

TESE

129



Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

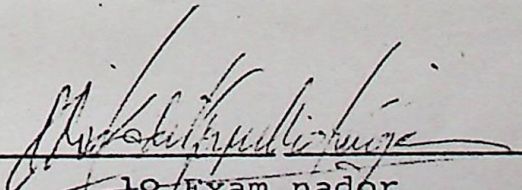
A N E X O I

PRONUNCIAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

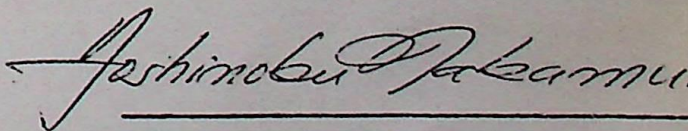
A Comissão Examinadora, abaixo assinado, nomeado por Portaria nº 218 de 05/08/76, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Tese de Mestrado intitulada: "ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO"

apresenta pronunciamento no sentido de que a Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite à DDD (Divisão de Divulgação e Documentação) a expedição do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica na Área de Concentração de Sistemas de Potência satisfeitas as demais exigências regimentais à MARCOS AUGUSTO DA SILVA

Itajubá, 7 de agosto de 1976

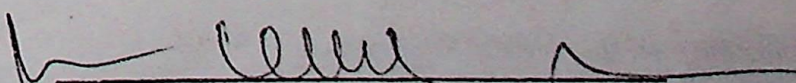

1º Examinador

Prof. Celso Jadir G. Junqueira



2º Examinador

Engº Yoshinobu Nakamura



3º Examinador - Presidente
Prof. José Abel Royo dos Santos



Ministério da Educação e Cultura
 ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

A N E X O I I

FOLHA DE JULGAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

Título da Tese: "ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO"

Autor: MARCOS AUGUSTO DA SILVA

JULGAMENTO

EXAMINADORES	CONCEITO	RUBRICA
1º	A	
2º	A	
3º	A	

Resultado médio: Conceito A, ou seja aprovado

Observações: _____

Itajubá, 7 de agosto de 1976

1º Examinador
 Prof. Celso Jadir G. Junqueira.

2º Examinador
 Engº Yoshinobu Nakamura

3º Examinador - Presidente
 Prof. José Abel Royo dos Santos

" ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO "



Marcos Augusto da Silva

Í N D I C E

PGS

I	-	SUMÁRIO	
II	-	LISTA DE SÍMBOLOS	
III	-	GENERALIDADES SOBRE CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO	
		1. REGULAÇÃO PRIMÁRIA	2
		2. REGULADOR DE VELOCIDADE ISÓCRONO	3
		3. REGULADOR DE VELOCIDADE COM ESTATISMO ..	6
		4. REGULADOR COM VARIADOR DE VELOCIDADE ...	9
		5. CARACTERÍSTICA DAS CARGAS	10
		6. CARACTERÍSTICA NATURAL DO SISTEMA	11
		7. ÁREA ISOLADA - COMPORTAMENTO DE UMA ÁREA À PERTURBAÇÃO	14
		8. ÁREAS INTERLIGADAS - COMPORTAMENTO VARIÇÃO DE CARGA DE UMA ÁREA	16
		9. CONTROLE SUPLEMENTAR	20
		9.1. INTRODUÇÃO	20
		9.2. SISTEMA ISOLADO	22
		9.3. COMPORTAMENTO TÍPICO DA FREQUENCIA DE UMA ÁREA ISOLADA COM E SEM CON- TROLE SUPLEMENTAR	23
		9.4. SISTEMA INTERLIGADO	24
		9.5. CONTROLE DE CARGA-FREQUÊNCIA	28
		10. ÁREAS SOB CONTROLE	29
		11. OBJETIVOS OPERATIVOS	31
		12. EQUAÇÃO DO CONTROLE EM "INTERCÂMBIO-FRE- QUÊNCIA"	33

IV	-	DESCRIBÇÃO DO EQUIPAMENTO DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO - CESP	
		1. GENERALIDADES	35
		1.1. PARÂMETROS DO SISTEMA	35
		1.2. MODO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	36
		2. OBTENÇÃO DO ERRO DE CONTROLE DE ÁREA ...	37
		2.1. INTERCÂMBIO LÍQUIDO TOTAL	37
		2.2. INTERCÂMBIO LÍQUIDO PROGRAMADO	39
		2.3. "DESVIO DE FREQUÊNCIA" E "BIAS" ...	40
		2.4. ERRO DE CONTROLE DE ÁREA - ECA	41
		2.5. ERRO DE CONTROLE DE USINA - ECU ...	43
		3. CIRCUITO DO ERRO DE CONTROLE DE USINA...	45
		4. CONTROLADOR MESTRE	46
		5. ESQUEMA DO "DIAT"	47
		6. ANÁLISE DA COMUNICAÇÃO E ENVIO DE PULSOS	50
		7. OBSERVAÇÕES	53
		a) FAIXA MORTA DO "ECA"	
		b) ERRO DE CONTROLE DE USINA - "ECU"	
		c) CIRCUITO DE PARTICIPAÇÃO	
		d) RELAÇÃO ENTRE "ECA" E "ECU"	
		8. ATUAÇÃO DOS PULSOS DE CONTROLE	54
		9. ESQUEMA GERAL SIMPLIFICADO	55.A
V	-	MODELAGEM	
		1. ESQUEMA DE "TRÊS ÁREAS INTERLIGADAS" ...	56
		2. "BIAS" DE FREQUÊNCIA	57
		3. COEFICIENTES DE SINCRONIZAÇÃO	58
		4. MODELOS DE TURBINA/REGULADOR DE VELOCIDADE	59
		5. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DO DIAT	63
		6. RELAÇÃO ENTRE TORQUE E CONSTANTE DE INÉRCIA	66
		7. FORMAÇÃO DA FAIXA MORTA	68
		8. INFLUÊNCIA DA HISTERESE	70
		9. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DO ATUADOR -GMA	71
		10. REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO ALEATÓRIA DE CARGA	72

		<u>PGS</u>
VI	- APÊNDICE	
	1. DADOS DO SISTEMA PARA SIMULAÇÃO	76
	2. CASOS SIMULADOS	80
	3. RESULTADOS	81.A
	4. CONCLUSÕES	82
VII	- BIBLIOGRAFIA	84



A interligação entre sistemas de potência tem-se tornando um fato inevitável em face dos benefícios comuns às partes envolvidas, tanto no aspecto de confiabilidade operativa quanto de economia e na maior estabilidade da frequência do sistema interligado. Portanto, decorrente dessas vantagens os sistemas tendem a se interligar, cada vez mais, atingindo desta maneira proporções de um sistema nacional ou futuramente até mesmo continental.

Justifica-se portanto um empenho no estudo de simulação dos fenômenos que envolvem a operação dos sistemas de potência.

Este trabalho apresenta um estudo do Controle Automático de Geração, no aspecto de seus critérios e modo de operação, com vistas aos testes de simulação do Sistema Interligado da Região Sudeste do Brasil.

O objetivo principal nessa fase do estudo prende-se ao levantamento de dados do sistema de potência, a modelagem do equipamento de Controle Automático de Geração, em particular o da CESP, e o ajuste dos parâmetros principais para cada uma das três áreas representadas, como passo inicial para a fase seguinte do estudo, que será o estudo de simulação das áreas interligadas.

Para a simulação digital do sistema estudado, desenvolveu-se modelos próprios que representam as funções do computador de controle, reguladores de velocidade, variações de carga, e do sistema inercial.

O sistema Sudeste Interligado, composto de 5 áreas de Geração, foi dividido em 3 áreas de controle: ÁREA 1 - CESP, ÁREA 2 - LIGHT-SP, e ÁREA 3 - FURNAS, CEMIG, LIGHT-RIO.

A ÁREA 1 - CESP, modelada com maior nível de detalhe está representada por 3 máquinas: Usina de Ilha Solteira, Usina de Jupiá e Restante da Geração CESP; enquanto que as outras ÁREAS apenas pelas máquinas equivalentes.

Os testes simulados representam o comportamento de cada Área de Controle, quando há uma súbita variação da sua carga.

Para esse estudo utilizou-se o programa de simulação PTAC - Dynamical System Simulation Program - no computador HP 2000.

II - LISTA DE SIMBOLOS

PMA	-	Potência Mecânica da Área
PIL, I	-	Potência de Intercâmbio Líquido
f	-	Frequência
D	-	Amortecimento
R	-	Regulação
β	-	Característica de Regulação
p, s	-	Operador de Laplace
P_{TL}	-	Potência de Intercâmbio
ΔL	-	Degráu de Carga
ECA (i)	-	Erro de Controle da Área (i)
KD_i	-	Ganho do Integrador do DIAT , da ÁREA (i)
B, BF_i	-	"Bias de Frequência" da ÁREA (i)
E	-	Erro de Tempo
PID, I_o	-	Intercâmbio Líquido Programado
f_o	-	Frequência Programada
I_{INV}	-	Intercâmbio Involuntário Acumulado
Ao	-	Amplificador Operacional
HIST	-	Histerese
ECU (i)	-	Erro de Controle de Usina da Máquina (i)
G_d	-	Geração Desejada
Gr	-	Geração Real
VAR	-	Variável Algébrica
S	-	Variável de Estado
DS	-	Derivada Temporal
CON	-	Constante
SBASE	-	Base do Sistema (MVA)
MBASE	-	Base da Máquina (MVA)
PUL	-	Pulso para usina
GMA	-	Atuador
TN	-	Corrente de Aceleração da Água

h	-	Queda hidráulica
g	-	Abertura do Distribuidor
q	-	Fluxo da Turbina
Tr	-	Corrente de Tempo do Regulador
r	-	Estatismo Transitório
Tg	-	Constante de Tempo do Servomotor
VELM	-	Velocidade Máxima de Abertura do Distribuidor
GMIN	-	Abertura Máxima do Distribuidor
GMAX	-	Abertura Mínima do Distribuidor
A_t	-	Ganho da Turbina
Q_{NL}	-	Vazão da Turbina a Vazio
LIG	-	Limite Inferior de Geração
LSG	-	Limite Superior de Geração
KGM	-	Ganho do Atuador
x	-	Variável de uma distribuição normal
μ	-	Média de uma distribuição
σ	-	Desvio padrão, variância
x_{AL}	-	Variável aleatória
LOP	-	Lógica de Pulso, "Status"
X_{ij}	-	Reatância de transferência
Tij	-	Coefficiente de sincronização
Ta	-	Torque de Aceleração
H	-	Constante de Inércia
PDA	-	Potência Desejada de Área
PGA	-	Potência Gerada de Área
POD	-	Potência Desejada de Usina
Tm	-	Torque Mecânico
Tc	-	Torque Elétrico
PL	-	Potência da Carga
Pm	-	Potência Mecânica

III - GENERALIDADES SOBRE CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO

1. REGULAÇÃO PRIMÁRIA



O equilíbrio entre geração e carga, conhecido como regulação primária, pode ser melhor entendido com auxílio das figuras seguintes:

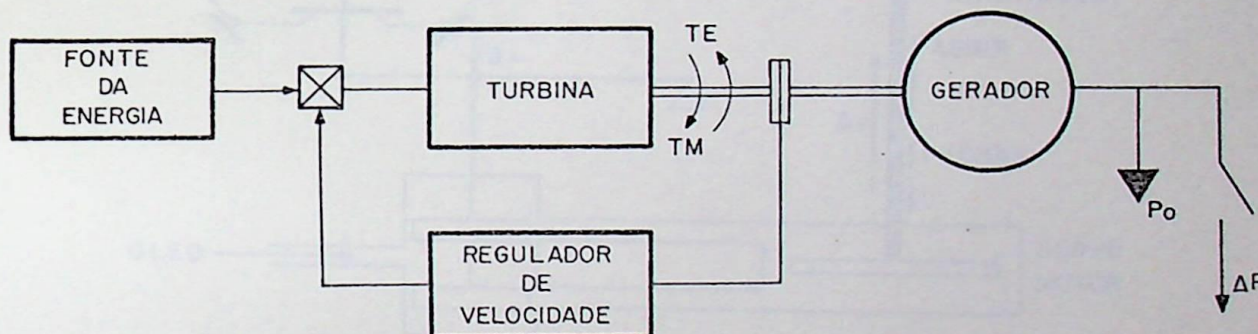


FIG. 1

Em regime permanente, uma carga P_0 é alimentada pela geração à uma frequência constante f_0 . O regulador de velocidade detecta a frequência ou a velocidade do eixo e controla a entrada de energia à turbina.

A entrada adicional de carga provoca, inicialmente, um desequilíbrio entre os conjugados elétrico e mecânico, com redução da velocidade da turbina. A energia requerida inicialmente pelo excesso de carga, é atendida pela energia cinética das massas girantes da turbina-gerador.

2. REGULADOR DE VELOCIDADE ISÓCRONO

O esquema da figura abaixo representa um regulador tipo isócrono.

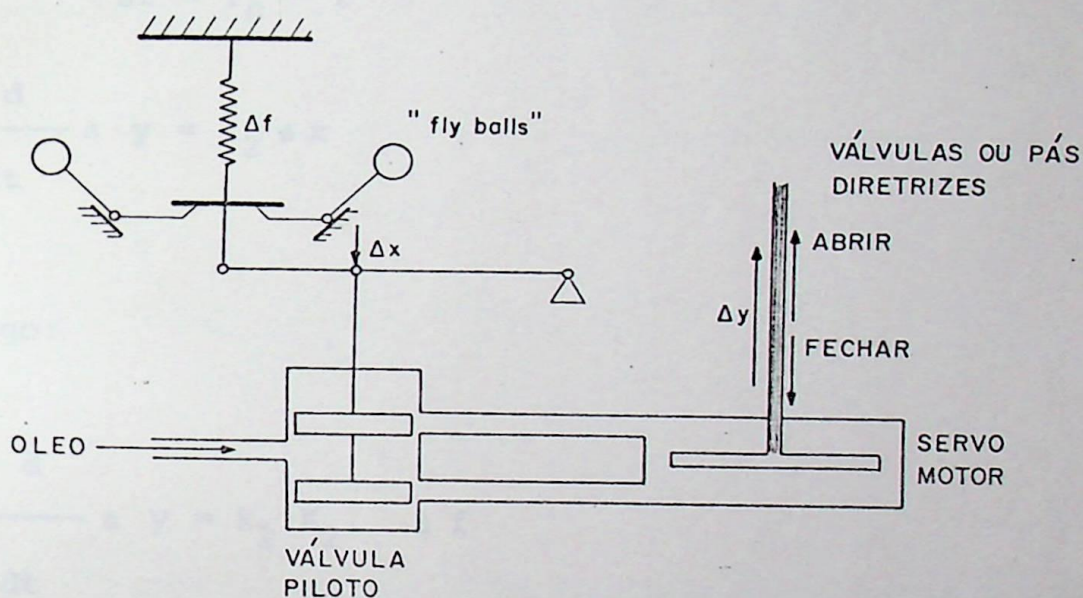


FIG. 2

O desvio de velocidade (frequência) detetado pelo "fly balls", provoca um deslocamento da válvula piloto, que por sua vez, pela entrada de óleo sob pressão, movimenta o pistão do servomotor. Este, por outro lado, atua sobre a válvula ou pás diretrizes da turbina.

Quando a pressão for igualada em ambos os lados do pistão do servomotor atinge-se novamente a condição de regime. Somente quando a velocidade (frequência) for igual ao valor de referência, é que a válvula piloto estará na posição central (morta).

Isso caracteriza um controle do tipo integral, isto é, a derivada do deslocamento do pistão do servomotor é proporcional ao desvio da velocidade (frequência).

Portanto, da figura anterior, tem-se as relações:

$$\Delta x = K_1 \Delta f$$

$$\Delta f = f_0 - f$$

$$\frac{d}{dt} \Delta y = K_2 \Delta x$$

logo:

$$\frac{d}{dt} \Delta y = K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta f$$

$$e \quad \Delta y = K_1 \cdot K_2 \int \Delta f \cdot dt$$

Representando em diagrama de blocos:

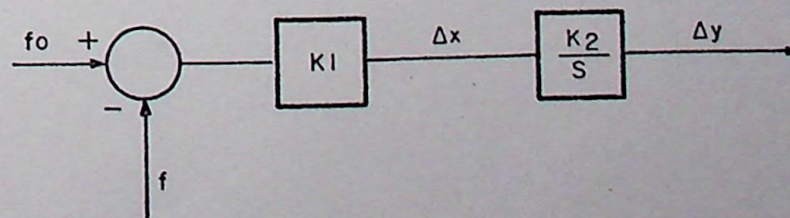
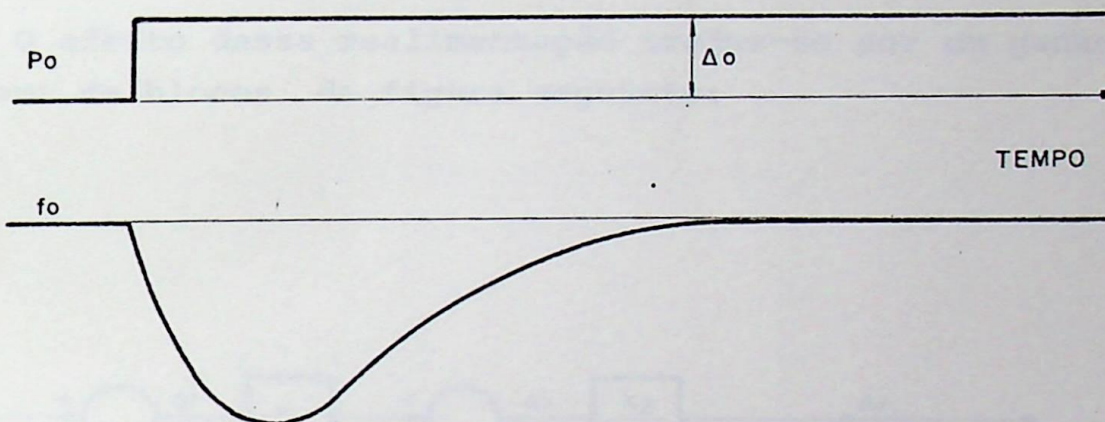


FIG. 2A

Para uma solicitação de carga de valor ΔP , a resposta no tempo de um regulador de velocidade tipo isócrono terá o seguinte comportamento :



Em virtude da necessidade de divisão da geração entre as unidades em paralelo, o regulador de velocidade tipo isó-rono não é usado em sistemas com mais de uma unidade.

3.

REGULADOR DE VELOCIDADE COM ESTATISMO

A divisão de geração entre unidades, que estejam operando em paralelo, é conseguida com a inclusão, nos reguladores de velocidades, de um elo de realimentação em regime permanente, definido por estatismo.

O efeito dessa realimentação traduz-se por um ganho K_3 no diagrama de blocos da figura seguinte:

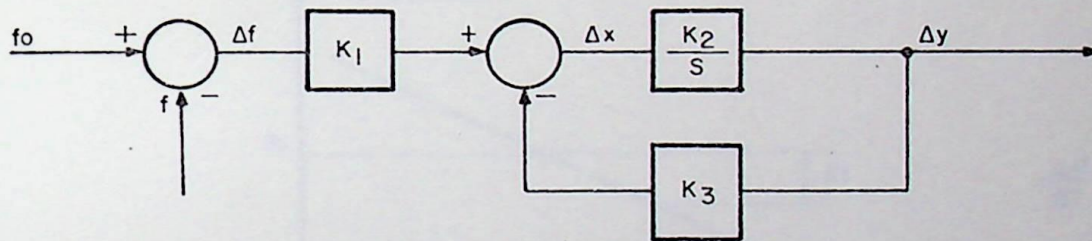


FIG. 4

Simplificando esse diagrama, definindo-se a regulação de velocidade - R - e a constante de tempo do regulador - T_G -, tem-se o diagrama da figura seguinte:

onde:
$$R = \frac{K_3}{K_1}$$

$$T_G = 1/K_2 \cdot K_3$$

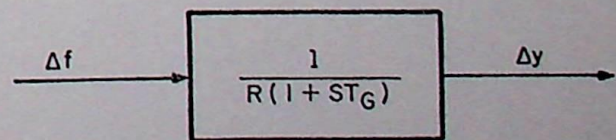
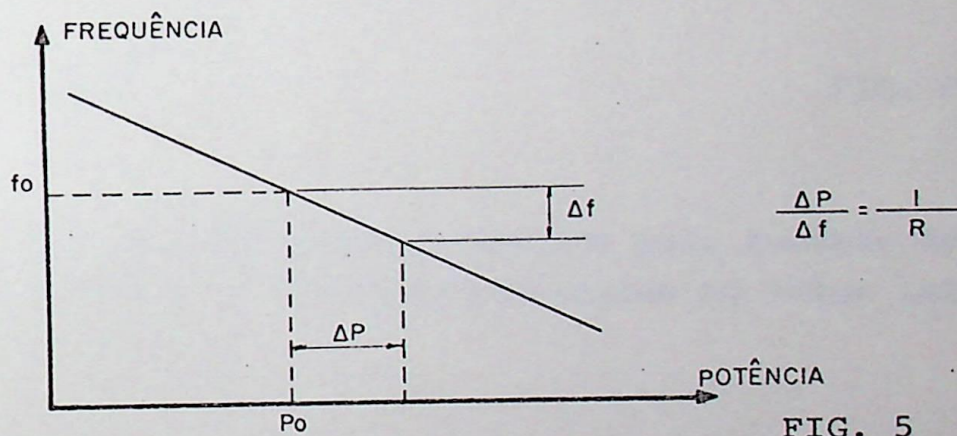


FIG. 4A

Pelo teorema do valor final obtem-se a relação válida para condições de regime, com valores em p.u.

$$\frac{\Delta Y}{\Delta f} = \frac{1}{R} \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta P}{\Delta f} = \frac{1}{R}$$

Logo, a característica de regime de um regulador de velocidade, com estatismo, é representada por uma reta no plano potência-frequência.



O valor de R é expresso, geralmente, em porcentagem, sendo definido pela relação:

$$R\% = \frac{N_0 - N}{N_R} \times 100$$

onde:

- N_0 = velocidade de regime em vazio
- N = velocidade de regime a plena carga
- N_R = velocidade nominal

A resposta no tempo de um regulador de velocidade com esta tismo quando de uma variação na carga de ΔP terá tipicamente a forma da figura seguinte.

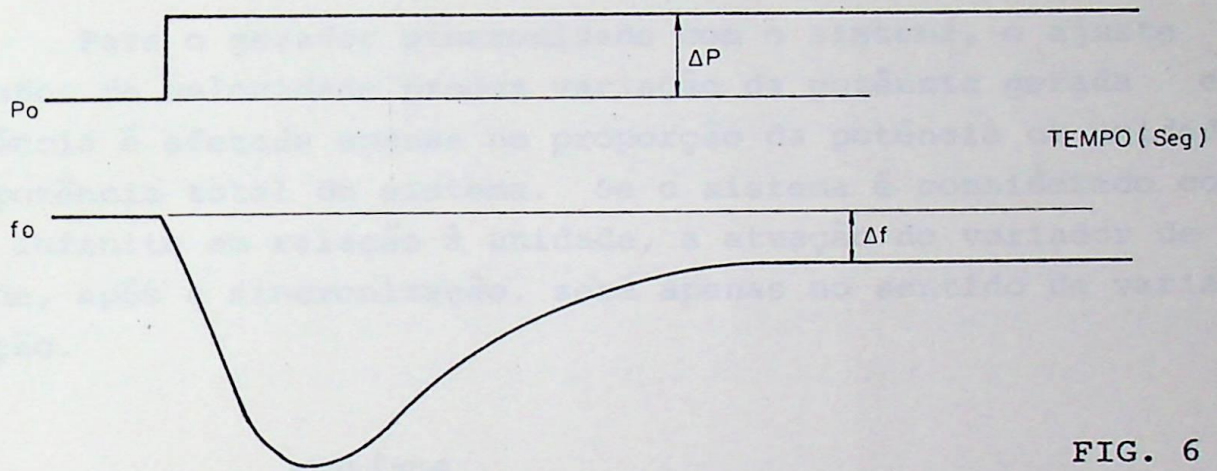


FIG. 6

O equilíbrio geração-carga é mantido pelo aumento da ge ração, porém a frequência não é restabelecida ao valor inicial.

4.

REGULADOR COM VARIADOR DE VELOCIDADE

Ao regulador de velocidade, adiciona-se um dispositivo para ajuste da referência (variador de velocidade) que causa um deslocamento da característica de regime, conservando o mesmo estatismo.

Para o gerador sincronizado com o sistema, o ajuste do variador de velocidade produz variação da potência gerada e a frequência é afetada apenas na proporção da potência da unidade para a potência total do sistema. Se o sistema é considerado como sendo infinito em relação à unidade, a atuação do variador de velocidade, após a sincronização, será apenas no sentido de variar a geração.

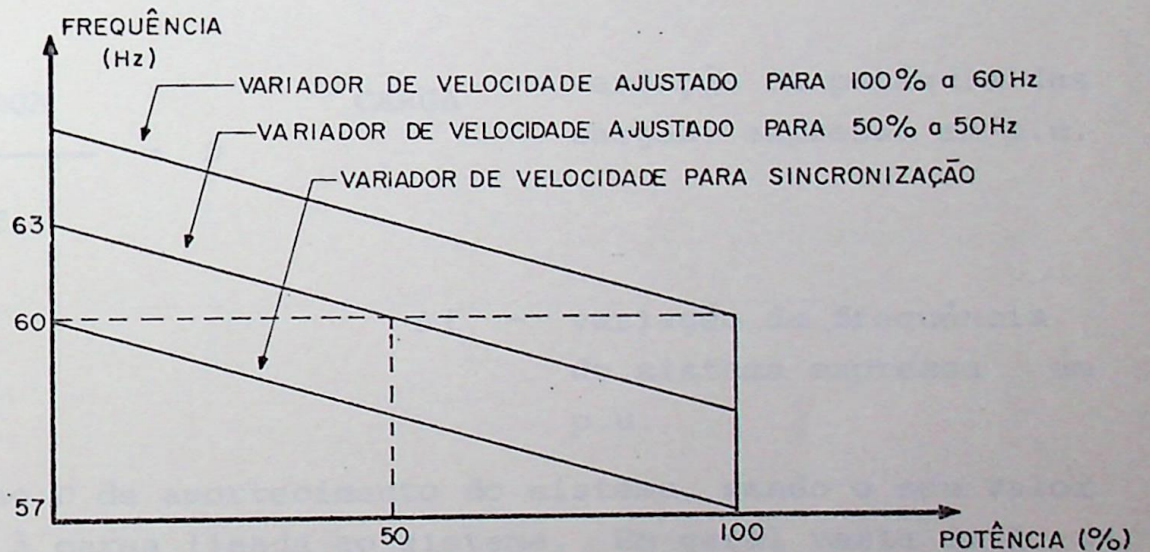


FIG. 7

Convém lembrar que, embora a característica frequência-potência seja representada por uma reta, na verdade ela apresenta variações incrementais que variam de 2 a 12%, em função da posição das pás diretrizes do distribuidor (ou válvula de controle) em relação à faixa de controle.

5.

CARACTERÍSTICA DAS CARGAS

O sistema de potência é constituído também por cargas do tipo resistivo (iluminação, aquecedores, etc.) e outros onde a potência absorvida é função da frequência do sistema (motores).

Considerando-se pequenas variações da frequência do sistema pode-se expressar a variação da potência absorvida pela carga em função da variação de frequência pela relação:

$$\frac{\Delta P_{\text{CARGA}}}{\Delta f} = D$$

ΔP_{CARGA} - variação da potência das cargas, expressa em p.u.

Δf - variação da frequência do sistema expressa em p.u.

Chama-se D de amortecimento do sistema, sendo o seu valor proporcional à carga ligada ao sistema. Em geral varia de 1 a 2 p.u.

6.

CARACTERÍSTICA NATURAL DO SISTEMA

Seja um sistema com várias unidades de geração operando em paralelo com uma regulação de velocidade igual a R (p.u.) referida a capacidade do sistema. Para uma potência inicial da carga - P_0 - a frequência é 60 Hz , e o amortecimento D (p.u.).

Considerando um acréscimo de carga - ΔP - após atingido novo ponto de equilíbrio tem-se as seguintes relações:

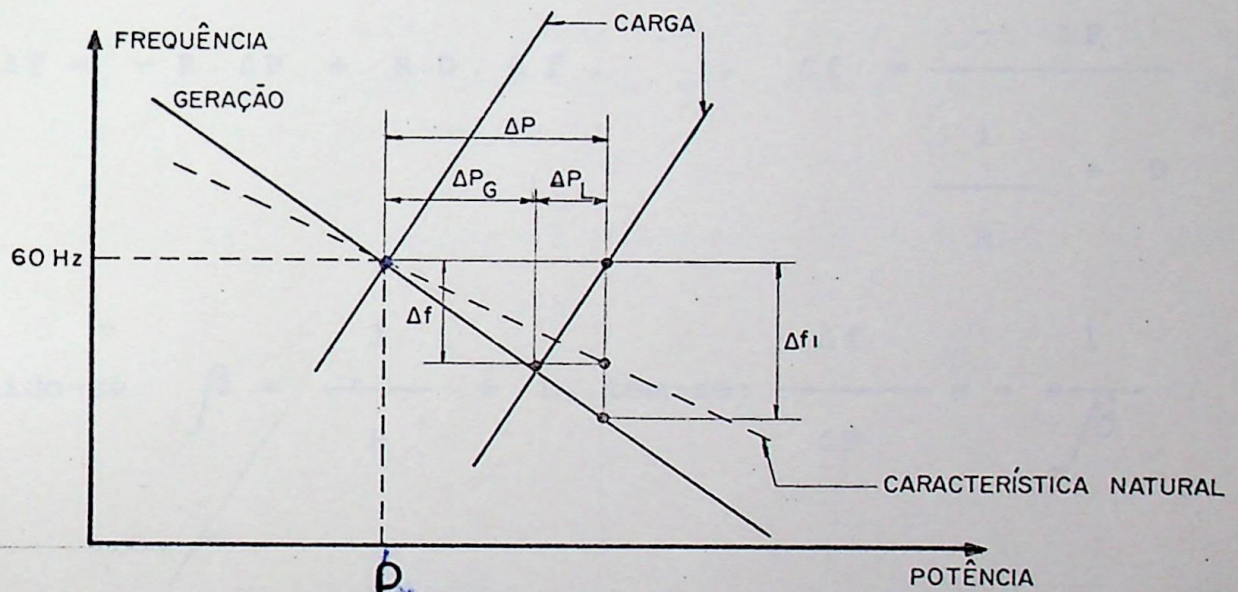


FIG. 8

$$\frac{\Delta P_G}{\Delta f} = - \frac{1}{R} \quad \therefore \quad \Delta f = -R \cdot \Delta P_G \quad (1)$$

$$\frac{\Delta P_L}{\Delta f} = D \quad \therefore \quad \Delta P_L = D \cdot \Delta f \quad (2)$$

$$\Delta P_G = \Delta P - \Delta P_L \quad (3)$$

Substituindo-se (2) em (3)

$$\Delta P_G = \Delta P - D \cdot \Delta f \quad (4)$$

Substituindo-se (4) em (1), resulta:

$$\Delta f = -R \cdot \Delta P + R \cdot D \cdot \Delta f \quad \Delta f = \frac{-\Delta P}{\frac{1}{R} + D}$$

Definido-se $\beta = \frac{1}{R} + D$, tem-se: $\frac{\Delta f}{\Delta P} = -\frac{1}{\beta}$

Da figura anterior (FIG. 8) conclui-se que o efeito comum dos reguladores e das cargas, que definem a Regulação Primária, pode ser representado no plano potência x frequência por uma reta de coeficiente angular $-1/\beta$

À essa característica combinada denomina-se CARACTERÍSTICA NATURAL DO SISTEMA.

É bom lembrar que o valor de β depende de vários fatores:

- Número de unidades ligadas ao sistema
- Reguladores de velocidade
 - valor da regulação - R
 - insensibilidade
 - operação com reguladores bloqueados
- Característica das cargas ligadas ao sistema

Em geral o valor de β para um sistema de potência varia entre 1 a 2% da capacidade de geração do sistema, para uma variação de 0.1 Hz na frequência.

O valor de β relaciona-se com a regulação R pela variação abaixo:

$$\beta \times R = 16 \frac{2}{3}$$

onde:

$$\beta \left[\frac{\% \Delta P}{0.1 \text{ Hz}} \right] \text{ e } R [\%]$$

Para uma regulação dada - R% - tem-se as seguintes relações:

$\Delta P \%$	$\Delta f \text{ Hz}$	
100	$R \times \frac{60}{100}$	
	0.1	$\therefore \beta \times R = \frac{1000}{60} = 16 \frac{2}{3}$

7. ÁREA ISOLADA - Comportamento de uma Área à Perturbação

Seja uma área isolada representada pelo modelo abaixo e que será submetida a uma variação de carga, levando-se em conta a ação do controle de velocidade.

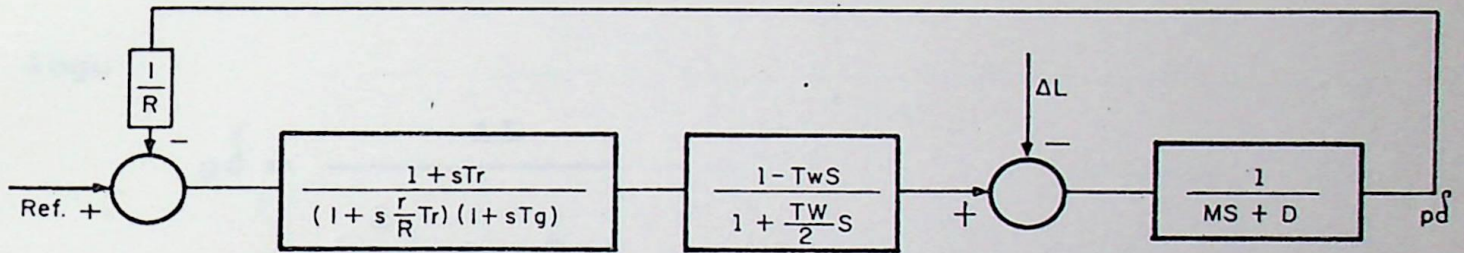


FIG. 9

simplificando o diagrama resulta:

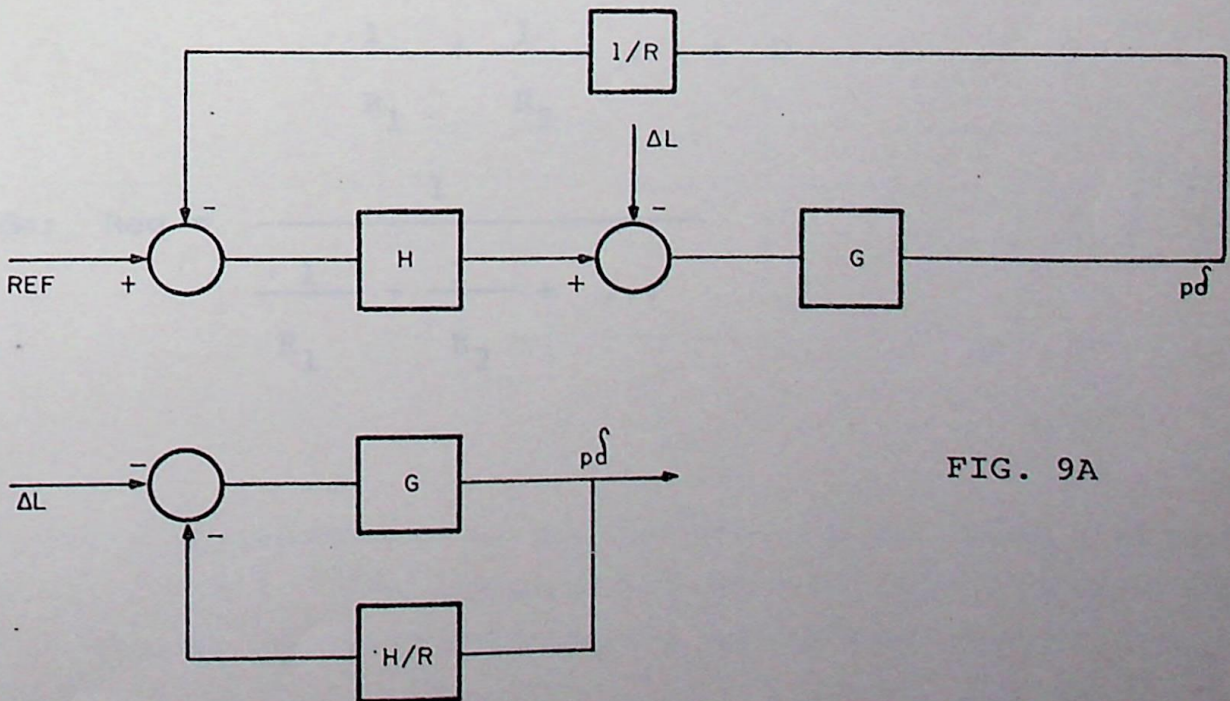


FIG. 9A

Para um degrau de variação de carga o valor final do desvio de frequência é dado pela expressão

$$p\delta = \left. \Delta L \times \frac{-G}{1 + GH/R} \right]_{s \rightarrow 0}$$

logo:

$$p\delta = \frac{-\Delta L}{\frac{1}{R} + D}$$

Para um sistema composto de vários reguladores diferentes, o desvio de frequência é dado pela expressão:

$$p\delta = - \frac{\Delta L}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + D}$$

sendo: $R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots}$

8.

ÁREAS INTERLIGADAS
COMPORTAMENTO À VARIAÇÃO DE CARGA EM UMA ÁREA

Esse caso não difere muito de uma área isolada, no que diz respeito à regulação de velocidade.

Sejam 2 áreas interligadas cujo diagrama representamos a baixo:

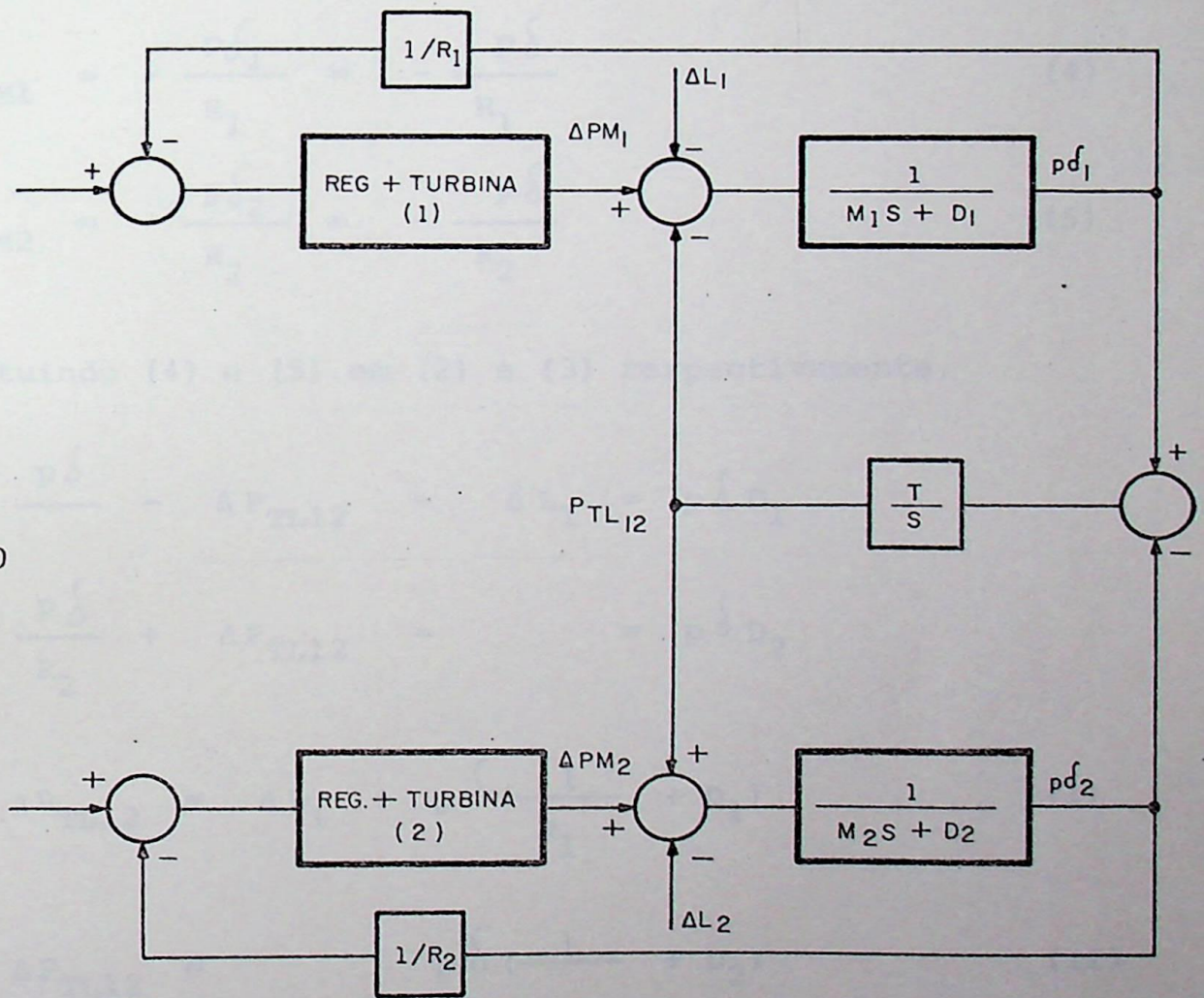


FIG. 10

Essa representação de duas áreas leva em conta a elasticidade entre áreas. Suas frequências diferem, transitoriamente, embora atinjam os mesmos valores se os sistemas permanecem em sincronismo.

Consideremos o caso de um degrau de carga na área 1. Examinando o diagrama de blocos tem-se as relações:

$$p\delta_1 = p\delta_2 = p\delta \quad (1)$$

$$\Delta P_{M1} - \Delta P_{TL12} - \Delta L_1 = p\delta_1 \cdot D_1 = p\delta \cdot D_1 \quad (2)$$

$$\Delta P_{M2} + \Delta P_{TL12} = p\delta_2 \cdot D_2 = p\delta \cdot D_2 \quad (3)$$

$$\Delta P_{M1} = - \frac{p\delta_1}{R_1} = - \frac{p\delta}{R_1} \quad (4)$$

$$\Delta P_{M2} = - \frac{p\delta_2}{R_2} = - \frac{p\delta}{R_2} \quad (5)$$

Substituindo (4) e (5) em (2) e (3) respectivamente,

$$- \frac{p\delta}{R_1} - \Delta P_{TL12} - \Delta L_1 = p\delta \cdot D_1$$

$$- \frac{p\delta}{R_2} + \Delta P_{TL12} = p\delta \cdot D_2$$

$$- \Delta P_{TL12} = \Delta L_1 + p\delta \cdot \left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) \quad (I)$$

$$- \Delta P_{TL12} = p\delta \cdot \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right) \quad (II)$$

Resolvendo (I) e (II) para p :

$$- \Delta L_1 = p \delta \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2 \right)$$

e portanto:

$$p \delta = \frac{- \Delta L_1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2}$$

Resolvendo também para ΔP_{TL12} :

$$\Delta P_{TL12} = \frac{- \Delta L_1 \cdot \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}$$

$$\Delta P_{TL21} = \frac{\Delta L_1 \cdot \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}$$



Para uma variação de carga na área 2 expressões similares podem ser deduzidas:

$$p \delta = \frac{- \Delta L_2}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$
$$\Delta P_{TL12} = \frac{+ \Delta L_2 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + D_1\right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$
$$\Delta P_{TL12} = \frac{- \Delta L_2 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + D_1\right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$

9.

CONTROLE SUPLEMENTAR

9.1. INTRODUÇÃO

As variações de carga nos sistemas interligados provocam variações nos fluxos de potência programados e na frequência do sistema. Em face de haver vários reguladores de velocidade no sistema, com diferentes características, e da possibilidade de que haja alguns deles bloqueados, a variação da geração no sentido de atender as cargas, durante a regulação primária, deve ser considerada como uma incidência aleatória.

Essas variações aleatórias são indesejáveis pelas seguintes razões:

- Obediência aos contratos de intercâmbio
- Capacidade das linhas de interligação
- Atendimento aos programas de despacho de geração
- Aspectos econômicos

Portanto, faz-se necessário que após a acomodação inicial, regulação primária, as variações de carga sejam absorvidas por específicas áreas ou usinas, ou unidades geradoras, de acordo com programas pré-estabelecidos.

Existem duas maneiras de se obter a variação da potência mecânica de saída das turbinas, que são:

- através da ação do controle de regulação primária
- através de variação da referência de carga (motor do variador de velocidade)

Em operação normal os desvios de frequência são muito pequenos e o mecanismo básico de controle da potência para atender a carga numa dada área é pela atuação na referência de carga. Esta ação é chamada controle suplementar.

O controle de geração numa dada área tem como objetivos:

- a) Igualar a geração às variações de carga na área.
- b) Dividir essas variações entre as várias unidades com vistas a minimizar os custos, quando for o caso.

O primeiro objetivo é conhecido como Controle Suplementar e, o segundo, Controle Suplementar com Alocação Econômica.

9.2.

CONTROLE SUPLEMENTAR - SISTEMA ISOLADO

Em um sistema isolado, a igualdade entre potência gerada e a carga ligada resulta num desvio de frequência que indica diretamente essa condição de equilíbrio. Restauração do desvio de frequência a zero através de controle suplementar completará o objetivo de igualar geração e carga.

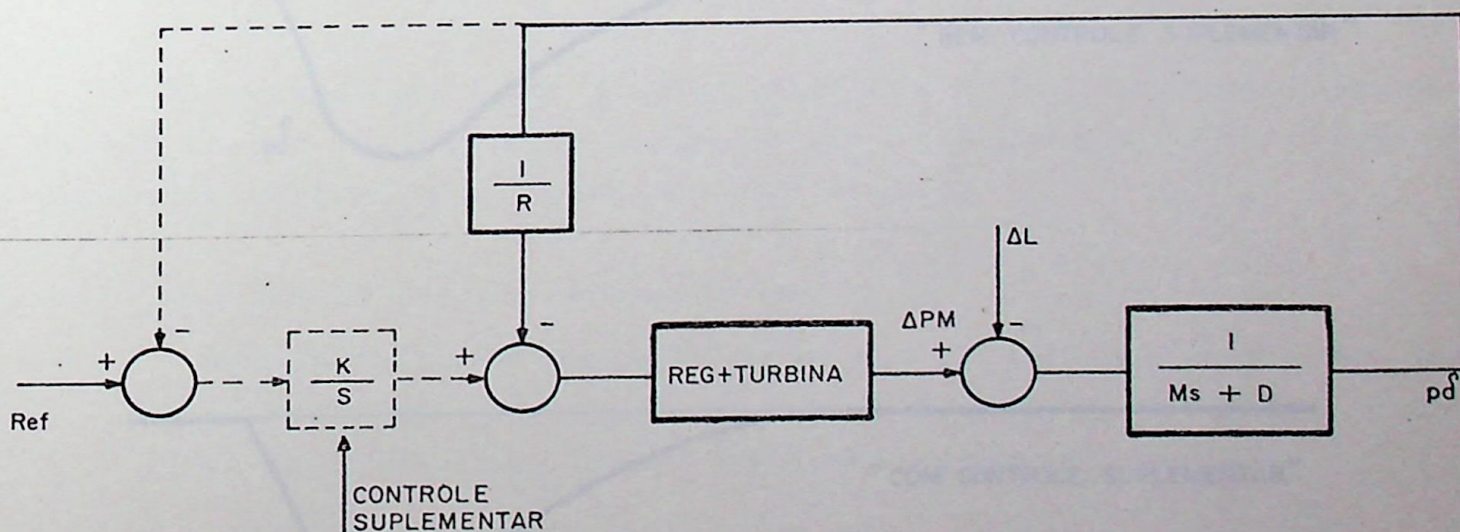


FIG. 11

A ação integral no controle suplementar exige que o erro de frequência seja nulo, quando se está em regime. O ganho da ação integral é limitado pelas condições de estabilidade do controle.

Algumas vezes é acrescentada ação proporcional para se conseguir estabilidade do controle suplementar ou para permitir uma ação mais rápida através desse controle. Quanto mais lenta for a resposta do sistema à variação da referência de carga, mais lenta deve ser a ação do controle suplementar.

9.3. COMPORTAMENTO TÍPICO DA FREQUÊNCIA DE
UMA ÁREA ISOLADA COM E SEM CONTROLE SUPLEMENTAR

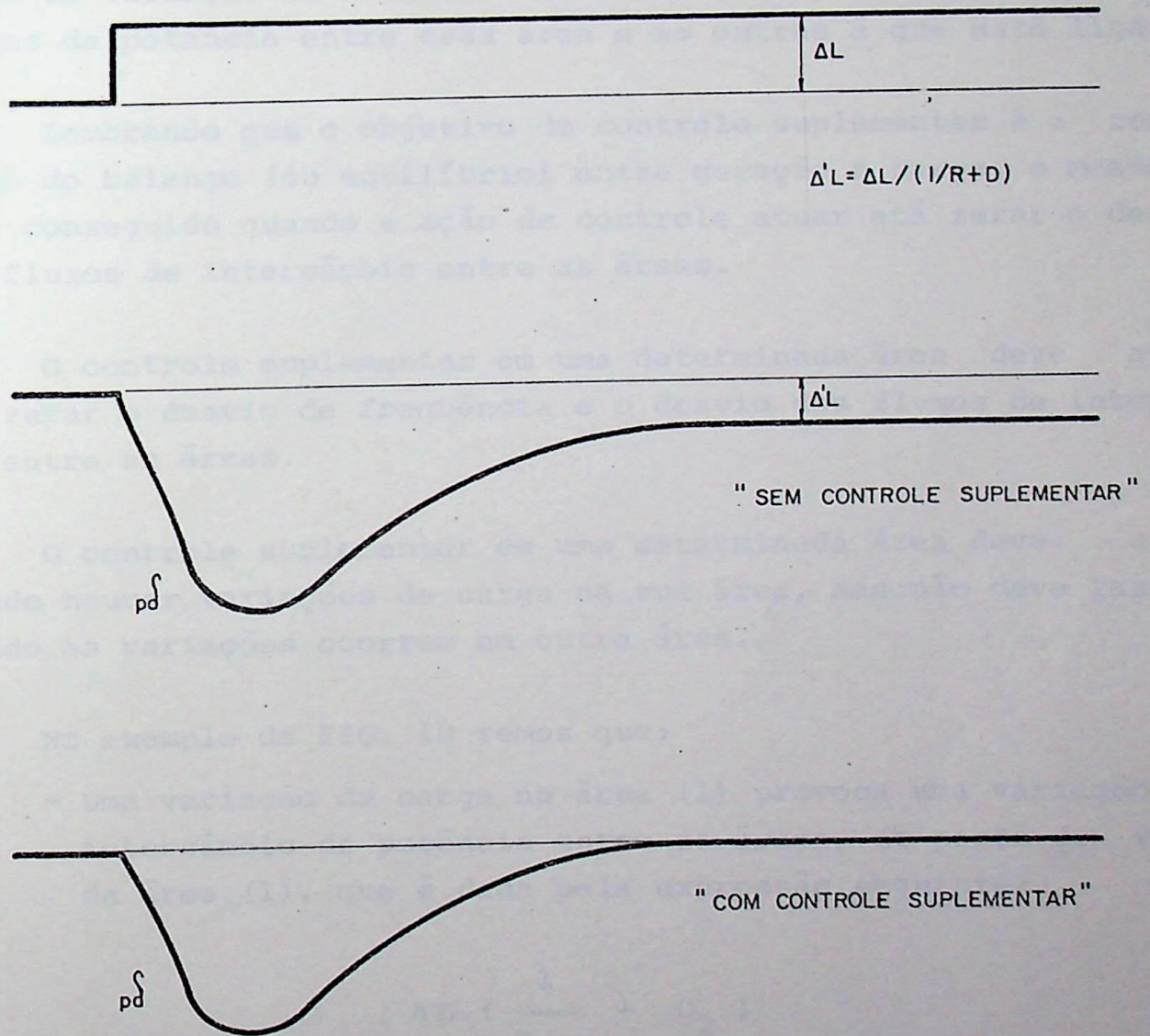


FIG. 12

9.4.

CONTROLE SUPLEMENTAR - SISTEMA INTERLIGADO

No caso de áreas interligadas, formando um sistema maior, os desvios de frequência são muito pequenos, e o efeito básico decorrente da variação de carga em uma determinada área é de alterar os fluxos de potência entre essa área e as outras à que está ligada.

Lembrando que o objetivo do controle suplementar é a restauração do balanço (ou equilíbrio) entre geração e carga, o mesmo só será conseguido quando a ação de controle atuar até zerar o desvio dos fluxos de intercâmbio entre as áreas.

O controle suplementar em uma determinada área deve atuar até zerar o desvio de frequência e o desvio dos fluxos de intercâmbio entre as áreas.

O controle suplementar em uma determinada área deve atuar quando houver variações de carga na sua área, mas não deve fazê-lo quando as variações ocorrem em outra área.

No exemplo da FIG. 10 vemos que:

- Uma variação de carga na área (1) provoca uma variação no intercâmbio de potência entre as áreas, do ponto de vista da área (1), que é dada pela expressão seguinte:

$$\Delta P_{TL12} = - \frac{\Delta L \cdot \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}$$

e um desvio de frequência de valor p :

$$p\delta = - \frac{\Delta L}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$

Do ponto de vista da área (2), resulta uma variação do intercâmbio de valor igual ao visto pelo área (1) mas de sinal oposto.

$$\Delta P_{TL21} = \frac{\Delta L \cdot \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$

Multiplicando-se o fator B_2 (Bias de Frequência da Área(2)) pelo desvio de frequência p , e adicionando o desvio de intercâmbio P_{TL12} obtêm-se o chamado Erro de Controle de Área(ECA(2)).

$$ECA_{(2)} = \Delta P_{TL21} + B_2 \cdot p\delta$$

Se o fator B_2 for igual à 2, característica natural de regulação da área (2), resulta:

$$ECA_{(2)} = \Delta P_{TL21} + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \cdot p\delta = 0$$

e analogamente para a área (1) tem-se:

$$ECA_{(1)} = \Delta P_{TL12} + B_1 \cdot p\delta, \text{ para } B_1 = \frac{1}{R_1} + D_1$$

$$ECA_{(1)} = \Delta P_{TL12} + \left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) \cdot p\delta = - \Delta L$$

Portanto, o Erro de Controle de Área calculado dessa forma, permitirá a atuação do controle suplementar apenas na área onde houver variação de carga.

Embora esse conceito seja obtido de relações em regime, estudos realizados mostram que o fator "BIAS", próximo à característica de regulação da área, resulta em ótimo desempenho do controle.

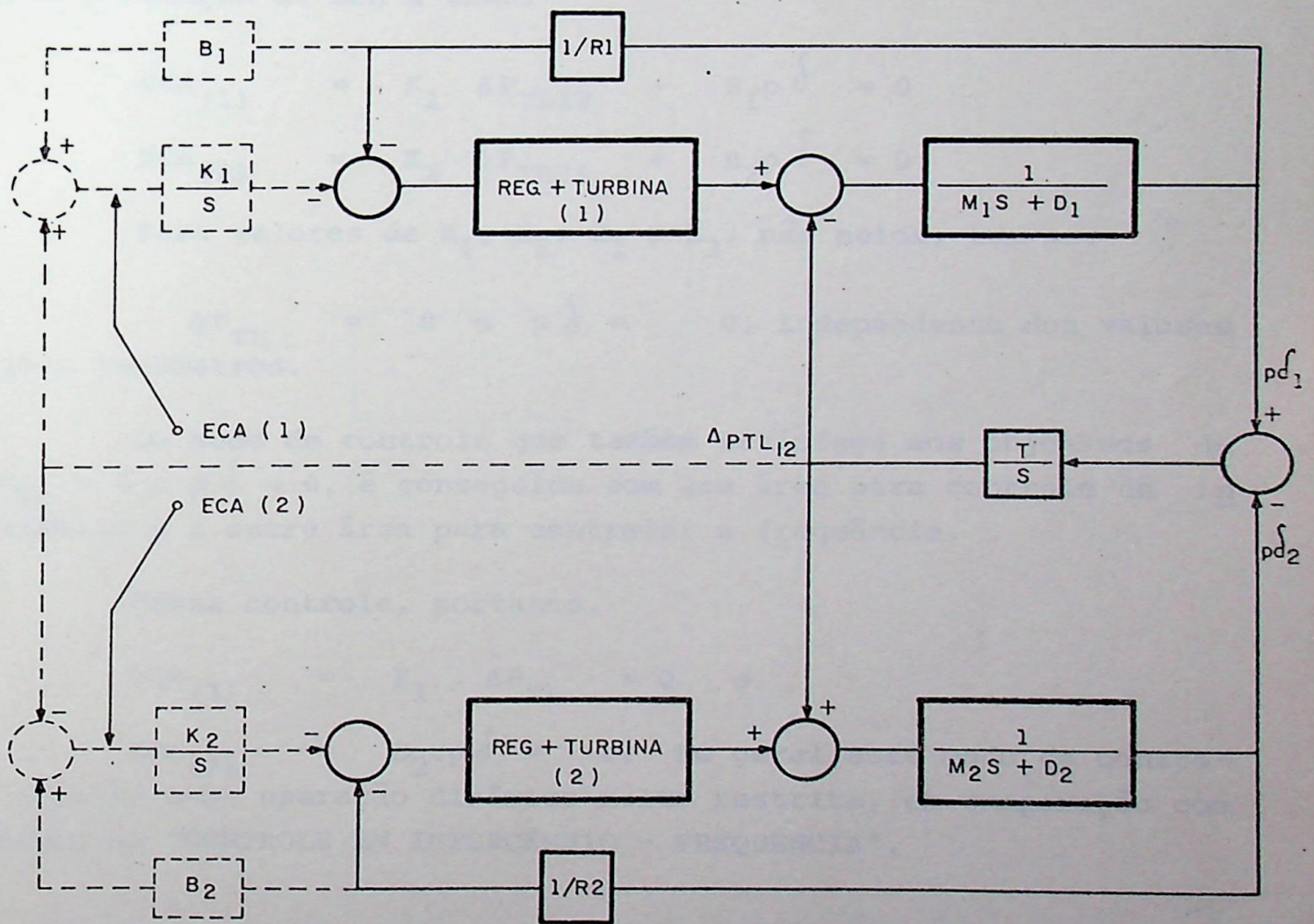


FIG. 13

Deve-se notar, através de considerações em regime, que não é crítico se ter o fator "BIAS" exatamente igual à característica de regulação.

Para chegar-se ao resultado de $\Delta P_{TL} = 0$ e $p\delta = 0$, qualquer combinação dos erros de controle de área, que contém componentes de frequência e variação de intercâmbio, levará estes termos ao valor nulo.

Isto é claramente visto pelo fato de que a ação integral força a redução do ECA à ZERO.

$$ECA_{(1)} = K_1 \cdot \Delta P_{TL12} + B_1 p \delta = 0$$

$$ECA_{(2)} = K_2 \cdot \Delta P_{TL21} + B_2 p \delta = 0$$

Para valores de K_1 , K_2 , B_1 e B_2 , não nulos, tem-se:

$\Delta P_{TL} = 0$ e $p\delta = 0$, independente dos valores desses parâmetros.

Um modo de controle que também satisfaça aos objetivos de $\Delta P_{TL} = 0$ e $p\delta = 0$, é conseguido com uma área para controle de intercâmbio e a outra área para controlar a frequência.

Nesse controle, portanto,

$$ECA_{(1)} = K_1 \cdot \Delta P_{TL} = 0 \quad \text{e}$$

$ECA_{(2)} = B_2 \cdot p\delta = 0$. Em geral este modo de controle resulta numa operação dinâmica muito restrita, em comparação com o misto ou "CONTROLE EM INTERCÂMBIO - FREQUÊNCIA".

9.5.

CONTROLE DE CARGA-FREQUÊNCIA

Um esquema simples de controle de carga-frequência, é mos trado abaixo:

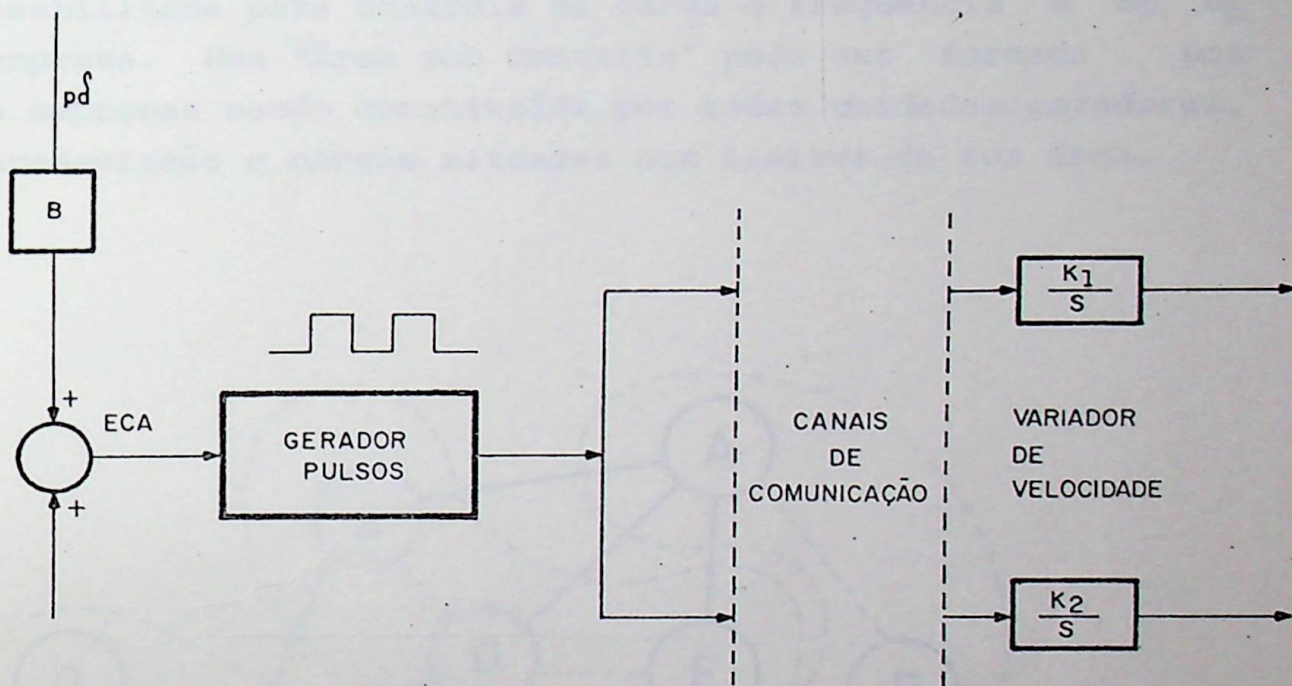


FIG. 14

Um sinal proporcional ao ECA é transmitido aos variador de velocidade das várias unidades ou aos motores das referências de carga.

Esses valores são, realmente, proporcionais à integral do ECA. Os fatores de proporcionalidade são obviamente uma função dos ajustes de resposta de cada unidade K_1, K_2, \dots , etc.

10.

ÁREAS SOB CONTROLE

Considerações:

Um sistema interligado constitui-se de uma ou mais " Áreas sob Controle ". Define-se "Área sob Controle" como uma parte do sistema interligado, formada por um conjunto de instalações elétricas cuja responsabilidade para controle de carga e frequência é de determinada empresa. Uma "Área sob Controle" pode ser formada por uma ou mais empresas sendo constituída por todas unidades geradoras, linhas de transmissão e cargas situadas nos limites de sua área.

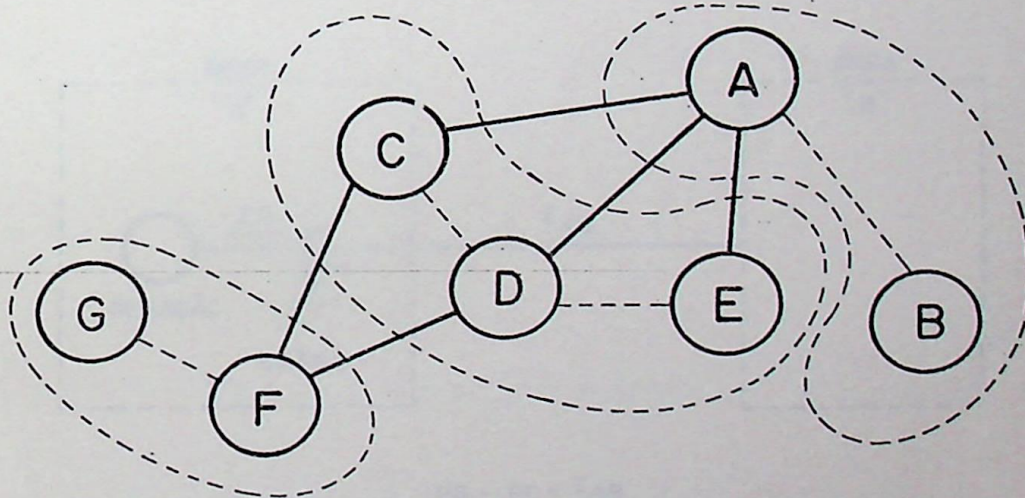


FIG. 15

A figura anterior mostra um sistema interligado composto por três "Áreas sob Controle" - 1, 2 e 3 - com as empresas A, B, C, D, E, F, G.

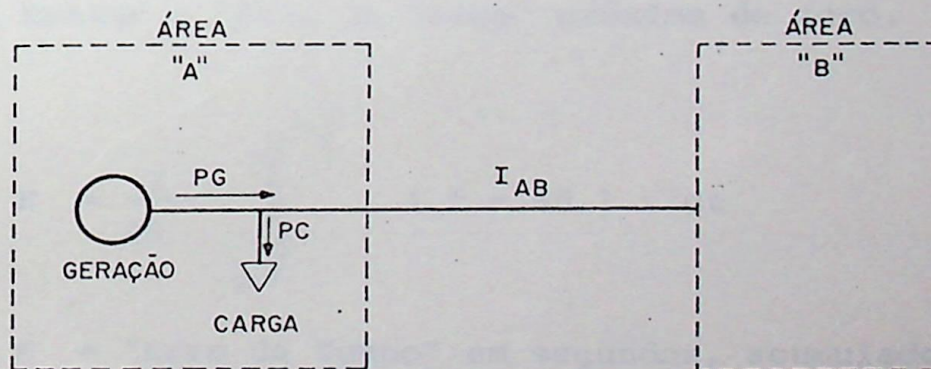
A filosofia básica de operação do sistema interligado pode ser enunciada como:

" CADA ÁREA SOB CONTROLE DEVE ABSORVER AS VARIAÇÕES DE CARGA OCORRIDAS DENTRO DA PRÓPRIA ÁREA " .

Como é impraticável a comparação entre geração e carga total d'uma "Área sob Controle" operando como parte de um sistema interligado, torna-se necessário a utilização de meios indiretos.

No entanto, o valor do fluxo de potência entre 2 áreas adjacentes é um elemento facilmente disponível.

A diferença algébrica entre a geração e a carga total da área, resulta no intercâmbio de potência entre as áreas.



$$PG - PC = I_{AB}$$

FIG. 16

Com a programação da geração - PG - para atender ao programa do fluxo de potência na interligação - I_{AB} - resulta o atendimento das variações das cargas ocorridas dentro dos seus limites.

No caso de haver mais um ponto de intercâmbio entre áreas adjacentes, o INTERCÂMBIO LÍQUIDO - soma algébrica dos fluxos nas interligações - será o valor programado.

11.

OBJETIVOS PROGRAMADOS

Três modos de operação com controle suplementar são possíveis:

- controle em frequência constante
- controle em intercâmbio constante
- controle em intercâmbio-frequência

Para um sistema interligado com as várias áreas operando em controle em Intercâmbio-Frequência, distinguem-se objetivos operativos do sistema e das áreas individualmente..

De acordo com a prioridade, em ordem decrescente, os objetivos são os seguintes para o sistema:

1. Assegurar a manutenção do equilíbrio entre a geração e a carga total.
2. Manter o "Erro de Tempo" próximo de zero.

$$E = \frac{1}{60} \int_0^T (f - 60) \cdot dt$$

E = "Erro de Tempo" em segundos, acumulado no intervalo tempo T

f = frequência do sistema, em Hz

E para as Áreas sob Controle, os objetivos são:

1. Manter a igualdade entre o valor do Intercâmbio Líquido Real e o Programado, quando a frequência é igual ao valor programado. ($I = I_0$, quando $f = f_0$).
2. Possibilitar ao Intercâmbio Líquido Real desviar do valor programado para socorrer outras áreas, quando a frequência do sistema for diferente do valor programado.
($I \neq I_0$, quando $f \neq f_0$).

3. Participar do controle da frequência do sistema, visando obter $f = f_0$.
4. Participar da correção do "Erro de Tempo" acumulado em determinado intervalo de tempo.
5. Reduzir a zero o Intercâmbio Involuntário acumulado.

$$I_{INV} = \int_0^T (I - I_0) dt$$

6. Otimizar a operação econômica dentro dos limites de segurança.

É importante observar que apenas o objetivo do item (1), isto é, manter o equilíbrio entre a geração e carga é conseguido a partir da REGULAÇÃO PRIMÁRIA.

Todos os outros objetivos são alcançados pelo CONTROLE SUPLEMENTAR.

12.

EQUAÇÃO DO "CONTROLE EM INTERCÂMBIO-FREQUÊNCIA"

A atuação do controle automático de geração atuando no modo misto tem como fundamento a determinação do Erro de Controle de Área - ECA - que é definido pela expressão seguinte:

$$ECA = (I - I_0) - B \cdot (f - f_0)$$

onde: ECA = Erro de Controle de Área (MW)

I = Intercâmbio Líquido, obtido por telemedicação dos pontos de interligação (MW)

I_0 = Intercâmbio Líquido Programado

B = Bias de Frequência (MW/0.1 Hz)

$f = f - f_0$ = desvio de frequência, expresso em décimos de Hz

O Erro de Controle de Área - ECA - de uma "Área sob Controle", grandeza em (MW), define um excesso ou déficit de geração da área que deve ser corrigido através do controle suplementar. Um erro de controle de área positivo corresponde a um excesso de geração, logo o controle será no sentido de diminuir a geração da área.

BIAS DE FREQUÊNCIA - B - de uma "Área sob Controle", grandeza geralmente expressa em (MW/0.1Hz) é uma constante negativa que sendo multiplicada pelo desvio da frequência fornece em (MW) a parcela sob responsabilidade da área.

O valor de β é uma característica da "Área sob Controle" enquanto que o BIAS DE FREQUÊNCIA - B - é um valor ajustado no equipamento de controle.

Um ponto a ressaltar é o fato de que tanto os fluxos nas interligações, como a frequência do sistema e os "ECA" oscilam com períodos de alguns segundos, não se fazendo nenhum esforço no sentido de controlar tais variações, o que provavelmente se ria mal sucedido, considerando-se os atrasos na telemedição, no mecanismo dos reguladores de velocidade e na resposta das unida des geradoras.



IV - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO DE CONTROLE AUTOMÁTICO
DE GERAÇÃO - CESP

1. GENERALIDADES

1.1. PARÂMETROS DO SISTEMA

O sistema de controle carga-frequência é projetado para controlar as gerações das usinas de acordo com o cálculo do "Erro de Controle de Área".

O "Erro de Controle de Área", parâmetro fundamental nesse controle, é determinado a partir de valores obtidos de medições de frequência e intercâmbio de potência. O valor calculado do ECA indicará de quanto a geração deve aumentar ou diminuir para tender as condições das cargas e dos intercâmbios de potência.

Por razões de despacho de carga, o ECA é dividido em Erros de Controle de Usina - ECU - individualmente. O Erro de Controle de Usina determina, para cada usina, a sua parcela de contribuição na correção da potência gerada, de acordo com sua disponibilidade e independente das outras unidades.

Um "Controlador Mestre" gera pulsos em acordo com a duração e direção do Erro de Controle de Área, determinando a ação corretiva adequada, pelo envio de pulsos de controle, individuais para cada usina, por meio de canais de telemedição.

Ajustes periódicos do ponto base das usinas - PB - valor de geração definido por um programa de despacho econômico ou outro critério operativo, e porcentagem de participação das mesmas no controle - KP - são possíveis de se fazer manualmente.

Além do modo normal de controle, conta-se com o tipo de "Assistência de Emergência". Quando o Erro de Controle de Área torna-se excessivo, todas usinas participam na solicitação com seus limites máximos.

Por ocasião da entrada no modo de "Assistência de Emergência", soará um alarme e ainda atuará um indicador visual.

1.2.

MODO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

Todo o sistema de computação opera em tensões DC que representam determinadas variáveis. Essas tensões são relacionadas com as variáveis reais pela calibração de constantes expressas em (milivolts/megawatts).

O equipamento compõe-se de amplificadores operacionais - AO - transistorizados, relés e fontes de alimentação a eles associados.

Os amplificadores são fornecidos em circuito impresso, montados em receptáculos apropriados.

As informações de entrada aos circuitos de computação são obtidas por meio de receptores de telemedição, transdutores de frequência e ajustes manuais.

Leitoras são previstas para registrar e/ou indicar variáveis do sistema e das usinas.

2.

OBTENÇÃO DO ERRO DE CONTROLE DE ÁREA

2.1. INTERCÂMBIO LÍQUIDO TOTAL:

Telemedição e Transdutores são usados para transmitir os vários sinais de intercâmbio medidos.

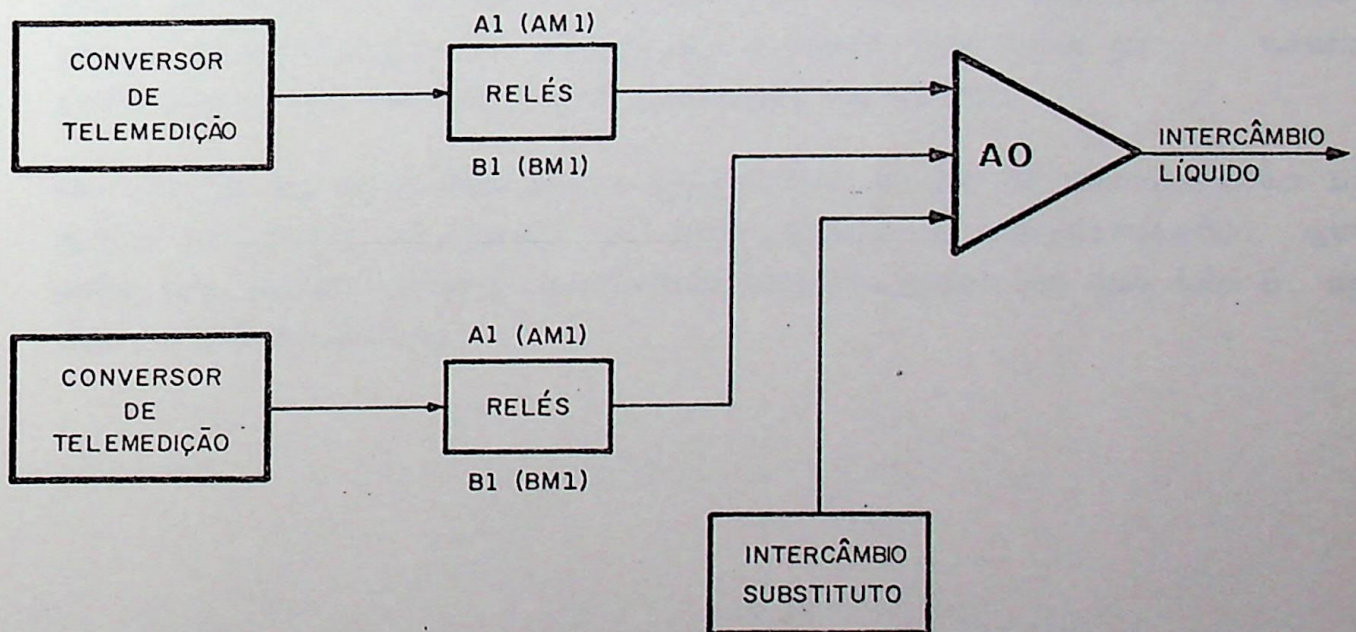


FIG. 17

A saída dos conversores de telemedição é uma tensão regulada, proporcional à frequência.

As entradas dos intercâmbios telemedidos são ligadas individualmente aos amplificadores de intercâmbio líquido através de grupos de relês A1 e B1, que são energizados apropriadamente quando determinadas interligações entram em controle e, ainda, os grupos AM_1 e BM_1 , que são energizados quando há falha na telemedição de alguma interligação.

No caso de falha na telemedição os contatos AM_1 e BM_1 se abrem e as saídas dos AOs totalizadores permanecem com seus últimos valores lidos. Quando a falta é confirmada, a interligação é tirada do controle através de botoeira apropriada na mesa do operador. Um intercâmbio substituto pode ser então utilizado no controle. Quando há falha na telemedição atua um relê de atraso de tempo que opera no sentido de retirar a interligação do controle, a menos que isso já tenha sido feito da maneira anteriormente descrita.

Em adição às entradas dos conversores ao AO de Intercâmbio Líquido prevê-se um ajuste de intercâmbio de substituição, que pode ser usado também em alguma interligação em que não é medido o intercâmbio.

2.2. INTERCÂMBIO LÍQUIDO PROGRAMADO

O circuito compõe-se de 2 partes:

- Ajuste do Intercâmbio Líquido Programado
- Ajuste da Taxa de Variação

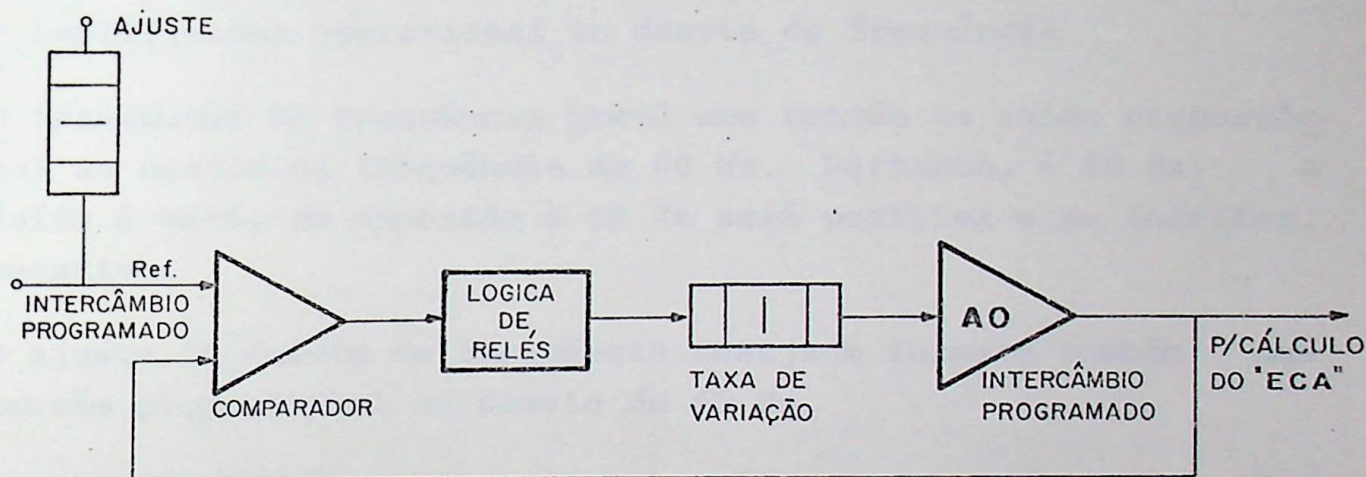


FIG. 17A

Quando as entradas no comparador são iguais, isto é, o intercâmbio programado ajustado (Ref.) é igual ao calculado (saída do AO) sua saída será zero. Em caso contrário, de acordo com o sentido do desequilíbrio, a saída do comparador atuará sobre os relés no sentido de alcançar uma saída do AO igual ao valor de entrada do intercâmbio programado, de acordo com a taxa de variação ajustada.

Quando se quer uma variação instantânea é possível, pela atuação em botoeira própria, obter-se uma taxa de variação bastante rápida.

2.3. "DESVIO DE FREQUÊNCIA" E "BIAS"

O circuito de cálculo do desvio de frequência consiste de:

- transdutor de frequência
- ajuste programado do desvio de 60 Hz
- ajuste do BIAS de frequência
- amplificador operacional do desvio de frequência

O transdutor de frequência prevê uma tensão na saída proporcional ao desvio da frequência de 60 Hz. Portanto, à 60 Hz, a saída é zero, se superior à 60 Hz será positiva e se inferior, negativa.

O ajuste do desvio de frequência desejado fornece também uma tensão proporcional ao desvio de 60 Hz.

Essas duas tensões análogas, subtraídas no AO, resulta no desvio de frequência do valor programado ou frequência-base.

A saída é aplicada ao ajuste do BIAS de frequência que atua como um fator multiplicador ajustável para converter o desvio de frequência em um fator de conexão em MW. O ajuste do BIAS é calibrado em Megawatts por décimo de Hertz.

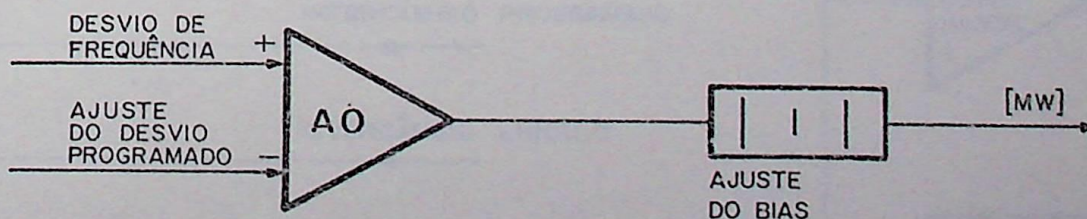


FIG. 17B

2.4. ERRO DE CONTROLE DE ÁREA

O Erro de Controle de Área, é derivado do Intercâmbio Líquido (real), Intercâmbio Programado (desejado), frequência real e programada e do BIAS de frequência.

O modo de controle pode ser escolhido pelo chaveamento entre três posições que permitem as entradas de acordo com o modo determinado.

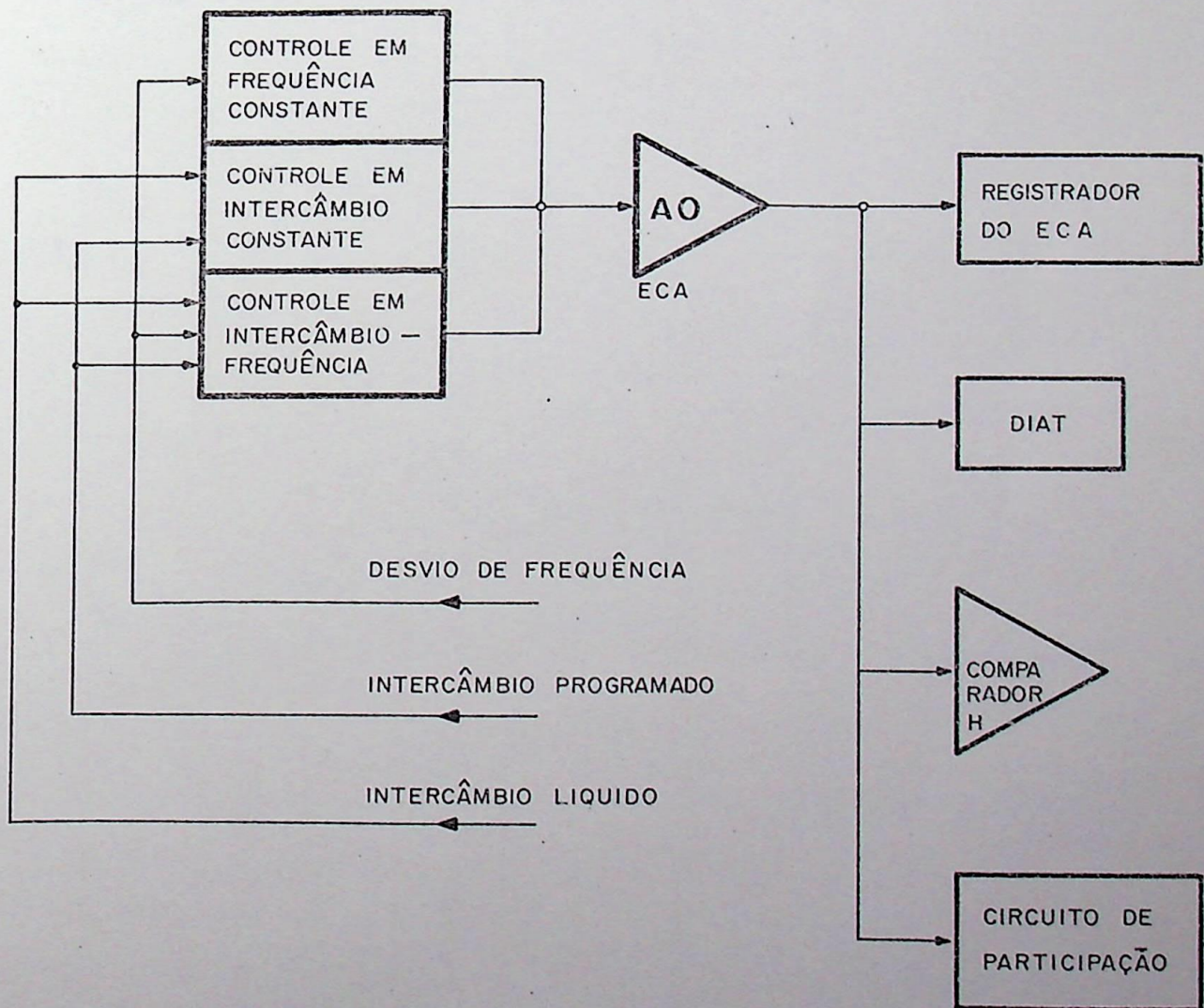


FIG. 18

A saída do AO, ECA, representa a variação necessária na geração do sistema para atender às cargas e aos intercâmbios.

Essa saída é aplicada ao Controlador Mestre, ao Comparador de Assistência de Emergência, ao Circuito de Participação e ao registrador do ECA.

O circuito Comparador de Assistência de Emergência com para o ECA com valores limites previamente ajustados. Sua função, quando há violação desses limites, é desprezar o circuito do cálculo do Erro de Controle de Usina e fazer com que sejam enviados pulsos para todas usinas em controle, respeitando os limites de geração das mesmas.

2.5. ERRO DE CONTROLE DE USINA

O Erro de Controle de Usina é definido como sendo:

A geração desejada da usina menos a sua geração real, mais K vezes: a geração real total menos a geração desejada de todas as usinas sob controle somado ainda ao ECA.

Nesta definição " K " é a participação na variação de carga que deve ser atendida por essa usina.

Na figura abaixo representa-se por \underline{K} o valor da participação unitária, \underline{D} a geração desejada e \underline{A} o valor de geração real.

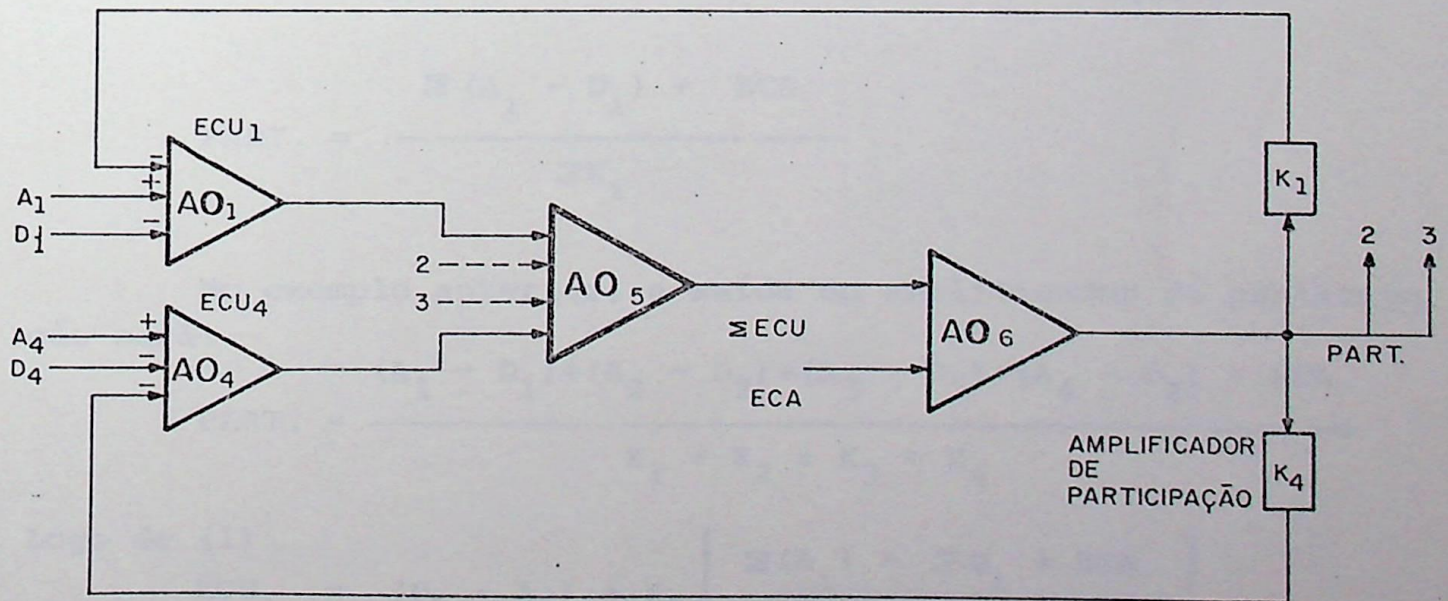


FIG. 19

$$ECU_1 = (D_1 - A_1) + K_1 \text{ (PART)} \quad (1)$$

·
·
·

$$ECU_4 = (D_4 - A_4) + K_4 \text{ (PART)}$$

$$\Sigma ECU = \Sigma(A_i - D_i) - \Sigma K_i \text{ (PART)}$$

AMPLIFICADOR DE PARTICIPAÇÃO

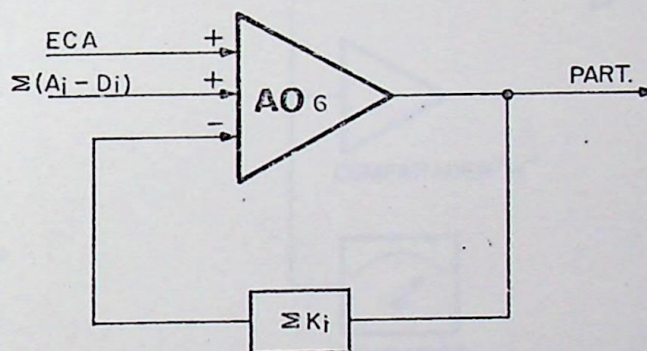


FIG. 19A

$$PART. = \frac{\Sigma(A_i - D_i) + ECA}{\Sigma K_i}$$

No exemplo anterior, a saída do amplificador de participação será:

$$PART. = \frac{(A_1 - D_1) + (A_2 - D_2) + (A_3 - D_3) + (A_4 - D_4) + ECA}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}$$

Logo de (1)

$$ECU_1 = (D_1 - A_1) + K_1 \left[\frac{\Sigma(A_i) - \Sigma D_i + ECA}{\Sigma K_i} \right]$$

Como: $\Sigma K_i = 1$

$$ECU_i = (D_i - A_i) + K_i \left[\Sigma A_i - \Sigma(D_i) + ECA \right]$$

4.

CONTROLADOR MESTRE

Os pulsos do Controlador Mestre são gerados pelo DIAT e enviados através da atuação de relés que compõem os circuitos de controle.

A função básica do Controlador Mestre é a de energizar as bobinas de "aumentar" ou de "diminuir" dos relés de pulso mestre de controle.

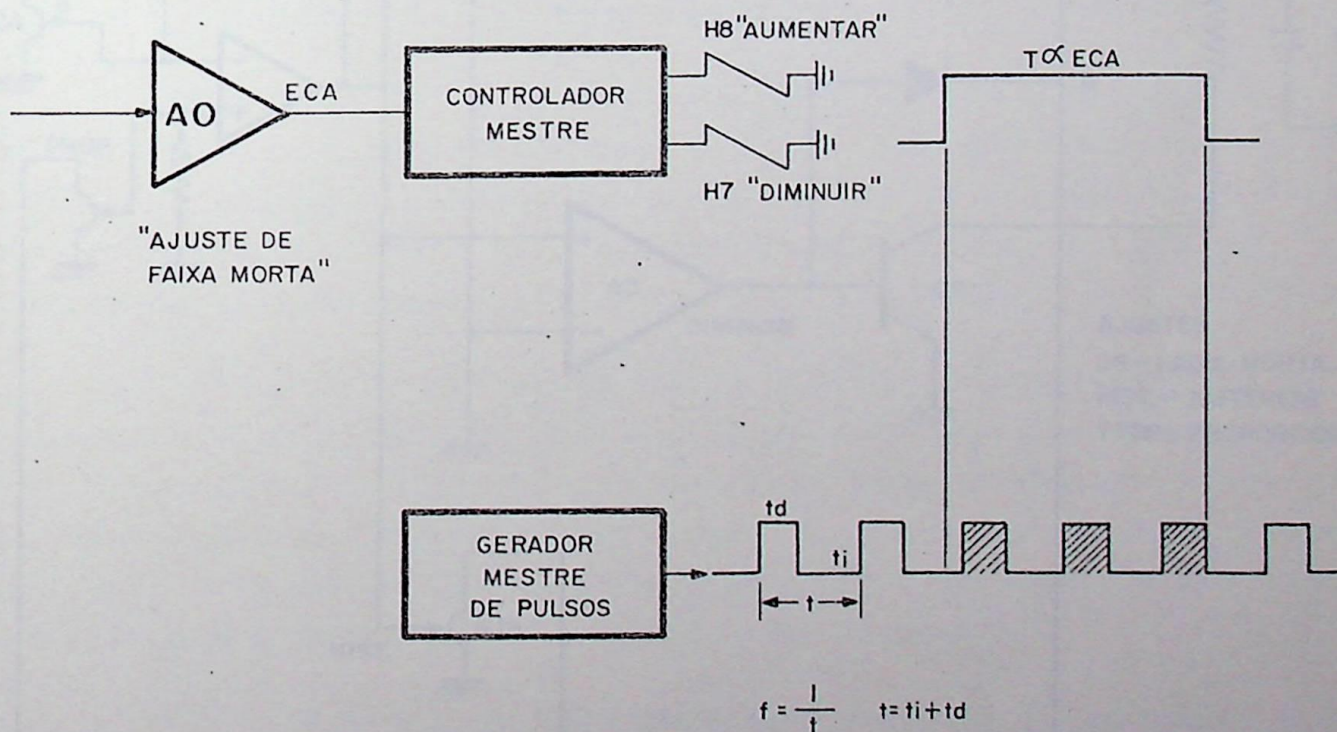


FIG. 20A

5.

DESCRICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO DIAT

"DIRECTIONAL IMPULSE ADJUSTING TYPE"

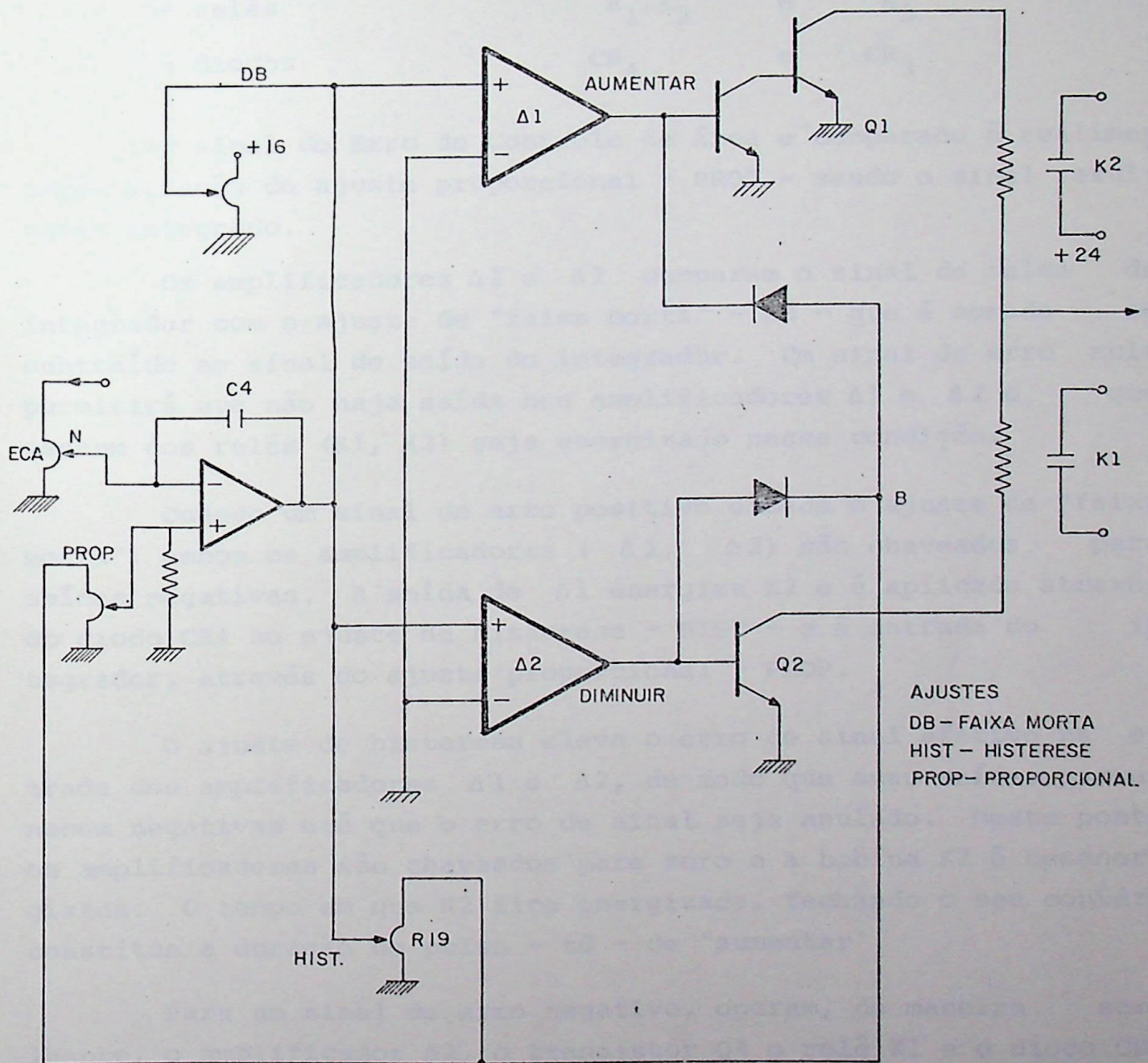


FIG. 22

O esquema do DIAT mostrado na Fig. 22 representa o circuito simplificado composto de:

- amplificadores	$\Delta 1$	e	$\Delta 2$
- transistores	Q_1	e	Q_4
- relés	K_1, K_2	e	K_3
- diodos	CR_4	e	CR_3

O sinal do Erro de Controle de Área é comparado à realimentação através do ajuste proporcional - PROP - sendo o sinal resultante integrado.

Os amplificadores $\Delta 1$ e $\Delta 2$ comparam o sinal de saída do integrador com o ajuste de "faixa morta" - DB - que é somado ou subtraído ao sinal de saída do integrador. Um sinal de erro nulo permitirá que não haja saída nos amplificadores $\Delta 1$ e $\Delta 2$ e que nenhum dos relés (K_1, K_2) seja energizado nessa condição.

Quando um sinal de erro positivo excede o ajuste de "faixa morta", ambos os amplificadores ($\Delta 1, \Delta 2$) são chaveados para saídas negativas. A saída de $\Delta 1$ energiza K_2 e é aplicada através do diodo CR_4 ao ajuste de histerese - HIST - e à entrada do integrador, através do ajuste proporcional - PROP.

O ajuste de histerese eleva o erro de sinal efetivo na entrada dos amplificadores $\Delta 1$ e $\Delta 2$, de modo que suas saídas permanecem negativas até que o erro de sinal seja anulado. Neste ponto os amplificadores são chaveados para zero e a bobina K_2 é desenergizada. O tempo em que K_2 fica energizada, fechando o seu contato, constitui a duração do pulso - t_d - de "aumentar".

Para um sinal de erro negativo, operam, de maneira semelhante, o amplificador $\Delta 2$, o transistor Q_4 o relé K_1 e o diodo CR_3 .

O número de pulsos resultante é função da amplitude do sinal do Erro de Controle de Área e pode ser variado através do ajuste proporcional - PROP.

O relé K3 permite a operação em automático ou manual. Nesse último modo, o contato K3 é fechado provocando uma ação mais rápida do controle.

6.

ANÁLISE DE COMUNICAÇÃO

Os pulsos gerados são transmitidos às usinas e tem ajustes apropriados de duração e frequência.

Convém observar que a geração de pulsos do Gerador Mestre é contínua e independente das condições do sistema de controle.

Os pulsos gerados são transmitidos aos "clippers" dos circuitos de transmissão de pulsos de cada usina.

Ajustes próprios de duração e frequência do "clipper" determinam as características finais do trem de pulsos transmitidos às usinas.

SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE PULSOS

"CLIPPER"

Na fig. 22A está ilustrado o sistema de transmissão de pulsos utilizado pelo computador analógico.

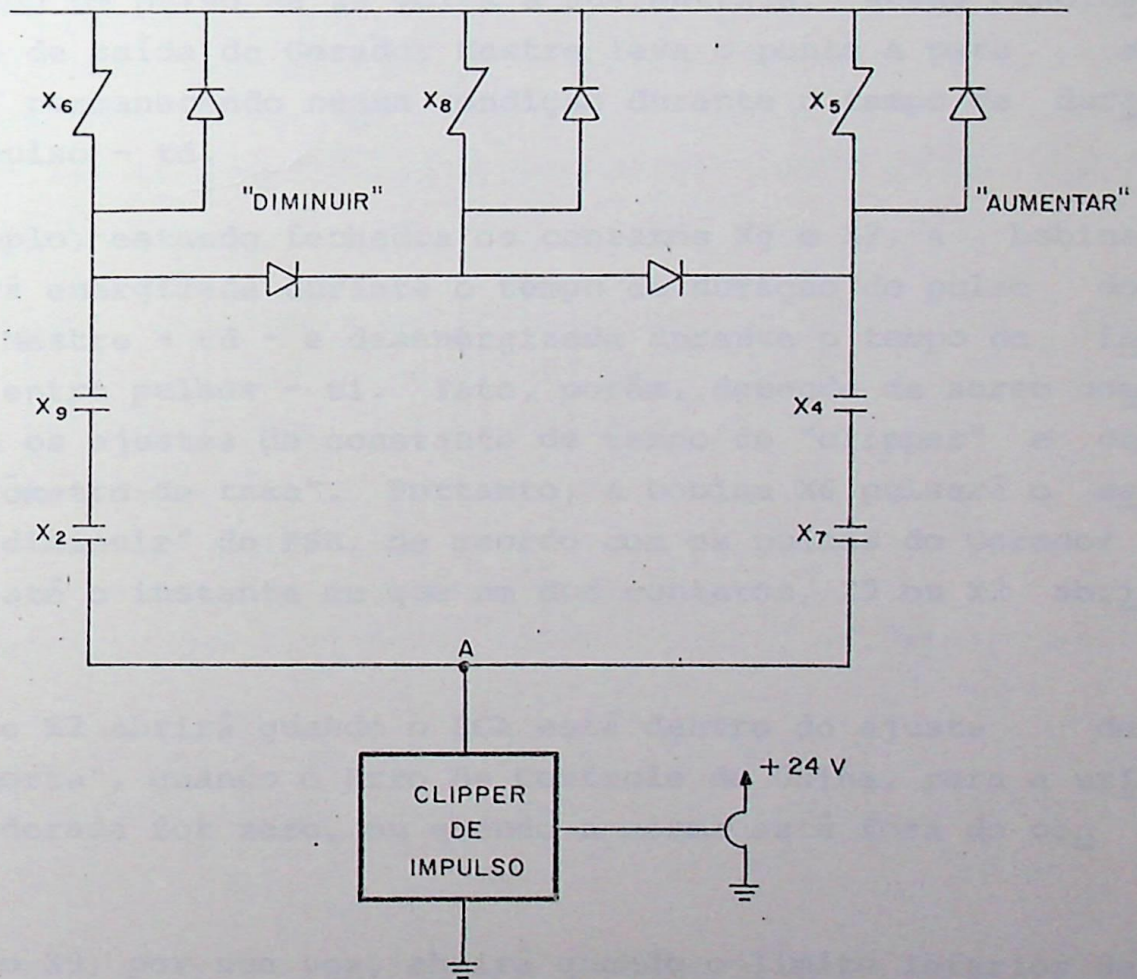


FIG. 22A

Destacam-se:

1. Circuito de Transmissão de pulsos, individual para cada usina geradora sob controle.
2. Bobinas X6 e X5, dos relés de "aumentar" e de "diminuir", respectivamente, que pulsam os canais de comunicação há no estágio final de transmissão.

O "clipper" de impulso opera como sendo uma chave de estado sólido, proporcionando um "terra" à cargas resistiva, quando é aplicado um pulso de 24 volts a sua entrada. Nesse caso, cada pulso de saída do Gerador Mestre leva o ponto A para a "terra", permanecendo nessa condição durante o tempo de duração do pulso - td.

Por exemplo, estando fechados os contatos Xg e X2, a bobina X6 ficará energizada durante o tempo de duração do pulso do Gerador Mestre - td - e desenergizada durante o tempo de intervalo entre pulsos - ti. Isto, porém, depende de serem compatíveis os ajustes de constante de tempo do "clipper" e do "potenciômetro de taxa". Portanto, a bobina X6 pulsará o canal de "diminuir" do FSK, de acordo com os pulsos do Gerador Mestre, até o instante em que um dos contatos, X9 ou X2 abrirem.

O contato X2 abrirá quando o ECA está dentro do ajuste de "faixa morta", quando o Erro de Controle de Usina, para a usina considerada for zero, ou quando a mesma está fora do controle.

O contato X9, por sua vez, abrirá quando o limite inferior de geração programado for atingido pela usina considerada.

De maneira análoga a energização da bobina X5, de "aumentar", depende dos contatos X4 e X7.

7.

OBSERVAÇÕES

- a) Quando o sinal do ECA, introduzido ao Controlador Mestre, está dentro da "faixa morta" não haverá atuação do controle no sentido de correção. Quando o valor do ECA atinge valores acima ou abaixo de "faixa morta" haverá transmissão de pulsos, e variação da geração até que o ECA caia dentro da "faixa morta", quando então cessa a transmissão de pulsos.
- b) O ECA juntamente com outros valores programados e telemididos permite o cálculo do Erro de Controle de Usina -ECU - para cada usina sob controle. Quando o valor de ECU é nulo não há transmissão de pulsos para esta usina, em particular.
- c) Ao mesmo tempo que o Controlador Mestre inicia sua ação corretiva o Circuito de Participação verifica a programação de cada usina, da qual consta:
- Ponto Básico da Usina
 - Geração da Usina
 - Limites Superior e Inferior de Geração
 - Participação Percentual Acima e Abaixo da Geração Básica
- d) Quando os sinais do ECA e do ECU são contrários não haverá transmissão de pulsos para as usinas consideradas.

8.

ATUAÇÃO DOS PULSOS DE CONTROLE

Os pulsos transmitidos para as usinas atuam sobre o GMA - Atuador. Este por sua vez gera pulsos, de maneira conveniente, que atuam sobre a bobina de "aumentar (R)" ou de "diminuir (L)" do motor de sincronização determinando a posição do potenciômetro e a variação na referência do sistema de regulação de velocidade.

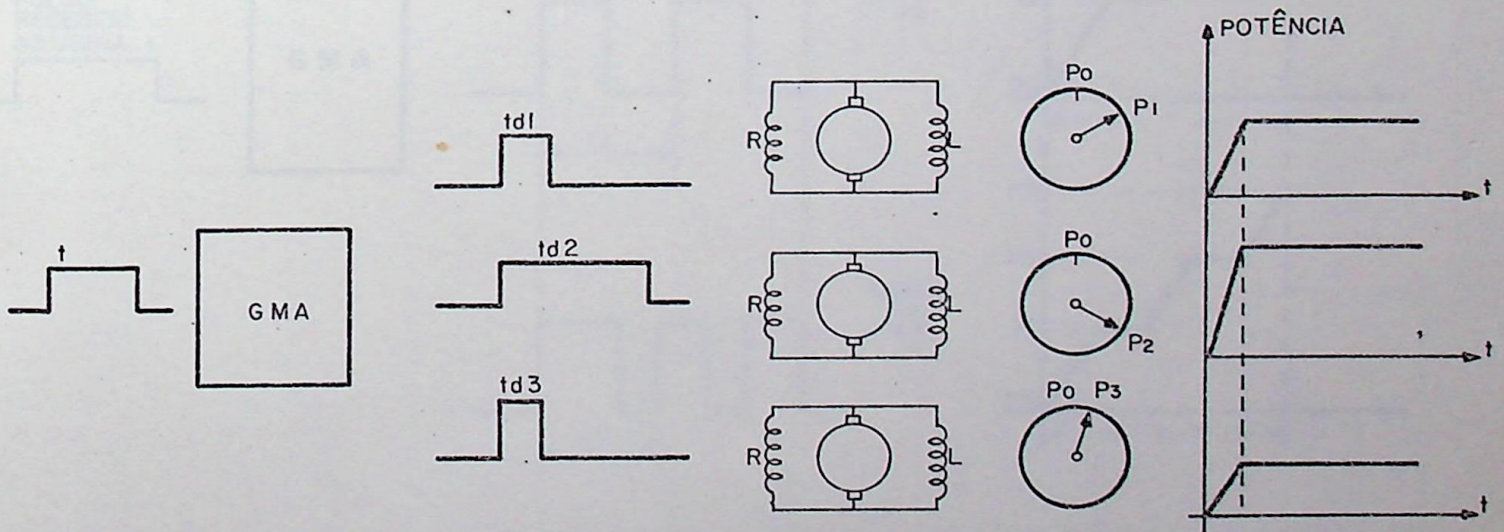
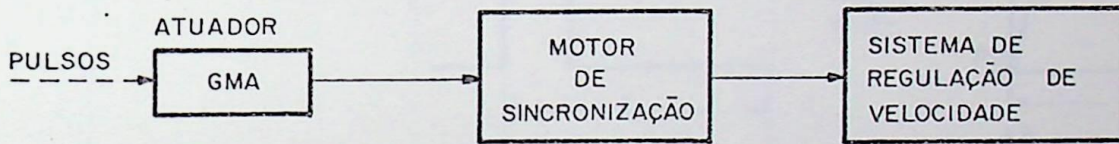
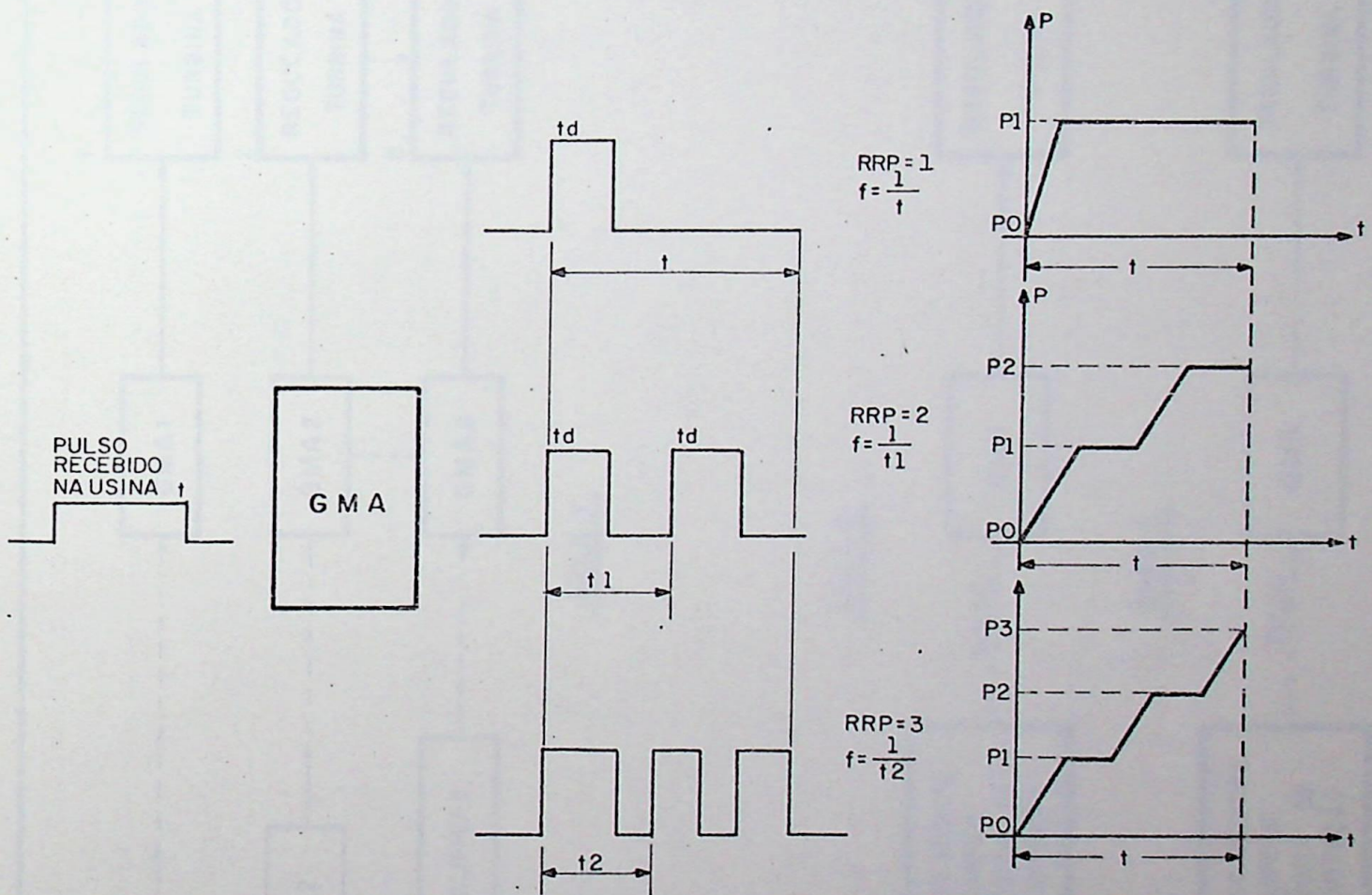


FIG. 23

OBSERVAÇÕES

- A cada pulso de entrada corresponde um ou mais pulsos de saída do GMA, de acordo com a Razão de Repetição de Pulso - RRP -

- Para uma duração maior do pulso de saída do GMA a variação do potenciômetro será maior.
- Ajustes diferentes para "aumentar" e "diminuir" permitem variar a duração e frequência dos pulsos do GMA.
- A variação de potência consequente de cada pulso é avaliada em (MW/pulso).



$$P_1 - P_0 = P_2 - P_1 = P_3 - P_2 = \Delta P$$

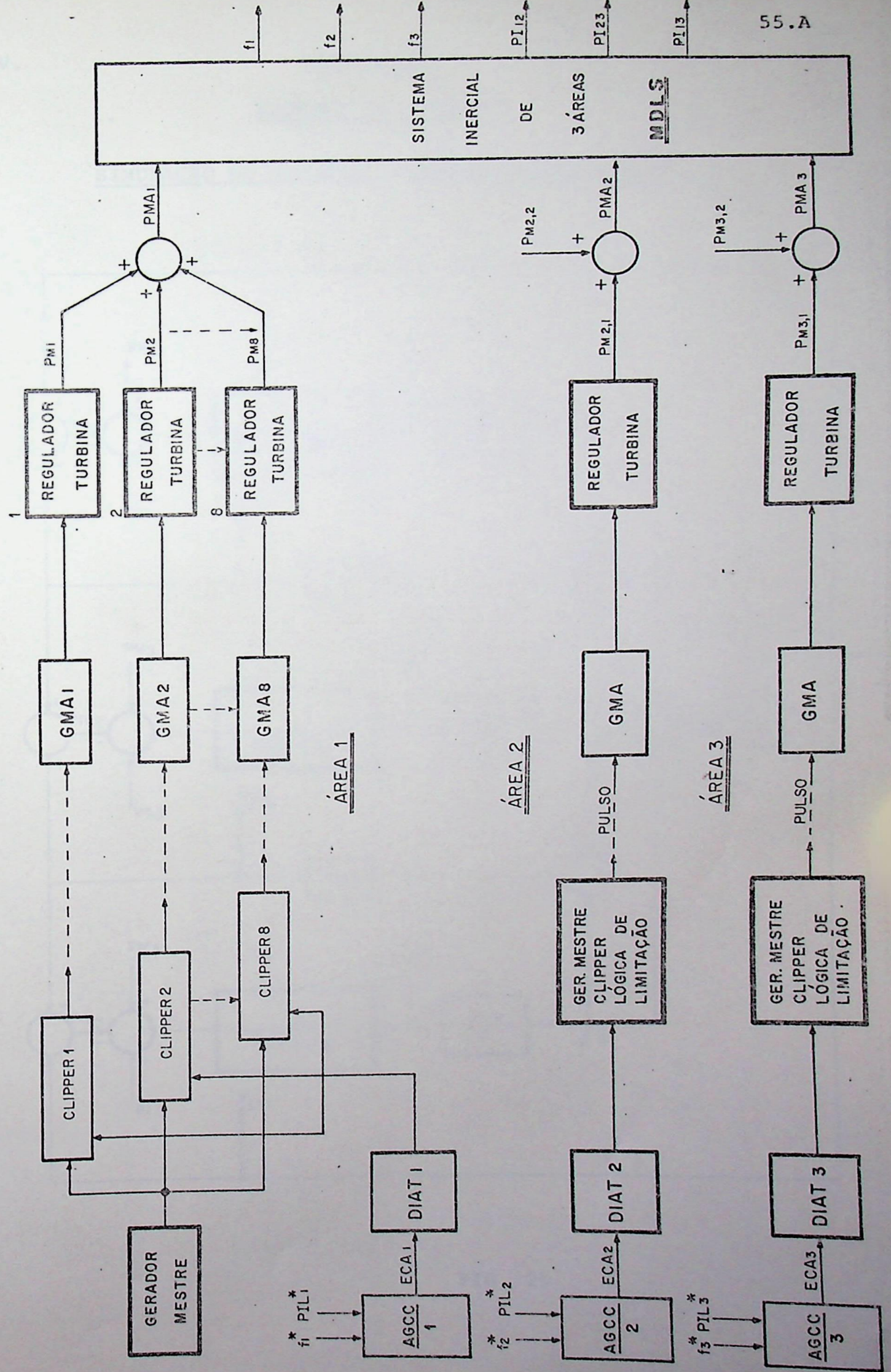
$$\Delta P \propto t_d$$

De acordo com o fabricante

t_d 10 à 100 ms

RRP: $f = 0,7 \rightarrow 7$ pps

FIG. 24



V.

MODELAGEM

1. ESQUEMA DE 3 ÁREAS

SIMULAÇÃO DO CONTROLE AUTOMÁTICO DE GERAÇÃO

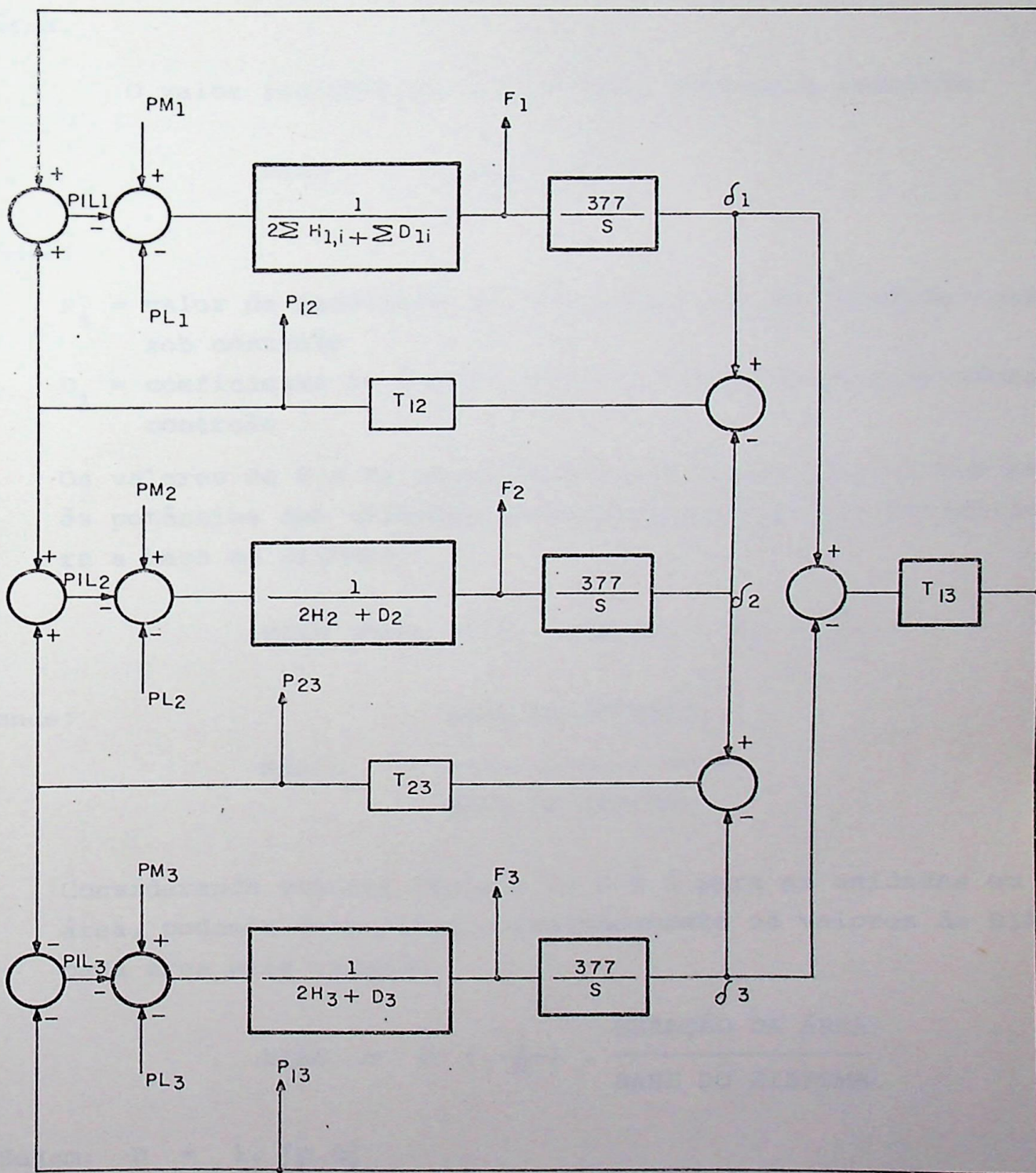


FIG. 25

2.

BIAS DE FREQUÊNCIA

Um parâmetro que requer especial atenção é o "BIAS" de cada área.

O valor recomendado é dado pela expressão seguinte:

$$\text{BIAS} = \sum (D_i + \frac{1}{R_i})$$

onde:

R_i = valor da regulação de velocidade de cada unidade geradora sob controle

D_i = coeficiente de amortecimento de cada unidade geradora sob controle

Os valores de D e R, normalmente, são dados em p.u. com relação às potências das unidades geradoras, devendo ser convertidos para a base do sistema.

$$\text{BIAS SBASE} = \sum_i (\text{MBASE}_i (D_i + \frac{1}{R_i}))$$

onde:

$$\text{MBASE}_i = \frac{\text{BASE DA UNIDADE}_i}{\text{BASE DO SISTEMA}}$$

Considerando valores típicos de D e R para as unidades em cada área, podemos determinar aproximadamente os valores de BIAS de cada área pela relação

$$\text{BIAS} = (D + \frac{1}{R}) \cdot \frac{\text{GERAÇÃO DA ÁREA}}{\text{BASE DO SISTEMA}}$$

Sejam: $D = 1. \text{ [p.u]}$
 $R = .05 \text{ [p.u]}$

$$\text{BIAS} \approx 21 \times \frac{\text{GERAÇÃO DA ÁREA}}{\text{BASE DO SISTEMA}} \left[\frac{\Delta P}{\text{freq.}} \right]$$

3.

COEFICIENTES DE SINCRONIZAÇÃO

Os coeficientes de sincronização " T_{ij} " podem ser estimados de maneira a causar modos realísticos de oscilação.

Para o sistema brasileiro, essas oscilações estão em torno de 0.5 à 2 Hz.

Para os sistemas ora estudados, ver Fig. 36 pode-se considerar as reatâncias de transferências como:

$$x_{12} = 1. \text{ p.u./2500 MVA}$$

$$x_{13} = 2.5 \text{ p.u./2500 MVA}$$

$$x_{23} = 1. \text{ p.u./1000 MVA (segundo referência do Dr.F. P.de Mello)}$$

Os coeficientes de sincronização na base do sistema serão portanto:

$$T_{12} = \frac{1}{X_{12}} \cdot \cos \delta_{12} \cong 20.$$

$$T_{13} \cong \frac{1}{X_{13}} \cdot \cos \delta_{13} \cong 8.$$

$$T_{23} \cong \frac{1}{X_{23}} \cdot \cos \delta_{23} \cong 8.$$

4. MODELO PADRÃO DA TURBINA - REGULADOR DE VELOCIDADE

RVTF

O modelo RVTF representa uma usina hidráulica com adutora simples, sem tanque de compensação. O modelo da turbina é válido para a variação total da operação da turbina desde velocidade a vazio até abertura máxima "do distribuidor".

O modelo do regulador é aplicável para regulador tipo mecânico (Woodward, Englihs Electric) e para eletrohidráulico (ASEA). Não está prevista ação derivativa, visto que é usada apenas em casos de situações especiais em sistemas muito interligados.

Os ganhos, valor de Regulação Permanente "R" e transitória "r" são especificados na base da potência nominal da unidade.

A velocidade máxima de abertura "do distribuidor" é o recíproco do tempo gasto para o distribuidor variar da posição totalmente fechado à totalmente aberto.

O limite máximo "do distribuidor", GMAX, é igual ao limite ajustado no console, não excedendo 1 p.u.

O limite mínimo é geralmente zero.

A constante de aceleração da água Tw, é o tempo requerido para acelerar a coluna d'água da adutora do repouso até vazão plena.

É dado aproximadamente pela expressão:

$$T_w = \frac{L.Q_r}{G_v.A_p.H_r}$$

onde:

- Q_r = vazão plena
- L = comprimento da linha central, total da adutora até o caracol da turbina
- G_v = aceleração da gravidade
- A_p = seção transversal da adutora
- H_r = queda nominal

O valor de Q_{NL} é dado pela vazão necessária para manter a unidade à vazão com velocidade nominal; valor em p.u. na base da vazão nominal.

O ganho da turbina A_t é dado pela expressão:

$$A_t = \frac{1}{g_{fL} - g_{NL}}$$

onde:

g_{fL} = abertura do distribuidor a plena carga (0 → 1.)

g_{NL} = abertura do distribuidor à vazão (0 → 1.)

Os parâmetros T_r e r podem ser ajustados pelas relações seguintes que fornecem uma diretiva para o ajuste do modelo para cada unidade geradora.

$$T_r = 4T_w$$

$$r = \frac{T_w}{H}$$

REGULADOR DE VELOCIDADE - TURBINA

-61-

MODELO PADRONIZADO

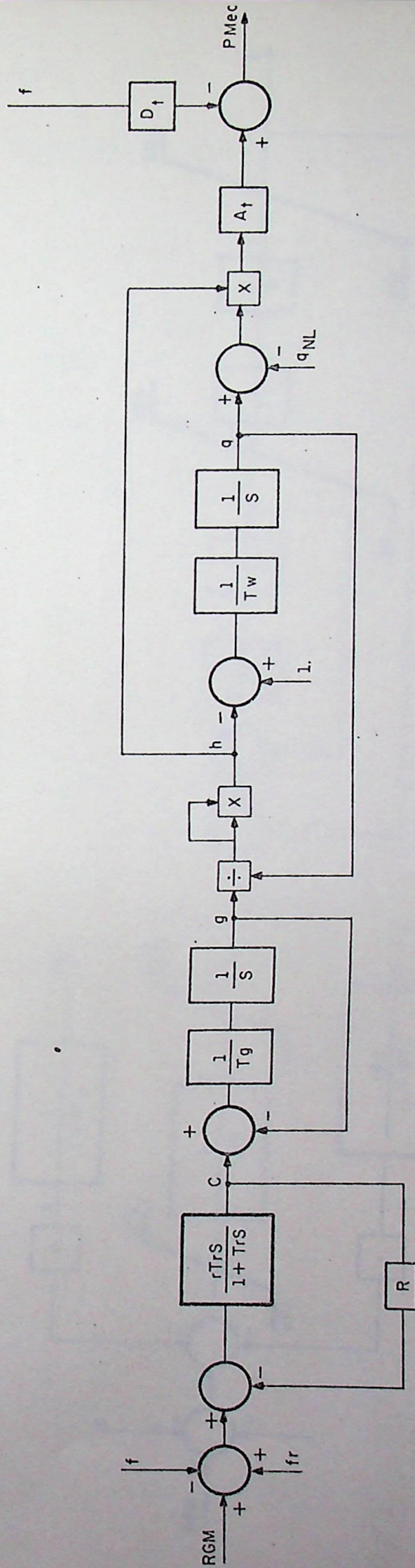


FIG. 26

REGULADOR DE VELOCIDADE - TURBINA

-62-

MODELO ILHA SOLTEIRA

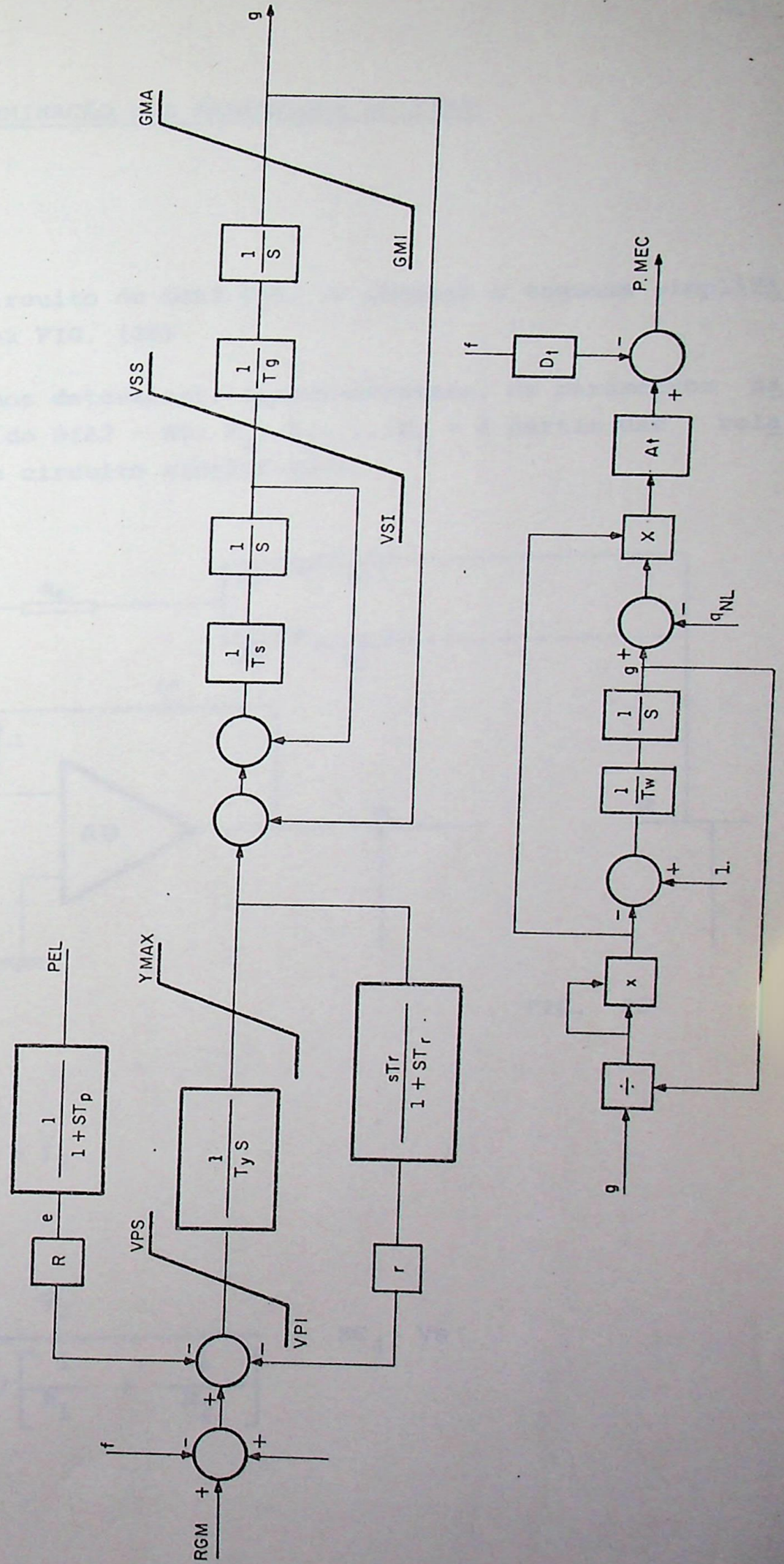


FIG. 27

5. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO DIAT

Do circuito do DIAT FIG. 22 obtemos o esquema simplifi_ cado mostrado na FIG. (28)

Podemos determinar, aproximadamente, os parâmetros pa_ ra a simulação do DIAT - $K_D, K_1, K_2, \dots, K_j$ - a partir das rela_ ções obtidas do circuito simplificado.

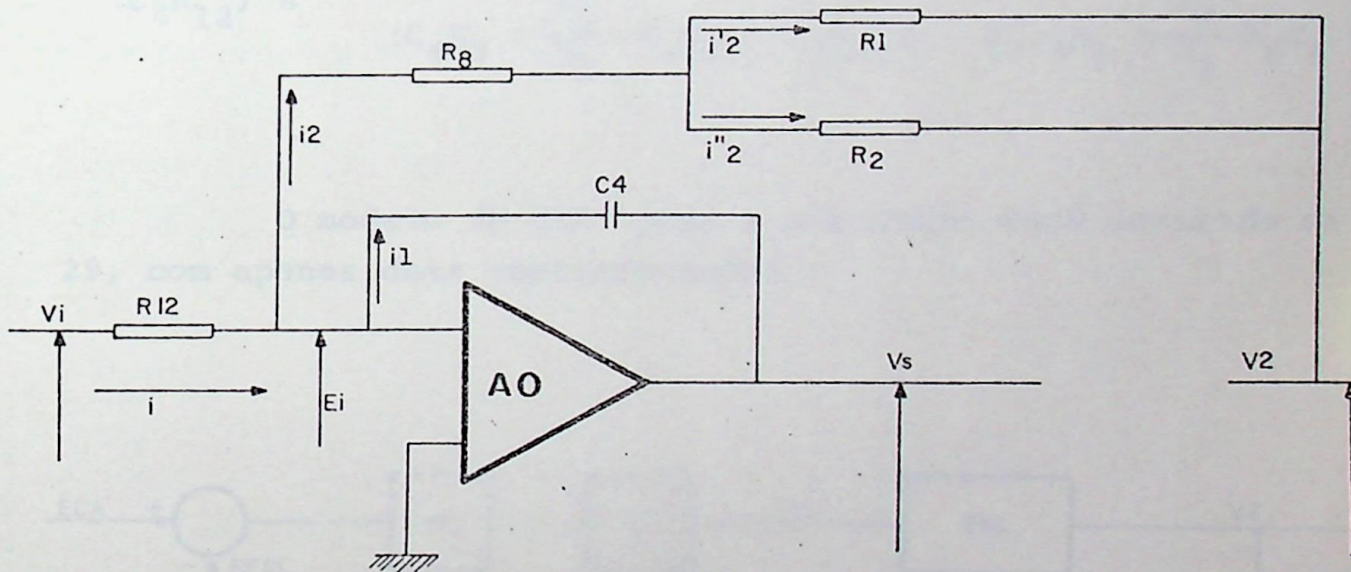


FIG. 28

Temos que:

$$i = i_1 + i_2$$

...

$$\frac{V_i}{R_{12}} = \frac{V_2}{R_8 + 1 / \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right]} + sC_4 \cdot V_s$$

$$V_s = \frac{V_i}{SC_4 R_{12}} - \frac{V_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{SC_4 \left(R_8 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) + 1 \right)}$$

$$V_s = \frac{V_i}{(C_4 R_{12})s} - \frac{V_2}{R_1 C_4 \left(\frac{R_8}{R_1} + \frac{R_8}{R_2} + 1 \right) s} - \frac{V_2}{R_2 C_4 \left(\frac{R_8}{R_1} + \frac{R_8}{R_2} + 1 \right)}$$

$$(1) V_s = \frac{V_i}{(C_4 R_{12})s} - \frac{V_2}{(C_4 R_8 + \frac{R_1}{R_2} C_4 R_8 + R_1 C_4) s} - \frac{V_2}{s(C_4 R_8 + \frac{R_2}{R_1} R_8 C_4 + R_2 C_4)}$$

O modelo do DIAT para a simulação está mostrado na FIG. 29, com apenas duas realimentações.

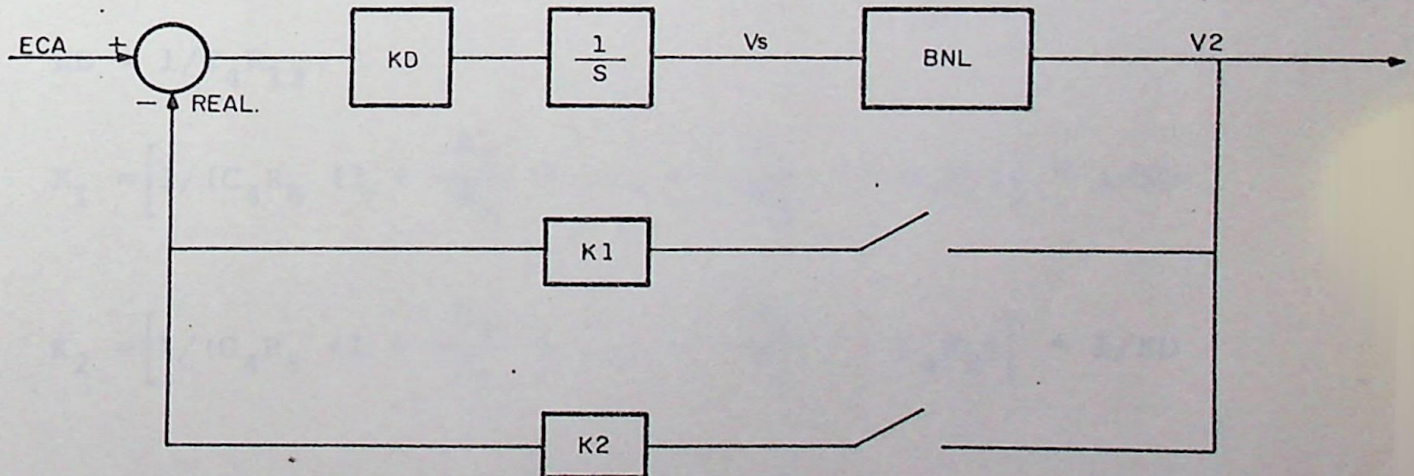


FIG. 29

Da FIG. 20 obtêm-se a seguinte relação:

$$(2) V_s = ECA * \frac{KD}{S} - \left[V_2 * K_1 + V_2 * K_2 \right] * \frac{KD}{S}$$

Comparando (1) e (2) resulta:

$$KD = \frac{1}{C_4 R_{12}}, \quad K_1 = \frac{1/KD}{C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + C_4 R_1}, \quad K_2 = \frac{1/KD}{C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + C_4 R_2}$$

Generalizando a expressão (1).

$$V_s = \frac{V_1}{C_4 R_{12} S} - \frac{V_2}{\left(C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \dots + \frac{R_1}{R_j}\right) + C_4 R_1\right) S} - \dots$$

$$\dots - \frac{V_2}{C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_j}{R_1} + \dots + \frac{R_j}{R_{j-1}}\right) + C_4 R_j} S - \dots$$

$$KD = 1/C_4 R_{12}$$

$$K_1 = \left[1 / \left(C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \dots + \frac{R_1}{R_j} \right) + C_4 R_1 \right) \right] * 1/KD$$

$$K_2 = \left[1 / \left(C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \dots + \frac{R_2}{R_j} \right) + C_4 R_2 \right) \right] * 1/KD$$

$$K_j = \left[1 / \left(C_4 R_8 \left(1 + \frac{R_j}{R_1} + \dots + \frac{R_j}{R_{j-1}} \right) + C_4 R_j \right) \right] * 1/KD$$

6.

RELAÇÃO ENTRE TORQUE E CONSTANTE DE INÉRCIA

Sabemos que os torques de aceleração estão na relação direta das constantes de inércia:

$$\frac{T_{a1}}{T_a} = \frac{H_1}{H}$$

Consideremos duas máquinas com constantes de inércia dadas em relação suas bases próprias.

$$H_1 = \overline{H_1} \quad (MVA_1)$$

$$H_2 = \overline{H_2} \quad (MVA_2)$$

Transpondo H_1 e H_2 à base comum MVA_b teremos a inércia equivalente às duas máquinas igual à :

$$\overline{H_1} \frac{MVA_1}{MVA_b} + \overline{H_2} \frac{MVA_2}{MVA_b} = H$$

Portanto:

$$\frac{T_{a1}}{T_a} = \frac{H_1}{H} = \frac{\overline{H_1} \frac{MVA_1}{MVA_b}}{\overline{H_1} \frac{MVA_1}{MVA_b} + \overline{H_2} \frac{MVA_2}{MVA_b}}$$

Para o caso de constantes de inércia de valores iguais nas bases próprias, teremos a seguinte expressão para a relação de torques de aceleração:

$$\frac{T_{a1}}{T_a} = \frac{MVA_1}{MVA_1 + MVA_2}$$

Essa expressão é usada para determinação da potência elétrica de uma unidade geradora a partir da sua potência mecânica e da potência acelerante total da área.

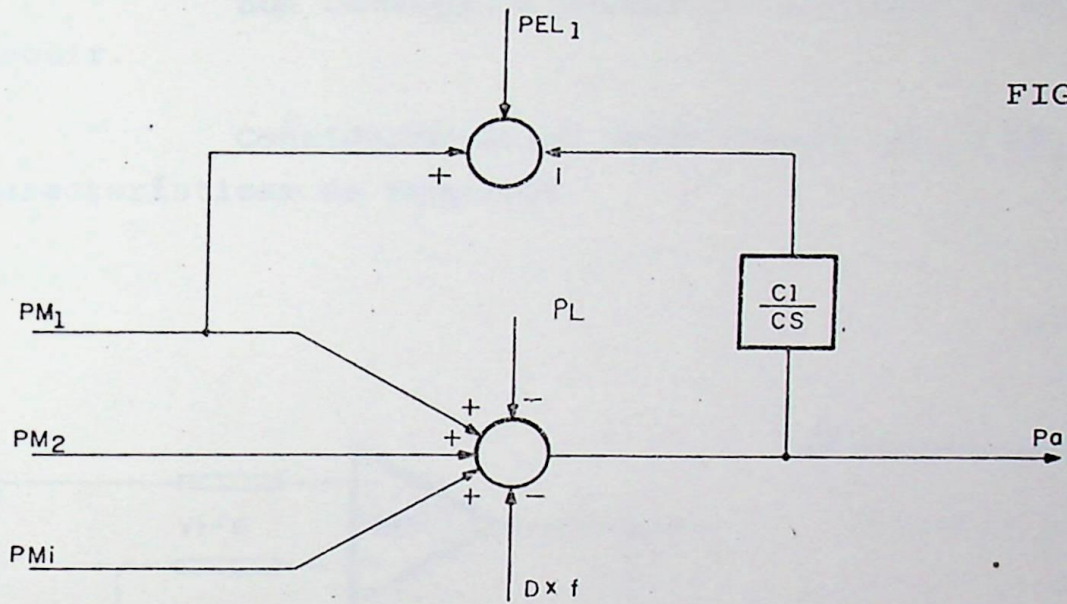


FIG. 30

$$\frac{C_1}{CS} = \frac{MVA_i}{\sum MVA_i}$$

7.

FORMAÇÃO DA FAIXA MORTA

Tem-se no circuito do DIAT - Directional Impulse Adjusting Type - a formação de uma "faixa morta". (Ver FIG. 22)

Sua obtenção a partir do circuito é mostrada a seguir.

Considerem-se os operacionais AO_1 e AO_2 com suas características de resposta.

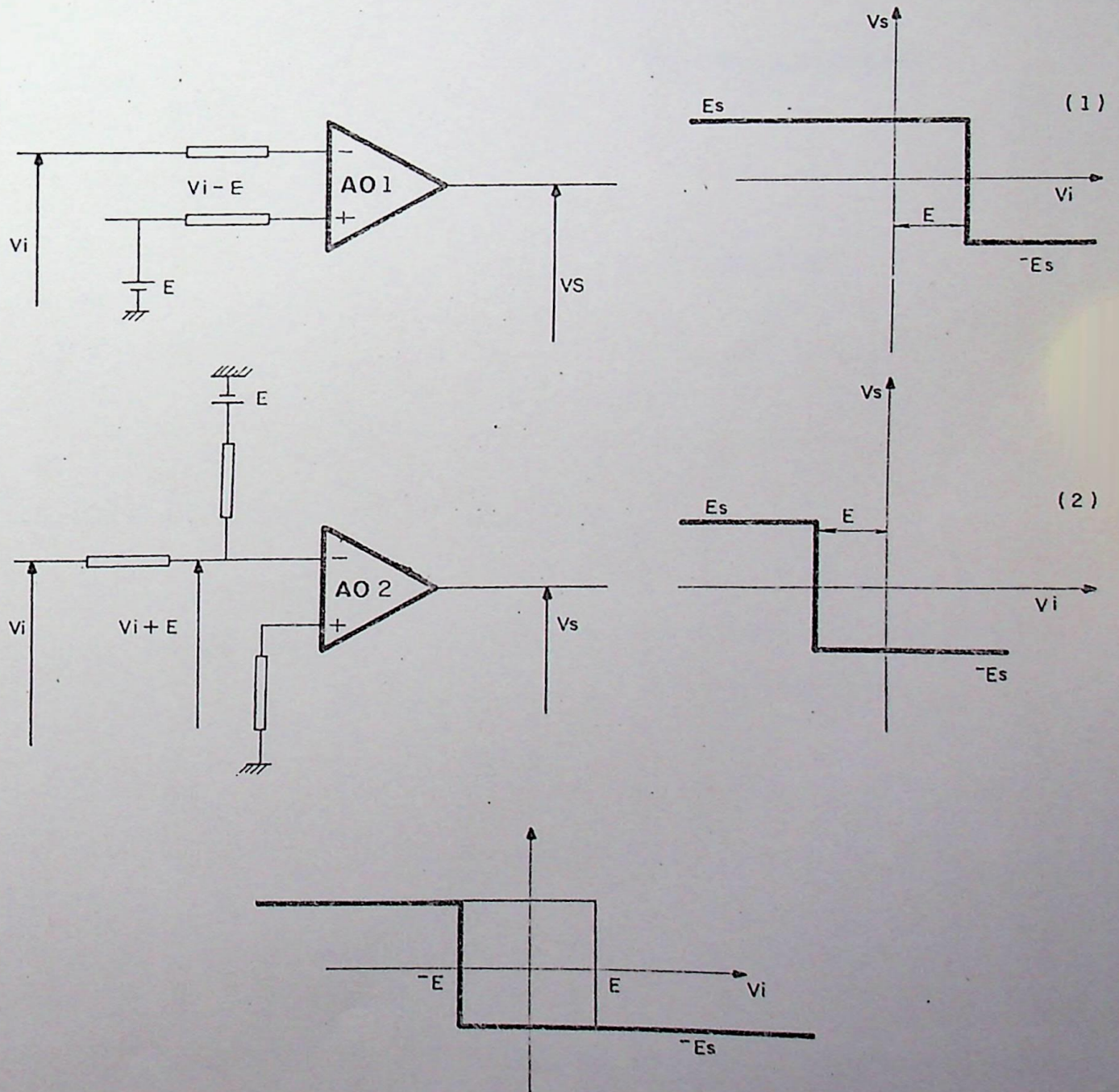


FIG. 31

Para o esquema do DIAT, FIG 22 o resultado da tensão no ponto B está mostrado na figura abaixo, onde AB é a "faixa morta".

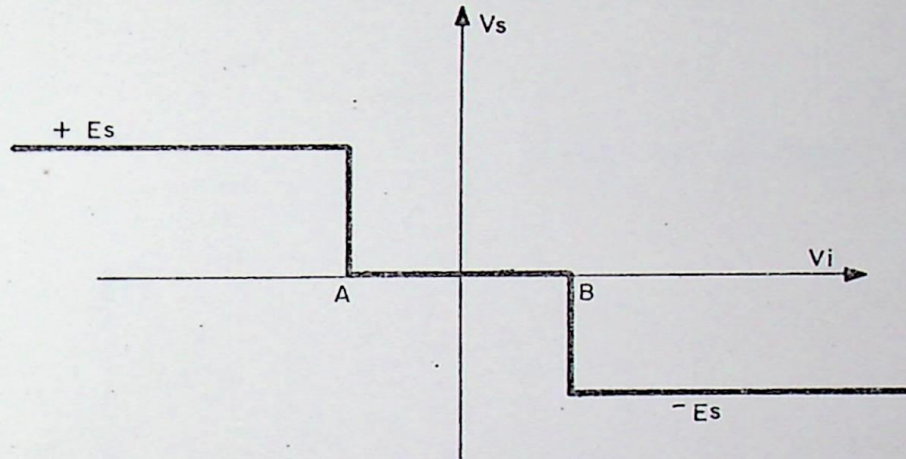


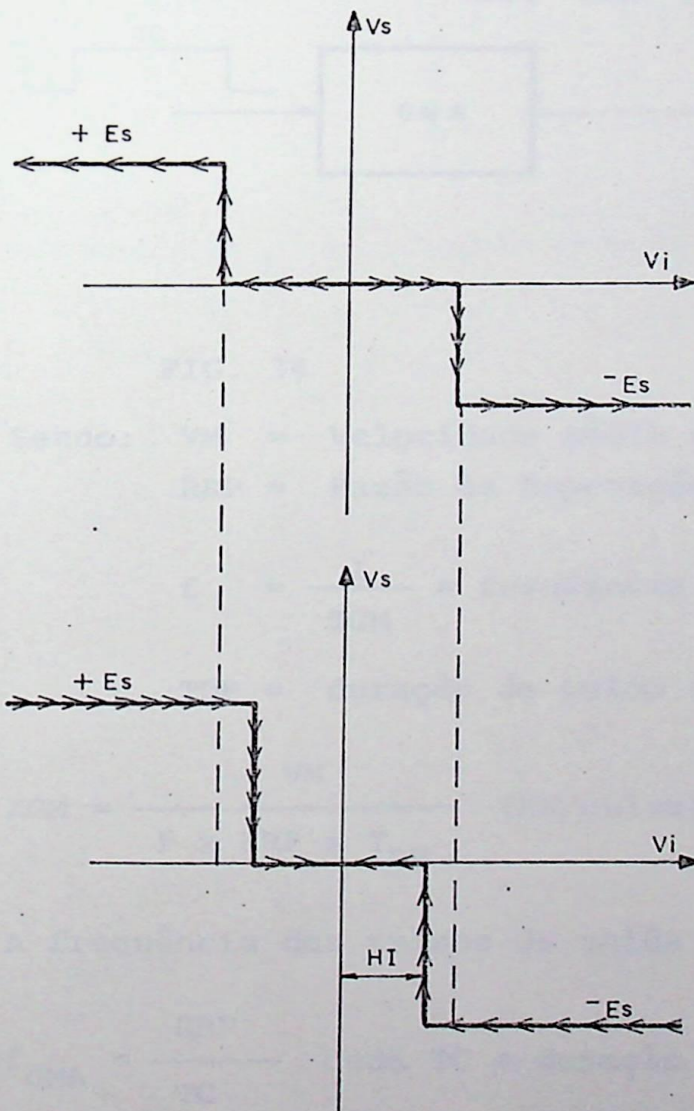
FIG. 32

8.

INFLUÊNCIA DA HISTERESE

Destaca-se ainda no circuito do DIAT a característica do ajuste de HISTERESE cujo efeito é o de estreitar a "Faixa Morta" quando é atingido o "ceiling".

antes de atingir o "ceiling"



após atingir o "ceiling"

HI - Histerese

FIG. 33

9.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO GMA

A partir da velocidade média de resposta da usina e do ajuste da razão de repetição de pulsos do GMA podemos determinar o ganho KGM.

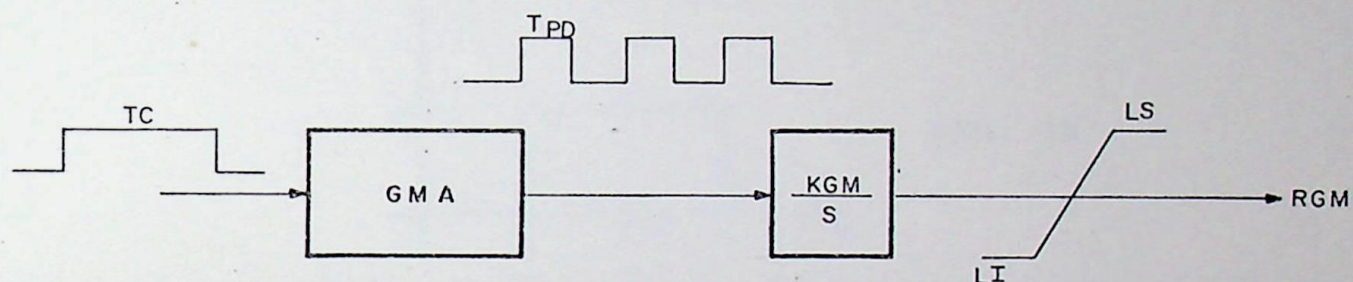


FIG. 34

Sendo: VM = Velocidade Média de Resposta da Usina (MW/S)

RRP = Razão de Repetição de Pulso (ajustada)

$f = \frac{1}{TGM}$ = frequência dos pulsos do gerador mestre

TDP = duração de pulso de saída do GMA

$$KGM = \frac{VM}{f \times RRP \times T_{DP}} \quad (\text{MW/pulso})$$

A frequência dos pulsos de saída do GMA é dado por:

$$f_{GMA} = \frac{RRP}{TC} \quad \text{onde } TC = \text{duração do pulso do "CLIPPER"}$$

10.

VARIAÇÃO ALEATÓRIA DE CARGA

Sejam conhecidos:

$$x_1, x_2, \dots, x_N$$

onde x_i é uma variável aleatória com distribuição uniforme entre a e b .

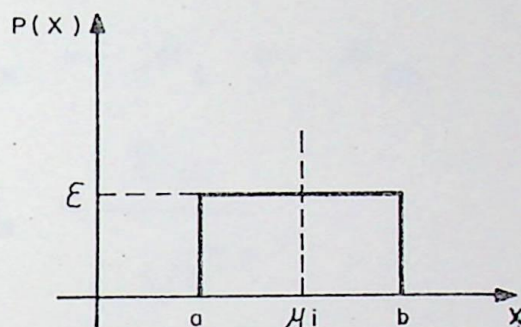


FIG. 35

A média μ_i e o desvio padrão σ_i são dados pelas seguintes expressões:

$$\mu_i = \frac{b + a}{2} = \mu_{AL}$$

$$\sigma_i = \frac{b - a}{\sqrt{12}} = \sigma_{AL}$$

(1)



Para o caso de $a = 0$ e $b = 1$, tem-se:

$$\mu_i = 1/2$$

$$\sigma_i = 1/\sqrt{12}$$

Considerem-se N distribuições aleatórias com média e desvio padrão determinados,

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_N = \mu_{AL}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_N = \sigma_{AL}$$

Pelo teorema do Limite Central, a distribuição $x = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N}$ tende

de a distribuição normal quando N cresce indefinidamente.

Logo:

$$\mu_x = \mu_i = \mu_{AL}$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{AL}}{\sqrt{N}}$$

Com N suficientemente grande, obtêm-se a variável aleatória x, com média μ_x e desvio padrão σ_x .

A partir dessa distribuição x podemos obter uma outra \bar{x} com média $\mu_{\bar{x}} = 0$ e desvio padrão conhecido $\sigma_{\bar{x}}$.

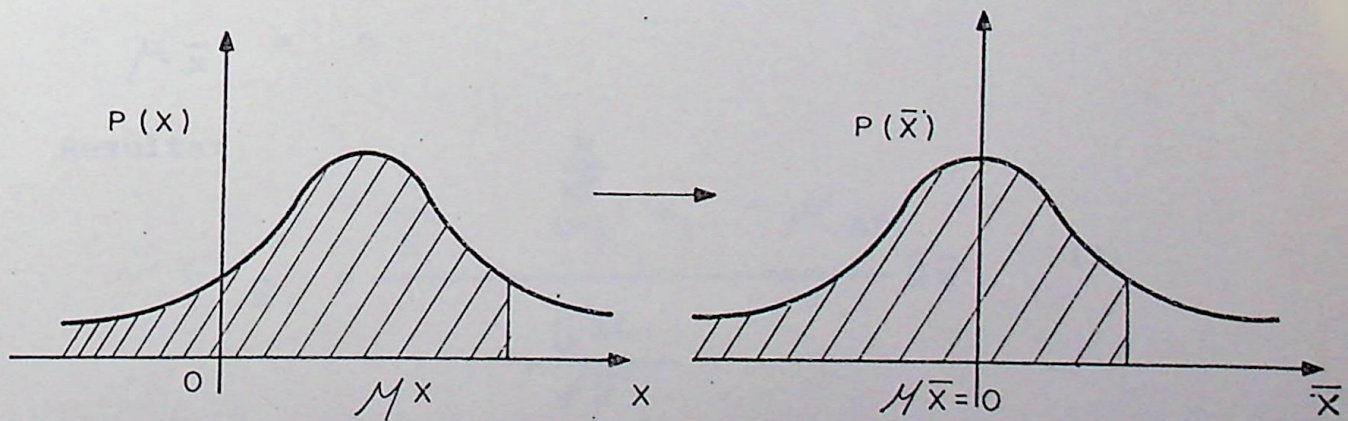


FIG. (A)

FIG. (B)

Das figuras (A) e (B) tem-se a relação:

$$\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} = \frac{\bar{x} - \mu_{\bar{x}}}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$\bar{x} = \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right) \sigma_{\bar{x}} + \mu_{\bar{x}}$$

Sendo:

$$\mu_x = \mu_{AL}$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{AL}}{\sqrt{N}}$$

$$x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\mu_{\bar{x}} = 0$$

Resulta:

$$\bar{x} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i - \mu_{AL}}{\frac{\sigma_{AL}}{\sqrt{N}}} \sigma_{\bar{x}} \quad (2)$$

Considerando a distribuição x , uniforme entre 0 e 1:

$$\mu_{AL} = 1/2$$

e

$$\sigma_{AL} = 1/\sqrt{12}, \text{ que substituidos em (2)}$$

resulta:

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{12}{N}} \left(\sum_{i=1}^N x_i - \frac{N}{2} \right) \sigma_{\bar{x}} \quad (I)$$

A expressão (I) permite a obtenção da variável aleatória \bar{x} , com distribuição normal e desvio padrão conhecido $\sigma_{\bar{x}}$, a partir de um conjunto de variáveis aleatórias x_i .

APÊNDICE

1.

DADOS DO SISTEMA INTERLIGADO - TRÊS ÁREAS

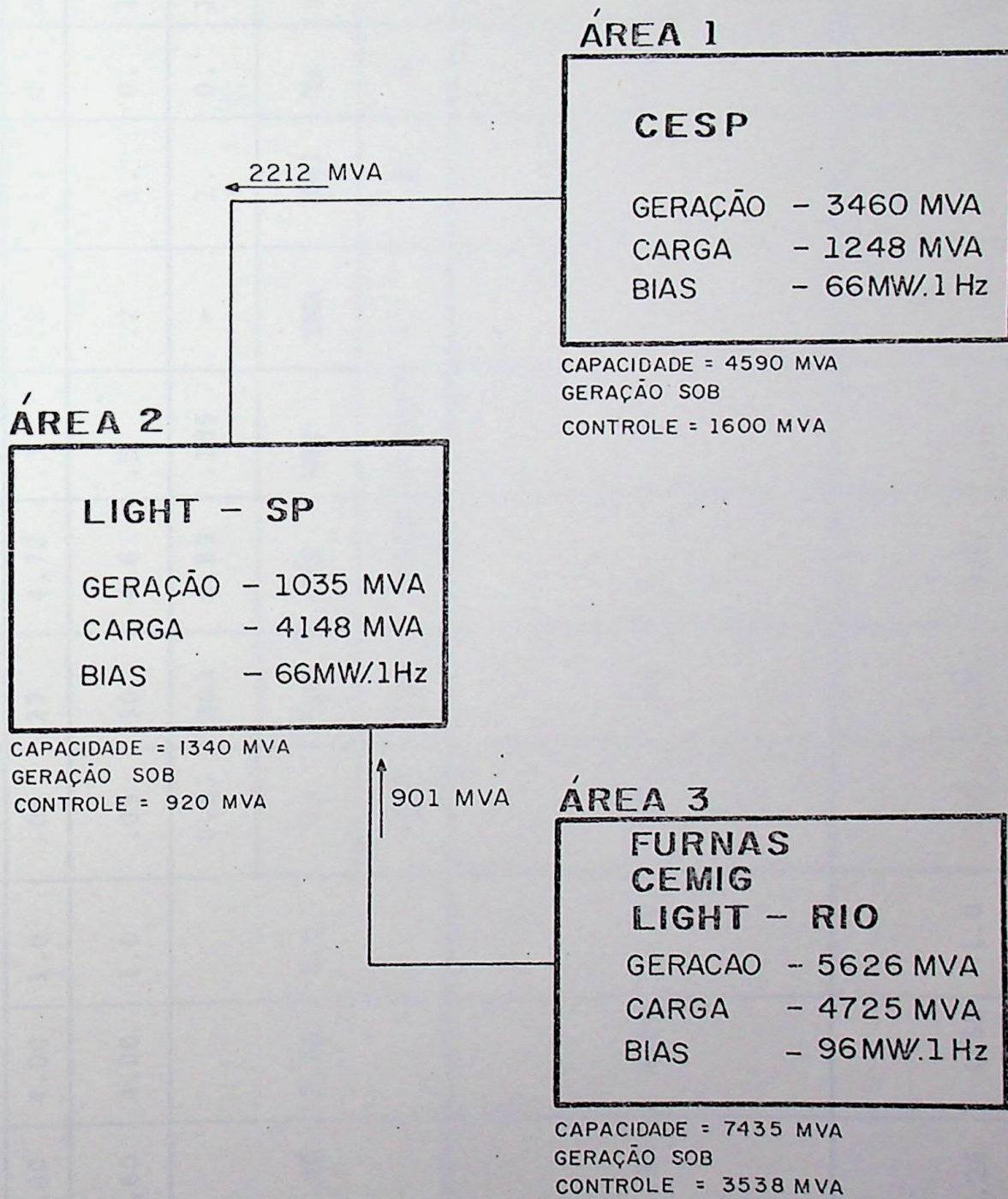


FIG. 36

Á	USINA	MBASE	H	D	R	r	Tr	Tg	+VELM	GMAX	GMIN	Tw	At	ONL
R	JUPIÁ	16.00	4.00	1.0	.05	.27	4.72	.5	.2	1.	0.	1.18	1.2	.08
	RESTANTE													
	CESP	5.60	4.00	1.0	.05	.30	4.8	.5	.2	1.	0.	1.2	1.2	.08
A					0.53	.383	6.83	.185	-	1.	0.	1.5	1.5	.20
	ILHA													
	SOLTEIRA	13.00	3.85	1.0	Ty	Tp	VPS	VPI	YMA	YMI	Ts	VSS	VSI	-
1					.017	1.0	.0018	-.0047	1.	Ø.	.4	.017	-.038	-
	LIGHT-SP	10.35	4.00	1.0	.05	.25	4.	.5	.2	1.	Ø.	1.	1.2	.08
2														
	FURNAS													
3	CEMIG	56.26	4.50	1.0	.05	.30	4.8	.5	.2	1.	Ø.	1.2	1.2	.08
	LIGHT-RIO													

TABELA 1

BIAS DE FREQUÊNCIA

No presente estudo, as áreas têm os seguintes valores de geração:

ÁREA 1 - 3460 (MW)

ÁREA 2 - 1035 (MW)

ÁREA 3 - 5626 (MW)

Considerando a regulação típica de 5% e o "amortecimento" de 1.p.u. tem-se:

$$\text{BIAS (1)} = 21 \times \frac{3460}{100} = 726.6 \text{ (MW/Hz)}$$

$$\text{BIAS (2)} = 21 \times \frac{1035}{100} = 217.35 \text{ (MW/Hz)}$$

$$\text{BIAS (3)} = 21 \times \frac{5626}{100} = 1181.46 \text{ (MW/Hz)}$$

$$\left[\frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right] \cong \left[\frac{\text{p.u. de potência}}{\text{p.u. de frequência}} \right]$$

PARÂMETROS DO DIAT

Para o DIAT, tem-se os seguintes dados atuais: (ver FIG. 28)

- $R_{12} = 330 \text{ k}$
- $C_4 = .1 \text{ F}$
- $R_1 = 100 \text{ k}$
- $R_2 = 100 \text{ k}$
- $R_3 = 270 \text{ k}$
- $R_8 = 470 \text{ k}$

Resultando os seguintes valores para a simulação , considerando a situação de envio simultâneo de pulsos às usinas sob controle.

- $K_D = 30. \quad (\text{GANHO DO DIAT})$
- $K_1 = 0.275 \quad (\text{GANHO DA REALIMENTAÇÃO - ILHA SOLTEIRA})$
- $K_2 = 0.275 \quad (\text{GANHO DA REALIMENTAÇÃO - JUPIÁ})$
- $K_3 = 0.102 \quad (\text{GANHO DA REALIMENTAÇÃO-RESTANTE CESP})$

Para outras ÁREAS:

- $K_D = 30 \quad (\text{GANHO DO INTEGRADOR DO DIAT})$
- $K_1 = .585 \quad (\text{GANHO DA REALIMENTAÇÃO})$

2.

CASOS SIMULADOS

O sistema considerado para a simulação compõe-se de 5 usinas, sendo 3 usinas na ÁREA 1, uma usina na ÁREA 2 e outra na ÁREA 3.

Como o objetivo é o ajuste dos parâmetros de cada área, simulou-se o sistema com as áreas isoladas, variando os seus parâmetros principais.

Para todas as áreas as usinas estão operando inicialmente com 80% da potência nominal.

Os coeficientes de participação, na correção da geração para cada usina, são dados pela relação da sua geração para a geração total da área.

O teste simulado é o de aplicação de um degrau de 50 MW à carga, em cada uma das áreas, isoladamente.

A tabela 2 mostra os parâmetros que têm seus valores alterados nos 4 casos simulados.

Os parâmetros das áreas mostram os índices correspondentes as ÁREA (1), (2) e (3), enquanto que os da ÁREA 1 apresentam os índices referentes às máquinas: 1 - ILHA SOLTEIRA, 2 - JUPIÁ e 3 - RESTANTE CESP.

PARÂMETRO		CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
BF (1)		- 726	- 396	- 396	- 396
BF (2)		- 217	- 396	- 567	- 217
BF (3)		- 1181	- 567	- 567	- 567
Á R E A 1	K1	.275	.275	Variável	Variável
	K2	.275	.275	Variável	Variável
	K3	.102	.102	Variável	Variável
	KGM ₁	6.5	13.0	13.0	6.5
	KGM ₂	8.0	16.0	16.0	8.0
	KGM ₃	2.8	5.6	5.6	2.8
	TW ₁	1.5	1.5	1.5	1.5
	TW ₂	1.18	.5	1.18	1.18
	TW ₃	1.2	.7	1.2	1.2
	Dt ₁	0.	.5	.5	.5
	Dt ₂	0.	.5	.5	.5
	Dt ₃	0.	.5	.5	.5
	rl	.383	.383	.383	.383
	r2	.27	.125	.27	.27
	r3	.30	.175	.30	.30
	Tr1	6.83	6.83	6.83	6.83
	Tr2	4.72	2.	4.72	4.72
	Tr3	4.8	2.8	4.8	4.8
ÁREA 2	K1	.585	.585	Variável	Variável
ÁREA 3	K1	.585	.585	Variável	Variável

TAB. 2

3.

RESULTADOS

CASO 1

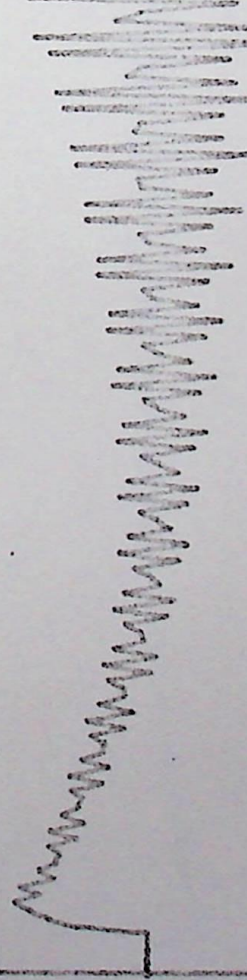


FIG. 37

CASO 1



FIG. 38

10-30001
TIME

CASO 1

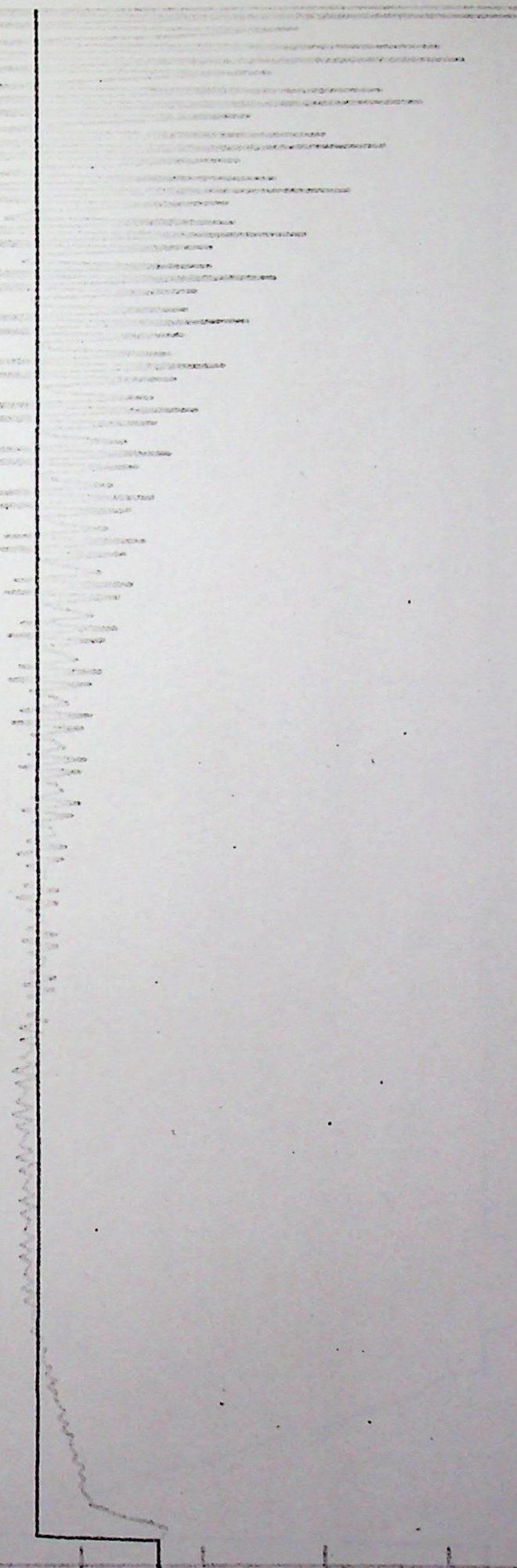


FIG. 39



30.00

PLI

5

25.00

CASO 2

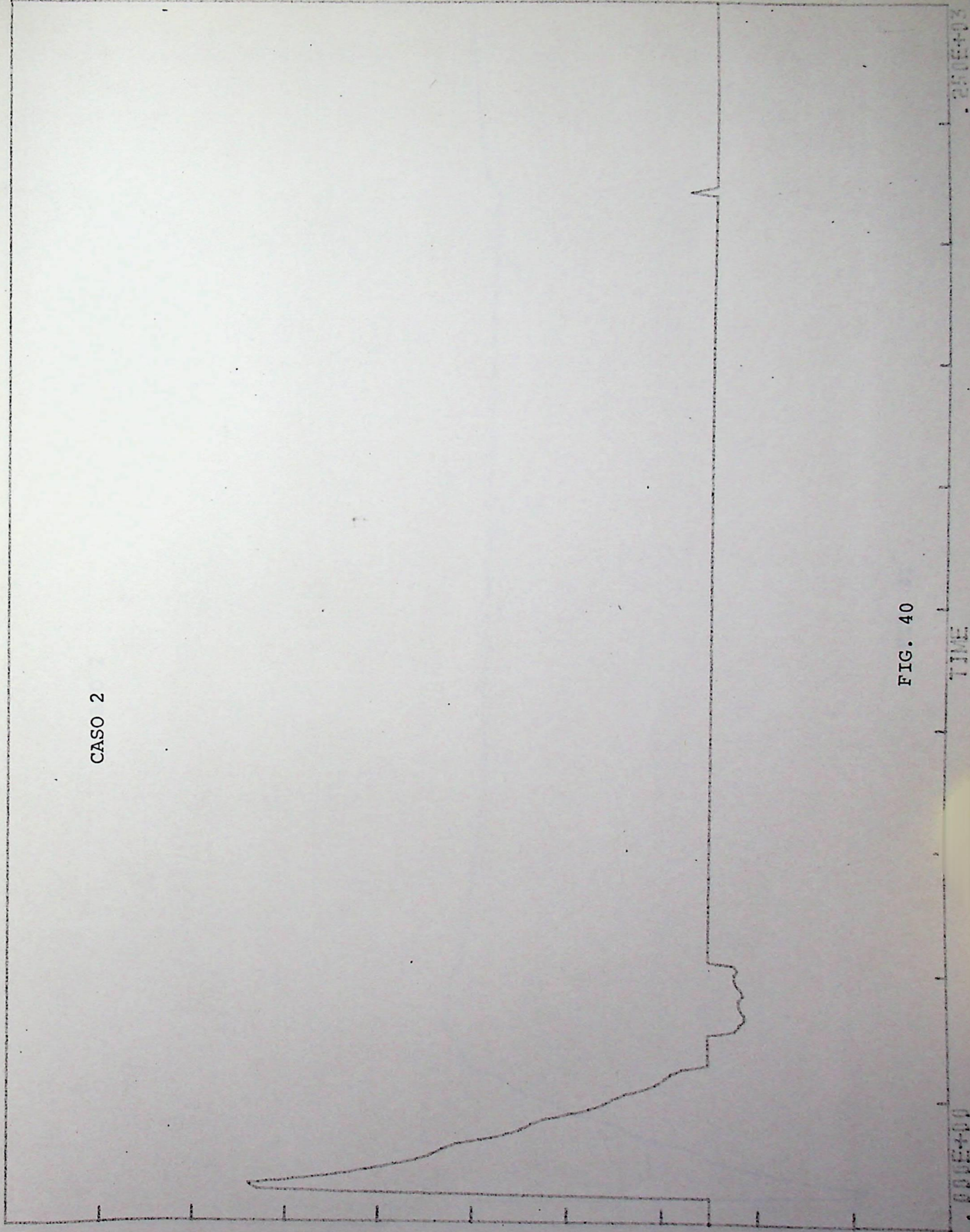
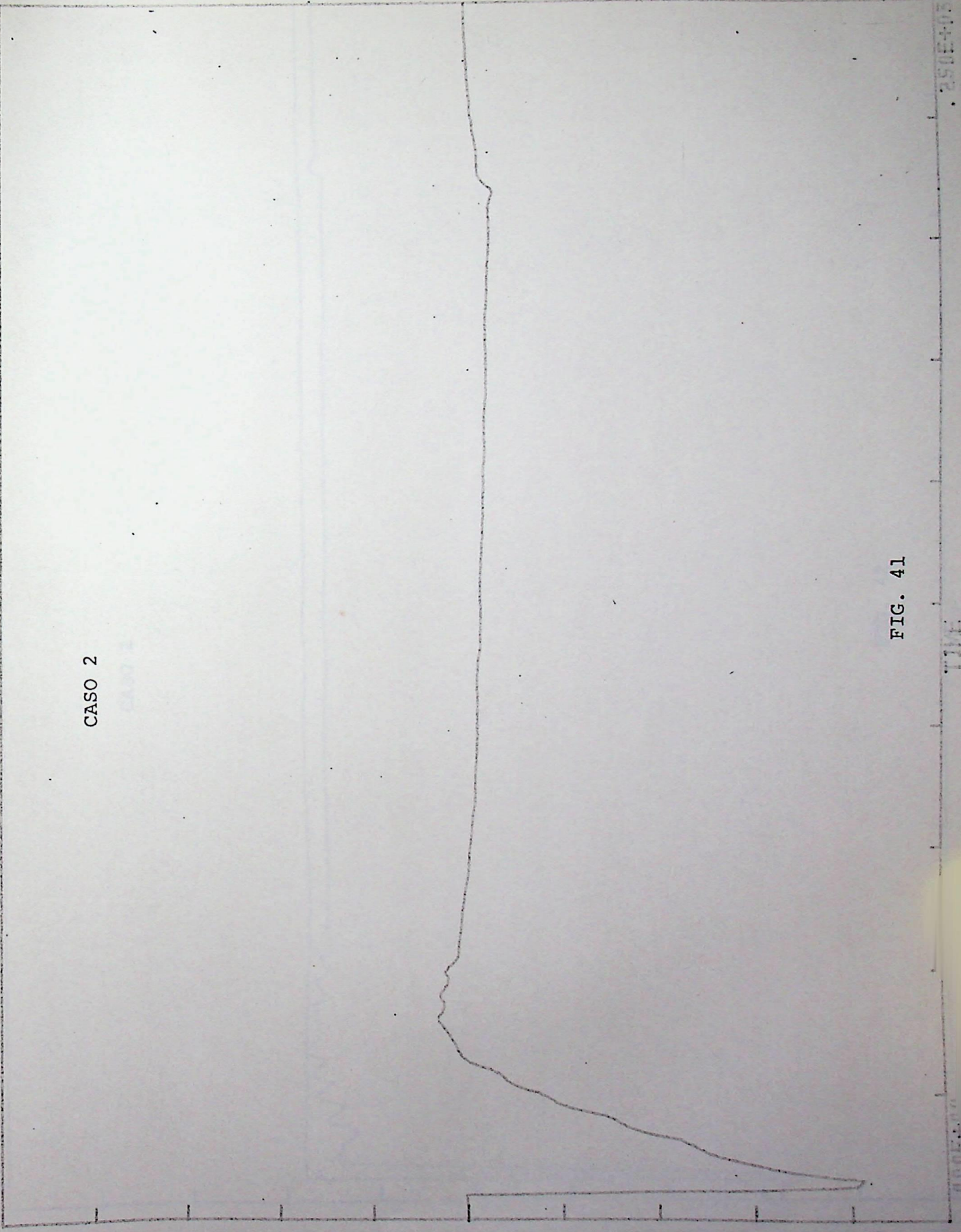


FIG. 40

250E+03

TIME

1.500E+00



CASO 2

FIG. 41

2.50E+05

0.00E+00

28.50
28.50

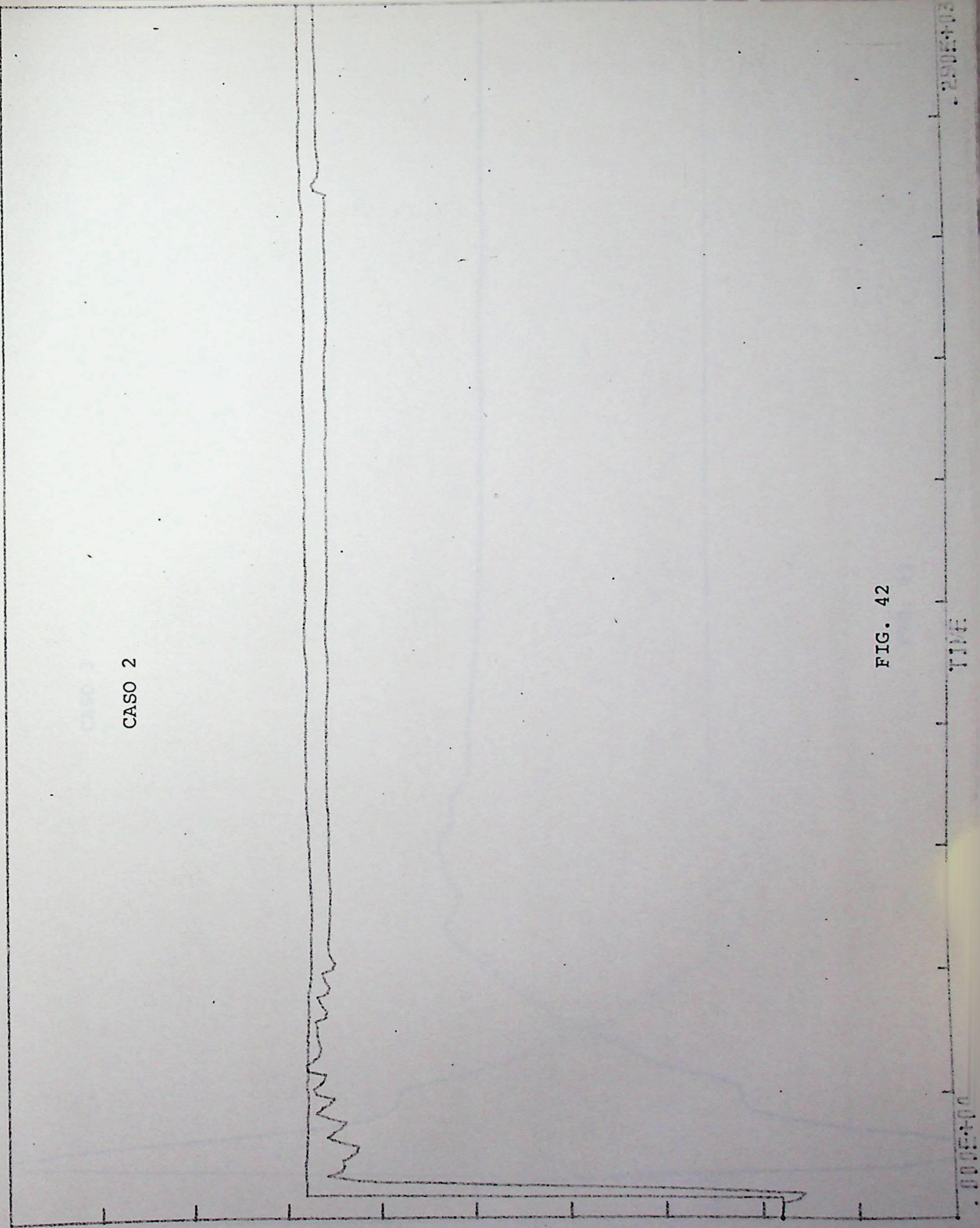
PMI
FLI

5
4

27.50
28.50

CASO 2

FIG. 42



29.50

TIME

29.50

1.500
.3000E-02

FVAL
FRED1

R=1

1.5000
.3000E-02

CASO 3

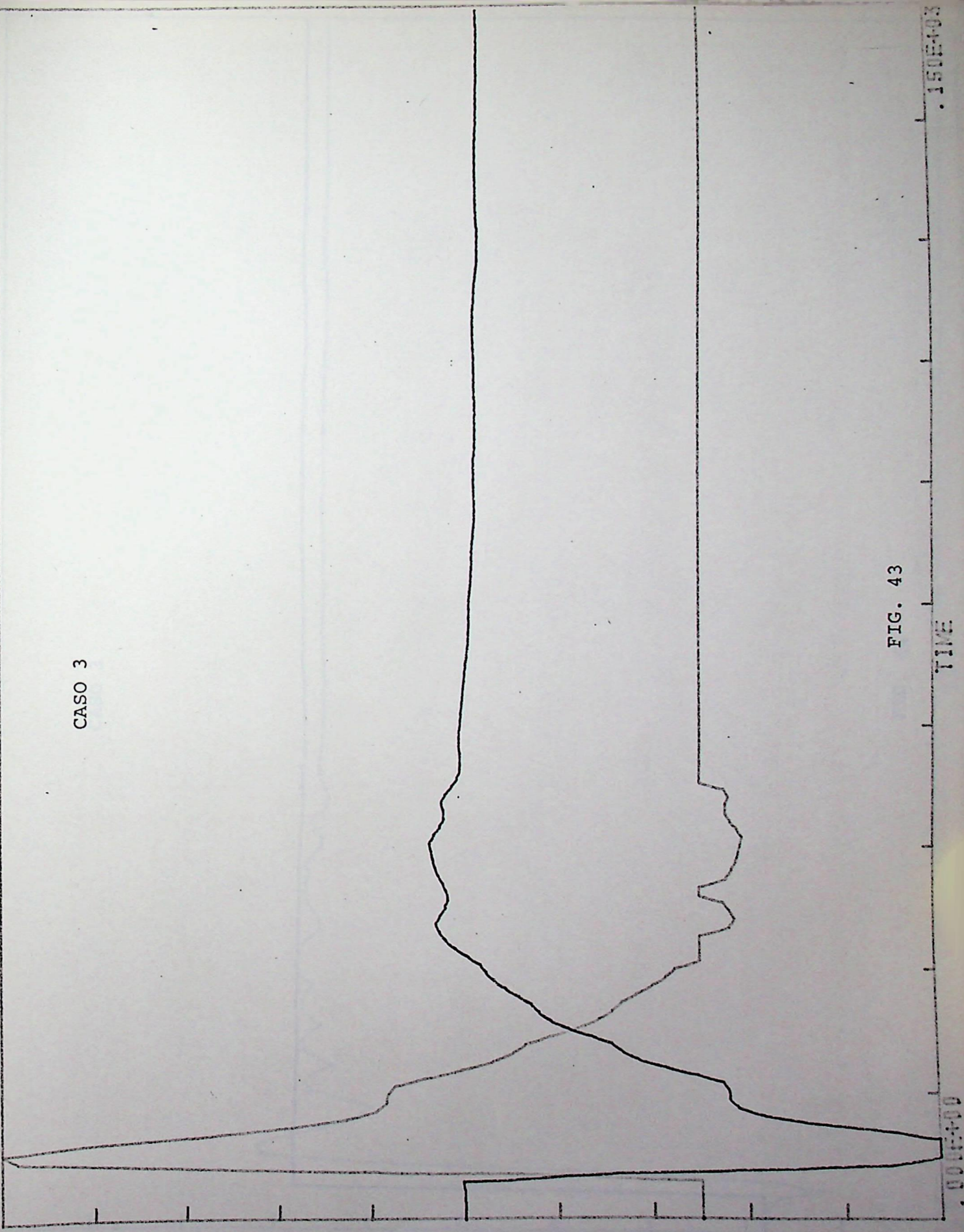


FIG. 43

TIME

.150E+03

.000E+00

28.50
28.50

PMI
PL1

5
4

27.50
27.50

CASO 3

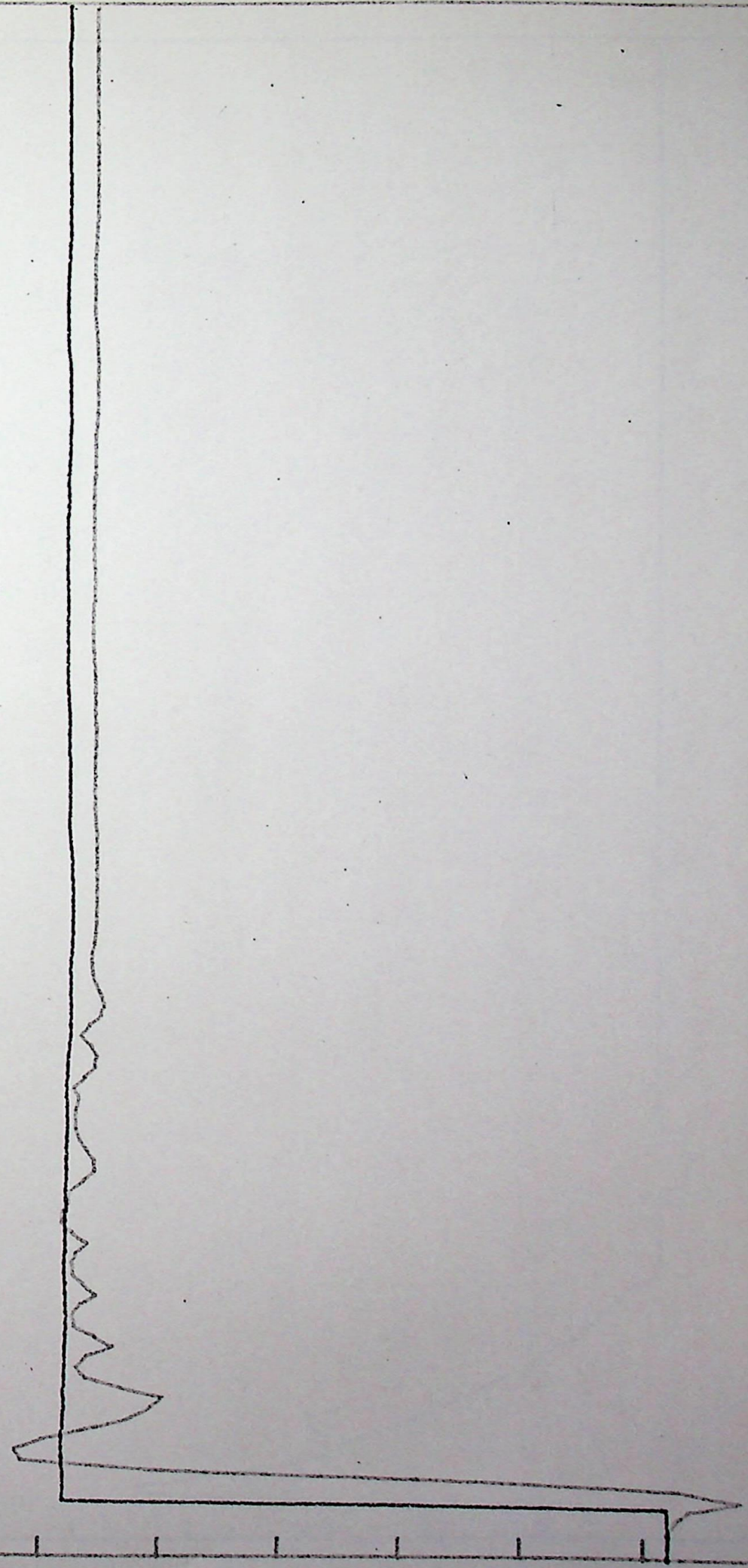


FIG. 44

000E+00
150E+03
TIME

CASO 4

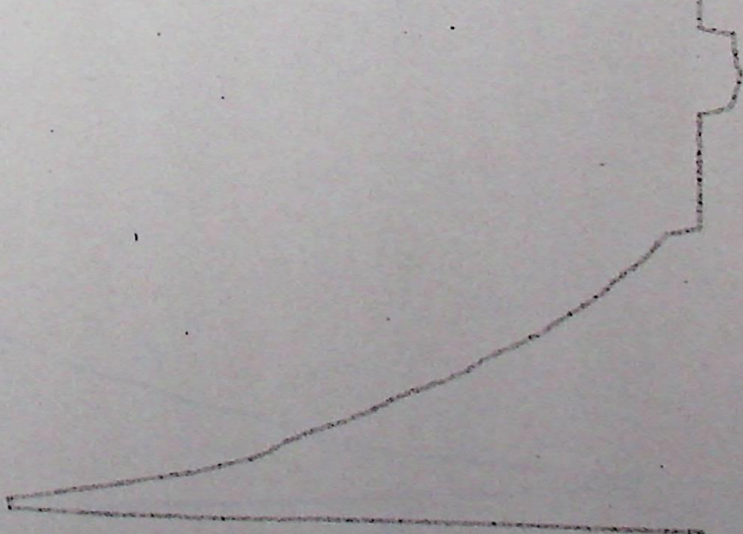
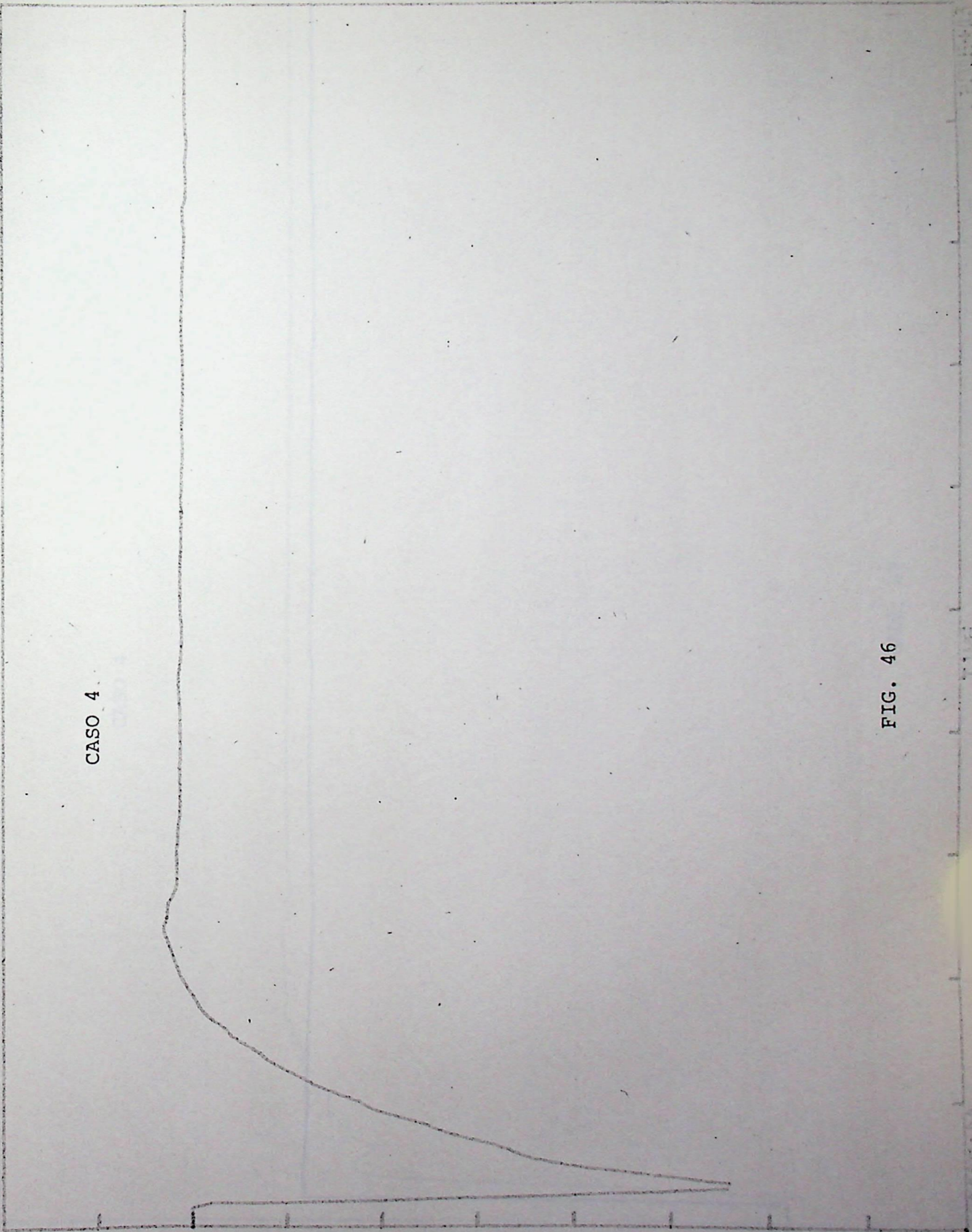


FIG. 45



CASO 4

FIG. 46

CASO 4

FIG. 47

28.50
20.50

PL1
PMA1

5

27.50
7.50

CASO 2

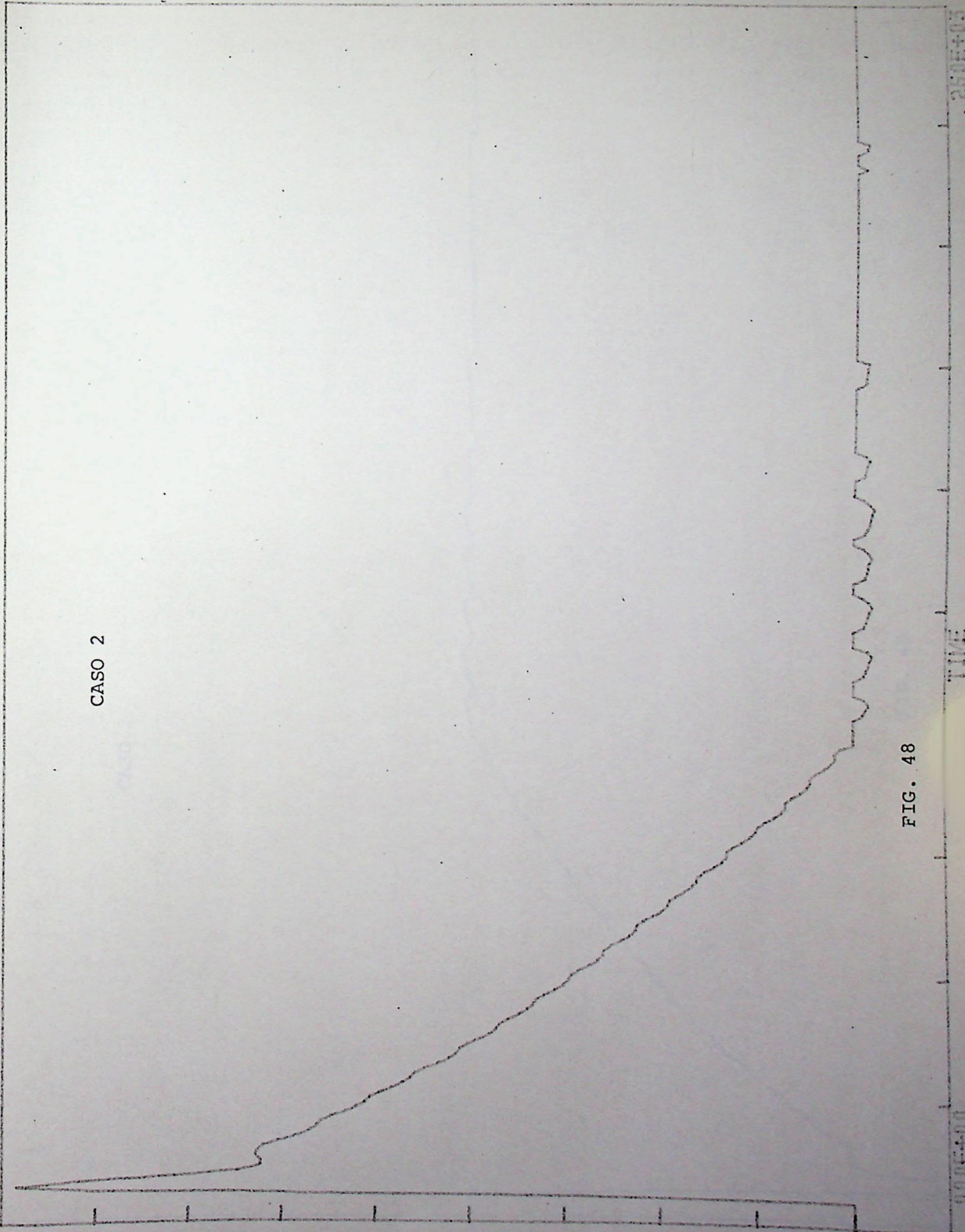


FIG. 48

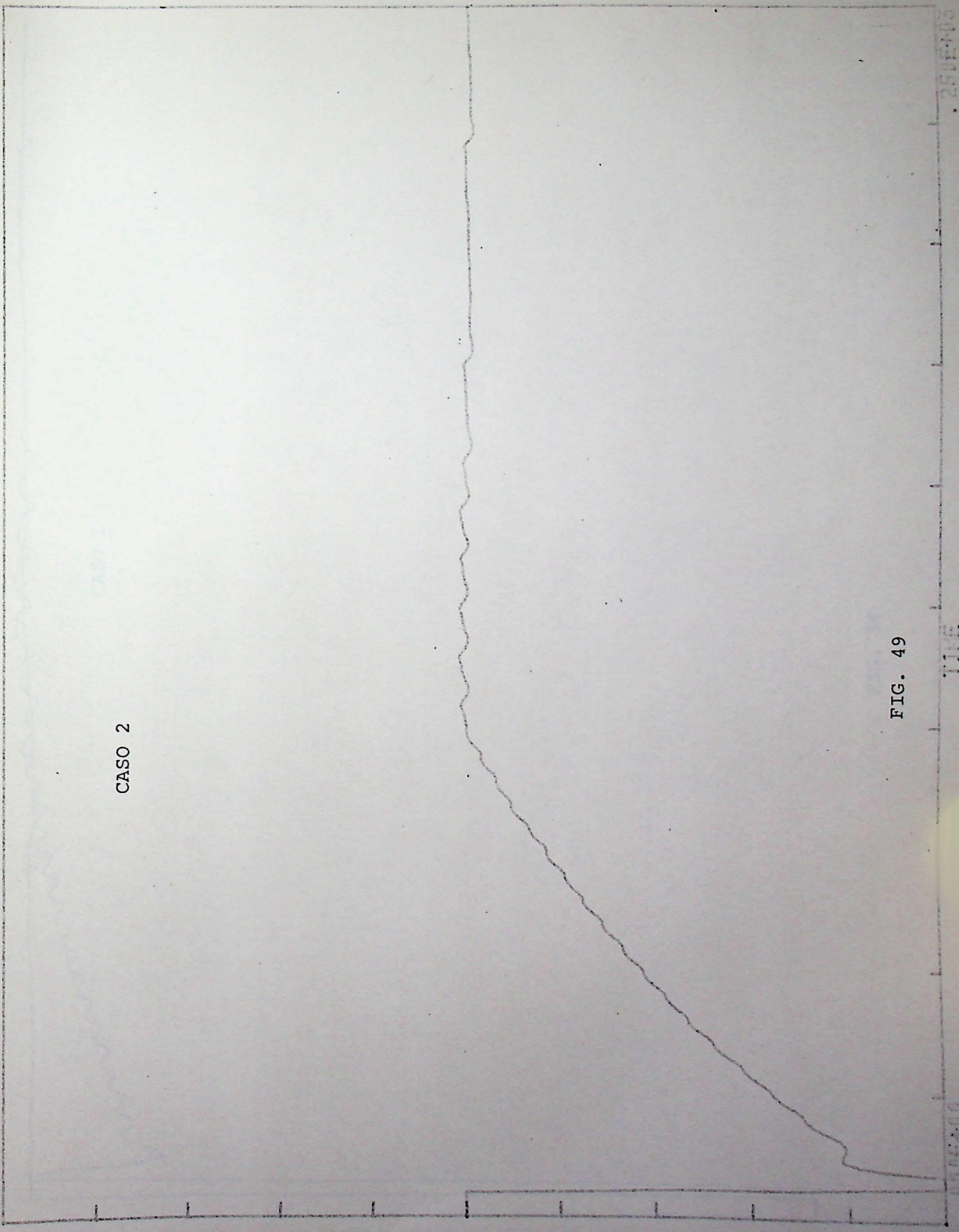
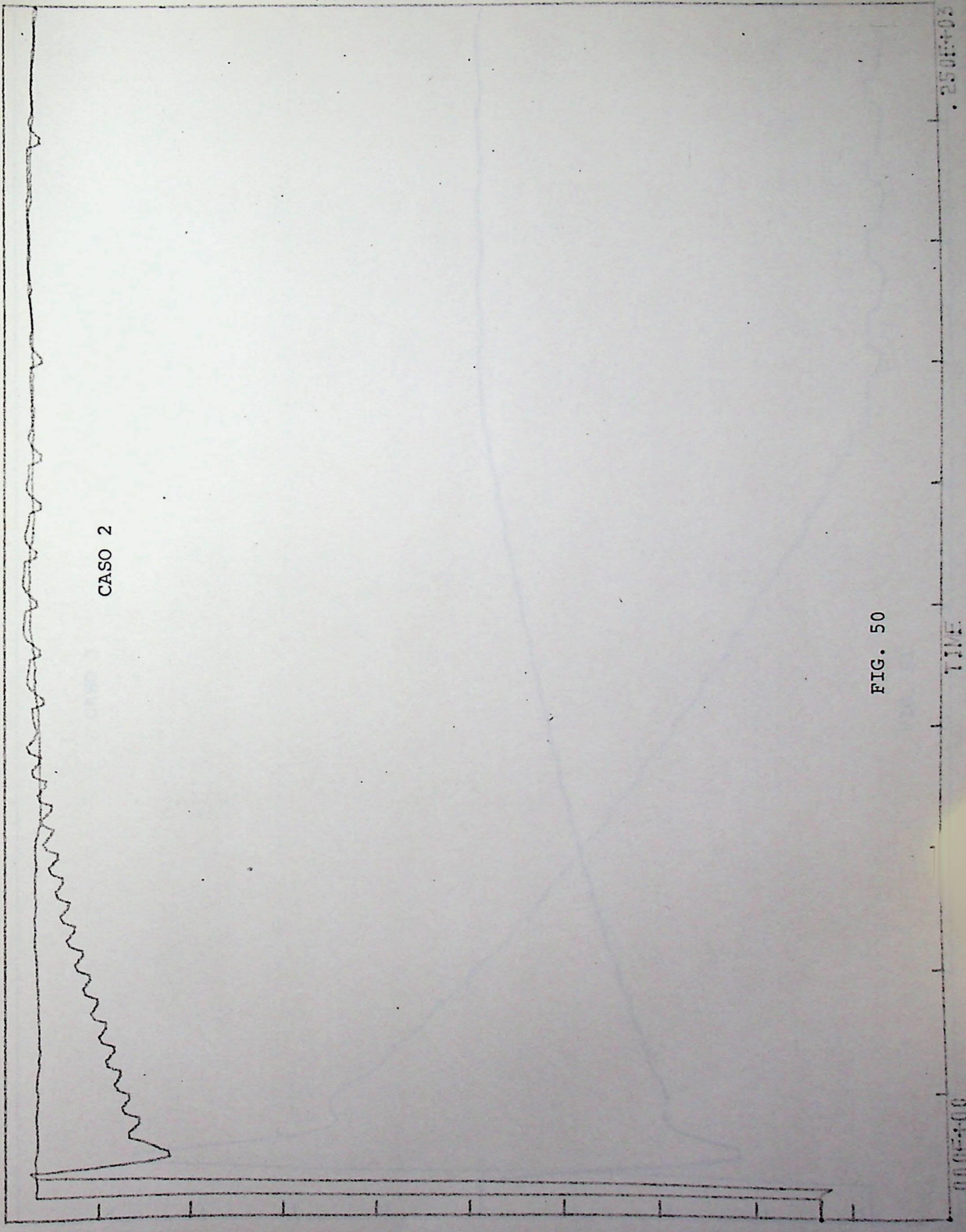


FIG. 49



CASO 2

FIG. 50

250000

TIME

000000

8.800
8.800

PMAS
PL2

9
10

8.800
8.800

CASO 3

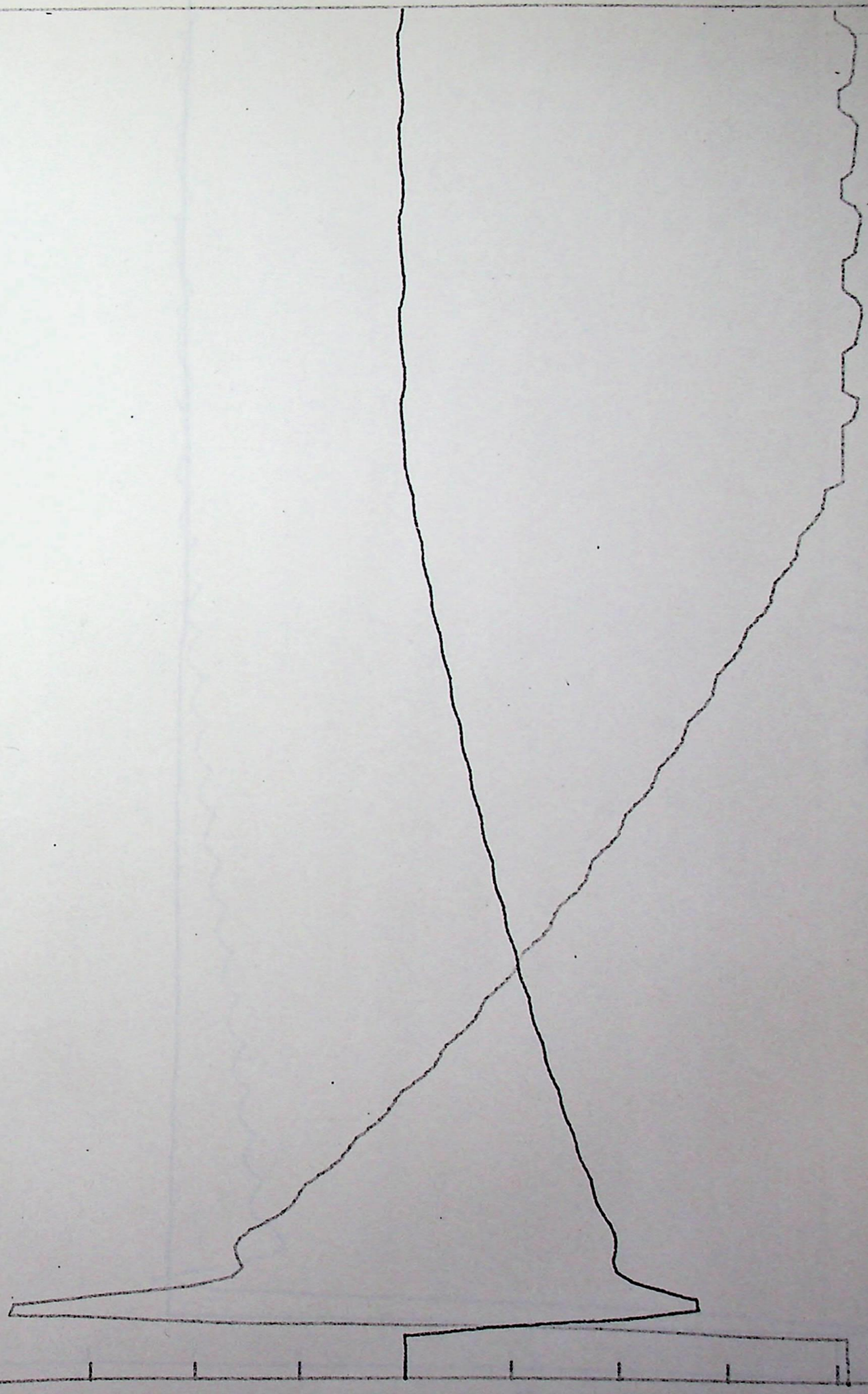
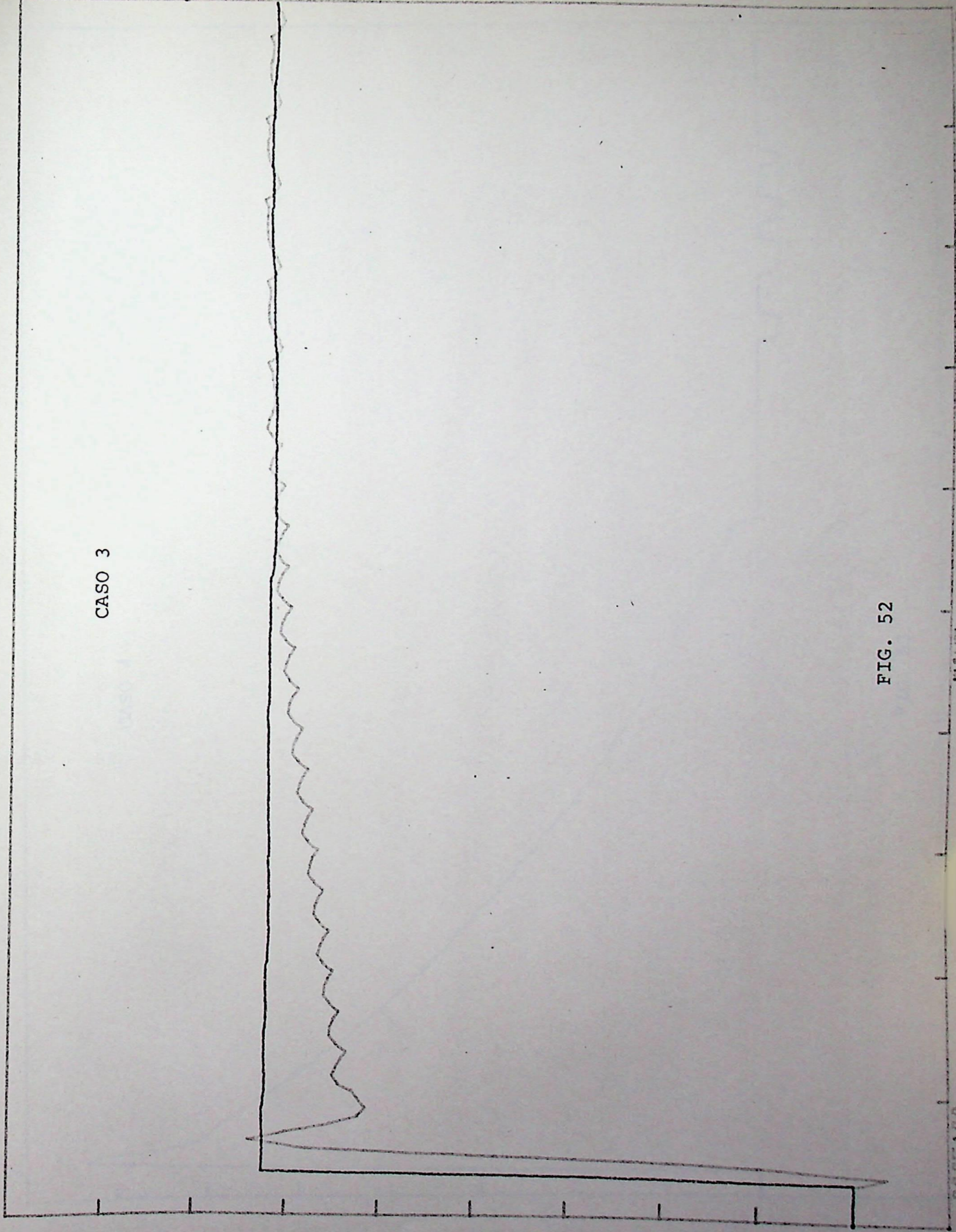


FIG. 51



CASO 3

FIG. 52

2.200
2.000

1.800
1.600

10
5

2.200
2.000

TIME

CASO 4

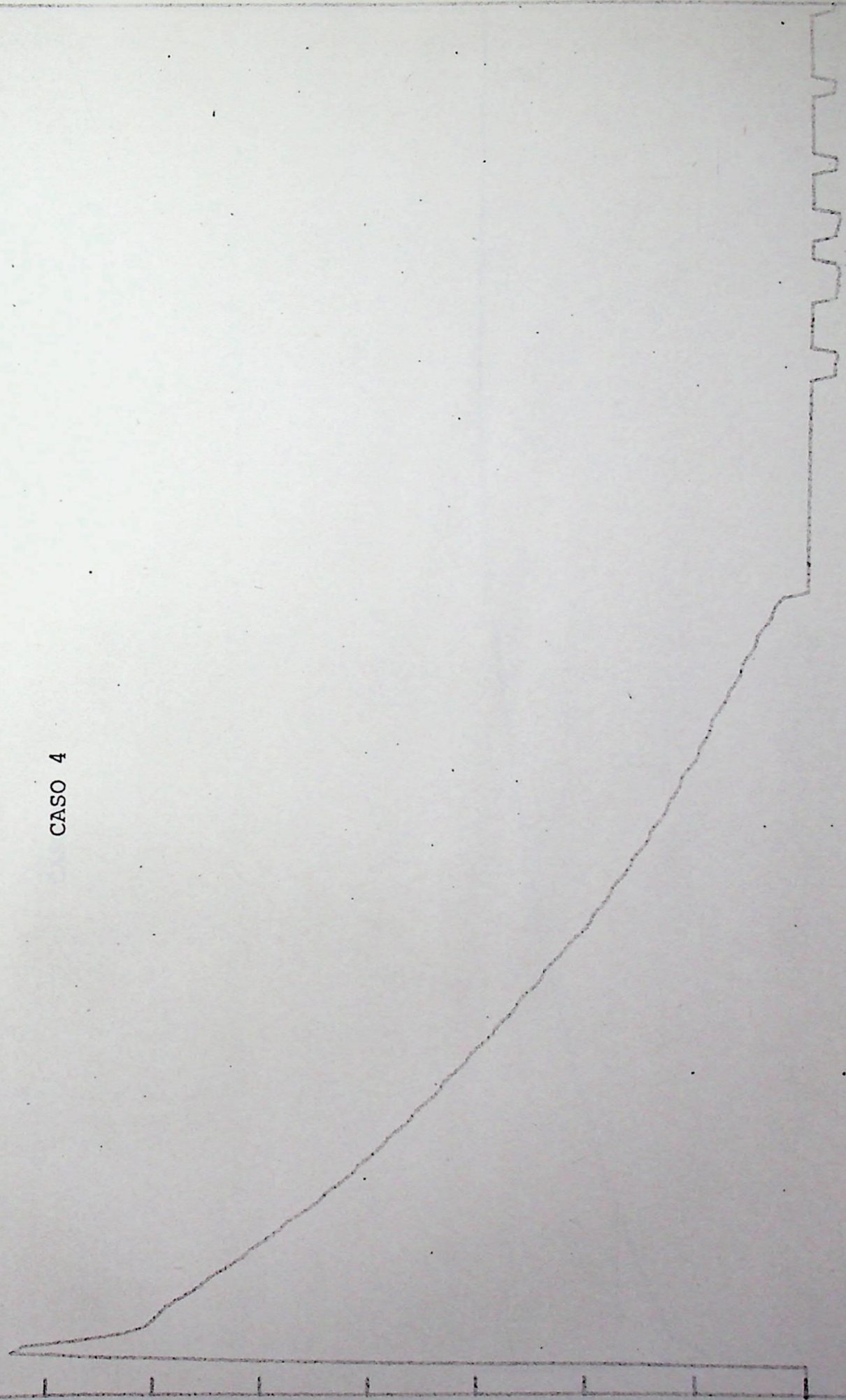
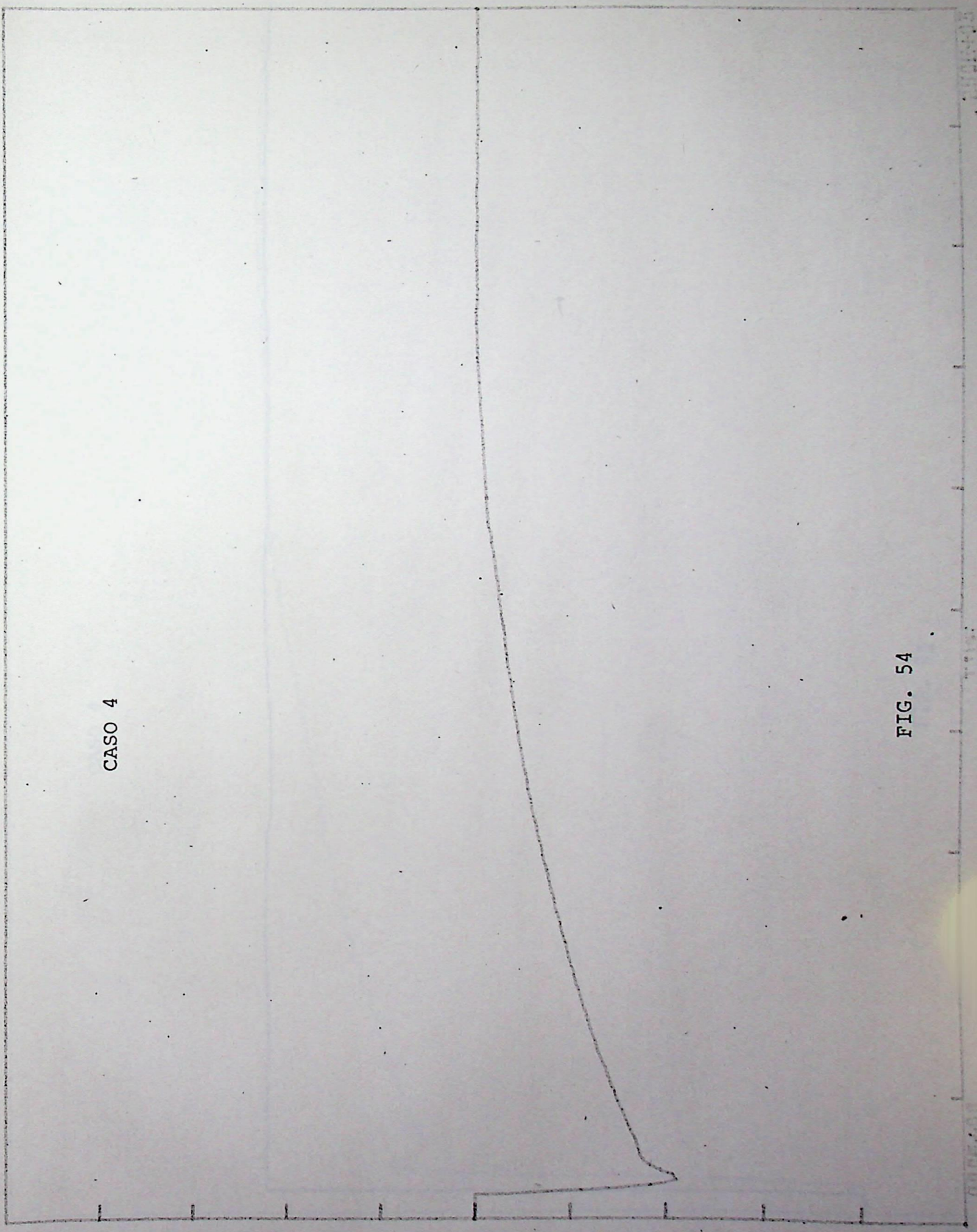


FIG. 53

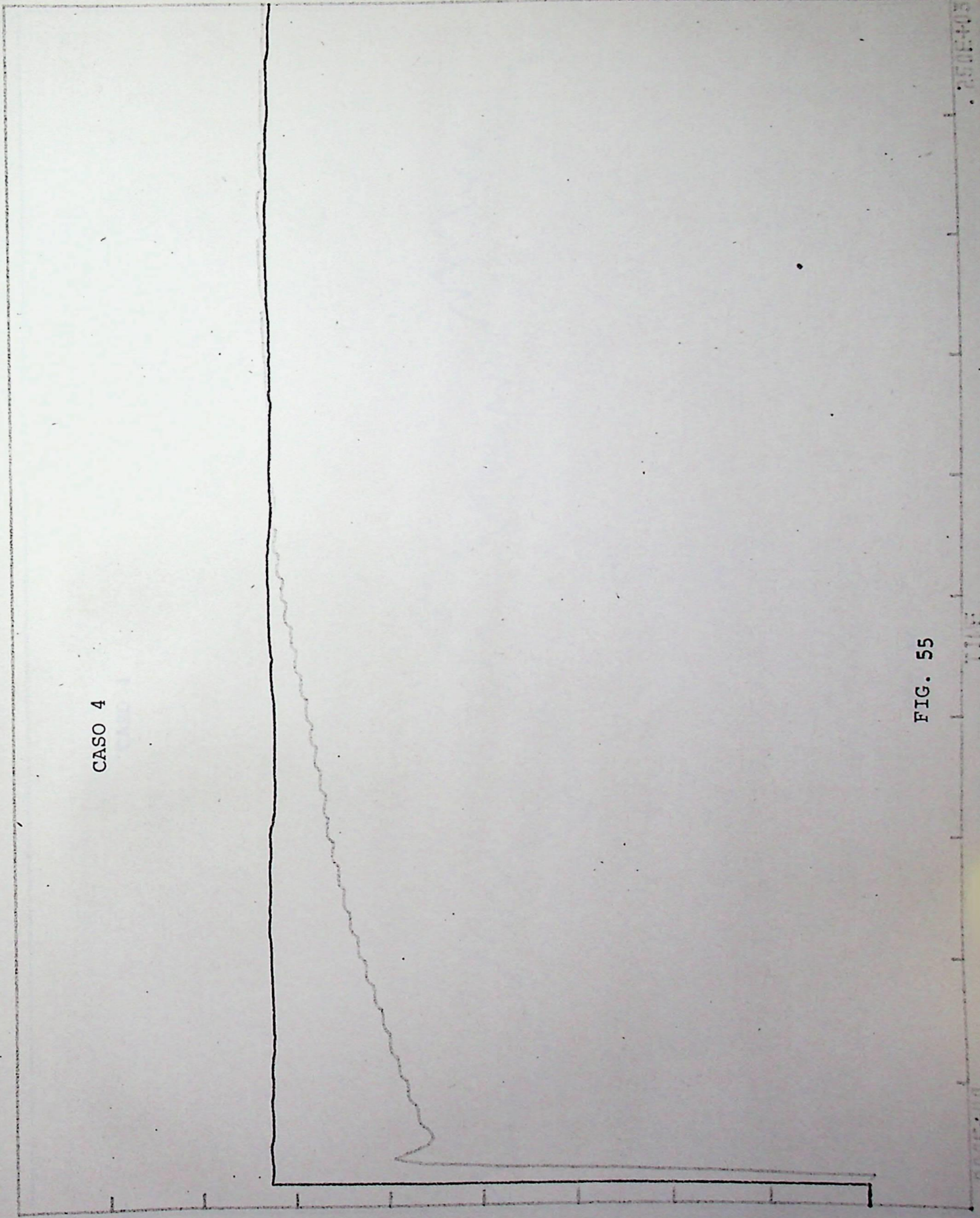
TIME



CASO 4

FIG. 54

CASO 4



9.000

PL2

10

8.200

FIG. 55

000000

000000

000000

CASO 4



FIG. 56

CASO 2

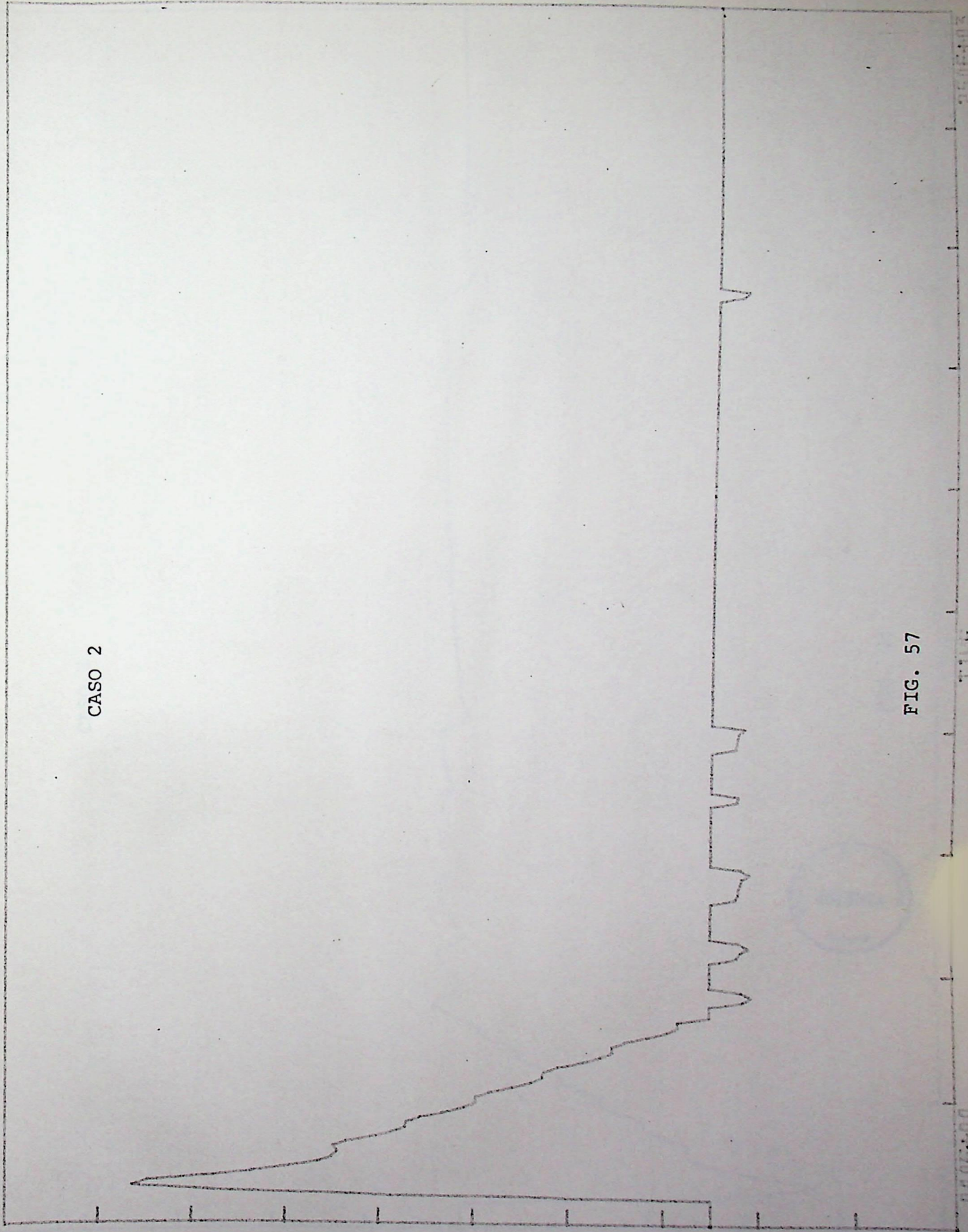


FIG. 57

0.002E+03

TIME

0.000E+00

CASO 2

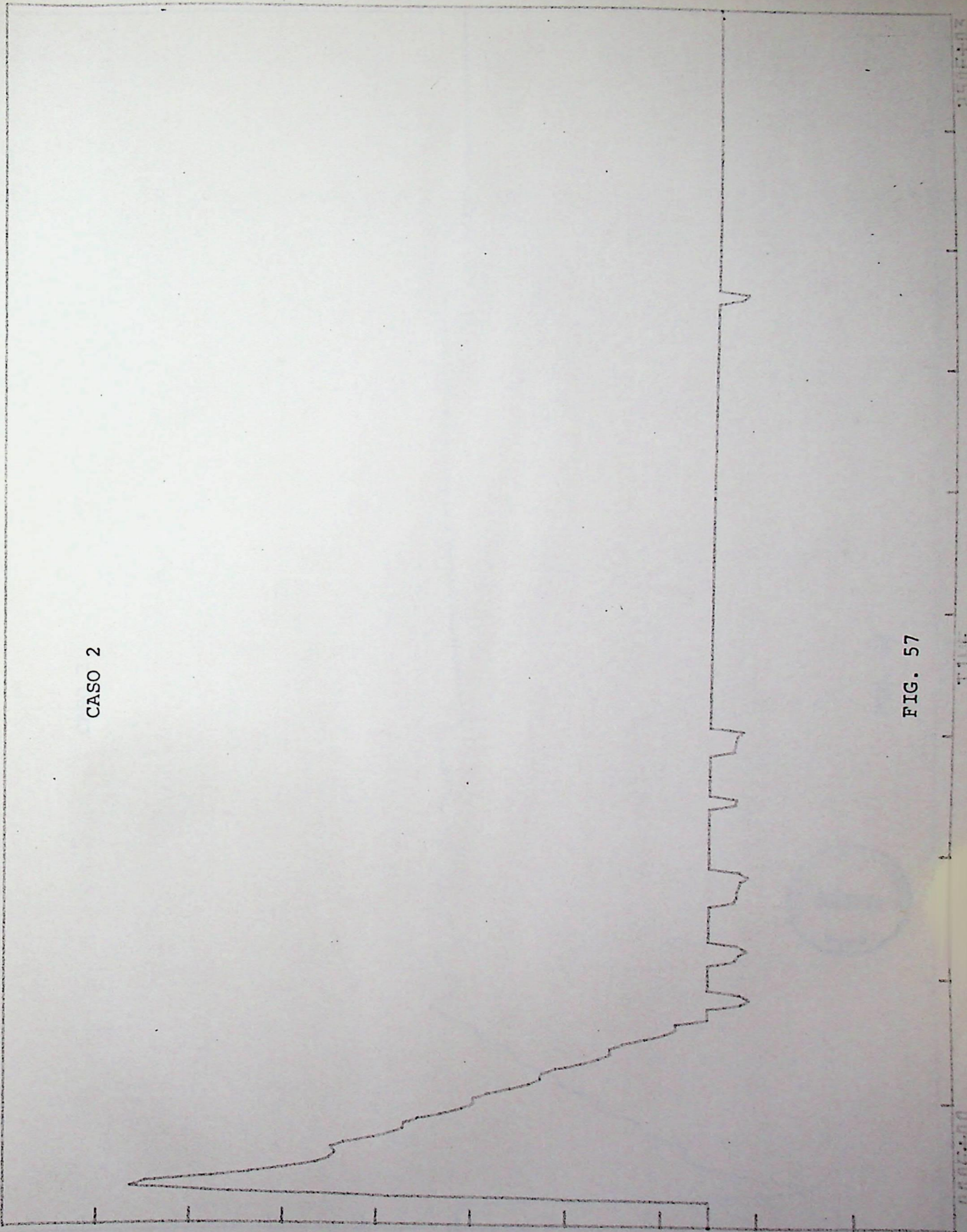


FIG. 57

CASO 2

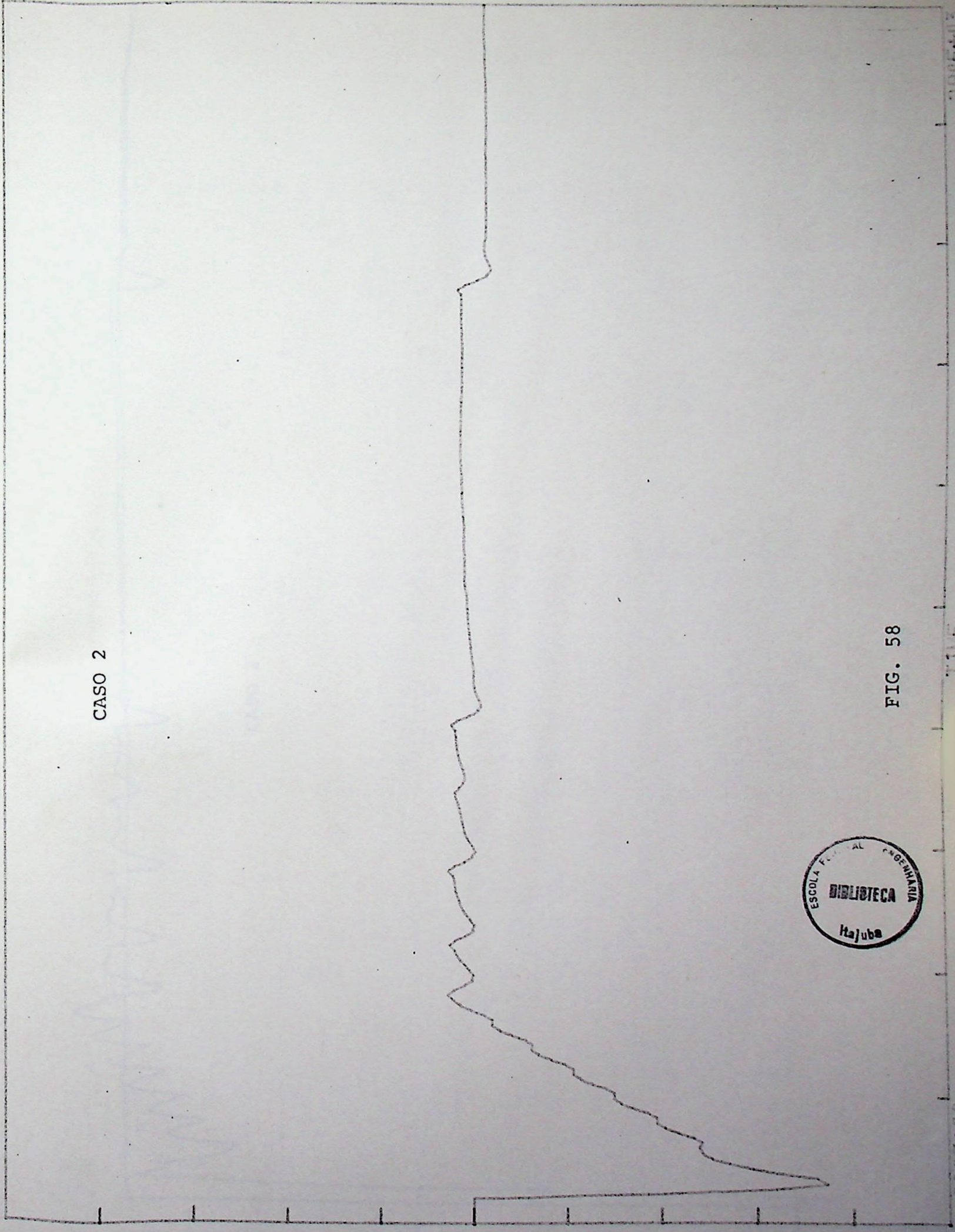
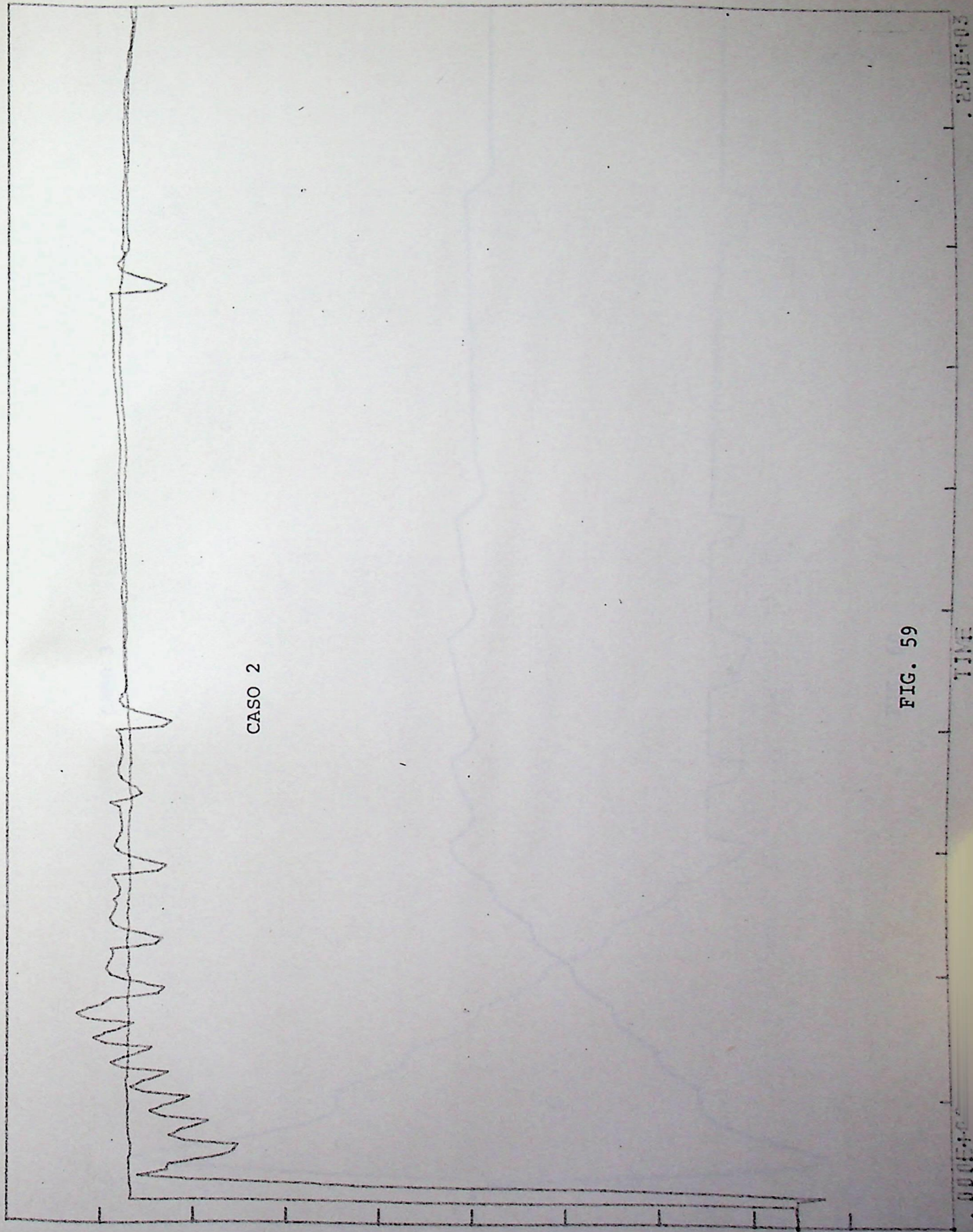


FIG. 58





CASO 2

FIG. 59

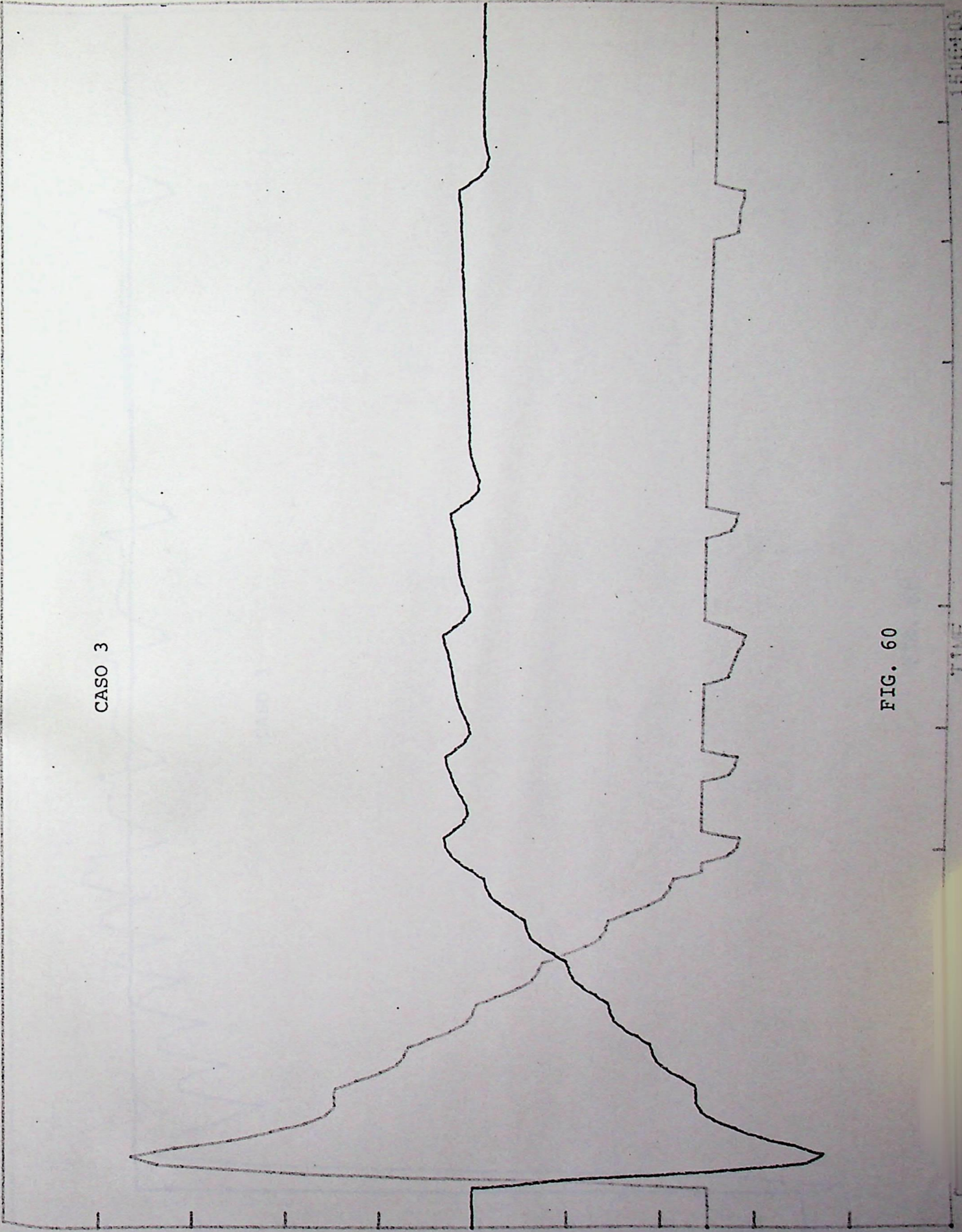
TIME

45.60
45.60

PM3
M3

14
15

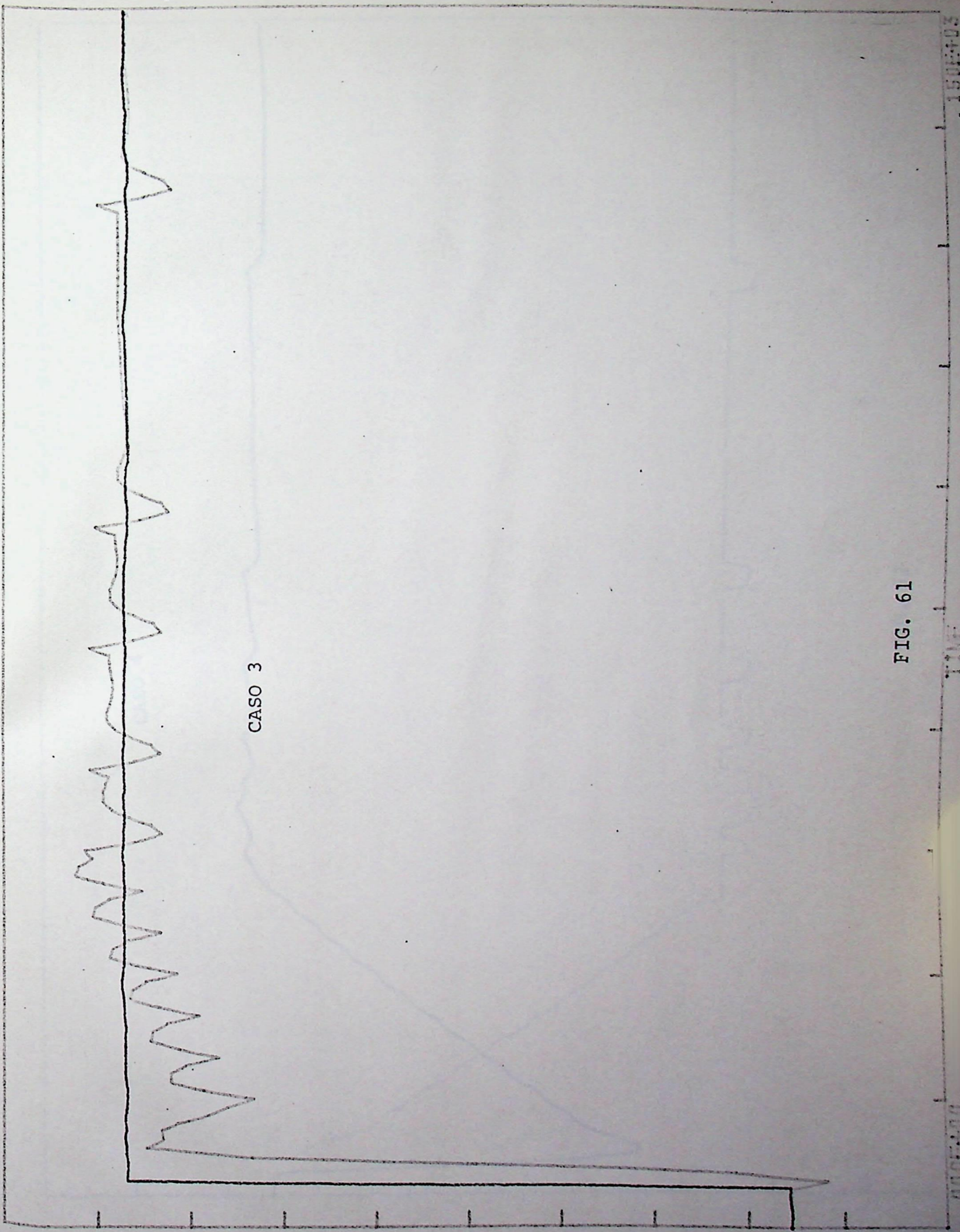
42.90



CASO 3

FIG. 60

TIME



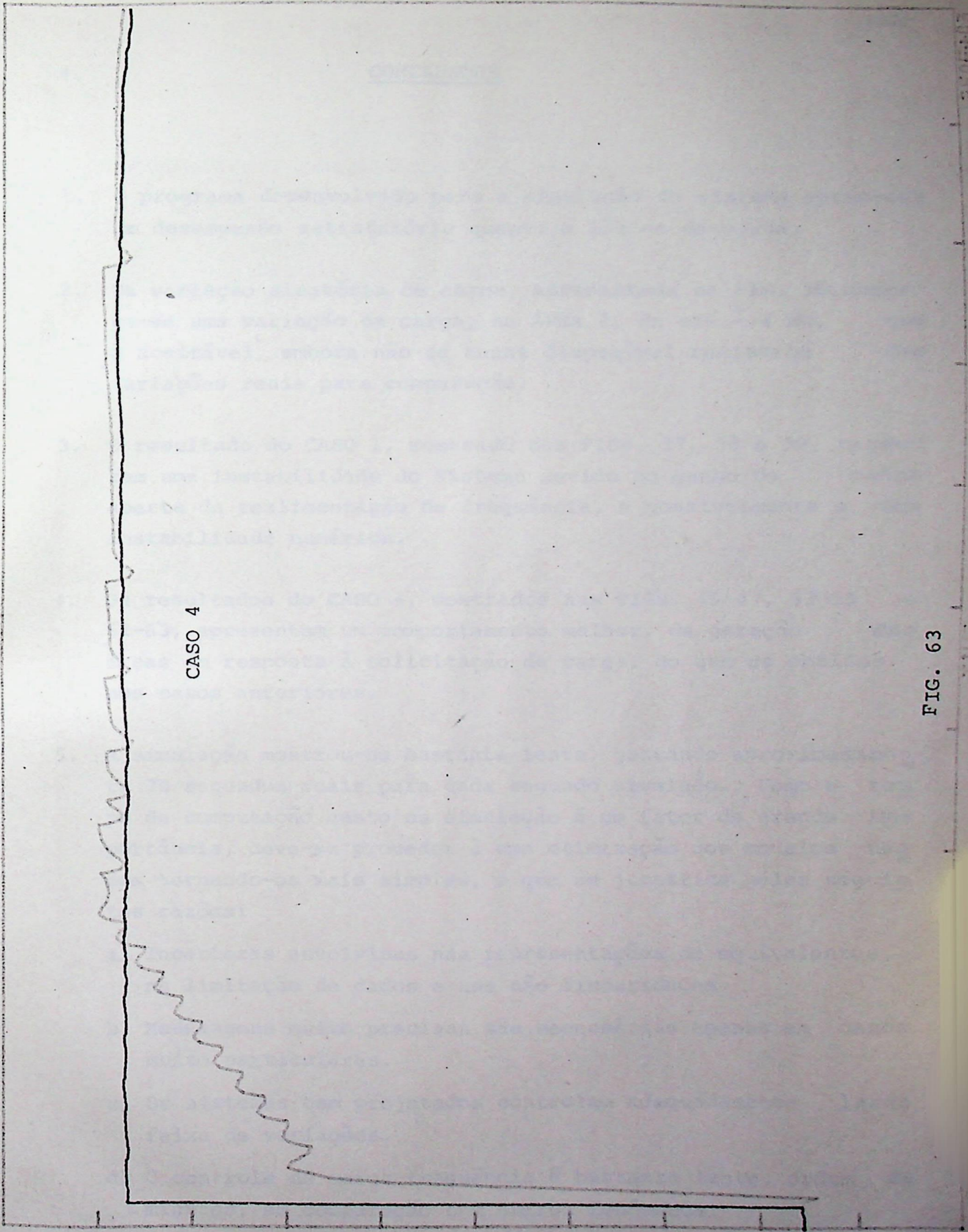
CASO 3

FIG. 61

150E403

TIME

000E400



CASO 4

FIG. 63

45.60
45.60

PL3
PMS

14
15

4.90
4.90

4.

CONCLUSÕES

1. O programa desenvolvido para a simulação do sistema apresenta um desempenho satisfatório quanto a lógica desejada.
2. Da variação aleatória de carga, apresentada na FIG. 56, observa-se uma variação da carga, na ÁREA 2, de até ± 0.4 MW, que é aceitável, embora não se tenha disponível registros das variações reais para comparação.
3. O resultado do CASO 1, mostrado nas FIGs. 37, 38 e 39, traduzem uma instabilidade do Sistema devido ao ganho de malha aberta da realimentação de frequência, e possivelmente a uma instabilidade numérica.
4. Os resultados do CASO 4, mostrados nas FIGs. 45-47, 53-55 e 62-63, apresentam um comportamento melhor, da geração das áreas em resposta à solicitação de carga, do que os obtidos nos casos anteriores.
5. A simulação mostrou-se bastante lenta, gastando aproximadamente 30 segundos reais para cada segundo simulado. Como o tempo de computação gasto na simulação é um fator de grande importância, deve-se proceder à uma otimização dos modelos usados tornando-os mais simples, o que se justifica pelas seguintes razões:
 - a) Incertezas envolvidas nas representações de equivalentes, na limitação de dados e nas não linearidades.
 - b) Modelagens muito precisas são necessárias apenas em casos muito particulares.
 - c) Os sistemas bem projetados controlam adequadamente larga faixa de variações.
 - d) O controle de carga-frequência é bastante lento, ordem de minutos, em comparação com outros fenômenos.

6. O ajuste de parâmetros fundamentais, principalmente os do DIAT torna-se muito difícil sem dados confiáveis.

Faz-se necessário, portanto, um melhor levantamento de dados e a realização de testes no equipamento para se proceder a um ajuste mais realístico nas simulações.



1. de Mello, F.P., Mills, R. J., B'Relis, W.F., "Automatic Generation Control - PART I: Process Modeling, PART II: Digital Control Techniques", Power Apparatus and Systems, Trans. Paper IEEE, Março/Abril, (1973)
2. Cohn, N., "Control of Generation and Power Flow on Interconnected Power Systems", John Wiley & Sons, Inc. U.S.A., (1971)
3. Ribeiro, L.F.F., "Controle Automático de Geração - Curso de Eficiência Operativa", Publicação Interna CESP, São Paulo, Janeiro, (1974)
4. Leeds & Northrup, "Diat Controller Program Card", Manual 177420-ISSUE 2, U.S.A., (1965)
5. Kirchmawer, L.K., "Economic Control of Interconnected Systems", John Wiley & Sons, U.S.A., (1959)
6. Power Technologies, Inc., "Generation Dynamics & Control", Course Notes, Schenectady, N.Y., (1973)
7. Handschin, E., "Real Time Control of Electric Power Systems", Elsevier Publishing Company, U.S.A., (1972)
8. Taylor, C.W., Cresap, R.L. "Real-Time Power System Simulation for Automatic Generation Control", Boneville Power Administration, Agosto, (1974)
9. Nassif, P.A.N., "Sintonia de Controle em Sistemas de Controle de Geração Automático", 1º Seminário sobre Sistema e Equipamentos de Controle Carga-Frequência, Brasil, Outubro, (1974)