

205

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

ESCUELA DE GRADUADOS

B



PROYECTO SOBRE MAQUINAS ELECTRICAS ESPECIALES.

Regulación automática de velocidad de un motor de corriente directa, usando una amplidina como regulador y amplificador de potencia.

José Héctor García Villarreal

2681

MONTERREY, N. L.

MARZO DE 1967



G

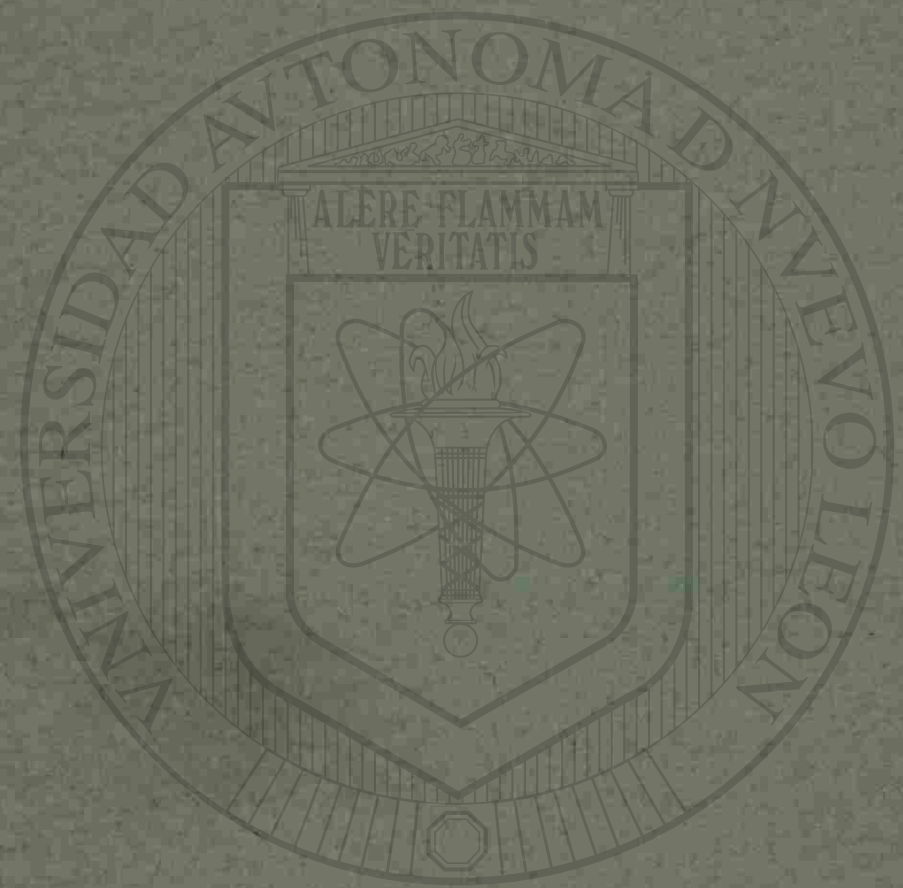
G 3

G 3

G 3

G 3

2681



UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICIDAD
ESCUELA DE GRADUACION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICIDAD
ESCUELA DE GRADUACION

JUAN I

PROYECTO ESPECIAL DE INGENIERIA ELECTRICAS

Regulación automática de velocidad de un motor de corriente directa, usando un amplificador como regulador y amplificador de potencia.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

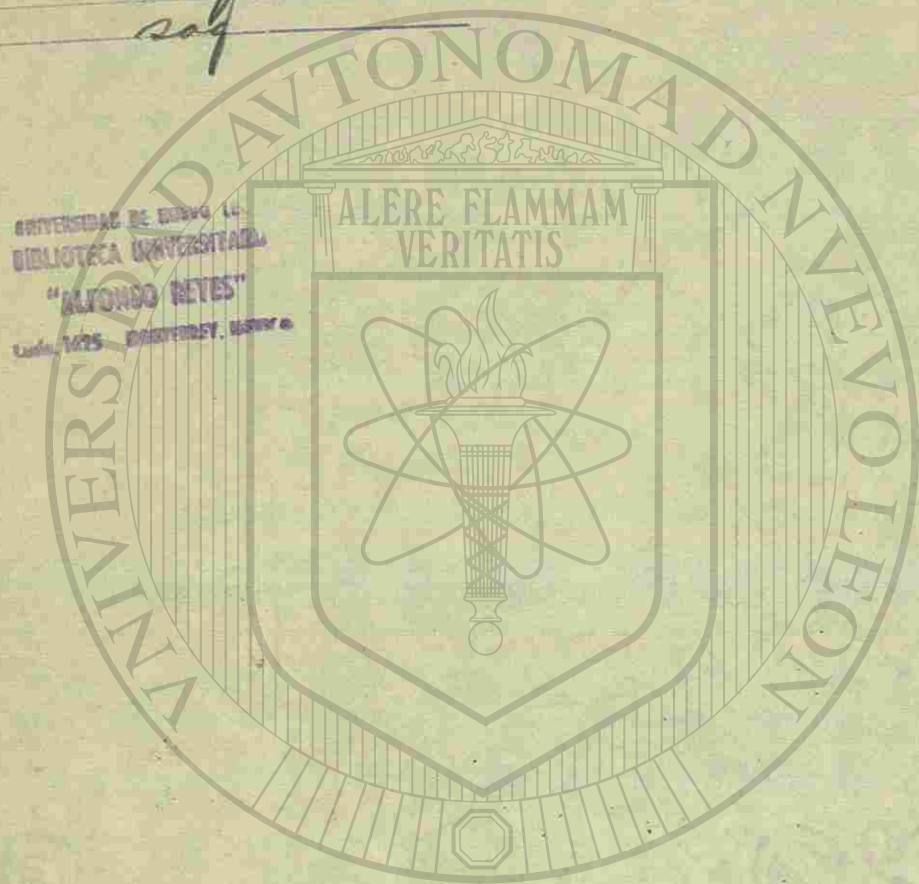


MONTERREY, N. L.

MARZO DE 1967



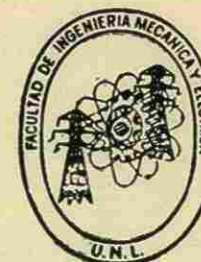
Núm. Clas. 621.812
Núm. Autor E 216 P
Núm. Adg. 059529
Procedencia 1
Precio _____
Fecha Junio de 1968
Clasificó seg
Catalogó saq



UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

ESCUELA DE GRADUADOS



PROYECTO SOBRE MAQUINAS ELECTRICAS ESPECIALES.

Regulación automática de velocidad de un motor de corriente directa, usando una amplidina como regulador y amplificador de potencia.

José Héctor García Villarreal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Capilla Atreusina
Biblioteca Universitaria



MONTERREY, N. L.

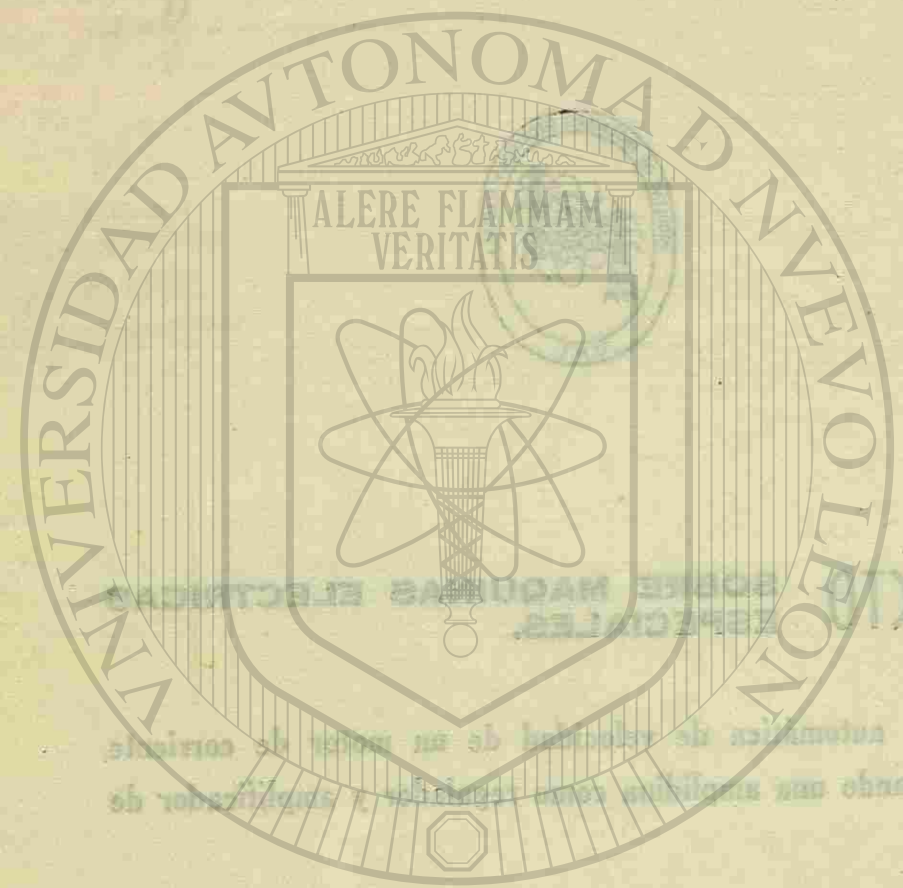
MARZO DE 1967

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
"ALFONSO REYES"

059529

TK 2681
G3

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICIDAD
ESCUELA DE GRADUADOS



CON CARÍÑO Y RESPETO

DEDICO ESTE TRABAJO

A MIS PADRES

JUAN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A MIS HERMANOS

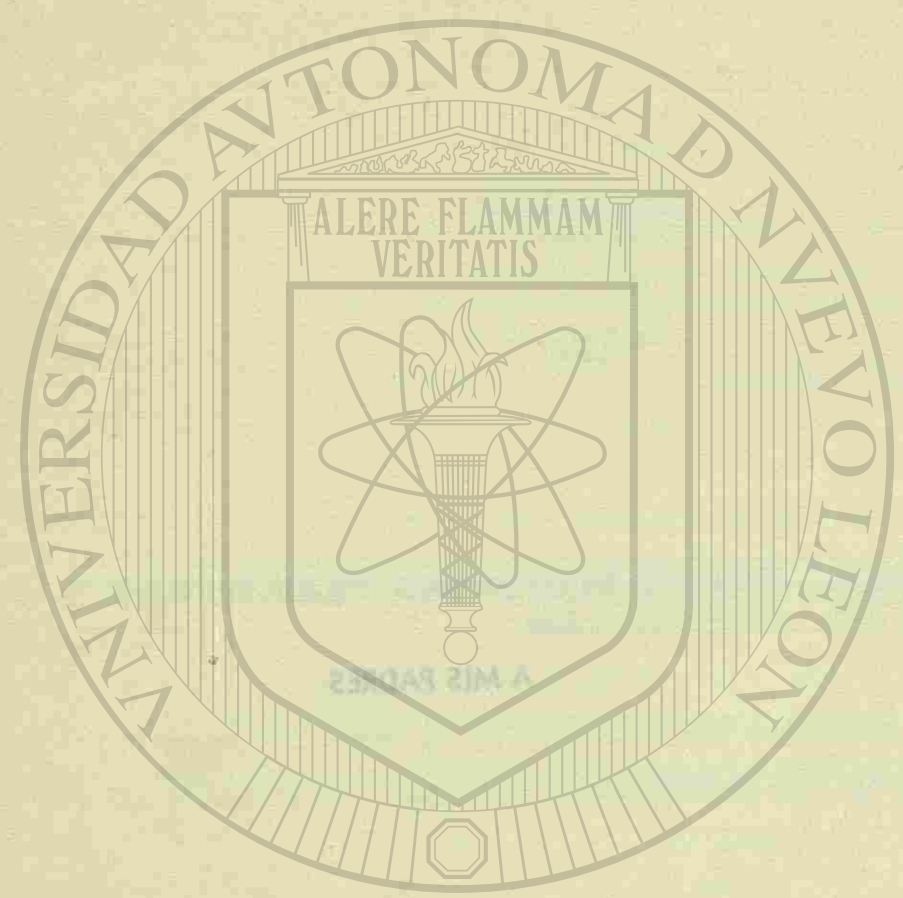


FONDO UNIVERSITARIO

MONTERREY, N. L.

CON CARINO Y RESPETO

DEDICADO A ESTE TRABAJO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A MIS HERMANOS

INTRODUCCION

SUMARIO

La creación de la Escuela de Graduados en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Introducción.- - - - - 0

.- Símbolos - - - - - 0

CAPITULO I

Parámetros y características de la Amplidina de 150 W que se encuentra en el laboratorio.- - - - - 2

.- Diagrama Block de la Amplidina. I.- - - - - 3

CAPITULO II

Parámetros y características del motor de 3 H.P. de la máquina generalizada y del generador del grupo XI - - - - 7

1.- Generador.

2.- Motor.

3.- Circuito de Retroalimentación.

CAPITULO III

Sistema de Regulación. - - - - - 12

1.- Diagrama Block y Eléctrico.

2.- Cálculo del error en estado estable.

3.- Cálculo de la Regulación.

4.- Pruebas hechas para comprobar la Regulación.

CAPITULO IV

Conclusiones y recomendaciones. - - - - - 20

Bibliografía.- - - - - 21

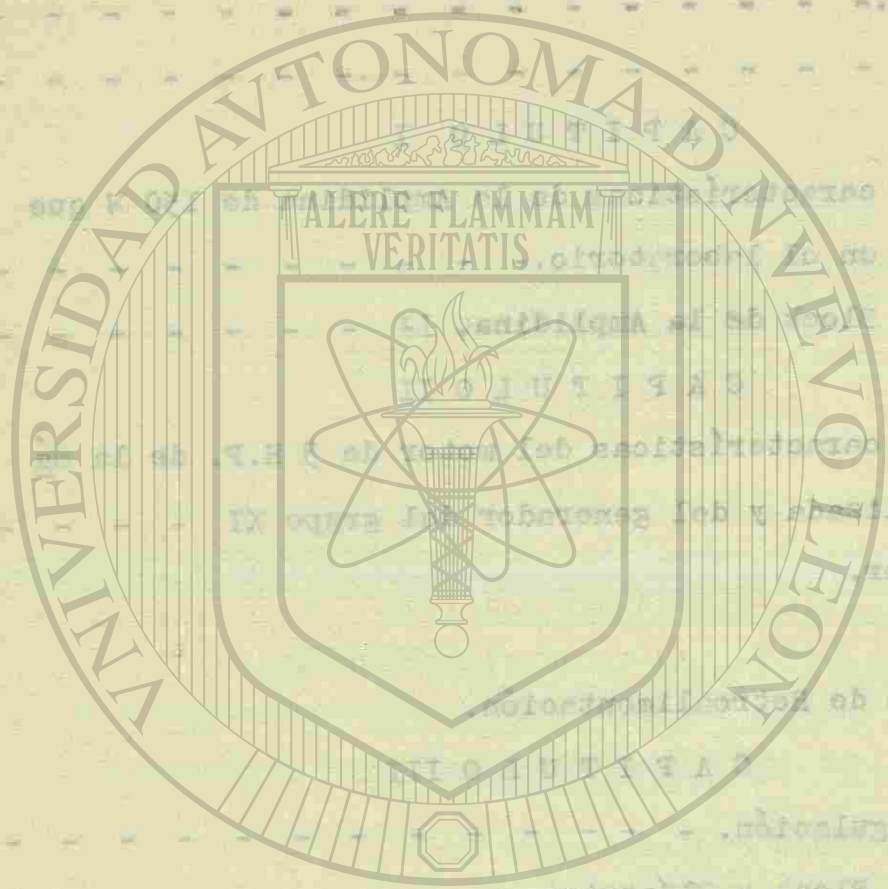


V = Voltaje en terminales

i_a = Corriente de armadura

V_A = Caída en las escobillas

ϕ = Flujo magnético el cual es proporcional a la intensidad de campo I_f .



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INTRODUCCION.

La creación de la Escuela de Graduados en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, a dado origen a dos formas, además de las ya existentes, para obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista:

Forma A.- Aprobar cuatro materias impartidas en la Escuela de Graduados.

Forma B.- Aprobar tres materias impartidas en la Escuela de Graduados y un proyecto sobre una de las materias aprobadas.

El propósito de este trabajo es cumplir con uno de los requisitos mencionados en la forma "B", para obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista.

La materia sobre la cual trata el presente trabajo es "MAQUINAS ELECTRICAS ESPECIALES" y en particular sobre la "AMPLIDINA", la cual es una máquina especial utilizada frecuentemente como amplificador rotatorio en sistemas de control.

La regulación de la velocidad de un motor de corriente directa se basa en la siguiente fórmula.

$$W = \frac{V - (\sum I_a r + 2AV)}{C1\phi}$$

Donde:

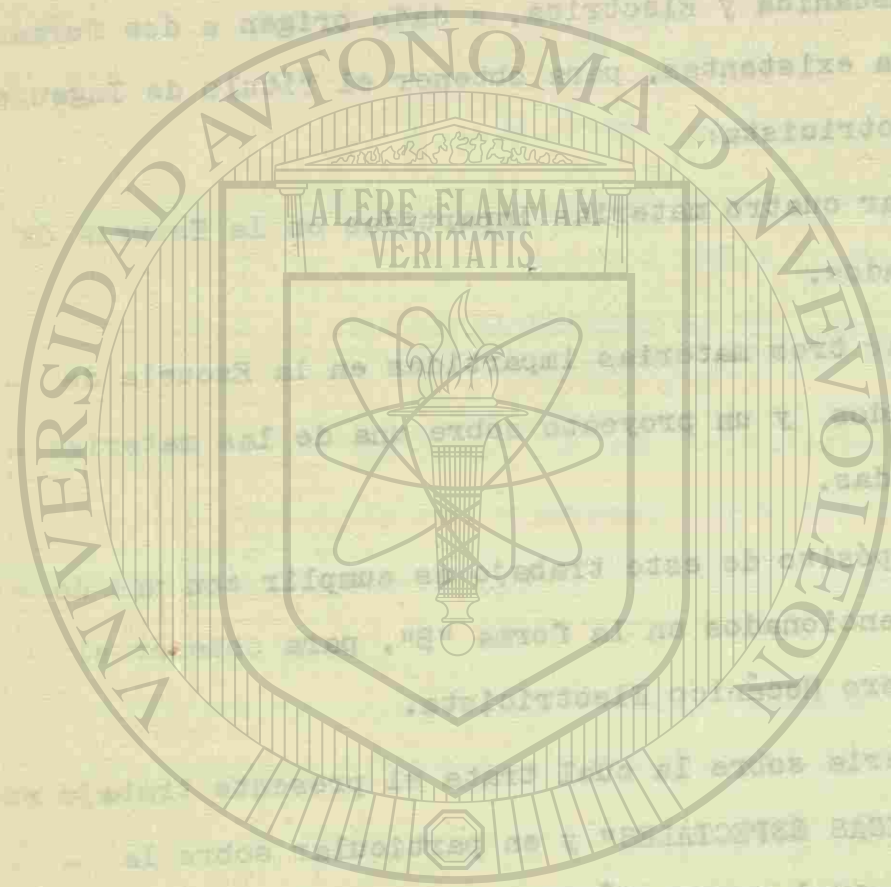
V = Voltaje en terminales

Ia = Corriente de armadura

AV = Caída en las escobillas

ϕ = flujo magnético el cual es proporcional a la corriente de campo If.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

C_1 = Constante física de la máquina

r = Resistencia en el circuito de armadura.

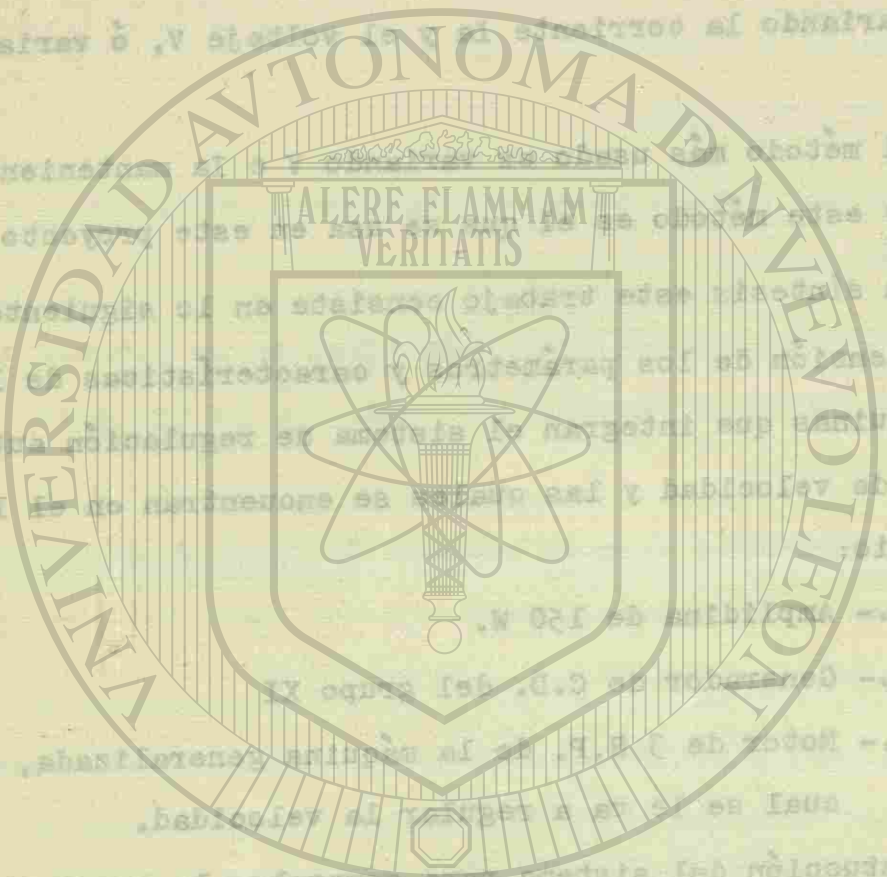
Como se observa en la fórmula, la regulación se puede lograr, ó variando la corriente I_a y el voltaje V , ó variando I_f .

El método más usado es variando V e I_a manteniendo I_f constante, y este método es el que se usa en este proyecto.

En síntesis este trabajo consiste en lo siguiente:

- 1.- Obtención de los parámetros y características de las máquinas que integran el sistema de regulación automática de velocidad y las cuales se encuentran en el laboratorio:
 - a).- Amplidina de 150 W.
 - b).- Generador de C.D. del grupo XI
 - c).- Motor de 3 H.P. de la máquina generalizada, al cual se le va a regular la velocidad.
- 2.- Constucción del sistema para comprobar la regulación.
- 3.- Obtención de los diagramas representativos.

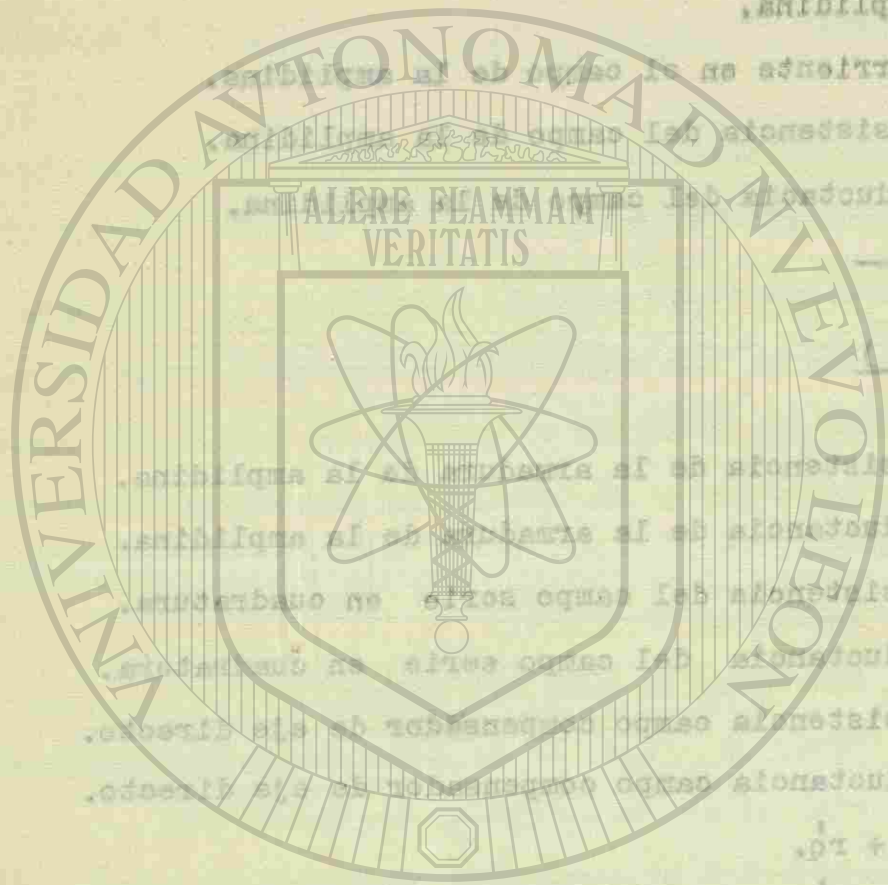
Agradezco la asesoría y las atenciones prestadas por el Ingeniero Hermilo Torres Patrón, así como también las atenciones brindadas por el personal del laboratorio. ®



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

SÍMBOLOS.

- Ve .- Voltaje aplicado a las terminales del campo de la - amplidina.
- If .- Corriente en el campo de la amplidina.
- rf .- Resistencia del campo de la amplidina.
- Lf .- Inductancia del campo de la amplidina.
- $\tau_f = \frac{L_f}{r_f}$
- P() - $\frac{d()}{dt}$
- ra .- Resistencia de la armadura de la amplidina.
- La .- Inductancia de la armadura de la amplidina.
- r_q' .- Resistencia del campo serie en cuadratura.
- L_q' .- Inductancia del campo serie en cuadratura.
- rc .- Resistencia campo compensador de eje directo.
- Lc .- Inductancia campo compensador de eje directo.
- r_q = ra + r_q'.
- L_q = La + L_q'.
- $\tau_q = \frac{L_q}{r_q}$
- K_{qf} .- Constante del primer paso de amplificación.
- K_{dq} .- Constante del segundo paso de amplificación.
- K_g .- Constante del tercer paso de amplificación. ®
- (del generador grupo XI)
- e_q .- Voltaje inducido en el eje en cuadratura (primer pa so de amplificación).
- f_q .- Corriente en el circuito en cuadratura.
- i_{fg} .- Corriente en el circuito de eje directo.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

- eo .- Voltaje inducido en el eje directo (segundo paso de amplificación).
- FA .- Factor de amplificación de potencia.
- el = eo - ifg rfg.
- rfg.- Resistencia del campo del generador.
- Lfg.- Inductancia del campo del generador.
- $\tau_{fg} = \frac{L_{fg}}{r_{fg}}$
- rag.- Resistencia en la armadura del generador.
- Lag.- Inductancia en la armadura del generador.
- eg.- Voltaje inducido en el tercer paso de amplificación (armadura del generador)
- iam.- Corriente en la armadura del motor.
- ram.- Resistencia en la armadura del motor.
- Lam.- Inductancia en la armadura del motor.
- $\tau_{am} = \frac{L_{am}}{r_{am}}$
- eam.- Fuerza contra electromotriz (voltaje inducido en el motor).
- ifm.- Corriente del campo del motor.
- cl.- Constante física del motor.
- Wm .- Velocidad del motor.
- Kl .- cl ifm.
- Tm .- Par motor
- Tl .- Par de carga.
- J .- Inercia de aceleración.
- Vr .- Voltaje de referencia.
- Vfb.- Voltaje de retroalimentación.
- Kt .- Constante del tacómetro.

... de -- Voltaje inducido en el eje directo (segundo caso de --

amplificación).

FA -- Factor de amplificación de potencia.

el -- $\epsilon_0 = 118 \text{ sig.}$

FE -- Resistencia del campo del generador.

LE -- Inductancia del campo del generador.

$$r_{12} = \frac{L_{12}}{L_{11}}$$

reg -- Resistencia en la armadura del generador.

leg -- Inductancia en la armadura del generador.

eg -- Voltaje inducido en el eje directo (segundo caso de amplificación --

armadura del generador).

lam -- Corriente en la armadura del motor.

ram -- Resistencia en la armadura del motor.

lam -- Inductancia en la armadura del motor.

$$\frac{r_{21}}{r_{11}}$$

cam -- Prueba contra electromagnética (voltaje inducido en el --

motor).

lim -- Corriente del campo del motor.

el -- Constante física del motor.

vm -- Velocidad del motor.

KI -- ϵ_0 del im.

em -- ϵ_0 del motor.

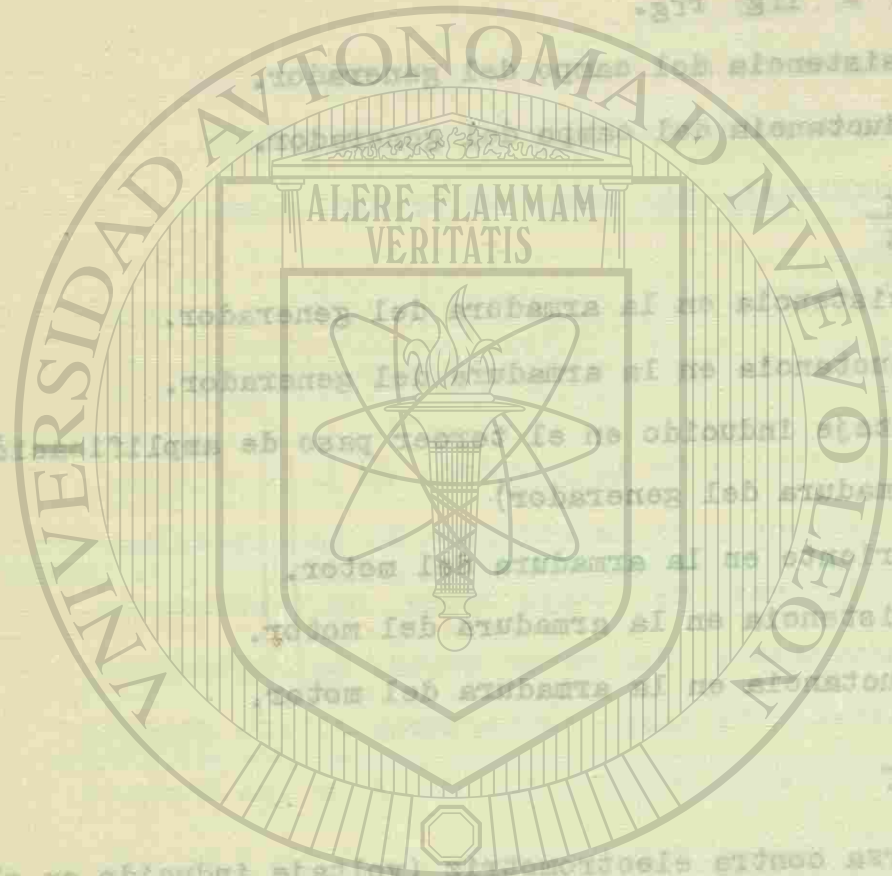
em -- ϵ_0 de carga.

1 -- Inercia de aceleración.

vr -- Voltaje de retención.

vrb -- Voltaje de retroalimentación.

KI -- Constante del tacómetro.



PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS

DE LA AMPLIFICADORA DE 150 V. CON

REACTANCIA EN EL LABORATORIO.

Por medio de pruebas se comprobó que el sistema de amplificación de potencia, en el que se representa el circuito de la figura No. 1, es capaz de amplificar la señal de entrada.

Obteniendo los diagramas de Bode de la amplificación. Se puede observar que el sistema tiene una ganancia de 20 dB por década y una fase de 180 grados en la frecuencia de corte superior.

CAPITULO I

$$V_0 = I_{r1} + L \frac{dI_{r1}}{dt}$$

$$V_0 = I_{r1} (r_1 + j\omega L)$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1 + j\omega L}$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{r_1}}$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

donde $\tau = \frac{L}{r_1}$ es el tiempo de retardo del sistema.

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

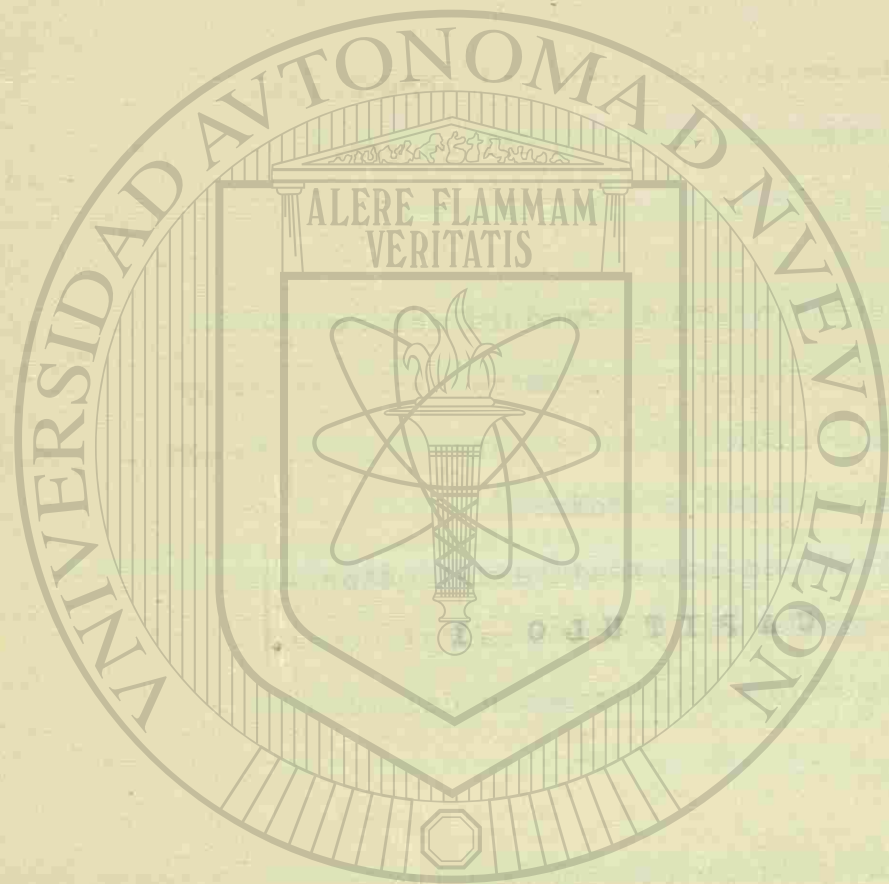
$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$

donde $\tau = \frac{L}{r_1}$ es el tiempo de retardo del sistema.

$$I_{r1} = \frac{V_0}{r_1} \frac{1}{1 + j\omega \tau}$$





PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS

DE LA AMPLIDINA DE 150 W. QUE

SE ENCUENTRA EN EL LABORATORIO.

Por medio de pruebas de conductividad y del puente de impedancias, se concluyó que el circuito representativo de la Amplidina es el mostrado en la figura No. 1.

Obtención del diagrama block de la Amplidina. Utilizando uno de los dos campos que tiene la Amplidina y con referencia a la figura No. 1.

$$V_e = i f r_f + L_f \frac{d i f}{d t} =$$

$$V_e = i f (r_f + L P)$$

$$V_e = i f r_f \left(1 + \frac{L}{r_f} P \right)$$

de donde

$$i f = \frac{V_e}{r_f} \frac{1}{1 + \tau_f P} \quad (1)$$

Voltaje inducido por el primer paso de amplificación.

$$e_q = K_g i f$$

$$e_q = r_q i_q + L_q \frac{d i_q}{d t}$$

$$e_q = i_q r_q (1 + \tau_{qP}) \quad \text{donde } r_q = r'_q + r_a$$

$$i_q = \frac{e_q}{r_q} \frac{1}{1 + \tau_{qP}} \quad (2)$$

Sustituyendo (1) en (2)

$$i_q = \frac{K_g V_e}{r_f (1 + \tau_f P) r_q (1 + \tau_{qP})} \quad (3)$$

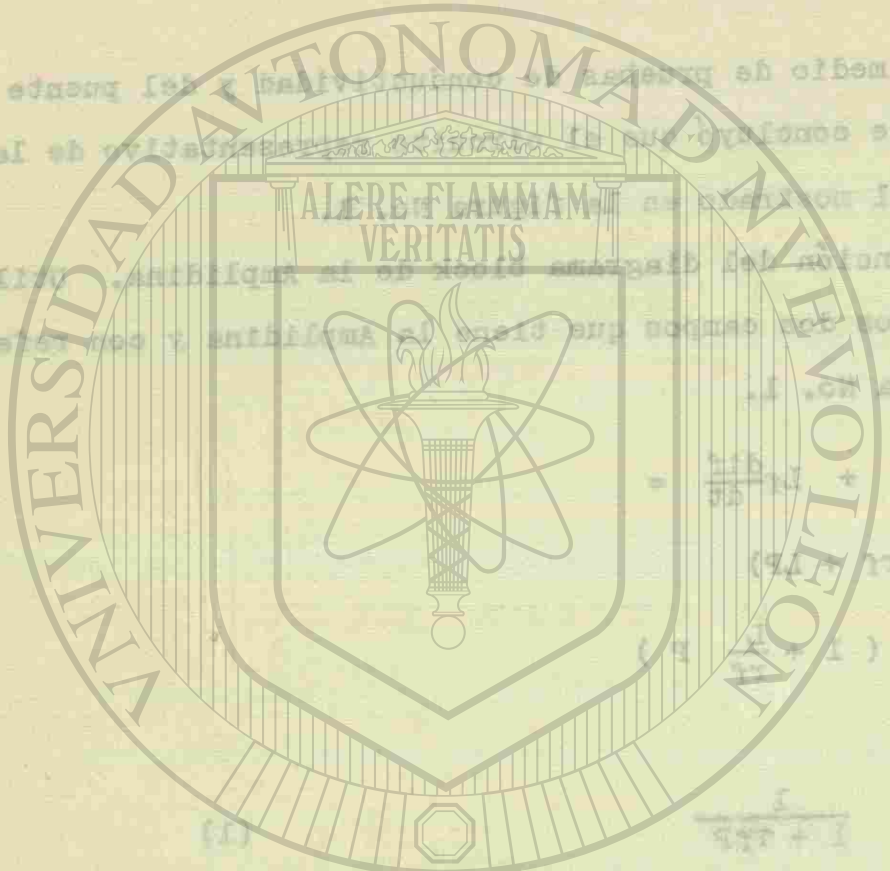
Voltaje inducido en el segundo paso de amplificación.

$$e_o = K_d i_q \quad (4)$$



PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS
 DE LA AMPLIFICADORA DE 150 W. POT.
 DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA EN EL LABORATORIO.

Por medio de pruebas de laboratorio se han obtenido las características de impedancia, se concluye que el amplificador es un elemento activo de la Amplificadora es el elemento activo de la Amplificadora.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

(1) $V_e = I_e (r_e + r_{e'})$
 $I_e = \frac{V_e}{r_e + r_{e'}}$
 (2) $V_e = I_e (r_e + r_{e'})$
 $I_e = \frac{V_e}{r_e + r_{e'}}$
 (3) $V_e = I_e (r_e + r_{e'})$
 $I_e = \frac{V_e}{r_e + r_{e'}}$
 (4) $V_e = I_e (r_e + r_{e'})$
 $I_e = \frac{V_e}{r_e + r_{e'}}$

- $r_f = 874 \Omega$
- $r_a = 25.3 \Omega$
- $L_g' = 35 \text{ mh.}$
- $r_f' = 884 \Omega$
- $L_e = 250 \text{ mh}$
- $r_c = 8.7 \Omega$
- $L_g = 9.4 \Omega$
- $L_f = L_f' = 4.5 \text{ h.}$
- $L_c = 105 \text{ mh.}$

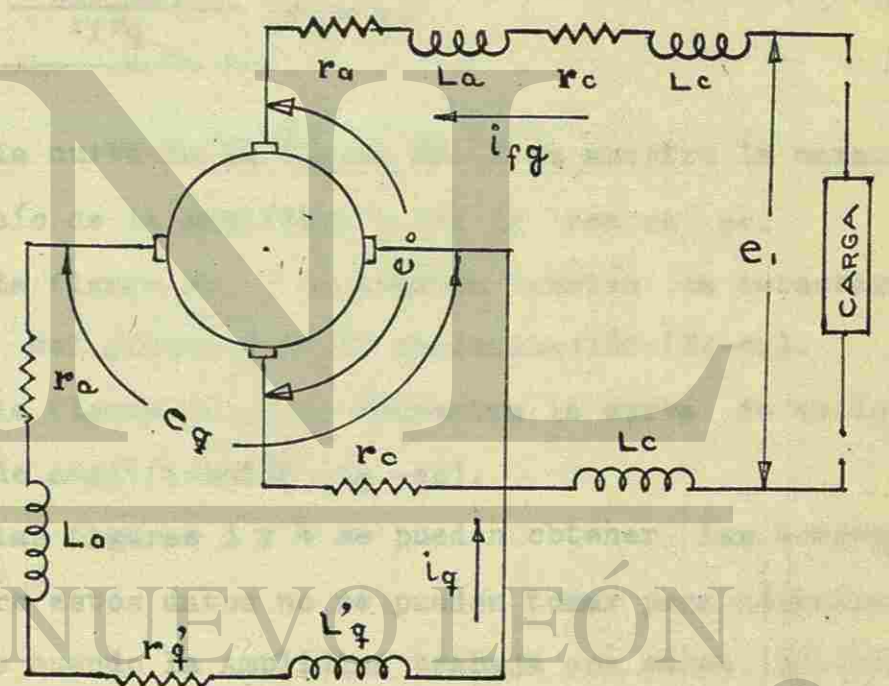
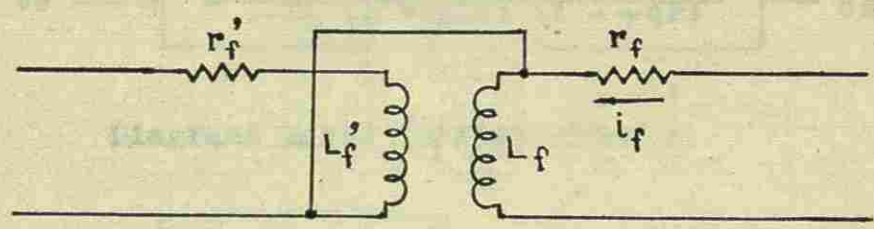


FIG. N°1

Sustituyendo (3) en (4)

$$e_o = \frac{K_{qf} K_{dq}}{r_f r_q (1 + \gamma_{fp}) (1 + \gamma_{qp})} V_e \quad (5)$$

Diagrama Block de la Amplidina.
Estado Transitorio

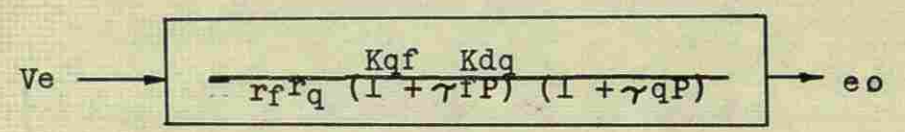
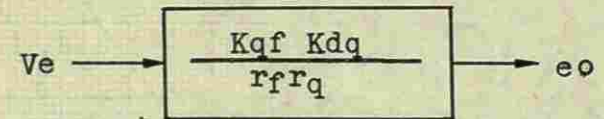


Diagrama Block Estado Estable.



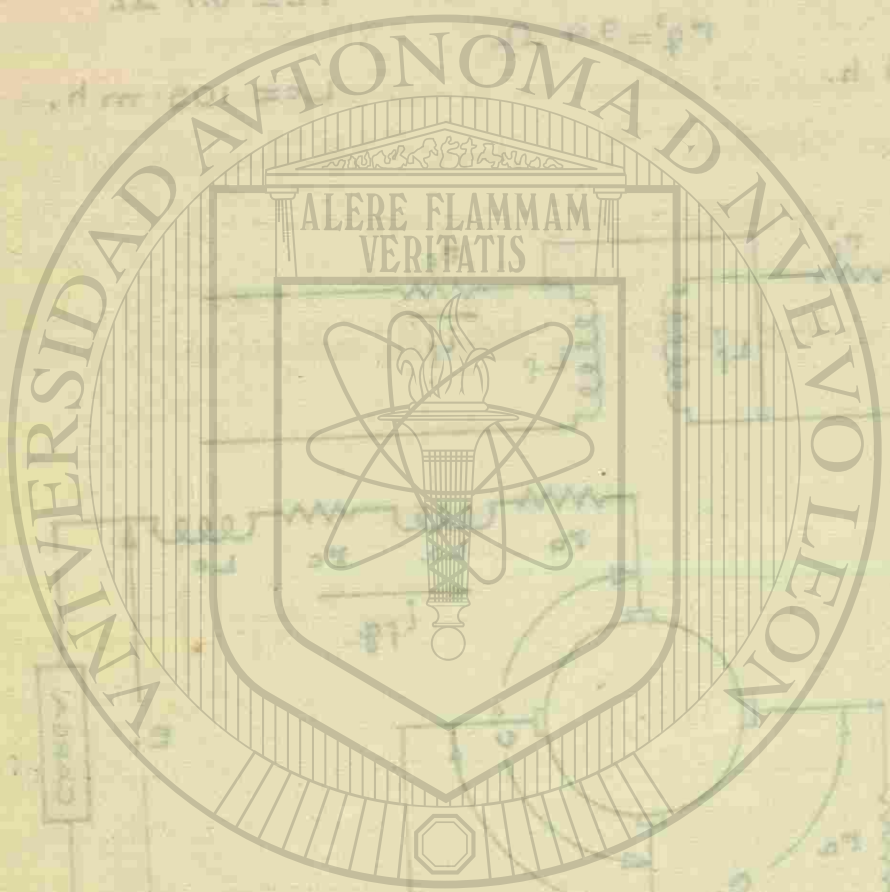
En la curva de la figura No. 2 se muestra la característica en vacío de la Amplidina o sea I_f contra e_o .

En la figura No. 3 se muestra también la característica de vacío del primer paso de amplificación ($I_f - e_q$).

En la figura No. 4 se encuentra la curva de vacío del segundo paso de amplificación ($i_q - e_o$).

De las figuras 3 y 4 se pueden obtener las constantes K_{qf} y K_{dq} , pero estos datos no se pueden tomar para cálculos prácticos, ya que cuando la Amplidina trabaja con carga, produce una reacción de armadura la cual modifica estas constantes, para obtener unas constantes más representativas se efectuó una prueba con una carga de 500 ohms, obteniéndose también el factor de amplificación de potencia que tiene la Amplidina con esta carga.

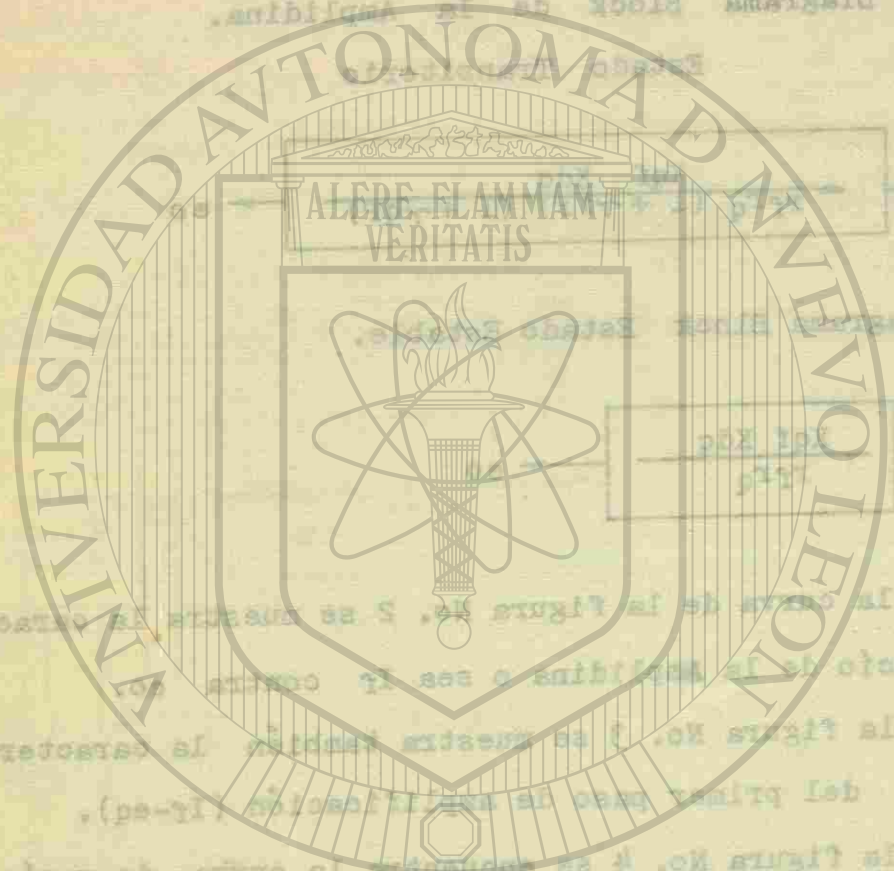
En la Tabla I se muestra esta prueba con K_{qf} , K_{dq} y F.A. correspondientes a cada lectura.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

FIG. No. 1



En la Tabla I se muestra esta prueba con KdL, Kd y V.A. correspondientes a cada lectura.

amplificación de potencia que tiene la amplificación con esta carga.

la potencia que consume en la reproducción de este tipo de una reacción de armadura la cual modifica estas constantes.

plios, ya que cuando la Amplitud trabaja con carga, produce

Kd y Kd' para estos datos no se pueden tomar como valores fijos

De las Figuras 3 y 4 se pueden obtener las constantes

segundo paso de amplificación (1d-2a).

En la figura No. 4 se muestran la curva de vacío del

plata de vacío del primer paso de amplificación (1d-2a).

En la figura No. 3 se muestra también la característica

platos en vacío de la amplificación y sea I_f corriente

En la curva de la figura No. 2 se muestra la caracte-

$$e_0 = \frac{KdL Kd}{Kd(I + Kd)} V_e$$

(2)

Diagrama Bloque de la amplificación.

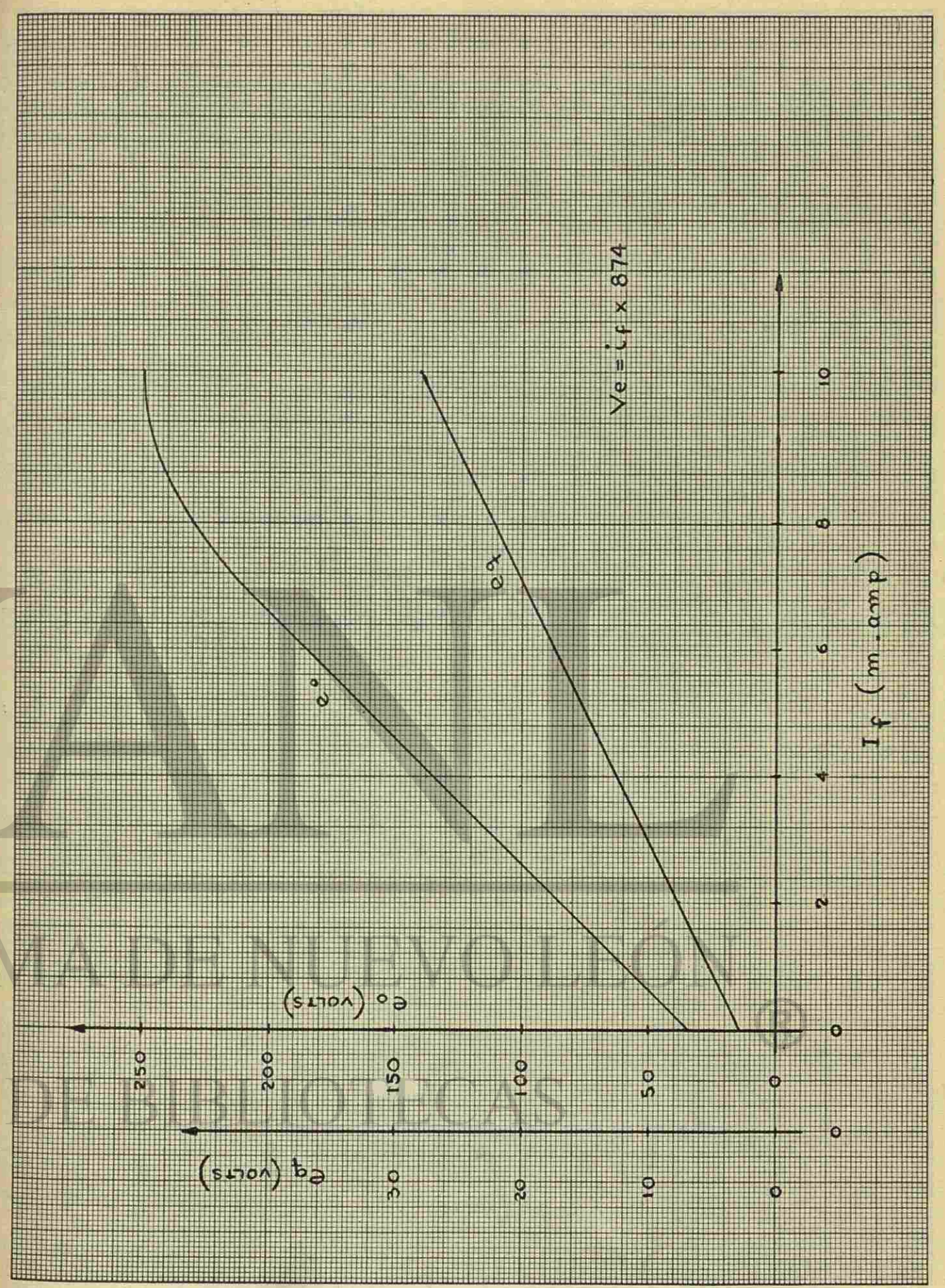
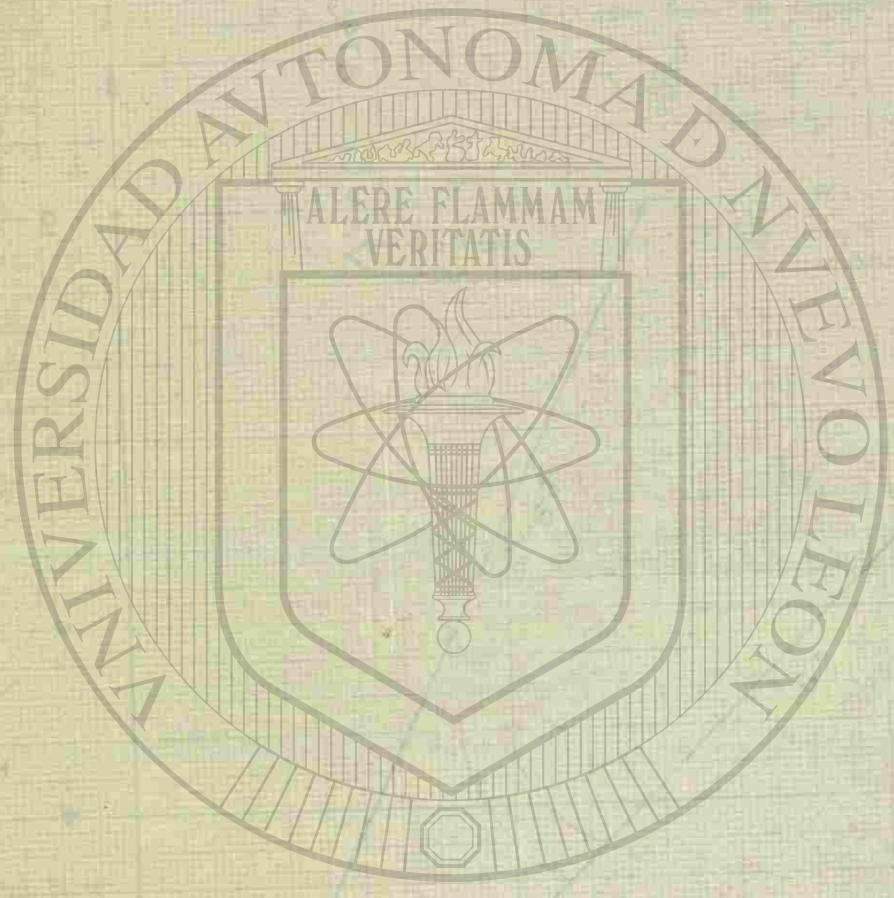


FIG N° 2 Y N° 3

L19 603 A M17



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

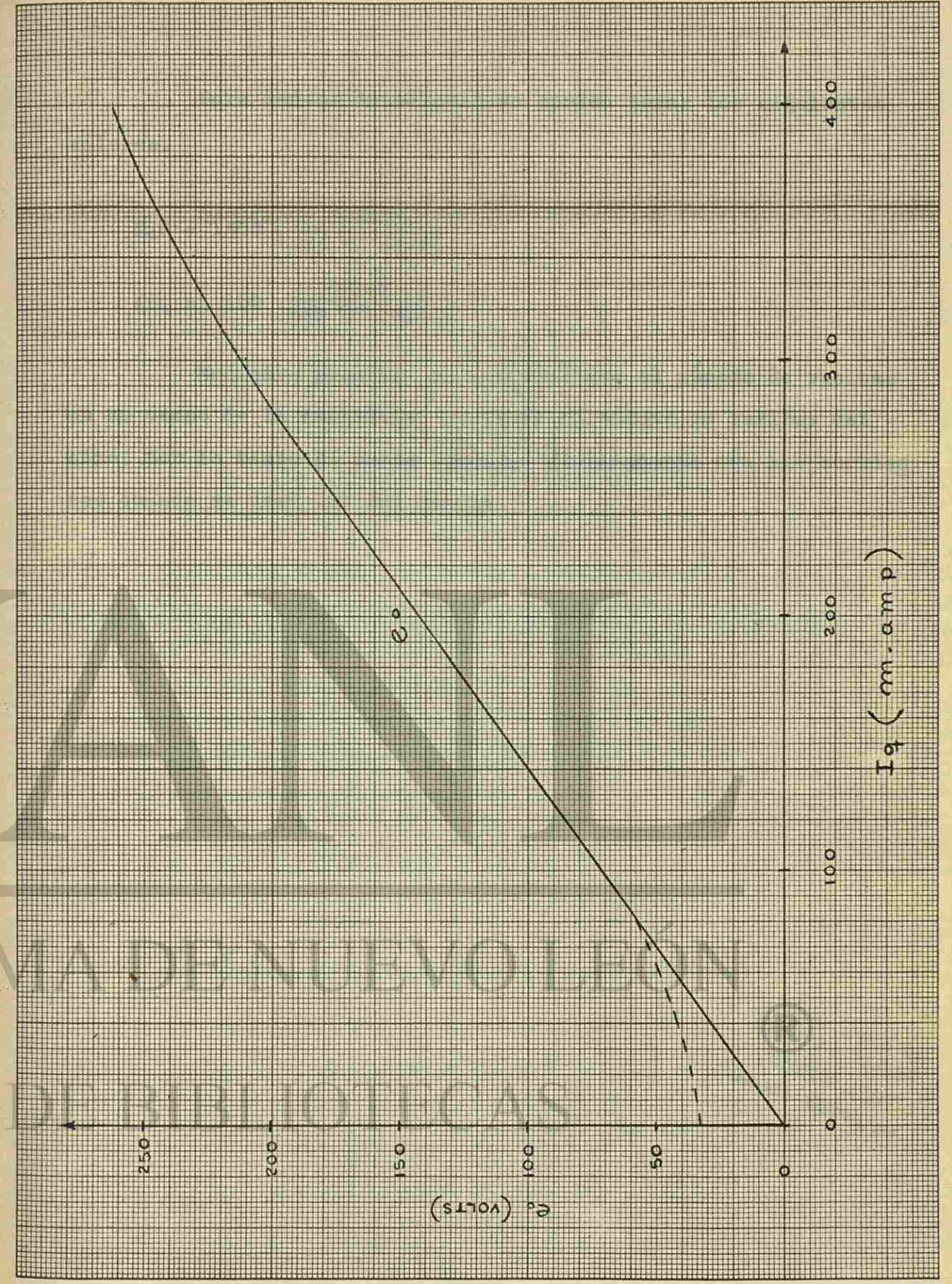


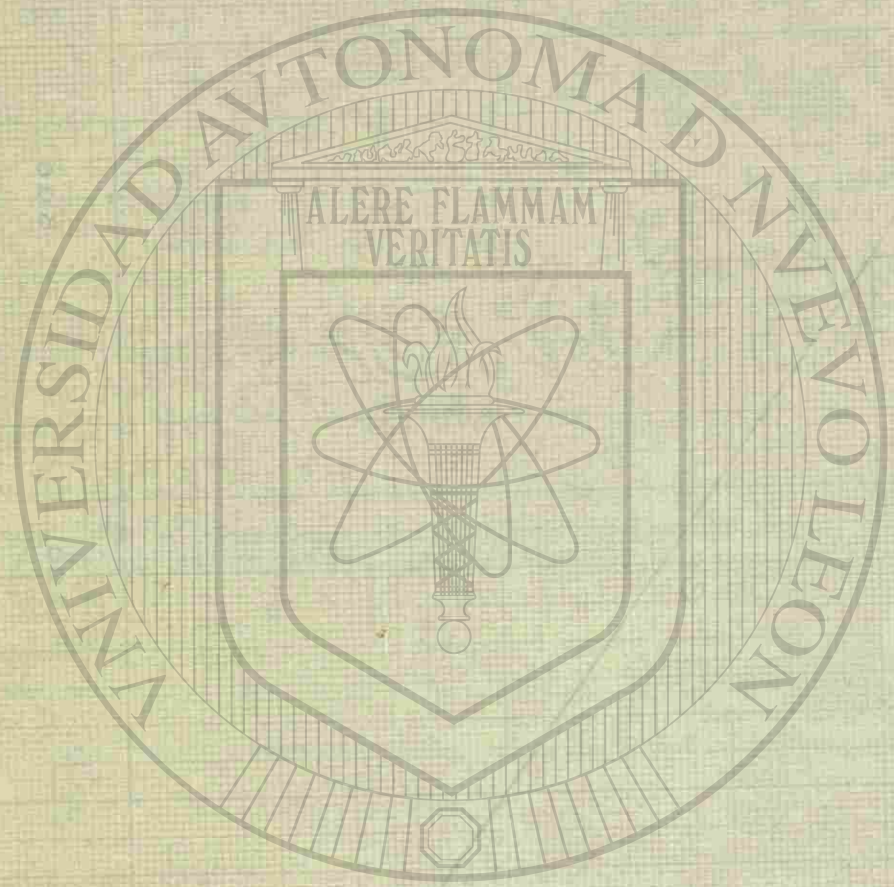
FIG. N° 4

Para medios de cálculo se pueden tomar los siguientes valores.

$$Kqf = 1500 \frac{\text{Volts}}{\text{amp de campo}}$$

$$Kdq = 100 \frac{\text{Volts}}{\text{amp de campo.}}$$

Mediante pruebas se comprobó que el número de vueltas en un campo de la Amplidina, es igual al número de vueltas del otro, por lo tanto se puede trabajar directamente con las corrientes cuando se usen los dos campos.



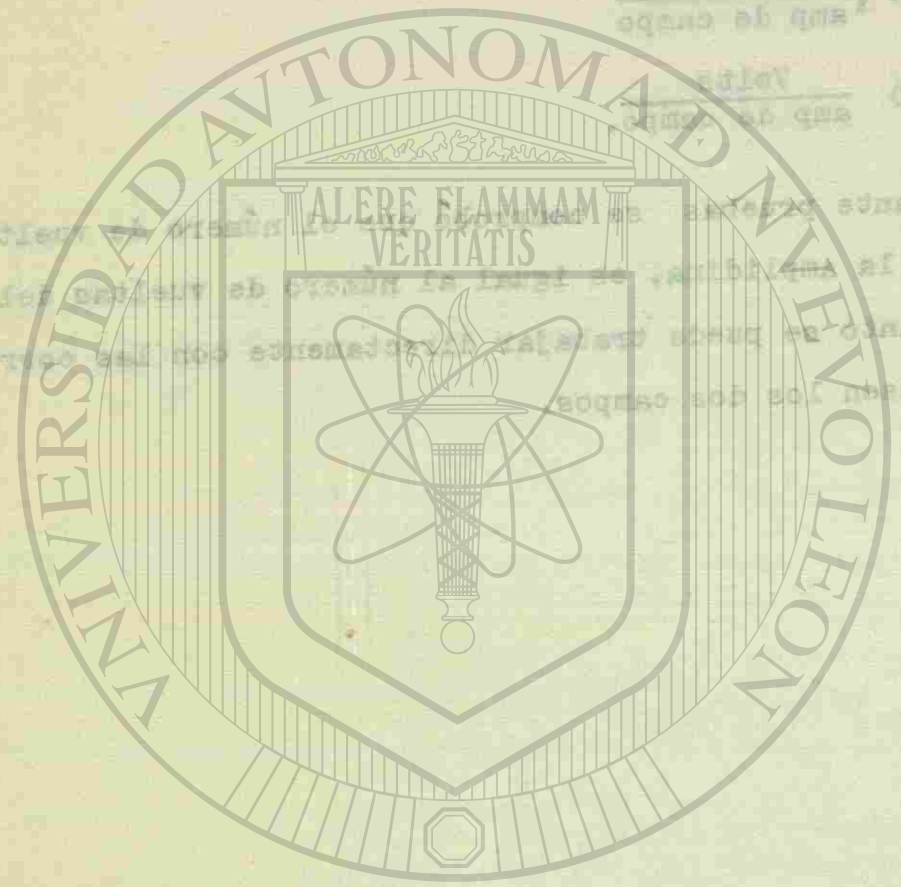
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
"ALFONSO REYES"
Calle 1625 Monterrey, N.L.

Para medir de nuevo se pueden tomar los siguientes valores.

Mediante estas mediciones se puede determinar el campo de la radiación en un punto de la red de líneas de transmisión, por lo tanto se puede hacer un estudio de las variaciones que se dan cuando se usan los dos campos.

$K_{qf} = 1500 \frac{\text{Volts}}{\text{amp de campo}}$
 $K_{dq} = 100 \frac{\text{Volts}}{\text{amp de campo}}$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TABLA I

i_f (m.a)	e_q Volts	K_{qf} Volts/amp	i_q Amp	e_q Volts	K_{dq} Volts/amp	V_e Volts	i_{fg} Amp	e_1 Volts	F.A.
0	1.38	—	.04	21.6	540.	0	.04	20.	—
1	2.08	2,080	.06	43.4	556.	.875	.08	40.	3660
2	3.47	1,735	.10	70.5	705.	1.750	.13	65.	2410
3	4.51	1,500	.13	92.0	706.	2.625	.17	85.	1840
4	5.55	1,385	.16	119.1	744.	3.500	.22	110.	1730
5	7.10	1,420	.205	146.5	725.	4.375	.27	135.	1670
6	9.01	1,500	.260	181.5	696.	5.250	.335	167.5	1780
7	9.90	1,415	.285	196.0	688.	6.125	.365	182.5	1550

$$e_q = i_q (r_a + r_q)$$

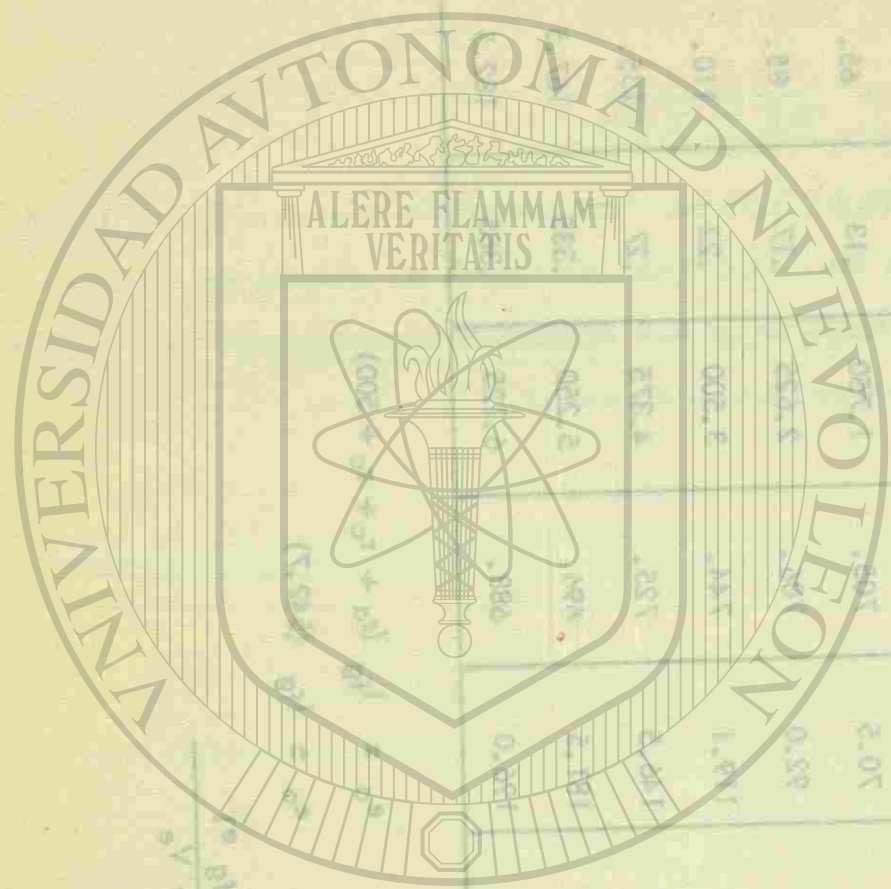
$$e_q = i_q (34.7)$$

$$F.A. = \frac{i_{fg} e_1}{i_f V_e}$$

$$e_o = i_{fg} (r_a + r_c + r_c + 500)$$

$$e_o = i_{fg} (542.7)$$





$f(\omega, \sigma)$	ω	σ	ρ	θ	ϕ	ψ	χ	λ	μ	ν	ξ	η	ζ	δ	ϵ	γ	β	α
1	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

FIGURA 1.1

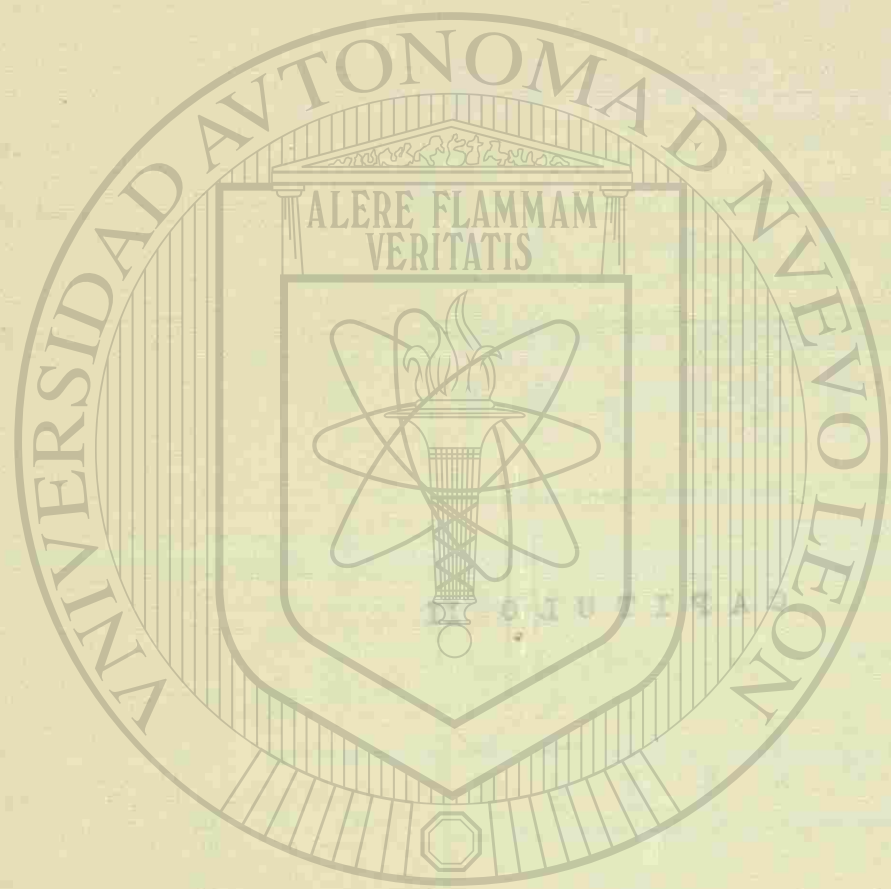
Diagrama de flujo

2.- En la figura 1.1 se muestra el diagrama de flujo y los parámetros que intervienen en el desarrollo del grupo de M_2 . Obtención del diagrama 1.1 y su referencia a la figura 1.1.

CAPITULO II

Diagrama de flujo

Diagrama de flujo



PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS
 DEL GENERADOR DEL GRUPO XI
 Y DEL MOTOR DE 3 H.P. DE LA
 MÁQUINA GENERALIZADA.

1.- En la figura No. 5 se muestra el circuito eléctrico y los parámetros que representan al generador del grupo XI.

Obtención del diagrama block con referencia a la figura No. 5.

$$e_l = i_{fg} r_{fg} + L_{fg} \frac{di_{fg}}{dt}$$

$$e_l = i_{fg} r_{fg} (1 + \tau_{fg} P)$$

$$i_{fg} = \frac{e_l}{r_{fg} (1 + \tau_{fg} P)} \quad (6)$$

Voltaje inducido en el generador (tercer paso de amplificación)

$$e_g = K_g i_{fg} \quad (7)$$

Sustituyendo (6) en (7)

$$e_g = \frac{K_g e_l}{r_{fg} (1 + \tau_{fg} P)} \quad (8)$$

Diagrama block del generador. ®

Estado Transitorio

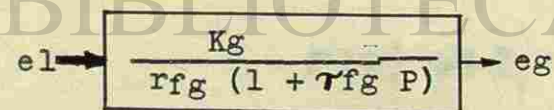
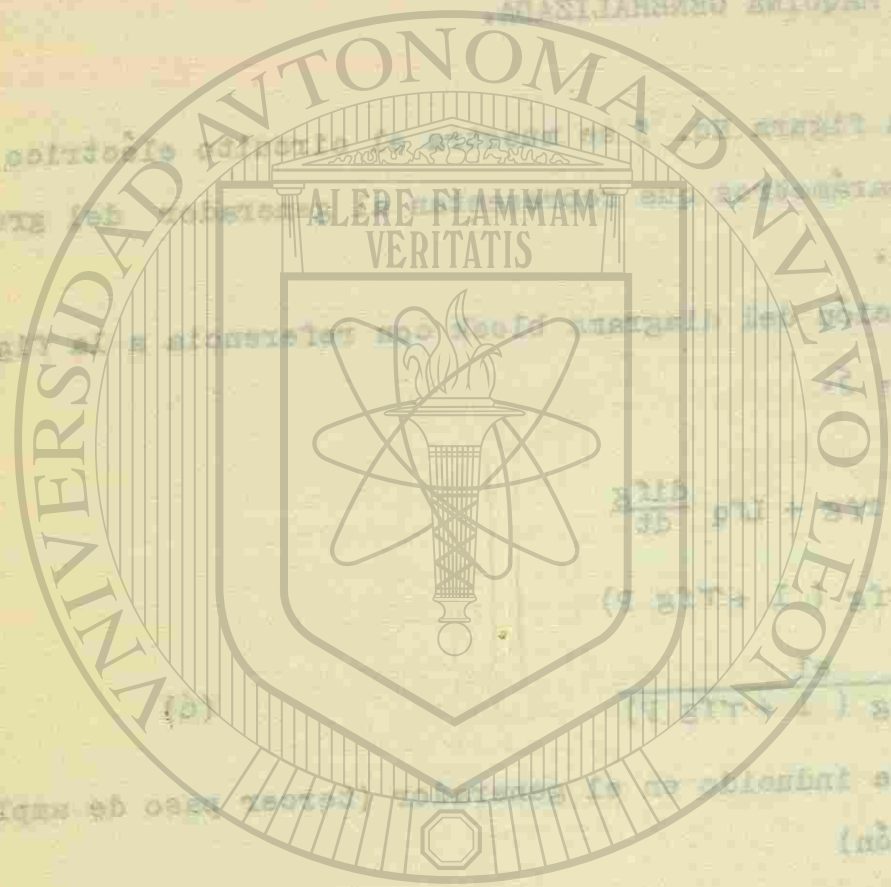


Diagrama block

Estado Estable.

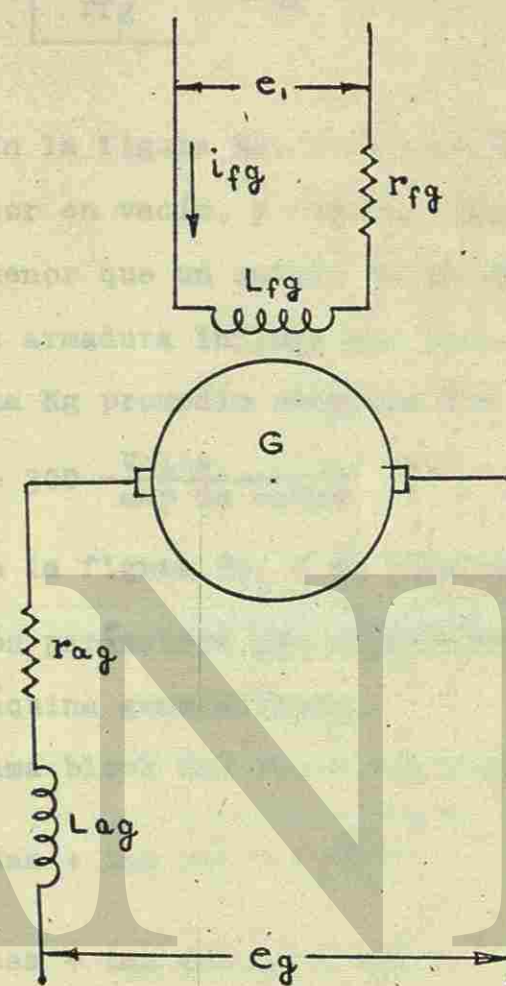


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$e_g = \frac{K\phi}{r_g(1 + r_g p)}$$

Diagrama block
Estado Estable.

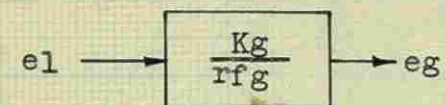


$$r_{fg} = 200 \cdot \Omega \quad r_{ag} = 2 \cdot \Omega$$

$$L_{fg} = 4 \cdot h. \quad L_{ag} = 4 \cdot m.h.$$

FIG. N° 5

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
"ALFONSO REYES"
Cada. 1025 MONTERREY, MEXICO.



En la figura No. 6 se muestra la curva característica del generador en vacío, y como el rango de corriente que se va a usar es menor que un quinto de la nominal del generador la reacción de armadura influye muy poco.

La K_g promedio obtenida fué

$$K_g = 300 \frac{\text{Volts}}{\text{amp de campo}}$$

2.- En la figura No. 7 se muestra el diagrama eléctrico y los parámetros que representan al motor de 3H.P. de la máquina generalizada.

Diagrama block del motor con relación a la figura No. 7.

$$e_g = e_{am} + i_{am} r_{am} + L \frac{di_{am}}{dt} \quad (8)$$

$$e_g = e_{am} + i_{am} r_{am} (1 + \tau \text{ amp}) \quad (9)$$

Fuerza contra electromotriz.

$$e_{am} = C_l \phi i_f m \quad W_m = K_l W_m \quad (10)$$

Donde $K_l = C_l \phi i_f m$.

Análisis de la carga

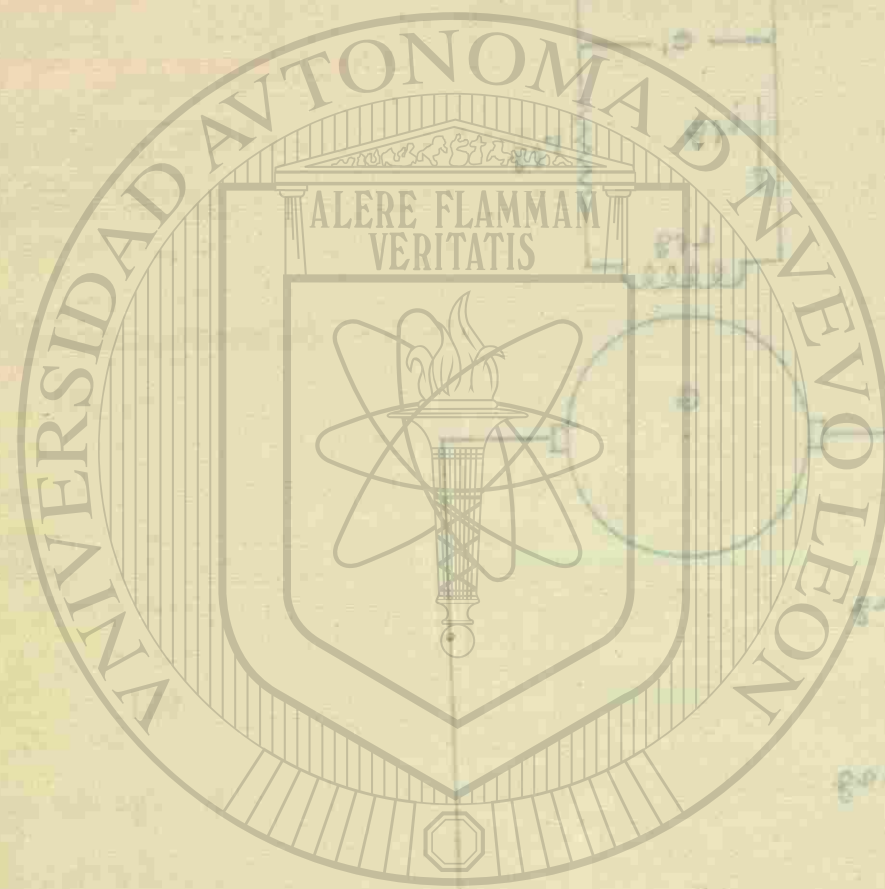
$$T_m = K_l i_{am} = T_L + J \frac{dW_m}{dt} \quad (R)$$

De donde

$$J = J_m + J_L$$

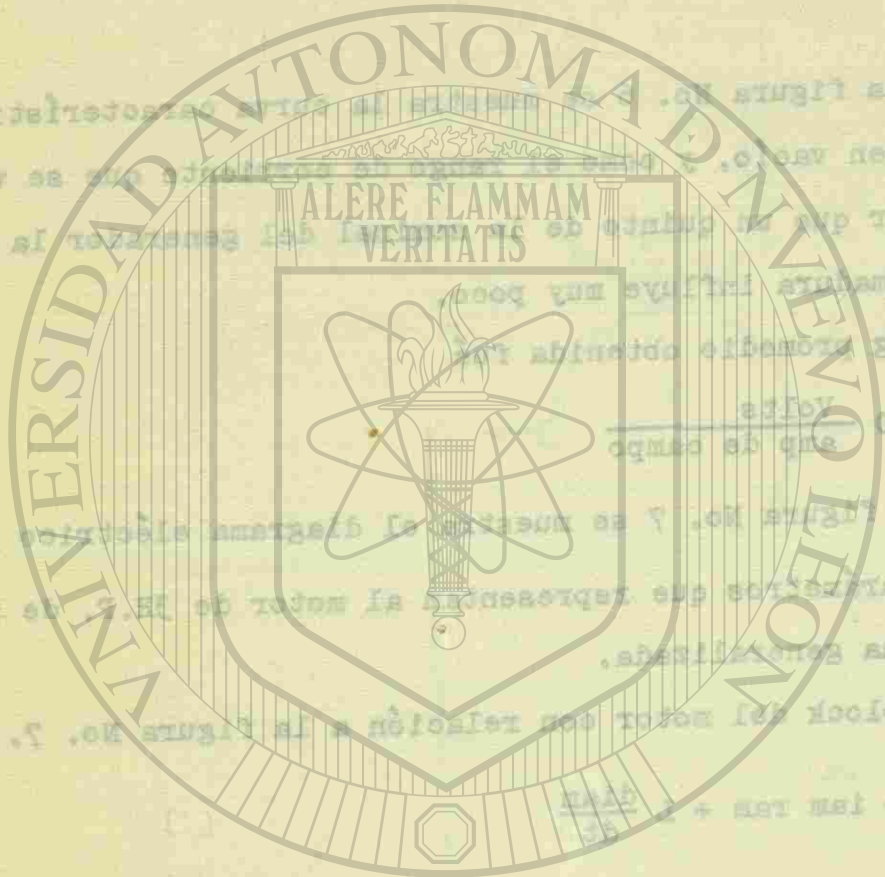
$$i_{am} = \frac{T_L}{K_l} + \frac{J_p W_m}{K_l} \quad (11)$$

Sustituyendo (10) y (11) en (9)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

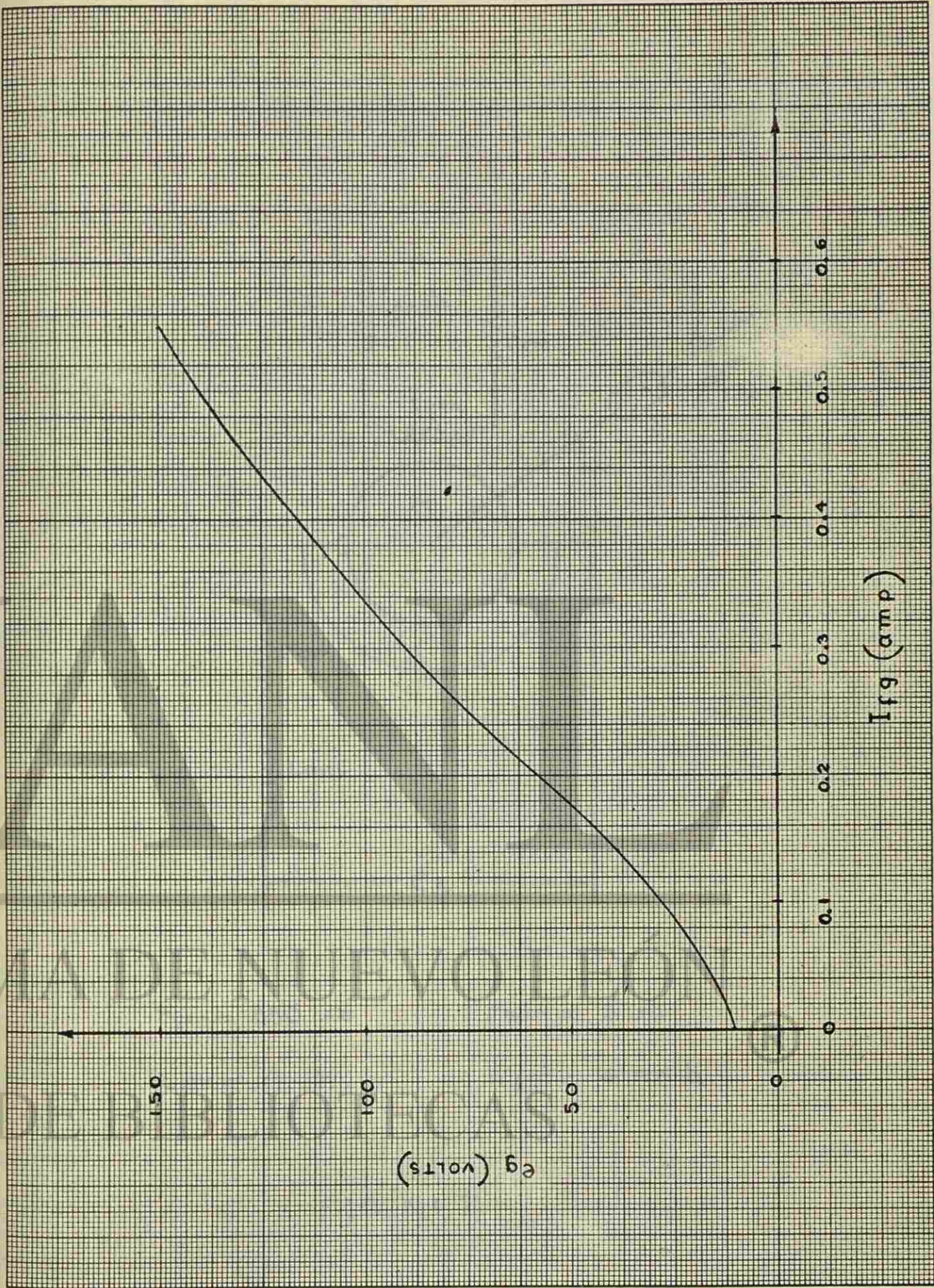
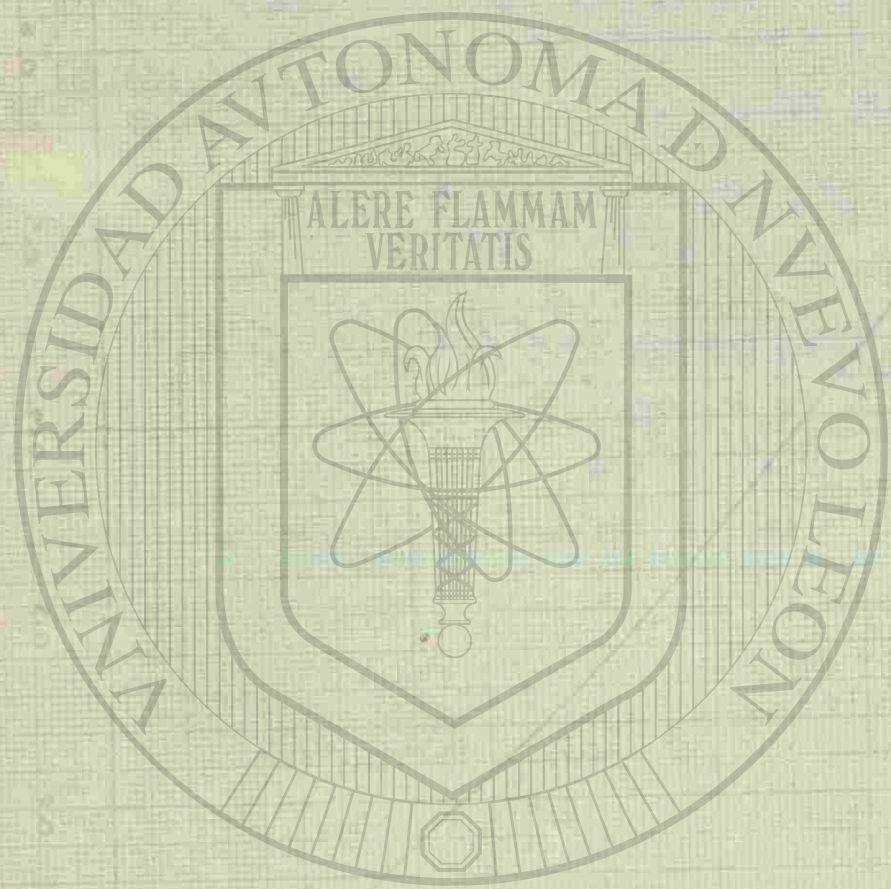
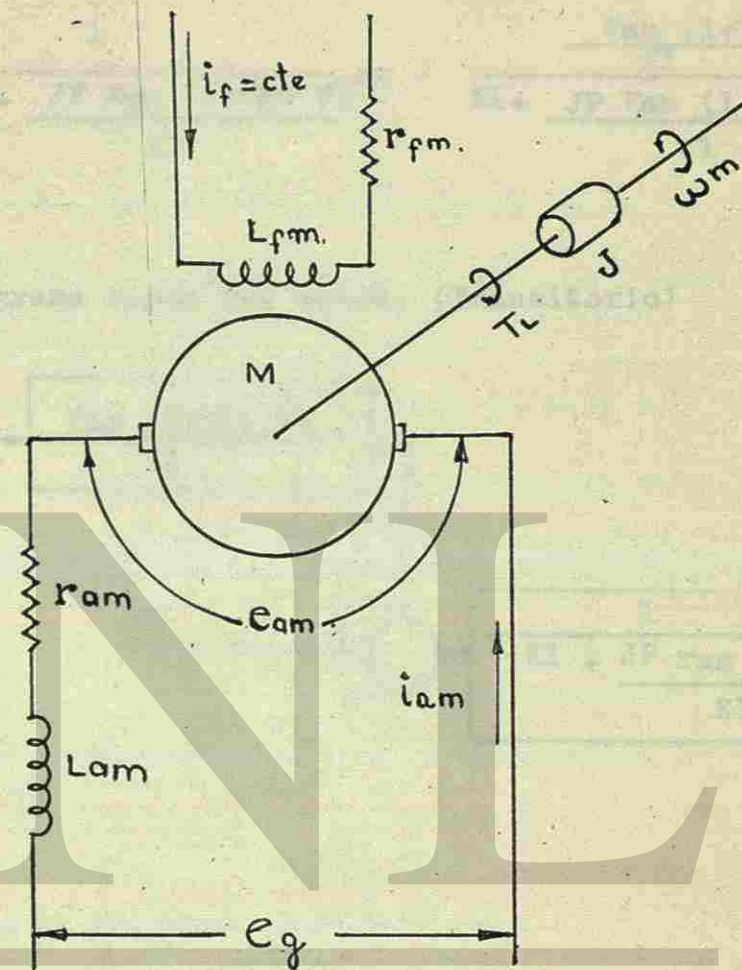


FIG N° 6



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



$$r_{fm} = 350 \Omega$$

$$r_{am} = 2 \Omega$$

$$L_{fm} = 4 \text{ h.}$$

$$L_{am} = 4 \text{ m.h.}$$

FIG. N° 7

$$e_g = K_l w_m + \frac{J P w_m r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l} + \frac{T_L r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l}$$

$$w_m \left[K_l + \frac{J P r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l} \right] = e_g - \frac{T_L r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l}$$

$$w_m = \frac{1}{K_l + \frac{J P r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l}} e_g - \frac{\frac{r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l} T_L}{K_l + \frac{J P r_{am} (1 + \tau_{am} P)}{K_l}}$$

(12)

Diagrama block del motor. (Transitorio)

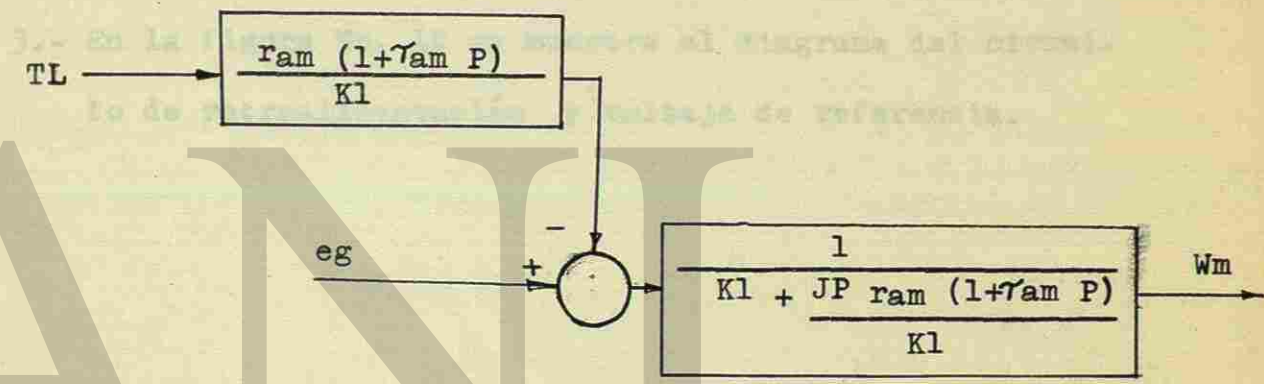
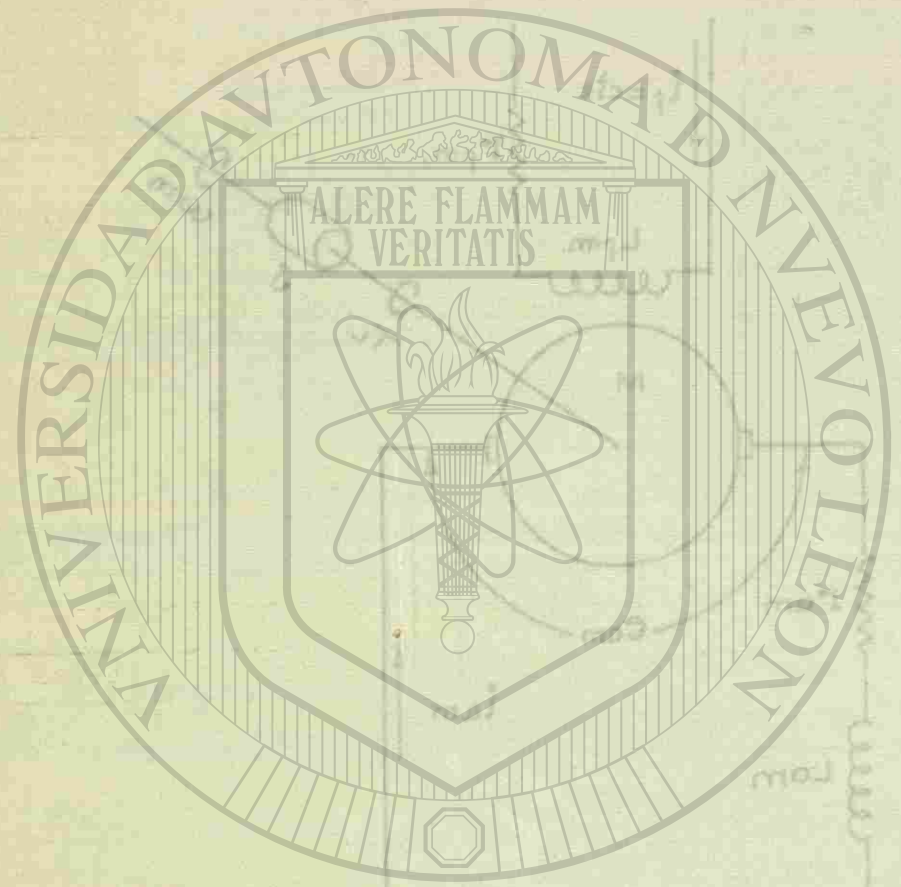
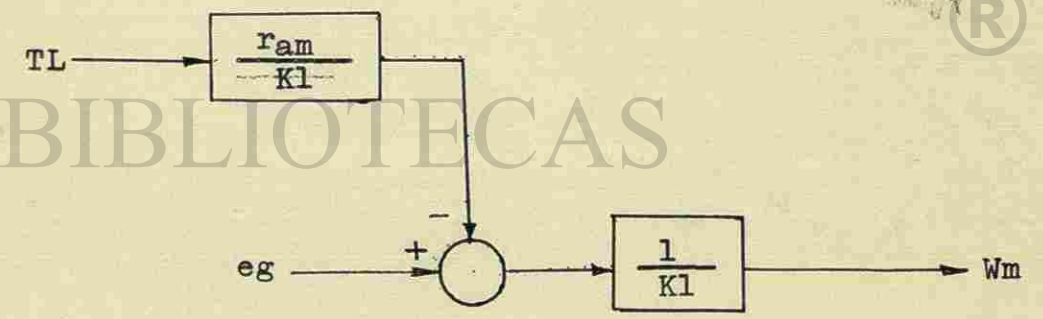


Diagrama block Estado estable.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

FIG. N.º 2

En la figura No. 8 se muestra la curva del motor en vacío a 1800 R.P.M. de donde se puede obtener K_1 promedio para una I_{fm} constante, ya que K_1 varía un poco con la I_{am} del motor.

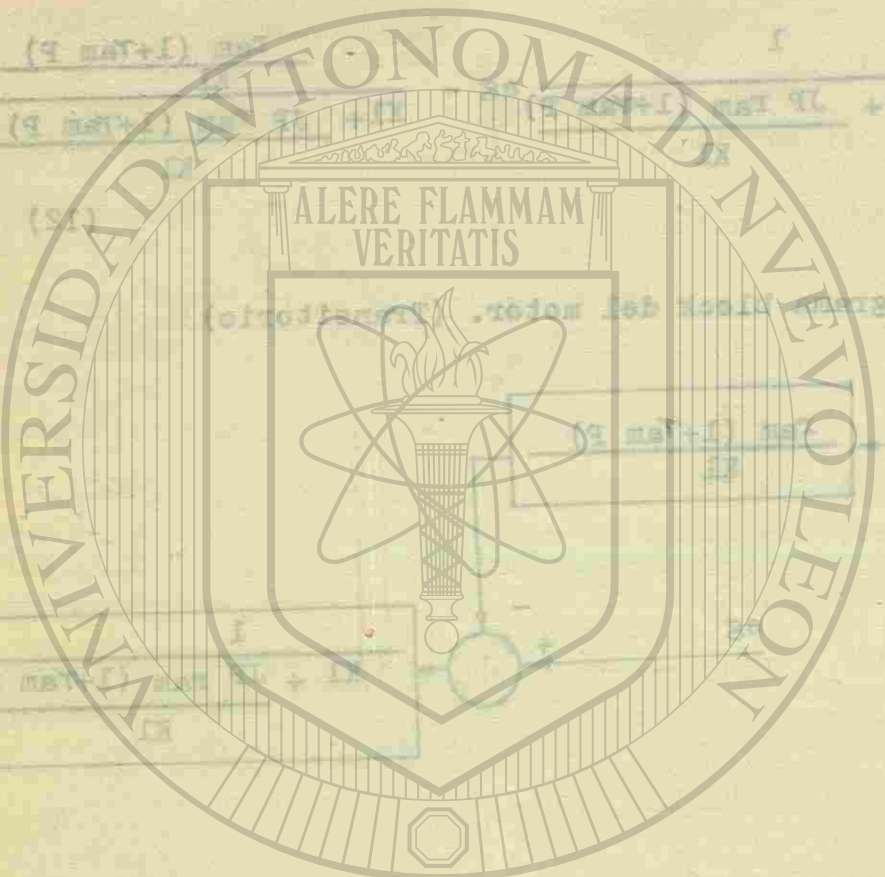
Para 1800 R.P.M.

y $I_{fm} = .335 \text{ amp.}$

$K_1 = 0.0475$

En la figura No. 9 se muestra la curva de T_m y W_m contra I_{am} para $I_{fm} = .335 \text{ amp.}$ y 90 volts en terminales (obtenida teóricamente)

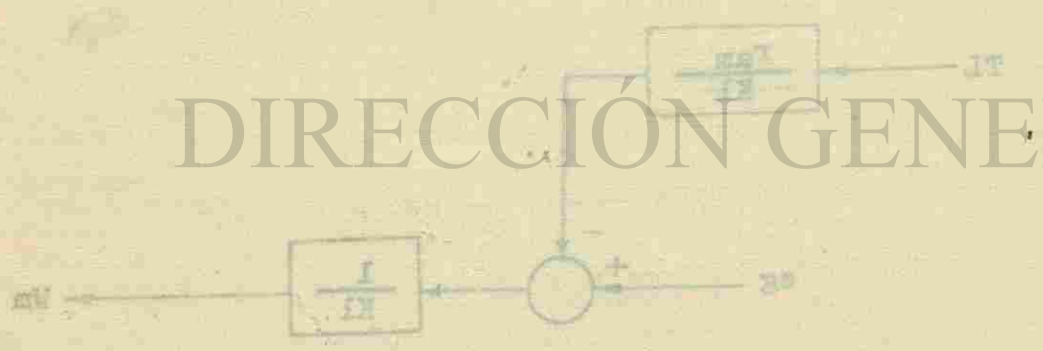
3.- En la figura No. 10 se muestra el diagrama del circuito de retroalimentación y voltaje de referencia.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



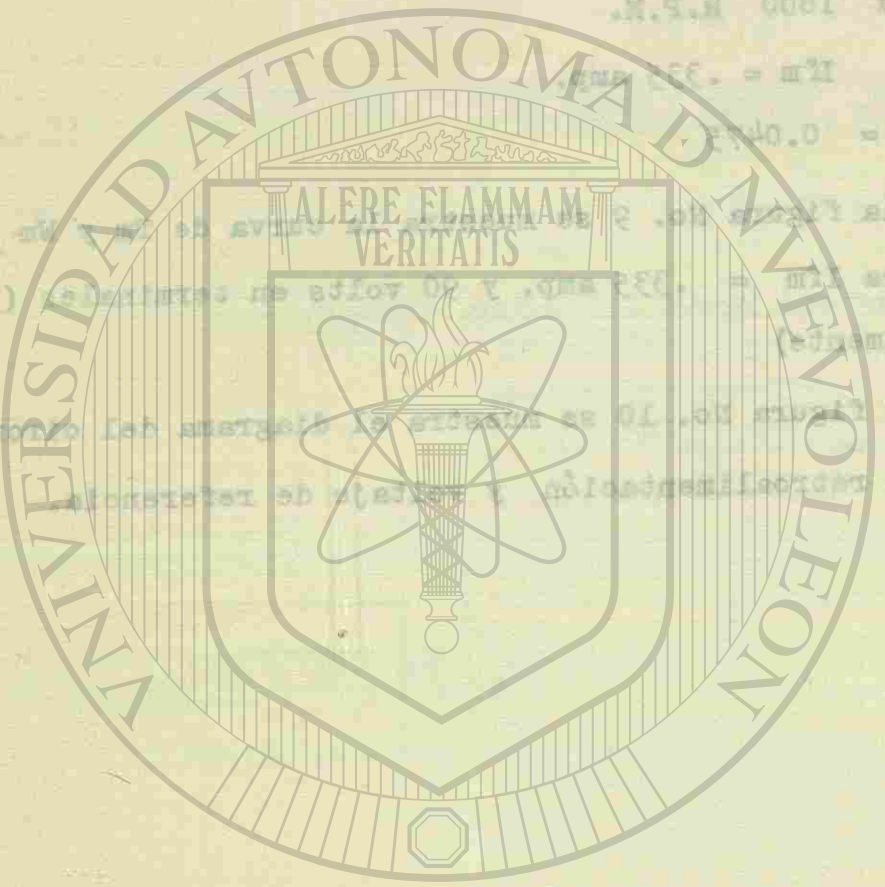
®

En la figura No. 8 se muestra la curva del motor en
velocidad 1800 R.P.M. de donde se puede obtener el promedio para
una I_m constante, ya que el valor en pose con la I_m del motor.

Para 1800 R.P.M.

$I_m = 0.475$

$K_1 = 0.0475$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DIRECCIÓN GENERAL

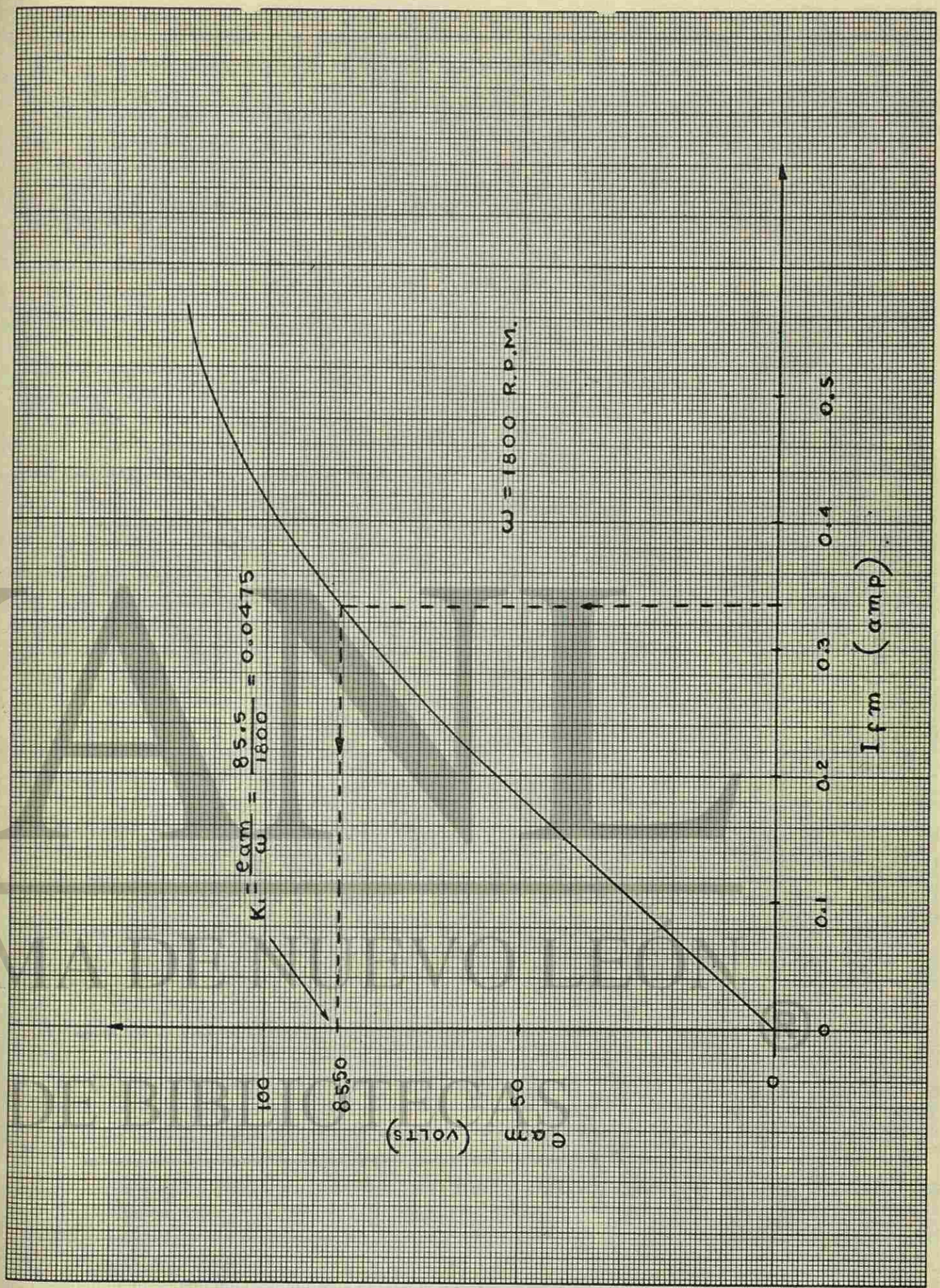
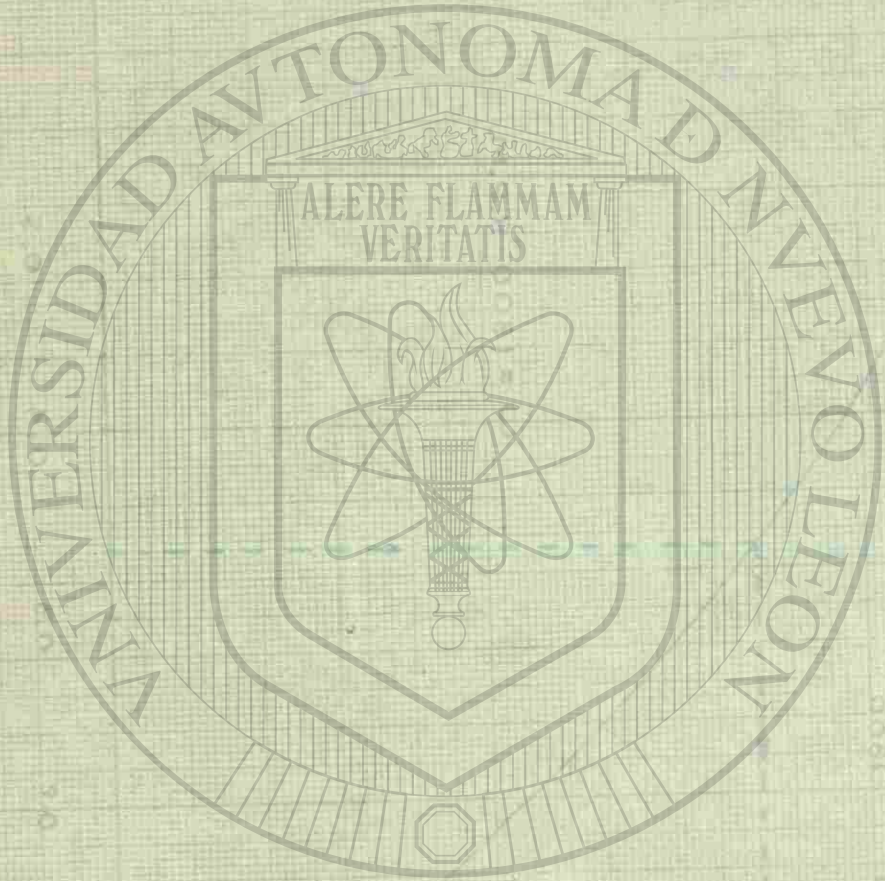


FIG. N° 8

8.14.217

(gms)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

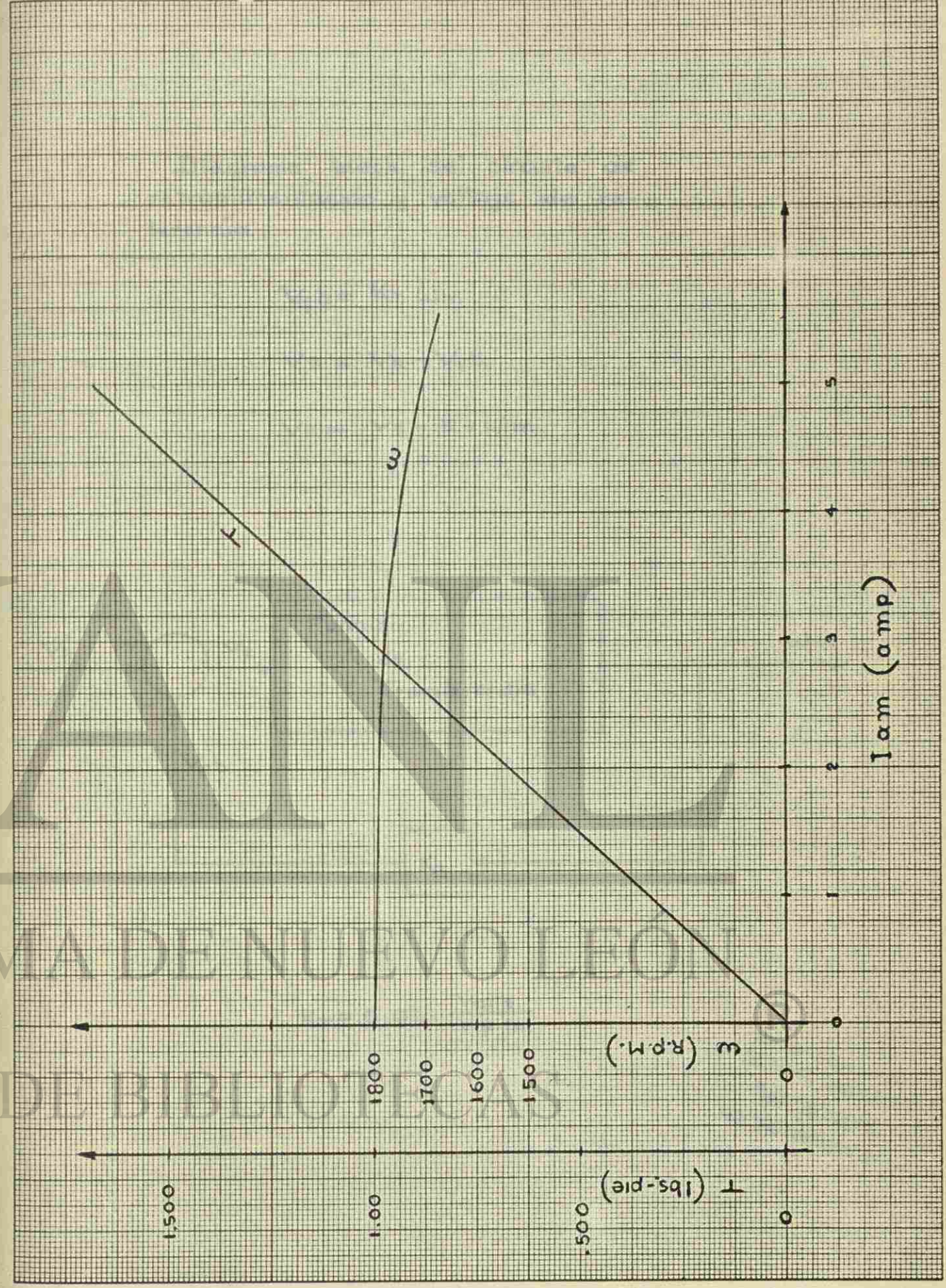
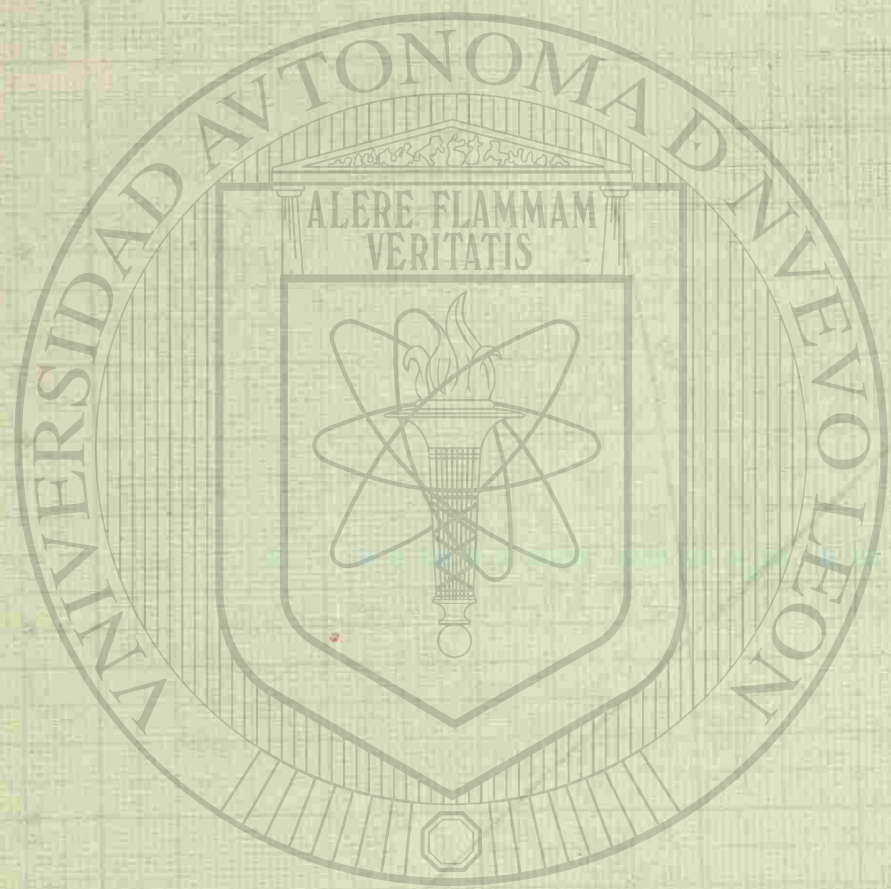


FIG. N° 9



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

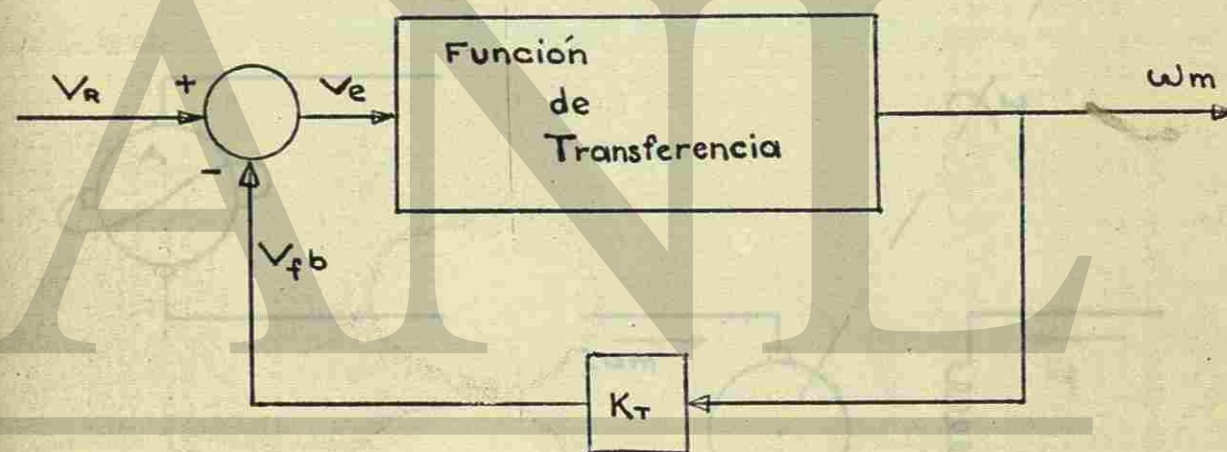
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Diagrama block del circuito de retroalimentación y voltaje de referencia:

$$V_{fb} = K_T \omega_m$$

$$V_e = V_R - V_{fb}$$

$$V_e = V_R - K_T \omega_m$$



$$K_T = 0.021 \frac{\text{Volts.}}{\text{r.p.m.}}$$


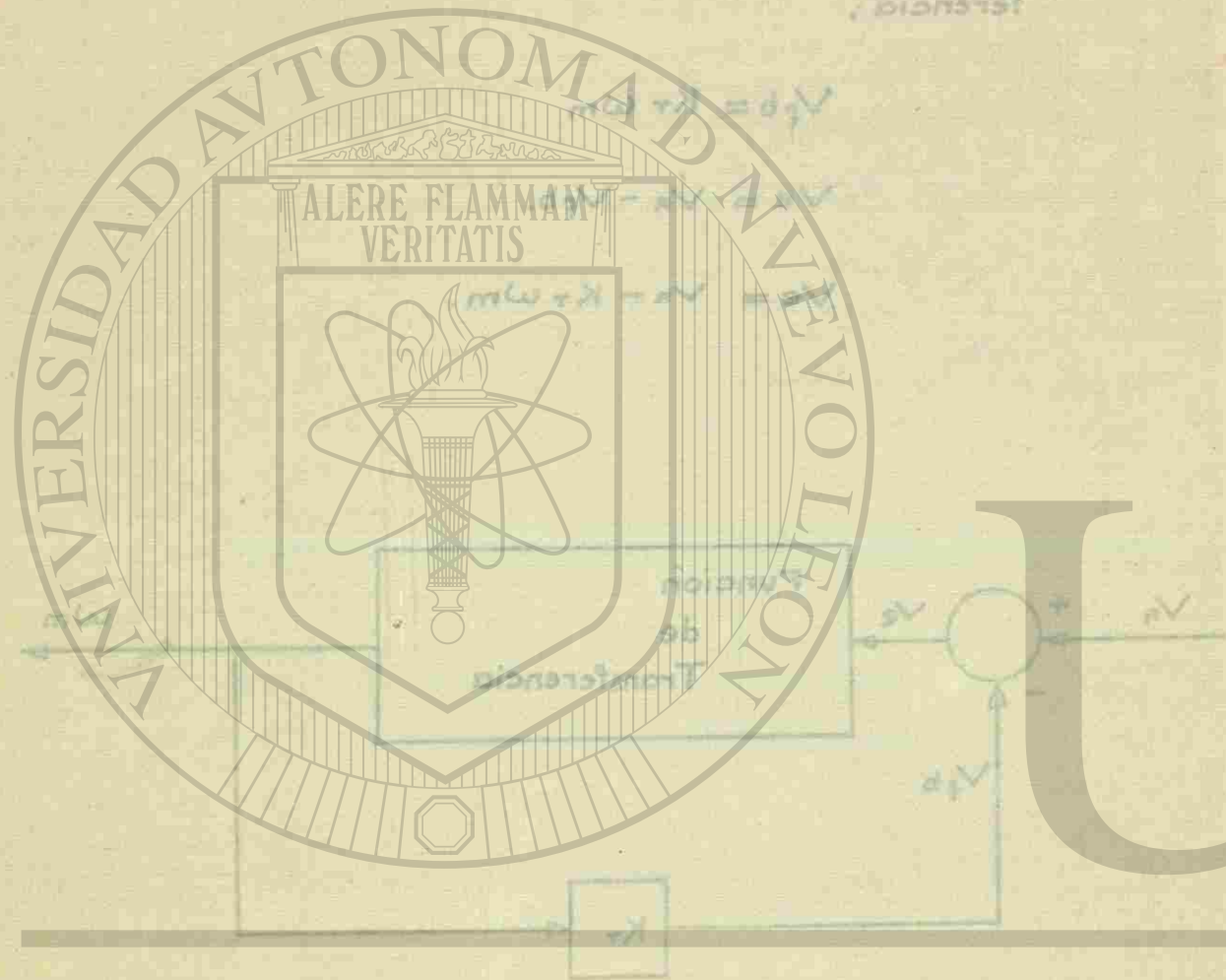

 BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
 ALFONSO REYES
 Año. 1925 MONTECERME, N.M.L.

Diagrama block del circuito de retroalimentación y voltaje de referencia.



$$K = 0.051 \frac{\text{Volt}}{\text{r.p.m}}$$

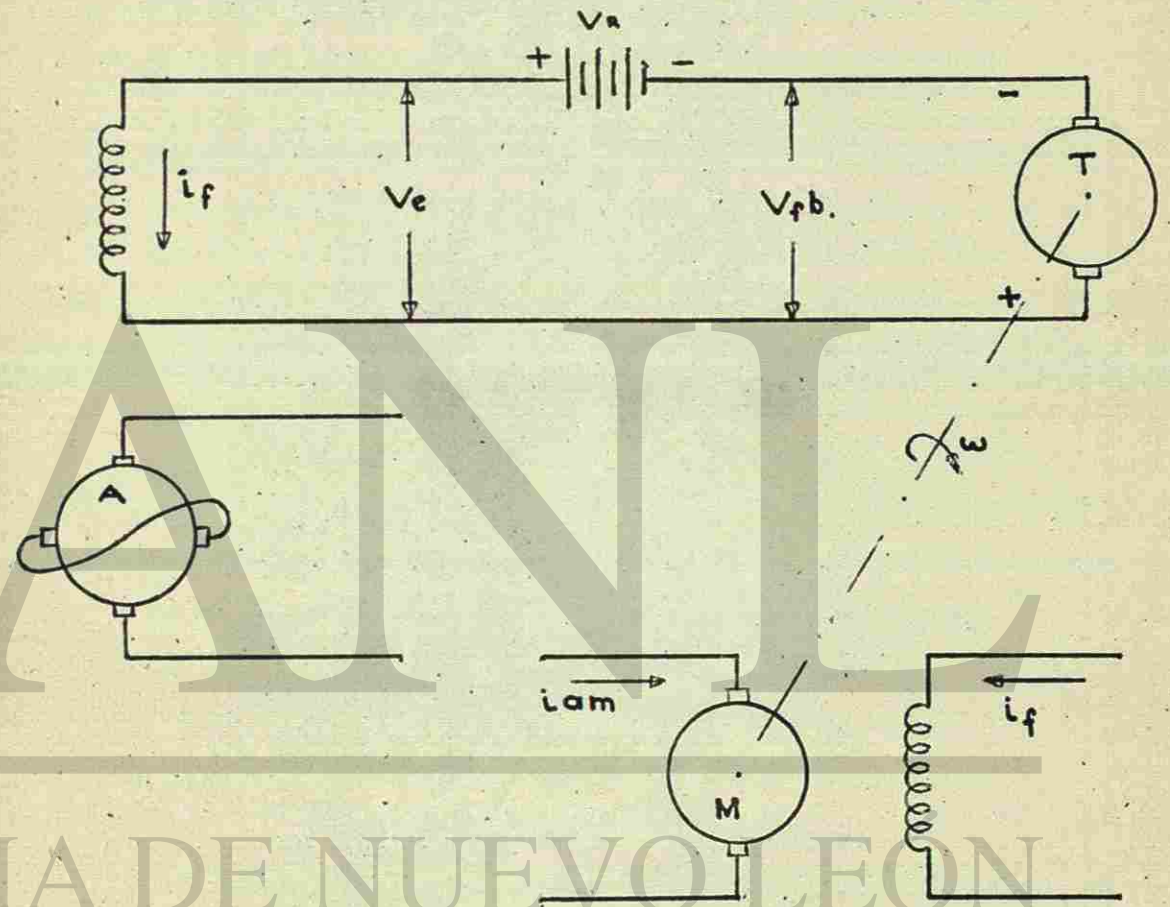
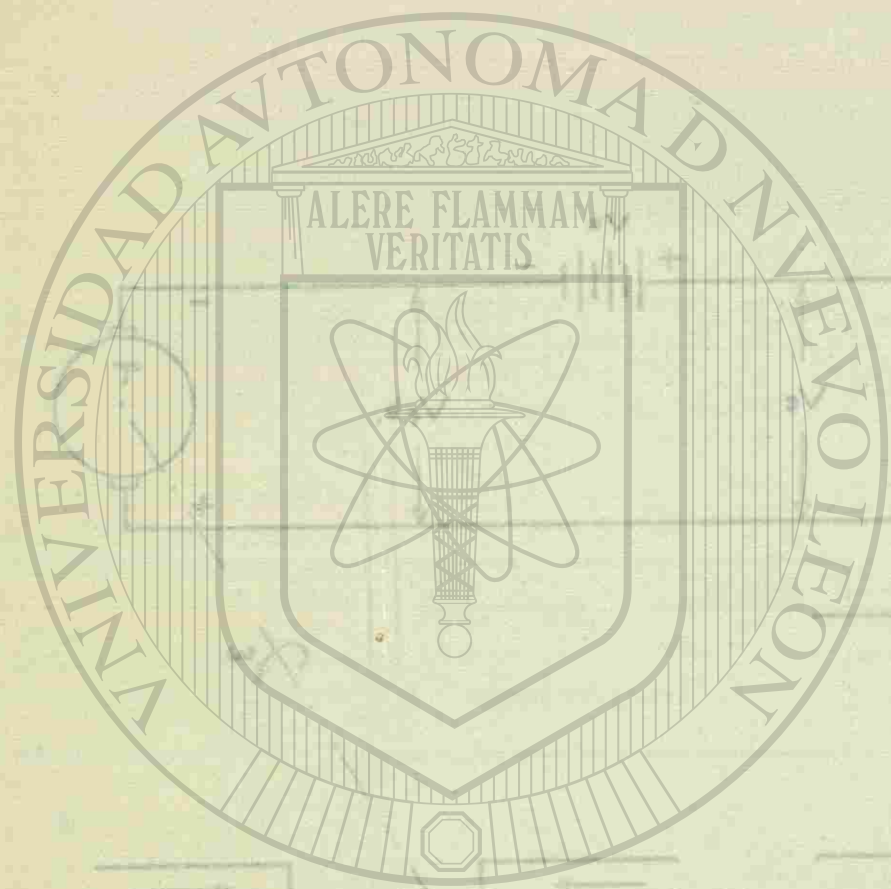


FIG. N° 10





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TEMA DE REGULACIÓN

1.- En la figura No. 11 se muestra el diagrama del sistema de regulación.

Diagrama Block del sistema.

Distribución las indicaciones de todas las acciones.

$$e_0 = \frac{K_1 K_2 E_1}{s^2 T_1 (1 + s T_2)} \quad (5)$$

$$e_1 = e_0 - 1/s (K_2 + s T_2) \quad e_2 = K_2 e_0$$

$$e_1 = e_0 - 1/s (K_2 T_2) \quad (13)$$

$$e_3 = \frac{K_3 (s+1)}{T_3 (1 + s T_4)} \quad (14)$$

CAPITULO III

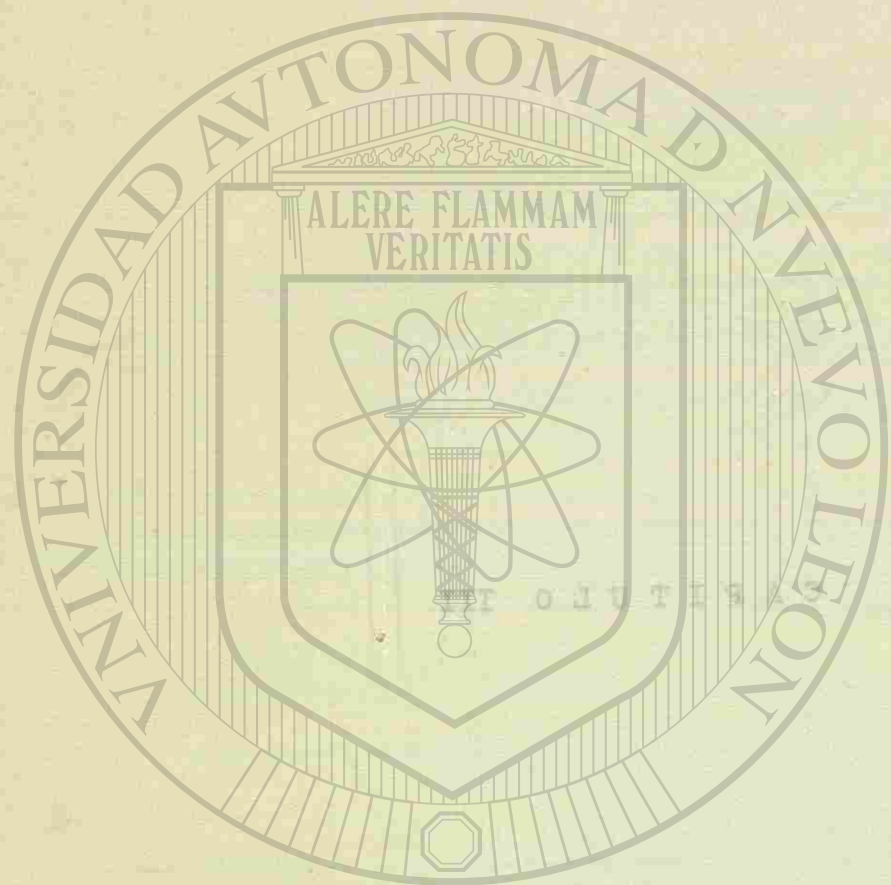
$$e_3 = \frac{K_3 (s+1)}{(T_3 T_4 (1 + s T_4) (1 + s T_5))} \quad (15)$$

Substituyendo (14) en (13)

$$e_3 = \frac{K_3 (s+1)}{T_3 T_4 (1 + s T_4) (1 + s T_5)} \quad (15)$$

Substituyendo (15) en (12)

En la figura No. 12 se muestra el Diagrama Block del sistema de regulación de velocidad en estado transitorio y en la figura No. 13 en estado estable.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

SISTEMA DE REGULACIÓN

1.- En la figura No. 11 se muestra el diagrama del sistema de regulación.

Diagrama block del sistema.

Despreciando las inductancias de todas las armaduras.

$$e_o = \frac{K_{qf} K_{dq}}{r_f r_g (1 + \gamma_f P)(1 + \gamma_q P)} V_e \quad (5)$$

$$e_l = e_o - i_{fg} (r_a + r_c + r'_c), \quad r_a' = r_a + r_c + r'_c$$

$$e_l = e_o - i_{fg} (r_a') \quad (13)$$

$$e_g = \frac{K_g (e_l)}{r_{fg} (1 + \gamma_{fg} P)} \quad (8)$$

Sustituyendo (13) en (8)

$$e_g = \frac{K_g e_o}{(r_{fg} + r_a') (1 + \gamma_{fg} + r P)} \quad (14)$$

Sustituyendo (5) en (14)

$$e_g = \frac{K_g K_{qf} K_{dq}}{r_f r_q (1 + \gamma_f P)(1 + \gamma_q P)(r_{fg} + r_a') (1 + \gamma_{fg} + r P)} V_e \quad (15)$$

Sustituyendo (15) en (12)

y haciendo $r_{am} = r_{am} + r_{ag}$

$$w_m = \frac{K_g K_{qf} K_{dq}}{K_l + J P r_a' m (1 + \gamma_{am} P)} \frac{V_e}{r_f r_q (1 + \gamma_f P)(1 + \gamma_q P)(r_{fg} + r_a') (1 + \gamma_{fg} + r P)} \quad (16)$$

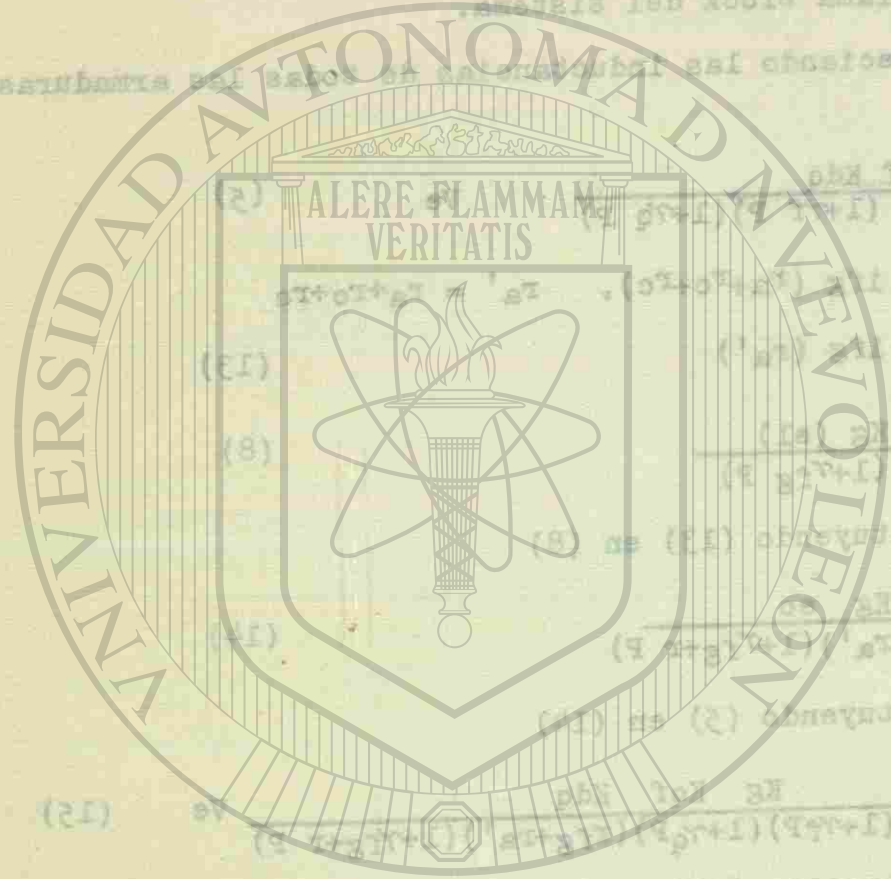
$$TL = \frac{r_a' m (1 + \gamma_{am} P)}{K_l + J P r_a' m (1 + \gamma_{am} P)} \quad (16)$$

En la figura No. 12 se muestra el diagrama block del sistema de regulación de velocidad en estado transitorio y en la figura No. 13 en estado estable.

1.- En la figura No. 11 se muestra el diagrama del sistema de regulación.

Diagrama block del sistema.

Después de las indicaciones de las aristas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En la figura No. 12 se muestra el diagrama block del sistema de regulación de velocidad en estado transitorio y en la figura No. 13 en estado estable.

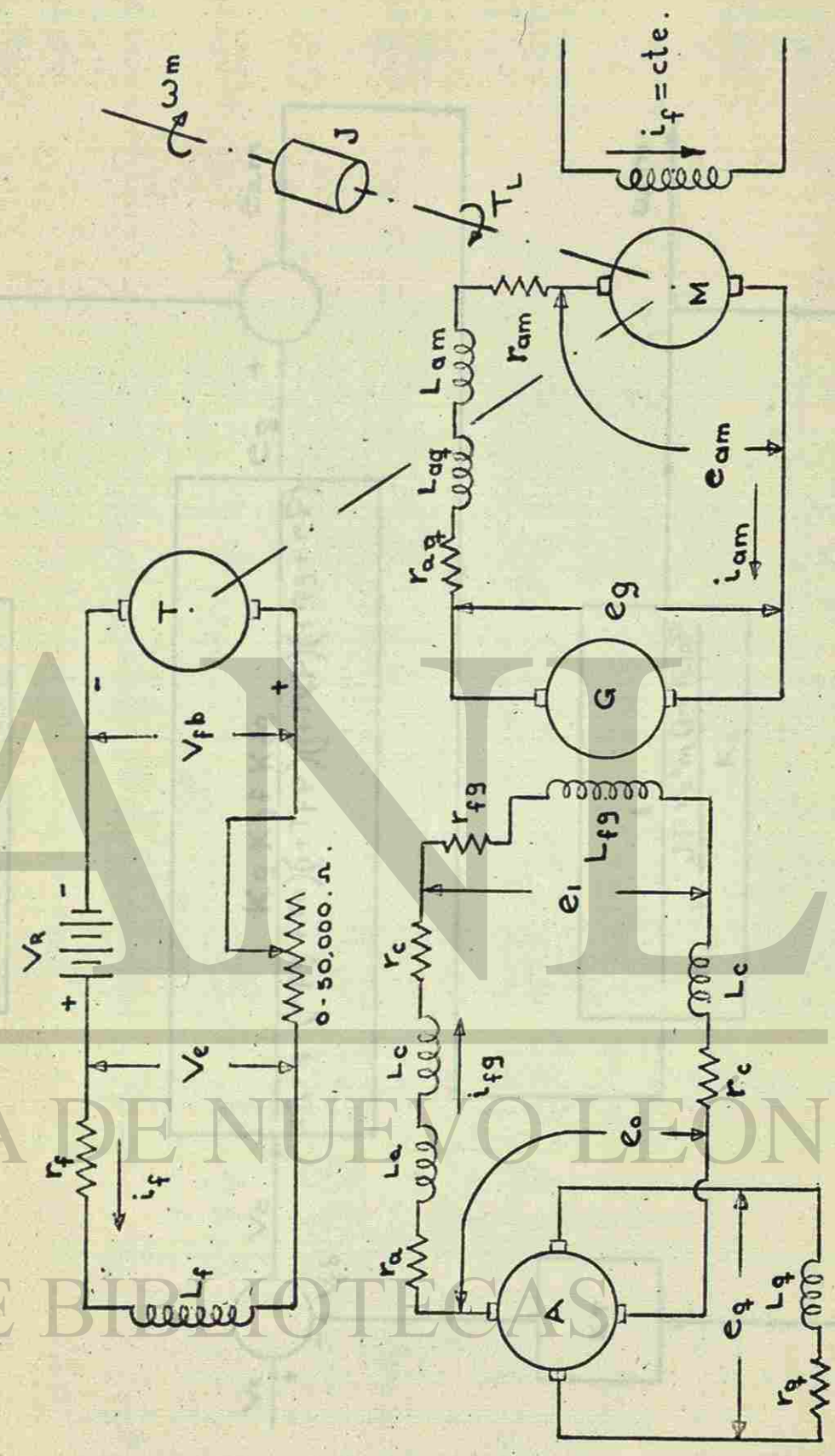
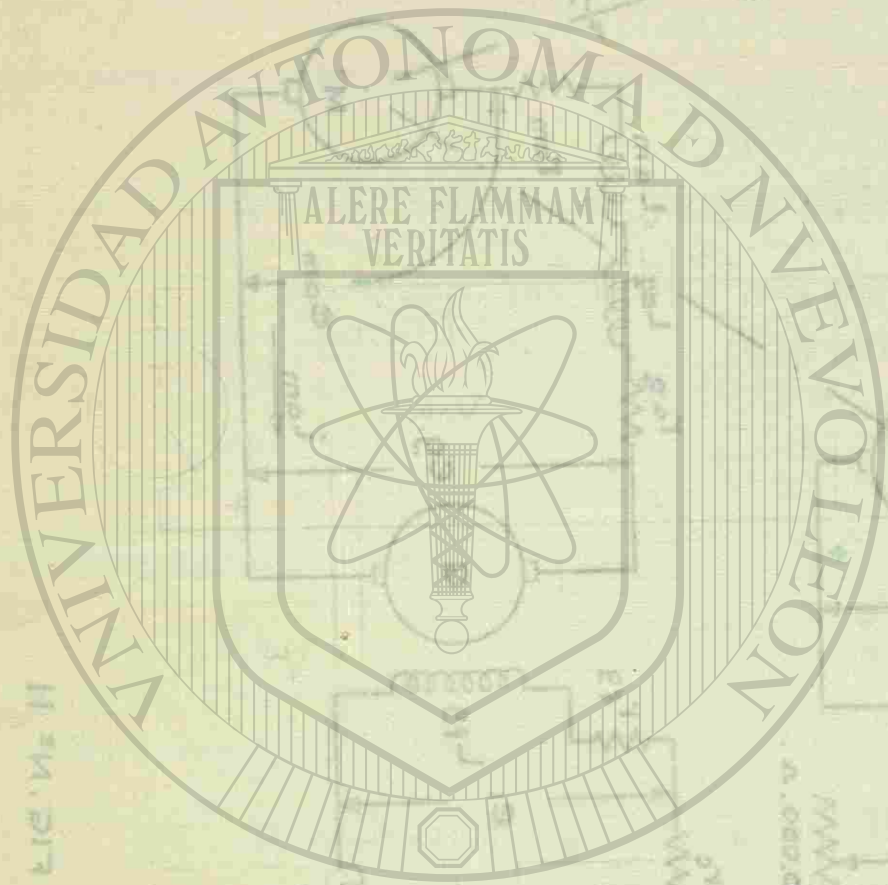


FIG. N° 11



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

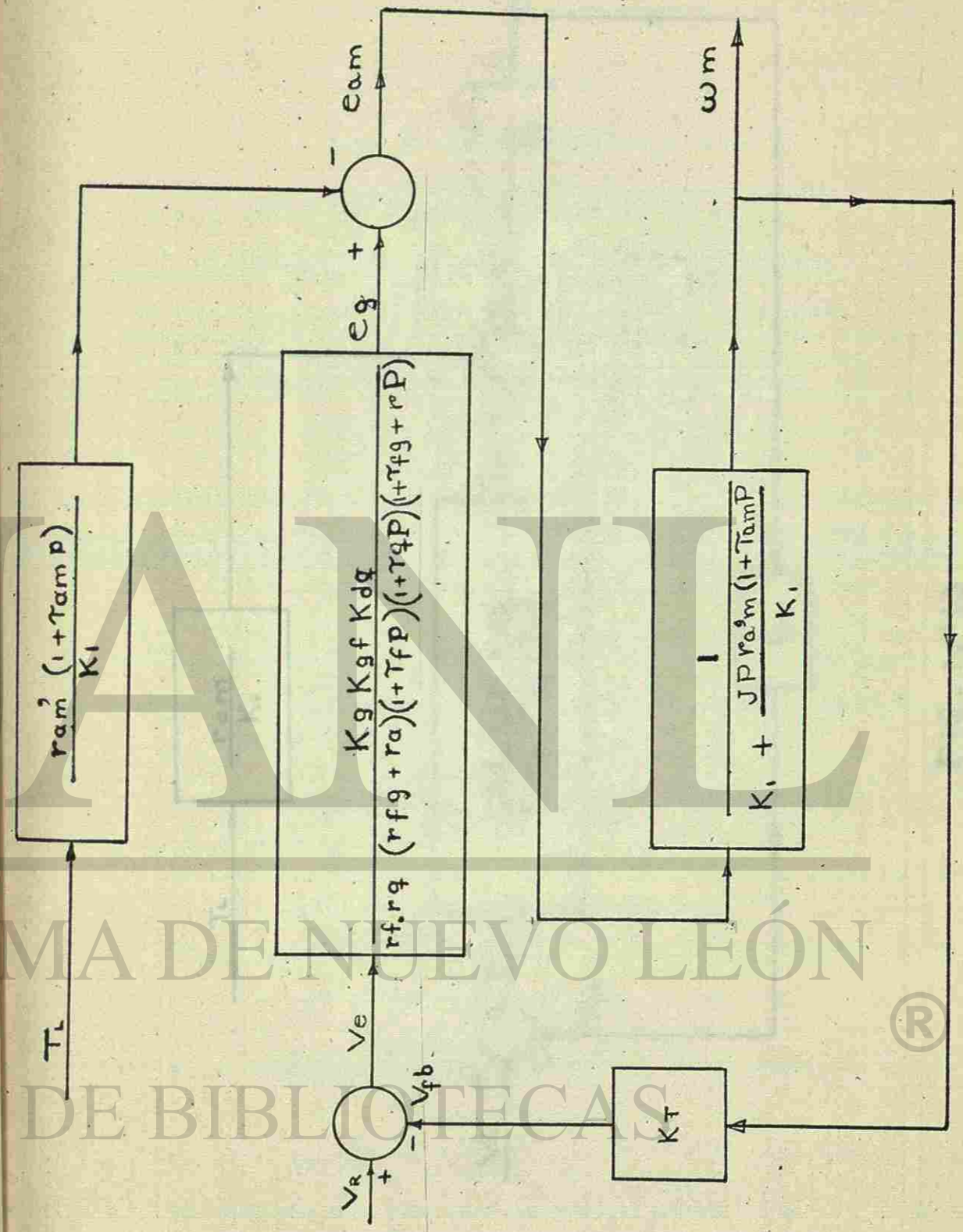


FIG N° 12

LIC No 15

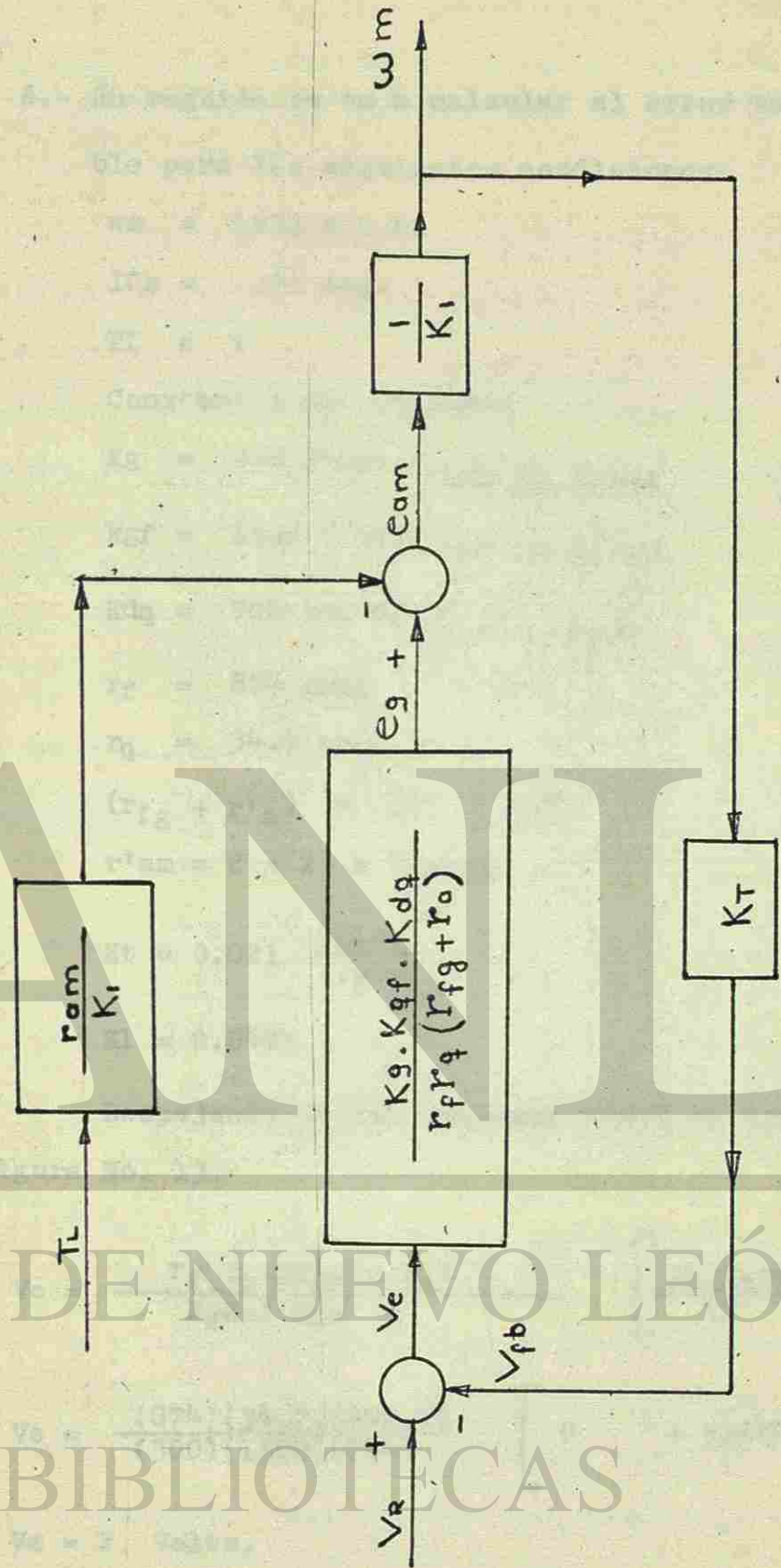
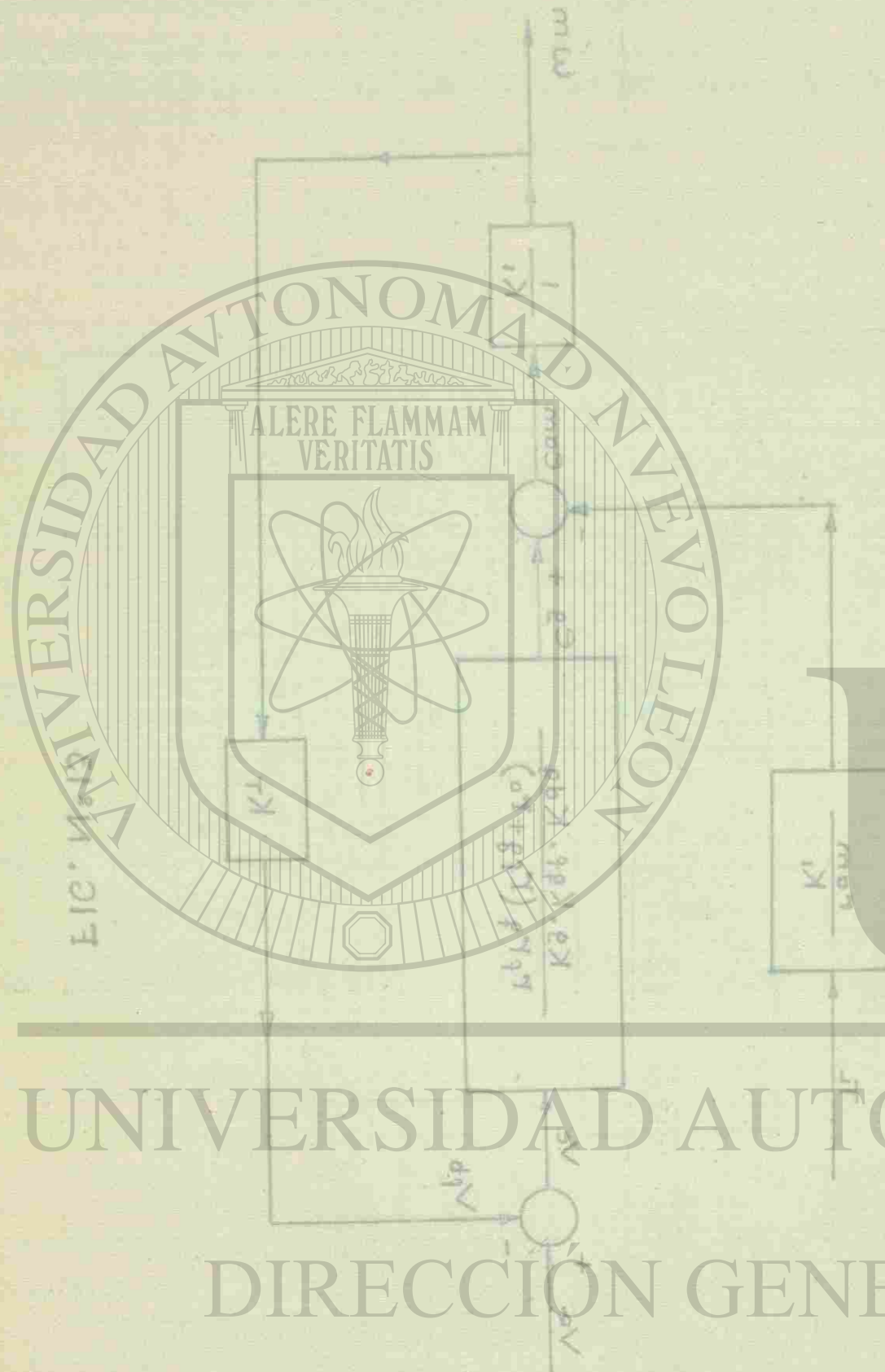


FIG. N° 13

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





2.- En seguida se va a calcular el error V_e en estado estable para las siguientes condiciones:

- 1.- $w_m = 1800$ r.p.m.
- $I_{fm} = .335$ amp.
- $T_L = 0$
- Constantes del sistema:
- $K_g = 300$ Volts./ amp de campo
- $k_{gf} = 1500$ Volts/ amp de campo
- $K_{dq} = 700$ Volts/ amp de campo
- $r_f = 874$ ohms
- $r_q = 34.7$ ohms.
- $(r_{fg} + r'_a) = 242.7$ ohms
- $r'_{am} = 2 + 2 = 4$ ohms
- $K_t = 0.021 \frac{\text{Volts}}{\text{r.p.m.}}$
- $K_l = 0.0475$

Despejando V_e del diagrama block en estado estable de la figura No. 13.

$$V_e = \frac{r_f \cdot r_q \cdot (r_{fg} + r_a)}{K_g K_{gf} K_{dq}} \left[\frac{T_L \cdot r_a' \cdot m}{K_l} + K \cdot W_m \right]$$

$$V_e = \frac{(874)(34.7)(242.7)}{(300)(1500)(700)} \left[0 + (1800)(0.0475) \right]$$

$V_e = 2.$ Volts.

$V_r = V_f/b + V_e$

$V_f/b = K_t w_m$

$V_r = K_t w_m + V_e$

En la prueba del sistema sin retroalimentación, se usó

$$V_r = (0.021) 1800 + 2.00 =$$

$$V_r = 39.8 \text{ Volts}$$

3.- Conservando el valor de $V_r = 39.8$ Volts encontrado en el cálculo anterior con un par cero, se va a calcular en seguida la velocidad a un par de 1.675 lb- pie y de esta manera calcular la regulación de velocidad teóricamente.

$$T'L = 1.675 \text{ lb-pie}$$

$$TL = \frac{T'L}{7.04} = \frac{1.675}{7.04} = .238$$

$$w_m = \frac{V_r \left(\frac{K_g K_{qf} K_{dq}}{r_f r_q (r_{fg} + r_{a'})} \right) - TL \frac{r'_{am}}{K_l}}{K_l + K_t} \frac{K_g K_{qf} K_{dq}}{r_f r_q (r_{fg} + r_{a'})}$$

$$w_m = \frac{39.8 (42.7) - 5 (4)}{.0475 + 0.021 (42.7)} = \frac{1685}{0.945}$$

$$w_m = 1785 \text{ r.p.m.}$$

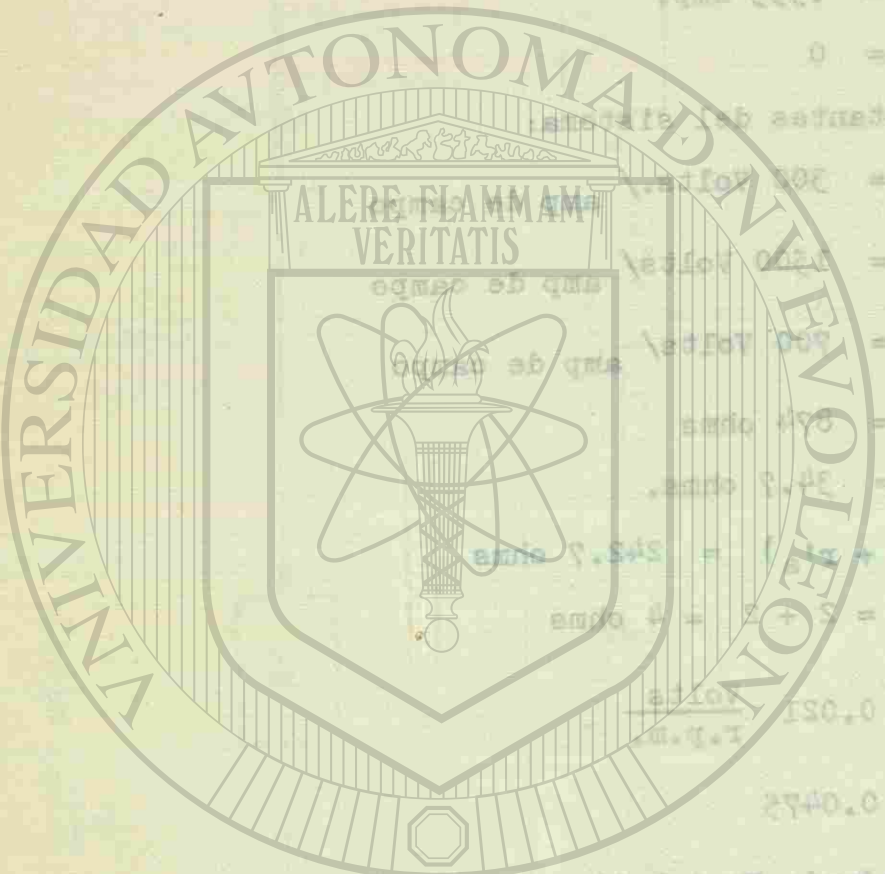
$$\% \text{ Reg} = \frac{1800 - 1785}{1800} 100$$

$$\% \text{ Reg} = 0.832 \%$$

El voltaje de referencia $V_r = 39.8$ Volts fué el que se usó en el sistema que se construyó, obteniéndose una regulación de 0.832 %, lo cual indica que las constantes encontradas por medio de las pruebas hechas a las máquinas, se pueden utilizar para cualquier otro cálculo con buenos resultados prácticos.

4.- En el sistema de regulación que se construyó en el laboratorio, se uso como carga la máquina generalizada, trabajando como generador de corriente directa.

En la prueba del sistema sin retroalimentación, se usó



DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

un voltaje constante de 90 volts en las terminales del motor y una corriente constante en su campo $I_{fm} = .335$ amp.

En la prueba del sistema con retroalimentación se utilizó lo siguiente.

$$I_{fm} = .335 = cte$$

$$V_r = 39.8 \text{ Volts} = cte$$

Una resistencia en serie con el voltaje retroalimentado de 0 - 50,000 ohms, para evitar una corriente alta en el campo de la Amplidina cuando no existe un voltaje retroalimentado y esta resistencia se puenteará conforme el motor vaya tomando velocidad

Velocidad a la cual va a regularse el motor = 1800 r.p.m.

En la Tabla II se muestra la prueba hecha al motor sin retroalimentación y con la carga on sea, el generador-maq generalizada trabajando a 50 volts constantes en terminales, a diferentes corriente de armadura, variando la corriente de campo del generador-maq generalizada (prueba para obtener la regulación del generador - maq. generalizada)

Teniéndose una regulación de velocidad de 8.89 %

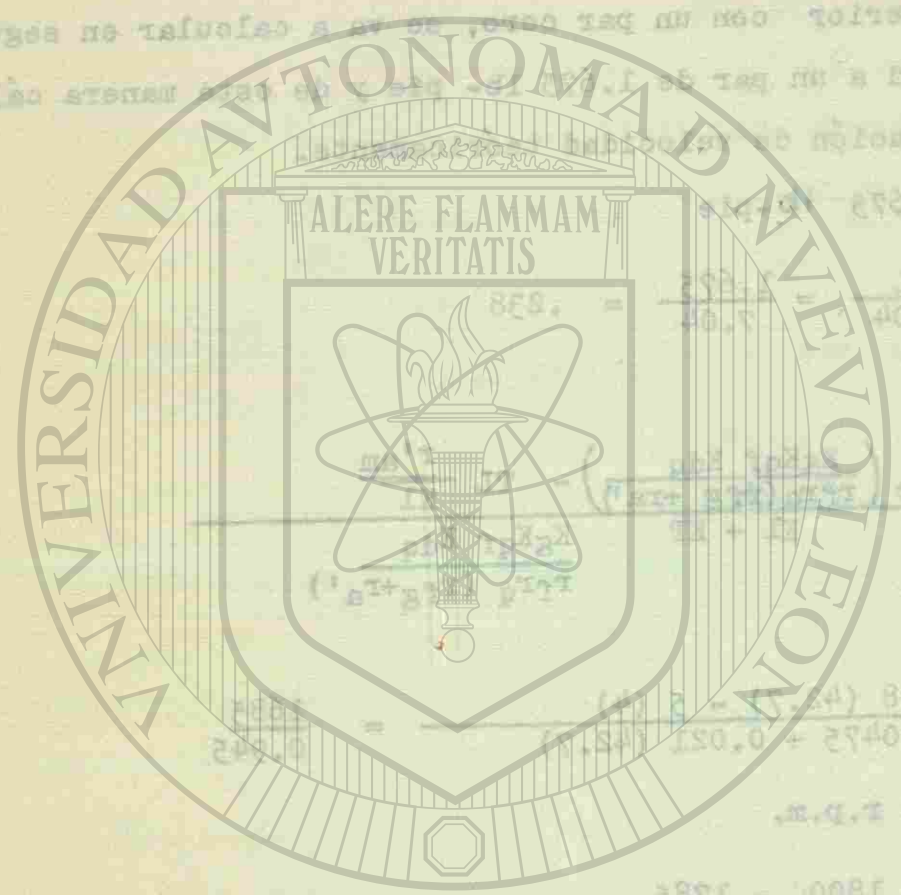
En la Tabla III se muestra la misma prueba con retroalimentación, obteniéndose una regulación de velocidad de 0.832 %.

En la figura No. 14 se muestran las dos curvas de velocidad contra corriente de armadura del motor.

TABLA II

Carga.

$V = 50 \text{ Volts} = \text{Voltaje en terminales del generador}$
(Maq. Generalizada)



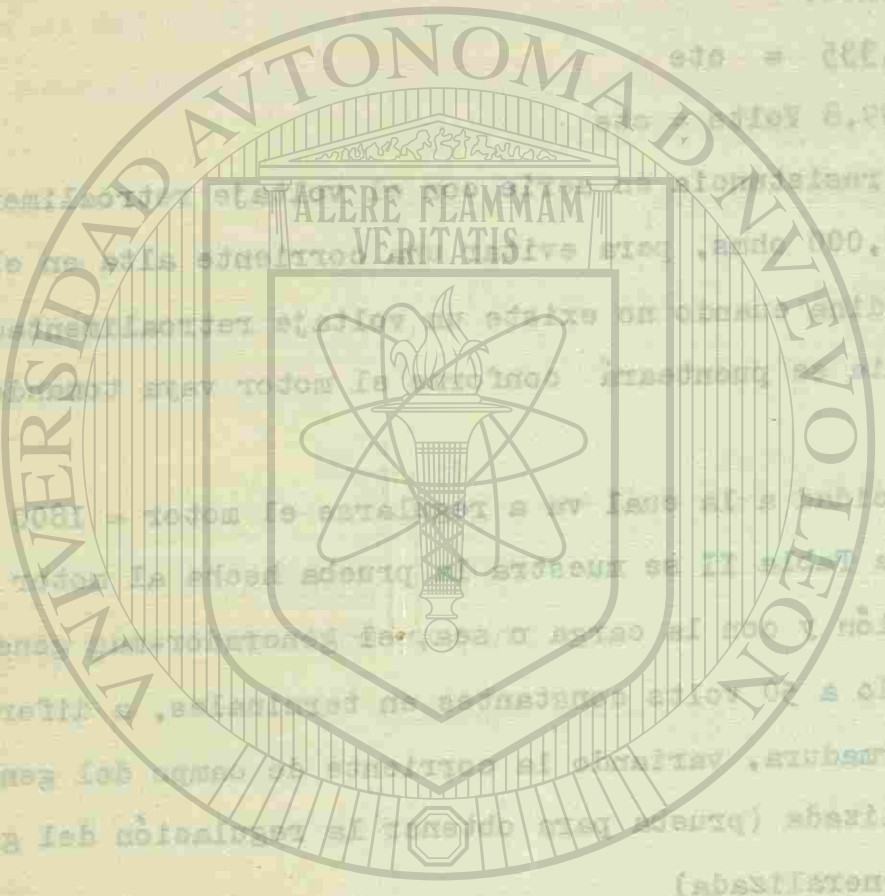
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

un voltaje constante de 90 voltios en las terminales del motor y una corriente constante en su campo $I_m = 1.335$ amp. En la prueba del sistema con retroalimentación se usó

los siguientes: $I_m = 1.335$ amp. $V_r = 12.8$ voltios. Una vez más se verificó que cuando no existe un voltaje retroalimentado y se trata de un motor con una resistencia constante, la corriente de campo I_m debe ser constante. En la Tabla II se muestran los resultados de las pruebas hechas al motor sin retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla III se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla IV se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla V se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms.

En la Tabla III se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla IV se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla V se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms.

En la figura No. 14 se muestran las dos curvas de voltaje contra corriente de armadura del motor. En la Tabla II se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla III se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla IV se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms. En la Tabla V se muestran los resultados de las pruebas hechas con retroalimentación y con la carga de 100.00 ohms.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

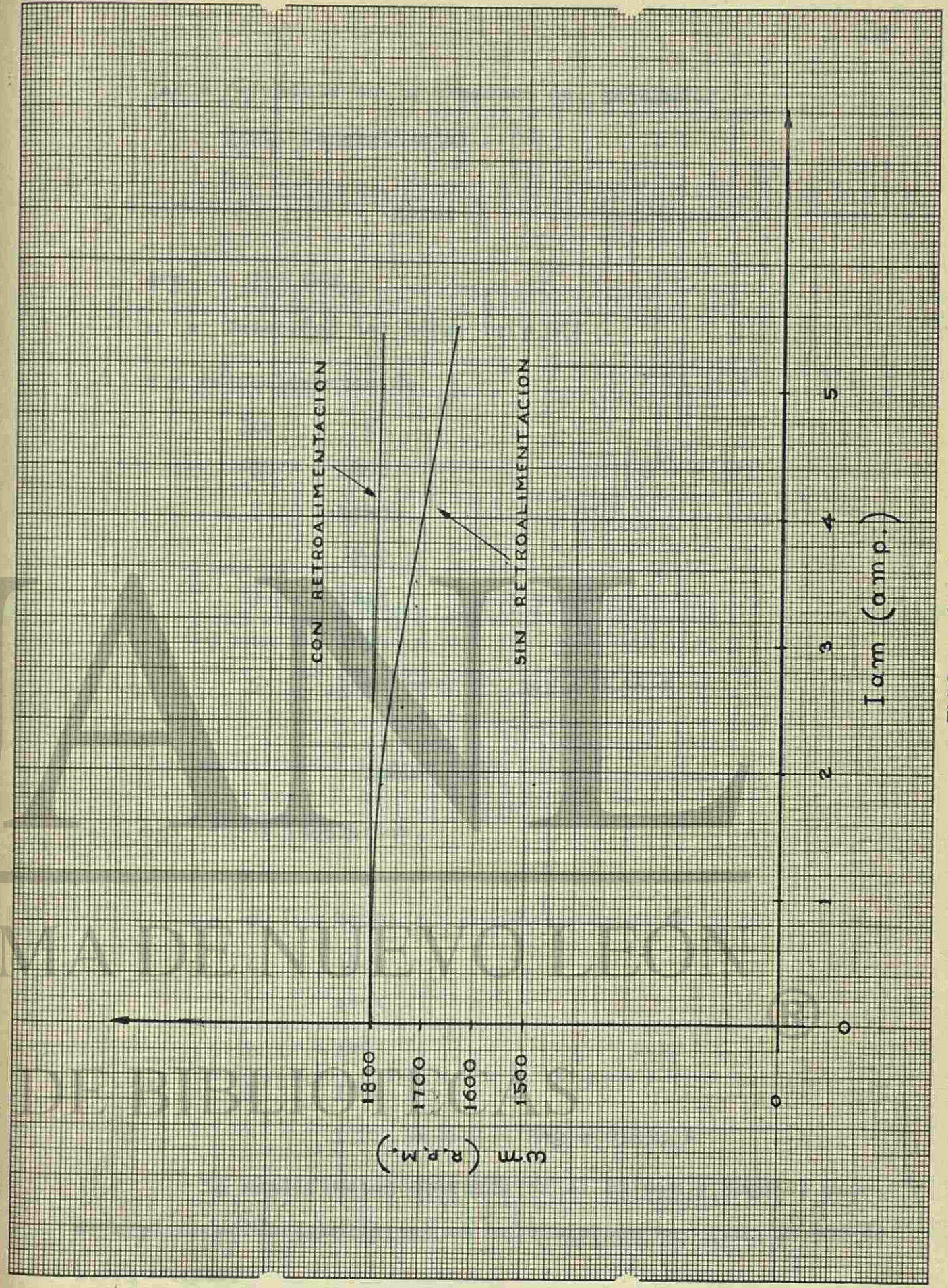


FIG. N° 14

I_{ac} = Corriente en la armadura del generador.

(MaQ. Generalizada)

Motor

I_{fm} = .335 amp.

n = Velocidad del motor (r.p.m.)

Sin retroalimentación

I_{ac}	n
0	1800
1	1780
2	1740
3	1715
4	1690
5	1640 ← Reg = 8.98 %

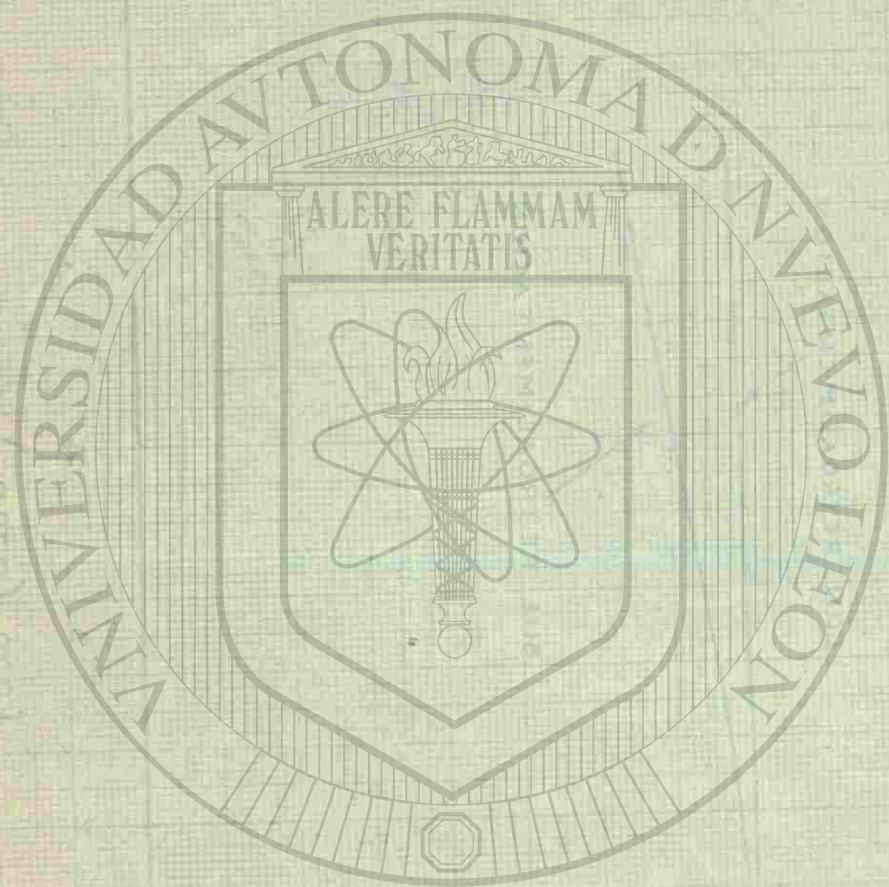
TABLA III

Con retroalimentación.

I_{ac}	n
0	1800
1	1800
2	1795
3	1795
4	1790
5	1785 ← Reg = 0.832 %

La amplificación obtenida en el primer y segundo paso de amplificación (Amplidina) en este sistema es: (con un par de 1.675 lb-pie)

Potencia alimentada a la Amplidina



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$= \frac{V_e^2}{r_f} = \frac{(V_r - V_{fb})^2}{r_f}$$

$$= \frac{[39.8 - (1785 \times 0.021)]^2}{874}$$

$$= 6.06 \times 10^{-3} \text{ Watts}$$

Potencia alimentada al campo del generador (salida amplificada) =

$$= \left(\frac{i_f \cdot K_{gf} \cdot K_{dq}}{r_q} \right)^2 \frac{1}{r_a' + r_{fg}}$$

$$= \left(\frac{2.54 \times 10^{-3} \times 1500 \times 700}{34.7} \right)^2 \frac{1}{242.7}$$

$$= 24.8 \text{ Watts}$$

$$F.A.1 = \frac{24.8}{6.06 \times 10^{-3}} = 4,100.$$

Amplificación en el tercer paso (Generador grupo XI)

Potencia de entrada

$$= 24.8 \text{ Watts}$$

Potencia de salida

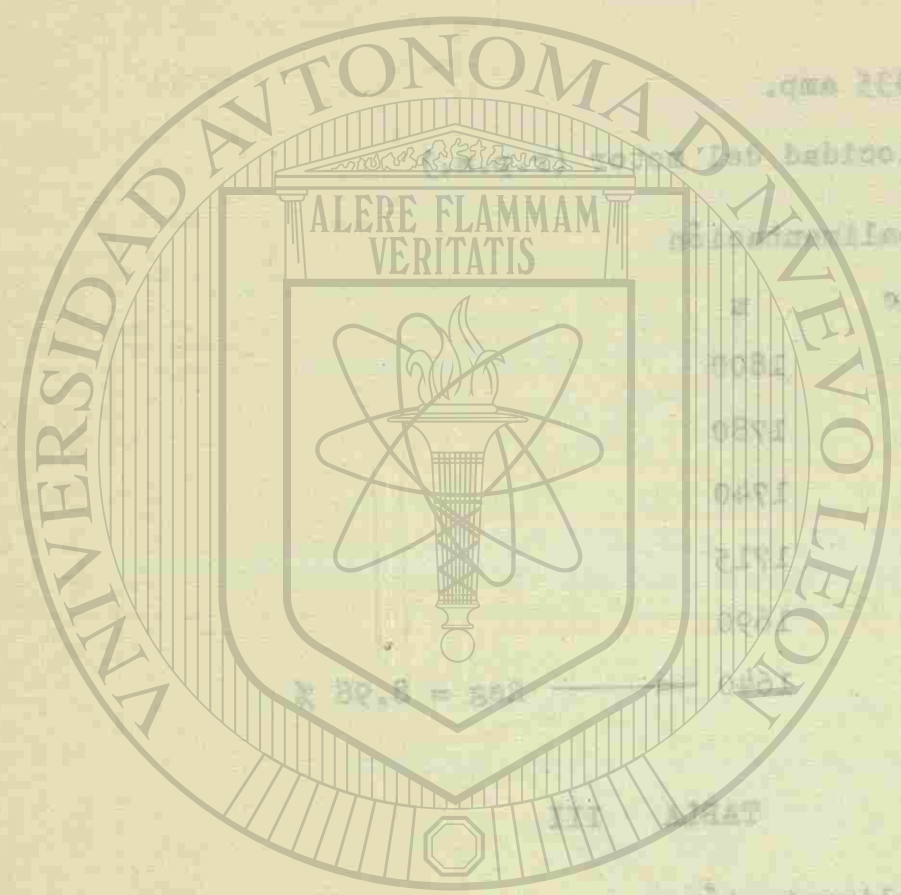
$$\frac{TL \times W \times 746 \times 12}{63,000 \times}$$

$$= \frac{1.675 \times 746 \times 12 \times 1800}{63,000 \times}$$

$$= 427. \text{ W}$$

$$F.A.2 = \frac{427}{24.8} = 17.2$$

Factor de amplificación total



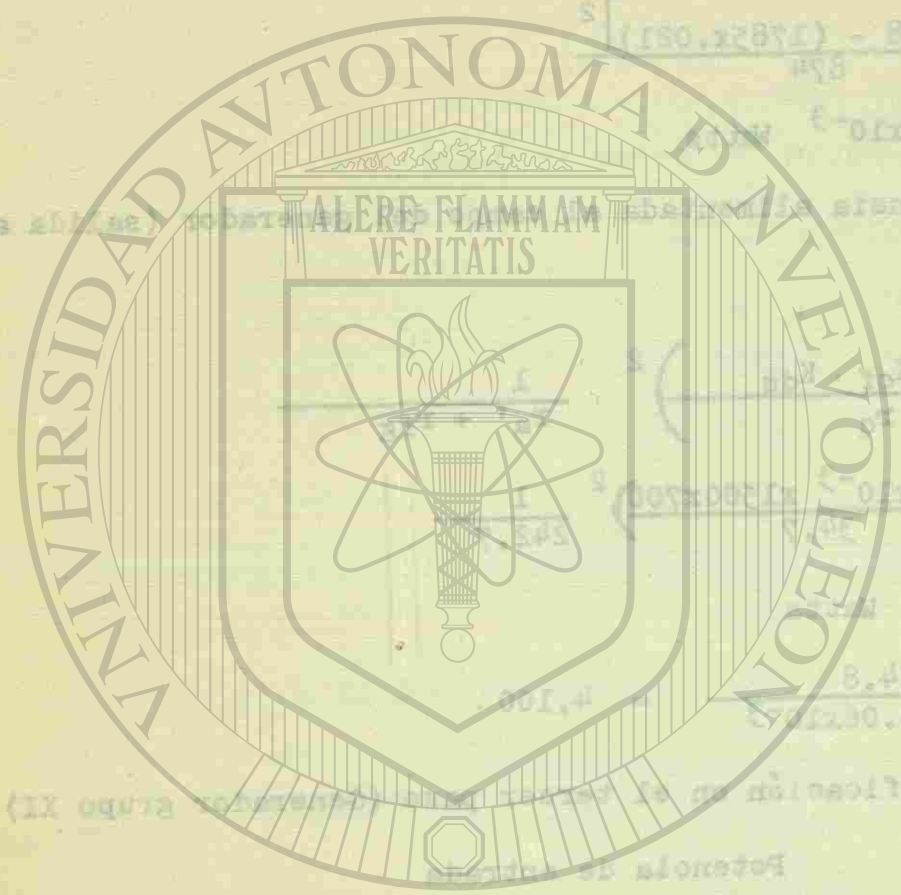
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



$$F.A. = 17.2 \times 4,100 = \underline{70,500}$$

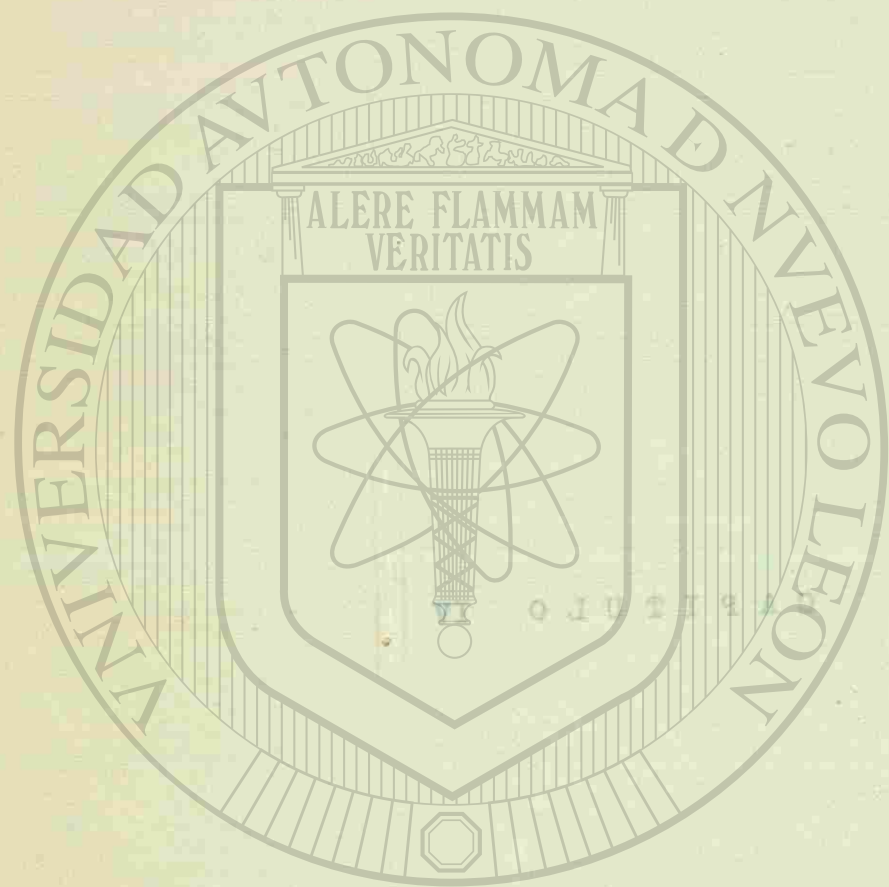
El cual checa con las mediciones hechas en las pruebas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

La Amplidina con que se cuenta en el laboratorio es muy pequeña (150W), por esto se utilizó el generador del grupo XI para obtener la amplificación necesaria y regular la velocidad con la corriente de armadura.

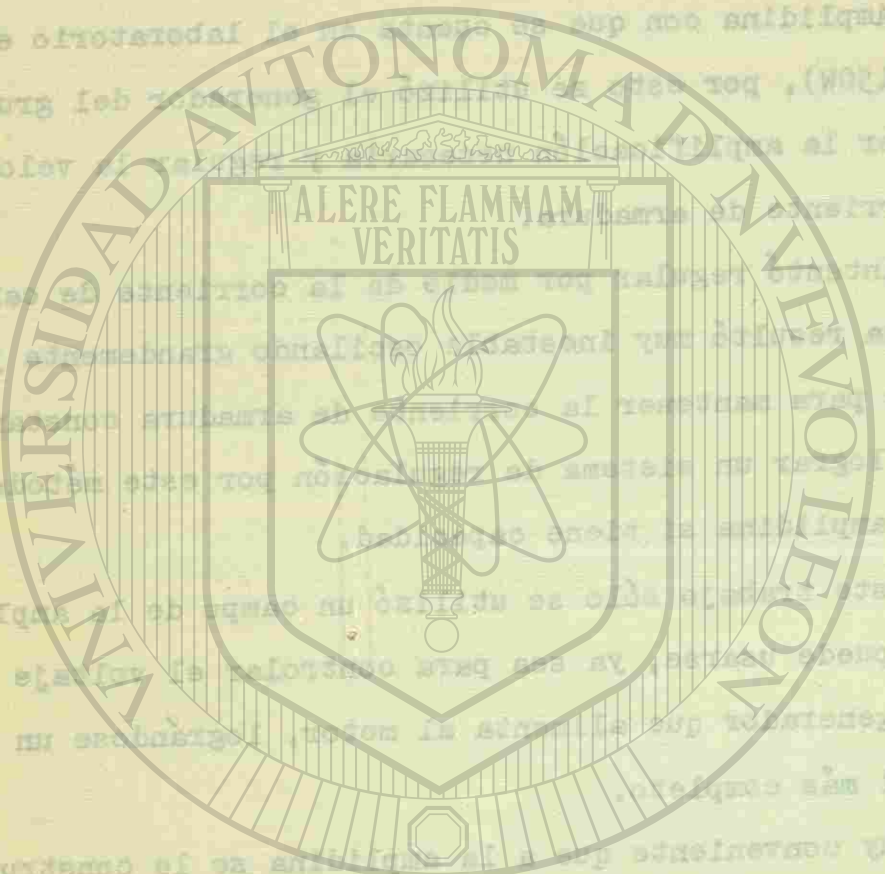
Se intentó regular por medio de la corriente de campo, pero el sistema resultó muy inestable oscilando grandemente y se tuvo problemas para mantener la corriente de armadura constante, no pudiéndose lograr un sistema de regulación por este método para el cual la amplidina si tiene capacidad.

En este trabajo sólo se utilizó un campo de la amplidina, el otro campo puede usarse, ya sea para controlar el voltaje o la corriente del generador que alimenta al motor, lográndose un sistema de control más completo.

Es muy conveniente que a la amplidina se le construya un tablero de conexiones, con las terminales bien identificadas, así como tener a la mano todas las características de las máquinas que se tienen en el laboratorio, facilitando su manejo para las futuras prácticas de los alumnos de la Escuela de Graduados, en lo que respecta a "Máquinas Eléctricas Especiales" y "Sistemas de Control", ya que después de esta experiencia, se tiene una idea más precisa del comportamiento de las máquinas de corriente directa y de los sistemas de control.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Electrical Machinery
A.E. Fitzgerald and Kingsley.
- 2.- Direct current machines
Liwschitz - Garik
and Whipple
- 3.- Escuela del Técnico Electricista.
Tomo IV.
- 4.- Automatic Control Engineering.
F. H. Raven.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN
 BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
 "ALFONSO REYES"
 No. 1625 MONTERREY, NUEVO LEÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

