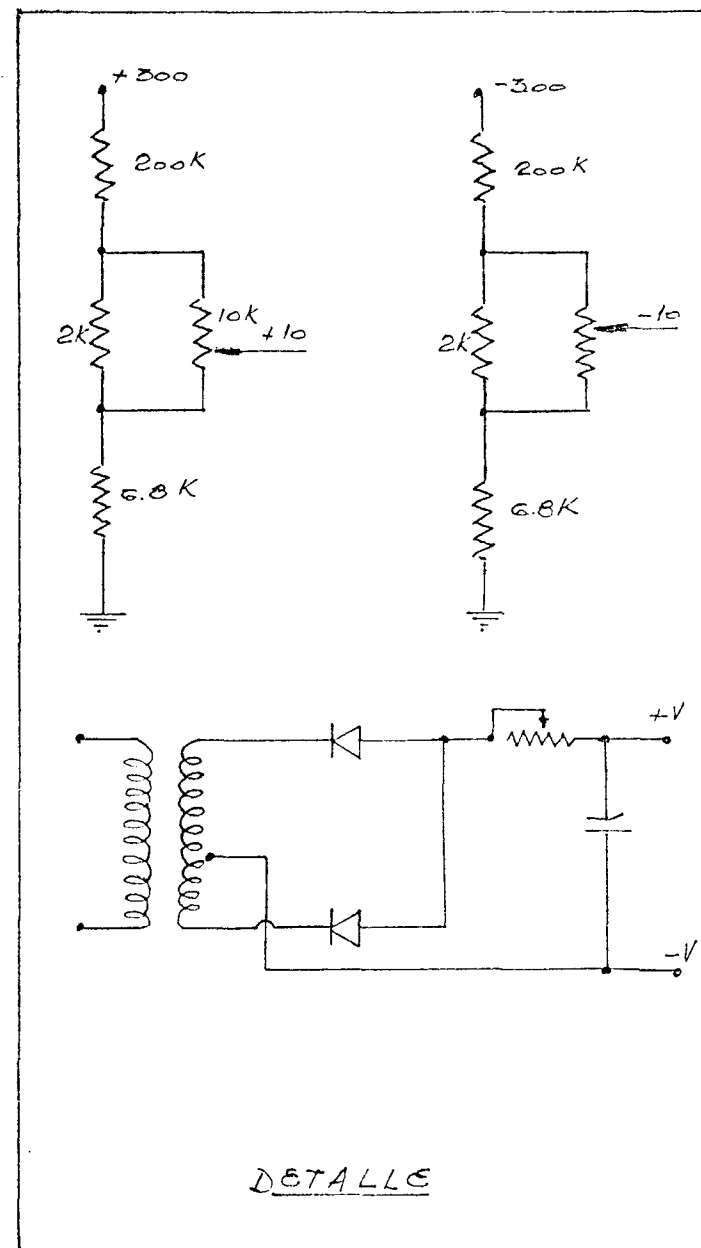
Figura 4



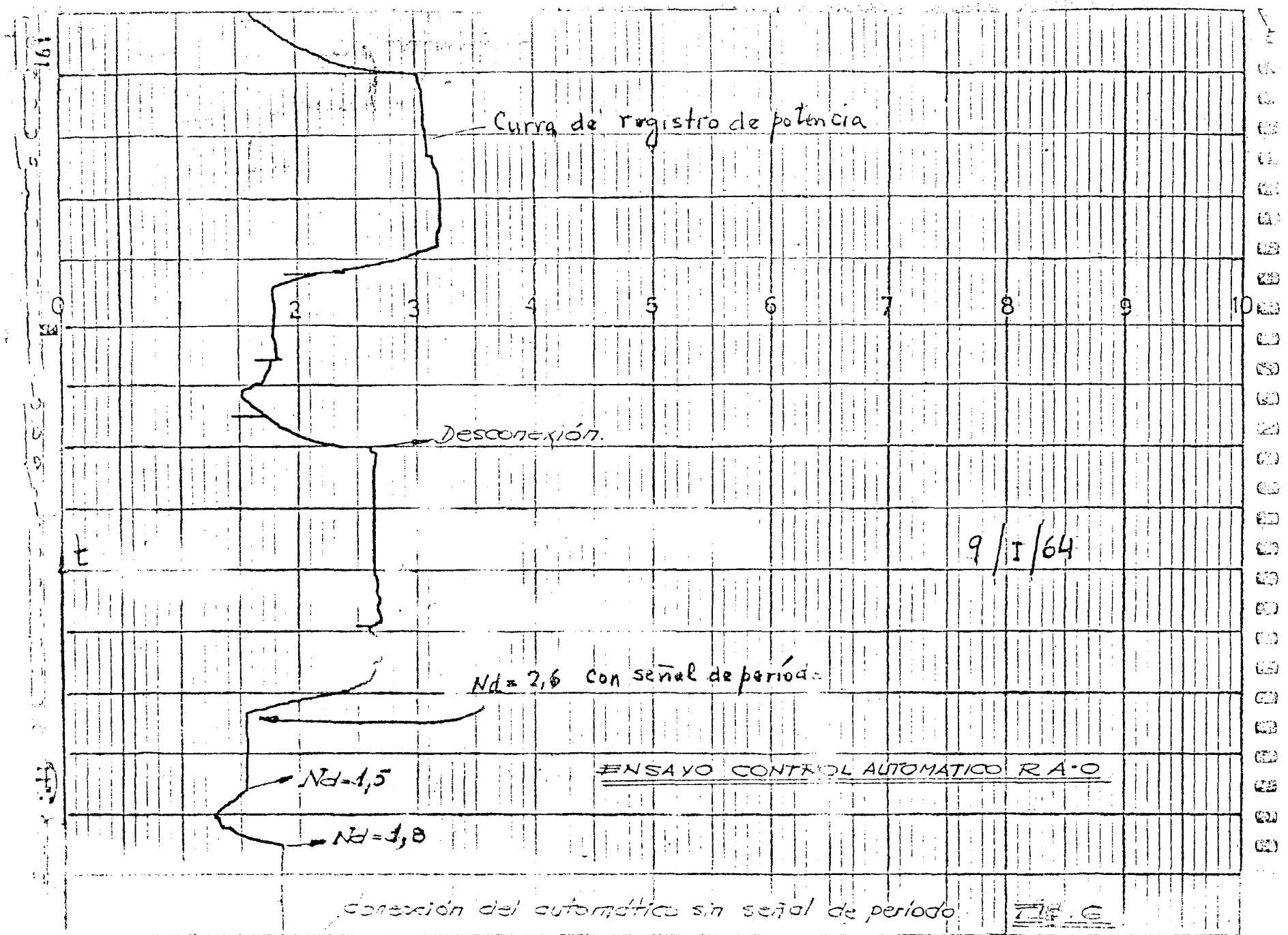
AMPLIFICADOR DE ERROR

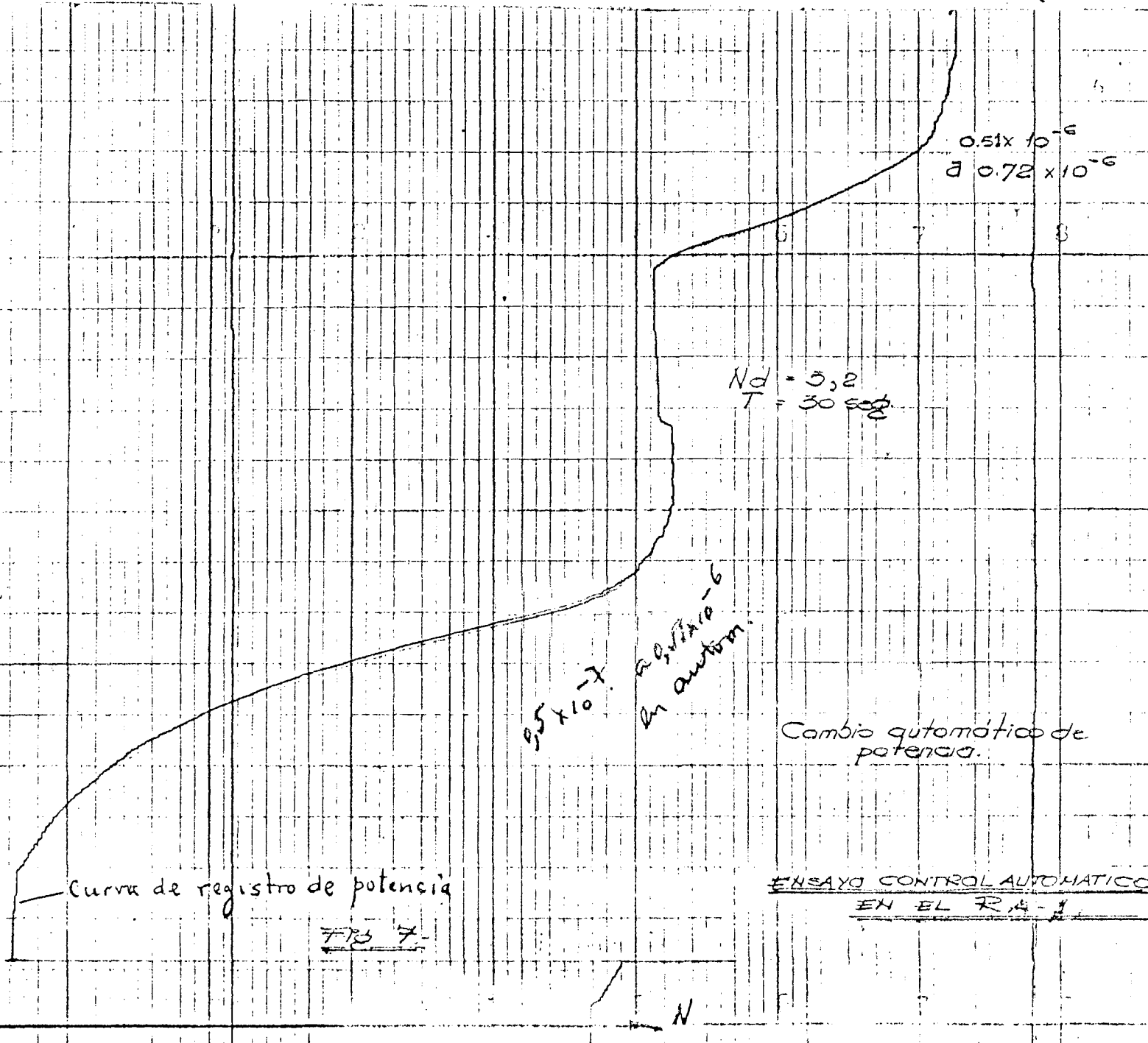
Figura 5

* resistencias de 1%



DETALLE





Curva de registro de potencia

Fig 7-

0.5 x 10⁻⁶ a 0.72 x 10⁻⁶ en autom.

Nd = 5.2
T = 30 seg

Cambio automatico de potencia.

ENSAJO CONTROL AUTOMATICO
EN EL RA-1

2 Estabilización por la barra del automático

8

Movimiento de una barra de control grueso

Perturbación externa.

2

3

4

5

6

7

8

9

ENSAYO CONTROL AUTOMATICO EN EL RA-O
EFECTUADO EL 9/1/64.-

Conexión del control automático

Curva de registro de potencia

Fig 8.

BIBLIOGRAPHIA

- (1) - Schultz. Control of nuclear reactors and power plants. 2nd edition, Capit. 4. Mac Graw Hill 1961.
- (2) - Korn and Korn. Electronic analog and hybrid computers, Mac Graw Hill, 1961. Capit. 4.
- (3) - G. Mac Lusk. Automatic control of a research reactor. Nuclear electronics, 1959, Vol II, I.A.E.A.
- (4) - Genie Atomique, Vol II, Controle et pilotage de réacteurs, chapitre XIX. Bibliothèque des Sciences et Techniques Nucléaires. Presses Universitaires. Paris 1960.
- (5) - Jover, Weill, Samuel, Sigelle; Les piles piscines de 1000 kw, Méusine et Triton, Bulletin d'Informations Scientifiques et techniques, chapitre VIII, controle, N° 35, 1959
- (6) - Albers, Walters y otros. Simulation of the Dynamic behaviour of the Swiss D₂O Reactor Diorit. Second United Nations International Conference on the Peaceful uses of Atomic Energy. Ginebra 1959.
- (7) - B. Murmis - H. Huber. Estudio analógico del sistema de control automático del reactor RA-3. Publicación interna del Departamento de Reactores, Gerencia de Energía, CNEA, Mayo de 1966.
