

ESTUDIO DE ESTABILIDAD TRANSITORIA DEL
PROYECTO PAUTE ETAPAS I y II

Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero en la especialización de Inge-
nería Eléctrica de la Escuela Politécni-
ca Nacional

NELSON OMAR MEDINA CHARVET

Quito, Junio de 1.974

Certifico que la presente Tesis: "Estudio de Estabilidad Transitoria del Proyecto Parte Etapas I y II ha sido realizada en su totalidad por el señor NELSON OMAR MEDINA CHARVET.



ING. PATRICIO ENRIQUEZ.

Director de Tesis

AGRADECIMIENTO:

Al señor Ing. Patricio Enríquez, Director de Tesis, y a los señores Jaime Hidalgo y Luis Pérez, Ayudantes del Departamento de Sistemas de Potencia de la Escuela Politécnica Nacional por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

A la Srta. Yolanda Rea, que muy gentilmente transcribió mecanográficamente los manuscritos originales; y en general, a todas y cada una de las personas que en una u otra forma colaboraron para la realización del presente trabajo.

INDICE GENERAL

	Pag.
I. INTRODUCCION	
1.1. Antecedentes	3
II. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	
2.1. Descripción del sistema	4
2.2. Representación del sistema	9
2.3. Cálculo de impedancias	14
2.4. Condiciones de carga	23
2.5. Capacidad de transmisión de las líneas	29
III. FLUJOS DE CARGA	
3.1. Regulación de tensión y control de la potencia reactiva en sistema interconectado.	34
3.2. Flujos de potencia en cada condición de carga.	35
IV. ESTABILIDAD TRANSITORIA	
4.1. Localización de fallas	39

	Pag.
4.2. Tipos de falla	40
4.3. Representación de fallas	42
4.4. Criterios de estabilidad	45
4.5. Tiempos de apertura y recierre de los interruptores.	45
4.6. Curvas de oscilación	49
4.7. Conclusiones y recomendaciones	55

INDICE DE TABLAS

	Pag.
II-2.1. TABLA Nº 1, Características de las Máquinas.	6
II-2.1 TABLA Nº 2, Impedancia y susceptancia de las líneas.	7
II-2.1. TABLA Nº 3, Transformadores.	8
II-2.4. TABLA Nº 4, Potencia disponible en MW.	25
II-2.4. TABLA Nº 5, Demanda en KW.	26
II-2.4. TABLA Nº 6, Agrupación de Generadores I Etapa.	27
II-2.4. TABLA Nº 7, Agrupación de Generadores II Etapa.	28
II-4.6. TABLA Nº 8, Resumen.	54

LISTA DE LAMINAS

- LAMINA Nº 1 I Etapa, Diagrama de Impedancias para condiciones de carga a y b.
- LAMINA Nº 2 I Etapa, Diagrama de impedancias de secuencia cero.
- LAMINA Nº 3 II Etapa, Diagrama de impedancias para condiciones de carga a y b.
- LAMINA Nº 4 Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico de Guayaquil.
- LAMINA Nº 5 I Etapa Flujos de carga, cargas máximas.
- LAMINA Nº 6 I Etapa Flujos de carga, cargas mínimas.
- LAMINA Nº 7 II Etapa Flujos de carga, cargas máximas.
- LAMINA Nº 8 II Etapa Flujos de carga, cargas mínimas.

LAMINA Nº 9 I Etapa Estabilidad Transitoria, Estudio Nº 1.

LAMINA Nº 10 I Etapa Estabilidad Transitoria, Estudio Nº 2.

LAMINA Nº 11 II Etapa Estabilidad Transitoria, Estudio Nº 3.

LAMINA Nº 12 II Etapa Estabilidad Transitoria, Estudio Nº 4.

HOJAS DE CALCULO

ESTUDIO Nº 1, I Etapa Máxima Carga, para falla fase-tierra
(3 Máquinas).

ESTUDIO Nº 2, I Etapa Mínima Carga, para falla fase-tierra
(2 Máquinas).

ESTUDIO Nº 3, II Etapa Máxima Carga, para falla trifásica
(3 Máquinas).

ESTUDIO Nº 4, II Etapa Mínima Carga, para falla trifásica
(2 Máquinas).

I. INTRODUCCION

El estudio analítico de la estabilidad transitoria de sistemas de potencia es una de las materias más especializadas en el campo del análisis de sistemas de potencia. Los resultados de este tipo de estudios tienen especial importancia en la etapa de proyectos de nuevos sistemas de generación y transmisión ya que ellos pueden condicionar características importantes del equipo eléctrico mayor y de los equipos de protección, además de la configuración misma del nuevo sistema.

Este estudio es particularmente importante debido a que la remota localización de la planta de generación del Paute y la relativa debilidad del sistema en el área de carga, significan restricciones en la operación combinada del sistema térmico-hidráulico. Estas restricciones son impuestas por los requerimientos siguientes:

- Mantenimiento de la estabilidad transitoria y de estado estacionario.

- Control de voltaje en el área de carga.

- Operación económica del sistema térmico.

Aquí se tratará exclusivamente del mantenimiento de la estabilidad transitoria y de estado estacionario del sistema, se gún como ha sido concebido en las etapas I y II.

1.1. ANTECEDENTES.

El aprovechamiento del potencial de la Cola de San Pablo del río Paute situado en la provincia del Azuay es uno de los cinco grandes proyectos hidroeléctricos del Programa Nacional Interconectado emprendido por INECEL.

Inicialmente el área del mercado para el Proyecto Paute incluye siete provincias de la costa y la sierra, en la parte sur del Ecuador, en las que se halla incluido el Centro de Carga eléctrica mas importante del país. El desarrollo total propuesto comprende cinco etapas con una potencia de 1.260 MW. que cubrirá el crecimiento de la carga del sistema desde el año 1.977 hasta el 2.000.

II. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA.

2.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El sistema objeto del presente estudio comprende las áreas de Guayaquil, Milagro, Babahoyo, Quevedo, Daule, Manabí, El Oro, y Cuenca. Los esquemas del sistema de generación y transmisión corresponden a la I y II etapas propuestas por la Cia S. T. Main con algunas modificaciones introducidas por INECEL y otras debidas a los requerimientos propios de este estudio (Láminas N° 1 y N° 3).

Centrales.- Las principales fuentes de generación están ubicadas en la Central Hidroeléctrica Molino del Paute y en las Centrales a vapor y gas de Guayaquil. Centrales de menor capacidad están ubicadas en Manabí, Cuenca y Machala. El número y las características de los generadores que componen cada Central se resumen en la tabla N° 1.

Líneas.- En la etapa inicial una línea de 345 KV. con haz de dos conductores por fase y una longitud aproximada de 156 Km. transportará la energía generada en el Paute hasta la subestación Boliche. En la II etapa se prevé

la entrada en servicio de una segunda línea de 345 KV. paralela a la primera. Desde la subestación Boliche parten tres líneas de 138 KV. con direcciones hacia Portoviejo, Machala y Guayaquil, ésta última línea es a dos ternas. Desde la subestación de Juncal parte otra línea de 138 KV. una terna hacia Azogues y Cuenca. Las impedancias de las líneas se muestran en la tabla Nº 2 y en las láminas Nº 1 y Nº 3.

Subestaciones.- En la subestación Paute cada unidad se conecta a un banco de transformadores monofásicos de 13.8/138 KV. y 3 x 37.5 MVA; a su vez éstos se conectan en un patio de distribución subterráneo de 138 KV. mediante cables bajo aceite, a un autotransformador con terciario y de capacidades 500/500/150 MVA. con voltajes de 345/138/13.8 KV. A una distancia de 66 Km. del Paute, en terrenos próximos a la línea a 345 KV. se ubica la subestación de Juncal que abastece el área de Cuenca.

La subestación de Boliche es similar a la del Paute; el Autotransformador reduce el voltaje a 138 KV. En la subestación de Guayaquil un banco de transformadores reduce el voltaje de 138 KV. a 69 KV. Las subestaciones de las áreas apartadas como Cuenca, Machala y Portoviejo redu-

T A B L A N^o 1

Características de las Máquinas

Central	Número de Unidades Similares	Clase de Máquinas	KV	MVA	RPM	Xd'%	X ₂ %	H (p.u.)	M (MjxSg/°e)
Paute	2(1.978) 3(1.981)	Hidro	13.8	117.6	514	35	29.4	4	.045
Guayaquil	2(1.978)	Vapor	13.8	6.25	3.600	15	10	7.2	.004
	1(1.981)	Vapor	13.8	12.5	3.600	17	11	6.7	.008
	2	Gas	13.8	15.9	3.600	17	11	3.5	.0052
Salado	1	Vapor	13.8	62.5	3.600	21	12.8	4	.024
	1	Vapor	13.8	38.8	3.600	21	14.4	5	.018
	1	Gas	13.8	25.0	3.600	21	13	3.3	.008
Cuenca	2	Hidro	2.4	2.3	600	35		2	
	2	Hidro	4.16	4.7	720	35		1.7	
	4	Diesel	4.16	1.8	750	35		1.1	
Machala	3	Hidro	2.4	.53	1.200	30		1.5	
	4	Diesel	4.16	2.5	750	35		1.1	
Manta	2	Diesel	4.16	2.9	900	30		1.3	
	4	Diesel	13.8	4.0	150	40		1.5	

* Las reactancias están dadas en % de la potencia de cada generador.

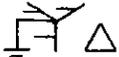
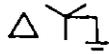
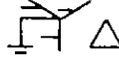
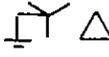
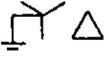
TABLA Nº 2

Impedancia y Susceptancia de Líneas

Líneas	Longitud Km.	KV	Impedancias				Susceptancia			
			Secuencia Positiva		Secuencia Cero		Secuencia Positiva		Secuencia Cero	
			Ohmios	% de 100 MVA	Ohmios	% de 100 MVA	Mho	% de 100 MVA	Mho	% de 100 MVA
Faute-Juncal	66	345	2.3+j25	0.19+j2.1	8.12+j87.58	0.68+j7.36	1.41x10 ⁻⁴	16.8	0.40x10 ⁻⁴	4.8
Juncal-Bolicho	90	345	3.2+j34	0.27+j2.87	11.10+j119.4	0.93+j10	1.92x10 ⁻⁴	22.9	0.55x10 ⁻⁴	6.5
Juncal-Cuenca	60	138	7.0+j30	3.65+j15.8	24.30+j105.24	12.76+j55.25	0.98x10 ⁻⁴	1.9	0.29x10 ⁻⁴	0.6
Bolicho-Durán	215	138	0.8+j4.6	0.38+j2.39	4.15+j25.1	2.18+j13.16	0.81x10 ⁻⁴	1.5	0.15x10 ⁻⁴	0.29
Durán-Quayaquil	2.5	138	0.2+j0.8	0.07+j0.4	0.67+j0.17	0.35+j0.62	0.13x10 ⁻⁴	0.25	0.04x10 ⁻⁴	0.08
Bolicho-Machala	125	138	14.5+j62.6	7.61+j32.88	50.63+j219.3	26.58+j115.1	2.04x10 ⁻⁴	3.9	0.58x10 ⁻⁴	1.1
Bolicho-Milagro	18	138	2.1+j9	1.10+j4.74	7.29+j31.57	3.83+j16.58	0.29x10 ⁻⁴	0.6	0.08x10 ⁻⁴	0.15
Milagro-Babahoyo	45	138	5.2+j22.6	2.74+j11.84	18.23+j78.93	9.57+j41.44	0.73x10 ⁻⁴	1.4	0.21x10 ⁻⁴	0.4
Babahoyo-Quevedo	90	138	10.4+j45	5.48+j23.68	36.45+j157.86	19.14+j82.88	1.47x10 ⁻⁴	2.8	0.42x10 ⁻⁴	0.8
Quevedo-Portoviejo	120	138	13.9+j60	7.31+j31.56	48.60+j210.5	25.52+j110.5	1.96x10 ⁻⁴	3.7	0.56x10 ⁻⁴	1.1
El Guasmo-Boyaó	3.9	69	0.8+j1.7	1.60+j3.6	1.64+j5.62	3.44+j11.8	-	-	-	-
Boyaó-Los Ceibos	5.7	69	1.1+j2.2	2.30+j5.6	2.37+j8.14	4.98+j17.1	-	-	-	-
El Salado-Los Ceibos	5	69	1.8+j4	2.00+j45	2.08+j7.14	4.36+j15	-	-	-	-
El Salado-El Guasmo	95	69		3.8+j8.6	4.17+j9.52	8.76+j20	-	-	-	-

T A B L A N º 3

Transformadores

Ubicación	MVA	Relación KV/KV	X (%)	X (% 100 MVA)	Conexiones
Paute	500/500/150	13.8/138/345	9/48/37.5	1.8/9.6/7.5	
	3x37.5	13.8/138	14	12.5	
Boliche	500/500/150	13.8/138/345	9/48/37.5	1.8/9.6/7.5	
Guayaquil	3x150	138/69	11	2.78	
Juncal	40	345/138	11	27.5	
Cuenca	40	138/69	11	27.5	
Portoviejo	40	138/69	11	27.5	
Machala	30	138/34.5	11	36.8	

cen el voltaje de 138 KV. a voltajes para subtransmisión. Las características de los transformadores se indican en la tabla Nº 3.

2.2. REPRESENTACION DEL SISTEMA.

Con el objeto de concentrar el estudio en el comportamiento de las fuentes importantes de generación, esto es Guayaquil y Paute, se ha optado por representar las barras de Manabí, Machala y Cuenca mediante cargas con valores iguales al de la demanda de potencia en esos puntos menos la generación existente en los mismos. De este manera se simplifica el cálculo sin afectar mayormente el comportamiento del sistema dada la pequeña capacidad de estas fuentes de generación y su ubicación relativamente distante a los puntos de falla considerados.

El efecto que tienen las reactancias internas de las máquinas en la estabilidad del sistema obliga a una representación más detallada del sistema de distribución de Guayaquil. Por esta razón en lugar de representarlo como una barra a la que se conectan un generador y una carga equivalente, se representó el anillo de 69 KV. tomando como re-

ferencia el diagrama unifilar de Guayaquil para el año 1.978 (Lámina N° 4). Los generadores de las centrales de Emelec y de El Salado se representaron por dos generadores equivalentes. Las cargas se distribuyeron en las principales subestaciones en base a los datos de la demanda para Guayaquil y a la capacidad de transformación instalada para ese año.

La Central Molino del Paute se representó por un generador equivalente de acuerdo al número de unidades instaladas en cada etapa. La configuración del sistema en las etapas I y II se muestran en las Láminas N° 1 y N° 3.

Como se puede observar en la Lámina N° 4, las barras colectoras de la Central Emelec están conectadas por un reactor y por un transformador de relación 4.16/13.8 KV. distinguiéndose 3 secciones de barras; el generador equivalente se representó en la I etapa por una fuente de voltaje en serie con tres reactancias conectadas a cada una de estas secciones. En la II etapa las reactancias se combinan en una sola; la unidad a vapor de 5 MW. que genera a 4.16 KV., se supone fuera de servicio, y asumiendo un mismo voltaje a los terminales de los generadores, el reactor entre las barras se ha suprimido.

En la etapa inicial la reactancia transitoria del generador equivalente en la Central El Salado, incluye la de los transformadores de elevación (Lámina Nº 4). En la II etapa se vió la conveniencia de combinar la reactancia de estos como si estuvieran conectados directamente a una barra y se intercaló en serie la reactancia combinada de los transformadores de elevación, puesto que trabajando en el Analizador de Redes se debe seleccionar la reactancia del generador para fijar los valores de potencia activa y reactiva que se asume debe entregar al sistema.

Para representar las impedancias del sistema en valores por unidad (p.u.) se adoptó como potencia base 100 MVA.

El valor de la impedancia base en una sección del sistema de voltaje KV. en términos de la potencia base es

$$Z \text{ base} = \frac{KV^2}{MVA. \text{ base}}$$

La impedancia expresada en p.u.

$$Z \text{ p.u.} = Z \Omega \frac{\text{MVA. base}}{\text{KV.}^2}$$

en porcentaje

$$Z\% = Z \Omega \frac{\text{MVA. base}}{\text{KV.}^2} \times 100$$

Las reactancias de los generadores y transformadores dados en porcentaje sobre la base de la potencia y voltajes nominales propios se expresan en términos de la base 100 MVA. multiplicándolos por $\frac{100.000}{\text{KVA } n}$, donde KVA n es la potencia nominal.

REPRESENTACION DEL AUTOTRANSFORMADOR.

Características:

Capacidad 500/500/150 MVA.

Reactancias en porcentaje de 500 MVA.

$$X \text{ primario-secundario} = X_{p/s} = 9\%$$

$$X \text{ primario-terciario} = X_{p/t} = 48\%$$

$$X \text{ secundario-terciario} = X_{s/t} = 37.5\%$$

Reactancias en porcentaje de la potencia base del sistema,
100 MVA.

$$X_p = \frac{1}{2} (1.8 - 7.5 + 9.6) = 1.95\%$$

$$X_s = \frac{1}{2} (1.8 + 7.5 - 9.6) = -.15\%$$

$$X_t = \frac{1}{2} (7.5 - 1.8 + 9.6) = 7.65\%$$

Los Circuitos Equivalentes de secuencia positiva, negativa y
cero en porcentaje, se reproducen en las figuras.

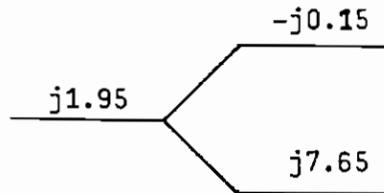


Fig. 2.1 Circuito equivalente de
secuencia positiva y negativa

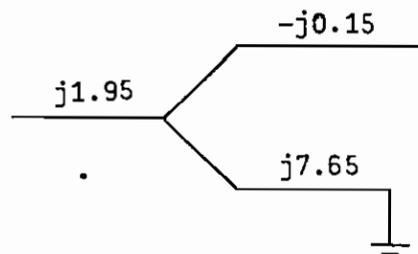


Fig. 2.2 Circuito equivalente de
secuencia cero

2.3 CALCULO DE IMPEDANCIAS.

Los datos se basan en los calibres y disposición de conductores aceptados por INECEL al momento de iniciarse este estudio; los cálculos se basan en las referencias anotadas en Bibliografía. La impedancia y susceptancia de las líneas se dan en la tabla Nº 2.

LINEA PAUTE - BOLICHE, 345 KV.

Características

Conductor ACSR, 954 MCM

Bundle dos conductores por fase, separación 18"

Distancia media geométrica entre fases 36.5'

- Resistencia por fase a 50°C.

$$r_a = .0564 \Omega / \text{Milla}$$

- Reactancia Inductiva por fase; secuencia positiva y negativa.

reactancia inductiva para 1 pie de radio

$$X_a = .1729 \Omega / \text{Milla}$$

reactancia inductiva para 36.5'

$$X_d = .4365 \Omega / \text{Milla}$$

reactancia inductiva total

$$X_a + X_d = .1729 + .4365 = .6094 \Omega / \text{Milla}$$

- Impedancia serie de secuencia cero.

$$Z_0 = 3.5 (.0564 + j .6094)$$

$$Z_0 = .1974 + j 2.1329 \Omega / \text{Milla}$$

Reactancia capacitiva, secuencia positiva y negativa.

reactancia capacitiva para un pie de radio:

$$X_a' = .0389 \text{ M}\Omega \text{ -Milla}$$

reactancia capacitiva a 36.5'

$$X_d' = .1067 \text{ M}\Omega \text{ -Milla}$$

reactancia capacitiva total:

$$X_a' + X_d' = .0389 + .1067 = .1456 \text{ M}\Omega \text{ -Milla}$$

- Reactancia capacitiva de secuencia cero

$$X_0' = 3.5 \times .1456$$

$$X_0 = .5096 \text{ M}\Omega \text{ -Milla}$$

_____ o _____

LINEAS A 138 KV. UN CIRCUITO.

Características:

Conductor ACSR, 556 MCM

Distancia media geométrica 24'

Resistencia por fase a 50°C.

$$r_a = .1859 \Omega / \text{Milla}$$

Reactancia inductiva, secuencia positiva y negativa:

reactancia inductiva para 1 pie de radio

$$X_a = .420 \Omega / \text{Milla}$$

reactancia inductiva para 24'

$$X_d = .3856 \Omega / \text{Milla}$$

reactancia inductiva total

$$X_a + X_d = .420 + .3856 = .8056 \Omega / \text{Milla}$$

Reactancia capacitiva, secuencia positiva y negativa.

reactancia capacitiva para 1 pie de radio

$$X'_a = .0965 \text{ M} \Omega - \text{Milla}$$

reactancia capacitiva a 24'

$$X'_d = .0943 \text{ M} \Omega - \text{Milla}$$

reactancia capacitiva total

$$X'_o + X'_d = .0965 + .0943 = .1908 \text{ M} \Omega - \text{Milla}$$

- Impedancia serie de secuencia cero

$$Z_0 = 3.5 (.1859 + j .8056)$$

$$Z_0 = .6507 + j 2.8196 \Omega / \text{Milla}$$

- Reactancia capacitiva de secuencia cero

$$X_0' = 3.5 \times .1908$$

$$X_0' = .6678 \text{ M}\Omega \text{ -Milla}$$



LINEA BOLICHE - DURAN A 138 KV. DOBLE CIRCUITO

Características

Conductor ACSR 954 MCM

Espaciamiento entre conductores

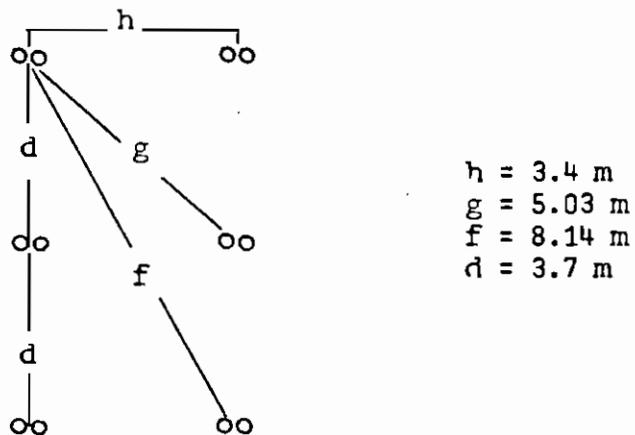


Fig. 2.3 Disposición de los Circuitos

- Resistencia por fase a 50°C.

$$r_a = .0564 \Omega / \text{Milla}$$

radio medio geométrico de cada conductor

$$r' = .0403 \text{ pies} = .0123 \text{ m.}$$

- Reactancia inductiva por fase, secuencia positiva y negativa.

$$X = .2794 \log. \left[2^{1/6} \left(\frac{d}{r'} \right)^{1/2} \left(\frac{g}{f} \right)^{1/3} \right] \Omega / \text{fase/Milla}$$

$$X = .2794 \log. \left[2^{1/6} \left(\frac{3.7}{.0123} \right)^{1/2} \left(\frac{5.03}{8.14} \right)^{1/3} \right]$$

$$X = .3406 \Omega / \text{fase/Milla}$$

Reactancia capacitiva por fase, secuencia positiva y negativa
radio del conductor:

$$r = \frac{1.196''}{2} = .0152 \text{ mt.}$$

$$X' = .0342 \log. \left[\frac{2^{1/3} d}{r} \left(\frac{g}{f} \right)^{2/3} \right] \text{ M}\Omega \text{ -Milla, fase-neutro}$$

$$X' = .0803 \text{ M}\Omega \text{ -Milla, fase-neutro}$$

- Impedancia serie de secuencia cero

$$Z_0 = 5.5 (.0564 + j.3406)$$

$$Z_0 = .3102 + j 1.8733 \Omega / \text{Milla}$$

- Reactancia capacitiva de secuencia cero

$$X_0' = 5.5 \times .0803$$

$$X_0' = .4417 \text{ M}\Omega \text{ -Milla, fase-neutro.}$$

LINEA DURAN - GUAYAQUIL, 138 KV., DOBLE CIRCUITO

Características:

Conductor Alumoweld 37 x N° 7 AWG

Bundle: dos conductores, 1 pie de separación

Espaciamiento entre conductores.

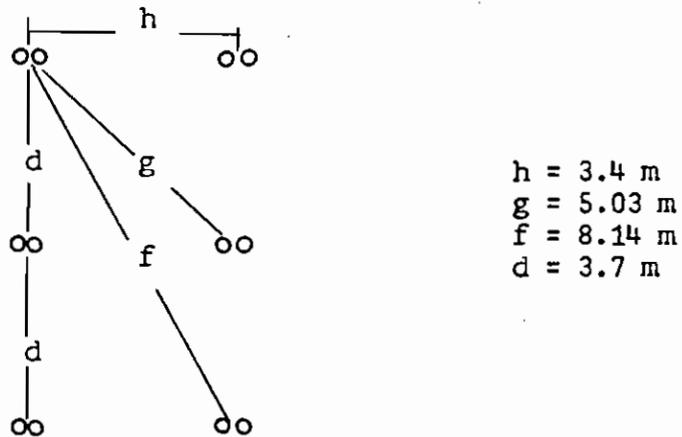


Fig. 2.4 Disposición de los Circuitos

- Resistencia por fase a 50°C.

$$r_a = .0891 \Omega / \text{Milla}$$

radio medio geométrico de cada conductor

$$r_o = .0325'$$

radio medio geométrico equivalente del Bundle

$$r_0' = (.325' \times 1')^{1/2} = .1803' = .055 \text{ mt.}$$

radio medio geométrico entre conductores de la misma fase.

$$D_s = (r_0')^{1/2} \cdot f^{1/3} \cdot h^{1/6}$$

$$D_s = (.055)^{1/2} \times 8.14^{1/3} \times 3.4^{1/6}$$

$$D_s = .575 \text{ mt.}$$

Distancia media geométrica entre conductores

$$D_{eq.} = 2^{1/6} \times d^{1/2} \times g^{1/3} \times h^{1/6}$$

$$D_{eq.} = 2^{1/6} \times 3.7^{1/2} \times 5.03^{1/3} \times 3.4^{1/6}$$

$$D_{eq.} = 4.564 \text{ mt.}$$

Reactancia inductiva por fase; secuencia positiva y negativa

$$X = .2794 \log. \left(\frac{D_{eq.}}{D_s} \right) \Omega / \text{Milla} / \text{fase.}$$

$$X = .2794 \log. \left(\frac{4.564}{.575} \right)$$

$$X = .251 \Omega / \text{Milla} / \text{fase.}$$

Reactancia capacitiva por fase; secuencia positiva y negativa.

$$X' = .0683 \log. \left(\frac{D_{eq.}}{D_s} \right) \text{ M} \Omega - \text{Milla} / \text{fase} - \text{neutro.}$$

$$X' = .0683 \log. \left(\frac{4.564}{.575} \right)$$

$$X' = .0615 \text{ M} \Omega - \text{Milla} / \text{fase} - \text{neutro.}$$

Impedancia serie de secuencia cero

$$Z_0 = 3(.0891 + j .251)$$

$$Z_0 = .2673 + j .753 \Omega / \text{Milla}$$

Reactancia capacitiva de secuencia cero.

$$X_0' = 3 \times .0615$$

$$X_0' = .1845 \text{ M} \Omega \text{ -Milla, fase-neutro.}$$

————— o —————

2.4. CONDICIONES DE CARGA.

Para el estudio de la estabilidad transitoria del sistema en cada etapa se consideraron dos condiciones de carga: a) Cargas máximas; b) Cargas mínimas. Los datos de demanda y de capacidad de generación instalada en los años 1.978 y 1.981 se han tomado del informe presentado por el Grupo de Trabajo de la programación del sistema nacional interconectado (INFCEL, Tablas Nº 5 y 6).

Las demandas máximas son coincidentes y sumadas constituyen el pico de la curva de carga, que para este estudio es similar a la curva de carga tipo para el mes de Diciembre en Guayaquil. En esta curva la carga mínima oscila entre 35% y 40% del pico. Se asume que para el desarrollo del proyecto en las Etapas I y II el río Paute cuenta con suficiente agua, por lo que no se han establecido restricciones en cuanto a la producción hidroeléctrica total.

En el año 1.978 se disponen de 411 MW. para atender la demanda máxima de 310 MW. En condiciones de mínima carga se considera el funcionamiento de las unidades de 33 y 50 MW. en Guayaquil, puesto que se utilizarán durante las

24 horas y no sería económico suspender su operación por varias horas. Se utilizaría solo el 75% de la capacidad de estos grupos dejando una potencia base de 62.5 MW. En estas condiciones 50 MW podrían transferirse desde el Paute para cubrir los 107 MW. que constituyen la demanda mínima en este año.

En el año 1.981 se disponen de 504 MW. para atender la demanda máxima de 440 MW., se considera que para este año habrá instalados en el Paute 3 unidades de 100 MW y una línea adicional, también a 345 KV., entrará en servicio entre Paute y Boliche. La demanda mínima del sistema se estima en 175 MW. de los cuales aproximadamente 90 MW. podrán ser suministrados en los centros de carga.

Para las Etapas I y II, el número de unidades funcionando en cada condición de carga, y las características de los generadores equivalentes se indican en las tablas N° 7 y N° 8. Las reactancias transitorias equivalentes están dadas en porcentaje de la potencia base para todo el sistema, esto es 100 MVA.

T A B L A Nº 4
Potencia disponible en MW.

G E N E R A C I O N		1.978	1.981
Paute	Hidro 2 x 100	200	200
	Hidro 1 x 100	-	100
	Total	200	300
Enelec	Vapor 2 x 5.0	11.0	5.5
	Vapor 2 x 10.0	22.0	22.0
	Gas 1 x 13.5	14.85	14.85
	Total	47.85	42.35
El Salado	Vapor 1 x 33	36.3	36.3
	Gas 1 x 21.2	23.3	23.3
	Vapor 1 x 50	55.0	55.0
	Total	114.6	114.6
Manta	Diesel 2 x 2.5	4.5	4.5
	Diesel 4 x 3.4	13.6	13.6
	Total	18.1	18.1
Machala	Hidro 3 x .45	1.26	1.26
	Diesel 3 x 2.15	6.45	5.8
	Diesel 1 x 2.15	2.15	2.15
	Total	9.86	9.21
Cuenca	Hidro 4 x 1.6	6.4	6.4
	Hidro 2 x 4.0	8.0	8.0
	Diesel 3 x 1.5	4.5	4.05
	Diesel 1 x 1.5	1.5	1.5
	Total	20.4	19.95
T o t a l		410.81	504.21

001656

T A B L A Nº 5

Demanda en MW.

UBICACION	1.978		1.981	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
El Guasmo	48	17	69	27
Boyacá	14	5	19	8
Los Ceibos	64	22	92	37
Enelec	29	10	40	16
El Salado	54	20	77	31
Santa Elena	7.1	2	10	4
Area de Cuenca	23.5	8	29	12
Area de Machala	16	5	24	9
Area de Milagro	25	9	35	14
Area de Babahoyo	6	2	8	3
Area de Quevedo	6	2	11	4
Area de Manabí	19	7	28	11
T o t a l	311.6	109	442	176

T A B L A N^o 5

Agrupación de Generadores I Etapa*

Central	Número de Unidades funcionando en condiciones de carga.		Generación equivalente en condiciones de carga							
	a	b	M.W.		X ² d(%)		σ ₂ (%)		MCM(x ₂)/°e	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Paucé	2	1	200	100	15	30	12.5	25	.09	.045
Elelec	5	-	43.5	-	240	-	160	-	.029	-
El Calado	3	2	104.2	83	25.7	32.2	19.7	24.9	.05	.043

* a Condición de carga máxima
b Condición de carga mínima

T A B L A Nº 7

Agrupación de Generadores II Etapa*

Central	Número de Unidades funcionando en con- diciones de carga.		Generador equivalente en condiciones de carga							
			MW		X'd(%)		X ₂ (%)		M(MjxSg/°e)	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Paute	3	1	300	100	10	30	8.33	25	.135	.045
Enelec	4	-	38.5	-	35.5	-	2.68	-	.025	-
El Salado	3	2	104.2	83	16.7	20.8	4.45	6.78	.05	.043

* a Condición de carga máxima
 b Condición de carga mínima

2.5. CAPACIDAD DE TRANSMISION DE LAS LINEAS.

El límite de estabilidad de un sistema depende de la potencia que esta siendo transportada al momento de ocurrir una falla, por esta razón es importante conocer la capacidad de transmisión de las líneas para relacionarlas con las potencias transportadas durante las etapas en estudio. Esta capacidad se la determina en porcentaje del SIL.

Surge-impedance-loading (SIL) es la carga que una línea tendría que suplir si a su extremo receptor se conecta una impedancia de factor de potencia unitario igual a $(L/C)^{1/2}$ donde L es la inductancia en serie de la línea por unidad de longitud y C la capacitancia en shunt por unidad de longitud de línea. En estas condiciones las pérdidas en potencia reactiva debido a la corriente de carga (I^2Xl) son iguales a la potencia reactiva generada por la capacitancia de la línea (E^2/Xl).

El SIL nos da una idea de la capacidad de carga de una línea. Es usual cargar líneas cortas de baja reactancia inductiva apreciablemente por encima del SIL, y por limitaciones de estabilidad se cargan líneas largas por debajo del SIL.

La curva de la figura 2.5 preparada por la Federal Power Comision, representa la potencia entregada por unidad de SIL, en líneas no compensadas, en función de la longitud de la línea.

El SIL de la línea Paute-Boliche en la I Etapa es de 397 MVA. y en la II Etapa de 821 MVA. pero considerando las reactivancias de los Generadores, banco de Transformadores de elevación y Autotransformadores, ésta se reduce en el arreglo de la I etapa a 163 MVA., y en el arreglo de la II etapa a 280 MVA. Con éstas condiciones utilizando la curva referida se obtienen capacidades de transmisión de 358 y 616 MVA. respectivamente.

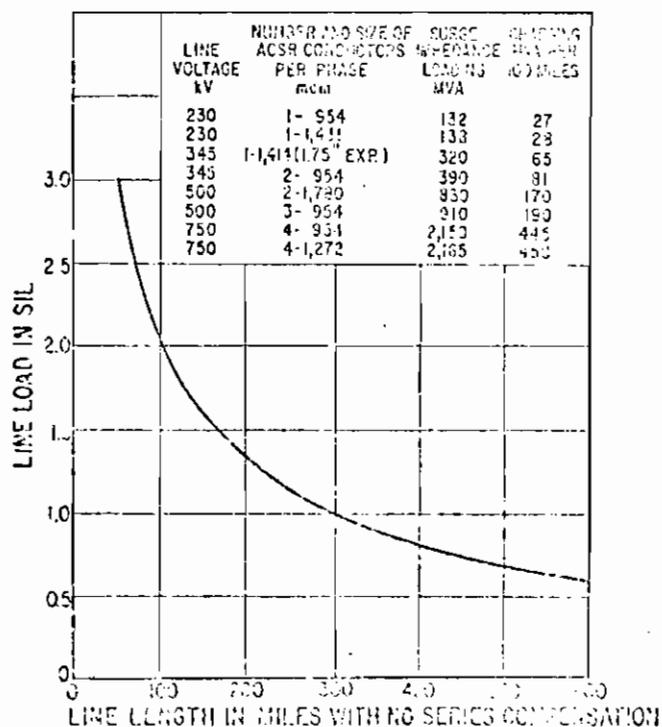


Fig. 2.5-Transmission-line capability in terms of surge-impedance loading.

- CALCULO DE LA IMPEDANCIA CARACTERISTICA Y DEL SIL DE LA LINEA PAUTE-BOLICHE.

I ETAPA

$$Z_s = (L/C)^{1/2}$$

$$Z_s = (2\pi fL/2\pi fC)^{1/2}$$

$$Z_s = (X_L X_C)^{1/2}$$

$$X_L = .61 \Omega / \text{Milla}$$

$$X_C = .146 \text{ M} \Omega - \text{Milla}$$

$$Z_s = (.61 \times .146 \times 10^6)^{1/2}$$

$$Z_s = 300 \Omega$$

$$\text{SIL} = \frac{(KV \text{ L-L})^2}{Z_s}$$

$$\text{SIL} = \frac{(345)^2}{300} = 397 \text{ MVA.}$$

II ETAPA

$$X_L = \frac{.61}{2} = .30 \Omega / \text{Milla}$$

$$X_C = \frac{.146}{2} = .073 \text{ M} \Omega - \text{Milla}$$

$$Z_s = (.30 \times .073 \times 10^6)^{1/2}$$

$$Z_s = 145 \Omega$$

$$SIL = \frac{(345)^2}{145} = 821 \text{ MVA.}$$

- Cálculo del SIL considerando las reactancias de los Gene radores, banco de Transformadores de elevación, y Autotransfor madores.

I ETAPA:

Reactancia equivalente de los Generadores, 15%.

Reactancia equivalente de los bancos de Transformación, 6.25%.

Reactancia de los Autotransformadores 2 x 1.8%.

Reactancia de la línea 4.96%.

Reactancia serie total

$$15\% + 6.25\% + 2 \times 1.8\% + 4.96\% = 29.81\%$$

Expresado en Ohmios por Milla.

$$29.81 \times \frac{(345)^2 \times 10 \times 1}{100.000 \times 97} = 3.66 \Omega / \text{Milla}$$

97 Millas es la longitud total de la línea.

Reactancia capacitiva total, .146 M Ω -Milla.

Impedancia característica.

$$Z_s = (3.66 \times .146 \times 10^6)^{1/2}$$

$$Z_s = 731 \Omega$$

Surge Impedance Loading.

$$SIL = \frac{(345)^2}{731} = 162.8 \text{ MVA.}$$

II ETAPA.

Reactancia equivalente de los Generadores, 10%.

Reactancia equivalente de los bancos de Transformación, 4.17%.

Reactancia de los Autotransformadores, 2 x 1.3%.

Reactancia de la línea, 2.48%.

Reactancia serie total:

$$10\% + 4.17\% + 2 \times 1.3\% + 2.48\% = 20.25\%$$

Expresado en Ohmios por Milla.

$$20.25 \times \frac{(345)^2 \times 10}{100.000} \times \frac{1}{97} = 2.48 \Omega / \text{Milla.}$$

Reactancia capacitiva total, .073 M Ω -Milla.

Impedancia característica

$$Z_s = (2.48 \times .073 \times 10^6)^{1/2}$$

$$Z_s = 425 \Omega$$

Surge Impedance Loading.

$$SIL = \frac{(345)^2}{425} = 280 \text{ MVA.}$$

III. FLUJOS DE CARGA.

3.1. REGULACION DE TENSION Y CONTROL DE LA POTENCIA REACTIVA EN SISTEMAS INTERCONECTADOS.

En los sistemas de transmisión es necesario mantener niveles de tensión adecuados pero es admisible una banda de tensión más amplia que en el caso de los sistemas de distribución.

La caída de tensión de una línea de transmisión puede descomponerse en dos partes: una debido a la transmisión de potencia activa y otra debido a la transmisión de potencia reactiva. La componente debido a la transmisión de potencia activa no se puede modificar puesto que depende de la demanda de la carga servida y debe ser atendida precisamente a través de la línea de transmisión. No es necesario que la potencia reactiva sea transmitida completamente a través de la línea de transmisión, sino que se la puede producir en los lugares de consumo por medio de condensadores sincrónicos o estáticos. Se puede por lo tanto variar la caída de tensión actuando sobre la potencia reactiva y mantener los voltajes constantes en los extremos receptor de generación o solamente en este último,

independientemente de la potencia activa transmitida.

En un sistema con cargas pesadas los voltajes pueden resultar muy bajos debido a que el sistema demanda más potencia reactiva de los generadores que la que estos pueden dar sin afectar su voltaje de salida. Las corrientes en las líneas de transporte aumentan produciendo una gran caída de tensión. Puede ocurrir también que con cargas ligeras los voltajes son elevados debido a la potencia reactiva generada por la capacitancia de líneas de transporte.

La aplicación adecuada de capacitores estáticos o sincrónicos y de reactores en el sistema permite conseguir un flujo de carga conveniente.

3.2. FLUJOS DE POTENCIA EN CADA CONDICION DE CARGA.

Para establecer las condiciones iniciales de funcionamiento del sistema en cada etapa y condición de carga, se fijaron los valores de generación de potencia activa y reactiva en las centrales de Emelec y El Salado dejando oscilar el Generador del Paute con un voltaje fijo. En cada caso se estudió el funcionamiento del sistema y luego se procedió

a efectuar los arreglos necesarios para conseguir un adecuado flujo de carga; los resultados se reproducen en las láminas correspondientes.

Carga Mínima.- En condiciones de mínima carga el flujo de potencia reactiva proveniente de la capacitancia de las líneas eleva el voltaje en barras del sistema. El efecto sobre los generadores es elevar el voltaje a los terminales y limitar la cantidad de potencia reactiva que entregan al sistema, a valores muy por debajo del nominal. En estas condiciones el funcionamiento del sistema en régimen estacionario es inestable.

Se hace necesario entonces, la compensación por reactores ubicados en los puntos extremos de la línea a 345 KV. Estos reactores se conectan a los terciarios de los autotransformadores, su efecto es absorber el excedente de potencia reactiva generada por las líneas. Los reactores del extremo del Paute impiden que los generadores del Paute trabajen con factor de potencia en adelanto a voltajes muy elevados, gracias a que absorben la potencia reactiva generada por la línea y obligan a los generadores a ceder potencia reactiva. De esta manera se logra normalizar los voltajes

en las barras del Paute y Boliche y el funcionamiento de los generadores del Paute. Pero los voltajes en el anillo a 69 KV. de la ciudad de Guayaquil se presentan ahora bajo los niveles aceptables: la demanda de potencia reactiva de este centro de consumo ya no puede ser cubierta sino parcialmente por la potencia reactiva proveniente de la capacitancia de las líneas, los generadores comienzan a entregar potencia reactiva en exceso de sus capacidades manteniendo bajos los voltajes a los terminales. Aquí son evidentes las limitaciones que impone el sistema a la transferencia de potencia reactiva desde este centro de generación hacia los centros de carga importantes. Por esta razón la potencia reactiva tiene que ser suministrada en estos centros de carga mediante capacitores estáticos o condensadores sincrónicos..

Un control adicional sobre el flujo de potencia reactiva en las líneas se consigue manipulando los taps de los transformadores asociados con las líneas. Por ejemplo al subir el tap del autotransformador de Boliche aumenta el flujo de potencia reactiva hacia esta barra. En los generadores del Paute se observa una disminución del voltaje terminal y un incremento de la potencia reactiva generada; los resultados se muestran en las Láminas N^o 6 y N^o 8.

Carga Máxima.- En condiciones de máxima carga se presentaron voltajes muy bajos en las barras del sistema antes de efectuar la compensación. En lo que se refiere a la transmisión de potencia reactiva desde el Paute ésta tiene que limitarse a valores mínimos, de otra manera las pérdidas en el sistema se incrementan y los voltajes resultan demasiado bajos para mantener la estabilidad en estado estacionario. Las barras de las Centrales de Emelec y El Salado que alimentan cargas pesadas requirieron suministros locales de potencia reactiva por medio de capacitores.

Correcciones adicionales de voltajes y de control de flujo de potencia reactiva en líneas se consiguieron manipulando los taps de los transformadores asociados; los resultados se muestran en las Láminas Nº 5 y Nº 7.

IV. ESTABILIDAD TRANSITORIA.

4.1. LOCALIZACION DE FALLAS :

Debido a la gran transferencia de potencia desde el Paque una falla sobre las líneas de 345 KV. se considera crítica para la estabilidad del sistema. Las fallas sobre esta línea se han localizado en base a dos criterios:

1.- La tendencia de un generador a acelerar inmediatamente después de ocurrida una falla, es mayor cuanto mas cercano al generador se localiza la falla.

2.- Una falla en barras o sobre una línea próxima a una barra, es más severa que una falla del mismo tipo en el punto medio de una línea, aunque ambas son igualmente probables.

En la I Etapa se eligió un punto sobre la línea, de 345 KV. próximo a la subestación de Poliche, puesto que la aceleración de los generadores durante la aplicación de la falla es prop. su inversa con la aceleración durante los siguientes ciclos en los cuales recorre la línea y hay una re-

ducción en la transferencia de potencia entre los sistemas. Una falla de cualquier tipo tendría sustancialmente el mismo efecto sobre la estabilidad, que una falla en el extremo próximo a los generadores.

En la II Etapa se eligió, de acuerdo a los criterios mencionados, un punto sobre la línea Paute Juncal inmediato a las barras de alta tensión del autotransformador del Paute, pues si se considera recierre trifásico en circuitos paralelos los beneficios que se obtienen desde el punto de vista de la estabilidad decrecen con la reducción en longitud de la línea y con el número de subestaciones de maniobra intermedias.

4.2. TIPOS DE FALLAS.

En las líneas de transmisión bajo consideración no existen condiciones de nieve o hielo; pérdidas de torres por causas de desprendimientos se consideran mínimas; el nivel iso_ukerámico es medio por lo tanto parece que el tipo de falla más probable en las líneas de transmisión es una falla de los aisladores atribuibles a descargas atmosféricas. En consecuencia las fallas pueden considerarse de tipo transitorio en su mayoría.

Un sistema durante una falla puede representarse introduciendo una impedancia en derivación en el punto de la falla, el valor de esta impedancia depende del tipo de falla desde el punto de vista del número de fases involucradas.

Las fallas que pueden presentarse en una línea son las siguientes: Línea a tierra; dos líneas en cortocircuito, dos líneas a tierra, cortocircuito trifásico. Los valores de impedancia en derivación, para estos tipos de fallas, expresados en función de las impedancias de secuencia negativa y cero son en su orden: $Z_2 + Z_0$, Z_2 , $\frac{Z_0^2}{Z_0 + Z_2}$, 0.

En condiciones de falla la potencia transferida entre dos puntos de un sistema, a un ángulo dado, es menor conforme disminuye el valor de impedancia en derivación; según esto la severidad de las fallas incrementaría en este orden: Línea a tierra, dos líneas en cortocircuito, dos líneas a tierra y corto circuito trifásico. Además en este mismo orden la gravedad de la falla se incrementa con el tiempo de duración de la falla.

Fallas trifásicas son poco frecuentes en líneas aéreas de alto voltaje, sin embargo se consideran en la II Etapa porque existiendo una línea adicional entre el Paute y Po-

liche, bien puede estudiarse el comportamiento del sistema con una línea fuera de servicio. Además el cálculo de este tipo de fallas es menos complicado.

En la I Etapa con una línea en servicio entre Paute y Boliche, una falla trifásica en cualquier punto sobre esta línea podría estudiarse admitiendo recierre trifásico; pero el recierre trifásico es un medio muy práctico para mantener la carga de la línea de transmisión entre áreas interconectadas, cuando estas áreas tienen capacidades de generación de al menos cuatro veces la capacidad de carga de la línea de transmisión. En el caso estudiado la capacidad de generación es solamente de .6 de la capacidad de carga de la línea en la I Etapa. Finalmente una falla fase-tierra se eligió para estudio de estabilidad del sistema por ser las que con mayor frecuencia ocurren en este tipo de líneas.

4.3. REPRESENTACION DE FALLAS.

Fallas trifásicas con apertura y recierre se representan durante su aplicación, conectando a tierra el punto falloso en la red de secuencia positiva; durante la apertura de los interruptores se abre la línea en el punto falloso, y

durante el recierre se vuelve a conectar la línea.

La forma de representar en el Analizador de Redes la falla fase-tierra durante su aplicación apertura y recierre se describe a continuación:

1. Aplicación de la falla.- Esta situación se representa conectando en el punto de falla de la red de secuencia positiva, una reactancia en derivación de valor $X_2 + X_0$; esto es la suma de las reactancias de las redes de secuencia negativa y cero vistas desde el punto de falla (Figura 4.1).

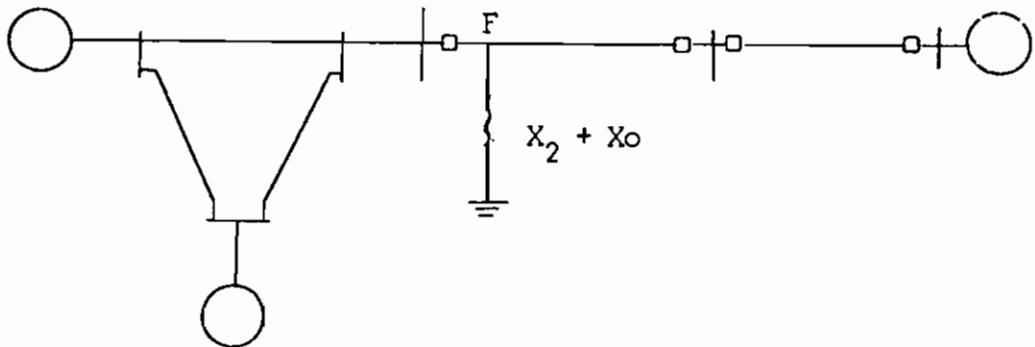


Figura 4.1

2. Una fase abierta.- Esta situación se representa inser

tando en el punto de falla de la red de secuencia positiva una reactancia en serie (Figura 4.2) cuyo valor es $\frac{X_2 \times X_0}{X_2 + X_0}$

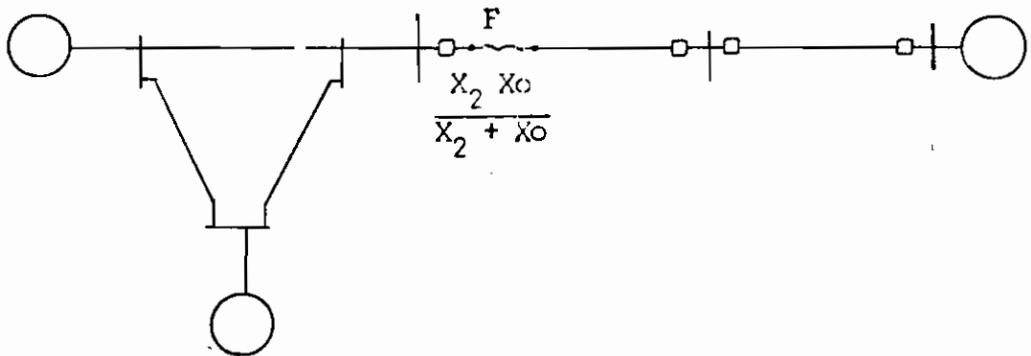


Figura 4.2

Los valores de las reactancias de secuencia negativa y cero y sus combinaciones, en porcentaje de la potencia base 100 MVA, se obtuvieron por reducción de las redes correspondientes para cada condición de carga y son los siguientes:

Condición de Carga.	X_2	X_0	$X_2 + X_0$	$\frac{X_2 \times X_0}{X_2 + X_0}$
a	9.3%	5.7%	15%	3.5%
b	11.5%	5.8%	17.3%	3.9%

4.4. CRITERIOS DE ESTABILIDAD.

Asumiendo que las fallas que pueden ocurrir son de tipo transitorio el recierre de una línea fallosa tiene éxito. En la I Etapa con una línea en servicio el recierre sin éxito significaría pérdida parcial de energía generada, siendo necesario en este caso una reducción de la carga. Por lo tanto se mantiene el criterio de que sistema permanezca estable ante una falla fase-tierra con recierre con éxito.

En la II Etapa con la línea de doble circuito, los beneficios que se obtienen con el recierre instantáneo son pequeños desde el punto de vista de la estabilidad. Aquí se lo considera por existir la posibilidad de una falla simultánea del circuito doble y el deseo de reducir las operaciones manuales. En consecuencia se mantiene el criterio de que el sistema permanezca estable ante una falla trifásica con recierre con éxito.

4.5. TIEMPOS DE AFERTURAS Y RECIERRE DE LOS INTERRUPTORES.

La cantidad de potencia que puede transmitirse desde una central a un sistema durante una falla, sin pérdi-

das de sincronismo depende entre otros factores de la duración de la falla y el tiempo de despeje de la falla, ^{que} es la suma del tiempo que los relays de protección toman para cerrar el circuito de disparo de los interruptores automáticos y el tiempo requerido para que el interruptor automático corte la corriente de falla. Con frecuencia un sistema que es inestable para un tipo y localización particular de falla puede hacerse estable decreciendo los tiempos de despeje de los interruptores.

Se ha encontrado que la mayoría de los sistemas usualmente requieren, desde el punto de vista de la estabilidad, interruptores de apertura rápida solamente en los circuitos eléctricamente más cercanos a los generadores. Las fallas severas que generalmente interrumpen el suministro de potencia al sistema pueden requerir tiempos de apertura tan bajos como 5 ciclos y 9 ciclos.

Los tiempos usuales de apertura de los interruptores en altos voltajes son de 5 y 8 ciclos. Utilizando relays con tiempos de 1 o 3 ciclos los tiempos totales de apertura de un circuito falloso son de 6 y 8 ciclos si se emplean interruptores de 5 ciclos, y de 9 y 11 ciclos si se emplean interruptores de 8 ciclos.

El problema de considerar tiempos de recierre de un circuito falloso tiene dos aspectos:

- Tiempo máximo permisible para la re-energización del circuito falloso sin pérdida de sincronismo.
- Máximo tiempo permisible para la de-ionización del arco.

El tiempo máximo permisible para la re-energización de un circuito falloso depende del tipo, duración y localización de la falla; del arreglo del sistema; de la capacidad y distribución de la generación; de la potencia que estaba siendo transportada por el circuito falloso y por el resto del sistema.

El tiempo máximo permisible para de-ionización del arco depende de muchos factores entre los cuales están: intensidad y duración de la corriente de falla; longitud del arco; número de conductores comprometidos en la falla; configuración del circuito y de las torres; resistencia del dieléctrico de aislamiento; condiciones del tiempo; altura; vol

taje del sistema; longitud de la línea. El tiempo de de-ionización del arco es variable, en la práctica se permite tanto tiempo como sea posible sin comprometer la estabilidad del sistema. Las informaciones sobre el tiempo de de-ionización del arco son escasos. Con maniobras monopolares el arco en la falla después de haberse abierto el interruptor tiende a mantenerse por el acoplamiento capacitivo con las otras fases. Probablemente se requieren tiempos mayores para la de-ionización del arco en maniobra monopolar.

Si los márgenes de estabilidad son pequeños se justifica disminuir el tiempo para de-ionización del arco. Un caso extremo de gran margen de estabilidad como el que ocurre cuando se tienen suficientes circuitos en paralelo puede no requerir de recierre, todo depende de la potencia que se pretenda llevar por esos circuitos.

En el caso del Proyecto Paute la potencia transportada por la línea Paute - Boliche en condiciones de máxima carga en porcentaje del SIL es 33% en la Etapa inicial y 41% en la Segunda Etapa. En estas condiciones, tiempos de maniobra relativamente lentos permitirán estudiar el sistema en el caso límite.

Se analizará entonces, el comportamiento del sistema bajo los siguientes tiempo de apertura y recierre de la línea:

I Etapa. Maniobra monopolar.

Apertura 9 ciclos.

Recierre 30 ciclos.

II Etapa. Maniobra tripolar.

Apertura 6 ciclos

Recierre 18 ciclos.

4.6. CURVAS DE OSCILACION.

Una vez que se han determinado las condiciones iniciales de funcionamiento del sistema y se han establecido la localización y tipo de fallas, se procede a obtener las curvas de oscilación de las máquinas siguiendo el método punto por punto utilizando las hojas de cálculo para estabilidad transitoria. Esta hoja contiene:

1. Identificación del estudio realizado.- Condición de carga y etapas a que corresponde.

2. Datos característicos de la máquina.- Potencia, velocidad, reactancia transitoria, constante de inercia, el recíproco de la constante de inercia (k).
3. Condiciones antes de la falla.- Angulo de fase del voltaje interno, potencia de entrada al rotor, voltaje interno.
4. Tabla para el cálculo punto por punto.- Esta tabla consta de 10 columnas que contienen: Intervalo de tiempo, ángulo de fase del voltaje interno, potencia de alimentación al sistema, potencia de aceleración, aceleración, incremento de tiempo aceleración, cambio en velocidad, cambio total de velocidad, incremento de tiempo velocidad, cambio de ángulo.

Las fórmulas que se emplean para el cálculo se derivan de la ecuación fundamental de oscilación de máquinas sin crónicas $M \frac{d^2\delta}{dt^2} = Pa$ y son las siguientes:

Cambio de velocidad en el intervalo n-1 a n.

$$\Delta \omega \left(n - \frac{1}{2} \right) = K \Delta t Pa(n-1)$$

Donde $K = \frac{1}{M}$

La velocidad al finalizar el intervalo

$$\omega(n - \frac{1}{2}) = \omega(n - \frac{3}{2}) + \Delta \omega(n - \frac{1}{2})$$

El cambio en posición angular en el intervalo n-1 a n.

$$\Delta \delta_n = \Delta t \omega(n - \frac{1}{2})$$

La posición angular a l fin del intervalo

$$\delta_n = \delta(n-1) + \Delta \delta_n$$

La aplicación y despeje de fallas y las operaciones de maniobra se asumen que tienen lugar al comenzar intervalos. El cambio de velocidad en este caso se calcula con las siguientes relaciones:

$$\Delta \omega^- = \frac{K \Delta t P_{ao}^-}{2}$$

$$\Delta \omega^+ = \frac{K \Delta t P_{ao}^+}{2}$$

- ESTUDIOS EFECTUADOS.

Se hicieron cuatro estudios de estabilidad transitoria las curvas de oscilación se reproducen en las láminas N° 9, 10, 11 y 12; las condiciones bajo consideración y las conclusiones resultantes concernientes a la estabilidad o inestabilidad de cada caso se resumen en la tabla N° 9.

Estudio Nº 1.- Las máquinas de Emelec fueron ajustadas para entregar sus potencias nominales. De esta manera la línea de interconexión con el Paute transporta 117 MW. a la subestación de Boliche. (Lámina Nº 5). Se asumió una falla línea a tierra localizada sobre la línea de 345 KV. próxima a dicha subestación. Los tiempos de apertura y recierre adoptados fueron 9 y 30 ciclos respectivamente. Se supone que la apertura de la línea en ambos extremos es simultánea. Un examen de las curvas de oscilación (Lámina Nº 9) muestra que las máquinas del sistema oscilan aproximadamente juntas e incrementan sus velocidades. Las curvas muestran claramente que el sistema es estable.

Estudio Nº 2.- La potencia recibida en la subestación de Boliche se redujo a 44 MW. y los generadores de Emelec están fuera de operación. La central de El Salado trabaja con el 60% de su capacidad (Lámina Nº 6). Con la misma localización y tipo de falla, y con los mismos tiempos de maniobra el sistema es estable (Lámina Nº 10).

Estudio Nº 3.- La carga del sistema se incrementó en un 40%. En el Paute funciona una nueva unidad de 100 MW. y dos líneas en paralelo a 345 KV. interconectan el Paute

con Boliche. Las máquinas de Guayaquil fueron ajustadas para entregar sus potencias nominales, y la potencia recibida en la subestación de Boliche es 250 MW. (Lámina Nº 7). Se asumió una falla trifásica localizada sobre la línea de 345 kV. Paute-Juncal próxima a la subestación de elevación del Paute. Los tiempos de apertura y recierre adoptados fueron 6 y 18 ci cios respectivamente. Las curvas (Lámina Nº 11) muestran una fuerte oscilación de las máquinas en los últimos ciclos, y en las hojas de cálculo la tendencia a acelerar y desacelerar fue tal que se puede considerar el caso como en el límite de esta bilidad transitoria.

Estudio Nº 4.- En el Paute funciona un generador de 100 MW. mientras en la central El Salado funcionan dos unidades con una capacidad total de 83 MW. y los generadores de Emelec están fuera de servicio. Las condiciones iniciales de carga en las líneas se muestran en la Lámina Nº 8. Con la misma localización y tipo de falla y los mismos tiempos de ma niobra el sistema es estable (Lámina Nº 12).

T A B L A Nº 8

Resumen

Estudio	Transferencia		Tipo de falla	Voltaje de línea	Localización de la falla.		Tiempos de maniobra en ciclos		Resultado
	de potencia MW	Línea			Subestación próxima	Línea	Apertura	Recierre	
1	119	P-B	L-G	345 KV	Boliche	P-B	9	30	Estable
2	43	P-B	L-G	345 KV	Boliche	P-B	9	30	Estable
3	253	2P-B	3 -L	345 KV	Paute	P-J	6	18	Crítico
4	94	2P-B	3 -L	345 KV	Paute	P-J	5	18	Estable

P-B : Paute - Boliche

P-J : Paute - Juncal

ESTUDIO Nº 1 1 ETAPA MAXIMA CARGA

MAQUINA

EL SALADO

PARA FALLA FASE - TIERRA

126.3

3600

25.7

4.3

540

K = 20

APERTURA

RECIERRE

0 ⁻	-8.6	104	119						
0 ⁺	8.6	70	34	680	0.025	17	17	0.05	0.85
0.05	-7.75	70	34	680	0.05	34	51	0.05	2.55
0.10	-5.2	71	33	660	0.05	33	84	0.05	4.2
0.15 ⁻	-1.1	75	29	580	0.025	14.5	98.5		
0.15 ⁺	-1.1	64	40	800	0.025	20	118.5	0.05	5.93
0.20	4.93	65	39	780	0.05	39	157.5	0.05	7.98
0.25	12.8	68	36	720	0.05	36	193.5	0.05	9.63
0.30	22.48	70	34	680	0.05	34	227.5	0.05	11.38
0.35	33.85	70.5	33.5	670	0.05	33.5	261	0.05	13.05
0.40	46.9	72	32	640	0.05	32	293	0.05	14.65
0.45	61.55	73	31	620	0.05	31	324	0.05	16.2
0.50 ⁻	77.75	73	31	620	0.025	15.5	339.5		
0.50 ⁺	77.75	124	-20	-400	0.025	-10	329.5	0.05	16.43
0.55	94.03	113	-14	-280	0.05	-14	315.5	0.05	15.78
0.60	110	110	-6	-120	0.05	-6	303.5	0.05	15.48
0.65	125.5	98.5	5.5	110	0.05	5.5	315	0.05	15.75
0.70	141.2	92	12	240	0.05	12	327	0.05	16.35
0.75	157.6	85	19	380	0.05	19	346	0.05	17.3
0.80	174.9	82	22	440	0.05	22	368	0.05	18.4
0.85	193.3	85	19	380	0.05	19	387	0.05	19.55
0.90	212.6	94	10	200	0.05	10	397	0.05	19.85
0.95	236.5	118	-14	-280	0.05	-14	383	0.05	19.15
1.0	259.7	126	-22	-440	0.05	-22	361	0.05	18.05

ESTUDIO Nº 1 I ETAPA MAXIMA CARGA
 PARA FALLA FASE - TIERRA

MAQUINA GUAYAQUIL
 MVA = 53.4 RPM = 3600 KV = 315

$H = 6.8 \text{ AWS/MVA}$

$N = H \cdot MVA = 363.6$

$K = \frac{100 F}{N}$

$K = 29.7 / S^2 / MW$

CONDICIONES

ANILLO EN LA PUNTA DE LA

	TIEMPO EN SG.	ANGULO DE FASE VOLTAJE INTERFAS	POTENCIA EN KW	POTENCIA EN MVA	VOLTAJE INTERFAS	ACELERACION A.P.K. %/SG ²	INFORMACION TIEMPO ACCELERACION AT	CAMBIO EN VELOCIDAD AW	CAMBIO TIEMPO DE VELOCIDAD	INFORMACION TIEMPO ACCELERACION AT	CAMBIO DE VELOCIDAD
	0	-9.4	43.5	105							
	0.05	-9.01	32.5	11	311.9	0.025	7.8	7.8	0.05	0.39	
	0.10	-7.8	31	12.5	326.7	0.05	16.34	24.13	0.05	1.21	
	0.15	-5.67	28.8	14.7	371.3	0.05	18.56	42.69	0.05	2.14	
APERTURA	0.15	-5.67	25	18.5	436.6	0.025	10.91	53.60			
	0.15	-5.67	25	18.5	549.5	0.025	13.74	67.34	0.05	3.37	
	0.20	-2.3	23.8	19.7	585.1	0.05	29.25	96.59	0.05	4.83	
	0.25	2.53	21.4	22.1	656.4	0.05	32.82	129.4	0.05	6.47	
	0.30	9.0	19.0	24.5	727.7	0.05	36.38	165.8	0.05	8.29	
	0.35	17.29	16.8	26.7	793	0.05	39.65	205.4	0.05	10.27	
	0.40	27.56	14.0	29.5	876.2	0.05	43.8	249.2	0.05	12.46	
	0.45	40.0	12.0	31.5	935.6	0.05	46.77	296	0.05	14.8	
RECIERRE	0.50	54.82	10.7	32.8	974.2	0.025	24.35	320.4			
	0.50	54.82	12.0	31.5	935.6	0.025	23.39	343.8	0.05	17.18	
	0.55	72.0	13.6	29.9	888	0.05	44.4	388.2	0.05	19.4	
	0.60	91.4	13.0	30.5	905.9	0.05	45.29	433.4	0.05	21.67	
	0.65	113.1	20.1	33.5	696.5	0.05	34.82	468.3	0.05	23.41	
	0.70	136.5	33.6	10.9	323.7	0.05	16.18	484.4	0.05	24.32	
	0.75	160.7	47.0	-3.5	-104	0.05	-5.19	479.2	0.05	23.96	
	0.80	184.7	59.0	-15.5	-460.4	0.05	-23	456.2	0.05	22.8	
	0.85	207.5	67.0	-23.5	-698	0.05	-34.9	421.3	0.05	21.1	
	0.90	228.5	72.5	-29	-861.3	0.05	-43.1	378.2	0.05	18.9	
	0.95	247.4	70.0	-26.5	-787	0.05	-39.4	339	0.05	16.94	
	1.0	264.4	68	-24.5	-727.7	0.05	-36.4	302.5	0.05	15.22	

ESTUDIO Nº 3 II ETAPA MAXIMA CARGA

MAQUINA FAUTE

PARA FALLA TRIFASICA

352.8 514 108

1411

7.41

0⁻ 0 273 109

APERTURA

RECIERRE

0 ⁺	0°	71.50	201.5	1493.1	0.025	37.93	97.33	0.05	1.366
0.05	1.87	73	204.5	1513.55	0.05	75.77	113.1	0.05	5.65
0.10 ⁻	7.52	75	207.5	1537.6	0.025	59.41	151.54		
0.10 ⁺	7.52	25.4	257.7	1905.1	0.025	47.63	199.17	0.05	9.96
0.15	17.48	272.5	0.5	3.74	0.05	0.019	199.19	0.05	9.96
0.20	27.44	300	-17.5	-123.68	0.05	-6.48	192.71	0.05	9.64
0.25	37.03	305	-27.5	-166.73	0.05	-8.34	184.37	0.05	9.22
0.30 ⁻	46.3	307	-24.5	-181.55	0.025	-4.54	179.93		
0.30 ⁺	46.3	340	-57.5	-463.1	0.025	-10.65	169.18	0.05	8.46
0.35	54.76	340	-57.5	-462.5	0.05	-23.13	146.06	0.05	7.94
0.40	62.1	325	-42.5	-314.33	0.05	-15.75	130.31	0.05	6.52
0.45	68.62	305	-22.5	-166.73	0.05	-8.34	121.97	0.05	6.1
0.50	74.72	275	7.5	55.58	0.05	2.78	124.75	0.05	6.24
0.55	80.55	242	40.5	373	0.05	15	133.76	0.05	6.99
0.60	87.95	215	67.5	500.18	0.05	25	164.77	0.05	8.24
0.65	96.19	175	107.5	796.58	0.05	39.82	204.5	0.05	10.22
0.70	106.41	133	39.5	737.3	0.05	36.55	241.96	0.05	12.07
0.75	118.48	213	69.5	514.99	0.05	27.75	267.11	0.05	15.35
0.80	131.83	253	29.5	230.59	0.05	10.93	278.04	0.05	13.70
0.85	145.73	290	-7.5	-5.53	0.05	-2.78	275.26	0.05	13.76
0.90	159.45	318	-33.5	-243.23	0.05	-12.41	262.35	0.05	13.14
0.95	172.63	330	-47.5	-371.27	0.05	-17.6	245.25	0.05	12.12
1.0	184.49	336	-61	-452.4	0.05	-22.97	229.23	0.05	11.11

ESTUDIO Nº 3 II ETAPA MAXIMA CARGA

MAQUINA EL SALA00

PARA FALLA TRIFASICA

MVA = 126.3 RPM = 3600 $X_d = 16.7\%$

$H = 4.3$ MWS/TON

$N = H/MVA = 540$

$K = 19.9$

$K = 19.9$ /S²/MVA

CONDICIONES

CIERRE DE LA

APERTURA

RECIERRE

CONDICIONES	TIEMPO EN S.	ANCHO DE FALLA	POTENCIA DE FALLA	POTENCIA DE LEVANTAMIENTO	ACELERACION EN G	DEFORMACION EN MM	ACELERACION EN G	DEFORMACION EN MM	ACELERACION EN G	DEFORMACION EN MM
	0 ⁻	-22.5	107	114						
	0 ⁻	-22.5	91	16	318.4	0.025	7.96	7.96	0.05	0.398
	0.05	-22.10	89	18	358.2	0.05	17.92	258.8	0.05	1.2935
	0.1 ⁻	-20.8	88	19	378.1	0.025	9.45	35.33		
	0.1 ⁺	-20.8	107	0	0	0.025	0	33.33	0.05	1.7665
	0.15	-19.03	76	31	616.9	0.05	30.85	66.17	0.05	3.31
	0.20	-15.72	60	47	935.3	0.05	46.7	112.95	0.05	5.646
	0.25	-10.07	50	57	1134.3	0.05	56.71	169.65	0.05	8.483
	0.30 ⁻	-1.588	53	54	1074.6	0.025	26.86	196.51		
	0.30 ⁺	-1.588	42	65	1293.5	0.025	32.34	228.86	0.05	11.42
	0.35	9.855	50	57	1134.3	0.05	56.715	285.6	0.05	14.28
	0.40	24.13	73	34	676.6	0.05	33.83	319.4	0.05	15.97
	0.45	40.1	101	6	119.4	0.05	5.97	325.57	0.05	16.27
	0.50	56.37	130	-23	-457.7	0.05	-22.85	302.49	0.05	15.12
	0.55	71.5	154	-47	-935.3	0.05	-46.77	255.73	0.05	12.79
	0.60	84.29	164	-57	-1134.3	0.05	-56.72	199	0.05	9.95
	0.65	104.19	200	-93	-1850.7	0.05	-92.54	106.47	0.05	5.32
	0.70	109.51	175	-68	-1353.2	0.05	-67.66	98.81	0.05	1.94
	0.75	111.45	135	-28	-557.2	0.05	-27.86	10.95	0.05	0.55
	0.80	111.99	88	19	378.1	0.05	18.91	29.86	0.05	1.49
	0.85	113.48	50	57	1134.3	0.05	56.72	86.57	0.05	4.33
	0.90	117.81	25	82	1631.3	0.05	81.59	163.16	0.05	8.41
	0.95	126.22	22.5	84.5	1681.5	0.05	84.07	252.24	0.05	12.61
	1.0	138.83	36	71	1412.9	0.05	70.65	222.99	0.05	16.14

ESTUDIO Nº 3 II ETAPA MAXIMA CARGA

MAQUINA GUAYAQUIL

PARA FALLA TRIFASICA

$MVA = 47.15$ $RPM = 3600$ $X_d' = 35.58$

$H = 6.8$ MVA/MVA

$N = A-TVA = 321$

$K = \frac{MVA}{N}$

$K = 33.62$ $1/8^2/25^2$

CONDICIONES

TIEMPO EN SEC.
 ANGULO EN GR.
 POTENCIA DE FUENTE EN MW
 POTENCIA DE ALTA EN MW
 POTENCIA DE BAJA EN MW

CONDICIONES DE FUENTE

TIEMPO EN SEC.
 ANGULO EN GR.
 POTENCIA DE ALTA EN MW
 POTENCIA DE BAJA EN MW

ACELERACION
 RPM/sec
 INGENIERIA
 ACCELERACION AC
 CANTIDAD EN
 VELOCIDAD EN
 CANTIDAD EN
 DE REINICIO
 CANTIDAD EN
 CANTIDAD EN

APERTURA

RECIERRE

TIEMPO EN SEC.	ANGULO EN GR.	POTENCIA DE ALTA EN MW	POTENCIA DE BAJA EN MW	ACELERACION RPM/sec	INGENIERIA	ACCELERACION AC	CANTIDAD EN	VELOCIDAD EN	CANTIDAD EN	DE REINICIO	CANTIDAD EN	CANTIDAD EN
0 ⁻	-29	38.6	110.5									
0 ⁺	-28	39.4	5.2	174.82	0.025	4.371	4.371	0.05	0.219			
0.05	-27.78	34.5	4.1	137.84	0.05	6.892	11.263	0.05	0.563			
0.10 ⁻	-27.22	34	4.6	154.65	0.025	3.866	15.19					
0.10 ⁺	-27.22	42	-3.4	-114.31	0.025	-2.86	12.27	0.05	0.614			
0.15	-26.61	27.5	11.1	373.18	0.05	18.66	30.93	0.05	1.55			
0.20	-25.1	19.5	19.1	642.14	0.05	32.11	63.04	0.05	3.15			
0.25	-21.95	10.5	28.1	944.72	0.05	47.24	110.28	0.05	5.514			
0.30 ⁻	-16.44	5.3	33.3	119.55	0.025	27.99	138.27					
0.30 ⁺	-16.44	2.4	36.2	1217.04	0.025	30.426	168.7	0.05	8.43			
0.35	-8	-2	40.6	1365	0.05	68.25	236.95	0.05	11.85			
0.40	3.85	0.5	39.1	1314.54	0.05	65.73	302.68	0.05	15.13			
0.45	18.98	6	32.6	1096	0.05	54.8	357.48	0.05	17.87			
0.50	36.85	17.5	21.1	709.38	0.05	35.47	392.95	0.05	19.65			
0.55	56.55	35.2	3.4	114.31	0.05	5.72	398.67	0.05	19.93			
0.60	76.43	55	-16.4	-551.37	0.05	-27.57	371.06	0.05	18.55			
0.65	94.98	64	-25.4	-853.95	0.05	-42.7	328.36	0.05	16.42			
0.70	111.4	77.5	-38.9	-1308	0.05	-65.39	262.97	0.05	13.15			
0.75	124.55	90	-51.4	-1728	0.05	-86.41	176.57	0.05	8.83			
0.80	133.37	91	-52.4	-1762	0.05	-88.1	88.48	0.05	4.12			
0.85	137.79	86	-47.4	-1594	0.05	-79.68	8.8	0.05	0.44			
0.90	138.23	69	-30.4	-1022	0.05	-51.1	-42.3	0.05	-2.11			
0.95	136.12	45.5	-6.9	-231.98	0.05	-11.6	-53.9	0.05	-2.63			
1.0	133.42	17.5	19.1	642.14	0.05	32.11	-21.79	0.05	-1.09			

PARA FALLA TRIFASICA

MVA = 117.6 SPTM = 514 Xd = 305

H = 4 MARRON

K = 22.2 / SPTM = 470

CONDUCTORES

TIPADO
CM 1.0

ANILLO DE ALUMINIO
VOLTAJE INTERIOR

VOLTAJE
INTERIOR

Nº DE FASES

K = 22.2

OPERACIONES

0 - 0° 114 117

TIPADO EN 96.	ANILLO DE ALUMINIO VOLTAJE INTERIOR	OPERACIONES	ANILLO DE ALUMINIO VOLTAJE INTERIOR							
0.05	2.47 25	89	1977.6 0.025	49.44 49.44	49.44	0.05	2.47	0.05	2.47	0.05
0.11	9.89 25	89	1977.6 0.025	49.44 49.44	49.44	0.05	2.47	0.05	2.47	0.05
0.15	20.06 112	2	44.44 0.05	2.22 205.54	205.54	0.05	10.28	0.05	10.28	0.05
0.20	30.34 117	-3	-66.66 0.05	-3.33 202.21	202.21	0.05	10.11	0.05	10.11	0.05
0.25	40.45 118	-4	-88.88 0.05	-4.44 197.77	197.77	0.05	9.89	0.05	9.89	0.05
0.3	50.34 116	-2	-44.44 0.025	-1.11 196.66	196.66	0.05	9.53	0.05	9.53	0.05
0.35	59.67 125	-11	-244.42 0.05	-12.22 174.44	174.44	0.05	8.72	0.05	8.72	0.05
0.40	68.39 119	1	22.22 0.05	1.11 175.55	175.55	0.05	8.78	0.05	8.78	0.05
0.45	77.17 101	13	288.86 0.05	14.44 189.99	189.99	0.05	9.50	0.05	9.50	0.05
0.50	86.67 89	25	555.5 0.05	17.78 217.77	217.77	0.05	10.89	0.05	10.89	0.05
0.55	97.56 81	33	733.26 0.05	36.66 254.43	254.43	0.05	12.72	0.05	12.72	0.05
0.60	110.28 80.5	32.5	744.37 0.05	37.22 291.65	291.65	0.05	14.53	0.05	14.53	0.05
0.65	124.86 85.5	28.5	633.27 0.05	31.66 323.31	323.31	0.05	16.17	0.05	16.17	0.05
0.70	141.03 98.0	16	355.52 0.05	17.78 341.09	341.09	0.05	17.05	0.05	17.05	0.05
0.75	158.08 111	3	66.66 0.05	3.33 344.42	344.42	0.05	17.22	0.05	17.22	0.05
0.80	175.30 122	8	-177.76 0.05	-8.89 335.52	335.52	0.05	16.78	0.05	16.78	0.05
0.85	192.08 126	-12	-266.64 0.05	-13.33 322.2	322.2	0.05	15.11	0.05	15.11	0.05
0.90	208.19 134	-20	-444.4 0.05	-22.22 299.98	299.98	0.05	15.0	0.05	15.0	0.05
0.95	223.2 132.5	-18.5	-411.1 0.05	-20.55 279.43	279.43	0.05	13.97	0.05	13.97	0.05
1.0	237.17 126	-12	-266.64 0.05	-13.33 236.1	236.1	0.05	13.21	0.05	13.21	0.05

RECIBIRRE

ESTUDIO Nº 4 II ETAPA MINIMA CARGA

MAQUINA EL SALADO

PARA FALLA TRIFASICA

101.3 3600 20.8%

4.6

K=23.47

	0 ⁻	-13	69	111.5						
	0 ⁺	-13	50	39	915.33	0.025	22.88	22.88	0.05	1.14
	0.05	-11.86	50	39	915.33	0.05	45.77	68.49	0.05	3.43
APERTURA	0.1 ⁻	-8.83	50	39	915.33	0.025	22.88	91.47		
	0.1 ⁺	-8.43	67	22	516.34	0.025	12.91	104.38	0.05	5.22
	0.15	-5.21	58	31	727.57	0.05	36.38	140.76	0.05	7.04
	0.20	-3.83	52	37	868.39	0.05	43.42	184.89	0.05	9.21
	0.25	19.04	50	39	915.3	0.05	45.77	229.95	0.05	11.5
RECIERRE	0.30 ⁻	24.54	52	37	868.39	0.025	21.71	251.66		
	0.3 ⁺	24.54	55	34	797.98	0.025	14.95	271.61	0.05	13.58
	0.35	33.12	65	24	563.28	0.05	18.16	239.77	0.05	14.99
	0.40	53.11	78	11	258.17	0.05	12.91	312.68	0.05	15.63
	0.45	68.74	93	-4	-93.18	0.05	-4.69	307.99	0.05	15.4
	0.50	84.14	105	-16	-275.52	0.05	-18.78	289.21	0.05	14.46
	0.55	98.6	112	-23	-539.81	0.05	-26.99	262.22	0.05	13.11
	0.60	111.71	112.5	-23.5	-551.55	0.05	-27.58	234.64	0.05	11.73
	0.65	123.44	107.5	-15.5	-434.2	0.05	-21.71	212.93	0.05	10.65
	0.70	134.09	95	-6	-140.82	0.05	-7.04	205.89	0.05	10.29
	0.75	144.98	80.5	8.5	-199.5	0.05	9.98	215.87	0.05	10.79
	0.80	155.17	67	22	516.34	0.05	25.22	241.69	0.05	12.08
	0.85	167.25	63	26	610.22	0.05	30.51	272.2	0.05	16.61
	0.90	180.86	53	36	844.92	0.05	42.25	314.45	0.05	15.72
	0.95	196.58	54	35	821.45	0.05	41.07	355.52	0.05	17.78
	1.0	214.36	62	27	635.69	0.05	31.68	337.20	0.05	19.36

4.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A groso modo se puede considerar la reactancia del sistema compuesto por las reactancias de generadores, transformadores, líneas de transmisión y posibles compensaciones. Es necesario mantener estas reactancias en el interior de ciertos límites, si se quiere un grado razonable de estabilidad. Por supuesto esta limitación de reactancia permisible puede incrementarse algo más por acción del control de los sistemas de excitación y de la velocidad y además por reducción en el tiempo de apertura y recierre de los interruptores. En la mayoría de los casos no se ha llegado a una acción de los controles completamente ventajosa. Por eso los incrementos en la reactancia total del sistema deben ser tolerados si es necesario, consiguiéndose todavía estabilidad.

Sistemas de excitación a Thyristor que reponen casi instantáneamente y estabilizadores especiales han sido diseñados y aplicados para sacar el máximo de ventaja del control de la excitación por incrementar el amortiguamiento del sistema. Así que, no podemos obviamente esperar mejoras en el funcionamiento de los sistemas de excitación. Estos sistemas altamente estabilizadores y de rápida respuesta podrían

aplicarse, sobre todo en la II Etapa con un cierto costo adicional, donde el sistema de transmisión es más débil, esto es Guayaquil, pues se tienen cargas pesadas y grandes distancias de transmisión desde la mayor estación generadora; pero la teoría y la experiencia han demostrado que no es posible eliminar completamente el efecto de la reactancia de los generadores solamente por el control de la excitación y de la velocidad de las turbinas.

En la etapa inicial del Proyecto, las velocidades de maniobra, relativamente lentas, para apertura y recierre de la línea de transmisión principal del sistema, en condiciones de falla, tienen aplicación aceptable desde el punto de vista de la estabilidad del sistema. En la segunda etapa las velocidades de maniobra más rápidas que en el caso anterior, resultaron críticas. En general se observó que las máquinas oscilan prácticamente como un grupo. En el estudio N° 3 las máquinas próximas a la falla mostraron mayor tendencia a perder el sincronismo.

Con los tiempos de maniobra adoptados el estudio demuestra que las velocidades de despeje de fallas, tienen mayor importancia en el problema de mejorar la estabilidad que

el de variar las características de las máquinas. Se concluye que cualquier cambio que se haga en las centrales de generación o en las características del resto del sistema sería limitada en sus efectos y relativamente costosa de obtener y por esto tendría una posición de menor importancia que no justificaría un estudio adicional.

Como los estudios se hicieron con potencias transmitidas desde el Paute, inferiores a su capacidad de transmisión, y el límite de estabilidad del sistema tendrá que incrementarse con el progreso del Proyecto que está previsto para desarrollar 1.260 Mw. Se recomienda hacer un estudio de costos que resultarían de instalar interruptores de alta velocidad e iniciar con interruptores de 5 ciclos que podrían modernizarse conforme el sistema requiere mayor margen de estabilidad. La modernización incluye la instalación de nuevos contactos y el reemplazo del mecanismo de operación con un nuevo mecanismo de alta velocidad.

- ESTABILIDAD DEL SISTEMA EN ESTADO ESTACIONARIO.

La distancia de la Central de Generación del Paute respecto del Centro principal de carga imponen serias res-

tricciones a la transmisión de potencia reactiva que se podría generar en el Paute. Por otro lado con el sistema trabajando a máxima carga la potencia reactiva generada por la línea no puede aprovecharse en el centro principal de carga sin sobrecargar de potencia reactiva la línea de alimentación a Guayaquil y el anillo a 69 KV., lo que reduce el factor de potencia y ocasiona fuertes pérdidas.

Con el sistema trabajando a mínima carga la corriente capacitiva propia de las líneas producen aumentos considerables de voltaje, y los generadores del Paute trabajan con factor de potencia en adelanto. Estos efectos pueden controlarse gracias a la compensación transversal (reactores en shunt) de la línea. En condiciones de falla el suministro de potencia reactiva quedaría cortado y el voltaje en el centro principal de carga se reduciría paulatinamente hasta comprometer la estabilidad en estado estacionario, aunque la estabilidad transitoria se haya mantenido. Se concluye que la ubicación de capacitores sincrónicos en Guayaquil es factor importante en el diseño del sistema.

En estas etapas del proyecto la carga transportada no supera el 50% de la capacidad de transmisión de la lí-

nea y los ángulos entre los voltajes internos de las máquinas y los voltajes de recepción, no alcanzan valores que puedan ser considerados límites desde el punto de vista de la estabilidad del sistema.

B I B L I O G R A F I A

1. EHV TRANSMISION LINE REFERENCE BOOK
Proyect EHV General Electric Company
Pittsfield - Massachusetts
Edison Electrical Institute 1.968
New York N.Y. USA.

2. WESTINGHOUSE Electrical Transmisi3n y Distribu-
tion Reference Book by Central Station Engineers of
the Westinghouse Electric Corporation - Fourth
Edition - Fifth Printing.
East Pittsburgh Pennsylvania USA.

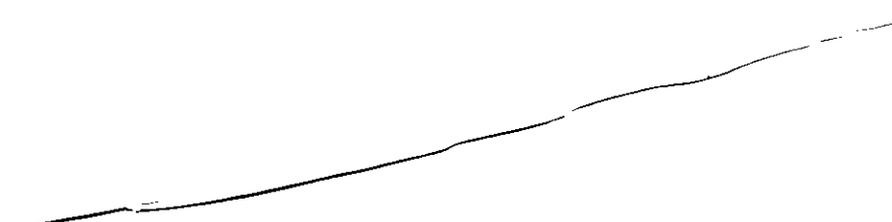
3. STEVENSON Elements of Power System Analisis.
Segunda Edition - Mack Graw Hill Book
Company INC.
1.962

4. KIMBARK. Power System Stability, Volumenes I y II.
New York. John Wiley & Sons, Inc.
London. Sydney
Eighth Printing, April, 1.967

5. ZABORSZKY, RITTENHOUSE Electric Power Transmission.
The Rensselaer Bookstore - Troy, N.Y.

 6. CRARY POWER System Stability, Volumes I y II.
Central Station Engineering Division
General Electric Company
Schenectady, New York & Sons, Inc.
New York, John Wiley
Third Printing, October 1.955.

 7. KNABLE Electric Power System Engineering
Problems And Solutions
Engineering Analisis and Computer Division
American Electric Power Service Corporation
New York N.Y.
McGraw-Hill book company.

 8. CLARKE Circuit Analysis of A.C. Power Systems Volu-
menes I y II.
New York. John Wiley & Sons, Inc.
Seven Printing, March, 1.961.
- 

9. CHAS T. MAIN International Inc. Engineers
Proyecto Paute. Informe de Factibilidad
Boston-Massachusetts; 12-II-71.

10. INECEL Balance de Potencia de Energía
Grupo de Trabajo de la programación del Sistema Na-
cional Interconectado.

11. REVISTA ELECTRONICA, IX-63 Consideraciones sobre la
compensación longitudinal y transversal en líneas
de muy alta tensión por Kicinski y Ostromiecki.

12. WESTINGHOUSE Manual del Analizador de Redes.