

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

ESTUDIO DE RECHAZO Y SECCIONAMIENTO DE CARGA EN EL
SISTEMA ELECTRICO DE HCJB EN PAPALLACTA

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
ELECTRICO EN LA ESPECIALIZACION DE SISTEMAS
ELECTRICOS DE POTENCIA

MILTON RICARDO ALQUINGA QUISHPE

DICIEMBRE - 1995

DEDICATORIA:

A mis padres

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO:

A Dios por su Amor y Misericordia

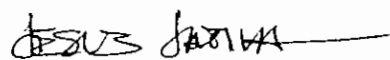
Al Dr. Jesús Játiva por las
invalorable sugerencias y su tiempo
dedicado

A los ingenieros de HCJB: Tim
Warham, Daniel Schroeder y Gonzalo
Carvajal por los datos
proporcionados

A mis compañeros Luis Amores y Diego
Benítez por las ayudas prestadas.

CERTIFICACION:

El presente trabajos de Tesis de Grado fue desarrollado en su totalidad por el señor Milton Ricardo Alquina Quishpe.



Dr. Jesús Játiva Ibanes

INDICE

CONTENIDO	Pág No.
CAPITULO I: INTRODUCCION	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivo.....	4
1.3 Justificación.....	6
1.4 Alcance.....	6
1.5 Desarrollo del Trabajo de Tesis.....	7
CAPITULO II: OPERACION ACTUAL DEL SISTEMA ELECTRICO DE HCJB	
2.1 Condiciones de Operación Estacional, Mensual y Diaria.....	9
2.2 Sistema de Subtransmisión y Distribución.....	11
2.3 Demandas Principales: Transmisores de Radio de HCJB en Pifo, Baeza y Empresa Eléctrica Quito S.A (EEQSA) en Pifo.....	15
2.4 Sistema de Protección.....	24
2.5 Contrato de Venta de Potencia/Energía con la EEQSA.....	30
CAPITULO III: ESTUDIO DE RECHAZO DE CARGA	
3.1 Desconexión del Alimentador a la EEQSA en Pifo para diferentes condiciones de demanda y diferentes condiciones estacionales.....	33
3.1.1 Operando las unidades 1 y 2 en Paralelo.....	53
3.1.2 Operando Unicamente la Unidad 2.....	74
3.1.3 Fijando la Regulación de Velocidad Transitoria en 30%.....	81
3.2 Desconexión del Alimentador a los Transmisores de Radio de HCJB en Pifo.....	83
3.3 Desconexión del Alimentador a Baeza.....	85

3.4	Desconexión de la Carga Total de Pifo (EEQSA más los Transmisores).....	88
-----	---	----

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SECCIONAMIENTO DE CARGA

4.1	Incremento de la Carga por Contingencias en la EEQSA.....	93
4.1.1	Operando las Unidades 1 y 2 en Paralelo.....	96
4.1.2	Operando Unicamente la Unidad 2.....	106
4.1.3	Fijando el Nivel de Ajuste del Relé de Baja Frecuencia en 59.4 Hz.....	114
4.2	Separación del Sistema Eléctrico Quito.....	117
4.2.1	Operando las Unidades 1 y 2 en Paralelo.....	117
4.2.2	Operando Unicamente la Unidad 2.....	120
4.3	Salida de una Unidad en Papallacta.....	123
4.3.1	Salida de la Unidad 1.....	123
4.3.2	Salida de la Unidad 2.....	126

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	131
5.2	Recomendaciones.....	134
	BIBLIOGRAFIA.....	136

ANEXOS

RESUMEN

Se realiza el análisis de rechazo de carga en las turbinas hidráulicas en la Planta de Papallacta para determinar las máximas frecuencias permisibles de operación para distintas condiciones de exportación de potencia/energía a la Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQSA) y así fijar los niveles de ajuste de los relés de sobrevelocidad.

Se estudia el seccionamiento de carga para diferentes condiciones de demanda definidas por el contrato de venta de potencia/energía a la EEQSA en Pifo, cargas de Baeza, Papallacta, Cuyuja, El Chaco y otros. y los transmisores de radio de HCJB en Pifo con el objeto de fijar los niveles de ajuste del relé de baja frecuencia.

Se determina los máximos niveles de potencia a venderse a la EEQSA en varias épocas estacionales dentro de un margen de seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico de HCJB.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El sistema eléctrico de HCJB constituido por: a) una mini-central hidráulica de 6.4 MW abastece de energía a las cargas de Papallacta, Petroecuador, Cuyuja, Baeza, El Chaco, Borja, y otros pueblos aledaños del Cantón Quijos, transmisores de radio de HCJB y un contrato de potencia/energía con la Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQSA); b) un sistema de subtransmisión a 43.8 kV desde Papallacta hacia Pifo y c) dos subestaciones (S/E) de 6.6 MVA, 22.8/43.8 kV (elevación/reducción).

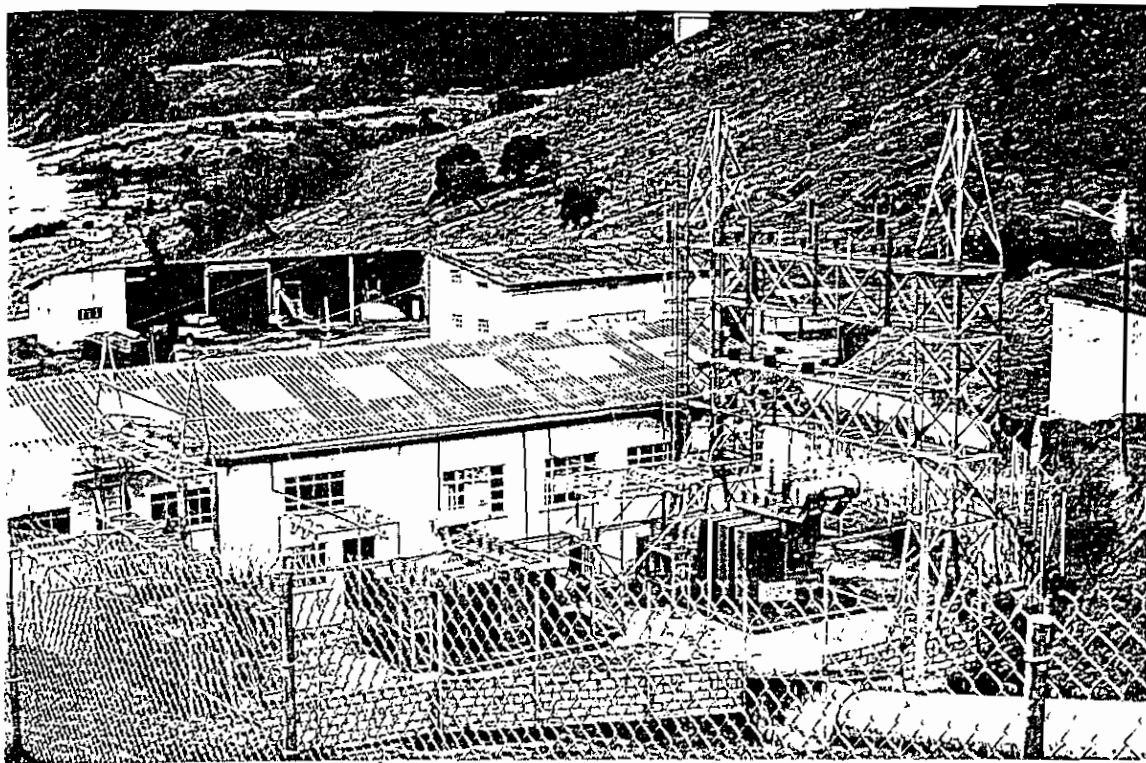
En las fotografías 1.1.1 y 1.1.2 se observan la mini central hidroeléctrica de HCJB en Papallacta y la S/E de HCJB de 6.6 MVA, 43.8/22.8 kV en Pifo, respectivamente.

En marzo de 1989 se realizó un estudio de Análisis del Sistema de Potencia de HCJB por parte de Tim Warham, ingeniero visitante de Gran Bretaña, que contiene resultados de simulaciones de flujos de potencia, análisis de fallas y análisis de estabilidad transitoria para rechazo de carga en las unidades hidráulicas de Papallacta.

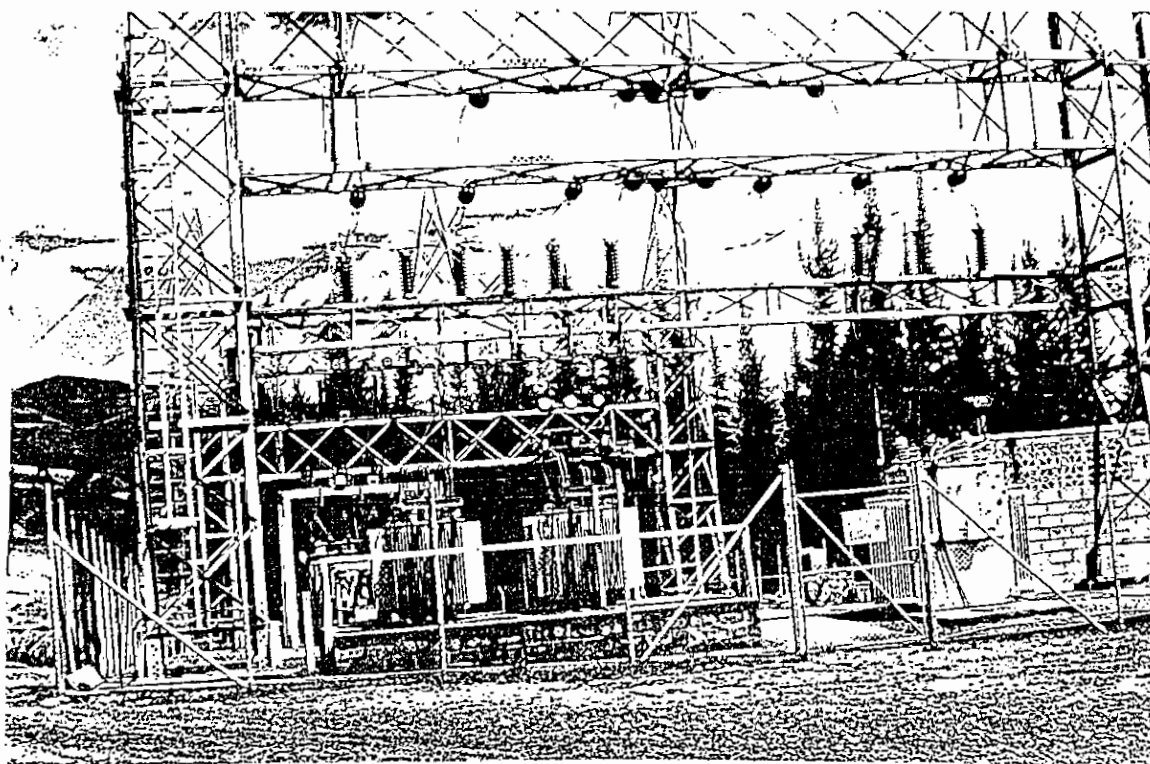
Como resultado del estudio de Tim Warham se optaron por: nuevas políticas de operación de exportación de potencia a la EEQSA dependiendo del nivel de agua en Loreto, cambio de ciertas secciones de la línea de subtransmisión Papallacta-Pifo para disminuir las pérdidas de potencia, cambios del nivel de ajuste de los relés de protecciones, cambios del nivel de ajuste de los relés de sobrevelocidad y gobernadores de velocidad de las unidades hidráulicas.

El presente trabajo tiene como finalidad: primero, afinar las simulaciones de Tim Warham, ya que en su estudio utiliza un modelo de excitación tipo DC1 de la IEEE para las dos unidades hidráulicas, la unidad 2 utiliza un puente de convertidores de 6 pulsos no controlados y debe ser modelado con un tipo de excitación AC2 de la IEEE. Considerar más casos de exportación a la EEQSA de mayor potencia y energía, incluir en la simulación todos los tipos de relés que se encuentran en el sistema de potencia de HCJB, estudiar cambios de los parámetros de los reguladores de velocidad y extender el estudio hasta las subestaciones Tumbaco y Cumbayá que son parte del sistema eléctrico Quito. Segundo, realizar un estudio de seccionamiento de carga del sistema de HCJB al separarse del sistema eléctrico Quito, en el cual se simulan dos tipos de casos: uno, fijando el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en 59.5 Hz (existente) y otro en 59.4 Hz (propuesto).

Finalmente se realizan contrastaciones con las pruebas realizadas por ingenieros de HCJB en agosto de 1995, contrastacio-



FOTOGRAFIA 1.1.1 MINI CENTRAL HIDROELECTRICA DE HCSB EN PAPALLACTA



FOTOGRAFIA 1.1.2 SUBESTACION DE REDUCCION DE 43,8/22,8 kV, 6,6 MVA DE DTFC

nes con los resultados de las simulaciones de Tim Warham y formulaciones de conclusiones y recomendaciones para la operación del sistema en las mejores condiciones de funcionalidad, seguridad y calidad.

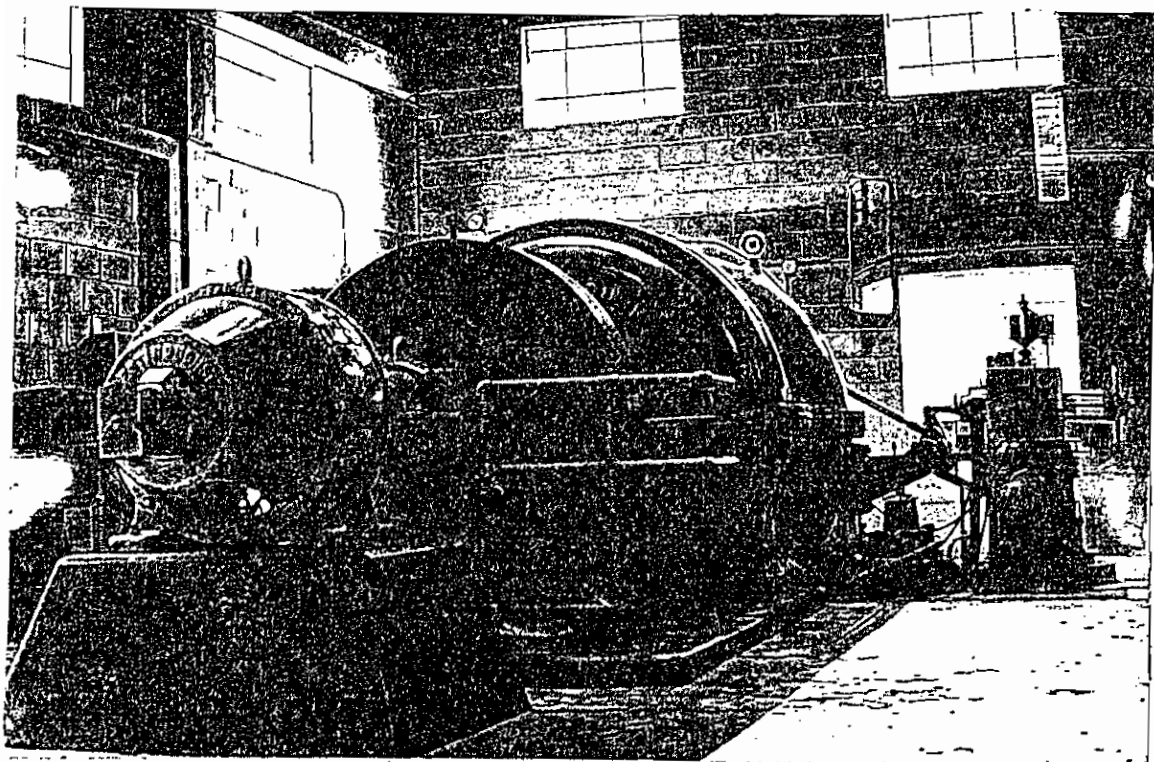
Para la realización de las simulaciones se recopila toda la información existente proporcionada por directivos de HCJB y de la Empresa Eléctrica Quito, se los evalúa y contrasta con parámetros típicos obtenidos de artículos de la IEEE y datos de fabricantes de generadores eléctricos y relés de protección.

En las fotografías 1.1.3 y 1.1.4 se observan las dos unidades hidráulicas de HCJB en Papallacta.

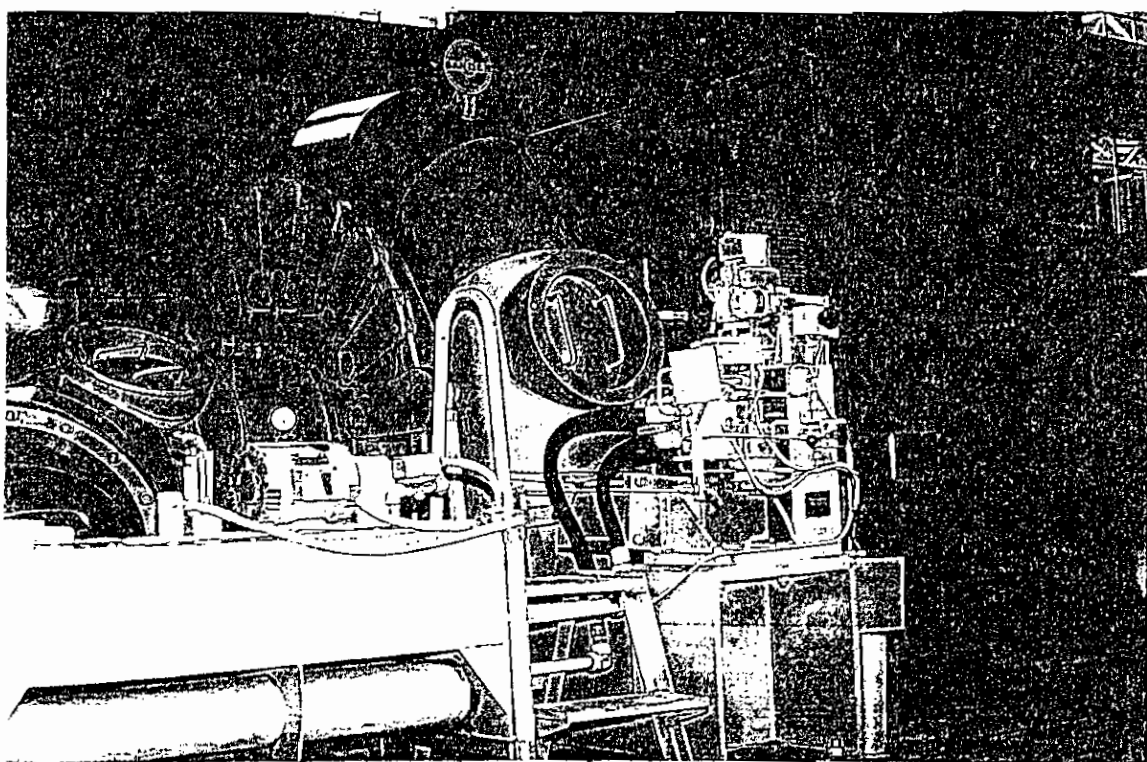
Para el desarrollo y evaluación de resultados el autor de esta tesis tuvo que visitar varias veces la central hidroeléctrica de Papallacta y la planta de transmisores de Pifo.

1.2 OBJETIVO

Determinar los efectos de rechazo de carga en las turbinas hidráulicas en Papallacta para diferentes condiciones de demanda, incluyendo las impuestas por el contrato de venta de potencia/energía con la EEQSA, en la subestación de HCJB en Pifo; así como también, las magnitudes de carga a seccionarse en condiciones de pérdida de generación o separación del



ФОТОГРАФИЯ 1.1.3 УИДЛОД 1 ОЭ 1.9 МВ, 859 А, 2000 В и 720 н.д.м



ФОТОГРАФИЯ 1.1.4 УИДЛОД 2 ОЭ 4.2 МВ, 612 А, 4160 В и 600 н.д.м

sistema eléctrico Quito.

1.3 JUSTIFICACION

Debido a la importancia de la difusión radial de HCJB a nivel mundial durante las 24 horas de los 365 días del año, existe la necesidad de mantener las cargas vivas de los transmisores de radio de HCJB frente a cortes de suministro de energía desde la EEQSA o desde Papallacta. Además, los ingresos percibidos por la venta de energía a la EEQSA justifican la continuidad del servicio y un estudio de tal envergadura, sin descuidar la protección de los generadores contra sobre o baja velocidad.

1.4 ALCANCE

Realizar el análisis de rechazo de carga en las turbinas hidráulicas de la planta hidroeléctrica de Papallacta para determinar las máximas frecuencias permisibles de operación y contrastarlas con los límites de sobrevelocidad dadas por los fabricantes.

Realizar el estudio de seccionamiento de carga para diferentes condiciones de demanda, definidas por el contrato de venta de potencia/energía a la EEQSA en Pifo, carga de Baeza, Papallacta, Cuyuja, El Chaco y otros. y los transmisores de radio de HCJB en Pifo (cargas principales del sistema) con lo

cual se fijará el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en la planta de Pifo.

Determinar los máximos niveles de potencia a venderse a la EEQSA en Pifo para diferentes condiciones estacionales, dentro de un margen de funcionalidad, seguridad y calidad para los dos sistemas interconectados, los mismos que permitirán mayores ingresos a la Misión HCJB.

1.5 DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS

En el capítulo I se introduce al desarrollo de la presente tesis, presentando objetivo, justificación de realizarlo y alcance.

En el capítulo II se presentan la operación actual del sistema eléctrico de HCJB, la configuración de su red eléctrica, las demandas principales del sistema y una descripción del sistema de protección existente.

En el capítulo III se presenta los resultados de la simulación para el estudio de rechazo de carga, su análisis y contrastación con pruebas realizadas por ingenieros de HCJB y con el estudio de Tim Warham.

En el capítulo IV se presentan los resultados de la simulación de seccionamiento de carga, su análisis y recomendaciones para el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en

Pifo.

En el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones para la operación segura del Sistema Eléctrico de HCJB frente a una perturbación de rechazo y seccionamiento de carga.

En los anexos se presentan los resultados de las corridas de la simulación, copias de los manuales de los relés de protección, copia del contrato de venta de energía con la EEQSA, copia de las pruebas realizadas por ingenieros de HCJB, resultados de las simulaciones de Tim Warham y un esquema ejemplo de la conexión de los relés de protección utilizados.

CAPITULO II

OPERACION ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE HCJB

2.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN ESTACIONAL, MENSUAL Y DIARIA

Según las POLÍTICAS DE OPERACIÓN de HCJB los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero la venta de energía a la EEQSA son de 0 MW y solamente se venderá en el caso de exceso de agua en el reservorio de Papallacta.

En los meses de septiembre y octubre se opera de acuerdo a la disponibilidad de agua en la laguna de Loreto: si el nivel es mayor que 5.5 m se venderá 3.0 MW a la EEQSA en Pifo, si el nivel es de 5.0 m a 5.5 m se venderá 1.9 MW y si el nivel es de 0 m a 5.0 m no se exportará a la EEQSA.

En los meses de marzo, abril y mayo se opera bajo las siguientes condiciones: para un nivel de agua en Loreto mayor que 3.5 m se exportará 3.0 MW a la EEQSA en Pifo, de 2.0 m a 3.5 m se venderá 1.9 MW y de 0 m a 2.0 m se exportará 0 MW a la EEQSA.

En el mes de agosto para un nivel de agua mayor que 4.0 m en la laguna de Loreto se exportará 3.0 MW a la EEQSA en Pifo, de 3.0 a 4.0 m se exportará 1.9 MW y de 0 m a 3.0 m no se

venderá energía a la EEQSA.

En los meses de junio y julio para un nivel de agua mayor que 2.0 m en la laguna de Loreto se exportará 3.0 MW a la EEQSA de 1.0 a 2.0 m se venderá 1.9 MW y de 0 m a 1.0 m no se exportará energía a la EEQSA.

En la tabla 2.1 se presenta un resumen de las políticas de operación de la planta de Papallacta, como resultado de un estudio realizado anteriormente por Tim Warham [1].

Tabla 2.1 Políticas de Operación en Papallacta [1]

POTENCIA EXPORTADA A LA EEQSA (MW)	MESES DEL AÑO	NIVEL DE AGUA EN LA LAGUNA DE LORETO
	Noviembre, Diciembre enero y Febrero	0 m
0	Septiembre y Octubre Marzo, Abril y Mayo Agosto Junio y Julio	0 a 5 m 0 a 2 m 0 a 3 m 0 a 1 m
0.5		
1.0		
1.5		
2.0	Septiembre y Octubre Marzo, Abril y Mayo Agosto Junio y Julio	5.0 a 5.5 m 2 a 3.5 m 3 a 4 m 1 a 2 m
2.5		
3.0	Septiembre y Octubre Marzo, Abril y Mayo Agosto Junio y Julio	> 5.5 m > 3.5 m > 4 m > 2 m
3.5		

En la tabla 2.1 se puede observar que para los meses de marzo a julio se ahorra agua en el reservorio de Loreto, para ser utilizados en los meses de agosto a febrero, en los que se produce un estiaje en la cuenca oriental de Ecuador lo que ocasiona racionamientos en el Sistema Nacional Interconectado (SNI). Con esta política el sistema de HCJB puede mantener las cargas vivas de los transmisores de radio en Pifo durante los meses de estiaje que sufre el país.

En el anexo 1 se presenta un cuadro de la política para la operación de Papallacta referente al nivel de agua en la laguna de Loreto versus venta a la EEQSA en Pifo.

2.2 SISTEMA DE SUBTRANSMISION Y DISTRIBUCIÓN.

La línea de subtransmisión Papallacta-Pifo fue construida para operar a 24 kV, pero actualmente está operando a 43.8 kV. La línea es aproximadamente de 30 km de largo y tiene varias configuraciones polares y varios tipos de conductores de fase y tierra.

Para el propósito del presente análisis se consideraron tres tipos de configuración de la línea de subtransmisión que son: torre de suspensión básica, el cual corresponde a un 70% del largo total de la línea, en configuración H con un simple conductor a tierra (cable de guardia), el cual corresponde a un 16% y una configuración H con dos cables de guardia, el

cual corresponde al 14% del largo total de la línea.

El tipo de conductor de fase usado es de 34 mm² ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) diseñado con 6x2.67 mm de aluminio y 1x2.67 mm de hilos de acero. Esto es referido como un Flat pak # 2 y el conductor usado como cable de guardia es de las mismas características constructivas que el anterior [1].

El otro conductor de fase usado es de 35 mm² "Pigeon" o "3/0" ACSR con 6x4.25 mm de aluminio y 1x6.25 mm de hilos de acero. Este es referido como un Pigeon # 3 y es usado con # 2, # 3 o un gemelo # 3 conductores de guardia.

En el anexo 1 se presenta la salida de la corrida de los parámetros de la línea de subtransmisión y rangos térmicos para cada tipo de configuración.

Los datos de la línea de subtransmisión y de los transformadores de las dos subestaciones (Papallacta y Pifo) se presentan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Parámetros de la línea HCJB-Papallacta-Pifo [1]

CONDUCTOR PIGEON #3	R	X	B	LENGTH
	Ohms/km	Ohms/km	Mho/km.10 ⁻⁶	TOTAL
TYPE 'S'	0.3367	0.4346	3.6420	32%
TYPE 'D2'	0.3367	0.4602	3.4401	0%
TYPE 'D3'	0.3367	0.4891	3.2368	68%
Mean Values	0.3367	0.4715	3.3675	

Tabla 2.2 Continuación

CONDUCTOR PIGEON #3		R	X	B	LENGTH
		Ohms/km	Ohms/km	Mho/km.10 ⁻⁶	TOTAL
per unit 100MVA		0.0176	0.0246	0.0001	
(2)	CONDUCTOR FLATPAK # 2	R	X	B	LENGTH
		Ohms/km	Ohms/km	Mho/km.10 ⁻⁶	TOTA
TYPE 'S'		0.7657	0.4655	3.3694	80%
TYPE 'D2'		0.7657	0.4953	3.1958	20%
Mean Values		0.7657	0.4713	3.3353	
per unit 100MVA		0.0399	0.0246	0.0001	
(3)	TOTAL LINE	R	X	B	LENGTH
		Ohms/km	Ohms/km	Mho/km.10 ⁻⁶	km
PIGEON #3		0.3367	0.4715	3.3675	5.837
FLATPAK #2		0.7657	0.4713	3.3353	24.472
				TOTAL	30.309
Ohms		20.7036	14.2872	101.2789	
Ohms per km		0.6831	0.4714	3.3415	
per unit 100MVA		1.0792	0.7447	0.0019	
per unit per km		0.0356	0.0246	0.00006	

Note: 2.5% added to line lengths to compensate for sag.

Tabla 2.2 (Continuación) Transformadores (1)

NAME	LOCATION	RATING	HV	LV	X	R	TAPS
		(KVA)	(kV)	(kV)	%	%	%
GT1	PAP.	3x833/933	24.9+	2.9	5.50	0.5*	+5.0 +2.5 0 -2.5 -5.0
GT2	PAP.	4444	23.9+	4.16	6.54	0.5*	+5.0 +2.5 0 -2.5 -5.0

Tabla 2.2 Continuación

NAME	LOCATION	RATING (KVA)	HV (kV)	LV (kV)	X %	R %	TAPS %
AUTO1	PAP.	<u>6600</u> /7200	43.8	23.9+	4.9	0.5*	+5.0 +2.5 <u>0</u> -2.5 -5.0
AUTO2	PIFO	<u>6600</u> /7200	43.8	23.9+	4.9	0.5*	+5.0 +2.5 <u>0</u> -2.5 -5.0
T500	PIFO	<u>2500</u> /2800	22.9+	4.16	5.07	0.5*	+5.0 +2.5 <u>0</u> -2.5 -5.0
LVA	PIFO	<u>750</u>	22.9+	0.48	5.30	1.0*	+5.0 +2.5 <u>0</u> -2.5 -5.0
LVB	PIFO	<u>750</u>	22.9+	0.48	5.30	1.0*	+5.0 +2.5 <u>0</u> -2.5 -5.0

Notes: * = Assumed data
 + = Winding which off-load tap charges alters

Rating underlined is one on which impedances are
 given tap setting underlined is existing
 (august '95) setting.

La línea de distribución (alimentadores primarios) tanto en Pifo (Línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco) como en Papallacta (Línea EEQSA-Papallacta-Baeza-Cuyuja-El Chaco y otros) transmiten a un nivel de voltaje de 22.8 kV y está formado de conductores 3x3/0 y 1/0 ACSR para Baeza y 3x2/0 y 1/0 ACSR para Pifo-Yaruqui-Tumbaco, en una configuración básica de 3

fases más neutro corrido. La línea de subtransmisión EEQSA-Cumbayá -Tumbaco transmite a un nivel de 46 KV en una configuración de torre básica con un simple cable de guardia.

Los parámetros de las líneas de distribución fueron suministrados por la División de Operación y Mantenimiento de la EEQSA.

2.3 DEMANDAS PRINCIPALES: TRANSMISORES DE HCJB EN PIFO, BAEZA Y EEQSA EN PIFO.

En las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se presentan los valores de las demandas diarias de los meses de febrero y marzo de 1995 del Sistema de Potencia de HCJB y la demanda máxima de los transmisores para el mes de julio de 1995, respectivamente.

En la figura 2.1 se encuentra la curva de demanda diaria del Sistema de Potencia de HCJB para el mes de febrero de 1995, en el cual se calcula el factor de carga, a partir de:

(2.1)

$$fc = \frac{D'}{D_{max}}$$

Donde:

D' = Demanda Media

Dmax = Demanda Máxima

$$fc = 1863/2912 = 0.639$$

En la figura 2.2. se presenta la curva de demanda diaria del Sistema de Potencia de HCJB para el mes de marzo de 1995 en el cual, se calcula el factor de carga con la ecuación (2.1):

$$fc = 1837/2727 = 0.674$$

En la figura 2.3 se encuentra la curva de demanda diaria de los transmisores de HCJB en la planta de Pifo para el mes de julio de 1995, en el cual, se calcula el factor de carga con la ecuación (2.1) como sigue:

$$fc = 975/1280 = 0.761$$

Si el factor de carga, mide de alguna manera el grado de utilización de una instalación, se puede indicar que el Sistema de HCJB estaría utilizando en un 60-70% la energía a nivel de sistema y en un 76% a nivel de la planta de transmisores en Pifo.

En las fotografías 2.2.1 y 2.2.3 se observan el transmisor digital de onda corta HC500 y la interconexión eléctrica a nivel de la barra de 22.8 kV de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco en la subestación de HCJB en Pifo, respectivamente.

TABLA 2.3

VALORES DE DEMANDA DIARIA
SISTEMA DE POTENCIA DE HCJB

PLANTA DE PAPALLACTA

FEBRERO 1995

	BAEZA	PAPALLACTA	PIFO	TOTAL
HOUR	KW	KW	KW	KW
1	294	303	1225	1822
2	287	296	1159	1742
3	281	297	1011	1589
4	281	305	1021	1607
5	313	308	1175	1796
6	409	145	1280	1834
7	489	93	1489	2071
8	408	103	1127	1638
9	373	265	1295	1933
10	357	257	1045	1659
11	375	250	943	1568
12	314	256	828	1398
13	312	250	929	1491
14	303	246	1208	1757
15	349	263	1295	1907
16	352	376	1014	1742
17	375	250	990	1615
18	399	267	1008	1674
19	626	407	957	1990
20	849	308	1156	2313
21	786	645	1481	2912
22	606	369	1437	2412
23	456	409	1395	2260
24	320	308	1363	1991
AVG	413	291	1160	1863

TABLA 2.4

VALORES DE DEMANDA DIARIA
SISTEMA DE POTENCIA DE HCJB

PLANTA DE PAPALLACTA
MARZO 1995

HORA	BAEZA KW	PAPALLACTA KW	PIFO KW	TOTAL KW
1	345	253	1015	1613
2	327	195	1025	1547
3	325	220	871	1416
4	320	588	807	1715
5	344	230	802	1376
6	417	255	1147	1819
7	553	285	1373	2211
8	488	138	1389	2015
9	456	532	1022	2010
10	423	176	869	1468
11	416	177	874	1467
12	387	343	863	1593
13	384	571	1084	2039
14	406	290	921	1617
15	422	101	989	1512
16	404	200	845	1449
17	410	158	1058	1626
18	415	202	1269	1886
19	601	328	1043	1972
20	796	358	1192	2346
21	743	456	1395	2594
22	612	725	1390	2727
23	427	412	1305	2144
24	355	243	1327	1925
AVG	449	310	1078	1837

TABLA 2.5

HORARIO DE TRANSMISION HCJB
 REPORTE DE OPERADORES
 LUNES-JULIO/1995

TRANSMISOR	POTENCIA KW	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA
T1	50	05:30	24:00
T2	50	18:00	19:00
T3	250 (350-500)	05:30	08:00
		13:00	18:00
		19:00	19:30
		20:15	03:30
T4	10	03:30	22:00
T5	30	TRANSMISOR DE EMERGENCIA REEMPLAZO	
T6	100 (25-50-75)	02:30	04:30
		05:30	01:00
T7	100 (25-50-75)	04:00	13:00
		17:00	21:30
T8	100 (25-50-75)	12:00	15:00
		17:00	21:30
		23:30	11:00
T9	100(30)	TRANSMISOR DE EMERGENCIA REEMPLAZO	
T11	30	24:00	24:00

CURVA DE DEMANDA DIARIA DEL SISTEMA DE POTENCIA DE HCJB PARA FEBRERO DE 1995

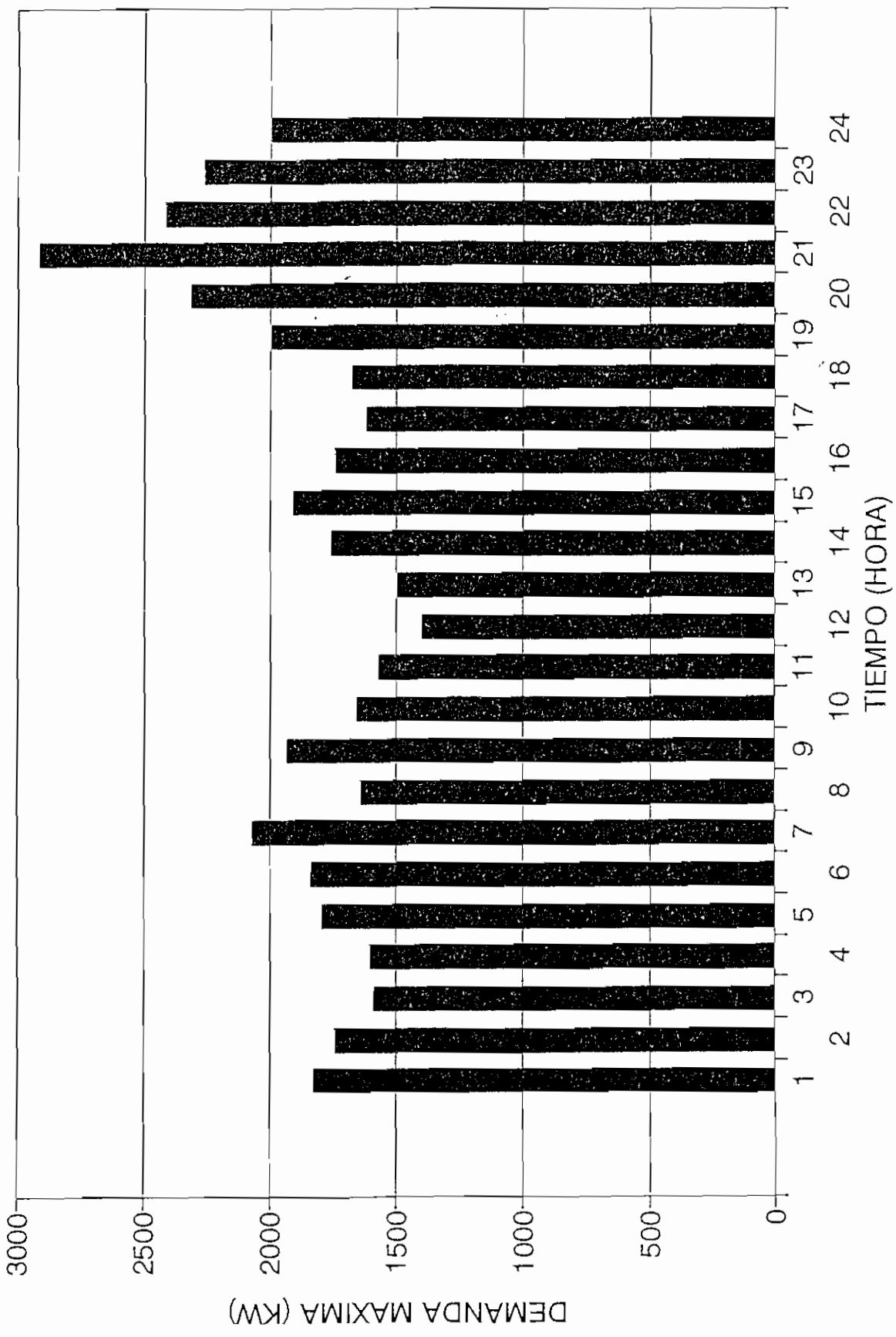


FIGURA 2.1

CURVA DE DEMANDA DIARIA DEL SISTEMA DE
POTENCIA DE HCJB PARA MARZO DE 1995

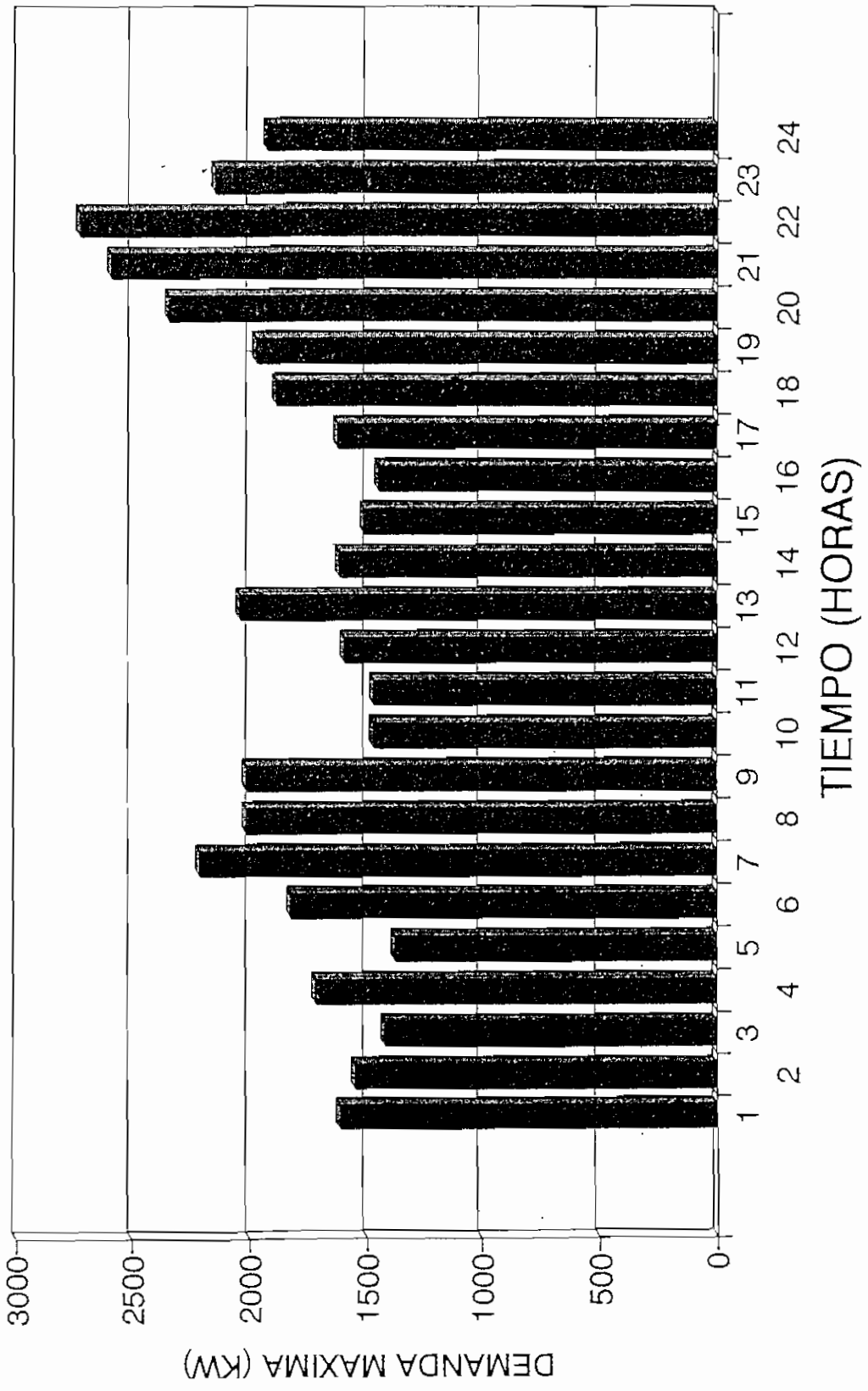


FIGURA 2.2

CURVA DE DEMANDA DIARIA DE LOS TRANSMISORES DE PIFO JULIO DE 1995

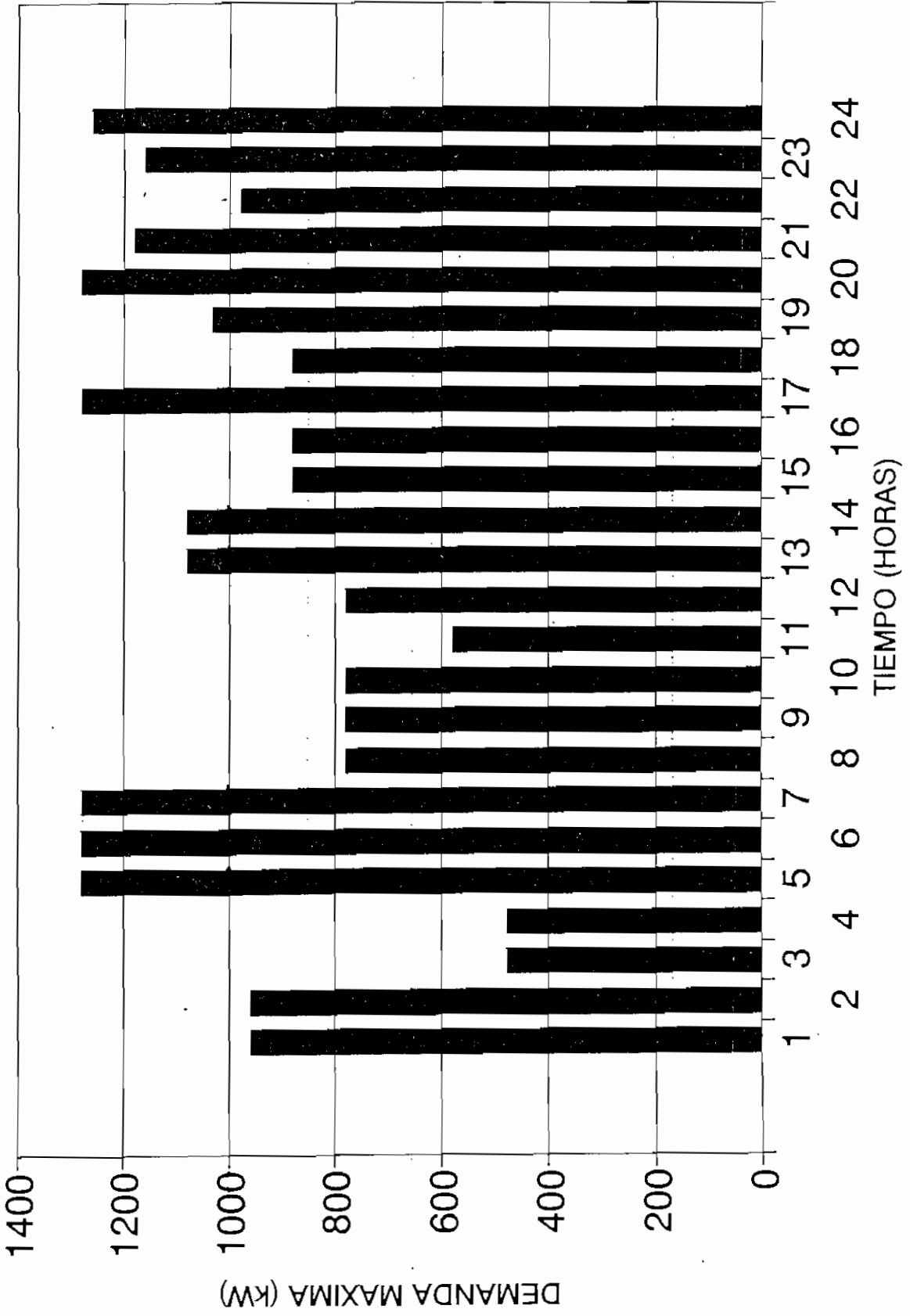
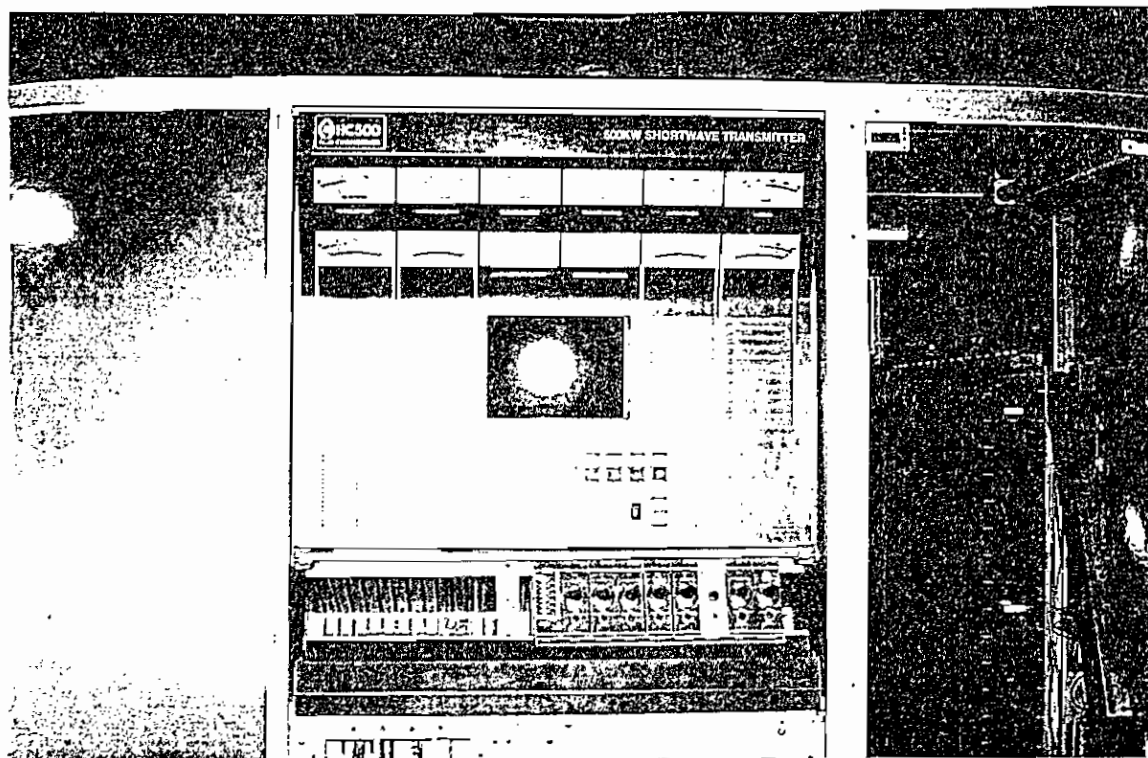
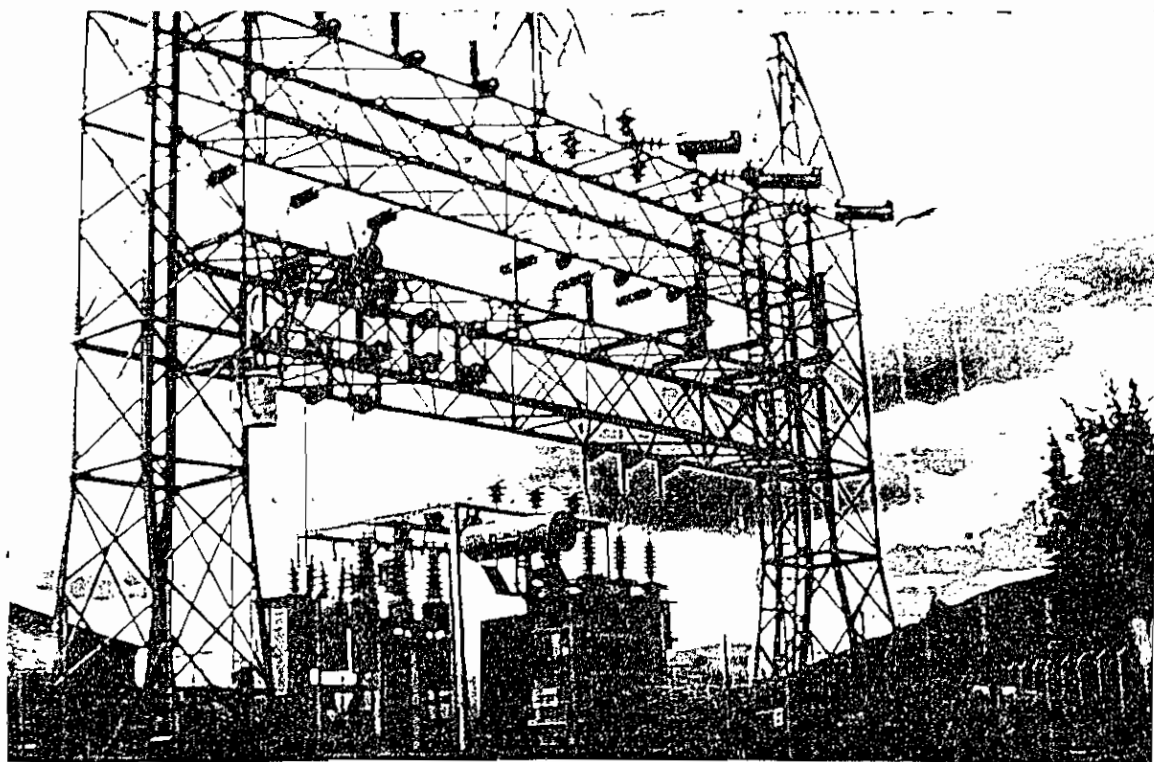


FIGURA 2.3



FOTOGRAFIA 2.2.1 PANEU DE CONTROL TRANSMISOR DIGITAL HC500



FOTOGRAFIA 2.2.3 AUTOTRANSFORMATOR DE 6.6 MVA - 43,9/20,9 KV SVE TINO

2.4 SISTEMA DE PROTECCIÓN

En la tabla 2.6 y 2.7 se presenta un resumen de los principales tipos de fallas y su tiempo de despeje para la unidad 1 y 2, respectivamente.

Tabla # 2.6 Relés de Protección de la Unidad 1 [4]
Unidad 1 (1.8 MW, 358 A, 2900 V)

A. Relé diferencial Instantáneo (87, 87G):

Westinghouse Style 1956928, Entrada de alimentación: Voltaje nominal 140 VAC, Corriente nominal 5 amperios, Frecuencia nominal 50-60 Hz, Voltaje de corriente DC 48VDC (38.5 a 60V), Capacidad de los contactos de salida continuamente 3 A, Rango de temperatura ambiente -20 a +55° C, Humedad 95% de condensación, 25% de sensibilidad, Tipo AC.

El nivel fijado en octubre 1 de 1975 es 20% In para un tiempo de respuesta instantáneo.

B. Relé de Sobrecorriente (51, 51N):

General Electric Time Overcurrent Relay, Modelo 121AC11A1, Tipo 1AC, Alimentación a la tarjeta de control: 1.0 amperio, 0.25 ohm de resistencia, Entrada de alimentación: 4-15 amperios, 110/120 V AC, 60 Hz.

El nivel fijado en octubre 1 de 1975 es en el Tap 4, Dial de tiempo 4. Esos ajustes fijados no deberían ser cambiados para niveles de fallas simétricas sin un cálculo previo.

C. Relé de Sobrevoltaje (59):

General Electric, Modelo 12PJV11A10, Tipo PJV, Bobina de operación 125 voltios, Ajuste del relé 50, 70, 110 y 160 VAC.

El nivel fijado en octubre 1 de 1975 es en 160 VAC (145%) y un tiempo de caída de 2.5 s.

D. Los transformadores de corriente (relación 400:5) y potencial (relación 2900:145) utilizados para la instrumentación se encuentran localizados a la salida de los

Tabla # 2.6 Continuación

cables en el túnel del generador. Se los utiliza para tener las medidas del voltaje del generador, corriente del generador por fase, frecuencia del generador, kW y kVAR.

La medición de los Kilovatios-hora es registrado por un General Electric Polyphase Watthour Meter, Tipo DS-19, 3 conductores, 3 fases, 2.5 amperios, 125 voltios, 60 Hz, Medidor No. 18518009, Constante de multiplicación k= 2.5.

E. Los valores esperados en condiciones normales para las siguientes mediciones son:

Amperios de la Excitatriz	50-250 A
Voltios de la Excitatriz	40-130 V
Voltaje de Barra del Trafo	135-145 V
Frecuencia a la salida del G.	60 Hz
Voltaje del generador	135-145 V
Amperios del generador por fase	0-400 A
Kilovatios (en todas las fases)	0-2000 kW
Kilovars (en todas las fases)	0-1800 kVARs
Amperios de la línea de Subtrans.	0-50 A (por fase)
Bajo voltaje de la línea Subtrans.	117 V
Voltaje de la batería	26-31 V

La relación de los TC's para una falla del transformador a tierra es de 10:5 y su señal va hasta el relé de falla a tierra del transformador.

La relación de los TC's para la línea de alto voltaje es de 50:5, son transformadores con aislamiento para alto voltaje. Su señal se los utiliza para la medición de la corriente y para la operación de los relés de protección de la línea de subtransmisión.

Los transformadores de potencial utilizados para la medición y protección de la planta son un conjunto de dos transformadores en configuración delta abierta por cada fase, el cual permite la medición del voltaje trifásico.

La relación de los TP's para el voltaje del generador es de 2900:145.

La relación de los TP's utilizados para el motor de la cabeza del gobernador, motor de velocidad y el motor del reostato del voltaje de la excitatriz es de 2900:110 y están conectados físicamente en el mismo punto de los transformadores de potencial del generador.

Tabla # 2.6 Continuación

La relación de los TP's utilizados para la medición y protección de la barra de la subestación (S/E) es de relación 2900:145.

Tabla 2.7 Principales Tipos de Falla y Tiempos de Despeje
Unidad 2 (4.2 MW, 612A, 4160 V) [5]

NUMERO	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	PUNTO DE CAÍDA	TIEMPO
1	Sobrevelocidad (81)	720 r.p.m.	instantáneo
2	Temperatura del gener.	120°C	instantáneo
3	Temperatura de chumace.	60°C	instantáneo
4	Falla a tierra en S/E	14.57 VAC	1 segundo
5	Corriente diferen. Gen.	30%	1 segundo
6	Falla a tierra en Gene.	1%	5 segundos
7	Corriente secuen. negat.	8.5%	5 segundos
8.	Sobrevoltage generador	132 VAC	2.5 segund.
9.	Fuerza en reverso (32)	0 kW	7 segundos
10.	Sobrecorriente del gen. (51, 51N)	120% 225%	3 segundos instantáneo
11.	Falla de lubricación (Presión y flujo)	10 PSI 5 litros/sec.	30 segundos
12.	Falla del gobernador (Presión)	300 PSI	30 segundos
13.	Presión dentro de turb.	10 BAR:145 PSI	instantáneo
14.	Fuego dentro del gene.		instantáneo
15.	Excitador apagado	Switch pos. 0	instantáneo
16.	Temperatura de aceite dentro del trafo y gases	80°C 250cc o 8 PSI	instantáneo
17.	Interrupt.de 24VDC open		instantáneo

Tabla 2.7 Continuación

NUMERO	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	PUNTO DE CAÍDA	TIEMPO
18.	Falla del gober.(cabeza)	1.5 A	instantáneo
19.	Bomba de DC en el siste. de lubricación prendido	1 minuto	instantáneo
20.	Bajo voltaje en disyunt.	102 VDC	30 segundos
21.	Sobrecorriente a la bom. AC en el sistema de lub.	3 A	instantáneo
22.	Sobrecorriente a la bom. del gobernador	8 A	instantáneo
23.	Sobrecorriente a la bom. en la válvula pivotada	2.2 A	instantáneo

Tabla 2.8 Protección de la S/E de HCJB en Papallacta y Línea de Subtransmisión [4]

Los disyuntores de protección de los generadores están localizados entre la salida de los generadores y el lado de bajo voltaje de los transformadores de elevación para las dos unidades, respectivamente. Existe seccionadores de aislamiento a ambos lados de los disyuntores.

Los disyuntores utilizados para la protección de los generadores son:

PACIFIC ELECTRIC TYPE MJ-1:

Control: Alimentación para el motor 110 VAC, 32 A, Consumo de circuitos de apertura 10 A, tiempo de actuación 4 s, Alimentación para la tarjeta de control del motor 24 VDC.

Interruptor: Tipo AKE-25, 7500 voltios, 400 amperios, Corriente máxima de interrupción instantánea 4000 amperios r.m.s.

Para la protección de la línea de subtransmisión se utiliza el mismo disyuntor Pacific Electric Tipo MJ-1, con la adecuación correspondiente para hacerle funcionar como recloser.

Tabla 2.8 Continuación

NOTA: El mismo mecanismo del MJ-1 puede ser usado para el recierre. En este caso el temporizador mecánico (dispositivo # 179) es suministrado como parte inherente del mecanismo de operación. El temporizador puede ser usado para el primer recierre instantáneo o para los siguientes retardos de tiempo.

Cada disyuntor es equipado con un temporizador MT-3, que es usado en conjunto con la bobina de disparo del interruptor y es ajustado para los períodos de recierre automáticos cuando el interruptor abre debido a una falla en la línea de subtransmisión que esta protegiendo.

El temporizador es capaz de dar tres recierres automáticos con sus respectivos retardos de tiempo y bloquearse en caso de una falla sostenida.

La línea Papallacta-Pifo de 43.8 kV está protegida por una protección a distancia convencional con una medición a 24 kV en ambos lados de la línea. Estos relés deben "ver a través" de los autotransformadores, lo cual no es convencional. El alcance de protección de la zona 1 es solamente el 30% del total de la línea, mientras que lo usual es cubrir el 80 (90 %) bajo la zona 1.

La protección de la línea de la EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco es importante para el Sistema de Potencia de HCJB, porque su apertura causa una condición de sobrevelocidad en los generadores en Papallacta.

Actualmente, las protecciones de los relés direccionales a

tierra de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco están ajustados con un retardo de 1 s en adición a su tiempo de operación. Esto causa que una falla a tierra en la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco sea visto por las protecciones de falla a tierra de la línea HCJB-Papallacta-Pifo, que desconecta toda la carga de Pifo (transmisores de radio y exportación a la EEQSA) que no conviene en ningún sentido a la Misión HCJB; adicionalmente ese retardo de 1 s causa que se dispare también la línea EEQSA-Cumbayá-Tumbaco, produciéndose un rechazo de carga para el Sistema Eléctrico Quito con la salida de los 4 alimentadores de la S/E Tumbaco (capacidad 33 MVA), que también no le conviene a la Empresa Eléctrica Quito [1].

El retardo de 1 s en los relés direccionales a tierra en la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco ocasiona que no puedan entrar en operación los grupos diesel en Pifo cuando se abra la línea HCJB-Papallacta-Pifo y pueda mantener las cargas vivas de los transmisores de radio, debido a que todavía se mantiene la falla a tierra en la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco.

Si la Empresa Eléctrica Quito S.A. no remueve el retardo de 1 s en los relés direccionales de falla a tierra de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, se debe reducir la corriente de alimentación a 15 A en los relés de falla a tierra de la línea HCJB-Papallacta-Pifo para que no detecte la falla a tierra fuera de su zona de operación, ya que la apertura de la línea HCJB-Papallacta-Pifo ocasiona un cambio en los niveles fijados de los relés de sobrevelocidad y gobernadores en

las unidades de Papallacta.

Los niveles de ajuste de los relés de sobrecorriente debería ser incrementados para permitir un incremento de exportación a la EEQSA de hasta 5 MW, previo a un análisis dinámico de rechazo de carga en las unidades de Papallacta [1].

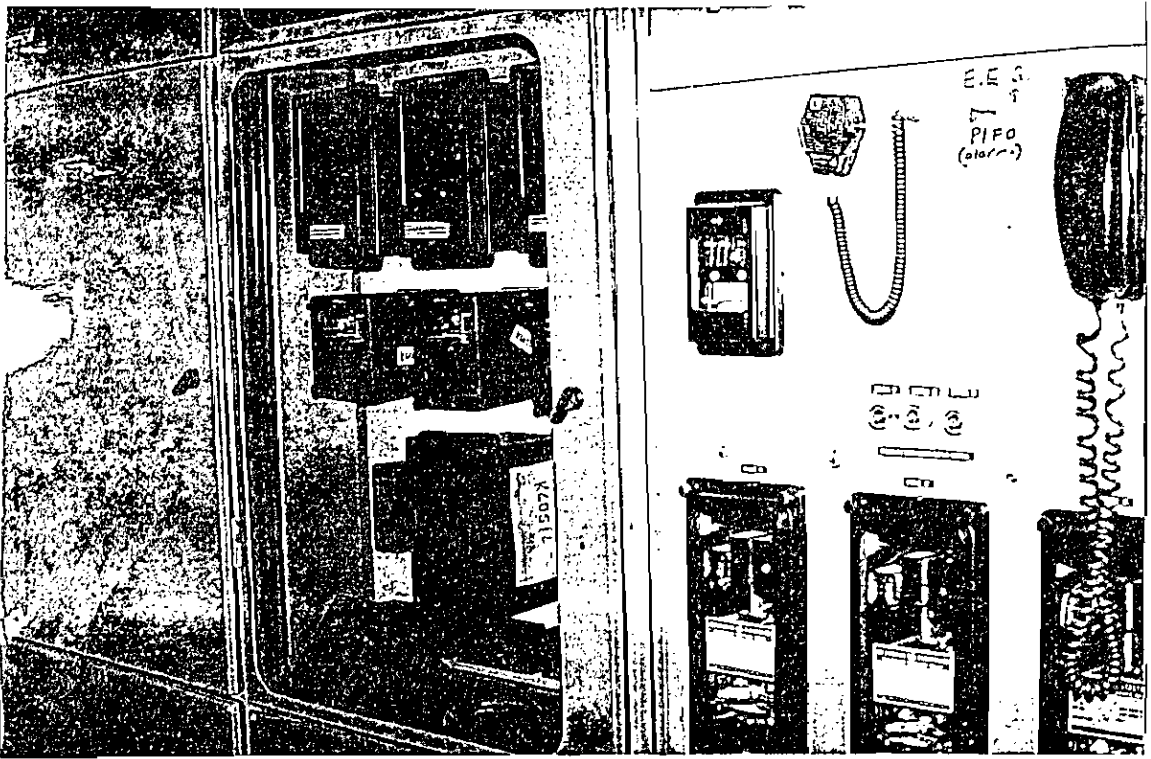
Una revisión más detallada del sistema de protección debería permitir un ajuste más confiable para las fallas a tierra, que son las más frecuentes.

En las fotografías 2.4.1 y 2.4.2 se observan los distintos tipos de relés para las unidades 1 y 2, respectivamente.

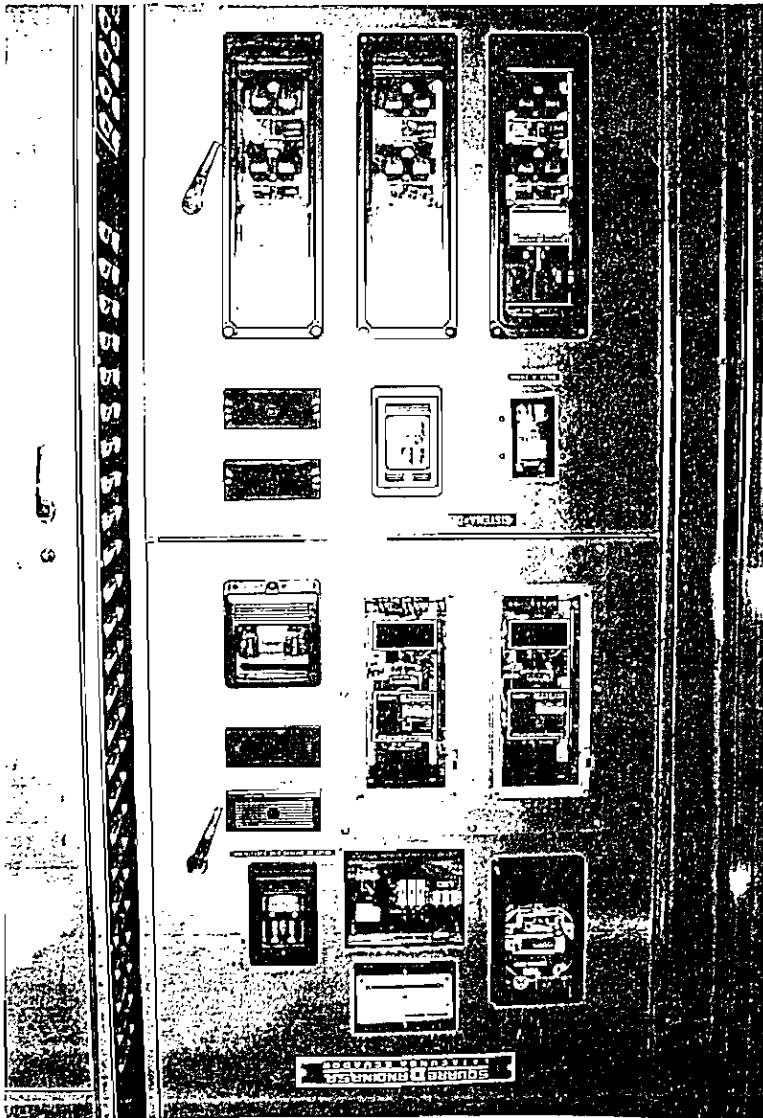
2.5 CONTRATO DE VENTA DE ENERGÍA CON LA EEQSA

El objetivo del contrato es que HCJB pone a disposición de la EEQSA el excedente de potencia y energía de su planta hidroeléctrica situada en Papallacta, la misma que dispone de una potencia instalada de 6000 kW y hasta 4000 kW a disposición de la EEQSA, sujeto a las variaciones de caudal y disponibilidad de los equipos. Este excedente será entregado a la EEQSA, bajo las condiciones que se establecen más adelante. El contrato es solamente de compra-venta y transporte de energía, por lo tanto, la EEQSA no asume relación alguna con HCJB ni con sus trabajadores.

Este contrato tendrá vigencia del 1ro. de enero de 1995 hasta



FOTOGRAFIA 2.4.1 PANEL DE PROYECCIONES DE LA UNIDAD 1



FOTOGRAFIA 2.4.2 PANEL DE PROTECCION DE LA UNIDAD 2

el 31 de diciembre de 1995 pudiendo renovarse en forma automática por un año si las partes no expresan lo contrario.

La EEQSA utilizará la potencia y energía eléctrica entregadas por HCJB. Las entregas de energía se harán a nivel de 23 kV, tanto en el borne de alto voltaje del transformador existente en Pifo, de propiedad de HCJB, como en las barras de 23 kV de la subestación de elevación de la central de Papallacta. [*]

Una copia del Contrato de Compra-Venta de energía entre la EEQSA y HCJB se presenta en el anexo 1.

[*] Contrato de compra-venta de energía entre HCJB-EEQSA.

CAPITULO III

ESTUDIO DE RECHAZO DE CARGA

3.1 DESCONEXION DEL ALIMENTADOR A LA EEQSA EN PIFO PARA DIFERENTES CONDICIONES DE EXPORTACIÓN

El alimentador de la EEQSA destinado para el sistema de HCJB corresponde al primario C de la S/E Tumbaco, de un total de 4 alimentadores que se encuentran interconectados con las Centrales Hidroeléctricas Cumbayá, Nayón y la S/E Norte.

En el anexo 2 se presenta un diagrama del Sistema Eléctrico de la EEQSA.

Dependiendo de la demanda propia del sistema de HCJB (carga de los transmisores, carga de Baeza, Papallacta, Cuyuja, El Chaco y otros.) y de las condiciones estacionales (nivel de agua en la laguna de Loreto, situada a unos 3 km de Papallacta) se presentan diferentes casos de exportación de potencia a la EEQSA a nivel de la barra de 22.8 kV en la S/E de Pifo.

En la figura 3.1 se presenta el diagrama unifilar del Sistema Eléctrico de HCJB y en la figura 3.2 las condiciones de pre-falla para el estudio de Rechazo y Seccionamiento de Carga para el caso de 3.5MW de exportación a la EEQSA en Pifo.

POWER SYSTEM OF HCJB

BRANCH & BUS NOMINATION: SYSTEM DATA

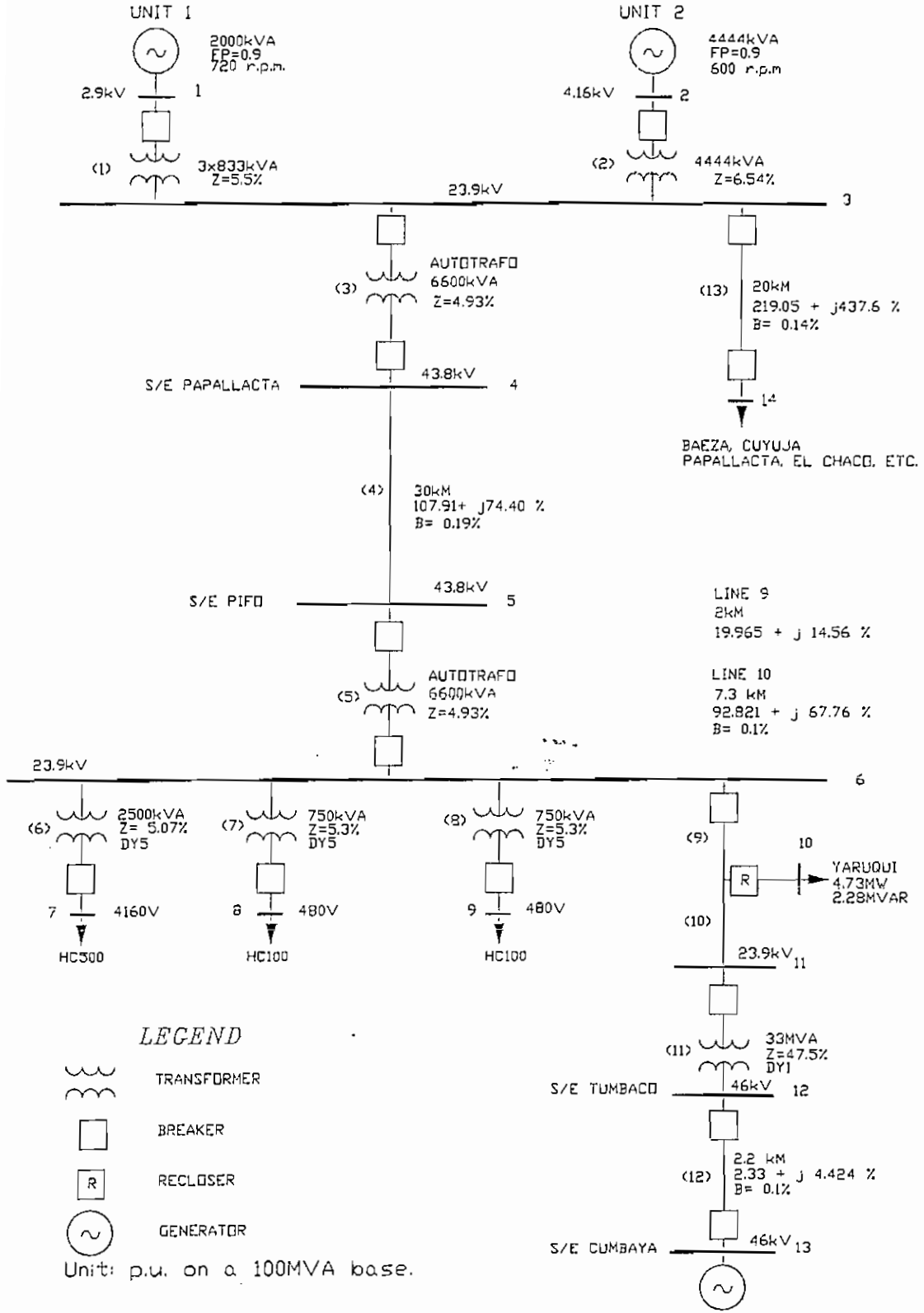


Figura 3.1 Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico de HCJB

POWER SYSTEM OF HCJB

BRANCH & BUS NOMINATION SYSTEM DATA

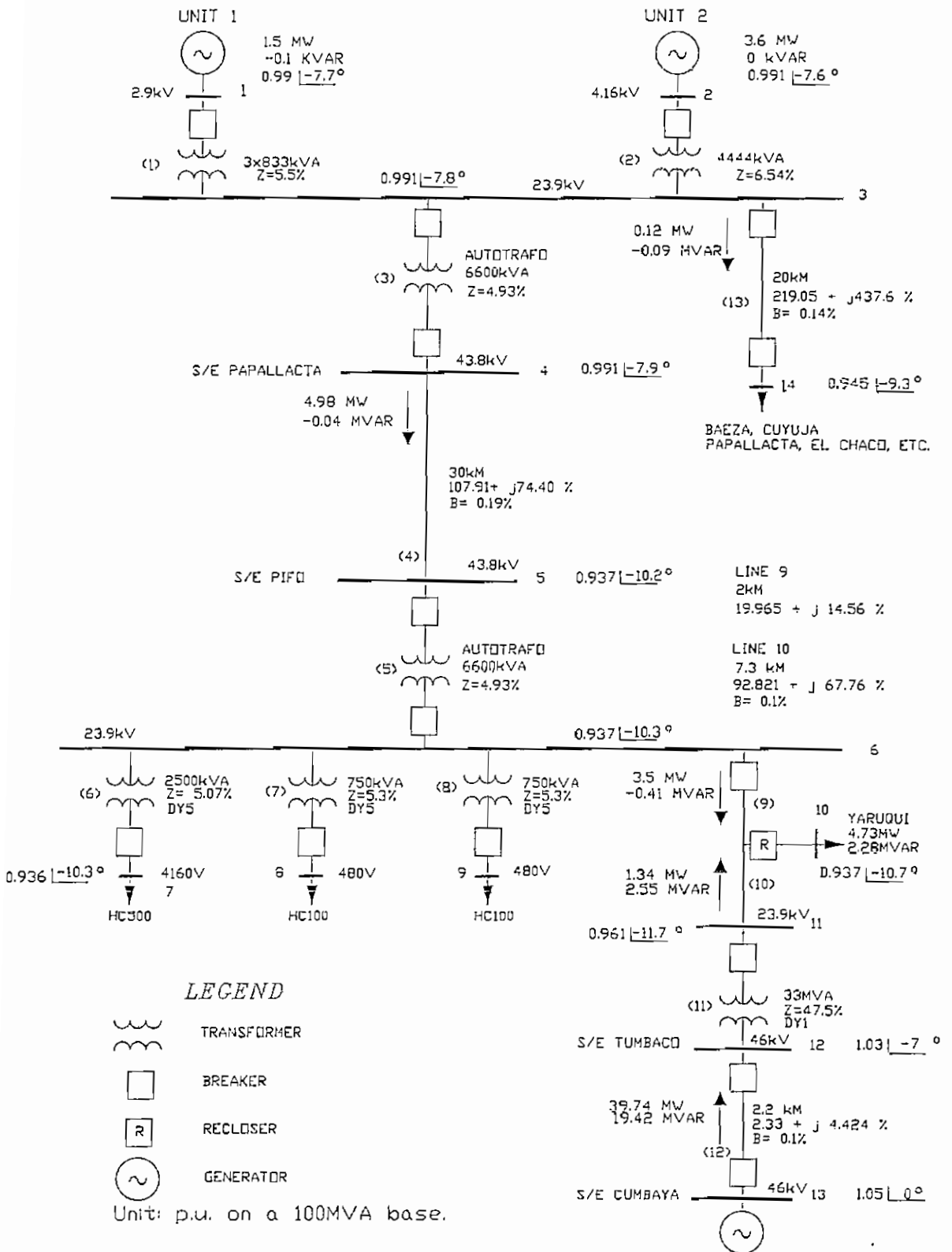


Diagrama 3.2 Condiciones de Prefalla para Estudio de Rechazo y Seccionamiento de Carga

Con el objeto de variar la regulación transitoria de velocidad (transient speed droop) en los gobernadores (reguladores de velocidad) de los generadores hidroeléctricos bajo diferentes condiciones de generación de energía eléctrica y contrastar con pruebas realizadas por ingenieros de HCJB en condiciones actuales de operación, se proponen dos casos de simulación: una fijando el transient speed droop en el 50% (actual) y otra fijando en 30% (propuesto). En ambos casos, la regulación de velocidad de estado estable (steady state droop) en los gobernadores es fijado en 5%.

Los datos técnicos de las turbinas, ruedas volantes y gobernadores de velocidad se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos Técnicos de las Turbinas [1]

	UNIT 1	UNIT 2
a) TURBINE	Francis	Francis
Moment of inercia	?	3000 Kgm ² *
Water column length	427m	580m
Water time constant	0.6s	0.81s
b) FLYWHEEL: MASS	4535 kg	?
Moment of inertia	?	20040 kgm ²
c) GOVERNOR: TYPE	Pelton 0-5	Woodward UG-8
Governor time constant	0.2s*	3s
Dashpot time constant	5s *	20s(2s)
Permanent speed droop	5% *	35%(5%)
Transient speed droop	50*	35%(50%)
Rate limit (close)	3s or -0.333*	6.4s or .156
Rate limit (open)	6s or 0.167*	10.8 or +.093
Gate limit (min)	0.0	0.0
Gate limit (max)	0.9	0.95

Tabla 3.1 Continuación

	UNIT 1	UNIT 2
Notes: * = Assumed data		
Figures in brackets represent proposed settings.		

Los datos técnicos para el generador, excitatriz y regulador de voltaje para las dos unidades se presentan a continuación:

Tabla 3.2 Datos Técnicos del Generador [1]

	UNIT 1	UNIT 2
Rating	2000KVA	4444kVA
Speed	720rpm	600rpm
Number of poles	10	12
Inertia Constant (total)	3306kWs/kVA	2776KWs/kVA
d.c. Resistance (Rdc)	0.5%*	0.5%*
Leakage Reactance (Xl)	20%*	18.0%*
Subtransient Reactance (Xd ^{''})	24%*	21.0%
Subtransient Reactance (X2 ^{''})	34.0%*	23.0%*
Transient Reactance (Xd')	37.0%*	29.0%
Transient Reactance (X2')	75%	83.5%*
Synchronous Reactance (Xd)	115.0%	128.0%
Synchronous Reactance (X2')	75.0%*	83.5%*
Subtransient Time Constant (Td ^{''})	0.035s*	0.04s
Subtransient Time Constant (Tdo ^{''})	0.035s*	0.04s*
Subtransient Time Constant (T2o ^{''})	0.035s*	0.04s*
Subtransient Time Constant (Td')	1.8s*	0.56s
Subtransient Time Constant (Tdo')	5.6s*	1.68s*
Negative Sequence Reactance (X2)	24.0%*	24.0%
Zero Sequence Reactance (Xo)	9.5%*	9.5%*

Note: *= Estimated from other parameters and typical values.
Inertia constant given is alternator + turbine + exciter + flywheel

Tabla 3.2 (Continuación) Reguladores de Voltaje [1]

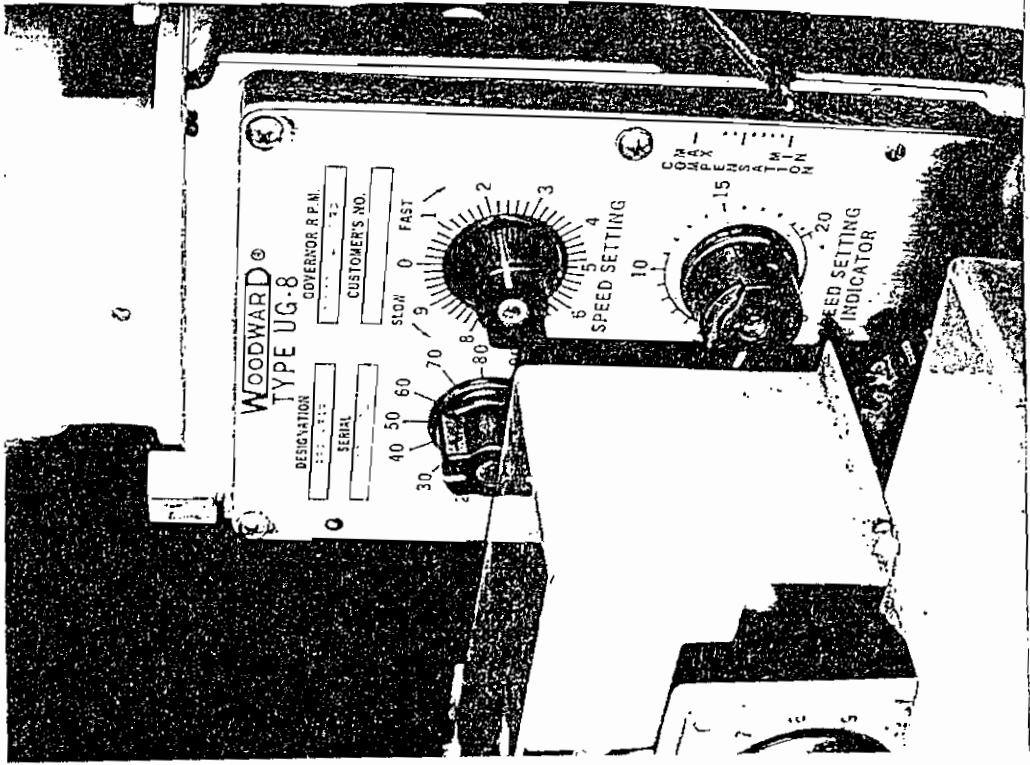
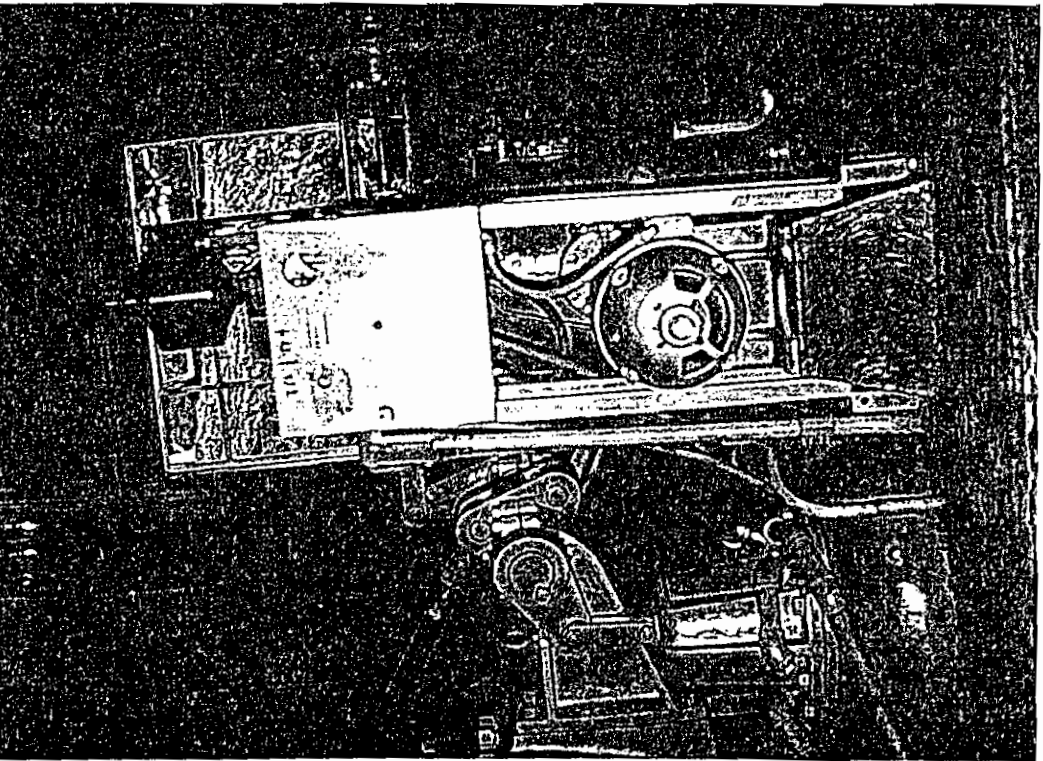
	UNIT 1	UNIT 2
Type	Allis-Chalmers	NEBB SF7
Model Used	IEEE TYPE 1	IEEE TYPE AC2
AVR gain (KA)	50.0*	50.0*
Exciter gain (KE)	1.0*	1.0*
Feedback gain (KF)	0.02*	0.02*
Regulator Time Constant(TA)	0.05s*	0.15s*
Exciter Time Constant(TE)	0.5s*	0.5s*
Feedback Time Constant (TF)	2.0s*	2.0s*
Minimum Regul. Volta.(VRMIN)	0.0*	0.0*
Maximum Regul. Volta.(VRMAX)	3.9*	3.9*
Exciter Salvation V1	2.25*	2.25*
I1	2.36*	2.36*
V2	3.0*	3.0*
I2	3.9*	3.9*

Note: * = Assumed data

En las fotografías 3.1.1 y 3.1.2 se presentan los reguladores de velocidad para las unidades 1 y 2, respectivamente.

En la figura 3.3 se presenta el diagrama de bloques del sistema mecánico hidráulico de los reguladores de velocidad para las 2 turbinas hidráulicas del sistema de HCJB.

En la figura 3.4 se observa la respuesta en el tiempo y el lugar geométrico de las raíces de la función de transferencia del regulador de velocidad para una regulación transitoria de velocidad de 50%, obtenida con el programa de simulación Cad Control.

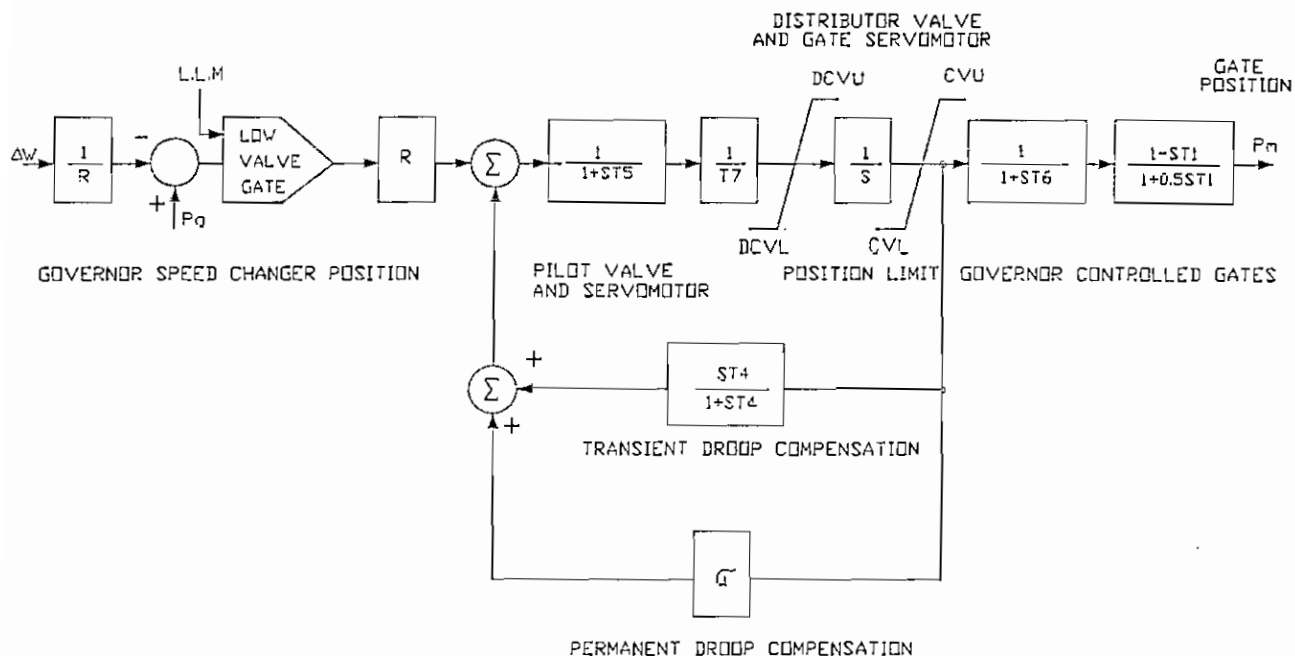


FOTOGRAFIA 3.1.2 REGULADORES DE VELOCIDAD DE LA UNIDAD 1

FOTOGRAFIA 3.1.1 REGULADOR DE VELOCIDAD DE LA UNIDAD 2

POWER SYSTEM OF HCJB

UNIT 1 & UNIT 2

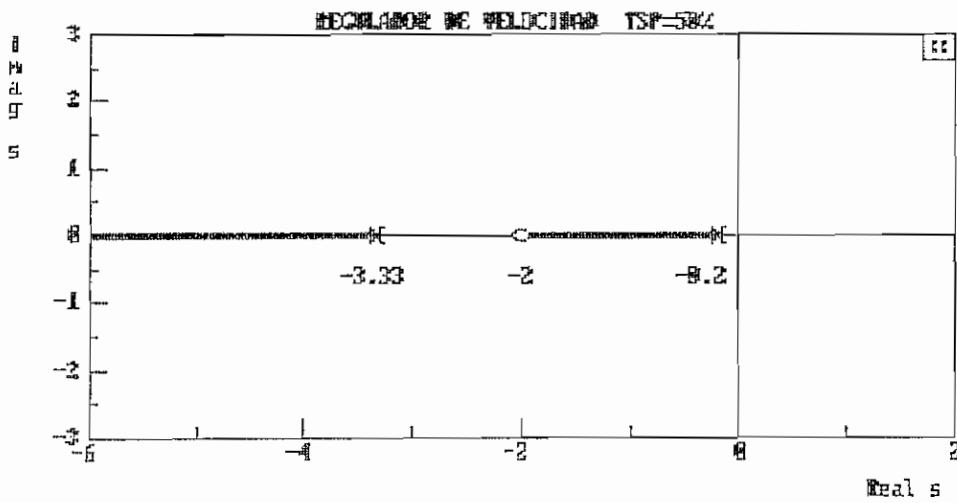
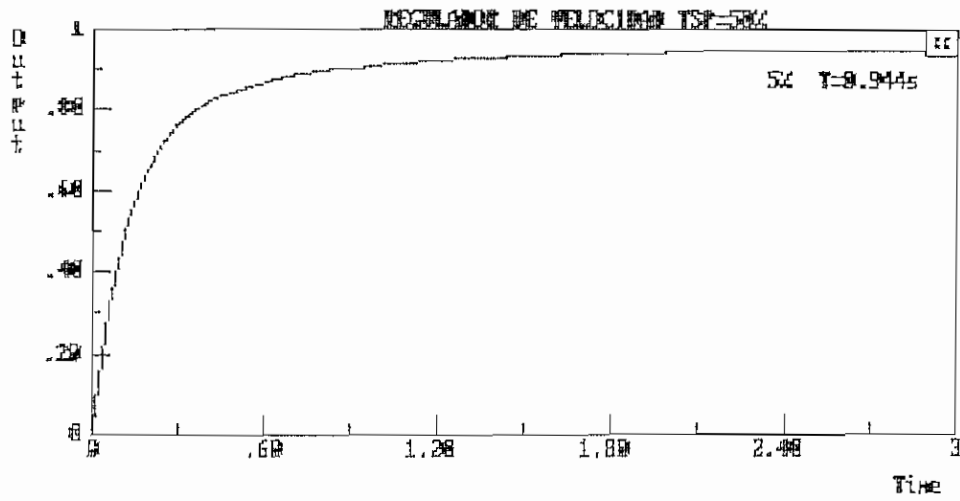


a) MECHANICAL HYDRAULIC SPEED - GOVERNING SYSTEM FOR HIDROTURBINES

LEGEND

UNIT 1		UNIT 2
$T1 = 0.81$	$\delta =$ TRANSIENT SPEED DROOP	$T1 = 0.60$
$T3 = 0.015$	$G =$ PERMANENT SPEED DROOP	$T3 = 0.015$
$T4 = 3.0$	$\delta = \frac{2.5 T4}{10 H}$	$T4 = 3.0$
$T5 = 0.015$	WHERE H IS THE TURBINE-GENERATOR INERTIA	$T5 = 0.015$
$T7 = 0.2$	CONSTANT ON THE MACHINE MVA BASE	$T7 = 0.20$
$CVU = 0.95$	TYPICALLY: $\delta = 0.3$ RANGE: 0.2 - 1.0	$CVU = 0.9$
$CVL = 0.0$	$G = 0.05$ RANGE: 0.03 - 0.06	$CVL = 0.0$
$DCVU = 0.093$		$DCVU = 0.167$
$DCVL = -0.156$		$DCVL = -0.330$

Figura 3.3 Sistema de Regulación de Velocidad



$$G(s) = \frac{.5s + 1}{(.25s + .05)(.3s + 1)}$$

Figura 3.4 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces Regulador de Velocidad con un Transient Speed Droop de 50% (Aproximado a un Sistema de Segundo Orden)

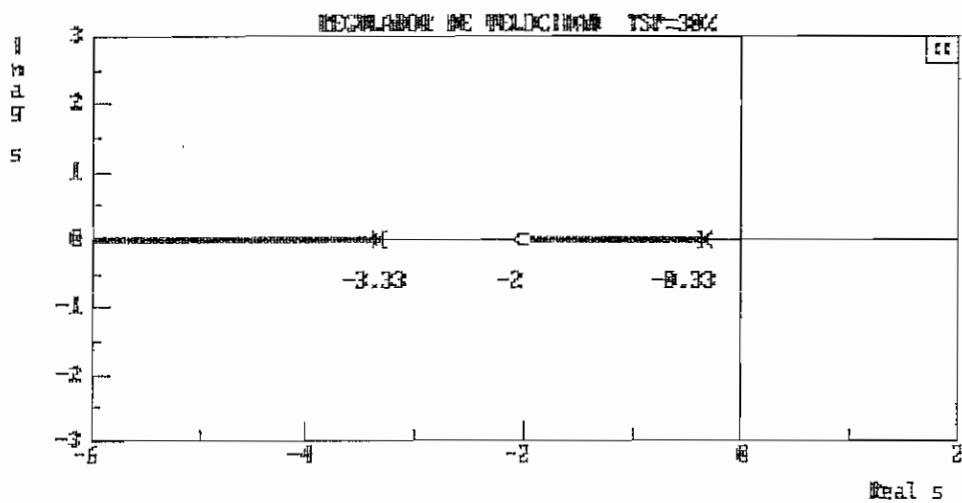
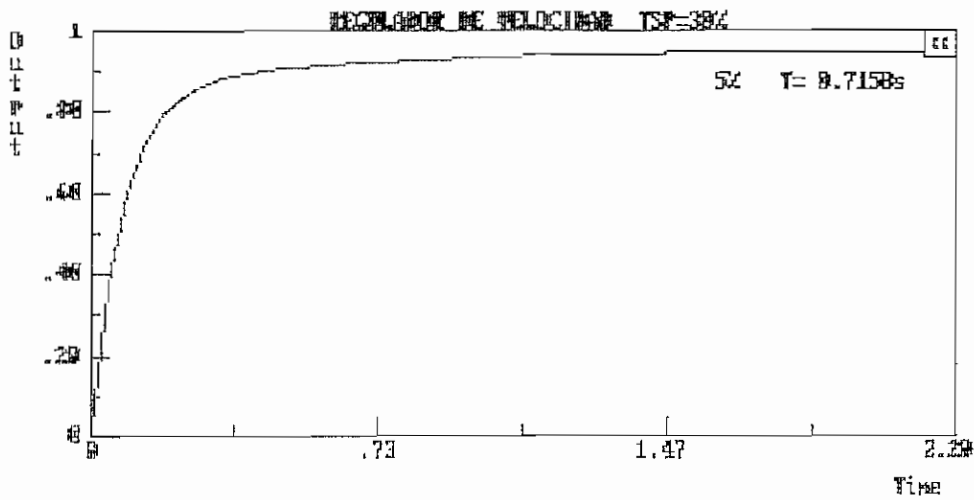
En la figura 3.5 se observa la respuesta en el tiempo y el lugar geométrico de las raíces de la función de transferencia del regulador de velocidad para una regulación transitoria de velocidad de 30%, obtenida con el programa de simulación Cad Control.

Como se puede observar en las figuras 3.4 y 3.5 que la respuesta en el tiempo del regulador de velocidad es más rápida para una regulación de velocidad transitoria de 30% (5% $T=0.7158$ s) que para 50% (5% $T=0.944$ s), respectivamente [27].

En la fotografía 3.1.4 se presenta la excitatriz de la unidad 1.

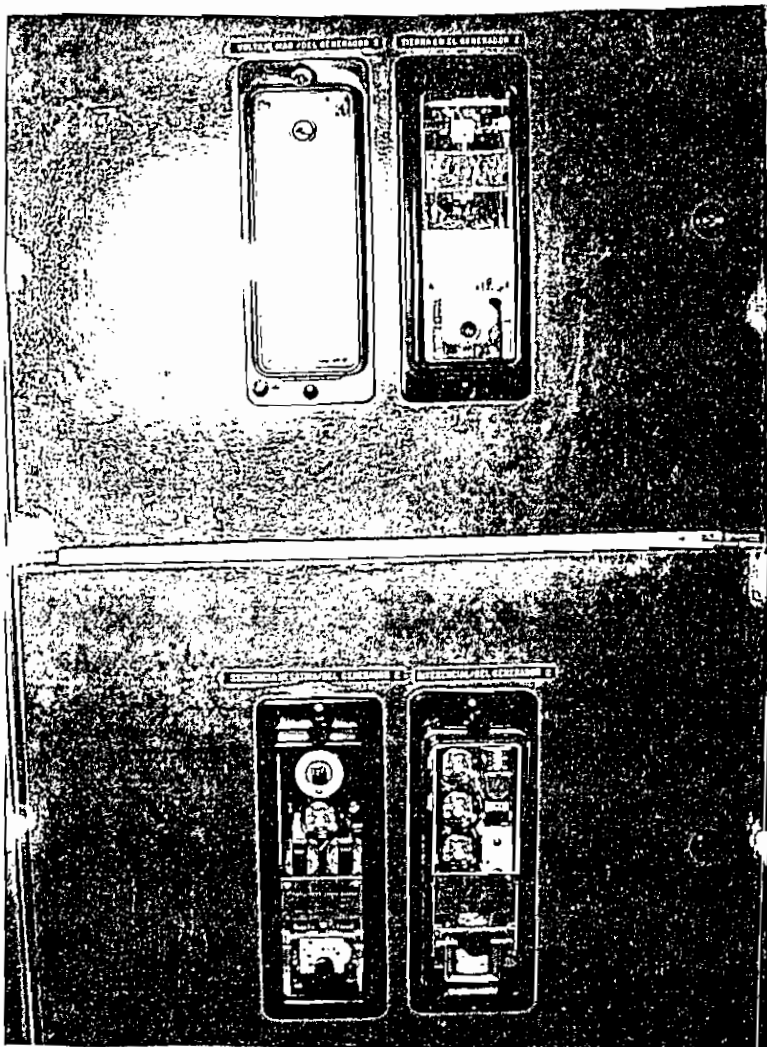
En las figuras 3.6 y 3.7 se observan los diagramas de bloques de los sistemas de excitación de la unidad 1 y 2, respectivamente.

En la figura 3.8 se presentan las respuesta en el tiempo y el lugar geométrico de las raíces de la función de transferencia del regulador de voltaje correspondiente a un polo en $s = -50.0$, variando la ganancia en $K=1$ y $K=10$, respectivamente.

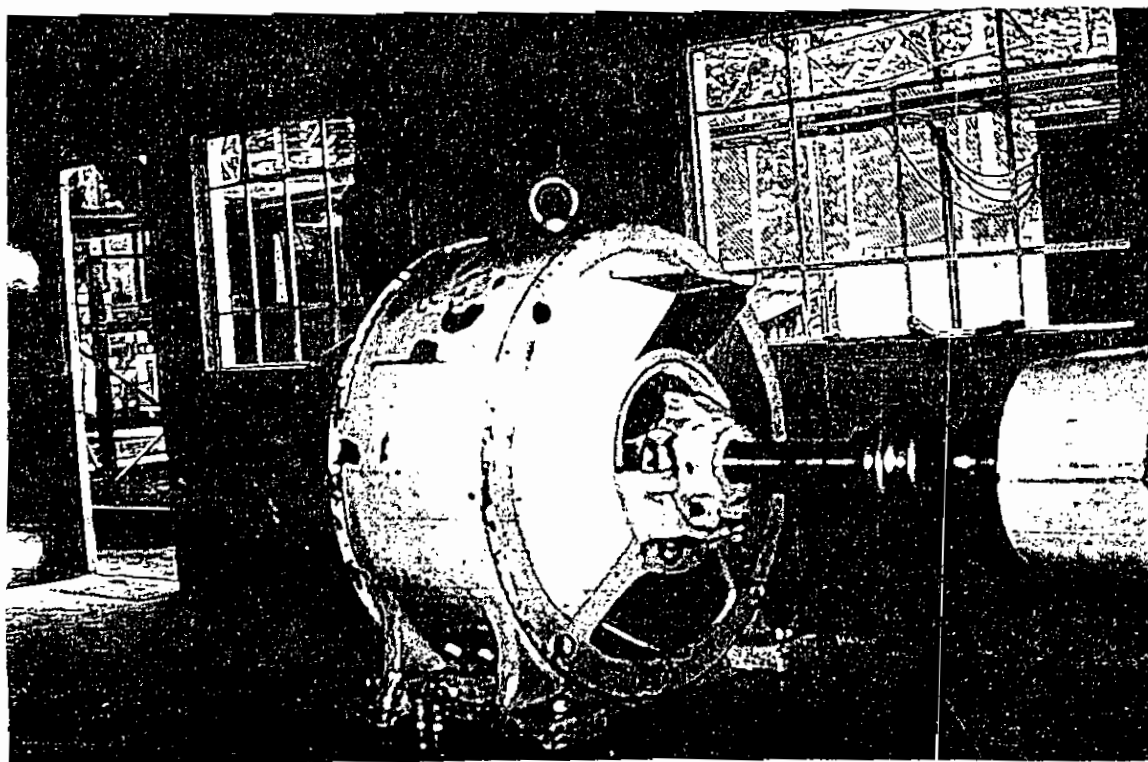


$$G(s) = \frac{.5s + 1}{(.15s + .05)(.3s + 1)}$$

Figura 3.5 Respuesta en el tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces Regulador de Velocidad con una Regulación Transitoria de Velocidad del 30% (Aproximado Sistema de Segundo Orden)



FOTOGRAFIA 3.1.3 PANEL DE PROTECCION DE LA UNIDAD 2 (CONTINUACION)



FOTOGRAFIA 3.1.4 EXCITATRIZ DE LA UNIDAD 1

POWER SYSTEM OF HCJB

UNIT 1, 2000kVA

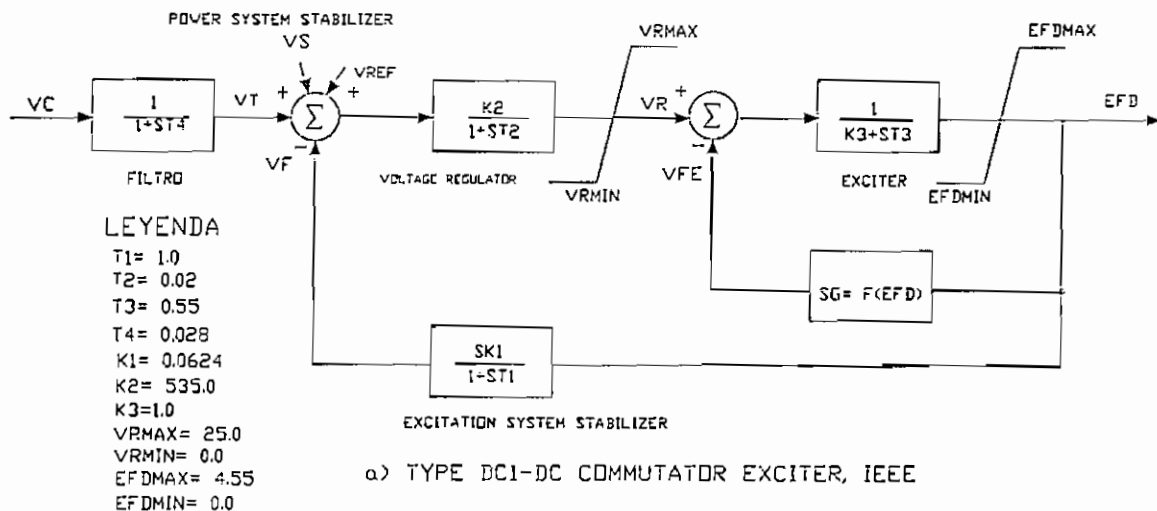


Figura 3.4 Sistema de Excitación de la Unidad 1

UNIT 2, 4444kVA

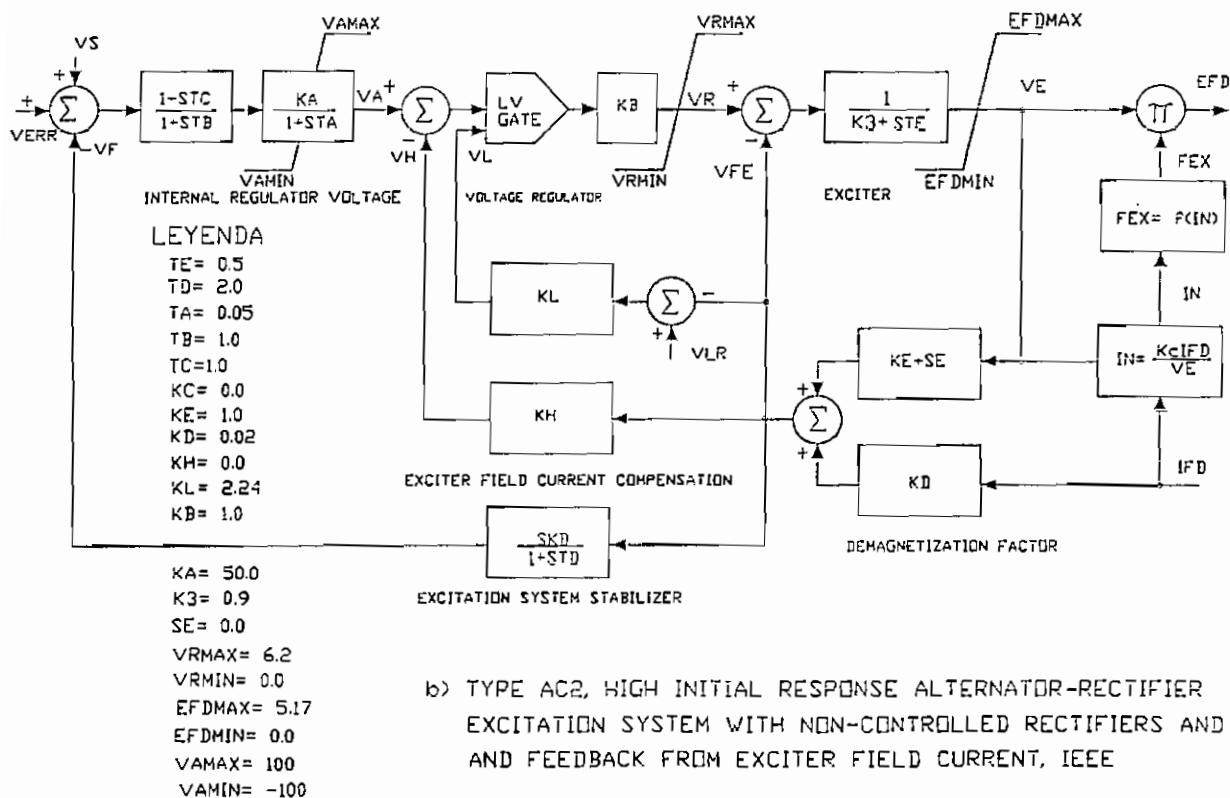
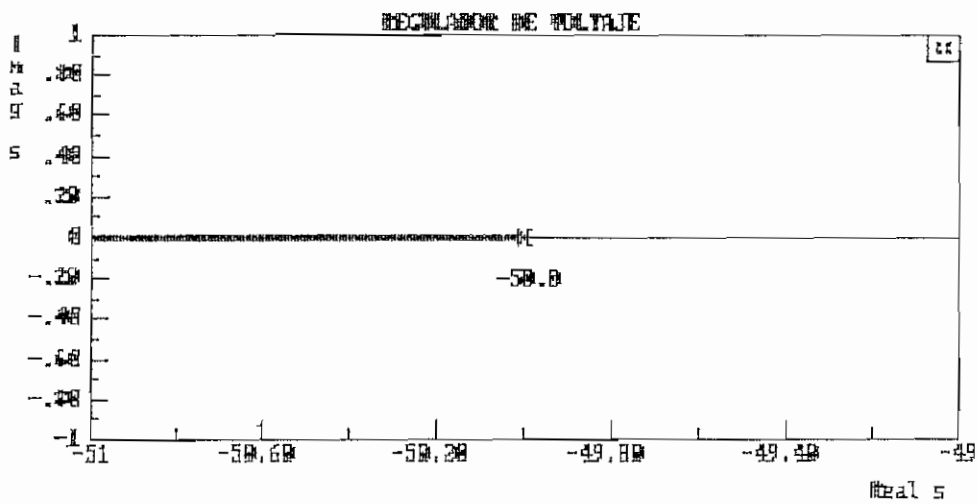
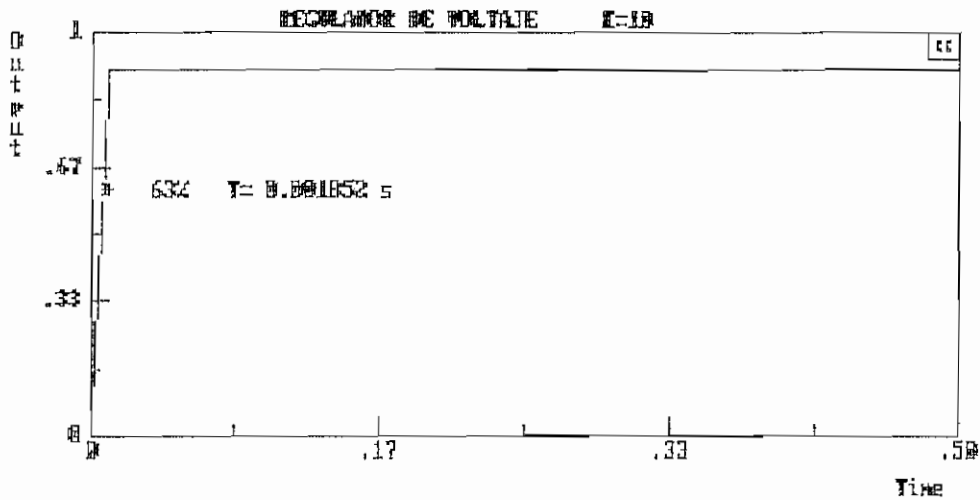
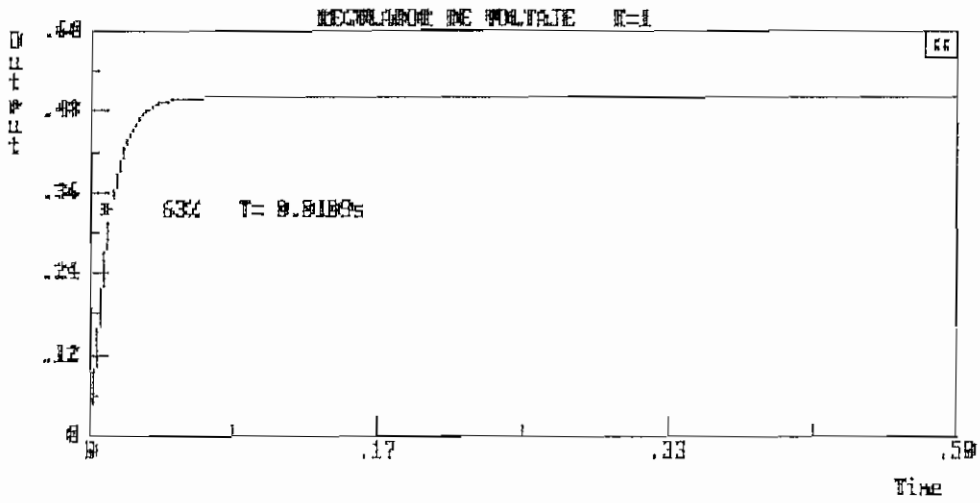


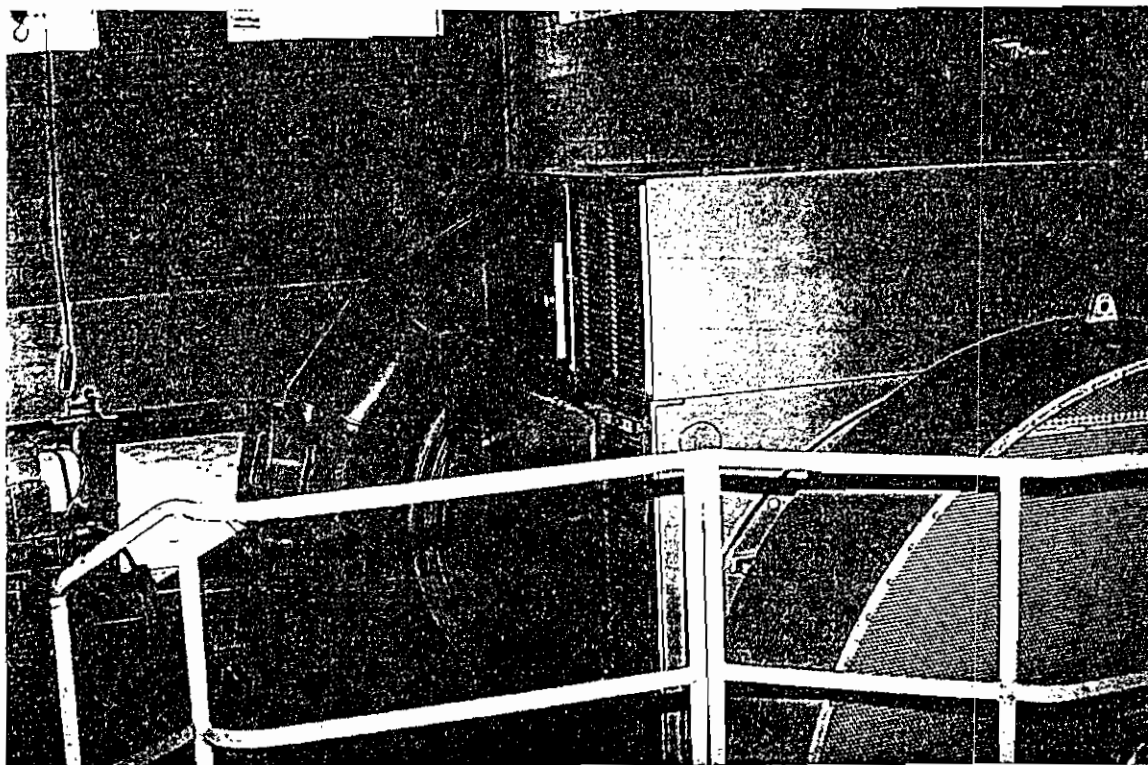
Figura 3.5 Sistema de Excitación de la Unidad 2



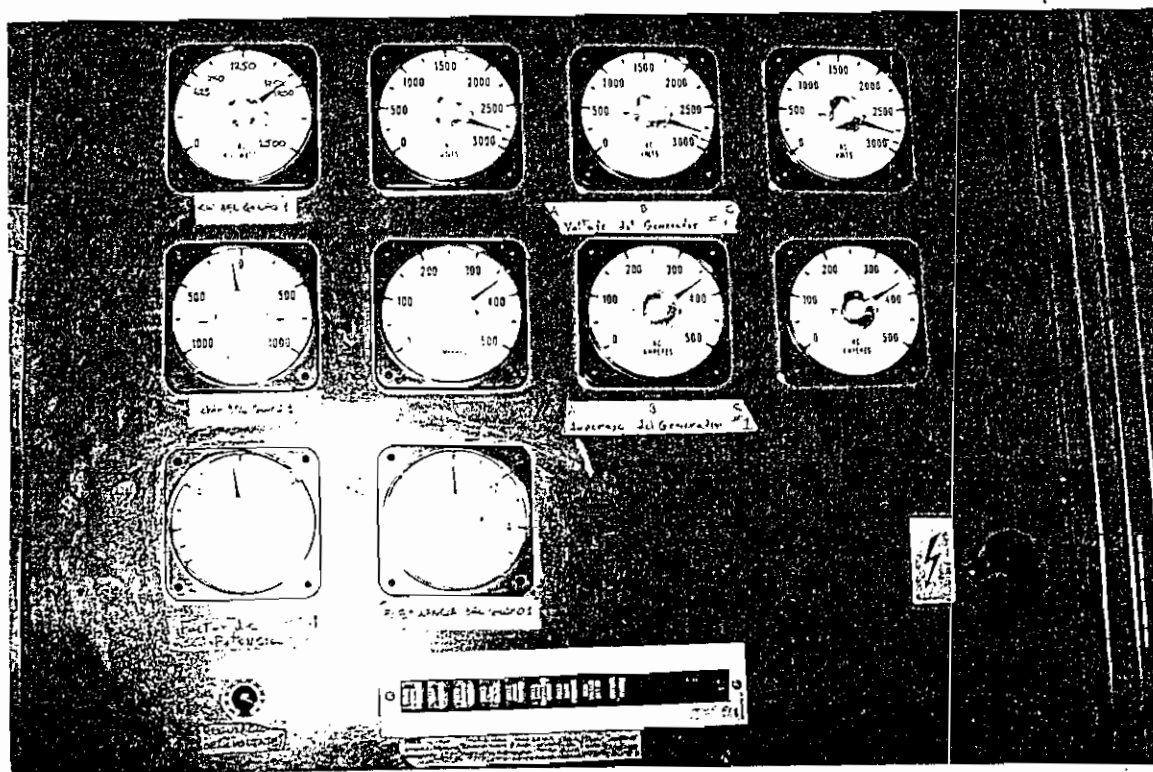
$$G10(s) = \frac{1}{.02s + 1}$$

$$G13(s) = \frac{10}{.02s + 1}$$

Figura 3.8 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces Regulador de Voltaje, Sistema de Primer Orden variando la ganancia de 1 a 10, para un polo de $S = -50$



Fotografía 3.1.3 Continuación. Vista Exterior del Sistema de Excitación de la Unidad 2



Fotografía 3.1.3 Continuación. Panel de Control de la Unidad Uno, ajustes del regulador de voltaje.

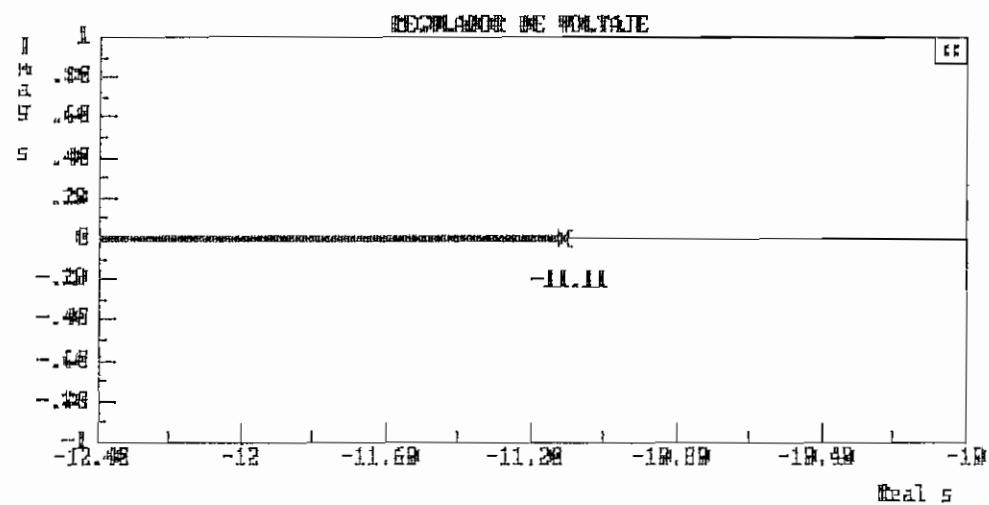
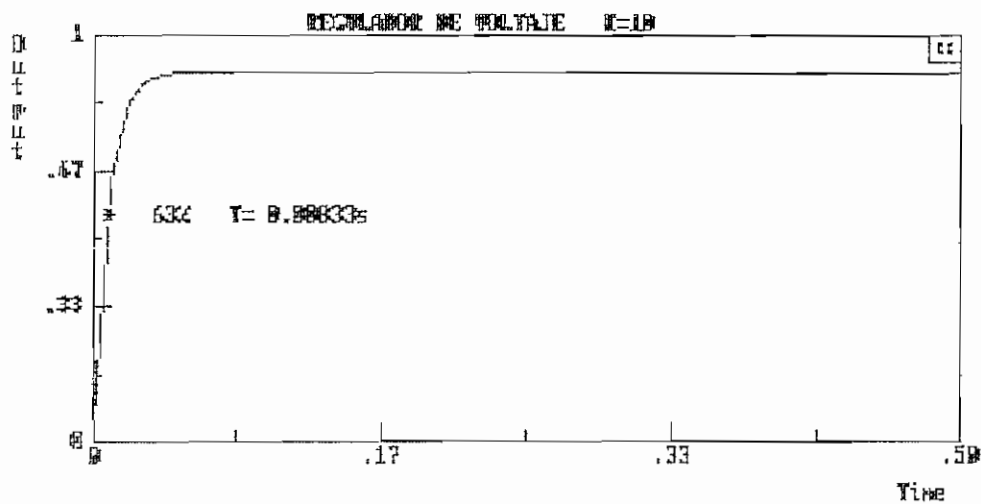
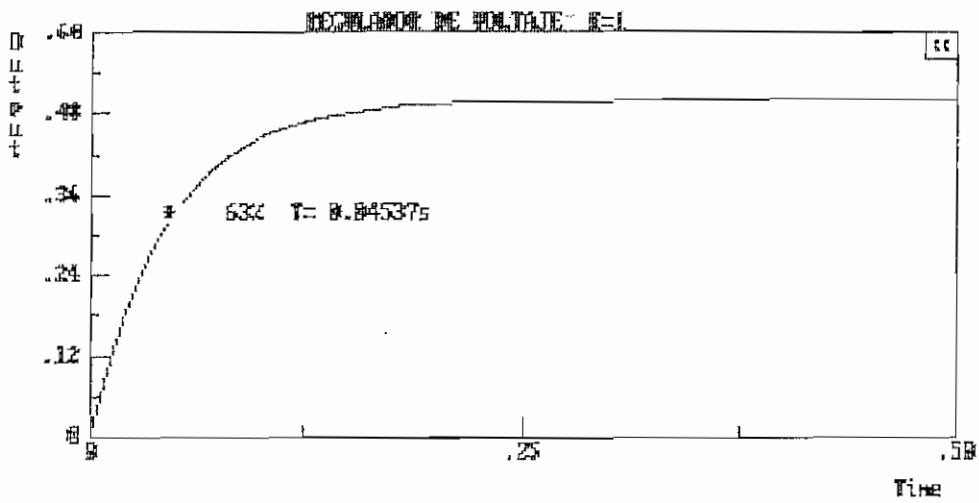
En la figura 3.9 se presentan las respuesta en el tiempo y el lugar geométrico de las raíces de la función de transferencia del regulador de voltaje correspondiente a un polo en $s = -11.11$, variando la ganancia en $K=1$ y $K=10$, respectivamente.

Como se puede observar en las figuras 3.8 y 3.9 que la respuesta del regulador de voltaje es relativamente más rápido para un polo en $s=-50.0$ (63% en $T=0.001852$ s) que para $s=-11.11$ (63% en $T= 0.008038$ s). De igual manera variando la ganancia se obtiene un error menor en estado estable, es decir que para $K=1$, $e=50\%$ y para $k=10$, $e=10\%$, respectivamente.

Como se puede observar en las figuras 3.4 y 3.8 que la respuesta en el tiempo de los reguladores de voltaje son mucho más rápidos (63% en $T=0.0109$ s) que la de los reguladores de velocidad (5% en $T=0.7158$ s) para una misma condición, respectivamente.

El torque electromagnético en el entrehierro del generador constituye el enlace fundamental entre la potencia mecánica de la turbina y la potencia eléctrica generada.

El torque mecánico de la turbina que luego se transforma en potencia activa generada es función de $\Delta\delta$ (ΔW_m), como se puede observar en la ecuación.



$$G11(s) = \frac{1}{.09s + 1}$$

$$G12(s) = \frac{10}{.09s + 1}$$

Figura 3.9 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces Regulador de Voltaje, Sistema de Primer Orden variando la ganancia de 1 a 10.

(3.1)

$$T_m - T_e = T_a = M \frac{\partial \omega_m}{\partial t} + B \omega_m + K_o$$

Donde:

T_m = Torque mecánico de la turbina

T_e = Torque electromagnético

M = Momento de inercia de todas las partes rotativas del sistema

B = Coeficiente de amortiguamiento

ω_m = Velocidad del eje del rotor ($d\delta/dt$)

K_o = Constante de fricción seca (no depende de la velocidad)

La ecuación (3.1) en p.u. es igual a la ecuación (3.2) llamada ecuación de oscilación de las máquinas sincrónicas.

(3.2)

$$P_m - P_e = P_a = M \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} + D \frac{\partial \delta}{\partial t}$$

Donde:

P_m = Es la potencia mecánica de las máquinas impulsoras

P_e = Potencia eléctrica de generación

M = Momento de inercia equivalente de todas las partes móviles del generador, que en función de la constante de inercia H equivalente en p.u. (velocidad $d\delta/dt$ en p.u.) es:

$$M = 2 H \text{ p.u.} \quad (3.3)$$

Para un sistema multimáquina:

(3.4)

$$H_{eq} = \sum_{i=1}^n H_i \frac{S_i}{S_B}$$

Siendo H_i la constante de inercia de cada generador expresado en sus propias bases S_i (MVA), S_B la base del sistema.

D = Para oscilaciones pequeñas, es únicamente el coeficiente de amortiguamiento de la carga

Con lo cual la ecuación de oscilación es:

(3.5)

$$\frac{H}{\pi f} \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} + D \frac{\partial \delta}{\partial t} = P_m - P_e$$

Para el análisis de rechazo y seccionamiento de carga se consideran varios casos de exportación a la EEQSA, resumidas en la tabla 3.3:

Tabla 3.3 Condiciones Iniciales de Operación [**]

POTENCIA EXPORTADA EEQSA		GENERACIÓN UNIDAD 1		GENERACIÓN UNIDAD 2	
MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
0.5	-0.3			2.0	0.1
1.0	-0.3			2.4	0
1.5	-7.5			3.0	0

Tabla 3.3 Continuación

POTENCIA EXPORTADA EEQSA		GENERACIÓN UNIDAD 1		GENERACIÓN UNIDAD 2	
MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
2.0	-0.9	1.25	0.75	2.2	0
2.5	-1.2	1.25	0	2.8	0
3.5	-2.2	1.5	-0.1	3.6	0

Para obtener las condiciones iniciales de simulación se corre flujos de potencia con un mismatch de 1×10^{-7} . Luego, se simula el rechazo de carga abriendo la línea EEQSA-Pifo-Yaruyqui-Tumbaco en un tiempo de apertura de 0.5 s de un tiempo total de simulación de 10 s. El paso de integración para la resolución del sistema de ecuaciones diferenciales es 0.0005 s por el método de Runge Kutta de cuarto orden y el tiempo de impresión (sampling) es de 25 ms.

La carga del sistema de potencia de HCJB a más de vender a la EEQSA son los transmisores de radio en Pifo, que es una carga altamente resistiva (factor de potencia 0.985); por lo cual un modelo adecuado de simulación es el de impedancia ($P_0, Q_0 = 0$), corriente ($P_1, Q_1 = 1$) y potencia constante ($P_2, Q_2 = 0$), respectivamente.

En los modelos de los generadores hidráulicos se toma en cuenta el efecto de la saturación y los devanados de amortiguamiento.

[**] Resultados tomados de las pruebas realizadas por ingenieros de HCJB en agosto de 1994.

El tiempo de detección de los relés de protección se toma en 2 ciclos y el tiempo de actuación del disyuntor en 6 ciclos; con lo cual el tiempo de operación total de las protecciones es de 8 ciclos.

3.1.1. OPERANDO LAS UNIDADES 1 Y 2 EN PARALELO

Para el caso de 3.5MW de exportación a la EEQSA en Pifo, y fijado el nivel de ajuste de la regulación transitoria de velocidad en 50%, se presenta los siguientes resultados:

a) Frecuencia del generador

El relé de sobrevelocidad de la unidad 1 es un multi-function speed switch DSP series, standard features of the DSP series que incluye rangos de velocidad seleccionables, ajustes individuales del setpoint, relés de control spdt ajustables a 5 A, resistencia en paralelo para no cargar al circuito de entrada de 0.5 A, 115 VAC, selección del relé para sobrevelocidad o baja velocidad, calibración de salida 0-10 VDC, fuente de alimentación a 115 VAC; su punto de caída es ajustado a 66.6 Hz (820 r.p.m, 113.8%) y su tiempo de respuesta instantáneo [4].

El relé de sobrevelocidad de la unidad 2 es un GTU 451 BBC Brown Boveri (transductor de medida de velocidad rotacional/frecuencia) y monitor de velocidad TYPE WE 77/Ex-DW, fuente de alimentación: 220 V-10% +15%/54-65 Hz, consumo de

potencia: aproximadamente 1.5 VA, tiempo de respuesta $t = 1/f$ ($f =$ frecuencia fijada), Salida: 4A/250VAC/500VAC, histéresis: aproximadamente 5%, circuito de control: duración mínimo del pulso ≥ 0.5 ms, intervalo mínimo del pulso 0.5 ms; su punto de caída es fijado en 72Hz (720 r.p.m, 120%) y un tiempo de respuesta instantáneo [5].

Actualmente, los relés de sobrevelocidad (81) vienen en sus versiones sobre/baja frecuencia con tiempos de respuesta instantáneo o con retardos de tiempo ajustables según especificaciones de curvas para varios puntos de setpoint fijados por el usuario.

Hay que notar que para éste caso (3.5MW de exportación a la EEQSA en Pifo) actúa también el relé de potencia inversa de la unidad 1 en un tiempo de simulación de 0.59 s, sacándolo a esta unidad del sistema.

El relé de potencia inversa de la unidad 1 es un GENERAL ELECTRIC, fuente de alimentación 140VAC(fase-fase), 50 o 60Hz, corriente nominal 5 amperios, fuente de corriente DC. 48VDC(38.5 a 60V), 125 VDC (88 a 150V), 220/250VDC (176 a 300V), contactos de salida de disparo: continuamente 3A, opcionalmente bajo pedido hasta 30 amperios, rango de temperatura ambiente -20°C a $+55^{\circ}\text{C}$, ajuste del nivel de potencia inversa 0.5 a 99.9 W, Ajuste del tiempo de retardo 1 a 30 s; su punto de caída es fijado en 0kW y un tiempo de respuesta instantáneo [11].

El relé de potencia inversa de la unidad 2 es un BASLER ELECTRIC clase 300 equipado con un relé de potencia inversa PRP 360, el dispositivo provee continuamente ajustes de la sensibilidad del disparo de potencia inversa de 1% a 5% de la corriente de línea del generador, cuando los transformadores de corriente son seleccionados para entregar 5 amperios a plena, la entrada de voltaje a la fuente de alimentación es de 120, 240, 480 o 600 V, a una frecuencia de 50/60/400Hz, la salida mediante contactos de relé SPDT de 10A a 120 VAC, 10 A a 28 VDC, resistencia en paralelo de 0.75A a 115V, ajustes de los límites de sensibilidad de corriente de 0.050 a 0.250 A, ajustes de los límites del tiempo de retardo en el modelo PRP 360 de 0.25 a 1.5 s o 1.25 a 7 s, rango de temperatura ambiente de -20°C a 50°C; su punto de caída está fijado en 0 kW para un tiempo de respuesta de 7 s [10].

Los relés de potencia inversa (32R) se acostumbra a calibrarlos desde el 1 al 5% de la potencia nominal (corriente de línea) y actualmente vienen en sus versiones conjuntas de relés de potencia direccional y/o relés de potencia inversa, con tiempos de respuesta instantáneo o con retardos de tiempo calibrables; además, dispone de varios puntos de setpoint fijados por el usuario [7].

En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de potencia inversa para distintos tipos de turbinas.

Tabla 3.4 Motorización por Potencia Inversa [7]

TIPO DE IMPULSOR	PORCENTAJE DEL RANGO DE kW
Hidroturbinas	0.2 a 2.0
Turbinas a vapor (condensadas y no condensadas)	≥ 3.0
Inyección a diesel	25
Turbinas a gas	50 (debido a la compresión de la carga)

La operación de los relés, obtenida de los resultados del programa de estabilidad transitoria se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3.5 Secuencia de operación del estudio de Rechazo de carga para 3.5 MW de exportación a la EEQSA [6]

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

```

TT= .50  LINE (NO.      9)  OPENS
          SYSTEM SPLIT.  MAX. REGIONS = 2

TT= .84  RELAY (NAME NO.   10) OPERATES.
          (REVERSE POWER RELAY OF THE UNIT 1)

TT= .84  LINE (NO.      1)  OPENS
          SYSTEM SPLIT.  MAX. REGIONS = 3

TT= 1.52 RELAY (NAME NO.   3) OPERATES.
          (OVER SPEED RELAY OF THE UNIT 1)

TT= 1.52 LINE (NO.      1)  OPENS
          LINE NO.      1 IS OPEN ALREADY.

TT= 10.25 END OF THE CASE STUDY.

```

NOTA:

LOS RESULTADOS, GRAFICOS, TABLAS Y DIAGRAMAS DE BLOQUES SE PRESENTAN CON TEXTO EN INGLES PARA CONTRASTAR CON ESTUDIOS REALIZADOS ANTERIORMENTE POR INGENIEROS DE HCJB.

Como se observa en la tabla 3.5, el sistema permanece en estado estable hasta 0.5 s, tiempo al cual se simula el rechazo de carga abriendo la línea 9 (alimentador de la EEQSA Pifo-Yaruquí- Tumbaco en la S/E de HCJB en Pifo) haciendo que el sistema se divida en dos regiones. El tiempo de 0.84 s actúa el relé de potencia inversa de la unidad 1 y le saca a la unidad abriéndose el sistema en tres regiones. En el tiempo de 1.52 s actúa el relé de sobrevelocidad de la unidad 1 dando la orden de apertura nuevamente para sacarle a la unidad del sistema. En un tiempo de 10.25 s se termina la simulación.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.10:

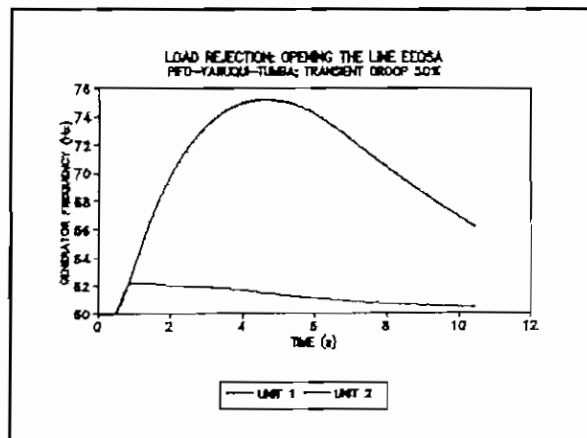


Figura 3.10 Frecuencia de Generación

Como se puede observar hasta antes de la apertura de la línea se obtiene una frecuencia en estado estable de 60 Hz, luego de la perturbación la frecuencia de las unidades tiende a aumentar debido a la pérdida de carga eléctrica (hay una potencia acelerante resultante). Las dos unidades se mueven en conjunto (están separadas únicamente por la reactancia de sus transformadores de elevación) aumentando su velocidad hasta el momento en que actúa el relé de potencia inversa de la unidad 1 y le saca a la unidad del sistema, produciéndose una subida rápida de la frecuencia de esta unidad hasta un valor máximo de 75.18 Hz. En cambio, la unidad 2 luego de la actuación del relé de potencia inversa de la unidad 1 tiende a disminuir su frecuencia debido a la disminución de la potencia acelerante, alcanzando una máxima frecuencia de 62.18 Hz y tendiendo a estabilizarse en 60 Hz luego de los 10 s de simulación.

De acuerdo a la ecuación de oscilación de las máquinas (3.2) se observa que en el momento de rechazo de carga la potencia eléctrica entregada se hace cero ($P_e=0$); por tanto, la potencia acelerante es igual a toda la potencia mecánica de entrada $P_a=P_m$, y es la que produce el aceleramiento de las máquinas hasta cuando actúen los reguladores de velocidad disminuyendo la potencia mecánica de entrada o las protecciones de sobrevelocidad; hasta tanto la inercia de las máquinas H , la fricción de los cojinetes, rodamientos y el amortiguamiento de la carga se opondrán al aceleramiento de las máquinas.

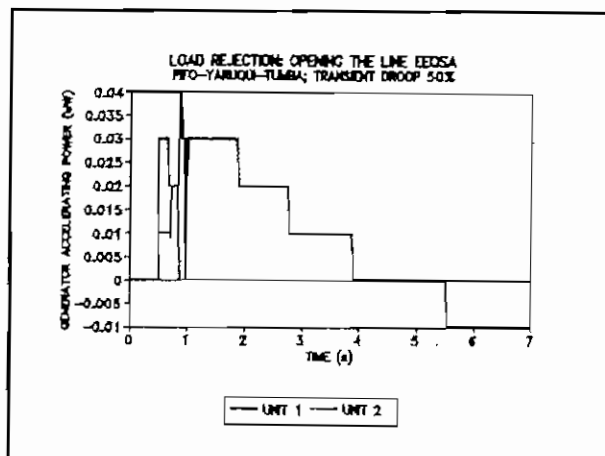


Figura 3.11 Potencia Acelerante

b) Voltaje Terminal del Generador

El relé de sobrevoltaje de la unidad 1 es un GENERAL ELECTRIC, modelo 12PJV11A10, tipo PJV, operación de la bobina 125 voltios, ajuste del setpoint del relé 50, 70, 110, 160 ;su punto de caída está fijado en 160 VAC (145%), con un tiempo de retardo de 2.5 s [11].

El relé de sobrevoltaje de la unidad 2 es un BBC Brown Boveri tipo USM, con un tiempo de sobrevoltaje ajustable dentro de un rango independiente de la fuente de alimentación, la frecuencia de operación es desde 40 a 60 Hz, la alimentación para la bobina es 100/110 voltios, el ajuste del setpoint del relé es de 100 a 160 VAC; su punto de caída esta fijado en 132 VAC (120%) para un tiempo de respuesta de 2.5 s [9].

En la fotografía 3.1.3 se observa el relé de voltaje máximo del generador 2.

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.12, donde se observa que el voltaje terminal máximo de la unidad 1 es 1.426 p.u. en un tiempo de 4.45 s y para la unidad 2 es de 1.10 p.u. en un tiempo de 1.42 s. En estado estable se mantiene el voltaje de las dos unidades en un valor fijo, luego de la simulación de la apertura de la línea EEQSA- Pifo-Yaruquí-Tumbaco los voltajes de las dos unidades crecen simultáneamente hasta cuando opera el relé de potencia inversa que le saca a la unidad 1 del sistema; produciéndose sobrevoltajes que son controlados por su propios sistemas de excitación que tratan de reducirlos. En la unidad 2 luego que actúa el relé de potencia inversa de la unidad 1 comienza el voltaje a oscilar alrededor del valor nominal llegando hasta un valor máximo de 1.1 p.u., que luego es reducido hasta el valor nominal por acción de su sistema de excitación.

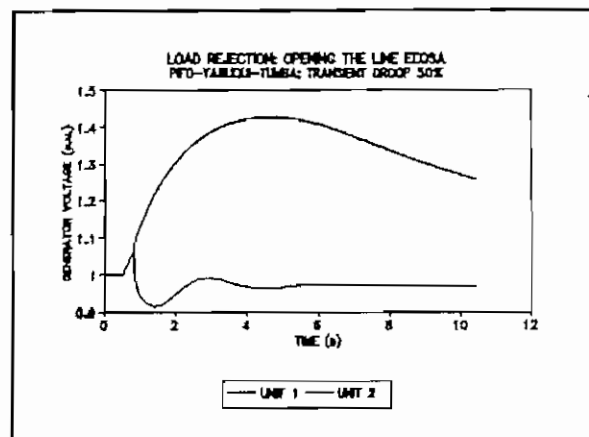


Figura 3.12 Voltaje Terminal del Generador

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE EEQSA-PIFO-YARUQUI-TUMBACO
TRANSIENT SPEED DROOP 50%

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE				
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u)	TIME (s)
0.5			62.82	3.00		1.074	62.82	3.00	62.83	3.00	1.07	0.75	1.06	0.75
1.0			65.53	3.45		1.098	65.53	3.37	65.53	3.37	1.10	0.90	1.09	0.90
1.5			69.69	4.75		1.272	69.70	4.78	69.70	4.78	1.27	4.60	1.27	5.13
2.0	64.84	3.00	64.82	3.10	1.050	1.039	64.82	3.10	64.84	3.07	1.04	0.50	1.05	0.52
2.5	68.83	4.80	66.62	3.00	1.087	1.071	66.62	3.20	68.83	4.80	1.07	0.50	1.09	0.68
3.0	72.29	4.12	69.98	3.70	1.135	1.118	69.97	3.70	72.90	3.70	1.12	0.90	1.33	3.30
3.5 *	75.18	4.55	62.18	1.10	1.426	1.063	62.17	1.20	75.15	4.45	1.06	0.83	1.43	4.35

* REVERSE POWER RELAY OPERATES OF THE UNIT 1

TABLA 3.1.1

En la unidad 2, controlando la corriente de campo de un pequeño generador sincrónico (excitatriz), que produce una corriente, rectificadas por un convertidor de 6 pulsos no controlados que entra directamente como corriente de campo del generador.

En la unidad 1 se controla manual o automáticamente la corriente de campo del generador variando la corriente de campo del generador de corriente continua (dínamo) mediante un reostato.

Un problema muy frecuente en generadores sincrónicos es la sobreexcitación que puede ser causada por fallas del regulador de voltaje, rechazo de carga o una excesiva excitación. También puede resultar por el decrecimiento de la velocidad, mientras el regulador o un operador intenta mantener el rango de voltaje del estator. La sobreexcitación se protege con un relé 24 que incluye una función de disparo (trip 24T) y una de alarma (24A).

Los sistemas de excitación deberían ser diseñados para reducir las magnitudes de sobrevoltajes y deberían ser considerados como un elemento importante para resolver problemas de sobrevoltaje que se presentan en rechazo de carga.

Un banco de resistencias sólidamente puesto a tierra está destinado a permitir alguna fluctuaciones de voltaje con el generador. Esas resistencias son dos de 50 K Ω por cada fase

y están localizadas a la salida del túnel del generador [4].

En la figura 3.13 se presenta el voltaje de excitación del campo en la cual se observa que la unidad 1 presenta un máximo sobreimpulso de 13% que luego desciende hasta su valor nominal; en la unidad 2 comienza a oscilar luego de lo cual se establece transcurrido 6 s de simulación en un valor constante de 1.5 p.u., alcanzando un máximo sobreimpulso de 13%.

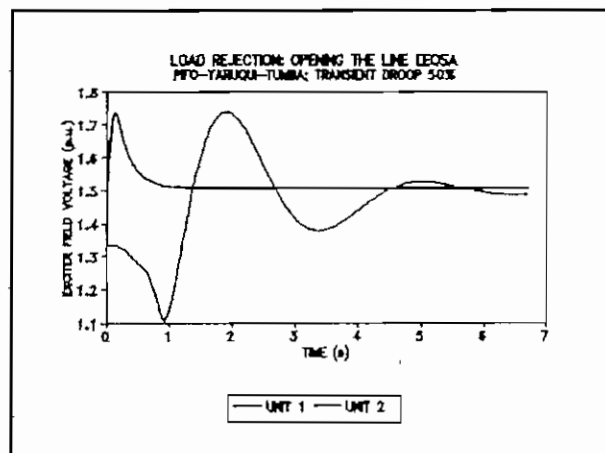


Figura 3.13 Voltaje de Excitación del Campo

Hay que enfatizar que los reguladores de voltaje son mucho más rápidos que los reguladores de velocidad, debido a la constante de tiempo de los actuadores que utilizan para corregir las desviaciones de voltaje del sistema.

En el caso de la unidad 2 (4444 kVA) su regulador de voltaje es un convertidor de seis pulsos de rápida respuesta, razón por la cual su característica es una onda oscilatoria amortiguada.

da, en cambio que la unidad 1 (2000 kVA) su regulador de voltaje es mediante un reostato que actúa sobre un generador de continua; razón por la cual su respuesta es lenta, una vez alcanzado el máximo valor (1.4 p.u en 4.2 s) decrece lentamente en los 10 s de simulación.

En el anexo 2 se presentan las especificaciones, datos técnicos y aplicaciones de los distintos tipos de relés utilizados.

c) Frecuencia de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.14, en donde se observa que al actuar el relé de potencia inversa y sacar a la unidad 1 del sistema, existe un bajón en la frecuencia en la barra de la unidad 2 en Papallacta, luego del cual actúan los reguladores de velocidad y tienden a bajar la frecuencia hasta el valor nominal. La frecuencia máxima en la barra de la unidad 2 en la Planta de Potencia en Papallacta es 62.17 Hz en un tiempo de 1.2 s y en la barra de los transmisores en la Planta de Pifo es de 75.17 Hz en un tiempo de 4.45 s. Los transmisores de radio no tienen protección para sobre/baja frecuencia, debido a que utilizan sus propios osciladores, desacoplándose de la frecuencia de la red.

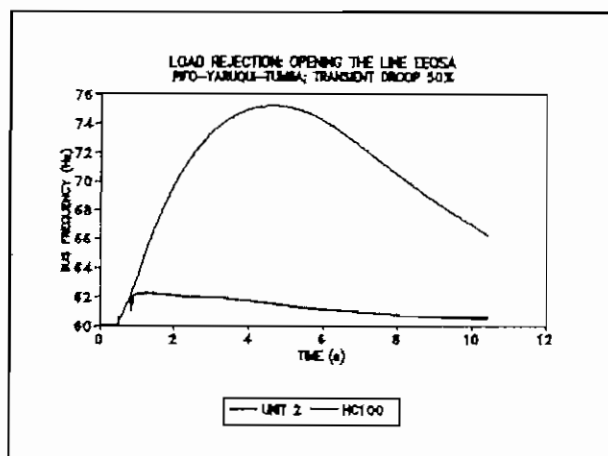


Figura 3.14 Frecuencia de Barra

d) Voltaje de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.15, en donde se observa que el máximo voltaje en la barra de la unidad 2 en la Planta de Papallacta es de 1.06 pu en un tiempo de 0.83 s y de la barra de los transmisores en la Planta de Pifo es de 1.43 pu en un tiempo de 4.35 s. En este caso actúan los relés de sobrevoltaje de los transmisores de radio ($\pm 120\%$, tiempo de respuesta 2.5 s) aislándoles del sistema.

En estado estable se observa que el voltaje de las dos unidades permanecen constantes, luego de la simulación del rechazo de carga abriendo la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco los voltajes de los dos generadores tienden a subir simultáneamente hasta el instante en que actúa el relé de potencia inversa de la unidad 1 y le saca a esta unidad del sistema y se produce un sobrevoltaje que luego es reducido por la ac-

tuación del sistema de excitación, en cambio para la unidad 2 se produce una oscilación que se atenúa alrededor del punto de equilibrio en un valor menor que el inicial.

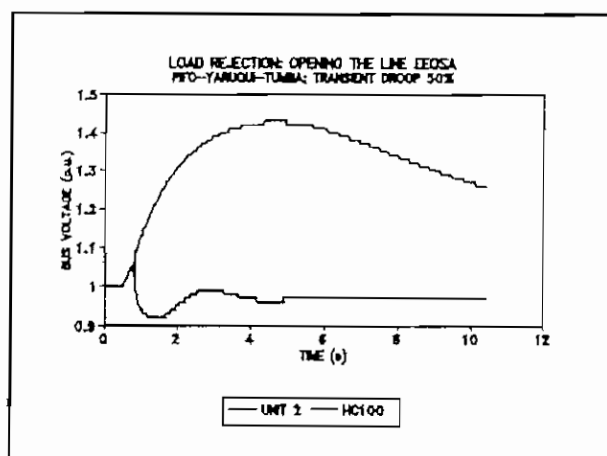


Figura 3.15 Voltaje de Barra

e) Potencia Mecánica de Entrada

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.16, en donde se observa que la respuesta de los reguladores de velocidad al cerrar la compuerta de entrada de agua a la turbina es lenta, frente a una perturbación transitoria, por ser un sistema electromecánico (respuesta de 2s), no así el sistema de excitación que es rápido frente a perturbaciones transitorias (respuesta de 0.05s), como se puede observar en las respuestas de tiempo de las figuras 3.3 y 3.4.

En estado estable se observa los valores iniciales de la potencia de mecánica de entrada de las dos unidades, una vez simulado el rechazo de carga, la respuesta de los reguladores

de velocidad para cambian la potencia mecánica de entrada de la unidad 1 es 2.3 s, luego del cual la unidad 1 va cambiando progresivamente la potencia mecánica de entrada hasta estabilizarse en 0 MW luego de 7 s (Compuertas de entrada cerradas). En cambio en la unidad 2 se demora 1.2 s en actuar los reguladores de velocidad y establecer la potencia mecánica de entrada en un valor constante para los 10 s de simulación (que corresponde a un porcentaje en la posición de las compuertas de admisión de entrada).

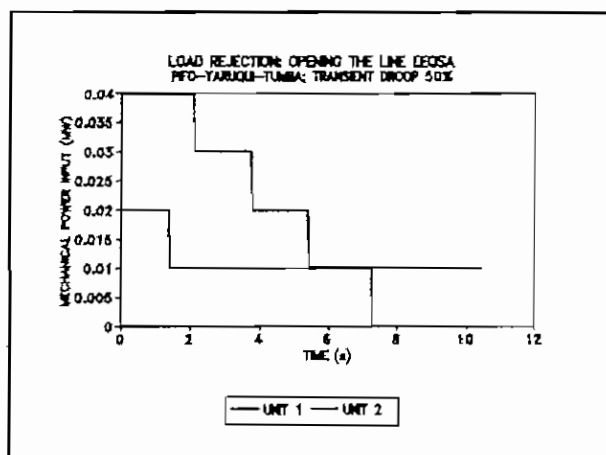


Figura 3.16 Potencia Mecánica de Entrada

Al abrirse las válvulas o compuertas de entrada a la turbina, el efecto inicial es una variación negativa de su potencia, pues la presión es utilizada para acelerar la columna de agua. El cambio inicial es opuesto al cambio final y es el doble de magnitud que este último [2].

La función de transferencia del modelo que representa la

inercia de la columna de agua es aproximadamente:

(3.6)

$$\Delta P_m(s) = \frac{(1 - TwS)}{(1 + 0.5TwS)} \Delta P_v(s)$$

Donde:

Tw= Tiempo de arranque del agua en la tubería (0.5 a 4s)

$$Tw = uL/gH \quad (3.7)$$

Donde:

u= Velocidad del agua

L= Longitud de la tubería

g= aceleración de la gravedad

H= Altura de la tubería

La respuesta en el dominio del tiempo es:

(3.8)

$$\Delta P_m(t) = (1 - 3e^{-\frac{2}{Tw}t}) \Delta P_v$$

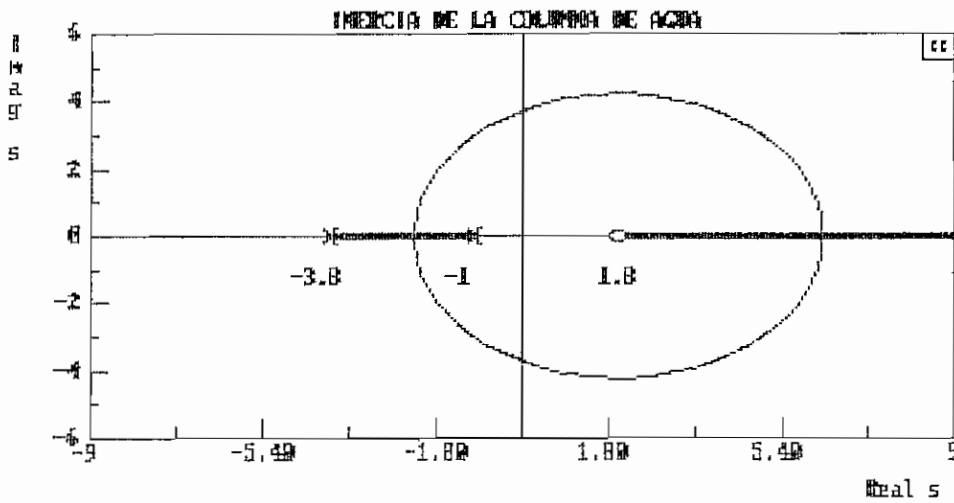
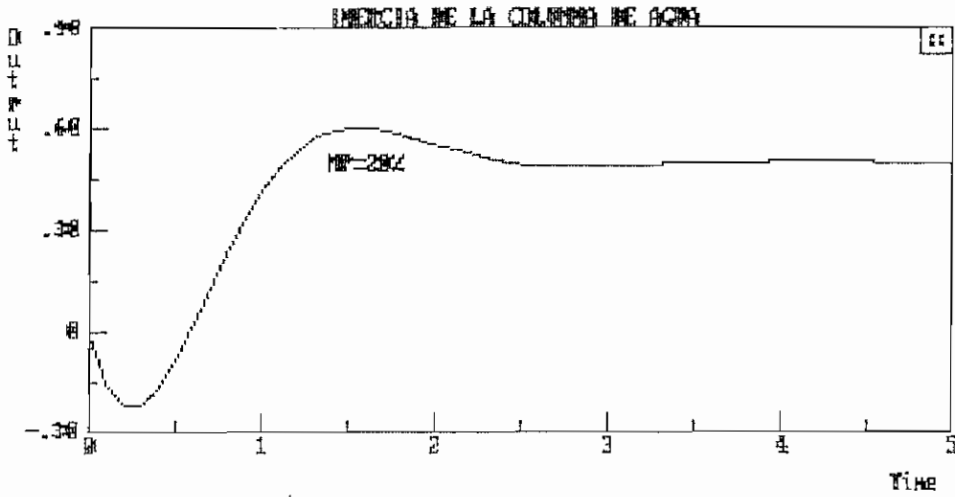
La constante de tiempo es $\tau = Tw/2$; Tw depende de la carga con que se halle la turbina, en relación directa, así si la máquina está con el 50% de la carga, Tw es aproximadamente la mitad de Tw a plena carga.

La función de transferencia 3.6 en el dominio del tiempo y de las frecuencia compleja S se encuentra en la figura 3.10 C., donde se observa el efecto inicial negativo propio de un sistema de fase no-mínima [27].

Al cerrar bruscamente la compuerta principal de admisión de agua a la turbina, ocurre que debido a la compresibilidad del agua y a la elasticidad de la tubería de presión, aparecen ondas viajeras conocidas como golpe de ariete, generalmente de alta frecuencia y no son tomadas en cuenta en este estudio. Adicionalmente, cuando existe la chimenea de equilibrio ocurren oscilaciones entre la chimenea y el reservorio, estas oscilaciones son lentas y están en el orden de minutos/ciclo y pueden, de manera general, ser despreciadas en el análisis del control p-f. [2]

En la tabla 3.1.3 referente a las pruebas realizadas por ingenieros de HCJB se observa que para en el caso de exportación de 3.5 MW a la EEQSA, la posición del gobernador estaba en un 32%, en el momento de la perturbación se establece en 24% para un tiempo de 3 s y después de la perturbación se sitúa en un 26% para un tiempo de 26 s [**].

Contrastando las tablas 3.1.1 (resultados de la simulación) y 3.1.3 (pruebas de campo realizadas por ingenieros de HCJB en Agosto 1994) para todos los casos de exportación a la EEQSA se observa que el máximo error es del 1.22% para el caso de exportación de 2.5 MW a la EEQSA.



$$G17(s) = \frac{-0.5s + 1}{(s + 1)(0.25s + 1)}$$

Figura 3.10 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces Inercia de la Columna de Agua (Sistema de Fase No Mínima)

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE EEQSA-PIFO-YARUQUITUMBACO
 PIFO/PAPALLACTA/EEQ POWER TEST
 8TH AGUST 1994

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	PAPALLACTA POWER PLANT			PIFO TRANSMITTERS PLANT			UNIT 1		UNIT 2	
	MAXIMUN FRECUENCY (Hz)	TIME (s)	MAXIMUN VOLTAGE (p.u.)	MAXIMUN FRECUENC (Hz)	TIME (s)	MAXIMUN VOLTAGE (p.u.)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MW)
0.5	62.5	5.0	1.014	62.40	3.4	1.000			2.0	0.1
1.0	65.9	6.9	1.017	65.40	8.6	1.017			2.4	0.0
1.5	70.5	8.5		70.46	8.5	1.022			3.1	0.0
2.0	64.1			64.10		1.034	1.25	0.75	2.2	0.0
2.5	67.8	6.3	1.045	67.90	6.3	1.045	1.25	0.00	2.8	0.0
3.0										
3.5	77.0	9.6	1.130	75.10	9.6	1.130	1.50	-0.10	3.6	0.0

TABLA 3.13

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE EEQSA-PIFO-YARUQUI-TUMBACO
 PIFO/PAPALLACTA/EEQ POWER TEST
 8TH AGUST 1994

GOVERNOR POSITION				UNIT 1				UNIT 2					
%	TIME (s)	PEAK		BEFORE		AFTER		REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)
		%	TIME (s)	TIME (s)	%	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)						
32	0	24	3							2.00	0.10	1.40	0.50
		15								2.40	0.00		0.00
50		5								3.10	0.00	1.40	0.30
45		0			1.25	0.75		0.800	0.25	2.20	0.00	0.50	0.00
45		0			1.25	0.00		0.485	0.15	2.80	0.00	0.80	0.00
					1.50	-0.10		0.625	0.25	3.60	3.60	0.70	0.00

TABLA 3.13 (CONTINUACION)

Los fabricantes de turbinas hidroeléctricas recomiendan hacer pruebas de rechazo de carga cada dos años, debido a que no son pruebas de rutina y pueden ocasionar problemas serios a las maquinas [5].

En la tabla 3.6 se presentan los resultados de la Simulación de Estabilidad Transitoria realizada por Tim Warham (Working Visit March/April 1989) para el Sistema Eléctrico de HCJB.

Tabla 3.6 Load Rejection Test Results (1)

TEST	EXPORT TO EEQSA	MAXIMUM FREQUENCY	TIME OF MAXIMUM	SETTLED FREQUENCY
1	500kW	62.8Hz	7.0s	61.0Hz
2	1000kW	65.8Hz	7.5s	63.1Hz
3	4000kW	76.0Hz	7.0s	71.0Hz

En el anexo 2 se presentan los resultados de la simulación de Tim Warham.

Contrastando las tablas 3.1.1 y 3.6 para los casos de exportación comparables a la EEQSA se observa que el máximo error es del 0.40% en el caso de exportación de 1.0 MW a la EEQSA.

Hay que recalcar que en la presente tesis se analizaron más casos de exportación a la EEQSA que en el trabajo realizado

por Tim Warham y que en las pruebas de campo realizados por ingenieros de HCJB en Agosto de 1994.

f) Potencia Eléctrica de Salida

Los resultados de la simulación se presentan en el gráfico 3.17, en donde se observa que inicialmente las dos unidades están entregando un valor de potencia de generación al sistema, en el momento de la simulación de rechazo de carga abriendo el alimentador de la EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco la potencia eléctrica de la unidad 1 tiende a cero, luego se restablece hasta que actúe el relé de potencia inversa y le saca definitivamente del sistema, obteniéndose una potencia de cero para los diez segundos de simulación; en cambio para la unidad 2 luego de la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco sigue entregando potencia eléctrica al resto del Sistema de HCJB (cargas de los transmisores, Baeza, Cuyuja, Papallacta, El Chaco y otros.).

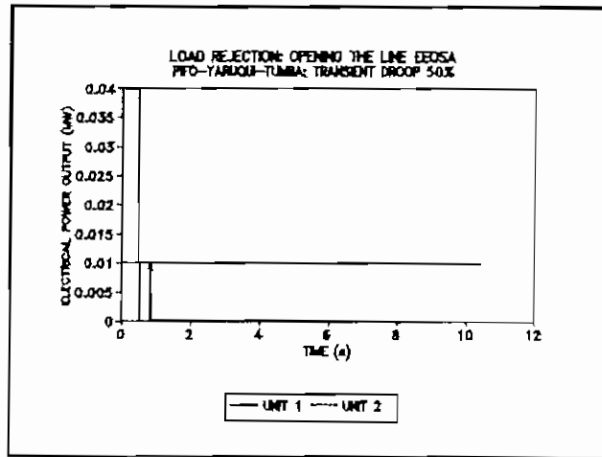


Figura 3.17 Potencia Eléctrica de Salida

3.1.2 OPERANDO UNICAMENTE LA UNIDAD 2

En el caso de 1.5MW de exportación a la EEQSA en Pifo y ajustando la regulación transitoria de velocidad en 50%, se presentan los siguientes resultados de la simulación.

La operación de los relés se muestra a continuación en la siguiente tabla 3.7:

Tabla 3.7 Secuencia de Operación durante el Rechazo de Carga exportando 1.5 MW a la EEQSA [6]

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

TT= .50 LINE (NO. 9) OPENS
SYSTEM SPLIT. MAX. REGIONS = 2

TT= 10.25 END OF THE CASE STUDY.

a) Frecuencia del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.18, en donde se observa que la frecuencia máxima a los terminales de la unidad 2 es 69.69 Hz en un tiempo de 4.75s.

En estado estable la frecuencia de la unidad 2 y Cumbayá se mantienen constantes en 60 Hz, luego de simulado el rechazo de carga abriendo el alimentador de la EEQSA- Pifo-Yaruquí-Tumbaco, la frecuencia de la unidad 2 tiende a crecer hasta que actuó el reguladore de velocidad (su respuesta se puede observar en la disminución de la potencia mecánica de entrada) y le disminuye. En este caso no actúa su relé de sobrevelocidad porque no se alcanza su valor fijado (72 Hz). En la unidad de Cumbayá se observa que la frecuencia tiende a disminuir a un valor menor que su frecuencia nominal, lo que implica que tiene que realizarse una regulación suplementaria a nivel de los generadores de la EEQSA.

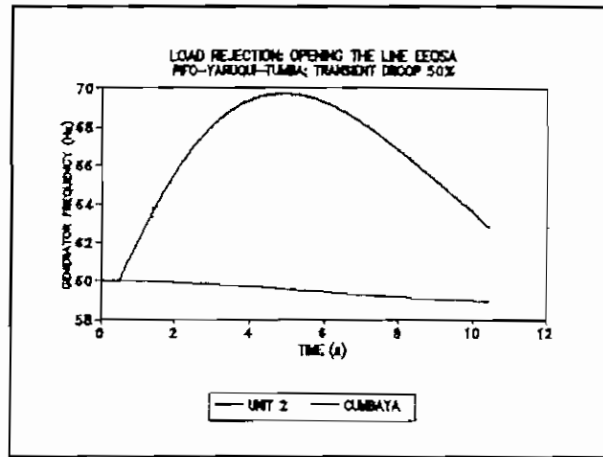


Figura 3.18 Frecuencia del Generador

b) Voltaje Terminal del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.19, en donde se observa que el voltaje máximo a los terminales de la unidad 2 es 1.272 p.u en un tiempo de 5.08s.

En estado estable, los voltajes de la unidad 2 y Cumbayá se mantienen en un valor constante, luego de la apertura del alimentador de la EEQSA-Pifo-Yaruqui-Tumbaco, el voltaje de la unidad 2 crece hasta un valor máximo luego del cual disminuye por acción del regulador de voltaje hasta un valor bastante menor en un tiempo aproximado de 5 s; en cambio en el voltaje de Cumbayá hay un sobreimpulso de 2% inicial y luego tiende a disminuir a un valor fijo cercano al inicial.

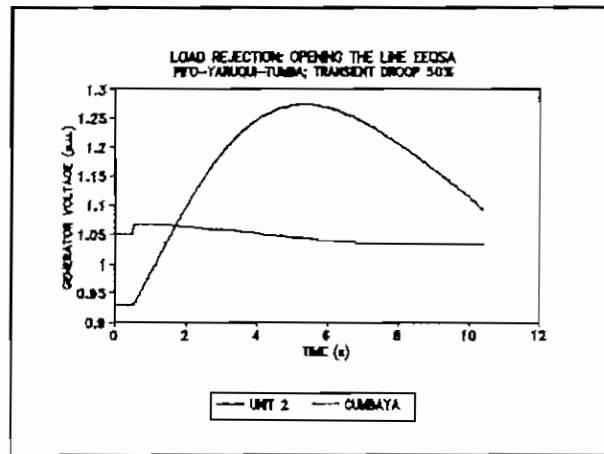


Figura 3.19 Voltaje Terminal del Generador

c) Frecuencia de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.20, en donde se observa que la frecuencia máxima en la barra de la unidad 2 en Papallacta es 69.7 Hz en un tiempo de 4.78 s y en la barra de los transmisores en Pifo es de 69.7 Hz en un tiempo de 4.78 s.

En estado estable se observa que la frecuencia permanece constante, luego de la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yarugui-Tumbaco la frecuencia crece hasta un valor máximo y luego desciende por acción del regulador de velocidad. En este caso se observa que la frecuencia a nivel del generador y a nivel de la barra de la carga son iguales, lo que implica que no existe un efecto notable de la impedancia entre la generación y la carga.

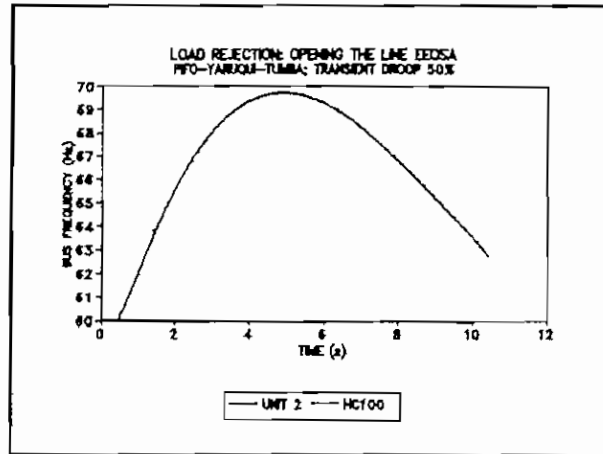


Figura 3.20 Frecuencia de Barra

d) Voltaje de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.21, en donde se observa que el voltaje máximo en la barra de la unidad 2 en Papallacta es de 1.27 pu en un tiempo de 4.6 s y de la barra de los Transmisores de Pifo es de 1.27 pu en un tiempo de 5.13 s.

En estado estable, los voltajes del generador y de la carga permanecen constantes, luego de la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco los voltajes crecen hasta un valor máximo, para entonces decrecer por acción del regulador de voltaje. Se observa que en el momento de la apertura de la línea el voltaje en la carga tiene un bajón, debido a la pérdida de potencia reactiva suministrada por la conexión con el sistema eléctrico Quito, luego del cual comienza a crecer en la misma proporción que el voltaje del generador. En este caso no actuarían las protecciones de sobrevoltaje de los

transmisores de radio por su retardo de tiempo inherente.

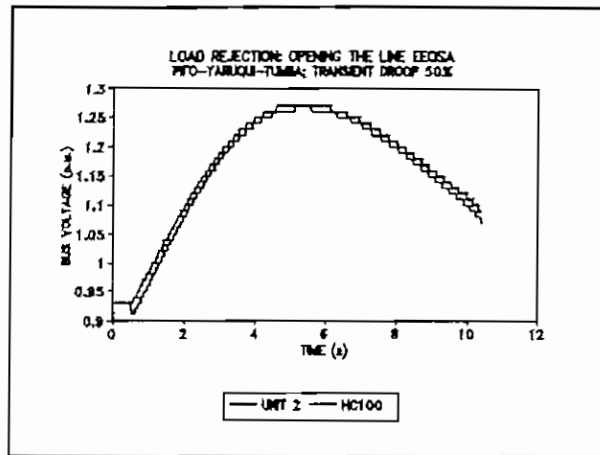


Figura 3.21 Voltaje de Barra

e) Potencia Mecánica de Entrada

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.22, en donde se observa que la respuesta de los reguladores de velocidad al cerrar la compuerta de entrada de agua a la turbina es lenta, frente a una perturbación transitoria por ser un sistema electromecánico (respuesta de 3s).

En estado estable, la potencia mecánica de entrada de la unidad 2 y Cumbayá permanecen constantes en un valor inicial, luego de producirse la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruí-Tumbaco actúa el regulador de velocidad de la unidad 2 en un tiempo de 3 s cerrando la entrada de admisión de agua a la turbina por lo cual se disminuye la potencia mecánica de entrada en forma progresiva hasta llegar a cero (compuerta principal de entrada cerrada). La potencia mecánica de

Cumbayá permanece constante luego de la perturbación, lo que implica que para el Sistema Eléctrico de la Quito está perturbación (salida de un solo alimentador) casi no afecta la frecuencia de su sistema (considerada como una barra infinita al estar conectada al Sistema Nacional Interconectado).

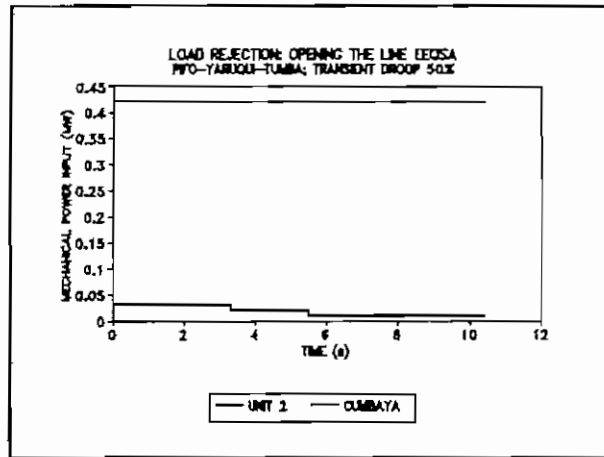


Figura 3.22 Potencia Mecánica de Entrada

f) Potencia Eléctrica de Salida

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 3.23, en donde se observa que en estado estable la potencia eléctrica de la unidad 2 y Cumbayá permanecen constantes, luego de la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, la unidad 2 disminuye su aporte de potencia eléctrica al Sistema de HCJB y se estabiliza en un valor constante requerido para el resto de las cargas del sistema todavía conectadas (transmisores de radio, Baeza, Cuyuja, Papallacta, El Chaco y otros); en cambio Cumbayá luego de la simulación del rechazo de carga la potencia eléctrica tiene un pequeño bajón

que luego se estabiliza en un valor mayor que el inicial (toma la totalidad de la carga de Yaruquí al salir el sistema eléctrico HCJB).

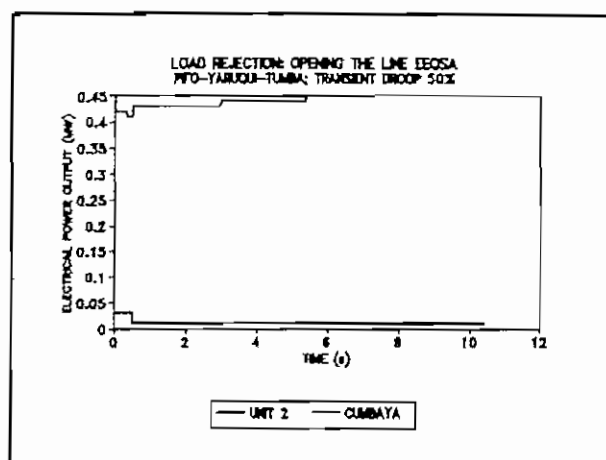


Figura 3.23 Potencia Eléctrica de Salida

Los resultados de la simulación de frecuencia, voltaje, flujos de potencia activa y reactiva a través del Sistema de Potencia para todos los casos de exportación a la EEQSA se presentan en el anexo 2.

3.1.3 FIJANDO LA REGULACION TRANSITORIA DE VELOCIDAD EN 30% PARA LOS DOS CASOS ANTERIORES

Los resultados de la simulación se presentan en la tabla 3.1.2 para todas las condiciones de exportación de potencia a la EEQSA, de lo cual se puede concluir que no es relevante en en el estudio de rechazo de carga el cambio de la regulación de velocidad transitoria del 50 al 30% debido a que el

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE EEQSA-PIFO-YARUQUI-TUMBACO
TRANSIENT SPEED DROOP 30%

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE					
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5			62.78		2.70	1.074	0.60	62.78	2.62	62.77	2.62	1.07	0.60	1.06	0.60
1.0			65.33		3.00	1.098	0.83	65.33	2.92	65.33	2.92	1.10	0.90	1.09	0.90
1.5			69.63		3.82	1.267	3.97	69.64	3.82	69.64	3.82	1.26	4.05	1.26	4.05
2.0	64.70	2.62	64.68	1.050	2.80	1.039	0.50	64.66	2.70	64.70	2.62	1.04	0.50	1.05	0.60
2.5	66.50	2.77	66.05	1.087	2.80	1.071	0.70	66.04	2.80	66.50	2.70	1.07	0.50	1.09	0.68
3.0	72.16	4.20	68.60	1.324	3.50	1.118	1.00	68.60	3.50	72.15	4.12	1.12	0.80	1.32	4.50
3.5 *	75.17	4.20	62.17	1.426	1.08	1.060	0.80	62.17	1.16	75.15	4.20	1.05	0.81	1.43	4.20

* REVERSE POWER RELAY OPERATES OF THE UNIT 1

TABLA 3.1.2

transitorio presentado es muy rápido para que actúe (sensado y operación) el regulador de velocidad.

Al ocurrir un cambio brusco en la carga, toda la potencia acelerante es igual a la potencia mecánica de entrada y se produce la sobrevelocidad de las máquinas y hasta que actúe el regulador de velocidad y cierre la compuerta de admisión de combustible ($\Delta P_m=0$) se puede llegar a sobrefrecuencias peligrosas; por lo tanto, la protección de sobrevelocidad de los generadores se da sus relés de sobrevelocidad conectados (que son más rápidos que la actuación de los reguladores de velocidad).

3.2 DESCONEXION DEL ALIMENTADOR A LOS TRANSMISORES DE RADIO DE HCJB EN PIFO

Para el caso de no exportación a la EEQSA en Pifo (pero manteniendo la exportación a la EEQSA en Papallacta hacia Baeza, Cuyuja, el Chaco y otros. y las cargas vivas de los transmisores de radio) se presentan los resultados de la simulación en la tabla 3.2T. Se observa que el efecto de rechazo de carga en la unidad 1 al desconectar todos los transmisores que están funcionando en ese instante (respetando los horarios de transmisión) produce una máxima sobrefrecuencia de 64.29 Hz en un tiempo de 3.37 s.

Este caso de operación del sistema eléctrico de HCJB ocurre

LOAD REJECTION OPENING THE PIFO TRANSMITTERS (HC500)
EXPORTING 0 MW TO EEQSA IN PIFO TRANSMITTERS PLANT

TRANSIENT SPEED DROOP	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE				BUS MAXIMUM FREQUENCY				BUS MAXIMUM VOLTAGE			
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 1 UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 1 UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
50	64.29	3.37			1.095	0.60			64.29	3.37	64.29	3.37	1.10	0.68	1.10	0.68
30	64.20	3.22			1.090	0.58			64.20	3.22	64.20	3.22	1.09	0.58	1.09	0.58

TABLA 3.2

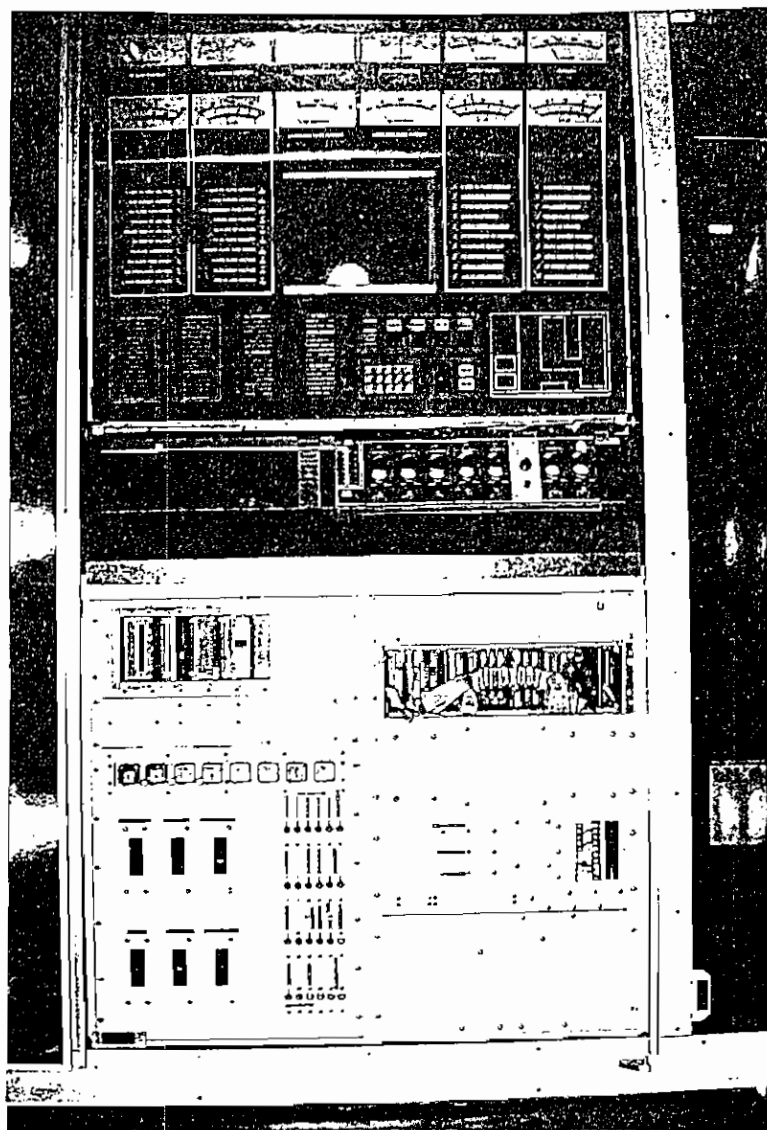
cuando existe bajo nivel de agua en el reservorio de Papallacta y se tiene que operar con la unidad 1 y no con la unidad 2, que es lo usual, debido a que esta unidad es más eficiente con poco caudal de agua que la unidad 2, como se observa en la curva de potencia de generación vs caudal de agua presentada en el anexo 2.

En las fotografías 3.2.1 y 3.2.2 se observa al transmisor de mayor potencia (800 KW de entrada/500 KW de salida) HC500 y los transformadores de 2500 kVA, 750 kVA y 750 kVA que alimentan la carga total de los transmisores de radio de HCJB en Pifo.

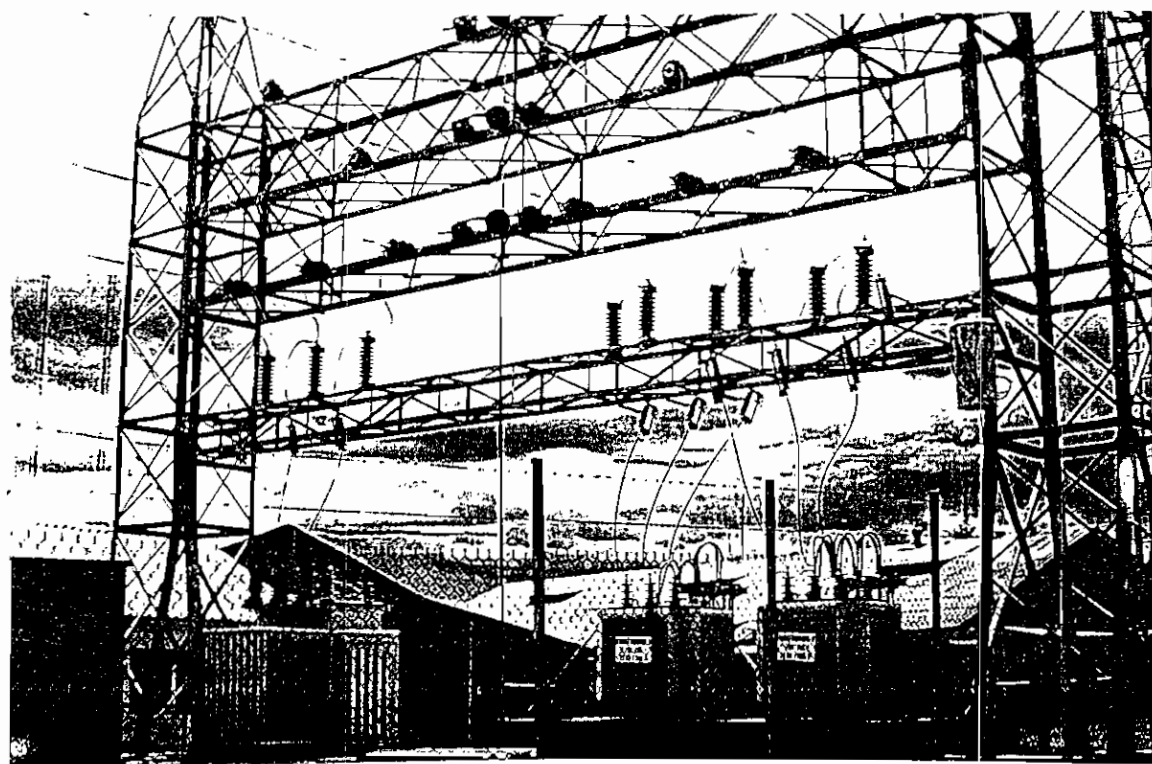
3.3 DESCONEXION DEL ALIMENTADOR A BAEZA

Se presentan los resultados de esta simulación en la tabla 3.3T. Se observa que el efecto de rechazo de carga en la unidad 1 al desconectar el alimentador a Baeza, Papallacta, Cuyuja, El Chaco y otros. produce una máxima sobrefrecuencia de 62.78 Hz en un tiempo de 2.62 s.

En la fotografía 3.3.1 se observa el disyuntor principal y el alimentador hacia Baeza, Papallacta, Cuyuja, El Chaco y otros. en la subestación de HCJB en Papallacta, a nivel de la barra de 22.8 KV.



FOTOGRAFIA 3.2.1 TRANSMISOR DE RADIO DIGITAL HC500



FOTOGRAFIA 3.2.2 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION PARA LOS TRANSMISORES DE RADIO

LOAD REJECTION OPENING THE LINE EEQSA-PAPALLACTA-BAEZA
EXPORTING 0 MW TO EEQSA IN PIFO TRANSMITTERS PLANT

TRANSIENT SPEED DROOP	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTA			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE					
	UNIT 1 (Hz)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 1 (Hz)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 1 UNIT 1 (p.u.)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)	BUS 1 UNIT 1 (p.u.)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
50	62.78		2.62	1.074		0.60	62.78	62.77	2.62	1.07	1.06	0.45	1.07	1.06	0.45
30	61.37		2.55	1.039		2.40	61.37	61.37	2.62	1.04	1.03	1.80	1.04	1.03	1.80

TABLA 3.3

3.4. DESCONEXION DE LA CARGA TOTAL DE PIFO (EEQSA y TRANSMISORES DE RADIO DE HCJB)

Se presentan los resultados de la simulación en la tablas 3.4.1 y 3.4.2 para un regulación de velocidad transitoria de 30 y 50%, respectivamente.

En la fotografía 3.4.1 se observa la llegada de la línea de subtransmisión HCJB-Papallacta-Pifo y la salida del alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, en la Subestación de HCJB en Pifo.

En el caso de la apertura de la línea HCJB-Papallacta-Pifo para diferentes condiciones de exportación a la EEQSA en Pifo y con los transmisores de radio funcionado de acuerdo a su horario de transmisión (se toma como referencia el instante en que los ingenieros de HCJB hicieron las pruebas de rechazo de carga para la condición de flujos de potencia en estado estable) se obtienen las máximas frecuencias para los generadores hidráulicos de 75.28 Hz y 73.29 Hz para la unidad 1 y 2, respectivamente.

Hay que notar que éste caso es muy crítico para el Sistema de HCJB, conforme se acerca a los terminales del generador la sobrefrecuencia es muy alta y pone en riesgo a las turbinas hidráulicas de Papallacta; además, se deja de alimentar los transmisores de radio de Pifo.

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE HCJB-PAPALLACTA-PIFO
TRANSIENT SPEED DROOP 30%

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE				
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5			66.03	2.92		1.120	66.03	2.92	66.03	2.92	1.12	0.60	1.12	0.60
1.0			68.73	3.30		1.208	68.73	3.30	68.73	3.30	1.21	2.62	1.21	2.62
1.5			73.24	3.90		1.364	73.24	3.90	73.24	3.90	1.36	3.07	1.36	3.07
2.0	67.18	2.85	67.73	3.00	1.191	1.068	67.73	3.00	67.18	2.80	1.07	0.30	1.19	0.98
2.5	69.89	3.22	68.18	3.10	1.258	1.074	68.18	3.10	69.89	3.25	1.07	0.30	1.26	2.55
3.0	72.86	3.82	70.85	3.40	1.340	1.082	70.85	3.40	72.86	3.40	1.08	0.30	1.34	3.22
3.5 *	75.25	4.05	62.29	3.80	1.428	1.111	62.29	3.80	75.25	4.15	1.11	0.30	1.43	3.67

* REVERSE POWER RELAY OPERATES OF THE UNIT 1

TABLE No. 3.4.2

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE HCJB-PAPALLACTA-PIFO
TRANSIENT SPEED DROOP 50%

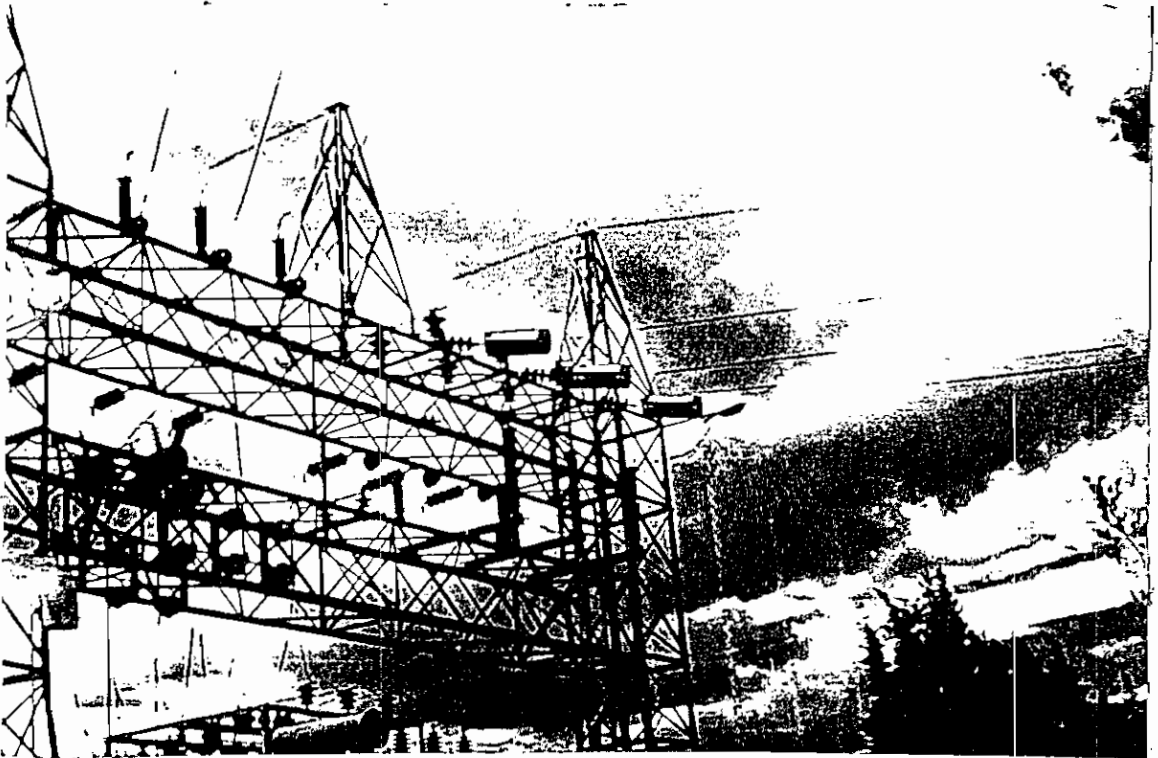
CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE				
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u)	TIME (s)
0.5			66.27	3.30		1.120	62.27	3.30	66.27	3.30	1.12	0.60	1.12	0.60
1.0			68.87	3.37		1.211	68.89	3.52	68.89	3.52	1.21	2.55	1.21	2.55
1.5				3.90		1.365	73.29	3.90	73.29	3.90	1.37	3.90	1.36	3.90
2.0	67.30	3.02	68.17	3.50	1.190	1.068	68.18	3.60	67.30	3.10	1.07	0.30	1.19	1.05
2.5	69.87	3.15	68.70	3.60	1.258	1.074	68.70	3.70	69.88	3.22	1.07	0.30	1.26	2.55
3.0	72.91	3.82	71.74	4.10	1.341	1.082	71.74	4.20	72.91	3.90	1.08	0.30	1.34	3.15
3.5 *	75.28	4.05	62.31	3.80	1.428	1.111	62.30	3.30	75.27	3.95	1.11	0.30	1.43	3.60

* REVERSE POWER RELAY OPERATES OF THE UNIT 1

TABLA No. 3.4.1



FOTOGRAFIA 3.3.1 DISYUNTOR PRINCIPAL LINEA EE, SA BAPALLORA - PAEZA



FOTOGRAFIA 3.4.1 LLEGADA/SALIDA LINEAS ECUB - EE SA EN 3/3 170

Para evitar la salida de la línea Papallacta-Pifo y aumentar su confiabilidad de operación se trata de no exceder los límites de cargabilidad de la línea (SMVA), su límite térmico, y se hace periódicamente un mantenimiento y revisión del tramo de la línea tanto desde de Papallacta como desde Pifo. Además, con los resultados obtenidos del análisis del sistema de potencia de HCJB por Tim Warham se cambio la sensibilidad de los relés de protección, para evitar la salida de ésta línea por fallas fuera de su zona de operación.

CAPITULO IV

ESTUDIO DE SECCIONAMIENTO DE CARGA

4.1 INCREMENTO DE LA CARGA POR CONTINGENCIAS EN LA EEQSA

En el estado actual (agosto 1995) para servir a todo el valle de Tumbaco (Cumbayá, Tumbaco, Puembo, Pifo, Tababela, Yaruguí, Checa y El Quinche) la EEQSA dispone únicamente de la Subestación Tumbaco con 4 alimentadores, uno de los cuales es destinado a HCJB (en el anexo 2 se presenta el diagrama unifilar del Sistema Eléctrico Quito). Debido a este equipamiento eléctrico no se dispone de suficientes equipos de maniobra (disyuntores, reclosers, fusibles y otros.) para realizar un adecuado esquema de seccionamiento de carga, tal que frente a una contingencia se pueda aislar los dos sistemas (Sistema Eléctrico HCJB y Sistema Eléctrico Quito) y puedan "sobrevivir" separadamente.

Directivos de la EEQSA han manifestado la construcción de la nueva subestación El Quinche para el año 1996, con la cuál se pretende dar mayor confiabilidad en el servicio al valle de Tumbaco y mejor interconexión eléctrica con el sistema Eléctrico HCJB. Se ha planificado un alimentador EXPRESS con los correspondientes elementos de maniobra (disyuntores, reclosers y otros. comandados por relés de baja frecuencia en forma adicional a los elementos de protección requeridos). De

esta manera se tendrá un mejor esquema de seccionamiento de carga que evite que por cualquier contingencia se abra el disyuntor de la EEQSA en la subestación HCJB en Pifo del alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco y se produzca un rechazo de carga de las unidades hidroeléctricas de Papallacta, analizado en el capítulo anterior.

Además, existe una derivación desde el alimentador EEQSA-Pifo-Tumbaco-Yaruquí en T mediante un recloser que alimenta la carga de Yaruquí, sin los equipos de protección y seccionamiento adecuados. Esto ocasiona en la actualidad serios problemas al Sistema eléctrico HCJB (potencia máxima que puede exportar a la EEQSA 3.5 MW y la requerida para Yaruquí es 4.73 MW), el mismo que frente a una separación del sistema eléctrico Quito tiene que soportar toda la carga de Yaruquí, produciendo el disparo del relé de baja frecuencia en Pifo y consecuentemente el rechazo de carga.

Cuando dos o más sistemas se interconectan, para obtener inherentes beneficios de la interconexión como son: operación más económica, reducción de costos de capital, aumento en el nivel de seguridad de operación y otros.; sin embargo, las interconexiones introducen un problema de control más complejo.

En un sistema interconectado, la frecuencia del sistema no es el único índice de control para el balance de potencia activa, sino que por razones contractuales y de seguridad es

necesario controlar el flujo de potencia por las líneas de interconexión al valor programado [2].

Los cambios de carga pueden sucederse en cualquier sistema o "area", todo el sistema de potencia reacciona con regulación primaria para absorber dicha variación, la frecuencia se estabiliza en un valor superior a aquel que se obtendría si el área en la que se produjo el cambio, estuviera aislada.

Después de este proceso, obviamente cambian los flujos por las líneas de interconexión, para volver a su valor inicial o programado, cada una de las áreas debe hacer control suplementario de tal forma de absorber sus propias variaciones de carga.

La única forma de conocer cual es la variación propia de cada área es mediante el conocimiento de la variación del flujo de potencia por las líneas de interconexión, por efecto de la variación de la carga en una o más áreas.

Con el objeto de analizar el efecto de variar el ajuste del relé de baja frecuencia, se plantean dos tipos de análisis: uno para un ajuste de 59.5 Hz (existente) y otro de 59.4 Hz (propuesto) para diferentes condiciones de exportación de potencia a la EEQSA en Pifo. El valor de ajuste de 59.5 Hz fue obtenido como resultado de la simulación del sistema de HCJB por Tim Warham en 1989 [1].

4.1.1 OPERANDO LAS UNIDADES 1 Y 2 EN PARALELO

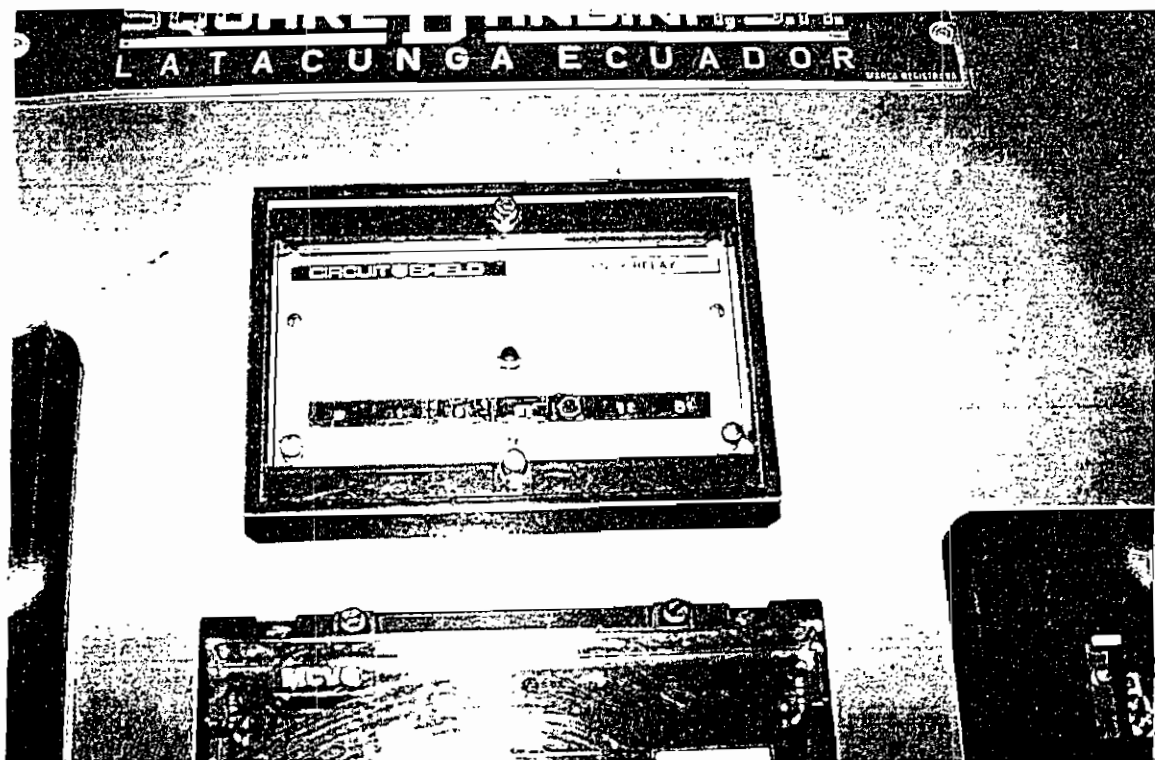
Para realizar la simulación del seccionamiento de carga del sistema eléctrico de HCJB se abre la línea (10) EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo en la subestación Tumbaco.

Para el caso de 3.5 MW de exportación a la EEQSA en Pifo y fijando el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en 59.5 Hz se presentan los siguientes resultados:

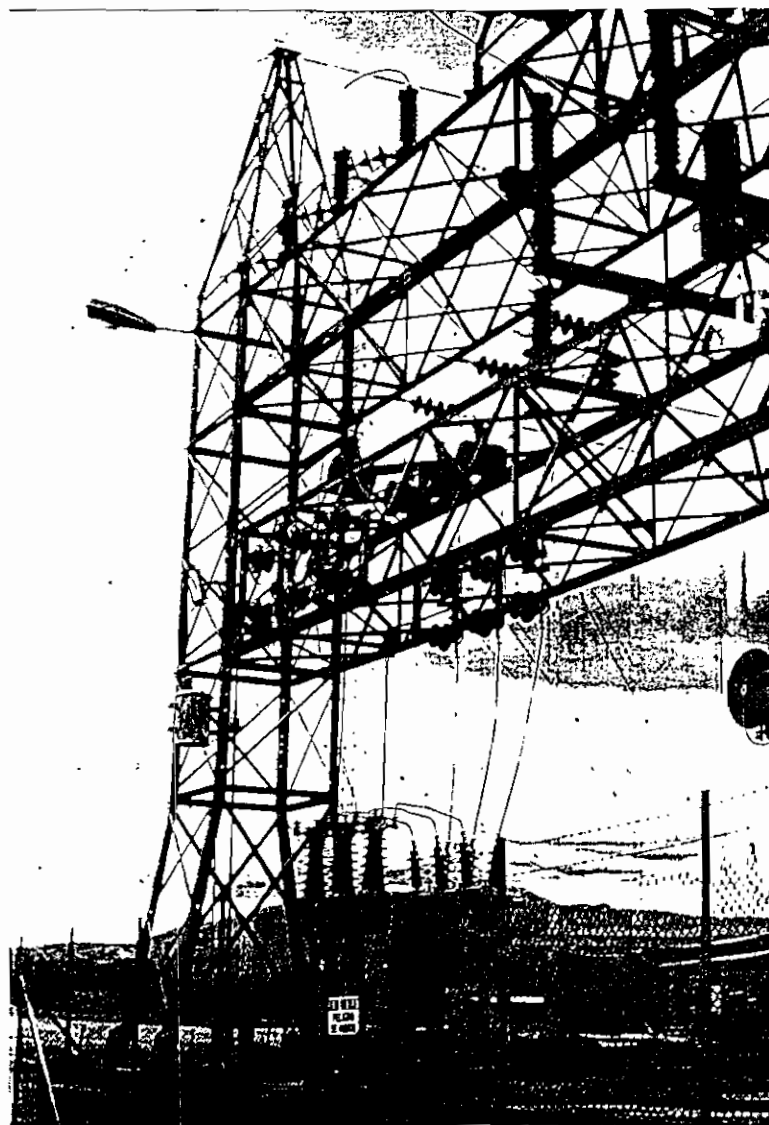
a) Frecuencia del Generador

El relé de baja frecuencia es un I-T-E- de estado sólido, modelo ITE-81, circuito de entrada 60-140 VAC, carga al circuito de entrada 0.7 VA, ajuste de la función de bajo voltaje 60-100 V, punto de disparo en el modelo a 60 Hz, ajustables desde 54 a 63 Hz, precisión y repetibilidad alrededor del set point ± 0.008 Hz, ajuste del tiempo de retardo desde 1 a 99 ciclos, circuito de salida mediante relés a 125 VDC, 30 A operación de servicio: 5 A continuamente, 1 A para carga resistiva, 0.3 A para apertura de cargas inductivas, temperatura de funcionamiento ambiental -30°C TO 75°C ; su punto de caída está fijado en 59.5 Hz (switch setting 13,1,0,12) para un tiempo de respuesta de 3 ciclos.

En la fotografía 4.1.1 se observa el relé de baja frecuencia en la planta de transmisores de Pifo.



FOTOGRAFIA 4.4.1 RELE DIGITAL DE FRECUENCIA INSTALADO EN PIFO



FOTOGRAFIA 4.1.2 DISYUNTOR PRINCIPAL LINEA EEQA PIFO-YARUCHI-TUMBACO

En el anexo 2 se presentan las especificaciones, aplicaciones y códigos de ajustes para este tipo de relé.

La secuencia de operación del seccionamiento de carga para 3.5 MW de exportación a la EEQSA se muestra en la tabla 4.1; en donde se observa que se simula el seccionamiento de carga abriendo el alimentador EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo en 0.5 s, en 2.68 s operara el relé de baja frecuencia en la S/E de HCJB en Pifo y abre el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco desconectando toda la carga de ese alimentador, en 2.99 s opera el relé de potencia inversa de la unidad 1 en Papallacta, sacándolo del sistema, en 3.77 s de simulación opera el relé de sobrevelocidad de la unidad 1 dando la orden nuevamente de apertura del disyuntor del generador 1 para sacarlo del sistema; en 10.25 s se termina el tiempo de simulación.

Tabla 4.1 Secuencia de Operación para Seccionamiento de Carga para 3.5 MW de exportación a la EEQSA [6]

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

TT=	.50	LINE (NO. 10) OPENS SYSTEM SPLIT.MAX. REGIONS = 2
TT=	2.68	RELAY (NAME NO. 1) OPERATES. (UNDER FREQUENCY RELAY)
TT=	2.68	LOAD SHEDDING ON BUS NO. 10 RA= .0 RB=.0
TT=	2.99	RELAY (NAME NO. 10) OPERATES. (REVERSE POWER RELAY OF THE UNIT 1)

Tabla 4.1 Continuación

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

TT=	2.99	LINE (NO. 1) OPENS SYSTEM SPLIT.MAX. REGIONS = 3
TT=	3.77	RELAY (NAME NO. 3) OPERATES. (OVER SPEED RELAY OF THE UNIT 1)
TT=	3.77	LINE (NO. 1) OPENS LINE NO. 1 IS OPEN ALREADY.
TT=	10.25	END OF THE CASE STUDY.

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.1, en donde se observa que la frecuencia desciende hasta activar el relé de baja frecuencia en Pifo, el mismo que después del retardo, envía la orden al disyuntor para que abra el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco. Al momento de separarse del sistema eléctrico Quito la frecuencia alcanza un valor de 59.34 Hz y 59.23 Hz para la unidad 1 y 2, respectivamente. Después de producirse el aislamiento del sistema de HCJB, las unidades hidráulicas en Papallacta sufren el rechazo de carga y las frecuencias alcanzan valores de 75.23 Hz en 6.78 s y 63.95 Hz en 4.3 s para la unidad 1 y 2, respectivamente. Después de 10 s de simulación se observa que las frecuencias de las dos unidades comienzan a descender por efecto de la acción de los reguladores de velocidad al tratar de disminuir la potencia acelerante y buscar un nuevo punto de estabilidad para la unidad 2, que todavía se encuentra conectada al sistema.

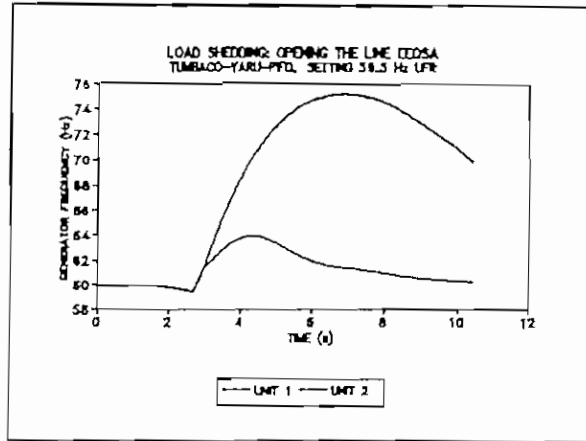


Figura 4.1 Frecuencia del Generador

b) Voltaje Terminal del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.2, en donde se observa que los máximos voltajes terminales son 1.427 p.u. en 6.68 s y 1.252 p.u. en 3.25 s para las unidades 1 y 2, respectivamente.

En estado estable, los voltajes de las dos unidades permanecen constantes, luego de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruguí-Pifo los voltajes (frecuencia) comienzan a descender hasta que actúa el relé de baja frecuencia en Pifo y aísla al sistema eléctrico HCJB, produciendo un rechazo de carga en las unidades de Papallacta (desconexión de carga activa y reactiva); los voltajes de las dos unidades crecen simultáneamente hasta que opera el relé de potencia inversa y saca a la unidad 1 fuera del sistema; luego de aquello el voltaje de la unidad 1 crece hasta un valor máximo para descender por acción de su regulador de voltaje hasta un

valor fijo, en cambio, el voltaje de la unidad 2 comienza a oscilar alrededor de su valor nominal alcanzando un máximo sobreimpulso de 25% que luego es atenuado por su regulador de voltaje para decrecer a un valor fijo, luego de 10 s de simulación.

En este caso, actúa el relé de sobrevoltaje de la unidad 1, dando la orden de apertura para sacarlo del sistema; el relé de sobrevoltaje de la unidad 2 no opera debido al retardo de tiempo fijado en su nivel de ajuste; por lo tanto, la unidad 2 sigue conectada al sistema.

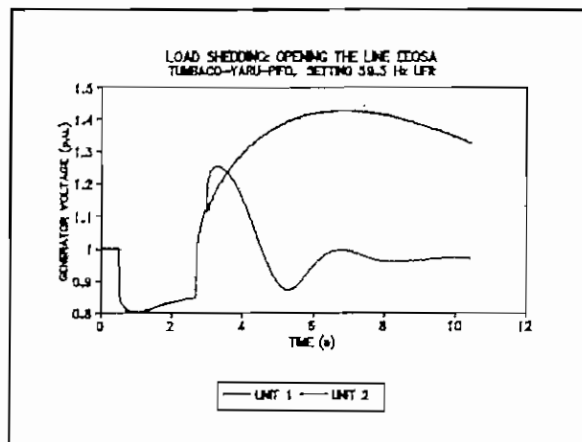


Figura 4.2 Voltaje Terminal del Generador

c) Frecuencia de Barra

Los resultados de la simulación se presenta en la figura 4.3, en donde se observa que las máximas frecuencias obtenidas son 63.91 Hz en 4.3 s y 75.23 Hz en 6.8 s para las barras de la unidad 2 en la planta de potencia de Papallacta y en los

transmisores de radio en la Planta de Pifo, respectivamente.

En estado estable, la frecuencia de las dos barras permanece constante, al simular la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo la frecuencia del sistema comienza a descender hasta que actúa el relé de baja frecuencia en Pifo y abre el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco aislando al sistema eléctrico HCJB y produciéndose un rechazo de carga en las unidades de Papallacta.

Los transmisores de radio no tienen protección contra sobrefrecuencias, ya que utilizan osciladores para desacoplarse de la frecuencia de la red, además, la fuente de alimentación de estos transmisores digitales aceptan un amplio rango de frecuencia [11]; por lo tanto, siguen conectados al sistema luego de la perturbación de rechazo de carga.

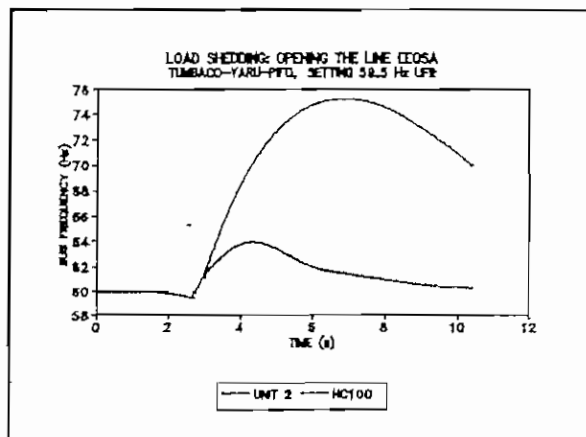


Figura 4.3 Frecuencia de Barra

En muchos casos, se considera que la carga es insensitiva a los cambios de frecuencia del sistema, aunque esto es verdad para ciertos tipos de carga, no lo es para cargas dinámicas, como es el caso de los motores. La carga en general varía con las variaciones de frecuencia en relación directa, es decir, la carga aumenta con un aumento de frecuencia y viceversa.

d) Voltaje de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.4, en donde se observa que los máximos voltajes a nivel de barras son de 1.25 p.u. en 3.15 s y 1.43 p.u. en 6.47 s para la unidad 2 y transmisores de radio, respectivamente.

Al desconectarse la carga del alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco se pierde carga reactiva; por lo tanto, hay un exceso de carga reactiva en el sistema que produce un aumento del voltaje, que debe ser controlado por el sistema de excitación de las unidades hidráulicas.

En esta situación, actúan los relés de sobrevoltaje de los transmisores de radio, aislándolos del sistema.

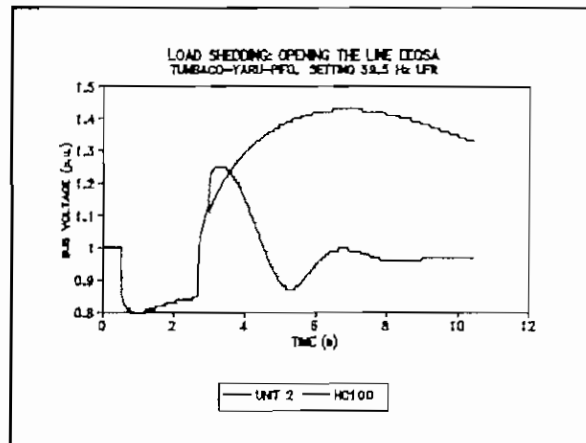


Figura 4.4 Voltaje de Barra

e) Potencia Mecánica de Entrada

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.5, en donde se observa que la respuesta de los reguladores de velocidad al cerrar la compuerta de entrada de agua a la turbina es lenta, frente a una perturbación transitoria por ser un sistema electromecánico.

En estado estable, las potencias mecánicas de entrada permanecen constantes en un valor inicial para las dos unidades, luego de simular la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruyquí la potencia mecánica de la unidad 2 comienza a descender en 3.92 s de simulación y se mantiene fijo hasta los 10 s de estudio; en cambio, la potencia mecánica de la unidad 1 comienza a descender en forma progresiva hasta llegar a cero, lo que implica, que se ha cerrado totalmente la compuerta de entrada de agua en un tiempo de 6 s de simulación.

Los valores de potencia mecánica de entrada, inicial y final corresponden a un porcentaje de apertura de las compuertas principales de admisión de agua a las turbinas, que son controladas por el regulador de velocidad y vistas en un panel de control por los operadores de la Central de Generación.

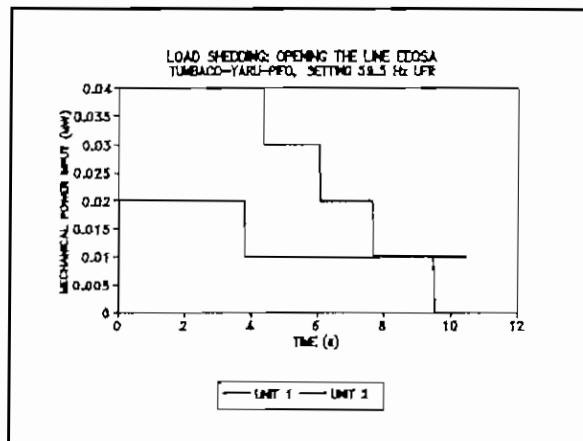


Figura 4.5 Potencia Mecánica de Entrada

f) Potencia Eléctrica de Salida

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.6, en donde se observa que para estado estable las dos unidades entregan potencia eléctrica a un valor inicial, luego de la simulación de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo y la actuación del relé de baja frecuencia en Pifo, la unidad 2 comienza a entregar más potencia eléctrica al sistema (aunque al inicio tiene un bajón, debido a su respuesta de regulación natural) para suplir la deficiencia de potencia eléctrica del sistema eléctrico Quito; en cambio la unidad 1 tiene un bajón inicial de su potencia

eléctrica para luego volver a su valor inicial. En el instante en que actúa el relé de potencia inversa de la unidad 1 y le saca a ésta unidad del sistema, su potencia eléctrica de salida desciende a cero luego de una pequeña oscilación; mientras tanto la potencia eléctrica de la unidad 2 desciende a un valor fijo, que es precisamente, la potencia eléctrica requerida para mantener vivas las cargas de los transmisores, carga de Baeza, Papallacta, Cuyuja, El Chaco y otros.

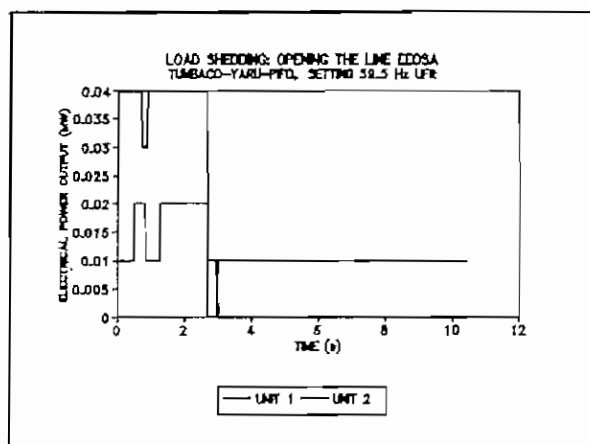


Figura 4.6 Potencia Eléctrica de Salida

4.1.2 OPERANDO UNICAMENTE LA UNIDAD 2

Para el caso de 1.5 MW de exportación a la EEQSA en Pifo, fijando el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en 59.5 Hz, se presentan los siguientes resultados:

a) Frecuencia del Generador

La secuencia de operación del seccionamiento de carga para 1.5 MW de exportación a la EEQSA se muestran en la figura 4.7, en donde se observa que se simula la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo en un tiempo de 0.5 s, en 0.88 s actuó el relé de baja frecuencia en Pifo que abre el alimentador de la EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco aislando al sistema eléctrico HCJB del sistema eléctrico Quito, en 10.25 s se termina el tiempo de simulación.

Tabla 4.2 Secuencia de Operación para Seccionamiento de Carga para 1.5 MW de exportación a la EEQSA [6]

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

TT=	.50	LINE (NO. 10) OPENS	
		SYSTEM SPLIT.MAX. REGIONS =	2
TT=	0.88	RELAY (NAME NO. 1) OPERATES.	
		(UNDER FREQUENCY RELAY)	
TT=	0.88	LOAD SHEDDING ON BUS NO. 10	RA= .0 RB=.0
TT=	10.25	END OF THE CASE STUDY.	

Los resultados de la simulación se presenta en la figura 4.7, en donde se observa que la frecuencia desciende hasta activar el relé de baja frecuencia en Pifo, el mismo que después del retardo, envía la orden al disyuntor para que abra el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco. Al momento de separarse del sistema eléctrico Quito la frecuencia alcanza un valor de

59.34 Hz para la unidad 2. Después de producirse el aislamiento del sistema de HCJB, la unidad 2 en Papallacta sufre un rechazo de carga alcanzando una frecuencia máxima de 69.77 Hz en 5.28s. Después de 10 s de simulación se observa que la frecuencia comienzan a descender por efecto de la acción de los reguladores de velocidad al tratar de disminuir la potencia acelerante y buscar un nuevo punto de estabilidad para la unidad 2, que todavía está conectada al sistema.

Al ocurrir la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo la central Cumbayá siente un rechazo de carga al desconectarse parte de la carga de Yaruquí, pero debido a la magnitud de la carga rechazada frente a la carga total de los cuatro alimentadores de la S/E Tumbaco (33 MVA) el efecto en sobre-frecuencia es mínimo (62 Hz en 4.1 s).

En este caso, no operará el relé de sobrefrecuencia de la unidad 2, al no alcanzar el nivel de ajuste programado.

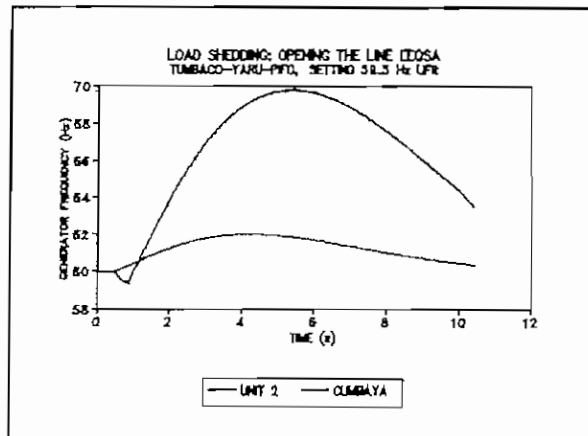


Figura 4.7 Frecuencia del Generador

b) Voltaje Terminal del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.8, en donde se observa que en estado estable los voltajes de la unidad 2 en Papallacta y Cumbayá permanecen constantes, luego de simular la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo las frecuencia (voltaje) comienza a descender hasta que actúa el relé de baja frecuencia y abre la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco aislando al sistema eléctrico HCJB y produciendo un rechazo de carga en Papallacta, originando que el voltaje de la unidad 2 suba hasta 1.275 p.u. y luego decrece por acción de su regulador de voltaje hasta un valor fijo. Luego de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo en la central de Cumbayá se produce un rechazo de carga por la salida de parte de la carga de Yaruquí, originando que el voltaje ascienda hasta 1.15 pu (inicialmente opera a 1.05 p.u) para luego descender por acción de su regulador de voltaje hasta un valor fijo.

En este caso, debido al retardo de tiempo en el nivel de ajuste del relé de sobrevoltaje, la unidad 2 no sale de operación.

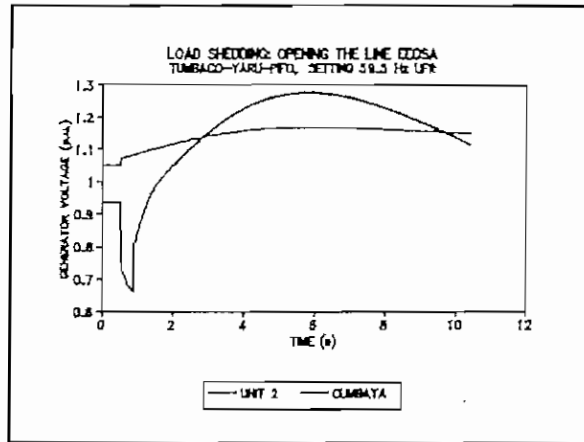


Figura 4.8 Voltaje Terminal del Generador

c) Frecuencia de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la tabla 2.9, en donde se observa que para estado estable la frecuencia en la generación y la carga permanecen constantes, luego de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo la frecuencia comienza a descender hasta que opera el relé de baja frecuencia en Pifo y abra el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco originando un rechazo de carga en la unidad 2 de Papallacta. El pequeño bajón inicial de la frecuencia de generación es debido al efecto de la carga al variarse la frecuencia en el momento de rechazo de carga, luego del cual, la frecuencia de generación y carga en crecen conjuntamente hasta un valor máximo para luego descender por efecto del regulador de velocidad de la unidad 2.

Los transmisores de radio no se ven afectados por esta sobrefrecuencia, ya que disponen de osciladores para desaco-

plarse de la frecuencia de la red y una fuente de alimentación que acepta un amplio rango de frecuencia de entrada.

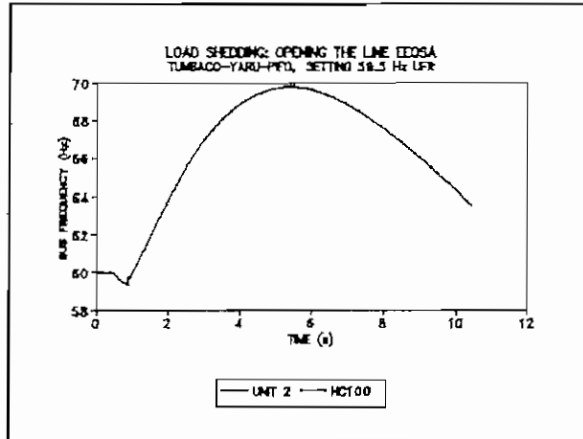


Figura 4.9 Frecuencia de Barra

d) Voltaje de Barra

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.10, en donde se observa que los voltajes máximos obtenidos a nivel de barras es de 1.28 p.u. en 5.65 s y 1.27 p.u. en 5.3 s para la unidad 2 y transmisores de radio, respectivamente.

En este caso, debido al retardo de tiempo fijado en el nivel de ajuste de la protección del transmisor, se mantiene la carga viva de los transmisores de radio durante la perturbación.

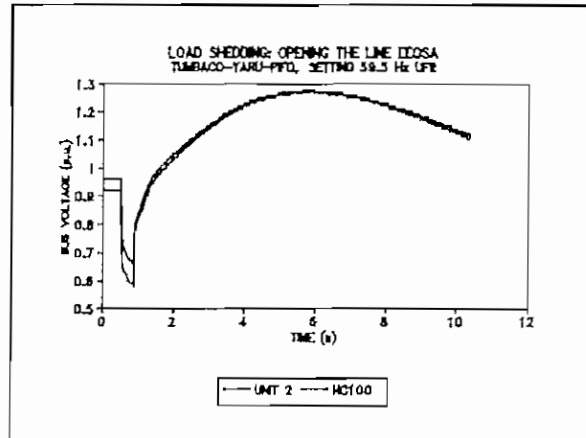


Figura 4.10 Voltaje de Barra

e) Potencia Mecánica de Entrada

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.11, en donde se observa que en estado estable la potencia mecánica de entrada a la unidad 2 y Cumbayá permanecen constantes, luego de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo y la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco por el relé de baja frecuencia, el valor de la potencia mecánica de entrada a la unidad 2 permanece constante hasta 4 s de simulación, luego del cual comienza a descender progresivamente hasta un valor fijo durante los 10 s de simulación. En cambio, la potencia mecánica de entrada a las unidades de Cumbayá, inicialmente tienen una subida para luego decrecer progresivamente hasta un valor fijo, menor a la condición inicial.

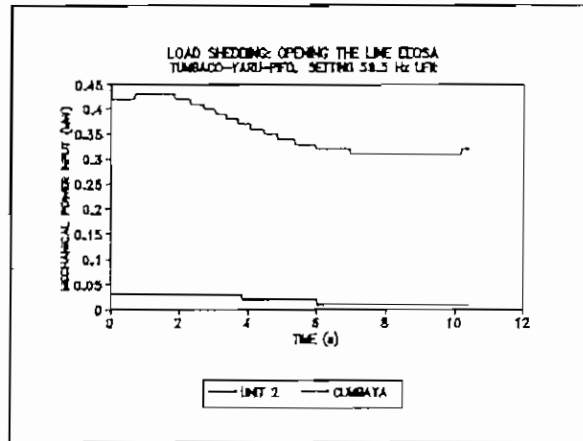


Figura 4.11 Potencia Mecánica de Entrada

f) Potencia Eléctrica de Salida

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.12, en donde se observa que en estado estable la potencia eléctrica en la unidad 2 y Cumbayá permanecen constantes en un valor inicial, luego de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo la potencia eléctrica de la unidad 2 tiene una subida para suplir la deficiencia de potencia eléctrica del sistema eléctrico Quito y después de la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco comienza a disminuir y mantenerse en un nivel fijo menor que la condición inicial, que es precisamente, la potencia eléctrica necesaria para mantener vivas el resto de cargas del sistema eléctrico HCJB. En cambio, la potencia eléctrica en Cumbayá luego de la apertura de la línea EEQSA-Tumbaco-Yaruquí-Pifo decrece progresivamente hasta un nuevo valor estable para poder mantener vivas las cargas del resto de alimentadores de la S/E Tumbaco.

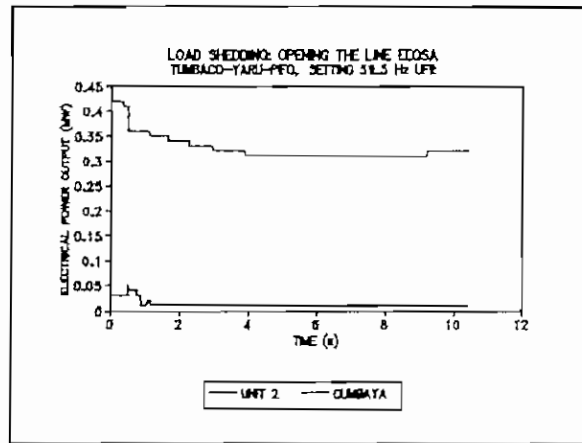


Gráfico # 4.12 Potencia Eléctrica de Salida

Los resultados de la simulación para los demás casos de exportación se presentan en la tabla 4.1.1

4.1.3 FIJANDO EL NIVEL DE AJUSTE DEL RELE DE BAJA FRECUENCIA EN 59.4 Hz

Los resultados de la simulación se presentan en la tabla 4.1 2 , en donde se observa que las sobrefrecuencias obtenidas son ligeramente menores, en 75.23 Hz para el caso de un nivel de ajuste de 59.5 Hz y 75.22 Hz para 59.4 Hz. La diferencia radica en el tiempo alcanzado para las máxima frecuencias, obteniéndose un tiempo menor para 59.4 Hz, debido al aumento de la potencia acelerante por el desbalance entre la potencia mecánica de entrada y la potencia de generación, antes de la apertura de la línea de la EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco por el relé de baja frecuencia.

LOAD SHEDDING: OPENING THE LINE EEQSA-TUMBACO-YARUQUI-PIFO
 SETTING 59.5 UNDER FREQUENCY RELAY

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE						
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5			62.62	4.05		1.039	0.83	62.61	3.97	62.61	3.97	0.83	1.04	0.83	1.03	0.83
1.0			65.49	4.05		1.077	0.98	65.49	4.05	65.49	4.05	0.98	1.08	0.98	1.07	0.98
1.5			69.77	5.28		1.275	5.55	69.76	5.20	69.76	5.20	5.65	1.28	5.65	1.27	5.30
2.0	67.22	3.45	60.70	0.90	1.163	1.135	1.90	60.87	2.30	67.22	3.45	1.80	1.13	1.80	1.16	3.52
2.5	69.88	3.82	60.62	0.90	1.257	1.124	4.70	60.53	1.00	69.88	3.90	4.60	1.12	4.60	1.26	3.75
3.0	73.05	6.98	62.14	3.40	1.343	1.118	0.80	62.04	1.90	73.05	4.50	0.80	1.12	0.80	1.34	4.50
3.5	75.23	4.78	63.95	4.30	1.427	1.252	3.25	63.91	4.30	75.23	6.80	3.15	1.25	3.15	1.43	6.47

TABLA 4.1.1

LOAD SHEDDING: OPENING THE LINE EEOA-TUMBACO-YARUQUI-PIFO
 SETTING 59.4 UNDER FREQUENCY RELAY

CASE EXPORT TO EEOA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE				
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5			62.61		0.83	1.040	62.61	4.12	62.61	4.12	1.04	0.83	1.03	0.83
1.0			65.49		0.98	1.079	65.49	4.05	65.49	4.05	1.08	1.05	1.07	1.05
1.5			69.75		4.95	1.270	69.75	4.58	69.75	4.58	1.27	4.95	1.27	4.95
2.0	67.23	3.52	60.48	1.163	3.15	1.131	60.54	2.20	67.23	3.52	1.14	5.20	1.16	3.15
2.5	69.88	3.90	60.49	1.257	3.82	1.096	60.44	1.00	69.88	3.90	1.12	5.00	1.26	3.75
3.0	73.05	4.58	62.36	1.343	4.58	1.141	62.43	2.10	73.06	4.50	1.14	0.90	1.34	4.50
3.5	75.22	5.88	63.84	1.428	4.95	1.238	63.79	3.50	75.22	5.88	1.24	2.40	1.43	4.95

TABLA 4.1.2

4.2 SEPARACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO QUITO

4.2.1 OPERANDO LAS UNIDADES 1 Y 2 EN PARALELO

Se simula el seccionamiento de carga, abriendo la línea de subtransmisión EEQSA-Cumbayá-Tumbaco, para el caso de 3.5 MW de exportación a la EEQSA en Pifo y fijando el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en 59.5 Hz.

a) Frecuencia del Generador

La secuencia de operación del seccionamiento de carga para 3.5 MW de exportación a la EEQSA se presenta en la tabla 4.3, en donde se observa que se simula el seccionamiento de carga abriendo la línea de Subtransmisión EEQSA-Cumbayá-Tumbaco en 0.5 s de simulación, en 1.43 s operara el relé de baja frecuencia en la S/E HCJB en Pifo y abre el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco desconectando toda la carga de ese alimentador, en 10.25 s se termina el tiempo de simulación.

Tabla 4.3 Secuencia de Operación para Seccionamiento de Carga para 3.5 MW de exportación a la EEQSA [6]

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

TT= .50 LINE (NO. 12) OPENS
 SYSTEM SPLIT.MAX. REGIONS = 2

TT= 1.43 RELAY (NAME NO. 1) OPERATES.
 (UNDER FREQUENCY RELAY)

Tabla 4.3 Continuación

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:		
TT= 1.43	LOAD SHEDDING ON BUS NO. 10	RA= .0 RB=.0
TT= 10.25	END OF THE CASE STUDY.	

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.13, en donde se observa que la frecuencia desciende hasta activar el relé de baja frecuencia en Pifo, el mismo que después del retardo, envía la orden al disyuntor para que abra el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco. A pesar, de que el relé de baja frecuencia aísla al sistema de potencia de HCJB del sistema eléctrico Quito, la falla de este obliga a que salga de operación HCJB. La frecuencia de las unidades descienden hasta un valor estable de 44 Hz, debido a que el sistema de HCJB tiene que soportar toda la carga de la subestación Tumbaco (33 MVA), excediendo su poder de generación de Papallacta (6.6 MVA); ocasionándole lamentablemente un colapso en el Sistema por una falla en la Quito.

En este caso, las unidades de Papallacta salen de operación por el disparo de los relés de baja frecuencia.

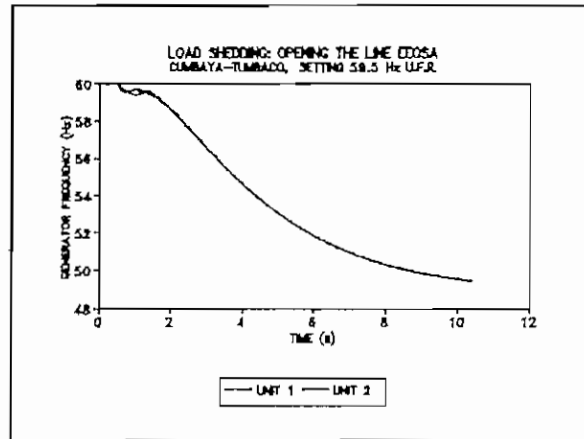


Gráfico 4.13 Frecuencia de Generación

b) Voltaje Terminal del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.14, en donde se observa que en estado estable, los voltajes de las dos unidades permanecen constantes, luego de la apertura de la línea EEQSA-Cumbayá-Tumbaco y la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco los voltajes comienzan a descender hasta 0.52 p.u.; produciéndose un colapso del sistema de HCJB por una falla en el sistema eléctrico Quito.

En este caso actúan también los relés de bajo voltaje de los generadores, aislándolos del sistema.

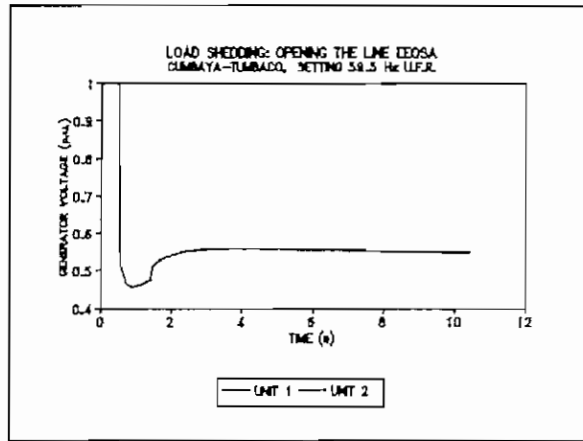


Figura 4.14 Voltaje Terminal de Generación

4.2.2 OPERANDO UNICAMENTE LA UNIDAD 2

Para el caso de 1.5 MW de exportación a la EEQSA y fijando el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en 59.5 Hz, se presentan los siguientes resultados:

a) Frecuencia del Generador

La secuencia de operación del seccionamiento de carga para 1.5 MW de exportación a la EEQSA se muestra en la tabla 2.4, en donde se observa que se simula la apertura de la línea EEQSA-Cumbayá-Tumbaco en un tiempo de 0.5 s, en 3.16 s actuó el relé de baja frecuencia en Pifo, que abre el alimentador de la EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco aislando al sistema eléctrico HCJB del sistema eléctrico Quito, y en 10.25 s se termina el tiempo de simulación.

Tabla 4.4 Secuencia de Operación para Seccionamiento de Carga para 1.5 MW de exportación a la EEQSA [6]

THE OPERATING SEQUENCE IS AS FOLLOWING:

TT=	.50	LINE (NO. 12) OPENS SYSTEM SPLIT.MAX. REGIONS = 2
TT=	2.74	RELAY (NAME NO. 1) OPERATES. (UNDER FREQUENCY RELAY)
TT=	2.74	LOAD SHEDDING ON BUS NO. 10 RA= .0 RB=.0
TT=	10.25	END OF THE CASE STUDY.

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.17, en donde se observa que la frecuencia desciende hasta activar el relé de baja frecuencia en Pifo, el mismo que abre el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco. Pero, la acción tomada por el relé de baja frecuencia no es suficiente para mantener la frecuencia del sistema, ya que sigue descendiendo hasta estabilizarse en 50 Hz, produciéndose un colapso del sistema de HCJB. En cambio, el sistema eléctrico Quito sufre un rechazo de carga, alcanzando una sobrefrecuencia de 68 Hz en 3.75s, que luego decrece por acción de sus reguladores de velocidad.

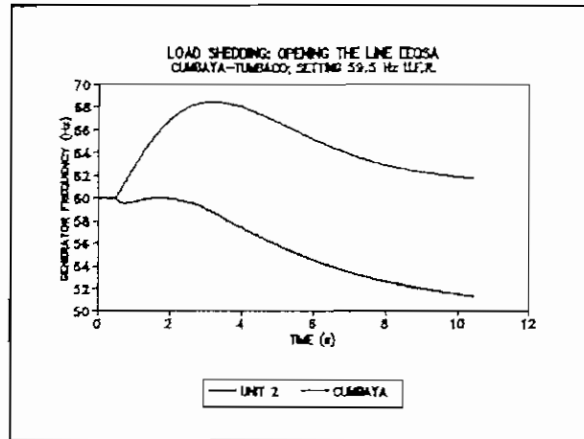


Gráfico 4.17 Frecuencia de Generación

b) Voltaje Terminal del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en el gráfico 4.18, en donde se observa que en estado estable los voltajes de la unidad 2 y Cumbayá permanecen constantes, luego de simular la apertura de la línea EEQSA-Cumbayá-Tumbaco y la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco el voltaje de la unidad 2 comienza a descender hasta 0.4 p.u. produciéndose la salida de ésta por actuación de su relé de bajo voltaje y consecutivamente el colapso del sistema de HCJB. En cambio, el voltaje de la Quito crece hasta 1.25 p.u. debido al rechazo de carga, para luego decrecer por acción de sus reguladores de voltaje.

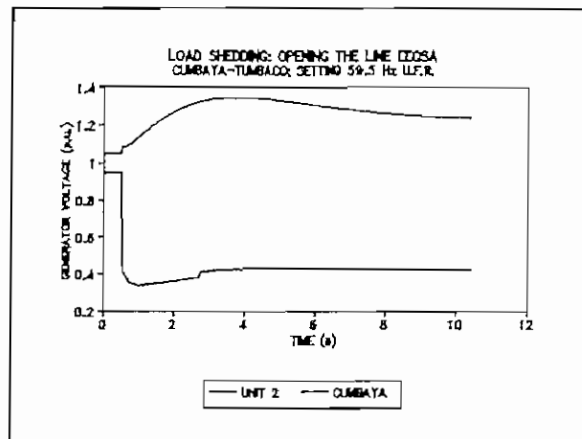


Gráfico 4.18 Voltaje Terminal de Generación

4.3 SALIDA DE UNA UNIDAD EN PAPALLACTA

4.3.1 SALIDA DE LA UNIDAD 1

Los resultados de la simulación se presentan en las tablas 4.2.1 y 4.2.2, para un nivel de ajuste del relé de baja frecuencia de 59.5 y 59.4 Hz, respectivamente, en donde se observa que en estado estable cuando la unidad 1 está operando en paralelo con la unidad 2 (para casos de exportación a la EEQSA mayores a 2 MW en Pifo) la potencia eléctrica de las dos unidades permanece constantes en sus valores iniciales, luego de la simulación de la apertura de la unidad 1 obliga a que el sistema pierda potencia de generación y la frecuencia descienda (la potencia acelerante ahora es negativa) hasta el nivel fijado para el relé de baja frecuencia en Pifo y éste opere, abriendo el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, con lo cual la

LOAD SHEDDING: OPENING UNIT 1 IN PAPALLACTA POWER PLANT
 SETTING 59.4 UNDER FREQUENCY RELAY
 CASE UNIT 1 & UNIT 2 IN PARALLEL

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE				
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5														
1.0														
1.5														
2.0	67.23	2.85	60.29	1.169	1.95	1.013	60.27	1.60	67.24	2.85	1.01	0.30	1.17	2.02
2.5	69.88	3.22	60.21	1.259	3.00	1.024	60.19	1.40	69.88	3.30	1.02	0.30	1.26	3.00
3.0	73.06	3.82	60.16	1.343	3.82	1.036	60.06	0.30	73.07	3.90	1.04	0.30	1.34	3.67
3.5	75.29	4.12	60.08	1.429	4.05	1.051	60.06	0.30	75.29	4.12	1.05	0.30	1.43	4.20

TABLA No. 4.2.2

LOAD SHEDDING: OPENING UNIT 1 IN PAPALLACTA POWER PLANT
 SETTING 59.5 UNDER FREQUENCY RELAY
 CASE UNIT 1 & UNIT 2 IN PARALLEL

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE					
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5															
1.0															
1.5															
2.0	67.23	2.85	60.29	1.169	1.40	1.013	1.95	60.27	1.60	67.24	2.85	1.01	0.30	1.17	2.02
2.5	69.88	3.22	60.31	1.259	5.10	1.094	3.07	60.08	3.40	69.88	3.22	1.09	0.80	1.26	3.07
3.0	73.06	3.82	60.16	1.343	1.30	1.036	3.82	60.13	1.30	73.07	3.90	1.04	0.30	1.34	3.75
3.5	75.29	4.20	60.08	1.429	1.30	1.050	4.20	60.05	0.80	75.29	4.12	1.05	0.30	1.43	4.12

TABLA No. 4.2.1

potencia acelerante de la unidad 2 (en funcionamiento) tienda a cero y pueda alcanzar un nuevo punto de estabilidad. En cambio, la unidad 1 sufre una aceleración hasta 75.29 Hz (caso de 3.5MW de exportación) que luego es reducida por la actuación de su regulador de velocidad.

4.3.2 SALIDA DE LA UNIDAD 2

Los resultados de la simulación se presentan en las tablas 4.3.1 y 4.3.2, en donde se observa que la máxima frecuencia alcanzada cuando opera unicamente es de 61.28 Hz en 2.85 s y cuando opera en en paralelo con la unidad 1 es de 71.82 Hz en 4.0 s.

En estado estable, la potencia eléctrica de salida de las unidades de Papallacta permanecen constantes en sus valores iniciales, al producir la simulación de la apertura de la unidad 2 se pierde potencia de generación al sistema (la potencia acelerante es ahora negativa) y la frecuencia comienza a descender hasta el nivel fijado para el relé de baja frecuencia en Pifo y éste opere, abriendo el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, con lo cual la potencia acelerante disminuye, pero debido al exceso de carga existente en el sistema que obliga a la gente de operación realizar seccionamiento de carga abriendo el alimentador EEQSA-Papallacta-Baeza para encontrar un nuevo punto de estabilidad de la unidad 1 y así mantener vivas las cargas de los transmisores

LOAD SHEDDING: OPENING UNIT 2 IN PAPALLACTA POWER PLANT
SETTING 59.4 UNDER FREQUENCY RELAY

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE			
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u)	TIME (s)	
0.5			61.15	2.77		1.034	61.15	2.77	61.15	2.77	1.03	0.52	0.52
1.0			61.15	2.85		1.047	61.14	2.70	61.14	2.70	1.05	0.60	0.60
1.5			61.28	2.85		1.063	61.28	2.92	61.28	2.92	1.06	0.52	0.52
2.0	67.06	2.85	68.18	3.50	1.153	1.013	67.06	3.50	67.06	2.92	1.00	0.50	3.82
2.5	69.78	4.80	69.92	4.10	1.252	1.024	69.77	4.10	69.77	4.88	1.02	0.30	4.20
3.0	72.97	4.95	71.74	4.10	1.340	1.012	72.97	4.10	72.97	4.95	1.01	0.80	4.42
3.5	75.19	5.03	71.82	4.00	1.426	1.026	71.82	4.00	75.19	5.03	1.05	0.30	4.95

TABLE No. 4.3.2

LOAD SHEDDING: OPENING UNIT 2 IN PAPALLACTA POWER PLANT
SETTING 59.5 UNDER FREQUENCY RELAY

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY			GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE			BUS MAXIMUM FREQUENCY			BUS MAXIMUM VOLTAGE				
	UNIT 1 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (Hz)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u)	TIME (s)
0.5			61.15	2.92		1.031	61.15	2.85	61.15	2.85	1.03	0.52	1.03	0.52
1.0			61.15	2.85		1.047	61.14	2.70	61.14	2.70	1.05	0.60	1.07	0.60
1.5			61.28	2.85		1.063	61.28	2.92	61.28	2.92	1.06	0.52	1.06	0.52
2.0	67.06	2.85	68.18	3.50	1.153	1.013	68.18	3.50	67.06	2.32	1.00	0.60	1.15	4.20
2.5	69.78	4.80	69.92	4.10	1.252	1.024	69.92	4.10	69.77	4.88	1.02	0.30	1.25	4.95
3.0	72.97	4.95	71.74	4.10	1.340	1.012	71.74	4.10	72.97	4.95	1.04	0.30	1.34	4.75
3.5	75.19	5.03	71.82	4.00	1.426	1.026	71.82	4.00	75.19	5.03	1.05	0.30	1.43	4.95

TABLA No. 4.3.1

de radio en Pifo. En cambio, la apertura brusca de la unidad 2 le produce una aceleración hasta un valor máximo (70 Hz) que luego disminuye por acción de su regulador de velocidad.

Debido a que la unidad 2 es una unidad de base del Sistema Eléctrico de HCJB que opera en forma continua para alimentar toda la carga propia del Sistema de HCJB más las exportaciones a la EEQSA, una salida de esta unidad produce la paralización total del sistema.

La apertura brusca de las unidades de Papallacta (pruebas de rechazo de carga) son recomendadas por el fabricante cada dos años y bajo la supervisión de personal especializado. Antes de realizar las pruebas de rechazo de carga se debe chequear el tiempo de cerrado de la compuerta y empezar con un 20% del total de carga para luego continuar con un 50, 75 y 100% del porcentaje total de carga, se tomará mediciones de la velocidad y presión de agua dentro de la turbina. Si en las pruebas realizadas se produce un rizo de velocidad o de presión que exceda los límites recomendados por el fabricante, se debe suspender las pruebas y realizar una investigación de las posibles causas [5].

Para evitar la apertura de las unidades de Papallacta por rechazo de carga debido al decrecimiento de la frecuencia en Pifo por contingencias en el Sistema Eléctrico Quito y/o en el Sistema Nacional Interconectado, el nivel ajustado para el relé de baja frecuencia en Pifo debe ser inferior a la menor

frecuencia de operación del Sistema Eléctrico Quito y/o Sistema Nacional Interconectado (59.7 Hz), razón por la cuál se propone un nivel de ajuste de 59.4 Hz para garantizar la no apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco por decrecimiento de la frecuencia en el sistema Eléctrico Quito.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Del desarrollo realizado en este trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El sistema de potencia de HCJB está en capacidad de exportar en el estado actual agosto 1995, hasta 3.5 MW a la EEQSA sin que se atente contra la seguridad y vida útil de sus dos unidades hidroeléctricas en Papallacta. En la simulación de rechazo de carga, al abrirse la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, la máxima frecuencia alcanzada para la unidad 1 es 75.2 Hz (902 r.p.m) que corresponde al 125.27% de sobrevelocidad respecto a la frecuencia nominal de 60 Hz (720 r.p.m); al abrir la línea HCJB-Papallacta-Pifo la máxima frecuencia alcanzada para la unidad 1 es 77.2 Hz (902 r.p.m) que corresponde al 128.66% de sobrevelocidad respecto a la frecuencia nominal de 60 Hz (720 r.p.m). Las prácticas internacionales al respecto recomiendan hasta un 130% de sobrevelocidad [14].

Cuando se opere únicamente con la unidad 2, el sistema de potencia de HCJB puede exportar hasta 1.5 MW, en el

estado actual, ya que en un rechazo de carga, al abrirse la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, la máxima frecuencia alcanzada para la unidad 2 es 71.2 Hz (712 r.p.m) que corresponde al 118.6% de sobrevelocidad respecto a la frecuencia nominal de 60 Hz (600 r.p.m); al abrirse la línea HCJB-Papallacta-Pifo la máxima frecuencia alcanzada por la unidad 2 es 73.2 Hz (732 r.p.m) que corresponde al 122% de sobrevelocidad respecto a la frecuencia nominal, que es 60 Hz (600 r.p.m).

Operando únicamente con la unidad 2, se puede exportar hasta 1.8 MW a la EEQSA alcanzando una sobrefrecuencia al abrir la línea HCJB-Papallacta-Pifo (caso más crítico de rechazo de carga) de 75.1 Hz (751 r.p.m) que corresponde a una sobrevelocidad de 125%, que estaría por debajo de las recomendaciones internacionales, pero debido a la importancia de mantener las cargas vivas de los transmisores de radio de HCJB en Pifo el personal técnico de HCJB ha decidido exportar máximo hasta 1.5 MW a la EEQSA. -

- Se ratifica los niveles fijados de ajuste de los relés de sobrevelocidad, para la unidad 1 en 66.6 Hz (111%) y para la unidad 2 en 72 Hz (120%) del estudio de Tim Warham, ya que en un rechazo de carga cuando están operando las dos unidades, la unidad 1 sale por sobrevelocidad y esto permite que la unidad 2 pueda

- alcanzar un nuevo punto de estabilidad y así mantener las cargas vivas de los transmisores de radio de HCJB en Pifo. En cambio, cuando opera únicamente la unidad 2 en un rechazo de carga, la sobrefrecuencia alcanzada no debe ser detectada por el relé de sobrefrecuencia para que no le saque a la unidad del sistema y así mantener las cargas vivas mencionadas.
- Se ratifica los niveles de ajustes de la regulación de velocidad transitoria en 50% y la regulación de velocidad de estado estable en 5% para las dos unidades hidroeléctricas, obtenidos como resultado del estudio de Tim Warham, ya que funcionaron adecuadamente para lograr el decrecimiento de la frecuencia en un estudio de rechazo de carga.
 - Se ratifica los niveles de ajustes de los relés de sobrevoltaje para la unidad 2 (120%) y transmisores de radio (120%) y su tiempo de respuesta de 2.5 s. Para la unidad 1 se recomienda cambiar a corto plazo el nivel de ajuste de 145% a 120% para un tiempo de respuesta menor a 2.5 s, ya que en un rechazo de carga el sobrevoltaje deteriora (irreversiblemente) el aislamiento de los bobinados del estator, aislamiento de los transformadores de elevación y otros equipos conectados al generador.
 - Los modelos de sistema de excitación, reguladores de

velocidad, parámetros de las máquinas y programa computacional resultaron adecuados para la realización de este estudio dinámico, ya que se obtuvieron resultados muy similares respecto a las pruebas de campo realizadas por ingenieros de HCJB, con un máximo error de 1.25%.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda al personal de operación del sistema eléctrico Quito y HCJB coordinar en las maniobras a tomarse en las S/E Tumbaco y Pifo, respectivamente, cuando ocurra la apertura de la línea de subtransmisión EEQSA-Cumbayá-Tumbaco, ya que al quedarse el sistema HCJB conectado a la S/E Tumbaco, tomaría toda la carga de esta (33 MVA) y esto produciría lamentablemente la salida de operación del sistema de HCJB.
- Se recomienda realizar un estudio de "Seccionamiento de Carga del Sistema Eléctrico de HCJB en Pifo" cuando se construya la S/E El Quinche, y así se pueda disponer de más alimentadores EXPRESS y suficientes equipos de maniobra.
- Se recomienda cambiar a largo plazo el sistema de excitación de la unidad 1 (regulador de voltaje y excitatriz), ya que los sobrevoltajes alcanzados (1.43 p.u.) en un rechazo de carga deterioran el aislamiento

de los bobinados del estator, de los transformadores de elevación y demás elementos acoplados al generador.

- Se recomienda cambiar el nivel de ajuste del relé de baja frecuencia en Pifo a 59.4 Hz (switch 13,8,0,12) para tener mayor holgura y así evitar que cualquier contingencia en el sistema eléctrico Quito afecte en una forma determinante y saque de operación al sistema eléctrico de HCJB.

- Se recomienda instalar un relé direccional de potencia (32 R) con dos niveles de setpoint en la S/E de Pifo, para limitar la máxima exportación a la EEQSA en 3.5 MW o 1.5 MW cuando operen las dos unidades o la unidad 2 únicamente, respectivamente. La salida del relé debe dar una señal de alarma a los operadores de la Central de Papallacta para que limiten la generación de potencia activa en las unidades.

- Debido a la apertura a la generación eléctrica por parte de productores privados, se recomienda realizar estudios de rechazo y seccionamiento de carga para obtener una condición confiable y segura de operación frente a contingencias que lleven a este tipo de situaciones.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Warham, Tim, "Power System Analysis of HCJB System", Quito, Abril, 1989.
- 2.- Arquello, Gabriel, "Análisis y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1988.
- 3.- Westinghouse, "Electrical Transmission and Distribution-Reference Book" Chapter 13, Power System Stability: Basic Elements of Theory and Application, Pittsburgh, USA, 1950.
- 4.- Moore, Eric, "Manual for the HCJB Papallacta Power Plant Unit 1", Quito, 1975.
- 5.- Neeb, A/S Norkk Elektrisk & Brown Boveri, "Synchronous Generator, Type WAH 1000 h12H", Plant of Papallacta, 1981.
- 6.- Huang, Chih-Chiang and Chu, Wen-Chen, "Manual of Power System Transient Stability Program (PC Version)", University of Texas at Arlington, USA, June, 1991.
- 7.- Basler Electric, "Instruction Manual for Directional Power Relays", Models BE1-32R, BE1-32 O/U, USA, 1994.

- 8.- Basler Electric, "Instruction Manual for Time Overcurrent Relay", Model BE1-51, USA, September, 1993.
- 9.- I-T-E -81," Instruction Manual for Solid-State Frequency Relays", Models IB-18.4.7-9, USA, 1989.
- 10.- Basler Electric, "Instruction Manual for Reverse Power Relay", Model BE4-32, USA, 1984.
- 11.- General Electric," DGP Digital Generator Protection System", USA, 1989.
- 12.- Basler Electric, "Instruction Manual for Digital Frequency Relay", Model BE1-81 O/U, USA, 1994.
- 13.- Lovato," Instruction Manual, Electronic Unit for Generating Sets", Modular Electronics, Italia, 1985.
- 14.- De Mello, Dolbec, Swann and Temoshok, "Analog Computer Studies of System Overvoltages following Load Rejection", IEEE Trans.PAS, April, 1963.
- 15.- Dandeno and McClymont, "Extra -High-Voltage System Overvoltages Following Load Rejection of Hydraulic Generation", IEEE Trans. PAS, April, 1963.
- 16.- Brock and Podwoiski, "Automatic Load Shedding Requirements for Islanding of the Essex Load with

Conners Creek MTG'S # 15 and # 16", IEEE Trans. PAS, October, 1977.

- 17.- IEEE Working Group on Computer Modelling of Excitation System, "Excitation System Models For Power System stability Studies", IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-100, No. 2, February, 1981.
- 18.- IEEE Committee Report, "Dynamic Models for steam and hydro Turbines in Power System Studies", IEEE Trans. Pas, February, 1973.
- 19.- Elgerd, " Electric Energy Systems Theory ", USA, 1970.
- 20.- Bergen, Arthur, "Power System Analysis", University of California, Berkeley, Prentice-Hall, Inc., New Jersey-USA.
- 21.- General Electric, " The Art of Protective Relay, Power System Protection", USA, 1966.
- 22.- Stagg and El-Abiad, "Computer Method's in Power System Analysis", Mc Graw-Hill, USA, 1968.
- 23.- Basler Electric, "Instruction Manual for Undervoltage, Overvoltage and Under/Overvoltage", Models: BE1-27, BE1-59, and BE1-27/59, USA, 1985.

- 24.- Basler Electric, "Instruction Manual for Digital Frequency Relay", Model BE1-81 O/U, December, 1992.
- 23.- Basler Electric, "Instruction Manual for Time Overcurrent Relay", Model BE1-51, September, 1993.
- 24.- Basler Electric, "Instruction Manual for Directional Power Relays", Models: BE1-32R, BE1-32 O/U, June, 1994.
- 25.- General Electric, "Protection & Control-Products Catalog", USA, 1990.
- 26.- Kimbark, Edward, " Power System Stability, Volume III, USA, 1964.
- 27.- Ogata, Katsuhiko, "Ingeniería de Control Moderna", Prentice Hall, 1974.

ANEXO No. 1

- Políticas para Operación de Papallacta vs. Agua en Loreto
- Salida de las corridas de Flujos de Potencia de Tim Warham
- Contrato de Venta de Potencia/Energía a la EEQSA

1995

POLITICA PARA OPERACION DE PAPALLACTA
NIVEL DE LORETO VERSUS VENTA A LA EEQ EN PIFO

NOVIEMBRE, DICIEMBRE, ENERO, FEBRERO

venta neta de cero
solamente vender para evitar botar agua

SEPTIEMBRE, OCTUBRE

> 5,5m	3,0 MW
5,0m - 5,5m	1,9 MW
0m - 5,0m	0,0 MW

MARZO, ABRIL, MAYO

> 3,5m	3,0 MW
2,0m - 3,5m	1,9 MW
0m - 2,0m	0,0 MW

AGOSTO

> 4,0m	3,0 MW
3,0m - 4,0m	1,9 MW
0m - 3,0m	0,0 MW

JUNIO, JULIO

> 2,0m	3,0 MW
1,0m - 2,0m	1,9 MW
0m - 1,0m	0,0 MW

45

KENNEDY & DONKIN
POWER SYSTEM PLANNING DEPARTMENT
TRANSMISSION LINE PARAMETERS CALCULATION

HCJB PAPALLACTA-PIFO 43.8KV LINE (H-POLE)

INPUT DATA

SINGLE CIRCUIT LINE

SINGLE CONDUCTOR PER PHASE
NAME OF PHASE CONDUCTOR = FLATFAX #2
DIAMETER OF PHASE CONDUCTOR (MM)..... = 8
D.C. RESISTANCE (EACH PHASE COND.) (OHMS/KM) = .7657
DIAMETER OF E. WIRE CONDUCTOR (CENTIMETRES) = .8
D.C. RESISTANCE (EACH EARTH WIRE) (OHMS/KM) = .7657

X,Y COORDINATES OF THE CONDUCTORS (METRES)
PHASE A : (-2.25 , 7.2)
PHASE B : (0 , 7.2)
PHASE C : (2.25 , 7.2)
EARTH WIRE : (0 , 9.6)

EARTH RESISTIVITY (OHM-METRES) = 100
FREQUENCY(HZ) = 60

OUTPUT

POSITIVE SEQUENCE PARAMETERS

RESISTANCE (OHMS/KM) = .7657
INDUCTIVE REACTANCE (OHMS/KM) = 1.4953392
SUSCEPTANCE (MICRO MHO'S/KM) = 3.195796

ZERO SEQUENCE PARAMETERS :

RESISTANCE (OHMS/KM) = 1.140207
INDUCTIVE REACTANCE (OHMS/KM) = 1.303592
SUSCEPTANCE (MICRO MHO'S/KM) = 2.014387

CONDUCTOR THERMAL RATING PROGRAM

STUDY TITLE -- HCJB PAPALLACTA-PIFO 43.8KV LINE

INPUT DATA

CONDUCTOR NAME = FLATPAK #2
 CONDUCTOR TYPE = ACSR
 ALUMINIUM - 6 STRANDS 2.82 MM DIA
 STEEL - 1 STRANDS 3.81 MM DIA
 OVERALL DIAMETER 8 MM
 NOMINAL ALUMINIUM AREA... 36.5379 SQ MM
 AVERAGE ALTITUDE OF LINE. 3500 METRES
 FREQUENCY..... 60 HZ
 LINE VOLTAGE..... 43.8 KV
 WIND VELOCITY (V) 50 CM/SEC 1.118468 MPH
 SOLAR RADIATION LEVEL ... 1000 WATTS/SQ METRE
 MAXIMUM AMBIENT TEMPERATURE 25 DEG C

OUTPUT

AMBIENT TEMP C	TEMP RISE ABOVE AMBIENT C	CONDUCTOR AMPS	RATINGS MVA 43.8 KV	RESISTANCE (OHM/KM)	
				DC	AC
CALCULATED DC RESISTANCE AT 20.0DEG C (OHM/KM).. = .7656788					
25	5	0	0	0.7965	0.7967
25	10	28	2	0.8120	0.8121
25	15	78	6	0.8274	0.8275
25	20	106	8	0.8428	0.8430
25	25	127	10	0.8582	0.8584
25	30	145	11	0.8737	0.8738
25	35	161	12	0.8891	0.8892
25	40	175	13	0.9045	0.9047
25	45	187	14	0.9200	0.9201
25	50	199	15	0.9354	0.9355

25	55	209	16	0.9508	0.9509
25	60	219	17	0.9662	0.9664
25	65	229	17	0.9817	0.9818
25	70	237	18	0.9971	0.9972
25	75	246	18	1.0125	1.0127

EFFECT OF SOLAR RADIATION MAY RESULT IN ZERO AMP RATINGS

ADOPTION OF MAX TEMP ABOVE 75 DEG C MAY INVALIDATE SAG/TENSION CALCS
 SUSTAINED OPERATION ABOVE 75 DEG C (EG MORE THAN A FEW HOURS)
 WILL RESULT IN ANNEALING OF THE CONDUCTOR WITH PERMANENT LOSS OF STRENGTH

KENNEDY & DONKIN
POWER SYSTEM PLANNING DEPARTMENT
TRANSMISSION LINE PARAMETERS CALCULATION
HGJB-PAPALLACTA-PIFO 43.8KV LINE

INPUT DATA

SINGLE CIRCUIT LINE

SINGLE CONDUCTOR PER PHASE
NAME OF PHASE CONDUCTOR = PIGEON #2
DIAMETER OF PHASE CONDUCTOR (MM)..... = 12.75
D.C. RESISTANCE(EACH PHASE COND.) (OHMS/KM) = .2367
DIAMETER OF E. WIRE CONDUCTOR (CENTIMETRES) = .8
D.C. RESISTANCE(EACH EARTH WIRE) (OHMS/KM) = .7657

X,Y) COORDINATES OF THE CONDUCTORS (METRES)

PHASE A : (-1.28 , 7.2)
PHASE B : (1.28 , 7.2)
PHASE C : (1.28 , 8.19)
EARTH WIRE : (0 , 9.56)

EARTH RESISTIVITY (OHM-METRES) = 100
FREQUENCY(HZ) = 60

OUTPUT

POSITIVE SEQUENCE PARAMETERS

RESISTANCE (OHMS/KM) = .3367
INDUCTIVE REACTANCE (OHMS/KM) = .4363208
SUSCEPTANCE (MICRO MHO'S/KM) = 3.678658

ZERO SEQUENCE PARAMETERS :

RESISTANCE (OHMS/KM) = .730875
INDUCTIVE REACTANCE (OHMS/KM) = 1.379084
SUSCEPTANCE (MICRO MHO'S/KM) = 1.99072

KENNEDY & DONKIN
POWER SYSTEM PLANNING DEPARTMENT
TRANSMISSION LINE PARAMETERS CALCULATION

HQJB PAPALLACTA-PTFO 43.8KV LINE (H-FOLE 2 E/W)

INPUT DATA

SINGLE CIRCUIT LINE

SINGLE CONDUCTOR PER PHASE

NAME OF PHASE CONDUCTOR	=	PIGEON #3
DIAMETER OF PHASE CONDUCTOR (MM)	=	12.75
D.C. RESISTANCE (EACH PHASE COND.) (OHMS/KM) =		.3367
DIAMETER OF E. WIRE CONDUCTOR (CENTIMETRES) =		1.275
RADIUS, EQUIVALENT EARTH WIRE (MM) =		151.4906
D.C. RESISTANCE (EACH EARTH WIRE) (OHMS/KM) =		.3367

X,Y) COORDINATES OF THE CONDUCTORS (METRES)

PHASE A	:	(-3.3 , 7.2)
PHASE B	:	(0 , 7.2)
PHASE C	:	(3.3 , 7.2)
1ST E. WIRE	:	(1.8 , 8.7)
2ND E. WIRE	:	(-1.8 , 8.7)

EARTH RESISTIVITY (OHM-METRES)	=	100
FREQUENCY (HZ)	=	60

OUTPUT

POSITIVE SEQUENCE PARAMETERS

RESISTANCE (OHMS/KM)	=	.3367
INDUCTIVE REACTANCE (OHMS/KM)	=	.4890678
SUSCEPTANCE (MICRO MHO'S/KM)	=	7.236776

ZERO SEQUENCE PARAMETERS :

RESISTANCE (OHMS/KM)	=	.5509278
INDUCTIVE REACTANCE (OHMS/KM)	=	.8295191
SUSCEPTANCE (MICRO MHO'S/KM)	=	3.471126



EMPRESA
ELECTRICA
QUITO S.A.

SG-367-93

CONTRATO DE COMPRA-VENTA DE ENERGIA ENTRE LA EMPRESA
ELECTRICA "QUITO" S.A. Y HCJB - LA VOZ DE LOS ANDES

La Empresa Eléctrica Quito S.A., en adelante denominada por las siglas EEQSA, legalmente representada por su Gerente señor Ing. EDGAR SANTOS JATIVA; por una parte; y, por otra, H.C.J.B.; LA VOZ DE LOS ANDES, representada legalmente por el señor Dr. Guillermo Bossano, voluntariamente, convienen en celebrar el presente Contrato contenido en las siguientes cláusulas:

PRIMERA: OBJETO DEL CONTRATO.- HCJB pone a disposición de la EEQ el excedente de potencia y energía de su planta hidroeléctrica situada en Papallacta, la misma que dispone de una potencia instalada de 6.000 Kw y hasta 4000 Kw a disposición de la EEQ, sujeto a las variaciones del caudal y disponibilidad de equipos. Este excedente será entregado a la EEQ, bajo las condiciones que se establecen más adelante. El contrato es solamente de compra-venta y transporte de energía, por lo tanto, la EEQ, no asume relación alguna con HCJB ni con sus trabajadores.

SEGUNDA: VIGENCIA, DURACION Y RESOLUCION DEL CONTRATO.- Este contrato tendrá vigencia del día de enero de 1995 hasta el 31 de diciembre de 1995 pudiendo renovarse en forma automática por un año si las partes no expresaren lo contrario. En lo que a la resolución de este contrato se refiere, las condiciones estarán de acuerdo a las establecidas en la cláusula décimo quinta.

TERCERA: UTILIZACION.- La EEQ utilizará la potencia y energía eléctrica entregadas por HCJB para el suministro del servicio eléctrico público a su área de influencia.

CUARTA: PUNTOS DE ENTREGA. Las entregas de energía se harán a nivel de 23 Kv, tanto en los bornes de alta tensión del transformador existente en Pifo, de propiedad de HCJB, como en las barras de 23 Kv de la subestación de elevación de la central de Papallacta.

QUINTA: SUMINISTRO DE POTENCIA Y ENERGIA ELECTRICA.- HCJB pondrá a disposición de la EEQ, la potencia eléctrica en la cantidad estipulada en la cláusula primera de este contrato, a una tensión de 23 Kv y una frecuencia de 60 Hz. HCJB tomará todas las medidas necesarias para mantener los niveles indicados dentro de sus posibilidades técnicas.

SEXTA: RESPONSABILIDAD DE CADA PARTE. Cada una de las partes serán responsables de la buena operación y mantenimiento de los equipos de instalaciones de su respectiva propiedad. A tales efectos, tomará las providencias necesarias e instalarán las protecciones que aseguren mutuamente la no repercusión de una falla en las instalaciones de la otra.



EMPRESA
ELÉCTRICA
QUITO S.A.

- 2 -

Se resuelve encargar al Comité de Operación la optimización de la operación y control de la interconexión EEQ y HCJB en sus aspectos técnicos y económicos. Este Comité estará integrado por un representante de la EEQ y otro de HCJB, el mismo que, se reunirá mensualmente o cuando cualquiera de las partes lo solicite, comprometiéndose a gestionar el cumplimiento de lo acordado, que quedará indicado en el acta correspondiente.

SEPTIMA: COSTO DE LA ENERGIA SUMINISTRADA A EEQ.- El excedente de energía procedente de la Central de HCJB en Papallacta, que no pueda ser utilizada en sus instalaciones se entregará al sistema eléctrico de la EEQ a los siguientes precios:

- a) En Pifo S/. (wH)
- b) En Papallacta S/. (wH)
- c) Transporte de energía Pifo-Papallacta S/. Kwh

OCTAVA: DEL TRANSPORTE DE ENERGIA. El transporte de energía al que se refiere la cláusula séptima corresponderá a la energía que podrá requerir pasar la EEQ desde Pifo hasta Papallacta para ser utilizada, en el Cantón Quijos, en el caso que de la Central Papallacta no esté en operación.

NOVENA: FACTURACION Y PAGO.- La facturación será efectuada normalmente con las tarifas mencionadas, que se aplicarán al consumo de energía registrado en los equipos de medición correspondientes. Las lecturas se efectuarán el último día de cada mes y la EEQ, podrá estar presente en el caso que así lo requiera. El pago se efectuará dentro de los 30 días subsiguientes de haber recibido la factura. Luego de vencido este plazo, HCJB aplicará el interés legal correspondiente.

DECIMA: REAJUSTE DE PRECIOS.- Con la finalidad de compensar el incremento de costos que afectan al sector eléctrico, se efectuará, con una frecuencia de seis meses, la revisión y de ser el caso el reajuste automático de los precios fijados, cuando el factor de reajuste (FR) supere el 8%. Este factor está determinado por:

$$FR = 0.65 * VTC + 0.35 * VCO$$

donde:

VTC: Variación Tasa de Cambio del Dólar con respecto al Sucre.

Viene dada por la relación entre la tasa de cambio oficial al final del semestre con la tasa de cambio al inicio del mismo.

La tasa de cambio inicial considerada será la vigente al 31 de diciembre de 1994.



EMPRESA
ELECTRICA
QUITO S.A.

- 3 -

VCO: Variación de los Costos Operacionales. Viene dada por la relación entre el Índice General de Precios al Consumidor INEC al final del semestre con el Índice General de Precios al inicio del mismo. Para la aplicación de la fórmula se fija como valor inicial el Índice General de Precios al 31 de diciembre de 1994.

Se fija como valor máximo del kWh, el costo unitario del kWh del bloque de energía de sustitución a nivel de 46 KV del pliego tarifario del SNI por la venta a la EEQSA.

DECIMO PRIMERA: ESTACION DE RADIO TRANSMISOR RECEPTOR.- Para control operativa de la Central Papallacta desde el Centro de Despacho de Carga de la EEQ, HCJB mantendrá a su costo en Papallacta una estación transmisora - receptora de radio que funcionará en las frecuencias que sean del caso.

DECIMO SEGUNDA: ARBITRAJE.- Las controversias entre las partes acerca de la ejecución o interpretación del presente contrato con el aspecto técnico o económico, que no fueren solucionadas directa y amigablemente entre las mismas, serán resueltas por el INECEL con la participación del área correspondiente.

DECIMO TERCERA: JURISDICCION Y PROCEDIMIENTO.- Para todos los efectos legales, derivados del presente contrato, las partes se someten expresamente a los jueces competentes de la ciudad de Quito y al trámite verbal sumario.

DECIMO CUARTA: RESOLUCION DEL CONTRATO.- Será causa para la resolución del contrato, la falta de cumplimiento por parte de HCJB y/o EEQ de cualquiera de sus cláusulas para lo cual cualquiera de las partes notificará por escrito de este hecho a la otra por lo menos 30 días de anticipación.

DECIMA QUINTA: USO DEL DISYUNTOR EN PAPALLACTA.- Al momento la EEQ, se encuentra haciendo uso de un disyuntor de propiedad de HCJB en la subestación Papallacta para el suministro al Cantón Quijos. Este disyuntor se encuentra en calidad de arriendo y la EEQ se compromete a realizar por su cuenta los mantenimientos y a pagar por el uso del mismo la cantidad de S/ 200.000,00 mensuales, liquidables con cada planilla, hasta que la EEQ instale el equipo de su propiedad.

DECIMO SEXTA: ACEPTACION.- Las dos partes aceptan el contenido de todas y cada una de las cláusulas precedentes, a las que confieren el valor de una ejecutoria, por así convenir a sus intereses.



EMPRESA
ELECTRICA
QUITO S.A.

- 4 -

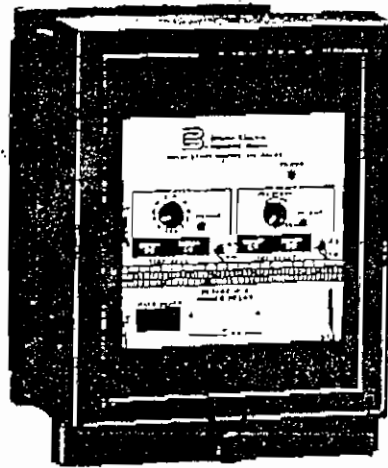
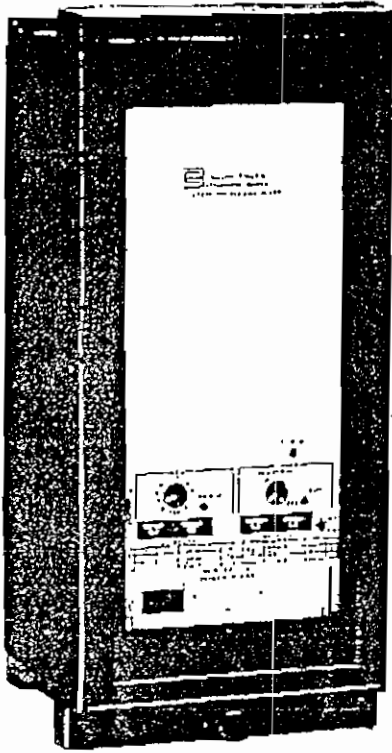
Para constancia y fe de conformidad, las partes firman al presente contrato en tres ejemplares, de igual valor y tenor, en la ciudad de Quito a los ... días del mes de ... de ...

Ing. Edgar Santos Játiva
GERENTE GENERAL DE LA EEQSA

Dr. Guillermo Bossano
REPRESENTANTE LEGAL

Anexo No. 2

- Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico de la EEQSA
- Datos Técnicos de los relés utilizados
- Resultados de la Simulación Transitoria de Tim Warham
- Curva de Potencia vs. Caudal de agua de la unidad 1



BE 1-32R, BE1-32 O/U DIRECTIONAL POWER RELAY

The BE1-32R Directional Overpower Relay and the BE1-32 O/U Directional Over/Underpower Relay are solid-state devices which provide a new standard in versatility and control in protecting machines against reverse power flow, underpower and overpower conditions.

FEATURES

- Measures Real Power — $EI \cos \theta$.
- Wide variety of input configurations are available including single-phase and three phase, 3 and 4 wire systems.
- Sensing ranges available from 0.5 to 6000 watts.
- Instantaneous, definite and inverse timing characteristics available.
- Low input sensing and supply burdens.
- Qualified to the requirements of
 - ANSI/IEEE C37.90-1978, C37.90a-1974, and IEC 255 for surge withstand capability;
 - ANSI/IEEE C37.90.1-198X for fast transient;
 - IEC 255-5 for impulse.
- UL Recognized under Standard 508, UL File #E97033.
- Two-year warranty.

APPLICATION

page 2

SPECIFICATIONS

Functional/Electrical
Mechanical Performance
page 4

EXTERNAL CONNECTIONS

Terminals/Diagrams
page 9

ORDERING

Procedure, Accessories,
Style Number Chart.
page 11

INSTRUCTION MANUAL

Reference
Publication Number
9 1711 00 990

SERVICE MANUAL

Reference
Publication Number
9 1711 00 620

INSTALLATION

Case dimensions and
mounting information.
See Bulletin UBY



Basler Electric
Highland, Illinois

BOX 269 HIGHLAND, ILLINOIS 62249, U.S.A. PHONE 618-654-2341 FAX 618-654-2351

UBU-4
6-89



IAV

Time Delay Voltage Relays

GE Protective Relays

DESCRIPTION

The Type IAV relays are single phase induction disk relays designed to respond, with time delay, to either an increasing or a decreasing voltage, or both. Some models are frequency compensated, and some include an instantaneous unit (hinged armature type). Most models listed in the Selection Guide include a target seal-in unit on all contacts.

The basic mechanism of all models is an induction-disk unit with either a tapped coil or a tapped resistor for setting pickup.

[In the overvoltage models, the relay is calibrated on increasing voltage to close the normally open contact at tap setting. The time dial adjusts the angle through which the disk rotates and, hence, the time delay.]

In the undervoltage models, the relay is calibrated on decreasing voltage to close the normally closed contact at tap setting. The time dial adjusts the angle through which the disk rotates at voltages above tap setting.

In the combined overvoltage and undervoltage models, the relay is calibrated on increasing voltages to close the normally open contacts at tap setting and on decreasing voltages to close the normally closed contacts at various percentages of tap setting.

For the undervoltage and combined undervoltage and overvoltage relays, the two connecting plug S2 case is used to prevent false tripping when the relay is removed or replaced. Either plug completes the coil circuit and thus opens the normally closed contact used with undervoltage operation. Both plugs are needed to complete the contact circuits.

APPLICATION

OVERVOLTAGE RELAYS

Type IAV overvoltage relays are used for protection against simple overvoltage, but other applications are also common. They are applied to ground detection, both on feeders and on ac generators, and they are also used in timed switching arrangements, where their dependability and accuracy make them preferable to purely mechanical timing relays.

For protection against overvoltage in a three-phase system, use the IAV51A relay (Fig. 2). For instantaneous protection as well as time delay, use the IAV71B.

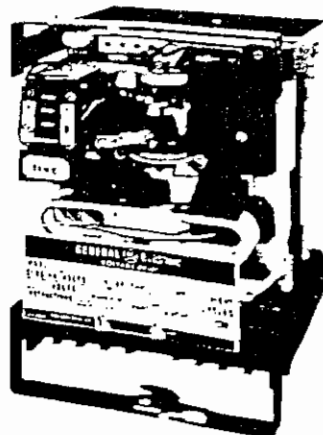
For the detection of grounds on ungrounded three-phase systems, two methods are in general use. One measures the zero sequence potential (Fig. 4), and the other measures the actual voltage between the system neutral and ground (Fig. 6).

For the circuit of Figure 4, use Type IAV51D, a low pickup relay which has its operating circuit tuned to the rated frequency. The potential transformers used in this circuit are connected grounded-Y primary, broken-delta secondary. The primaries should have ratings equal to the line-to-line voltage of the system, and the secondaries can have ratings of either 67 or 115 volts.

Select a relay model with a continuous rating of three times the potential transformer secondary voltage. This is necessary because, when a ground occurs, the zero sequence voltage may be up to three times the normal transformer secondary voltage. Thus, with a potential transformer secondary rated 67 volts, use a 199-volt relay coil. For ground fault protection of ac rotating machines, use a circuit similar to that shown in Figure 6 applying Type IAV51D or IAV51K relays. These are low-pickup relays whose coil circuits are tuned by capacitors to their rated frequencies. The circuits are thus rendered only one-eighth as sensitive to the third harmonic as they are to the rated frequency.

In Figure 6, a distribution transformer is connected between the machine neutral of the generator and ground. Normally there is no voltage on the transformer but during a fault, there is a voltage with a worst-case magnitude equal to the phase-to-ground value.

Greater sensitivity can be obtained by choosing a distribution transformer with higher secondary voltage. In such a case, the relay will not carry the fault voltage continuously, and provision must be made to de-energize the operating coil using an aux-



(Photo 200078)
Fig. 1. Type IAV51A overvoltage relay (out of case)

iliary relay. The short-time rating for both IAV51D and IAV51K is 360 volts for 10 seconds.

The IAV51M relay may be used for a definite time delay and the time is adjustable from 3 to 30 seconds by means of a time dial. Operating time is defined as the time to close the contacts with voltage suddenly raised from zero to the rated value.

UNDervOLTAGE RELAYS

For simple undervoltage protection, select the IAV relay according to the time voltage characteristic required.

In a typical automatic-preferred emergency throwover scheme the undervoltage contacts of the IAV51 relay are used to trip the circuit breaker in the normal source circuit, and the auxiliary switch (52b) of this normal source breaker permits the voltage closing contacts of an IAV51A relay in the emergency source to close the circuit breaker.

COMBINED UNDervOLTAGE AND OVERVOLTAGE RELAYS

Types IAV53, IAV54, IAV70, and IAV73 relays are time-delay, over- and undervoltage relays having two contacts, one of which closes on overvoltage and the other on undervoltage.

REFERENCES:

Dimensions	Section I6
How to Order	Section I
Instruction Books	Section I7
Target and Contact Data	Section I6
Relay Standards	Section I6

PLACING THE RELAY INTO SERVICE

1. RECEIVING, HANDLING, STORAGE

Upon receipt of the relay (when not included as part of a switchboard) examine for shipping damage. If damage or loss is evident, file a claim at once and promptly notify the nearest Brown Boveri Electric Sales Office. Use normal care in handling to avoid mechanical damage. Keep clean and dry.

2. INSTALLATION

Mounting

The outline dimensions and panel drilling and cutout information is given in Figure 1.

Connections

All I-T-E Protective Relays have metal front panels which are connected through printed circuit board runs and connector wiring to a terminal at the rear of the relay case. The terminal is marked "G" and is located as shown in Figure 1. In all applications this terminal should be wired to ground.

Special care should be taken to connect control power in the proper polarity. Before energizing the relay, the relay circuit board should be withdrawn from its case, and a visual check be made to insure that the movable control voltage selection wire (or small red selection link) has been placed in the correct position for the system control voltage.

Typical connection diagrams are shown in the APPLICATION section.

Certain relay models are easily converted to either underfrequency operation or overfrequency operation. This is accomplished by changing the position of a movable link on the circuit board. See APPLICATION section for identification of these models. The position of this link should be checked before energizing the relay.

3. SETTINGS

CODED TRIP POINT FREQUENCY SETTING

Table 1 provides coded settings for frequencies between 63 and 54 HZ in steps of 0.05 HZ for the 60 HZ models. Table 2 provides settings for the 50 HZ model for frequencies between 45 and 52 HZ. (The factory setting for the 60 HZ model is 59.2 HZ, and 49.2 for the 50 HZ unit.)

Trip Point adjustment is accomplished by setting the four thumbwheel switches to the number shown in the table which corresponds to the desired trip frequency. Each of the thumbwheel switches is labeled 0 to 15.

TIME DELAY SETTING

The Time Delay thumbwheel switches are labeled directly in cycles. The adjustment range is 1 to 99 cycles. The time delay period will not start until three consecutive bad cycles have been detected. The time delay function will completely reset upon receiving one good cycle. (The time delay is factory set at 99 cycles.)

IMPORTANT: THE SETTINGS SHOULD NOT BE CHANGED WITH THE RELAY IN SERVICE. AN INCORRECT OPERATION MAY OCCUR DURING THE TRANSITION FROM ONE SETTING TO ANOTHER.

For relays with 2 stages, the settings of one stage are independent of the other stage. Two stage units, depending on the application, may be set up for two steps of underfrequency detection; OR, for one step of overfrequency protection and one step of underfrequency protection. Selection of underfrequency or overfrequency operation is accomplished by means of a small red movable link on the circuit board. On 2 stage relays, there are two links to set, one on each of the two circuit boards. Refer to Figure 4.

APPLICATION DATA

The ITE-81 Frequency Relay is a reliable solid state relay designed to provide accurate detection of abnormal frequency conditions on electrical power systems. The ITE-81 is available in one stage and two stage models. Certain single step models are provided with means to select either underfrequency or overfrequency operation. Two stage models may be set up for either two steps of underfrequency detection; or, for overfrequency and underfrequency protection.

These relays use solid state technology and digital counting techniques to provide accurate frequency measurement. The time base measurement is provided by a very stable crystal controlled oscillator reference. The set point accuracy is 0.008 Hz. The relay is provided with TRIP POINT and TIME DELAY settings. These settings are easily made on the front panel of the relay by means of thumbwheel switches. The time delay period begins when the relay has counted three consecutive "incorrect" cycles. The time delay counter is fully reset if one "correct" cycle occurs prior to the relay tripping. This prevents unnecessary tripping on self-correcting system frequency oscillations.

The ITE-81 frequency relay has operating characteristics which make it ideal for application on closely coordinated system load shedding programs. The stability of the relay characteristics permits settings much closer to system frequency than possible with electro-mechanical relays, and closer steps between settings of relays in a load shedding program. Another advantage of the ITE-81 relay is that operating time is constant since the relay is unaffected by the rate-of-change of frequency.

An application typical to large industrial plants that have some local generation: normally these plants depend on a tie line with a utility for some portion of their power needs. If the tie breaker at the utility end should open, the generator at the industrial plant would be overloaded, especially if it also attempts to pick up utility load tapped on the tie line. This overload causes an underfrequency condition on the industrial system. The ITE-81 can be used to open the tie to the utility system and to drop non-essential load. Essential loads can be maintained to the limit of the generator capability.

RATINGS

Input Circuit	:	60 - 140 Vac
Input Circuit Burden	:	0.7 VA
Undervoltage Function	:	adjustable 60 - 100 volts (factory set at 60 volts)
Trip Point	:	60 Hz Models adjustable 54 to 63 Hz; see table 1 for setting codes. 50 Hz Models adjustable 45 to 52 Hz; see table 2 for setting codes. Set point accuracy and repeatability +/- 0.008 Hz.
Time Delay	:	Adjustable 1 to 99 cycles; (must have 3 "incorrect" cycles before timing begins)
Control Power	:	See relay nameplate for rated control voltage. Available ratings include: 125/48 Vdc at 0.06 ampere. 24/32 Vdc at 0.10 ampere. 125/24 Vdc at 0.06 ampere.
Output Circuit	:	Contact rating at 125 Vdc 30A tripping duty 5A continuous 1A break, resistive .3A break, inductive
Operating Temperature	:	Nominal: 25°C ambient Additional +/- 0.01% tolerance: -15°C to +55°C Must operate: -30°C to +75°C

TABLE 1 - TRIP POINT FREQUENCY CODES For 60 Hz Units Only

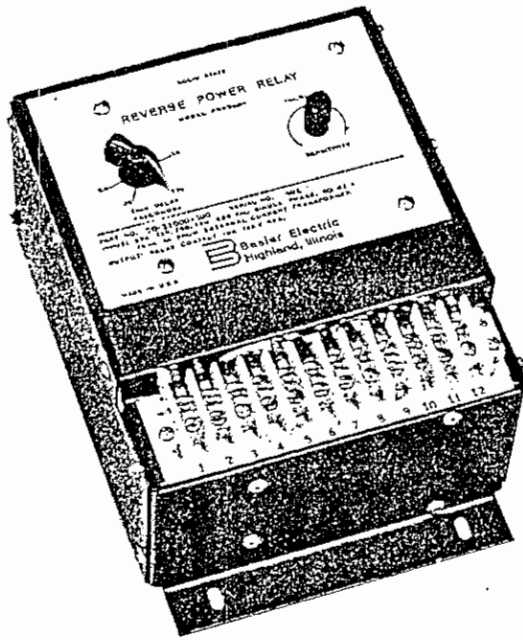
TRIP POINT FREQ	SWITCH SETTINGS				TRIP POINT FREQ	SWITCH SETTINGS				TRIP POINT FREQ	SWITCH SETTINGS			
63.00	13	7	6	9	60.00	13	6	6	11	57.00	14	5	8	13
62.95	12	1	7	9	59.95	15	9	6	11	56.95	13	9	8	13
62.90	12	4	7	9	59.90	12	3	7	11	56.90	13	3	9	13
62.85	13	7	7	9	59.85	14	6	7	11	56.85	12	7	9	13
62.80	14	0	8	9	59.80	12	0	8	11	56.80	12	1	0	14
62.75	14	3	8	9	59.75	14	3	8	11	56.75	15	4	0	14
62.70	15	6	8	9	59.70	12	7	8	11	56.70	15	8	0	14
62.65	12	10	8	9	59.65	14	0	9	11	56.65	14	2	1	14
62.60	12	3	9	9	59.60	13	4	9	11	56.60	14	6	1	14
62.55	13	6	9	9	59.55	15	7	9	11	56.55	13	0	2	14
62.50	14	9	9	9	59.50	13	1	0	12	56.50	13	4	2	14
62.45	15	2	0	10	59.45	15	4	0	12	56.45	13	8	2	14
62.40	12	6	0	10	59.40	13	8	0	12	56.40	12	2	3	14
62.35	12	9	0	10	59.35	15	1	1	12	56.35	12	6	3	14
62.30	13	2	1	10	59.30	13	5	1	12	56.30	12	10	3	14
62.25	14	5	1	10	59.25	12	9	1	12	56.25	12	4	4	14
62.20	15	8	1	10	59.20	14	2	2	12	56.20	12	8	4	14
62.15	12	2	2	10	59.15	12	6	2	12	56.15	15	1	5	14
62.10	13	5	2	10	59.10	14	9	2	12	56.10	15	5	5	14
62.05	14	8	2	10	59.05	13	3	3	12	56.05	15	9	5	14
62.00	15	1	3	10	59.00	15	6	3	12	56.00	15	3	6	14
61.95	12	5	3	10	58.95	14	0	4	12	55.95	15	7	6	14
61.90	13	8	3	10	58.90	12	4	4	12	55.90	15	1	7	14
61.85	14	1	4	10	58.85	14	7	4	12	55.85	15	5	7	14
61.80	15	4	4	10	58.80	13	1	5	12	55.80	15	9	7	14
61.75	12	8	4	10	58.75	15	4	5	12	55.75	15	3	8	14
61.70	13	1	5	10	58.70	14	8	5	12	55.70	15	7	8	14
61.65	15	4	5	10	58.65	12	2	6	12	55.65	15	1	9	14
61.60	12	8	5	10	58.60	15	5	6	12	55.60	12	6	9	14
61.55	13	1	6	10	58.55	13	9	6	12	55.55	12	10	9	14
61.50	14	4	6	10	58.50	12	3	7	12	55.50	12	4	0	15
61.45	15	7	6	10	58.45	15	6	7	12	55.45	12	8	0	15
61.40	13	1	7	10	58.40	13	0	8	12	55.40	13	2	1	15
61.35	14	4	7	10	58.35	12	4	8	12	55.35	13	6	1	15
61.30	15	7	7	10	58.30	15	7	8	12	55.30	13	0	2	15
61.25	13	1	8	10	58.25	13	1	9	12	55.25	14	4	2	15
61.20	14	4	8	10	58.20	12	5	9	12	55.20	14	8	2	15
61.15	15	7	8	10	58.15	15	8	9	12	55.15	14	2	3	15
61.10	13	1	9	10	58.10	14	2	0	13	55.10	15	6	3	15
61.05	14	4	9	10	58.05	13	6	0	13	55.05	15	0	4	15
61.00	15	7	9	10	58.00	15	9	0	13	55.00	12	5	4	15
60.95	13	1	0	11	57.95	14	3	1	13	54.95	12	9	4	15
60.90	14	4	0	11	57.90	13	7	1	13	54.90	13	3	5	15
60.85	12	8	0	11	57.85	12	1	2	13	54.85	14	7	5	15
60.80	13	1	1	11	57.80	15	4	2	13	54.80	14	1	6	15
60.75	15	4	1	11	57.75	14	8	2	13	54.75	15	5	6	15
60.70	12	8	1	11	57.70	13	2	3	13	54.70	12	10	6	15
60.65	14	1	2	11	57.65	12	6	3	13	54.65	12	4	7	15
60.60	12	5	2	11	57.60	15	9	3	13	54.60	13	8	7	15
60.55	13	8	2	11	57.55	14	3	4	13	54.55	14	2	8	15
60.50	15	1	3	11	57.50	13	7	4	13	54.50	15	6	8	15
60.45	13	5	3	11	57.45	12	1	5	13	54.45	15	0	9	15
60.40	14	8	3	11	57.40	12	5	5	13	54.40	12	5	9	15
60.35	12	2	4	11	57.35	15	8	5	13	54.35	13	9	9	15
60.30	14	5	4	11	57.30	14	2	6	13	54.30	14	3	10	15
60.25	12	9	4	11	57.25	13	6	6	13	54.25	15	7	10	15
60.20	13	2	5	11	57.20	13	0	7	13	54.20	12	2	11	15
60.15	15	5	5	11	57.15	12	4	7	13	54.15	13	6	11	15
60.10	13	9	5	11	57.10	15	7	7	13	54.10	14	0	12	15
60.05	15	2	6	11	57.05	14	1	8	13	54.05	15	4	12	15
										54.00	13	9	12	15

D.S.
22/3/94

DIAL SETTINGS ARE SHOWN IN SAME ARRANGEMENT AS THEY ARE TO BE MADE ON THE FRONT PANEL OF THE RELAY

15 4 5 12
20

Class 300 Equipment PRP 360 REVERSE POWER RELAY



DEVICE NUMBER 32

FEATURES:

- Adjustable current sensitivity
- Adjustable time delay
- Operates on 120, 240, 480 or 600 volts
- Models available for use with 50, 60 or 400 Hz systems
- 2 reset modes: automatic and remote manual
- Resets with input voltage interruption
- N.O. and N.C. relay switching contacts available
- Low input burden
- Reliable solid state design
- Ruggedly constructed
- Available from stock

APPLICATION:

Power reversal into an AC generator which has lost its prime mover torque results in "motoring", a condition which can cause damage to both the prime mover and the generator. To prevent equipment damage under such conditions, Basler Electric Company has developed the PRP 360 solid state Reverse Power Relay. A typical application is pictorially represented in Fig. 1.

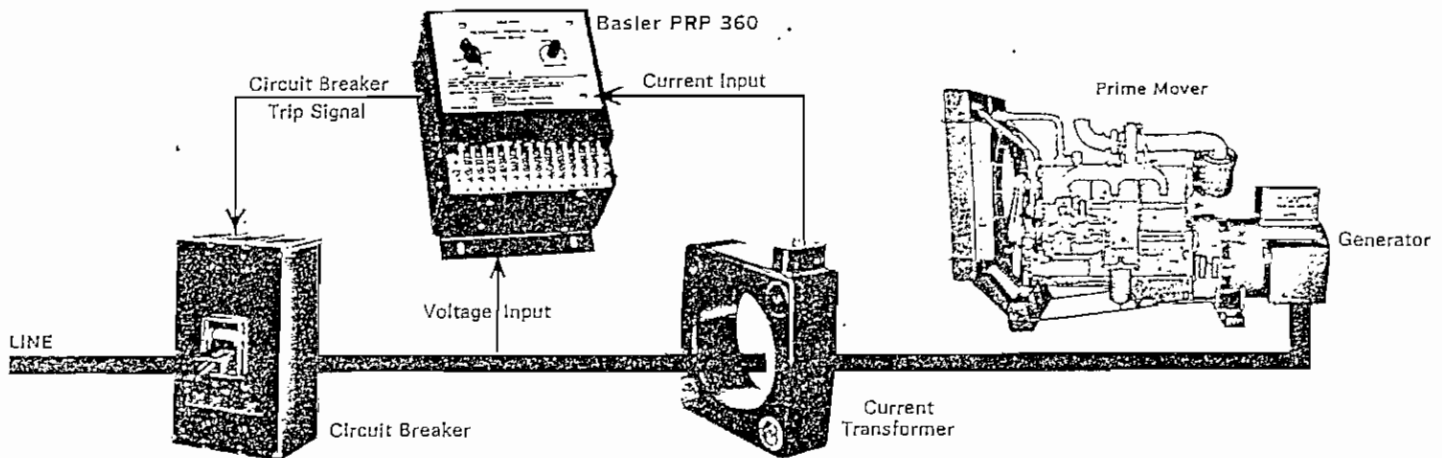


FIGURE 1 — APPLICATION DIAGRAM

B Basler Electric
Highland, Illinois

DESCRIPTION:

PRP 360 Reverse Power Relay is actuated when a power reversal exceeds a preselected current level (trip point) and exists for longer than a predetermined time. The device provides continuously adjustable reverse power trip sensitivity from 1% to 5% of generator line current when a CT is selected that delivers 5 amperes at full load. The unit also employs an adjustable time delay control which is continuously variable between its upper and lower units. Both adjustments are front panel mounted for convenient access. The relay incorporates provisions for a remote reset capability. The device is solid state throughout (except for the output relay) and employs components selected with conservative derating to insure long-term trouble-free performance.

HOW TO ORDER: Refer to Table 1

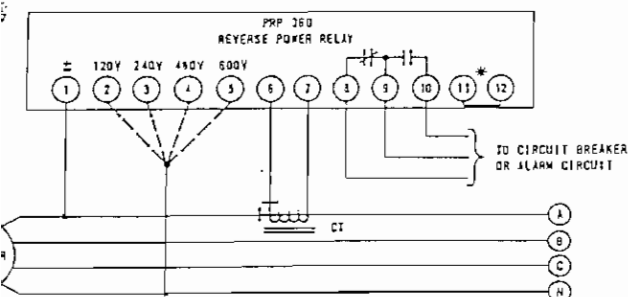
Table 1

When the Generator Frequency (Hertz) is	And the Desired Time Delay (Seconds) is	Then Order This Model Reverse Power Relay
50/60	.25 to 1.5	PRP 360
	1.25 to 7.0	PRP 360-2
400	.25 to 1.5	PRP 360-1

SAMPLE SPECIFICATION:

Reverse Power Relay (Device Number 32) shall be used to protect the power generating system from damage due to power reversal into the generator. When a power reversal occurs, the device shall cause the generator to be removed from the bus. The relay shall be capable of operation on a 120 volt (or 240, 480, or 600), 60 Hertz power source. It shall provide adjustable current sensitivity between 0.050 and 0.250 amperes and an adjustable time delay between 0.25 and 1.5 seconds. The Reverse Power Relay shall incorporate a remote reset capability.

Reverse Power Relay shall be Basler Electric Company Model PRP 360 or equivalent.



To provide automatic reset operation this jumper is removed.
To provide a remote reset capacity, this jumper is removed and a normally closed pushbutton switch (not supplied) is connected between terminals 11 and 12.

FIGURE 2—TYPICAL INTERCONNECTION DIAGRAM

SPECIFICATIONS:

(Data applies to all models except where otherwise specified).

INPUT:

- Voltage 120, 240, 480 or 600 volts
- Frequency . . . PRP 360 and PRP 360-2: 50/60 Hz
PRP 360-1: 400 Hz
- Voltage Burden 3 VA, I lags V by 36°
- Current (max. continuous) 5 amperes
- Current Burden 8 VA at unity P. F.
- Overload Current Withstands currents up to 5 times nominal for short intervals of time.

OUTPUT: SPDT relay contact rated 10 amperes at 120 VAC; 10 amperes at 28 VDC, resistive; 0.75 amperes at 115 VDC, resistive.

CURRENT SENSITIVITY ADJUST LIMITS: 0.050 to 0.250 amperes.

TIME DELAY ADJUST LIMITS: PRP 360 and PRP 360-1: 0.25 to 1.5 seconds; PRP 360-2: 1.25 to 7.0 seconds.

SHOCK: Withstands up to 15 Gs.

OPERATING TEMPERATURE: -20°C to +50°C (-4°F to +122°F).

FINISH: Dark gray, lusterless, textured baked enamel.

DIMENSIONS: 9.88" x 6.56" x 5.12".

WEIGHT: Net - 6 pounds — Shipping - 7 pounds.

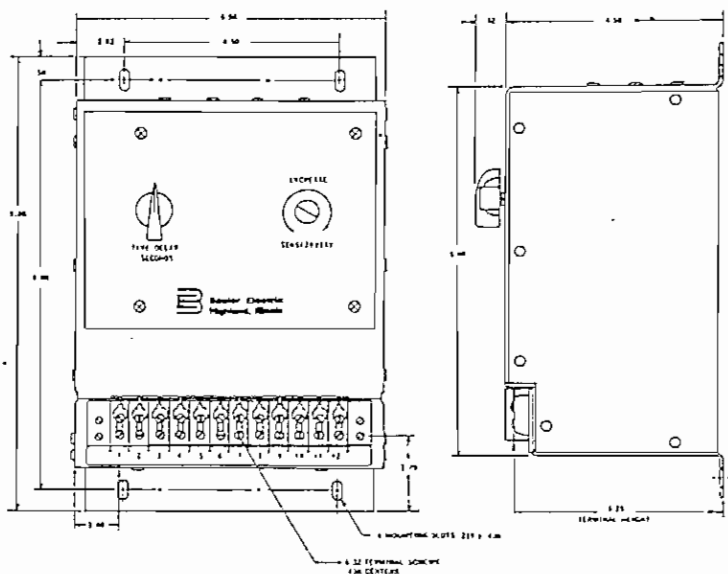


FIGURE 3—OUTLINE DRAWING

All drawings and data subject to change without notice.



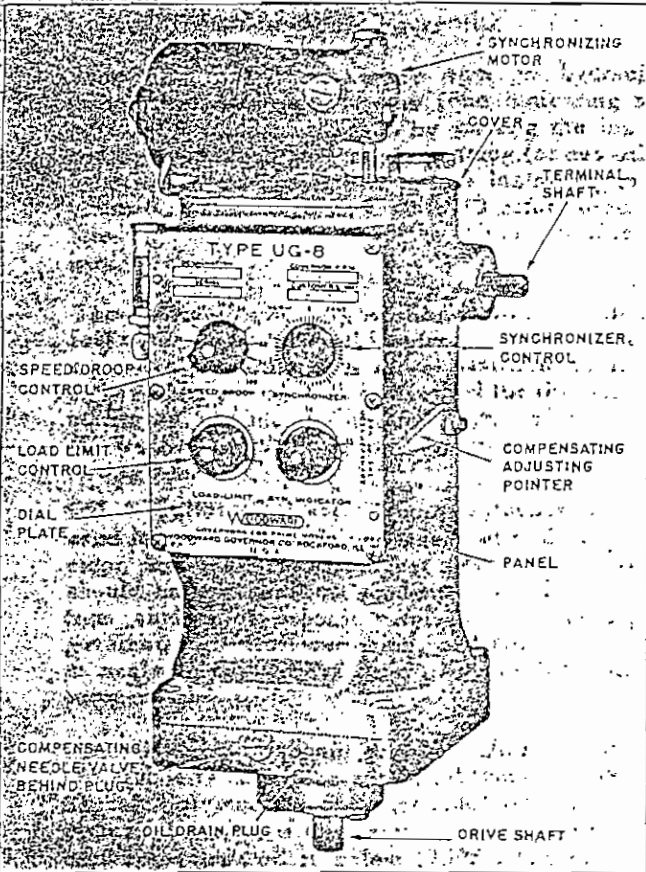
WOODWARD

UG8 GOVERNOR

DIAL CONTROL

PART ONE

GENERAL INFORMATION — INSTALLATION — ADJUSTMENT — OPERATION



Cut No. 11

GENERAL: The UG8 dial type governor is of the hydraulic type and is normally isochronous (will maintain same engine speed regardless of engine load). Speed adjustment (synchronizer), speed droop, and load limit controls are standard features. The stalling work capacity of the governor is eight foot pounds.

THE SYNCHRONIZER, or speed adjusting control, is used to change the engine speed when running alone or to change the engine load when the engine has been paralleled with other units. The synchronizer indicator located directly below the synchronizer merely indicates the number of revolutions of the synchronizer knob.

THE SYNCHRONIZING MOTOR: A synchronizing motor may be mounted on a special cover for the UG8 governor to provide remote speed control. Its use enables the switchboard operator to match the frequency of an engine driven alternator with that of other units, or a system, before synchronizing and to change load distribution after synchronizing.

The motor used is of the split field, series wound, reversible type. It can be used on either direct cur-

rent or alternating current at its specified voltage. It should be wired as shown on page 32.

A friction type coupling is provided between the motor shaft and the synchronizer adjusting gear to allow the engine operator to adjust speed by turning the synchronizer control knob on the governor. For adjustment of the friction coupling see page 17.

THE SPEED DROOP control can be set to automatically divide and balance load between engines driving the same shaft, or paralleled in an electrical system.

Droop is incorporated in the governor through a linkage which varies the compression of the speeder (speed adjusting) spring as the terminal shaft rotates. Increased fuel reduces spring compression, reduces the governor speed setting accordingly, and the unit will gradually reduce its speed as load is applied. This relationship between load and speed acts as a resistance to load changes when the unit is interconnected with other units either mechanically or electrically.

As droop is reduced toward zero the unit becomes able to change load without changing speed. As a general rule, units running alone should be set on zero droop, interconnected units should be run at the lowest droop setting that will give satisfactory load division.

A. C. generating units tied in with other units should have droop set sufficiently high (30 to 50 on the dial) to prevent interchange of load between units. If one unit in the plant, or system, has enough capacity, its governor may be set on zero droop and it will regulate the frequency of the entire system. *This unit will take all the load changes within the limits of its capacity and will control frequency if its capacity is not exceeded.*

The system frequency is adjusted by operating the synchronizer of the governor having zero droop. The distribution of load between units is accomplished by operating the synchronizers of the governors having speed droop.

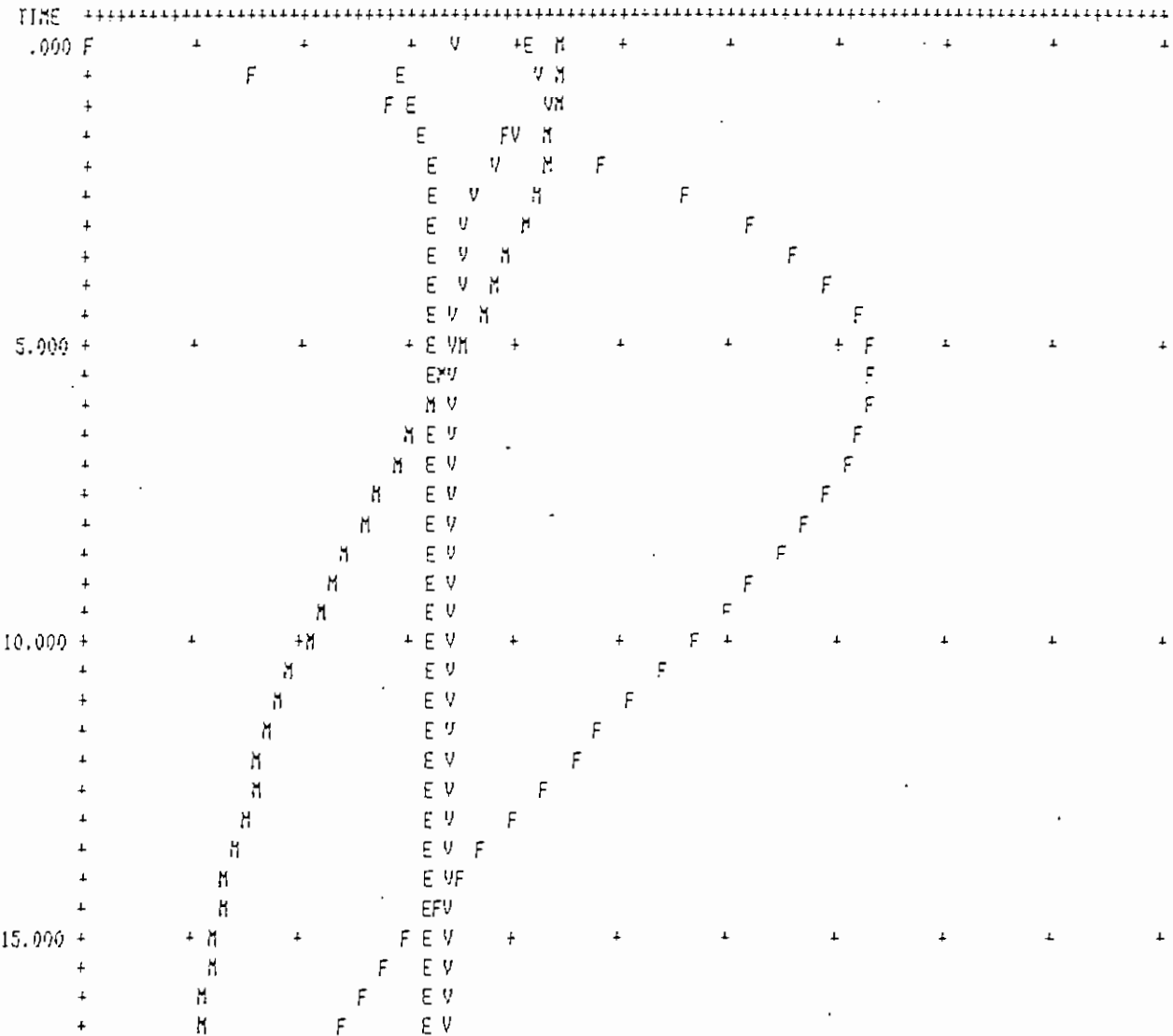
THE LOAD LIMIT control hydraulically limits the load that can be put on the engine by restricting the angular terminal shaft rotation of the governor, and consequently, the quantity of fuel supplied to the engine. The control may also be used for shutting down the engine by turning it to zero. **CAUTION:** Do not manually force engine linkage to increase fuel without first turning load limit knob to 10.

INSTALLATION: When the governor is installed on the engine, particular care should be exercised to see that it is mounted squarely and that the drive connection to the engine is aligned properly. A gasket should be placed between the base of the governor and the mounting pad on the engine. If the governor is equipped with a serrated drive shaft, it should slip

FIG 5.8b HCJB - 4MW TO EEO - UNITS 1&2 - EEO TPIP - PROPOSED SETTINGS

BOJSPAR HYDFO11

	60.00	62.00	64.00	66.00	68.00	70.00	72.00	74.00	76.00	78.00	80.00
F - Rotor Frequency (Hz) Relative to HYDFO2											
V - Terminal voltage (ou)	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10
E - Field voltage (ou)	.00	.40	.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00
M - Mechanical power (MW)	.00	.40	.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00



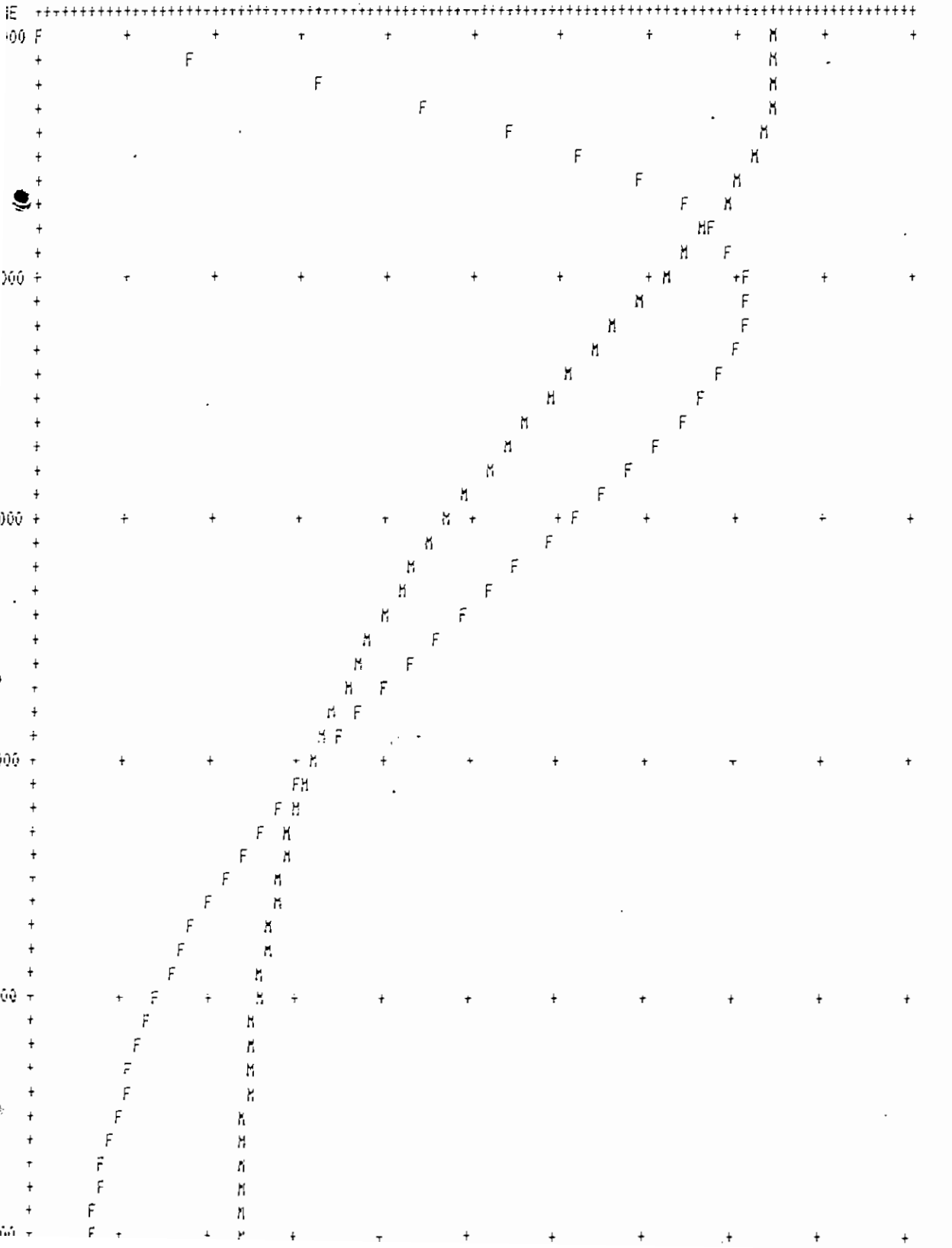
EUSEGAR : HYDRO2

F - Rotor Frequency (hz)

60.00 62.00 64.00 66.00 68.00 70.00 72.00 74.00 76.00 78.00 80.00

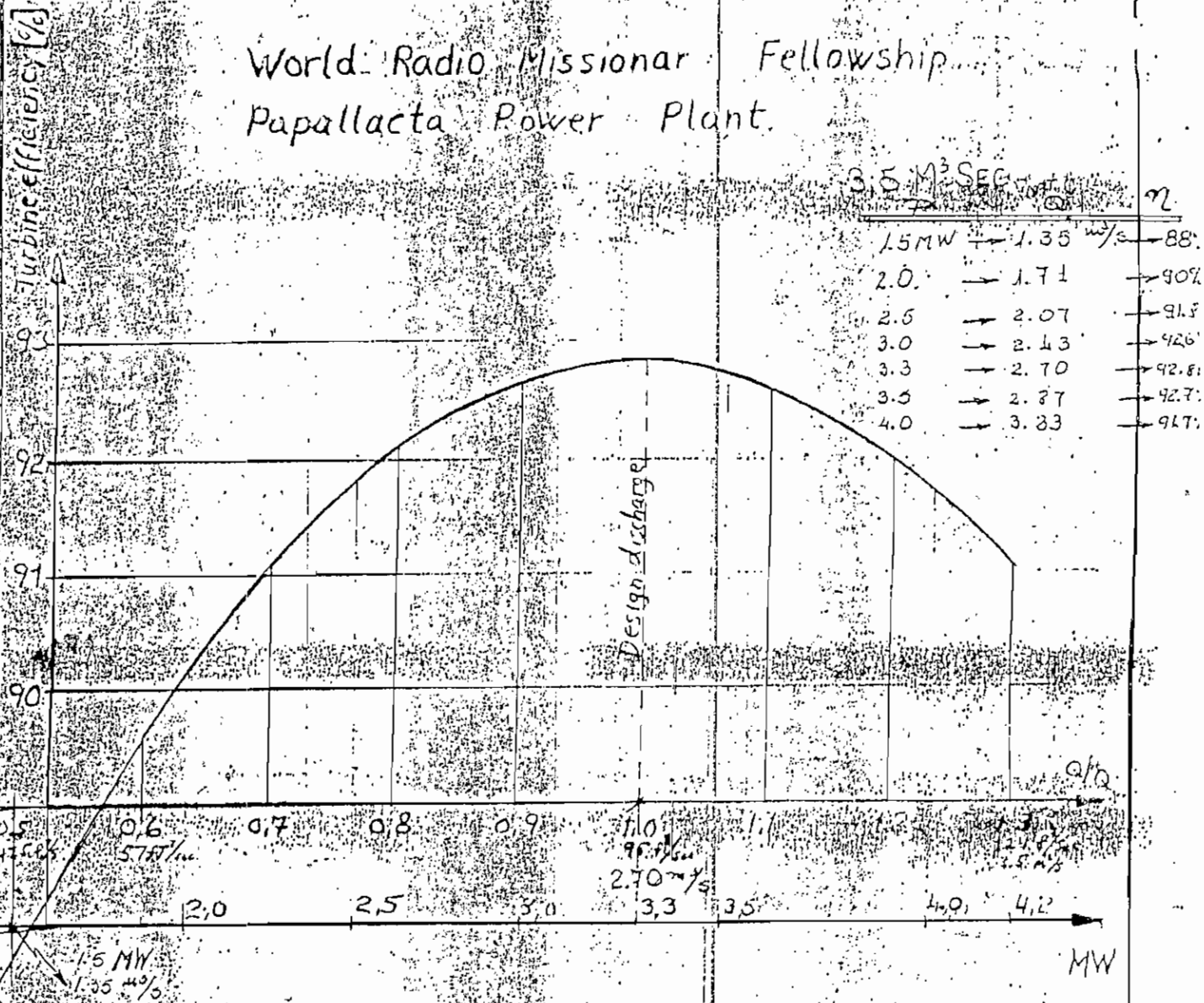
M - Mechanical power (MW)

.00 .50 1.00 1.50 2.00 2.50 3.00 3.50 4.00 4.50 5.00



World Radio Missionar Fellowship

Papallacta Power Plant



Uta. Sign.		Förändringar:			
Lex. dato					
W. R. M. F. Papallacta P.P.P.	Beckiller:	Dato	Tegnet	Träckt.	Målstokk
		3.6		1/25	
69955 T-81	Order nr.	-80	Kontroll	Ge. Kont.	GÖRUMSAND VERKSTED A/S 1920 SÖRUMSAND
		TURBINE FRANCIS			
p=4,2 MW, n=600 r.p.m., Hnet=136 m					Erkännings nr:
Efficiency diagram					T/11834
					Erstatnings nr:
					T/12572

Anexo No. 3

- Resultados de la Simulación Transitoria de Rechazo y Seccionamiento de Carga
- Copia de las pruebas de campo realizadas por ingenieros de HCJB en agosto de 1994
- Esquema ejemplo de la conexión de los relés utilizados en un caso similar

POWER SYSTEM OF HCJB : SEVEND CASE EXPORTING 3.5MW TO EEGSA

2	3	0.5000	6.540	0.00	1.000
1	3	0.5000	5.500	0.000	1.000
3	4	0.5000	4.990	0.000	1.000
4	5	107.91	74.40	0.190	
6	5	0.5000	4.930	0.000	1.000
6	7	0.5000	5.070	0.000	1.000
6	8	1.0000	5.300	0.000	1.000
6	9	1.0000	5.300	0.000	1.000
6	10	19.965	14.56	0.000	
0	11	92.821	67.76	0.100	
1	12	0.0000	47.50	0.000	1.000
2	13	2.3300	4.424	0.100	
3	14	219.05	437.6	0.140	

1	1	G1	200	1020	0.	1.5	-2.5	-0.1		
2	1	G2	444	1020	0.	3.6	-0.5	0.		
3	0	S/E	PA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
4	0	LIN	PA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
5	0	LIN	PI	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6	0	S/E	PI	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7	0	HC500		1000	0.	0.	0.	0.	0.50	0.05
8	0	LVA		1000	0.	0.	0.	0.	0.35	0.15
9	0	LVB		1000	0.	0.	0.	0.	0.35	0.15
0	0	YARUQU		1000	0.	0.	0.	0.	4.73	2.15
1	0	S/E	TU	1000	0.	0.	0.	0.	38.4	8.15
2	0	LIN	EE	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
3	2	CUMBAY		1050	0.				0.	0.
4	0	BAEZA		1000	0.	0.	0.	0.	0.12	0.05

0000001.0000001

HCLFHIS UNKNOWN

NAME	VOLTS	ANGLE	GENERATION		LOAD		SHUNT	TO BUS
			MW	MVAR	MW	MVAR		
1 G1 200	.986	-7.6	1.5	-.1	.0	.0	.0	0
2 G2 444	.986	-7.5	3.6	.0	.0	.0	.0	30
3 S/E PA	.986	-7.6	.0	.0	.0	.0	.0	10
4 LIN PA	.985	-7.7	.0	.0	.0	.0	.0	140
5 LIN PI	.931	-10.0	.0	.0	.0	.0	.0	40
6 S/E PI	.931	-10.2	.0	.0	.0	.0	.0	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0

.0	3	S/E PA	3.60	.00	1.000F	.00	0
.0	1	G1 200	-1.50	.10			0
	2	G2 444	-3.60	.01			0
	4	LIN PA	4.98	-.02	1.000F	.00	0
	14	BAEZA	.12	-.09			0
.0	3	S/E PA	-4.98	.04			0
.0	5	LIN PI	4.98	-.04			0
.0	4	LIN PA	-4.70	.05			0
.0	6	S/E PI	4.70	-.05			0
.0	5	LIN PI	-4.70	.07	1.000F	.00	0
	7	HC500	.50	.05	1.000F	.00	0
	8	LVA	.35	.25	1.000F	.00	0
	9	LVB	.35	.25	1.000F	.00	0
.0	10	YARUCU	3.50	-.62			0

HC3550

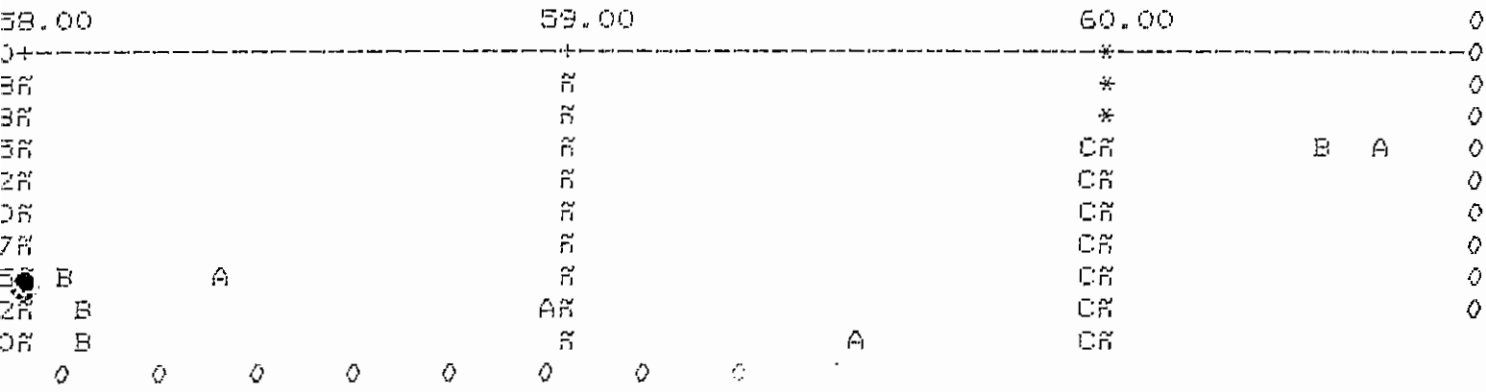
GENERATOR FREQUENCY

: WWG (HZ)

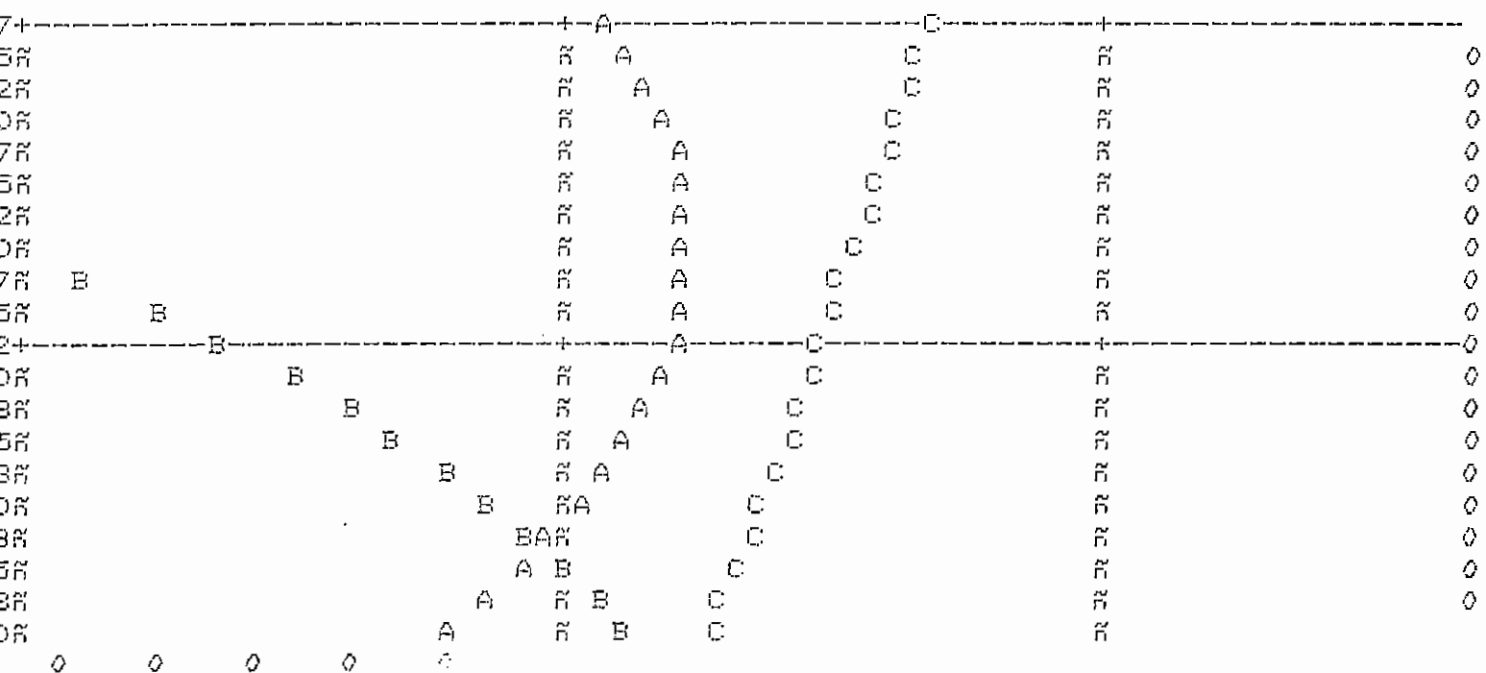
THE GENERATORS PLOTTED ARE:

A= 1
B= 2
C= 13
SEC)

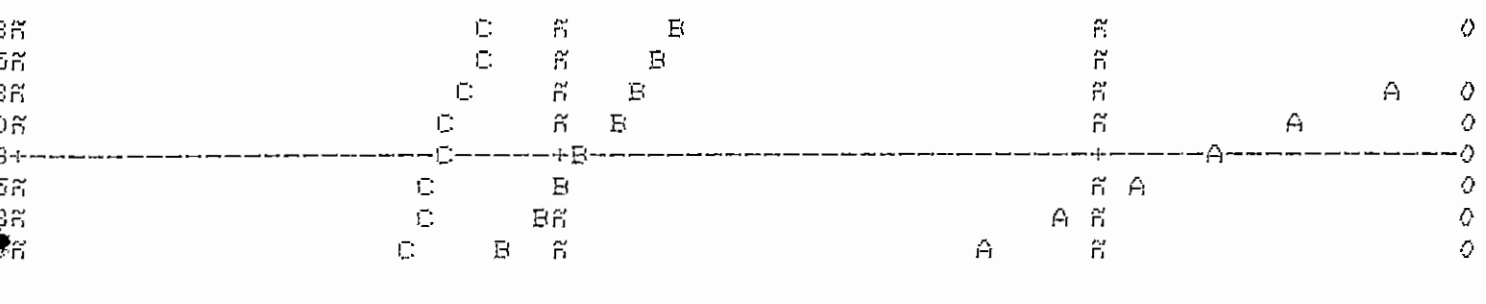
QUASI-GRAPHICS
LOAD REJECTION: OPENING LINE EEQSA-PIFO-YARUQUI-TUMBACO
TRANSIENT SPEED DROOP 50% (30%)



HC3550



HC3550



NER SYSTEM OF HCJB : THIRD CASE, EXPORTING 1.5MW TO EEQSA

2	3	0.5000	6.540	0.00	1.000
1	3	0.5000	5.500	0.0000	1.000
3	4	0.5000	4.990	0.0000	1.000
4	5	107.91	74.40	0.190	
5	5	0.5000	4.930	0.0000	1.000
5	7	0.5000	5.070	0.0000	1.000
5	8	1.0000	5.300	0.0000	1.000
5	9	1.0000	5.300	0.0000	1.000
5	10	19.965	14.56	0.000	
0	11	92.821	67.76	0.100	
1	12	0.0000	47.50	0.0000	1.000
2	13	2.3300	4.424	0.100	
3	14	219.05	437.6	0.140	

1	0	G1	200	1020	0.	0.	0.	0.	0.	0.
2	1	G2	444	1020	0.	3.1	0.	0.	0.	0.
3	0	S/E	PA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
4	0	LIN	PA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
5	0	LIN	PI	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6	0	S/E	PI	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7	0	HC500		1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.
8	0	LVA		1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.67 0.20
9	0	LVB		1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.66 0.20
0	0	YARUQU		1000	0.	0.	0.	0.	0.	4.73 2.15
1	0	S/E	TU	1000	0.	0.	0.	0.	0.	38.4 8.50
2	0	LIN	EE	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0. 0.
3	2	CUMBAY		1050	0.					0. 0.
4	0	BAEZA		1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.10 0.01

0000001.0000001

HCLFHIS UNKNOWN

60.0

*** POWER SYSTEM STABILITY ANALYSIS OF HCJB-PAPALLACTA ***

2	G2	4444	SM3	2.776	4.5	3.9	1.4	0.16	0.446		
		1.28000		0.29000	0.21000	1.68000		0.04			
		0.58000		0.58000	0.30600	0.0		0.03300	0.18000	0.03	
	101	5	201	2	0.05000	0.5	0				
1	G1	2000	SM3	3.306	2.0000	1.80		1.5	0.10	0.35	
		1.15000		0.37000	0.24000	5.60000		0.03500			
		0.68800		0.68000	0.34000	0.00000		0.03000	0.20000	0.08000	
	102	1	202	2	0.05000	0.5	0				
13	CUMBAYA		SM3	2.200	100.0	100.0		1.4	0.10	0.350	
		1.46000		0.17000	0.15000	5.00000		0.06000			
		1.43800		0.81300	0.15000	1.5		0.12000	0.12000	0.3000	
	101	5	201	2	0.05000	0.5	0				
D	101	5		1.00000	0.09000	0.55000		0.02800	0.00000	0.09000	
				10.0000	1.00000	4.55000		0.00000	25.0000	0.00000	
				1.60000	1.53000						
	102	1		2.00000	0.09000	0.50000		0.01500	0.00000	0.09000	
				10.0000	0.90000	5.17000		0.00000	6.20000	0.00000	
				0.30000	0.05000						
D	201	2		0.80000	0.00000	0.01500		3.00000	0.01500	0.00000	
				0.20000	999999.	1.00000		0.00000	0.00000	0.00000	
				0.00000	0.00000	0.00000		999999.	0.09300	-0.15600	
				0.95000	0.00000						
	202	2		0.60000	0.00000	0.01500		3.00000	0.01500	0.00000	
				0.20000	999999.	1.00000		0.00000	0.00000	0.00000	
				0.00000	0.00000	0.00000		999999.	0.16700	-0.33000	
				0.90000	0.00000						
D	1	1	6	10	59.500	.033		0.00001	0.00001	6.0	
	2	2	2	2	72.000	.033				6.0	
	3	2	1	1	66.600	.033				6.0	
	4	3	3	13	1.000	.033	60.			6.0	
	5	3	14	13	1.000	.033	60.			6.0	
	6	3	4	4	1.000	.033	60.			6.0	
	7	3	5	4	1.000	.033	60.			6.0	
	8	3	6	9	1.020	.033	60.			6.0	
	9	3	11	10	1.020	.033	60.			6.0	
	10	4	1	1		.033				6.0	
	11	4	2	2		.033				6.0	
D					1.0000	0.0883	0.3510	0.0000	0.0000	0.9800	-2.3560
					0.5330	1.3360	5.2100	2.3380	0.0000	-0.7030	-10.2820
					1.0000	0.2016	1.6598	-9.1079	0.0000	0.9015	-2.1680
					0.2427	0.5581	7.0228	-6.5456	0.0000	-0.6473	-9.4606
					1.0000	0.4675	1.9601	0.0000	0.0000	0.5628	-2.8865
					0.6896	1.6993	3.8889	7.6570	53.7198	-1.9372	-14.1787
					1.0000	1.5655	0.8548	0.0000	0.0000	0.5121	-0.7530
					0.1472	0.3518	1.1825	0.0000	0.0000	-0.1715	-3.4677
					1.0000	2.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					1.0000	2.0400	0.9950	-0.5930	0.0000	0.0000	0.0000
					0.1307	0.4271	0.6724	0.4890	0.0000	-0.3437	-0.6374
					1.0000	0.7594	1.4361	0.0000	0.0000	0.5238	-3.3710
					0.7820	1.9298	4.2231	0.0000	0.0000	-1.1266	-9.2356
					1.0000	1.5520	0.4590	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Typical values of reactances, resistances, and time constants of synchronous machines of various types are listed in Table 2.

TABLE 2
TYPICAL CONSTANTS OF THREE-PHASE SYNCHRONOUS MACHINES
(Adapted from Refs. 15, 34, and 41)

	Turbo-generators (solid rotor)			Water-Wheel Generators (with dampers)			Synchronous Condensers			Synchronous Motors (general purpose)		
	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High
Reactances in per unit												
x_d	0.95	1.10	1.45	0.60	1.15	1.45	1.50	1.80	2.20	0.80	1.20	1.50
x_q	0.92	1.08	1.42	0.40	0.75	1.00	0.95	1.15	1.40	0.60	0.90	1.10
x_d'	0.12	0.23	0.28	0.20	0.37	0.50	0.30	0.40	0.60	0.25	0.35	0.45
x_q'	0.12	0.23	0.28	0.40	0.75	1.00	0.95	1.15	1.40	0.60	0.90	1.10
x_d''	0.07	0.12	0.17	0.13	0.24	0.35	0.18	0.25	0.38	0.20	0.30	0.40
x_q''	0.10	0.15	0.20	0.23	0.34	0.45	0.23	0.30	0.43	0.30	0.40	0.50
x_p	0.07	0.14	0.21	0.17	0.32	0.40	0.23	0.34	0.45			
x_2	0.07	0.12	0.17	0.13	0.24	0.35	0.17	0.24	0.37	0.25	0.35	0.45
x_0	0.01		0.10	0.02		0.21	0.03		0.15	0.04		0.27
Resistances in per unit												
r_a (d-c.)	0.0015		0.005	0.003		0.020	0.002		0.015			
r (a-c.)	0.003		0.008	0.003		0.015	0.004		0.010			
r_2	0.025		0.045	0.012		0.20	0.025		0.07			
Time constants in seconds												
T_{d0}'	2.8	5.6	9.2	1.5	5.0	9.5	6.0	9.0	11.5			
T_d'	0.4	1.1	1.8	0.5	1.8	3.3	1.2	2.0	2.8			
$T_d'' = T_q''$	0.02	0.035	0.05	0.01	0.035	0.05	0.02	0.035	0.05			
T_d''	0.04	0.16	0.35	0.03	0.15	0.25	0.1	0.17	0.3			

* x_0 varies from about 0.15 to 0.60 of x_d'' , depending upon winding pitch.

†For water-wheel generators without damper windings,

$$x_d'' = 0.85x_d', \quad x_q'' = x_q' = x_p, \quad x_2 = (x_d' + x_q)/2,$$

and x_0 is as listed.

‡For curves showing the normal value of x_d' of water-wheel-driven generators as a function of kilovolt-ampere rating and speed, see Ref. 54.

SUDDEN THREE-PHASE SHORT CIRCUIT

One important application of the reactances and time constants of synchronous machines is the prediction of short-circuit currents. Conversely, oscillograms of short-circuit current can be used to determine the values of some of the reactances and time constants.

To: "Dufendach, Bill" @ Elkhart, "Jacobson, Herb" @ Elkhart, MCI Box for Daniel Enns @ WRMF Other Locations
 Cc: "Johnson, Ron", "Schroeder, Dan"
 From: Warham, Tim
 Subject: TEST RESULTS - PIFO
 Date: 8/09/94 Time: 4:32p

```

+-----+
| PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS |
| 8TH AUGUST 1994                       |
+-----+
  
```

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
1A	G2	500	YES	10:16

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	1500	-150	500	-300	22.5	470	475	540	420
AFTER	850	300	0	0	22.5	465	470	540	420

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
AFTER	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

```

+-----+
| 61.6 Hz maximum |
| 78.4Vmax  68.8Vmin  71.0Vavg  70.5Vpretest |
| Note: voltage is measured on 120V phase-phase, phase-ground on LV B |
| Note: 70.5V corresponds to 475V on LV B due to open delta PTs |
| Overvoltage = 10.0% transient (suspect bad data see 1B) |
| Overvoltage = -1.0% sustained |
+-----+
  
```


3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

(Not functioning; possibly due to RF interference)

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
1A	G2	500	YES	10:16

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1				UNIT 2			S/S	S/S	time	
	pressure				pressure			volt	freq		
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE					13.5	1.7	0.0	3.95	23	60.0	0
PEAK					14.0			3.85	22	61.5	5
AFTER					13.5	1.2	0.0	3.9	23	60.2	58

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

n/a

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

n/a

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
1B	G2	500	YES	11:10

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

FROM	TO	VOLTAGES	CURRENTS
------	----	----------	----------

	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	1700	50	500	-300	22.5	475	475	400	500
AFTER	1200	350	0	0	22.5	470	473	400	500

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	1	0	A	0	1	1	1	1
AFTER	1	1	1	0	A	0	1	1	1	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

```

62.4 Hz maximum      4.0%
71.2 Vmax    69.6Vmin    70.8Vavg    70.2Vpretest
Transient Overvoltage 0.1%(1.4% on pretest)
Sustained Overvoltage -1.5%

```

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

```

(Not functioning; possibly due to RF interference)

```

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

```

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

```

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME

| 1B | G2 | 500 | YES | 11:10 |

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				S/S volt	S/S freq.	time
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE					13.5	2.0	0.1	4.00	23	60.0	0
PEAK					15.2			3.95	23	61.4	3.4
AFTER					13.5	1.4	0.5	4.00	23	60.7	15

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

n/a

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position	32%	0 s
	24%	3 s
	26%	15 s

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2A	G2	1000	YES	10:35

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	2050	0	1000	-200	22.5	470	475	540	420
AFTER	900	300	0	0	23	470	480	540	410

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	0	0	A	1	1	0	1	1
AFTER	1	1	0	0	A	1	1	0	1	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

65.4 Hz maximum	9.0%		
72 Vmax	69.6Vmin	70.8Vavg	70.8Vpretest
Transient Overvoltage	1.2%		
Sustained Overvoltage	0.0%		

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

(Not functioning; possibly due to RF interference)

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2A	G2	1000	YES	10:35

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				S/S volt.	S/S freq.	time
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE					13.4	2.2	0.0	4.00	23.1	60.0	0
PEAK					15.0			3.95	23.2	65.4	8.6
AFTER					13.5		0.0	4.00	23.0	60.5	48

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

n/a

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position went to zero

There were 4 pressure peaks

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2B	G2	1000	YES	10:50

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	2050	0	1000	-300	22.5	470	475	540	400
AFTER			0	0		470	475		

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	0	0	A	1	1	0	1	1
AFTER	1	1	0	0	A	1	1	0	1	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

65.88 Hz maximum	9.8%		
72 Vmax	69.6Vmin	70.5Vavg	70.4Vpretest
Transient Overvoltage		1.2%	
Sustained Overvoltage		-1.0%	

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

(Not functioning; possibly due to RF interference)

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2B	G2	1000	YES	10:50

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1				UNIT 2				S/S	S/S	time
	pressure		kV	kVAr	pressure		kV	MVar	volt.	freq.	
	psi	kW			bar	MW			kV	kV	Hz
BEFORE			13.4	2.4	0.0	4.00	23.0	60.0	0		
PEAK			15.0			3.95	23.0	65.9	6.9		

AFTER				13.6	1.6	0.0	4.00	23.0	60.6	42
-------	--	--	--	------	-----	-----	------	------	------	----

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

n/a

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position
 15%peak
 25%after

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
 8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2C	G2	1500	YES	11:25

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAR	kW	kVAR	kV	V	V	A	A
BEFORE	2850	-450	1500	-750	22.5	477	475	400	500
AFTER	1250	350	0	0	22.5	473	473	375	500

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	1	0	A	0	1	1	1	1
AFTER	1	1	1	0	A	0	1	1	1	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

```

70.5 Hz maximum      17.5%
72 Vmax      69.6Vmin      70.8Vavg      70.4Vpretest
Transient Overvoltage  1.2%
Sustained Overvoltage -1.5%
Other meter showed a peak (not rms) of 119.2V or 18% - not seen aga

```

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

```

(Not functioning; possibly due to RF interference)

```

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

```

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

```

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2C	G2	1500	YES	11:25

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				S/S volt.	S/S freq.	time
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE					13.2	3.0	0.0	4.00	23.1	60.0	0
PEAK					15.1			3.90	23.1	70.5	8.5
AFTER					13.5	1.5	0.3	4.00	23.0	60.5	29

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

n/a

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position 50%before
 5%peak
 25%after
 Alarm - low water pressure in oil cooling

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2D	G2	1500	YES	11:40

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	3000	-500	1550	-750	22.5	475	475	380	500
AFTER	1250	350	0	0		470	472	380	480

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	1	0	A	0	1	1	1	1
AFTER	1	1	1	0	A	0	1	1	1	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

70.46 Hz maximum	17.4%		
72 Vmax	68.8Vmin	70.8Vavg	70.4Vpretest
Transient Overvoltage	1.2%		
Sustained Overvoltage	-1.7%		

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

(Not functioning; possibly due to RF interference)

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
2D	G2	1500	YES	11:40

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1				UNIT 2			S/S	S/S	time	
	pressure				pressure			volt.	freq.		
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE					13.2	3.1	0.0	4.00	23.1	60.0	0
PEAK					15.2			3.90	23.2	70.5	8.5
AFTER					13.4	1.4	0.3	4.00	23.0	60.3	40

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

n/a

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position	50%before 5%peak 25%after
-------------------	---------------------------------

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
7A	G2 + G1	2000	YES	13:55

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	3400	-600	2000	-900	22.5	477	475	240	420
AFTER	1100	300	0	0	22.7	488	480	260	400

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

BEFORE	1	1	1	0	A	0	0	1	0	1
AFTER	1	1	1	0	A	0	0	1	0	1

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

72.8 Vmax	70.4Vmin	71.5Vavg	70.4Vpretest
Transient Overvoltage		2.3%	
Sustained Overvoltage		0.0%	

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

64.1 Hz maximum	6.8%@ 13:59:07
481.2 V maximum	0.2%@ 13:59:23

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (KW)	EEQ TRIP	TIME
7A	G2 + G1	2000	YES	13:55

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

UNIT 1				UNIT 2				S/S	S/S	
pressure				pressure				volt.	freq.	time
psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec

BEFORE	180	1250	75	2.7	13.4	2.2	0.0	4.00	23.2	60.0	0
PEAK	225			2.7	15.2			3.95	23.0		
AFTER	190	800	250	2.7	13.5	0.5	0.0	4.00	23.1		

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

stayed on-line
relief valve just cracked open then closed

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position 45%before
 0%peak
 14%after

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
7B	G2 + G1	2500	YES	14:15

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
	PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
BEFORE	3800	-950	2550	-1200	22.5	480	475	240	420
AFTER	1050	300	0	0	22.5	480	485	240	400

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	1	0	A	0	0	1	0	1
AFTER	1	1	1	0	A	0	0	1	0	0

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

73.6 Vmax	70.4Vmin	72.1Vavg	70.4Vpretest
Transient Overvoltage		3.5%	
Sustained Overvoltage		1.0%	

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

67.9 Hz maximum	13.2% @ 14:17:26
484.4 V maximum	0.9% @ 14:17:26
Note: T11 SSB turned off - tube failed on grid open	
Note: Tube only 2000 hours old	

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS

18TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
7B	G2 + G1	2500	YES	14:15

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				S/S volt.	S/S freq.	time
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE	182	1250	0	2.7	13.3	2.8	0.0	4.00	23.2	60.0	0
PEAK	240			2.8	15.2			4.10	23.1	67.8	6.3
AFTER	190	495	150	2.7	13.5	0.8	0.0	4.00	23.3	61.6	15

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

stayed on-line
relief valve just cracked open then closed

3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Governor position 45%before
 0%peak
 13%after

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG

PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
8TH AUGUST 1994

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
7C	G2 + G1	3500	YES	14:30

PIFO DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	FROM PAPALLACTA		TO EEQ		VOLTAGES			CURRENTS	
	kW	kVar	kW	kVar	kV	V	V	A	A
BEFORE	5000	-2100	3500	-2200	22.5	48D	477	240	420
AFTER			0	0					

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
BEFORE	1	1	1	0	A	0	0	1	0	0
AFTER	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

2. FLUKE MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

80.8 Vmax 67.2Vmin 73.1Vavg 71.4Vpretest
Transient Overvoltage 13.6%

3. POWER ANALYZER RESULTS (300ms SAMPLING)

```

+-----+
| 75.1 Hz maximum      25.2%@ 14:35:44 |
| 515.4 V maximum      7.4%@ 14:35:34 |
| 475.8 V sustained    -0.9%@ 14:36:45 |
| Note: T3, T5A, T8 turned off.         |
| Note: T5A, T8 came back on, T3 later after changing Ross coil |
+-----+
  
```

WITNESSED BY:

TIM WARHAM

RON JOHNSON

```

+-----+
| PIFO / PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS |
| 8TH AUGUST 1994                       |
+-----+
  
```

TEST	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
7C	G2 + G1	3500	YES	14:30

PAPALLACTA DATA COLLECTION SHEET

1. PRE & POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1				UNIT 2				S/S	S/S	time
	pressure				pressure				volt.	freq.	
	psi	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
BEFORE	180	1500	-100	2.7	13.1	3.6	0.0	3.95	23.2	60.0	0
PEAK	228			3.0	15.1			4.10	25.0	77.0	9.6
AFTER	185	625	250	2.7	13.5	0.7	0.0	3.95	23.0	60.9	26

2. UNIT 1 OBSERVATIONS

```

+-----+
| stayed on-line |
| relief valve opened 2 inches then closed |
+-----+
  
```

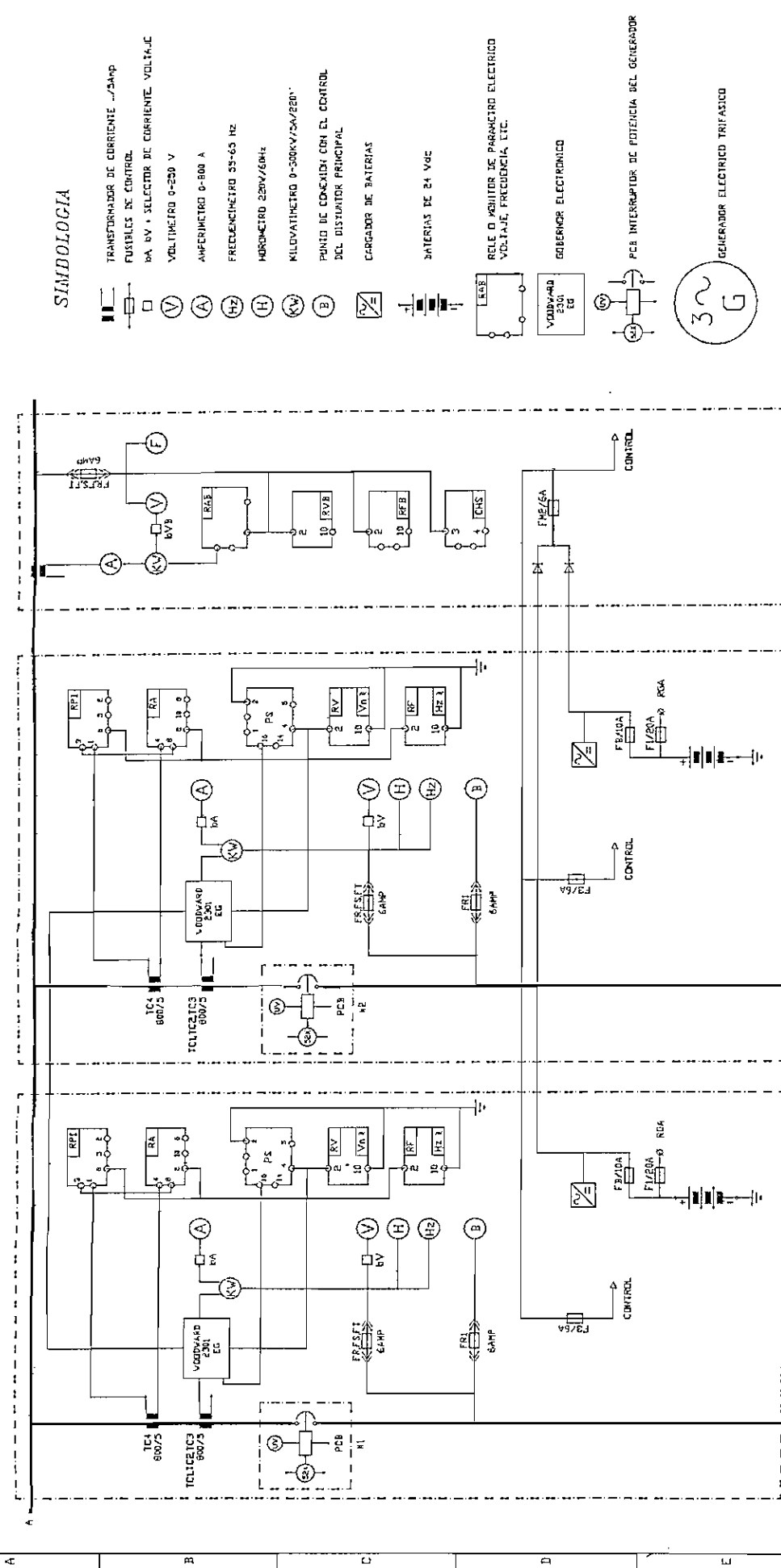
3. UNIT 2 OBSERVATIONS

Autotransformer ground relay flag - no trip

WITNESSED BY:

DAN SCHROEDER

EARL HARTWIG



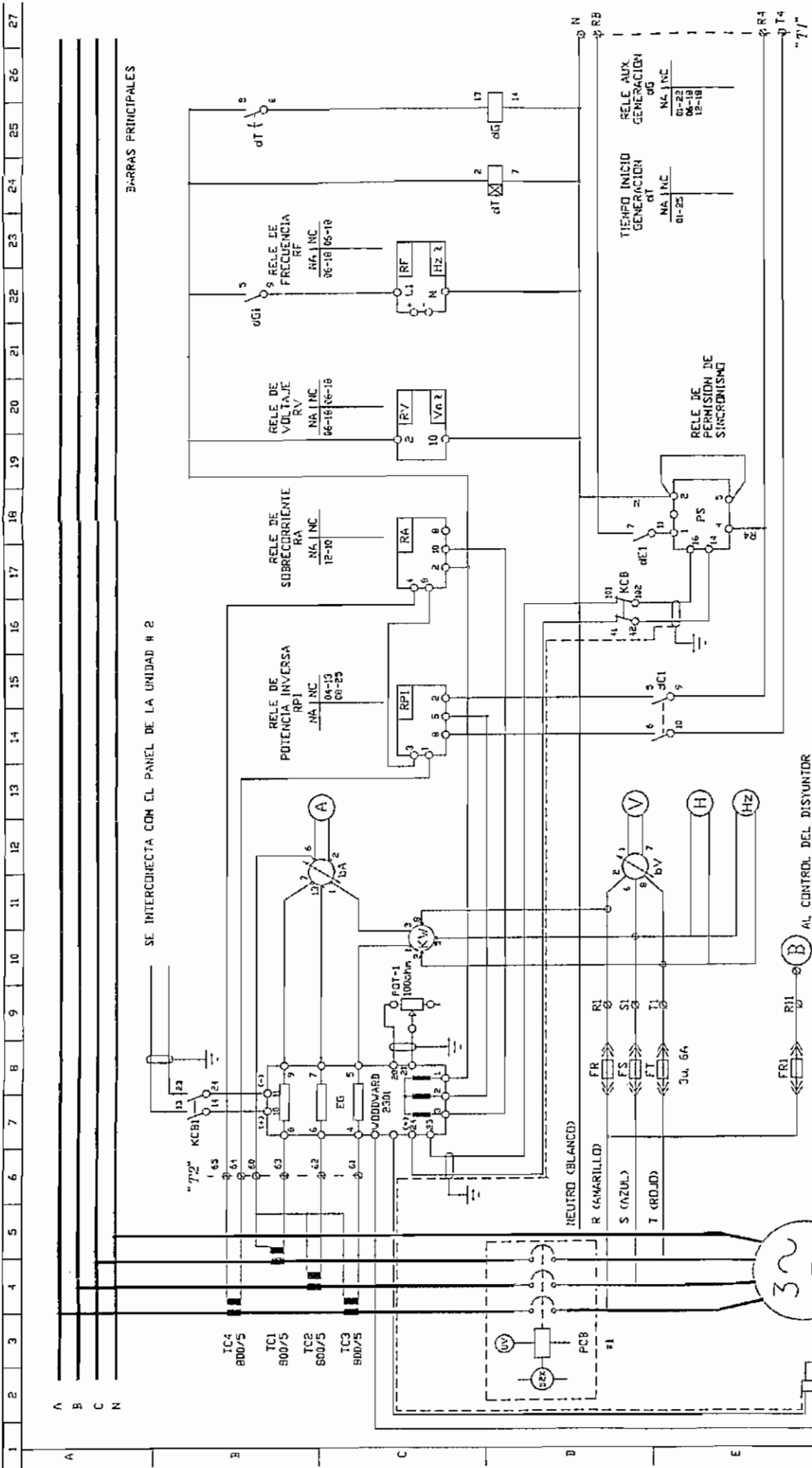
SIMBOLOGIA

- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE .../5AMP
- FUSIBLES DE CONTROL
- BA BV + SELECTOR DE CORRIENTE VOLTAJE
- VOLTIMETRO 0-250 V
- AMPERIMETRO 0-600 A
- FRECUENCIOMETRO 59-65 HZ
- MAGNETOMETRO 250V/60Hz
- KILOVOLTIMETRO 0-500KV/25A/220°
- PUNTO DE CONEXION CON EL CONTROL DEL DISTRIBUTOR PRINCIPAL
- CARGADOR DE BATERIAS
- BATERIAS DE 24 VDC
- RELE O MONITOR DE PARAMETRO ELECTRICO VOLTAJE FRECUENCIA, ETC.
- GENERADOR ELECTRONICO
- PCB INTERRUPTOR DE POTENCIA DEL GENERADOR
- GENERADOR ELECTRICO TRIFASICO

	Automeccatronica y Automatizaci3n y Control S.A. TEL. 43199 - 03818 SAJO - ECUADOR	CLIENTE BANCO CENTRAL DEL ECUADOR
	DISEÑO INE. C. ELLIOTT P. 03-P-252	CONTENIDO DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL
REVISO	I E C	FECHA
DIBUJO	ARCHIVO	PLANO
APROBO	ESCALA	HOJA 14 DE 16 BCE\UNIFILAR



PROTECCIONES Y MEDICIONES DEL GENERADOR #1



		CLIENTE	BANCO CENTRAL DEL ECUADOR
1514 45119 - 1998 S.A. - ECUADOR		CONTENIDO	PROTECCIONES Y MEDICIONES GENERADOR #1
DISEÑO	ING. C. GALLERIE P. 9347-559	REVISADO	I E C
REVISADO		DIBUJO	FECHA
APROBADO		ESCALA	PLANO
			HOJA 01 DE 16
			BOE\ 01