



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
de la U. N. L.



ASOCIACION MEXICANA DE INGENIEROS MECANICOS Y ELECTRICISTAS, A. C.

SEMINARIO DE ING. MECANICA

Ponencia:

**ESTUDIO ANALITICO
DEL CONTROL DE
VELOCIDAD MEDIANTE
GOBERNADOR ISOCRONO.**

1055

Monterrey, N. L.
Agosto de 1967.

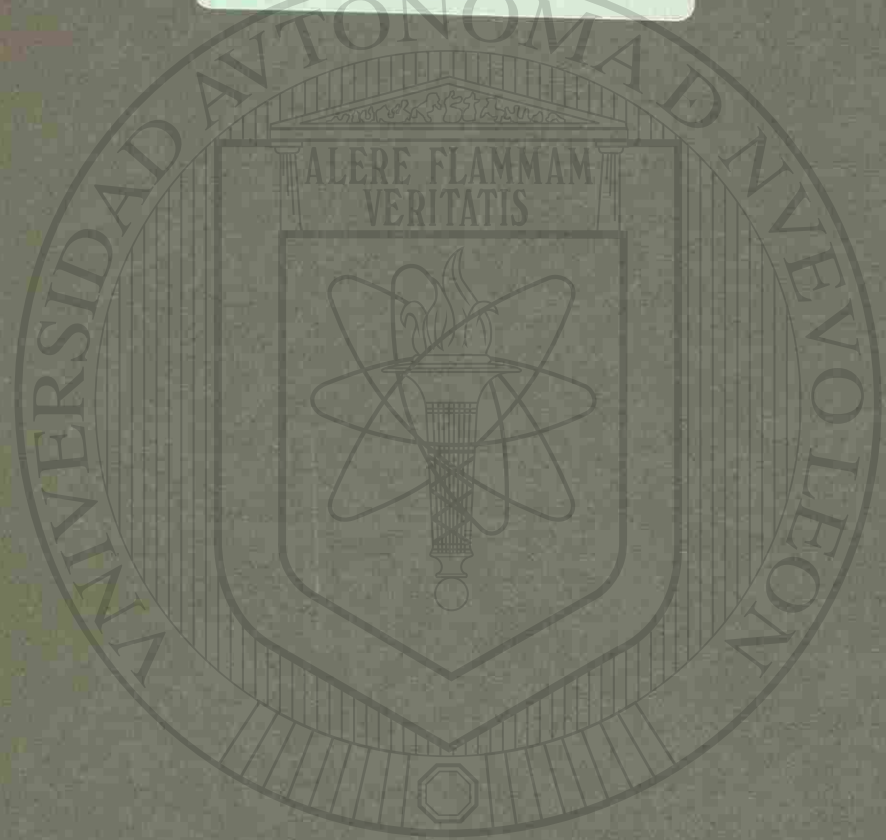
Presentada por:

ING. MIGUEL GABINO PEREZ
ING. JESUS LEAL MACIAS

Handwritten text on a palm leaf manuscript strip, oriented vertically. The text is written in a dark ink and appears to be a list or record of numbers and names. The visible text includes:

1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000

1055



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

30

*Recibi
250 ejemplares
agosto 21, 1967.*

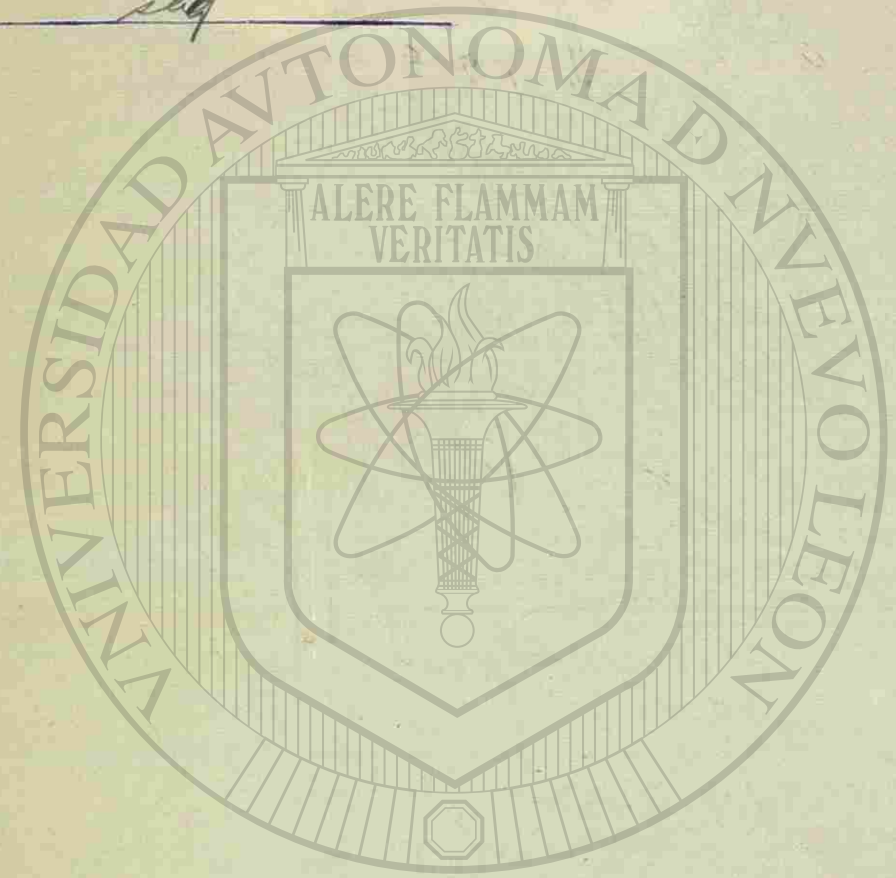
Luis Rdz. Frey

UANL



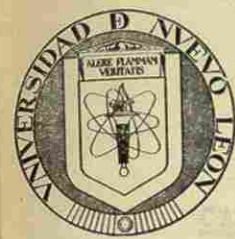
ING. MIGUEL GARCÍA PÉREZ
ING. JOSÉ L. L. RIVERA

Núm. Clas. 621.812
 Núm. Autor P4282
 Núm. Adg. 059365
 Procedencia 1
 Precio _____
 Fecha Abril 1968.
 Clasificó sig
 Catalogó sig



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
 de la U. N. L.



ASOCIACION MEXICANA DE INGENIEROS MECANICOS Y ELECTRICISTAS, A. C.

SEMINARIO DE ING. MECANICA

Ponencia:

**ESTUDIO ANALITICO
 DEL CONTROL DE
 VELOCIDAD MEDIANTE
 GOBERNADOR ISOCRONO.**

Monterrey, N. L.
 Agosto de 1967.

Presentada por:

ING. MIGUEL GABINO PEREZ
 ING. JESUS LEAL MACIAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
 "ALFONSO REYES"



Capilla Alfonsina
 Biblioteca Universitaria



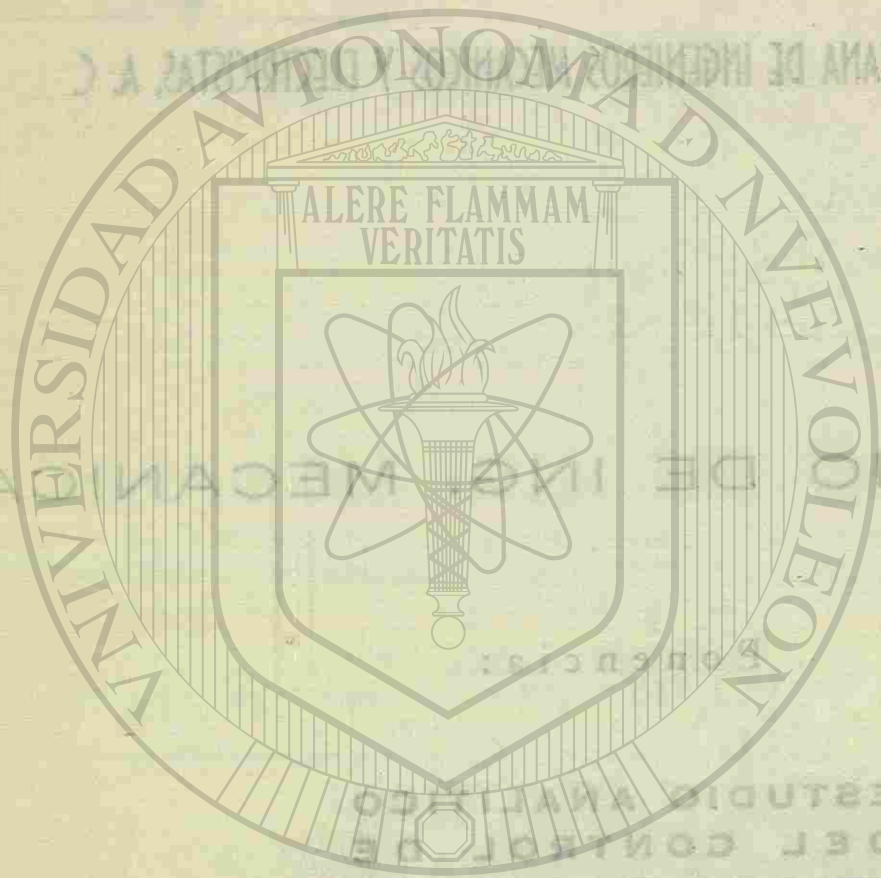
FONDO UNIVERSITARIO
059365

TJ1055

P4

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

de la U.N.L.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO UNIVERSITARIO

INDICE

<u>CAPITULO</u>	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION	1
I DERIVACION ANALITICA DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA	2
1.1 Nota Aclaratoria	2
1.2 Análisis	4
II ANALISIS DEL DOMINIO DEL TIEMPO	14
2.1 Análisis del Dominio del Tiempo	14
2.2 Lugar Geométrico de las Raíces	14
2.3 Análisis de Estado Estable	18
2.4 Características de la Respuesta Transitoria	19
2.5 Respuesta Transitoria ante un Cambio en la Señal de Referencia	19
2.6 Respuesta Transitoria ante un Cambio en la Perturbación	21
III RESPUESTA DE FRECUENCIA	24
3.1 Respuesta de Frecuencia	24
3.2 Análisis de Estabilidad	29
IV APLICACION DEL ANALISIS A UN CASO PARTICULAR	33
4.1 Valores de los Parámetros	33
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFIA	37

INTRODUCCION

El propósito fundamental de este estudio es mostrar de la manera más sencilla posible el desarrollo analítico de un gobernador ISOCRONO; dicho en terminología de control, derivar la función de transferencia del sistema analizado.

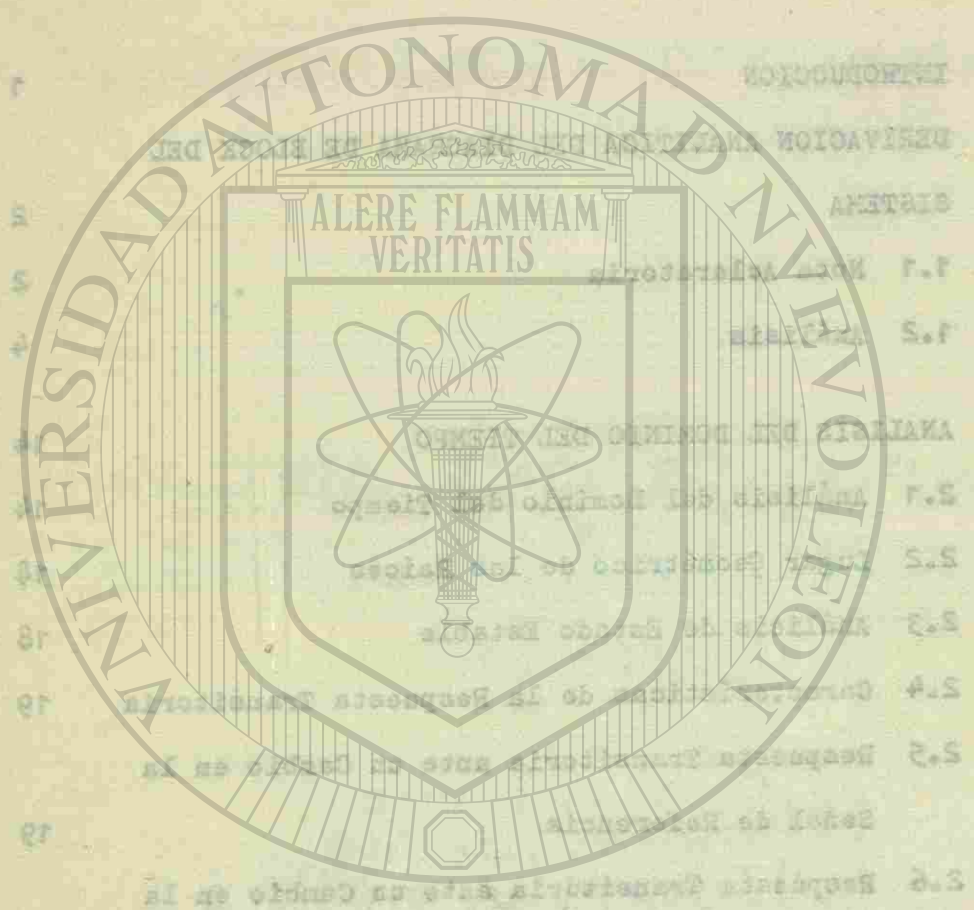
De antemano aclaramos que para la comprensión de este trabajo sólo son necesarios conocimientos elementales de teoría de control, a saber, noción de transformada de Laplace, linealización de ecuaciones, criterios de estabilidad, posición de raíces, respuesta de frecuencia, etc.

Hablemos ahora un poco sobre gobernadores. El sencillo gobernador mecánico de Watt de masas giratorias es todavía el corazón de muchos sistemas de control de velocidad. Su construcción relativamente sencilla, su viabilidad y su bajo costo lo han mantenido; pese a los grandes y atropellantes adelantos de nuestra época actual, en un puesto muy privilegiado de popularidad dentro de los medios más efectivos de control de velocidad.

Todos los gobernadores caen dentro de dos grandes clasificaciones, los ISOCRONOS y los NO-ISOCRONOS. Los primeros tienen como característica principal el que mantienen la máquina prima a velocidad constante (en estado estable) independientemente de los cambios de carga; explicando mejor, si se genera un cambio en la carga de la máquina cuya velocidad se quiere controlar, se producirá un transitorio cuyas características, desde el punto de vista de controles, están determinadas por el denominador

PAGINA

CAPITULO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



de la función de transferencia del sistema analizado, esto es, exclusivamente por la función característica. Durante este transitorio si habrá variaciones en la velocidad, sin embargo, una vez que el mismo ha muerto, la velocidad de la máquina será la misma que la que existía anterior al cambio de carga.

Para los gobernadores NO-ISOCRONOS la situación es diferente, o sea, un aumento de carga acarrea una disminución en la velocidad, o a la inversa.

Aunque dentro de estas dos grandes clasificaciones de gobernadores podemos diferenciar un sinúmero de arreglos mecánicos o eléctricos, es imposible pretender un análisis general de todos ellos; razón por la cual limitamos este estudio al gobernador Isócrono mostrado esquemáticamente en la Figura 1.

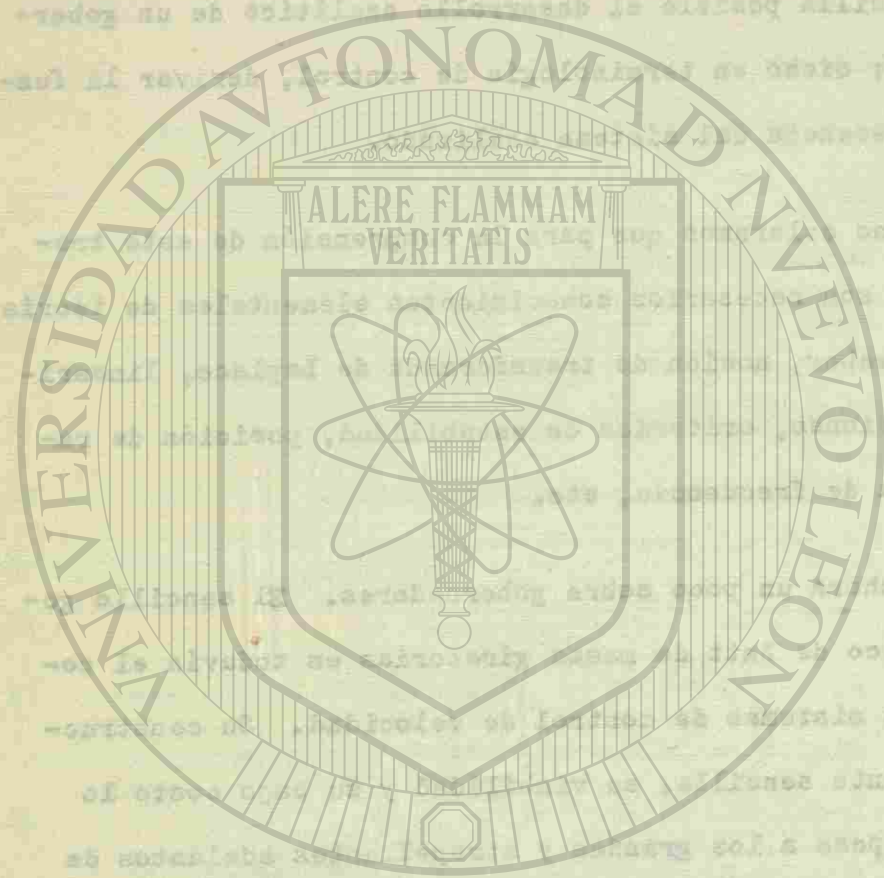
CAPITULO I

1.- DERIVACION ANALITICA DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA.

Como se verá más adelante el sistema analizado es un sistema de control tipo integral, o sea que en el denominador de la función de transferencia se tiene una "s" con exponente 1, razón misma por lo que resulta insensible a cambios de carga en estado estable y que es precisamente lo que le da el carácter de Isócrono.

1.1.- NOTA ACLARATORIA

Con objeto de evitar repeticiones inútiles durante el análisis de nuestro sistema conviene aclarar que para todas las linealizaciones en las funciones utilizadas se echó mano del método



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

de la función de transferencia del sistema analizado, esto es, exclusivamente por la función característica. Durante este transitorio si habrá variaciones en la velocidad, sin embargo, una vez que el mismo ha muerto, la velocidad de la máquina será la misma que la que existía anterior al cambio de carga.

Para los gobernadores NO-ISOCRONOS la situación es diferente, o sea, un aumento de carga acarrea una disminución en la velocidad, o a la inversa.

Aunque dentro de estas dos grandes clasificaciones de gobernadores podemos diferenciar un sinúmero de arreglos mecánicos o eléctricos, es imposible pretender un análisis general de todos ellos; razón por la cual limitamos este estudio al gobernador Isócrono mostrado esquemáticamente en la Figura 1.

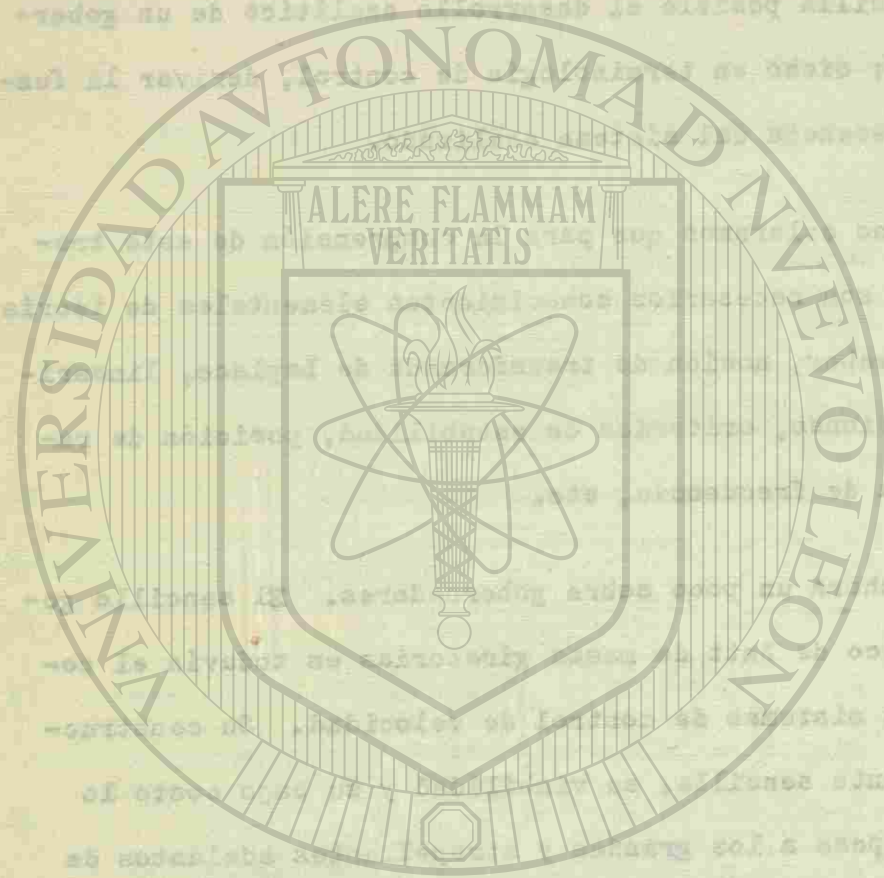
C A P I T U L O I

1.- DERIVACION ANALITICA DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA.

Como se verá más adelante el sistema analizado es un sistema de control tipo integral, o sea que en el denominador de la función de transferencia se tiene una "s" con exponente 1, razón misma por lo que resulta insensible a cambios de carga en estado estable y que es precisamente lo que le da el carácter de Isócrono.

1.1.- NOTA ACLARATORIA

Con objeto de evitar repeticiones inútiles durante el análisis de nuestro sistema conviene aclarar que para todas las linealizaciones en las funciones utilizadas se echó mano del método



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

de las tangentes; además, dado que, como mencionábamos en la introducción, todo sistema está caracterizado de pleno por su función característica (denominador de la función de transferencia) y en virtud de que esta función no depende de las condiciones iniciales del mismo sistema, cada vez que venga al caso, estas condiciones iniciales se supondrán iguales a cero; además las funciones transformadas al dominio de Laplace se indican testadas.

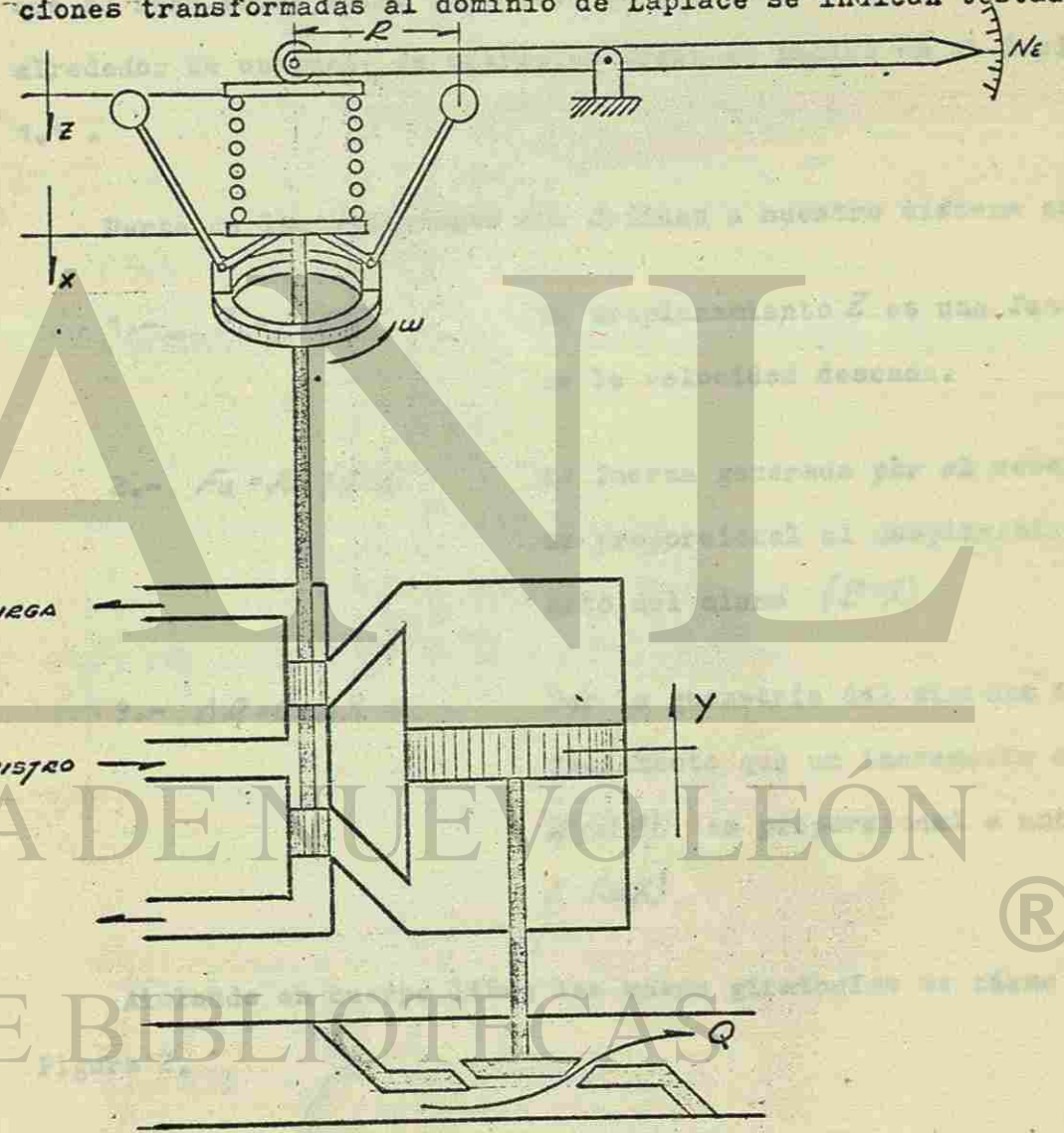
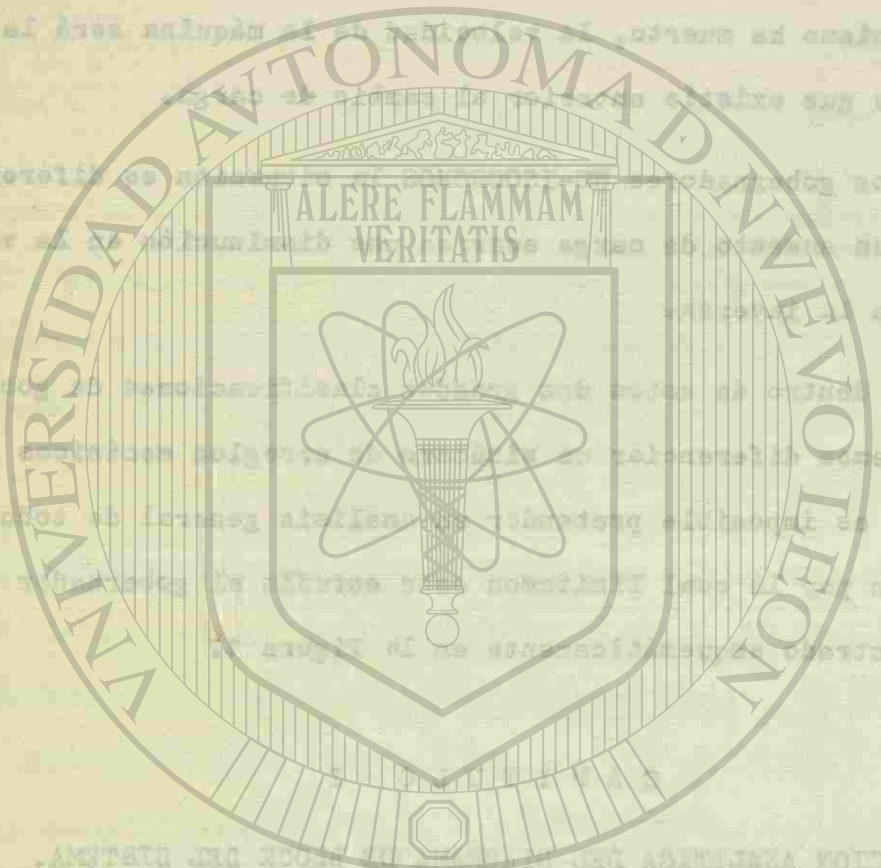


FIGURA 1

SISTEMA ANALIZADO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.2.- ANALISIS

Para la derivación del diagrama de block del sistema, que es al fin de cuentas lo que realmente debe interesarnos desde el punto de vista de controles ya que esto es lo que nos definirá al sistema tanto en su estado transitorio como en su estado estable, se emplearon ecuaciones elementales de dinámica que aunque no sean todas ellas lineales, se procedió a su linearización alrededor de un punto de operación según se indicó en el inciso

1.1 .

Parte de las ecuaciones que definen a nuestro sistema son:

$$1.- Z = f(N_0)$$

El desplazamiento Z es una función de la velocidad deseada.

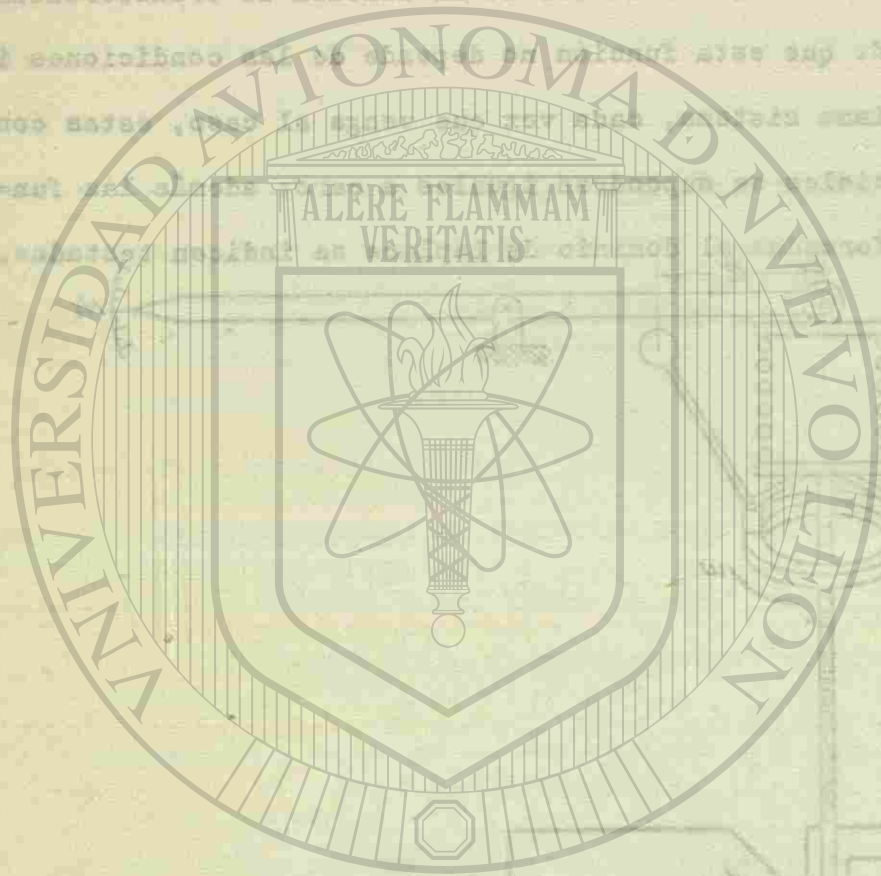
$$2.- F_s = K_s (Z - X)$$

La fuerza generada por el resorte es proporcional al desplazamiento neto del mismo $(Z - X)$

$$3.- \Delta R = C_r \Delta X$$

Por la geometría del sistema se ve fácilmente que un incremento en $R(\Delta R)$ es proporcional a uno en $X(\Delta X)$

Aislado en cuerpo libre las masas giratorias se tiene la Figura 2.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

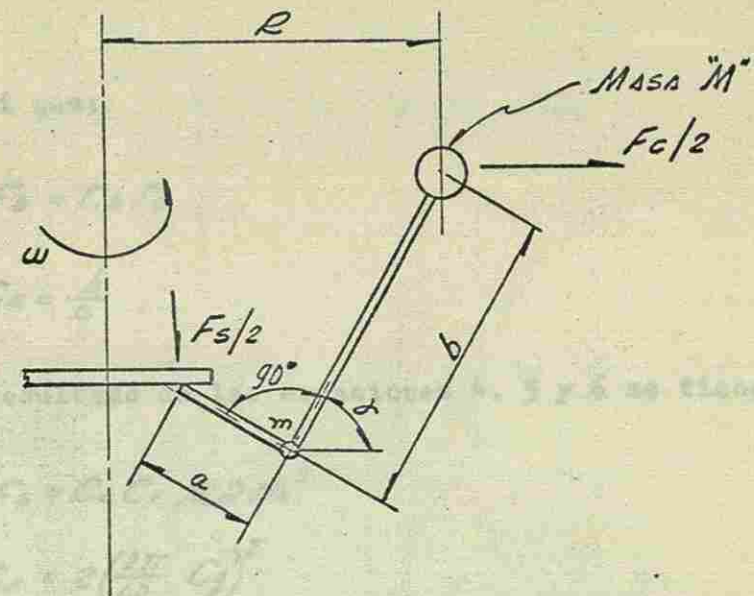
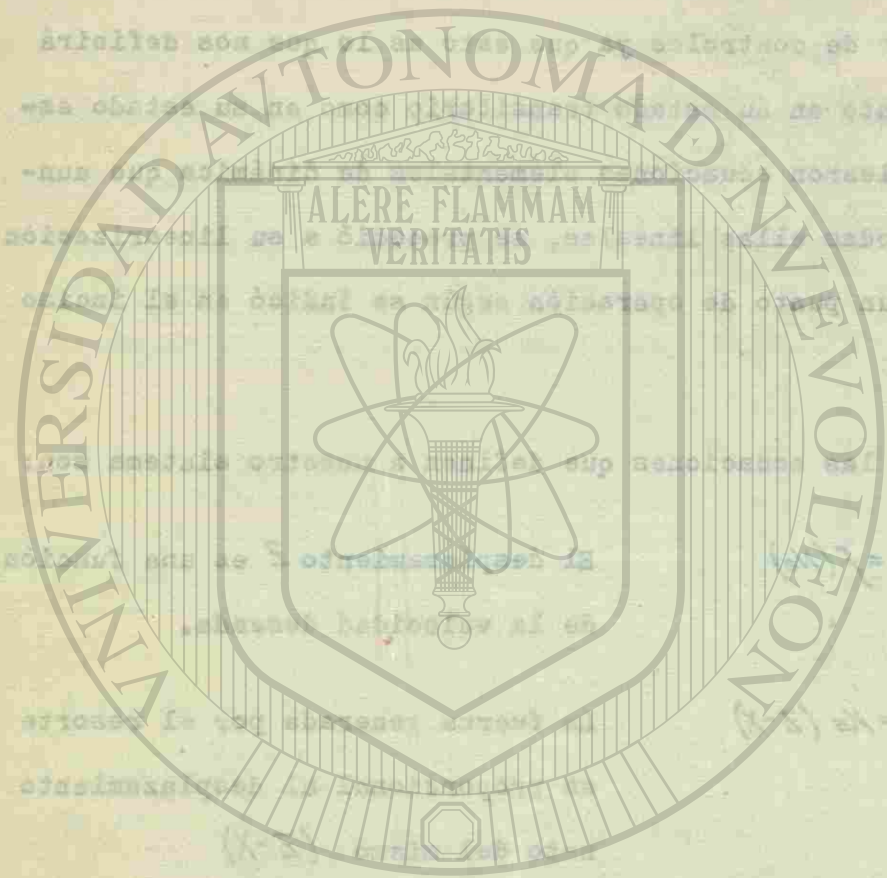


FIGURA 2

DIAGRAMA DE FUERZAS DE UNA MASA GIRATORIA.

De aquí se tiene que:

La fuerza centrífuga en virtud del movimiento angular será

$$4.- F_c = 2MR\omega^2$$

Asumiendo, como usualmente acontece, que el gobernador está engranado a la flecha de salida.

$$5.- \omega = C_g \frac{2\pi}{60} N_s$$

C_g = Relación de engranes

N_s = Velocidad de la flecha de salida en revoluciones por minuto

Efectuando momentos sobre el pivote "m".

$$\frac{F_c}{2} b \text{ sen } \delta = \frac{F_s}{2} a \text{ sen } \delta$$

De aquí que:

$$6.- F_s = C_r F_c$$

$$C_r = \frac{b}{a}$$

Como resultado de las ecuaciones 4, 5 y 6 se tiene:

$$7.- F_s = C_r C_f M R N_s^2$$

$$C_f = 2 \left(\frac{2\pi}{60} C_g \right)^2$$

Transformando y linearizando alrededor de un punto de operación cualquiera las ecuaciones 1, 2, 3 y 7

$$1.a.- \Delta \bar{Z} = C_2 \Delta \bar{N}_s$$

$$C_2 = \frac{dZ}{dN_s} /_{op}$$

$$2.a.- \Delta F_s = K_s (\Delta \bar{Z} - \Delta \bar{X})$$

$$3.a.- \Delta \bar{R} = C_r \Delta \bar{X}$$

$$7.a.- \Delta \bar{F}_s = C_3 \Delta \bar{R} + C_4 \Delta \bar{N}_s$$

$$C_3 = \frac{dF_s}{dR} /_{op} = C_f C_r M N_o^2$$

$$C_4 = \frac{dF_s}{dN_s} /_{op} = 2 C_f C_r M R_o N_o$$

Manipulando ecuaciones 2.a, 3.a y 7.a

$$8.a.- \Delta \bar{X} = \frac{K_s \Delta \bar{Z} - C_4 \Delta \bar{N}_s}{K_s - C_r C_3}$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

De las ecuaciones 1.a y 8.a establecemos el primer diagrama de block parcial.

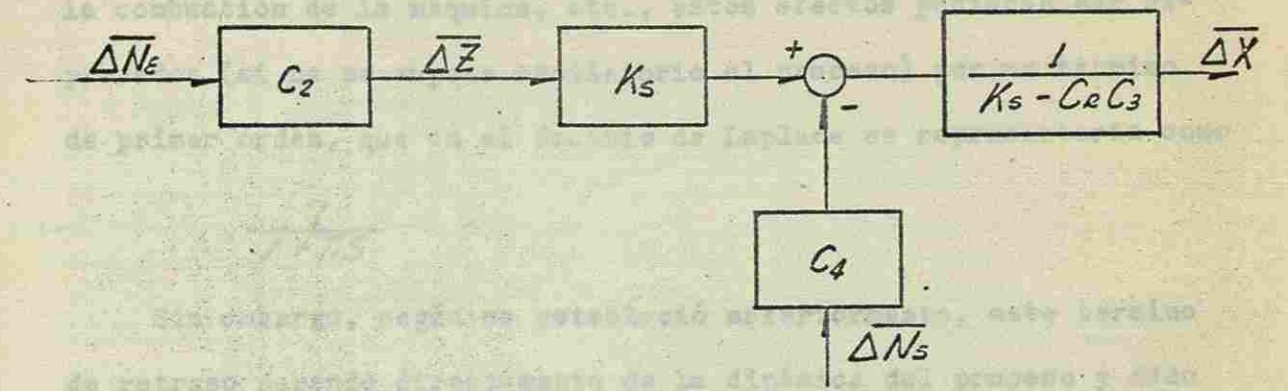


FIGURA 3

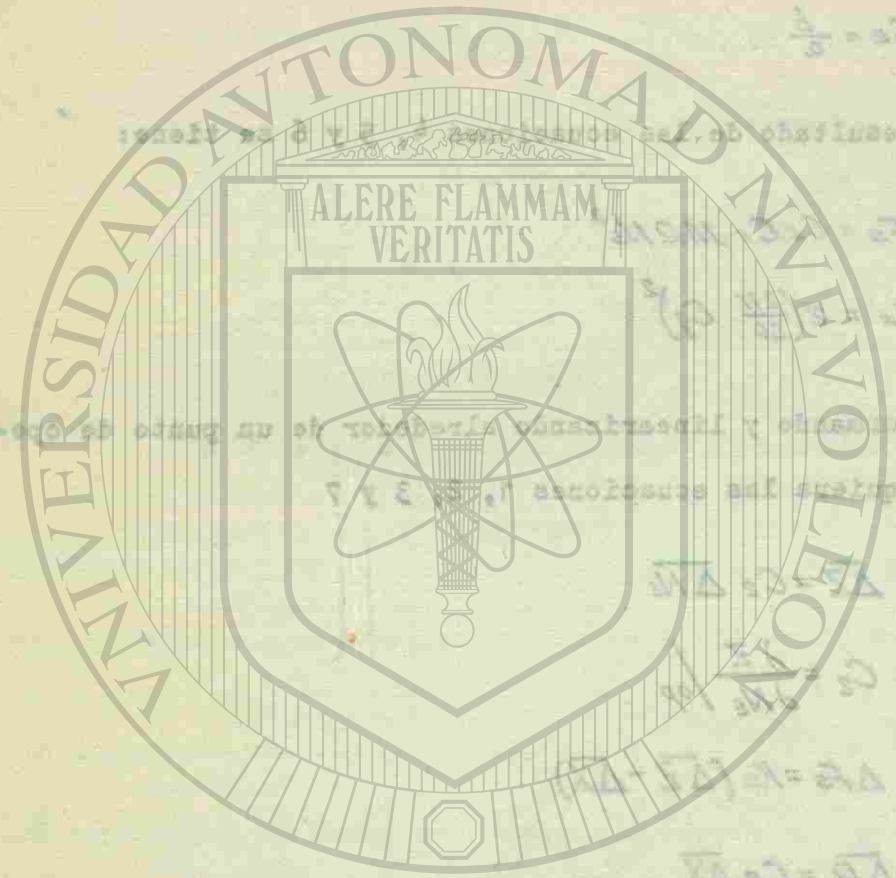
DIAGRAMA DE BLOCK PARCIAL DEL SISTEMA

Analizamos ahora la válvula de combustible.

En ésta el flujo de combustible Q , como en cualquier otra válvula, depende tanto de la apertura (Y) como de la caída de presión a través de la misma; no obstante, bajo el supuesto de que la presión antes de la válvula (presión de suministro) es constante y de que las variaciones de presión después de ésta son despreciables al pasar el sistema de una condición de operación a otra, se concluye que el cambio neto de presión es razonablemente constante, lo que lleva a la simplificación de que el gasto es únicamente función de la apertura, esto es:

9.- $Q = f(Y)$

Ahora bien, la velocidad de salida de la máquina (N_s) se conoce está en función del gasto (Q) del combustible, del par so-



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

bre la máquina (T), pero además depende también (y en algunos casos con gran influencia) de la dinámica propia del proceso como pudiese ser retrasos en el transporte de la señal, efectos de la combustión de la máquina, etc., éstos efectos pudieran ser expresados (si no se supone oscilatorio el proceso) por un término de primer orden, que en el dominio de Laplace se representaría como

$$\frac{1}{1+T.S}$$

Sin embargo, según se estableció anteriormente, este término de retraso depende directamente de la dinámica del proceso y dado que este análisis tiene carácter particular, se asumirá que la constante de tiempo más importante es la que depende de la inercia de la carga con todas sus reservas. Al final de este análisis se comentará de una forma general el efecto neto que produciría la introducción de este término de atraso en la respuesta del sistema.

De esta forma queda:

$$10.- N_s = f(Q, T)$$

Despreciando pérdidas, el par sobre la máquina está dado como

$$T = T_L + \frac{2\pi}{60} J \frac{dN_s}{dt}$$

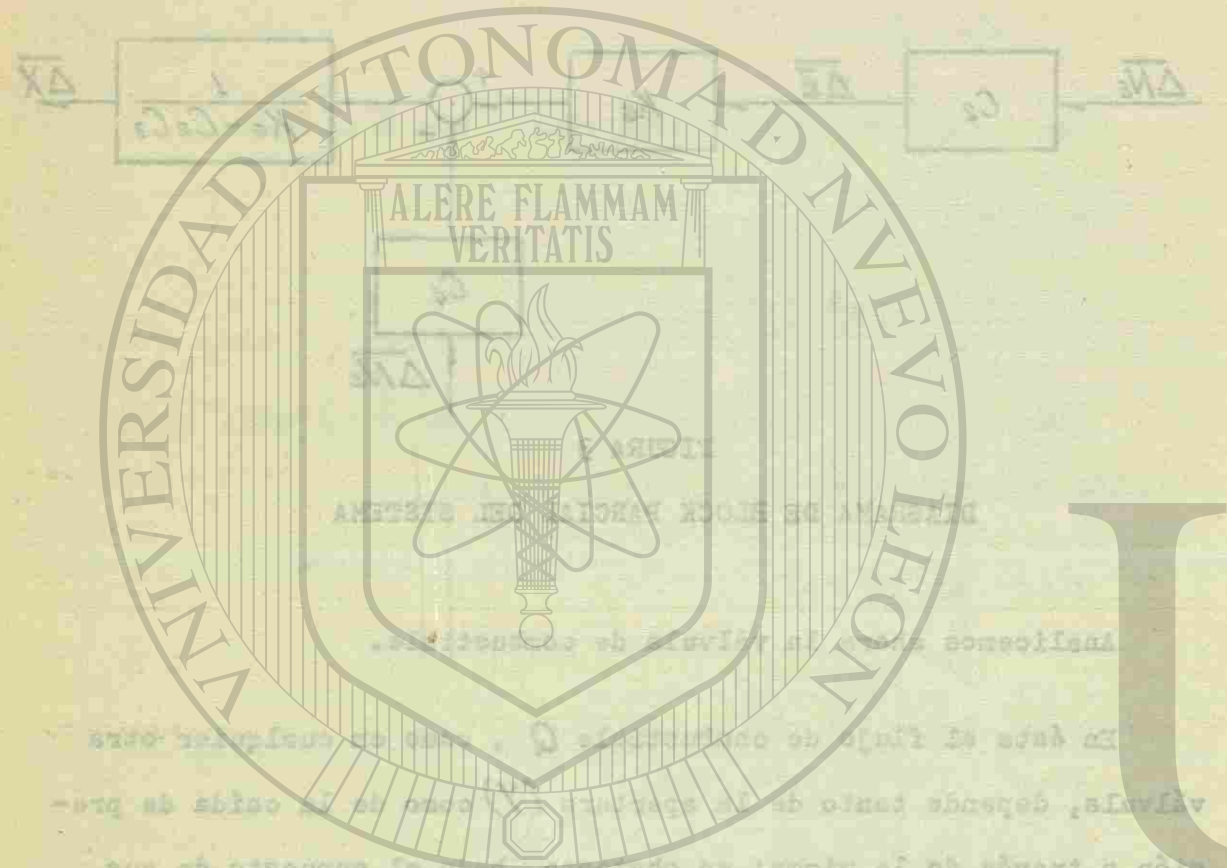
Donde:

$$11.- T = T_L + \frac{2\pi}{60} J \frac{dN_s}{dt}$$

T_L = Par de carga

J = Momento de inercia de la máquina.

de las ecuaciones 1.a y 2.a estableciendo el primer diagrama de bloques parcial.



contiene y de que las variaciones de presión de vapor de agua en el sistema de calefacción de la casa de la Universidad de León, se conoce que el cambio de presión es proporcional a la velocidad de variación de la temperatura de la casa.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

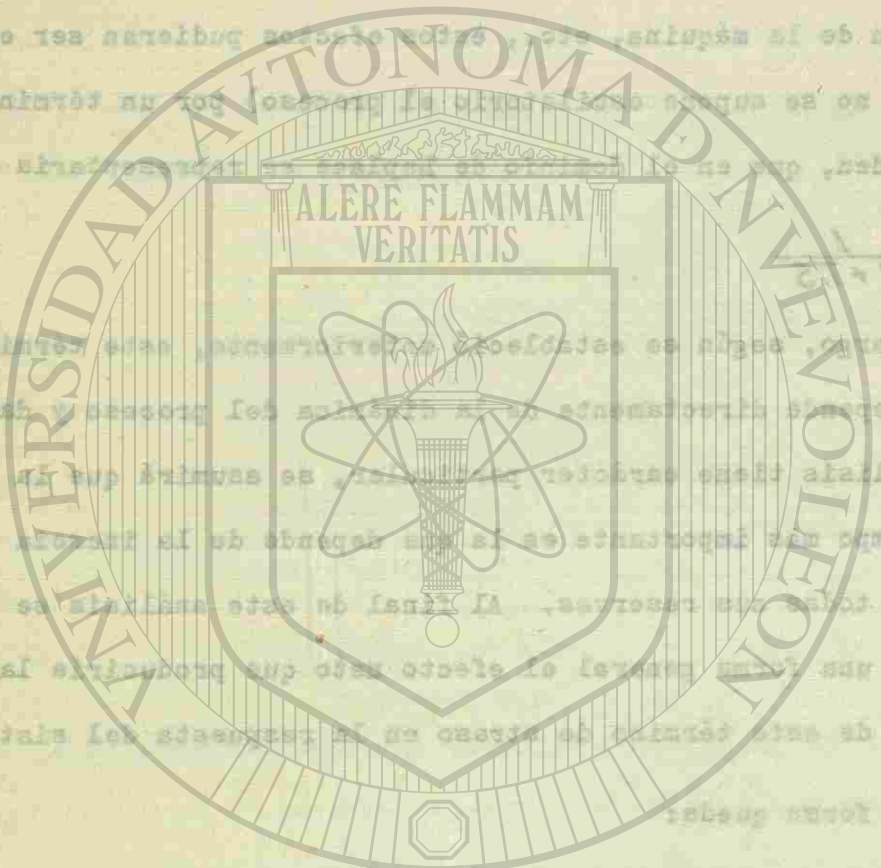
Ahora bien, la velocidad de variación de la temperatura de la casa de la Universidad de León, se conoce que el cambio de presión es proporcional a la velocidad de variación de la temperatura de la casa.

028305

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
-LEÓN-

DIAGRAMA DE BLOQUE PARCIAL DEL SISTEMA

... de la velocidad (y en algunos casos con gran influencia) de la dinámica propia del proceso con los efectos de la señal, efectos que en el transporte de la señal, efectos de la conducción de la máquina, etc. efectos que pudieran ser expresados (al no se agota el tiempo de la máquina) por un término de primer orden, que en el primer orden, que en el primer orden...



Linealizando y transformando ecuaciones 9, 10 y 11

9.a.- $\Delta \bar{Q} = C_6 \Delta Y$

$C_6 = \frac{\partial Q}{\partial Y} \Big|_{op}$

10.a.- $\Delta \bar{N}_s = C_5 \Delta \bar{Q} - C_7 \Delta T$

$C_5 = \frac{\partial N_s}{\partial Q} \Big|_{op}$

$C_7 = -\frac{\partial N_s}{\partial T} \Big|_{op}$

La razón del signo negativo obedece a que la velocidad aumenta al disminuir el par y a la inversa.

11.a.- $\Delta \bar{T} = \Delta \bar{T}_2 + \frac{2\pi}{60} J S \Delta \bar{N}_s$

De las ecuaciones 10.a y 11.a tenemos

12.a.- $\Delta N_s = \frac{C_5}{1+T_2 S} (\Delta Q - C_8 \Delta T_2)$

$T_2 = \frac{2\pi}{60} G J$

$C_8 = \frac{-\frac{\partial N_s}{\partial T}}{\frac{\partial N_s}{\partial Q}} \Big|_{op}$

El diagrama de block resultado de las ecuaciones 9.a y 12.a es

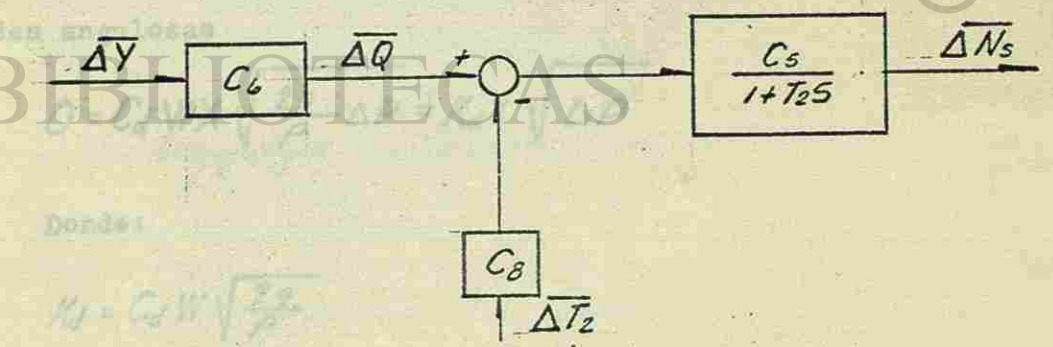


FIGURA 4

DIAGRAMA DE BLOCK PARCIAL DEL SISTEMA

Estudiemos ahora la válvula del servomotor

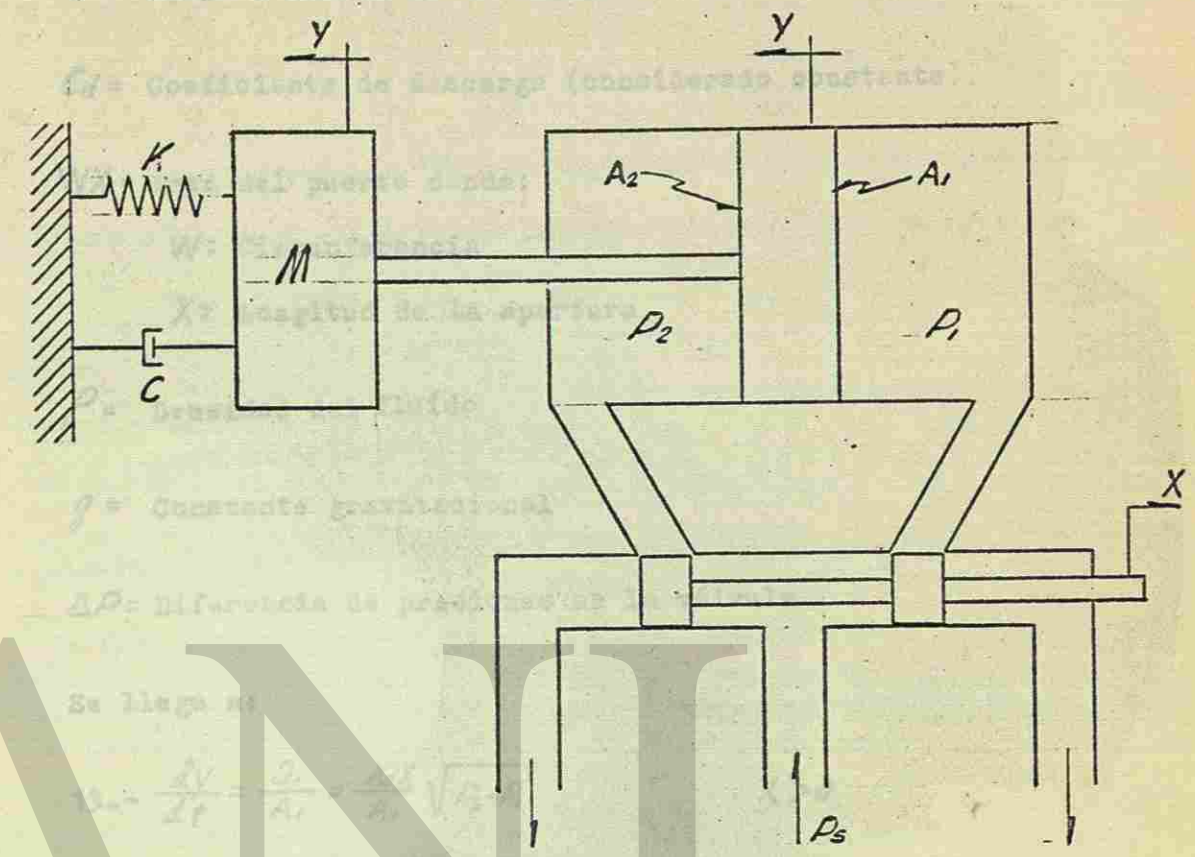


FIGURA 5
VALVULA DE CUATRO PASOS DEL SERVOMOTOR

De la ecuación de continuidad

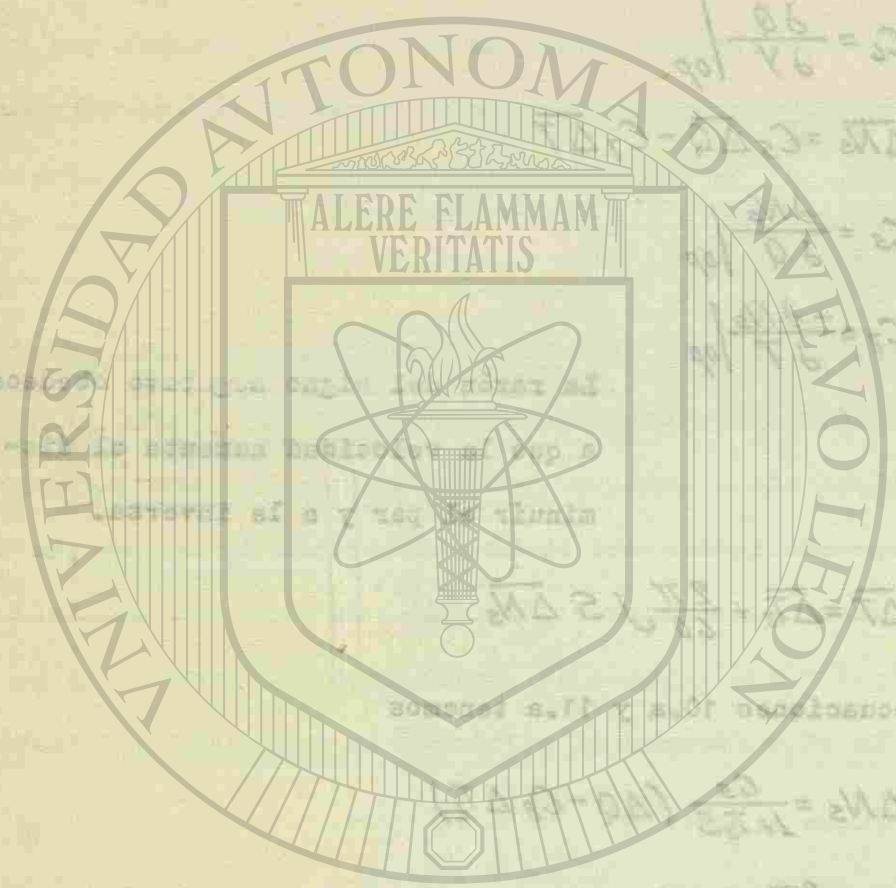
$$V = \frac{dY}{df} = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_2}{A_2}$$

Y de la ecuación de flujo para el caso de un orificio de paredes angulosas

$$Q = C_d W X \sqrt{\frac{2g}{\rho} \Delta P} = K_d X \sqrt{\Delta P}$$

Donde:

$$K_d = C_d W \sqrt{\frac{2g}{\rho}}$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Q = Flujo a través de la válvula

Cd = Coeficiente de descarga (considerado constante)

WX = Area del puerto donde:

W = Circunferencia

X = Longitud de la apertura

p = Densidad del fluido

g = Constante gravitacional

ΔP = Diferencia de presiones en la válvula

Se llega a:

13.- $\frac{dy}{dt} = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{K_d X}{A_1} \sqrt{P_3 - P_1}$ X > 0

14.- $\frac{dy}{dt} = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{K_d X}{A_1} \sqrt{P_1}$ X < 0

15.- $\frac{dy}{dt} = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{K_d X}{A_2} \sqrt{P_2}$ X > 0

16.- $\frac{dy}{dt} = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{K_d X}{A_2} \sqrt{P_3 - P_2}$ X < 0

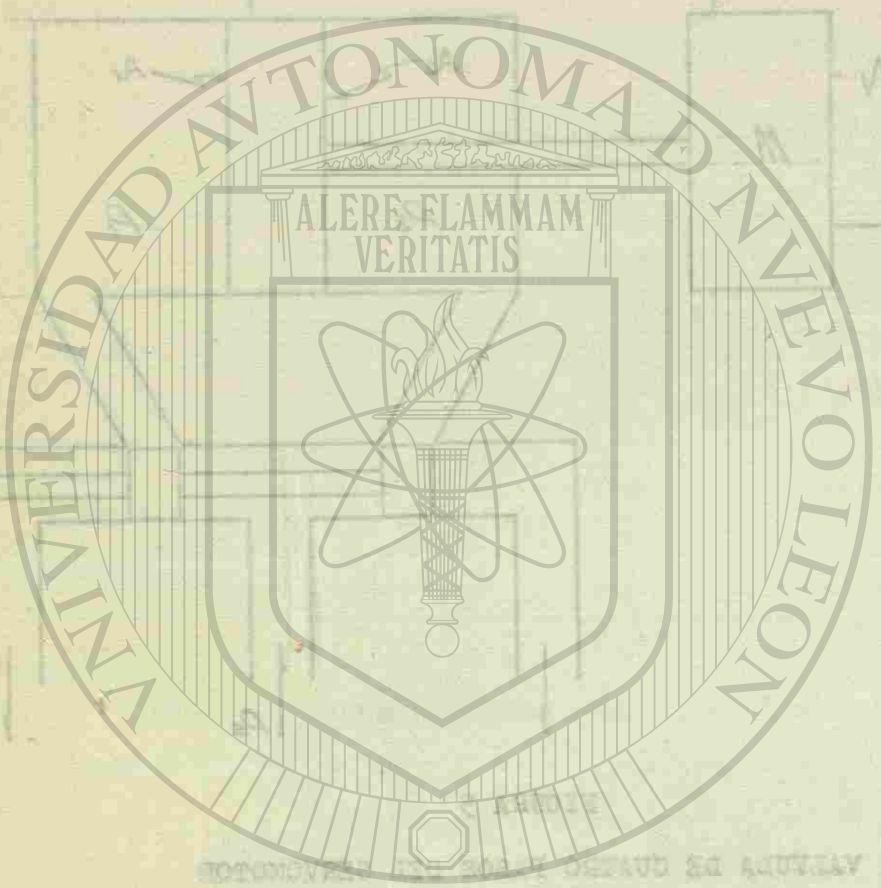
Se conoce además que la fuerza resultante sobre el pistón

es:

17.- $F = P_1 A_1 - P_2 A_2$

De las ecuaciones 13, 15 y 17

18.- $\frac{dy}{dt} = K_d X \sqrt{\frac{P_3 A_1 - F}{A_1^3 + A_2^3}}$ X > 0



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



De forma análoga llegamos a:

$$19.- \frac{dY}{dt} = K_d X \sqrt{\frac{P_s A_2 + F}{A_1^3 + A_2^3}}$$

Tanto de la ecuación 18 como de la 19 se ve que la velocidad del pistón $(\frac{dY}{dt})$ es función tanto del desplazamiento X como de la fuerza F sobre el mismo; por lo que linearizando y transformando tenemos:

$$\Delta \bar{Y} = - \frac{K_2 \Delta \bar{X} - K_3 \Delta \bar{F}}{S}$$

Donde las constantes K_2 y K_3 son como sigue

Para $X > 0$

$$K_2 = \left. \frac{d(\frac{dY}{dt})}{dX} \right|_{op} = K_d \sqrt{\frac{P_s A_1 - F}{A_1^3 + A_2^3}} \Big|_{op}$$
$$-K_3 = \left. \frac{d(\frac{dY}{dt})}{dF} \right|_{op} = - \frac{K_d X}{2} \sqrt{\frac{A_1^3 + A_2^3}{P_s A_1 - F}} \Big|_{op}$$

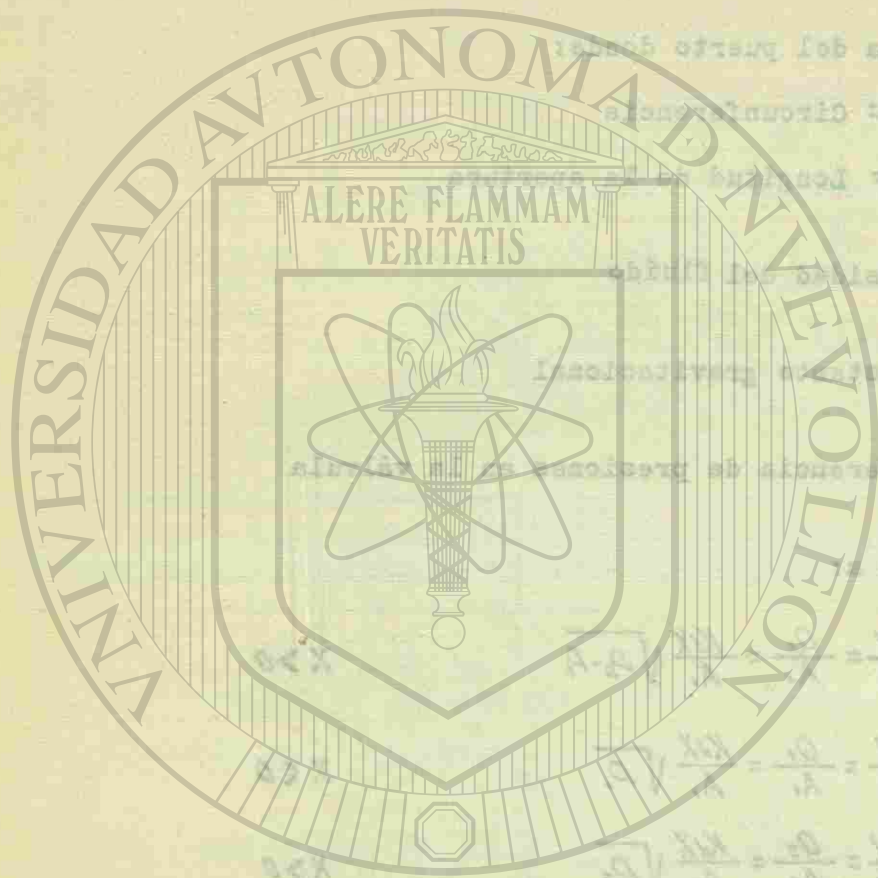
Para $X < 0$

$$K_2 = \left. \frac{d(\frac{dY}{dt})}{dX} \right|_{op} = K_d \sqrt{\frac{P_s A_2 + F}{A_1^3 + A_2^3}} \Big|_{op}$$
$$-K_3 = \left. \frac{d(\frac{dY}{dt})}{dF} \right|_{op} = \frac{K_d X}{2} \sqrt{\frac{A_1^3 + A_2^3}{P_s A_2 + F}} \Big|_{op}$$

Tomando como punto de operación $X=0$ (observar que K_3 se hace igual a cero) se llega al fin a la ecuación

$$20.a.- \Delta \bar{Y} = \frac{K_2 \Delta \bar{X}}{S}$$

Con la ecuación 20.a llegamos a nuestro último diagrama parcial del sistema



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

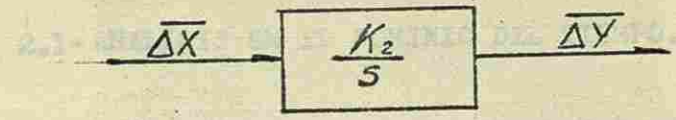
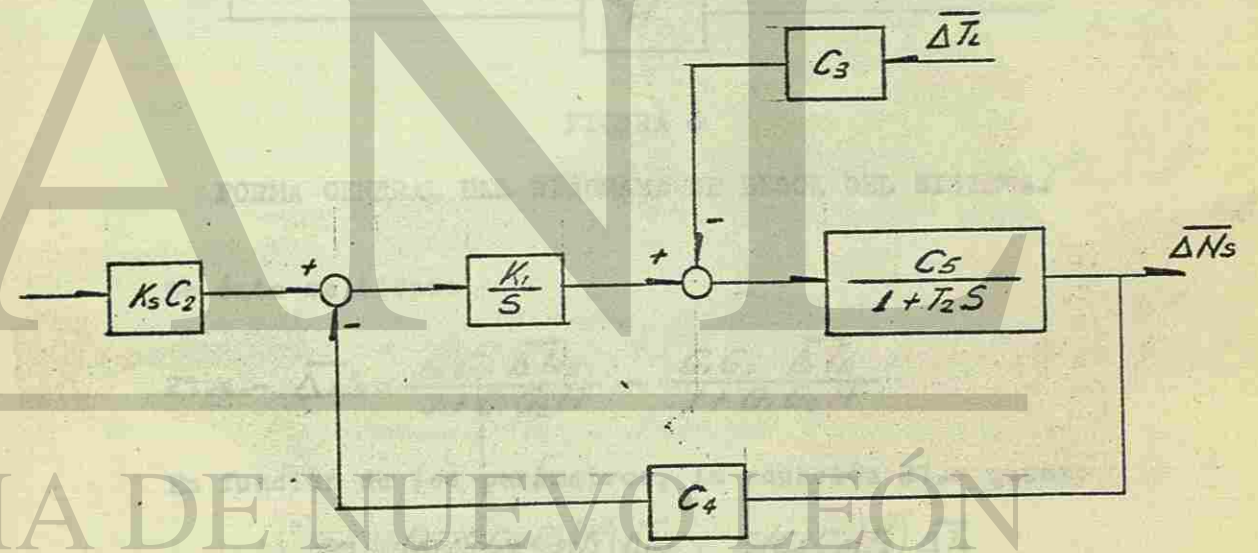


FIGURA 6

DIAGRAMA DE BLOCK DEL SERVOMOTOR

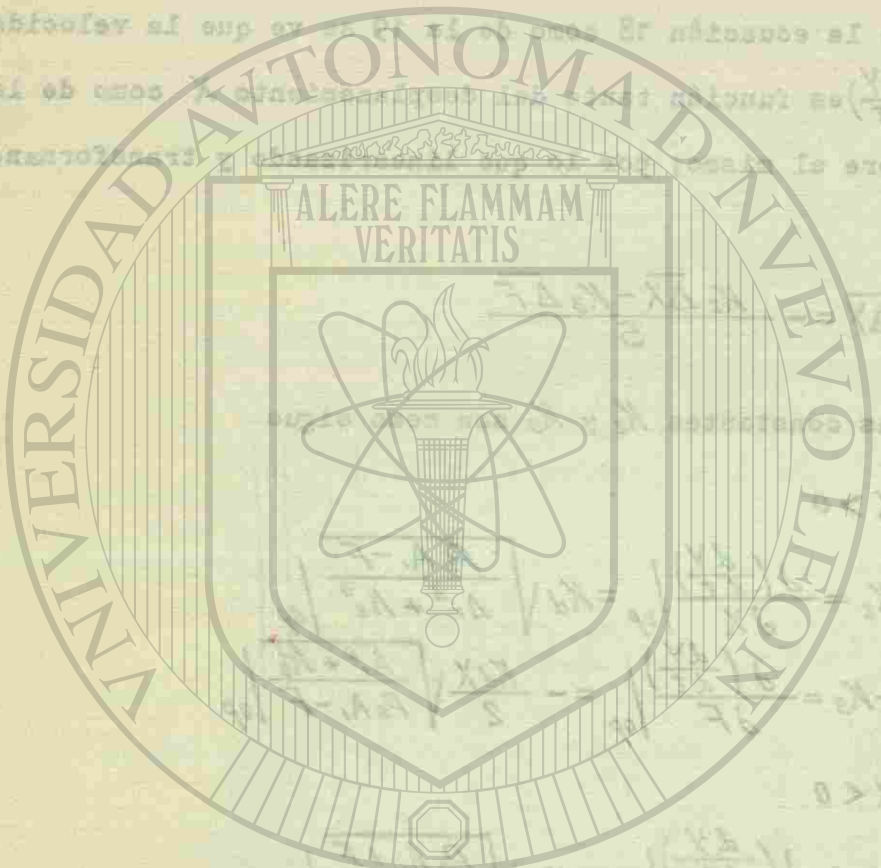
Integrando los diagramas parciales (figuras 3, 4 y 6) se llega al diagrama de block del sistema.



$$K_1 = \frac{K_2 C_6}{K_5 - C_2 C_3}$$

FIGURA 7

DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO II

2.1-ANALISIS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.

En forma general el diagrama de block del sistema es el siguiente.

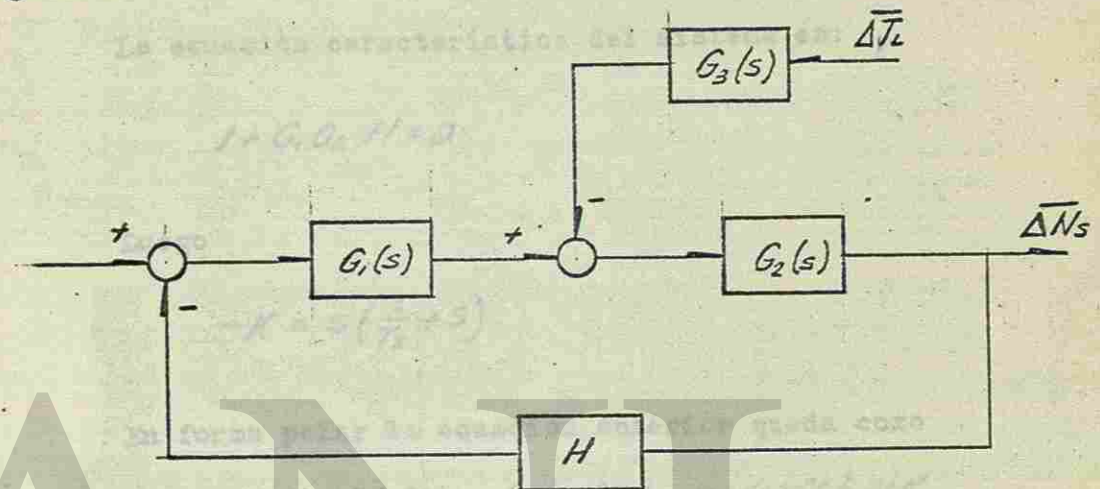


FIGURA 8

FORMA GENERAL DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA.

De éste se tiene:

$$21.a.- \bar{\Delta N}_s = \frac{G_1 G_2 \bar{\Delta N}_e}{1 + G_1 G_2 H} - \frac{G_1 G_3 \bar{\Delta T}_l}{1 + G_1 G_2 H}$$

En función de los parámetros, la ecuación 21.a queda:

$$21.a.- \bar{\Delta N}_s = \frac{(K_1 K_3 G_2 C_5 / T_2) \bar{\Delta N}_e}{S^2 + \frac{S}{T_2} + \frac{K_1 C_5 C_4}{T_2}} - \frac{S(C_3 C_5 / T_2) \bar{\Delta T}_l}{S^2 + \frac{S}{T_2} + \frac{K_1 C_5 C_4}{T_2}} \quad \text{®}$$

Como puede verse el sistema es de segundo orden

2.2-LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES.

La función de transferencia de circuito abierto se define como:

$$G_1 G_2 H = \left[\frac{K_1 K_2 C_2 C_5}{S(1+T_2 S)} \right] C_4$$

La sensibilidad de circuito abierto es

$$K = K_1 K_2 C_2 C_5 C_4$$

La ecuación característica del sistema es:

$$1 + G_1 G_2 H = 0$$

Luego

$$-K = S \left(\frac{1}{T_2} + S \right)$$

En forma polar la ecuación anterior queda como

$$(|S| \angle \phi_1) \left(|S + \frac{1}{T_2}| \angle \phi_2 \right) = K \angle 180^\circ \pm k 360^\circ$$

Seguidamente establecemos las condiciones para definir la posición de las raíces.

Condición de magnitud.

$$|S| |S + \frac{1}{T_2}| = K$$

Condición de ángulo

$$\phi_1 + \phi_2 = 180^\circ \pm k 360^\circ$$

Angulo de las asíntotas

$$\sigma = \frac{180^\circ \pm 360^\circ}{n - m}$$

Donde:

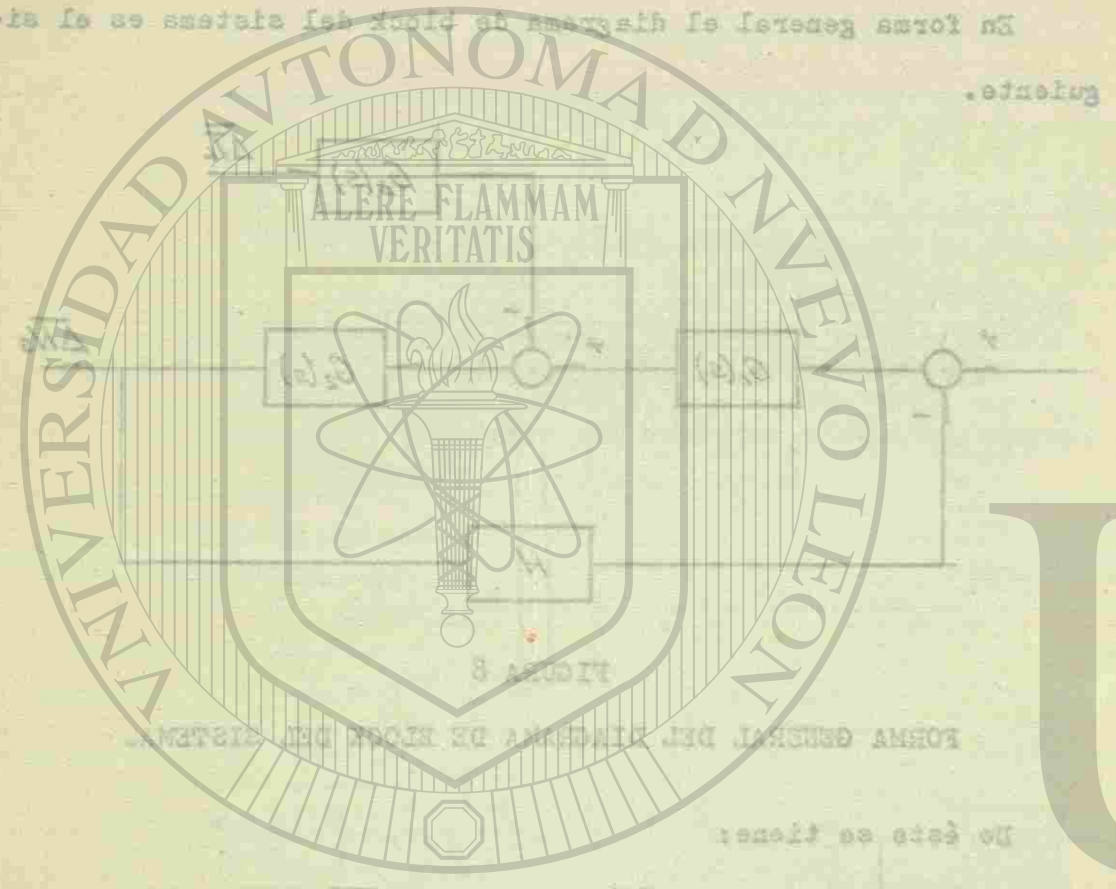
m = Número de ceros

n = Número de polos

CAPITULO II

SISTEMA DE CONTROL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.

En forma general el diagrama de bloques de un sistema de control en el dominio del tiempo es el siguiente.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Luego

$$\angle = \frac{180 \pm k360}{2} = \pm 90^\circ$$

Corce con el eje real de las asintotas

$$23.- \sigma_c = \frac{\sum \text{Polos } G_1 G_2 H - \sum \text{Ceros } G_1 G_2 H}{n-m}$$

$$\sigma_c = \frac{0 - \frac{1}{T_2} - 0}{2-0} = -\frac{1}{2T_2}$$

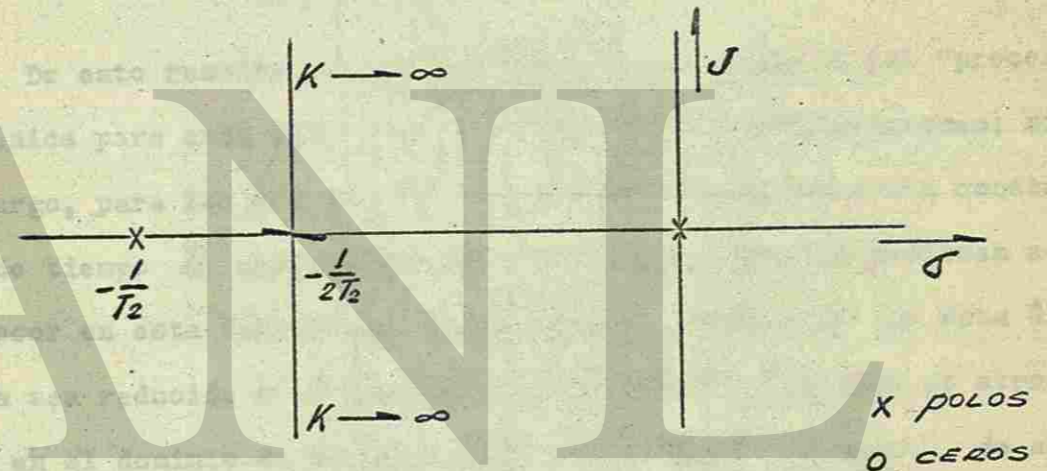
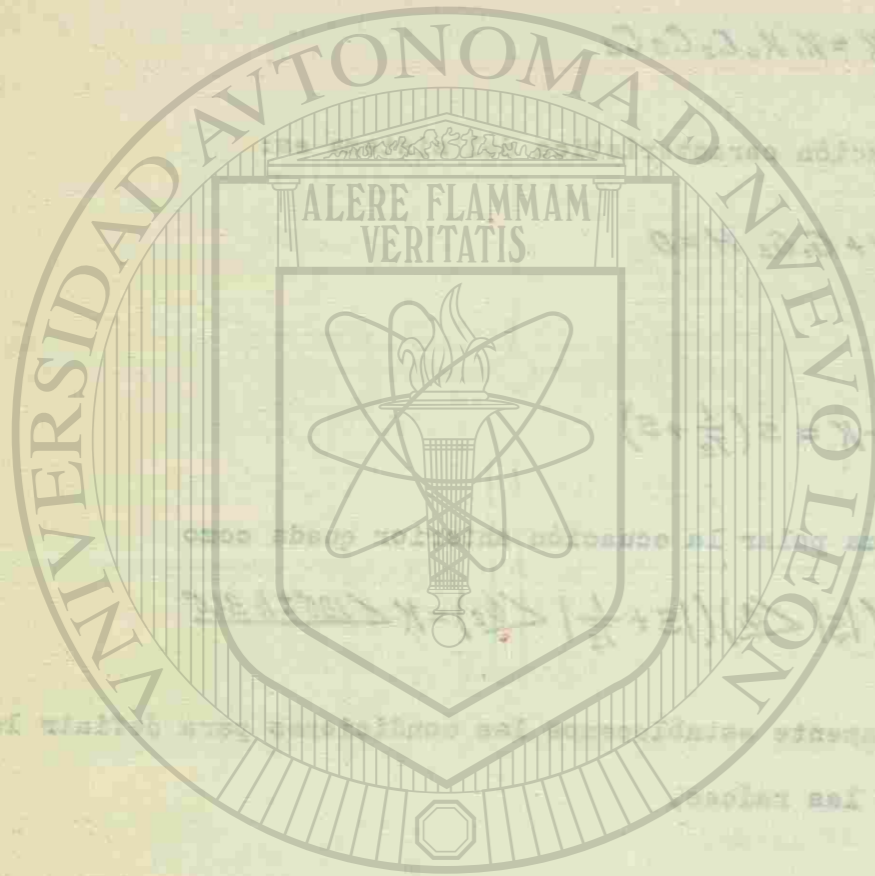


FIGURA 9

LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES EN EL PLANO COMPLEJO

Según se observa del trazo, no hay posibilidad de que el sistema sea inestable pues no podrá existir nunca una raíz del lado derecho del plano complejo. De lo mismo se puede ver que si va aumentando la sensibilidad de circuito abierto (K), la razón de amortiguamiento (L) disminuye ya que el ángulo aumenta, haciéndose



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

el sistema más oscilatorio ($L = \cos \phi$). En el caso límite de tenerse sensibilidad infinita, la razón de amortiguamiento valdría cero y el sistema oscilaría perpetuamente.

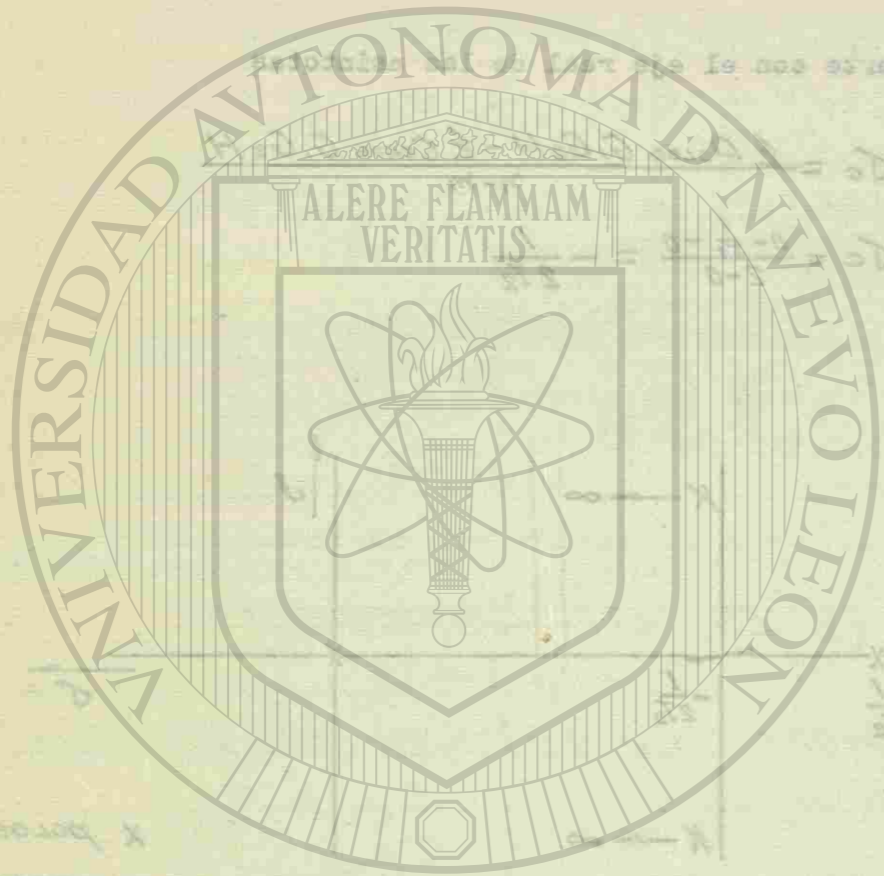
En el Capítulo I se aclaró que, además de las consideraciones hechas, el sistema depende también -en algunos casos fuertemente- de la dinámica propia del "proceso", o sea, efectos de la combustión (si es máquina de combustión), efectos eléctricos (si es eléctrica), retrasos en el transporte de la señal, inercias (eléctricas o mecánicas), etc.

De esto resulta que la función de transferencia del "proceso" es única para cada caso y no pueden hacerse generalizaciones; sin embargo, para los efectos de este estudio supondremos una constante de tiempo T_3 mucho menor que el resto de las que pudiesen aparecer en esta función de transferencia a manera de que esta última sea reducida a un término de primer orden (término de atraso) que en el dominio de Laplace sería de la forma $\frac{1}{1+T_3s}$, de aquí que insertando este término en la función de transferencia total del sistema podemos predecir a primeras vistas que la respuesta total del mismo tenderá a ser más inestable por razón de haber agregado un polo.

Con las aclaraciones anteriores, el lugar geométrico de las raíces en la nueva ecuación característica

$$s(\frac{1}{T_2} + s)(\frac{1}{T_3} + s) = -K$$

sería el siguiente:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS RAÍCES EN EL PLANO COMPLEJO

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



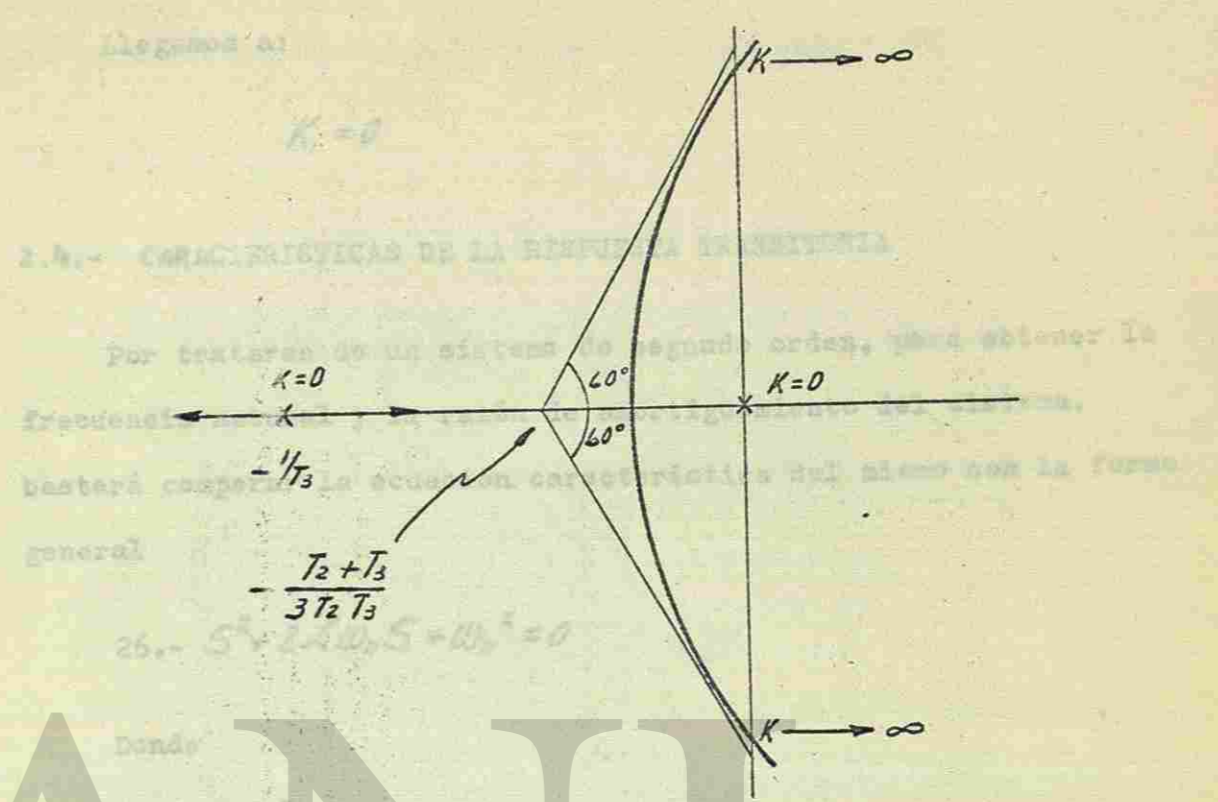


FIGURA 10
LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES EN EL PLANO COMPLEJO

2.3.- ANALISIS DE ESTADO ESTABLE

Definiendo la ganancia del sistema como

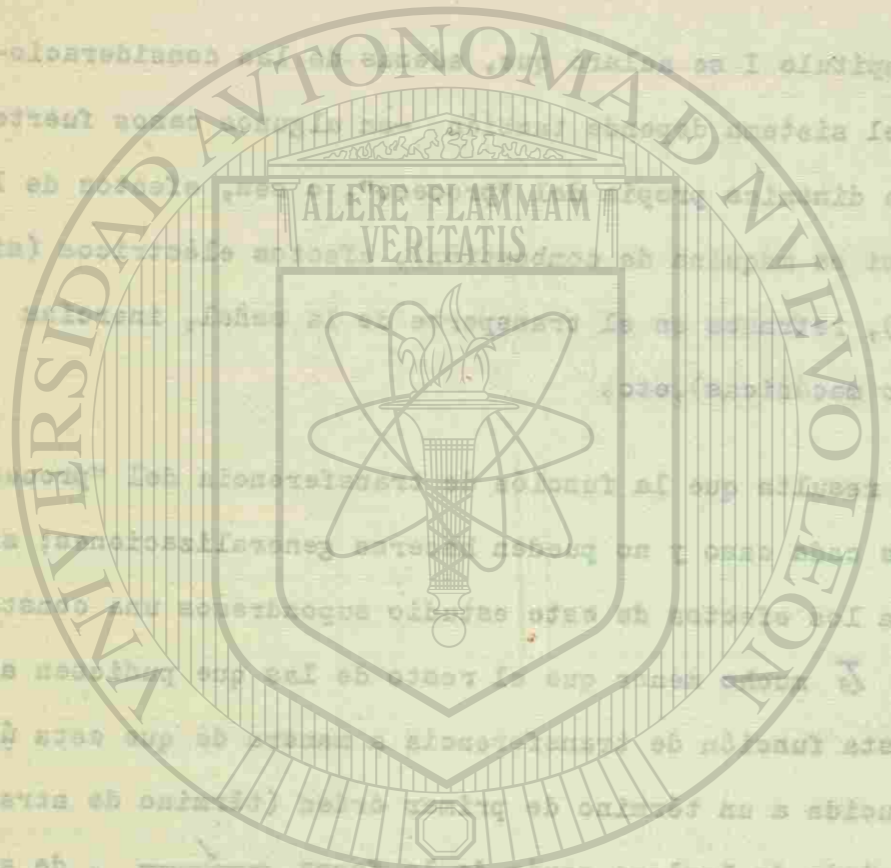
$$24.- \bar{K} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}$$

Se tiene

$$\bar{K} = \frac{K_c C_d}{C_a}$$

Definiendo la sensibilidad del sistema como

$$25.- K_i = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta N_s}{\Delta T_i}$$



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Llegamos a:

$$25.- \Delta N_e = \frac{\Delta}{s} \quad K_1 = 0$$

2.4.- CARACTERISTICAS DE LA RESPUESTA TRANSITORIA

Por tratarse de un sistema de segundo orden, para obtener la frecuencia natural y la razón de amortiguamiento del sistema, bastará comparar la ecuación característica del mismo con la forma general

$$26.- s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

Donde

ζ = Razón de amortiguamiento

ω_n = Frecuencia natural

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_1 C_5 C_2}{T_2}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2\sqrt{K_1 C_5 C_2 T_2}}$$

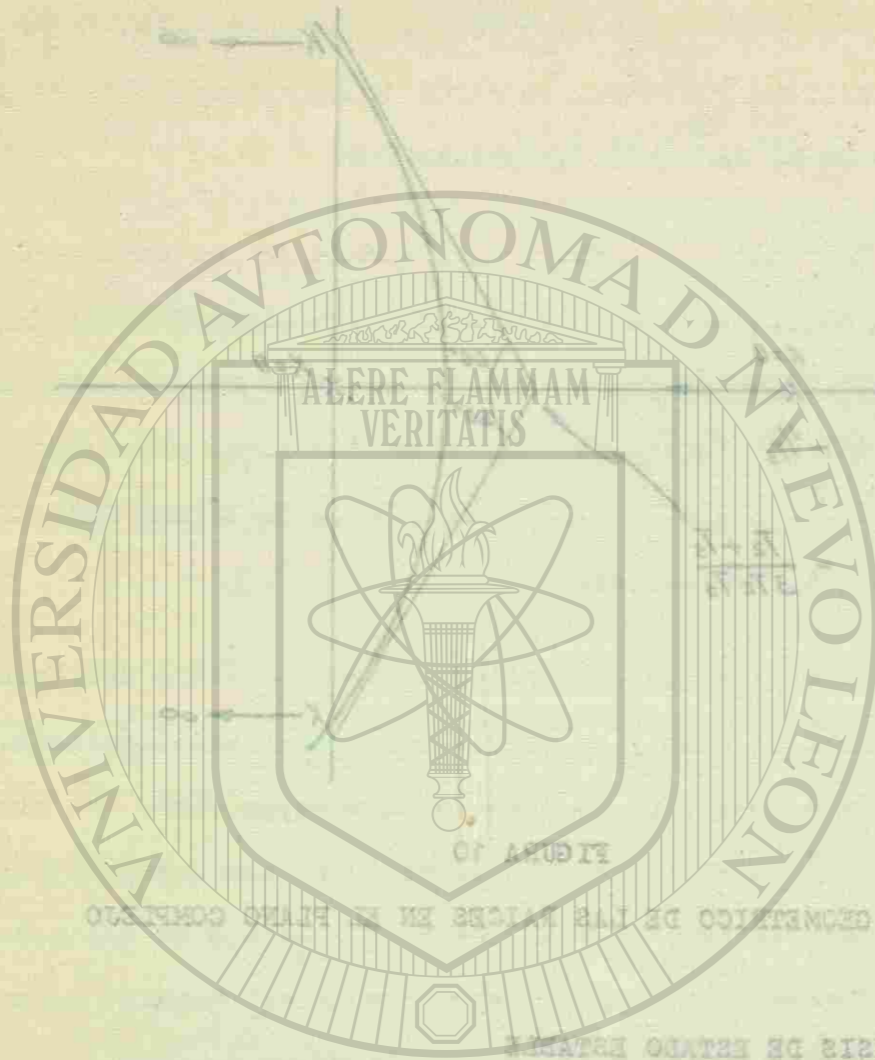
2.5.- RESPUESTA TRANSITORIA ANTE UN CAMBIO EN LA SEÑAL DE REFERENCIA

Haciendo el análisis para un cambio en la señal de referencia tipo escalón y un cambio en la señal de perturbación igual a cero de manera tal que

27.-

$$\Delta N_e = \Delta N_e u(t)$$

$$\Delta T_c = 0$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La transformada de la señal de referencia sería

$$28.- \overline{\Delta N_e} = \frac{\Delta N_e}{S}$$

Sustituyendo en la ecuación 21.a

$$\Delta N_s = \frac{K_1 K_s C_2 C_5 / T_2}{S^2 + \frac{S}{T_2} + K_1 C_5 C_4 / T_2} \times \frac{\Delta N_e}{S}$$

Con los conceptos de frecuencia natural y razón de amortiguamiento ya definidos.

$$\Delta N_s = \frac{K_1 K_s C_2 C_5 / T_2}{S^2 + 2L\omega_n S + \omega_n^2} \times \frac{\Delta N_e}{S}$$

Y definiendo

$$K = K_1 K_s C_2 C_5 / T_2$$

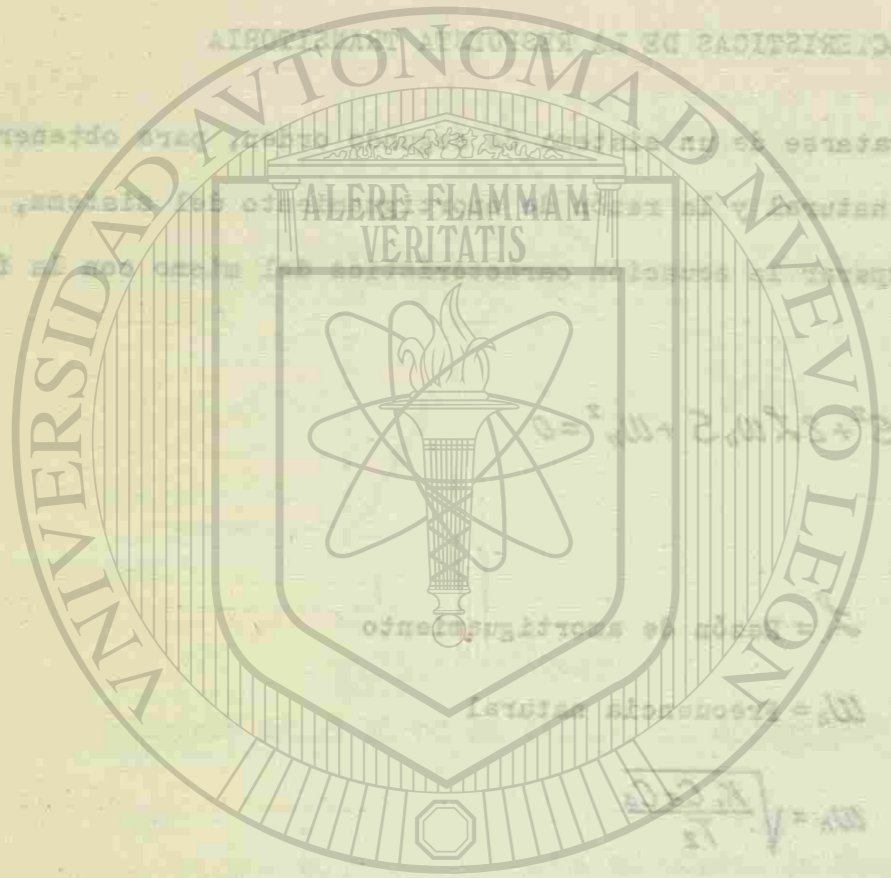
Resolvemos la expresión ΔN_s aplicando fracciones parciales, Teorema de Heaviside y transformando inversamente para encontrar al fin la expresión en el tiempo dada por

$$29.- \Delta N_s = \frac{K \Delta N_e}{\omega_n^2} \left[\cos \omega_n \sqrt{1-L^2} t + \frac{K L \Delta N_e}{\omega_n^2 \sqrt{1-L^2}} \text{SEN } \omega_n \sqrt{1-L^2} t \right]$$

Para el rango

$$0 < L < 1$$

Esquemáticamente tenemos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

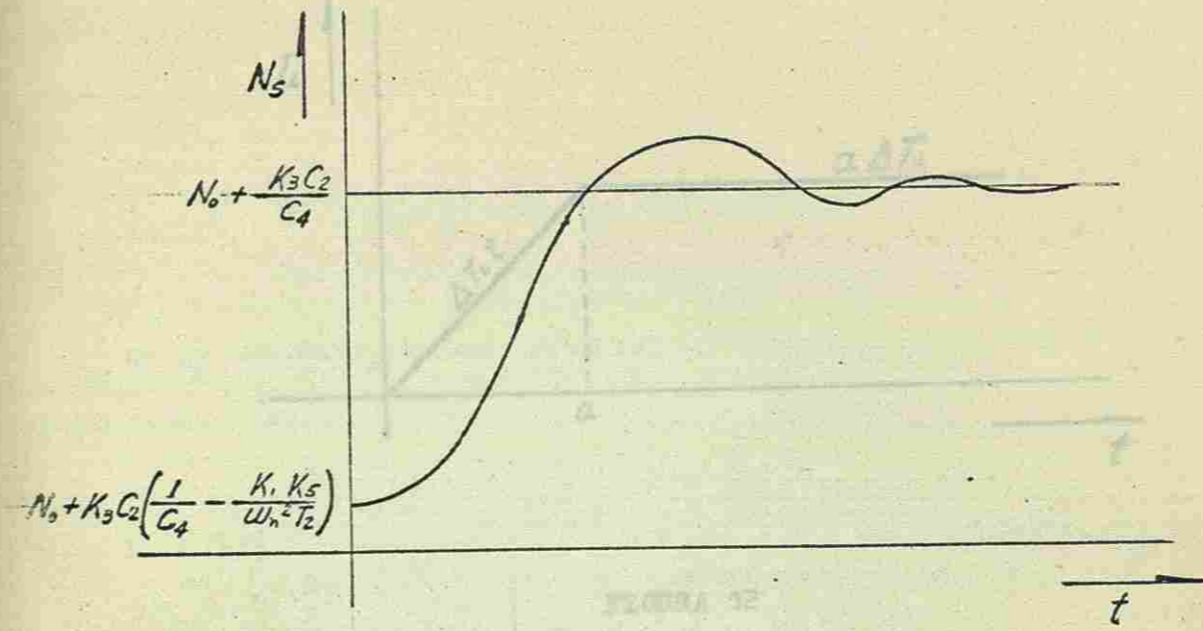
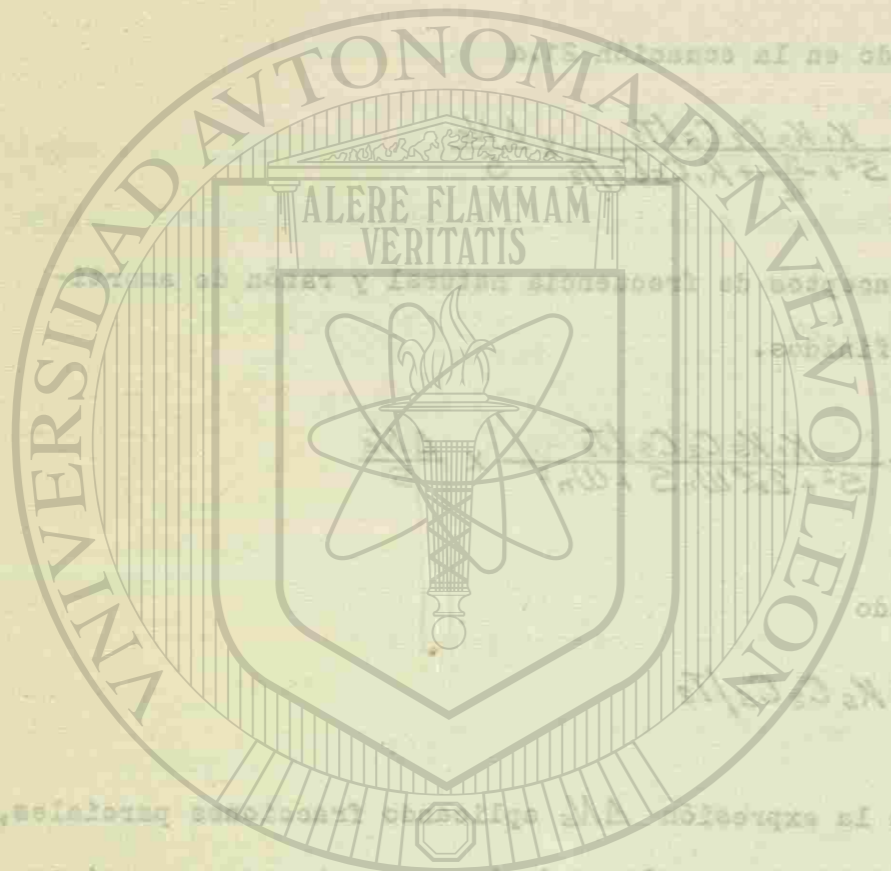


FIGURA 11
 RESPUESTA TRANSITORIA DEL SISTEMA ANTE UN CAMBIO EN LA SEÑAL DE REFERENCIA TIPO ESCALON

2.6.- RESPUESTA TRANSITORIA ANTE UN CAMBIO EN LA PERTURBACION

El análisis está hecho para un cambio en la perturbación de tipo rampa-escalón, y un cambio en la señal de referencia igual a cero. Este tipo de cambio fue escogido a manera de aproximarse en cuanto más sea posible a un caso real.

La solución se hará para una perturbación de tipo $\Delta X = \frac{a}{s}$ solamente, el resultado final será la superposición de éste y el



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

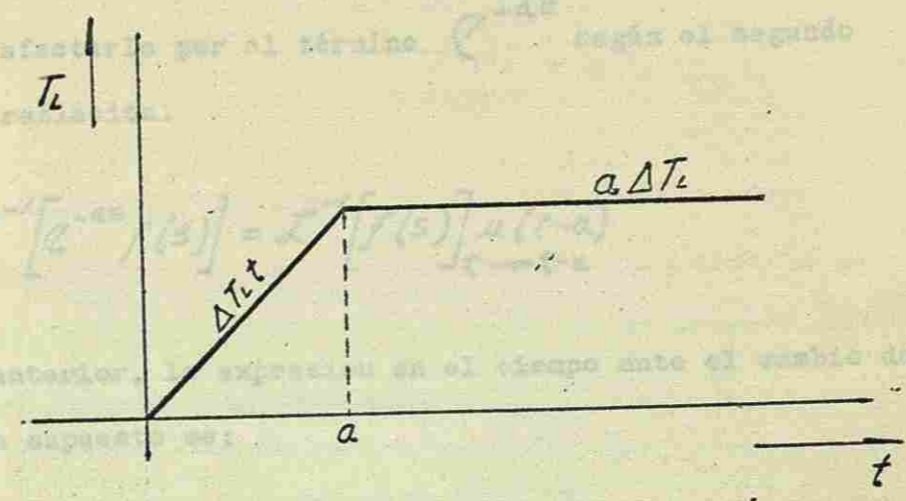
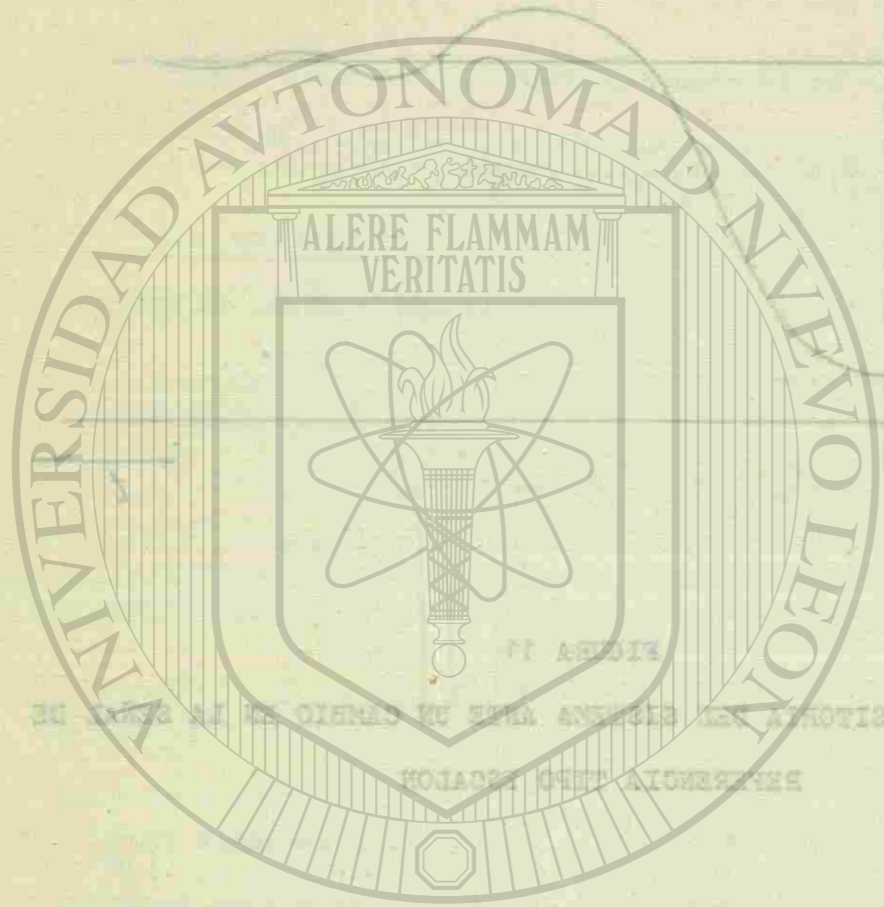


FIGURA 12

TIPO DE PERTURBACION ANALIZADO

De esta forma, la expresión en el tiempo de la perturbación es.

$$30.- \Delta T_L = \Delta T_L t [\mu(t) - \mu(t-a)] + \Delta T_L a [\mu(t-a)]$$

Transformando al dominio de Laplace

$$31.- \Delta T_L = \frac{\Delta T_L}{S^2} - \mathcal{L}^{-as} \left(\frac{\Delta T_L}{S^2} + \frac{\Delta T_L a}{S} \right) + \mathcal{L}^{-as} \left(\frac{\Delta T_L a}{S} \right) \quad (R)$$

$$\Delta T_L = \frac{\Delta T_L}{S} \left(1 - \mathcal{L}^{-as} \right)$$

La solución se hará para una perturbación de tipo $\Delta T_L = \frac{\Delta T_L}{S^2}$ solamente, el resultado final será la superposición de éste y el

obtenido al afectarlo por el término e^{-as} según el segundo teorema de traslación.

$$32. \dots \mathcal{L}^{-1} [e^{-as} f(s)] = \mathcal{L}^{-1} [f(s)]_{t \rightarrow t-a} \mu(t-a)$$

De lo anterior, la expresión en el tiempo ante el cambio de perturbación supuesto es:

$$33. \dots \Delta N_s = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1-L^2}} e^{-\omega_n L t} \left[\frac{C_2 C_5 \sqrt{1-L^2}}{\omega_n T_2} \cos \omega_n \sqrt{1-L^2} t + \frac{C_3 C_5 L}{\omega_n T_2} \text{SEN } \omega_n \sqrt{1-L^2} t \right] - \mu(t-a) \frac{1}{\omega_n \sqrt{1-L^2}} e^{-\omega_n L (t-a)} \left[\frac{C_2 C_5 \sqrt{1-L^2}}{\omega_n T_2} \cos \omega_n \sqrt{1-L^2} (t-a) + \frac{C_3 C_5 L}{\omega_n T_2} \text{SEN } \omega_n \sqrt{1-L^2} (t-a) \right]$$

Graficando esquemáticamente la expresión anterior veremos

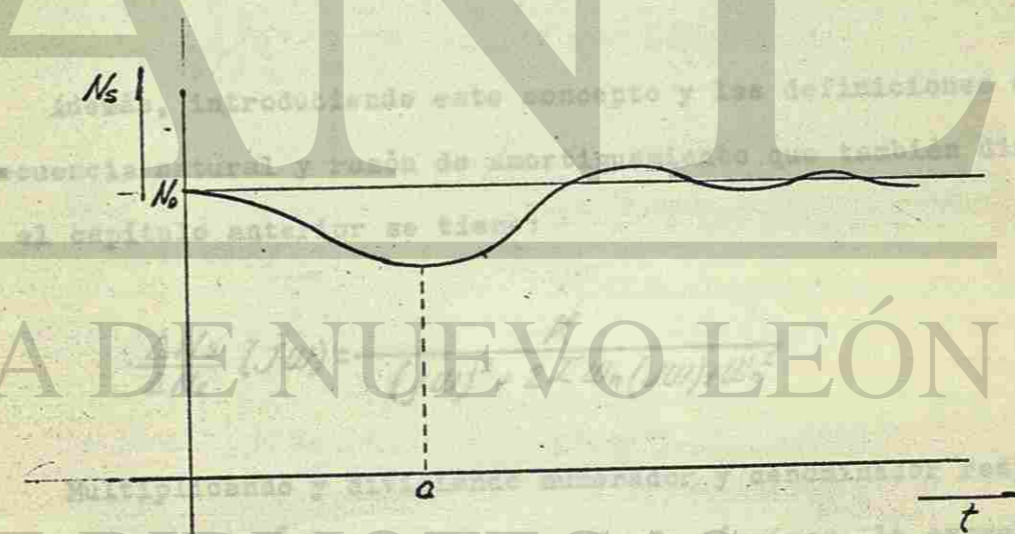
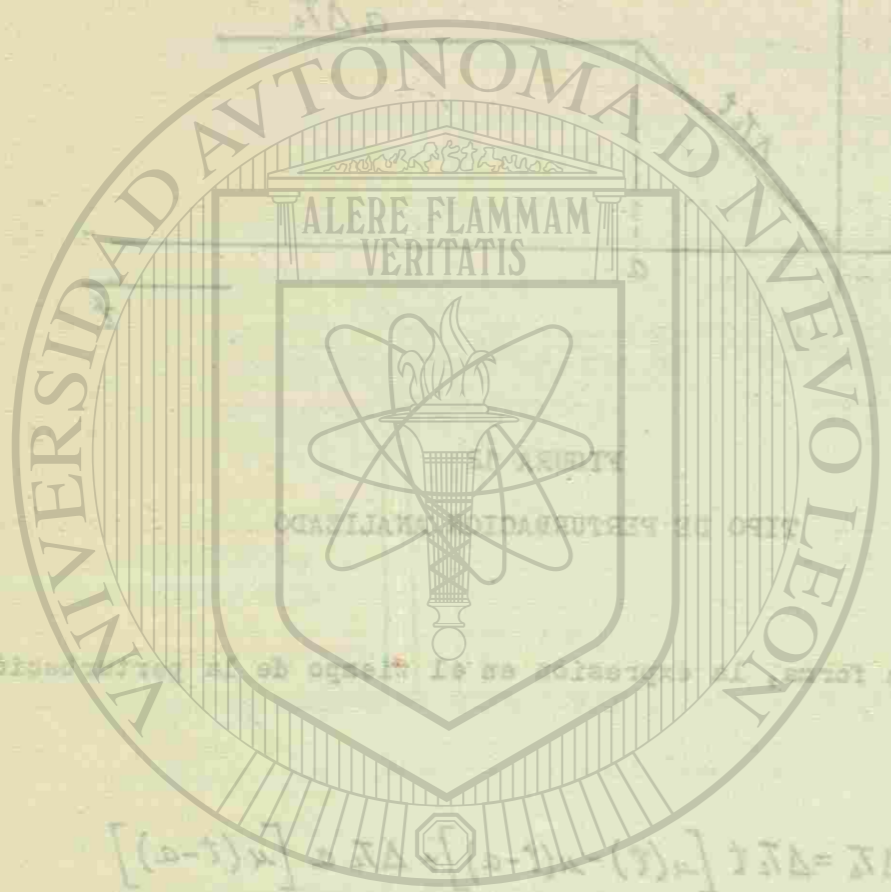


FIGURA 13

TRANSITORIO DEL SISTEMA ANTE UN CAMBIO EN LA PERTURBACION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO III

RESPUESTA DE FRECUENCIA.

3.1.- Recordando que por respuesta de frecuencia se entiende la respuesta del sistema a una señal de entrada tipo senoidal y que ésta se obtiene sustituyendo S por jW en la función de transferencia del sistema tendremos que:

$$34.- \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}(j\omega) = \frac{K_1 C_5 C_2 K_5 / T_2}{(j\omega)^2 + \frac{1}{T_2}(j\omega) + \frac{C_4 K_1 C_5}{T_2}}$$

Por lo que, según la definición ya dada en el capítulo anterior, la ganancia resulta.

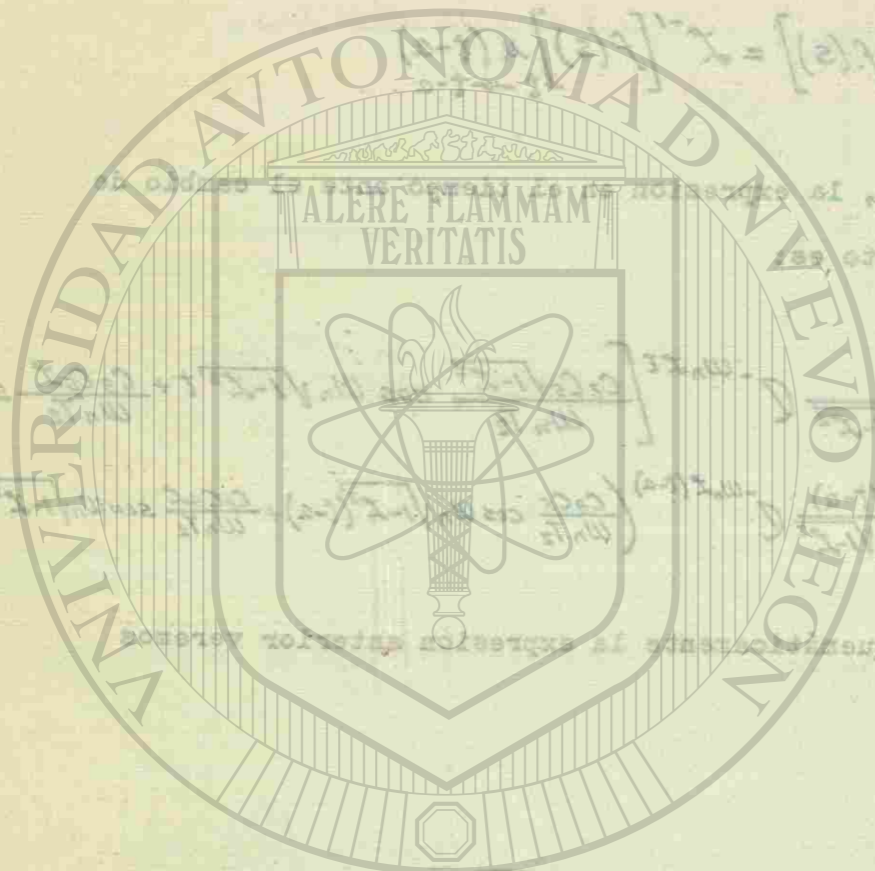
$$\bar{K} = \frac{K_1 C_5 C_2 K_5}{T_2}$$

Además, introduciendo este concepto y las definiciones de frecuencia natural y razón de amortiguamiento que también dimos en el capítulo anterior se tiene:

$$\frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}(j\omega) = \frac{K}{(j\omega)^2 + 2\zeta\omega_n(j\omega) + \omega_n^2}$$

Multiplicando y dividiendo numerador y denominador respectivamente por ω_n^2 así como reorganizando términos, la expresión anterior queda como

$$\frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}(j\omega) = \frac{\frac{K}{\omega_n^2}}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}) + 2j\zeta(\frac{\omega}{\omega_n})}$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Expresando la magnitud del complejo anterior en decibeles:

$$35.- LM / \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e} (j\omega) = 20 \log \left(\frac{K}{\omega_n^2} \right) + 20 \log \left(\frac{1}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}) + 2j\zeta \frac{\omega}{\omega_n}} \right)$$

Para el diagrama de Bode, parte medular del análisis de respuesta de frecuencia, la asíntota de baja se obtiene haciendo tender ω a cero por lo que resulta

$$36.- LM / \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e} (j\omega) = 20 \log \left(\frac{K}{\omega_n^2} \right)$$

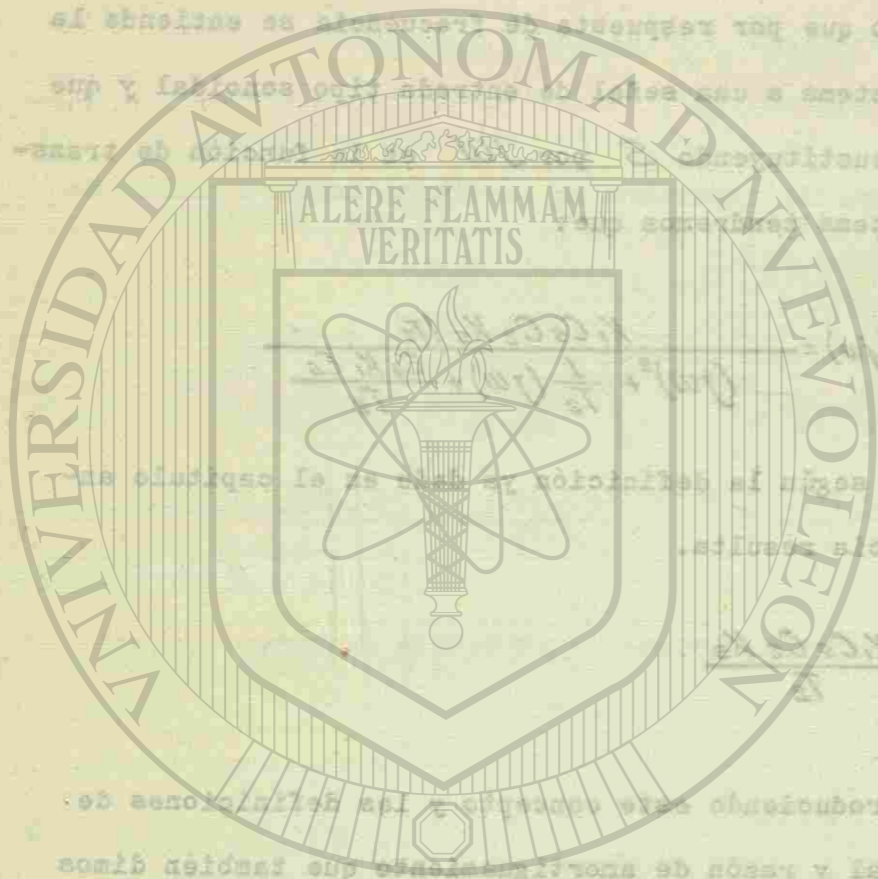
Para obtener ahora la asíntota de alta se hace tender ω a infinito por lo que se ve que el término que prevalece es $(\frac{\omega^2}{\omega_n^2})^2$ por lo que:

$$37.- LM / \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e} (j\omega) = 20 \log \left(\frac{K}{\omega_n^2} \right) - 40 \log \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right) = 20 \log \left(\frac{K}{\omega_n^2} \right) - 40 \log \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)$$

La pendiente de la asíntota de alta la obtenemos derivando la ecuación correspondiente con respecto a $\log \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)$

$$\frac{d LM / \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e} (j\omega)}{d \left[\log \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right) \right]} = -40 \text{ db/década}$$

En forma similar y según apreciamos en la ecuación de la asíntota de baja, la pendiente de ésta es cero.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Igualando las ecuaciones de alta y de baja ya encontradas obtenemos el corte de las mismas o punto de quiebre:

$$20 \text{ LOG.} \left(\frac{K}{\omega_n^2} \right) = 20 \text{ LOG.} \left(\frac{K}{\omega_n^2} \right) - 40 \text{ LOG.} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)$$

De donde:

$$40 \text{ LOG.} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right) = 0$$

$$\frac{\omega}{\omega_n} = 1$$

En la Figura 14 ilustramos la gráfica de las asintotas.

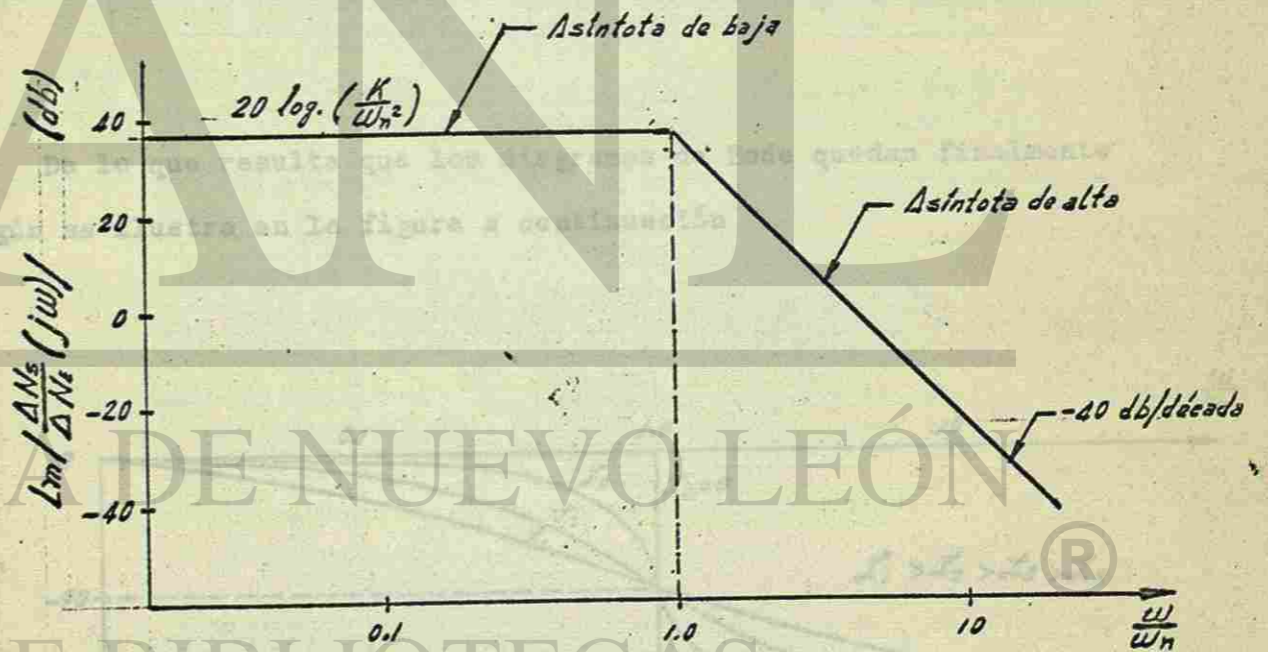
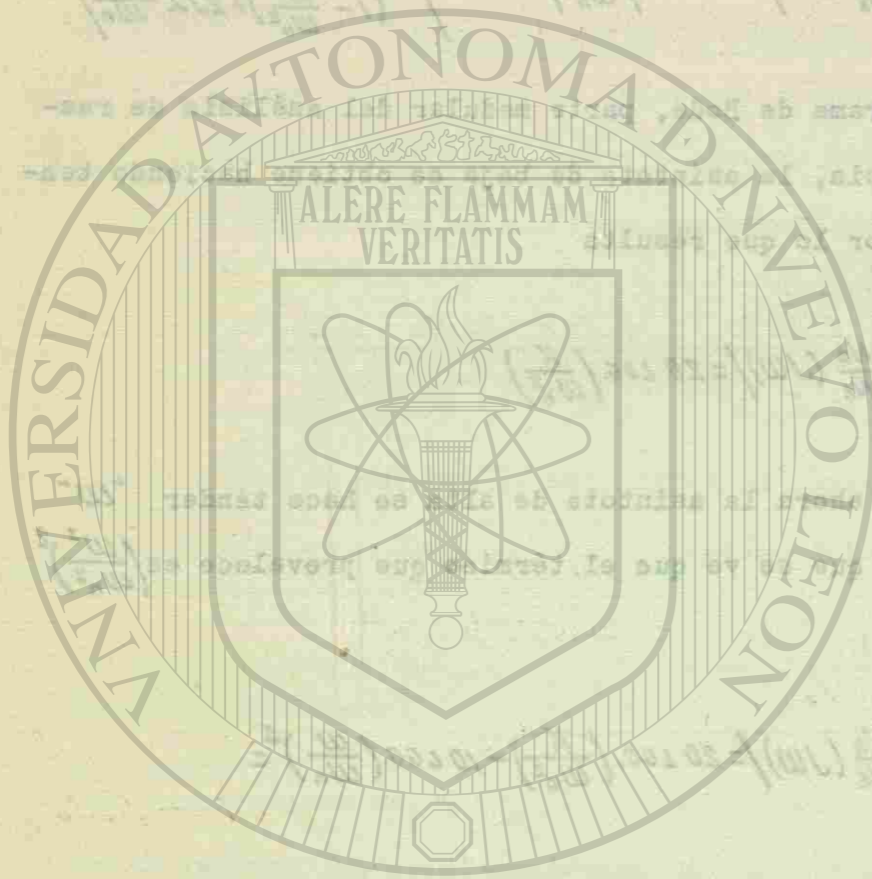


FIGURA 14

ASINTOTAS DE LA MAGNITUD DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

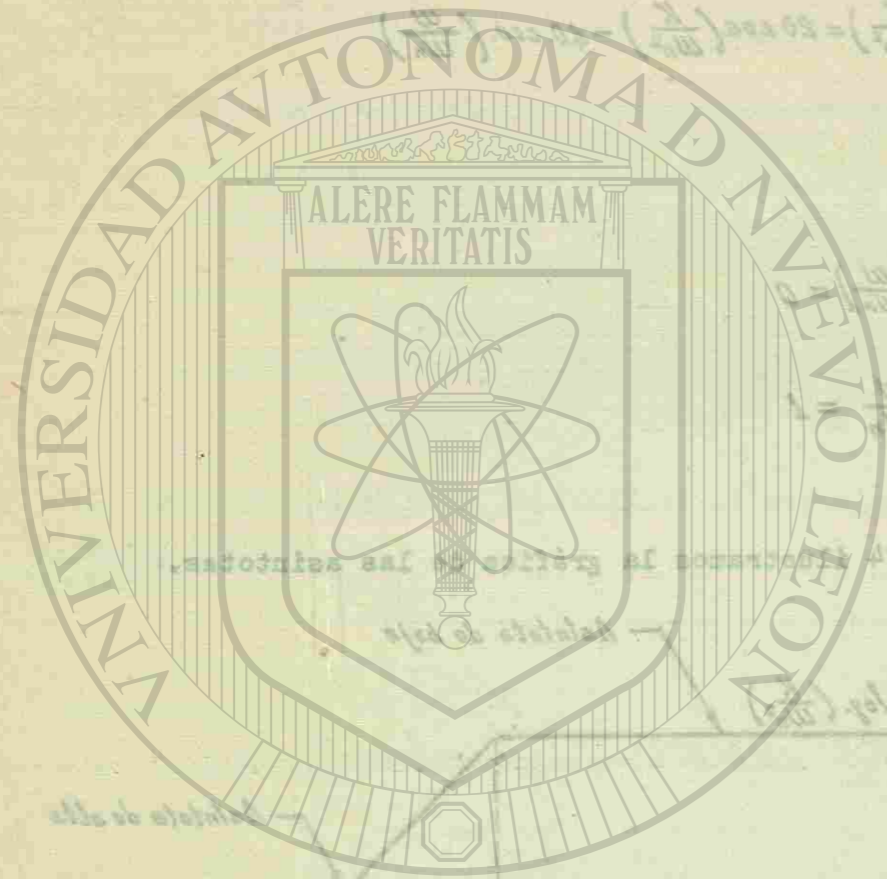
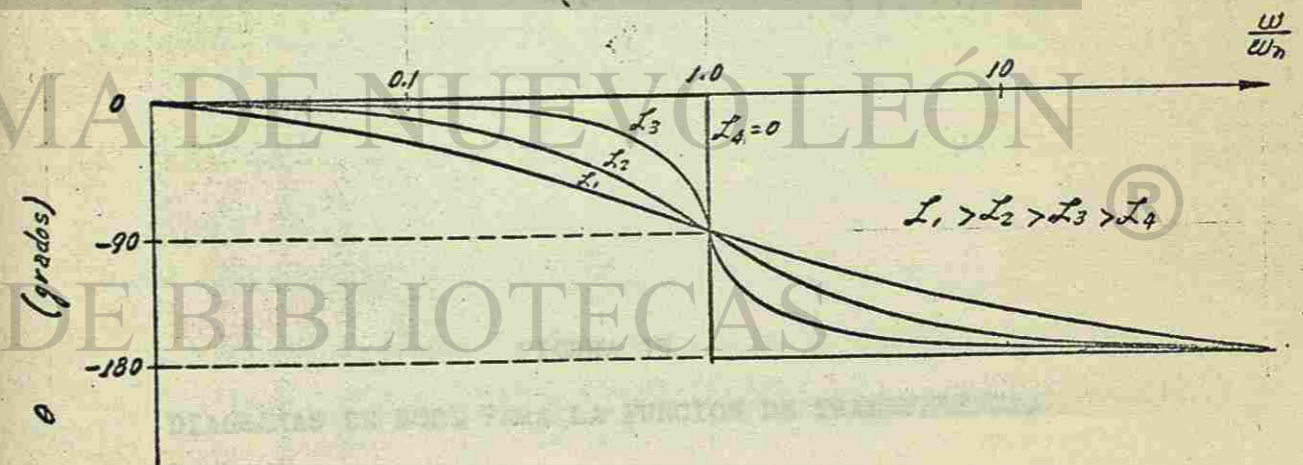
Con lo anterior encontramos solo uno de los dos diagramas de Bode, o sea, el diagrama Magnitud (decibeles) Frecuencia. El segundo diagrama, de Fase Frecuencia, lo encontraremos a continuación. Para esto basta determinar las tres condiciones de frecuencia; $\omega \rightarrow 0$, $\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ y $\omega \rightarrow \infty$; o sea,

$$\omega \rightarrow 0 \quad \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}(j\omega) = \frac{K}{\omega_n^2} \quad \therefore \theta = 0^\circ$$

$$\frac{\omega}{\omega_n} = 1 \quad \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}(j\omega) = -\frac{JK}{2L\omega_n^2} \quad \therefore \theta = -90^\circ$$

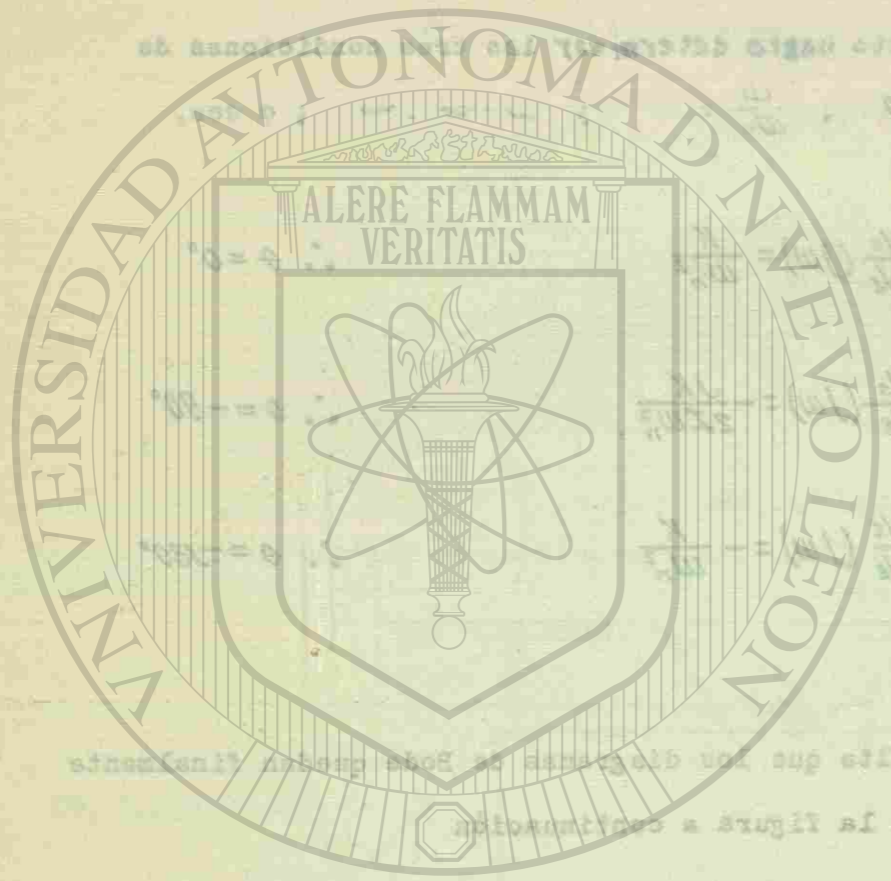
$$\omega \rightarrow \infty \quad \frac{\Delta N_s}{\Delta N_e}(j\omega) = -\frac{K}{\omega_n^2} \quad \therefore \theta = -180^\circ$$

De lo que resulta que los diagramas de Bode quedan finalmente según se ilustra en la figura a continuación



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

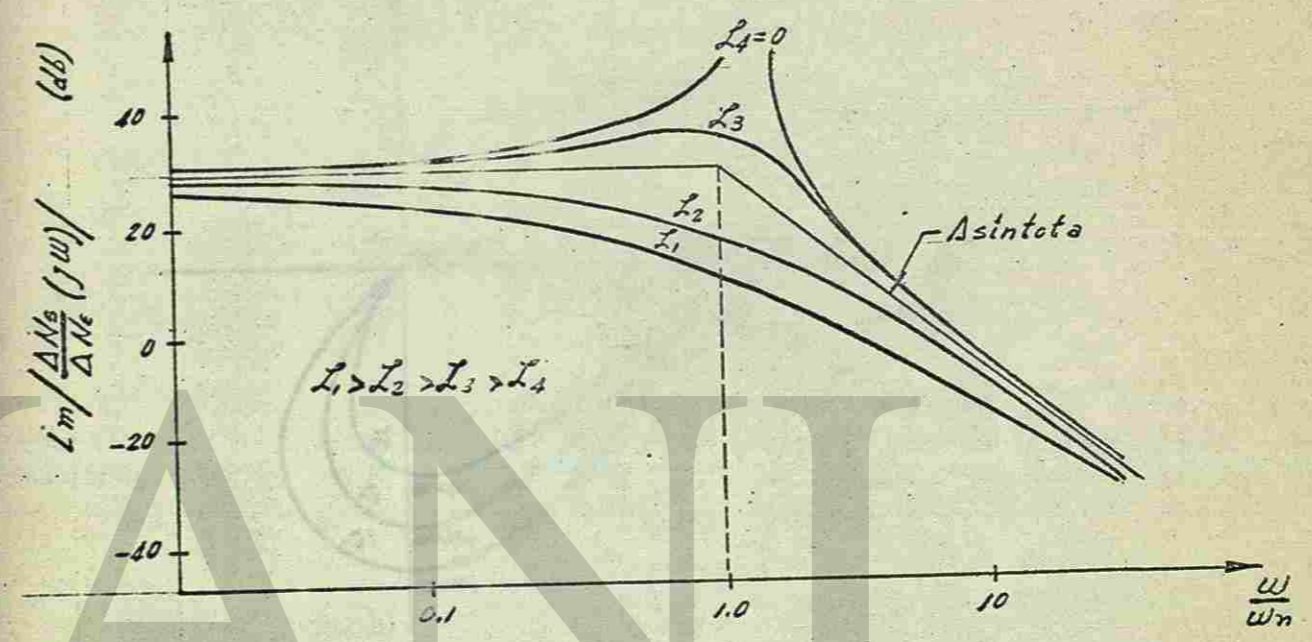
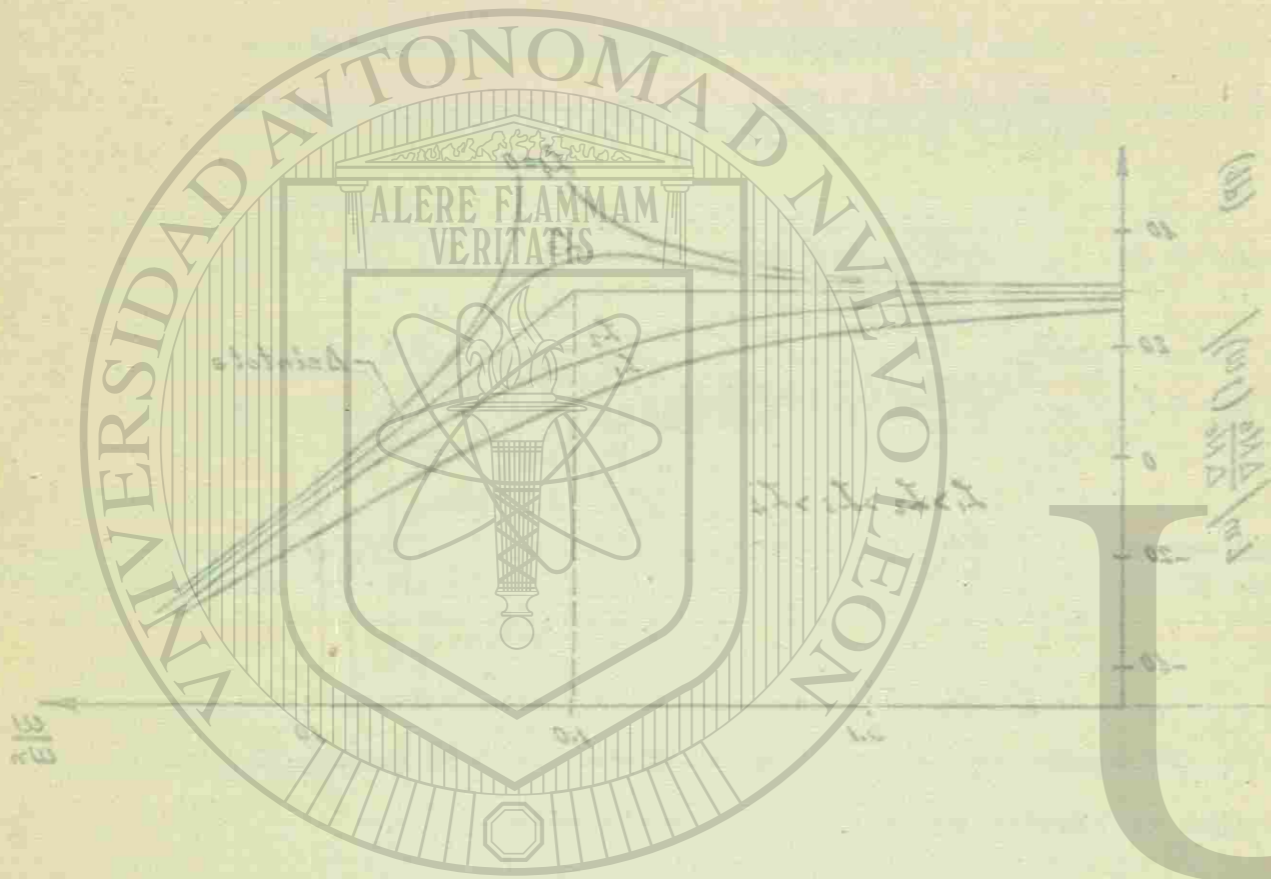


FIGURA 15

DIAGRAMAS DE BODE PARA LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

El diagrama polar (parte imaginario, parte real) de la magnitud) es fácilmente deducible a partir de la figura anterior y es según se muestra en la figura 16



en la que hacemos una variación de ω según se muestra en la figura 17.

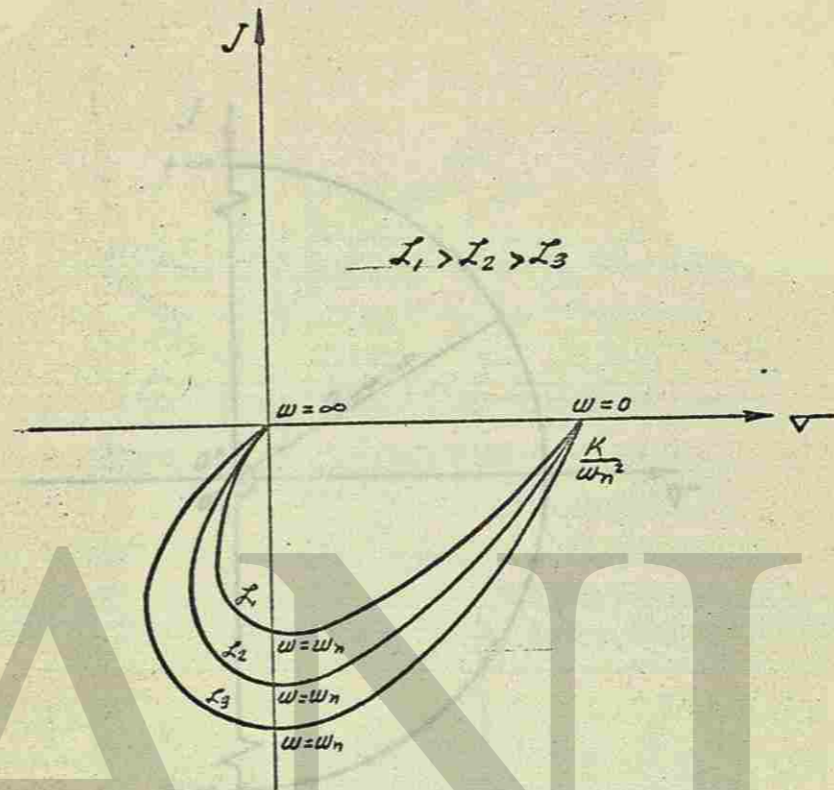


FIGURA 16

DIAGRAMA POLAR PARA LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

3.2.- ANALISIS DE ESTABILIDAD

El analisis de estabilidad mediante el criterio Nyquist se hace en base a la llamada función de transferencia de circuito abierto, a saber,

$$38.- G(s)H(s) = \frac{K_1 K_2 C_2 C_3 C_4}{S(1+T_2 S)}$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

en la que hacemos una variación de "S" según se muestra en la Figura 17.

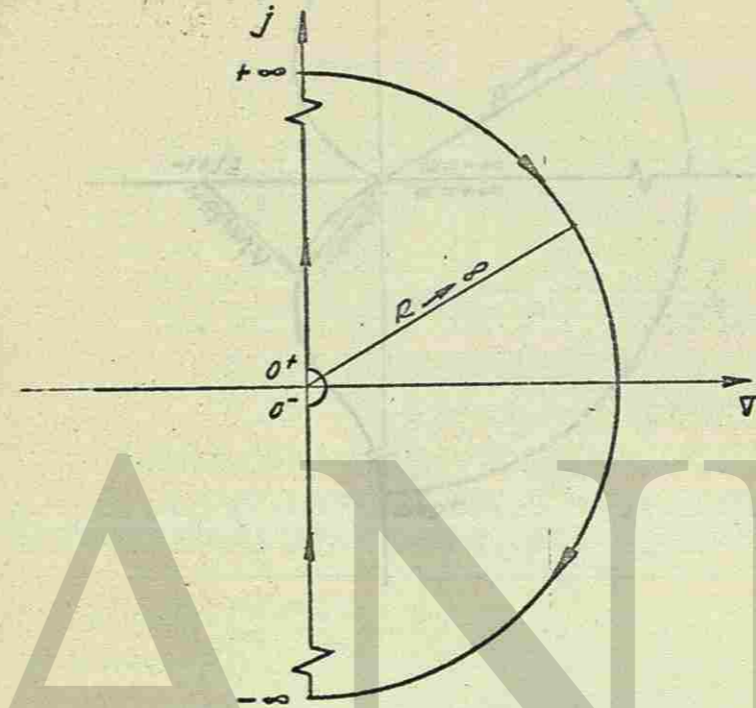


FIGURA 17

VARIACION DE "S" EN EL PLANO COMPLEJO

Por lo que finalmente el diagrama polar de la función de transferencia de circuito abierto para nuestro sistema tiene la forma mostrada en la Figura 18



FIGURA 18

DIAGRAMA POLAR PARA LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - S.S.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El análisis de estabilidad mediante el criterio Nyquist se

hace en base a la llamada función de transferencia de circuito

abierto, a saber,

$$G(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\dots}{s^m(s+p_1)(s+p_2)\dots}$$

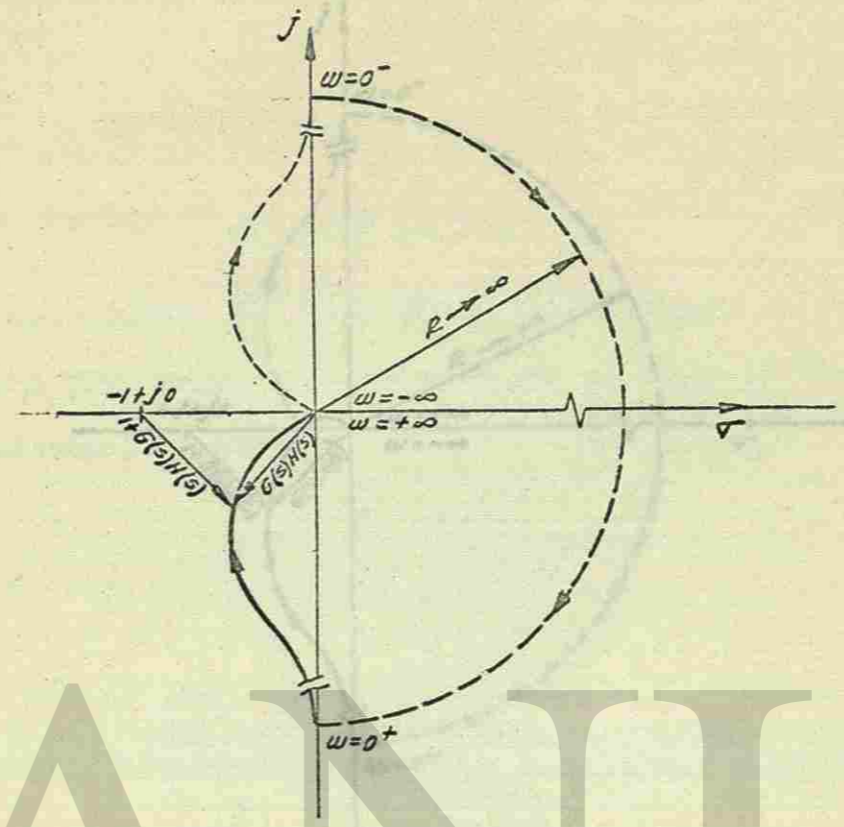
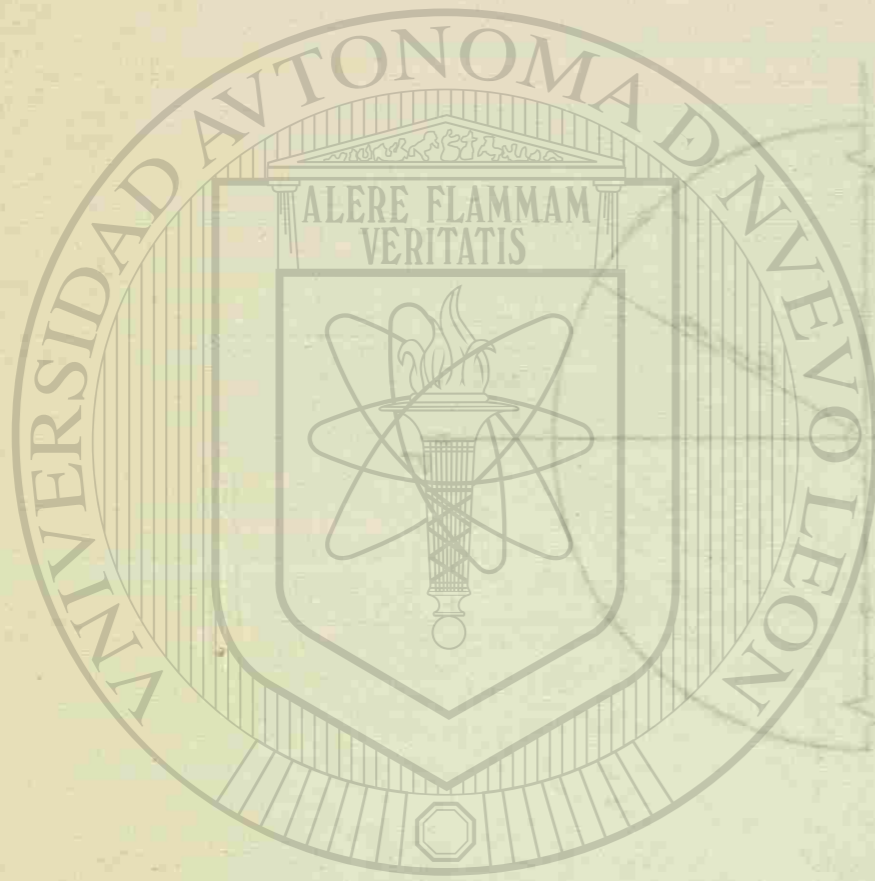


FIGURA 18

CRITERIO DE ESTABILIDAD DE NYQUIST PARA EL SISTEMA ANALIZADO

El criterio de estabilidad mencionado establece que para que el sistema sea estable el diagrama anterior no debe encerrar al punto $-1+j0$. Consecuentemente el sistema analizado resulta estable.

Si observamos ahora la Figura 19 que muestra el diagrama del sistema no simplificado se puede notar a simple vista que de acuerdo al criterio Nyquist podremos tener inestabilidad dependiendo del valor de $K_1 K_5 C_2 C_5 C_4$.

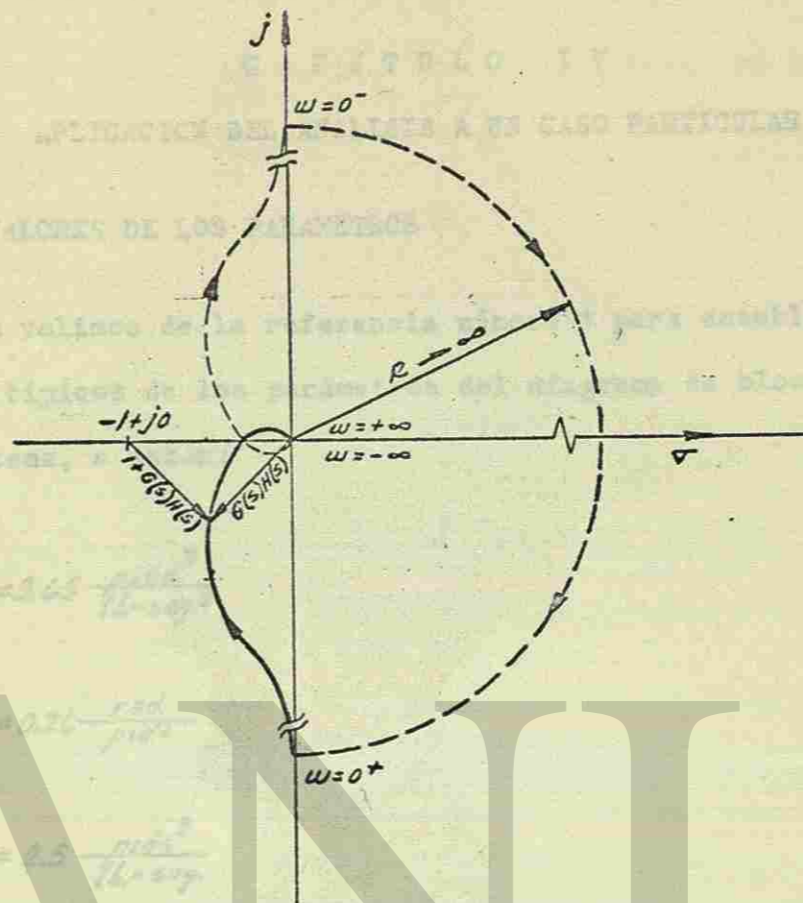
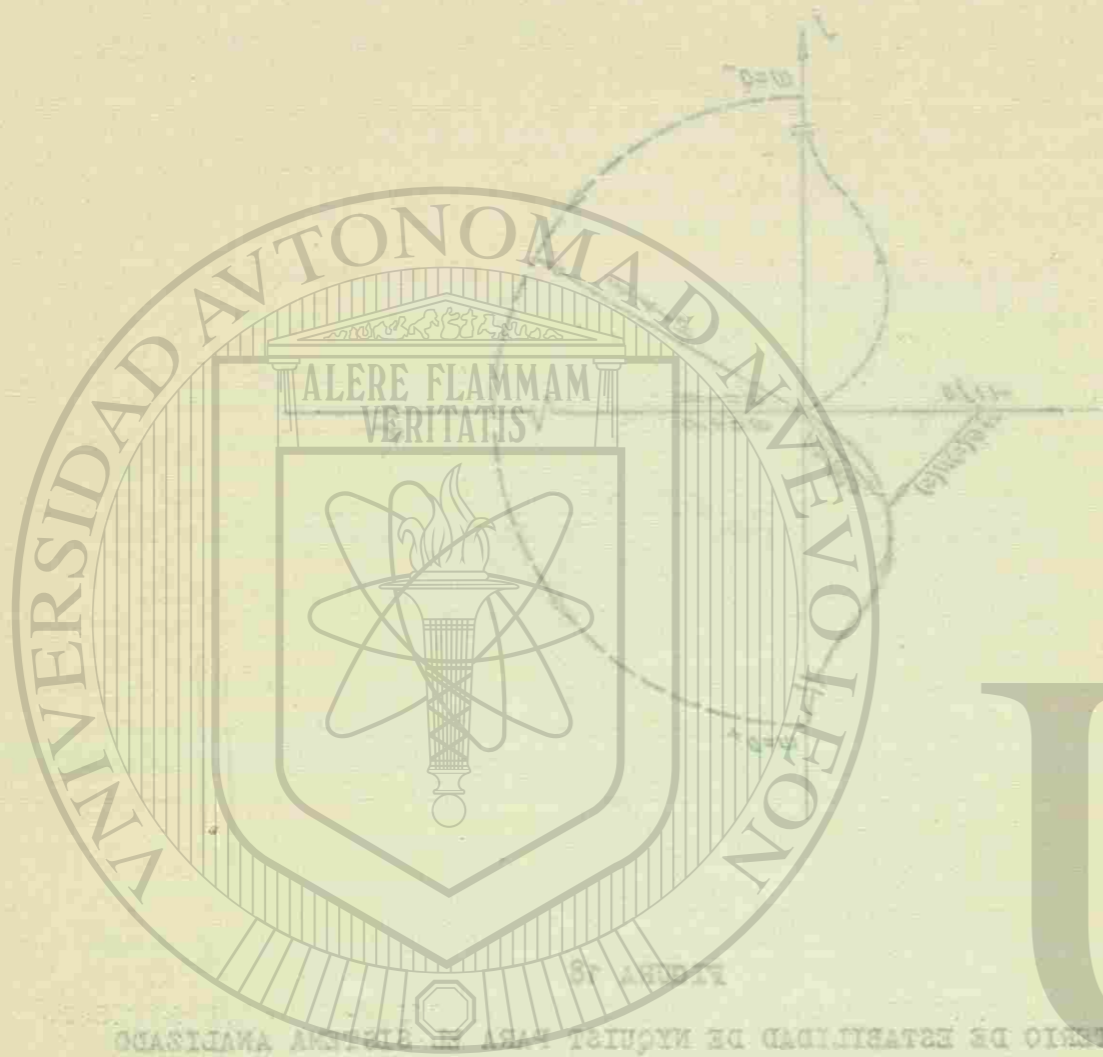


FIGURA 19
CRITERIO DE ESTABILIDAD DE NYQUIST PARA EL SISTEMA NO SIMPLIFICADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPITULO IV

APLICACION DEL ANALISIS A UN CASO PARTICULAR

4.1.- VALORES DE LOS PARAMETROS

Nos valimos de la referencia número 1 para establecer unos valores típicos de los parámetros del diagrama de block de nuestro sistema, a saber:

$$K_1 = 3.65 \frac{\text{pies}^3}{\text{lb.-seg.}^2}$$

$$C_5 = 0.26 \frac{\text{rad.}}{\text{pie}^3}$$

$$C_8 = 2.5 \frac{\text{pies}^2}{\text{lb.-seg.}}$$

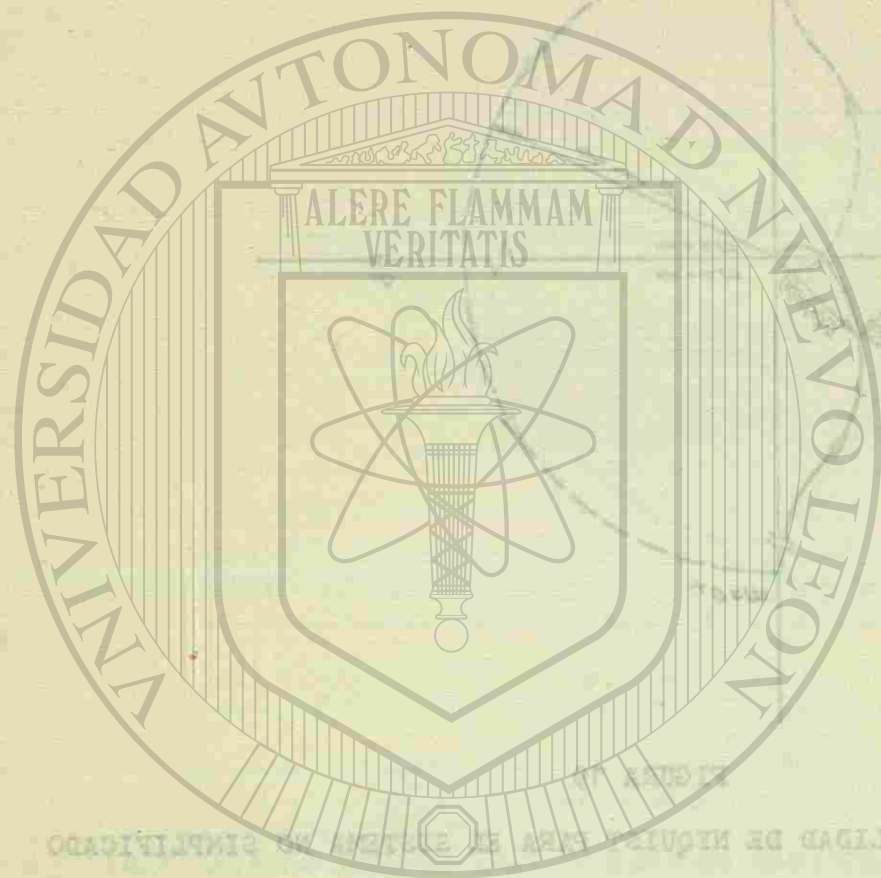
$$T_2 = 1.56 \text{ seg.}$$

Estableciendo además que la ganancia de la señal de referencia y la retroalimentación sean iguales a la unidad se tiene:

$$C_2 = 0.5 \frac{\text{pie.-seg.}}{\text{rad.}}$$

$$K_5 = 2.0 \frac{\text{lb.}}{\text{pie}^4}$$

$$C_4 = 1.0 \frac{\text{lb.-seg.}}{\text{rad.}}$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

De esto el diagrama de block resultaria segun se muestra en la Figura 20

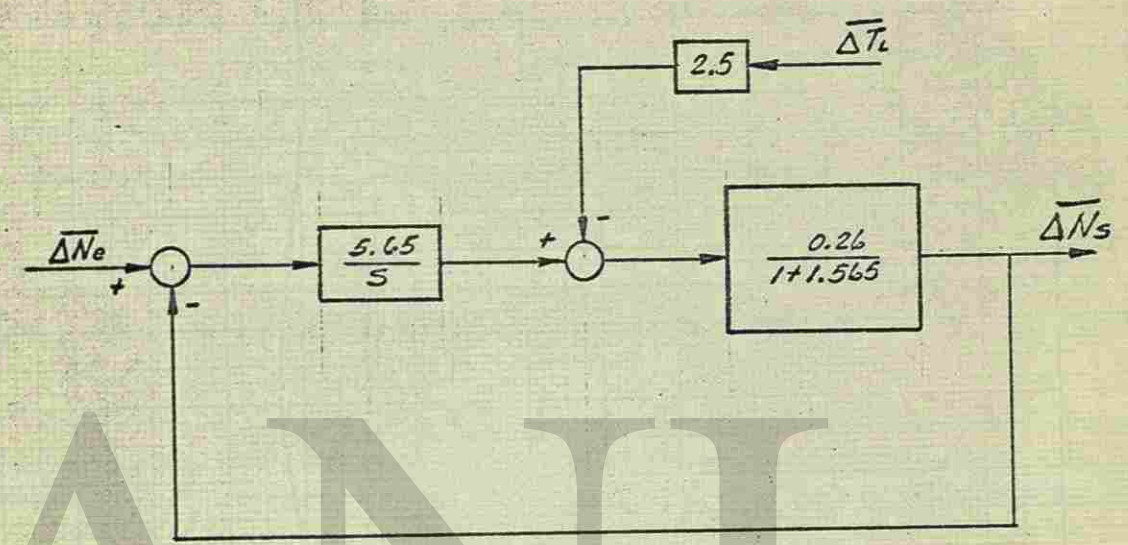
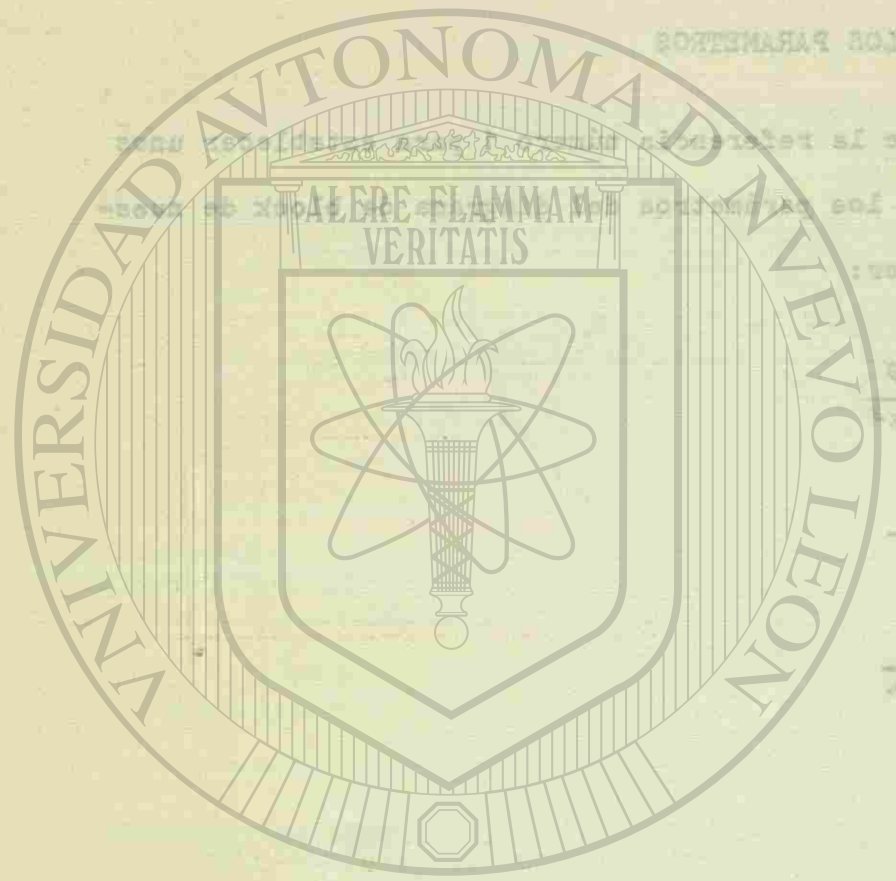


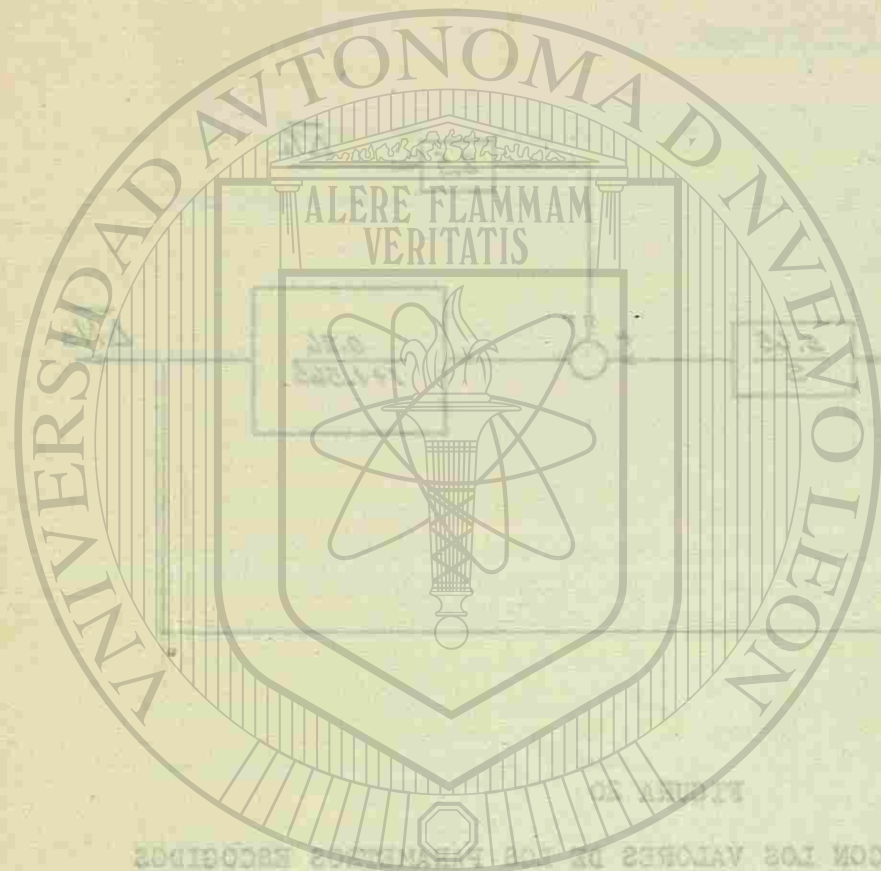
FIGURA 20

DIAGRAMA DE BLOCK CON LOS VALORES DE LOS PARAMETROS ESCOGIDOS

Una vez establecido el diagrama de block numerico del gobernador isocrono y teniendo como base todo el desarrollo analitico de los capitulos anteriores, asi como evitando repeticiones inutilis, colocamos las graficas siguientes. Los valores numericos de las graficas fueron obtenidos con la ayuda de la computadora digital IBM 1620; el programa Fortran y los resultados de esta computadora no son incluidos por razon de que solo fueron una herramienta auxiliar y no son de ninguna manera el proposito principal de este trabajo.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



De este el diagrama de bloques se muestra en la Figura 50

Una vez establecido el diagrama de bloques de cada uno de los componentes y teniendo como base todo el desarrollo analítico de los capítulos anteriores, así como evitando repeticiones innecesarias, colocamos las gráficas siguientes. Los valores numéricos de las gráficas se tomaron de los programas de simulación digital IBM 1620, el programa Fortran y los resultados de esta computadora no son incluidos por razón de que sólo fueran una herramienta auxiliar y no son de ninguna manera el propósito principal de este trabajo.

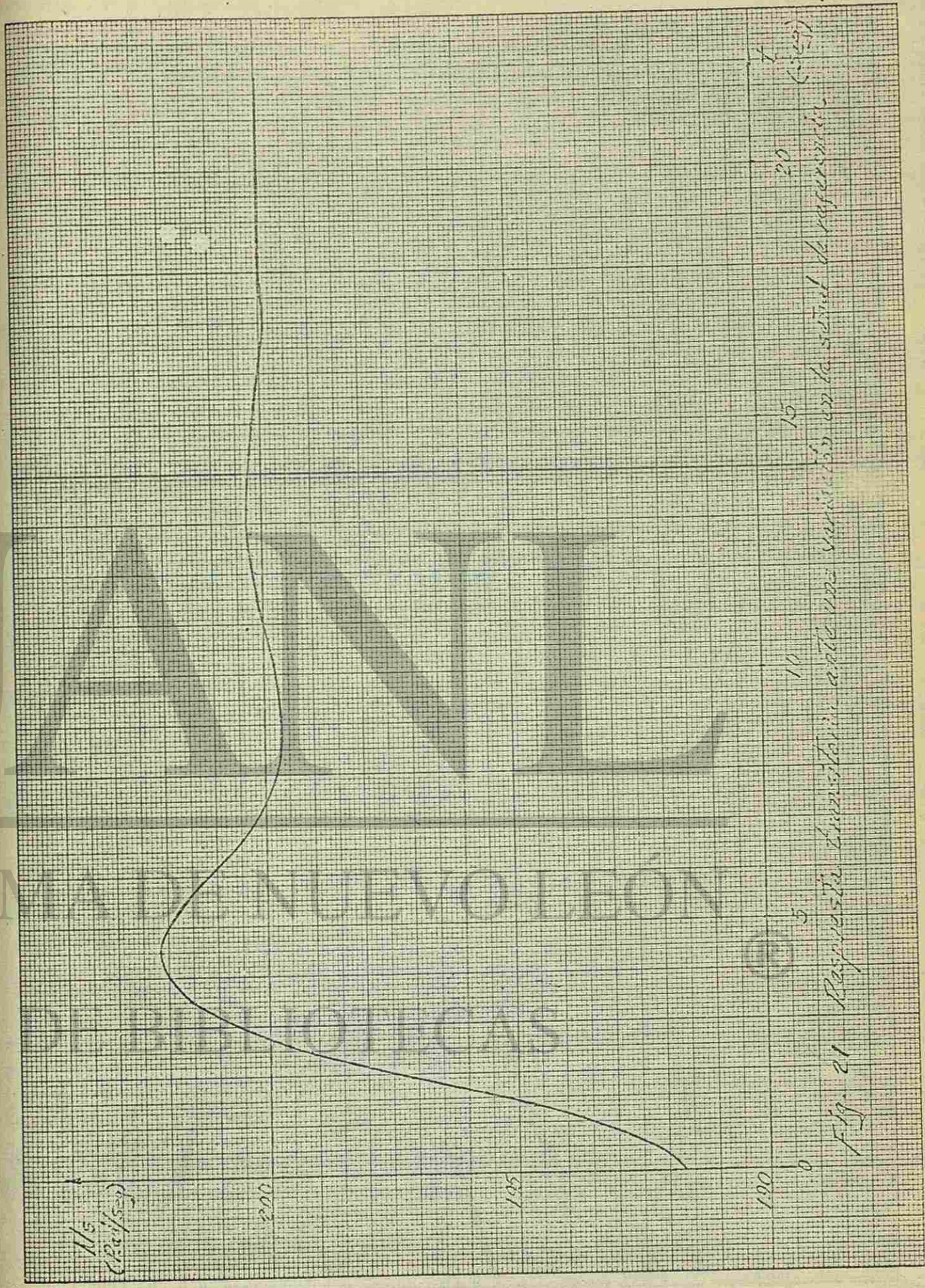
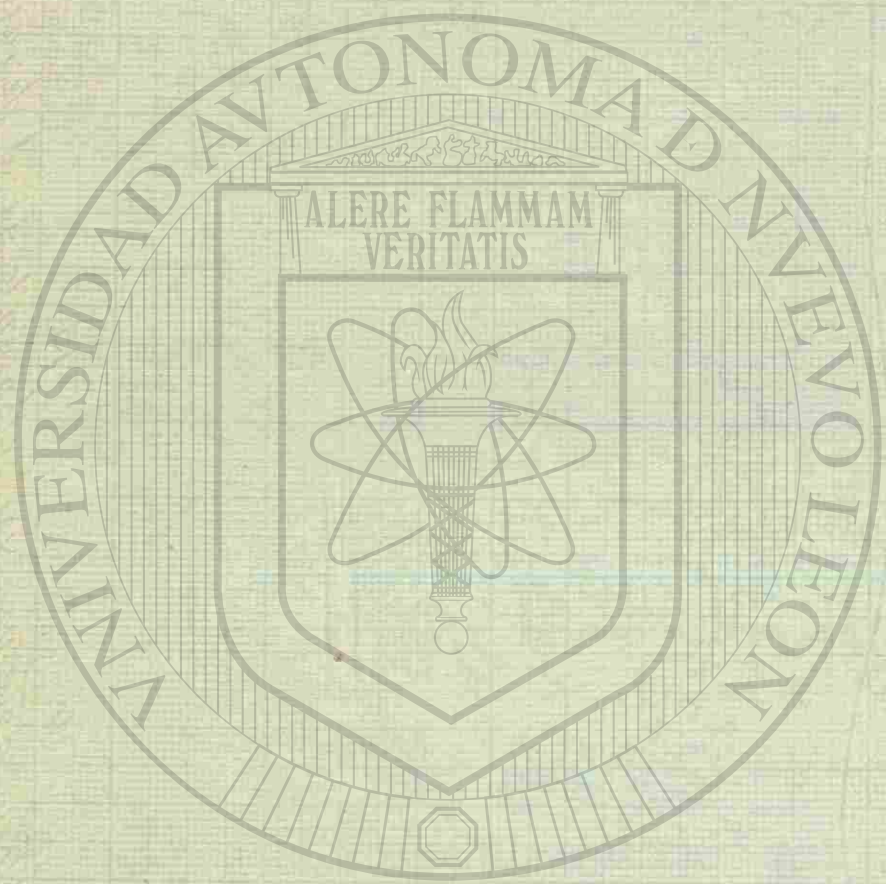
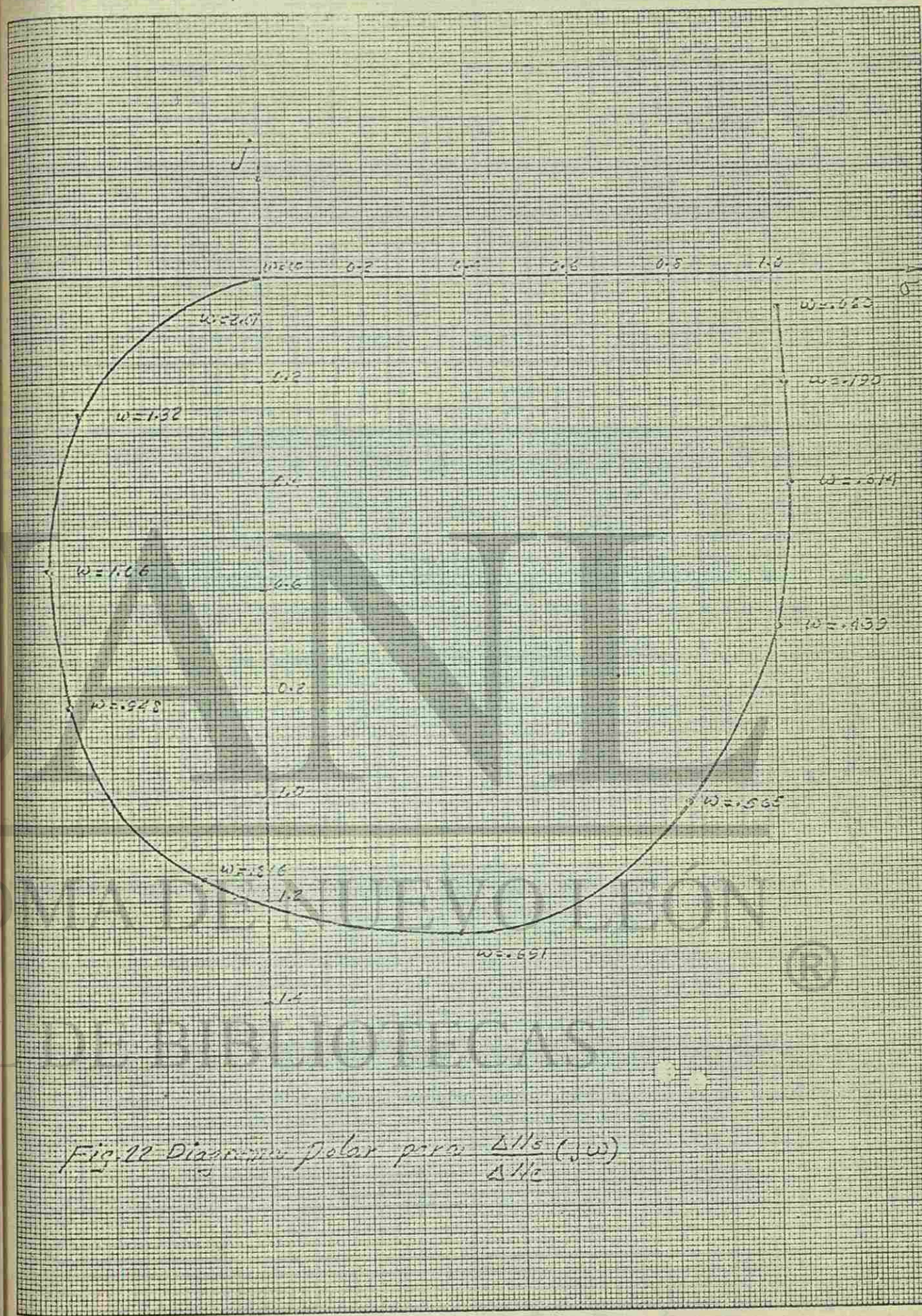


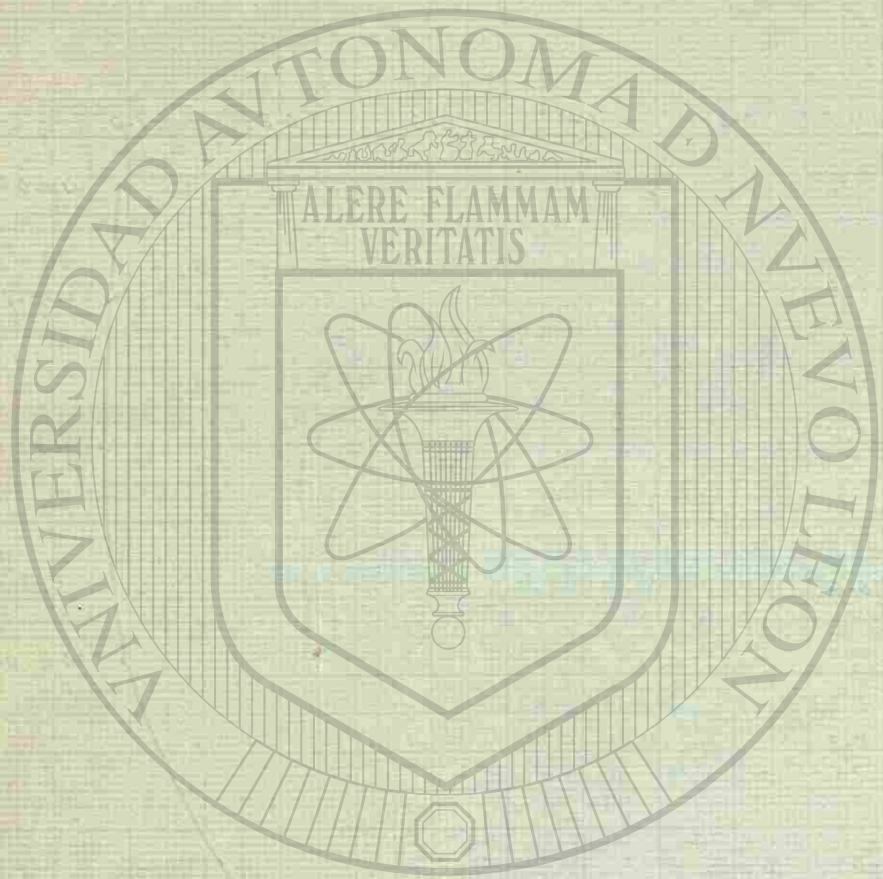
Fig. 21 Respuesta transitoria ante una variación en la señal de referencia (1969)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

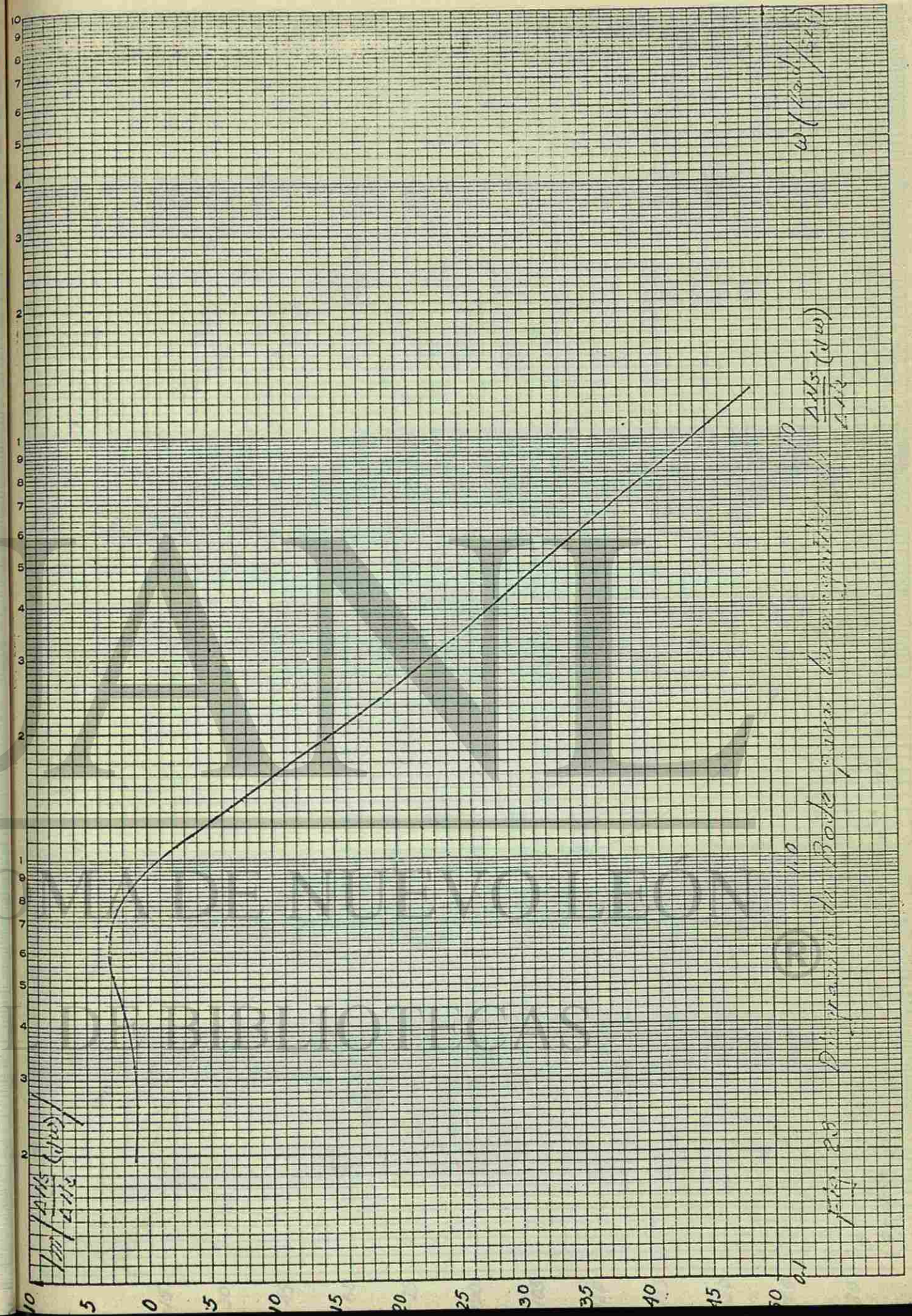
DIRECCIÓN GENERAL

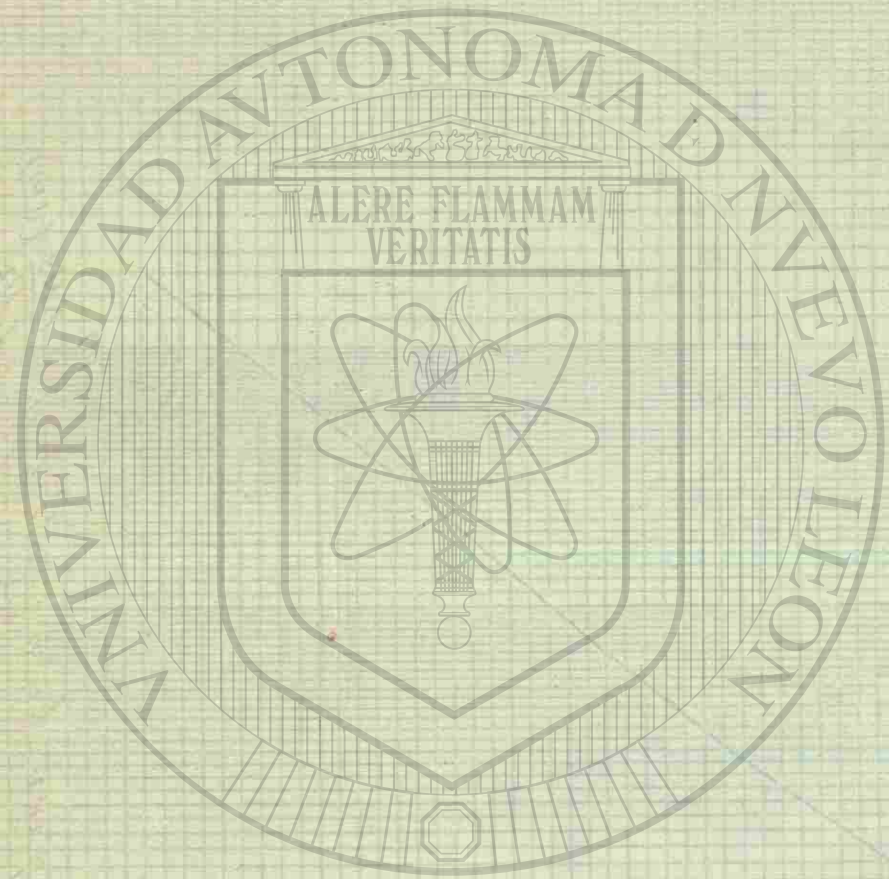




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

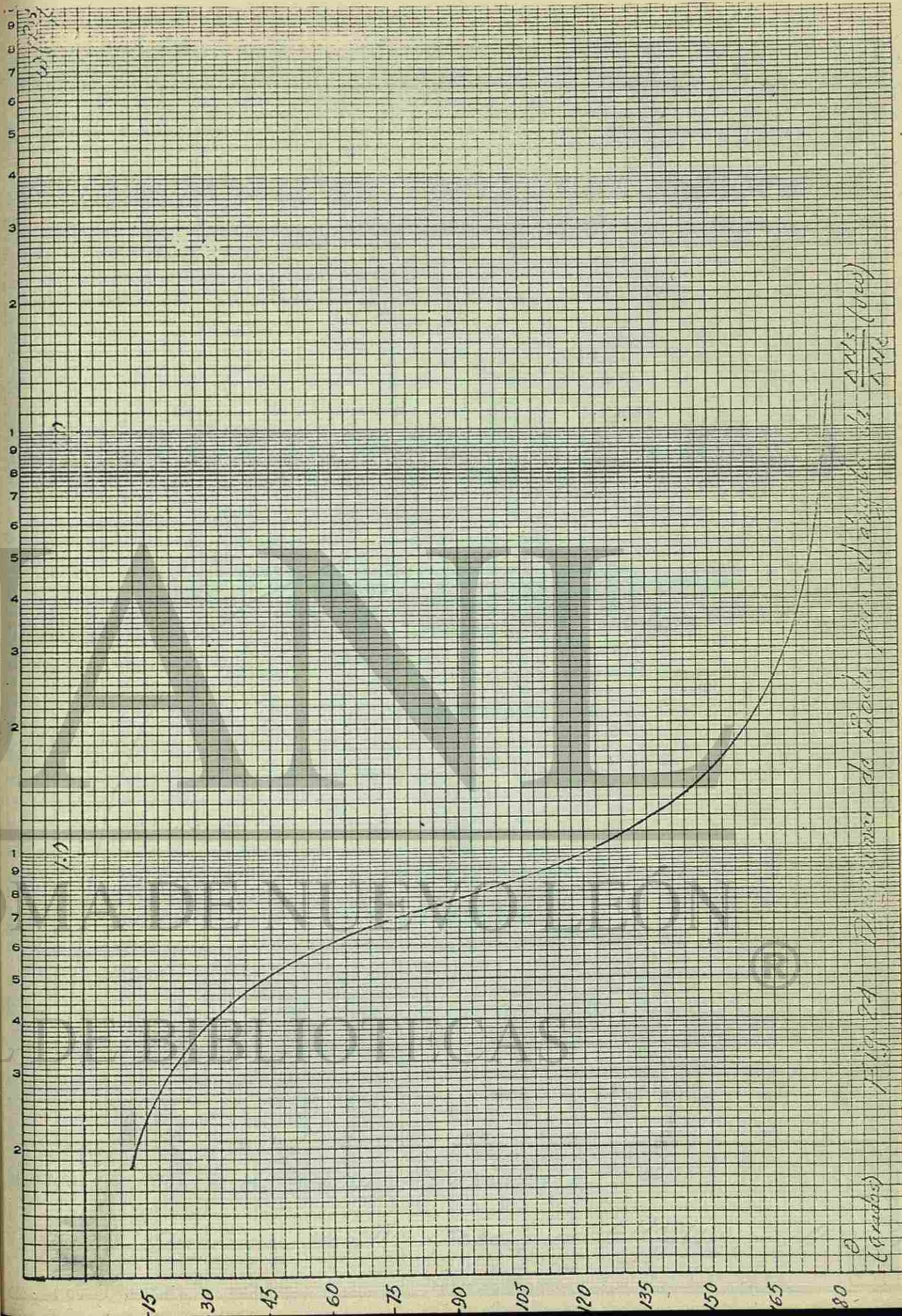
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

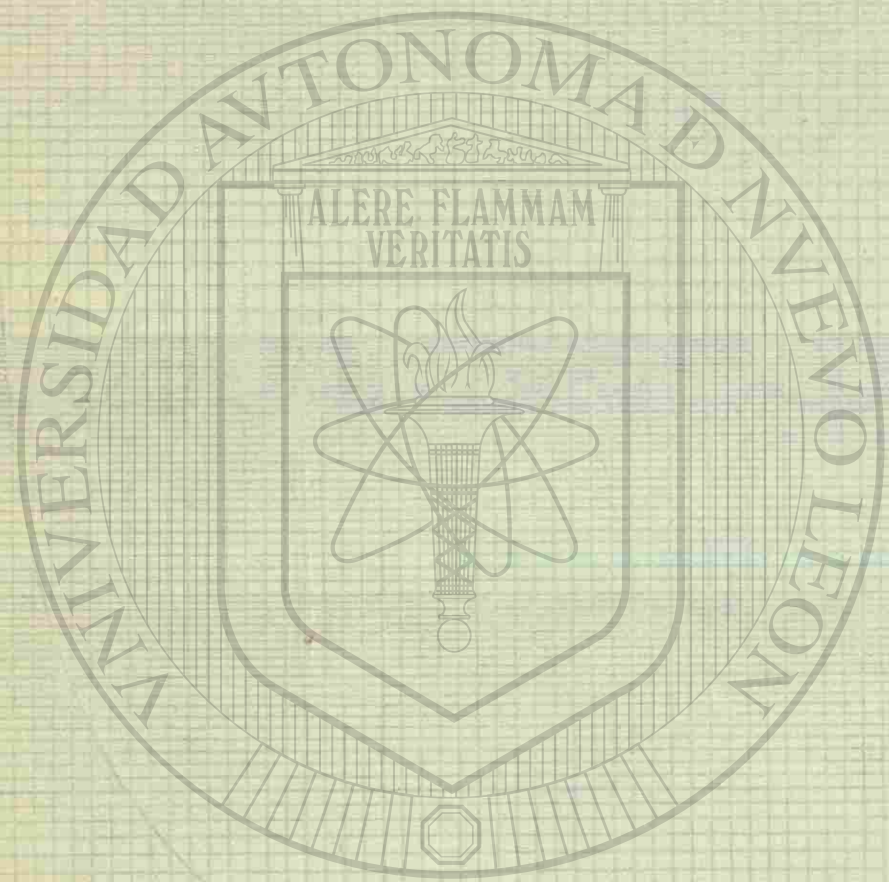




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

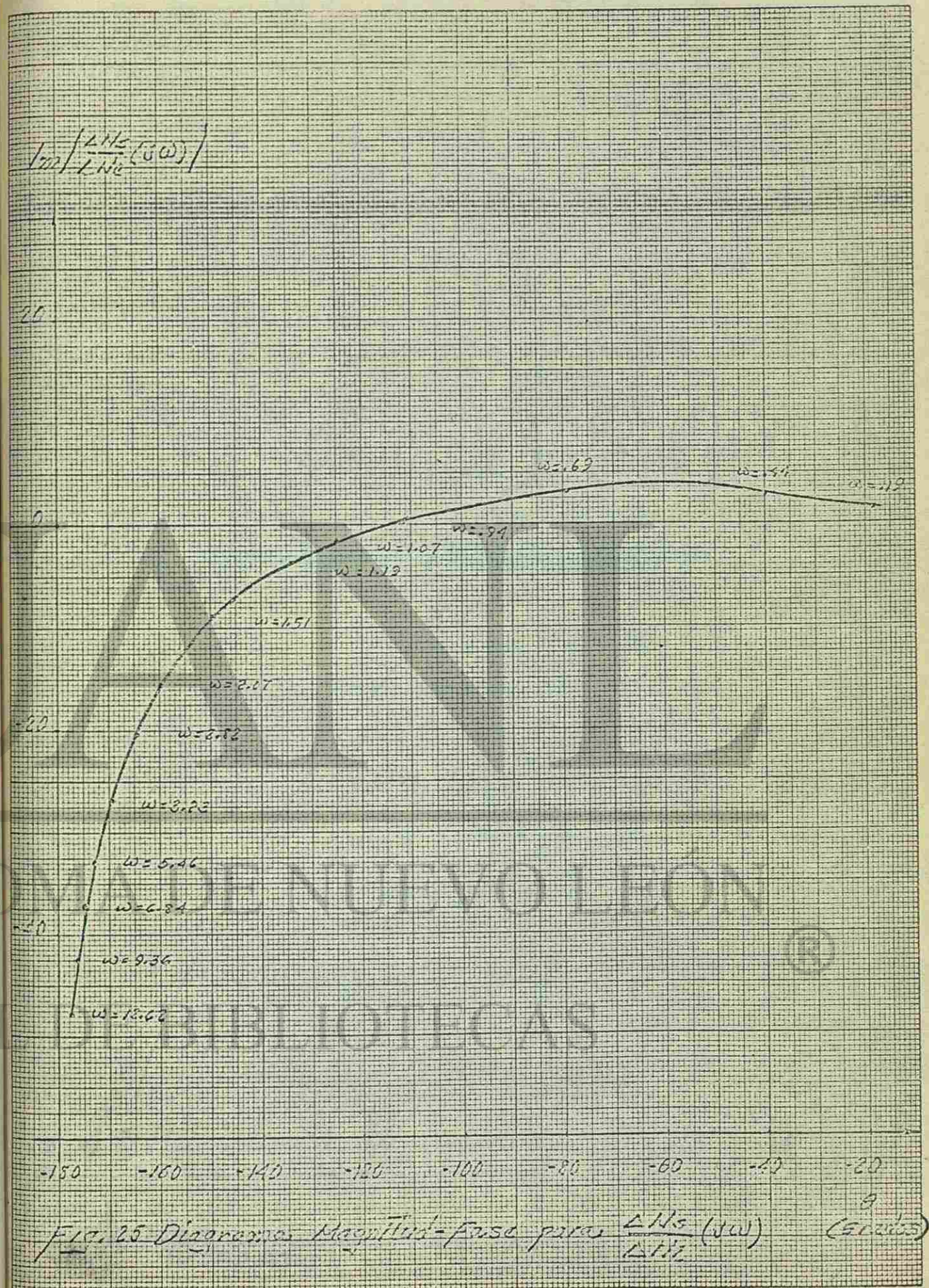
DIRECCIÓN GENERAL

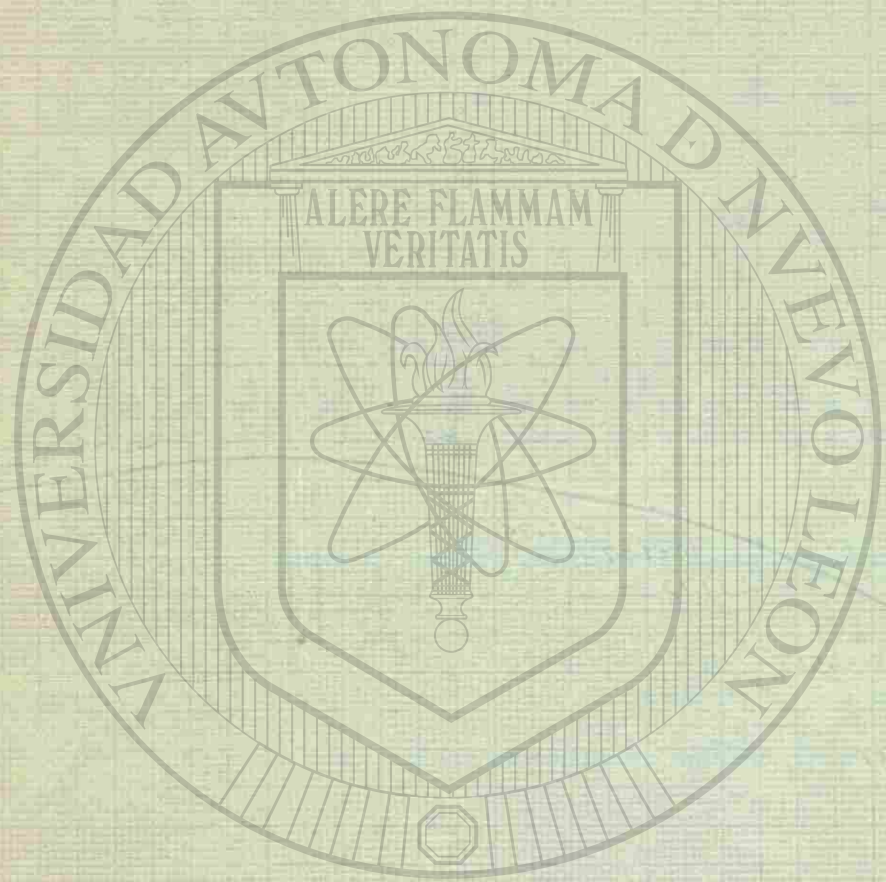




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

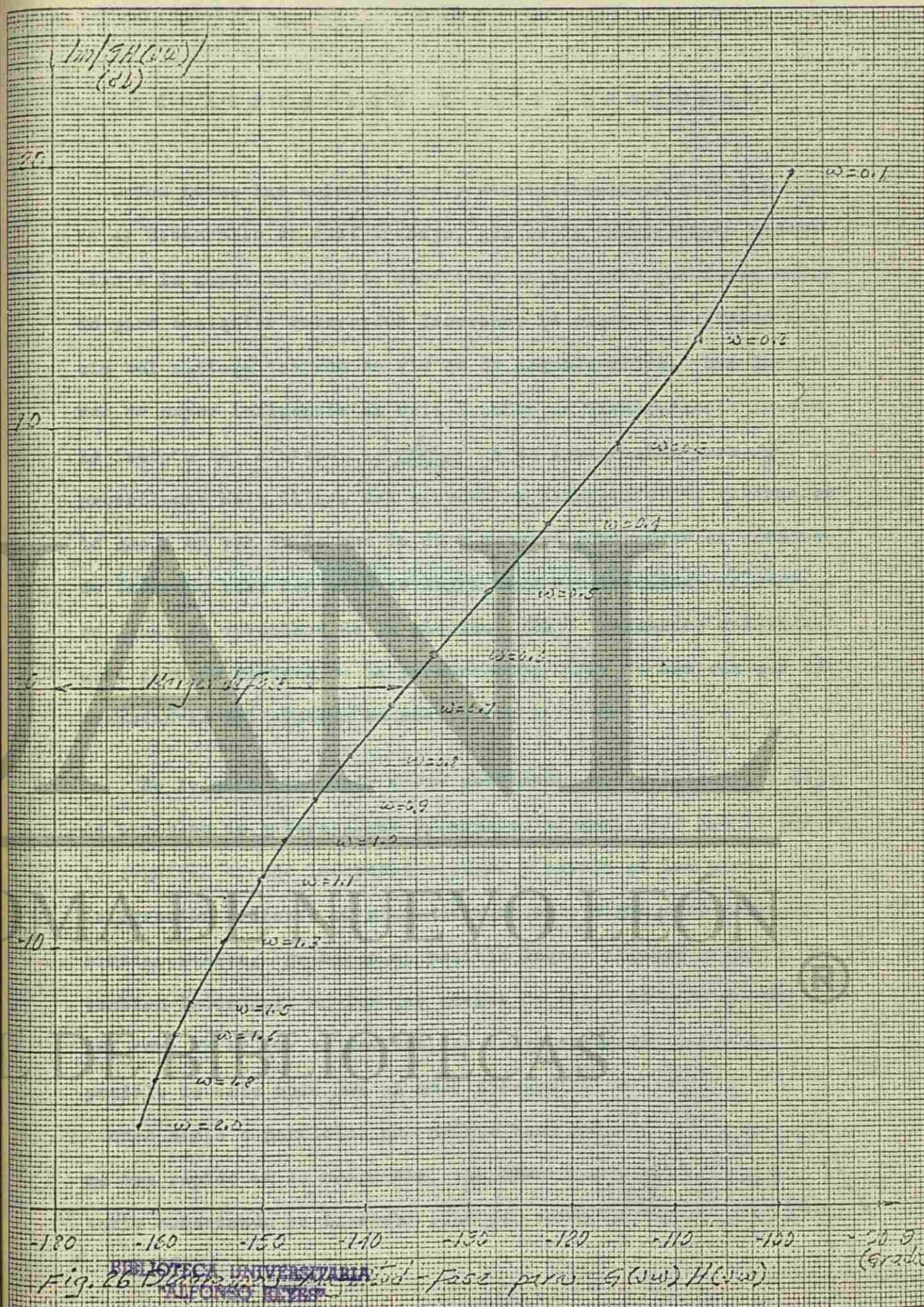
DIRECCIÓN GENERAL





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

DIRECCIÓN GENERAL



COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Con todas las aclaraciones y simplificaciones hechas durante el desarrollo de este trabajo, que según explicábamos obedecían a la imposibilidad de encontrar un análisis que fuese válido para cualquier gobernador Isócrono, la función de transferencia del sistema tratado se vió es de segundo orden. Los factores de mayor influencia en esta función de transferencia fueron la inercia del sistema $(\frac{L}{I+T_2S})$ y la integración pura $(\frac{1}{S})$, proveniente ésta última del servomotor hidráulico del gobernador lo que a su vez es lo que le da a nuestro gobernador el carácter de Isócrono pues con ello se logra cero sensibilidad $(K_1 = 0)$; en suma, la velocidad de la máquina (N_s) permanece constante ante cambios finitos de la perturbación (T_L) , una vez que el transitorio del sistema ha muerto.

De lo anterior puede verse obviamente que existen otro tipo de arreglos de gobernadores diferentes al analizado que no obstante seguirán siendo Isócronos siempre y cuando se les provea una integración mediante el mismo servomotor o algún otro mecanismo similar a éste. De hecho es posible lograr algunos arreglos más, también Isócronos, en los que además de tener el modo proporcional como en el que se analizó, se tenga cualquier combinación posible de este modo más el modo integral y derivativo (combinaciones serie o paralelo) que aunque bien sabemos harán el sistema más rápido en su respuesta, sin embargo lo hacen más oscilatorio aumentando su inestabilidad por razón de haber agregado más

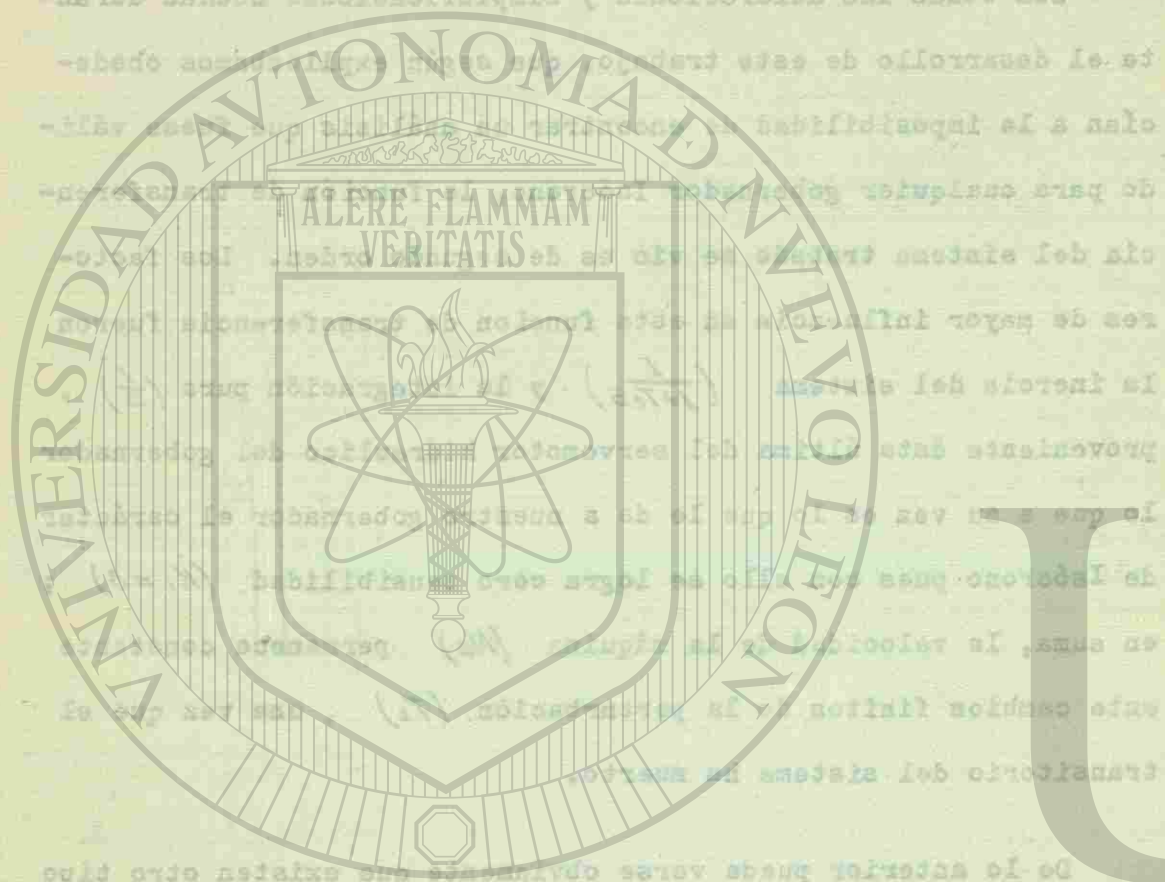
polos a la función de transferencia; no olvidar que por regla general en todo sistema de control estan siempre en pugna la tendencia a la inestabilidad y la rapidez del mismo.

El caso particular analizado, dado los valores de los parámetros escogidos, resultó subamortiguado según se deduce de las gráficas que muestran una respuesta transitoria oscilatoria y además del diagrama de Bode que para la magnitud del complejo sigue la tendencia de las asíntotas por arriba de ellas. Del diagrama Magnitud-Fase de $G(s)H(s)$ se vió que el margen de fase es de unos 45 grados positivos corroborando con ello el análisis teórico así como también la estabilidad inherente al sistema según se deduce del criterio de Nyquist.

Por último permitasenos establecer, aunque de una manera completamente asimil con lo anterior, una última reflexión. Esperamos, quizás de una manera petulante, que la aportación que hayamos podido proporcionar pueda llegar a inquietar su curiosidad para que se adentren, quienes aún no lo hayan hecho, en campo tan basto, exitante y de tanta actualidad como es el del control automático.

Practical Electrical Engineering Series

Englewood Cliffs, N. J., 1962



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BIBLIOGRAFIA

DONNELLY, Reuben H. (Publicación de)

"Regulating Engine Speed Control Engineering"

Enero de 1966 Vol. 13 No. 1

Febrero de 1966 Vol. 14 No. 2

RAVEN, Francis H.

"Automatic Control Engineering"

McGraw-Hill Book Company Inc.

New York, 1961

CHUNG KUO, Benjamín

"Automatic Control Systems"

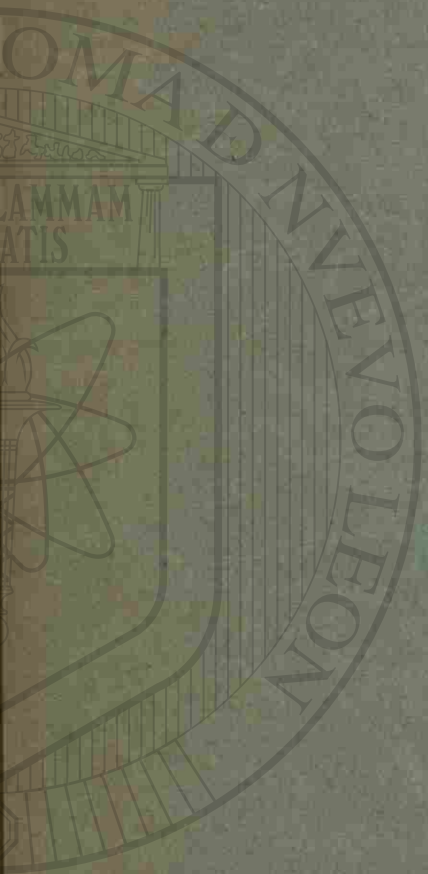
Prentice-Hall Electrical Engineering Series

Englewood Cliffs, N. J. , 1962



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



U A N L

SIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO

CCIÓN GENERAL DE BIBLIOTEC

BIBLIOTECA CENTRAL
U. A. N. L.