

INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo es analizar, la influencia de diferentes factores sobre la estabilidad transitoria de primera oscilación en sistemas de potencia, tales como la acción del regulador automático de tensión y la reactancia del sistema de transmisión. En el estudio se utiliza el sistema clásico compuesto de una máquina versus una barra infinita, con lo cual son simuladas fallas trifásicas para diferentes combinaciones de tiempo de duración de la falla y de reactancias pre y post-falla del sistema de transmisión. La máquina sincrónica del tipo rotor liso, es representada por el modelo de Park, considerando únicamente un arrollamiento amortiguador en el eje q y el devanado de campo, lo que implica la no consideración de los efectos subtransitorios<sup>2</sup>. Para el regulador de tensión, rotativo GE tipo Alterrex, se usa el modelo tipo 1, normalizado por el IEEE para representar reguladores de acción continua<sup>1</sup>. Tampoco se considera la dinámica del control primario de velocidad, que significa que durante los transitorios analizados se tiene una potencia mecánica constante en la turbina.

ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMATICO

El esquema utilizado en el estudio máquina-barra infinita es presentado en la Fig. 1, sometido a un corto circuito trifásico, localizado luego del transformador elevador.

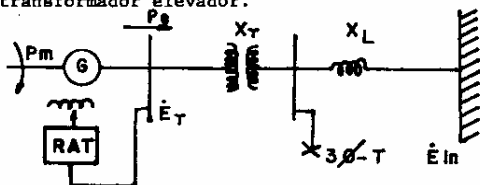


Figura 1

donde:

- $P_m$  = potencia mecánica del eje de la turbina (pu).
- $P_e$  = potencia eléctrica activa entregada por la máquina al sistema de transmisión (pu).
- $X_T$  = reactancia de dispersión del transformador (pu).
- $X_L$  = reactancia del sistema de transmisión (pu)
- $E_T$  = tensión terminal de la máquina (pu)
- $E_{IN}$  = tensión de la barra infinita (pu)
- $R_{AT}$  = regulador automático de tensión.

ECUACIONES DE LA MAQUINA.

Durante el transitorio, la máquina será representada por la tensión  $E'$  detrás de la reactancia transitoria del eje directo, de acuerdo con la ecuación<sup>3</sup>.

$$\dot{E}' = \dot{E}_T + j X'd \dot{I} \quad (1)$$

donde:

- $\dot{E}'$  = tensión variable, detrás de  $X'd$  (pu)
- $\dot{E}_T$  = tensión terminal de la máquina (pu)
- $\dot{I}$  = corriente terminal de la máquina (pu)
- $X'd$  = reactancia transitoria del eje directo (pu)

Se demuestra en Ref. 3, que la tensión  $\dot{E}'$  puede expresarse por

$$\dot{E}' = \dot{E}'_i - i_q (X'd - X'q) \quad (2)$$

$$\dot{E}'_i = -\dot{E}'_d + j E'q \quad (3)$$

$$-E'd = (Xq - X'q) i_q - E_d \quad (4)$$

$$E'q = -(Xd - X'd) i_d + E_q \quad (5)$$

$$E_d = Xaq \quad i_{kq} \quad (6)$$

$$E_q = Xad \quad i_{fd} \quad (7)$$

donde: (valores en pu)

- $i_d$  = componente de la corriente terminal en el eje d
- $i_q$  = componente de la corriente terminal en el eje q
- $\dot{E}'_d$  = tensión proporción al enlace de flujo en el devanado amortiguador del eje q
- $E'q$  = tensión proporción enlace de flujo del campo
- $E_q$  = tensión proporción a la corriente de campo
- $E_d$  = tensión proporción a la corriente del devanado amortiguador del eje q
- $X'q$  = reactancia transitoria del eje q
- $X_d$  = reactancia sincrónica del eje d
- $X_q$  = reactancia sincrónica del eje q
- $i_{fd}$  = corriente de campo
- $i_{kq}$  = corriente en el devanado amortiguador del eje q
- $Xaq$  = reactancia mutua entre la armadura y el eje q.
- $Xad$  = reactancia mutua entre la armadura y el eje d

Las tensiones  $E_d$  y  $E_q$  pueden variar bruscamente, pues están asociadas a las corrientes  $i_{kq}$  e  $i_{fd}$  respectivamente, mientras que  $E'_d$  y  $E'q$  no presentan estas variaciones bruscas por estar asociadas a los enlaces de flujo.

Durante el transitorio los valores de  $E'_d$  y  $E'q$  son obtenidos de la solución de las ecuaciones diferenciales:

$$\frac{d E'_d}{dt} = -\frac{1}{T'_{do}} E_d \quad (8)$$

$$\frac{d E'_q}{dt} = -\frac{1}{T'_{do}} [E_{fd} - E_q] \quad (9)$$

donde:

- $E_{fd}$  = tensión de excitación del campo
- $T'_{do}$  = constante de tiempo del eje directo en circuito abierto (s)
- $T'_{qo}$  = constante de tiempo del eje en cuadratura en circuito abierto (s)

Las ecuaciones diferenciales del rotor son dadas por:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{2H} (P_m - P_e) \quad (10)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = w_0 (w - 1.0) \quad (11)$$

donde:

$w$  = velocidad angular (pu)  
 $w_0$  = velocidad de referencia (rad/seg)  
 $\delta$  = ángulo de carga de la máquina (rad)  
 $H$  = constante de inercia (s)

### ECUACIONES DE LA RED

La red es modelada usándose la referencia nodal, a través de la ecuación

$$\dot{I} = Y \dot{E} \quad (12)$$

donde

$\dot{I}$  = vector de corrientes nodales  
 $\dot{E}$  = vector de tensiones nodales  
 $Y$  = matriz de admitancias nodales

En estudios de estabilidad se debe incluir en la matriz  $[Y]$  las reactancias internas de las máquinas. Para la obtención de la matriz de la red, el sistema de la Fig. 1, puede ser representado por el diagrama unifilar de la Fig. 2, donde la barra 1 representa la barra interna del generador

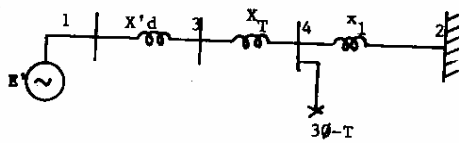


Figura 2

A través del algoritmo de montaje directo<sup>4</sup>, se obtiene la matriz

$$Y = j \begin{bmatrix} -\frac{1}{X'd} & 0 & \frac{1}{X'd} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{X_L} & 0 & \frac{1}{X_L} \\ \frac{1}{X'd} & 0 & -(\frac{1}{X'd} + \frac{1}{X_T}) & \frac{1}{X_T} \\ 0 & \frac{1}{X_L} & 0 & -(\frac{1}{X_T} + \frac{1}{X_L}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

La falla trifásica es simulada haciéndose la tensión de la barra 4 igual a cero, esto es,  $E_4 = 0.0$ . Esto corresponde a eliminar los elementos de la línea y columna 4 de la matriz  $[Y]$  dada en (13). Obteniéndose la matriz modificada

$$Y' = j \begin{bmatrix} -\frac{1}{X'd} & 0 & \frac{1}{X'd} \\ 0 & -\frac{1}{X_L} & 0 \\ \frac{1}{X'd} & 0 & -(\frac{1}{X'd} + \frac{1}{X_T}) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Finalmente, se reduce el sistema (14) por Kron, a las barras generadoras, se llega a la matriz  $[Y_F]$ , que representa la red bajo falla

$$Y_F = j \begin{bmatrix} -\frac{1}{X'd + X_T} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{X_L} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Después de eliminarse la falla, se modifica la matriz  $[Y]$ , alterándose el valor de  $X_L$  en (13) para representar la reactancia post-falla deseada. A continuación se elimina por Kron las barras 3 y 4 de (13), obteniéndose la matriz reducida post-falla  $[Y_{PF}]$ , dada por

$$Y_{PF} = j \begin{bmatrix} -\frac{1}{X'd + X_T + X_L} & \frac{1}{X'd + X_T + X_L} \\ \frac{1}{X'd + X_T + X_L} & -\frac{1}{X'd + X_T + X_L} \end{bmatrix} \quad (16)$$

### ECUACIONES DEL REGULADOR DE TENSION

De acuerdo con Ref. 1, el regulador de tensión puede ser representado por el diagrama en bloques de la Fig. 3.

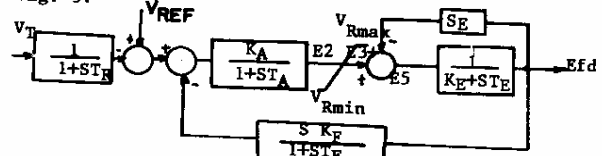


Figura 3

Para la mayoría de los sistemas  $T_R$  es bien pequeño y se puede despreciar. Con esta consideración se llega al modelo matemático del RAT, expresado por las ecuaciones (17), que se obtienen de las funciones de transferencia de cada bloque, transformados al dominio del tiempo

$$\frac{dE_2}{dt} = \frac{1}{T_A} \{ K_A (V_{ref} - V_T - E_1) - E_2 \}$$

$$\begin{aligned} V_{Rmin} < E_2 < V_{Rmax} & \rightarrow E_3 = E_2 \\ E_2 \leq V_{Rmin} & \rightarrow E_3 = V_{Rmin} \\ E_2 \geq V_{Rmax} & \rightarrow E_3 = V_{Rmax} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\frac{dEfd}{dt} = \frac{1}{T_E} \{ E_5 - K_E Efd \}$$

$$E_4 = S_E = A e^{B \cdot Efd}$$

$$\frac{dE_1}{dt} = \frac{1}{T_F} \left\{ K_F \left[ \frac{1}{T_E} \{ E_5 - K_E Efd \} \right] - E_1 \right\}$$

donde:

- $K_A$  = ganancia del amplificador de potencia
- $K_E$  = ganancia de la excitatriz
- $K_F$  = ganancia de la realimentación tacométrica
- $T_R$  = constante de tiempo del filtro del regulador
- $T_A$  = constante de tiempo del amplificador
- $T_E$  = constante de tiempo de la excitatriz
- $T_F$  = constante de tiempo de la realimentación tacométrica
- $V_T$  = módulo de la tensión terminal
- $V_{ref}$  = módulo de la tensión de referencia
- $V_{Rmax}$  = valor máximo del limitador
- $V_{Rmin}$  = valor mínimo del limitador
- $E_4$  = es equivalente al efecto de desmagnetización debido a saturación
- $S_E$  = función saturación
- $E_1, E_2, E_3, E_5$  = señales intermedias
- $A, B$  = constantes a determinarse de acuerdo con los datos de saturación

### DESCRIPCION DEL PROGRAMA

Se elaboró un programa computacional en FORTRAN pa-

ra resolver el problema específico de la Fig. 1, cuya estructura se muestra a continuación:

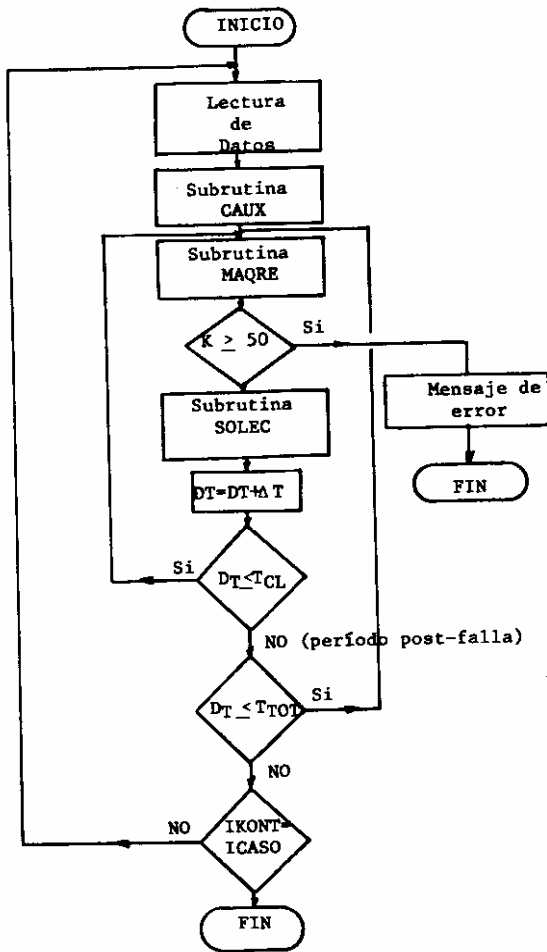
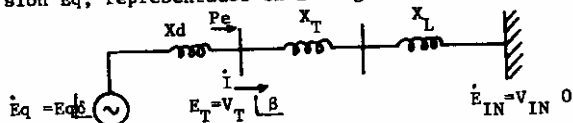


Figura 4

#### Subrutina CAUX

Esta subrutina calcula las condiciones de régimen de la máquina y del regulador de tensión. Dado un punto de operación especificado por la potencia eléctrica  $P_e$ , por el módulo de tensión terminal  $V_T$  y por el módulo y fase de la tensión de la barra infinita, se obtiene el ángulo de carga  $\delta$  y la tensión  $E_q$ , representados en la Fig. 5.



$$\text{Se tiene } P_e = \frac{V_T \cdot V_{IN}}{(X_T + X_L)} \sin \beta \quad (18)$$

$$\text{luego } \beta = \arcsin \frac{P_e (X_T + X_L)}{V_T \cdot V_{IN}} \quad (19)$$

En las ecuaciones (18) y (19),  $X_L$  representa la reactancia pre-falla del sistema de transmisión. La corriente terminal, se obtiene de

$$\dot{i} = \frac{E_T - E_{IN}}{j(X_T + X_L)} \quad (20)$$

$$\text{y } \dot{E}_q = \dot{E}_T + j X_d \dot{i} \quad (21)$$

y se obtiene el ángulo de carga de la máquina en relación a la barra infinita, mostrada en Fig. 6

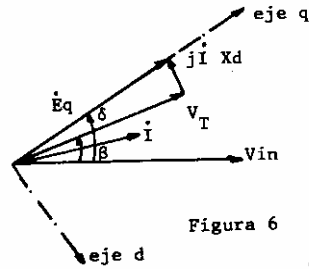


Figura 6

A partir de  $E_q$ , se obtiene  $E'd$  y  $E'q$ , por (3) y (4), donde  $E'd = 0$  en régimen ( $i_{kq} = 0$ ), de  $E'd$  y  $E'q$  tenemos  $\dot{E}'i$  y  $\dot{E}'$  desde (3) y (2).

Las corrientes  $i_d$  e  $i_q$  se calculan desde (20), transformándose los ejes con la matriz de transformación

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} I_R \\ I_I \end{bmatrix} \quad (22)$$

donde

$$T = \begin{bmatrix} \sin \delta & \cos \delta \\ -\cos \delta & \sin \delta \end{bmatrix} \quad \dot{i} = I_R + j I_I$$

Las condiciones de régimen del RAT se obtienen de la ecuación (9) y del conjunto de ecuaciones (17) En régimen se tiene

$$\begin{aligned} E_{fd} &= E_q - R_{Efd} \\ E_4 &= A e^{-sT} E_{fd} \\ E_5 &= K_E \cdot E_{fd} \\ E_3 &= E_4 + E_5 \\ E_2 &= E_3 \\ E_1 &= 0 \\ V_{ref} &= V_T + \frac{E_2}{K_A} \end{aligned} \quad (23)$$

de las ecuaciones (10) y (11) se obtiene  $P_m = P_e$   
 $w = 1.0$   
 (24)

#### Subrutina MAQRE

Durante el período transitorio, donde el sistema está sometido a un defecto o al restablecimiento de una maniobra, su comportamiento se describe por las ecuaciones (8), (9), (10), (11) y (17) y por la nueva configuración de la red. A cada incremento de tiempo, en la solución de las ecuaciones diferenciales, se debe calcular nuevos valores de tensiones y corrientes que representan el estado actual del sistema, por medio de un proceso interactivo.

#### Subrutina SOLEC

En esta subrutina se resuelve las ecuaciones diferenciales de la máquina y del regulador de tensión. Se usa el método de Euler, con un intervalo de tiempo  $\Delta t$  aproximadamente 10 veces menor que la constante de tiempo del sistema.

#### AJUSTES DE LOS PARAMETROS DEL RAT

##### Función Saturación (SE)

La función saturación se obtiene como en (17), conociéndose dos puntos a saber:

$$S_{E \max} = 0.3424$$

$$S_{E \ 0.75 \max} = 0.0878$$

$$E_{fd \max} = 3.5$$

Ajustándose el exponencial para estos dos puntos, se llega a

$$S_E = 0.001480 e^{1.555335 Efd} \quad (25)$$

donde:  $A = 0.001480$   
 $B = 1.555335$

#### Ajuste de la ganancia $K_A$

En la figura 7 se representa el diagrama de bloques del regulador y de la máquina en vacío

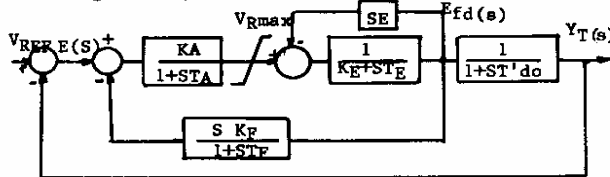


Figura 7

Desconsiderando el limitador, se puede llegar a la expresión del error  $E(S)$ , entre  $V_T(S)$  y  $V_{REF}(S)$  dada por:

$$E(S) = \frac{[(K_E + S E) + ST_E] (1+S_{TA}) (1+ST_F) (1+ST'do) + [(K_E + S E) + ST_E] (1+S_{TA}) (1+ST_F) (1+ST'do) + \frac{K_A K_F S (1+ST'do) V_{REF}(S)}{K_A K_F S (1+ST'do) + K_A (1+ST_F)}}{(K_E + S E) + ST_E} \quad (26)$$

Al aplicar una función paso en la referencia, el valor  $K_A$  se obtiene a través del teorema del valor final (Ref.5), de modo a minimizar el error  $e(t)$  en régimen, siendo  $e(t)$  la transformada inversa de  $E(S)$ , se tiene

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s E(S) \quad (27)$$

$$e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left( \frac{V_{REF}}{s} \right) \frac{[(K_E + S E) + ST_E] (1+ST_A) (1+ST_F)}{[(K_E + S E) + ST_E] (1+ST_A) (1+ST_F)}$$

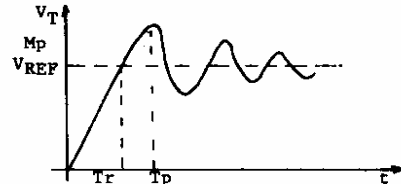
$$\frac{(1+S_{T'do}) + \frac{K_A K_F S (1+S_{T'do})}{(1+S_{T'do}) + K_A K_F S (1+S_{T'do}) + K_A (1+ST_F)}}{(1+S_{T'do}) + K_A K_F S (1+S_{T'do}) + K_A (1+ST_F)}$$

$$e(t) = \frac{(K_E + S E) V_{REF}}{(K_E + S E) + K_A}$$

de esta ecuación se observa que el valor de  $e(t)$  disminuye a medida que  $K_A$  crece, manteniéndose  $(K_E + S E)$  y  $V_{REF}$  fijo. De Ref. 1, se tiene que los valores típicos de  $K_A$  son  $25 < K_A < 50$  para generadores con  $T'do > 4$  seg. En este caso se fija  $K_A = 50$  para la obtención del menor  $e(t)$ .

Los parámetros de la excitatriz, se asumieron  $K_E = -0.057$  y  $T_E = 0.642$  (Ref. 3) y los valores de  $K_F$ ,  $T_F$  y  $T_A$  se obtuvieron de varios ensayos con la máquina en vacío, observándose la respuesta de  $V_T$  en el tiempo, dada una perturbación tipo paso en la tensión de referencia  $V_{REF}$ . Los parámetros  $K_F$ ,  $T_F$ ,  $T_A$  se variaron dentro de los rangos  $0.01 < K_F < 0.08$ ;  $0.35 < T_F < 1.0$ ;  $0.06 < T_A < 0.20$  de acuerdo a la recomendación del IEEE (Ref. 1) sobre la representación de reguladores automáticos de tensión. Inicialmente se colocó el RAT en régimen, y se obtuvo  $V_{REF} = 1.0$  (pu) para  $V_T = 1.0$  (pu). A continuación se perturbó la referencia para  $V_{REF} = 1.1$  (pu), observándose  $T_r$  (tiempo de subida),  $T_p$  (máxima sobreseñal) para algunos casos entre otros.

CASO	$K_F$	$T_F$	$T_A$	$T_r$ (S)	$T_p$ (S)	$M_p$ %	$V_T(T_p)$ (pu)
1	0.01	0.35	0.06	0.48	1.58	12.97	1.243
2	0.04	0.35	0.06	0.49	1.41	8.91	1.198
3	0.08	0.35	0.06	0.52	1.56	9.20	1.201
4	0.01	0.50	0.06	0.48	1.59	14.36	1.258
5	0.01	0.08	0.06	0.48	1.595	13.64	1.250
6	0.01	1.0	0.06	0.475	1.61	13.79	1.252
7	0.01	0.35	0.1	0.48	1.63	13.90	1.253
8	0.01	0.35	0.2	0.48	1.70	15.69	1.273



Aunque el sistema de la Fig. 7, es no lineal debido a la presencia de la saturación y del limitador, se observa por los casos 1, 2, 3 que el aumento en  $K_F$ , en el rango  $0.01 < K_F < 0.08$ , tiende a aumentar  $T_r$ , o sea, el sistema se torna más lento. La variación de  $T_F$ , entre  $0.35 < T_F < 1.0$ , presentado en los casos 1, 4, 5, 6 básicamente no alteró la velocidad de respuesta, aunque volvió el sistema un poco oscilatorio, debido a la mayor sobreseñal. Comportamiento semejante se observa con la variación de  $T_A$  ( $0.06 < T_A < 0.20$ ), en los casos 1, 7 y 8.

En base a estos resultados se ajustó  $K_F = 0.01$ ,  $T_F = 0.35$  y  $T_A = 0.06$ . Se escoge el caso 1 en relación al 2 y 3 por el hecho de  $T_r$  ser menor. En los casos 4 y 8 presentan mayor sobreseñal que caso 1, aunque  $T_r$  es menor, esto es, el sistema presenta la misma velocidad de respuesta, pero es más oscilatorio. Naturalmente esta selección puede no representar la solución óptima, debido a las no linealidades y es posible obtenerse otra combinación de los parámetros que proporcionan una mayor respuesta.

#### CASOS SIMULADOS

Datos para la simulación.

Punto de operación:  $P_e = 0.95$  pu  $V_T = 1.0$  pu

$E_{in} = 1.0 + j 0.0$  pu

Generador  $X_d = 1.65$  pu  $X'd = 0.26$  pu  $T'do = 6.5$  seg

$X_q = 1.58$  pu  $X'q = 0.46$  pu  $T'qo = 0.7$  seg

$H = 4$  seg

CASOS	Duración de la falla (ciclos)	Reactancia pre-falla (pu)	Reactancia post-falla	Características
1	3	0.20	0.40	Estable
2		0.20	0.60	Inestab.
3		0.40	0.80	"
4		0.40	1.20	"
5		0.60	1.20	"
6		0.60	1.80	"
7	6	0.20	0.40	Estable
8		0.20	0.60	Inestab.
9		0.40	0.80	"
10		0.40	1.20	"
11		0.60	1.20	"
12		0.60	1.80	"
13	10	0.20	0.40	Inestab.
14		0.20	0.60	"
15		0.40	0.80	"
16		0.40	1.20	"
17		0.60	1.20	"
18		0.60	1.80	"
19	3	0.20	0.59	Estable
20	3	0.20	0.59	Inestab.

Caso 19: Modificación del Caso 2 c/RAT

20: Modificación del Caso 2 s/RAT

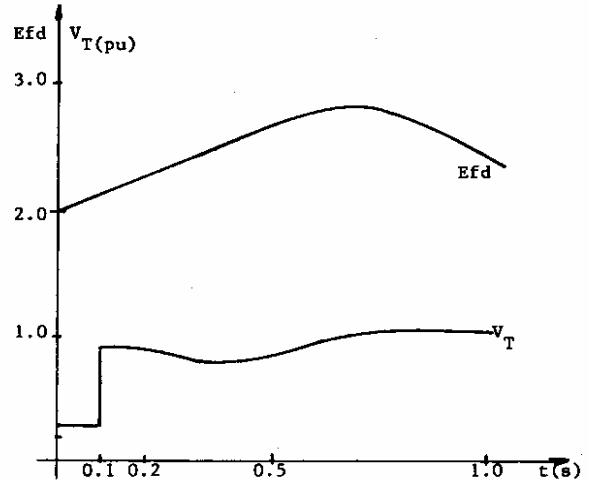
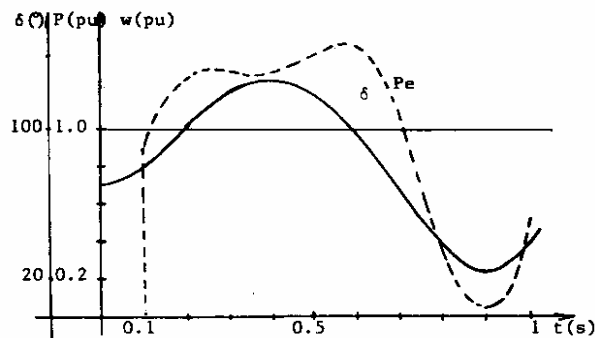
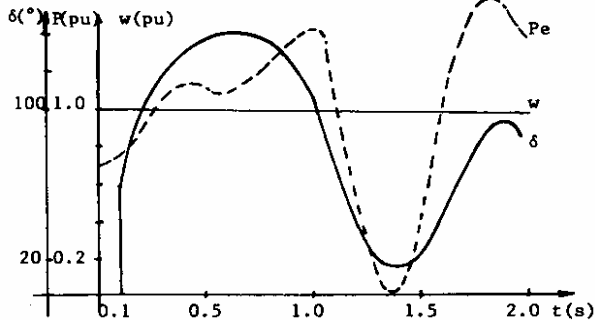
TABLA 1

## RESULTADOS

De los casos 1-2 y 7-8, se observa que al variar  $X_{Lpost}$  de 0.40 a 0.60; el sistema pasa de estable para inestable y se debe al hecho que una reactancia mayor limita la cantidad de potencia que puede ser transmitida por la red y los valores de  $P_e$  no son suficientes para desacelerar la máquina, ya que  $P_m$  se mantiene constante. También se comprobó, que al mantenerse  $X_{Lpre}$  y variando  $X_{Lpost}$ , esta potencia decrece a medida que  $X_{Lpost}$  crece. Este comportamiento sugiere que el intervalo  $0.40 \leq X_{Lpost} \leq 0.60$  se encuentra el valor de  $X_{Lpost}$  que representa el límite de estabilidad. En el caso 2 se buscó ese límite, compensándose la red post-falla. Con  $X_{Lpost} = 0.59$  se acerca a ese límite, como sugiere la figura 8, del caso 19. De acuerdo con Venikov, Cap. 8, pág. 179, cuando el sistema se aproxima del límite de estabilidad la curva potencia x tiempo presenta oscilaciones tipo no senoidal, como se ilustra en la Fig. 8.

En los casos 1, 7 y 13 ilustran la importancia que el tiempo de eliminación de la falla tiene sobre la estabilidad; para los tiempos de 3 y 6 ciclos es estable, no así para 10 ciclos. En la Fig. 10 se observa que la potencia presenta una oscilación no senoidal, mostrando que el sistema se encuentra próximo del límite de estabilidad y por tanto que el tiempo crítico de eliminación de falla está próxima de 6 ciclos.

A fin de mostrar la contribución del regulador automático de tensión en la estabilidad, se ejecutaron los casos 19 y 20 respectivamente. El caso 19 opera próximo al límite de estabilidad, pero cuenta con la acción del RAT. El caso 20 es la repetición del caso 19 pero sin RAT y se vuelve inestable. La acción del RAT se comprobó también observándose el comportamiento de  $V_T$  y  $E_{fd}$  para todos los casos. Se notó que el RAT actúa en el sentido de mantener la tensión alrededor de un cierto valor final. Durante la falla se comprobó que  $V_T$  está alrededor de 0.33 pu, restableciéndose después de su eliminación. Estos resultados están de acuerdo con Anderson<sup>6</sup>, Cap. 8, pág. 356.



## CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó la estabilidad del sistema solamente en la primera oscilación, pues, es generalmente verdadero que si el sistema es estable en este período se puede obtener un desempeño satisfactorio en las siguientes oscilaciones, por la acción de ciertos controles, como los controles de tensión y velocidad. Por los resultados de la simulación se observa que el control de la excitación no mejoró sensiblemente el desempeño del sistema en la primera oscilación, principalmente por el tipo de RAT usado, que no representa una rápida respuesta inicial, aunque los casos 19 y 20 muestran su contribución favorable.

Para tiempos de despeje de falla iguales o menores que 6 ciclos, están generalmente asociadas a la acción primaria de relés y disyuntores; mientras que tiempos de 10 ciclos son representativos de la acción "backup" (Ref. 8). Por los resultados de los casos de 10 ciclos (inestables), parece que el criterio de abertura para fallas trifásicas es difícil de cumplirse, al menos que se adopten otras medidas, como por ejemplo la utilización de resistores de frenado durante la falla.

Como sugerencia para futuros trabajos se sugiere la utilización de modelos más elaborados que se incluya la representación de cargas. Quizá se llegue a resultados más optimistas que los aquí presentados.

## REFERENCIAS

1. IEEE Committee Report - "Computer Representation of Excitation Systems" - IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-87, N° 6, June 1968.
2. DANDENO, P. L.; HAUTH, R. L.; SCHULZ, R.P. - "Effects of Synchronous Machine Modeling in Large Scale System Studies" - IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-92, N° 2, March/April 1973.
3. PEDROSO, A.S. - Anotaciones del Curso de Dinámica de Sistemas de Energía Eléctrica II - COPPE/UFRJ - 1982.
4. STAGG, G.W.; EL ABIAD, A.H. - "Computer Methods in Power System Analysis" - McGraw-Hill - 1968.
5. DORF, R.C. - Modern Control Systems - Addison

Wesley - 1974.

6. ANDERSON and FOUAD - Power System Control and Stability - IOWA State University Press - 1977.
7. VENIKOV, V. - Transient Processes in Electrical Power Systems - Mir Publishers - Moscow - 1977.
8. BROWN, P. G.; DE MELLO, F.P.; LENFEST, E. H.; MILKS, R.J. - Effects of Excitation, Turbine Energy Control and Transmission on Transient Stability - IEEE Trans. Power App. Systems, Vol. PAS-89, N° 6, July/August 1970.

DATOS BIOGRAFICOS



NOVOA ALBUJA, FABIAN E. Nació en Cayambe en Mayo 17, 1954. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional. Master en Ciencias, M.Sc. en Ingeniería Eléctrica, en la COPPE/UFRJ, Brasil, año 1984. Trabaja en INECEL desde 1977, actualmente en la DOSNI, Departamento de Planificación Operativa. Colabora también con el Instituto de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional.