

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

" TECNICAS DE COMPENSACION
MEDIANTE EL LUGAR
GEOMETRICO DE LAS RAICES"

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTRONICA
Y CONTROL.

LUIS FERNANDO LLUMIGUSIN DUCHI

QUITO - JULIO - 1986



A G R A D E C I M I E N T O

Un profundo agradecimiento a mis padres y todas aquellas personas que de un modo u otro colaboraron a la finalización del presente trabajo.

Mi reconocimiento al Ing. LUIS BARAJAS por su dirección; y colaboración.


Y en general gracias a quienes hacen la facultad de Ingeniería Eléctrica, por haberme formado mental y humanísticamente.

D E D I C A T O R I A

Este trabajo lo dedico al "GRAN CREADOR"
por haberme dado la vida y una madre tan sabia
que me supo formar.

C E R T I F I C A C I O N

Certifico que el presente trabajo ha sido rea
lizado por el Sr. LUIS FERNANDO LLUMIGUSIN -
DUCHI, bajo mi dirección.


Ing. Luis E. Barajas

I N D I C E

1.1.- Criterios de estabilidad y respuestas de sistemas de control.....	1
1.1.1. Estabilidad.....	1
1.1.2. Respuesta de sistema de control.....	3
1.1.3. Respuesta transitoria.....	4
1.1.4. Respuesta de estado estable.....	9
1.2.- La función de la compensación.....	11
1.2.1. Compensador en serie o cascada.....	12
1.2.2. Compensador en paralelo o en la realimentación.....	13
1.3.- Métodos de compensación.....	15
1.4.- Formas físicas de compensadores, redes eléctricas y mecánicas de compensación.....	17
1.4.1. Red de compensación en adelanto.....	18
1.4.2. Red de compensación en atraso.....	23
1.4.3. Red de compensación en adelanto - atraso.....	27
1.4.4. Red compensadora proporcional - integral.....	32
1.4.5. Otras redes compensadoras.....	34
CAPITULO II. COMPENSACION MEDIANTE EL LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES E IDENTIFICACION DE ALGORITMOS.	
2.1.- Parámetros comúnmente alterados mediante esta técnica.....	36
2.2.- Compensación variando la ganancia. Ejemplos.....	36
2.2.1. Algoritmos para compensación con ganancia.....	40
2.2.2. Ejemplos de compensación con ganancia.....	49
2.3.- Compensación en adelanto.....	54
2.3.1. Algoritmos de compensación en adelanto.....	55
2.3.2. Ejemplos de compensación en adelanto.....	62

2.4.- Compensación en atraso.....	67
2.4.1. Algoritmos de compensación en atraso.....	70
2.4.2. Ejemplos de compensación en atraso.....	75
2.5.- Compensación en adelanto - atraso.....	83
2.5.1. Algoritmos de compensación adelanto - atraso.....	84
2.5.2. Ejemplos de compensación adelanto-atraso.....	87
2.6.- Compensación proporcional - integral.....	92
2.6.1. Algoritmos de compensación proporcional - integral.....	93
2.6.2. Ejemplos de compensación proporcional - integral.....	97

CAPITULO III. PROGRAMA DIGITAL.

3.1.- Introducción.....	101
3.1.1. Características del equipo.....	101
3.1.2. Descripción general del programa.....	103
3.2.- Diagrama de flujo principal.....	110
3.2.1. COMPEGD.....	111
3.2.2. COMPCER.....	111
3.2.2 COMPE3.....	112
3.2.4 COMPE2.....	112
3.2.5. COMPArDa.....	112
3.2.6. COMPEG.....	112
3.2.7. COMPAV.....	113
3.2.8. COMP1AD.....	114
3.2.9. COMP2AT.....	115
3.2.10 COMP3ADAT.....	115
3.2.11 COMP4PI.....	115
3.2.12 COMPEK.....	115

3.2.13 COMPGI.....	116
3.2.14 COMP.C.L.C.D.....	117
3.3.- Ejemplos prácticos de aplicación.....	133
3.4.- Análisis de resultados.....	188
3.5.- Conclusiones.....	189

ANEXOS:

ANEXO A : UTILIZACION DEL PROGRAMA (MANUAL DE USO)

ANEXO B : LISTADO DE VARIABLES EN USO

ANEXO C : LISTADO DE ERRORES (MANUAL)

ANEXO D : LISTADO DEL PROGRAMA

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

En los últimos años se ha dado un gran impulso a la automatización de sistemas mecánicos, eléctricos, etc, lo que ha obligado a profundizar el estudio de los sistemas de control, con la esperanza de poder entender en un papel el funcionamiento de un problema físico.

Es así como el entendimiento de como se comporta un sistema puede llevarse a cabo mediante varias técnicas, estando entre ellas el lugar geométrico de las raíces.

El presente trabajo utilizó la tesis del Ing. Ramiro Pazmiño (1981) para poder compensar o mejorar características de funcionamiento de un sistema, basándose en el lugar geométrico de las raíces (LGR).

Mediante el microcomputador TEKTRONIX 4051, de la facultad de Ingeniería Eléctrica, cuyo lenguaje interno de programación es el BASIC, se implementa un programa cuyo proceso es iterativo, "conversacional" entre el usuario y el computador, que se encarga de calcular las singularidades necesarias para cumplir con algunas especificaciones de funcionamiento, valiéndonos para el análisis de la técnica del lugar geométrico de las raíces.

En el capítulo I se trata el problema de la compensación en general y se extiende el estudio a tener redes físicamente realizables. Luego en el capítulo II se centra el análisis de la compensación a 4 formas: compensación en adelanto, en atraso, en adelanto-atraso y la proporcional integral, allí se explican los algoritmos implementados y algunos ejemplos de aplicación:

Finalmente en el capítulo III se presenta el programa implementado-

y algunos ejemplos realizados mediante el mismo.

El análisis de los resultados se lo hace con el IGR que ha sido ligeramente mejorado en su versión original. Además la maniobrabilidad de los archivos calculados es muy notoria y podrá entenderse mejor, con el uso del programa del presente trabajo.

CAPITULO I

INTRODUCCION

En este capítulo se pretende dar ideas generales acerca de la estabilidad de sistemas clásicos de control, una entrada y una salida además de indicar en que consiste la compensación y las formas de compensar, para lo cual se explican algunos tipos de redes realizables. El estudio se orienta principalmente a la compensación en: adelanto, atraso, adelanto -- atraso y proporcional-integral.

CAPITULO I

LA COMPENSACION

1.1.- CRITERIOS DE ESTABILIDAD Y RESPUESTAS DE SISTEMAS DE CONTROL.

1.1.1. Estabilidad

1.1.2. Respuesta de sistema de control

1.1.3. Respuesta transitoria

1.1.4. Respuesta de estado estable.

1.2.- LA FUNCION DE LA COMPENSACION

1.2.1. Compensador en serie o cascada

1.2.2. Compensador en paralelo o en la realimentación

1.3.- METODOS DE COMPENSACION

1.4.- FORMAS FISICAS DE COMPENSADORES, REDES ELECTRICAS Y MECANICAS DE COMPENSACION.

1.4.1. Red de compensación en adelanto

1.4.2. Red de compensación en atraso

1.4.3. Red de compensación en adelanto - atraso

1.4.4. Red compensadora proporcional - integral

1.4.5. Otras redes compensadoras.

1.1.- CRITERIOS DE ESTABILIDAD Y RESPUESTA DE SISTEMAS DE CONTROL

1.1.1. ESTABILIDAD.-

Se entiende por estabilidad de un sistema de control, cuando una entrada limitada produce una salida limitada. Un sistema de control puede representarse matemáticamente de diferentes maneras; así en nuestro estudio nos centraremos al análisis mediante transformada de Laplace. La relación salida-entrada conocida como función de transferencia nos ayuda a determinar el comportamiento de un sistema físico. La ecuación 1.1 muestra una función en el dominio de Laplace, en donde los factores del numerador se llamarán ceros (Z_i) y los del denominador polos (P_j).

$$F(s) = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{(s+Z_1)(s+Z_2)\dots(s+Z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_n)} \quad (1.1)$$

Donde: Z_i = ceros i - ésimo $i = 1, 2, \dots, m$.

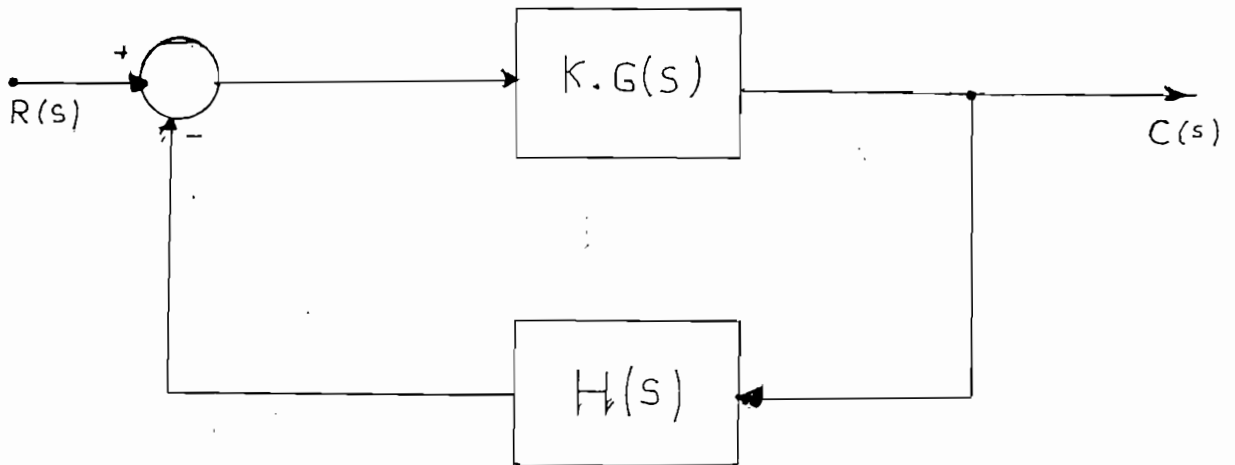
P_j = polo j - ésimo $j = 1, 2, \dots, n$.

$m \leq n$.

Para determinar la estabilidad de sistemas se han desarrollado una serie de técnicas y criterios entre los cuales enumeramos los siguientes:

- Criterio de estabilidad de Routh
- Criterio de estabilidad de Hurwitz
- Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz
- Criterio de estabilidad de la fracción continuada
- Técnicas mediante diagramas de Bode (dominio de la frecuencia)
- Técnicas mediante el LGR
- Técnicas por el análisis y Nyquist.
- Técnicas por el análisis de Nichols (carta)
- Otras técnicas inclusive para sistemas no lineales, discretas, etc.

Realizamos el análisis por el lugar geométrico de las raíces (L.G.R.)
 En la figura 1.1, se tiene un diagrama de bloques de un sistema de control realimentado.



K = parámetro numérico real variable

$G(s)$ = función de transferencia de la planta (polinomio)

$H(s)$ = función de transferencia de la realimentación (polinomio).

DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 1.1.

La función que relaciona la entrada y la salida vendría dada por la ecuación 1.2.

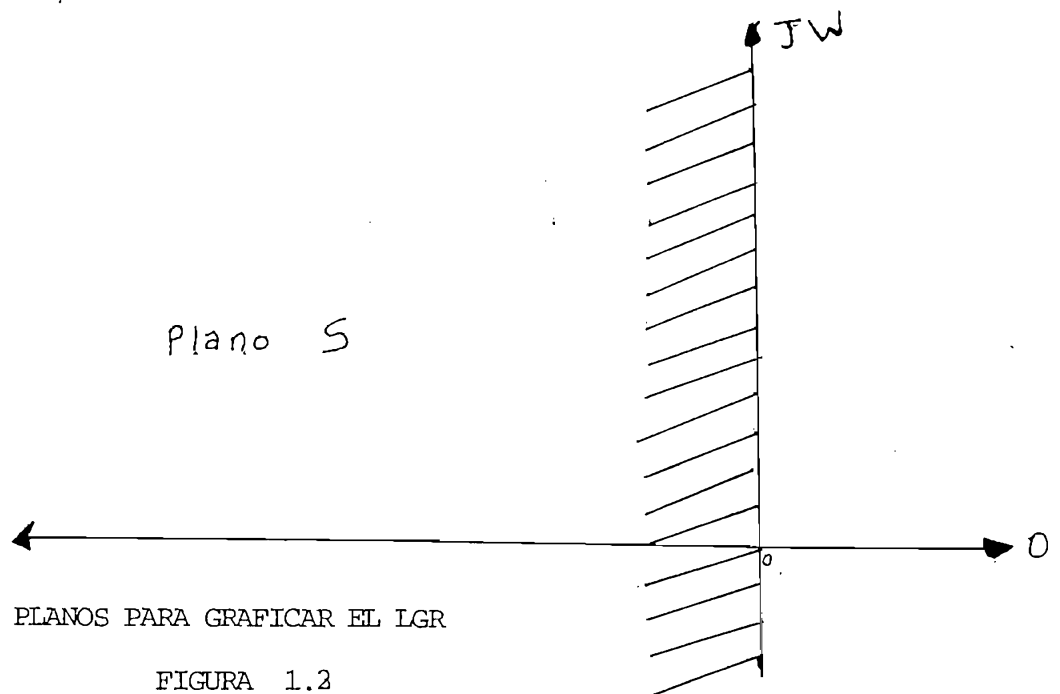
$$F(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K.G(s)}{1+K.G.(s). H(s)} \quad (1.2)$$

Se deduce fácilmente que los factores del denominador de la ecuación-1.2 variarán; según varíe, el parámetro de ganancia K .

Mediante la técnica del lugar geométrico de las raíces se analizan los resultados de la ecuación 1.3. con lo que se tienen los polos de lazo-cerrado.

$$1 + K \cdot G(s) \cdot H(s) = 0 \quad (1.3)$$

Las raíces obtenidas al variar la constante K, pueden ser graficadas en un plano como el de la figura 1.3, a lo cual se conoce como lugar geométrico de las raíces. Este método puede ser llevado a cabo mediante un computador. (1).



Debe anotarse que mientras los polos del lazo cerrado se acercuen al eje imaginario (jw) desde la izquierda, el sistema se acerca a la inestabilidad. O abreviando cualquier raíz: polo o cero que se encuentre en el semiplano positivo hará al sistema inestable.

En la referencia (1) se tiene más detallado el análisis de estabilidad mediante el LGR.

1.1.2.- RESPUESTAS DE SISTEMAS DE CONTROL.

Se identifican claramente dos tipos de respuestas:

- a) Respuesta transitoria
- b) Respuesta en estado estable.

Mediante el LGR, se puede tener una buena idea del comportamiento del sistema, en su inicio y cuando se ha estabilizado el mismo.

1.1.3.- RESPUESTA TRANSITORIA.

Idealmente un sistema de control debe responder instantáneamente ante una excitación, pero, en la realidad todo sistema tiene una etapa de transición antes de llegar a cierto objetivo.

A continuación se sintetizará el comportamiento de un sistema de segundo orden ante una excitación escalón:

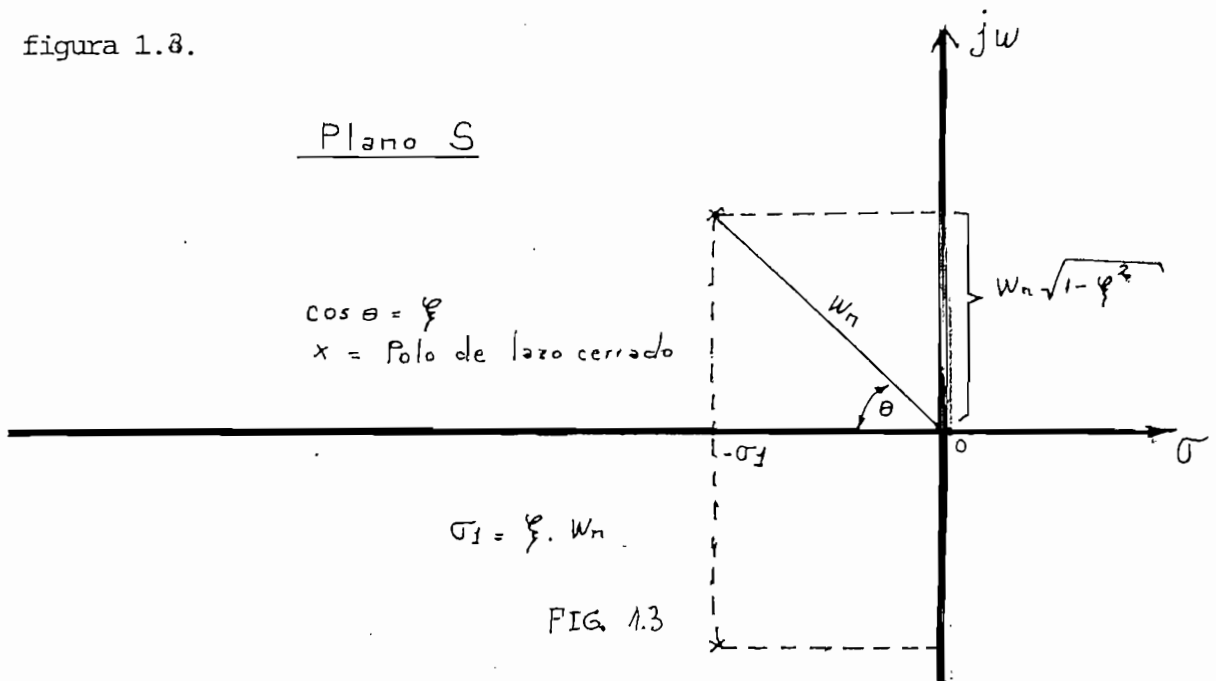
Suponga una función de transferencia de Lazo cerrado.

$$F(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{W_n^2}{s^2 + 2 \cdot \xi \cdot W_n \cdot s + W_n^2} \quad (1.4)$$

Donde: ξ = factor de amortiguamiento

W_n = frecuencia natural no amortiguada.

De la ecuación 1.4. se puede obtener información como se indica en la figura 1.3.



Si se dispone de una excitación escalón $R(s) = 1/s$.
 y encontramos la inversa de Laplace se tiene:

$$C(t) = 1 - e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t} \cdot \frac{\text{sen}(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t + \cos^{-1} \zeta)}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (1.5)$$

Se nota que la respuesta depende de ζ y t , por lo que se dispone de una familia de curvas para cada valor de ζ como puede verse en la figura 1.5.

La frecuencia de oscilación queda determinado por:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \quad (1.6)$$

Donde: ω_d = frecuencia natural amortiguada del sistema

$$\omega_d \neq \omega_n.$$

Se define una constante de tiempo como:

$$T = 1/(\zeta \cdot \omega_n) \quad (1.7)$$

Se considera que el sistema está estabilizado cuando ha transcurrido $4 T$ - por lo que:

$$T_s = 4/(\zeta \cdot \omega_n) \quad (1.8)$$

T_s = tiempo de estabilización.

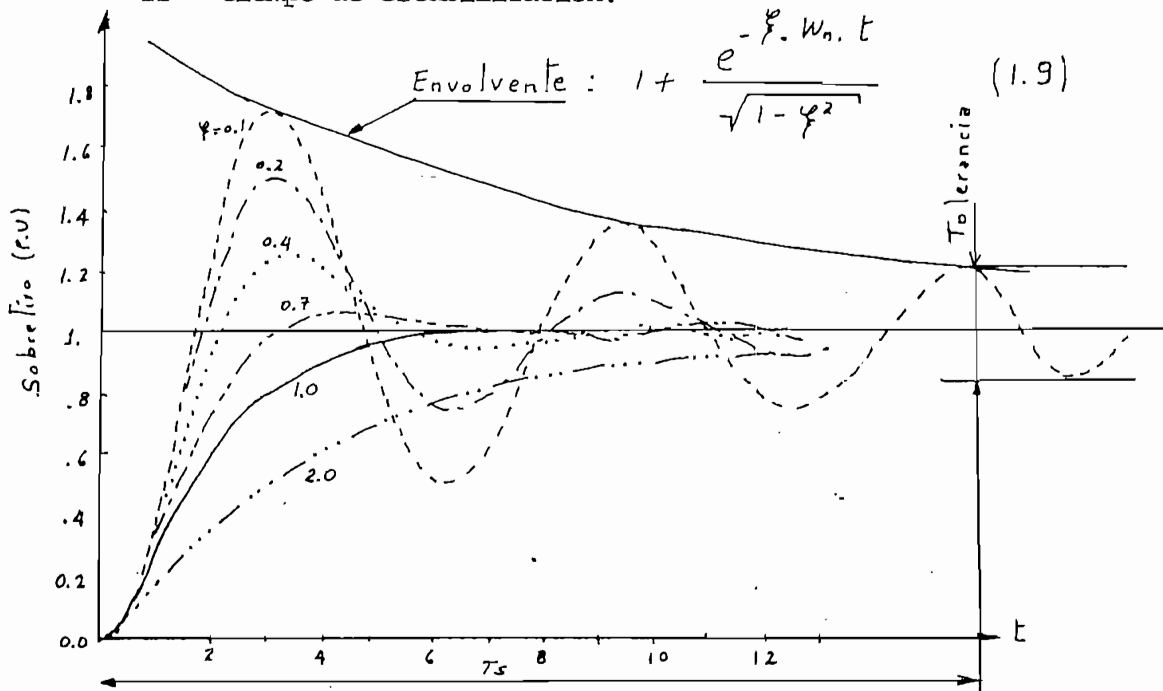


FIGURA 1.4

En la figura 1.5, se tiene adicionalmente graficado, una de las envolventes ($\xi = 0.1$) y se considera al sistema estable cuando ha pasado un tiempo equivalente a $4/\xi \omega_n$.

El sobretiro se define como la diferencia entre la máxima de las soluciones de estado estable y el pico máximo de los transitorios; se considera una mejor respuesta mientras más pequeña esta diferencia, por lo que, debe encontrarse un punto de equilibrio entre ξ y el sobretiro.

En la figura 1.6. se tiene graficado el tiempo en función del factor de amortiguamiento y el tiempo vs factor de amortiguamiento de donde se desprende que, el sobretiro es aceptable para valores de ξ entre 0.3 y 0.7.

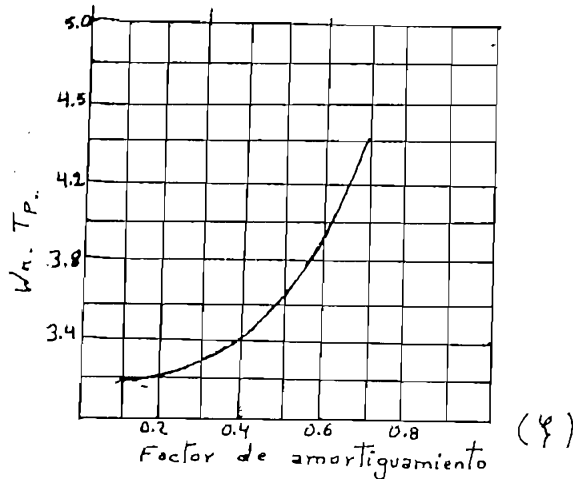


FIGURA 1.5

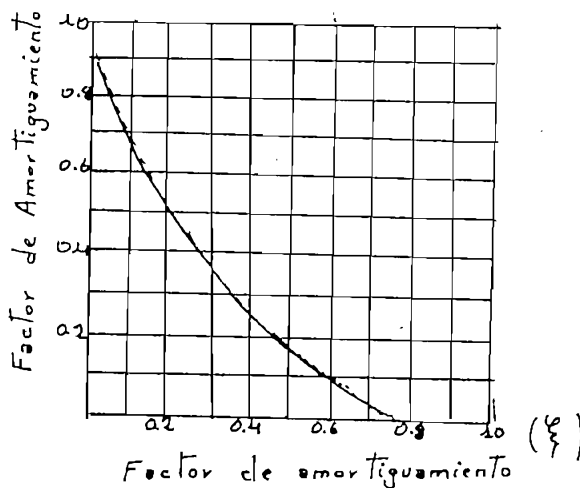


FIGURA 1.6

Se analizó previamente el comportamiento de un sistema de segundo orden, - para poder dar un criterio en sistemas de órdenes superiores a 2.

Partiremos del diagrama de bloques de la figura 1.1, de donde, la función- de transferencia según la ecuación 1.2 es:

$$F(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K \cdot G(s)}{1 + K \cdot G(s) \cdot H(s)} \quad (1.10)$$

$$F(s) = \frac{K \cdot G(s)}{1 + K \cdot G(s) \cdot H(s)} \quad (1.10)$$

Asimismo, esta expresión puede ser escrita en forma de factores como la e-: cuación 1.1., suponiendo que los polos reales son diferentes entre sí pode mos escribir para una entrada escalón unitario:

$$C(s) = \frac{a}{s} + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{s + p_i} \quad (1.11)$$

Como ya se dijo en el apartado 1.1.1, cualquier polo, cero en el semiplano - positivo hará al sistema inestable. Ahora bien, llevada la ecuación 1.11, - al dominio del tiempo se concluye que, si existe un cero de lazo cerrado - cerca de un polo de lazo cerrado, el residuo de este polo es pequeño y el - coeficiente del término de respuesta transitoria correspondiente a este po- lo se hace pequeño.

Un par de polos y ceros ubicados muy cercanamente se cancelan entre sí, si- existe un polo ubicado lejos del origen, el residuo de este polo realmente- se desprecia y así sucesivamente para términos alejados del origen, por lo que un sistema de orden superior a 2 puede aproximarse a uno de segundo or- den.

Para generalizar más aún la ecuación 1.11, debido a que se tienen polos con- plexos podríamos tener una expresión:

$$C(s) = \frac{a}{s} + \sum_{j=1}^q \frac{a_j}{s+p_j} + \sum_{k=1}^r \frac{b_k (s + \zeta_k \omega_k) + C_k \omega_k \sqrt{1 - \zeta_k^2}}{s^2 + 2 \zeta_k \omega_k s + \omega_k^2} \quad (1.12)$$

De los términos de 1.12, se deduce su expresión en el dominio del tiempo -
 como: (1.13)

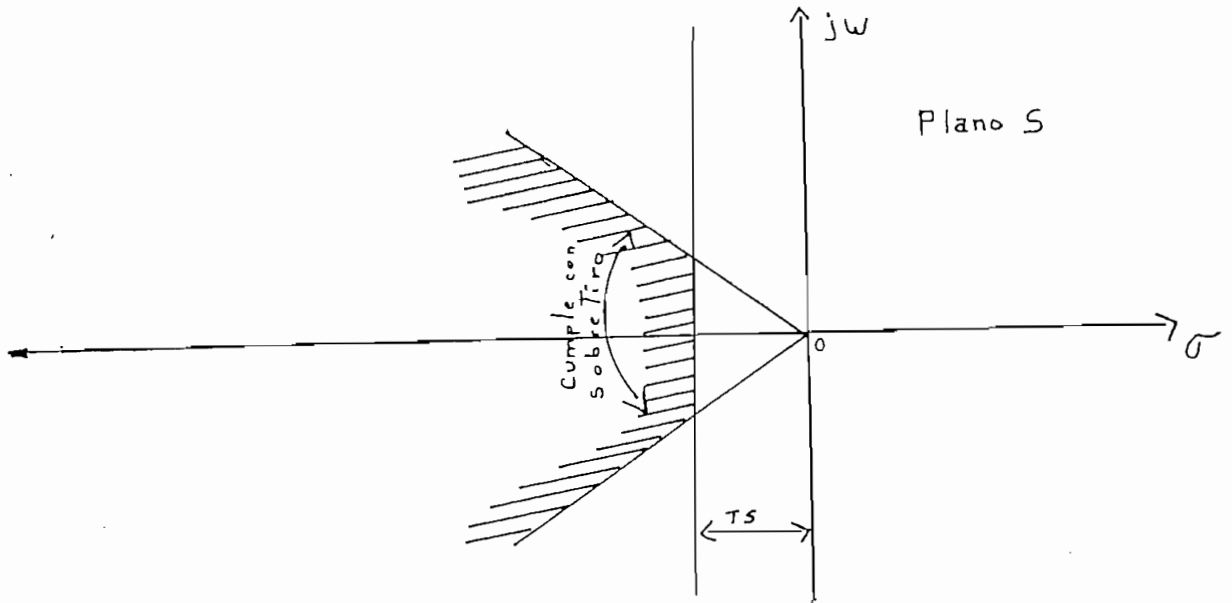
$$c(t) = a + \sum_{j=1}^q a_j \cdot e^{-p_j \cdot t} + \sum_{k=1}^r b_k \cdot e^{-\zeta_k \omega_k \cdot t} \cos \omega_k \sqrt{1 - \zeta_k^2} \cdot t + \sum_{k=1}^r C_k \cdot e^{-\zeta_k \omega_k \cdot t} \sin \omega_k \sqrt{1 - \zeta_k^2} \cdot t$$

Todos los términos que estén en el semiplano negativo tienen una caída exponencial que después de un tiempo tenderá a ser cero, por lo que en el tiempo infinito la ecuación 1.13 se reduce a:

$$c(t \rightarrow \infty) = a \quad (1.14)$$

Puede notarse que, la distancia horizontal de los polos al eje imaginario determina el tiempo de establecimiento total del sistema; así pues, cuanto mayor esta distancia menor tiempo de establecimiento. Ahora bien, se puede hablar de polos dominantes, cuando las relaciones de las partes cercanas exceden de 5 y no hay polos cercanos, los polos de lazo cerrado más cercanos al eje imaginario dominan el comportamiento transitorio del sistema; sin embargo, normalmente se producen polos conjugados que llegan a dominar la respuesta, se llega a tener una respuesta oscilatoria, cuando el sistema de lazo cerrado tiene polos complejos conjugados caso contrario es una respuesta no oscilatoria.

Abreviando lo expuesto literalmente, se puede deducir que; un sistema que busque cumplir con un tiempo de estabilización y dentro de un amortiguamiento razonable, los polos de lazo cerrado deberían caer en la región señalada en la figura 1.7.

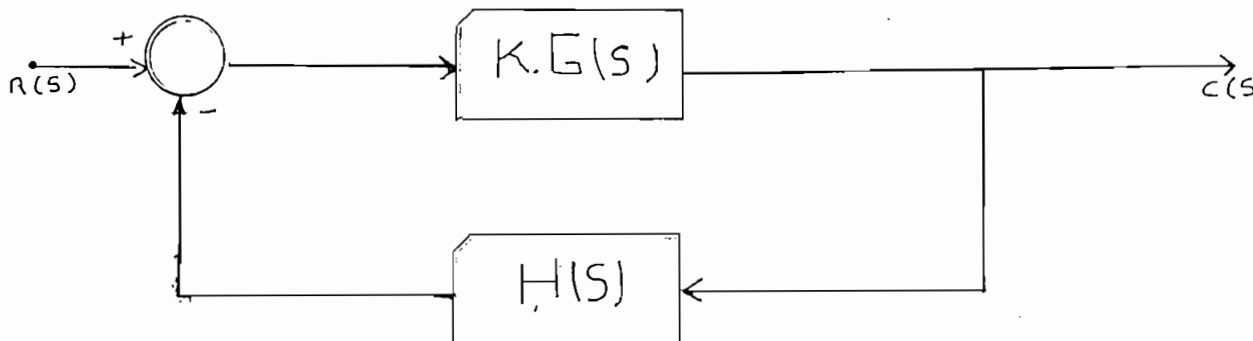


LUGAR DENTRO DEL CUAL SE CUMPLE CON TIEMPO DE ESTABILIZACION Y BIEN AMORTIGUADO

FIGURA 1.7

1.1.4.- RESPUESTA DE ESTADO ESTABLE DE SISTEMAS DE CONTROL.

Normalmente en un sistema de control como el presentado en la figura 1.8, se conoce la relación entre la salida y la entrada y es importante que sea conocida la relación existente pues, en base a ellas se puede determinar dentro de que rangos se llega a estabilizar o fijar la respuesta; es obvio que se hablará de estabilidad en sistemas de control que sean estables, pues, para los inestables no tiene objeto hablar de valores.



SISTEMA DE CONTROL REALIMENTADO

FIGURA 1.8

Al definir el estado final de un sistema se ha llegado a deducir que:

$$\text{Error} = r(t) - c(t) \quad (1.15)$$

Donde: $r(t)$ = función excitadora en función del tiempo

$c(t)$ = salida del sistema en función del tiempo.

El error de estado estable por lo tanto queda definido como:

$$E_{ss} = r(t \rightarrow \infty) - c(t \rightarrow \infty) \quad (1.16)$$

Para generalizar el error se puede decir:

Error = diferencia entre el valor deseado y la actual salida del sistema.

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{K \cdot G(s)}{1 + K \cdot G(s) \cdot H(s)} \quad (1.17)$$

$$\frac{E(S)}{R(S)} = \frac{-C(S) \cdot H(S)}{R(S)} + 1 \quad (1.18)$$

Con 1.17 y 1.18:

$$E(s) = \frac{1}{1 + G(S) \cdot H(S)} \cdot R(S) \quad (1.19)$$

Mediante el teorema del valor final (2) aplicando a la ecuación 1.19 se se tiene:

$$e(t \rightarrow \infty) = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{S \cdot R(S)}{1 + G \cdot H} \quad (1.20)$$

Con lo que para diferentes entradas se tiene:

$$\text{Para entrada paso: } e(t \rightarrow \infty) = \frac{1}{1+G \cdot H} \quad (1.21)$$

Donde: $G(0) \cdot H(0) = K$. de posición. = K_p

$$\text{Para entrada rampa: } e(t \rightarrow \infty) = \frac{1}{(1 + GH)S} \quad (1.22)$$

Donde: $\lim_{S \rightarrow 0} S \cdot G \cdot H = K$. de velocidad. = K_v

Para entrada parábola: $e(t \rightarrow \infty) = \frac{1}{(1+HG)S^2}$ (1.23)

Donde: $\lim_{s \rightarrow 0} S^2 GH = K. \text{ de aceleración} = K_a$

Debe estar claro que el concepto de error no varía sino que, para diferentes excitaciones o alimentaciones, a las constantes de error se los ha determinado de diferentes formas.

En la tabla 1.1 se ha tabulado para algunos tipos de sistemas los valores de error y sus constantes, entendiéndose como tipo, al número de integraciones que tenga el producto $G(S) \cdot H(S)$.

TABLA 1.1

Sistema tipo	Excitación paso unidad		Exc rampa		EXc Parábola	
	Kte, error	error	Kte.	error	Kte.	error
0	K_p	$1/1+K_p$	0	∞	0	∞
1	∞	0	K_v	$1/K_v$	0	∞
2	∞	0	∞	0	K_a	$1/K_a$
3	∞	0	∞	0	∞	0

1.2.- LA FUNCION DE LA COMPENSACION.-

A través de un sistema de control del cual disponemos su función de transferencia, se puede predecir matemáticamente su funcionamiento y si no cumple con ciertas exigencias como: el tiempo de establecimiento, el sobretiro, el factor de amortiguamiento, el ancho de banda, etc., entonces se habla de la factibilidad de variar su función de transferencia mediante un rediseño del sistema y conseguir el objetivo deseado.

Ahora bien, normalmente una función de transferencia o ha sido optimizada al máximo o no es posible alterarla, por lo que, hay la opción de introducir redes compensadoras las mismas que ayudan a cumplir con determinadas especificaciones.

Concretamente, la función de compensación es cumplir con requerimientos específicos de un sistema, básicamente alterando los polos o ceros de lazo cerrado de la función mediante redes de compensación.

1.2.1.- LOCALIZACION DE LAS REDES COMPENSADORAS:

Las redes de compensación que se añaden a un sistema de control pueden ubicarse en distintos lugares, y en la práctica el lugar dependerá de la factibilidad de hacerlo; es así como se concreta en 2 formas de ubicar:

- 1.- Compensador en serie o cascada
- 2.- Compensador en paralelo o en la realimentación.

1.2.1.a. COMPENSADOR EN SERIE O CASCADA:

En la figura 1.9 se tiene un diagrama de bloques en el cual se pueden notar que la red compensadora va ubicada en serie a la función de transferencia de la planta que indistintamente puede ir antes o después de la misma.

Por la simplicidad, esta ubicación del compensador es de uso práctico.

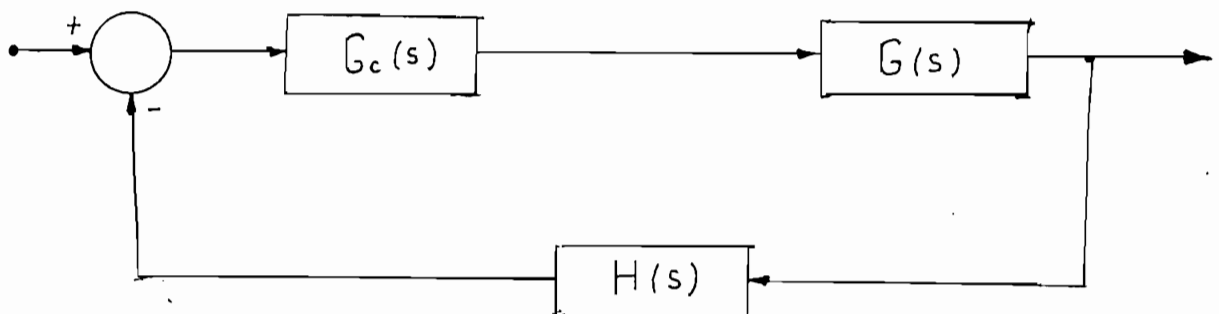


FIGURA 1.9

Donde:

$G_c(s)$ = función de transferencia de la red compensadora

$G(s)$ = función de transferencia de la planta

$H(s)$ = función de transferencia del lazo de realimentación.

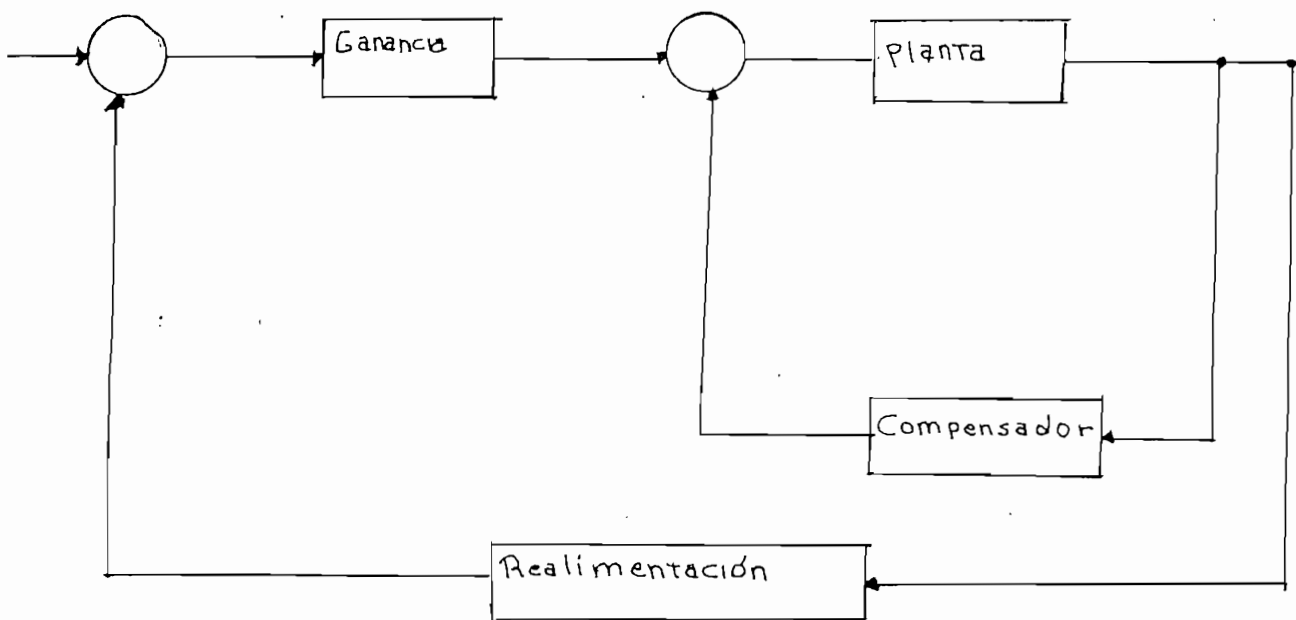
COMPENSADOR EN SERIE O CASCADA

FIGURA 1.9.

Quizás una desventaja de esta ubicación es que se requiere amplificadores de poder y normalmente todos los elementos de la red deberán ser afines para acoplarse con la planta.

1.2.2. COMPENSADOR EN PARALELO O EN LA REALIMENTACION:

En la figura 1.10 se tiene la ubicación de una red compensadora formando realimentación interna a la planta, a lo que se llama realimentación interna de lazo.



COMPENSADOR EN PARALELO CON REALIMENTACION INTERNA DE LAZO.

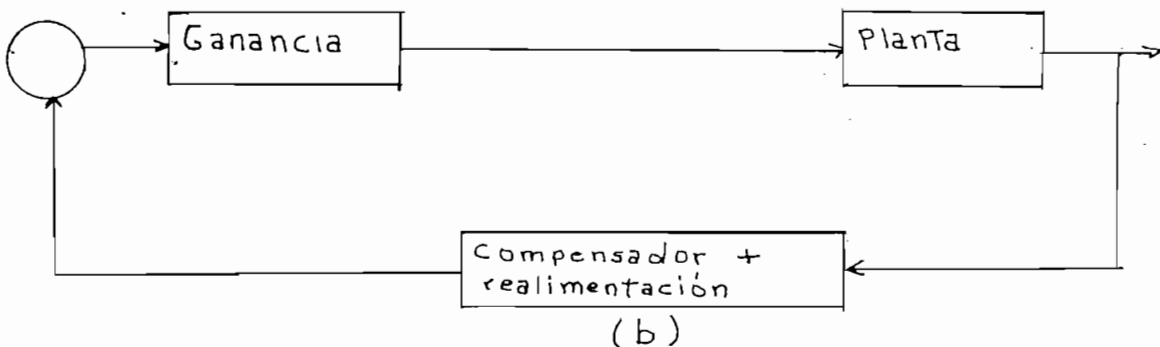
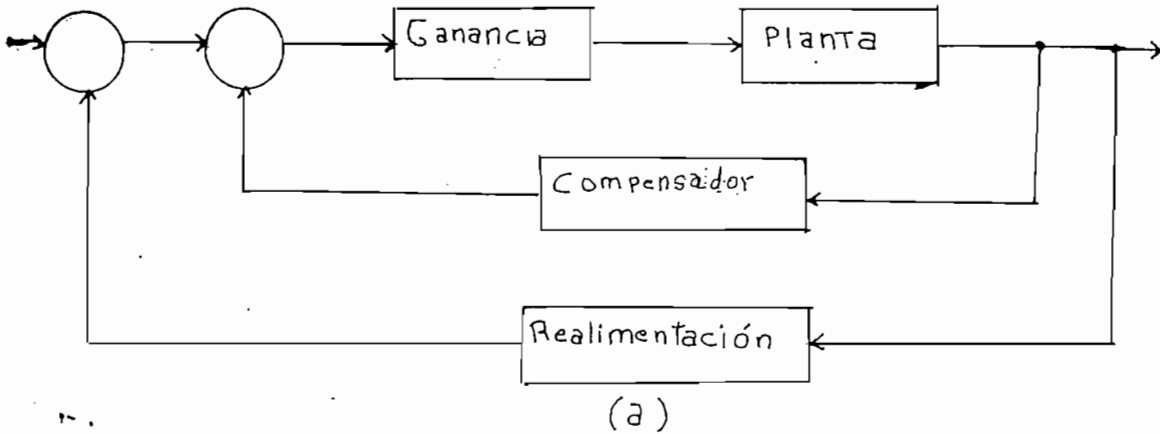
FIGURA 1.10

Normalmente una red compensadora en adelanto en la rama de la realimentación, tiene una mayor influencia de estabilización que una puesta en el lazo directo. La gran desventaja de esta compensación es la alta sensibilidad de la función de transferencia a cambios y variaciones en los parámetros de realimentación, como referencia en un sistema realimentado - la sensibilidad es:

$$S \frac{W}{s} \approx \frac{1}{G.H} \quad (1.24)$$

Además, existe una degradación de la exactitud de estado estable de el sistema por no tener realimentación unitaria.

Por otro lado también puede ubicarse el compensador fuera del lazo lo que es lo mismo, poner el compensador en paralelo a la realimentación; en la figura 1.1 1. a se tiene la red compensadora con realimentación externa de lazo y en la figura 1.1 2, b se tiene su equivalente.



COMPENSADOR EN PARALELA CON REALIMENTACION EXTERNA DE LAZO

1.3.- METODOS DE COMPENSACION.-

Puesto que con la compensación se pretende cumplir que el sistema funcione con ciertas características; el punto a tratarse es como lograr ello, para lo cual se tienen algunos métodos:

- 1.- Compensación mediante ganancia
- 2.- Compensación en adelanto
- 3.- Compensación en atraso
- 4.- Compensación en adelanto - atraso
- 5.- Compensación proporcional - integral.

Si a un sistema de control se varía su ganancia, su respuesta variará y es posible que se obtenga un comportamiento específico con lo que se habría compensado mediante ganancia, caso contrario se debe buscar, alterar la función de transferencia mediante la inclusión de polos y ceros a conveniencia del diseñador.

La idea de añadir o quitar polos y ceros se vislumbra mejor si se pudiese conseguir una función de transferencia de la forma?

$$G_c(s) = K_c \frac{S + Z}{S + P} \quad (1.25)$$

Donde: K_c = ganancia dada por el compensador

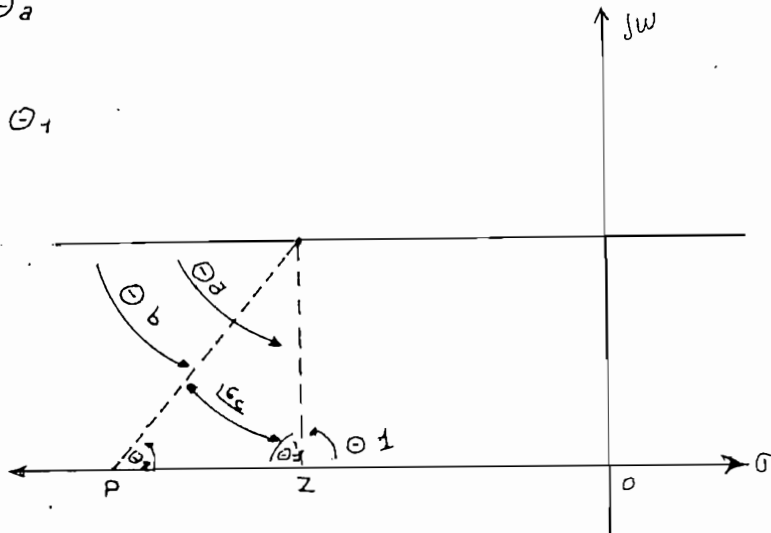
$-Z$ = cero dado por el compensador

$-P$ = polo dado por el compensador.

En la figura 1.12 se tiene una representación del polo y cero en el plano S y se puede notar claramente que si el cero (Z) mayor que el polo (p), el ángulo $\theta_a - \theta_b > 0$, lo que indica que el ángulo de desfase o la contribución de fase es positiva; a esta forma de compensar se llama: "Compensación en adelanto".

$$\underline{|G_c|} = -\theta_b + \theta_a$$

$$\underline{|G_c|} = -\theta_2 + \theta_1$$



DETERMINACION DEL DESFAGASE DEL COMPENSADOR EN ADELANTO
FIGURA 1.12

$\theta_a - \theta_b = \underline{|G_c|} = \text{ángulo dado por el compensador}$

$$\theta_1' = 180 - \theta_1$$

$$\theta_1' = 180 - (\underline{|G_c|} + \theta_2)$$

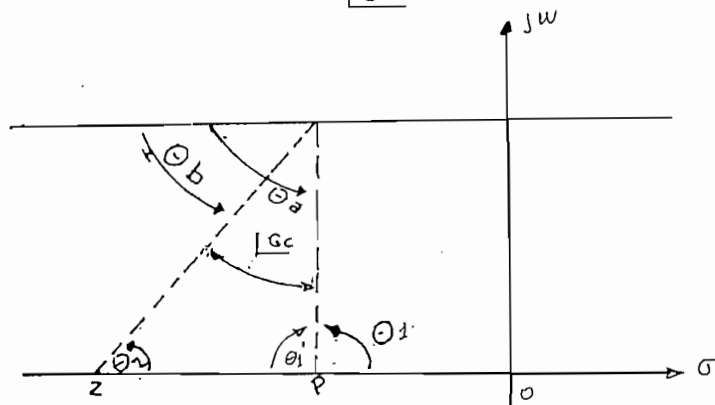
$$\theta_1 = 180 - 180 + \underline{|G_c|} + \theta_2$$

$$\underline{|G_c|} = \theta_1 - \theta_2 = \theta_a - \theta_b \quad (1.26)$$

También, cuando ocurre el caso que, el polo mayor que el cero como se indica en la figura 1.13, $\theta_b - \theta_a < 0$, indica que existe un retraso de fase aportado por el compensador, a esto se conoce como "compensación en atraso".

$$\underline{|G_c|} = \theta_b - \theta_a$$

$$\underline{|G_c|} = \theta_2 - \theta_1$$



DETERMINACION DEL DESFAGASE DEL COMPENSADOR EN ATRASO

FIGURA 1.13

Cuando se tiene una mezcla del atraso y del adelanto se habla de tener una compensación en adelanto - atraso.

$$G_c(s) = K_c \frac{(s + z_1)}{(s + p_1)} \frac{(s + z_2)}{(s + p_2)} \quad (1.27)$$

La ecuación 1.27 da una idea general de la función de transferencia de ese compensador.

Ahora en el caso que el polo sea despreciable, de la ecuación 1.25 se deduce:

$$G_c(s) = K_c \frac{s + z}{s} \quad (1.28)$$

Que reacomodándolo quedaría como:

$$G_c(s) = K_c + K_c \frac{z}{s} \quad (1.29)$$

La expresión 1.29 nos muestra nada mas que otra forma de compensar que es mediante la suma de un amplificador y un integrador lo que se conoce como compensación "proporcional - integral".

1.4.- FORMAS FISICAS DE COMPENSADORES, REDES ELECTRICAS Y MECANICAS DE COMPENSACION.-

Se analizan redes de compensación cuyas funciones de transferencia cumplan con:

- a) Compensación en adelanto
- b) compensación en atraso
- c) compensación en adelanto - atraso
- d) compensación proporcional - integral.

Las formas de compensar antes enumeradas han sido factibles de ser introducidas en un programa digital.

1.4.1.- RED DE COMPENSACION EN ADELANTO.-

Como se dijo en 1.3, un compensador en adelanto se caracteriza por dar una contribución de fase en adelanto al relacionar la salida con la entrada de un sistema.



DESFASSAGE DE UN SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 1.14

Se puede notar de la figura 1.14 que el ángulo de la señal de entrada sufre un adelanto de ϕ al salir del sistema.

La forma general de una red compensadora en adelanto viene dado por

$$G_c(s) = K_c \frac{S + Z}{S + P} ; Z < P \quad (1.30)$$

Para detallar mejor los parámetros de este tipo de red se pone:

$$G_c(s) = K_c \frac{S + 1/\tau}{S + \alpha/\tau} \quad (1.31)$$

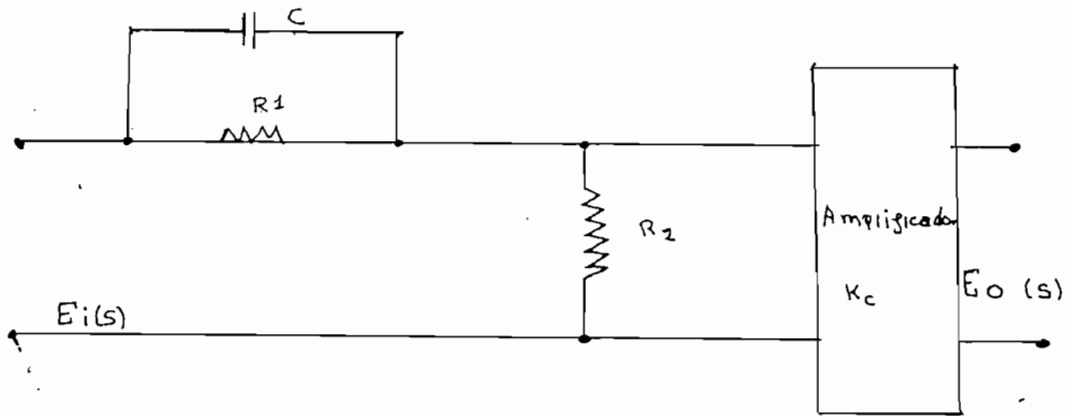
Donde: $\alpha > 1$

$K_c, \tau > 0$

Los polos y ceros deben estar en el semiplano negativo, para que el sistema sea estable.

a). RED ELECTRICA.-

En la figura 1.15 se dispone un circuito cuya función de transferencia es similar a las dadas por (1.30) y (1.31).



RED ELECTRICA COMPENSADORA EN ADELANTO

FIGURA 1.15

Del análisis del circuito se tiene:

$$G_c(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{K_c \cdot R_2}{R_2 + \frac{R_1/s}{R_1 + 1/s}} \quad (1.32)$$

$$G_c(s) = \frac{K_c}{R_2} \frac{(S + 1/R_{1,c})}{S + \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{1}{R_{1,c}}} \quad (1.33)$$

Por analogía de 1.33 y 1.31 se tiene:

$$\zeta = R_1 \cdot C \quad (1.34)$$

$$\alpha = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (1.35)$$

$$K_c = K_c \quad (1.36)$$

Los parámetros a especificarse para este tipo de compensador es: ζ , α y K_c ; sin embargo, se puede notar que se tienen tres valores a especificarse: R_1 , R_2 y C ; lo que facilita encontrar los parámetros de α y ζ y teóricamente existen infinitos valores de resistencias y condensadores para conseguir los mismos fines.

B) CRITERIO PARA DETERMINAR EL RANGO DE ALFA. (α).

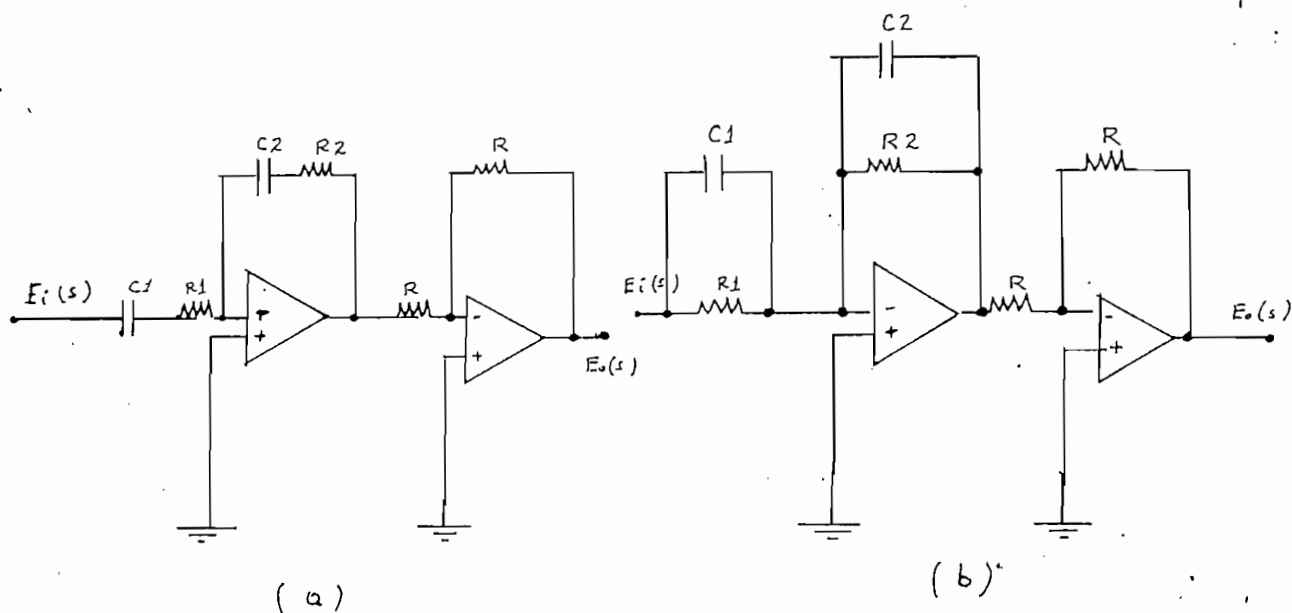
Realmente alfa (α) depende de R_1 y R_2 por lo que ese parámetro puede tener infinitos valores, pero, por razones de ruido se limita alfa.

Se sabe que todos los sistemas realimentados tienen una fuente interna de ruido y normalmente ese ruido es de alta frecuencia en comparación a las frecuencias de las señales de control del sistema, por lo que, el condensador para el ruido interno es un cortocircuito pero para las señales de control un circuito abierto.

Las señales de entrada se ven atenuadas en un valor alfa incluyendo el ruido interno por lo que a mayor alfa menor ruido, a costo de una atenuación de las señales de control, para evitar una exagerada atenuación alfa, se limita a un valor máximo de 10, en el otro lado si alfa muy pequeño, el efecto compensador casi no se nota por lo que alfa mínimo se limita a 3.

C). RED CON AMPLIFICACIONES OPERACIONALES.-

Se puede apreciar en la figura 1.16(a) y 1.16b, dos circuitos con operacionales, notándose que el amplificador de la salida es solo un inversor para evitar el defasaje de 180°.



REDES COMPENSADORAS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

FIGURA 1.16

Al analizar las redes de las figuras 1.16 a y 1.16 b se obtienen las ecuaciones 1.37 y 1.38 respectivamente.

$$G_C(s) = \frac{R_2}{R_1} \frac{(s + 1/R_2 C_2)}{(s + 1/R_1 C_1)} \quad (1.37)$$

$$G_C(s) = \frac{C_1}{C_2} \frac{(s + 1/R_1 C_1)}{(s + 1/R_2 C_2)} \quad (1.38)$$

Haciendo analogía 1.37 y 1.38 con 1.31 se obtiene:

$$\text{Para 1.37: } K_C = \frac{R_2}{R_1} \quad (1.39)$$

$$\tau = R_1 C_1 \quad (1.40)$$

$$\alpha = \frac{R_2}{R_1} \frac{C_2}{C_1} = K_C \frac{C_2}{C_1} \quad (1.41)$$

Por lo que se puede determinar fácilmente la red, al dar valores a C_1 , C_2 , R_1 , R_2 .

$$\text{Para 1.38 : } K_C = \frac{C_1}{C_2} \quad (1.42)$$

$$\tau = R_2 C_2 \quad (1.43)$$

$$\alpha = \frac{C_1}{C_2} \frac{R_1}{R_2} = K_C \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (1.44)$$

Con C_1 , C_2 , R_1 , R_2 queda determinada la red fácilmente.

Debe notarse que existen infinitas soluciones para similares respuestas, - eléctricamente todo se condiciona a impedancias de entrada y salida.

La relación polo cero da el valor de alfa que se buscará tener en un rango entre 3 y 10.

d.) RED MECANICA.-

Se hará referencia directamente a la red mecánica equivalente de compensación en adelante en (3) , (4) se encuentran más profundizadas esas analogías eléctricas mecánicas.

En la figura 1.17 se tienen un modelo mecánico de compensación en adelante.

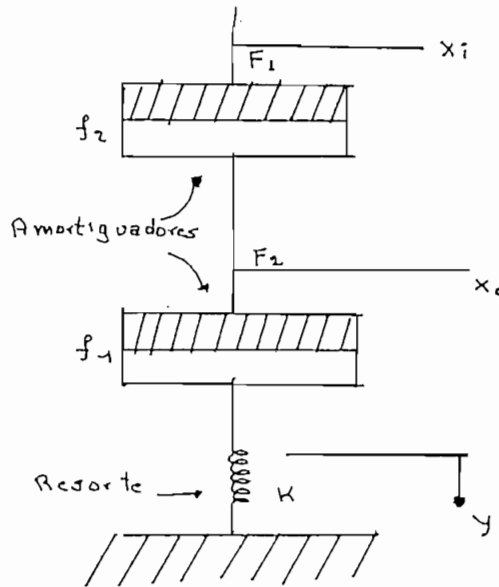


FIGURA 1.17

Donde: K = constante del resorte

x_i, x_o, y = valores de desplazamiento

F_1, F_2 = valores de fuerza aplicada

f_1, f_2 = alteración viscosa o rozamiento viscoso.

COMPENSADOR MECANICO EN ADELANTO

FIGURA 1.17

Del gráfico 1.17 escribiendo las ecuaciones de Newton se tiene:

$$f_2(\dot{x}_i - \dot{x}_o) = f_1(\dot{x}_o - \dot{y}) \quad (1.45)$$

$$f_1(\dot{x}_o - \dot{y}) = K y \quad (1.46)$$

Mediante las transformadas de Laplace se llega a:

$$\frac{x_o}{x_i} = \frac{S + 1/(f_1/k)}{S + \frac{f_1 + f_2}{f_2} + 1/(f_1/k)} \quad (1.47)$$

Que tiene una forma similar a 1.31 que por analogía se deduce:

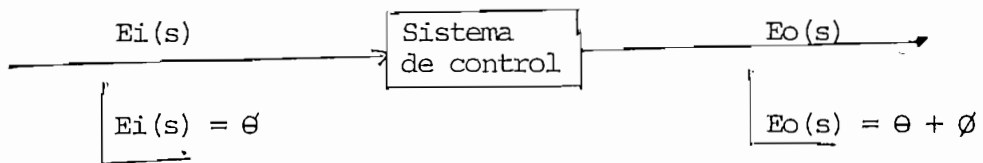
$$\tau = f_1/k \quad (1.48)$$

$$\alpha = \frac{f_1 + f_2}{f_2} > 1 \quad (1.49)$$

1.4.2.- RED DE COMPENSACION EN ATRASO

En la sección 1.3 se habló que el compensador en atraso se caracteriza por dar una contribución de fase en retardo al relacionar la salida con la entrada en un sistema de control.

En la figura 1.18 se clarifica que el ángulo de defasaje de la señal de entrada, al salir sufre un atraso ϕ que, será dado por el compensador en atraso.



DEFASAGE DE UN SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 1.18

La forma general para describir la función de transferencia en atraso es:

$$G_c(s) = K_c \frac{S + z}{S + P} \quad : |z| > |P| \quad (1.50)$$

Para que el sistema sea estable el polo y cero deben estar en el semiplano negativo del plano S.

Reescribiendo 1.45:

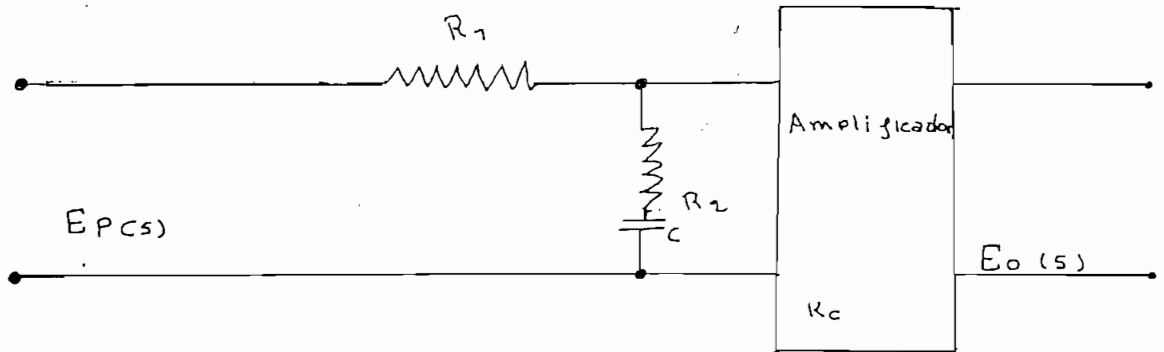
$$G_c(s) = K_c \frac{S + 1/\tau}{S + 1/\alpha\tau} \quad (1.51)$$

$$\alpha > 1, \quad \tau > 0$$

$$K_c = \frac{K_c}{\alpha} \quad (1.52)$$

a) RED ELECTRICA.-

Una red eléctrica que da una función de transferencia similar a la ecuación 1.51, se tiene en la figura 1.19 donde vemos elementos pasivos eléctricos.



COMPENSADOR ELECTRICO EN ATRASO

FIGURA 1.19

Haciendo un análisis matemático obtenemos:

$$G_c(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{K_c (R_2 + 1/sC)}{R_1 + R_2 + 1/sC} \quad (1.53)$$

$$G_c(s) = \frac{K_c R_2}{R_1 + R_2} \frac{S + 1/R_2.C}{S + \frac{R_2 + 1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{R_2.C}} \quad (1.54)$$

Haciendo analogía con las ecuaciones 1.50 y 1.51 se concluye:

$$\tau = R_2 C \quad (1.55)$$

$$\alpha = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (1.56)$$

$$K_c' = \frac{K_c}{\alpha} = K_c \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.57)$$

De la ecuación 1.51 deducimos que con alfa, τ y K_c queda determinado el com pensador; sin embargo, de las ecuaciones 1.55 y 1.56 y 1.57 concluimos que-

las cuatro variables R_1 , R_2 , C y K_c dan un grado de libertad para determinar α , ζ y K_c , por lo que existen infinitos valores para lograr similares resultados.

b.) CRITERIO DE SELECCION DE ALFA (α).-

$$\text{La relación polo cero (Z/P) = } \alpha = \alpha \quad (1.58)$$

puede tener un amplio rango de valores.

El compensador en atraso atenúa las señales de ruido de alta frecuencia - en el lazo de control.

Puesto que, las señales de control son de baja frecuencia estas son amplificadas por el valor K_c , mientras que como se dijo, las señales de ruido son atenuadas K_c/α .

De hecho si el problema es el ruido, una red de atraso atenuará el mismo. Si bien, α puede tener valores infinitos se ha encontrado que α en un rango de 3 y 10 da resultados prácticos.

c.) RED CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES.-

Las redes de las figuras 1.16a y 1.16b pueden ser utilizadas perfectamente para el compensador en atraso.

Reescribiendo las ecuaciones 1.37 y 1.38.

$$G_c(s) = \frac{R_2}{R_1} \frac{S + 1/R_2C_2}{S + 1/R_1C_1} \quad (1.58)$$

$$G_c(s) = \frac{C_1}{C_2} \frac{S + 1/R_1C_1}{S + 1/R_2C_2} \quad (1.59)$$

y haciendo analogía con la función de transferencia del compensador en atraso 1.51 se llega a:

De 1.58 se tiene:

$$K_c = \frac{R_2}{R_1} \quad (1.60)$$



$$\tau_1 = R_1 C_2 \quad (1.61)$$

$$\alpha = \frac{R_1 C_1}{R_2 C_2} = \frac{1}{K_c} \frac{C_1}{C_2} \quad (1.62)$$

Con R_1 , C_1 , R_2 y C_2 queda determinado τ_1 , alfa y K_c .

De 1.59 se tiene:

$$K_c = \frac{C_1}{C_2} \quad (1.63)$$

$$\tau_1 = R_1 C_1 \quad (1.64)$$

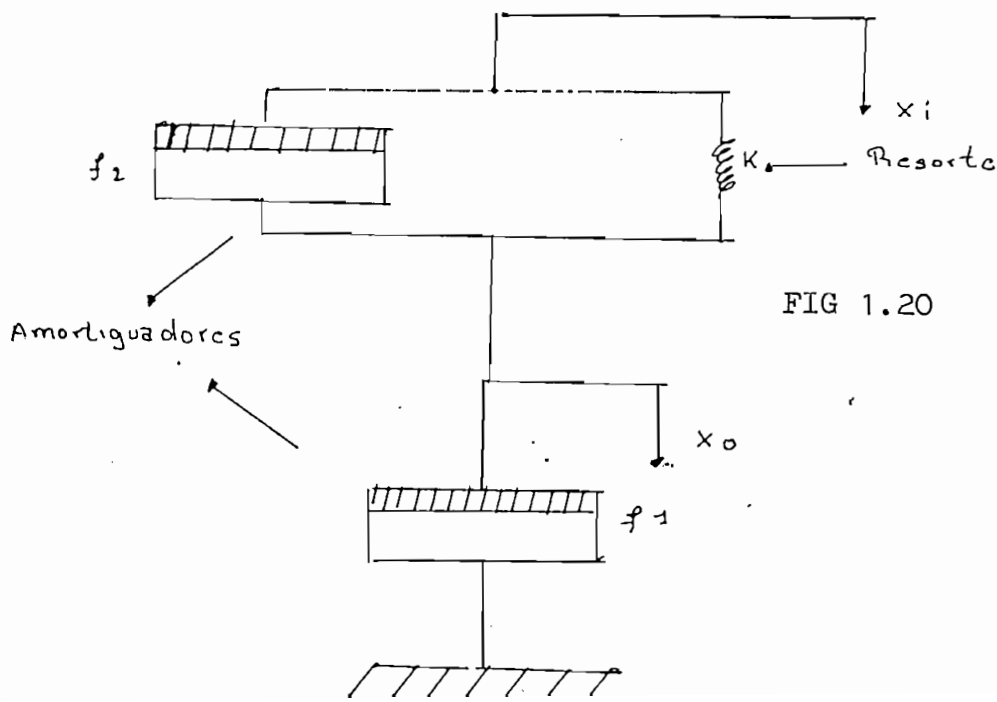
$$\alpha = \frac{R_2 C_2}{R_1 C_1} = \frac{1}{K_c} \frac{R_2}{R_1} \quad (1.65)$$

Similar al caso anterior C_1 , C_2 , R_1 Y R_2 determinan K_c , alfa y τ_1 .

Es obvio que, las infinitas soluciones para determinar los mismos polos y ceros, dependerán netamente de las características de impedancias de salida y entrada exigidas.

d.) RED MECANICA.-

En la figura 1.20, se dispone de una red mecánica de compensación en atraso.



x_i, x_o = desplazamientos

f_1, f_2 = rozamiento viscoso

K = constante elástica del resorte.

RED MECANICA COMPENSADORA EN ATRASO

FIGURA 1.20

Para analizar matemáticamente se escriben las ecuaciones de Newton del sistema:

$$f_1 \dot{x}_o = k (x_i - x_o) + f_2 (\dot{x}_i - \dot{x}_o) \quad (1.66)$$

Pasando al dominio de Laplace se llega a:

$$\frac{x_o(s)}{x_i(s)} = \frac{f_2}{f_1 + f_2} \frac{s + 1/f_2/K}{s + \frac{1}{\frac{f_1 + f_2}{f_2} \cdot \frac{1}{f_2/K}}} \quad (1.67)$$

Haciendo analogía 1.67 con el 1.51 se tiene:

$$\tau = \frac{f_2}{K} \quad (1.68)$$

$$\alpha = \frac{f_1 + f_2}{f_2} > 1 \quad (1.69)$$

O sea que el sistema queda:

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{1}{\alpha} \frac{s + 1/\tau}{s + 1/\alpha \cdot \tau} \quad (1.70)$$

$$Kc = 1$$

1.4.3.- RED DE COMPENSACION EN ADELANTO - ATRASO.-

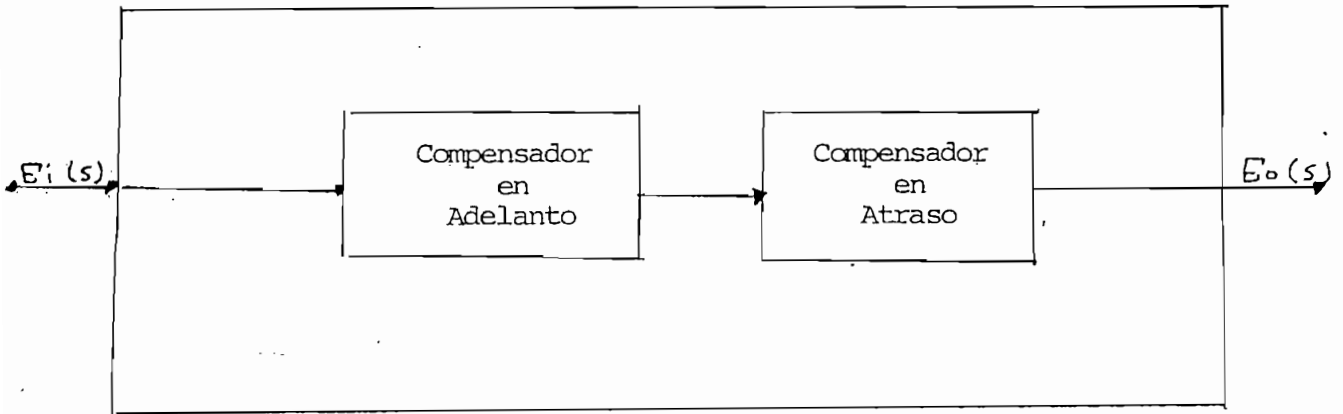
Como su nombre lo indica esta red está constituida por una parte de red en adelanto y otra en atraso, las 2 en serie o cascada, como se indica en la figura 1.21.

Una forma general de expresar matemáticamente esta red es:

$$\frac{E_o(S)}{E_i(S)} = K_c \frac{(S+Z_1)}{(S+P_1)} \frac{(S+Z_2)}{(S+P_2)} \quad (1.71)$$

Donde: Z_i = ceros del compensador

P_i = polos del compensador.



COMPENSADOR ADELANTO-ATRASSO

FIGURA 1.21

Una expresión en donde se considera parámetros futuros es:

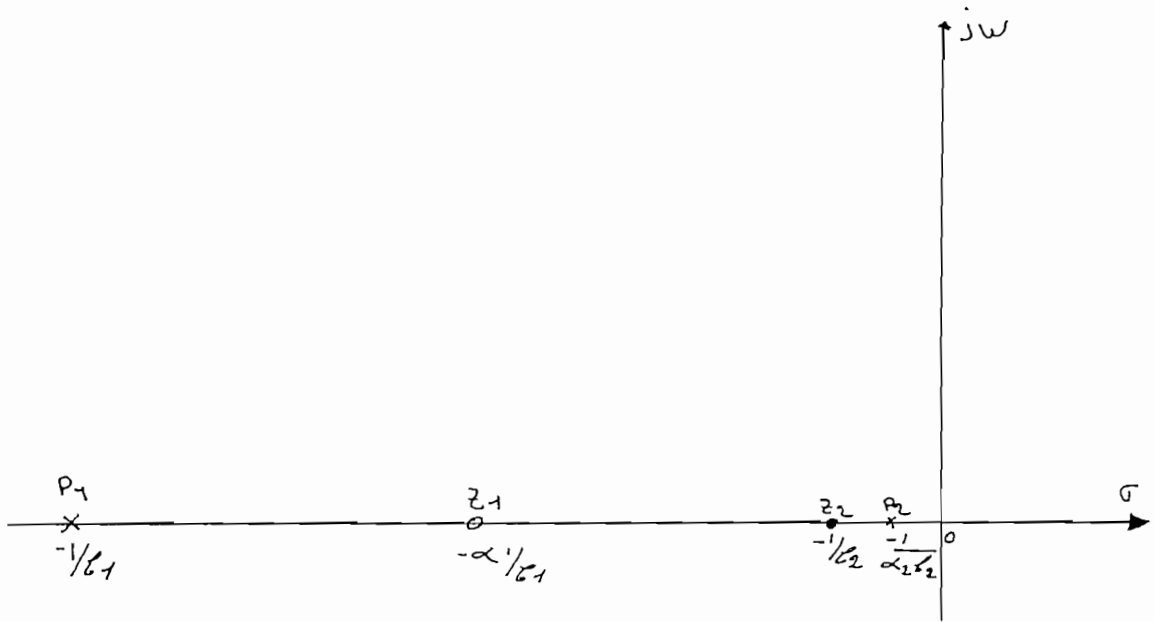
$$G_c(S) = K_c \frac{(S + 1/\tau_1)}{(S + \alpha_1/\tau_1)} \frac{(S + 1/\tau_2)}{(S + \alpha_2/\tau_2)} \quad (1.72)$$

$$K_c, \tau_1, \tau_2 > 0$$

$$\alpha_1, \alpha_2 > 1$$

La ubicación de los polos y ceros serán en el semiplano negativo S , para poder estabilizar el sistema.

En la figura 1.23 se aprecia la disposición de las singularidades de esta red.



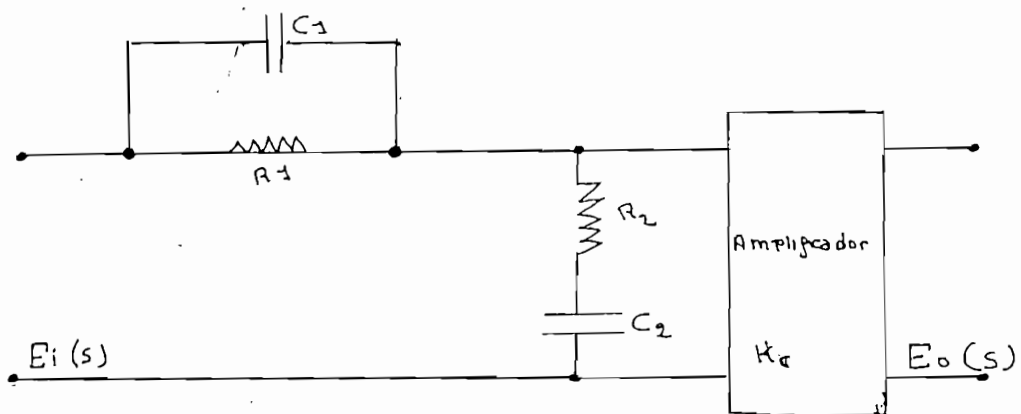
DISPOSICION DE POLOS Y CEROS DEL COMPENSADOR ADELANO-ATRASO

FIGURA 1.22

a.) RED ELECTRICA.

Para facilitar la construcción de un circuito eléctrico se considerará--

$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$. Esta red se muestra en la figura 1.23 con elementos eléctricos pasivos.



RED ELECTRICO DEL COMPENSADOR ADELANO-ATRASO

FIGURA 1.23

Al analizar el circuito de la figura 1.23 se obtiene:

$$G_c(S) = \frac{E_o(S)}{E_i(S)} = K_c \frac{(S \tau_1 + 1) (S \tau_2 + 1)}{(S \tau_1 + 1) (S \tau_2 + 1) + S \tau_{1,2}} \quad (1.73)$$

Donde: $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$ (1.74)

$$\tau_2 = R_2 \cdot C_2 \quad (1.75)$$

$$\tau_{1,2} = R_1 \cdot C_2 \quad (1.76)$$

Haciendo: $R_1 \cdot C_1 + R_2 \cdot C_2 + R_1 \cdot C_2 = \tau_1 / \alpha + \alpha \tau_2$ (1.77)

Se llega a obtener:

$$G_c(s) = K_c \frac{(S + 1/\tau_1) (S + 1/\tau_2)}{(S + \alpha/\tau_1) (S + 1/\alpha\tau_2)} \quad (1.78)$$

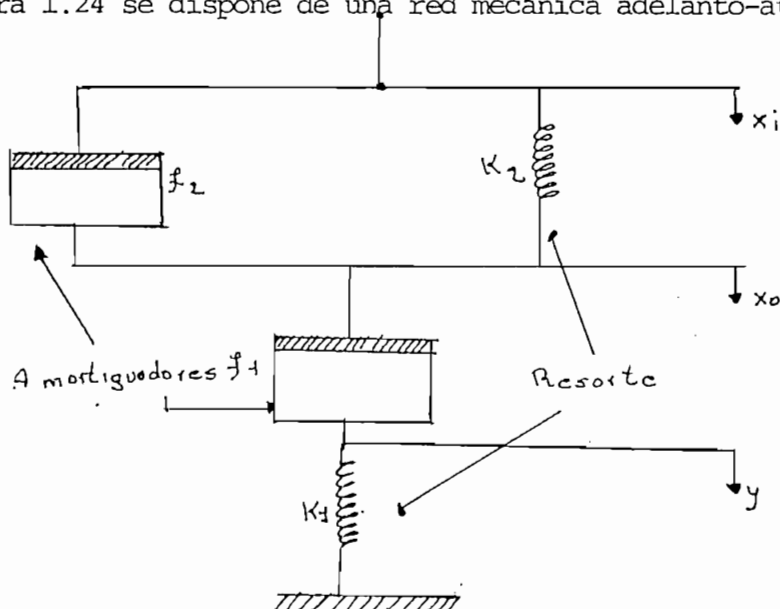
$$\rho > 1 \quad ; \quad \tau_1, \tau_2 > 0$$

b.) CRITERIO DE SELECCION DE α .-

Por tener realmente 2 redes, una de adelanto y otra de atraso, el problema de escoger α es similar a lo expuesto en 1.4 para redes en adelanto y en-atraso por lo que α se unifica y su valor estafá entre 3 y 10.

c.) RED MECANICA.-

En la figura 1.24 se dispone de una red mecánica adelanto-atraso.



$f_1, f_2 =$ constantes de rozamiento viscoso.

$K_1, K_2 =$ constantes elásticas del resorte

$x_i, x_o, y =$ desplazamiento lineal.

RED MECANICA DE COMPENSACION ADELANTO-ATRASO

FIGURA 1.24

Al escribir las ecuaciones de Newton se consigue:

$$f_1(\dot{x}_o - \dot{y}) = K_2(x_i - x_o) + f_2(\dot{x}_i - \dot{x}_o) \quad (1.79)$$

$$f_1(\dot{x}_o - \dot{y}) = K_1 \cdot y \quad (1.80)$$

Con (1.79) y (1.80) en función de la transformada de Laplace se tiene:

$$\frac{X_o(S)}{X_i(S)} = \frac{(S + K_2/f_2)(S + K_1/f_1)}{S^2 + S(K_1/f_2 + K_2/f_2 + K_1/f_1) + K_1/f_1 \cdot K_2/f_2} \quad (1.81)$$

Al definir:

$$\tau_2 = f_2/K_2 \quad (1.82)$$

$$\tau_1 = f_1/K_1 \quad (1.83)$$

$$\tau_{12} = F_2/K_1 \quad (1.84)$$

$$\tau_2' = K_2/f_2 \quad (1.85)$$

$$\tau_1' = K_1/f_1 \quad (1.86)$$

$$\tau_{12}' = K_1/f_2 \quad (1.87)$$

$$\text{Haciendo: } K_2/f_2 + K_1/f_1 + K_1/f_2 = \tau_1'/\alpha + \tau_2'/\alpha \quad (1.88)$$

Con (1.81), (1.82), (1.83), (1.84), (1.85), (1.86), (1.87) y (1.88).

Se deduce:

$$\frac{X_o(S)}{X_i(S)} = \frac{(S + K_2/f_2)(S + K_1/f_1)}{(S + \alpha K_1/f_1)S + K_2/\alpha \cdot f_2} \quad (1.89)$$

Cuya función de transferencia (1.89) es similar a la dada por (1.72).

1.4.4. RED COMPENSADORA PROPORCIONAL-INTEGRAL.

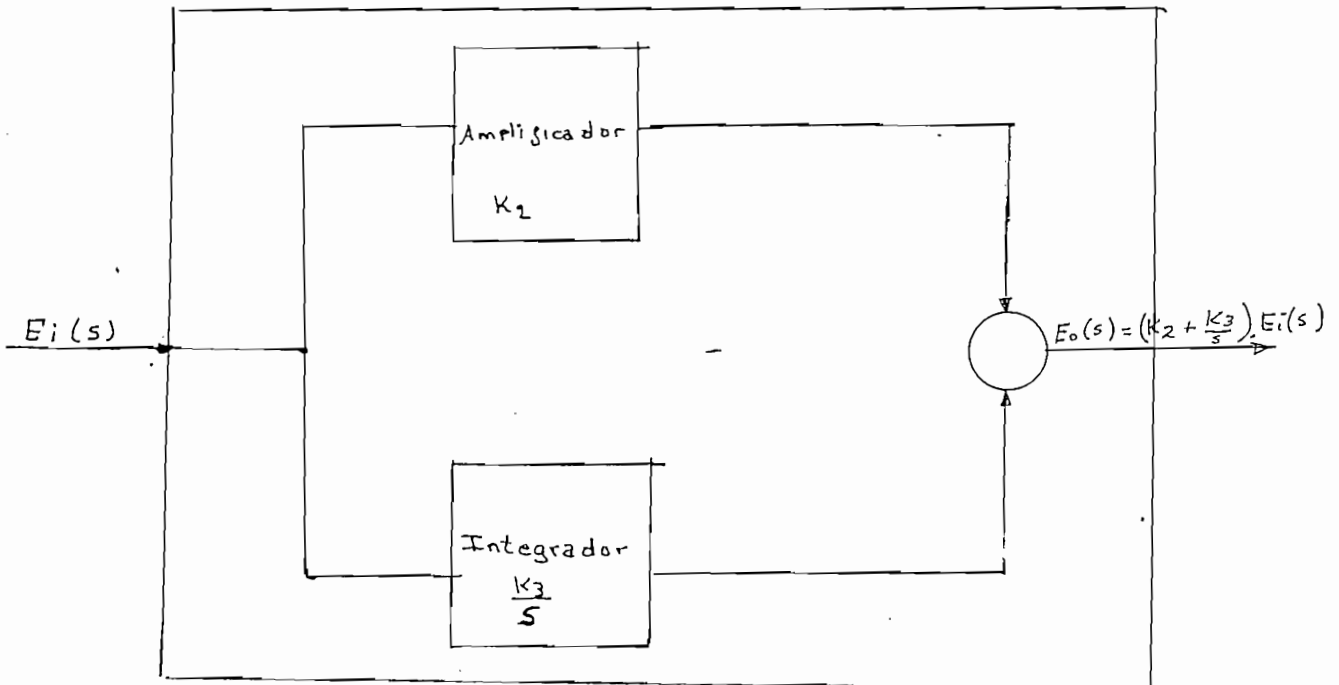
Esta red se caracteriza por tener una parte amplificadora (proporcional) y un integrador:

$$G_c(s) = K_2 + K_3/s \quad (1.90)$$

Que también puede escribirse como:

$$G_c(s) = K_2 \cdot \frac{(s + K_3/K_2)}{s} \quad (1.91)$$

Según 1.90, la red debe estar formada de 2 partes como lo indica la figura 1.25



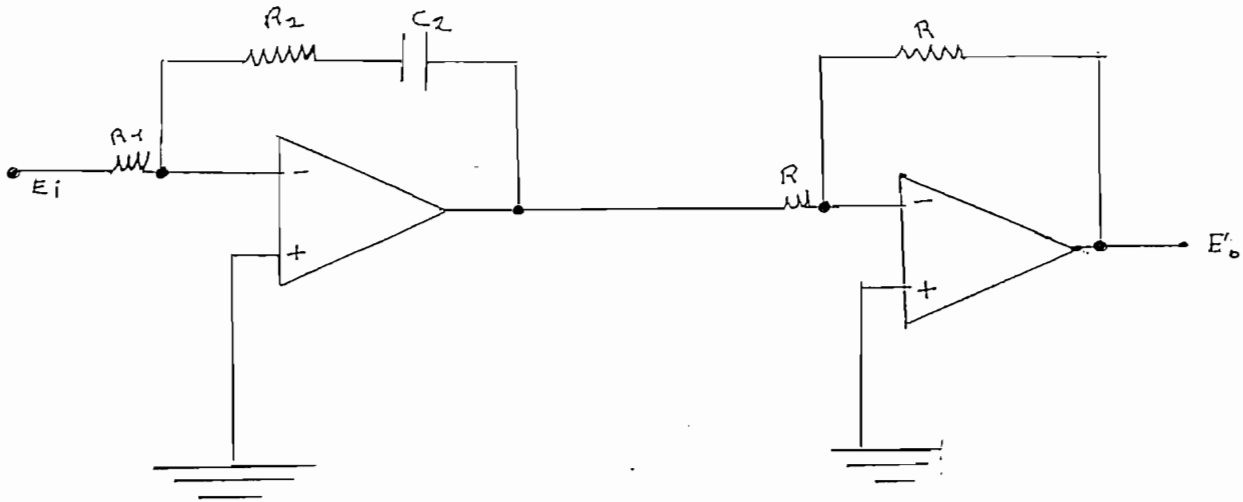
COMPENSADOR PROPORCIONAL INTEGRAL

FIGURA 1.25

Con esta red, al tener un polo en el origen se consigue aumentar el orden del sistema y como consecuencia de ello disminuir el error de estado estable,

a.) RED ELECTRICA.-

Mediante una red eléctrica con amplificadores operacionales se consigue una función de transferencia similar a (1.91) en la figura 1.26 se muestra el circuito eléctrico que cumple con esta red.



COMPENSADOR ELECTRICO PROPORCIONAL INTEGRAL

FIGURA 1.26

La función de transferencia que se obtiene es:

$$G_c(s) = R2 \frac{(s + 1/R2.C2)}{s} \quad (1.92)$$

Comparando con la ecuación (1.91) se concluye:

$$K2 = R2/R1 \quad (1.93)$$

$$K3 = 1/R1.C2 \quad (1.94)$$

De acuerdo al valor de cero requerido se tiene una gama de valores de R1, R2, c2 con los cuales se satisface condiciones pedidas.

1.4.5.- OTRAS REDES COMPENSADORAS.-

Cuando una planta tiene 2 o más polos conjugados, puede ser necesaria una red con 2 polos y 2 ceros con los cuales se cancelen polos indeseados al igual que los ceros y obtener otros valores mas prácticos.

En la figura 1.27 se tienen 2 redes T que tiene esa cualidad

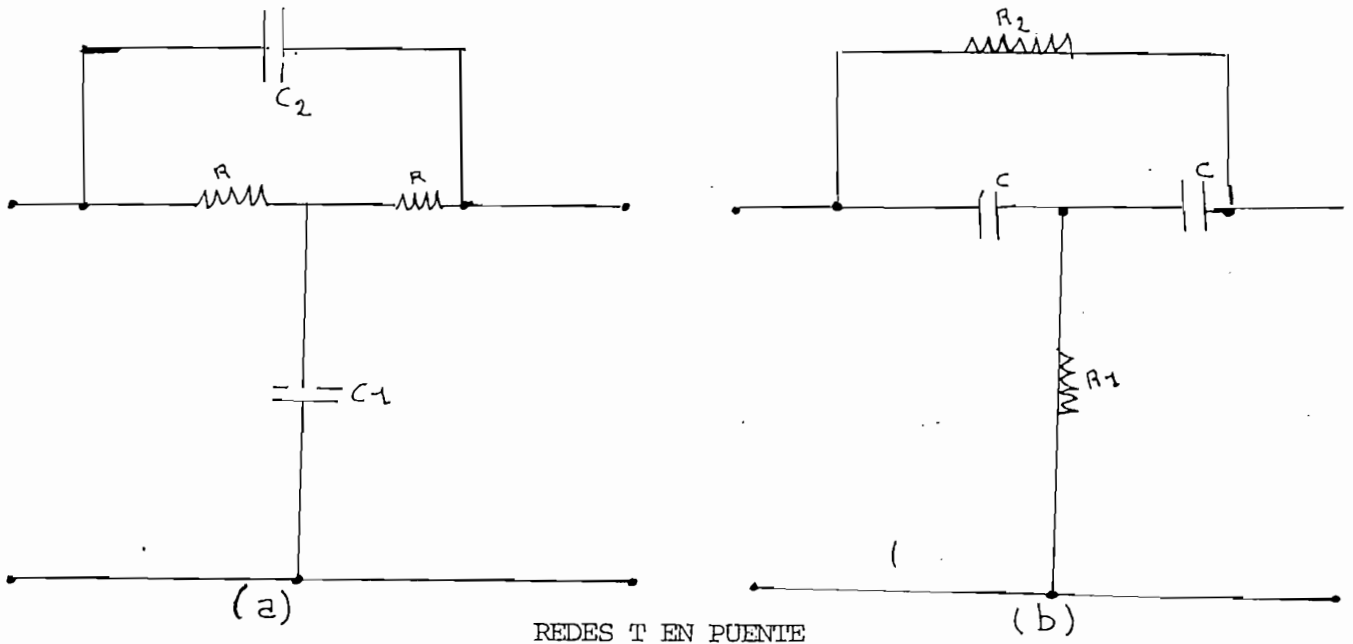


FIGURA 1.27

De la figura 1.27 a se desprende fácilmente su relación de entrada y salida en el dominio de Laplace:

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{R \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot s^2 + 2R \cdot C_2 \cdot s + 1}{R C_1 \cdot R \cdot C_2 \cdot s^2 + (R C_1 + 2 R C_2) s + 1} \quad (1.95)$$

Similar caso al anterior de la figura 1.27.b se consigue:

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{R_1 \cdot C \cdot R_2 \cdot C \cdot s^2 + 2 R_1 C s + 1}{R_1 \cdot C \cdot R_2 \cdot C \cdot s^2 + (R_2 C + 2 R_1 C) s + 1} \quad (1.96)$$

Si bien teóricamente existen muchas redes compensadoras que aporten con polos y ceros, el presente estudio se refiere exclusivamente a los puntos 1.1, 1.2, 1.3, y 1.4, para los cuales se ha elaborado una metodología de análisis implementables en un programa digital.

REFERENCIAS

- (1) Pazmiño A. Ramiro, Programa para el estudio de estabilidad. Criterio del lugar Geométrico de las raíces, cap I, Tesis de Ingeniería Eléctrica EPN, Quito, 1981.
- (2) Distéfano III, STUBBERUD, WILLIAMS, Retroalimentación y sistemas de control, p 58 - 61, Colección Schaum's, Edit Mc Graw Hill, 1980.
- (3) Kvo Benjamín, Automatic Control Systems, Cap IV, Edit Prentice Hall - Inc, New Jersey, 1967.
- (4) Dorf Richard, Sistemas Automáticos de control, Cap II, Edit Fondo Educativo Interamericano, 1978.

CAPITULO II

INTRODUCCION

En el presente capítulo se cubre la teoría básica de la compensación para poder implementar procesos de cálculos de los compensadores. El estudio se refiere a la compensación en: adelanto, atraso, adelanto - atraso y proporcional - integral, además, de explicar en flujo - gramas los - distintos algoritmos se incluyen ejemplos en donde se aplican manualmente el proceso de compensación.

Para los dibujos del LGR se ha utilizado el computador TEKTRONIX.

CAPITULO II

- 36 -

2.1.- PARAMETROS COMUNMENTE ALTERNADOS MEDIANTE ESTA TECNICA .-

La parte básica de la compensación es buscar que, los sistemas de control cumplan con ciertas especificaciones de funcionamiento, como ser: anchos de banda, tiempo de estabilización, etc.

Para el caso de la compensación mediante el lugar geométrico de las raíces en especial se pueden modificar parámetros en el dominio del tiempo como ser: tiempo de estabilización (T_s), constante de tiempo (T), tiempo de subida, etc. Además, lograrse variaciones aceptables del sobretiro lo cual se logra al aproximarse un sistema de orden superior a uno de segundo orden. Por otro lado, es posible mejorar el error de estado estable al variar la constante de error por efecto de añadir una red compensadora. Se puede concluir que los parámetros comunmente alterados son:

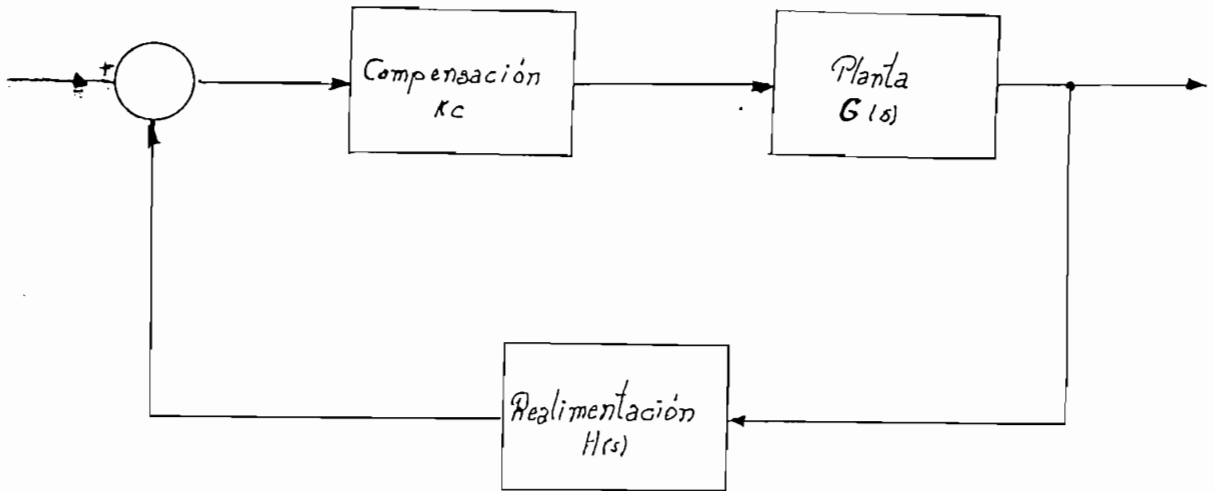
- 1.- Tiempo de estabilización (T_s)
- 2.- Constante de tiempo (T)
- 3.- Factor de amortiguamiento (ζ)
- 4.- Frecuencia no amortiguada (ω_n)
- 5.- Sobrenivel porcentual o sobretiro (S_p)
- 6.- Constante de error. (de posición K_p , de velocidad K_v , de aceleración k_a).

Dependiendo de la red escogida se puede variar uno o más de los parámetros antes anotados, a continuación se analizará algunas formas de compensar valiéndonos del lugar geométrico de las raíces.

2.2.- COMPENSACION VARIANDO LA GANANCIA.-

Un sistema de control realimentado como el que se presenta en la figura 2.1 con una red compensadora en serie o cascada, tiene una serie de soluciones

en el plano S, dependiendo del valor de ganancia asignada, con lo que se obtiene el lugar geométrico de las raíces. Para que un sistema cumpla con ciertas especificaciones puede suceder que, sólo se necesite variar el parámetro de ganancia a lo que se conoce como compensación por ganancia.



Donde:

$G(s)$ = polinomio en función de S tanto en el numerador como en el denominador.

$H(s)$ = Numerador y denominador están en función de S.

K_c = Parámetro de ganancia que puede ser variado.

DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 2.1

2.2.- Si se considera la función de la planta como :

$$G(s) = \frac{K}{S(JS+F)} \text{ y una realimentación unitaria, para el sistema de-}$$

la figura 2.1.

Es así como se obtiene la función de transferencia:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{Js^2 + Fs + K} \quad (2.1)$$

Si se escribe otra función para compararla :

$$F(s) = \frac{W_n}{s + 2\zeta W_n s + W_n^2} \quad (2.2)$$

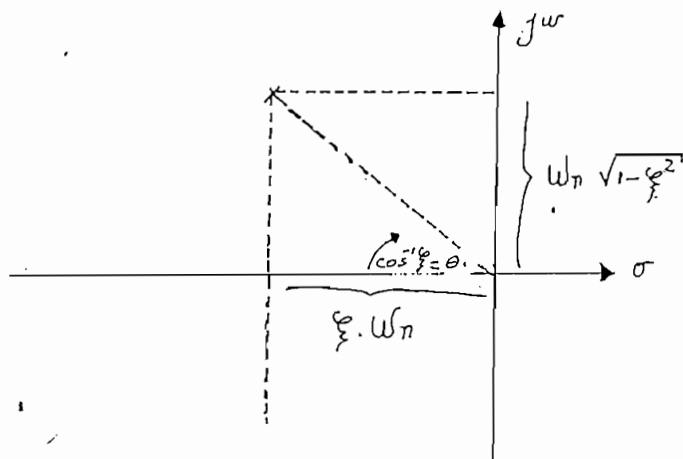
Por analogía de las relaciones (2.1) y (2.2) se tiene:

$$W_n = \sqrt{\frac{K}{F}} \quad (2.3)$$

$$\zeta = \frac{F}{2\sqrt{J.K}} \quad (2.4)$$

Por lo que puede deducirse que:

Si se aumenta K, se disminuye ζ , normalmente válido en 0.3 y 0.7, en la figura 2.2 muestra en el plano S, esos parámetros.



DATOS OBTENIBLES EN EL PLANO S.

FIGURA 2.2.-

Se tienen estrechas relaciones entre ζ , W_n , es así como al aumentar K, aumenta W_n y disminuye ζ con lo cual el tiempo de estabilización aumenta -

$T_s = \frac{4}{(\zeta \omega_n)}$, ocurre que aumentando K el sistema se acerca al eje imaginario si bien consiguiendo un factor de amortiguamiento aceptable pero empeorando su respuesta transitoria.

Lo anterior es válido para un sistema de segundo orden, pero podría tener aplicación en sistemas de orden superior para entender mejor esta compensación se hace referencia al ejemplo 2.1.

Ejemplo 2.1: Un sistema de control tiene una planta cuya función es: $G(s) = 1/s(s + 2)$ con una realimentación dada por $H(s) = 1/(s + 4)$. Se busca tener un sobrenivel por centual del 16% con un tiempo de estabilización menor a 8 segundos.

Solución: El sistema realimentado debe cumplir con la ecuación

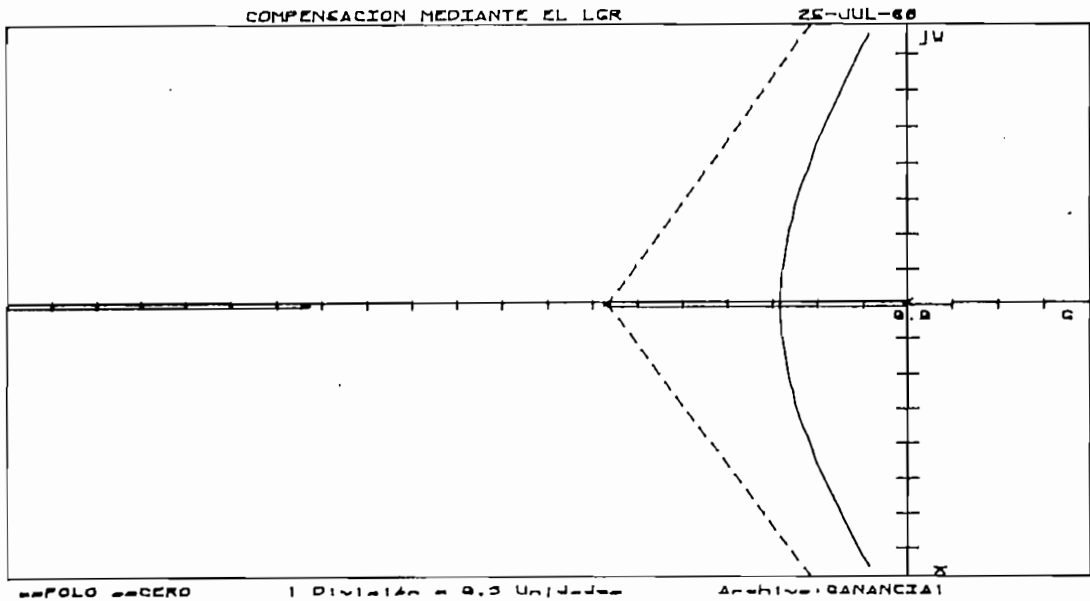
$$1.2: \quad F(s) = \frac{G(s)}{1 + KG(s) \cdot H(s)} = \frac{N}{D} \quad (2.5)$$

Se dibuja el LGR al resolver igualando a cero el denominador 2.5

$$1 + KG(s) \cdot H(s) = 0 \quad (2.6)$$

Se ha graficado el LGR de la ecuación 2.5 en la figura 2.3, en donde se aprecian los distintos puntos que cumplen con el LGR para algunas ganancias allí indicadas. Puede notarse que para $K=10$ corresponde:

$\zeta = 0.4$; se busca tener: $\zeta = 0.5$ lo cual se logra con $K = 8.3$ cumpliendo incluso con tiempo de estabilización.



LGR del ejemplo 2.1

FIGURA 2.3

De esta manera, se consigue tener incluso un error en estado estacionario menor.

Finalmente, podemos decir que si bien ha aumentado la ganancia del sistema se tienen comportamientos mejores, en muchos casos ese aumento puede conducir a inestabilidad así, en el ejemplo 2.1, si el error pedido es pequeño $K=40$ sería ideal, pero allí se ve que el sistema está en el límite de estabilidad, por lo que no sería una solución aumentar la ganancia.

2.2.1.- ALGORITMOS PARA COMPENSACION CON GANANCIA.-

Un sistema de control puede ser compensado con ganancia, pero, los polos o ceros de lazo abierto en el eje real (+), no debería exceder a 1 a pesar de que, podría tener un par de polos o ceros conjugados en el semiplano positivo.

Una forma de compensar con ganancia sería observando directamente el LGR del sistema, siendo muy importante el papel que desempeña el observador; sin embargo, se puede pensar en un método iterativo que pueda realizar el

análisis de la compensación con ganancia.

Se tiene que en un sistema realimentado el LGR debe cumplir con:

$$K \cdot G(s) \cdot H(s) = -1 \quad (2.7)$$

LO que significa que, el ángulo por $G(s) \cdot H(s)$ debe ser múltiplo de 180° .

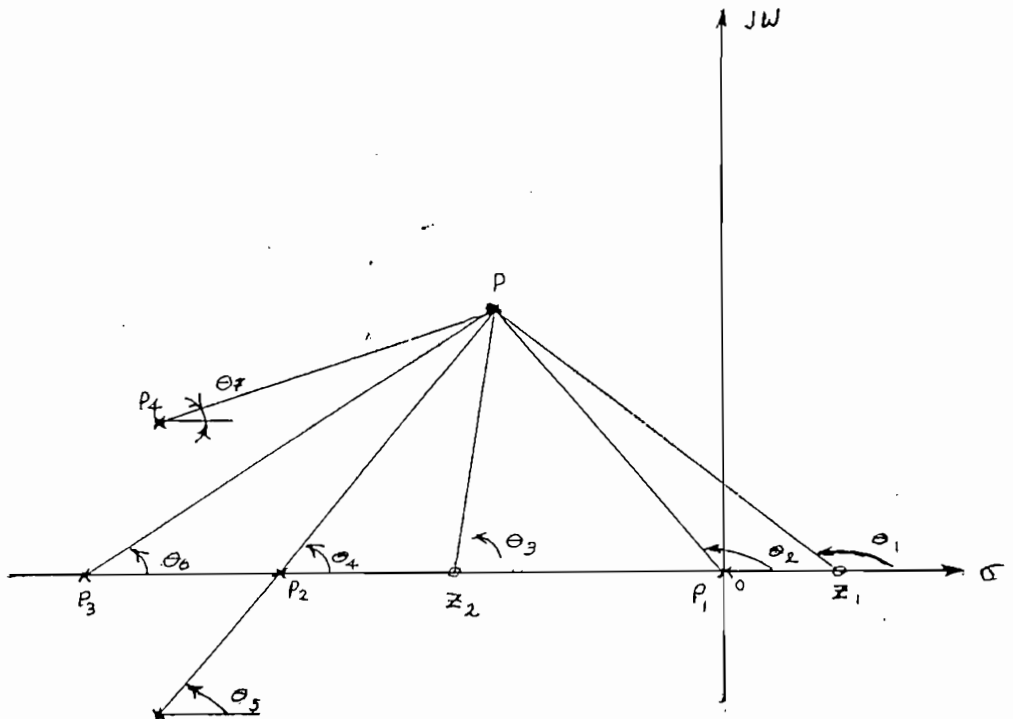
$$\left| \begin{array}{l} G(s) \cdot H(s) \\ \text{evaluado en un punto} \end{array} \right| = \pm n \cdot 180^\circ \quad (2.8)$$

$n = 1, 2, \dots, \text{entero}$

$$\left| K \cdot G(s) \cdot H(s) \right| = 1 \quad (2.9)$$

$|\phi| =$ valor absoluto de una cantidad ϕ .

Por lo tanto es parte del LGR si se cumple simultáneamente las ecuaciones 2.8 y 2.9. También se puede probar que un punto es parte de LGR mediante tanteos.



POLOS Y CEROS DE UN SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 2.4

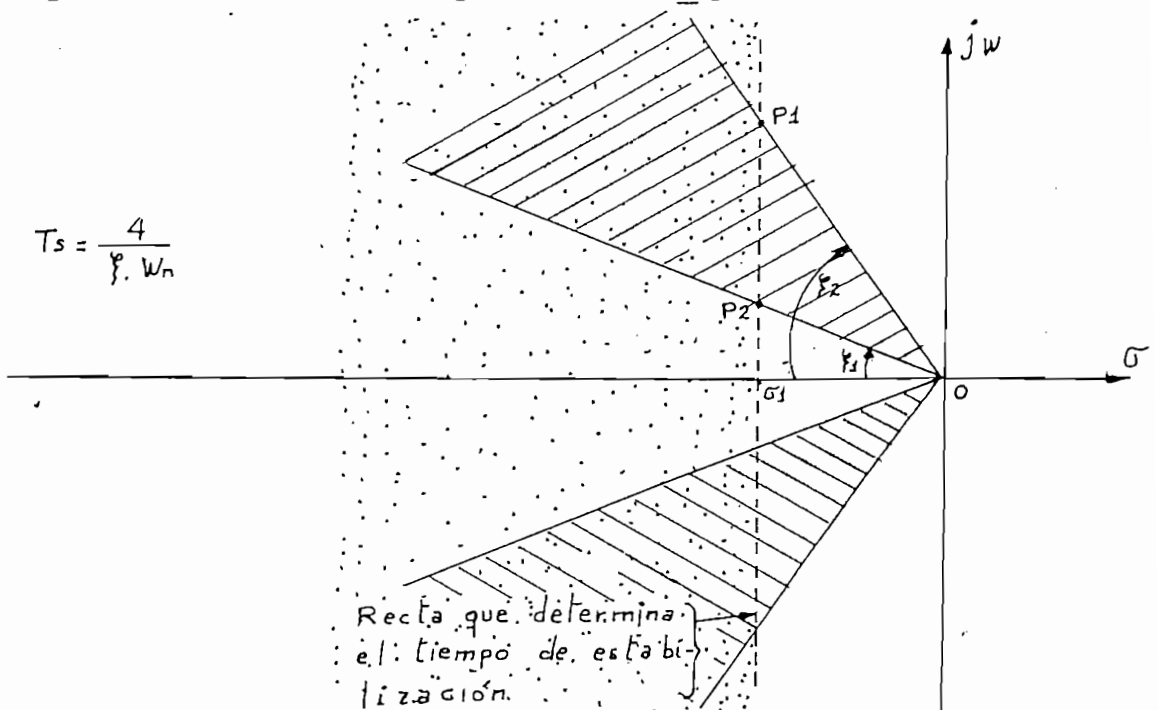
Es así como la de la figura 2.4, se cumple que P es parte del LGR, si tenemos

$$\phi_1 - \phi_2 + \phi_3 - \phi_4 - \phi_5 - \phi_6 - \phi_7 = \pm n \cdot 180^\circ \quad (2.10)$$

Los argumentos o ángulos dados por los polos y ceros son negativos y positivos respectivamente. Y además:

$$K = \frac{P_{1p} / P_{2p} / P_{3p} / P_{4p} / P_{5p} / P_{6p} / P_{7p}}{P_{z1} / P_{z2}} \quad (2.11)$$

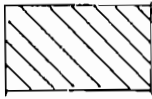
Para tener una mejor idea de lo que significan las especificaciones en el LGR, se hace referencia a la figura 2.5, donde se puede apreciar que, si el LGR se encuentra dentro de un rango de ζ entre 0.3 y 0.7 el sobretiro está dentro de rangos aceptables, obviamente considerando al sistema como uno de segundo orden. Asimismo, de la ecuación 1.8, se desprende que el tiempo de estabilización vendría a ser todo lo que se halle a la izquierda de la recta en el punto $S = \sigma_1 \pm j 0$.



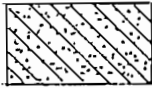
4 AREAS DEL PLANO S QUE INDICAN ALGUNAS ESPECIFICACIONES

FIGURA 2.5

Del gráfico 2.5, se resume lo siguiente:



Area que cumple con especificaciones de sobretiro dados entre ξ_1 y ξ_2 .



Area que cumple con especificaciones de tiempo de establecimiento y factor de amortiguamiento o sobretiro.



Todo punto a la izquierda de la recta $\sigma_1 + j0$ cumple con tiempo de estabilización.

Como ya se indicó en la ecuación 1.8:

$$T_s = 4 / (\xi \cdot \omega_n) \quad (2.12)$$

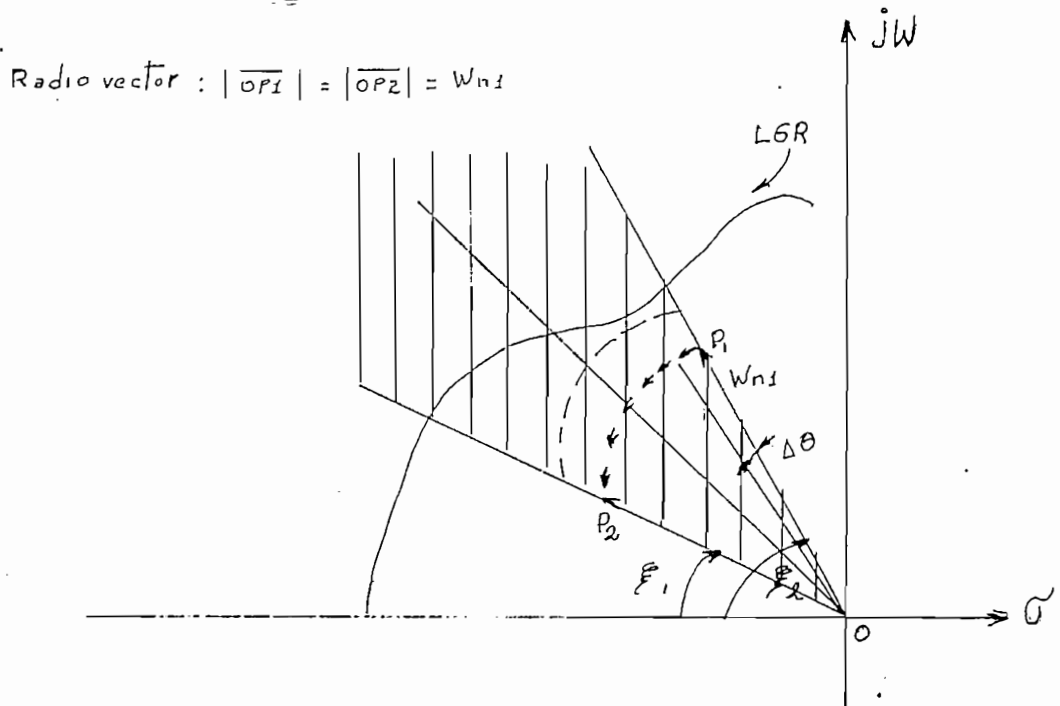
Es así como dado un valor de amortiguamiento se tiene que, a mayor frecuencia no amortiguada (ω_n) menor tiempo de estabilización (T_s); de la figura 2.5, se nota que los radios vectores OP1, OP2 determinan dos valores diferentes ω_{n1} , ω_{n2} , de esta forma el sistema respondería más rápidamente con ω_{n1} ; $[\omega_{n1} > \omega_{n2}]$, teniendo un mismo valor de ξ .

En un algoritmo implementado para saber si un punto es parte del LGR y cumple con especificaciones de tiempo de estabilización y sobretiro sería: si busca encontrar el LGR dentro de un rango de ξ , normalmente entre 0.3 y 0.7, a partir de un valor ω_{n1} como se indica en la figura 2.6, con ese radio vector se barre sectores circulares en intervalos de ángulo $\Delta\theta$ al verificar si un punto cumplió con ser un ángulo menor a 25° , se asumirá que está cerca del LGR por lo que vuelve a barrer otro sector con ω_{n1} aumentando en un 10% (al aumentar ω_{n1} se tiene menor tiempo de estabilización.....

lo cual sería mejor); cuando el ángulo se acerca a 180° se asume como parte del LGR y se verifica si cumple con ganancia.

Pero, si en lugar de acercarse a 180° el punto evaluado se aleja entonces se acelera el proceso barriendo círculos haciendo centro en W_{n1} y la recta dada por
$$\xi = \cos\left(\frac{\cos^{-1}(\xi_1) + \cos^{-1}(\xi_2)}{2}\right) \quad (2.13)$$

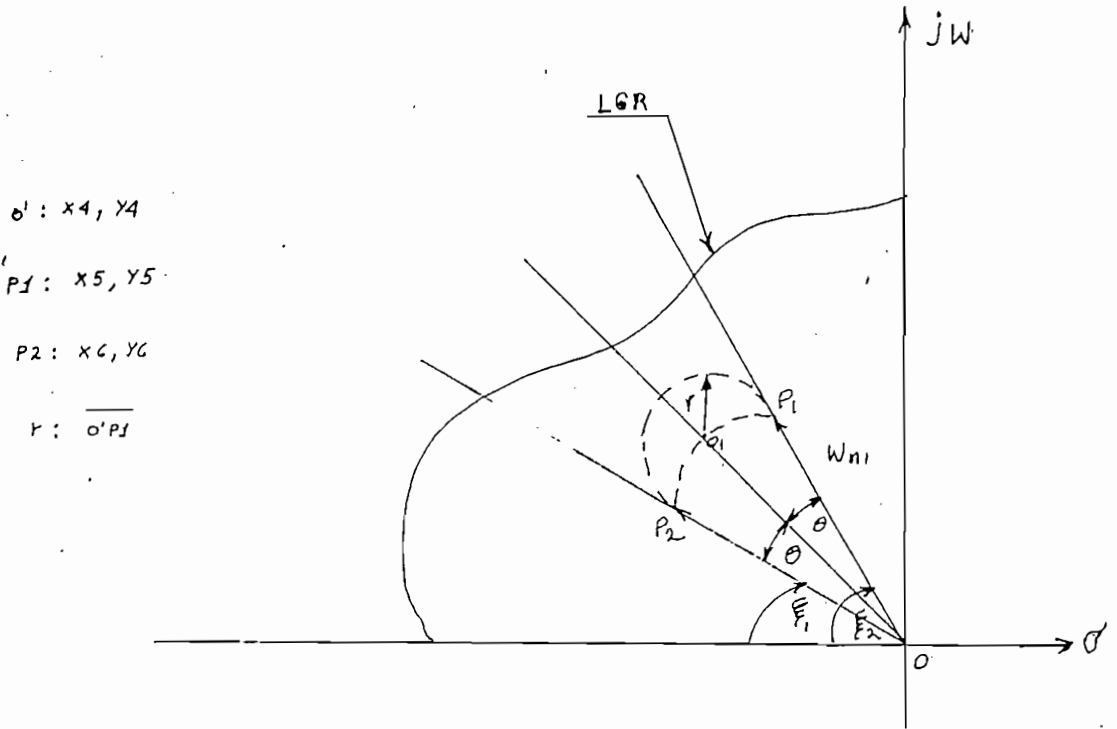
Como puede verse en la figura 2.7



BUSQUEDA DEL LGR BARRIENDO ARCO DE CIRCULO P1P2

FIGURA 2.6

En la figura 2.7, notamos que W_{n1} es muy pequeño por lo que para aproximarnos al LGR se barre círculos de radio r y centro O' .



BUSQUEDA DEL LGR BARRIENDO CIRCULOS CON CENTRO EN O'

FIGURA 2.7

Si el punto calculado se acerca al LGR, se aumenta $W1$ en un 10% y se recalcula O' y $OP1$ para barrer otro círculo y así sucesivamente hasta encontrar la mejor aproximación. El sistema se detiene cuando se halla un punto cercano al LGR en cuyo caso es posible compensar, pero si se aleja del LGR no se puede compensar.

En la figura 2.8, se tiene un diagrama de flujo para el caso de tener datos como factor de amortiguamiento (ξ) y tiempo de estabilización (Ts). adicionalmente se puede evaluar un punto como parte del LGR barriendo un vector desde el origen en una sola dirección o sea con un ξ fijo y buscar cortar al LGR; si ello se logra se evalua si se ha conseguido las especifica

caciones pedidas, en la figura 2.7 se dispone también esta opción, se acla
ra mejor esta forma de evaluar en el ejemplo 2.2

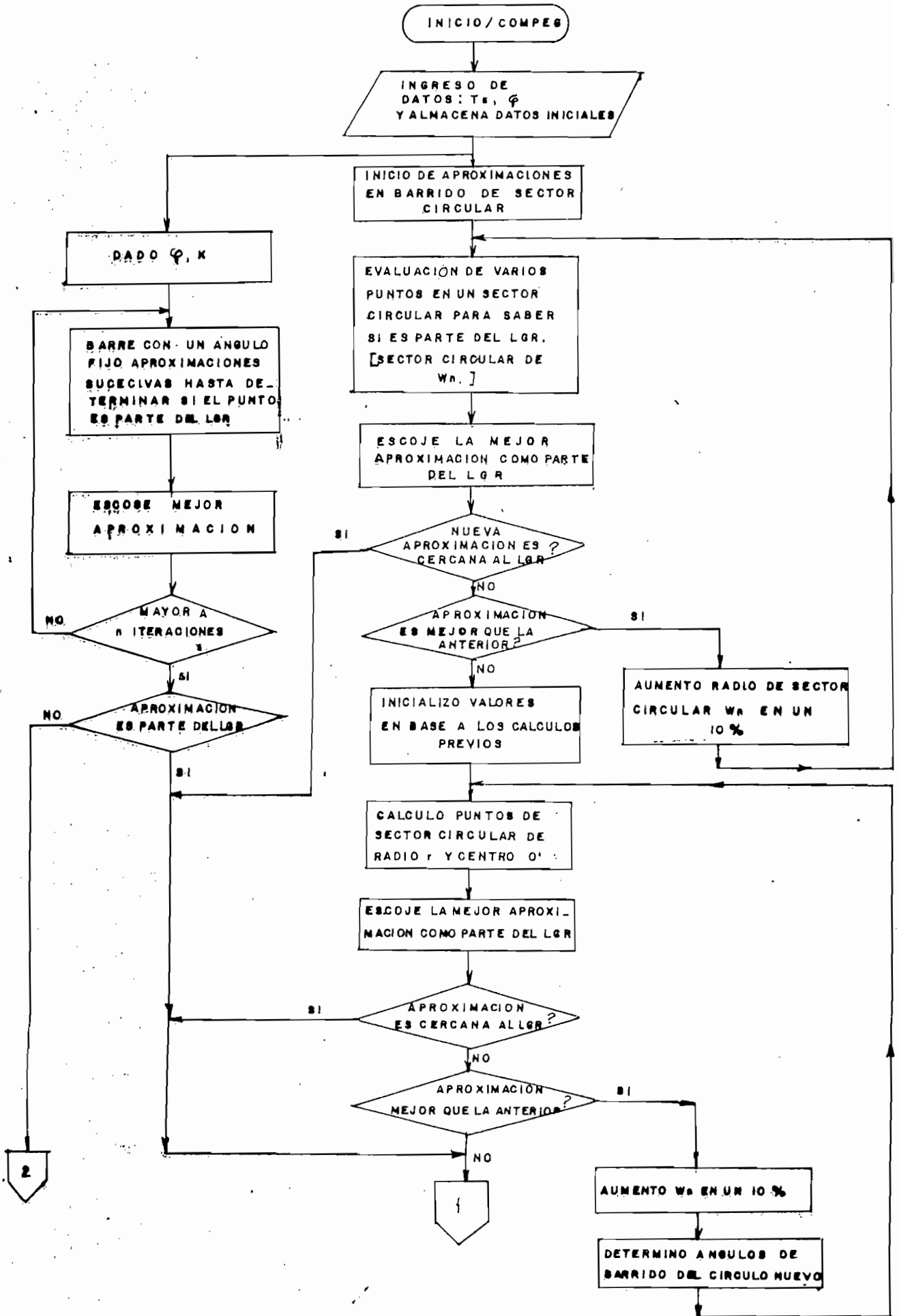


DIAGRAMA DE FLUJO DE COMPENSACION CON GANANCIA

FIGURA 2.7

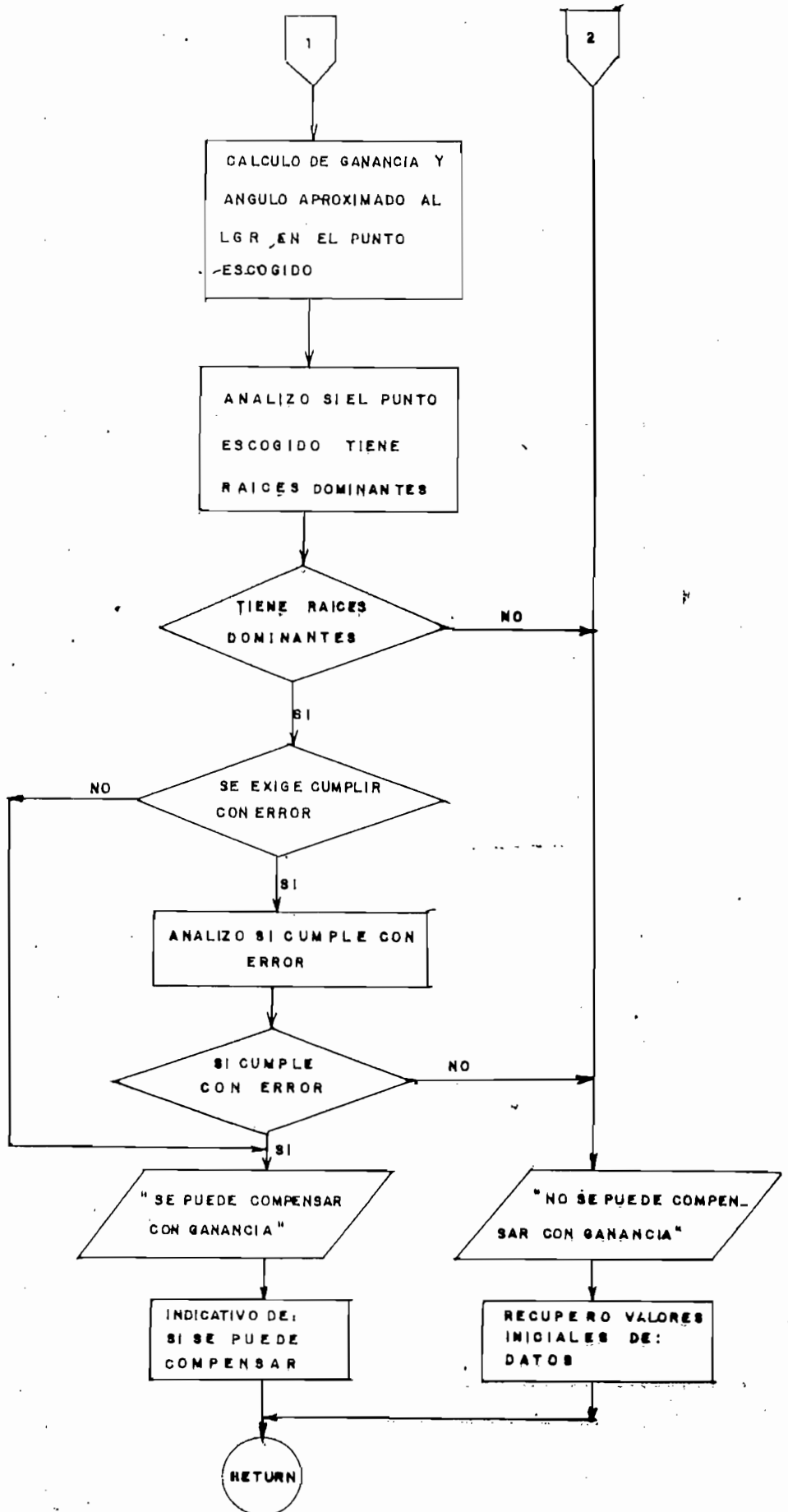


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUB PROGRAM "COMPEG"

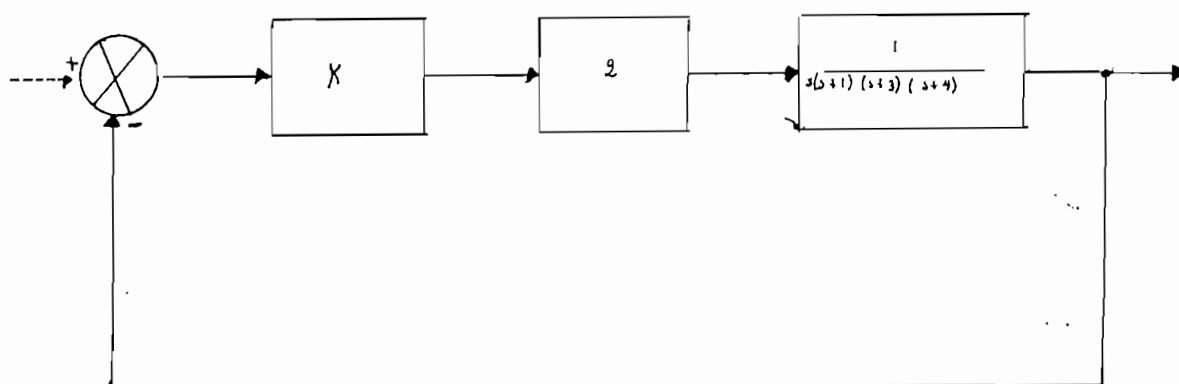
FIGURA 2.7

2.2.2.- EJEMPLOS DE COMPENSACION CON GANANCIA.-

Para esta parte de la compensación utilizaremos datos de tiempo, sobretiro, error, factor de amortiguamiento.

Ejemplo 2.2:

El sistema de control de la figura 2.9, necesita ser compensado de tal modo que cumpla con el sobretiro $< 20\%$ y una constante de velocidad > 0.5 .



SISTEMA DE CONTROL REALIMENTADO

FIGURA 2.9

Sobretiro $< 20\%$:

$$\zeta \geq \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\pi^2}{\ln^2 \frac{S_p}{100}}}} \quad (2.14)$$

Se tiene: $\zeta \geq 0.46$

Aproximando al ángulo sobre el eje horizontal negativo:

$$\theta \leq \cos^{-1}(\zeta) = 62.9^\circ \quad (2.15)$$

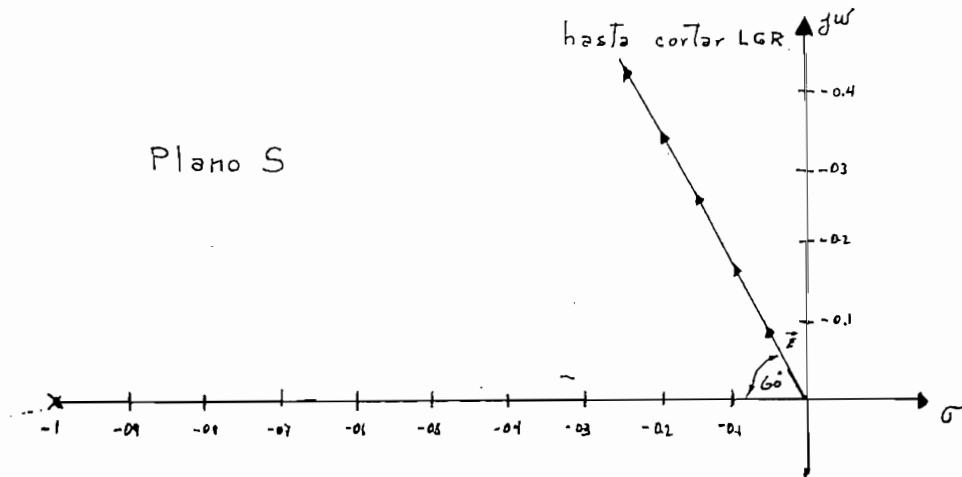
Constante de error de velocidad :

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} S.G.H. \quad (2.16)$$

$s \rightarrow 0$

En este caso con $\zeta = 0.5$ y puesto que no interesa la ubicación de polos o ceros, partimos con un $W_n = 0.1$ y seguimos aumentando hasta aproximarnos al LGR; si en cierta cantidad de iteraciones no se acerca al LGR el sistema no calcula más.

En la figura 2.10, tenemos un gráfico de cómo se pretende llegar a un punto cercano al LGR.



APROXIMACIONES SUCESIVAS PARA ENCONTRAR UN PTO LGR

FIGURA 2.10

Iniciamos con un valor de $W_n = 0.1$ y seguimos aumentando en 0.1 valores hasta un número determinado de veces o hasta llegar a un punto cercano al LGR:

En la tabla 2.1 se tienen los valores de cada punto en la recta cuyo

$$\zeta = 0.5.$$

x4	y4	G.H	Ktotal
-0.005	0.086	-138.13°	-
-0.1	0.1732	-146.54°	-
-0.15	0.25	-156.05°	-
-0.2	0.34	-165.66°	-
-0.25	0.43	-167.1°	-
-0.3	0.51	-175.46°	5.25
-0.35	0.60	-185.31°	5.84

TABLA 2.1

Los puntos que se acercan al IGR son aquellos que tienden a 180°; en la -
tabla 2.1 observamos algunos cálculos.

$$(X4, Y4), = (-0.3; 0.51) \quad (2.12)$$

$$(X4, Y4), = (0.35; 0.6)$$

Efectivamente como se nota en el gráfico 2.11 del IGR de este sistema, se
encuentra que las ganancias son: $K=5.25$ y $K=5.84$ para dos puntos aproxi-
mados.

EJEMPLO 2.3:

Mediante la planta de un sistema de control con realimentación unitaria -

como: $G(s) = \frac{2(s+1)}{s^2(s+3.6)}$ determinar la posibilidad de compensar con

ganancia para cumplir un tiempo de estabilización menor de 4 segundos y -
porcentajes de sobretiro menor del 25%.

Solución:

Un sobretiro menor 25%; según la ecuación 2.14

$$\zeta \geq 0.403 \quad \circ \quad \theta \leq 66.2^\circ$$

Para evaluar podemos poner como límite de $\zeta = 0.7$ éste es un valor que -
se aconseja y está entre los rangos de sobretiro aceptables.

$$\zeta = 0.7 \quad \circ \quad \theta = 45.5^\circ$$

Según la ecuación 2.12:

$$W_n = 2.48 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \text{con } \zeta = 0.403$$

$$T_s = 4(\text{s})$$

$$X_4 = -W_n \cos 66.2^\circ = -1$$

$$Y_4 = W_n \text{ Sen } 66.2^\circ = 2.26$$

Se barre un sector circular desde $\theta_r = 66.2$ hasta $\theta = 45.5$

En la tabla 2.2 se tiene datos calculados.

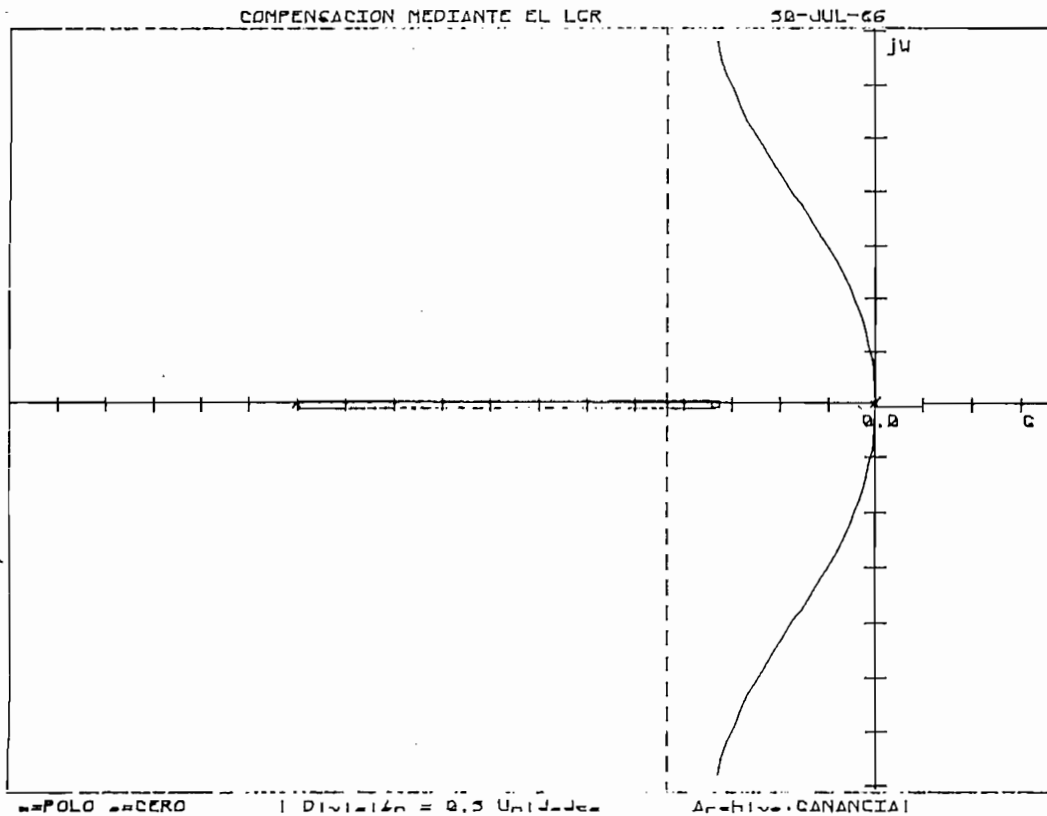
θ	W_n	X_4	Y_4	$\sum \theta_i$	OBSERVACIONES
70°	2.5	-0.75	2.34	-171.02°	es parte del LGR
66.2	2.5	-1	2.28	-181.39°	
56.2	+2.5	-1.39	2.07	-211.55°	

TABLA 2.2

Efectivamente comprobamos que, si se logra compensar con ganancia; en el punto $(-1 ; 2.28)$, la ganancia total es 16.32, por lo que adicional a la ganancia de lazo abierto se tendrá la dada por el compensador de ganancia en este caso:

$$\begin{cases} K = 16.32 \\ K_1 = 2 \end{cases} \quad \begin{cases} K = K_c \cdot K_1 \\ K_c = 8.16. \end{cases} \quad (2.17)$$

En la figura 2.12, se tiene graficado el LGR de este sistema.



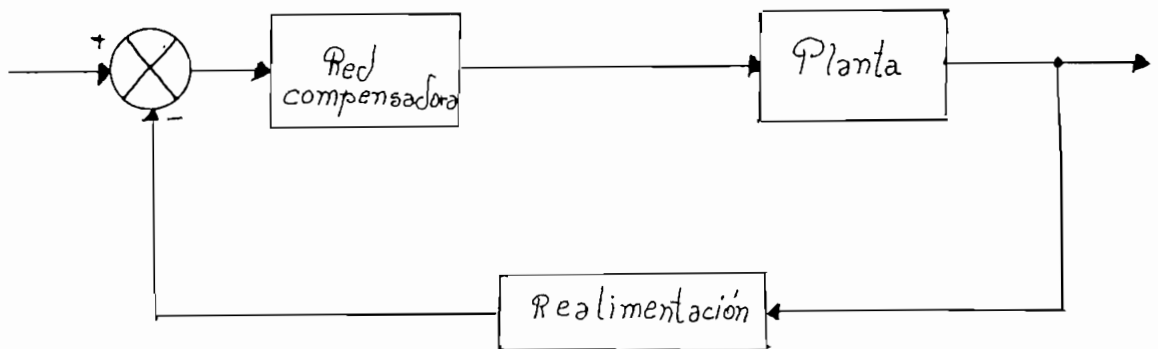
LUGAR GEOMETRICO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL EJEMPLO 2.3

FIGURA 2.12

—2.3.— COMPENSACION EN ADELANTO.—

Para un sistema de control cuyas especificaciones de estado transitorio, constante de error, etc. que se pide variar, entonces se dirá que necesitamos, una red compensadora en adelanto, la misma que tiene por objeto alterar el LGR original, hasta conseguir que pase el mismo por un punto específico.

Para el presente caso, se analizan los sistemas que tengan un compensador en cascada como lo indica la figura 2.13, el compensador irá ubicado en el lazo directo.



SISTEMA DE CONTROL COMPENSADO

FIGURA 2.13

Como ya se analizó en 1.4.1, la forma general del compensador es:

$$G_c(s) = K_c \frac{S + Z}{S + P} \quad (2.18)$$

$$|Z| < |P|$$

Donde: K_c = ganancia dada por el compensador

$-P$ = Polo del compensador

$-Z$ = cero del compensador

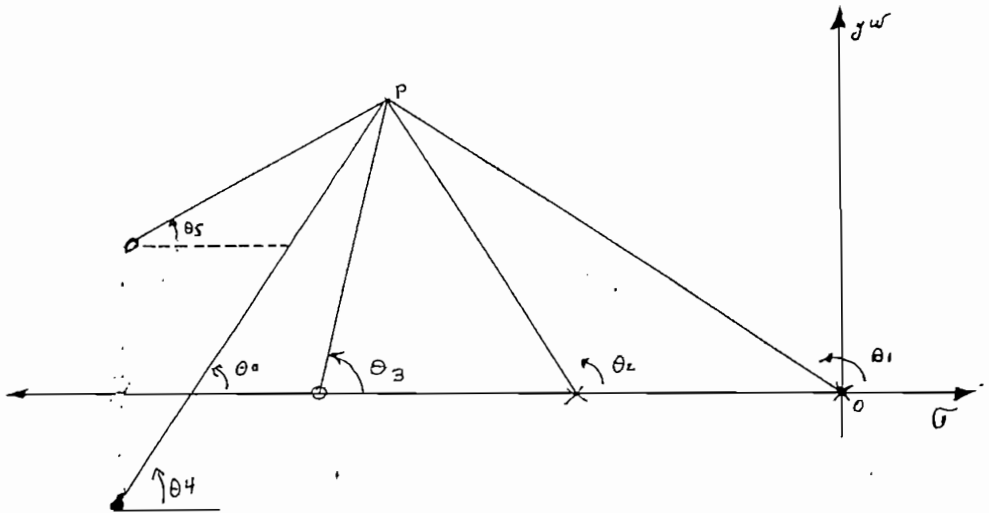
$$|Z| < |P| \quad (2.19)$$

La relación P/Z la escogeremos entre 3 y 10 que son valores aconsejados para una red compensadora como se dijo en 1.4.1.

2.3.1.- ALGORITMOS DE COMPENSACION EN ADELANTO.-

Partiremos del hecho de que se conoce el punto por donde se desea que pase el LGR, es obvio que asumiendo ese punto como un lugar de polos dominantes el sistema puede analizarse como uno de segundo orden.

Según la figura 2.14, para que un punto sea parte del LGR la suma de argumentos con los polos y ceros de lazo abierto deben dar un múltiplo de 180°



- P = punto evaluado
- O = ceros de lazo abierto
- X = polos de lazo abierto.

POLOS Y CEROS DE LAZO ABIERTO EN EL PLANO S

FIGURA 2.14

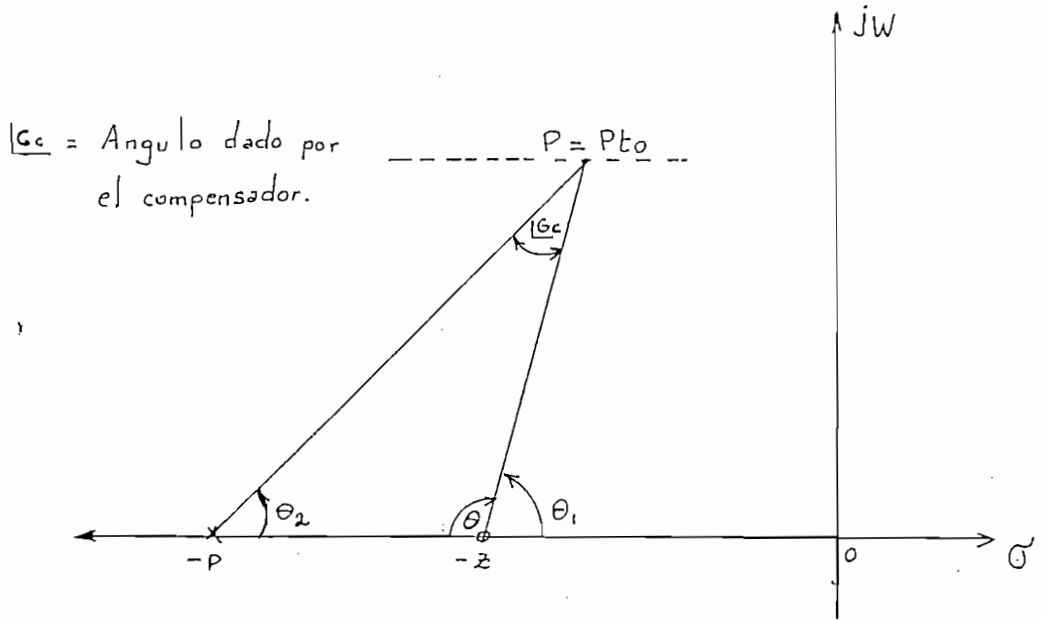
$$\sum \theta_i = \pm q \cdot 180^\circ \tag{2.20}$$

P es parte del LGR si: $-\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5 = \pm q \cdot 180^\circ$ (2.21)

$$q = 1, 2, \dots, n$$

Si la suma de argumentos es diferente a un múltiplo de 180°, significa que el punto no es parte del LGR por lo que, se requiere una red compensadora-

- que aporte con el ángulo necesario para dar cumplimiento a la ecuación (2.20). En la figura 2.15, observamos el ángulo con el que aportaría una red de adelanto.



ARGUMENTO DADO POR UNA RED COMPENSADORA EN ADELANTO

FIGURA 2.15

De la figura 2.15 se desprende lo siguiente:

$$\angle \text{Compensador} = \theta_1 - \theta_2 \quad (2.22)$$

$$\theta_1 = 180 - \theta \quad (2.23)$$

$$\angle G_c = 180 - (\theta_2 + \theta) \quad (2.24)$$

Introduciendo 2.23 y 2.24 en 2.22:

$$\angle \text{Compensador} = 180 - \theta - (180 - \theta - \angle G_c) \quad (2.25)$$

$$\angle \text{Compensador} = \angle G_c.$$

De la ecuación 2.22, puede desprenderse fácilmente $\theta_1 > \theta_2$ por lo que efectivamente el ángulo dado por el compensador es en adelanto o positivo.

Para escoger la cantidad de compensadores necesarios, se ha tomado en cuenta que el ángulo $\angle G_c$ no sea mayor de 70° que no rebace la horizontal sobre

-el punto P, evaluado como parte del LGR.

A manera de ejemplo si el ángulo necesario dado por el compensador es de 120° , entonces son necesarias dos redes compensadoras en cascadas, cada una aportará con 60° .

A continuación se detallan los pasos a seguirse para compensar en adelanto

- 1.- De las especificaciones dadas, se determina la localización deseada de los polos dominantes de lazo cerrado.
- 2.- Según el ángulo necesario que será dado por el compensador, se evalúa el número de compensadores en cascada que cumplen con lo pedido.
- 3.- De acuerdo al ángulo determinado para el compensador, se ubica el polo y cero.

El cero en lo posible irá directamente bajo el punto P, por donde pasará el LGR.

- 4.- Se verifica si existen al menos dos singularidades (polos o ceros) a la derecha del cero del compensador, caso contrario se recalculan el polo y cero.

Luego se vuelve al punto dos.

- 5.- La relación polo cero debe estar dentro de algún rango, caso contrario reubicamos el cero más hacia la izquierda y volvemos al punto 3. (Ver figura 2.15).

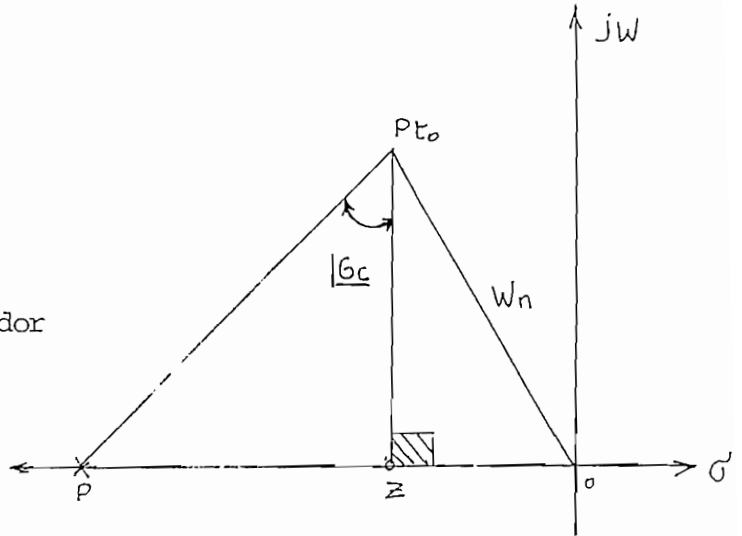
- 6.- Con los nuevos polos y ceros calculamos la ganancia del sistema y la que debe dar el compensador.

- 7.- Se calcula la constante de error, si cumple lo pedido, está listo, caso contrario aumentamos el valor de la frecuencia no amortiguada (ω_n) un porcentaje y volvemos al punto 1, esto se hace por un número fijo de iteraciones, luego de ello se concluye que se necesita un compensador en atraso.

P = pto deseado como parte del LGR

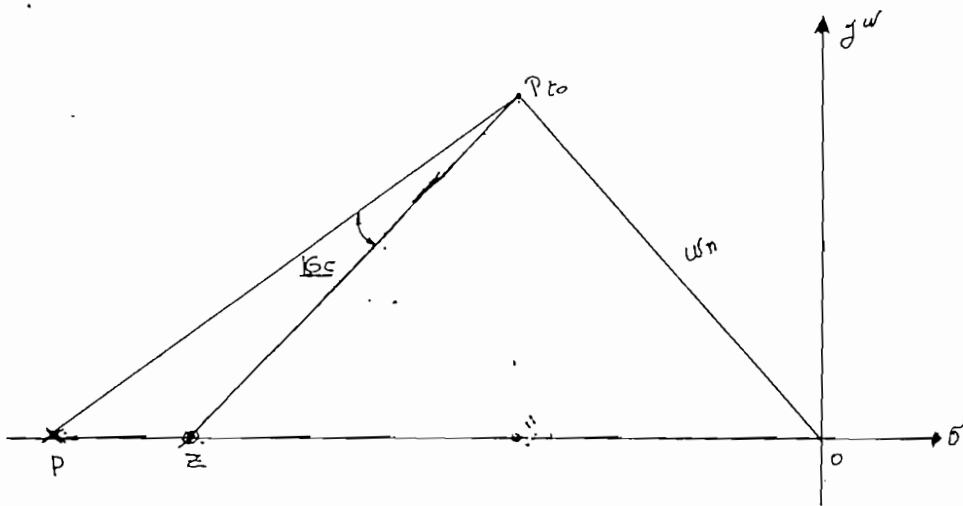
G_c = ángulo necesario para que P cumpla con el LGR.

P, Z = Polo y cero respectivos del compensador



RELACION P/Z CUMPLE UN RANGO ESPECIFICO DIRECTAMENTE.

(a)



RELACION POLO / CERO AL REUBICAR Z

(b) FIGURA 2.15

En la figura 2.17, tenemos un flujo grama de los pasos a seguirse para compensar en adelante.

Vale anotar que en el punto 4, se busca tener dos singularidades al menos a la derecha del cero de un compensador para asegurarnos que el punto escogido como parte del LGR sea uno de raíces dominantes.

En cuanto a la relación polo cero se ha llegado a determinar como ya se dijo en 1.4.1 que se tiene una buena respuesta cuando:

P/Z está entre 3 y 10.

Una manera de incrementar la relación polo cero es aumentando el cero en módulo puesto que, el ángulo determinado por el compensador es constante el polo se desplaza mucho más rápido a la izquierda con lo que se logra fácilmente un aumento de P/Z .

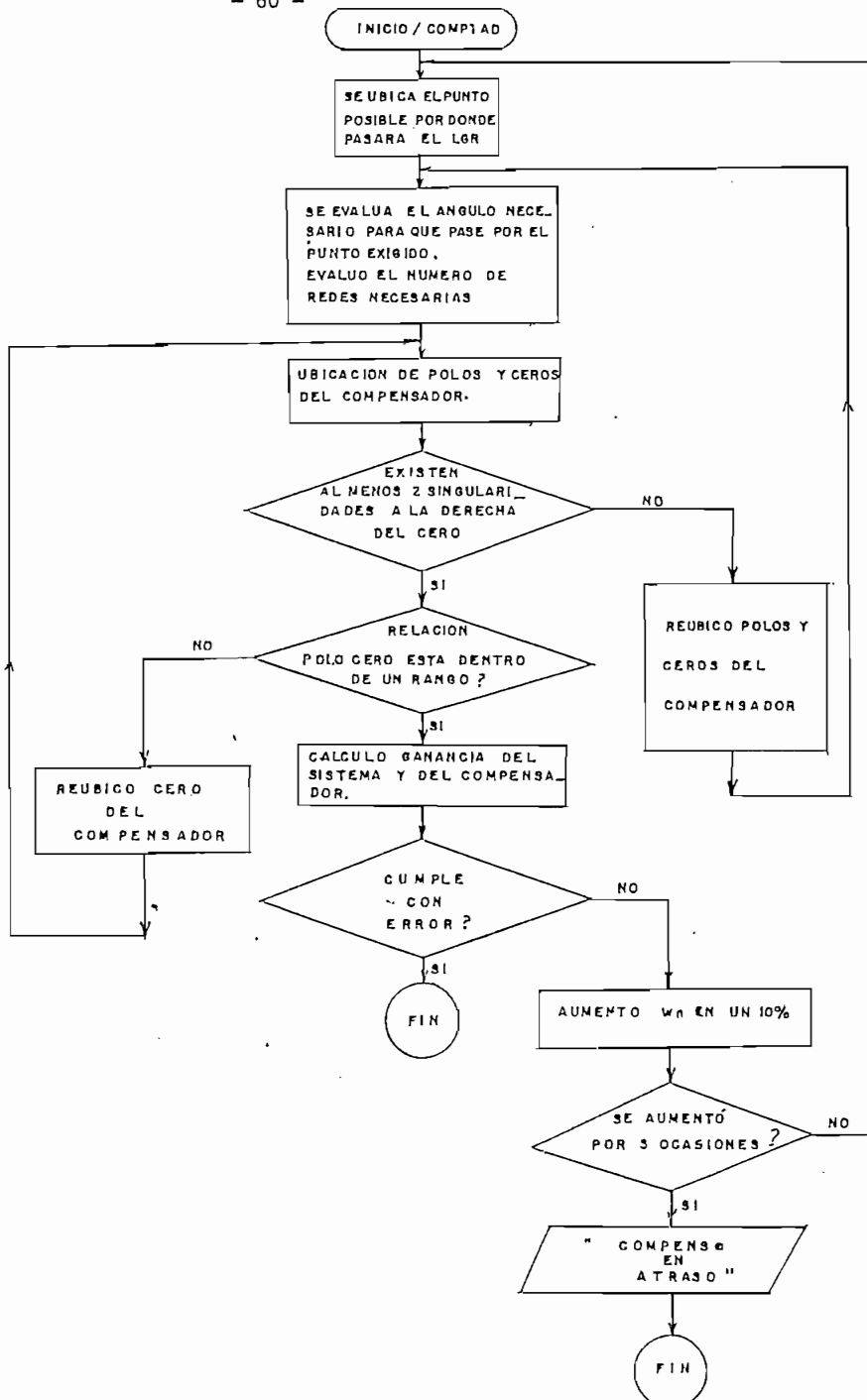
Concluimos que aumentado el valor de distancias del punto P a cada singularidad como se ve en la figura 2.18, se puede aumentar el valor de ganancia con lo que se disminuye el error de un sistema de acuerdo a la tabla 1.1.

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G.H \quad (2.26)$$

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G \cdot H. \quad (2.27)$$

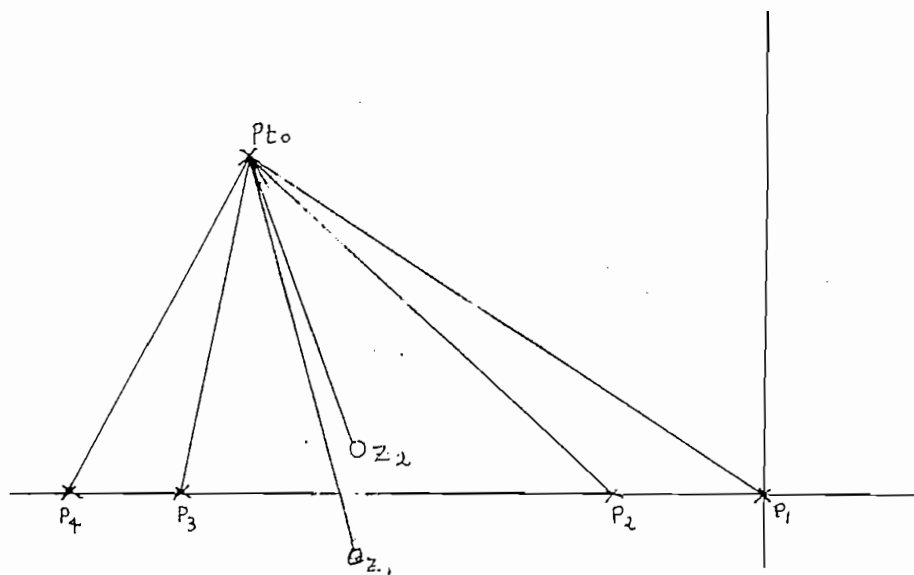
$$K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 \cdot G \cdot H. \quad (2.28)$$

Se nota que K_p , K_v , K_a , son directamente proporcionales a la ganancia y obviamente el error de un sistema inversamente proporcional a estas constantes de error.



COMPENSACION EN ADELANTO

FIGURA 2.17



DISTANCIA DEL PTO. P A CADA SINGULARIDAD

FIGURA 2.18

Para que P, sea parte del LGR debe cumplir con al ecuación (1.3) o sea:

$$G(s) \cdot H(s) = -1 \quad (2.29)$$

LO que implica: $G(s) \cdot H(s) = 1$ (2.30)

$$\angle G(s) \cdot H(s) = \pm n \cdot 180^\circ \quad (2.31)$$

Se sabe que G.H, es una función según 1.1:

$$G.H. = \frac{K1 (S+Z1) (S+Z2) \dots (S+Zm)}{(S+P1) (S+P2) \dots (S+Pn)} \quad m \leq n \quad (2.32)$$

Donde: K1 = ganancia de la planta:

zi, pi = polos y ceros del lazo abierto.

Se concluye:

$$K1 \cdot \frac{|(S+Z1)| \cdot |(S+Z2)|}{|(S+P1)| \cdot |(S+P2)| \cdot |(S+P3)| \cdot |(S+P4)|} = 1 \quad (2.33)$$

$$K1 = \frac{|(PP1)| \cdot |(PP2)| \cdot |(PP3)| \cdot |(PP4)|}{|(PZ1)| \cdot |(PZ2)|} \quad (2.34)$$

Así pues aumentando la distancia OP, se aumentará el valor de K_1 , consiguiendo así disminuir el error.

2.3.2.- EJEMPLOS DE LA COMPENSACION EN ADELANTO. ...

EJEMPLO 2.5:

Sea el sistema que se muestra en la figura 2.19.

La función de transferencia de la planta es: $4/s(s+2)$

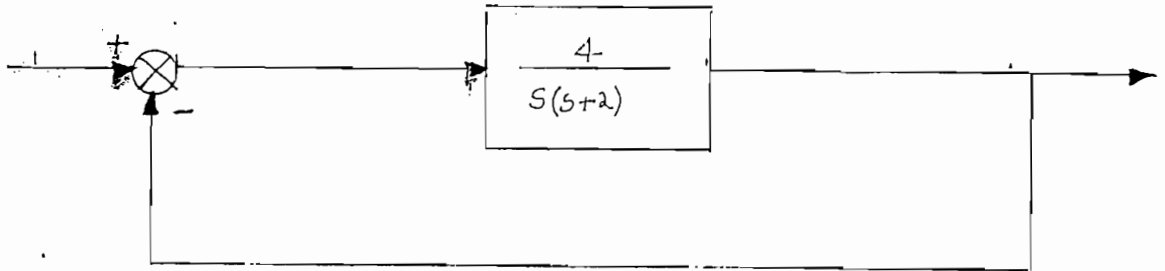


FIGURA 2.19

Se desea cumplir con:

Frecuencia no amortiguada: $4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

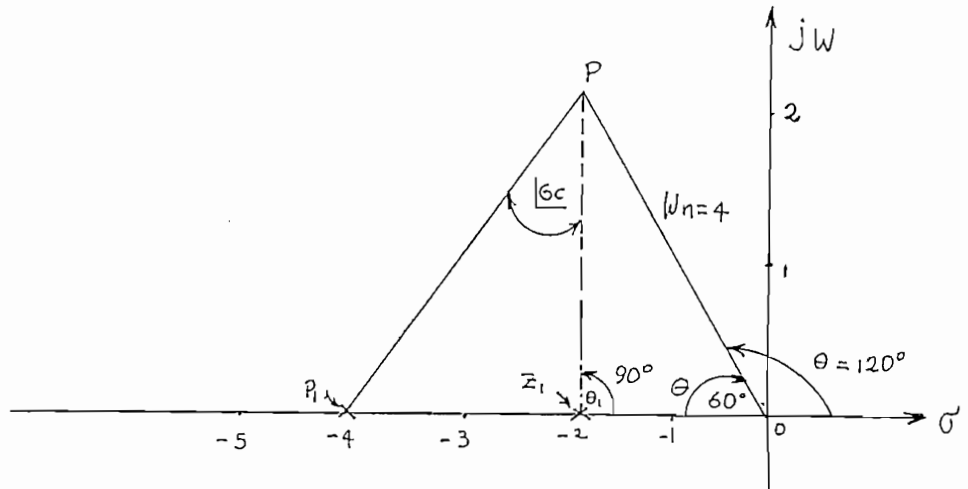
Factor de amortiguamiento: 0.5

Solución:

Se calculará el ángulo dado por el compensador, para que el punto

P: $\zeta = 0.5$

$\omega_n = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, Sea parte del LGR.



UBICACION DE POLOS DEL SISTEMA

FIGURA 2.20

De la figura 2.19, se desprende:

$$-\theta_1 - \theta_2 + |G_c| = \pm n \cdot 180^\circ$$

$$|G_c| = \pm n \cdot 180^\circ + \theta_1 + \theta_2$$

$$= \pm n \cdot 180^\circ + 90^\circ + 120^\circ$$

$$= \pm 180^\circ + 210^\circ$$

$$|G_c| = 30^\circ \quad (\text{ángulo dado por el compensador}).$$

En primera instancia al ubicar el cero (Z_1), directamente debajo del punto P buscando como parte del LGR se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} Z_1 = -2 \\ P_1 = -4 \end{array} \right\} \text{cuya relación } \frac{P_1}{Z_1} = 2 \text{ que no está dentro del} \\ \text{rango 3 a 10.}$$

Por lo que, se vuelve a recalcular moviéndolo el cero hacia la izquierda.

Se obtiene una solución valedera con:

$$Z_1 = -6$$

$$P_1/Z_1 = 3.66$$

$$P_1 = -22$$

Consiguiendo que, efectivamente el LGR pase por el punto deseado.

En la figura 2.22 se dispone del LGR del sistema compensado.

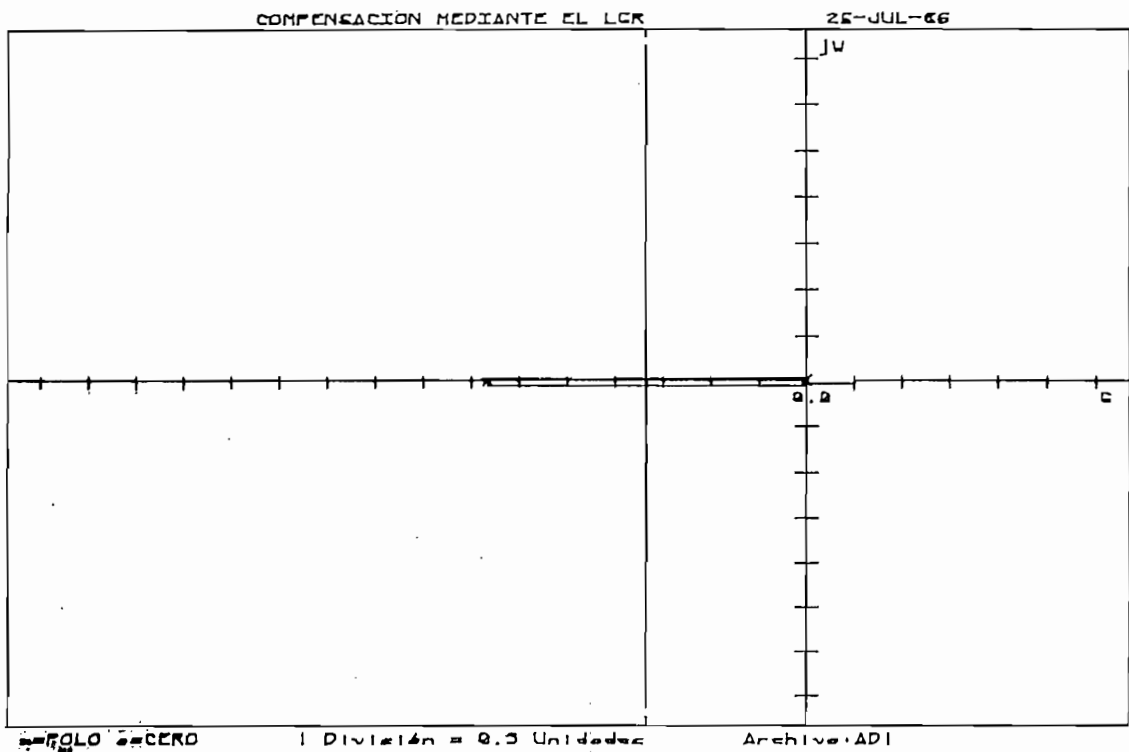
Efectivamente el punto P cumple con:

$$\xi = 0.5$$

$$\omega_n = 3.99 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

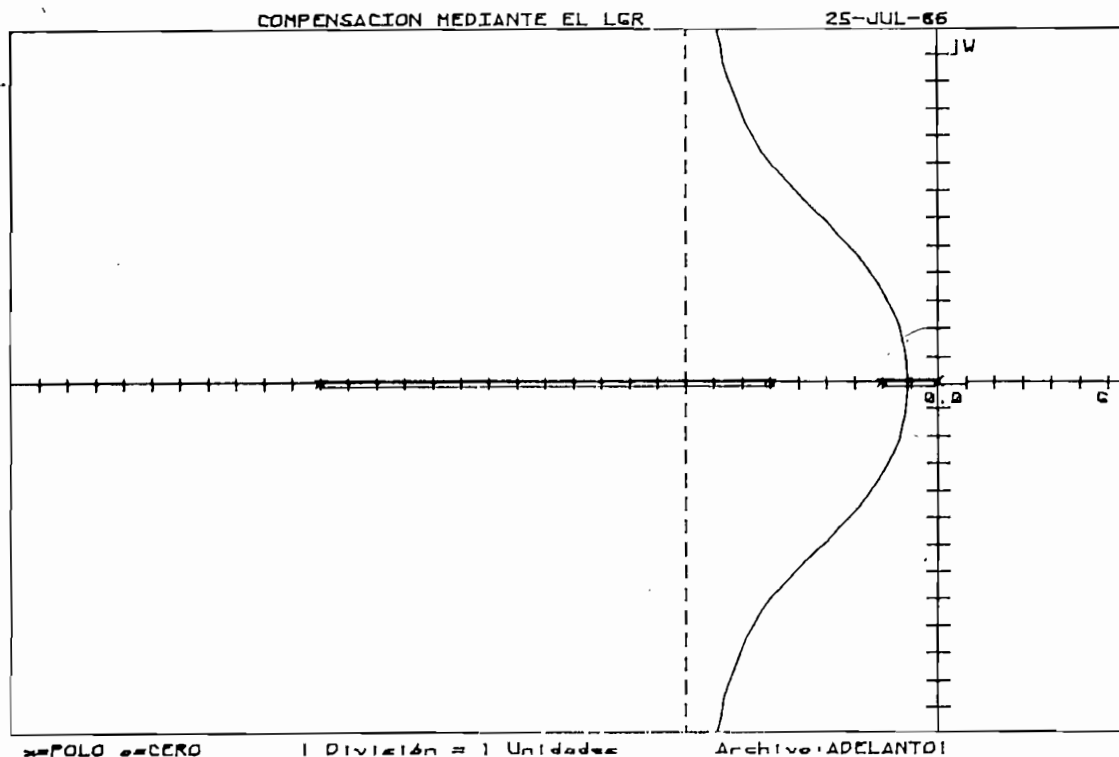
$$T_s = 2 \text{ (s)}$$

La figura 2.21 muestra el LGR no compensado.



LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES DEL SISTEMA NO COMPENSADO

FIGURA 2.21



LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES DEL SISTEMA

COMPENSADO

Ejemplo 2.6:

FIGURA 2.22

Se dispone de un sistema con realimentación unitaria, cuya planta tiene una función de transferencia:

$$F(s) = 1/s^2$$

Se busca mejorar la respuesta del sistema, además, de estabilizarlo.

Las condiciones pedidas son:

Tiempo de estabilización: $T_s \leq 1$ (s)

Porcentaje de sobretiro $< 30\%$ $\zeta = 0.7$ o $\theta = 45^\circ$

Con

$$T_s = 4/(\zeta \cdot \omega_n)$$

$$\omega_n = 5.6 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

El posible punto por el que pasará el LGR será:

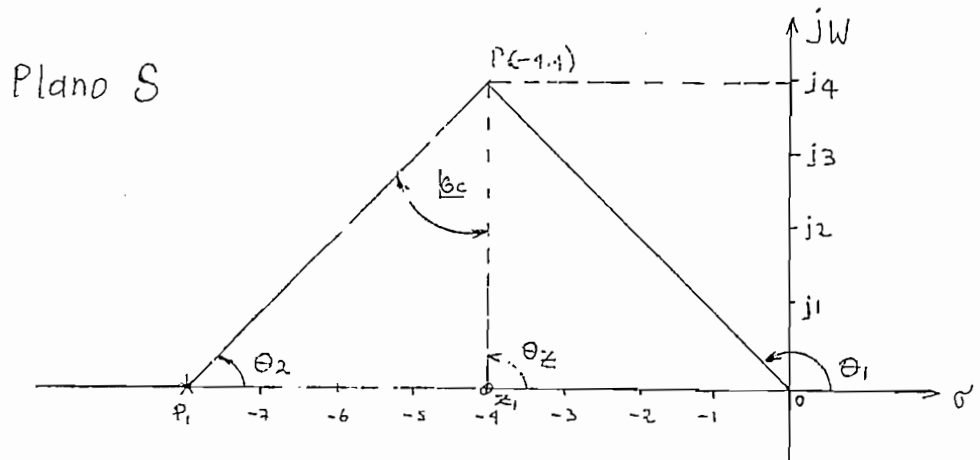
$$X_4 = -\omega_n \cos \theta = -4$$

$$Y_4 = \omega_n \sin \theta = 4$$

Se ubica el cero directamente debajo del punto P, por lo que:

$$\text{Cero : } Z_1 = X_4 = -4$$

Luego se determinará el ángulo dado por el compensador:



UBICACION DEL POLO Y CERO DEL COMPENSADOR.

FIGURA 2.23

En la figura 2.23, se dispone los polos y ceros de lazo abierto del sistema, incluyendo la red de adelanto.

Para que sea parte del LGR el punto P, debe cumplir:

$$-\theta_1 - \theta_1 + \theta_z - \theta_p = \pm n \cdot 180^\circ$$

$$\theta_z - \theta_p = |G_c|$$

$$-\theta_1 - \theta_1 + |G_c| = \pm n \cdot 180^\circ$$

$$|G_c| = 90^\circ$$

Se requiere más de una red compensadora:

Si $|G_c| = 45^\circ$, se requieren dos redes en adelanto con lo cual se puede determinar el polo P_1 :

$$P_1 = -\text{Tg } |G_c| \cdot Y_4 + X_4 = -8$$

La relación polo cero es:

$$\alpha = \frac{P1}{Z1} = \frac{-8}{-4} = 2$$

Puesto que, α debe estar entre 3 y 10 se mueve el cero 1.1 veces a su izquierda hasta encontrar una relación aceptable.

Z1	P1	$= \frac{P1}{Z1}$	Observaciones
- 4	- 8	2	-
- 4.8	- 10	2.08	-
- 5.76	- 14.28	2.48	-
- 6.91	- 29.41	4.25	Válido

Así el compensador será de la forma:

$$G_C(s) = K_C^2 \frac{(s + 6.91)^2}{(s + 29.41)^2}$$

La ganancia en P (-4,4) es: 1108.69

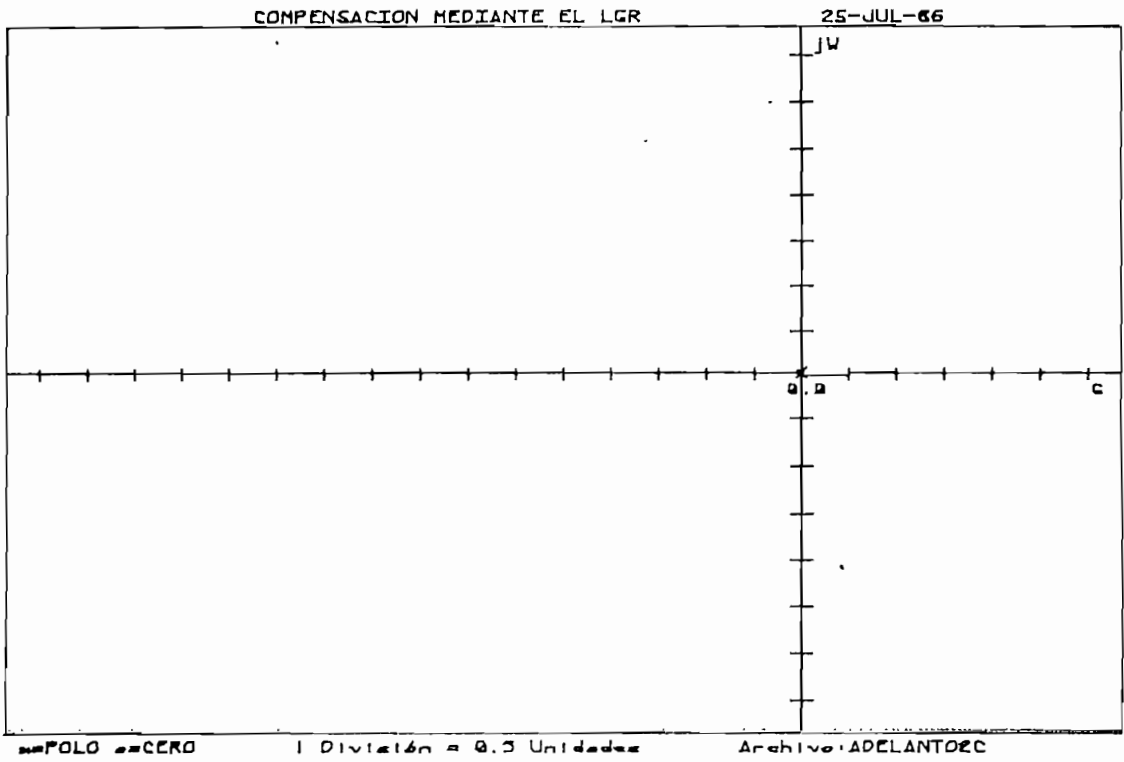
Que será determinada por las dos redes, que para el caso:

$$K_C = 33.3$$

Conclusión: se tienen dos redes en cascada cuya función de transferencia de cada red es:

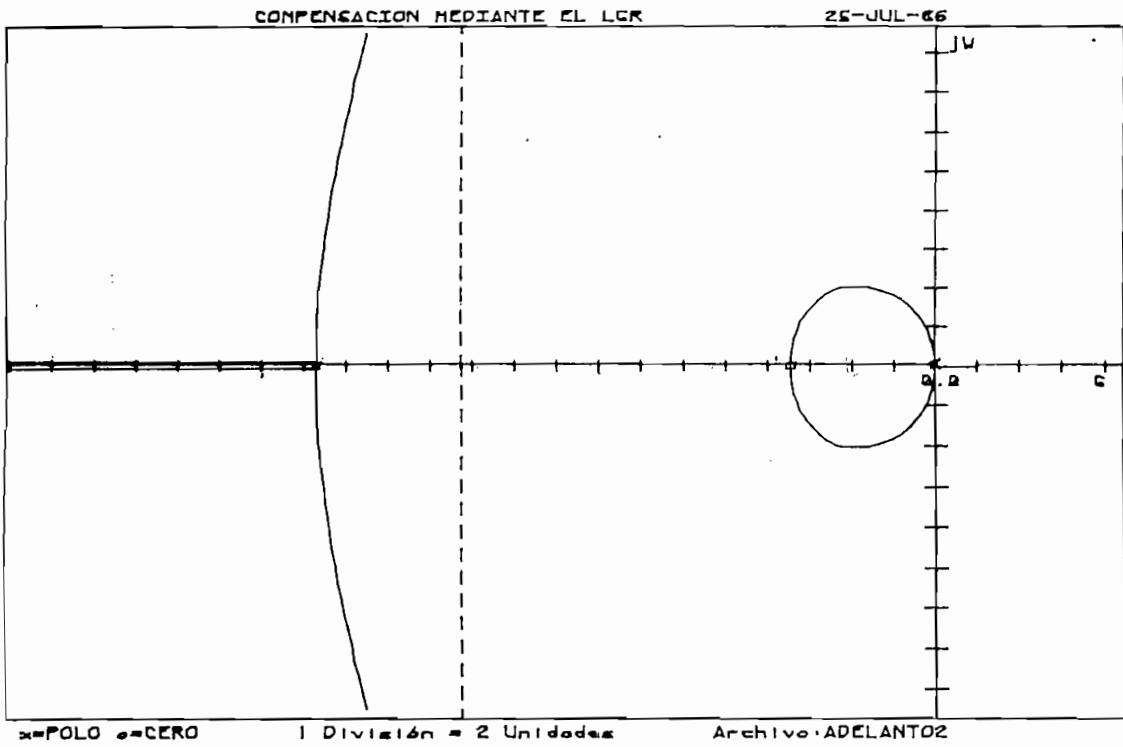
$$G_C(s) = 33.3 \frac{s + 6.91}{s + 29.41}$$

EL LRG del sistema compensado se muestra en la figura 2.24.a. Y en la 2.24.b. el no compensado.



LGR NO COMPENSADO DEL SISTEMA

(a)



LGR COMPENSADO DEL SISTEMA

(b)

2.4.- COMPENSACION EN ATRASO.-

Cuando un sistema de control realimentado cumple con el tiempo de estabilización y el sobretiro y, sólo requiere ser compensado o mejorar su respuesta de estado estable, entonces se habla de "compensar en atraso", - esta red obviamente tiene la cualidad de dar un defasaje contrario al compensador en adelanto.

Si bien, la base de este tipo de compensador es no alterar el LRG, lo que se busca es ubicar un polo y cero muy cercanos del origen del plano S.

La red de compensación a ser realizada se ubicará en el lazo directo o sea en cascada a la planta como lo indica la figura 2.13.

La ecuación general de una red compensadora lo señala la ecuación 2.-18, la cual repetimos.

$$G_c(s) = K_c \frac{S + Z}{S + P} \quad (2.35)$$

K_c = Ganancia dada por el compensador

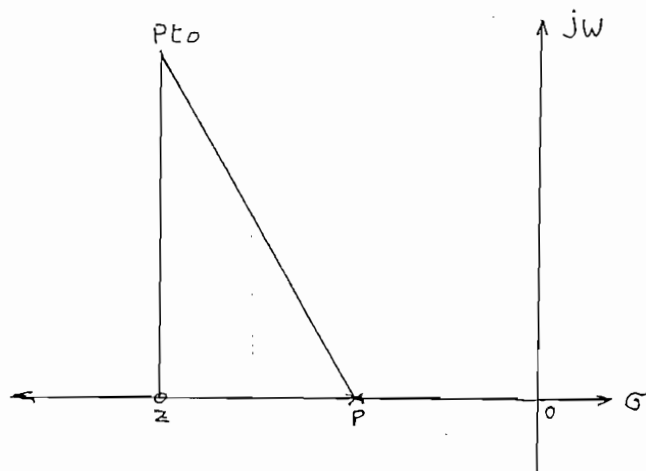
$-Z$ = Cero del compensador

$-P$ = Polo del compensador

Donde : $|Z| > |P|$

En la figura 2.25 se tiene el polo y cero de esta red en el plano S.

La relación $|Z|/|P|$ la escogemos entre 3 y 10 que son valores que se ajustan a comportamientos o respuestas aceptables del sistema.



POLO Y CERO DEL COMPENSADOR EN ATRASO

FIGURA 2.25

2.4.1.- ALGORITMO DE COMPENSACIÓN EN ATRASO

Puesto que, con el compensador en atraso lo que se busca es mejorar la respuesta de estado estable, veamos como puede lograrse ello.

Un sistema de control realimentado debe cumplir con la ecuación (1.3)- o sea:

$$G(s) \cdot H(s) = -1 \tag{2.36}$$

Asi el sistema con compensador tendrá la forma:

$$G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s) = -1 \tag{2.37}$$

Se deduce de las ecuaciones de constantes de error (2.26), (2.27) y (2.28) que, básicamente la función de la planta y realimentación, $G(s)$ y $H(s)$ respectivamente no se alteran al ser evaluados en: $s = 0$, por lo que, para aumentar estas constantes en valor, debe aumentarse el aporte dado por $G_c(s)$ evaluado en $s = 0$

$$\lim_{s \rightarrow 0} Gc(s) = \lim_{s \rightarrow 0} Kc' \frac{S + Z}{S + P} \quad (2.38)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} Gc(s) = Kc' \frac{Z}{P} \quad (2.39)$$

Donde comparando con la ecuación (1.51) se determina.

$$Kc' = \frac{Kc}{\alpha} \quad (2.42) \quad Z = -1/\tau \quad (2.40)$$

$$\alpha > 1 \quad P = -1/\alpha \cdot \tau \quad (2.41)$$

Si no deseamos que se altere el LRG, se puede poner el polo y cero tan cerca del origen del plano S, que prácticamente $|Z| \approx |P|$ la relación polo cero nos daría el valor:

$$\frac{Z}{P} = \alpha \quad (2.43)$$

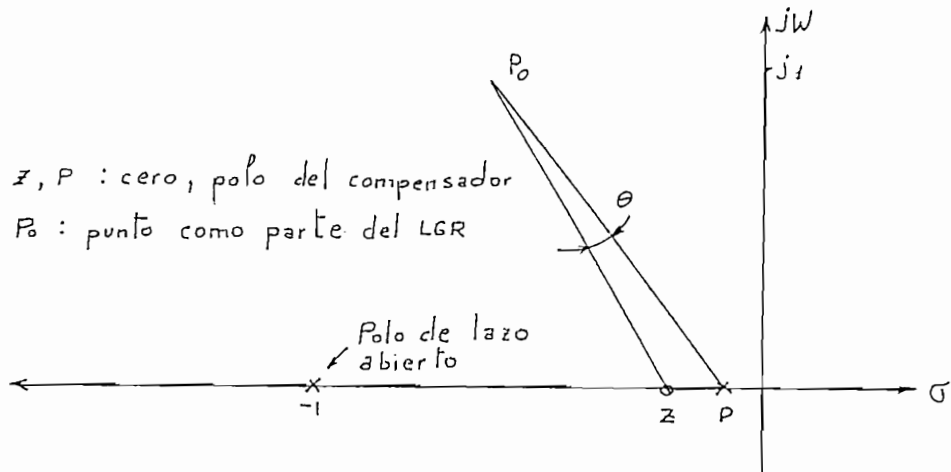
Como ya se explicó en 1.4.2. se escoge α entre 3 y 10.

Un incremento de la constante de error implica que se debe aumentar la ganancia dada por el compensador pues, de las ecuaciones (2,39) y (2.42) se desprende que:

$$\lim_{s \rightarrow 0} Gc(s) = Kc$$

El aumento de la constante de error depende directamente de Kc.

En la figura (2.26) disponemos los polos y ceros de un sistema de control.



POLO Y CERO DE UN COMPENSADOR EN ATRASO

FIGURA 2.26

Puede tomarse en la figura 2.25, que el cero y polo están muy cercanos por lo que, el ángulo aportado θ como parte del LGR es muy despreciable y - el LRG original prácticamente no se altera.

Un criterio para seleccionar el cero (Z) es tomando el polo o cero reales de lazo abierto de la función no compensada, más cercano al origen y se toma $1/10$ parte de la misma y allí irá el cero (Z) y obviamente el polo (P) irá a $\frac{1}{\alpha}$ veces el valor del cero.

$$P = Z/\alpha \quad (2.44)$$

Se calcula el ángulo θ aportado por Z y P si es menor a 3° se puede considerar que el LGR inicial es el mismo que el compensado, caso contrario se reduce el valor del cero. Resumiendo los pasos a seguir son los siguientes:

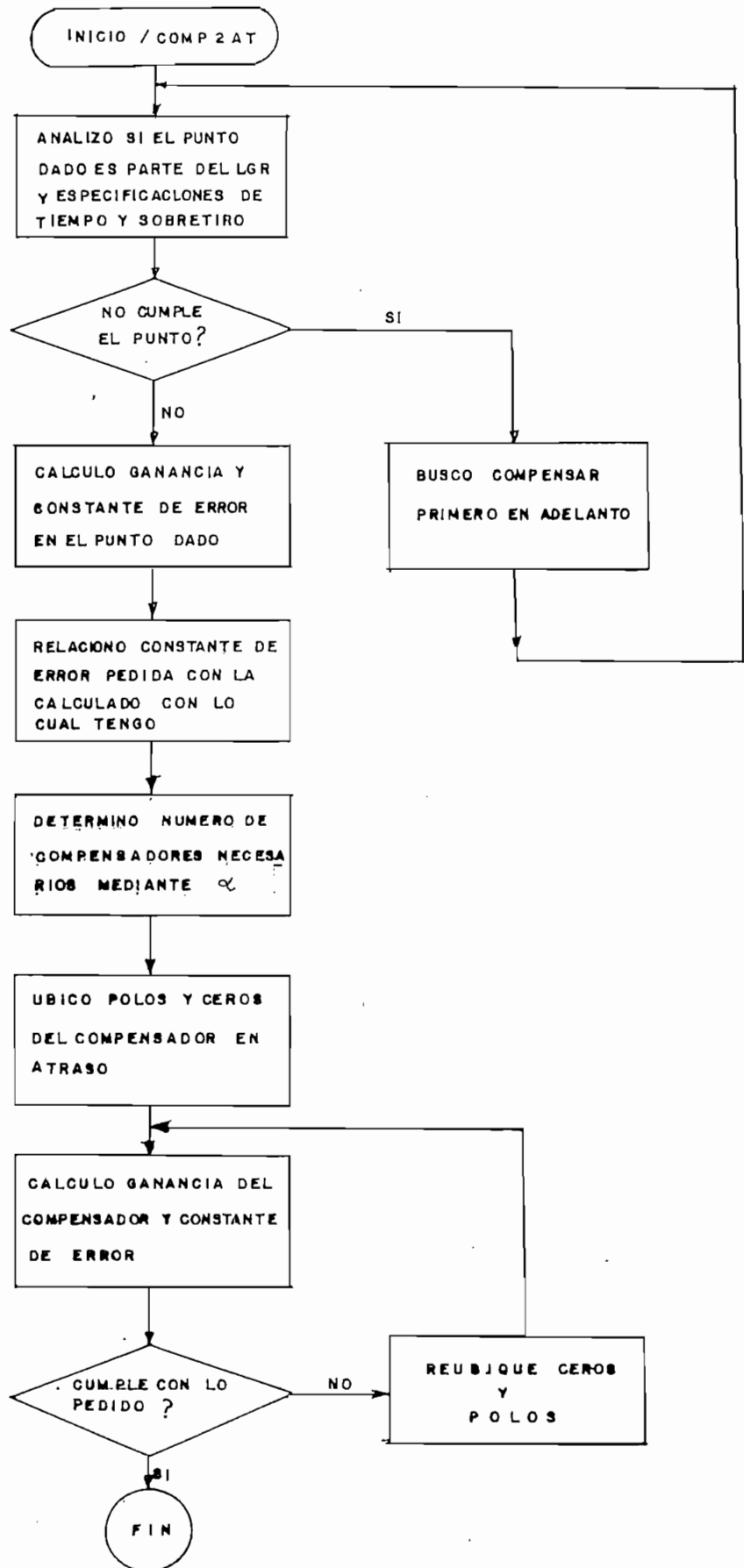
- 1.- Determinar si el punto dado a evaluar es parte del lugar geométrico de las raíces o, si cumple con especificaciones de tiempo de estabilización y sobretiro caso contrario primero debe compensarse en adelante.
- 2.- Se calcula la ganancia en la localización deseada de las raíces y por

ende la constante de error del sistema.

- 3.- Se relaciona la constante de error compensada deseada con la que se tiene actualmente, determinandose así: el valor de α
- 4.- Con el valor de α se determina el número de compensadores necesarios, se estará en un rango de 3 a 10.
- 5.- Se escoge el valor del cero del compensador lo más cercano al origen de tal modo que, el LRG prácticamente no se vea afectado.
- 6.- Si el valor existente como aporte del polo y cero, ángulo θ , es menor a 3° como se indica en la figura 2.26, entonces está listo, caso contrario, se reubica el cero más cerca del origen y así sucesivamente.

En la figura 2.27 tenemos un diagrama de flujo de los pasos a seguirse hasta compensar en atraso.

Este tipo de compensador prácticamente es un filtro pasa bajo, por lo que, la compensación en retardo permite una ganancia elevada a bajas frecuencias lo que hace mejorar el estado estacionario.



FLUJO - GRAMA COMPENSADOR EN ATRASO

.FIGURA 2.27

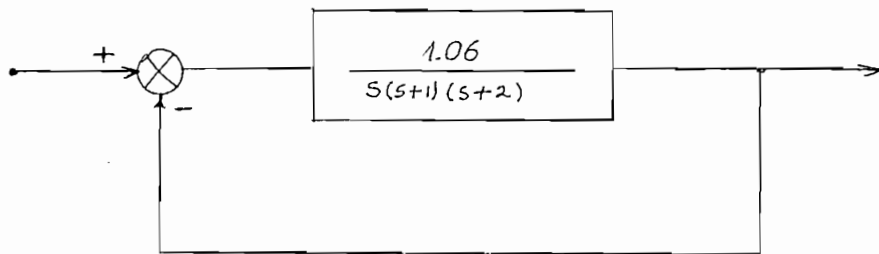
2.4.2.- EJEMPLOS DE COMPENSACION EN ATRASO.

Se partirá de que el punto a evaluarse es parte del LRG y si cumple con tiempos de estabilización y sobretiro; pero, se desea mejorar el error de estado estacionario.

EJEMPLO: 2.7

Se dispone de un sistema realimentado como el que se tiene en la figura 2.28, cuya función de transferencia de la planta es:

$$G(s) = \frac{1.06}{s(s+1)(s+2)}$$



SISTEMA DE CONTROL A SER COMPENSADO

Figura 2.28

Por otro lado, del LRG se tiene que, para un factor de amortiguamiento $\zeta = 0.5$, la frecuencia natural no amortiguada de los polos dominantes de lazo cerrado es $0.67 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Como puede notarse en la figura 2.29

El coeficiente estático de error de velocidad K_v es $0.53 [s^{-1}]$ y se desea incrementar el mismo a $5 (s^{-1})$

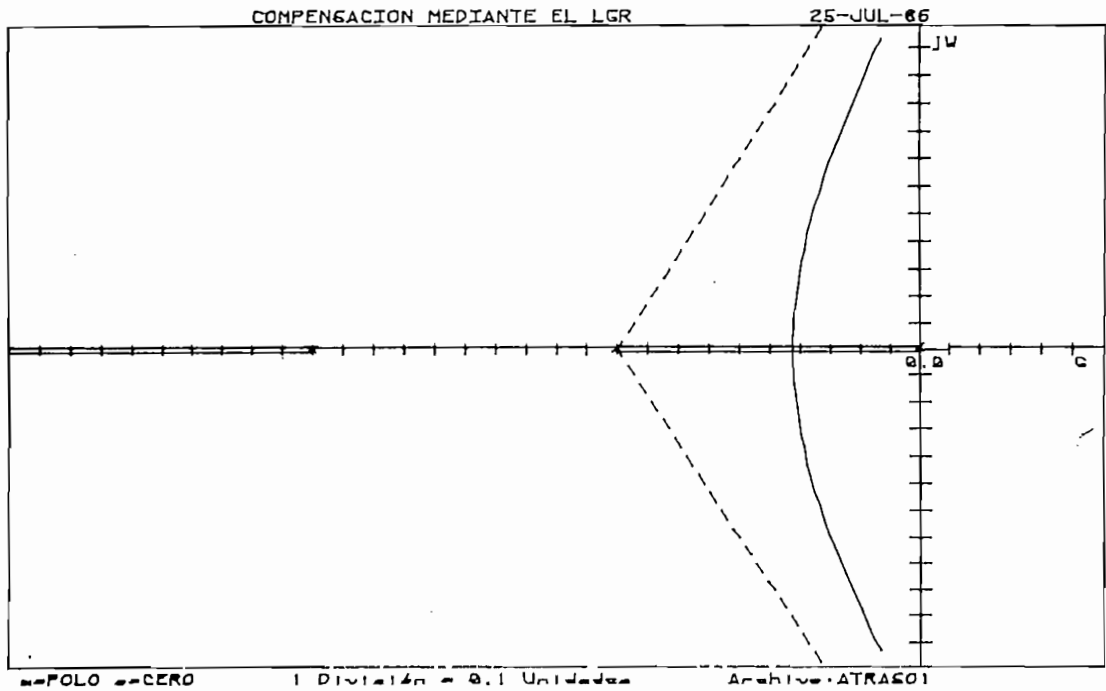


FIGURA 2.29

Solución:

$$K_v = 0.53$$

$$K_v \text{ compensado} = K_{vc} = 5$$

$$\frac{K_{vc}}{K_v} = \frac{5}{0.53} = 9.43$$

$$\text{Así pues escojo } \alpha = 10$$

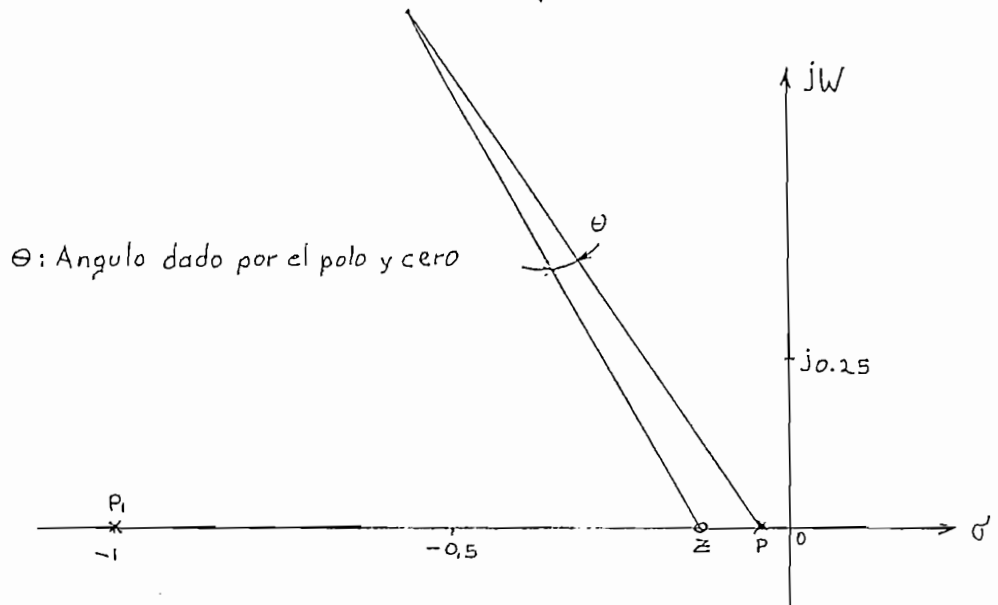
Se ubica el cero a 1/10 parte del polo de lazo abierto más cercano al origen

En este caso $P_1 = 1 + j\omega$

$$\text{Cero del compensador : } Z = \frac{-1}{10}$$

$$\text{Polo del compensador: } -Z = \frac{-1}{100}$$

En la figura 2.30, se encuentra ubicado el polo y cero del compensador en atraso.



θ : Angulo dado por el polo y cero

P₁ = Polo de lazo cerrado más cercano al origen

P = Polo del compensador atraso

Z = Cero del compensador atraso.

LOCALIZACION DEL POLO Y CERO DEL COMPENSADOR EN ATRASO

FIGURA 2.30

En este caso θ que es el ángulo con que aporta el compensador vale 7.2° , - por lo que se reduce el cero.

$$Z = \frac{-1}{20}, \text{ Teniendo } P = \frac{-1}{200}$$

Y el nuevo ángulo θ sería 3.5°

Reduzco nuevamente $Z = \frac{-1}{40}$, $P = \frac{-1}{400}$ y θ sería: 1.71°

Lo cual, estaría dentro de un valor que no alteraría el LRG original.

Finalmente el compensador es atraso es:

$$G_c(s) = \frac{K_c}{10} \frac{s + 0.025}{s + 0.0025} \quad (2.45)$$

La red completa de lazo abierto sería:

$$G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s) = \frac{K_c (s + 0.25)}{10 (s + 0.0025)} \frac{1.06}{s(s + 1)(s + 2)} \quad (2.46)$$

Para calcular K_c se evalúa: $\left| G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s) \right|_{s = -0.33 + j 0.58} = 1$

Por lo tanto, $K_c = 9.7$, con lo cual el compensador es de la forma:

$$G_c(s) = \frac{9.7}{10} \frac{s + 0.025}{s + 0.0025} \approx \frac{s + 0.025}{s + 0.0025} \quad (2.47)$$

El sistema de control de lazo abierto queda como:

$$G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s) = \frac{s + 0.025}{s + 0.0025} \frac{K \cdot 1.06}{s(s + 1)(s + 2)} \quad (2.48)$$

El constante de velocidad es:

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.025}{0.0025} \frac{K \cdot 1.06}{2}$$

Compensador
Inicial

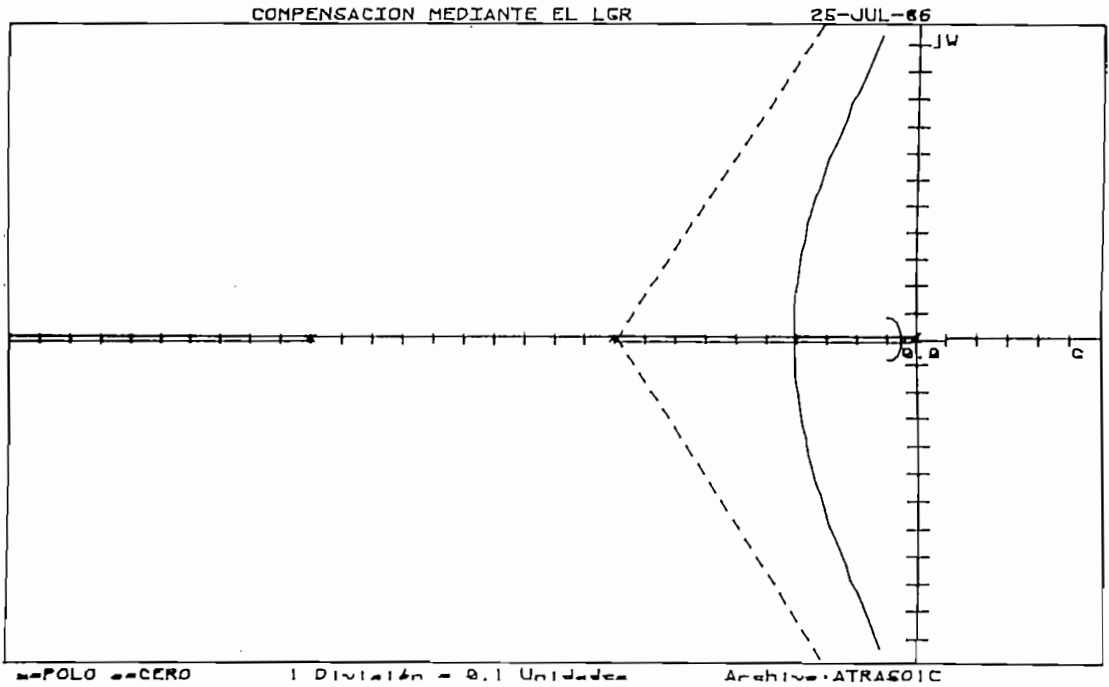
Se nota que la constante K_v se aumenta en un factor de 10, en relación al sistema no compensado, consiguiendo que:

$$\zeta = 0.5$$

$$\omega_n = 0.67$$

$$K_v \text{ será } = 5.3 [s^{-1}]$$

En la figura 2.31 se tiene el LRG de sistema compensado.



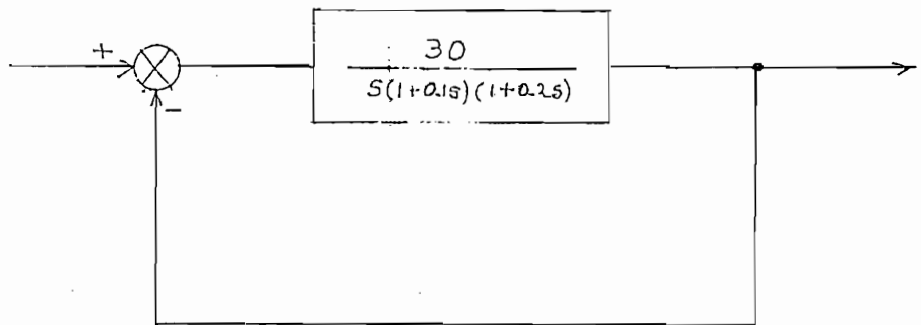
LGR COMPENSADO
FIGURA 2.31

EJEMPLO 2.8:

Se considera una planta $G(s) = \frac{30}{s(1+0.1s)(1+0.2s)}$

con realimentación unitaria como la figura 2.32, se espera conseguir especi-
ficación de constante de error de velocidad de 100 s^{-1} siendo las carac-

terísticas: $\omega_n = 3.39 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
 $\zeta = 0.40$



SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 2.37

Solución:

El punto dado:

$$X_4 = -\xi \cdot \omega_n = -1.35$$

$$Y_4 = \omega_n \cdot \sin(\cos^{-1} \xi) = 3.1$$

es parte del LRG

La constante de error en ese punto es:

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G(s) \cdot H(s) = 2.96$$

$$s \rightarrow 0$$

se pide:

$$K_v \text{ compensado} = 100$$

Se determina la cantidad de compensadores necesarios:

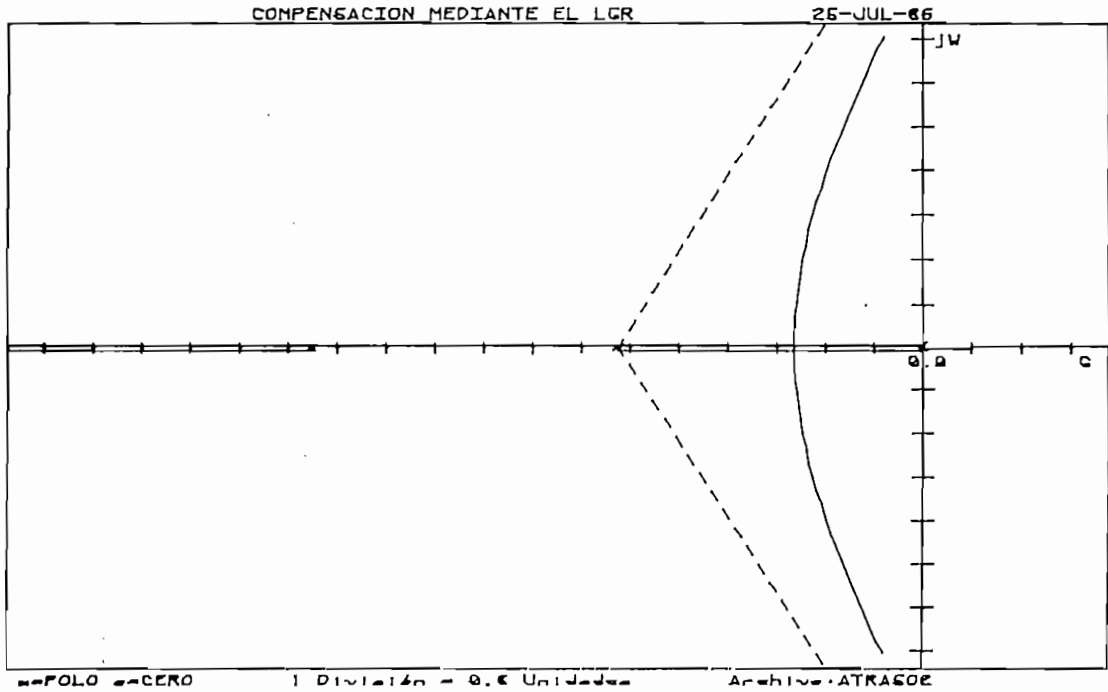
$$K_7 = \frac{K_v \text{ compen}}{K_v} = \frac{100}{2.96} = 33.75$$

Para este caso por lo que se aumenta a dos redes compensadoras:

$$K_7 = 33.75 = 5.8$$

Con $\alpha = 7$ y dos redes en cascada se puede lograr el objetivo pedido.

En la figura 2.33 se dispone del LGR no compensado en donde se aprecian algunos valores.



LGR NO COMPENSADO

FIGURA 2.33

Para ubicar el cero:

$$z1 = 0.1 \cdot (5) = 0.5$$

El polo:
$$p1 = \frac{z1}{\infty} = \frac{0.5}{7} = 0.0714$$

El aporte dado por este dipolo en cuanto al ángulo es de 7°. Para mejorar el LGR se disminuye el cero como lo indica la Tabla 2.4

z1	p1	Angulo dado por la red	Observaciones
-0.5	0.0714	7°	-
-0.25	0.035	3.45°	-
-0.125	0.0179	1.69°	Aceptable

TABLA 2.4

Entonces la red compensadora será:

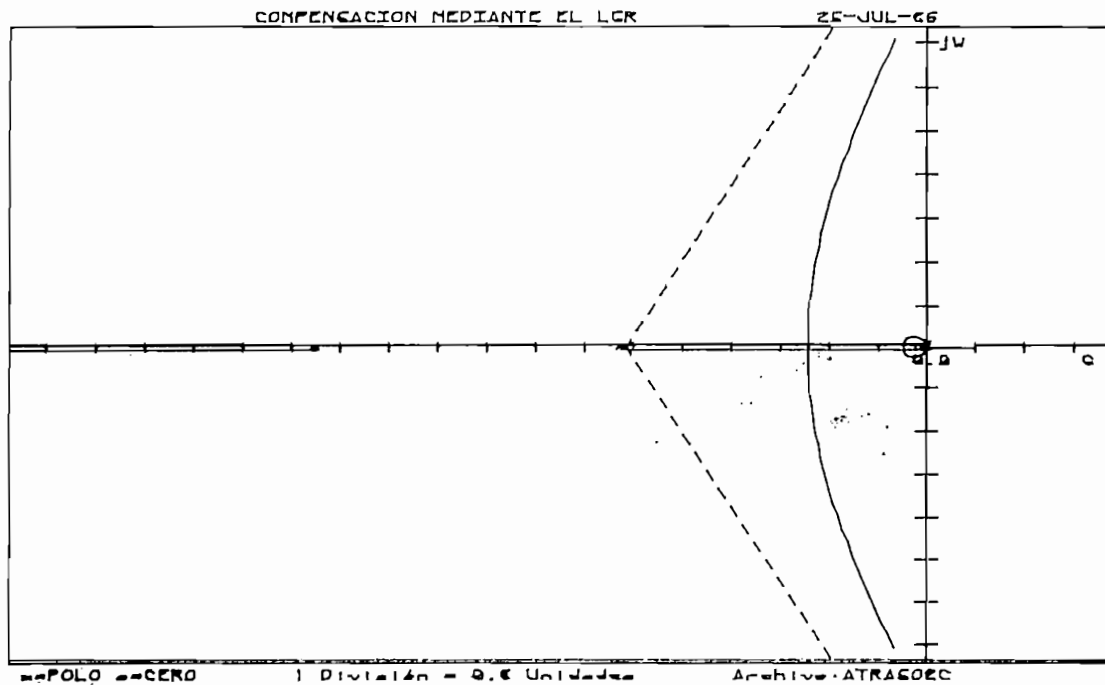
$$G_c(s) = \frac{(s + 0.125)^2}{(s + 0.0179)^2}$$

Con lo cual la constante de error es:

$$K_v \text{ compensado} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s) = 144.34 \text{ s}^{-1}$$

que da un error de estado estable más pequeño de lo pedido.

En la figura 2.34 se presenta el LRG del sistema compensado.



LRG COMPENSADO DEL SISTEMA

FIGURA 2.34

2.5.- COMPENSACION EN ADELANTO - ATRASO.

Una de las características de esta forma de compensar es el aumento en el ancho de banda que hace mejorar la velocidad de respuesta y reducir el valor del sobretiro, todo esto como efecto de una parte de un compensador en adelanto, además, de una mejora en régimen de estado estable como efecto de la parte del compensador en atraso.

Por lo que, realmente una red de adelanto -atraso es una mezcla de un compensador en adelanto y otro en atraso.

La forma general de este compensador es:

$$G_c(s) = K_c \frac{(s + z_1) \cdot (s + z_2)}{(s + p_1) \cdot (s + p_2)} \quad (2.49)$$

Donde K_c = Ganancia entregada por el compensador

z_i = Ceros del compensador

p_i = Polos del compensador

Como se ve de la ecuación 2.47, el sistema es afectado en un grado de dos.

La forma de añadir la red compensadora se lo ha hecho en cascada como lo indica la figura 2.13

Si colocamos independientemente una red en adelanto y otra en atraso en cascada, el objetivo de tener la red atraso - adelanto se logra, pero existen redes que directamente dan 2 polos y 2 ceros como se explicó en la 1.4.3 la forma matemática del compensador es:

$$G_c(s) = K_c \frac{s + 1/\tau_1}{s + 1/\alpha\tau_1} \frac{s + 1/\tau_2}{s + 1/\alpha\tau_2} \quad (2.50)$$

Adelanto Atraso

Donde para obtener una sola red se hace:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

2.5.1.- ALGORITMO DE COMPENSACION ADELANTO - ATRASO.

Evidentemente es una mezcla de las dos formas de compensador precedentes, para lograr esta compensación se empieza con la parte en adelanto o sea utilizando condiciones de tiempo de estabilización, factor de amortiguamiento, etc, Se ubican los polos y ceros de la compensación en adelanto, luego si es necesario cumplir alguna condición de error, se implementa la parte de compensación en atraso, aclarando que esta última parte, no altera el LRG, de una forma notaria.

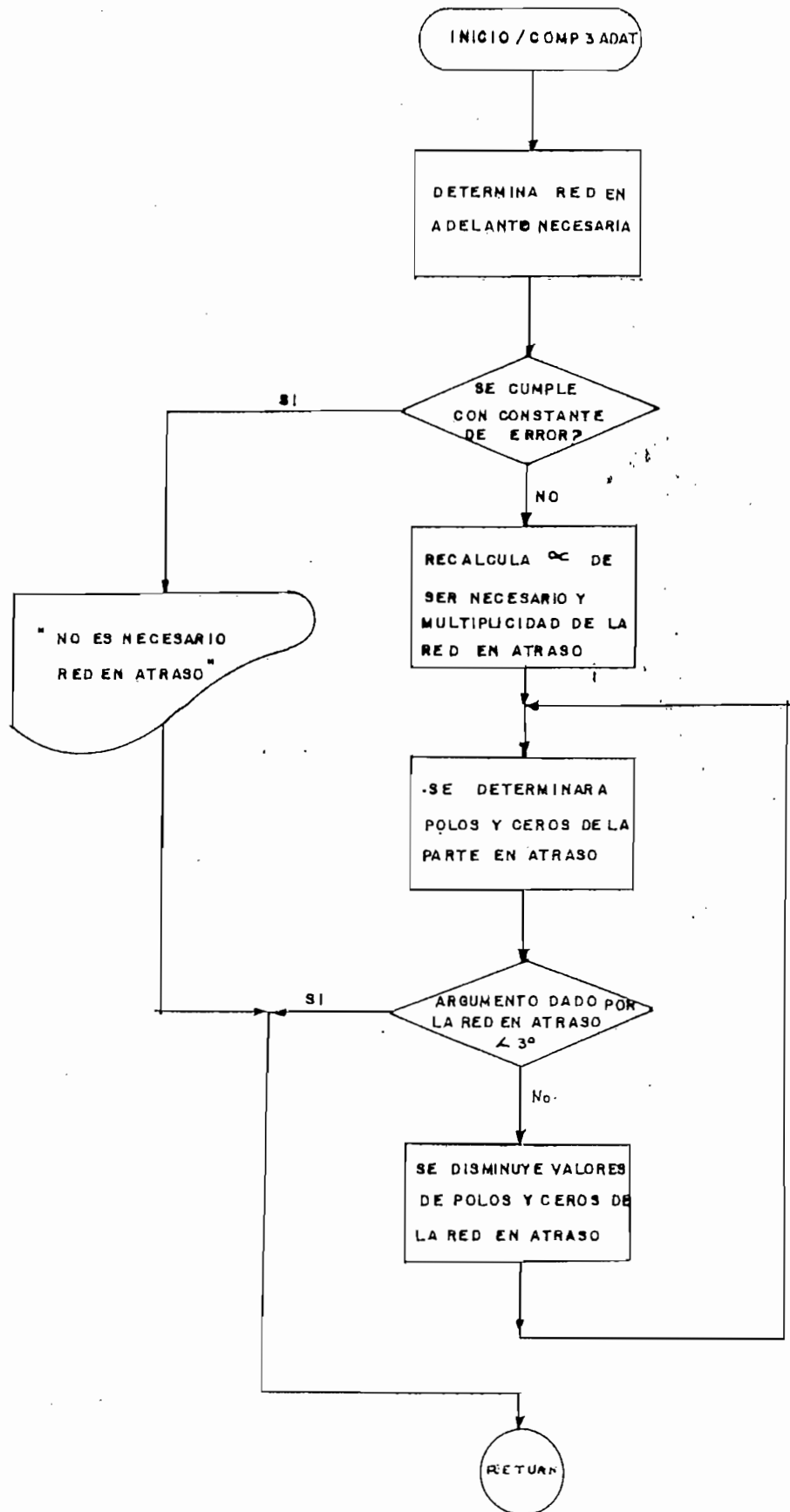
Una vez calculada la parte en adelanto se busca cumplir con las condiciones de error de una red en atraso que en lo posible tenga un mismo valor de α ; si el objetivo de error se consigue con un mayor valor de α , se reubican los polos y ceros de la parte de adelanto y, con ese valor de α se calculan las singularidades de la parte de atraso. Se contempla también que, si el error pedido es muy pequeño, se añade además de la red adelanto-atraso, redes en atraso solamente.

A continuación se escribe los pasos a seguirse:

- 1.- Con datos de tiempo, sobretiro y constantes de error se ubica el punto por el que pasará el LRG.
- 2.- Se calcula las singularidades de la red en adelanto determinándose ganancia y constante de error compensada con la red en adelanto.
- 3.- Si es necesario cumplir con error se pasa al siguiente punto, caso contrario está listo el compensador.

- 4.- Se determina el número de compensadores en atraso necesarios y se reubican polos y ceros de la parte en adelanto; si es necesario se añaden redes en atraso aolamente.
- 5.- Con el valor de ∞ determinado en 4 se calculan los polos y ceros de la parte en atraso.
- 6.- Si el aporte de ángulo dado por la red en atraso es menor a 3° , el compensador está listo, caso contrario se recalcula el polo y cero de la red haciendo cada vez más pequeños los mismos y se vuelve al punto 5.

En la figura 2.35 se dispone un flujo-grama del algoritmo implemen:
tado.



FLUJO-GRAMA DE COMPENSACION ADELANTO - ATRASO

FIGURA 2.35

2.5.2.- EJEMPLOS DE COMPENSACION ADELANTO-ATRASO.

La metodología utilizada para el cálculo es básicamente la mezcla de la compensación en adelanto y en atraso.

EJEMPLO 2.9.

Se dispone de una planta cuya función de transferencia lo indica la figura 2.36 , con realimentación unitaria.

Se busca:

$$\zeta = 0.5$$

$$T_s < 1.5 \quad [s]$$

$$K_v > 40 \quad [s^{-1}]$$

En la figura 2.37 se dispone el LGR del sistema no compensado.

Solución:

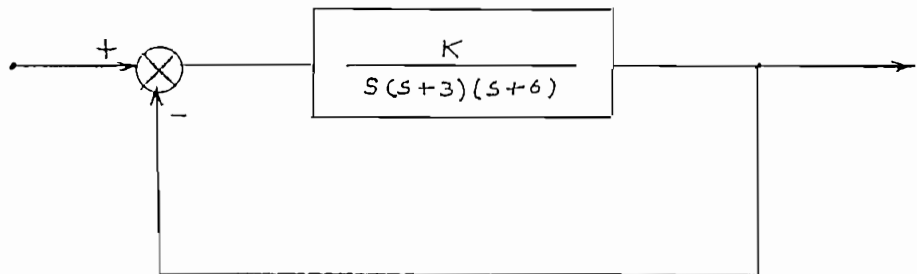
Un punto que cumple con T_s y ζ es:

$$X_4 = -3.05$$

$$Y_4 = 5.28$$

Con X_4 , Y_4 se busca la parte de compensación en adelanto:

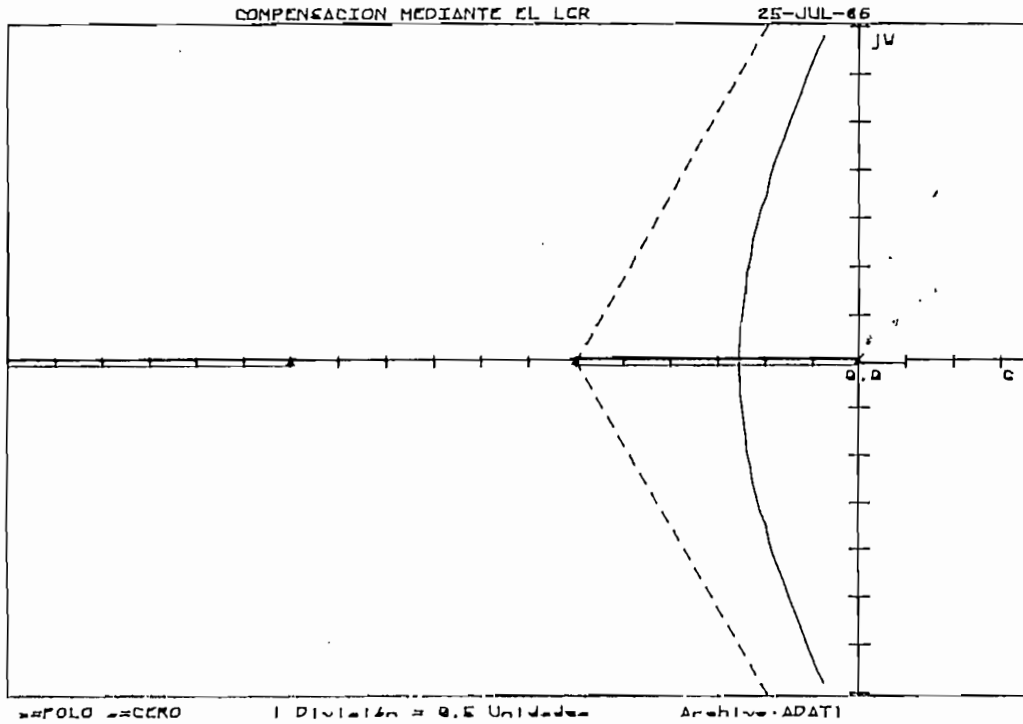
El ángulo que debe dar el compensador es: $\angle G_c = 91.36$



SISTEMA DE CONTROL NO COMPENSADO

FIGURA 2.36

Se requieren dos redes compensadoras, cada una aportará con 45.6°



LGR NO COMPENSADO

FIGURA 2.37

En la tabla 2,5 se determina los polos y ceros con su reubicación hasta conseguir un α válido.

Polo	Cero	Polo cero	Observaciones
-8,4	-3,05	2.75	-
-9.66	-3.66	2.63	-
-11.85	-4.39	2.69	-
-16.44	-5.27	3.05	Válido

RECALCULO DE POLOS Y CEROS HASTA CUMPLIR CON

TABLA 2.5

El compensador será de la forma:

El compensador será de la forma:

$$G_c \text{ adelanto } (s) = \frac{(s + 5.27)^2}{(s + 16.44)^2}$$

Calculando la constante de error con la parte de adelanto se tiene:

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G_c \text{ ad } (s) \cdot G(s) \cdot H(s) = 7.02$$

Se verifica si con el mismo para la red en atraso se consigue constante de error pedida.

$$G_c \text{ atraso } (s) = \frac{(s + z)^2}{(s + p)^2}$$

La constante de error se verá afectada en un factor \propto^2

$$K_v \text{ Total Compensado} \approx 7.02 (3.05)^2 = 65.30$$

$$K_v \text{ Total Pedido} > 40$$

Conclusión:

Con el mismo \propto si se consigue error pedido parte de compensación en - atraso:

El polo más cercano al origen es: -3 por lo que:

$$\text{Cero} = -0.3$$

$$\text{Polo} = \frac{-0.3}{\propto} = -0.09$$

El ángulo aportado por esta red en atraso es 1.76° lo cual, no altera notoriamente al LIRG.

Conclusión:

El compensador adelanto-atraso será de la forma:

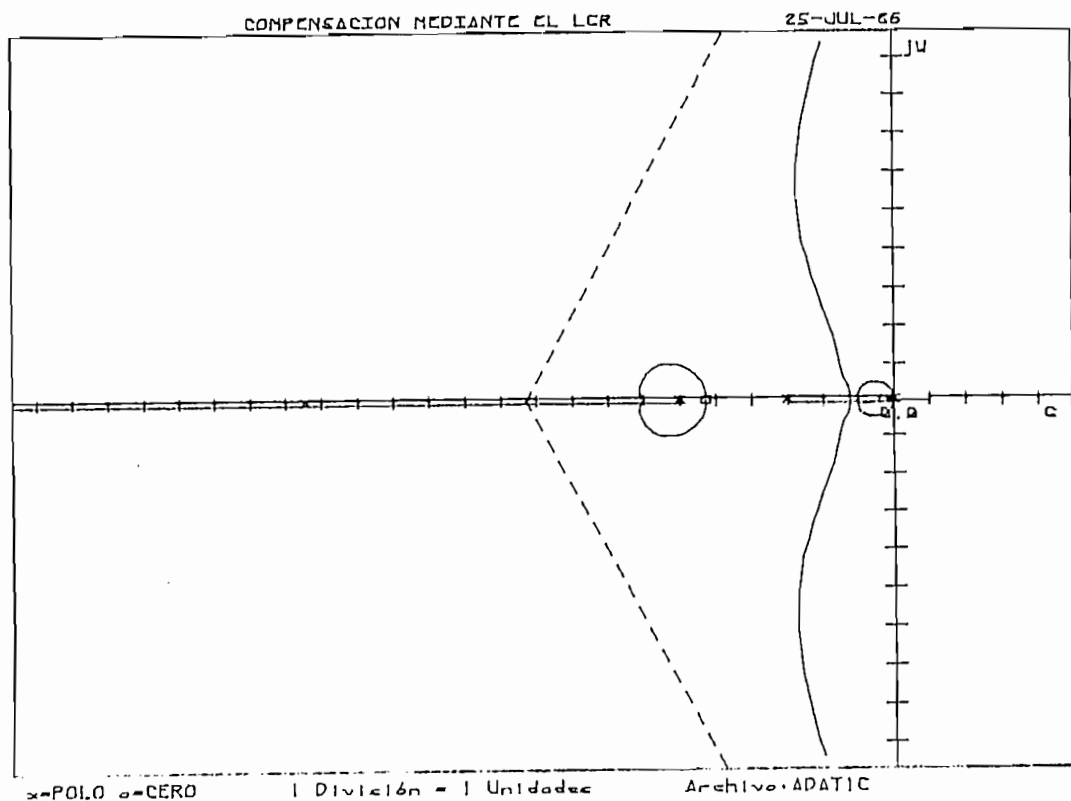
$$G_c(s) = K_c \frac{(s + 5.27)^2}{(s + 16.44)^2} \frac{(s + 0.3)^2}{(s + 0.09)^2}$$

Donde: $K_c = (35.09)^2$

Con lo cual el error en el punto $(-3.05; 5.28)$ es:

$$K_v = 78.10 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

La figura 2.38 representa el LRG del sistema compensado.



LRG COMPENSADO

FIGURA 2.38

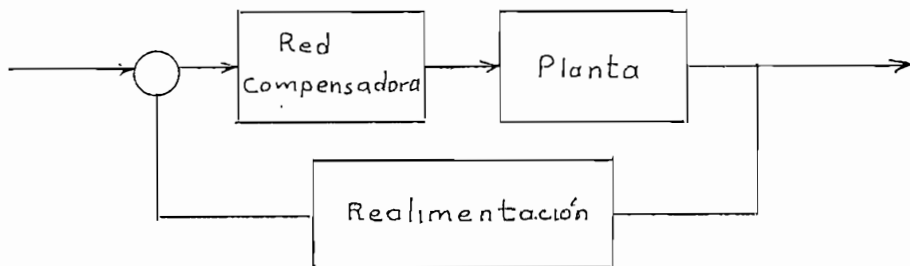
2.6.- COMPENSACION PROPORCIONAL - INTEGRAL. EJEMPLOS.

En el caso que se requiera gran exactitud de un sistema en un estado estable se añaden integradores al mismo, con lo cual se obtiene una elevada constante de error, disminuyendo el error.

Para el caso de una función de transferencia sin integradores (polos en el origen), si la constante de posición no es suficiente, la solución es añadir un polo en el origen.

La red compensadora irá en el lazo directo como se indica en la figura 2.39, la red escogida tiene una función de transferencia:

$$G_c(S) = K_2 + \frac{K_3}{S} = K_2 \cdot \frac{S + K_3/K_2}{S} \quad (2.57)$$



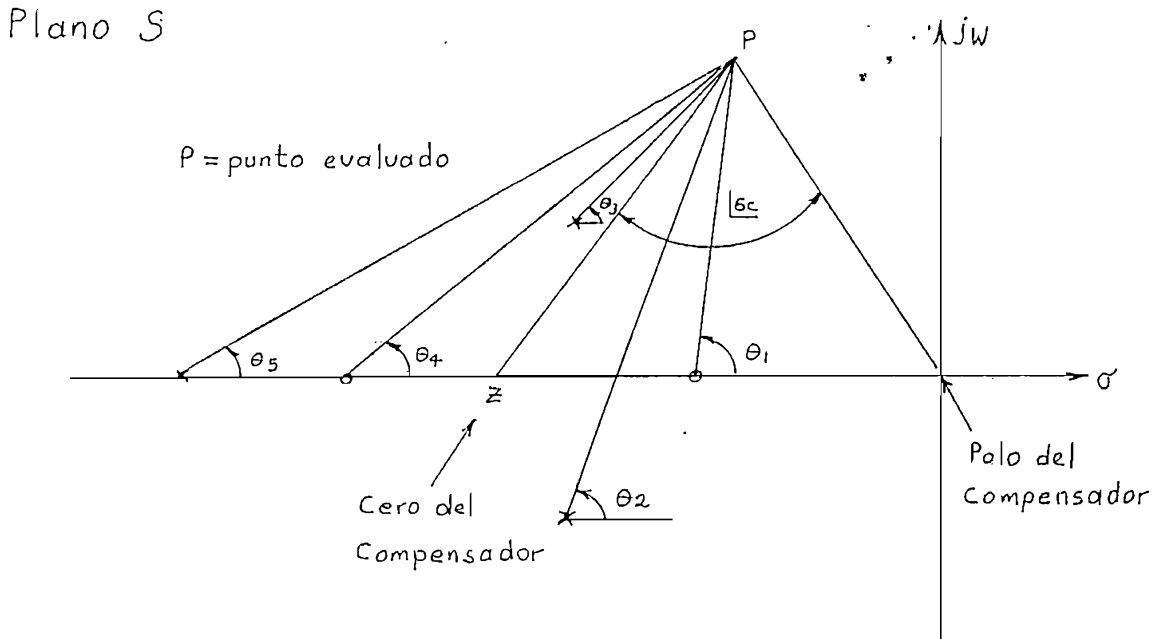
UBICACION DE LA RED COMPENSADORA

FIGURA 2.39

Normalmente esta red produce acercamiento del LRG hacia la derecha o sea reduce el tiempo de estabilización, mientras que mejora la respuesta de estado estable.

2.6.1.- ALGORITMO DE COMPENSACION PROPORCIONAL - INTEGRAL.

Si se conoce el punto en el plano S , por el cual pasará el LGR, se determina en el mismo, ^{el} ángulo que debe dar el polo y cero de la red compensadora. En la figura 2.40 se dispone de una ubicación de polos y ceros, de lazo abierto de un sistema cualquiera.



POLOS Y CEROS DE LAZO ABIERTO DE UN SISTEMA

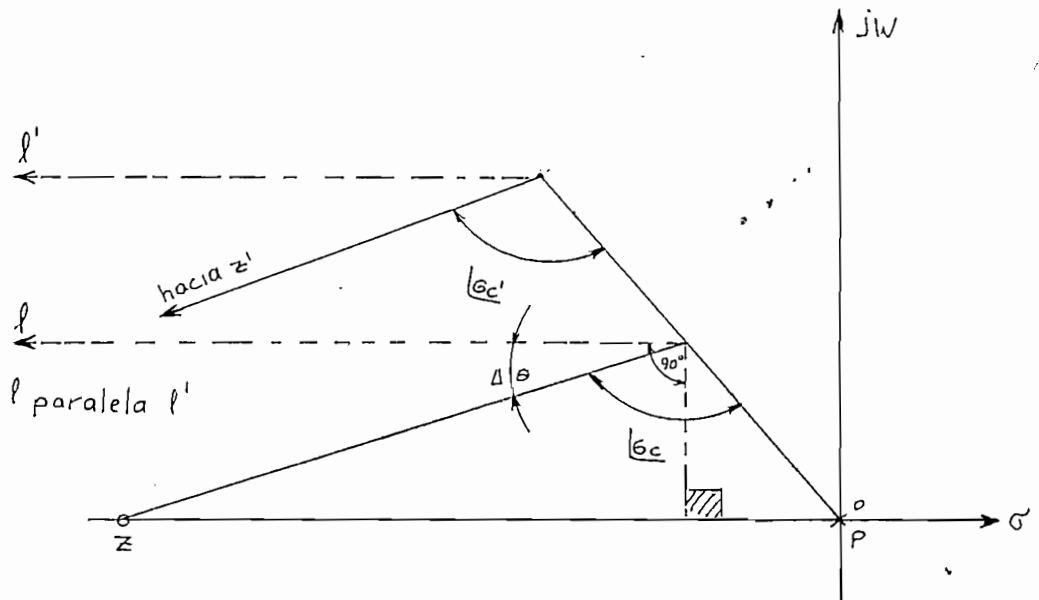
FIGURA 2.40

$$\text{Es así como } \angle G_c + \theta_1 - \theta_2 - \theta_3 + \theta_4 - \theta_5 = \pm 180^\circ \quad (2.52)$$

El aporte de ángulo dado por el compensador viene dado por 2.52, el polo en el origen es fijo, mientras que el cero (Z) dado por esta red dependerá del ángulo G_c .

Evidentemente, dependiendo de la ubicación del punto P existe un límite máximo de donde puede estar el cero (Z) del compensador. En la figura 2.41-

se indica el limitante existente, que no es más que el ángulo bajo de la horizontal.



LIMITE PARA LA UBICACION DEL CERO DE LA RED

FIGURA 2.41

Se puede observar en la figura 2.41 que teóricamente el ángulo G_c puede valer máximo hasta \widehat{lpo} o $\widehat{l'p'o}$ en cuyo caso el cero estaría en el infinito. Para el presente caso el ángulo G_c dado por el compensador - valdrá $\Delta \theta$ grados menos que ese máximo.

Es así como, si el ángulo que debe dar el compensador es mayor a ese límite, el sistema no se puede resolver con esta red.

Adicionalmente debe considerarse que a la derecha del cero (z) exista al menos una singularidad, para asegurar que las raíces complejas dominen a la respuesta transitoria, si en primera instancia no se logra ello, se -

puede conseguir aumentando el valor del radio vector OP (frecuencia no amortiguada ω_n) hasta Op' como lo indica la figura 2.41 esto se hace por un número de veces fijo, si no se logra lo esperado entonces se termina con una sentencia de "No se puede compensar".

Debe anotarse que el aporte del ángulo dado por el compensador, por la ubicación de polo y cero, corresponda a una red de atraso.

En la figura 2.42 se dispone de un flujo-grama que explica el algoritmo implementado para este tipo de compensación.

EJEMPLO: 2.10

Para un sistema de control de temperatura, cuya función de transferencia viene dado por: $G(s) = \frac{K}{(s+0.5)(s+2)}$, con realimentación unitaria.

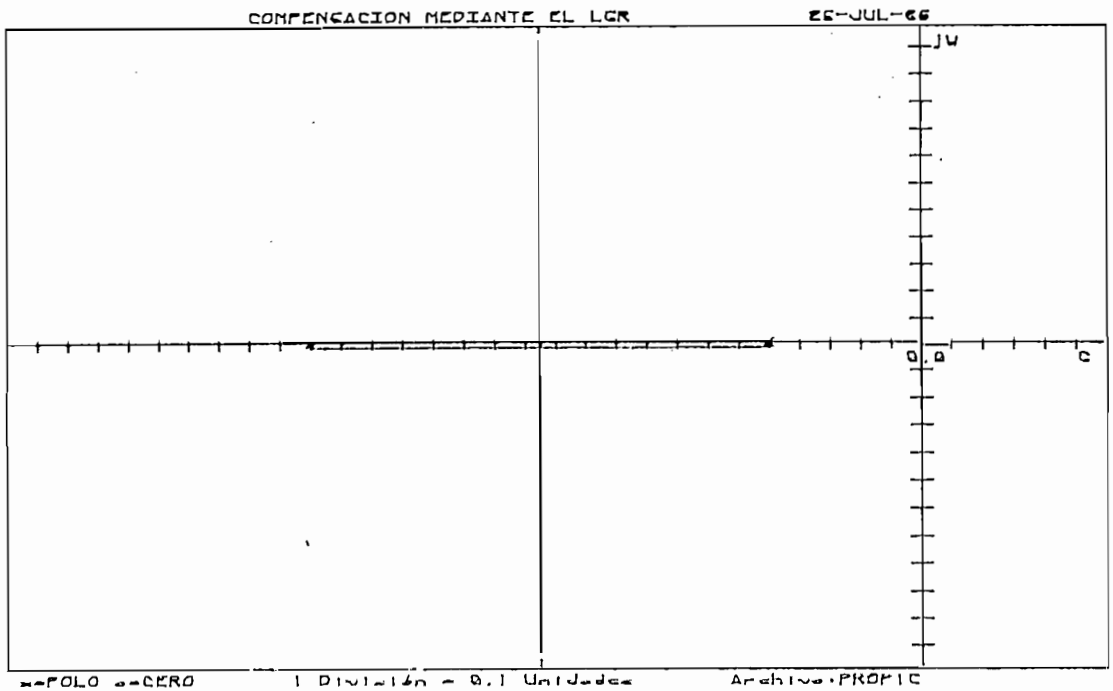
Se busca tener:

Sobrenivel porcentual 10 %

Tiempo de estabilización 5.33 s

Error de estado estable: Tendiente a cero

El lugar geométrico de este sistema se dispone en la figura 2.43



LGR NO COMPENSADO

FIGURA 2.43

Solución:

El punto pedido como parte del LGR debe estar en:

$$X4 = -Wn \cdot \xi$$

$$Y4 = Wn \text{ Sen}(\text{Cos}^{-1} \xi)$$

Un sobrenivel porcentual del 10% implica:

$$\overset{m}{=} \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\pi^2}{\xi^2 \frac{5P}{100}}} } = 0.59$$

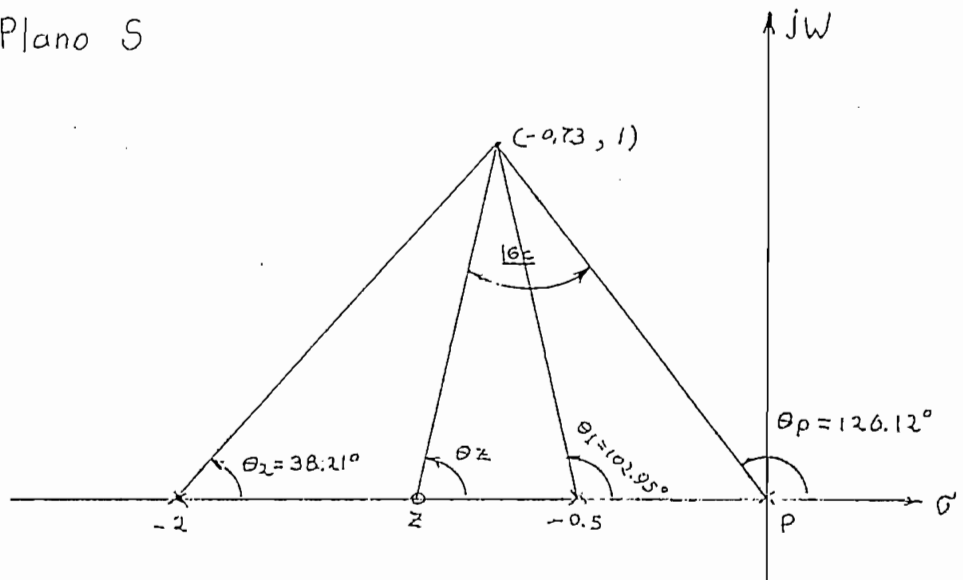
$$Wn = 4/(\xi \cdot Ts) = 1.25 \text{ [s]} \quad (2.54)$$

$$X4 = -0.73$$

$$Y4 = 1$$

Según la figura 2.44 se tiene el ángulo dado por el compensador:

Plano S



UBICACION DE LAS SINGULARIDADES DEL SISTEMA EN EL PLANO S

FIGURA 2.44

Por lo cual se calcula el ángulo dado por el compensador como:

$$\begin{aligned} -\theta_p - \theta_1 + \theta_z - \theta_2 &= \pm n 180^\circ \\ \angle G_c &= \theta_p - \theta_z \\ -\angle G_c - \theta_1 - \theta_2 &= \pm n 180^\circ \\ -\angle G_c &= +141 \pm 180^\circ = -38.83^\circ \end{aligned}$$

Con ese valor de ángulo en valor absoluto, se determina el cero (Z) del compensador:

$$z = \frac{\text{Sen } \angle G_c \cdot \sqrt{x_4^2 - y_4^2}}{\text{Sen} \left(180^\circ - \angle G_c - \text{Tg}^{-1} \frac{y_4}{x_4} \right)} = -0.75 \quad (2.55)$$

Al verificar si existe al menos una singularidad a la derecha del cero (Z) se tiene la certeza de que las raíces dominarán la respuesta en el punto deseado.

El compensador queda:

$$G_c(s) = K_2 \frac{(s + 0.75)}{s}$$

En el punto (-0.73, 1) con el compensador, la ganancia total es:

$$K_T = 1.27$$

$$\text{Con lo cual: } K_T = K_2 \cdot K$$

$$\text{Si } K \text{ se supone } = 1$$

$$K_2 \text{ será } 1.27$$

El sistema quedará:

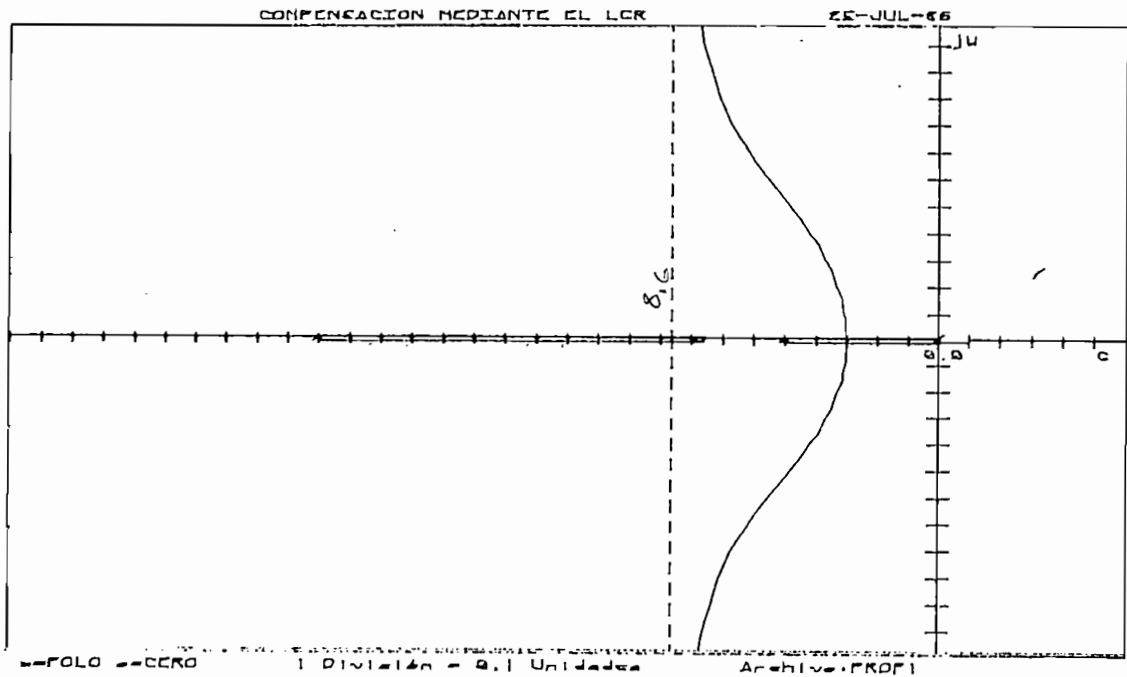
$$G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s) = \frac{1.27(s+0.75)}{s} \cdot \frac{1}{(s+0.5)(s+2)}$$

En la figura 2.45 se tiene el LGR del sistema compensado y efectivamente el error de estado estable tiene a cero, pues:

$$K_p = \lim_{S \rightarrow 0} G_c(S) \cdot G(S) \cdot H(S) = \infty$$

$$\text{Error estado estable} = \frac{1}{1 + K_p} = 0$$

Nótese en relación al gráfico no compensado el LGR del sistema se acerca al eje imaginario.



LGR COMPENSADO

FIGURA 2.45

CAPITULO III: PROGRAMA DIGITAL

3.1.- INTRODUCCION

3.1.1. Características del equipo.-

Se utiliza un microcomputador TEKTRONIX 4051 cuya capacidad de memoria es de 30.5 Kbytes.

En la parte superior izquierda del Keyboard se disponen 10 teclas - definibles numeradas del 1 al 20 que al presionarse provocan una transferencia inmediata de la ejecución del programa a instrucciones numeradas con múltiplos de 4, en caso de que exista esa instrucción.

Para indicar el estado de operación, existen indicadores a la derecha de la pantalla tales como:

BUSY = Se encuentra ejecutando el programa

BREAK= Se suspendió la ejecución

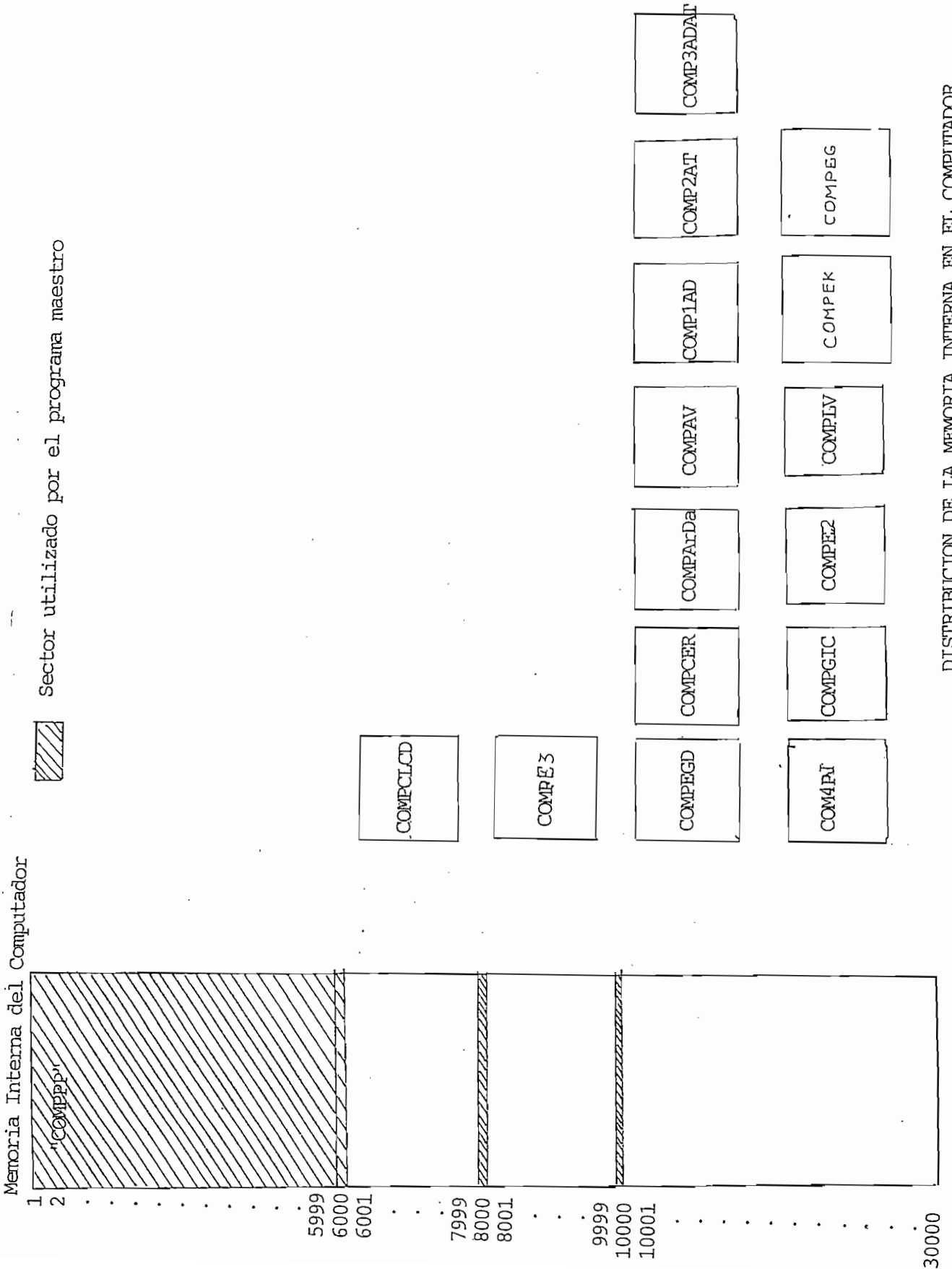
I/O = Está esperando o está entregando un dato

POWER= Existe alimentación de energía

El lenguaje utilizado en el programa es BASIC extendido a este equipo. Se puede manejar variables numéricas (A1,..Z9) y literales (A'S, .Z\$)

Para ejecutar subrutinas se utiliza la sentencia GOSUB con la que se envía a utilizar un grupo de instrucciones inmediata siguiente a GOSUB.

Por la necesidad de utilizar una memoria mayor a la disponible en el computador se puede disponer de dispositivos externos tales como diskettes o cassetes, es así como las unidades de diskettes 4907 almacenan información en archivos en forma secuencial o directa.



DISTRIBUCION DE LA MEMORIA INTERNA EN EL COMPUTADOR

FIGURA 3.1.

La unidad digital de gráficos 4662 puede emplearse como unidad de entrada/ salida, o sea que podemos dibujar o "leer" un dibujo, lo mismo se podría hacer en la pantalla del operador si se dispondría de el JOYSTICK para la entrada por pantalla.

3.1.2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROGRAMA.-

Por la limitada capacidad de memoria del computador, se ha visto la necesidad de: mediante un programa principal "COMPPP" el cual estará en la memoria interna del computador manejar una serie de subprogramas, que serán cargados desde el diskette a la memoria interna, según las necesidades del programa

En la figura 3.1 se explica en un diagrama la distribución de la memoria en la solución de un problema, se puede observar que para el programa principal que estará perennemente en la memoria, se dispone desde la línea 1 a la 5999, obviamente que el programa utiliza una parte de el espacio de memoria disponible.

Asimismo para el caso de cambio de límites del gráfico o carga de datos desde diskette, se utiliza el subprograma "COMPCLCD", el mismo que se almacena desde la línea 6000 hasta la 7999, esto se hace así por manejarse consecutivamente: parte del programa principal, el subprograma "COMPCER" y el subporgrama "COMPE3".

vale añadir que el subprograma "COMPE3" que tiene por objeto grabar puntos del lugar geométrico de las raíces, se almacena desde la línea 8000 hasta la 9999.

Para el resto de subprogramas disponibles en el diskette se irá grabando según necesidades desde la línea 10.000; el modo de operar es: se-

graba un subprograma, se resuelve y se borra para disponer de memoria.

Para facilidad del manejo del programa, se divide en dos procesos específicos:

- a) Cálculos del sistema con y sin compensación o solo lugar geométrico de las raíces.
- B) Resultados: Impresión, cambio de límites, etc.

La importancia de ello radica en que el estudio de un programa, podría hacerse en dos sesiones de trabajo, primero la parte (a) y luego la (b).

A continuación se explica estos dos procesos:

- a) Cálculos.- Se entiende mejor lo que a continuación se explica, refiriéndose a la figura 3.5.a, 3.5.b y 3.5.c.

Al resolver un problema, mediante el programa principal "COMPPP", inicialmente se dispone de opciones de ingreso de datos sea en forma polinómica (coeficientes) o de raíces del mismo, esto para la función de lazo abierto $G(S) \cdot H(S)$, lo cual se ejecuta mediante el subprograma "COMPEGD"; apareciendo el limitante de no exceder el grado del polinomio del numerador o denominador, a siete.

A continuación en la figura 3.2 se dispone del menú (b) de opciones de cálculos.

P O S I B I L I D A D E S D E C A L C U L O S

- =====
- TECLA 1 ==> REINICIO DEL PROGRAMA
 - TECLA 13 ==> LUGAR GEOMETRICO DE LAZOS NO COMPENSADO
 - TECLA 14 ==> LUGAR GEOMETRICO DE LAZOS DIRECTAMENTE COMPENSADO
 - TECLA 15 ==> LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES CON Y SIN COMPENSACION

E S C O G E A T E C L A

MENU DE OPCIONES DE CALCULOS (b)

FIGURA 3.2

Si se escoge la tecla 13 (LGR no compensado), el programa calculará el LGR sin compensación (1), en la tesis del Ing. Pazmiño se tiene esta parte más detallada, para el presente caso, el cálculo del LGR es una herramienta; sin embargo vale decir que para el cálculo del gráfico se utilizan las subrutinas: "COMPCER", la misma que calcula las raíces de lazo abierto, evalúa su repetición y validez y graba en el archivo de resultados los datos de la función de transferencia, a continuación con la subrutina "COMPE3" que se almacena desde la línea 8000, se calculan y graban los puntos del LGR, una vez terminado ello, el programa va a opciones de resultados que es el segundo proceso.

Volviendo a la parte de opciones de cálculos, si se escoge la tecla 14, se buscará compensar directamente sin calcular previamente el LGR no compensado, para este punto es importante que el operador tenga una idea de lo que busca, por las limitaciones propias de generalizar un pro

grama; sin embargo el proceso sigue así:

Con el subprograma "COMPE2" se introducen los datos o condiciones para compensar y luego se escoge el tipo de compensador a utilizar de 4 posibles.

A continuación mediante el programa "COMPEG" se evalúa si es posible compensar el sistema solo variando ganancia y conseguir las condiciones pedidas, de ser ello realizable se dispone del cálculo del LGR, va a opciones de resultados; de otro modo calcula el LGR y luego va a opciones de resultados.

Pero si no se puede compensar con ganancia, se prosigue con el subprograma "COMPAV" el mismo que almacena los datos del sistema no compensado, a continuación se obtiene del diskette uno de los cuatro subprogramas que calculan el compensador ellos son:

- 1.- "COMPLAD" = Subprograma de compensación en adelanto.
- 2.- "COMP 2 AT" = Subprograma de compensación en atraso.
- 3.- "COMP 3 ADAT" = Subprograma de compensación en adelanto-atraso.
- 4.- "COMP 4 PI" = Subprograma de compensación proporcional - integral.

Una vez resuelto el subprograma se determina, si se pudo o no compensar, de haberse conseguido ello se sigue a calcular el LGR del sistema compensado y luego va a opciones de resultados; de no ser posible la compensación se calcula el gráfico del sistema no compensado y si sigue a opciones de resultados.

Finalmente otra posibilidad de cálculos es con la tecla 15: "Cálculo del LGR compensado y no compensado", el proceso es: calcula el LGR no compensado mediante los subprogramas "COMPCER" y "COMPE 3"; luego -

se introducen datos y escoge el tipo de compensador mediante el subprograma "COMPE2", a continuación con el subprograma "COMPPAr"Da", a partir del LGR no compensado, se determina si es posible compensar solo variando ganancia, si ello es posible va a opciones de resultados caso contrario mediante el subprograma "COMPAV" se almacena los datos iniciales del sistema (función de transferencia, grado del numerador, etc) se procede al cálculo del compensador según haya escogido uno de los cuatro compensadores disponibles una vez que sale del cálculo de compensación si el grado de la función compensada excede a 7 o no se pudo compensar se carga los datos iniciales del sistema no compensado y va a opciones de resultados, caso contrario se crea archivo de cálculos para el sistema compensado mediante "COMPAV" y se procede al cálculo del LGR luego nuevamente se grafica el sistema no compensado con las escalas del compensado, debe decirse que "COMPPAV" mantiene las escalas; terminado el proceso va a opciones de resultados.

b.- OPCIONES DE RESULTADOS

Para esta segunda parte se asume que se dispone de los cálculos del LGR mediante el programa "COMPPP", archivos en un diskette (referirse a la figura 3.5 c)

LO que se ha realizado es que a partir de tres programas pueden calcular las opciones diferentes. A continuación se enumeran los subprogramas con las opciones que tiene cada uno.

1.- "COMPEK" Al realmacenar desde la línea 10.000, se esta en capacidad de:

- Dado un punto obtener su ganancia
- Análisis de estabilidad relativa

- Dada la ganancia obt...

- 2.- "COMPGI" Se realmacena desde la línea 10.000 y puede hacer:
 - Graficación del LGR
 - Impresión de resultados.

- 3.- "COMPCLCD" Se realmacena desde la línea 6.000 y está en capacidad de:
 - Cambiar los límites gráfico
 - Ingresar datos desde el diskette.

Debe anotarse que en estas opciones se ha considerado el poder analizar resultados de 2 archivos diferentes, siempre uno a la vez.

La manera como se hace la transferencia a las distintas opciones, es mediante las teclas predefinidas, para lo cual en pantalla aparece un menú de posibilidades (c) como lo indica la figura 3.3.

```
COMPENSACION MEDIANTE EL LGR                               =====
POSIBILIDADES:
TECLA 1 ==> REINICIAR EL PROGRAMA (RUN)
TECLA 2 ==> DADO UN PUNTO, OBTENER EL GRABADO
TECLA 3 ==> ANALISIS DE ESTABILIDAD RELATIVO
TECLA 4 ==> ANALISIS DEL LGR
TECLA 5 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK
TECLA 6 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK
TECLA 7 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK
TECLA 8 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK
TECLA 9 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK
TECLA 10 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK
TECLA 11 ==> MENU DE ESTAS ALTERNATIVAS
```

TECLA 12 ==> OBTENCION DE DATOS DEL DISK

FIGURA 3.3

En la figura 3.5.a se dispone del flujo-grama de esta parte de acceso; puede notarse fácilmente que el primer proceso de cálculo consiste en ingresar los valores de la función de transferencia de lazo abierto, los mismos que pueden ser mediante coeficientes (tecla 2) o factores (tecla 3). luego de resolver este ingreso, se tiene el segundo menú (b) de opciones indicado en la figura 3.2, el diagrama de flujo de estas opciones se muestra en la figura 3.5.b. Antes de continuar con el proceso de cálculos debe decirse que la tecla 9 en la figura 3.2.a, es simplemente un subprograma en donde se tiene un listado de las principales variables utilizadas en el programa y una vez que sale de allí vuelve al menú (a).

Igualmente con la tecla 20, se nota en la figura 3.5.a. que se puede ingresar valores de algún problema que previamente ha sido ya calculado, una vez que se consigue los cálculos va a opciones de resultados que es el menú (c).

Nos referimos en esta parte a las teclas predefinidas o indicadas en el menú (b) de la figura 3.2.

En la figura 3.5.b se dispone de un flujo - grama explicativo del proceso de cálculo de cada una de las opciones, luego se explicará el trabajo que hace cada subprograma representado en bloques; una vez realizados los cálculos según opciones escogidas al último menú (c) de resultados indicando en la figura 3.3.

Se dispone en la figura 3.5.c un diagrama de flujo en el cual se aprecia que las opciones de resultados se lo hace con la carga de 3 subprogramas.

En el manual de uso del programa se explica mejor la forma de accesar a los diferentes subprogramas. (ANEXO A).

3.2.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

La simbología utilizada en estos diagramas de flujo, se dispone en el anexo B.

Para entender fácilmente el proceso del cálculo se ha dividido el programa principal en 3 bloques de acceso, basándose principalmente en los 3 menús de teclas definibles que aparecen en el corrimiento del programa "COMPPP".

El primer menú (a) disponible, se indica en la figura 3.4.

POSIBILIDADES:

TECLA 1 ==> REINICIAR EL PROGRAMA (RUN)

TECLA 2 ==> DATOS COMO COEFICIENTES

TECLA 3 ==> DATOS COMO FACTORES (RAICES)

TECLA 9 ==> LISTADO DE VARIABLES EN USO

TECLA 20 ==> ENTRADA DE VALORES POR DISKETTE

Escoja TECLA

MENU DE POSIBILIDADES (a)

FIGURA 3.4.

A continuación se explicará el trabajo de los subprogramas, en el orden que se detalla; la identificación de sus errores se dispone en el anexo C.

- a) "COMPEGD"
- b) "COMPCER"
- c) "COMPE3"
- d) "COMPE2"
- e) "COMPARDa"
- f) "COMPEG"
- g) "COMPAV"
- h) "COMPLAD"
- i) "COMP2AT"
- j) "COMP3ADAT"
- k) "COMP4PI"
- l) "COMPEK"
- m) "COMPGI"
- n) "COMPCLCD"

3.2.1.- "COMPEGD".- Este subprograma se acumula desde la línea 10.000 del programa principal y su objetivo es dar opciones de introducción de datos de la función transferencia de lazo abierto, a ser analizado es así como se dispone de ingreso como coeficientes tanto el polinomio del numerador como del denominador o también pueden ingresarse como factores los antes dichos polinomios. Adicionalmente se tiene el limitante de no poder ingresar polinomios de un grado mayor a siete. En la figura 3.6 se muestra un diagrama de flujo de este subprograma.

3.2.2.- "COMPCER".- Este subprograma que se almacena en el programa -

principal desde la línea 10.000, se encarga de calcular las raíces de lazo abierto y evaluar su validez así como calcular los puntos de separación y evaluarlos, una vez hechos los cálculos respectivos graba los datos en los archivos de resultados: X\$ = Archivos de pares de puntos del LGR.

T\$ = Archivo de datos generales del LGR.

En el flujograma indicado en la figura 3.7 se puede apreciar mejor el proceso de cálculo dentro de este subprograma. En el anexo C se dispone de diagnóstico de errores.

3.2.3.- "COMPE3".- Este subprograma se realmacena desde la línea 8000 del programa principal, y su objetivo es a partir de los puntos de separación calcular las diferentes raíces que cumplan con ser parte del LGR; el proceso de cálculo es mediante aproximaciones que se hacen al evaluar 5 puntos en abanico, esta parte se halla mejor detallada en la referencia (2). Los puntos asumidos como parte del LGR son grabados en el disquete en el archivo X\$, en la figura 3.8, se dispone de un flujo-grama del proceso de cálculo de esta parte asimismo se tiene un diagnóstico de errores en el anexo c.

3.2.4.- "COMPE2".- En este subprograma que se almacena desde la línea 10.000 del programa principal, tiene por objetivo dar un menú de opciones de especificaciones de parámetros que pueden variarse mediante la adición de compensadores.

Adicionalmente en esta figura o en esta parte se escoje el tipo de compensación deseada de un menú de 4 posibilidades las mismas que son:

<u>Compensadores</u>	<u>Número</u>
Compensación en adelanto	1
Compensación en atraso	2
Compensación en adelanto-atraso	3
Compensación en proporcional integral	4

En la figura 3.9 se dispone un flujo-grama explicativo, básicamente el proceso es convencional entre el usuario y el computador; por lo que no requiere mayor explicación.

El diagnóstico de errores se tiene en el anexo C.

3.2.5.- "COMPARDa".- Este subprograma es realmacenado desde la línea 10.000 de programa principal "COMPPP" y tiene por objeto leer los datos calculados del gráfico del LGR que se tengan en el archivo de resultados y según las especificaciones pedidas para la compensación, determinar si variando ganancia es posible conseguir la compensación del sistema, es así como en la figura 3.10, se dispone de un flujo-grama explicativo del proceso de cálculos.

3.2.6.- "COMPEG".- El objetivo de este subprograma que se realmacena desde la línea 10.000 del programa principal es: mediante evaluaciones basadas en el algoritmo explicado en 2.2, determinar si un punto cumple con especificaciones pedidas, sólo variando la ganancia, el flujo-grama de esta parte se tiene en la figura 2.7. los diagnósticos de errores se tiene en el anexo c.

3.2.7.- "COMPAV".- Este subprograma que se almacena desde la línea 10.000 trabaja de acuerdo a la secuencia del programa principal. Es así como pre vio a la compensación con B7=1, almacena los valores iniciales de la función de transferencia y termina el subprograma cuando ha compensado y pre vio a calcular el LGR del sistema; con B7=2 se pide el nombre del archivo de resultados, el mismo que es creado, debe anotarse que el archivo de resultados está formado por:

X § = Archivo de pares de puntos del LRG

T § = Archivo de datos del LRG y función de transferencia de lazo abierto.

Al archivo X § se accesa de forma secuencial, mientras que el T § se accesa en cualquier orden, una vez realizada esa parte, el subprograma termina.

Cuando no se pudo compensar; con B7 = 3, el subprograma almacena los datos iniciales de la función no compensada y termina el subprograma.

En el corrimiento normal del programa, cuando se graficó ya el LRG compensado en esta parte se pide nuevo nombre de resultados del sistema no compensado que se calculará a las mismas escalas del sistema compensado, una vez hecho ello termina el subprograma.

En la figura 3.11 se muestra un diagrama de flujo, así mismo en el anexo C se dispone de un listado de diagnóstico de errores.

3.2.8.- "COMPLAD".- Este subprograma que se almacena a continuación del programa "COMPPP" desde la línea 10.000, es una de las cuatro opciones de compensación de los que dispone el programa y corresponde al compensador de adelanto, el objetivo de este consiste en calcular los polos y ceros

de la red compensadora. El proceso de cálculo se indica en la sección 2.3 y el flujo - grama se dispone en la figura 2.17. Un listado de errores se dispone en el anexo C.

3.2.9.- "COMP2AT".- Este subprograma corresponde a la compensación en atraso y se carga en el programa principal desde la línea 10.000, su finalidad es calcular los polos y ceros de una red de atraso, así como su multiplicidad, en la figura 2.27 se tiene el flujo-grama de este subprograma así como en la sección 2.4 el algoritmo implementado.

3.2.10.- "COMP3ADAT".- La compensación adelanto-atraso, se lo realiza mediante el subprograma "COMP3ADAT" el mismo que se carga al programa principal desde la línea 10.000, su objetivo consiste en determinar los polos y ceros de una red de adelanto-atraso en caso de ser necesarios o solo de termina la red en adelanto o atraso, si con ello cumple las especificaciones pedidas; el algoritmo implementado se explicó en la sección 2.5 y su diagrama de flujo es, el indicado en la figura 2.35

3.2.11.- "COMP4PI".- El subprograma "COMP4PI" que se almacena desde la línea 10.000 del programa principal, se encarga de calcular los polos y ceros de un compensador proporcional integral.

En la figura 2.42 se dispone del flujo-grama de esta forma de compensar el algoritmo es el descrito en la sección 2.6.

3.2.12.- "COMPEK".- Este subprograma de resultados se carga a la línea 10.000 del programa principal y tiene tres de los procesos determinados por el menú de resultados (c) indicados por la figura 3.3, los mismos que son:

- Dado un punto obtener su ganancia
- Estabilidad relativa
- Dado K obtener puntos del LGR
- La transferencia a cada sección de cálculos se la hace mediante las teclas 4,5 y 10.

Cada opción del análisis presenta la ventaja de poder acceder a otro archivo de resultados, debe aclararse que el archivo con el que se ingresan los datos, se considera que es no compensado.

En la figura 3.12 se dispone un flujo-grama explicativo de este subprograma.

En el estudio dado un punto obtener su ganancia puede ingresarse un punto del plano S que pertenezca o no al LGR, en los cálculos saldrá un indicativo para saber fácilmente si el punto evaluado se considera como parte del LGR y puede ingresar otros puntos si así se lo desea, caso contrario en pantalla se muestra el menú correspondiente a: "Dado un punto obtener su ganancia".

Los resultados pueden ser impresos en papel. En el estudio de "Estabilidad Relativa", asimismo se dispone las opciones de analizar el LGR - que se tiene predefinido como "No Compensado" u otro al que puede acceder con solo poner el nombre del archivo de resultado, los cálculos obtenidos en esta parte válidos para sistemas considerados de segundo orden, por lo que la validez de los mismos, debe ser evaluada por el operador, para el caso de tener más de un punto de separación el programa puede calcular algunos puntos que corten al LGR para un mismo valor de factor de amortiguamiento.

Para la parte de: dado K obtener puntos del LGR, similar a los dos casos anteriores se puede acceder a otro archivo de resultados llamado "No Compensado" y calcular las raíces del LGR a base de la ganancia, los resultados pueden ser impresos en papel, además de que son válidos para el rango de ganancia total de 0 a 10.000, existe la posibilidad de calcular para distintos puntos dados.

3.2.13.- "COMPGI".- Este subprograma que se almacena desde la línea 10.000 del subprograma principal contiene dos de las opciones disponibles en el menú (c).

Los procesos que contienen son:

- Graficación del LGR
- Impresión de Resultados.

En el flujo-grama que se tiene en la figura 3.13 se muestra esos dos procesos. Para los dos casos se dispone de opciones para poder analizar el sistema compensado o al no compensado a los dos, si bien las opciones aparecen como no compensado y compensado, el programa realmente reconoce como " No Compensado" al archivo ingresado por diskette o resuelto el cálculo del LGR; mientras que "compensado" es el archivo de un problema que se ha compensado, u otro archivo cualquiera de cálculos existente en el diskette.

En la opción de graficación, se dispone de las posibilidades de mostrar el gráfico en pantalla o en papel a través del plotter.

Para la impresión de resultados, igualmente puede hacerse en papel o en pantalla según se carga.

El proceso de desarrollo del programa es convencional, por lo que no requiere mayor explicación.

Las opciones de graficación e impresión, disponen de la posibilidad de regresar al menú general (c).

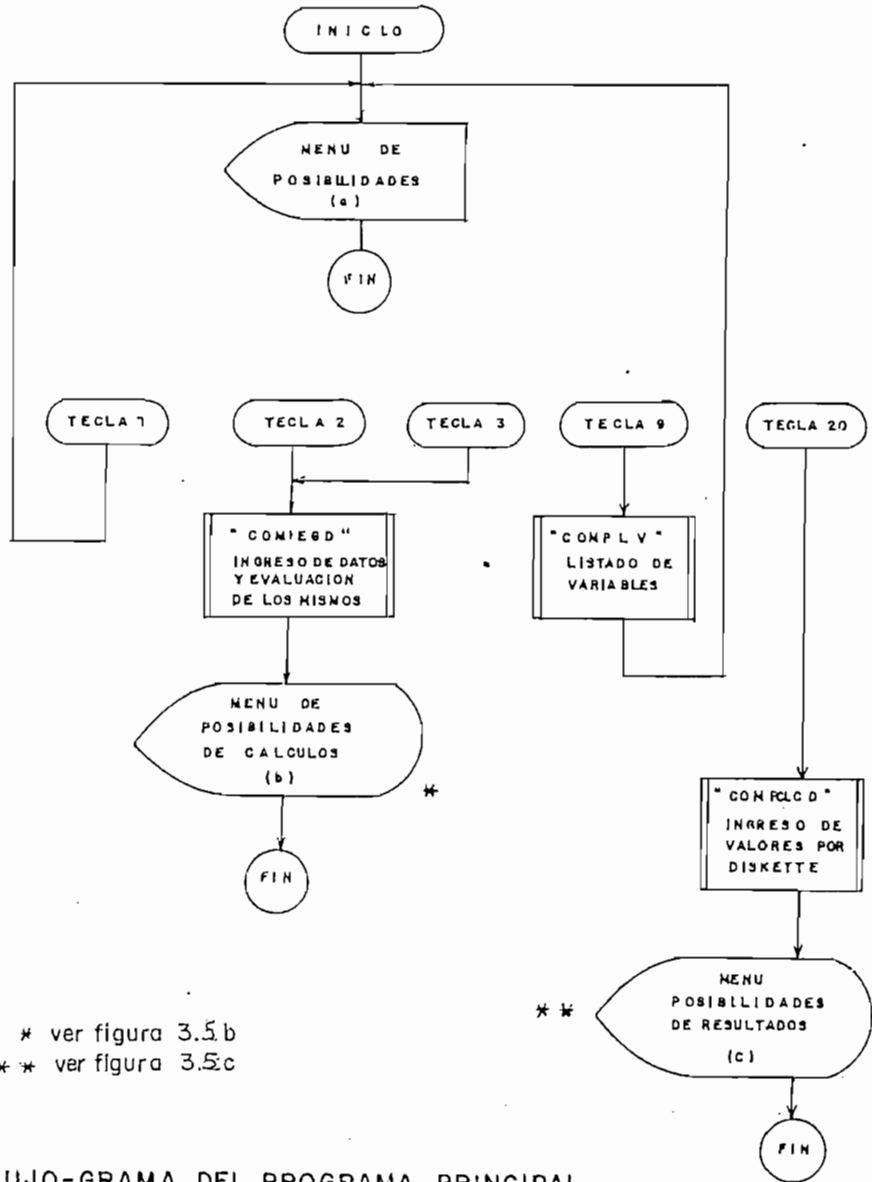
3.2.14.- "COMPCLCD".- Este programa se caracteriza por almacenarse desde la línea 6.000 del programa principal, debido a que en la secuencia de cálculos utiliza los programas "COMPCER" y "COMPE3" que se cargan desde la línea 10.000 y 8.000 respectivamente. Una vez que calcula la opción escogida regresa al menú de opciones (c), en donde se borra el subprograma "COMPCLCD" y cualquier línea existente de 8.001 a 9.999 para a continuación tener en pantalla el menú (c), mostrado en la figura 3.3.

En la figura 3.14 se dispone de un flujo-grama del presente subprograma, en el cual se explica la secuencia de cálculos, el proceso es automático y puede ponerse un nuevo nombre de archivo para el cálculo del LGR en las escalas modificadas.

El gráfico que calcula es simétrico respecto al eje X o sea todo lo que se halla bajo el eje X, es el espejo de lo que está sobre el mismo, sin embargo puede variarse las escalas de esos ejes X o Y, pero una a la vez, se dispone de opciones de cambiar los límites de un sólo gráfico, o de mantener los límites del gráfico compensado y cambiar el no compensado a las mismas escalas o viceversa, adicionalmente se puede cambiar los límites de dos gráficos a las mismas escalas,

También este subprograma permite el ingreso de datos de cálculos ya realizados y grabados en el mismo archivo de resultados. El nombre del archivo así ingresado se asumirá en lo futuro como "Archivo no Compensado"

-- luego de ello, previo a ir a opciones de posibilidades (c), borra el sub
programa COMPCLCD" y lo que tenga desde 8.001 a 9999.

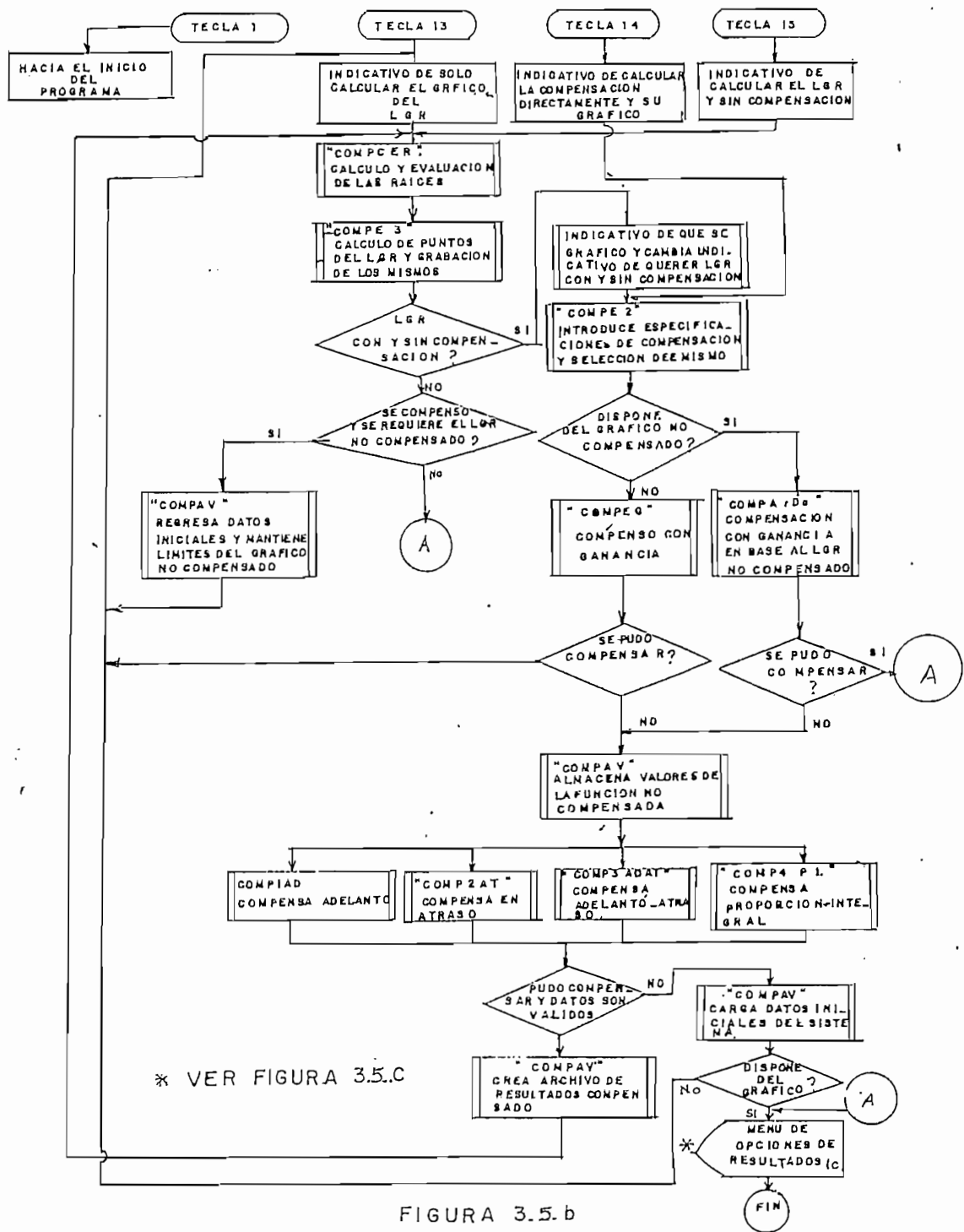


* ver figura 3.5.b
** ver figura 3.5.c

FLUJO-GRAMA DEL PROGRAMA PRINCIPAL

FIGURA 3.5.d

FIN



* VER FIGURA 3.5.C

FIGURA 3.5.b

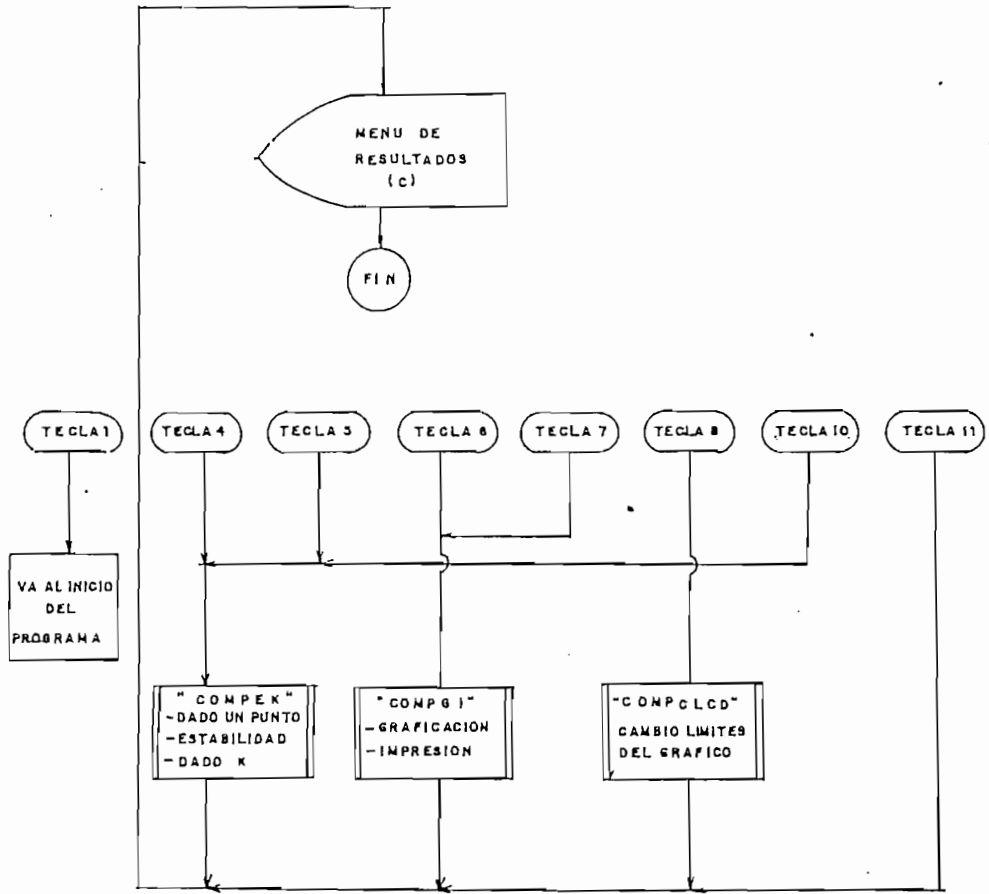


FIGURA 3.5c

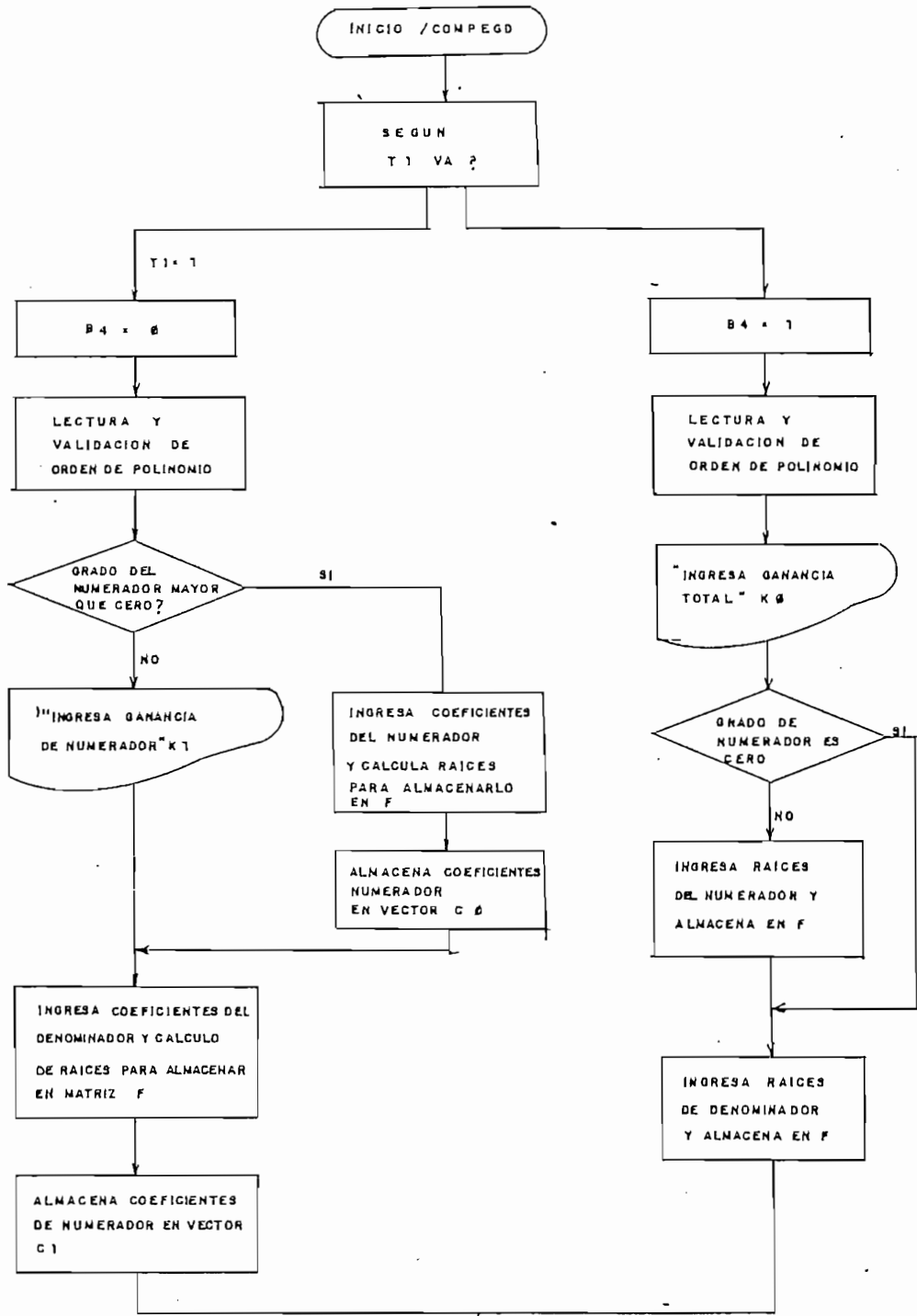


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBPROGRAMA "COMPEGD" FIGURA 3.6

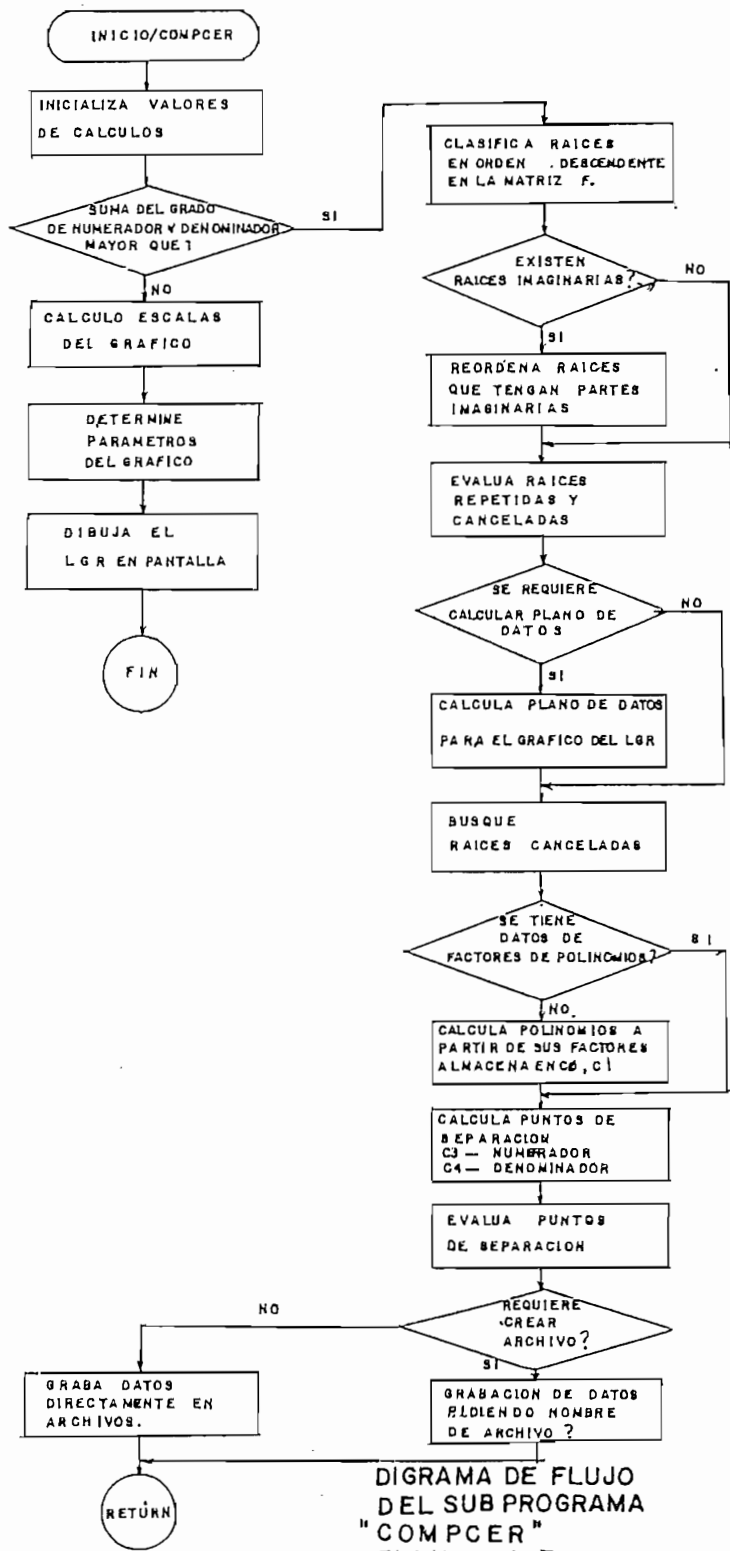
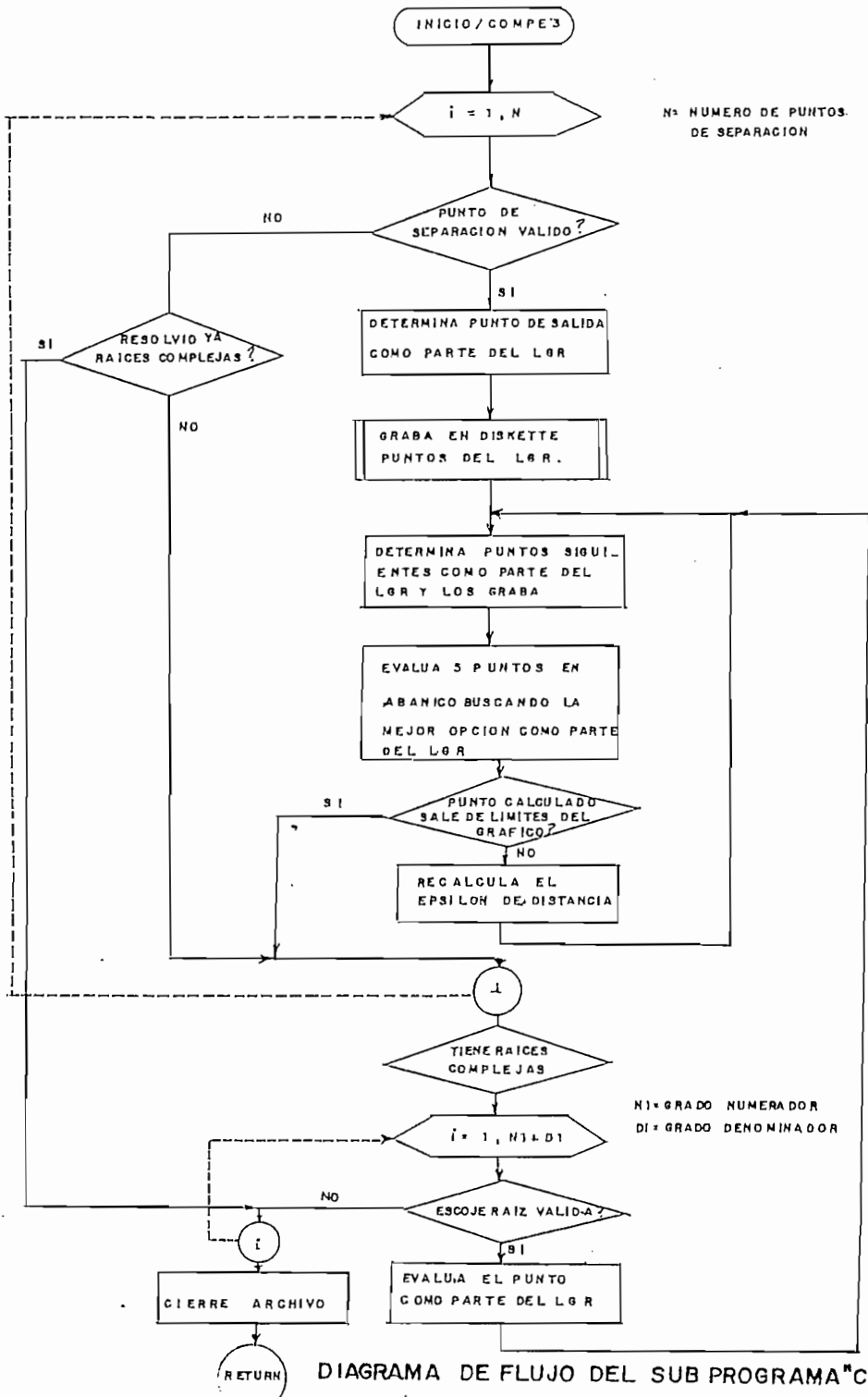


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBPROGRAMA "COMPCER" FIGURA 3.7



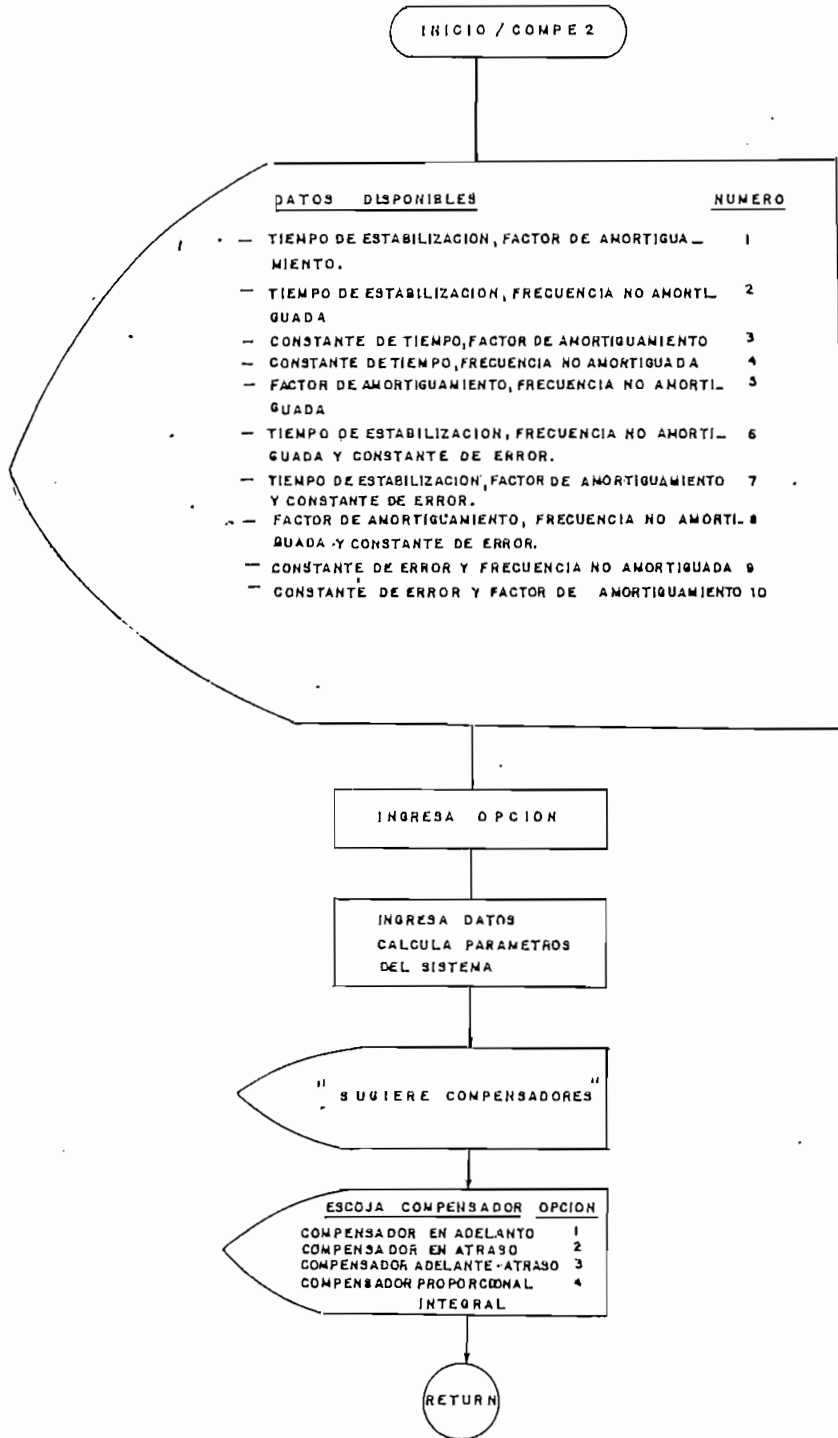


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUB PROGRAMA "COMPE 2"
FIGURA 3.9

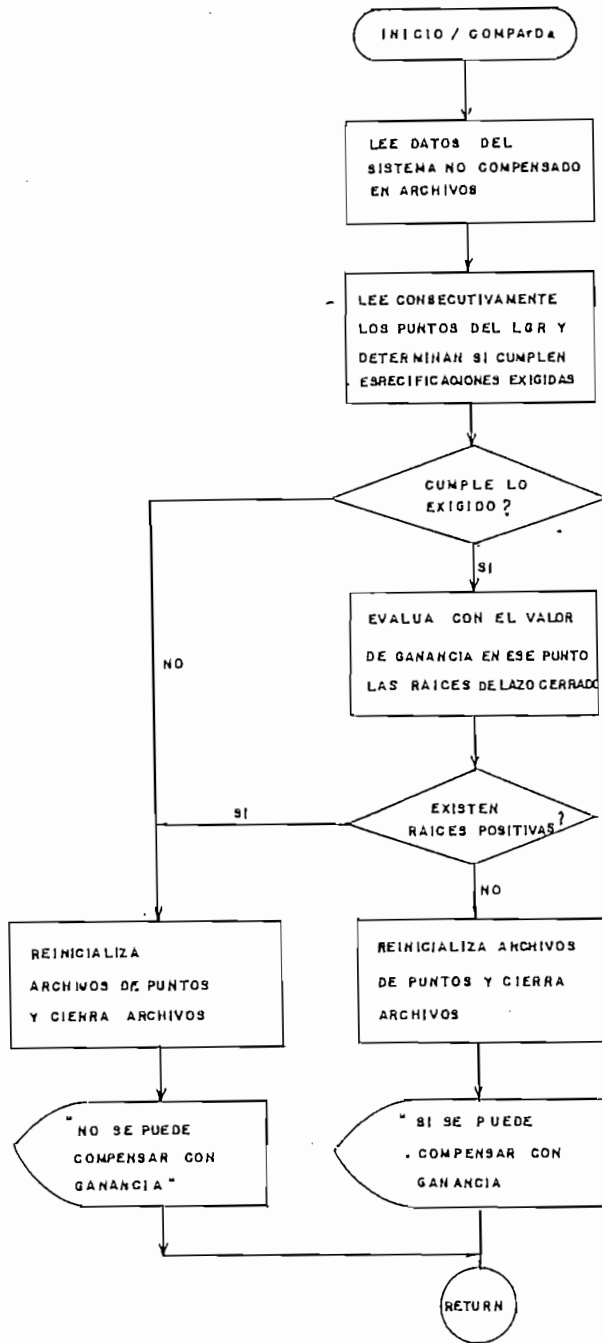


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUB PROGRAMA "COMPARDa"

FIGURA 3.10

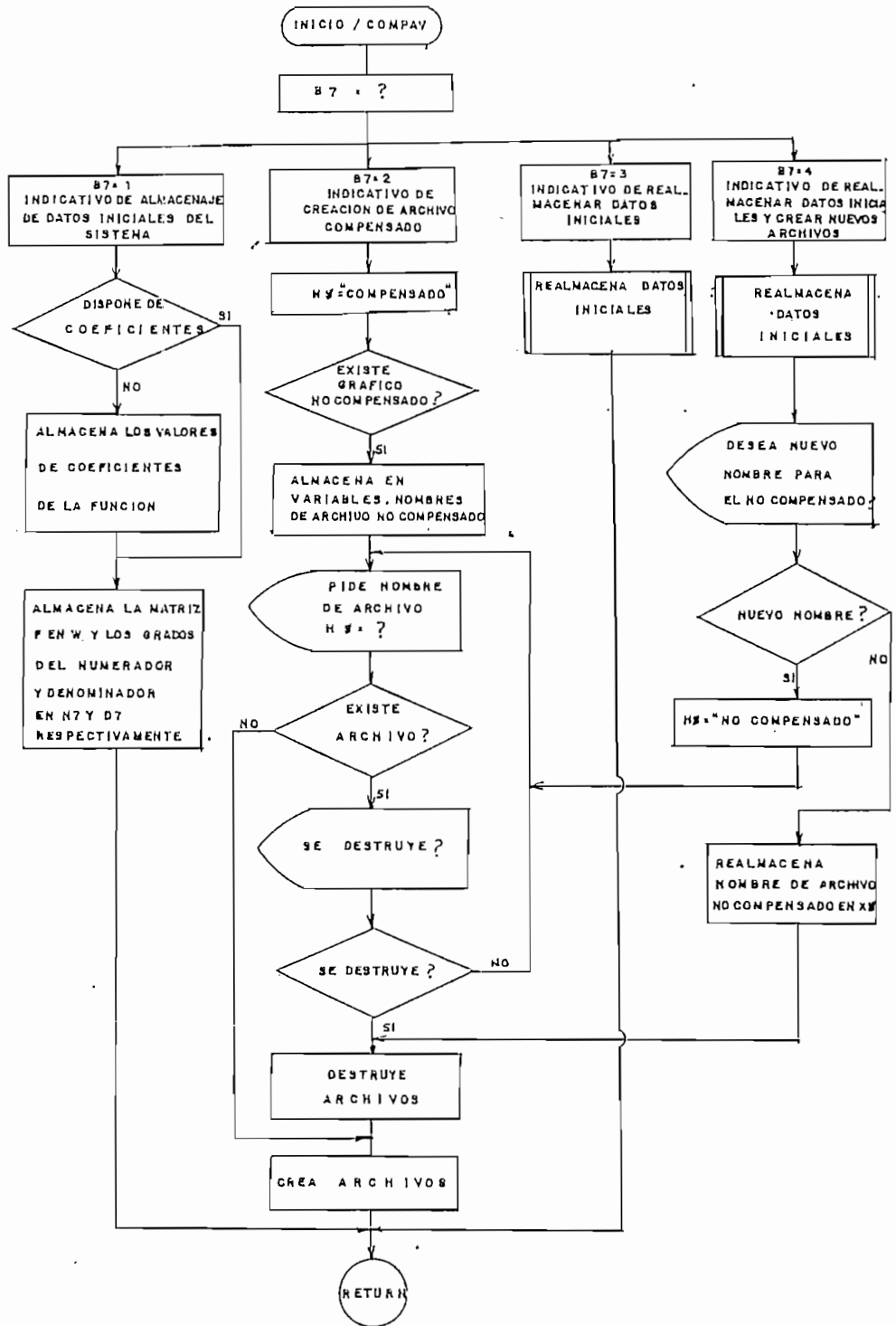


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBPROGRAMA "COMPAY"
FIGURA 3.11

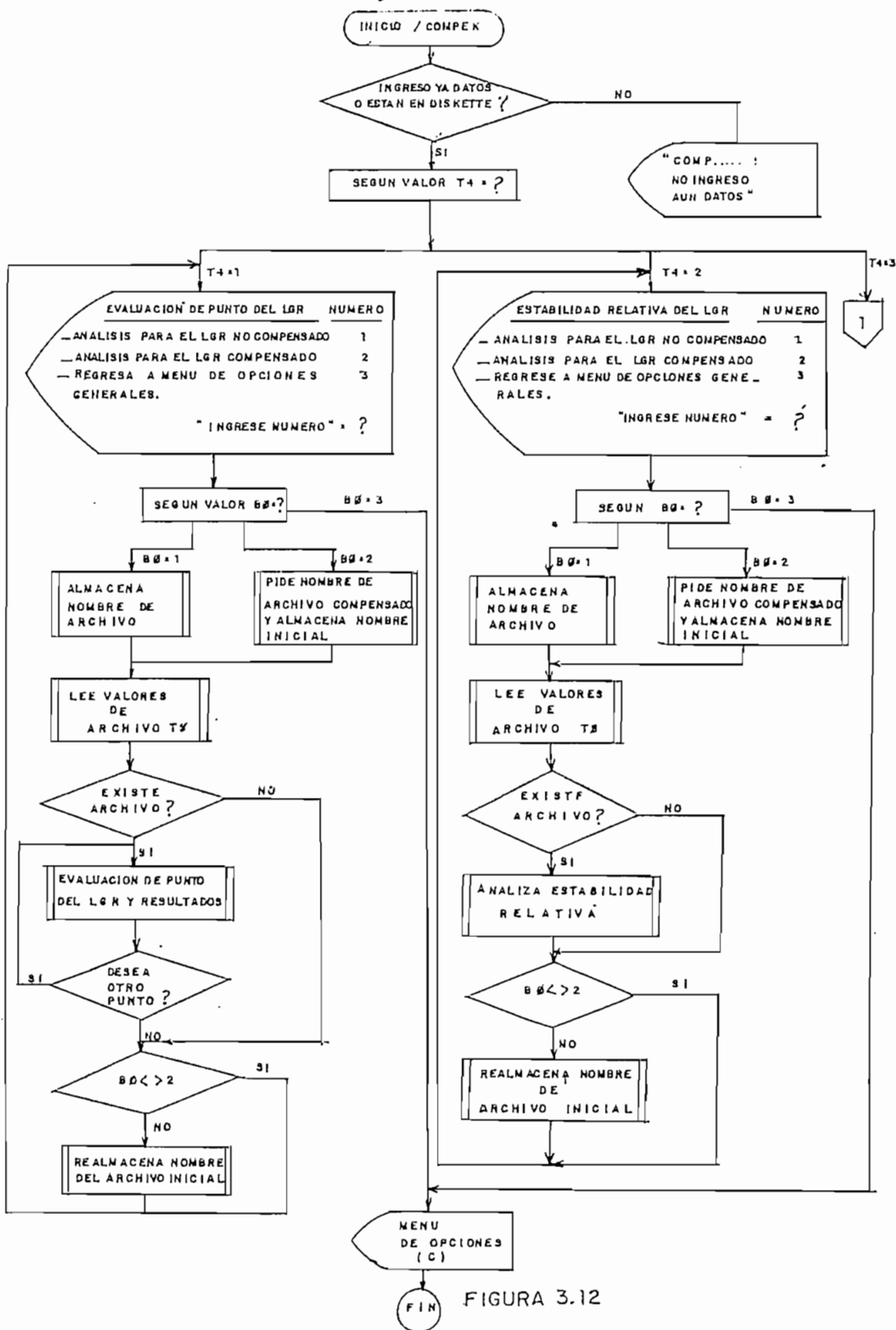


FIGURA 3.12

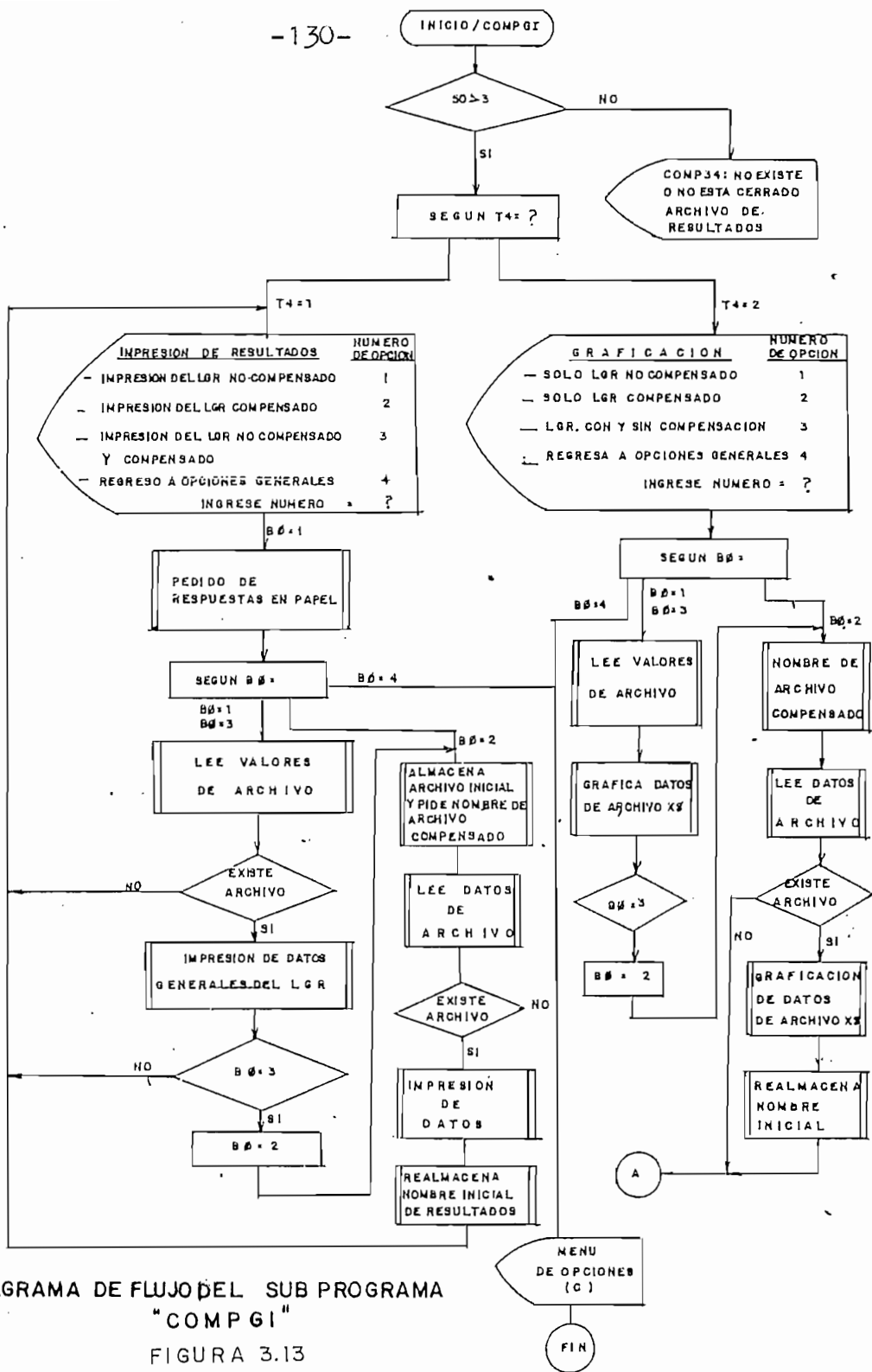


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUB PROGRAMA

"COMP GI"

FIGURA 3.13

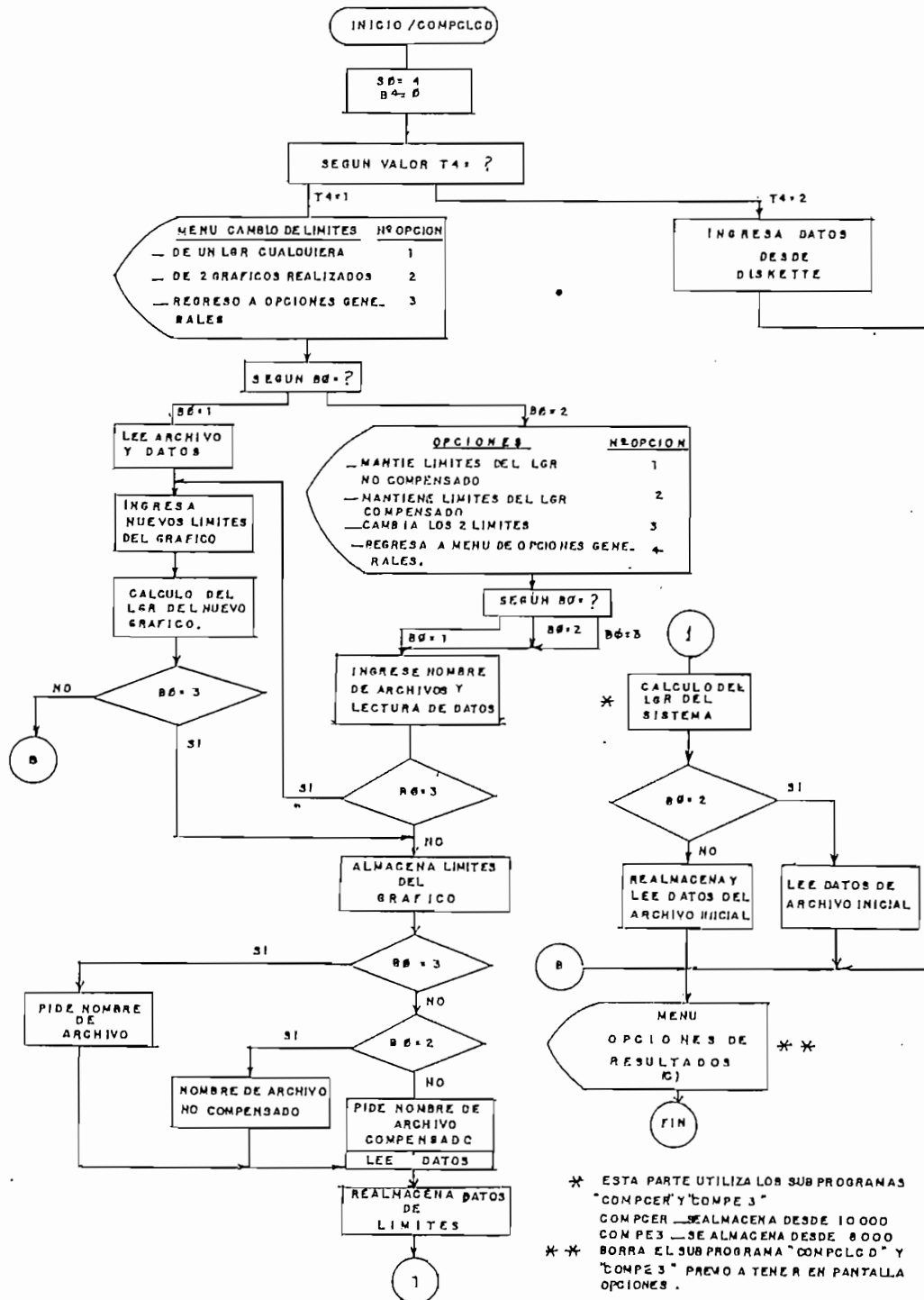


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUB PROGRAMA "COMPCLCD"

FIGURA 3.14

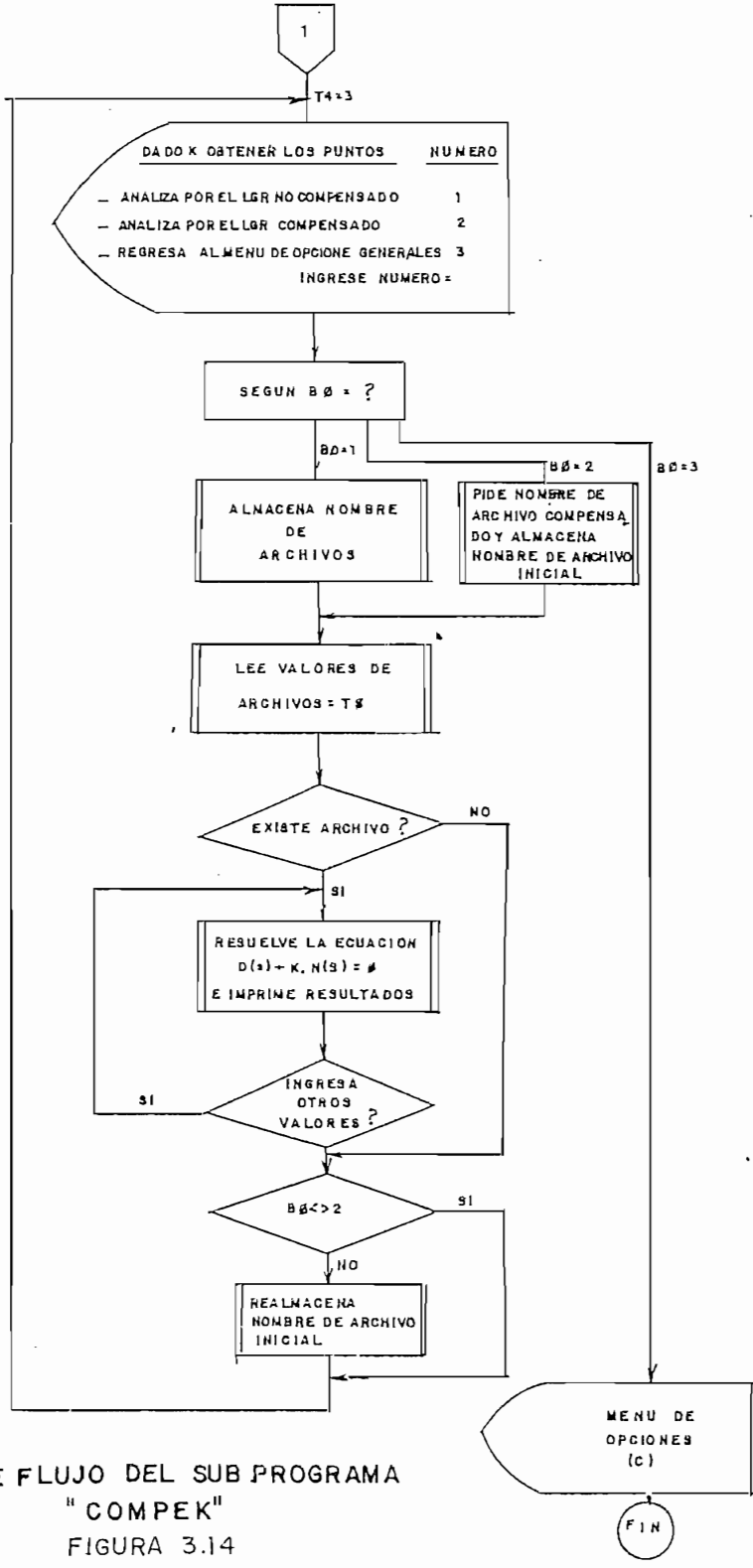


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUB PROGRAMA "COMPEK" FIGURA 3.14

Transferencia se calculó como:
$$G_c(s) = \frac{(S + 20)^3}{(S + 61.28)^3}$$

En el gráfico 3.16 se dispone del LGR compensado; asimismo se dispone de datos del LGR compensado y no compensado, identificados fácilmente por los nombres de los archivos.

Puede notarse de los gráficos del LGR que efectivamente el sistema se ha estabilizado, mas datos sobre la estabilidad del sistema se tiene a continuación.

- desde el punto	-8.11624087485	-j 15.0042060896)
-razon de amortiguamiento	0.475782820704	
Sobrenivel porcentual	18.28 %	
Angulo desde eje real	61.589668351	grados
Ganancia en corte con LGR	133921.23426	
Frecuencia no amortiguada ω_n	17.0587093978	1/seg
Frecuencia amortiguada ω_d	15.0042060896	1/seg
Constante de amortiguamiento	-8.11624087485	
Constante de tiempo	0.123209748875	
Tiempo pico T_p	0.209380798613	seg
T de estabilizacion (banda 15%)	0.384914767703	seg

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 00:39:

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : GANANCIA1

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO (G(s))

Ganancia estatica 1
 Grado del numerador 0
 Grado del denominador 3

Coefficientes del denominador :

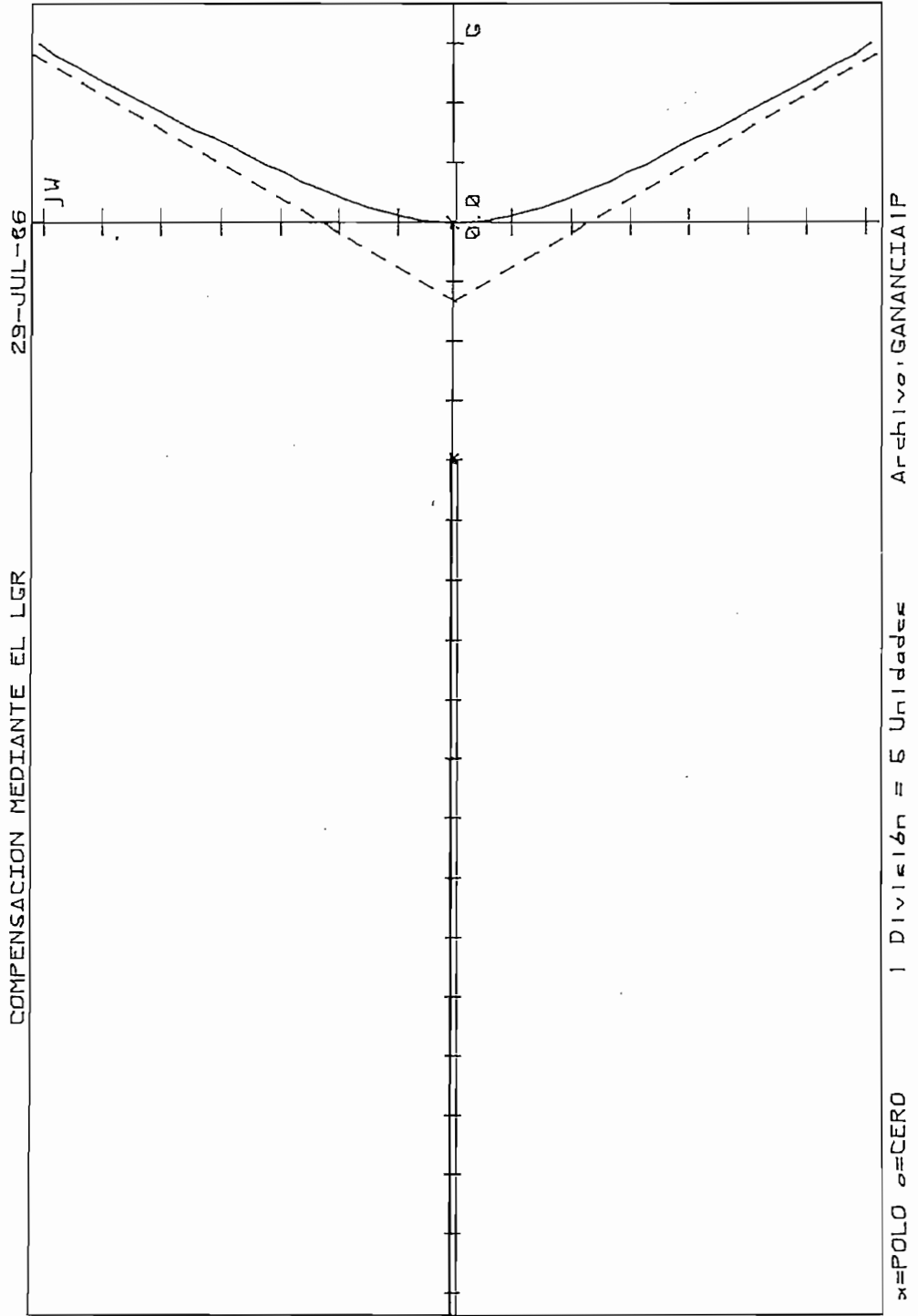
s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00		
	20.00		
	0.00		
0.00			

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POL	polo
-20.00	0.00	POL	polo

Puntos de separacion en el eje real :

#	Valor	Valides
1	0.00	SI
2	-13.33	NO



LGR. SISTEMA- No COMPENSADO
FIGURA 3.15

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 00:40

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : PROF1

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO G(s)

Ordenancia estática 1
Grado del numerador 3
Grado del denominador 6

Coefficientes del numerador :

s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00		
	60.00		
	1200.00		
8000.00			

Coefficientes del denominador :

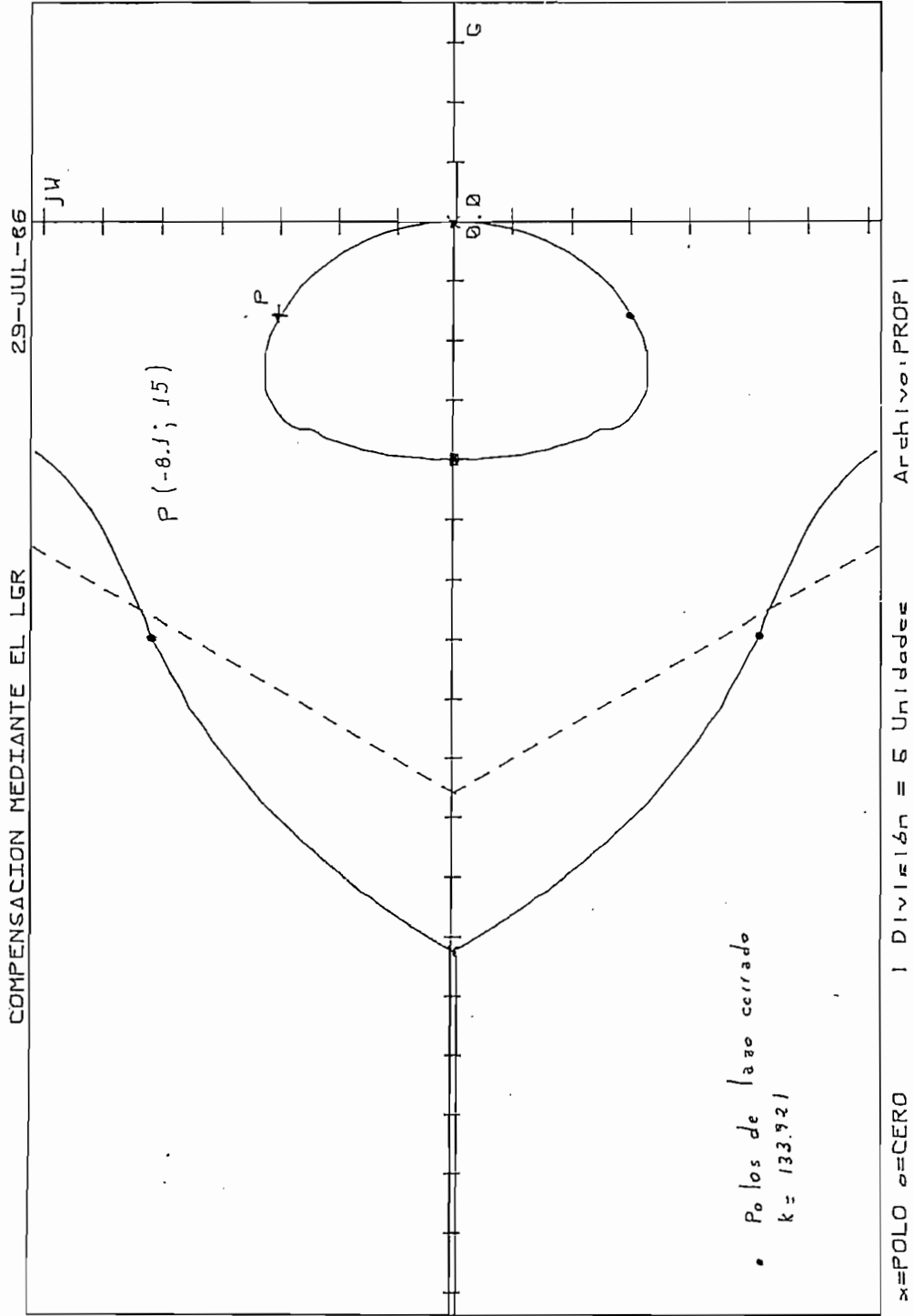
s**6	s**5	s**4	s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00					
	203.25					
	14944.04					
	455501.52					
	4603221.32					
	0.00					
0.00						

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	Doble
-20.00	0.00	POLO	Cancelado
-20.00	0.00	CERO	Cancelado
-20.00	0.00	CERO	Doble
-61.28	0.00	POLO	Triple

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validez
1	0.00	SI
4	-20.00	NO
5	-20.00	NO
6	-20.00	SI
7	-61.28	NO
8	-61.28	SI



LGR. SISTEMA COMPENSADO

FIGURA 3.16

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : PROP1

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Ganancia estática	1
Ganancia dinámica	133921.23
-Ganancia total	133921.23

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-20.00	0.00
2	-8.02	-15.18
3	-8.02	15.18
4	-31.01	-27.51
5	-31.01	27.51
6	-105.77	0.00

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : PROP1

	RAZON DE AMORTIGUAMIENTO	
-Desde el punto	-8.11624087485 + j(15.0042060896	
-Razon de amortiguamiento	0.475782220704	
Sobrenivel porcentual	19.28 %	
Angulo desde eje real	61.589668331	grados
Ganancia en corte con LGR	133921.23426	
Frecuencia no amortiguada ω_n	17.0587093978	1/seg
Frecuencia amortiguada ω_d	15.0042060896	1/seg
Constante de amortiguamiento	-8.11624087485	
Constante de tiempo	0.123209748875	
Tiempo pico t_p	0.209380798613	seg
T de estabilizacion (banda 5%)	0.324914567703	seg
T de estabilizacion (banda 10%)	0.299512477653	seg

EJEMPLO 3.2

Se dispone de un sistema de control cuya planta tiene una función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K}{(s-1)(s+1)(s+4)^2}$$

Con realimentación unitaria; se busca estabilizar al sistema de tal modo que sus raíces pasen por el punto.

$(-1.0; 1.8)$.

Solución:

Las condiciones pedidas pueden aproximarse a un sistema de segundo orden, con la cual: $T_s < 4$ segundos y factor de amortiguamiento, aproximadamente $\zeta = 0.5$.

Al introducir datos en el programa "COMPPP" se obtiene el LGR no compensado, mostrado en la figura 3.17 que claramente se nota que es inestable.

Al calcular la red compensadora, se obtuvo:

$$G_c(s) = \frac{(s + 2.5)^3}{(s + 8.75)^3} \quad \text{que es una red de compensación en adelanto.}$$

El gráfico del LGR compensado se muestra en la figura 3.18, se nota claramente que el sistema es estable, pues las raíces de lazo cerrado, caen en el semiplano negativo.

Se tienen además los datos de cada LGR distinguidos por el nombre de archivos.

Se muestra así mismo que efectivamente para una ganancia de 2.77.1,-

el LGR pase aproximadamente por el punto deseado, aclarándose que no necesariamente ese punto será de raíces dominantes, al usuario corresponde di lucidar si es válida la respuesta. De cualquier modo se puede notar que si bien tienen ingerencia las raíces inmediatamente cercanas a las mostra das en el punto P de la figura 3.18, las raíces del punto P sí dominan la respuesta transitoria del sistema.

PARTE DE SUPERACION EN ADELANTO

El cero debe estar en : -2.5

El polo debe estar en : -8.75586730929

La multiplicidad de la red es : 3

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : ATRAS01

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Orden de integracion	10
Grado del numerador	0
Grado del denominador	4

Coefficientes del denominador :

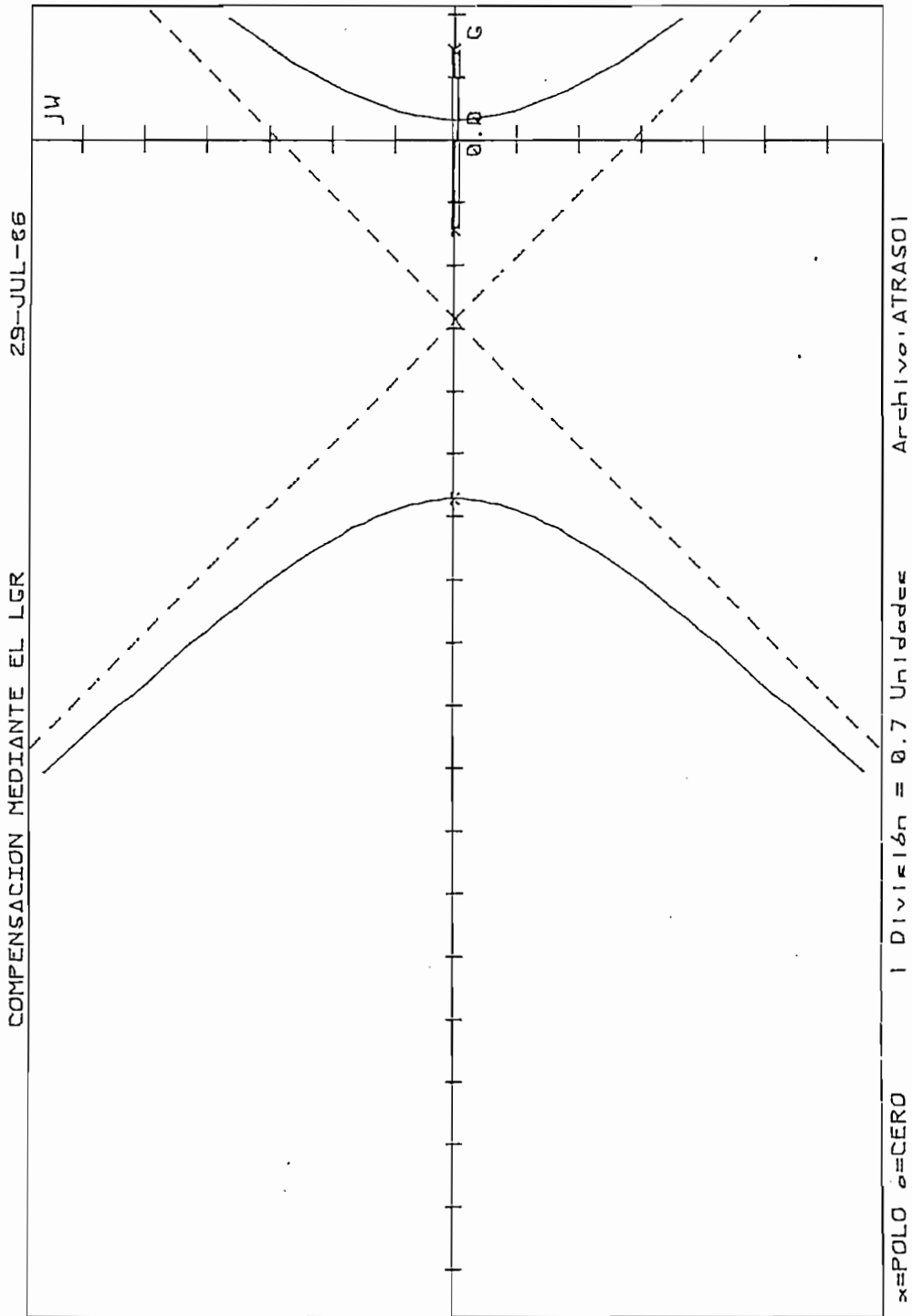
s**4	s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00			
	2.00			
	15.00			
	-8.00			
-15.00				

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
1.00	0.00	POLO	
-1.00	0.00	POLO	
-4.00	0.00	POLO	Doble

Puntos de separacion en el eje real :

#	Valor	Valor
1	0.22	SI
2	-2.22	NO
3	-4.00	SI



LGR No COMPENSADO
FIGURA 3.17

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Ganancia estática	10
Grado del numerador	3
Grado del denominador	7

Coefficientes del numerador :

s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00		
	7.50		
	18.75		
15.63			

Coefficientes del denominador :

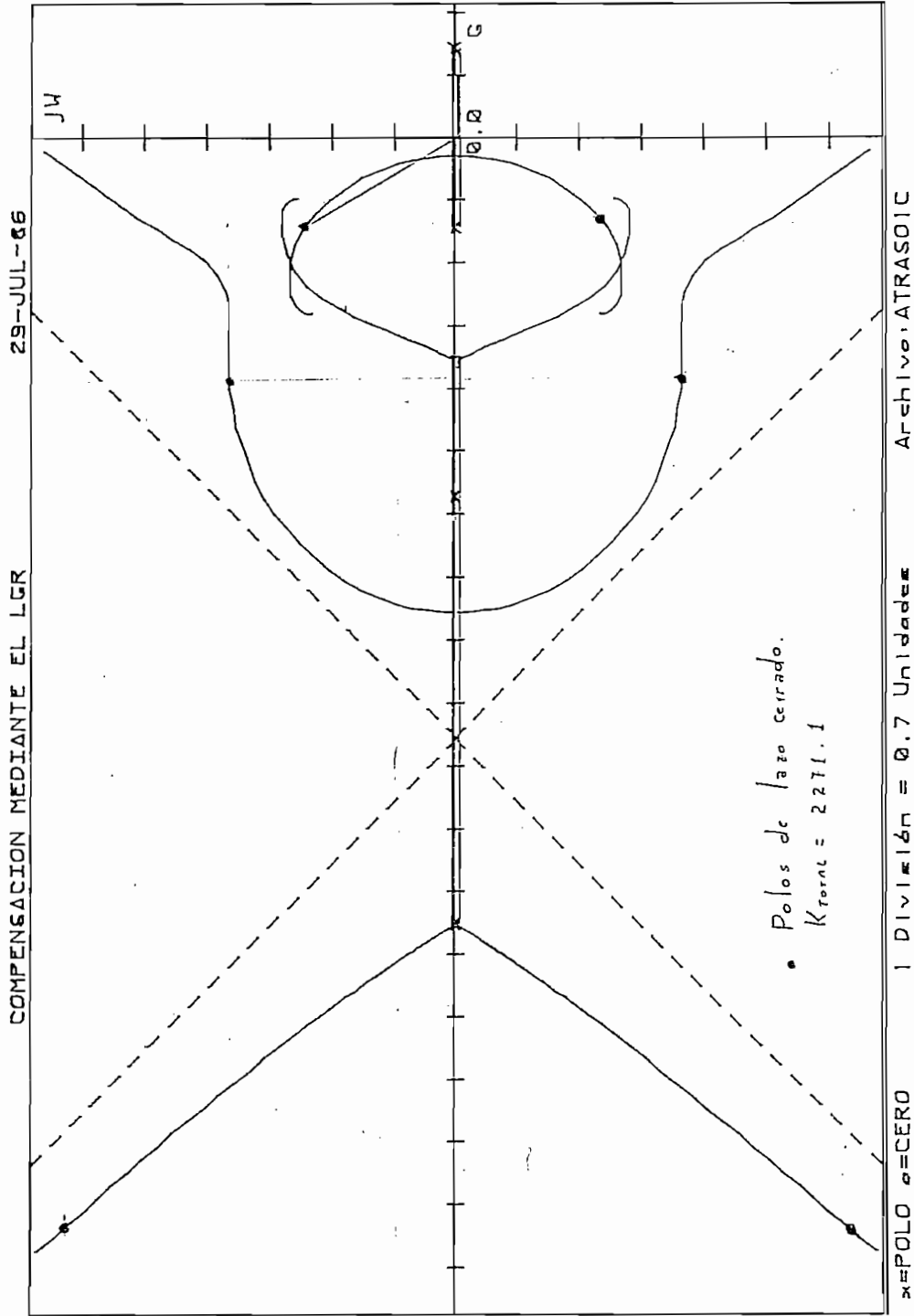
s**7	s**6	s**5	s**4	s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00						
	34.27						
	455.14						
	2897.25						
	8593.96						
	7808.81						
	-9050.09						
-10740.33							

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
1.00	0.00	POLO	
-1.00	0.00	POLO	
-2.50	0.00	CERO	Triple
-4.00	0.00	POLO	Doble
-8.76	0.00	POLO	Triple

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validez
1	-0.21	SI
4	-2.50	NO
5	-2.50	SI
6	-4.00	NO
7	-5.29	SI
8	-8.76	NO
9	-8.76	SI



LGR COMPENSADO
FIGURA 3.18

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : ATRAS010

Diferencia en suma de argumentos = 0.181647672522 grados

Ganancia K del punto = 2271.47409457

El punto evaluado es : $-0.995571182441 + j(1.69039709621)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

Diferencia en suma de argumentos = 1.38282818814 grados

Ganancia K del punto = 2923.35750155

El punto evaluado es : $-1.93863835567 + j(1.2002765499)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Gainancia estática	10
Gainancia dinámica	227.147
-Gainancia total	2271.47

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-3.24	0.00
2	-0.99	-1.70
3	-0.99	1.70
4	-2.26	2.55
5	-2.26	-2.55
6	-12.27	-4.52
7	-12.27	4.52

Gainancia dinámica 392.3

Gainancia total 3923

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-3.16	0.00
2	-1.96	-1.21
3	-1.96	1.21
4	-0.68	3.88
5	-0.68	-3.88
6	-12.91	-5.25
7	-12.91	5.25

REFERENCIA

- (1) Pazmiño Ramiro, análisis de estabilidad. Criterio del lugar geométrico de las raíces, Cap II, Tesis de Ingeniería Eléctrica, Quito, 1981.

EJEMPLO 3.3

Un sistema de control con realimentación unitaria, tiene una función de transferencia en el lazo directo o planta de:

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+4)}$$

Si se está satisfecho con su respuesta transitoria en el punto cuya frecuencia no amortiguada, $\omega_n = 0.81 \frac{\text{rad}}{s}$ y factor de amortiguamiento $0.5 (\zeta)$; se desea mejorar su respuesta de estado estable para tener una constante de error de velocidad mayor o igual a 20.

Solución:

El punto que cumple con estas especificaciones de ω_n y ζ debe estar en:

$$X_4 = -\omega_n \zeta = 0.405$$

$$Y_4 = \omega_n \text{sen}(\cos^{-1} \zeta) = 0.701$$

Al introducir en el programa "COMPPP" los datos de ω_n , ζ y K_{te} de error, se calcula previamente a compensar, el gráfico no compensado que se tiene en la figura 3.19, puesto que el punto cumple con ser parte del LGR, se procede a calcular el compensador en atraso para mejorar el error de estado estable.

El compensador calculado resultó:

$$G_c(s) = \frac{(s + 0.05)^2}{(s + 0.0071)^2}$$

Se nota claramente que la multiplicidad fue de dos, para cumplir con error, en la figura 3.20 se aprecia el LGR compensado, lo que primero puede notarse es que el LGR prácticamente no se altera.

De aclararse que el LGR compensado calculado, tiene una rama que aparentemente sale en un punto muy cercano al origen, si bien es una rama -

que se cierra cerca al origen, el programa calcula el gráfico y cuando no halla puntos válidos como parte del LGR, toma inmediatamente el siguiente punto de separación para evaluar, por lo que el operador debe dilucidar sobre las ramas válidas como parte del LGR.

Efectivamente el error de estado estable disminuyó pues la constante de error conseguida es de 35.17 con lo cual:

$$E_{ss} = \frac{1}{K_v} = 0.0284$$

Adicionalmente a los gráficos se dispone de algunos puntos evaluados en el sistema compensado.

=====

El cero se halla en : -0.05

El polo se halla en : -0.00714285714286

En el punto : -0.405 + j(0.701480577065)

La ganancia del sistema es : 12.87149214

El ángulo de este punto es : 10.17196095524

La multiplicidad de la red es : 2

La constante de error compensada es : 35.175778715

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-82 10:08

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : REATRIZ

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Gainancia estática	10
Grado del numerador	0
Grado del denominador	3

Coefficientes del denominador :

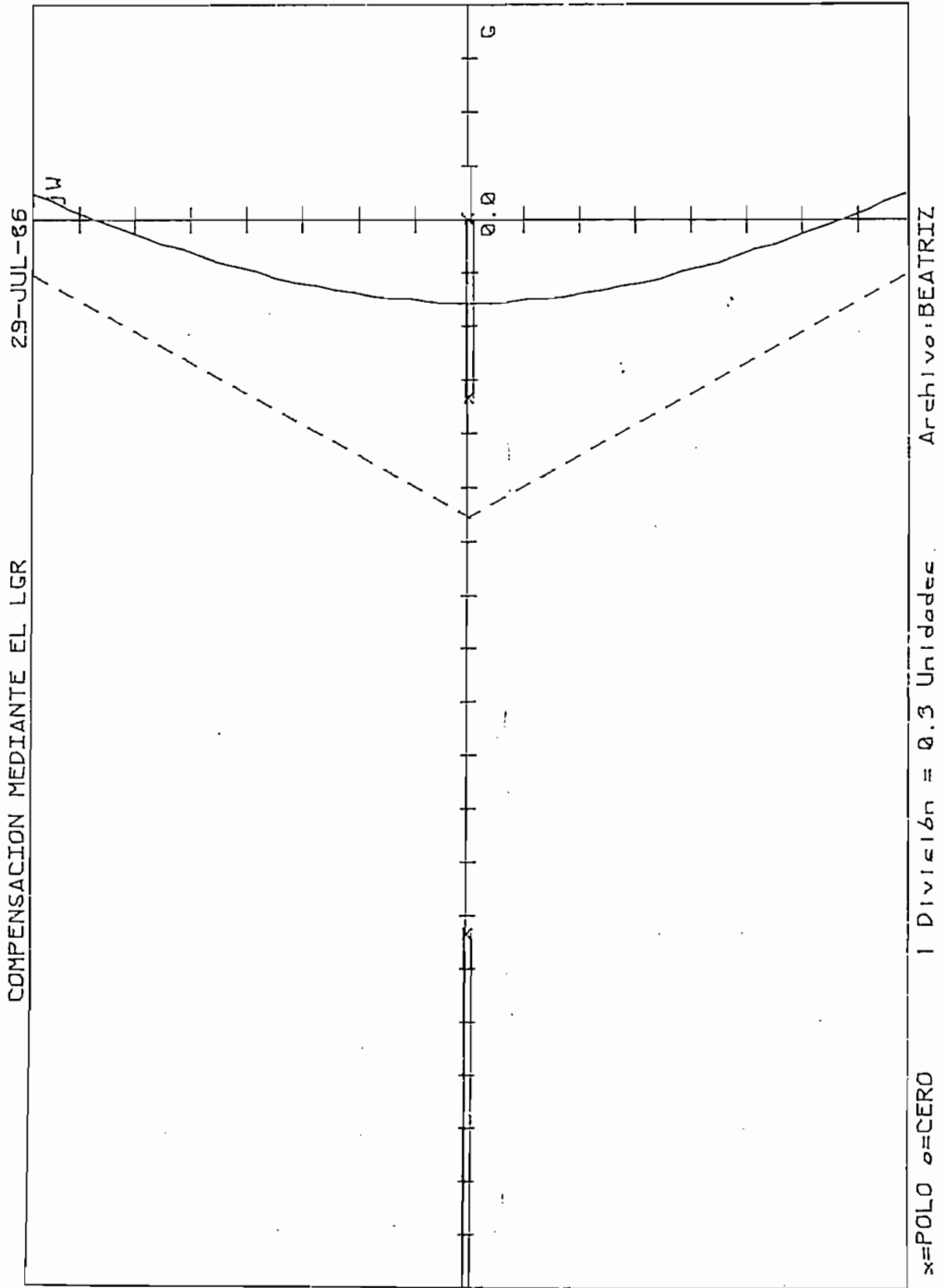
s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00		
	5.00		
	4.00		
0.00			

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	
-1.00	0.00	POLO	
-4.00	0.00	POLO	

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Realicez
1	-0.46	SI
2	-2.87	NO



LGR No COMPENSADO

FIGURA 3.19

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Ganancia estática	10
Grado del numerador	2
Grado del denominador	5

Coefficientes del numerador :

s**2	s**1	s**0
	1.00	
	0.10	
0.00		

Coefficientes del denominador :

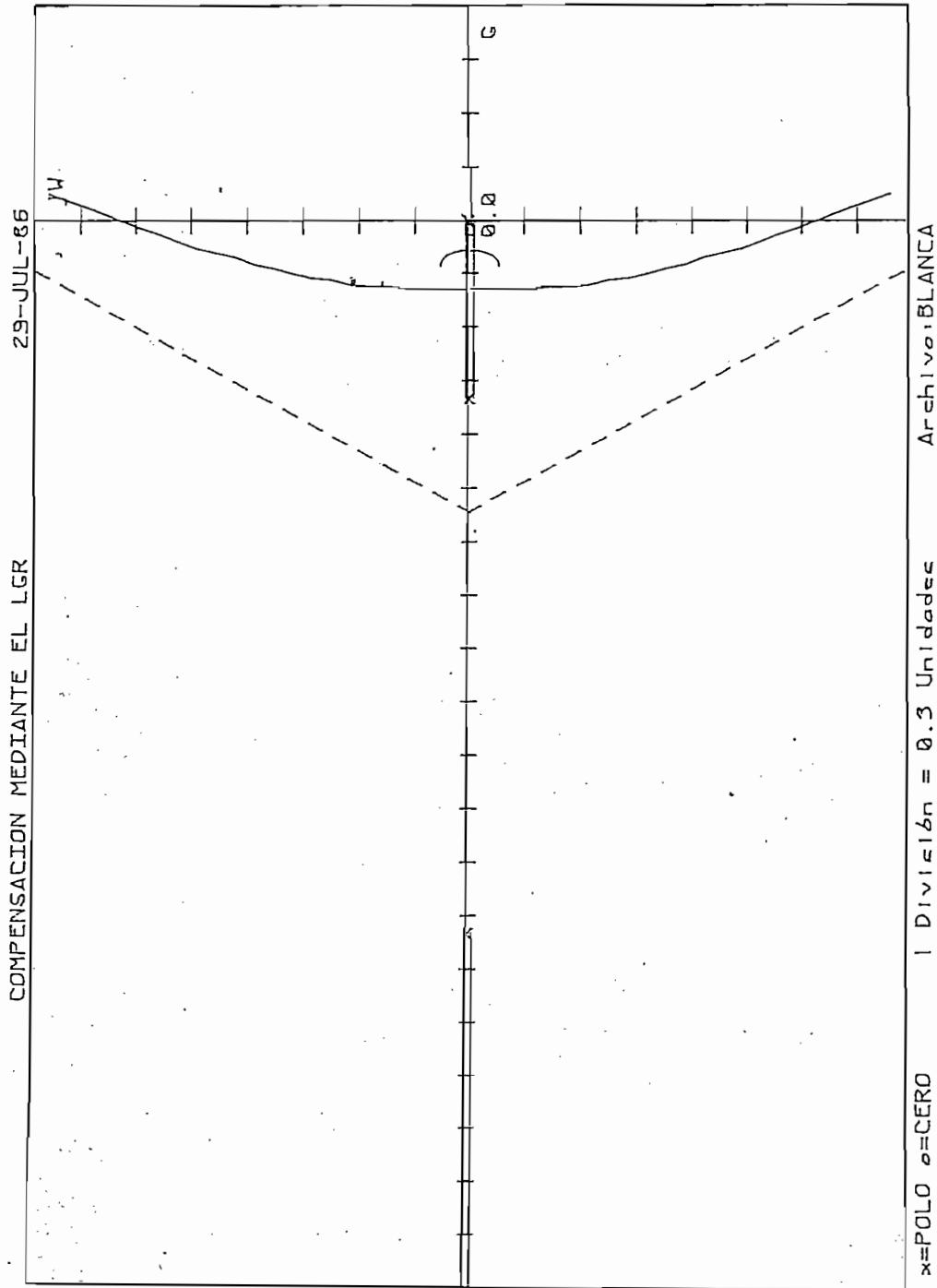
s**5	s**4	s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00				
	5.01				
	4.07				
	0.06				
	0.00				
0.00					

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	
-0.01	0.00	POLO	Doble
-0.05	0.00	CERO	Doble
-1.00	0.00	POLO	
-4.00	0.00	POLO	

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validez
1	0.00	NO
2	-0.01	NO
3	-0.05	NO
4	-0.17	SI
5	-0.39	SI
6	-2.86	NO



LGR COMPENSADO
- FIGURA 3.20

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

RAZON DE AMORTIGUAMIENTO

-Desde el punto	-0.37355 + j(0.471015)	
-Razon de amortiguamiento	0.621380802298	
Sobrenivel porcentual	5.09 %	
Angulo desde eje real	51.5829617666	grados
Generancia en corte con LGR	1.87906132711	
Frecuencia no amortiguada ω_n	0.601161153706	1/seg
Frecuencia amortiguada ω_d	0.471015	1/seg
Constante de amortiguamiento	-0.37355	
Constante de tiempo	2.67701780217	
Tiempo pico T_p	6.66993568165	seg
T de estabilizacion (banda<5%)	8.67274896027	seg

RAZON DE AMORTIGUAMIENTO

-Desde el punto	-0.37355 + j(0.635265)	
-Razon de amortiguamiento	0.621380802298	
Sobrenivel porcentual	11	
Angulo desde eje real	59.53021489	grados
Generancia en corte con LGR	2.56154294416	
Frecuencia no amortiguada ω_n	0.736954016696	1/seg
Frecuencia amortiguada ω_d	0.635265	1/seg
Constante de amortiguamiento	-0.37355	
Constante de tiempo	2.67701780217	
Tiempo pico T_p	4.930163081	seg
T de estabilizacion (banda<5%)	6.40112096528	seg

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

Diferencia en suma de argumentos = 1.0059712261 grados

Gainancia K del punto = 2.49604188818

El punto evaluado es : -0.36865 + j(0.620775)

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

Diferencia en suma de argumentos = 0.456446647376 grados

Gainancia K del punto = 1.87906132711

El punto evaluado es : -0.37355 + j(0.471015)

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 20:23:11

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Gainancia estática 10
Gainancia dinámica 0.18
-Gainancia total 2.49

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-0.07	0.00
2	-0.04	0.00
3	-0.36	-0.62
4	-0.36	0.62
5	-4.18	0.00

Gainancia dinámica 0.18
-Gainancia total 1.8

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-0.08	0.00
2	-0.04	0.00
3	-0.38	-0.45
4	-0.38	0.45
5	-4.14	0.00

EJEMPLO 3.4

En un sistema de control cuya planta tiene una función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K}{s(s + 0.5)}$$

Con realimentación unitaria, se pide determinar una red compensadora, para cumplir con las siguientes especificaciones:

Frecuencia no amortiguada : $5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Factor de amortiguamiento : 0.5

Constante de error de velocidad : 60

Solución:

Puesto que se busca mejorar tiempo de estabilización y el error de estado estable, la red aconsejable es una adelanto - atraso.

Al introducir esos datos en el computador se obtuvo primeramente el gráfico del LGR no compensado, que se muestra en la figura 3.21; para cumplir con las condiciones exigidas se determinó que es necesario una red en adelanto - atraso cuya función de transferencia es:

$$G_c(s) = \frac{3 + 2.5s}{5 + 2.63s} \cdot \frac{s + 0.05}{s + 0.0144}$$

El LGR compensado se tiene en la figura 3.22, puede compararse fácilmente los 2 gráficos y notar que efectivamente el LGR se ha desplazado hacia la izquierda, haciendo mas estable el sistema como efecto de la parte de adelanto, mientras que la parte de atraso, si bien no modifica al LGR, pero se encarga de mejorar su respuesta de estado estable.

También se presenta valores de ganancia calculados en el punto evaluado como parte del LGR y para el valor de ganancia total 41.5 sus rai-

ces.

El sistema ha sido compensado en forma satisfactoria.

Viendo el uso de red en atraso con mismo valor alfa

Multiplicidad de la red es: 1

PARTE DE COMPENSACION EN ADELANTO

=====

El cero debe estar en : -2.5

El polo debe estar en : -8.63636363636

La multiplicidad de la red es : 1

PARTE DE COMPENSACION EN ATRASO

=====

El cero debe estar en : -0.05

El polo debe estar en : -0.0144736842105

La multiplicidad de la red es : 1

En el punto : $-2.5 + (j4.33012701892)$

La ganancia del sistema es : 41.5098831106

El angulo de este punto es : 0.354833282073

La constante de error calculada es :

: 93.0197662212

=====

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 21:27

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BEATRIZ

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Gainancia estática 4
Grado del numerador 0
Grado del denominador 2

Coefficientes del denominador :

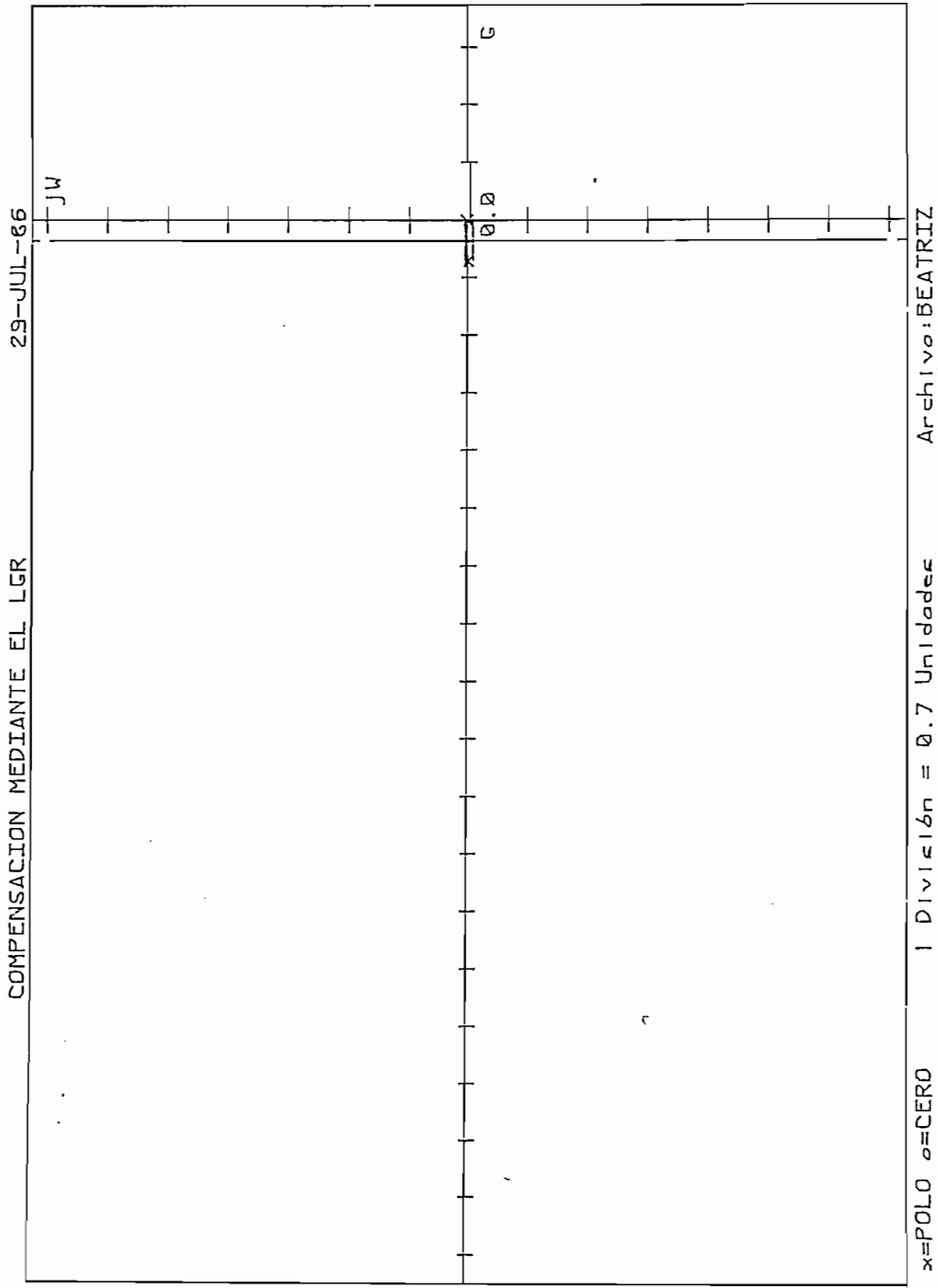
 s**2 s**1 s**0
 1.00
 0.50
0.00

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	
-0.50	0.00	POLO	

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validez
1	-0.25	SI



LGR No COMPENSADO

FIGURA 3.21

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 21:26:

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO G(s)

Gainancia estatica 10
Grado del numerador 3
Grado del denominador 4

Coefficientes del numerador :

 s**2 s**1 s**0
 1.00
 2.55
0.13

Coefficientes del denominador :

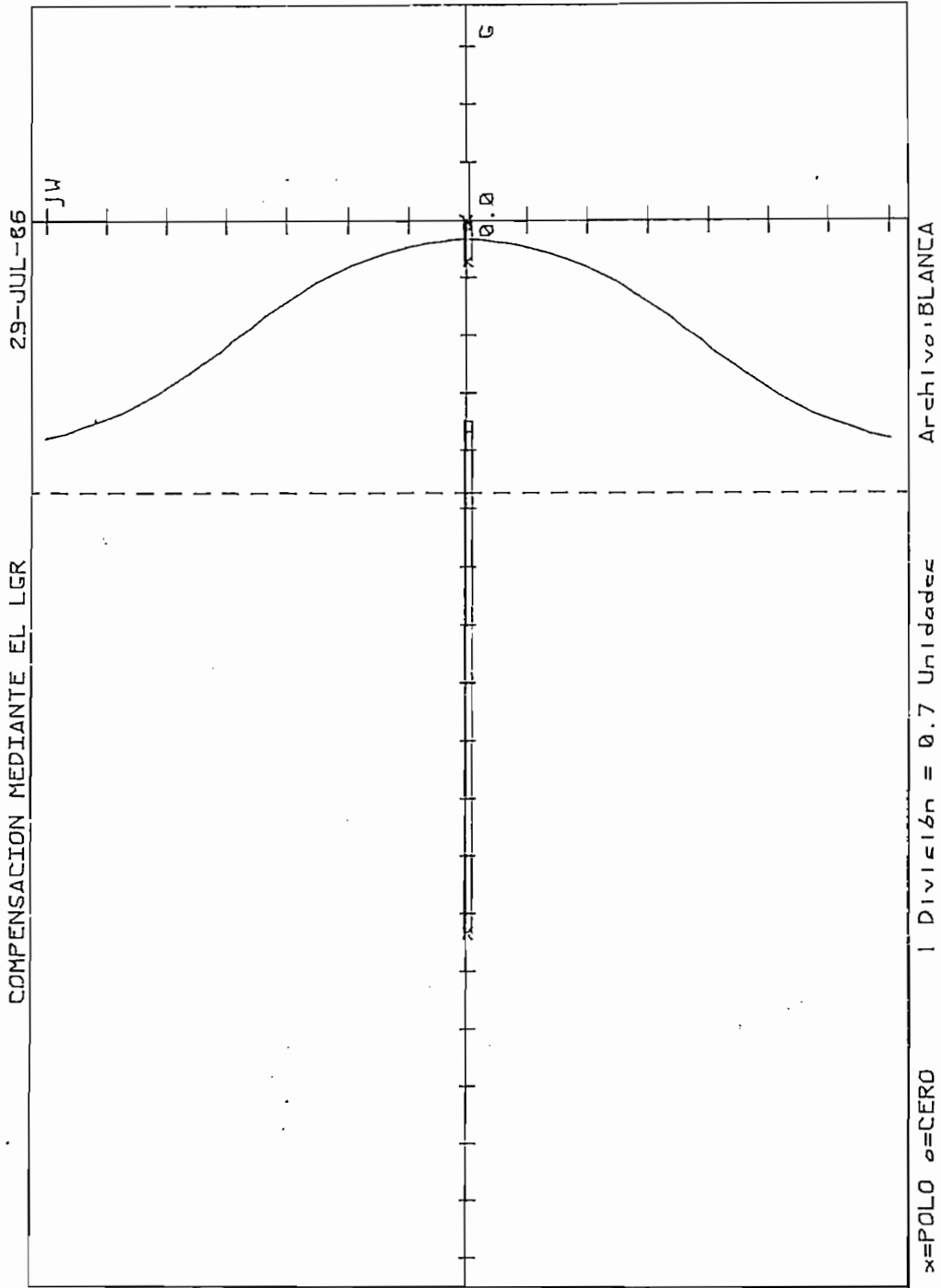
 s**4 s**3 s**2 s**1 s**0
 1.00
 9.15
 4.45
 0.06
0.00

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	
-0.01	0.00	POLO	
-0.05	0.00	CERO	
-0.50	0.00	POLO	
-2.50	0.00	CERO	
-8.64	0.00	POLO	

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validad
1	-0.01	SI
2	-0.10	SI
3	-0.23	SI



LGR COMPENSADO

FIGURA 3.22

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 21:23

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

Diferencia en suma de argumentos = 0.1559552771 rad

Ganancia K del punto = 41.1033416953

El punto evaluado es : $-2.42271590909 + j(4.31296761364)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

Diferencia en suma de argumentos = 0.35541442477 rad

Ganancia K del punto = 41.5087857114

El punto evaluado es : $-2.5 + j(4.33)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 21:25

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : BLANCA

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Gainancia estática	10
Gainancia dinámica	4.15
-Gainancia total	41.5

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-0.05	0.00
2	-4.15	0.00
3	-2.47	-4.34
4	-2.47	4.34

EJEMPLO 3.5

Para un sistema de control, con realimentación unitaria, cuya planta tiene una función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+4)}$$

Se desea compensar el sistema para conseguir, lo siguiente:

Tiempo de estabilización 2 segundos

Factor de amortiguamiento = 0.5

Constante de error de velocidad = 140

Solución:

Puesto que se pide mejorar la respuesta transitoria y la de estado estable, la mejor opción de compensación es la de adelanto - atraso.

Al ingresar en el computador los datos y especificaciones de compensación se graficó primeramente el LGR no compensado que se muestra en la figura 3.23, a continuación se determinó que la red compensadora tiene una función de transferencia:

$$G_c(s) = \frac{s+1.46}{s+7.46} \frac{(s+0.05)^2}{(s+0.0098)^2}$$

Se puede notar facilmente que se necesitó una red en atraso adicional, a la red adelanto - atraso, para cumplir con especificaciones de error.

En la figura 3.24 se dispone del LGR compensado y como puede notar se las condiciones exigidas cumple perfectamente, se presenta adicionalmente el cálculo de polos de lazo cerrado para algunos valores de ganancia.

PARTE DE COMPENSACION EN ADELANTO

=====

El cero debe estar en : -1.46410161514

El polo debe estar en : -7.46410161514

La multiplicidad de la red es : 1

SE REQUIERE ADICIONALMENTE 2 REDES EN ATRASO

REDES EN ADELANTO ATRASO =1

REDES EN ATRASO SOLAMENTE =2

PARTE DE COMPENSACION EN ATRASO

=====

El cero debe estar en : -0.05

El polo debe estar en : -0.00980762113533

La multiplicidad de la red es : 3

En el punto : -1 + (j1.73205080757)

La ganancia del sistema es : 46.1336429616

El angulo de este punto es : 3.03620841802

La constante de error calculada es :

: 299.757740027

=====

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Ganancia estática	100
Grado del numerador	0
Grado del denominador	3

Coefficientes del denominador :

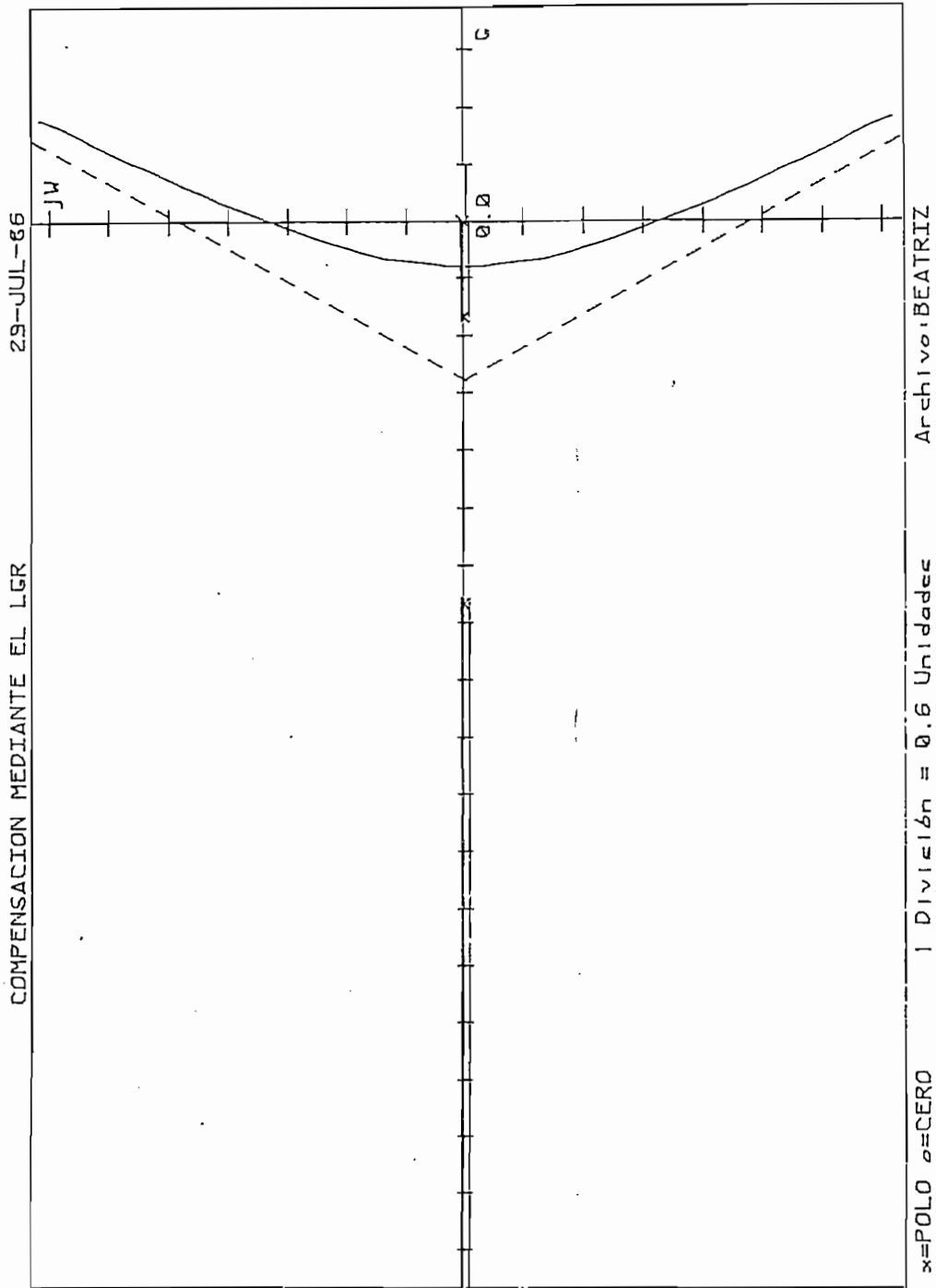
s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00		
	5.00		
0.00	4.00		

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	
-1.00	0.00	POLO	
-4.00	0.00	POLO	

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validez
1	-0.46	SI
2	-2.87	NO



LGR No COMPENSADO

FIG 3.23

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 23:17

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivó : FERNANDO

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Ganancia estática	100
Grado del numerador	4
Grado del denominador	7

Coefficientes del numerador :

s**4	s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00			
	1.61			
	0.23			
	0.01			
0.00				

Coefficientes del denominador :

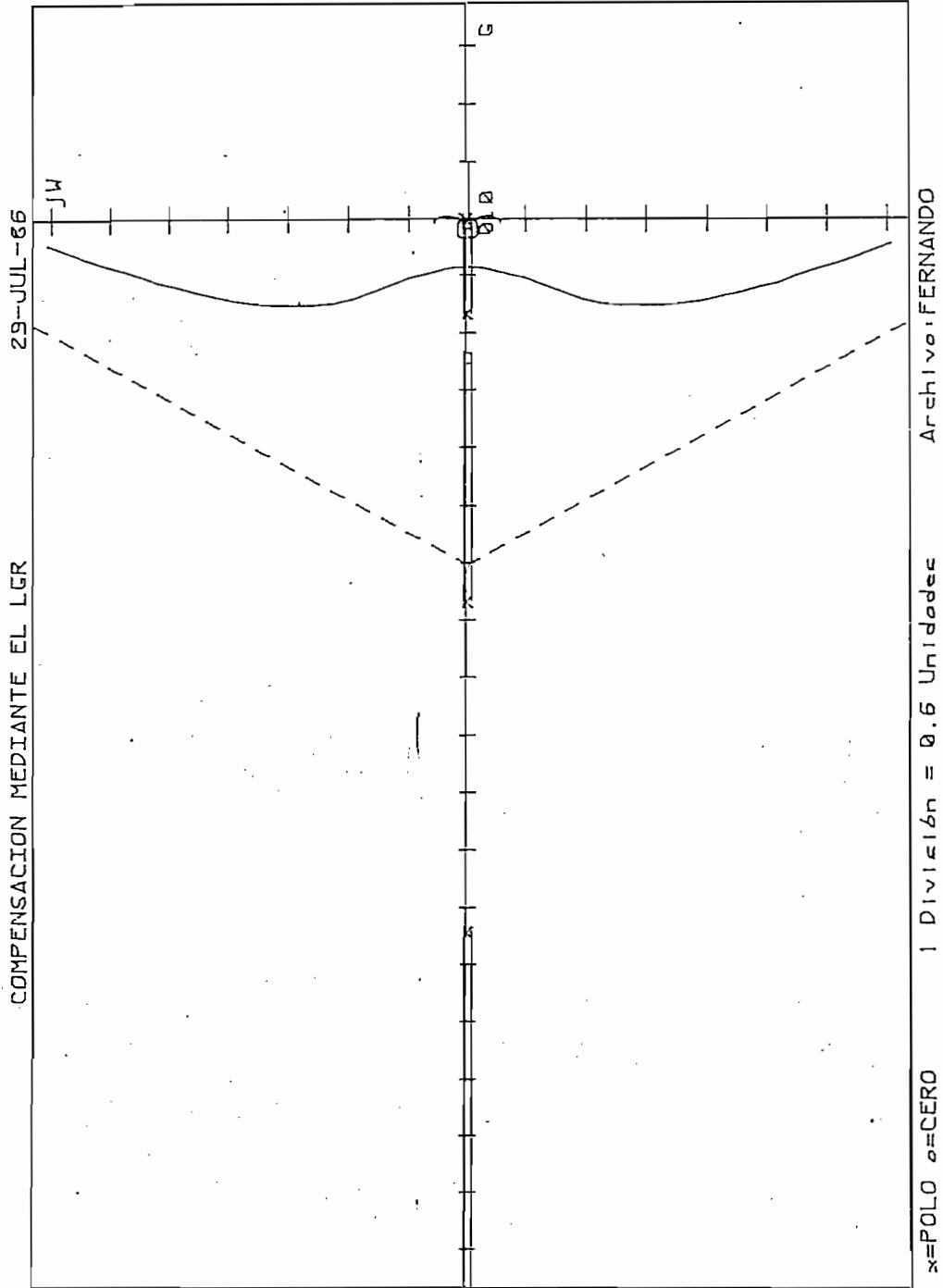
s**7	s**6	s**5	s**4	s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00						
	12.49						
	41.69						
	31.08						
	0.89						
	0.01						
	0.00						
0.00							

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	
-0.01	0.00	POLO	Triple
-0.05	0.00	CERO	Triple
-1.00	0.00	POLO	
-1.46	0.00	CERO	
-4.00	0.00	POLO	
-7.46	0.00	POLO	

Puntos de separación en el eje real :

#	Valor	Validez
1	0.00	SI
2	-0.01	NO
3	-0.01	SI
4	-0.05	NO
5	-0.05	SI
6	-0.20	SI
7	-0.51	SI
10	-5.94	NO



LGR "COMPENSADO

FIG 3.24

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 29-JUL-86 23:12

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : FERNANDO

Diferencia en suma de argumentos = 0.593951117451 grados

Ganancia K del punto = 43.5028691304

El punto evaluado es : $-0.899237642084 + j(1.64517196712)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

Diferencia en suma de argumentos = 3.03812165211 grados

Ganancia K del punto = 46.0741977815

El punto evaluado es : $-1 + j(1.73)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Ganancia estatica	100
Ganancia dinamica	0.45
-Ganancia total	45

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-0.07	0.00
2	-0.04	-0.01
3	-0.04	0.01
4	-1.97	0.00
5	-0.92	-1.70
6	-0.92	1.70
7	-8.54	0.00

Ganancia dinamica	0.45
-Ganancia total	46

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-0.07	0.00
2	-0.04	-0.01
3	-0.04	0.01
4	-1.95	0.00
5	-0.92	-1.73
6	-0.92	1.73
7	-8.55	0.00

EJEMPLO 3.6

Si se dispone de un sistema de control con una planta, dada por:

$$G(s) = \frac{K}{S(S + 5)}$$

Con realimentación unidad. Se pide tener un error de posición tendiente a cero y un cuarto a las condiciones transitorias se pide:

$$\text{Frecuencia no amortiguada : } 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de amortiguamiento : } 0.5$$

Solución:

Puesto que se desea empeorar el sistema en cuanto a respuesta transitoria, pero mejorar el error de estado estable, la mejor solución es aumentando un integrador o mejor aún utilizando una red proporcional integral.

Al introducir los datos en el computador se obtuvo el LGR no compensado, disponible en la figura 3.25; luego de calculado el compensador se pudo notar que su función de transferencia es:

$$G_c(s) = \frac{S + 1.2}{S}$$

El LGR compensado se aprecia en la figura 3.26 y puede notarse claramente que el LGR se recorre hacia la derecha, esto es, se acerca a la inestabilidad, realmente es el costo de mejorar su respuesta de estado estable.

Se dispone además de algunos valores en el análisis de estabilidad.

Vale aclarar que esta forma de compensar es válido cuando se puede empeorar su respuesta transitoria a costo de mejorar la de estado estable.

En la figura 3.27, se puede notar las variaciones del LGR relacionando el compensado y no compensado.

EL COMPENSADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL ESTA LISTO

El polo debe estar en : 0

El cero debe estar en : -1.2

La multiplicidad de la red es : 1

La constante de error Error en general es infinito

El error Error en general tiende a cero

=====

FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO GH(s)

Ganancia estática	40
Grado del numerador	1
Grado del denominador	3

Coefficientes del numerador :

s**1	s**0
1.20	1.00

Coefficientes del denominador :

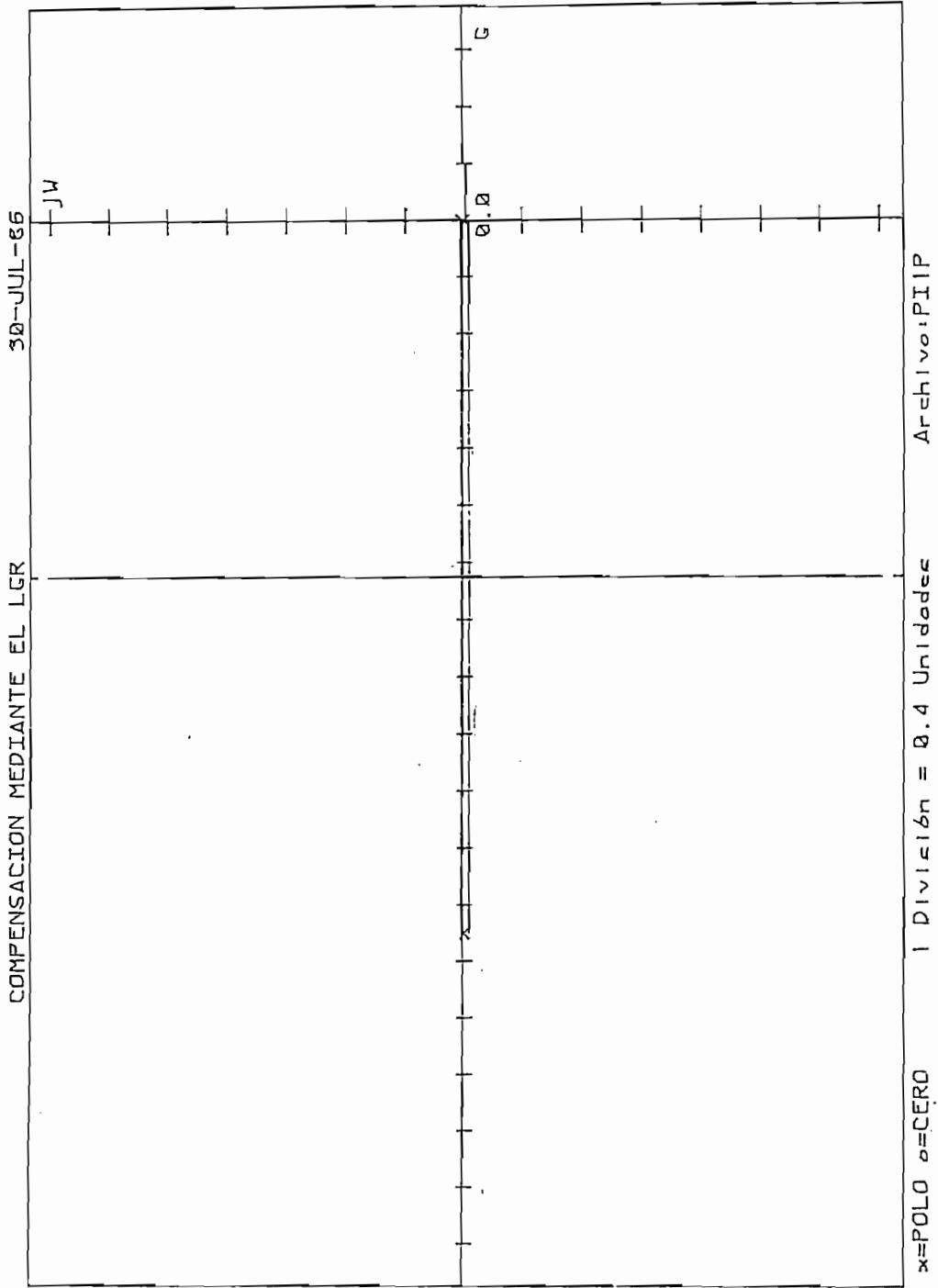
s**3	s**2	s**1	s**0
	1.00		
	5.00		
	0.00		
0.00			

Polos y ceros de lazo abierto:

Parte real	Parte imag.	Tipo	Observaciones
0.00	0.00	POLO	Doble
-1.20	0.00	CERO	
-5.00	0.00	POLO	

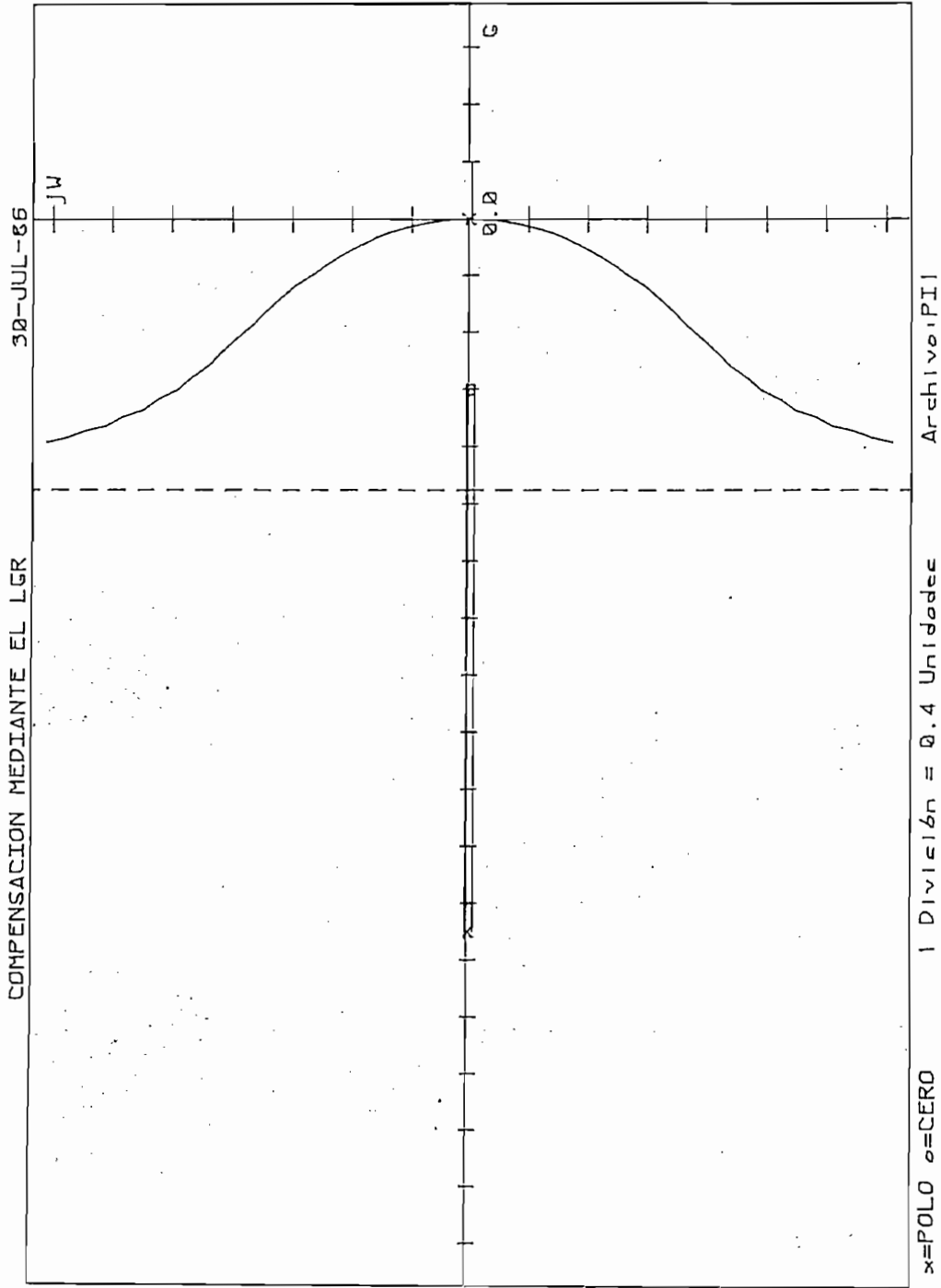
Puntos de separacion en el eje real :

#	Valor	Validez
1	0.00	SI



LGR No. COMPENSADO

FIG 3.25



LGR COMPENSADO

FIG. 3.26

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : F11

Diferencia en suma de argumentos = 0.196966648773 grados

Ganancia K del punto = 10.3141958392

El punto evaluado es : $-1.0455625 + j(1.77234375)$

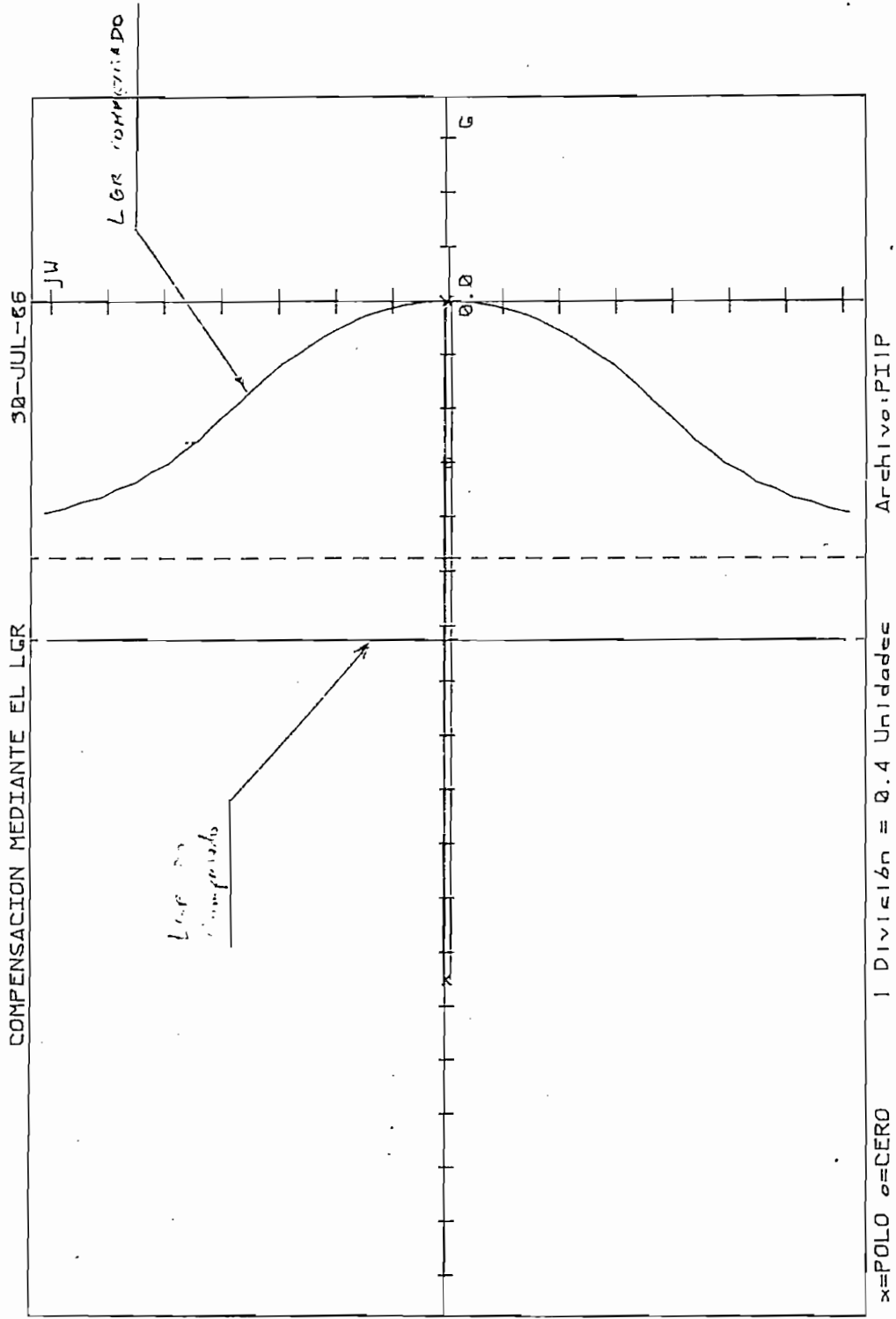
NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero

Diferencia en suma de argumentos = 0.666712355203 grados

Ganancia K del punto = 9.67715274846

El punto evaluado es : $-1 + j(1.7)$

NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferencia
en la suma de argumentos debe tender a cero



LGR COMPENSADO Y NO COMPENSADO

FIGURA 3.27

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SISTEMAS DE CONTROL

FECHA : 30-JUL-86 02:47:3

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : PI1

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Ganancia estática	40
Ganancia dinámica	0.25
-Ganancia total	10

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-3.00	0.00
2	-1.00	-1.73
3	-1.00	1.73

AMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : PI1

RESPUESTA COMO SISTEMA DE SEGUNDO ORDEN A UNA ENTRADA ESCALON

-Razon de amortiguamiento	0.5	
Sobrenivel porcentual	16.30 %	
Angulo desde eje real	60	grados
Ganancia en corte con LGR	10.2306107911	
Frecuencia no amortiguada ω_n	2.04181360743	1/seg
Frecuencia amortiguada ω_d	1.76009311381	1/seg
Constante de amortiguamiento	-1.03492755216	
Constante de tiempo	0.966251210449	
Tiempo pico T_p	1.78490139468	seg
T de estabilizacion (banda 5%)	3.03361651087	seg

COMPENSACION MEDIANTE EL LGR

Archivo : PI1

RESOLUCION DE $D(s) + K * N(s) = 0$

Ganancia estática	40
Ganancia dinámica	0.2475
-Ganancia total	9.9

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-3.03	0.00
2	-0.99	-1.72
3	-0.99	1.72

Ganancia dinámica	0.25825
-Ganancia total	10.33

RAIZ	PARTE REAL	PARTE IMAG.
1	-2.92	0.00
2	-1.04	-1.78
3	-1.04	1.78

3.4.- ANALISIS DE RESULTADOS.-

De los ejemplos realizados en la sección 3.3 se desprende que efectivamente los cuatro métodos o caminos de compensación son válidos; sin embargo la aplicación y más que todo, la validés de los resultados deben siempre ser evaluados por el usuario.

En cuanto a la compensación en adelanto lo que se busca es una red que force al sistema o que pase por un punto predeterminado, si bien la red calculada forza a ello, no necesariamente ese punto de lazo cerrado es dominante.

La parte de compensación de atraso, funciona basándose en el criterio de que el LGR practicamente no se altera al añadir la red de atraso, lo cual se ha comprobado con los ejemplos realizados en el capítulo II y III; por la cercanía de los mismos, para el estado transitorio el polo y cero en atraso, se cancelan, valiendo los mismos para la respuesta en estado estable.

De los 2 métodos anteriores se juntan en uno solo que es el adelanto-atraso, de los ejemplos expuestos se puede notar que su aplicación es válida y su validés o no, similar al caso de adelanto, dependerá de cada sistema, en el ejemplo 3.5 se aprecia que se tiene una red mixta, una adelanto-atraso en cascada con una en atraso con lo cual se consigue las especificaciones axigidas.

Respecto a la red proporcional-integral debe decirse que normalmente se puede aplicar a sistemas que normalmente tienen buena respuesta transitoria que puede emplearse a costo de mejorar se respuesta de estado estable.

Con la ayuda del computador y de las diferentes opciones de resultados, puede determinarse parámetros importantes, para cada uno de los ejercicios ejecutados, tales como: ganancia, frecuencia no amortiguada, raíces en un determinado punto, etc.

En cada uno de los ejercicios se ha puesto resultados obtenidos y evaluados luego del cálculo del gráfico y existen miles de posibilidades de obtener diferentes resultados según los menús expuestos.

3.5.- CONCLUSIONES.-

El programa base utilizado, fue el de graficación del IGR, tesis del Ing. Ramiro Pazmiño, la misma que ha sido mejorada en cuanto a las limitaciones para valores de singularidad muy pequeñas, pues para la graficación de un sistema compensado en atraso se trabaja con polos y ceros en el orden de las milésimas, que en la antes dicha tesis no se puede graficar o calcular.

Los objetivos de compensación han sido conseguidos, obviamente con las limitaciones propias de un programa, entre las que se tiene: que el usuario deberá decidir si la compensación es válida, pues la dominancia de raíces no necesariamente se cumple al compensar un sistema. El aporte del presente trabajo además del cálculo de los polos y ceros de redes compensadoras, o de cálculo de un IGR cualquiera, permite una buena maniobrabilidad de los cálculos ya realizados, pues el ingreso de datos por diskette se lo hace de una manera sencilla con el computador.

Como mayor limitante del programa se tiene que no se puede analizar para sistemas superiores a séptimo grado, mas que nada debido a la poca memoria del computador.

Este trabajo presenta un inicio a la sistematización en el análisis de compensación mediante el lugar geométrico de las raíces que bien podría generalizarse incluso a redes Tipo T, que mediante raíces conjugadas compensan un sistema.

Se ha tratado de dar un manual de errores considerando el máximo de opciones posibles, pero siempre se tendrán casos excepcionales no considerados.

ANEXO A:

UTILIZACION DEL PROGRAMA (MANUAL DE USO)

ANEXO A

MANUAL DEL USO DEL PROGRAMA

Si el equipo está apagado, se enciende el mismo en el siguiente orden:

- a) La consola
- b) La unidad de diskette 1
- c) La unidad de diskette 0

A continuación se inicializa el reloj interno con el comando (*):

```
CALL "SETTIM", "DD-M MM-AA,HH: NN:SS"
```

Donde:

DD: día de la fecha actual (2 números)

MM: Mes del año en curso en inglés, poner las 3 primeras letras.

AA: Dos últimos números del año en curso

HH: Hora que se tiene (desde 00 hasta 24 horas)

NN: Minutos (desde 00 hasta 59)

SS: Segundos (desde 00 hasta 59)

□ : Espacio en blanco.

Una vez efectuado este comando o si el equipo estuvo encendido, se carga el diskette que contiene los programas, en la unidad cero, con el siguiente comando:

```
CALL "MOUNT", Ø , X $
```

Donde:

Ø = cero

(*) Un comando es ejecutado o un dato ingresado; cuando se presiona la tecla RETURN.

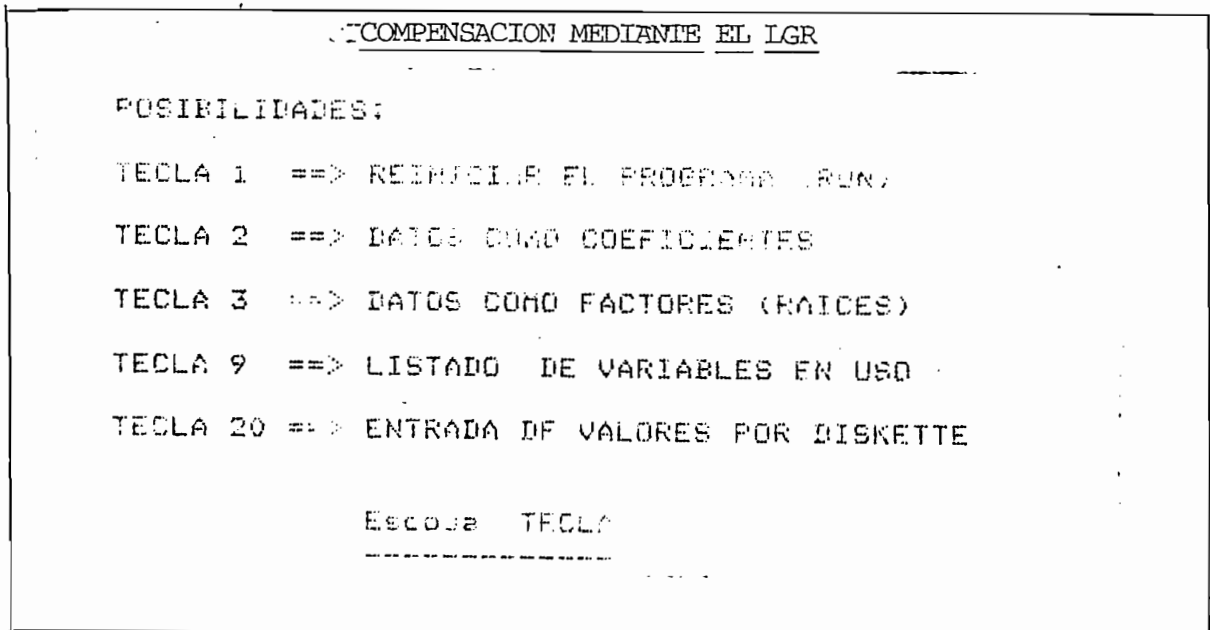
Luego se pone en la memoria interna del minicomputador, el programa principal para la compensación mediante el lugar geométrico de las raíces, con el comando:

OLD "COMPPP"

Se está listo para operar el programa sea con el comando RUN o presionando la tecla 1.

Al realizar cualquiera de las 2 formas de correr el programa, aparece en la pantalla el menú (a) indicado en la figura A.1

PARTE I



MENU DE POSIBILIDADES (a) EN PANTALLA

FIGURA A.1

Para el presente programa, puesto que la función de transferencia de lazo abierto $G(s) \cdot H(s)$ puede escribirse de dos formas, así mismo se dispone de dos formas de ingresar:

$$a) \quad G(s) \cdot H(s) = \frac{a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + \dots + a_0}{b_m S^m + b_{m-1} S^{m-1} + \dots + b_0}$$

Donde: $a_n \neq 0$

$b_m \neq 0$

$m \geq n$

Al pulsar la tecla 2, se podrán ingresar los coeficientes. (Proceso iterativo).

$$b) \quad G(s) \cdot H(s) = K \frac{(S + Z_1)(S + Z_2) \dots (S + Z_n)}{(S + P_1)(S + P_2) \dots (S + P_n)}$$

Al pulsar la tecla 3, se podrá ingresar las raíces. (Proceso Iterativo).

Si ha pulsado la tecla 2 o 3 por se el proceso básicamente conversacional con el computador, aparecerá en pantalla, sentencias pidiendo:

Grado del Numerador = (Máximo valdrá 7)

Grado del denominador = (Máximo valdrá 7)

Adicionalmente el grado del numerador no puede ser mayor al del denominador y la ganancia estática se ha limitado a un valor máximo de 10.000 y no menor o igual a cero. En cualquier caso en la pantalla puede aparecer diagnósticos de errores según se explica en el anexo B.

Cuando se ingresa $G(s) \cdot H(s)$, como coeficientes, puede aparecer en pantalla:

"Estoy buscando las raíces"

Que es un indicativo que se espera al próximo paso.

Para cuando se ingresa como factores si se tienen raíces conjugadas, el programa genera automáticamente su conjugada.

Luego aparece en pantalla el menú (b) de cálculos indicado en la figura A.2.

Antes de continuar con el menú (b), se indica que con la tabla 9, se puede obtener un listado de las variables principales utilizadas, una vez realizado ello, vuelve el menú (a).

Al otro lado al pulsar la tecla 20, puede cargar datos del diskette de un ejemplo ya calculado, luego de lo cual mostrará en pantalla el menú (c) de posibilidades indicado en la figura A.4,

POSIBILIDADES DE CALCULO

TECLA 1: REINICIO DEL PROGRAMA (RUN)

TECLA 13: LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES NO COMPENSADO

TECLA 14: LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES DIRECTAMENTE COMPENSADA

TECLA 15: LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES CON Y SIN COMPENSACION.

ESCOJA TECLA

Menú de posibilidades (b) de cálculos .

FIGURA A.2

Cuando aparece en pantalla esas posibilidades, los procesos que se tienen si bien son repetitivos, se explicará por cada tecla:

TECLA 1

Reinicia el programa y aparece en pantalla el menú (a) mostrado en la figura A.1.

TECLA 13

Al pulsar esta tecla el programa procede al cálculo del LGR, luego de realizados cálculos internos aparecerá en pantalla "Ecuación para los puntos de separación $\frac{dk}{ds} = 0$ ", luego se tiene en pantalla "Estoy grabando puntos del LGR" en esta parte evalúa el LGR del sistema y según la complejidad del problema le tomará entre 5 y 25 minutos hasta que aparezca en pantalla.

" FIN DEL LGR "

Pueden aparecer previo a esa finalización, diagnósticos de errores que se tienen contemplados en el manual de errores del anexo C.

Una vez terminado el cálculo del LGR, aparece en pantalla el menú de posibilidades (c), mostrado en la figura A.4. bien vale añadir que - este menú se explica al final del presente manual.

TECLA 14

a) Si se desea calcular directamente el compensador una vez ingresado los valores, entonces aparecerá en pantalla un menú de posibilidades de ingreso de datos o especificaciones de compensación, como lo indica la figura A.3.

DATOS DE LOS QUE DISPONE	NÚMERO
=====	=====
-Tiempo de estabilización en segundos y factor de amortiguamiento (T_s, ζ)	1
-Tiempo de estabilización en segundos y frecuencia/no amortiguada (T_s, ω_n).....	2
-Constante de tiempo y factor de amortiguamiento (T, ζ)	3
-Constante de tiempo y frecuencia no amortiguada (T, ω_n)	4
-Factor de amortiguamiento y frecuencia no amortiguada (ζ, ω_n)	5
-Tiempo de estabilización, frecuencia no amortiguada y constante de error (T_s, ω_n, K_v) ...	6
-Tiempo de estabilización, factor de amortiguamiento y constante de error (T_s, ζ, K_v)	7
-Factor de amortiguamiento, frecuencia no amortiguada y constante de error (ζ, ω_n, K_v) ...	8
-Constante de error y frecuencia no amortiguada (K_v, ω_n)	9
-Constante de error y factor de amortiguamiento. (K_v, ζ)	10

TECLEE EL NÚMERO DE SU OPCIÓN
 MENU DE POSIBILIDADES INGRESO DE DATOS

FIGURA A.3

Según el número de opción escogida, se pedirá los datos compensación para lo cual, escriba el dato y pulse RETURN, puede aparecer en pantalla opciones de ingreso de constante de error.

Una vez que se ingresan las especificaciones de compensación, aparece en pantalla un menú de los compensadores superidos de acuerdo a los datos ingresados, para finalmente tener en pantalla un menú de los cuatro - Tipos de compensadores disponibles, se puede escoger cualquiera de ellos, a continuación se presenta la forma de este menú.

<u>NOMBRE DEL COMPENSADOR</u>	<u>NUMERO</u>
COMPENSADOR EN ADELANTO	1
COMPENSADOR EN ATRASO	2
COMPENSADOR EN ADELANTO-ATRASO	3
COMPENSADOR PROPORCIONAL - INTEGRAL	4

ESCOJA NUMERO DE OPCION

Una vez escogido el compensador, aparece en pantalla:

"Desea analizar si puede compensar por ganancia ? (SI o NO?)

Si se escoje "Si" caso contrario pase directamente el punto B.

Nuevamente se tiene en pantalla:

"Dispone el gráfico no compensado en archivos ? (SI o NO ?).

En caso de tenerlo, se ingresa el nombre del archivo de resultados.

Luego aparece en pantalla si se pudo o no compensar.

Si ello fue posible procede a calcular el gráfico no compensado si es que aún no existe. Y luego va a acciones de resultados que es el menú (c) - mostrado en la figura A.4 esta parte se explica al final.

b) Procede a calcular el compensador escogido y aparece en pantalla si desea los resultados en papel (SI o NO) debe aclararse que aparecerá en pantalla o papel los valores calculados, por una sola vez.

Una vez calculado, si se pudo compensar aparece en pantalla pidiendo el nombre del archivo de resultados compensado, una vez calculado el gráfico compensado se asume este nombre de archivo como " No Compensado" y aparece en pantalla el menú (c) de posibilidades que se explica al final. Si no fue posible compensar se procede al cálculo del gráfico no compensado en caso de que aún no lo ha calculado o no lo tenga en archivos.

Luego de ello va a opciones de resultados del menú (c) mostrado al final.

TECLA 15

a) Se procede al cálculo del gráfico no compensado, para lo cual aparecerá en pantalla:

"Estoy calculando raíces"

"Estoy grabando puntos del IGR"

Espere entre 5 y 20 minutos para que tenga en pantalla.

"FIN DEL IGR"

Y a continuación el menú de opciones para ingreso da datos de compensación, el proceso es similar al (a) de la TECLA 14.

Luego se tiene en pantalla:

"Desea analizar si puede compensar con ganancia ? "(SI o NO ?).

En caso negativo se va a la parte (b) directamente, caso contrario aparece en pantalla si se pudo o no compensar con ganancia, de ello haber sido posible se dispone en pantalla el menú de posibilidades (c) in

dicado al final.

b) A continuación aparece si desea tener los calculos en papel o no y se dispone en pantalla.

"ESTOY calculando el compensador"

Si no fue posible compensar va a opciones de resultados del menú (c), indicados al final.

En caso de ser posible la compensación aparece en pantalla pidiendo el nombre del archivo Compensado, luego de ello se dispone en pantalla:

"ESTOY calculando las raíces"

"ESTOY grabando puntos del LGR"

" FIN DEL LGR"

Nuevo archivo. Acabado el proceso en pantalla pidiendo un archivo de resultados para el sistema no compensado a las mismas escalas del compensado. En el caso de que no se ingrese un nuevo nombre de archivo se graba en el archivo inicial no compensado el nuevo gráfico cambiado de escalas.

Se tendrá en pantalla:

"ESTOY calculando las raíces"

"ESTOY grabando puntos del LGR"

FIN DEL LGR

Y aparece el menú (c) de resultados que se indica en la figura A4

COMPENSACION MEDIA DE EL LGR

POSIBILIDADES:

- TECLA 1 ==> REINICIAR EL PROGRAMA (RUN)
- TECLA 4 ==> DADO UN PUNTO, OBTENER SU GANANCIA
- TECLA 5 ==> ANALISIS DE ESTABILIDAD RELATIVA
- TECLA 6 ==> GRAFICACION DEL LGR
- TECLA 7 ==> IMPRESION DE DATOS DEL LGR
- TECLA 8 ==> CAMBIO EN LIMITES DEL FLUJO
- TECLA 10 ==> DADA K, OBTENER LOS PUNTOS EN LGR
- TECLA 11 ==> MENU DE OPCIONES ALTERNATIVAS

Escoja TECLA

MENU DE OPCIONES DE RESULTADOS (c)

FIGURA A.4

Para cada una de las opciones disponibles, se considera que puede operar sin problemas 2 archivos para el análisis de resultados.

Se asume que el archivo ingresado inicialmente; sea a través de la TECLA 20 o con cálculos del LGR no compensado o LGR compensado directamente, se considera como "No Compensado" para los menús de las distintas opciones.

Puesto que el proceso es iterativo no requiere mayor explicación, pues el usuario a través de pantalla podrá "conversar" sin problemas con el computador.

Respecto a las opciones análisis de estabilidad relativa, el sistema se acerca a uno de segundo orden, por lo que para su aplicación, el usuario debe responsabilizarse de los análisis de resultados.

En la que a cambio de límites toca, debe anotarse que con la tecla 8 se puede variar las escalas de uno de los ejes pero guardando siempre la simetría del eje y se dispone de opciones en que puede cambiar las escalas de un gráfico y tener otro archivo a atras escalas y también de teniendo 2 gráficos mantener los límites de uno de ellos.

De cualquier modo, para errores que puedan aparecer en el transcurso del programa, se dispone del manual de errores en el anexo B, lo cual ayudará al manejo y familiarización con esta herramienta de trabajo.

ANEXO B:

LISTADO DE VARIABLES EN USO

VARIABLES EN USO DEL PROGRAMA .

"COMPENSACION MEDIANTE EL LUGAR GEOMETRICO
DE LAS RAICES."

10220 REM
10230 REM
10240 REM
10250 REM
10260 REM
10270 REM
10280 REM
10290 REM
10300 REM F -- N1+D1 raices del sistema (polos y ceros)
10310 REM Nivel 1 Parte real
10320 REM Nivel 2 Parte imaginaria
10330 REM Nivel 3 Transitorio de trabajo
10340 REM Nivel 4 Numero de veces
10350 REM Nivel 5 validez (0=no, 1=si, 2=cancelado)
10360 REM S -- N puntos de separacion en eje real
10370 REM Nivel 1 Parte real
10380 REM Nivel 2 Parte imaginaria
10390 REM Nivel 3 Numero de veces
10400 REM Nivel 4 Validez
10410 REM C0 -- Coeficientes del numerador (zeros) en orden
10420 REM descendente de potencias.
10430 REM C1 -- Coeficientes del denominador (polos)
10440 REM C2 -- coeficientes de la ecuacion de los puntos
10450 REM de separacion.
10460 REM C3 -- Coeficientes de la derivada del numerador
10470 REM C4 -- Coeficientes de derivada del denominador
10480 REM T -- Valores transitorios de trabajo
10490 REM X -- Puntos en eje real o otros, por caso
10500 REM INTERRUPTORES :
10510 REM S0 -- De entrada de datos, calculo y grafico.
10520 REM S1 -- Para clasificaciones a LGR cuando complejidad
10530 REM S2 -- De existir polos y zeros complejos
10540 REM S3 -- De existir LGR solo en eje real
10550 REM S4 -- De tipo de entrada y sus triple de sea.
10560 REM INDICES : I,I1,I2
10570 REM VARIABLES NUMERICAS (primer caracter) : A,E,K,T,X,Y
10580 REM VARIABLES ALFANUMERICAS : F\$,L\$,Q\$,R\$,T\$,X\$,Y\$,Z\$
10590 REM
10600 REM

Definicion de variables principales :

10640 REM X0= Limite inferior del grafico en el eje X
10650 REM
10660 REM X1=Limite superior del grafico en el eje Y
10670 REM
10680 REM y1= Limite superior del grafico en el eje Y
10690 REM
10700 REM -Y1= Limite inferior del grafico en el eje Y
10710 REM
10720 REM E9= Separacion minima para iniciar LGR en el eje real.

10730 REM
10740 REM E_g= Valor de escalas del grafico.
10750 REM
10760 REM E₂= cinco veces el valor de E_g
10770 REM
10780 REM C₉= Centroide de las asintotas del LGR
10790 REM
10800 REM A₆= Angulo de salida de las asintotas.
10810 REM
10820 REM f₁= Tiempo de estabilizacion secado
10830 REM
10840 REM F₂= Factor de amortiguamiento secado
10850 REM
10860 REM w₁= Frecuencia no amortiguada
10870 REM
10880 REM X₄= Parte real del punto evaluado como parte del LGR
10890 REM
10900 REM Y₄= Parte imaginaria del punto eval como parte del LGR
10910 REM
10920 REM Y_g = COMPENSACION MEDIANTE EL LGR
10930 REM
10940 REM L_g = RL
10950 REM
10960 REM Z_g = FECHA, HORA
10970 REM
10980 REM
10990 REM
=====

ANEXO C:

LISTADO DE ERRORES

MANUAL DE ERRORES

Subprograma "COMPEGD"

- COMP 11 : GRADO NUMERADOR.- Excede a máximo de 7.
Causa: El grado del numerador ingresado es mayor que 7 o un valor negativo.
Acción: Digitar un valor dentro del limitante de 7 para el grado del numerador o denominador (*)
- COMP 12 : GRADO DENOMINADOR.- Excede a máximo de 7.
Causa: El grado del denominador ingresado es mayor que 7 o un valor negativo.
Acción: Idem a acción COMP 11 (*)
- COMP 13 : GRADO NUMERADOR.-Excede a GRADO DENOMINADOR
Causa: El valor del grado del denominador ingresado es menor al del denominador.
Acción: Digitar los valores correctos (*)
- COMP 14 : PRIMER.- Coeficiente es cero * REPITA
Causa: Al ingresar los coeficientes para el numerador o denominador, el primer coeficiente es cero.
Acción: Reingresar ese valor de coeficiente, diferente de cero. En caso de existir duda repetir el programa pulsando la tecla BREAK y luego la tecla 1.

COMP 15 A: GANANCIA Ko: FUERA DE LIMITES.

Causa: Al dividir el primer coeficiente del numerador para el primero del denominador, el valor es negativo o mayor a 10.000

* Si ingresa valores con decimales, sólo toma la parte entera.

Acción: Reiniciar el programa. Pulse la tecla 1

COMP 15 B: GANANCIA Ko FUERA DE LIMITES

Causa: La ganancia total ingresado es un valor menor que - cero, cero o mayor a 10.000.

Acción: Reinicie el ingreso del valor de ganancia.

COMP 16: Por el grado xxx no hay más conjugadas.

Causa: Al ingresar las raíces conjugadas por el grado del numerador (xxx) o denominador (xxx) no existe la posibilidad de general automáticamente su conjugada.

Acción: Corregir el dato de la última raíz o repetir el ingreso de valores.

COMP 17: No hay raíces para 500 iteraciones y 5 valores.

Causa: No convergen los valores en la subrutina de cálculo de raíces de un polinomio entero.

Acción: Ninguna.

SUBPROGRAMA "COMPCER"

COMP 21: Todas las raíces se han cancelado -FIN-

Causa: Los valores de raíces del numerador y denominador se han simplificado.

Acción: Ninguna.

COMP 22: "n" Raíces múltiples (no se contempla).

Causa: Se han detectado "n" raíces en un mismo punto que exceden al máximo de cuatro previsto.

Acción: Ninguna.

COMP 23: "n" puntos de sep. múltiples (no contempla)

Causa: Se han detectado "n" puntos de separación en un mismo punto, que exceden al máximo de 3 previsto.

Acción: Ninguna.

COMP 24: No hay raíces para 500 iteraciones y 5 valores.

Causa: Idem a COMP 17

Acción: Ninguna.

SUBPROGRAMA "COMPE 3"

COMP 31: Se elimina el punto de separación "n"

Causa: Al calcular las aproximaciones para el LRG: por ser muy pequeño el punto de separación "n" o por tener escalas del gráfico muy grandes, los puntos evaluados no pertenecen al LRG; por lo que, se procede a evaluar el siguiente punto de separación.

Acción: El operador debe tomar en cuenta el punto desechado y decidir si el gráfico del LRG es válido. El programa calculará el LRG hasta terminarlo.

COMP 32: No hay punto de separación cercano.

Causa: Al evaluar un punto como parte del LRG el vector de barrido de los mismos es muy grande. El valor del

vector está prodefinido en 0.005.

Acción: El operador deberá al final decidir si el LRG es válido o no, pues el programa toma inmediatamente el siguiente punto de separación para calcular el LRG.

SUBPROGRAMA COMPE 2

COMP 41; El error no se puede compensar

Causa: La función G.H. de lazo abierto tiene uno o más ceros por lo que el error no se podrá mejorar.

Acción: Se escoje incluso tipo de compensador, pero el programa sólo graficará el LRG del sistema sin compensarlo.

COMP 42: Se soluciona con red proporcional-integral.

Causa: La constante de error de pedida es muy alta para un sistema tipo cero; por lo que, se soluciona con red proporcional integral.

Acción: Es una advertencia de la red necesaria para solucionarlo; sin embargo puede esciger cualquier tipo de compensador.

SUBPROGRAMA "COMPARDA"

COMP 51: Archivo "xxxx" no existe.

Causa: El archivo "xxxx" digitado, no existe en el directorio del diskette de la unidad especificada.

Acción: Digitar el nombre correcto.

COMP 52: Archivo "xxxx" no es del LRG.

Causa: El archivo "xxxx" no contiene datos de algún ejercicio realizado por el programa "COMPPP"

Acción: Reiniciar el programa.

COMP 53: Los datos son incompatibles.

Causa: El escoger opción de ingreso de datos, se introdujo un valor equivocado.

Acción: No se puede compensar por ganancia, el programa continúa con los cálculos.

COMP 54: No se puede compensar con ganancia

Causa: Al analizar los valores del archivo dado como no compensado, no se pudo satisfacer las condiciones pedidas, variando la ganancia.

Acción: No se puede compensar con ganancia el programa continúa con los cálculos.

COMP 55: No hay raíces para 500 iteraciones

Causa: Idem COMP 17

Acción: Ninguna.

SUBPROGRAMA "COMPEG"

COMP 61: No se puede compensar por tener raíces en el semiplano positivo.

Causa: El sistema de lazo cerrado tiene más de una raíz en el semiplano positivo y termina el

Acción: Si aún así desea buscar compensar; cerrar el programa nuevamente sin tratar de compensar con ganancia.

COMP 62: No se puede compensar con ganancia.

Causa: Al hacer las evaluaciones sobre un punto que es parte del LRG, se encontró que: o no cumple el punto con condición de error o que se tienen raíces de lazo cerrado, más cercanas al origen.

Acción: El programa continúa calculando. El operador deberá analizar la compensación, luego de terminado el proceso.

COMP 63: Si se puede compensar con ganancia

Causa: Al hacer las evaluaciones sobre un punto que es parte del LRG, se encontró que cumple con las condiciones pedidas.

Acción: El programa procede a calcular directamente el LRG no compensado, si es que aún no lo ha calculado.

Si aún así desea calcular un compensador, el operador debe correr nuevamente el programa sin tratar de compensar con ganancia.

COMP 64: No hay raíces para 500 iteraciones.

Causa: Idem COMP 17

Acción: Ninguna.

SUBPROGRAMA "COMPAV"

COMP 71: Archivo xxxx Existe, se destruye (Si o No?)
Causa: En la unidad de diskette antes definida, existe el archivó xxxx, desea destruir o no ?.
Acción: Si desea en ese archivo almacenar los cálculos del-LGR, indicar por pantalla, o de no ingresar otro nombre de archivo.

SUBPROGRAMA "COMPLAD"

COMP 81: No existe manera de compensar.
Causa: No se puede encontrar al menos 2 singularidades a la derecha de la parte real del punto evaluado.
Acción: Ninguna.
El programa continua hacia el cálculo del gráfico no compensado si aún no lo tiene.

COMP 82: No se puede reubicar el cero del compensador.
Causa: Al tratar de reubicar el cero del compensador se probó mas de 10 valores sin cumplir lo pedido.
Acción: Ninguna.
El programa continua al cálculo del gráfico no compensado si aún no lo tiene.

COMP 83: El error siempre tiende a infinito.
Causa: Al calcular la constante de error se detectó que existe uno o mas de un cero de lazo abierto.
Acción: Ninguna.
No se puede compensar.

SUBPROGRAMA "COMP2AT"

COMP 91: Ingrese un punto que sea parte del LGR.

Causa: Por las condiciones pedidas, el punto no cumple con ser parte del LGR necesario para la compensación en atraso.

Acción: El programa termina. Correr nuevamente el programa pulsando la tecla 1 e ingresar datos válidos.

COMP 92: No se puede compensar en atraso.

Causa: Al evaluar el número de compensadores necesarios por ser muy alta la constante de error, pedida, se encontró que se requieren más de 4 redes.

Acción: El programa continua a calcular el LGR no compensado si aún no lo tiene.

El operador puede correr nuevamente el programa e introducir constante de error no muy grande.

COMP 93: El error siempre tiende a infinito.

Causa: Se detectó que existe uno o mas ceros de lazo abierto, que dan una constante de error no compensable.

Acción: Ninguna.

El programa termina.

COMP 94: No es necesaria red en atraso.

Causa: El punto dado cumple con especificaciones de compensación pedidas

Acción: El programa continua a calcular el LGR no compensado si aún no lo tiene.

SUBPROGRAMA "COMP3ADAT"

COMP 101: No existe manera de compensar.

Causa: no se encontró al menos 2 singularidades a la derecha de la parte real del punto evaluado.

Acción: Ninguna.

El programa calcula el gráfico si aún no lo tiene.

COMP 102: No se puede reubicar el cero del compensador.

Causa: Al tratar de reubicar el cero del compensador, se probó más de los valores sin cumplir lo pedido.

Acción: Ninguna.

El programa continúa al cálculo del gráfico no compensado si aún no lo tiene.

COMP 103: El punto evaluado no es parte del LGR

Causa: Al tratar de compensar en atraso, el punto tomado como parte del LGR, esté alejado.

Acción: Ninguna.

COMP 104: El error siempre tiende a infinito

Causa: Al calcular la constante de error se determinó que existe uno o mas ceros de lazo abierto.

Acción. Ninguna.

No se puede compensar

SUBPROGRAMA "COMP4DI"

COMP 111: Existen demasiadas iteraciones no se puede compen
sar.

Causa: Al reubicar el punto deseado como parte del LGR -
después de 5 iteraciones no se encontró solución.

Acción: Ninguna.

El programa continua a calcular el LGR si aún no
lo tiene .

COMP 112: No se puede utilizar este método para compensar.

Causa: El ángulo limite máximo es menor que el ángulo -
pedido como aporte del compensador. No se puede
compensar.

Acción: Ninguna.

El programa continua a calcular el LGR si aún no
lo tiene.

SUBPROGRAMA "COMPGI"

COMP 121: No existe o no está cerrado archivo de datos.

Causa: Aún no existen datos del LGR o el archivo de re-
sultados aún no se cerró.

Acción: Reiniciar el programa.

COMP 122: No se escogió bien la opción.

Causa: Se tiene almacenado un programa diferente al deseado.

Acción: Reiniciar el programa. Pulse la tecla 1

COMP 123: Archivo xxxx

Causa: No existe en el archivo xxxx el diskette de la unidad predifinida.

Acción: El programa cierra archivos y va a menú opciones.

COMP 124: Archivo xxxx no es del LGR.

Causa: El archivo xxxx no pertenece a cálculos del LGR.

Acción: El programa cierra archivos y va a menú de opciones.

SUBPROGRAMA "COMPEK"

COMP 131: Aún no se ingresan datos

Causa: No está cerrado archivo de datos o aún no se ingresan o calculan valores del LGR.

Acción: Reiniciar el programa. Pulse la tecla 1

COMP 132: Error en tecla escogida.

Causa: Existe un programa almacenado, diferente a la opción pedido.

Acción: Reinicie el programa. Pulse la TECLA 1

COMP 133: Opción "n", inválida, repito.

Causa: Al escoger número de opción de las 5 posibles se ingresó un número decimal o diferente a las 5 posibles.

Acción: Dijiten el número correcto

COMP 134: No hay $G H (jw) = 1$ con precisión; n

Causa:

Acción:

COMP 135: No corta LGR
Causa: No existe un punto del LGR que cumpla con el factor de amortiguamiento dado.
Acción: Ninguna.
El programa regresa a menú de opciones.

COMP 135: No hay raíces para 500 iteraciones y 5 valores
Causa: Idem.....
Acción: Ninguna.
Reinicie el programa pulsando la TECLA 1

COMP 137: Archivo xxxx No existe.
Causa: No se encontró en el diskette de la unidad prodefinida el archivo xxxx
Acción: El programa vuelve a menú de opciones, con el nombre del archivo inicial.

COMP 138: Archivo xxxx no es del LGR
Causa: El archivo de resultado dado x x x x, no pertenece a cálculos del LGR.
Acción: El programa vuelve a menú de opciones, con el nombre del archivo inicial.

SUBPROGRAMA "COMPCLCD"

COMP 141: No existe archivo x x x x
Causa: El archivo x x x x, no se encontró en el diskette de la unidad prodefinida.
Acción: El programa regresa a menú de opciones con el nombre del archivo inicial.

COMP 142: Archivo x x x x No es del LGR

Causa: El archivo x x x x de resultados, no pertenece a datos del LGR.

Acción: El programa regresa a menú de opciones con el nombre del archivo inicial.

COMP 143: Archivo x x x x existe se DESTRUYE (SI O NO)

Causa: El archivo x x x x, donde se van a almacenar resultados, existe..

Acción: Si desea destruir ponga "SI" y pulse RETURN. caso contrario PULSE RETURN e ingrese nuevo nombre.

ANEXO D:

LISTADO DEL PROGRAMA

```

1 REM          COMPENSACION PROGRAMA PRINCIPAL (COMPPP)
2 REM          =====
4 GO TO 100
5 REM          DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA
6 REM          Y CONTROL
7 REM          -----
8 T1=1
9 GO TO 440
10 REM          TESIS DE GRADO
12 T1=2
13 GO TO 440
14 REM          TEMA:
16 GO TO 4120
18 REM          * TECNICAS DE COMPENSACION MEDIANTE
19 REM          EL LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES *
20 GO TO 4180
22 REM          POR:   LUIS FERNANDO LLUMIGUSIN DUCHI
24 GO TO 4000
26 REM          FECHA:
27 REM          Inicio: nov-1984          Finaliza: agost-1986
28 GO TO 4060
32 GO TO 4270
36 GO TO 740
40 GO TO 4210
44 GO TO 610
45 IF S0=4 THEN 10000
48 GO TO 489
52 T9=1
53 GO TO 490
56 T9=2
57 GO TO 5020
60 T9=3
61 GO TO 490
80 T4=2
82 GO TO 4290
100 INIT
150 H$="CUALQUIERA"
200 F6=0
260 DIM Z$(18),Y$(55),R$(30),X$(20),T$(17),L$(7),A$(20),B$(20)
270 CALL "TIME",Z$
280 DELETE 10001,30000
285 DELETE 8001,9999
287 DELETE 6001,7998
290 Y$="COMPENSACION MEDIANTE EL LGR"
300 PRINT USING 310;Y$
310 IMAGE "LJJ",12X,29A,"L",12X,29("=)
320 PRINT "C FLL/",Z$
330 PRINT "JJJJ          POSIBILIDADES:"
340 PRINT "J          TECLA 1 ==> REINICIAR EL PROGRAMA (RUN)"
350 PRINT "J          TECLA 2 ==> DATOS COMO COEFICIENTES"
360 PRINT "J          TECLA 3 ==> DATOS COMO FACTORES (RAICES)"
370 PRINT "J          TECLA 9 ==> LISTADO DE VARIABLES EN USO"
380 PRINT "J          TECLA 20 ==> ENTRADA DE VALORES POR DISKETT"
390 PRINT "JJ          Escoge TECLA          "
400 PRINT "BB          -----"
410 S0=0
420 END

```

```

440 REM                               Entrada general de datos          (COMPE60)
450 T2=2
460 GOSUB 800
465 GOSUB 10000
470 PAGE
471 PRINT "          P O S I B I L I D A D E S   D E   C A L C U L O S "
472 PRINT "          ===== "
473 PRINT "J          TECLA 1  ==> REINICIO DEL PROGRAMA (RUN)"
474 PRINT "J          TECLA 13 ==> LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES "
475 PRINT "          NO COMPENSADO"
476 PRINT "J          TECLA 14 ==> LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES "
477 PRINT "          DIRECTAMENTE COMPENSADO"
478 PRINT "J          TECLA 15 ==> LUGAR GEOMETRICO DELAS RAICES "
479 PRINT "          CON Y SIN COMPENSACION"
480 PRINT "J          ----- "
481 PRINT "JGG                               E S C O J A   T E C L A "
482 END
490 REM                               Calculo y evaluacion de raices  (COMPCR)
495 H#="NO COMPENSADO"
500 T2=3
510 GOSUB 800
520 GOSUB 10000
530 REM   Generacion del LGR
532 DELETE 8001,9999
533 DELETE 10001,30000
534 TO=MEMORY
536 APPEND "COMPE3":8000
537 GOSUB 8000
540 DELETE 8001,9999
541 DELETE 10001,40000
542 TO=MEMORY
550 PRINT "JG                               FIN DEL LGR   G "
555 CLOSE
556 S0=4
560 IF T9=6 THEN 890
561 IF T9=3 THEN 565
562 IF T9=4 THEN 5490
564 GO TO 580
565 T9=4
568 GO TO 5020
580 REM                               Graficacion, impresion y extras
610 REM   Posibilidades de la segunda parte
611 DELETE 6001,7998
613 DELETE 8001,9999
620 PRINT USING 310:Y#
630 PRINT "J          POSIBILIDADES:"
635 PRINT "J          TECLA 1  ==> REINICIAR EL PROGRAMA (RUN)"
640 PRINT "J          TECLA 4  ==> DADO UN PUNTO, OBTENER SU GANANCIA"
650 PRINT "J          TECLA 5  ==> ANALISIS DE ESTABILIDAD RELATIVO"
660 PRINT "J          TECLA 6  ==> GRAFICACION DEL LGR"
670 PRINT "J          TECLA 7  ==> IMPRESION DE DATOS DEL LGR"
680 PRINT "J          TECLA 8  ==> CAMBIO EN LIMITES DEL PLANO"
690 PRINT "J

```



```

690 PRINT "J"          TECLA 10 ==> DADA K, OBTENER LOS PUNTOS EN LGR
695 PRINT "J"          TECLA 11 ==> MENU DE ESTAS ALTERNATIVAS"
700 PRINT "JJ"         Escoge TECLA
710 PRINT "GGG"
720 END
740 REM                Listado de variables en uso                (COMPLV)
750 T2=1
760 GOSUB 800
770 GOSUB 10000
775 PAGE
780 GO TO 150
800 REM                SUPERPOSICION DE PROGRAMAS
810 DATA "COMPLV","COMPEGI","COMPCER","COMPGIE","COMPE2","COMPEG"
815 DATA "COMPARDa","COMPAV","COMPIAD","COMP2AT","COMP3ADAT","COMP4PT"
817 DATA "COMPGI","COMPEK","COMFCLCD"
820 RESTORE 810
830 DELETE 10001,30000
840 TO=MEMORY
850 FOR I=1 TO T2
860 READ R$
870 NEXT I
880 APPEND R$;10000
890 RETURN
910 REM                Grabacion de datos de entrada
912 REM                X$ --> Archivo SAM de pares de puntos
914 REM                T$ --> Archivo DAM de datos del LGR
920 L$="RL/"
930 DIM S$(300)
940 PRINT "GGGJUNIDAD donde esta el diskette : ";
950 INPUT T3
960 IF T3>1 OR T3<0 THEN 940
970 CALL "UNIT",T3
980 PRINT "JNOMBRE del archivo de resultados "IH$;" = ";
990 INPUT X$
1000 T$=L$&X$
1010 CALL "FILE",T3,X$,S$
1020 IF S0=4 THEN 1280
1030 IF S$="" THEN 1090
1040 PRINT "JGCOMP31; Archivo "IX$;" existe, se destruye (SI O NO)";
1050 INPUT R$
1060 IF R$<>"SI" THEN 980
1070 KILL X$
1080 KILL T$
1090 CREATE X$;10000,0
1100 CREATE T$;10,700
1110 OPEN X$;1,"F",S$
1120 OPEN T$;2,"F",S$
1130 WRITE #2,1;Y$
1140 WRITE #2,2;X0,X1,Y1,E1,E2,E8,E9,C9,A6
1150 WRITE #2,3;N1,D1,N,K0,S2
1160 IF N1<>0 THEN 1180
1170 CO=1
1180 WRITE #2,4;CO
1190 WRITE #2,5;C1
1200 WRITE #2,6;F
1210 WRITE #2,7;S
1230 WRITE #1;X9

```

```

1240 DELETE X9,X
1245 DIM X(9)
1250 X=0
1260 N3=0
1270 GOSUB 2520
1280 RETURN
2520 REM GRABACION DE NUMERO DE FURTOS POR CURVA
2530 N3=N3+1
2540 X(N3)=N2
2550 N2=0
2560 RETURN
3180 REM Lectura de puntos en eje real
3181 N2=X(1)
3182 DELETE X9
3183 DIM X9(X(1))
3184 OPEN X$;1,"R",S#
3185 READ #1:X9
3186 CLOSE 1
3187 DELETE 10001,30000
3188 TO=MEMORY
3189 RETURN
4000 T4=2
4010 IF F6=1 THEN 10000
4020 F6=1
4030 T2=13
4040 GOSUB 800
4050 GO TO 10000
4060 T4=1
4070 GO TO 4010
4120 T4=1
4130 IF F6=2 THEN 10000
4140 F6=2
4150 T2=14
4160 GOSUB 800
4170 GO TO 10000
4180 T4=2
4200 GO TO 4130
4210 T4=3
4230 GO TO 4130
4270 REM CAMBIO DE LIMITES EN PLANO DE DATOS
4280 T4=1
4290 DELETE 6001,7998
4295 DELETE 10001,30000
4300 TO=MEMORY
4310 APPEND "COMPCLCD";6000
4320 GO TO 6000
5000 REM .....
5010 REM ===== COMPENSACION =====
5020 T2=5
5025 GOSUB 800
5030 GOSUB 10000
5031 IF I3=1 THEN 5410
5032 PRINT "¿Desea analizar si puede compensar por ganancias ? (SI o No"
5034 INPUT O$
5036 IF O$<>"SI" THEN 5141
5040 IF T9=4 THEN 5260
5042 PRINT "¿Dispone de archivo de calculos del LGR No compensado ?"
5044 PRINT "J (Si o No ? ) : ";

```

```

5046 INPUT O$
5048 IF O$="SI" THEN 5260
5060 T2=6
5070 GOSUB 800
5090 GOSUB 10000
5100 IF B7=1 THEN 5141
5130 PRINT "GJ"           Se pudo compensar con sensoria"
5140 GO TO 5410
5141 B7=1
5142 T2=8
5143 GOSUB 800
5144 GOSUB 10000
5150 T2=8+L
5160 GOSUB 800
5170 GOSUB 10000
5180 IF B7=0 THEN 5435
5190 PRINT "JJGB"           NO SE PUDO COMPENSAR"
5210 GO TO 5370
5250 GO TO 5150
5260 T2=7
5270 GOSUB 800
5280 GOSUB 10000
5290 IF B7=0 THEN 580
5330 GO TO 5141
5365 GO TO 5440
5370 CLOSE
5375 B7=3
5380 T2=8
5390 GOSUB 800
5400 GOSUB 10000
5410 IF T9=4 THEN 580
5430 GO TO 52
5435 IF N1>7 OR D1>7 OR N1>D1 THEN 5370
5440 B7=2
5450 T2=8
5460 GOSUB 800
5470 GOSUB 10000
5480 GO TO 500
5490 B7=4
5500 T2=8
5510 GOSUB 800
5520 GOSUB 10000
5530 T9=5
5535 B4=1
5540 GO TO 490
6000 REM           LLUMIGUSIN/COMPCLCD
8000 REM           LLUMIGUSIN/COMPES
10000 REM          LLUMIGUSIN/COMPBI

```

```

10000 REM          LLUMIGUSIN/COMPEGO
10010 REM          -----
10020 REM Luis Fernando LLumisucin Ouchil          NOV/84
10030 REM
10040 REM SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10050 REM          Entrada y verificación de datos y
10060 REM          Cálculo de raíces de un polinomio.
10070 REM
10080 REM =====
10090 GOSUB T1 OF 10110,10720
10100 RETURN
10110 REM ===== Datos como coeficientes =====
10120 B4=0
10130 PRINT USING 310:Y#
10140 PRINT "J          *** FRMIONA COMO COEFICIENTES ***"
10150 GOSUB 11240
10160 IF N1<>0 THEN 10200
10170 PRINT "JGANANCIA DEL NUMERADOR = ";
10180 INPUT K1
10190 GO TO 10280
10200 PRINT "JDIGITAR LOS COEFICIENTES DEL NUMERADOR"
10210 S0=0
10220 DIM T(N1+1),C0(N1+1)
10230 T0=1
10240 T1=N1
10250 T2=N1
10260 GOSUB 10410
10270 C0=T
10280 PRINT "JDIGITAR LOS COEFICIENTES DEL DENOMINADOR"
10290 S0=1
10300 T0=N1+1
10310 T1=D1
10320 T2=N1+D1
10330 K0=K1
10340 DELETE T
10350 DIM T(D1+1),C1(D1+1)
10360 GOSUB 10410
10370 C1=T
10380 DELETE T
10390 RETURN
10400 REM.....
10410 REM Entrada de coeficientes (numerador o denominador) S/R
10420 FOR I=1 TO T1+1
10430 PRINT " S**";T1+1-I;" = ";
10440 INPUT T(I)
10450 IF I>1 THEN 10530
10460 IF T(1)<>0 THEN 10490
10470 PRINT "JGGCOMP14 PRIMER coeficiente es cero * REPITA"
10480 GO TO 10420
10490 K1=T(1)
10500 IF S0=0 THEN 10530
10510 K0=K0/K1
10520 IF K0<0 OR K0>10000 THEN 10700
10530 T(I)=T(I)/K1
10540 NEXT I
10550 T(1)=1
10560 N=T1
10570 IF N>1 THEN 10620

```

```

10580 F(1,T0)=-T(2)
10590 F(2,T0)=0
10600 F(3,T0)=S0
10610 GO TO 10690
10620 GOSUB 11460
10630 FOR I=T0 TO T2
10640 F(1,I)=P1(I-T0+1)
10650 F(2,I)=P2(I-T0+1)
10660 F(3,I)=S0
10670 NEXT I
10680 DELETE P1,P2,Q1
10690 RETURN
10700 PRINT "JBCOMP15A: GANANCIA Ko = ";K0;" FUERA DE LIMITES "
10710 END
10720 REM ===== Datos como factores (raices) =====
10730 B4=1
10740 PRINT USING 310;Y#
10750 PRINT "J          *** ENTRADA COMO RAICES ***"
10760 GOSUB 11240
10770 PRINT "JGANANCIA TOTAL Ko = ";
10780 INPUT K0
10790 IF K0<10001 AND K0>0 THEN 10820
10800 PRINT "JBCOMP15B: GANANCIA Ko = ";K0;" FUERA DE LIMITES "
10810 GO TO 10770
10820 IF N1=0 THEN 10890
10830 S0=0
10840 X#="NUMERADOR"
10850 T#="CERO"
10860 T1=N1
10870 T0=1
10880 GOSUB 10970
10890 S0=1
10900 X#="DENOMINADOR"
10910 T#="POLO"
10920 T1=N1+D1
10930 T0=N1+1
10940 GOSUB 10970
10950 RETURN
10960 REM.....
10970 REM          Entrada de raices (numerador o denominador)      S/R
10980 REM
10990 PRINT "JDIGITAR LAS RAICES DEL ";X#;" (";T#;"S)"
11000 FOR I=T0 TO T1
11010 PRINT " ";T#;" (";I-T0+1;") : PARTE REAL          = ";
11020 INPUT F(1,I)
11030 PRINT "          PARTE IMAGINARIA = ";
11040 INPUT F(2,I)
11050 F(3,I)=S0
11060 IF F(2,I)=0 THEN 11210
11070 IF I=T1 THEN 11150
11080 I=I+1
11090 F(1,I)=F(1,I-1)
11100 F(2,I)=-F(2,I-1)
11110 F(3,I)=S0
11120 PRINT " ";T#;" (";I-T0+1;") : PARTE REAL          = ";F(1,I)
11130 PRINT "          PARTE IMAGINARIA = ";F(2,I)
11140 GO TO 11210
11150 PRINT "JBCOMP16: Por el grado del ";X#;" no hay mas conJugadas"

```

```

11160 PRINT "¿ SE EQUIVOCO SOLO EN EL ULTIMO " ; T ; "?" (SI O NO) = " ;
11170 INPUT R$
11180 IF R$="SI" OR R$="S" THEN 11200
11190 GO TO 10990
11200 I=I-1
11210 NEXT I
11220 RETURN
11230 REM.....
11240 REM          Lectura y validacion de grados          S/R
11250 E1=0.005
11260 PRINT "¿GRADO DEL NUMERADOR = " ;
11270 INPUT N1
11280 IF N1<=7 AND N1>=0 THEN 11310
11290 PRINT "¿GRADO DEL DENOMINADOR = " ;
11300 GO TO 11260
11310 PRINT "¿GRADO DEL DENOMINADOR = " ;
11320 INPUT D1
11330 IF D1<=7 AND D1>=0 THEN 11360
11340 PRINT "¿GRADO DEL DENOMINADOR = " ;
11350 GO TO 11310
11360 IF N1<=D1 THEN 11390
11370 PRINT "¿GRADO DEL DENOMINADOR = " ;
11380 GO TO 11260
11390 N1=INT(N1)
11400 D1=INT(D1)
11410 DELETE F,C0,C1,C2,C3,C4,f,S
11420 DIM F(5,N1+D1)
11430 F=1
11440 RETURN
11450 REM -----
11460 REM .....
11470 REM//// Obtencion de las raices de un polinomio entero //// S/R
11480 REM          TEKTRONIX PLOT 50          Mathematics Volumen 2
11490 DELETE P1,P2,Q1,Q2,P
11500 DIM P1(N),P2(N),Q1(N+1),Q2(N+1),P(14)
11510 E=E1/20
11520 FOR P0=1 TO N+1
11530 P7=N+1-P0+1
11540 Q1(P0)=T(P7)
11550 NEXT P0
11560 PRINT "          Estos buscando las raices"
11570 GOSUB 11650
11580 RETURN
11590 REM "Polynomial roots" (Parametros)
11600 REM      Q1 -- Vector de N+1 coeficientes en orden ascendente
11610 REM      N  -- Grado del polinomio
11620 REM      P1 -- Raices (parte real)
11630 REM      P2 -- Raices (parte imaginaria)
11640 REM      E  -- Exactitud deseada
11650 P(9)=0
11660 P7=N
11670 P(7)=P7
11680 P(8)=P7+1
11690 P(6)=1
11700 Q7=P7+2
11710 FOR Q0=1 TO P7+1
11720 Q2(Q7-Q0)=Q1(Q0)
11730 NEXT Q0

```

```

11740 F(11)=0,00500101
11750 F(12)=0,010000101
11760 F(4)=0
11770 F8=F(11)
11780 F(11)=-10*F(12)
11790 F(12)=-10*F8
11800 F8=F(11)
11810 F9=F(12)
11820 F(4)=F(4)+1
11830 GO TO 11870
11840 F(9)=1
11850 F(13)=F8
11860 F(14)=F9
11870 F(5)=0
11880 F3=0
11890 F4=0
11900 F6=0
11910 Q3=1
11920 Q4=0
11930 F5=Q2(F7+1)
11940 IF P5=0 THEN 12410
11950 FOR P0=1 TO P7
11960 Q0=P7+1-P0
11970 Q8=Q2(Q0)
11980 Q5=P8*Q3-P9*Q4
11990 Q6=P8*Q4+P9*Q3
12000 F5=F5+Q8*Q5
12010 F6=F6+Q8*Q6
12020 F3=F3+P0*Q3*Q8
12030 F4=F4-P0*Q4*Q8
12040 Q3=Q5
12050 Q4=Q6
12060 NEXT P0
12070 F(10)=F3*F3+F4*F4
12080 IF F(10)=0 THEN 12320
12090 F(2)=(F6*F4-F5*F3)/F(10)
12100 F8=F8+F(2)
12110 F(3)=- (F5*F4+F6*F3)/F(10)
12120 F9=F9+F(3)
12130 IF ABS(F(2))+ABS(F(3))<E THEN 12200
12140 F(5)=F(5)+1
12150 IF F(5)<500 THEN 11880
12160 IF F(9)<>0 THEN 12200
12170 IF F(4)<E THEN 11770
12180 PRINT "JGCOMP14: No hay raíces para 500 iteraciones y 5 valores"
12190 END
12200 F0=N+2
12210 FOR Q0=1 TO F(8)
12220 Q7=F0-Q0
12230 Q8=Q1(Q7)
12240 Q1(Q7)=Q2(Q0)
12250 Q2(Q0)=Q8
12260 NEXT Q0
12270 Q7=F7
12280 F7=F(7)
12290 F(7)=Q7
12300 IF F(9)=0 THEN 11840
12310 GO TO 12350

```

```

12320 IF P(9)=0 THEN 11770
12330 P8=P(13)
12340 P9=P(14)
12350 P(9)=0
12360 IF ABS(P9)<10*E*ABS(P8) THEN 12440
12370 P(1)=P8+P8
12380 P(10)=P8*P8+P9*P9
12390 P7=P7-2
12400 GO TO 12480
12410 P8=0
12420 P(7)=P(7)-1
12430 P(8)=P(8)-1
12440 P9=0
12450 P(10)=0
12460 P(1)=P8
12470 P7=P7-1
12480 Q2(2)=Q2(2)+P(1)*Q2(1)
12490 Q7=P(1)
12500 Q8=P(10)
12510 FOR Q0=2 TO P7
12520 Q2(Q0+1)=Q2(Q0+1)+Q7*Q2(Q0)+Q8*Q2(Q0-1)
12530 NEXT Q0
12540 P1(P(6))=P8
12550 P2(P(6))=P9
12560 P(6)=P(6)+1
12570 IF P(10)=0 THEN 12610
12580 P9=-P9
12590 P(10)=0
12600 GO TO 12540
12610 IF P7>0 THEN 11740
12620 RETURN
12630 REM =====

```



```

10000 REM          LLUNIGUSTIN/COMPUER
10010 REM          -----
10020 REM          Luis Fernando LLunigustin Duchá          Nov/84
10030 REM
10040 REM          Contiene:
10050 REM          Cálculo y evaluación de raíces y
10060 REM          puntos de generación
10070 REM          =====
10080 PAGE
10090 T4=130
10100 DELETE X
10110 DIM X(14)
10120 X=0
10130 N2=0
10140 IF N1+D1>1 THEN 10250
10150 X0=-((3/2)*(ABS(F(1,1))+5)
10160 X1=-X0
10170 GOSUB 14440
10180 AXIS E8,E8
10190 MOVE @32:F(1,1),E9
10200 DRAW @32:X0,E9
10210 PRINT @32:"C",Y#
10220 PRINT "CJJ LGR de una raíz en "F(1,1);" + 0J GGG"
10230 PRINT @32:"J      (1 div.="E8;" un.)"
10240 END
10250 REM          ===== Clasificación y banderas de raíces =====
10260 S2=0
10270 S1=0
10280 FOR I=1 TO N1+D1-1
10290 IF ABS(F(2,I))<=E1 THEN 10310
10300 S2=1
10310 IF F(1,I)=>F(1,I+1) THEN 10340
10320 S1=1
10330 GOSUB 10940
10340 NEXT I
10350 IF S1=1 THEN 10270
10360 IF S2=0 THEN 10650
10370 REM          ----- Clasificación por eje imaginario
10380 Y2=0
10390 T1=0
10400 T0=1
10410 FOR I2=1 TO N1+D1-1
10420 IF ABS(F(2,I2))<=Y2 THEN 10440
10430 Y2=ABS(F(2,I2))
10440 IF F(1,I2)-F(1,I2+1)>E1 THEN 10510
10450 IF S1=1 THEN 10490
10460 S1=1
10470 T0=I2
10480 GO TO 10640
10490 T1=I2+1
10500 GO TO 10640
10510 IF S1=1 AND T1-T0>1 THEN 10530
10520 GO TO 10640
10530 REM
10540 S1=0
10550 FOR I=T0 TO T1-1
10560 IF ABS(F(2,I))<=ABS(F(2,I+1)) THEN 10590
10570 S1=1
10580 GOSUB 10930

```

```

10590 NEXT I
10600 IF S1=1 THEN 10540
10610 REM
10620 T1=0
10630 T0=1
10640 NEXT I2
10650 REM ----- Evaluacion de raices repetidas y/o canceladas
10660 FOR I=1 TO N1+D1-1
10665 IF F(5,I)=0 OR F(5,I)=2 THEN 10900
10670 T1=F(1,I)-F(1,I+1)
10680 IF T1>E1 THEN 10890
10690 T1=ABS(F(2,I))-ABS(F(2,I+1))
10700 IF ABS(T1)>E1 THEN 10890
10710 F(5,I)=0
10720 T1=F(3,I)+F(3,I+1)
10730 IF T1=1 THEN 10760
10740 F(4,I+1)=F(4,I+1)+F(4,I)
10750 GO TO 10890
10760 IF F(4,I)=1 THEN 10860
10770 IF S1=1 THEN 10800
10780 S1=1
10790 T0=F(4,I)-1
10800 F(4,I)=F(4,I)-1
10810 F(5,I)=1
10820 F(5,I+1)=2
10830 F(5,I-T0)=2
10840 GOSUB 10930
10850 GO TO 10900
10860 F(5,I)=2
10870 F(5,I+1)=2
10880 I=I+1
10890 S1=0
10900 NEXT I
10910 IF T9=5 OR T9=6 THEN 11210
10920 GO TO 11010
10930 REM .....
10940 REM          Intercambio de columnas
10950 FOR I1=1 TO 5
10960 T2=F(I1,I)
10970 F(I1,I)=F(I1,I+1)
10980 F(I1,I+1)=T2
10990 NEXT I1
11000 RETURN
11010 REM          Plano de datos y evaluacion en eje real
11020 IF F(1,1)<>0 OR F(1,N1+D1)<>0 THEN 11060
11030 X0=-5
11040 X1=2
11050 GO TO 11120
11060 X0=3/2*F(1,N1+D1)
11070 X1=3/2*F(1,1)
11080 IF F(1,1)>0 THEN 11100
11090 X1=ABS(X0/5)
11100 IF F(1,N1+D1)<0 THEN 11120
11110 X0=-X1/5
11120 Y1=47/144*(X1-X0)
11130 IF S2=0 THEN 11200
11140 Y2=3/2*Y1

```

```

11150 IF Y2<=Y1 THEN 11200
11160 T1=(144/47*Y2-ABS(X1-Y1))/2
11170 X0=X0-T1
11180 X1=X1+T1
11190 Y1=Y2
11200 GOSUB 14470
11210 REM----- Busqueda de raíces canceladas
11220 S3=0
11230 FOR I=1 TO N1+01
11240 IF F(5,I)=2 THEN 11250
11250 S3=1
11260 NEXT I
11270 IF S3<>0 THEN 11310
11280 PRINT "JBCOMP21: TODAS las raíces se han cancelado - FIN"
11290 END
11300 REM.....
11310 REM      Producto de los valores en numerador y denominador
11320 IF B4=0 THEN 11730
11330 DELETE C0,C1,T
11340 IF N1=0 THEN 11390
11350 DIM C0(N1+1),f(N1+1)
11360 T0=0
11370 GOSUB 11470
11380 C0=T
11390 DELETE T
11400 DIM C1(D1+1),f(D1+1)
11410 T0=1
11420 GOSUB 11470
11430 C1=T
11440 DELETE T
11450 GO TO 11730
11460 REM .....
11470 REM      Obtencion de un cociente desde sus factores
11480 T=0
11490 T1=0
11500 T(1)=1
11510 IF T1<>1 THEN 11570
11520 FOR I=1 TO N1+D1
11530 IF F(3,I)<>T0 THEN 11550
11540 T(2)=F(1,I)
11550 NEXT I
11560 GO TO 11710
11570 FOR I=1 TO N1+D1
11580 IF F(3,I)<>T0 OR F(2,I)<>T0 THEN 11700
11590 IF ABS(F(2,I))>E1 THEN 11590
11600 T1=T1+1
11610 FOR I1=T1+1 TO 2 STEP -1
11620 T(I1)=T(I1)-T(I1-1)*F(1,I)
11630 NEXT I1
11640 GO TO 11700
11650 T1=T1+2
11660 FOR I1=T1+1 TO 3 STEP -1
11670 T(I1)=T(I1)-2*T(I1-1)*F(1,I)+T(I1-2)*(F(1,I)^2+F(2,I)^2)
11680 NEXT I1
11690 T(2)=T(2)-2*T(1)*F(1,I)
11700 NEXT I
11710 RETURN

```

```

11720 REM .....
11730 PRINT "   Ecuacion para los puntos de separacion dK(s)/ds=0
11740 DELETE C2,C3,C4
11750 IF N1=0 THEN 11800
11760 DIM C3(N1)
11770 FOR I=1 TO N1
11780 C3(I)=(N1-I+1)*C0(I)
11790 NEXT I
11800 DIM C4(D1)
11810 FOR I=1 TO D1
11820 C4(I)=(D1-I+1)*C1(I)
11830 NEXT I
11840 IF N1>0 THEN 11880
11850 DIM C2(D1),T(D1)
11860 C2=-C4
11870 GO TO 12000
11880 DIM C2(N1+D1),T(N1+D1)
11890 C2=0
11900 FOR I=1 TO D1
11910 FOR I2=1 TO N1+1
11920 C2(I+I2-1)=C2(I+I2-1)+C4(I)*U0(I2)
11930 NEXT I2
11940 NEXT I
11950 FOR I=1 TO N1
11960 FOR I2=1 TO D1+1
11970 C2(I+I2-1)=C2(I+I2-1)-C3(I)*U1(I2)
11980 NEXT I2
11990 NEXT I
12000 DELETE C3,C4,S
12010 N=N1+D1-1
12020 T=C2
12030 IF ABS(C2(1))>E1 THEN 12170
12040 I1=0
12050 FOR I=1 TO N1+D1
12060 IF I1>0 OR ABS(C2(I))>E1 THEN 12140
12070 N=N-1
12080 IF N>0 THEN 12160
12090 N=1
12100 DIM S(4,1)
12110 S(2,1)=1000
12120 DELETE T
12130 GO TO 12470
12140 I1=I1+1
12150 T(I1)=C2(I)
12160 NEXT I
12170 DIM S(4,N)
12180 S=1
12190 IF N>1 THEN 12230
12200 S(1,1)=-T(2)/T(1)
12210 S(2,1)=0
12220 GO TO 12470
12230 GOSUB 13280
12240 DELETE T
12250 FOR I=1 TO N
12260 S(1,I)=F1(I)
12270 S(2,I)=F2(I)
12280 NEXT I

```

```

12290 DELETE P1,P2,Q1
12300 REM ----- Clasificacion y evaluacion de puntos de separacion
12310 S1=0
12320 FOR I=1 TO N-1
12330 IF S(1,I)=S(1,I+1) THEN 12400
12340 S1=1
12350 FOR I1=1 TO 2
12360 T1=S(I1,I+1)
12370 S(I1,I+1)=S(I1,I)
12380 S(I1,I)=T1
12390 NEXT I1
12400 NEXT I
12410 IF S1=1 THEN 12310
12420 FOR I=1 TO N-1
12430 IF S(1,I)-S(1,I+1)>E1 THEN 12460
12440 S(4,I)=0
12450 S(3,I+1)=S(3,I+1)+S(3,I)
12460 NEXT I
12470 REM ----- Evaluacion de puntos de separacion en eje real
12480 B3=0
12490 I1=0
12500 FOR I=1 TO N1+D1
12510 IF F(5,I)=0 OR ABS(F(2,I))>E1 THEN 12890
12520 I1=I1+1
12530 IF I1>N THEN 12590
12540 IF S(4,I1)=0 OR ABS(S(2,I1))>E1 THEN 12520
12550 IF S(1,I1)>F(1,I)+E1 THEN 12770
12560 GO TO F(4,I) OF 12590,12630,12670,12730
12570 PRINT "JGCOMP22: ";F(4,I); " Raices multiples (no se contempla)"
12580 END
12590 GOSUB 13200
12600 B3=NOT(B3)
12610 I1=I1-1
12620 GO TO 12890
12630 REM ----- Raiz doble
12640 IF B3=0 THEN 12660
12650 S(4,I1)=0
12660 GO TO 12890
12670 REM ----- Raiz triple
12680 GOSUB 13200
12690 IF B3=0 THEN 12710
12700 S(3,I1)=0.5
12710 B3=NOT(B3)
12720 GO TO 12890
12730 REM ----- Raiz cuadruple
12740 IF B3=0 THEN 12760
12750 S(3,I1)=1
12760 GO TO 12890
12770 REM ===== Ptos. de separacion, no sobre raices
12780 IF B3=0 THEN 12820
12790 GO TO S(3,I1) OF 12520,12840,12870
12800 PRI "JGCOMP23 ";S(3,I1); " Ptos. de sep. multiples (no contempla)"
12810 END
12820 S(4,I1)=0
12830 GO TO 12820
12840 REM ----- Punto doble
12850 S(3,I1)=0.5

```

```

12860 GO TO 12520
12870 REM ----- Punto triple
12880 GO TO 12520
12890 NEXT I
12900 IF B3=0 THEN 12930
12910 GOSUB 13240
12920 GO TO 12970
12930 I1=I1+1
12940 IF I1>N THEN 12970
12950 S(4,I1)=0
12960 GO TO 12930
12970 C9=0
12980 A6=0
12990 IF D1<=N1+1 THEN 13060
13000 FOR I=1 TO N1+D1
13010 IF F(5,I)<>1 THEN 13030
13020 C9=C9-F(4,I)*F(1,I)*-1**F(3,I)
13030 NEXT I
13040 C9=C9/(D1-N1)
13050 A6=180/(D1-N1)
13060 DELETE X9
13070 IF N2<>0 THEN 13090
13080 N2=2
13090 DIM X9(N2)
13100 DIM X(N2)
13110 X9=X
13120 IF T9=1 OR T9=3 THEN 13160
13130 REM Grabacion de datos de entrada
13140 GOSUB 1130
13150 GO TO 13170
13160 GOSUB 910
13170 RETURN
13180 STOP
13190 REM .....
13200 REM Grabacion de puntos en eje real S/R
13210 N2=N2+1
13220 X(N2)=F(1,I)
13230 RETURN
13240 N2=N2+1
13250 X(N2)=- (10^3)
13260 RETURN
13270 REM .....
13280 REM//// Obtencion de las raices de un polinomio entero //// S/R
13290 REM TEKTRONIX PLOT 50 Mathematics Volumen 2
13300 DELETE P1,P2,Q1,Q2,P
13310 DIM P1(N),P2(N),Q1(N+1),Q2(N+1),P(14)
13320 E=E1/20
13330 FOR P0=1 TO N+1
13340 P7=N+1-P0+1
13350 Q1(P0)=T(P7)
13360 NEXT P0
13370 PRINT " Estoy buscando las raices"
13380 GOSUB 13460
13390 RETURN
13400 REM "Polynomial roots" (Parametros)
13410 REM Q1 -- Vector de N+1 coeficientes en orden ascendente
13420 REM N -- Grado del polinomio
13430 REM P1 -- Raices (parte real)

```

```

13440 REM      P2 --- Raíces (parte imaginaria)
13450 REM      E --- Exactitud deseada
13460 F(9)=0
13470 F7=N
13480 P(7)=F7
13490 F(8)=F7+1
13500 P(6)=1
13510 Q7=F7+2
13520 FOR Q0=1 TO F7+1
13530 Q2(Q7-Q0)=Q1(Q0)
13540 NEXT Q0
13550 P(11)=0.00500101
13560 P(12)=0.010000101
13570 F(4)=0
13580 F8=F(11)
13590 F(11)=-10*F(12)
13600 F(12)=-10*F8
13610 F8=F(11)
13620 F9=F(12)
13630 F(4)=F(4)+1
13640 GO TO 13680
13650 F(9)=1
13660 F(13)=F8
13670 F(14)=F9
13680 F(5)=0
13690 F3=0
13700 F4=0
13710 F6=0
13720 Q3=1
13730 Q4=0
13740 P5=Q2(F7+1)
13750 IF P5=0 THEN 14220
13760 FOR P0=1 TO P7
13770 Q0=P7+1-P0
13780 Q8=Q2(Q0)
13790 Q5=P8*Q3-P9*Q4
13800 Q6=P8*Q4+F9*Q3
13810 P5=P5+Q8*Q5
13820 P6=P6+Q8*Q6
13830 P3=P3+P0*Q3*Q8
13840 P4=P4-P0*Q4*Q8
13850 Q3=Q5
13860 Q4=Q6
13870 NEXT P0
13880 F(10)=F3*F3+F4*F4
13890 IF F(10)=0 THEN 14130
13900 F(2)=(F6*F4-F5*F3)/F(10)
13910 F8=F8+F(2)
13920 F(3)=- (F5*F4+F6*F3)/F(10)
13930 F9=F9+F(3)
13940 IF ABS(F(2))+ABS(F(3))<E THEN 14010
13950 F(5)=F(5)+1
13960 IF F(5)<500 THEN 13490
13970 IF F(9)<0 THEN 14010
13980 IF F(4)<5 THEN 13580
13990 PRINT "JGCOMP24: No hay raíces para 500 iteraciones y 5 valores"
14000 END

```

```

14010 P0=N+2
14020 FOR Q0=1 TO P(8)
14030 Q7=P0-Q0
14040 Q8=Q1(Q7)
14050 Q1(Q7)=Q2(Q0)
14060 Q2(Q0)=Q8
14070 NEXT Q0
14080 Q7=P7
14090 P7=P(7)
14100 P(7)=Q7
14110 IF P(9)=0 THEN 13650
14120 GO TO 14160
14130 IF P(9)=0 THEN 13580
14140 P8=P(13)
14150 P9=P(14)
14160 P(9)=0
14170 IF ABS(P9)<10*E*ABS(P8) THEN 14250
14180 P(1)=P8+P8
14190 P(10)=P8*P8+P9*P9
14200 P7=P7-2
14210 GO TO 14290
14220 P8=0
14230 P(7)=P(7)-1
14240 P(8)=P(8)-1
14250 P9=0
14260 P(10)=0
14270 P(1)=P8
14280 P7=P7-1
14290 Q2(2)=Q2(2)+P(1)*Q2(1)
14300 Q7=P(1)
14310 Q8=P(10)
14320 FOR Q0=2 TO P7
14330 Q2(Q0+1)=Q2(Q0+1)+Q7*Q2(Q0)-Q8+Q2(Q0-1)
14340 NEXT Q0
14350 P1(P(6))=P8
14360 P2(P(6))=P9
14370 P(6)=P(6)+1
14380 IF P(10)=0 THEN 14420
14390 P9=-P9
14400 P(10)=0
14410 GO TO 14350
14420 IF P7>0 THEN 13550
14430 RETURN
14440 REM .....
14450 REM Parametros del grafico S/R
14460 Y1=ABS(47/144)*(X1-X0)
14470 WINDOW X0,X1,-Y1,Y1
14480 PAGE
14490 E9=ABS(X1-X0)/700
14500 I=0
14510 T2=ABS(X1-X0)/20
14520 IF T2=>1 THEN 14560
14530 I=I+1
14540 T2=10*T2
14550 GO TO 14520
14560 EB=INT(T2)
14570 IF I=0 THEN 14590

```


1.4580 E8=E8/10¹

1.4590 E2=5*E9

1.4600 S0=2

1.4610 RETURN

```

8000 REM                               LLUMIGUS (MACHO) #3
8010 REM                               -----
8020 REM SUBPROGRAMA QUE CONTIENE:
8030 REM                               Cálculo del LGR desde los puntos
8040 REM                               de separación.
8050 REM =====
8060 S0=3
8070 PRINT "J                               Estos grabando los puntos del LGR"
8080 S1=0
8090 SET DEGREES
8100 R4=0
8110 FOR I=1 TO N
8120 E2=5*E9
8130 IF S(4,I)=0 OR S(4,I)=2 OR ABS(S(2,I))>E1 THEN 9260
8140 IF ABS(S(1,I))>=E2/5 OR S(1,I)=0 THEN 8160
8150 E2=ABS(S(1,I)/10)
8160 IF S(3,I)<3 THEN 8180
8170 R4=1
8180 A0=180/(S(3,I)+1)
8190 X2=S(1,I)
8200 Y2=0
8210 GOSUB 8570
8220 X2=X2+E2*COS(A0)
8230 Y2=Y2+E2*SIN(A0)
8240 E=1000
8250 A1=7
8260 GOSUB 8570
8270 REM Búsqueda de 5 puntos en loarico con ángulo de A1 grados c/u
8280 FOR I2=1 TO 5
8290 A4=A0+(3-I2)*A1
8300 X4=X2+E2*COS(A4)
8310 Y4=Y2+E2*SIN(A4)
8330 GOSUB 8610
8340 IF E<=E3 THEN 8390
8350 X3=X4
8360 Y3=Y4
8370 A3=A4
8380 E=E3
8390 NEXT I2
8400 REM Evaluación y corrección del Epsilon de distancia
8410 IF E>1 THEN 8460
8420 IF E=>0.5 THEN 8520
8430 IF E2=>10*E9 THEN 8520
8440 E2=1.2*E2
8450 GO TO 8520
8460 IF E=>3 AND E2<=0.5*E9 THEN 8500
8470 IF E2<0.5*E9 THEN 8490
8480 E2=0.7*E2
8490 GO TO 8520
8500 PRINT "JLGRCOMP31: Se elimina el punto de separación: "S(1,I)
8510 GO TO 9250
8520 X2=X3
8530 Y2=Y3
8540 A0=A3
8550 GO TO 8240
8560 REM ----- Grabación de puntos del LGR (S/R) -----
8570 N2=N2+1

```

```

8580 WRITE #1;X2,Y2
8590 RETURN
8600 REM .....
8610 REM           Evaluacion de los puntos del LGR
8620 IF X4=>X1 OR X4<=X0 OR Y4# I1 THEN 8620
8630 IF S1=1 THEN 8910
8640 IF Y4=>E2/2 THEN 8890
8650 I1=1
8660 IF I+I1>N THEN 8870
8670 IF ABS(ABS(S(1,I+I1))-ABS(X2))>E2 OR S(4,I+I1)=0 THEN 8690
8680 GO TO 8710
8690 I1=I1+1
8700 GO TO 8660
8710 X2=S(1,I+I1)
8720 Y2=0
8730 GOSUB 8570
8740 S(4,I+I1)=2
8750 IF S(3,I+I1)<>0.5 THEN 8780
8760 A0=120
8770 GO TO 8200
8780 IF S(3,I)<3 THEN 8820
8790 X2=S(1,I)
8800 A0=135
8810 GO TO 8200
8820 IF B4<>1 THEN 9250
8830 B4=0
8840 X2=S(1,I)
8850 GOSUB 9300
8860 GO TO 8780
8870 PRINT "JGcomp24: No hay ningun punto correcto"
8880 GO TO 9250
8890 REM ..... Doble en raices complejas
8900 IF S2=0 THEN 9020
8910 IF Y4<=-(2*E9) THEN 9250
8920 FOR I1=1 TO N1+D1
8930 IF ABS(F(2,I1))<=E1 OR F(5,I1)=2 THEN 9010
8940 IF ABS(F(2,I1)-Y4)>E2 THEN 9010
8950 IF ABS(ABS(F(1,I1))-ABS(X2))>E2 THEN 9010
8960 F(5,I1)=3
8970 X2=F(1,I1)
8980 Y2=F(2,I1)
8990 GOSUB 8570
9000 GO TO 9250
9010 NEXT I1
9020 REM ..... Sumatoria de ensayos o calculo de X
9030 A2=0
9040 K1=1
9050 FOR I1=1 TO N1+D1
9060 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 9200
9070 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
9080 T1=X4-F(1,I1)
9090 T2=Y4-F(2,I1)
9100 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 9120
9110 T0=T0/F(4,I1)
9120 IF T1<>0 THEN 9150
9130 A5=90

```

```

9140 GO TO 9180
9150 A5=ATN(T2/T1)
9160 IF T1=>0 THEN 9180
9170 A5=A5+180
9180 A2=A2+T0*A5
9190 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
9200 NEXT I1
9210 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360+360/ABS(A2)
9220 E3=ABS(ABS(A2)-180)
9230 RETURN
9240 REM.....
9250 GOSUB 9300
9260 IF S1=1 THEN 9530
9270 NEXT I
9280 GO TO 9360
9290 REM.....
9300 REM Grabacion de numero de puntos por curva
9310 N3=N3+1
9320 X(N3)=N2
9330 N2=0
9340 RETURN
9350 REM.....
9360 IF S2=0 THEN 9540
9370 REM..... LGR desde raices complejas
9380 S1=1
9390 B4=0
9400 FOR I=1 TO N1+D1
9410 IF NOT(F(2,I)>E1 AND F(5,I)<>0) THEN 9530
9420 F(5,I)=2
9430 X4=F(1,I)
9440 Y4=F(2,I)
9450 GOSUB 9020
9460 A0=E3*-1^F(3,I)*ABS(A2)/A1
9470 IF ABS(A2)<=180 THEN 9490
9480 A0=-A0
9490 F(5,I)=1
9500 X2=F(1,I)
9510 Y2=F(2,I)
9520 GO TO 8210
9530 NEXT I
9540 WRITE #2;B;N3,X
9550 CLOSE
9560 E2=5*E9
9570 RETURN
9580 REM =====

```

```

10000 REM          LLUMIGUSIN COMPE2
10010 REM          -----
10020 REM Luis Fernando LLumisolin Duché
10030 REM
10040 REM Contiene:
10050 REM          Ingreso de especificaciones de compensacion y
10060 REM          Escoja el tipo de compensador.
10070 REM =====
10080 DELETE G$,C$,D$,E$
10090 SET DEGREES
10100 G$="COMPENSADOR EN ADELANTO"
10110 C$="COMPENSADOR EN ATRASO"
10120 D$="COMPENSADOR EN ADELANTO - ATRASO"
10130 E$="COMPENSADOR PROPORCIONAL - INTEGRAL"
10140 PAGE
10150 PRINT "          DATOS DE LOS QUE DISPONE          NUMER
10160 PRINT "          =====          =====
10170 PRINT "J-Tiempo de estabilizacion en segundos Y"
10180 PRINT "  factor de amortiguamiento (Ts, f) .....
10190 PRINT "J-Tiempo de estabilizacion en segundos y"
10200 PRINT "  frecuencia no amortiguada (fs, Wn) .....
10210 PRINT "J-Constante de tiempo y factor de amorti-"
10220 PRINT "  guamiento (T, f) .....
10230 PRINT "J-Constante de tiempo y frecuencia no a -"
10240 PRINT "  mortiguada (T, Wn) .....
10250 PRINT "J-Factor de amortiguamiento y frecuencia"
10260 PRINT "  no amortiguada (f, Wn) .....
10270 PRINT "J-Tiempo de estabilizacion, frecuencias no"
10280 PRINT "  amortiguada y constante de error (Ts, Wn, Kv) .....
10290 PRINT "J-Tiempo de estabilizacion, factor de amorti-"
10300 PRINT "  guamiento y constante de error (Ts, f, Kv) .....
10310 PRINT "J-Factor de amortiguamiento, frecuencia no "
10320 PRINT "  amortiguada y constante de error (f, Wn, Kv) .....
10330 PRINT "J-Contante de error y frecuencia no "
10340 PRINT "  amortiguada (Kv, Wn) .....
10350 PRINT "J-Constante de error y factor de amorti-"
10360 PRINT "  guamiento, (Kv, f) ..... 1
10370 PRINT "J GG          TECLEE EL NUMERO DE SU OPCION ";
10380 INPUT TO
10390 REM =====
10400 K2=0
10410 B7=0
10420 I3=0
10430 PAGE
10440 IF TO>6 THEN 10480
10450 T1=TO
10460 GO TO TO OF 10520,10620,10730,10790,10880,10620
10470 GO TO 10140
10480 T1=TO
10490 T0=TO-6
10500 GO TO TO OF 10520,10880,11150,10960
10510 GO TO 10030
10520 PRINT "JJIngrese tiempo de estabilizacion, Ts= ";
10530 INPUT F1
10540 IF F1<=0 THEN 10520
10550 PRINT "JJIngrese factor de amortiguamiento entre 0 y 1, F= ";
10560 INPUT F2

```

```

10570 IF F2<=0 OR F2=>1 THEN 10550
10580 W1=4/(F1*F2)
10590 X4=-F2*W1
10600 Y4=W1*SIN(ACS(F2))
10610 GO TO 11000
10620 PRINT "JJIngrese tiempo de estabilizacion, Tc=";
10630 INPUT F1
10640 IF F1<=0 THEN 10620
10650 PRINT "JJIngrese frecuencia no amortiguada, Wn=";
10660 INPUT W1
10670 IF W1<=0 THEN 10650
10680 F2=4/(F1*W1)
10690 IF F2=>1 OR F2<=0 THEN 10710
10700 GO TO 10580
10710 PRINT "JJGCOMP 44:No son datos compatibles REPITA"
10720 GO TO 10150
10730 PRINT "JJIngrese constante de tiempo, T=";
10740 T0=T1
10750 INPUT F3
10760 IF F3<=0 THEN 10730
10770 F1=4*F3
10780 GO TO 10550
10790 PRINT "JJIngrese frecuencia no amortiguada, Wn=";
10800 T0=T1
10810 INPUT W1
10820 PRINT "JJIngrese constante de tiempo (T), T=";
10830 INPUT F3
10840 IF F3<=0 THEN 10820
10850 F1=4*F3
10860 GO TO 10680
10870 T0=T1
10880 PRINT "JJIngrese factor de amortiguamiento entre 0 y 1 , F=";
10890 INPUT F2
10900 IF F2=>1 OR F2<=0 THEN 10880
10910 PRINT "JJIngrese frecuencia no amortiguada Wn = ";
10920 INPUT W1
10930 IF W1<=0 THEN 10910
10940 F1=4/(F2*W1)
10950 GO TO 10580
10960 W1=1
10965 PRINT "JJIngrese factor de amortiguamiento entre 0 y 1 F=";
10970 INPUT F2
10980 IF F2=>1 OR F2<=0 THEN 10960
10990 GO TO 11180
11000 T0=T1
11010 IF T0=7 OR T0=6 OR T0=8 THEN 11100
11020 K2=-1
11030 GOSUB 11530
11040 PAGE
11050 REM .....
11060 PRINT " ==> COMPENSADORES SUGERIDOS <== "
11070 PRINT " ===== "
11080 PRINT USING 11500:G%
11090 GO TO 11280
11100 GOSUB 11530
11110 IF B3=1 THEN 11210
11120 GOSUB 12020

```

```

11130 IF B7=1 THEN 11220
11140 GO TO 11210
11150 PRINT "JJIngrese la frecuencia no amortiguada Wn =";
11160 INPUT W1
11170 IF W1<=0 THEN 11150
11180 GOSUB 11530
11190 IF B3=1 THEN 11210
11200 GOSUB 12030
11210 PAGE
11220 PRINT "          ==> COMPENSADORES SUGERIDOS <=="
11230 PRINT "          ====="
11240 IF B7=1 THEN 11290
11250 IF T0=>10 THEN 11320
11260 PRINT USING 11500;G$
11270 PRINT USING 11500;D$
11280 IF B8=1 THEN 11300
11290 PRINT USING 11500;E$
11300 PRINT USING 11510;
11310 GO TO 11340
11320 PRINT USING 11500;C$
11330 GO TO 11270
11340 REM Opciones de compensadores a escoger
11350 PRINT "JJGGPara continuar pulse la tecla RETURN"
11360 INPUT N$
11370 PAGE
11380 PRINT " N O M B R E   D E L   C O M P E N S A D O R           NUMER
11390 PRINT " =====
11400 PRINT "JJ";G$;"-----> 1"
11410 PRINT "JJ";C$;"-----> 2"
11420 PRINT "JJ";D$;"-----> 3"
11430 PRINT "JJ";E$;"-----> 4"
11440 PRINT "JJGG E S C O J A   O P C I O N   (NºH'nero)= ";
11450 INPUT L
11460 GO TO L OF 11480,11480,11480,11480
11470 GO TO 11370
11480 DELETE G$,C$,D$,E$
11490 RETURN
11500 IMAGE "J",20X,40A
11510 IMAGE "J",20X,35"--"
11520 REM =====
11530 REM ..... Subrutina de calculo de la constante de error
11540 I2=0
11550 K3=0
11560 B8=1
11570 K4=1
11580 I1=1
11590 FOR J=1 TO N1+D1
11600 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 11710
11610 IF F(2,J)=0 THEN 11640
11620 K4=SQR(F(2,J)^2+F(1,J)^2)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11630 GO TO 11710
11640 IF F(1,J)=0 THEN 11670
11650 K4=F(1,J)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11660 GO TO 11710
11670 IF F(3,J)=0 THEN 11700
11680 I1=I1+F(4,J)
11690 GO TO 11710

```

```

11700 I1=I1-F(4,J)
11710 NEXT J
11720 K4=ABS(K4)
11730 I1=INT(I1)
11740 IF I1>3 THEN 11870
11750 IF I1<=0 THEN 11910
11760 GO TO I1 OF 11770,11810,11840
11770 PRINT "JJConstante de error de posicioH'n"
11780 K#="Error de posicioH'n"
11790 B8=0
11800 GO TO 12010
11810 PRINT "JJConstante de error de velocidad"
11820 K#="Error de velocidad"
11830 GO TO 12010
11840 PRINT "JJConstante de error de aceleracioH'n"
11850 K#="Error de aceleracioH'n"
11860 GO TO 12010
11870 K2=-1
11880 PRINT "J      El error siempre es cero"
11890 B3=1
11900 GO TO 12010
11910 PAGE
11920 PRINT "      El error siempre tiende a infinito"
11930 PRINT "J      DESEA: Repetir el programa (num: 1)"
11940 PRINT "J      Continuar con los "
11950 PRINT "      caH'culos ?      (num: 2)"
11960 PRINT "J      ESCOJA EL NUMERO DE SU OPCION"
11970 INPUT L9
11980 GO TO L9 OF 1,12000
11990 GO TO 11910
12000 I2=1
12010 RETURN
12020 REM -----
12030 IF I2=1 THEN 12660
12040 REM Ingreso de datos de error
12050 PRINT "JJGGPara continuar pulse la tecla      RETURN"
12060 INPUT N#
12070 PAGE
12080 PRINT "      TIPO DE CONSTANTE DE ERROR      OPCION"
12090 PRINT "===== "
12100 PRINT "      J- De posicioH'n      .....      1"
12110 PRINT "      J- De velocidad      .....      2"
12120 PRINT "      J- De aceleracioH'n .....      3"
12130 PRINT "      J----- "
12140 PRINT "      JJGDIGITE EL NUMERO DE OPCION DESEADA = ";
12150 B7=0
12160 INPUT L
12170 GO TO L OF 12190,12280,12530
12180 GO TO 12070
12190 IF I1=1 THEN 12300
12200 IF I1=3 THEN 12370
12210 PRINT "JJError de posicioH'n es cero para entrada paso"
12220 PRINT "JJExiste error de velocidad para entrada rampa"
12230 PRINT "JJError de aceleracioH'n es infinito para entrada parabol"
12240 K2=0
12250 PRINT "GJ      Para continuar pulse la tecla      RETURN"
12260 INPUT O#
12270 GO TO 12700

```



```

12280 IF I1=1 THEN 12500
12290 IF I1=3 THEN 12410
12300 PRINT "JJIngrese constante de "K$;" = ";
12310 INPUT K2
12320 IF I1=2 THEN 12700
12330 IF I1=3 THEN 12700
12340 PRINT "JJPara una entrada paso existe error (1/(1+kp))"
12350 PRINT "JJPara una entrada rampa o paraH'bola error infinito"
12360 GO TO 12250
12370 PRINT "JJError de velocidad es cero para entrada rampa"
12380 PRINT "JJError de posiciOH'n es cero para entrada rampa"
12390 PRINT "JJExiste error de aceleraciOH'n para entrada paraH'bola"
12400 GO TO 12240
12410 PRINT "JJE1 error es cero para entrada rampa o paso"
12420 GO TO 12240
12430 IF L=3 THEN 12500
12440 PRINT "JJIngrese constante de "K$," = ";
12450 INPUT K2
12460 PRINT "JJPara entrada rampa existe error de velocidad"
12470 PRINT "JJPara entrada paso el error de posiciOH'n es cero"
12480 PRINT "Para entrada paraH'bola el error de aceleraciOH'n infinito"
12490 GO TO 12700
12500 PRINT "GGJCOMP42: Se soluciona con red Proporcional - Integral"
12510 B7=1
12520 GO TO 12250
12530 IF I1=3 THEN 12300
12540 PAGE
12550 PRINT "J NO EXISTE SOLUCION"
12560 PRINT "J No es posible ese ingreso de datos pues el error"
12570 PRINT " de velocidad seria infinito"
12580 PRINT "J DESEA: Ingresar datos de error nuevamente (nume 1)"
12590 PRINT "J Finalizar el programa (nume 2)"
12600 PRINT "J PULSE EL NUMERO DESEADO"
12610 INPUT L9
12620 L9=INT(L9)
12630 GO TO L9 OF 12070,12650
12640 GO TO 12540
12650 END
12660 PAGE
12670 PRINT "JGCOMP41 :El error no se puede compensar"
12680 I3=1
12690 GO TO 12250
12700 RETURN
12710 REM =====

```

```

10000 REM                               LLUMISUBIN/LLUMFERUS
10010 REM                               -----
10020 REM      Luis Fernando LLUMISUBIN BUCHI
10030 REM
10040 REM      SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10050 REM                               Calculo de la compensacion variando senencias
10060 REM                               a partir de datos del LGR ya calculado.
10062 REM      =====
10065 RO=T1
10070 PAGE
10075 PS=51
10090 REM      Carga de diskette de calculos ya realizados
10100 SO=4
10102 IF T9<>4 THEN 10152
10110 GOSUB 11450
10120 IF S$<>" " THEN 10160
10130 PRINT "JGCOMP51: Archivo ";X$;" No existe"
10140 GO TO 10153
10150 GO TO 10120
10152 T9=4
10153 PRINT "  Ingrese nombre del archivo de resultados No compensado"
10154 INPUT X$
10155 GO TO 10110
10160 OPEN T$;2,"R",S$
10170 READ #2,1;R$
10180 IF R$=Y$ THEN 10220
10190 PRINT "GJ COMP 33  ARCHIVO ";X$;" NO ES DEL LGR"
10200 CLOSE
10210 END
10220 DELETE X0,C0,C1,F,S
10230 DIM X(9)
10240 READ #2,2;X0,X1,Y1,E1,E2,E3,E4,C9,A6
10250 READ #2,3;N1,D1,N,K0,S2
10260 DIM C0(N1+1),C1(D1+1),F(5,N1+1),S(4,N)
10270 IF N1=0 THEN 10290
10280 READ #2,4;C0
10290 READ #2,5;C1
10300 READ #2,6;F
10310 READ #2,7;S
10320 READ #2,8;N3,X
10350 IF RO=1 OR RO=3 OR RO=5 OR RO=7 OR RO=8 THEN 10400
10360 IF RO=2 OR RO=4 OR RO=6 THEN 10900
10370 IF RO=>9 THEN 10400
10380 PRINT "JGcomp53: Los datos son incompatibles"
10390 END
10400 OPEN X$;1,"F",S$
10420 FOR I=1 TO X(1) STEP 2
10430 READ #1;X2,Y2
10440 PRINT @32;"JPRIMEROS VALORES DE X2,Y2",X2,Y2
10450 NEXT I
10460 IF N3=1 THEN 10790

```

```

10480 FOR I=2 TO N3
10490 READ #1:X2,Y2
10500 PRINT @P5:"LOS VALORES LEIDOS DE X2 e Y2 SON:";X2;" " ;Y2
10505 IF I>2 THEN 10780
10510 FOR I1=2 TO X(I)
10520 READ #1:X2,Y2
10530 PRINT @P5:"JValores del L6P X2+Y2=";X2,Y2
10540 IF R0=1 OR R0=3 OR R0=5 OR R0=7 OR R0=8 THEN 10720
10550 IF R0=2 OR R0=4 OR R0=6 THEN 10600
10560 IF R0=9 THEN 10610
10570 IF R0=10 THEN 10730
10590 GO TO 11260
10600 IF ABS(X2)<=4/F1 THEN 10770
10610 W2=SQR(X2^2+Y2^2)
10620 IF W2<W1 THEN 10770
10630 GO TO 10860
10720 IF ABS(X2)<=4/F1 THEN 10770
10730 IF X2=>0 THEN 10770
10740 F3=COS(ATN(ABS(Y2/X2)))
10750 PRINT @P5:" EL VALOR DEL FACT DE AMORTIG CALCULADO ES:";F3
10760 IF F3<=F2 THEN 10840
10770 NEXT I1
10780 NEXT I
10782 GO TO 11210
10790 PRINT "GJCOMP54: No se puede compensar con senancia"
10800 CLOSE
10810 K7=1
10830 RETURN
10840 IF F3<0.3 THEN 11210
10850 F4=F3
10860 PRINT @P5:"LOS VALORES TO MADDS SON DE LA ITERACION ";I1
10870 Y4=Y2
10880 X4=X2
10900 GOSUB 13410
10920 IF K2=0 OR K2=-1 THEN 10940
10930 IF K2=>K1 THEN 11230
10940 DELETE T
10950 DIM T(D1+1)
10960 T=C1
10970 IF N1<>0 THEN 11000
10980 T(D1+1)=T(D1+1)+K1
10990 GO TO 11040
11000 T0=D1-N1
11010 FOR I=1 TO N1+1
11020 T(I+T0)=T(I+T0)+K1*CO(I)
11030 NEXT I
11040 T2=N
11050 N=D1
11060 GOSUB 12230

```

```

11070 N=T2
11080 I9=1
11090 R3=F1(1)
11100 FOR I=1 TO D1
11110 IF R3>F1(I) THEN 11140
11120 R3=F1(I)
11130 I9=I
11140 NEXT I
11150 IF R3=>0 THEN 11260
11160 IF R0=2 OR R0=4 OR R0=6 OR R0=9 THEN 11250
11170 F3=COS(ATN(ABS(P2(I9)/P1(I9))))
11180 PRINT @P5:"JEL VALOR DEL FACT DE ABORTIG =";F3
11190 PRINT @P5:"EL VALOR DE X4 e Y4 SON: ";X4,Y4
11200 IF F3<=F2+0,15 AND F3=>F2-0,15 THEN 11250
11210 R3=1
11220 GO TO 11260
11230 IF R0=6 OR R0=9 OR R0=10 THEN 10770
11240 GO TO 11210
11250 IF ABS(P2(I9))=>ABS(X2+E1) THEN 11210
11255 PRINT "BSI Se puede compensar con sanancia"
11260 CALL "REWIND",1
11270 B7=0
11280 FOR I=1 TO X(1) STEP 2
11290 READ #1;X2,Y2
11300 PRINT @P5:"PRIMEROS VALORES DE X2,Y2=";X2,Y2
11310 NEXT I
11320 IF N3=1 THEN 11410
11330 FOR I=2 TO N3
11340 READ #1;X2,Y2
11350 FOR I1=2 TO X(I)
11360 READ #1;X2,Y2
11370 PRINT @P5:"LSIGUIENTES VALORES DE X2,Y2=";X2; " ";Y2
11380 NEXT I1
11390 NEXT I
11410 CLOSE
11430 IF R3=>0 THEN 10790
11440 RETURN
11450 REM -----
11460 REM X$--> Archivo SAM de reres de puntos
11470 REM T$--> Archivo DAM de octos del LGR
11480 L$="RL/"
11490 DIM S$(300)
11500 PRINT "GGJ UNIDAD DONDE ESTA EL DISKETTE = ";
11510 INPUT T3
11520 IF T3>1 OR T3<0 THEN 11500
11530 CALL "UNIT",T3
11560 T$=L$&X$
11570 CALL "FILE",T3,X$,S$
11590 RETURN
12230 REM .....
12240 REM:/// Obtencion de las raices de un polinomio entero //// S/R
12250 REM TEKTRONIX PLUT 50 Mathematics Volumen 2

```

```

12260 DELETE P1,P2,Q1,Q2,P
12270 DIM P1(N),P2(N),Q1(N+1),Q2(N+1),P(14)
12280 E=E1/20
12290 FOR P0=1 TO N+1
12300 P7=N+1-P0+1
12310 Q1(P0)=T(P7)
12320 NEXT P0
12330 PRINT "                Estoy buscando las raices"
12340 GOSUB 12420
12350 RETURN
12360 REM "Polynomial roots" (Parametros)
12370 REM Q1 -- Vector de N+1 coeficientes en orden ascendente
12380 REM N -- Grado del polinomio
12390 REM P1 -- Raices (parte real)
12400 REM P2 -- Raices (parte imaginaria)
12410 REM E -- Exactitud deseada
12420 F(9)=0
12430 P7=N
12440 F(7)=P7
12450 F(8)=P7+1
12460 F(6)=1
12470 Q7=F7+2
12480 FOR Q0=1 TO P7+1
12490 Q2(Q7-Q0)=Q1(Q0)
12500 NEXT Q0
12510 F(11)=0.00500101
12520 F(12)=0.010000101
12530 F(4)=0
12540 F8=F(11)
12550 F(11)=-10*F(12)
12560 F(12)=-10*F8
12570 F8=F(11)
12580 F9=F(12)
12590 F(4)=F(4)+1
12600 GO TO 12640
12610 F(9)=1
12620 F(13)=F8
12630 F(14)=F9
12640 F(5)=0
12650 P3=0
12660 P4=0
12670 P6=0
12680 Q3=1
12690 Q4=0
12700 P5=Q2(P7+1)
12710 IF P5=0 THEN 13160
12720 FOR P0=1 TO P7
12730 Q0=P7+1-P0
12740 Q8=Q2(Q0)
12750 Q5=P8*Q3-P9*Q4
12760 Q6=P8*Q4+P9*Q3
12770 P5=P5+Q8*Q5
12780 P6=P6+Q8*Q6
12790 P3=P3+P0*Q3*Q8

```

```

12800 P4=P4-P0*Q4*Q8
12810 Q3=Q5
12820 Q4=Q6
12830 NEXT P0
12840 F(10)=P3*P3+P4*P4
12850 IF F(10)=0 THEN 13090
12860 P(2)=(P6*P4-P5*P3)/F(10)
12870 P8=P8+F(2)
12880 P(3)=- (P5*P4+P6*P3)/F(10)
12890 P9=P9+F(3)
12900 IF ABS(P(2))+ABS(P(3))<E THEN 12970
12910 P(5)=P(5)+1
12920 IF P(5)<500 THEN 12650
12930 IF P(9)<>0 THEN 12970
12940 IF P(4)<5 THEN 12540
12950 PRINT 'JGcomp55: No hay raices para 500 iteraciones y 5 valores.'
12960 END
12970 P0=N+2
12980 FOR Q0=1 TO P(8)
12990 Q7=P0-Q0
13000 Q8=Q1(Q7)
13010 Q1(Q7)=Q2(Q0)
13020 Q2(Q0)=Q8
13030 NEXT Q0
13040 Q7=P7
13050 P7=P(7)
13060 P(7)=Q7
13070 IF P(9)=0 THEN 12610
13080 GO TO 13120
13090 IF P(9)=0 THEN 12540
13100 P8=P(13)
13110 P9=P(14)
13120 P(9)=0
13130 IF ABS(P9)<10*E*ABS(P8) THEN 13210
13140 F(1)=P8+P8
13150 F(10)=P8*P8+P9*P9
13160 P7=P7-2
13170 GO TO 13250
13180 P8=0
13190 F(7)=F(7)-1
13200 F(8)=F(8)-1
13210 P9=0
13220 F(10)=0
13230 F(1)=P8
13240 P7=P7-1
13250 Q2(2)=Q2(2)+F(1)*Q2(1)
13260 Q7=F(1)
13270 Q8=F(10)
13280 FOR Q0=2 TO P7
13290 Q2(Q0+1)=Q2(Q0+1)+Q7*Q2(Q0)-Q8*Q2(Q0-1)
13300 NEXT Q0
13310 F1(P(6))=P8
13320 F2(P(6))=P9

```

```

13330 P(6)=P(6)+1
13340 IF P(10)=0 THEN 13380
13350 P9=-P9
13360 P(10)=0
13370 GO TO 13310
13380 IF P7>0 THEN 12510
13390 RETURN
13400 REM
13410 REM ..... Laboratorio de ensayos y calculo de x
13420 A2=0
13430 K1=1
13440 FOR I1=1 TO N1+D1
13450 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 13590
13460 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
13470 T1=X4-F(1,I1)
13480 T2=Y4-F(2,I1)
13490 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 13510
13500 T0=T0/F(4,I1)
13510 IF T1<>0 THEN 13540
13520 A5=90
13530 GO TO 13570
13540 A5=ATN(T2/T1)
13550 IF T1=>0 THEN 13570
13560 A5=A5+180
13570 A2=A2+T0*A5
13580 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-10/2)
13590 NEXT I1
13600 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360+ABS(A2)
13610 E3=ABS(ABS(A2)-180)
13620 RETURN
13630 REM =====

```

```

10000 REM                               LLUMISUSIDUB.FEG
10010 REM                               -----
10020 REM
10030 REM SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE
10040 REM                               Compensacion mediante amplitud
10050 REM
10060 REM =====
10070 REM Analiza raices en el semiplano positivo
10080 I=0
10090 FOR J=1 TO N1+1
10100 IF F(5,J)=0 OR F(2,J)=0 THEN 10160
10110 IF F(1,J)<=0 THEN 10160
10120 IF F(1,J)>0 AND ABS(F(2,J))>0 THEN 10150
10130 I=I+F(4,J)
10140 GO TO 10160
10150 I=I+F(4,J)
10160 NEXT J
10170 IF I<=1 THEN 10210
10180 PRINT "JGCOMP 61: No se puede compensar por tener raices en el"
10190 PRINT "                               semiplano positivo"
10200 END
10210 B7=0
10220 P5=32
10230 SET DEGREES
10240 B0=T1
10250 IF B0=>9 THEN 11540
10260 W3=W1
10270 F4=F2
10280 E4=360
10290 F3=0,8
10300 F2=0,3
10310 F2=F2+0,05
10320 X4=-ABS(F2*W1)
10330 Y4=ABS(W1*SIN(ACS(F2)))
10340 GOSUB 11900
10350 PRINT @P5:"El angulo calculado es:",E3
10360 PRINT @P5:"La constante de amortiguamiento es :",F2
10370 IF ABS(E4)<=ABS(E3) THEN 10420
10380 E4=ABS(E3)
10390 R0=0
10400 XB=X4
10410 YB=Y4
10420 IF F2<=F3 THEN 10310
10430 IF ABS(E4)<5 THEN 10830
10440 IF R0=1 THEN 10490
10450 IF ABS(E4)>30 THEN 10490
10460 R0=1
10470 W1=W1*1,1
10475 IF W1>5*W3 THEN 11000
10480 GO TO 10300
10490 F5=0,3
10500 F6=0,7
10510 R0=1

```



```

10520 REM Incremento del angulo desde un valor
10530 GOSUB 11400
10540 X4=X7+Z4*COS(A4)
10550 Y4=Y7+Z4*SIN(A4)
10560 GOSUB 11900
10570 PRINT @P5;"EL ANGULO ES :",E3
10580 PRINT @P5;"EL ACTUAL ANGULO INCREMENTADO ES:",A4
10590 PRINT @P5;"LA ACTUAL FRECUENCIA DE RESONANCIA:",(X4^2+Y4^2)^0.5
10600 F2=COS(ATN(ABS(Y4/X4)))
10610 PRINT @P5;"EL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO ES:",F2
10620 IF ABS(E4)<=ABS(E3) THEN 10680
10630 E4=ABS(E3)
10640 X8=X4
10650 Y8=Y4
10660 R0=0
10670 A7=A4
10680 A4=A4+10
10690 IF ABS(A4)<ABS(A8) THEN 10540
10700 IF ABS(E4)<5 THEN 10830
10710 IF R0=1 THEN 11000
10720 W1=1,1*W1
10725 IF W1>5*W3 THEN 11000
10730 R0=1
10740 GOSUB 11400
10750 IF A7>90 THEN 10780
10760 A8=A7+50
10770 GO TO 10540
10780 A8=A7+40
10790 A4=A7-30
10800 IF A8<A6 THEN 10540
10810 A8=A6
10820 GO TO 10540
10830 W1=(X4^2+Y4^2)^0.5
10840 F2=COS(ATN(ABS(Y4/X4)))
10850 W1=(X8^2+Y8^2)^0.5
10860 X4=X8
10870 Y4=Y8
10880 PRINT "JEI valor de la frecuencia no amortiguada es :",W1
10890 PRINT "JEI valor del factor de amortiguamiento es :",F2
10900 O1=4/(F2*W1)
10910 PRINT "JEI valor del nuevo tiempo de estabilizacion es :",O1
10920 O1=4/(F4*W3)
10930 PRINT "JEI valor del tiempo de estabilizacion pedido es :",O1
10940 GOSUB 11900
10950 IF B0=7 OR B0=6 OR B0=8 THEN 10970
10960 GO TO 11080
10970 IF K2<K1*K4 THEN 11080
10980 PRINT "JJ NO SE PUEDE COMPENSAR EN CUANTO A ERRORES"
10990 PRINT "JJ SE DEBE COMPENSAR CON RED EN ATRASO"
11000 PRINT "BJCOMP62: No se puede compensar con ganancia"
11010 PRINT "EL ANGULO MAS APROXIMADO ES :",E4
11020 W1=W3
11030 F2=F4
11040 X4=-W1*F2
11050 Y4=W1*SIN(ACS(F2))

```

```

11060 B7=1
11070 RETURN
11080 GOSUB 12120
11090 K5=K2
11100 K3=K1
11110 DELETE T
11120 DIM T(D1+1)
11130 T=C1
11140 IF N1<>0 THEN 11170
11150 T(D1+1)=T(D1+1)+K1
11160 GO TO 11210
11170 T0=D1-N1
11180 FOR I=1 TO N1+1
11190 T(I+T0)=T(I+T0)+K1*CO(I)
11200 NEXT I
11210 N=D1
11220 GOSUB 12530
11230 S1=0
11240 FOR I=1 TO N-1
11250 IF P1(I)=>0 THEN 11800
11260 IF P1(I)=>P1(I+1) THEN 11310
11270 S1=1
11280 T1=P1(I)
11290 P1(I)=P1(I+1)
11300 P1(I+1)=T1
11310 T1=P2(I)
11320 P2(I)=P2(I+1)
11330 P2(I+1)=T1
11340 NEXT I
11350 IF S1=1 THEN 11230
11360 IF ABS(P1(1))<ABS(X4+Y1) THEN 11300
11370 PRINT "JBCOMP63: Si se suelta el dispensar con sanancia"
11380 B7=0
11390 RETURN
11400 F7=COS((ACS(F5)+ACS(F6))/2)
11410 X7=-W1*F7
11420 Y7=W1*SIN(ACS(F7))
11430 X4=X7
11440 Y4=Y7
11450 X5=-W1*F5
11460 Y5=W1*SIN(ACS(F5))
11470 X6=-W1*F6
11480 Y6=W1*SIN(ACS(F6))
11490 Z4=((X4-X5)2+(Y4-Y5)2)0,5
11500 A4=ATN(ABS((Y4-Y5)/(X4-X5)))
11510 A6=-ATN(ABS((X4-X6)/(Y4-Y6)))
11520 AB=270-A4
11530 RETURN
11540 REM -----
11550 B1=B0-8
11560 GO TO B1 OF 11570,11820
11570 F2=0,6
11580 F4=F2
11590 GOSUB 10260

```

```

11600 RETURN
11610 REM .....
11620 I=0
11630 F4=F2
11640 E4=360
11650 W1=0.1
11660 W3=W1
11670 X4=-ABS(W1*F2)
11680 Y4=W1*SIN(ACS(F2))
11690 PRINT @P5:"JEL VALOR DE X4,Y4=";X4,Y4
11700 PRINT @P5:"EL VALOR DE F2=";F2;" EL VALOR DE W1=";W1
11710 GOSUB 11900
11720 PRINT @P5:"EL VALOR DE E3=";E3
11730 IF ABS(E4)<=ABS(E3) THEN 11770
11740 E4=E3
11750 X8=X4
11760 Y8=Y4
11770 I=I+1
11780 IF ABS(E4)<5 THEN 11840
11790 IF I<40 THEN 11820
11800 B7=1
11810 GO TO 11000
11820 W1=W1+0.1
11830 GO TO 11670
11840 PRINT "J ES UN VALOR PERMITIDO DEL LGR"
11850 PRINT "J SE PUEDE CONSIDERAR PARTE DEL LGR"
11860 X4=X8
11870 Y4=Y8
11880 GOSUB 11900
11890 GO TO 10970
11900 REM ..... Sumatoria de angulos y calculo de K
11910 A2=0
11920 K1=1
11930 FOR I1=1 TO N1+D1
11940 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 12080
11950 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
11960 T1=X4-F(1,I1)
11970 T2=Y4-F(2,I1)
11980 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 12000
11990 T0=T0/F(4,I1)
12000 IF T1<>0 THEN 12030
12010 A5=90
12020 GO TO 12060
12030 A5=ATN(T2/T1)
12040 IF T1=>0 THEN 12060
12050 A5=A5+180
12060 A2=A2+T0*A5
12070 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
12080 NEXT I1
12090 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360+A2/ABS(A2)
12100 E3=ABS(ABS(A2)-180)
12110 RETURN
12120 IF B4=0 THEN 12250
12130 DELETE CO,C1,T

```

```

12140 IF N1=0 THEN 12190
12150 DIM C0(N1+1),T(N1+1)
12160 T0=0
12170 GOSUB 12270
12180 C0=T
12190 DELETE T
12200 DIM C1(D1+1),T(D1+1)
12210 T0=1
12220 GOSUB 12270
12230 C1=T
12240 DELETE T
12250 RETURN
12260 REM .....
12270 REM      Obtencion de un polinomio desde sus factores
12280 T=0
12290 T1=0
12300 T(1)=1
12310 IF T1<>1 THEN 12370
12320 FOR I=1 TO N1+D1
12330 IF F(3,I)<>T0 THEN 12350
12340 T(2)=F(1,I)
12350 NEXT I
12360 GO TO 12510
12370 FOR I=1 TO N1+D1
12380 IF F(3,I)<>T0 OR F(2,I)≠E1 THEN 12390
12390 IF ABS(F(2,I))>E1 THEN 12400
12400 T1=T1+1
12410 FOR I1=T1+1 TO 2 STEP -1
12420 T(I1)=T(I1)-T(I1-1)*F(1,I)
12430 NEXT I1
12440 GO TO 12500
12450 T1=T1+2
12460 FOR I1=T1+1 TO 3 STEP -1
12470 T(I1)=T(I1)-2*T(I1-1)*F(1,I)+T(I1-2)*(F(1,I)^2+F(2,I)^2)
12480 NEXT I1
12490 T(2)=T(2)-2*T(1)*F(1,I)
12500 NEXT I
12510 RETURN
12520 REM      Producto de las raices en numerador y denominador
12530 REM
12540 REM//// Obtencion de las raices de un polinomio entero //// S/R
12550 REM      TEKTRONIX PLOT 50      Mathematics Volumen 2
12560 DELETE P1,P2,Q1,Q2,P
12570 DIM P1(N),P2(N),Q1(N+1),Q2(N+1),P(14)
12580 E=E1/20
12590 FOR P0=1 TO N+1
12600 P7=N+1-P0+1
12610 Q1(P0)=T(P7)
12620 NEXT P0
12630 PRINT "      Estoy buscando las raices"
12640 GOSUB 12720
12650 RETURN
12660 REM "Polynomial roots" (Parametros)

```

```

12670 REM      Q1 -- Vector de los coeficientes en orden ascendente
12680 REM      N  -- Grado del polinomio
12690 REM      P1 -- Raices (parte real)
12700 REM      P2 -- Raices (parte imaginaria)
12710 REM      E  -- Exactitud deseada
12720 F(9)=0
12730 F7=N
12740 F(7)=F7
12750 F(8)=F7+1
12760 F(6)=1
12770 Q7=F7+2
12780 FOR Q0=1 TO F7+1
12790 Q2(Q7-Q0)=Q1(Q0)
12800 NEXT Q0
12810 F(11)=0.00500101
12820 F(12)=0.010000101
12830 F(4)=0
12840 F8=F(11)
12850 F(11)=-10*F(12)
12860 F(12)=-10*F8
12870 F8=F(11)
12880 F9=F(12)
12890 F(4)=F(4)+1
12900 GO TO 12940
12910 F(9)=1
12920 F(13)=F8
12930 F(14)=F9
12940 F(5)=0
12950 F3=0
12960 F4=0
12970 F6=0
12980 Q3=1
12990 Q4=0
13000 F5=Q2(F7+1)
13010 IF F5=0 THEN 13480
13020 FOR P0=1 TO F7
13030 Q0=F7+1-P0
13040 Q8=Q2(Q0)
13050 Q5=F8*Q3-F9*Q4
13060 Q6=F8*Q4+F9*Q3
13070 F5=F5+Q8*Q5
13080 F6=F6+Q8*Q6
13090 F3=F3+P0*Q3*Q8
13100 F4=F4-P0*Q4*Q8
13110 Q3=Q5
13120 Q4=Q6
13130 NEXT P0
13140 F(10)=F3*F3+F4*F4
13150 IF F(10)=0 THEN 13390
13160 F(2)=(F6*F4-F5*F3)/F(10)
13170 F8=F8+F(2)
13180 F(3)=- (F5*F4+F6*F3)/F(10)
13190 F9=F9+F(3)
13200 IF ABS(F(2))+ABS(F(3))<E THEN 13270

```

```

13210 P(5)=P(5)+1
13220 IF P(5)<500 THEN 12950
13230 IF P(9)<>0 THEN 13270
13240 IF P(4)<5 THEN 12840
13250 PRINT "JGCOMP64: No hay raíces para 500 iteraciones y 5 valores"
13260 END
13270 P0=N+2
13280 FOR Q0=1 TO P(8)
13290 Q7=P0-Q0
13300 Q8=Q1(Q7)
13310 Q1(Q7)=Q2(Q0)
13320 Q2(Q0)=Q8
13330 NEXT Q0
13340 Q7=P7
13350 P7=P(7)
13360 P(7)=Q7
13370 IF P(9)=0 THEN 12910
13380 GO TO 13420
13390 IF P(9)=0 THEN 12840
13400 P8=P(13)
13410 P9=P(14)
13420 P(9)=0
13430 IF ABS(P9)<10*E*ABS(P8) THEN 13510
13440 P(1)=P8+P8
13450 P(10)=P8*P8+P9*P9
13460 P7=P7-2
13470 GO TO 13550
13480 P8=0
13490 P(7)=P(7)-1
13500 P(8)=P(8)-1
13510 P9=0
13520 P(10)=0
13530 P(1)=P8
13540 P7=P7-1
13550 Q2(2)=Q2(2)+P(1)*Q2(1)
13560 Q7=P(1)
13570 Q8=P(10)
13580 FOR Q0=2 TO P7
13590 Q2(Q0+1)=Q2(Q0+1)+Q7*Q2(Q0)-Q8*Q2(Q0-1)
13600 NEXT Q0
13610 F1(P(6))=P8
13620 F2(P(6))=P9
13630 P(6)=P(6)+1
13640 IF P(10)=0 THEN 13680
13650 P9=-P9
13660 P(10)=0
13670 GO TO 13610
13680 IF P7>0 THEN 12810
13690 RETURN
13700 REM =====

```

```

10000 REM                               LLUMIGUSIN/COMPAV
10010 REM                               -----
10015 REM
10020 REM Luis Fernando LLumisusin Duchí
10030 REM
10040 REM SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10050 REM                               --Almacenamiento de valores y
10060 REM                               creación de nuevos archivos.
10070 REM =====
10080 PAGE
10090 GO TO B7 OF 10100,10430,10500,10720
10100 IF B4<>0 THEN 10170
10110 DELETE C5,C6
10120 DIM C5(N1+1),C6(D1+1)
10130 IF N1=0 THEN 10150
10140 C5=C0
10150 C6=C1
10160 REM Almaceno datos iniciales de la función
10170 DELETE W
10180 DIM W(5,N1+D1)
10190 W=F
10200 N7=N1
10210 D7=D1
10220 N8=K0
10230 N9=B4
10240 RETURN
10250 REM -----
10260 L$="RL/"
10270 DIM S$(300)
10280 PRINT " UNIDAD DONDE ESTA EL DISKETTE ? ";
10290 INPUT T3
10300 IF T3>1 OR T3<0 THEN 10280
10310 CALL "UNIT",T3
10320 PRINT "J Nombre del archivo de resultados del sistema "
10330 PRINT H$;" = ";
10340 INPUT X$
10350 T$=L$&X$
10360 CALL "FILE",T3,X$,S$
10370 IF S$="" THEN 10870
10380 PRINT "JGCOMP71: Archivo ";X$;" Existe se destruye (SI o NO ?)"
10390 INPUT R$
10400 IF R$<>"SI" THEN 10320
10410 GO TO 10830
10420 RETURN
10430 H$="COMPENSADO"
10440 B4=1
10450 IF T9<>4 THEN 10260
10460 W$=T$
10470 U$=X$
10480 GO TO 10260
10490 REM ..... Recuperacion de datos iniciales de la función

```

```

10500 B4=N9
10510 IF B4<>0 THEN 10570
10520 DELETE C1,C0
10530 DIM C0(N7+1),C1(D7+1)
10540 IF N7=0 THEN 10560
10550 C0=C5
10560 C1=C6
10570 DELETE V
10580 DIM V(5,N1+D1)
10590 V=F
10600 DELETE F
10610 DIM F(5,N7+D7)
10620 F=W
10630 T0=N1
10640 T1=D1
10650 N1=N7
10660 D1=D7
10670 K0=NB
10680 N7=T0
10690 D7=T1
10700 RETURN
10710 REM , , , , , Recuperacion de datos y creacion de archivos
10720 GOSUB 10500
10730 PRINT "GGJ Se va calcular el grafico del LGR No Compensado"
10740 PRINT "J a las mismas escalas del Compensado"
10750 PRI "J Desea tener nombre de archivo diferente al ya calculado ?"
10760 PRINT "J (Si o No ?) : ";
10770 INPUT D$
10780 H$="NO COMPENSADO"
10790 IF D$<>"SI" THEN 10810
10800 GO TO 10320
10810 X$=V$
10820 T$=W$
10830 REM , , , , , s/r
10840 REM Creacion de nuevos archivos
10850 KILL T$
10855 CLOSE
10860 KILL X$
10870 CREATE X$;10000,0
10880 CREATE T$;10,700
10890 OPEN X$;1,"F",S$
10900 OPEN T$;2,"F",S$
10910 RETURN
10920 REM -----

```



```

10000 REM          LLUMIGUSIN/CONFIAO
10010 REM          -----
10020 REM   Luis Fernando LLumisusin Duch1
10030 REM
10040 REM SUBPROGRAMA QUE CONTIENE:
10050 REM          Compensacion en adelanto
10060 REM
10070 REM          =====
10080 REM
10090 PRINT "JG   DESEA TENER VALORES EN IMPRESORA ? (SI o NO ?)"
10100 INPUT O$
10110 P5=51
10120 IF O$="SI" THEN 10140
10130 P5=32
10140 PAGE
10150 B7=0
10160 J1=0
10170 J2=0
10180 I3=0
10190 SET DEGREES
10200 PRINT "JJ   Estos calculando el compensador"
10210 F3=ACS(F2)
10220 X4=-F2*W1
10230 Y4=ABS(SIN(F3)*W1)
10240 GOSUB 10990
10250 IF ABS(G2)<=5 THEN 10690
10260 IF G2>0 THEN 10320
10270 IF ABS(G2)<360 THEN 10310
10280 J2=INT(G2/360)
10290 G2=(J2+1)*360+G2
10300 GO TO 10320
10310 G2=G2+360
10320 H2=1
10330 IF ABS(G2)<70 THEN 10360
10340 H2=INT(ABS(G2/70))+1
10350 REM .....
10360 IF J1>0 THEN 10450
10370 REM POLOS Y CEROS DEL COMPENSADOR
10380 Z1=X4
10390 REM .....      Va a determinar polos dominantes
10400 GOSUB 12060
10410 IF I5=0 THEN 10240
10420 PRINT "GJGCOMP821: No existe manera de compensar"
10430 GO TO 10960
10440 REM .....      Determina las singularidades del compensador
10450 G2=G2/H2
10460 I4=0
10470 T0=1
10480 IF Z1=X4 THEN 10520
10490 GOSUB 11040
10500 IF T0=0 THEN 10580
10510 GO TO 10530

```

```

10520 Z2=X4-ABS(Y4)*TAN(ABS(G2))
10530 Z7=ABS(Z2)/ABS(Z1)
10540 IF I4=>10 THEN 10670
10550 IF Z7<3 THEN 10600
10560 IF Z7>10 THEN 10630
10570 REM ..... Almacenaje de valores en la matriz F
10580 GOSUB 11710
10590 GO TO 10760
10600 Z1=1.2*Z1
10610 I4=I4+1
10620 GO TO 10470
10630 G2=G2*H2
10640 H2=H2+1
10650 G2=G2/H2
10660 GO TO 10610
10670 PRINT "GJCOMP82: No se puede reubicar el cero del compensador"
10680 GO TO 10960
10690 K5=K4*K1
10700 IF K4=0 THEN 10720
10710 IF K2=>K5 THEN 10940
10720 PRINT "No se necesita red compensadora ni en adelanto ni atraso"
10730 PRINT "El punto dado cumple con las especificaciones dadas"
10740 B7=1
10750 GO TO 10970
10760 IF K2=-1 OR K2=0 THEN 10800
10770 K5=K4*(Z1/Z2)^H2*K1
10780 IF K2=>K5 THEN 10830
10790 PAGE
10800 PRINT "JGG EL COMPENSADOR ESTA LISTO"
10810 GOSUB 12970
10820 GO TO 10970
10830 J1=J1+1
10840 IF J1>5 THEN 10920
10850 REM Recalculacion de la matriz inicial F
10860 GOSUB 11980
10870 REM Recalculo del compensador
10880 REM Aumento en un factor de 1.2 Wn
10890 W1=1.2*W1
10900 F1=4/(F2*W1)
10910 GO TO 10210
10920 REM No es conveniente solo compensar en adelanto
10930 REM Use red en atraso
10940 PRINT "JNo se pudo compensar en cuanto a error"
10950 PRINT "JSe aconseja el uso de red en atraso"
10960 B7=1
10970 RETURN
10980 REM -----
10990 REM Subrutina de evaluacion del angulo del compensador
11000 GOSUB 12730
11010 G2=-A2-180
11020 RETURN
11030 REM -----

```

```

11040 REM CALCULO DE POLOS Y CEROS DEL COMPEMSADOR
11050 T0=1
11060 Y4=ABS(Y4)
11070 T8=ATN(Y4/(X4-Z1))
11080 IF G2+90-T8>85 THEN 11190
11090 T7=((X4-Z1)^2+Y4^2)^0.5
11100 T4=T8-G2
11110 T5=T7*SIN(G2)/SIN(T4)
11120 Z2=-T5+Z1
11130 Z7=Z2/Z1
11140 IF T0=0 THEN 11220
11150 IF Z7<10 THEN 11220
11160 T8=T8+5
11170 Z1=X4-Y4/TAN(T8)
11180 GO TO 11090
11190 T8=G2+5
11200 T0=0
11210 GO TO 11170
11220 J1=J1+0.1
11230 RETURN
11240 REM -----
11250 REM ALMACENO DATOS INICIALES DE LA MATRIZ F
11260 FOR I1=1 TO 5
11270 FOR I2=T0 TO T1
11280 F(I1,I2)=R(I1,I2-K)
11290 NEXT I2
11300 NEXT I1
11310 RETURN
11320 REM -----
11330 REM Subrutina de calculo de la constante de error
11340 K4=1
11350 I1=1
11360 FOR J=1 TO N1+D1
11370 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 11480
11380 IF F(2,J)=0 THEN 11410
11390 K4=SQR(F(2,J)^2+F(1,J)^2)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11400 GO TO 11480
11410 IF F(1,J)=0 THEN 11440
11420 K4=F(1,J)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11430 GO TO 11480
11440 IF F(3,J)=0 THEN 11470
11450 I1=I1+1
11460 GO TO 11480
11470 I1=I1-1
11480 NEXT J
11490 K4=ABS(K4)
11500 I1=INT(I1)
11510 IF I1>3 THEN 11630
11520 IF I1<=0 THEN 11660
11530 GO TO I1 OF 11540,11570,11600
11540 PRINT "Constante de error de Posicion"

```

```

11550 K#="Error de posicion"
11560 GO TO 11690
11570 PRINT "Constante de error de velocidad"
11580 K#="Error de velocidad"
11590 GO TO 11690
11600 PRINT "Constante de error de aceleracion"
11610 K#="Error de aceleracion"
11620 GO TO 11690
11630 PRINT "No contempla sistemas mayores de tercer orden"
11640 K4=0
11650 GO TO 11690
11660 PAGE
11670 PRINT "JGCOMP83: El error siempre tiende a infinito"
11680 END
11690 RETURN
11700 REM -----
11710 REM Almaceno los valores iniciales de la funcion de transferencia
11720 DELETE R
11730 DIM R(5,N1+D1)
11740 R=F
11750 DELETE F
11760 DIM F(5,N1+D1+2*H2)
11770 F=1
11780 FOR I1=1 TO 5
11790 FOR I2=1 TO N1+D1
11800 F(I1,I2)=R(I1,I2)
11810 NEXT I2
11820 NEXT I1
11830 FOR I1=N1+D1+1 TO N1+D1+H2
11840 F(1,I1)=Z1
11850 F(2,I1)=0
11860 F(3,I1)=0
11870 NEXT I1
11880 T0=N1+D1+H2
11890 FOR I1=T0+1 TO T0+H2
11900 F(1,I1)=Z2
11910 F(2,I1)=0
11920 F(3,I1)=1
11930 NEXT I1
11940 N1=N1+H2
11950 D1=D1+H2
11960 GOSUB 12730
11970 RETURN
11980 REM Subrutina de realmacenaje de la matriz inicial F
11990 DELETE F
12000 N1=N1-H2
12010 D1=D1-H2
12020 DIM F(5,N1+D1)
12030 F=R
12040 RETURN
12050 REM -----
12060 REM Subrutina de verificacion de polos dominantes

```

```

12590 IF N9<=0 THEN 12640
12600 R9=T6(I2)
12610 GO TO 12650
12620 R9=T6(1)
12630 GO TO 12650
12640 R9=T6(I2-1)
12650 X4=R9
12660 Y4=ABS(X4*TAN(F3))
12670 Z4=(X4^2+Y4^2)^.5
12680 Z5=INT((Z4-W1)/(W1*.2))
12690 J1=J1+ABS(Z5)
12700 W1=Z4
12710 Z1=R9
12720 RETURN
12730 REM -----
12740 REM ..... Sumatorio de angulos y calculo de K
12750 A2=0
12760 K1=1
12770 FOR I1=1 TO N1+D1
12780 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 12920
12790 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
12800 T1=X4-F(1,I1)
12810 T2=Y4-F(2,I1)
12820 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 12840
12830 T0=T0/F(4,I1)
12840 IF T1<>0 THEN 12870
12850 A5=90
12860 GO TO 12900
12870 A5=ATN(T2/T1)
12880 IF T1=>0 THEN 12900
12890 A5=A5+180
12900 A2=A2+T0*A5
12910 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
12920 NEXT I1
12930 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360*A2/ABS(A2)
12940 E3=ABS(ABS(A2)-180)
12950 RETURN
12960 REM -----
12970 REM Resultados de la compensacion
12980 PRINT @P5:"J El valor del cero debe estar en : "Z1
12990 PRINT @P5:"J El valor del polo debe estar en : "Z2
13000 K3=K1/K0
13010 PRI @P5:"J La ganancia total de la red compensadora = "K
13020 PRINT @P5:"J La multiplicidad de la red es : "H2
13030 K7=(K1/K0)^(1/H2)
13040 PRINT @P5:"J La ganancia de cada red compensadora es = "
13050 PRINT @P5:"J La constante de error es : "K4*K1*(Z1/Z2)
13060 PRINT "JJJ Para continuar pulse la tecla RETURN"
13070 INPUT O$
13080 RETURN
13090 REM =====

```

```

10000 REM          LLUMIGUSIA/COMP26T
10010 REM          -----
10020 REM
10030 REM  SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10040 REM                      Compensacion en atraso.
10050 REM
10060 REM  =====
10070 PRINT "¿DESEA RESULTADOS EN IMPRESORA ? (Si o No ?) ; "
10080 INPUT O$
10090 F3=ACS(F2)
10100 X4=-F2*W1
10110 Y4=ABS(SIN(F3)*W1)
10120 P5=51
10130 IF O$="SI" THEN 10150
10140 P5=32
10150 PAGE
10160 PRINT "GJG          Estoy calculando el compensador"
10170 F3=ACS(F2)
10180 X4=-F2*W1
10190 Y4=ABS(SIN(F3)*W1)
10200 REM Va a subrutina que evalua si los datos son del LGR
10210 GOSUB 10900
10220 IF I9=0 THEN 10260
10230 PRINT "COMP91: Ingrese un punto que sea parte del LGR"
10240 END
10250 REM ..., Evalua la constante necesaria a dar el compensador
10260 K4=1
10270 GOSUB 11050
10280 K5=K4*K1
10290 K7=K2/K5
10300 REM ..., Evalua el numero de compensadores necesarios
10310 H2=1
10320 IF K7<=0 THEN 10370
10330 IF K7>10 THEN 10390
10340 IF K7=>3 THEN 10510
10350 K7=3
10360 GO TO 10510
10370 PRINT "GJCOMP92: No se puede compensar en atraso"
10380 GO TO 10430
10390 K7=K7^0.5
10400 H2=H2*2
10410 IF H2<=4 THEN 10330
10420 PRINT "GJCOMP92: No se puede compensar en atraso"
10430 PRINT "Para continuar pulse la tecla RETURN"
10440 INPUT O$
10450 B7=1
10460 RETURN
10470 REM -----
10480 Z1=Z1/2
10490 GO TO 10640
10500 REM .....          Determine polos y ceros del compensador

```

```

10510 Z9=INT(1,2*K7)+1
10520 IF Z9<10 THEN 10550
10530 Z9=10
10540 REM ..., Calculo de polos y ceros del compensador
10550 R9=-100
10560 FOR J=1 TO N1+D1
10570 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 10620
10580 IF F(2,J)>0 THEN 10620
10590 IF F(1,J)=>0 THEN 10620
10600 IF R9>F(1,J) THEN 10620
10610 R9=F(1,J)
10620 NEXT J
10630 Z1=0,1*R9
10640 Z2=Z1/Z9
10650 R8=SQR((X4-Z2)^2+Y4^2)
10660 R9=SQR((X4-Z1)^2+Y4^2)
10670 R7=ABS(Z2-Z1)
10680 A9=ACS((R9^2+R8^2-R7^2)/(2*R8*R9))
10690 IF A9=>3 THEN 10480
10700 REM ....., Almacenaje de la matriz F en R
10710 GOSUB 11410
10720 PAGE
10730 GOSUB 11050
10740 PRINT @P5:"GGJ" EL COMPENSADOR EN ATRASO ESTA LISTO"
10750 PRINT @P5:"J" =====
10760 PRINT @P5:"JJ" El cero se halla en ;Z1
10770 PRINT @P5:"J" El polo se halla en ;Z2
10780 PRINT @P5:"J" En el punto ;X4;" + J(";Y4;)"
10790 PRINT @P5:"J" La ganancia del sistema es ;K1
10800 PRINT @P5:"J" El angulo de este punto es ;E3
10810 PRINT @P5:"J" La multiplicidad de la red es ;H2
10820 K5=K4*K1
10830 PRINT @P5:"J" La constante de error compensada es ;K5
10840 PRI @P5:"J" -----
10850 B7=0
10860 PRINT " JJJ PARA CONTINUAR PULSE LA TECLA (RETURN)";
10870 INPUT O$
10880 RETURN
10890 REM -----
10900 REM =====Subrutina de evaluacion y verificacion de datos del LGR
10910 I9=0
10920 GOSUB 11770
10930 IF E3>8 THEN 11000
10940 IF E3>2 THEN 10970
10950 PRINT "Es parte del LGR"
10960 GO TO 11030
10970 PRINT "Aproximadamente es parte del LGR"
10980 PRINT "Se puede considerar como parte del LGR"
10990 GO TO 11030
11000 PRINT "No es parte del LGR"
11010 PRINT "Ingrese un punto que pertenezca al LGR"

```

```

11020 I9=1
11030 RETURN
11040 REM -----
11050 REM Subrutina de calculo de la constante de error
11060 K4=1
11070 I1=1
11080 FOR J=1 TO N1+D1
11090 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 11200
11100 IF F(2,J)=0 THEN 11130
11110 K4=SQR(F(2,J)^2+F(1,J)^2)*(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11120 GO TO 11200
11130 IF F(1,J)=0 THEN 11160
11140 K4=F(1,J)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11150 GO TO 11200
11160 IF F(3,J)=0 THEN 11190
11170 I1=I1+1
11180 GO TO 11200
11190 I1=I1-1
11200 NEXT J
11210 K4=ABS(K4)
11220 IF I1>3 THEN 11340
11230 IF I1<=0 THEN 11370
11240 GO TO I1 OF 11250,11280,11310
11250 PRINT "Constante de error de posicion"
11260 K$="Error de posicion"
11270 GO TO 11390
11280 PRINT "Constante de error de velocidad"
11290 K$="Error de velocidad"
11300 GO TO 11390
11310 PRINT "Constante de error de aceleracion"
11320 K$="Error de aceleracion"
11330 GO TO 11390
11340 PRINT "No contemple sistemas mayores de tercer orden"
11350 K2=0
11360 GO TO 11390
11370 PRINT "JGCOMP93: El error siempre tiende a infinito"
11380 END
11390 RETURN
11400 REM -----
11410 REM Almaceno los valores iniciales de la funcion de transferencia
11420 DELETE R
11430 DIM R(5,N1+D1)
11440 R=F
11450 DELETE F
11460 DIM F(5,N1+D1+2*H2)
11470 F=1
11480 FOR I1=1 TO 5
11490 FOR I2=1 TO N1+D1
11500 F(I1,I2)=R(I1,I2)
11510 NEXT I2
11520 NEXT I1
11530 FOR I1=N1+D1+1 TO N1+D1+H2

```



```

11540 F(1,I1)=Z1
11550 F(2,I1)=0
11560 F(3,I1)=0
11570 NEXT I1
11580 T0=N1+D1+H2
11590 FOR I1=T0+1 TO T0+H2
11600 F(1,I1)=Z2
11610 F(2,I1)=0
11620 F(3,I1)=1
11630 NEXT I1
11640 N1=N1+H2
11650 D1=D1+H2
11660 GOSUB 11770
11670 RETURN
11680 REM -----
11690 REM ===== Subrutina de realmacenaje de matriz R en F
11700 DELETE F
11710 N1=N1-H2
11720 D1=D1-H2
11730 DIM F(5,N1+D1)
11740 F=R
11750 RETURN
11760 REM -----
11770 REM ===== Sumatorio de angulos y calculo de K
11780 A2=0
11790 K1=1
11800 FOR I1=1 TO N1+D1
11810 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 11950
11820 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
11830 T1=X4-F(1,I1)
11840 T2=Y4-F(2,I1)
11850 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 11870
11860 T0=T0/F(4,I1)
11870 IF T1<>0 THEN 11900
11880 A5=90
11890 GO TO 11930
11900 A5=ATN(T2/T1)
11910 IF T1=>0 THEN 11930
11920 A5=A5+180
11930 A2=A2+T0*A5
11940 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
11950 NEXT I1
11960 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360+A2/ABS(A2)
11970 E3=ABS(ABS(A2)-180)
11980 RETURN
11990 REM =====

```

```

10000 REM          COMP3ADAT/LLUMIGUSIN
10010 REM          -----
10020 REM
10030 REM  SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10040 REM                               Compensacion en adelanto - atraso.
10050 REM
10060 REM =====
10070 PAGE
10080 P5=51
10090 PRINT "J  DESEA LOS RESULTADOS EN IMPRESORA ? (Si o No ?)"
10100 INPUT O$
10110 IF O$="si" THEN 10130
10120 P5=32
10130 PRINT "JG      Estos calculando el compensador"
10140 B7=0
10150 J1=0
10160 J2=0
10170 I3=0
10180 SET DEGREES
10190 W1=4/(F1*F2)
10200 REM .....
10210 REM  Evaluacion de la constante de error sin compensacion
10220 GOSUB 12990
10230 REM  Evaluacion del posible punto donde esta el compensador
10240 H2=0
10250 F3=ACS(F2)
10260 X4=-F2*W1
10270 Y4=ABS(SIN(F3)*W1)
10280 GOSUB 12170
10290 IF ABS(G2)<=5 THEN 10720
10300 REM  Evaluacion del numero de compensadores necesarios
10310 IF G2>0 THEN 10370
10320 IF ABS(G2)<360 THEN 10360
10330 J2=INT(G2/360)
10340 G2=(J2+1)*360+G2
10350 GO TO 10370
10360 G2=G2+360
10370 H2=1
10380 IF ABS(G2)<70 THEN 10410
10390 H2=INT(ABS(G2/70))+1
10400 REM .....
10410 IF J1>0 THEN 10490
10420 REM  Polos y ceros de compensador
10430 Z1=X4
10440 GOSUB 13740
10450 IF I5=0 THEN 10280
10460 PRINT "COMP101: No existe manera de compensar"
10470 B7=1
10480 GO TO 12150
10490 G2=G2/H2
10500 I4=0
10510 T0=1

```

```

10520 IF Z1=X4 THEN 10560
10530 GOSUB 12710
10540 IF T0=0 THEN 10790
10550 GO TO 10570
10560 Z2=X4-ABS(Y4)*TAN(ABS(G2))
10570 Z7=ABS(Z2)/ABS(Z1)
10580 IF I4=>10 THEN 10700
10590 IF Z7<3 THEN 10630
10600 IF Z7>10 THEN 10660
10610 REM ..... Almacene de valores en la matriz F
10620 GO TO 10790
10630 Z1=1.2*Z1
10640 I4=I4+1
10650 GO TO 10510
10660 G2=G2*H2
10670 H2=H2+1
10680 G2=G2/H2
10690 GO TO 10640
10700 PRINT "BJCOMP102: No se puede reubicar el cero del compensador"
10710 GO TO 10470
10720 K5=K4*K1
10730 IF K4=0 THEN 10750
10740 IF K2=>K5 THEN 10860
10750 PRINT "JJ      El punto cumple con las especificaciones de las"
10760 PRINT "J      No es necesario ni red en adelanto ni en atraso"
10770 B7=1
10780 RETURN
10790 GOSUB 13380
10800 K5=K4*(Z1/Z2)^H2*K1
10810 IF K2=-1 OR K2=0 THEN 11120
10820 J2=0
10830 I=0
10840 IF K2=>K5 THEN 10910
10850 GO TO 11120
10860 PRINT "JJ      SOLO SE REQUIERE COMPENSADOR EN ATRASO"
10870 PRINT "J      NO ES NECESARIO LA PARTE DE COMPENSADOR ADELANTO"
10880 H2=0
10890 REM .....
10900 REM      Parte de compensacion en atraso
10910 IF K5*Z7^H2=>K2 THEN 11100
10920 Z8=Z7
10930 IF J2=1 THEN 11070
10940 IF K5*10^H2<K2 THEN 10960
10950 IF Z7+1<=10 THEN 11040
10960 I=I+1
10970 Z7=Z8
10980 H2=H2+1
10990 IF K5*Z7^H2<K2 THEN 10940
11000 PRINT @P5;"JEXISTEN ",I," REDES ADICIONALES EN ATRASO"
11010 GO TO 11920
11020 H2=H2+1
11030 GO TO 10940

```

```

11040 Z7=Z7+1
11050 IF K5*Z7^H2=>K2 THEN 10950
11060 GO TO 11920
11070 H2=H2+1
11080 I=I+1
11090 GO TO 10910
11100 J1=0
11110 GO TO 11200
11120 B7=0
11130 PAGE
11140 PRINT "J ESTA LISTO NO SE REQUIERE REDES EN ATRASO"
11150 GOSUB 14160
11160 PRINT " JJB PARA CONTINUAR PULSE LA TECLA (RETURN)";.
11170 INPUT O$
11180 REM -----
11190 J1=1
11200 IF J1=1 THEN 12150
11210 SET DEGREES
11220 IF I<>0 THEN 11280
11230 Z8=Z7
11240 PRINT @P5:"JV#H@lido el uso de red en atraso con mismo valor al f
11250 PRINT @P5:"JMultiplicidad de la red es: ",H2
11260 GOSUB 14160
11270 GO TO 11320
11280 PRINT "JRedes separadas por tener componentes en atraso edicions
11290 PRINT @P5:"JSE REQUIERE ADICIONALMENTE";I;"REDES EN ATRASO"
11300 PRINT @P5:"J REDES EN ADELANTO ATRASO =" ;H2-I
11310 PRINT @P5:"J REDES EN ATRASO SOLAMENTE =" ;I
11320 DELETE U
11330 DIM U(5,N1+D1-2*(H2-I))
11340 U=R
11350 K7=Z7
11360 GOSUB 11780
11370 IF I9=0 THEN 11400
11380 PRINT "JGCOMP103; El punto evaluado no es parte del LGR"
11390 END
11400 Z9=K7
11410 REM -----
11420 REM Calculo de polos y ceros de la parte de atraso
11430 R9=-1000
11440 FOR J=1 TO N1+D1
11450 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 11500
11460 IF F(2,J)>0 THEN 11500
11470 IF F(1,J)=0 THEN 11500
11480 IF R9>F(1,J) THEN 11500
11490 R9=F(1,J)
11500 NEXT J
11510 Z1=0.1*R9
11520 Z2=Z1/Z9
11530 R8=SQR((X4-Z2)^2+Y4^2)
11540 R9=SQR((X4-Z1)^2+Y4^2)
11550 R7=ABS(Z2-Z1)
11560 A9=ACS((R9^2+R8^2-R7^2)/(2*R8*R9))

```

```

11570 IF A9=>1.5 THEN 11750
11580 REM -----
11590 GOSUB 13380
11600 PRINT @P5:"JDB          PARTE DE COMPENSACION EN ATRASO
11610 GOSUB 13930
11620 GOSUB 14180
11630 PRINT @P5:"J          En el punto : "X4" + (J"Y4")"
11640 PRINT @P5:"J          La senencia del sistema es : "K1
11650 PRINT @P5:"J          El angulo de este punto es : "E3
11660 GOSUB 12990
11670 K5=K4*K1
11680 PRINT @P5:"J          La constante de error calculada es : "
11690 PRINT @P5:"J                                     : "K5
11700 PRI @P5:"JJ =====
11710 PRINT "JJ  Para continuar pulc la tecla RETURN "
11720 INPUT O$
11730 RETURN
11740 REM -----
11750 Z1=Z1/2
11760 GO TO 11520
11770 REM -----
11780 REM Verifica si el punto ciego es parte del LGR
11790 I9=0
11800 GOSUB 13930
11810 IF E3>10 THEN 11860
11820 IF E3>2 THEN 11850
11830 PRINT "Es parte del LGR"
11840 GO TO 11890
11850 PRINT "Aproximadamente es parte del LGR"
11860 PRINT "Se puede considerar como parte del LGR"
11870 GO TO 11890
11880 I9=1
11890 RETURN
11900 GO TO 12150
11910 REM Reubico los polos y ceros de la parte en adelanto
11920 H2=H2-I
11930 GOSUB 13670
11940 G1=ATN(ABS((Z1-X4)/Y4))
11950 IF G1+G2>80 THEN 12130
11960 G1=G1+5
11970 Z1=-TAN(G1)*Y4+X4
11980 T8=ATN(ABS(Y4/(Z1-X4)))
11990 T7=((X4-Z1)^2+Y4^2)^0.5
12000 T4=T8-G2
12010 T5=T7*SIN(G2)/SIN(T4)
12020 Z2=Z1-T5
12030 Z9=Z2/Z1
12040 IF Z9<Z7 THEN 11950
12050 Z7=Z9
12060 GOSUB 13380
12070 GOSUB 12990

```

```

12080 K5=K4*K1*Z7^H2
12090 GOSUB 14160
12100 H2=H2+I
12110 J2=1
12120 GO TO 10910
12130 J2=1
12140 GO TO 12050
12150 RETURN
12160 REM -----
12170 REM Subrutina de evaluacion del ensayo del compensador
12180 GOSUB 13930
12190 G2=-A2-180
12200 RETURN
12210 REM -----
12220 REM Subrutina de correccion de valores
12230 I2=0
12240 N9=0
12250 DELETE T6
12260 DIM T6(D1)
12270 FOR I9=1 TO N1+D1
12280 IF F(3,I9)=0 THEN 12410
12290 IF F(5,I9)=0 OR F(5,I9)=2 THEN 12410
12300 IF Z1<F(1,I9) THEN 12400
12310 IF F(4,I9)<=1 THEN 12370
12320 FOR I8=1 TO F(4,I9)
12330 I2=I2+1
12340 T6(I2)=F(1,I9)
12350 NEXT I8
12360 GO TO 12410
12370 I2=I2+1
12380 T6(I2)=F(1,I9)
12390 GO TO 12410
12400 N9=N9+1
12410 NEXT I9
12420 IF N9+I2=>2 THEN 12470
12430 PRINT "NO EXISTE COMPENSADOR"
12440 I5=1
12450 I3=I3+1
12460 GO TO 12690
12470 IF I2=1 THEN 12590
12480 FOR I9=1 TO I2-1
12490 FOR J5=1 TO I2-1
12500 IF T6(J5)<=T6(J5+1) THEN 12540
12510 R9=T6(J5+1)
12520 T6(J5+1)=T6(J5)
12530 T6(J5)=R9
12540 NEXT J5
12550 NEXT I9
12560 IF N9<=0 THEN 12610
12570 R9=T6(I2)
12580 GO TO 12620

```

```

12590 R9=T6(1)
12600 GO TO 12620
12610 R9=T6(I2-1)
12620 X4=R9
12630 Y4=ABS(X4*TAN(F3))
12640 Z4=(X4^2+Y4^2)^0,5
12650 Z5=INT((Z4-W1)/(W1*0,2))
12660 J1=J1+ABS(Z5)
12670 W1=Z4
12680 Z1=R9
12690 RETURN
12700 REM -----
12710 REM Calculo de polos y ceros del compensador
12720 Y4=ABS(Y4)
12730 T0=1
12740 T8=ATN(Y4/(X4-Z1))
12750 IF G2+90-T8>85 THEN 12860
12760 T7=((X4-Z1)^2+Y4^2)^0,5
12770 T4=T8-G2
12780 T5=T7*SIN(G2)/SIN(T4)
12790 Z2=-T5+Z1
12800 Z7=Z2/Z1
12810 IF T0=0 THEN 12880
12820 IF Z7<10 THEN 12880
12830 T8=T8+5
12840 Z1=X4-Y4/TAN(T8)
12850 GO TO 12760
12860 T8=G2+5
12870 T0=0
12880 J1=J1+0,1
12890 RETURN
12900 REM -----
12910 REM Almacena los datos iniciales de la matriz F
12920 FOR I1=1 TO 5
12930 FOR I2=T0 TO T1
12940 F(I1,I2)=R(I1,I2-K)
12950 NEXT I2
12960 NEXT I1
12970 RETURN
12980 REM -----
12990 REM Subrutina de calculo de la constante de error
13000 K4=1
13010 I1=1
13020 FOR J=1 TO N1+01
13030 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 13140
13040 IF F(2,J)=0 THEN 13070
13050 K4=SQR(F(2,J)^2+F(1,J)^2)*(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
13060 GO TO 13140
13070 IF F(1,J)=0 THEN 13100
13080 K4=F(1,J)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4

```

```

13090 GO TO 13140
13100 IF F(3,J)=0 THEN 13130
13110 I1=I1+1
13120 GO TO 13140
13130 I1=I1-1
13140 NEXT J
13150 K4=ABS(K4)
13160 I1=INT(I1)
13170 IF I1>3 THEN 13290
13180 IF I1<=0 THEN 13330
13190 GO TO I1 OF 13200,13230,13290
13200 PRINT "J      Constante de error de posicion"
13210 K#="Error de posicion"
13220 GO TO 13360
13230 PRINT "J      Constante de error de velocidad"
13240 K#="Error de velocidad"
13250 GO TO 13360
13260 PRINT "J      Constante de error de aceleracion"
13270 K#="Error de aceleracion"
13280 GO TO 13360
13290 PAGE
13300 PRINT "No contempla sistemas motores de tercer orden"
13310 K2=0
13320 GO TO 13360
13330 PRINT "JBCOMP104: El error siempre tiende a infinito"
13340 END
13350 REM -----
13360 RETURN
13370 REM -----
13380 REM Almacena los valores iniciales de la funcion de transferencia
13390 DELETE R
13400 DIM R(5,N1+D1)
13410 R=F
13420 DELETE F
13430 DIM F(5,N1+D1+2*H2)
13440 F=1
13450 FOR I1=1 TO 5
13460 FOR I2=1 TO N1+D1
13470 F(I1,I2)=R(I1,I2)
13480 NEXT I2
13490 NEXT I1
13500 FOR I1=N1+D1+1 TO N1+D1+H2
13510 F(1,I1)=Z1
13520 F(2,I1)=0
13530 F(3,I1)=0
13540 NEXT I1
13550 T0=N1+D1+H2
13560 FOR I1=T0+1 TO T0+H2
13570 F(1,I1)=Z2
13580 F(2,I1)=0
13590 F(3,I1)=1
13600 NEXT I1
13610 N1=N1+H2

```



```

13620 D1=D1+H2
13630 REM Evaluacion de la senencia del compensador
13640 GOSUB 13930
13650 RETURN
13660 REM -----
13670 REM Subrutina de realmacenado de la matriz inicial F
13680 DELETE F
13690 N1=N1-H2
13700 D1=D1-H2
13710 DIM F(5,N1+D1)
13720 F=R
13730 RETURN
13740 REM -----
13750 REM Subrutina de verificacion de polos dominantes
13760 PRINT "Chequeo si existe polos dominantes reales mayores a pto P"
13770 J1=J1+0.1
13780 I2=0
13790 I5=0
13800 FOR I1=1 TO N1+D1
13810 IF F(5,I1)=0 OR F(5,I1)=2 THEN 13870
13820 IF F(3,I1)=0 THEN 13870
13830 D9=Z1-F(1,I1)
13840 IF D9>0 THEN 13870
13850 I2=I2+1
13860 IF I2=>2 THEN 13920
13870 NEXT I1
13880 REM Correccion de valores
13890 GOSUB 12220
13900 IF I5=0 THEN 13920
13910 I5=1
13920 RETURN
13930 REM ..... Subrutina de ensayos y calculo de K
13940 A2=0
13950 K1=1
13960 FOR I1=1 TO N1+D1
13970 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 14110
13980 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
13990 T1=X4-F(1,I1)
14000 T2=Y4-F(2,I1)
14010 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 14030
14020 T0=T0/F(4,I1)
14030 IF T1<>0 THEN 14060
14040 A5=90
14050 GO TO 14090
14060 A5=ATN(T2/T1)
14070 IF T1=>0 THEN 14090
14080 A5=A5+180
14090 A2=A2+T0*A5
14100 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
14110 NEXT I1
14120 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360+ABS(A2)/ABS(A2)
14130 E3=ABS(ABS(A2)-180)

```

```
14140 RETURN
14150 REM -----
14160 REM ..... Impresion de resultados del sistema compensado
14170 PRINT @P5:"JJ" PARTE DE COMPENSACION EN ADELANTO"
14180 PRINT @P5:"J" =====
14190 PRINT @P5:"J" El cero debe estar en ; "iZ1
14200 PRINT @P5:"J" El polo debe estar en ; "iZ2
14210 PRINT @P5:"J" La multiplicidad de la red es ; "iH2
14220 PRINT @P5:"JJ" ----- "
14230 RETURN
14240 REM =====
```

```

10520 IF I2<5 THEN 10200
10530 PRI "JGCOMP111; Existen muchas iteraciones, No se pudo compensar"
10540 GO TO 10560
10550 PRINT "J          No se puede utilizar este metodo para compensar"
10560 R7=1
10570 RETURN
10580 REM -----
10590 PAGE
10600 Z2=0
10610 H2=1
10620 GOSUB 10760
10630 GOSUB 11070
10640 REM -----
10650 PRINT @P5:" GGJ EL COMPENSADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL ESTA LISTO"
10660 PRI @P5:"
10670 PRINT @P5:"JJ          El polo debe estar en : "Z2
10680 PRINT @P5:"JJ          El cero debe estar en : "Z1
10690 PRINT @P5:"JJ          La multiplicidad de la red es : "H2
10700 PRINT @P5:"JJ          La constante de error "K;" es infinito"
10710 PRINT @P5:"JJ          El error "K;" tiende a cero"
10720 PRI @P5:"JJ          =====
10730 PRINT "JB PARA CONTINUAR PULSE LA TECLA RETURN"
10740 INPUT O#
10750 RETURN
10760 REM -----
10770 REM Almacena los valores iniciales de la funcion de transferencia
10780 DELETE R
10790 DIM R(5,N1+D1)
10800 R=F
10810 DELETE F
10820 DIM F(5,N1+D1+2*H2)
10830 F=1
10840 FOR I1=1 TO 5
10850 FOR I2=1 TO N1+D1
10860 F(I1,I2)=R(I1,I2)
10870 NEXT I2
10880 NEXT I1
10890 FOR I1=N1+D1+1 TO N1+D1+H2
10900 F(1,I1)=Z1
10910 F(2,I1)=0
10920 F(3,I1)=0
10930 NEXT I1
10940 T0=N1+D1+H2
10950 FOR I1=T0+1 TO T0+H2
10960 F(1,I1)=Z2
10970 F(2,I1)=0
10980 F(3,I1)=1
10990 NEXT I1
11000 N1=N1+H2
11010 D1=D1+H2
11020 REM EVALUACION DE LA GANANCIA DE COMPENSADOR
11030 GOSUB 11340

```

```

11040 K3=(K1/K0)^(1/H2)
11050 PRINT "La ganancia del compensador debe ser:",K3
11060 RETURN
11070 REM -----
11080 REM Calculo de la constante de error
11090 K4=1
11100 I1=0
11110 FOR J=1 TO N1+D1
11120 IF F(5,J)=0 OR F(5,J)=2 THEN 11200
11130 IF F(2,J)=0 THEN 11160
11140 K4=SQR(F(2,J)^2+F(1,J)^2)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11150 GO TO 11200
11160 IF F(1,J)=0 THEN 11190
11170 K4=F(1,J)^(-1^F(3,J))^F(4,J)*K4
11180 GO TO 11200
11190 I1=I1+1
11200 NEXT J
11210 K4=ABS(K4)
11220 IF I1>2 THEN 11300
11230 GO TO I1 OF 11240,11270
11240 PRINT "JConstante de error de posicion Infinito"
11250 K#="Error de posicion"
11260 GO TO 11310
11270 PRINT "JConstante de error de velocidad Infinito"
11280 K#="Error de velocidad"
11290 GO TO 11310
11300 PRINT "JNo contempla sistemas masores de tercer orden"
11310 K#="Error en general"
11320 RETURN
11330 REM -----
11340 REM ..... Sumatorio de angulos y calculo de K
11350 A2=0
11360 K1=1
11370 FOR I1=1 TO N1+D1
11380 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 11520
11390 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
11400 T1=X4-F(1,I1)
11410 T2=Y4-F(2,I1)
11420 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 11440
11430 T0=T0/F(4,I1)
11440 IF T1<>0 THEN 11470
11450 A5=90
11460 GO TO 11500
11470 A5=ATN(T2/T1)
11480 IF T1=>0 THEN 11500
11490 A5=A5+180
11500 A2=A2+T0*A5
11510 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
11520 NEXT I1
11530 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360*A2/ABS(A2)
11540 E3=ABS(ABS(A2)-180)
11550 RETURN

```

11560 REM

=====

```

10000 REM          LUMIGUSIN/COMFER
10010 REM          -----
10020 REM
10030 REM          SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10040 REM          - Dado un punto obtener su senancia
10050 REM          - Estabilidad relativa
10060 REM          - Dado K obtener punto del LGR
10070 IF SO>3 THEN 10100
10080 PRINT "COMP131 : Aun no se ingresan valores del problema"
10090 END
10100 SET DEGREES
10110 GO TO T4 OF 10140,14420,14590
10120 PRINT "COMP132: Error en tecla escorada "
10130 GO TO 610
10140 PAGE
10150 PRINT "          EVALUACION DE PUNTO DEL LGR          # Opcion'n
10160 PRINT "          =====          =====          "
10170 GOSUB 14760
10180 CLOSE
10190 GO TO B0 OF 10210,10210,610
10200 GO TO 10000
10210 GOSUB 13990
10220 GOSUB 14060
10230 IF I4=0 THEN 10250
10240 GO TO 10300
10250 GOSUB 12530
10260 GOSUB 10340
10270 PRINT "GGJ          DESEA INGRESAR OTRO PUNTO ? (SI o NO)  ";
10280 INPUT N$
10290 IF N$="SI" THEN 10260
10300 IF B0<>2 THEN 10330
10310 CLOSE
10320 GOSUB 14380
10330 GO TO 10140
10340 REM          Evaluacion de un punto
10350 GOSUB 10370
10360 GO TO 10520
10370 PRINT "JDesea ingresar por el plotter (SI O NO?) = ";
10380 INPUT R$
10390 IF R$<>"SI" THEN 10450
10400 PRINT "JSi NO tiene el grafico en la unidad, aplaste la TECLA 6
10410 PRINT " o de no ponga el cursor en posicion y aplaste RETURN"
10420 INPUT R$
10430 GIN @1;X4,Y4
10440 GO TO 10500
10450 PRINT "JIngreso del punto para evaluar : "
10460 PRINT "          Parte real          = ";
10470 INPUT X4
10480 PRINT "          Parte imaginaria = ";
10490 INPUT Y4
10500 GOSUB 13770
10510 RETURN
10520 PRINT @T5:"JDiferencia en suma de argumentos = "E3;" grados"

```

```

10530 PRINT @T5:"JGanancia K del punto = " ;K1
10540 PRINT @T5:"JEl punto evaluado es : " ;X4;" + J(" ;Y4;" )"
10550 PRINT @T5:"J NOTA : Para que un punto sea del LGR; la diferenc
10560 PRINT @T5:"J          en la suma de argumentos debe tender a cerc
10570 PRINT " JJPARA CONTINUAR PULSE LA TECLA RETURN"
10580 INPUT O$
10590 PAGE
10600 RETURN
10610 REM          Analisis de estabilidad relativa
10620 IF N3>1 THEN 10650
10630 PRINT "JGCOMP 41: No es vsh' lido para LGR soh' lo en eje real"
10640 END
10650 GOSUB 12530
10660 PRINT " Para obtener:J1  narsen de ganancia y margen de fase"
10670 PRINT "          2  Sobrenivel, Tv, Ts, Wn, Wd, Kte de T"
10680 PRINT "          Razon de amortiguamiento:"
10690 PRINT "          3  Dado un punto del LGR"
10700 PRINT "          4  Dado f de estabilizacion y banda (%)"
10710 PRINT "          5  Resreso o opciones de estabilidad"
10720 PRINT "J          NOTA: Opciones 2, 3 y 4 son para respuestas como "
10730 PRINT "          sistema de segundo orden a entrada escalon"
10740 PRINT "J Digite el nu' mero correspondiente = " ;
10750 INPUT TO
10760 GO TO TO OF 10790,11200,11740,11840,14580
10770 PRINT "JGGCOMP133: OPCION=" ;TO;" invalida, repita"
10780 GO TO 10660
10790 PRINT @T5:"J          MARGEN DE GARANCIA Y MARGEN DE FASE"
10800 PRINT @T5:"J Ganancia estah' lica " ;K0
10810 GOSUB 12370
10820 FOR I=1 TO X(1)/2
10830 GOSUB 12390
10840 NEXT I
10850 REM ..... Margen de ganancia
10860 FOR I=2 TO N3
10870 GOSUB 12390
10880 GOSUB 12390
10890 X2=X4
10900 Y2=Y4
10910 FOR I2=3 TO X(I)
10920 GOSUB 12390
10930 IF X2<=0 AND X4<0 OR (X2>0 AND X4>0) THEN 11000
10940 Y4=(X2*Y4-X4*Y2)/(X2-X4)
10950 X4=0
10960 GOSUB 13770
10970 PRINT @T5:"J Ganancia critica" ;K1
10980 PRINT @T5:" Margen de ganancia" ;K1/K0
10990 PRINT @T5:" Punto de cruce de fase" ;"0 +/- J" ;Y4
11000 X2=X4
11010 Y2=Y4
11020 NEXT I2
11030 NEXT I
11040 CLOSE 1
11050 REM ..... Margen de fase
11060 PO=0.1

```

```

11070 X4=0
11080 PRINT "JG Espere un momento por favor, estoy calculando"
11090 FOR I=E9 TO Y1 STEP 24E1
11100 Y4=I
11110 GOSUB 13770
11120 IF ABS(K1*K0-K0*K0)<=P0 THEN 11150
11130 NEXT I
11140 PRINT "JGCOMP134: No hay solución con precisión < " ; P0
11150 GO TO 11180
11160 PRINT @T5:"J  Merser de fase " ; 180+A2," grados"
11170 PRINT @T5:" Punto de cruce de senancia"; "0 +/- J" ; Y4
11180 GO TO 10660
11190 REM
11200 P0=0,1
11210 PRINT @T5:"J  RESPUESTA COMO SISTEMA DE SEGUNDO ORDEN ";
11220 PRINT @T5:"A UNA ENTRADA ESCALON"
11230 PRINT "J Razon de amortiguamiento (entre 0 y 1) = ";
11240 INPUT P1
11250 IF P1=>1 OR P1<=0 THEN 11230
11260 P2=TAN(ACS(P1))
11270 GOSUB 12370
11280 FOR I=1 TO X(1)/2
11290 GOSUB 12390
11300 NEXT I
11310 IF N3=1 THEN 10660
11320 FOR I=2 TO N3
11330 J=0
11340 GOSUB 12390
11350 FOR I2=2 TO X(I)
11360 IF J=1 THEN 11400
11370 GOSUB 12390
11375 IF X4=0 THEN 11400
11380 P3=X4/SQR(X4^2+Y4^2)
11390 IF ABS(P3)=>P1 THEN 11450
11400 NEXT I2
11410 NEXT I
11420 IF J=1 THEN 11720
11430 PRINT "JGCOMP135: NO corte LGR, o precision=" ; P0 ; " no adecuada"
11440 GO TO 11720
11450 GOSUB 11470
11460 GO TO 11400
11470 J=1
11480 PRINT @T5:"J --Razon de amortiguamiento",P1
11490 P4=100*EXP(-P1*PI/SQR(1-P1^2))
11500 PRINT @T5:USING 11510;" Sobrenivel porcentual",P4," %"
11510 IMAGE /,FA;14X,FD,2D,FA
11520 P5=SQR(X4*X4+Y4*Y4)
11530 GOSUB 13770
11540 PRINT @T5:"J  Angulo desde eje real " ; ACS(P1)," gradosK"
11550 PRINT @T5:"J  Senancia en corte con LGR " ; K1;"K"
11560 PRINT @T5:"J  Frecuencia no amortiguada Wn",P5," 1/segK"
11570 PRINT @T5:"J  Frecuencia amortiguada Wd " ; Y4," 1/segK"
11580 PRINT @T5:"J  Constante de amortiguamiento",X4,"K"

```



```

11590 PRINT @T5:"J Constante de tiempo           ",-1/X4,"K"
11600 PRINT @T5:"J Tiempo Pico (":           ",PI/Y4," segK"
11610 P7=5
11620 P6=1/X4*LOG(P7/100*SQR(1-P1*P1))
11630 PRINT @T5:"J T de estabilizacion (banda<";P7;"%)",P6," seg"
11640 PRINT "JGDesea valor de Ts para otra banda (SI O NO?) = ";
11650 INPUT R$
11660 IF R$<>"SI" THEN 11710
11670 PRINT "JValor de banda en % (entre 0 y 100) = ";
11680 INPUT P7
11690 IF P7<=0 OR P7>100 THEN 11670
11700 GO TO 11620
11710 RETURN
11720 CLOSE 1
11730 GO TO 10660
11740 PRINT @T5:"J                                RAZON DE AMORTIGUAMIENTO"
11750 GOSUB 10370
11760 P1=-X4/SQR(X4*X4+Y4*Y4)
11770 PRINT @T5:"J -Desde el punto           ",X4," + J(",Y4,")"
11780 IF P1>0 AND P1<1 THEN 11820
11790 PRINT @T5:"J Razon de amortiguamiento",P1
11800 PRINT @T5:"G          Caso no contemplado"
11810 GO TO 10660
11820 GOSUB 11470
11830 GO TO 11720
11840 PRINT @T5:"J                                RAZON DE AMORTIGUAMIENTO CON Wn CONSTANT
11850 PRINT "JTiempo de estabilizacion Wn.Ts>0 =";
11860 INPUT P6
11870 IF P6<=0 THEN 11850
11880 PRINT "JBanda de respuesta (entre 0 y 100%) = ";
11890 INPUT P7
11900 IF P7<=0 OR P7>100 THEN 11880
11910 PRINT @T5:"J -T de estabilizacion menor a ",P6
11920 PRINT @T5:"J -Banda de respuesta menor a ",P7," %"
11930 FOR I=0.1 TO 0.9 STEP 0.1
11940 P8=SQR(1-I*I)
11950 P9=EXP(-I*P6)/P8*SIN(P8*P6-ATN(P8/-I))
11960 IF ABS(P9)<=P7/100 THEN 12000
11970 NEXT I
11980 PRINT "JGCONF 52: No hay razon de amortiguamiento para datos"
11990 GO TO 12010
12000 PRINT @T5:"J Razon de amortiguamiento menor a",I
12010 GO TO 10660
12020 REM          Resolver la ecuacion para los pto. separacion
12030 GOSUB 12530
12040 PRINT @T5:"J                                RESOLUCION DE D(s) + K * N(s) = 0"
12050 PRINT @T5:"J Ganancia estatica ",K0
12060 PRINT "JValor de ganancia total (entre 0 y 1000000) = ";
12070 INPUT K1
12080 IF K1<=0 OR K1>1000000 THEN 12060
12090 DELETE T
12100 DIM T(D1+1)
12110 T=C1
12120 IF N1<>0 THEN 12150

```

```

12130 T(D1+1)=T(D1+1)+K1
12140 GO TO 12190
12150 T0=D1-N1
12160 FOR I=1 TO N1+1
12170 T(I+T0)=T(I+T0)+K1*CO(I)
12180 NEXT I
12190 K2=N
12200 N=D1
12210 GOSUB 12630
12220 N=K2
12230 PRINT @T5;"J Ganancia dinamica ",K1/K0;"K"
12240 PRINT @T5;"J -Ganancia total ",K1;"K"
12250 PRINT @T5; USING 12260:"REALZ","PARTE REAL","PARTE IMAG,"
12260 IMAGE /,17X,FA,4X,FA,8X,FA
12270 FOR I=1 TO D1
12280 PRINT @T5; USING 12290:1,P1(I),P2(I)
12290 IMAGE 19X,FD,5X,5D,2D,1D,5D,2D
12300 NEXT I
12310 DELETE P1,P2,Q1,T
12320 PRINT "¿Desea ingresar otras ganancias (SI O NO?) = ";
12330 INPUT R$
12340 IF R$="SI" THEN 12060
12350 RETURN
12360 REM Abre archivo de puntos
12370 OPEN X$;1,"R",S$
12380 RETURN
12390 REM Lectura de pares de puntos
12400 READ #1;X4,Y4
12410 RETURN
12420 REM Impresion de cabeceras y titulos
12430 CALL "TIME",Z$
12440 PRINT @T5;"LJESCUELA POLITECNICA NACIONAL"
12450 PRINT @T5;"FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA"
12460 PRINT @T5; USING 12470:"SISTEMAS DE CONTROL","FECHA : ",Z$
12470 IMAGE FA,27X,FA,18A
12480 PRINT @T5; USING 12490:Y$,"Archivo : ",X$
12490 IMAGE /,FA,16X,FA,FA
12500 PRINT @T5; USING 12510:
12510 IMAGE 72("-")
12520 RETURN
12530 REM Pedido de respuestas en papel
12540 PRINT "¿Desea los resultados en impresora (SI O NO?) = ";
12550 T5=32
12560 INPUT R$
12570 IF R$<>"SI" THEN 12590
12580 T5=51
12590 GOSUB 12420
12600 RETURN
12610 REM//// Obtencion de las raices de un polinomio entero //// S/R
12620 REM TEKTRONIX PLOT 50 Mathematics Volumen 2
12630 DELETE P1,P2,Q1,Q2,P
12640 DIM P1(N),P2(N),Q1(N+1),Q2(N+1),P(14)
12650 E=E1/20

```

```

12660 FOR P0=1 TO N+1
12670 P7=N+1-P0+1
12680 Q1(P0)=T(P7)
12690 NEXT P0
12700 PRINT "          Estoy buscando las raices"
12710 GOSUB 12790
12720 RETURN
12730 REM "Polynomial roots" (Parametros)
12740 REM Q1 -- Vector de N+1 coeficientes en orden ascendente
12750 REM N -- Grado del polinomio
12760 REM P1 -- Raices (parte real)
12770 REM P2 -- Raices (parte imaginaria)
12780 REM E -- Exactitud deseada
12790 P(9)=0
12800 P7=N
12810 P(7)=P7
12820 P(8)=P7+1
12830 P(6)=1
12840 Q7=P7+2
12850 FOR Q0=1 TO P7+1
12860 Q2(Q7-Q0)=Q1(Q0)
12870 NEXT Q0
12880 P(11)=0.00500101
12890 P(12)=0.010000101
12900 F(4)=0
12910 P8=P(11)
12920 P(11)=-10*P(12)
12930 P(12)=-10*P8
12940 P8=P(11)
12950 P9=P(12)
12960 F(4)=P(4)+1
12970 GO TO 13010
12980 F(9)=1
12990 F(13)=P8
13000 F(14)=P9
13010 F(5)=0
13020 F3=0
13030 F4=0
13040 F6=0
13050 Q3=1
13060 Q4=0
13070 F5=Q2(P7+1)
13080 IF P5=0 THEN 13550
13090 FOR P0=1 TO P7
13100 Q0=P7+1-P0
13110 Q8=Q2(Q0)
13120 Q5=P8*Q3-P9*Q4
13130 Q6=P8*Q4+P9*Q3
13140 P5=P5+Q8*Q5
13150 P6=P6+Q8*Q6
13160 P3=P3+P0*Q3*Q8
13170 P4=P4-P0*Q4*Q8
13180 Q3=Q5
13190 Q4=Q6
13200 NEXT P0

```

```

13210 P(10)=P3*P3+P4*P4
13220 IF P(10)=0 THEN 13400
13230 P(2)=(P6*P4-P5*P3)/P(10)
13240 P8=P8+P(2)
13250 P(3)=-(P5*P4+P6*P3)/P(10)
13260 P9=P9+P(3)
13270 IF ABS(P(2))+ABS(P(3))>F THEN 13340
13280 P(5)=P(5)+1
13290 IF P(5)<500 THEN 13020
13300 IF P(9)<>0 THEN 13340
13310 IF P(4)<5 THEN 12910
13320 PRINT "JGCOMP136: No hay raices para 500 iteraciones y 5 valores"
13330 END
13340 P0=N+2
13350 FOR Q0=1 TO P(8)
13360 Q7=P0-Q0
13370 Q8=Q1(Q7)
13380 Q1(Q7)=Q2(Q0)
13390 Q2(Q0)=Q8
13400 NEXT Q0
13410 Q7=P7
13420 P7=P(7)
13430 P(7)=Q7
13440 IF P(9)=0 THEN 12980
13450 GO TO 13490
13460 IF P(9)=0 THEN 12910
13470 P8=P(13)
13480 P9=P(14)
13490 P(9)=0
13500 IF ABS(P9)<10*E*ABS(P8) THEN 13580
13510 P(1)=P8+P8
13520 P(10)=P8*P8+P9*P9
13530 P7=P7-2
13540 GO TO 13620
13550 P8=0
13560 P(7)=P(7)-1
13570 P(8)=P(8)-1
13580 P9=0
13590 P(10)=0
13600 P(1)=P8
13610 P7=P7-1
13620 Q2(2)=Q2(2)+P(1)*Q2(1)
13630 Q7=P(1)
13640 Q8=P(10)
13650 FOR Q0=2 TO P7
13660 Q2(Q0+1)=Q2(Q0+1)+Q7*Q2(Q0)-Q8*Q2(Q0-1)
13670 NEXT Q0
13680 P2(P(6))=P9
13690 P1(P(6))=P8
13700 P(6)=P(6)+1
13710 IF P(10)=0 THEN 13750
13720 P9=-P9
13730 P(10)=0
13740 GO TO 13680
13750 IF P7>0 THEN 12880

```

```

13760 RETURN
13770 REM ,,,,,,,,,,,,,,,,,, Sumatorio de angulos y calculo de K
13780 A2=0
13790 K1=1
13800 FOR I1=1 TO N1+D1
13810 IF F(5,I1)=2 OR (F(5,I1)=0 AND ABS(F(2,I1))<=E1) THEN 13950
13820 T0=F(4,I1)*-1^F(3,I1)
13830 T1=X4-F(1,I1)
13840 T2=Y4-F(2,I1)
13850 IF ABS(F(2,I1))<=E1 THEN 13870
13860 T0=T0/F(4,I1)
13870 IF T1<>0 THEN 13900
13880 A5=90
13890 GO TO 13930
13900 A5=ATN(T2/T1)
13910 IF T1=>0 THEN 13930
13920 A5=A5+180
13930 A2=A2+T0*A5
13940 K1=K1*(T1*T1+T2*T2)^(-T0/2)
13950 NEXT I1
13960 A2=A2-INT(ABS(A2)/360)*360+ABS(A2)
13970 E3=ABS(ABS(A2)-180)
13980 RETURN
13990 REM Leo archivos en base al archivo no compensado
14000 V$=X$
14010 W$=T$
14020 IF B0=1 THEN 14050
14030 PRINT "JIngrese nombre del archivo COMPENSADO = ";
14040 INPUT X$
14050 RETURN
14060 I4=0
14070 PRINT "J UNIDAD DONDE ESTA EL DISKETTE = ";
14080 INPUT T3
14090 IF T3>1 OR T3<0 THEN 14060
14100 CALL "UNIT",T3
14110 L$="RL/"
14120 T$=L$&X$
14130 CALL "FILE",T3,X$,S$
14140 IF S$<>" " THEN 14190
14150 PRINT "JBCOMP137: Archivo ",X$, " No existe"
14160 I4=1
14170 CLOSE
14180 GO TO 14370
14190 OPEN T$;2,"R",S$
14200 READ #2,1;R$
14210 IF R$=Y$ THEN 14260
14220 PRINT "JBCOMP138: Archivo ",X$, " no es de LGR"
14230 I4=1
14240 CLOSE
14250 GO TO 14370
14260 DELETE X,C0,C1,F,S
14270 DIM X(9)
14280 READ #2,2;X0,X1,Y1,E1,E2,E8,E9,C9,A6
14290 READ #2,3;N1,D1,N,K0,S2

```

```

14300 DIM CO(N1+1),C1(N1+1),C2(N1+1),C3(N1+1),C4(N1+1)
14310 IF N1=0 THEN 14330
14320 READ #2,4;C0
14330 READ #2,5;C1
14340 READ #2,6;F
14350 READ #2,7;S
14360 READ #2,8;N3,X
14370 RETURN
14380 REM Resreso a archivos iniciales
14390 X#=V$
14400 T#=W$
14410 RETURN
14420 REM Analisis de estabilidad relativa
14430 PAGE
14440 PRINT " ESTABILIDAD RELATIVA DEL LGR #Opcion/n
14450 PRINT " =====
14460 GOSUB 14760
14470 GO TO EO OF 14490,14490,610
14480 GO TO 14420
14490 GOSUB 13990
14500 GOSUB 14060
14510 IF I4=0 THEN 14530
14520 GO TO 10070
14530 GOSUB 10610
14540 IF EO<>2 THEN 14560
14550 GOSUB 14380
14560 CLOSE
14570 GO TO 14420
14580 RETURN
14590 REM Dado K obtener los puntos del LGR
14600 PAGE
14610 PRINT " DADO K OBTENER LOS PUNTOS DEL LGR # Opcion/n
14620 PRINT " =====
14630 GOSUB 14760
14640 GO TO EO OF 14660,14660,610
14650 GO TO 14590
14660 GOSUB 13990
14670 I4=0
14680 GOSUB 14060
14690 IF I4=0 THEN 14710
14700 GO TO 14720
14710 GOSUB 12030
14720 IF EO<>2 THEN 14740
14730 GOSUB 14380
14740 CLOSE
14750 GO TO 14590
14760 PRINT "J - Analisis para el LGR No compensado 1"
14770 PRINT "J - Analisis para el LGR Compensado 2"
14780 PRINT "J - resresa a menu de opciones generales 3"
14790 PRINT "J -----
14800 PRINT "JJGG ESCOJA NUMERO DE OPCION : ";
14810 INPUT EO
14820 RETURN

```

```

10000 REM          LLUMIGESIA-LUMIGESIA
10010 REM          -----
10020 REM Luis Fernando LLUMIGESIA-LUMIGESIA nov/84
10030 REM
10040 REM SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10050 REM          Graficacion del LGR
10060 REM          Impresion de resultados
10070 REM
10080 REM =====
10090 PAGE
10100 IF SO>3 THEN 10140
10110 PRINT "JGCOMP121; No existe o no esta el' cerrado archivo de datos
10120 CLOSE
10130 END
10140 GO TO T4 OF 10180,10570
10150 PRINT "JGCOMP122; No se escosion el' bien la opciOH'n"
10160 END
10170 REM -----
10180 PAGE
10190 REM ===== Impresion de resultados
10200 PRINT "          IMPRESION DE RESULTADOS          Numero de opciOH'n"
10210 CLOSE
10220 PRINT "          =====          =====
10230 PRINT "J - Impresion el' de datos del LGR No compensado.          1"
10240 PRINT "J - Impresion el' de datos del LGR compensado          2"
10250 PRINT "J - Impresion de datos del LGR compensado y"
10260 PRINT "          no compensado          3"
10270 PRINT "J - Regreso a opciones generales          4"
10280 PRINT "J -----
10290 PRINT "JJGG Escosion el' numero de opciOH'n ";
10300 INPUT B0
10310 IF B0=4 THEN 610
10320 GOSUB 12700
10330 GO TO B0 OF 10360,10450,10360,610
10340 PRINT "J Existe error en seleccion de opcion"
10350 GO TO 10200
10360 I4=0
10370 GOSUB 12780
10380 IF I4=1 THEN 10180
10390 GOSUB 12590
10400 GOSUB 11850
10410 CLOSE
10420 GOSUB 13250
10430 IF B0=3 THEN 10450
10440 GO TO 10180
10450 B0=2
10460 GOSUB 13170
10470 I4=0
10480 GOSUB 12830
10490 IF I4=1 THEN 10550
10500 PAGE
10510 GOSUB 12590
10520 GOSUB 11850

```

```

10530 CLOSE
10540 GOSUB 13120
10550 GOSUB 13250
10560 GO TO 10180
10570 REM Graficacion del LGR
10580 PAGE
10590 PRINT "          G R A F I C A C I O N          # de opciones"
10600 CLOSE
10610 PRINT "          =====          ====="
10620 PRINT "J          - Solo LGR No compensado          1"
10630 PRINT "J          - Solo LGR compensado          2"
10640 PRINT "J          - LGR con y sin compensacion          3"
10650 PRINT "J          - Resrua a opciones Generales          4"
10660 PRINT "J          -----"
10670 PRINT "JGGDisite el nombre correspondiente = ";
10680 INPUT B0
10690 GO TO B0 OF 10710,10790,10710,510
10700 GO TO 10580
10710 REM Graficacion del LGR
10720 GOSUB 12780
10730 GOSUB 10900
10740 GOSUB 13250
10750 IF B0=3 THEN 10770
10760 GO TO 10580
10770 REM Grafico del LGR
10780 B0=2
10790 GOSUB 13170
10800 I4=0
10810 GOSUB 12780
10820 IF I4=1 THEN 10580
10830 PAGE
10840 GOSUB 10900
10850 GOSUB 13120
10860 GOSUB 13250
10870 GO TO 10580
10880 REM
10890 REM =====
10900 REM          Graficacion del LGR
10910 PRINT "TECLA 6"
10920 GOSUB 12530
10930 PRINT "JDesee el GRAFICO en el PLOTTER? (SI O NO) = ";
10940 T5=32
10950 T4=130
10960 INPUT R$
10970 IF R$<>"SI" THEN 11030
10980 PRI "J ALISTE la unidad, COLOQUE papel y defina el CUADRO con las
10990 PRINT "J          teclas SEI          para continuar alaste RETURN
11000 INPUT R$
11010 T5=1
11020 T4=150
11030 PAGE
11040 F$=SEG(Z$,1,9)
11050 S5=1
11060 WINDOW X0,X1,-Y1,Y1

```



```

11070 VIEWPORT 3,14-3,97,3
11080 MOVE @T5;X0,Y1
11090 DRAW @T5;X1,Y1
11100 DRAW @T5;X1,-Y1
11110 DRAW @T5;X0,-Y1
11120 DRAW @T5;X0,Y1
11130 AXIS @T5;E8,E8
11140 MOVE @T5;0,-Y1+16*E9
11150 PRINT @T5:" JW"
11160 MOVE @T5;0,0
11170 PRINT @T5:"JHG,0"
11180 RMOVE @T5;X1,0
11190 PRINT @T5:"JHHG"
11200 IF D1<=N1+1 THEN 11340
11210 FOR I=0 TO D1-N1-1
11220 A0=A6*(2*I+1)
11230 IF A0=>180 THEN 11340
11240 X2=C9
11250 Y2=0
11260 MOVE @T5;X2,Y2
11270 X2=1.5*E2*COS(A0)
11280 Y2=1.5*E2*SIN(A0)
11290 FOR I1=1 TO 25
11300 RDRAW @T5;X2,Y2
11310 RMOVE @T5;X2,Y2
11320 NEXT I1
11330 NEXT I
11340 REM..... Grupo del LGR sobre el eje real
11350 FOR I=1 TO X(1) STEP 2
11360 READ #1;X2,Y2
11370 MOVE @T5;X2,E9
11380 DRAW @T5;Y2,E9
11390 NEXT I
11400 REM ..... Grupo de cada curva del LGR
11410 IF N3=1 THEN 11500
11420 FOR I=2 TO N3
11430 READ #1;X2,Y2
11440 MOVE @T5;X2,Y2
11450 FOR I1=2 TO X(I)
11460 READ #1;X2,Y2
11470 DRAW @T5;X2,Y2
11480 NEXT I1
11490 NEXT I
11500 REM ..... Evaluacion de la maza en eje imaginario
11510 IF S5<>1 THEN 11560
11520 S5=0
11530 CALL "REWIND",1
11540 VIEWPORT 3,14-3,3,97
11550 GO TO 11200
11560 CLOSE
11570 FOR I=1 TO N1+D1
11580 IF F(5,I)<>0 OR ABS(F(2,I))>E2 THEN 11610
11590 IF F(2,I)>10*E9 THEN 11610
11600 GO TO 11630

```

```

11610 MOVE @T5:F(1,D)+3*E9,F(2,1)+3*E9
11620 GOSUB F(3,D)+1 OF 11650,11710
11630 NEXT I
11640 GO TO 11760
11650 REM ..... Dibujo de un zero como "o" ..... - S/R -
11660 RDRAW @T5:-6*E9,0
11670 RDRAW @T5:0,-6*E9
11680 RDRAW @T5:6*E9,0
11690 RDRAW @T5:0,6*E9
11700 RETURN
11710 REM ..... Dibujo de un polo como "x" ..... - S/R -
11720 RDRAW @T5:-6*E9,-6*E9
11730 RMOVE @T5:0,6*E9
11740 RDRAW @T5:6*E9,-6*E9
11750 RETURN
11760 REM ..... Dibujo de titulos y denominaciones
11770 R$=" "
11780 MOVE @T5:X0,Y1+2*E9
11790 PRINT @T5:R$;Y$;"E";R$;"HHHH";Y1
11800 MOVE @T5:X0,-Y1
11810 PRINT @T5:"J x=POLO o=CERO 1 Division n = "E$;" Unidades"
11820 PRINT @T5:" Archivo:"X$;"E"
11830 RETURN
11840 REM =====
11850 REM Im impresion de datos generales
11860 PRINT "TECLA 7"
11870 PRINT @T5:"J TITULO DE TRANSFERENCIA DE LAZO ABIERTO"
11880 PRINT @T5:"GH(s)J"
11890 PRINT @T5:"Ganancia estatica" *K0
11900 PRINT @T5:"Grado del numerador" *N1
11910 PRINT @T5:"Grado del denominador" *D1
11920 IF N1=0 THEN 12050
11930 PRINT @T5:"JCoeficientes del numerador ;J"
11940 FOR I=1 TO N1
11950 PRINT @T5: USING 11960:" s**",N1-I+1
11960 IMAGE FA,FD,S
11970 NEXT I
11980 PRINT @T5:" s**0"
11990 FOR I=1 TO N1
12000 PRINT @T5: USING 12010:C0(I)
12010 IMAGE14D,2D
12020 NEXT I
12030 PRINT @T5: USING 12040:C0(N1+1)
12040 IMAGE 6D,2D
12050 PRINT @T5:"JCoeficientes del denominador ;J"
12060 FOR I=1 TO D1
12070 PRINT @T5: USING 11960:" s**",D1-I+1
12080 NEXT I
12090 PRINT @T5:" s**0"
12100 FOR I=1 TO D1
12110 PRINT @T5: USING 12010:C1(I)
12120 NEXT I
12130 PRINT @T5: USING 12040:C1(D1+1)
12140 R$="Observaciones"

```

```

12150 PRINT @T5:"JPolos y ceros de lazo abierto;"
12160 PRINT @T5: USING 12170:"Parte real","Parte imag. ","Tipo",R$
12170 IMAGE /,4X,FA,8X,FA,9X,FA,11X,FA,/
12180 FOR I=1 TO N1+01
12190 IF F(5,I)=0 AND ABS(F(2,I))=E1 THEN 12380
12200 R$=" "
12210 T$="POLO"
12220 IF F(3,I)=1 THEN 12240
12230 T$="CERO"
12240 IF F(5,I)<>2 THEN 12270
12250 R$="Cancelado"
12260 GO TO 12360
12270 IF ABS(F(2,I))<=E1 THEN 12300
12280 R$="Conjugado"
12290 GO TO 12360
12300 GO TO F(4,I) OF 12360,12310,12330,12350
12310 R$="Doble "
12320 GO TO 12360
12330 R$="Triple "
12340 GO TO 12360
12350 R$="Cuadruple"
12360 PRINT @T5: USING 12370:F(1,I),F(2,I),T$,R$
12370 IMAGE 5X,5D,2D,10X,5D,2D,11X,4A,11X,9A
12380 NEXT I
12390 PRINT @T5:"JPuntos de separacion n en el eje real :"
12400 PRINT @T5: USING 12410:"#","valor","estado:"
12410 IMAGE /,9X,FA,15X,FA,11X,FA,/
12420 FOR I=1 TO N
12430 IF ABS(S(2,I))>E1 THEN 12450
12440 R$="NO"
12450 IF S(4,I)=0 THEN 12470
12460 R$="SI"
12470 PRINT @T5: USING 12480:I,S(1,I),R$
12480 IMAGE 9X,2D,13X,5D,2D,12X,2A
12490 NEXT I
12500 RETURN
12510 REM =====
12520 REM Subrutinas Generales
12530 REM Apertura de archivo de puntos
12540 OPEN X$;1,"R",S$
12550 RETURN
12560 REM Lectura de pares de puntos
12570 READ #1;X4,Y4
12580 RETURN
12590 REM Impresion de cabeceras y titulos
12600 CALL "TIME",Z$
12610 PRINT @T5:"LJESCUELA POLITECNICA NACIONAL"
12620 PRINT @T5:"FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA"
12630 PRINT @T5: USING 12640:"SISTEMAS DE CONTROL","FECHA : ",Z$
12640 IMAGE FA,27X,FA,18A
12650 PRINT @T5: USING 12660:Y$,"Archivo : ",X$
12660 IMAGE /,FA,16X,FA,FA
12670 PRINT @T5: USING 12680:
12680 IMAGE 72("-")
12690 RETURN
12700 REM Pedido de respuestas en papel

```

```

12710 PRINT "Mesea los resultados en impresora (SI O NO?) = ";
12720 T5=32
12730 INPUT R$
12740 IF R$<>"SI" THEN 12760
12750 T5=51
12760 RETURN
12770 REM -----
12780 PRINT "J UNIDAD DONDE ESTA EL DISKETTE = ";
12790 INPUT T3
12800 L$="RL/"
12810 I4=0
12820 T$=L$&X$
12830 CALL "FILE",T3,X$,S$
12840 IF S$<>"*" THEN 12910
12850 PRINT "JGCOMP123: Archivo "X$" No existe"
12860 IF B0=1 OR B0=3 THEN 12880
12870 GOSUB 13120
12880 I4=1
12890 CLOSE
12900 GO TO 13100
12910 OPEN T$;2,"R",S$
12920 READ #2,1;R$
12930 IF R$=Y$ THEN 12990
12940 PRINT "JGCOMP124: Archivo "X$" no es de LGR"
12950 IF B0=1 THEN 12970
12960 GOSUB 13120
12970 CLOSE
12980 GO TO 13100
12990 DELETE X,C0,C1,F,S
13000 DIM X(9)
13010 READ #2,2;X0,X1,Y1,E1,E2,E3,E4,C0,A6
13020 READ #2,3;N1,D1,N,K0,S2
13030 DIM C0(N1+1),C1(D1+1),F(5,N1+D1),S(4,N)
13040 IF N1=0 THEN 13060
13050 READ #2,4;C0
13060 READ #2,5;C1
13070 READ #2,6;F
13080 READ #2,7;S
13090 READ #2,8;N3,X
13100 RETURN
13110 REM -----
13120 REM Regreso a archivos iniciales no compensados
13130 X$=V$
13140 T$=W$
13150 RETURN
13160 REM -----
13170 REM Leo archivos en base si archivo no compensado
13180 V$=X$
13190 W$=T$
13200 L$="RL/"
13210 PRINT "GJ Nombre del archivo de resultados COMPENSADO = ";
13220 INPUT X$
13230 T$=L$&X$
13240 RETURN
13250 REM -----

```

```
13260 IF T5<>32 THEN 13300
13270 PRINT "J COMP : ANALICE RESULTADOS"
13280 PRINT "          PARA CONTINUAR PULSE LA TECLA RETURN"
13290 INPUT O$
13300 RETURN
13310 REM =====
```

```

6000 REM          LLUVIAGUARDIA
6010 REM CONTIENE:
6020 REM          - Cambio de escala de plano del grafico
6030 REM          - Carga de datos desde disquette
6040 SET DEGREES
6050 S0=4
6060 H4=0
6070 F6=0
6080 GO TO T4 OF 6100,780
6090 GO TO 610
6100 PAGE
6110 PRINT "          MENU DE CARREGA DE LIMITES          # OPCION"
6120 PRINT "          -----"
6130 PRINT "J  - DE UN LGR CUALQUIERA          1"
6140 PRINT "J  - DE DOS GRAFICOS REALIZADOS      2"
6150 PRINT "J  - REGRESO A OPCIONES GENERALES      3"
6160 PRINT "J  -----"
6170 PRINT "J  E S C O J A  N U M E R O  D E  O P C I O N  :  "
6180 INPUT B0
6190 GO TO B0 OF 6210,6300,610
6200 GO TO 6100
6210 H$="CUALQUIERA"
6220 GOSUB 910
6230 IF S$<>" " THEN 6270
6240 PRINT " COMP 32: No existe archivo "X$
6250 GOSUB 980
6260 GO TO 6230
6270 GOSUB 6930
6280 IF I1=1 THEN 6000
6290 GO TO 6520
6300 PAGE
6310 PRINT "          OPCIONES          # OPCION"
6320 PRINT "          -----"
6330 PRINT "J  - MANTIENE LIMITES DEL LGR NO COMPENSADO          1"
6340 PRINT "J  - MANTIENE LIMITES DEL COMPENSADO                  2"
6350 PRINT "J  - CAMBIA LOS DOS LIMITES A UNO SOLO                3"
6360 PRINT "J  - REGRESA A MENU DE OPCIONES GENERALES            4"
6370 PRINT "J  -----"
6380 PRINT "J  I N G R E S E  N U M E R O  D E  O P C I O N  :  "
6390 INPUT B0
6400 GO TO B0 OF 6420,6440,6460,610
6410 GO TO 6300
6420 H$="NO COMPENSADO"
6430 GO TO 6470
6440 H$="COMPENSADO"
6450 GO TO 6470
6460 H$="NuM'nero 1"
6470 GOSUB 910
6480 IF S$<>" " THEN 6570
6490 PRINT "JGCOMP141: No existe archivo "X$
6500 GOSUB 980
6510 GO TO 6480
6520 GOSUB 7390
6530 GOSUB 7130
6540 GOSUB 7350

```

```

6550 IF B0=3 THEN 6600
6560 GO TO 610
6570 GOSUB 6930
6580 IF I1=1 THEN 6300
6590 IF B0=3 THEN 6520
6600 X3=X0
6610 X4=X1
6620 Y3=Y1
6630 IF B0=3 THEN 6670
6640 IF B0=2 THEN 6690
6650 H$="COMPENSADO"
6660 GO TO 6700
6670 H$="Numero 2"
6680 GO TO 6700
6690 H$="NO COMPENSADO"
6700 V$=X$
6710 GOSUB 980
6720 IF S$<>" " THEN 6750
6730 PRINT "GJCOMP141: No existe archivo " & X$
6740 GO TO 6710
6750 CLOSE
6760 GOSUB 6930
6770 IF I1=1 THEN 6300
6780 X0=X3
6790 Y1=Y3
6800 X1=X4
6810 GOSUB 7630
6820 GOSUB 7130
6830 GOSUB 7350
6840 IF B0=2 THEN 6890
6850 H$=X$
6860 X$=V$
6870 V$=H$
6880 T$=L$&X$
6890 GOSUB 6930
6900 GO TO 610
6910 X$=V$
6920 T$=L$&X$
6930 I1=0
6940 OPEN T$;2,"R",S$
6950 READ #2,1:R$
6960 IF R$=Y$ THEN 7010
6970 PRINT "GJCOMP142: ARCHIVO " & T$ & " no es del LGR"
6980 CLOSE
6990 I1=1
7000 GO TO 7120
7010 DELETE X,C0,C1,F,S
7020 DIM X(9)
7030 READ #2,2: X0,X1,Y1,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,E9,A0
7040 READ #2,3: N1,D1,N,F0,S2
7050 DIM C0(N1+1),C1(D1+1),F(5),N1+01),S(4,N)
7060 IF N1=0 THEN 7080
7070 READ #2,4:C0
7080 READ #2,5:C1
7090 READ #2,6:F

```

```

7100 READ #2,7:S
7110 READ #2,8;N3,X
7120 RETURN
7130 PRINT "¿Desea tener un archivo nuevo "I#;" "X%;" de cálculos
7140 PRINT " SI O NU ? ";
7150 INPUT R$
7160 IF R$<>"SI" THEN 7270
7170 PRINT "Nombre de nuevo archivo "I#;" = ";
7180 INPUT X$
7190 CLOSE
7200 L$="RL/"
7210 T$=L$&X$
7220 CALL "FILE",T3,X$,S$
7230 IF S$="" THEN 7270
7240 PRINT "JGCOMP143: Archivo "I#;" Existe se destruye (SI o NU?)"
7250 INPUT R$
7260 IF R$<>"SI" THEN 7170
7270 CLOSE
7280 KILL X$
7290 KILL T$
7300 CREATE X$;10000,0
7310 CREATE T$;10,700
7320 OPEN X$;1,"F",S$
7330 OPEN T$;2,"F",S$
7340 RETURN
7350 T9=6
7360 GOSUB 500
7370 RETURN
7380 GOSUB 500
7390 PRINT USING 310;Y$
7400 PRINT "J          CONSIO DE LIMITES EN PLANO DE DATOS"
7410 PRINT "¿Puede cambiar un valor de eje imaginario es simetrico?"
7420 PRINT "¿LOS LIMITES ACTUALES SON ?"
7430 PRINT "J", "X min.", "X max.", "Y max.", " ",X0,X1,Y1
7440 PRINT "¿Para eje real ==> X          Para eje imaginario ==> Y"
7450 PRINT "J          Que eje desea cambiar ";
7460 INPUT R$
7470 IF R$<>"X" THEN 7550
7480 PRINT "¿Digital los limites en eje real (Xmin,Xmax) = ";
7490 INPUT X0,X1
7500 IF X1>X0 THEN 7530
7510 PRINT "JGCOMP 63: Los límites ingresados son incompatibles"
7520 GO TO 7480
7530 Y1=ABS(47/144*(X1-X0))
7540 GO TO 7630
7550 IF R$<>"Y" THEN 7610
7560 PRINT "¿Digital maximo para eje imaginario (Ymax) = ";
7570 INPUT Y1
7580 X1=ABS(Y1)
7590 X0=-87/53*ABS(Y1)
7600 GO TO 7630
7610 PRINT "JGCOMP 62: Respuesta = "R%;" equivocada"
7620 GO TO 7450

```



```
7630 WINDOW X0,X1,-11,71
7640 PAGE
7650 E9=ABS(X1-X0)/700
7660 I=0
7670 T2=ABS(X1-X0)/20
7680 IF T2=>1 THEN 7720
7690 I=I+1
7700 T2=10*T2
7710 GO TO 7680
7720 E8=INT(T2)
7730 IF I=0 THEN 7750
7740 E8=E8/10^I
7750 E2=5*E9
7760 S0=2
7770 RETURN
7780 PRINT "J          * ERRORES DE DATOS DESDE DISKETTE *"
7790 GOSUB 910
7800 IF S4<>" " THEN 7840
7810 PRINT "JGCOMP141: No existe archivo "S4"
7820 GOSUB 980
7830 GO TO 7800
7840 GOSUB 6930
7850 IF I1=1 THEN 1
7860 GO TO 610
```

```

10000 REM          LLUMIGUSTIA (CONFLU)
10020 REM          -----
10030 REM
10040 REM      Luis Fernando LLumisusin Buen1
10050 REM
10060 REM  SUB-PROGRAMA QUE CONTIENE:
10070 REM          Listado de las variables en uso
10080 REM          del programa de "COMPENSACION
10090 REM          MEDIANTE EL LUGAR GEOMETRICO
10100 REM          DE LAS RAICES",
10110 REM
10120 REM
10130 REM
10140 T5=32
10150 PRINT "LEDESEA EL LISTADO DE VARIABLES EN PAPEL? (SI O NO) : ";
10160 INPUT R$
10170 IF R$ <> "SI" THEN 10190
10180 T5=51
10190 LIST @T5:10220,11000
10200 T5=32
10210 RETURN
10220 REM          VARIABLES EN USO DEL PROGRAMA :
10230 REM
10240 REM
10250 REM          "COMPENSACION MEDIANTE EL LUGAR GEOMETRICO
10260 REM          -----
10270 REM          DE LAS RAICES."
10280 REM          -----
10290 REM
10300 REM      F  -- lista raices del sistema (polos y ceros)
10310 REM          Nivel 1  Parte real
10320 REM          Nivel 2  Parte imaginaria
10330 REM          Nivel 3  Indicativo de polo o cero
10340 REM          Nivel 4  Numero de veces
10350 REM          Nivel 5  Validez (0=no, 1=si, 2=cancelado)
10360 REM      S  -- N puntos de separacion en eje real
10370 REM          Nivel 1  Parte real
10380 REM          Nivel 2  Parte imaginaria
10390 REM          Nivel 3  Numero de veces
10400 REM          Nivel 4  Validez
10410 REM      C0 -- Coeficientes del numerador (zeros) en ord
10420 REM          dependente de potencias,
10430 REM      C1 -- Coeficientes del denominador (polos)
10440 REM      C2 -- coeficientes de la ecuacion de los puntos
10450 REM          de separacion,
10460 REM      C3 -- Coeficientes de la derivada del numerador
10470 REM      C4 -- Coeficientes de derivada del denominador
10480 REM      T  -- Valores transitorios de trabajo
10490 REM      X  -- Puntos en eje real o ptos. por curva

```

```

10500 REM      INTERRUPTORES :
10510 REM          S0  -- De entrada de datos, calculo y final.
10520 REM          S1  -- Para discriminaciones y LGR desde comple.
10530 REM          S2  -- De mostrar solos o zeros complejos
10540 REM          S3  -- De existir LGR solo en eje real
10550 REM          B4  -- De tipo de entrada y esto triple de sep.
10560 REM      INDICES : I,J,K,T
10570 REM      VARIABLES NUMERICAS (primer caracter) : A,E,K,T,X,Y
10580 REM      VARIABLES ALFANUMERICAS : F$,L$,Q$,R$,T$,X$,Y$,Z$
10590 REM
10600 REM
10610 REM -----
10620 REM      Definicion de variables principales :
10630 REM -----
10640 REM          X0= Limite inferior del grafico en el eje X
10650 REM          X1= Limite superior del grafico en el eje Y
10660 REM          y1= Limite superior del grafico en el eje Y
10690 REM          -Y1= Limite inferior del grafico en el eje Y
10720 REM          E9= Separacion minima para indicar LGR en el eje real.
10730 REM          E8= Valor de escala del grafico.
10750 REM          E2= cinco veces el valor de E9
10770 REM          C9= Centroide de las asintotas del LGR
10790 REM          A6= Angulo de salida de las asintotas.
10820 REM          f1= Tiempo de estabilizacion pedido
10830 REM          F2= Factor de amortiguamiento pedido
10850 REM          W1= Frecuencia no amortiguada
10870 REM          X4= Parte real del punto evaluado como parte del LGR
10880 REM          Y4= Parte imaginaria del punto eval como parte del LGR
10900 REM          Y$ = COMPENSACION MEDIANTE EL LGR
10920 REM          L$ = RI
10940 REM          Z$ = FECHA,HORA
10970 REM
10980 REM
10990 REM =====

```

B I B L I O G R A F I A

1. Kuo, B.C., "Sistemas automáticos de Control", Compañía Editorial Continental S.A., Marzo 1.973
2. Shinnars, S.M., "modern control systems theory and applications"., Addison-Wesley Publishing Company., 1972
3. Dorf, Richard C., "Sistemas automáticos de Control", Fondo Educativo Interamericano S.A., 1977
4. Distefano, J.; Stubberud, A.; Williams, I., "Retroalimentación y Sistemas de Control", Mc Granw-Hill 1.978
5. Gupta, "Automatic Control", Edit Limusa, 1.972
6. Pazmiño Ramiro, "Programa para el estudio de estabilidad criterio lugar geométrico de las raíces; Tesis de grado, EPN, 1981.