ESCUELA POLITECNICA NACI0NAL

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 QUISPE

DICIEMBRE - 1995

DEDICATORIA:

A mis Padres

A mis Hermanos

AGRADECIMIENTO:

A Dios por su Amor y Misericordia

Al Dr. Jesús Játiva por las invalorables
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.

CERTIFICACIÓN:

El presente trabajo de Tesis

De grado fue desarrollado en su

Totalidad por el señor Milton

Ricardo Alquinga Quispe.

Dr. Jesús Játiva I.

INDICE

CONTENIDO Pág No.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

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: OPERACIÓN 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 únicamente 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 únicamente la unidad 2..... 106

4.1.3 Fijando el Nivel de Ajusté 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 Paralelo..... 117

4.2.2 Operando únicamente 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

BIBLIOGRAFÍA..... 136

ANEXOS

RESUMEN

Se realizara 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 lo relés de sobre velocidad.

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 de 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

INTRODUCCIÓN

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 realizo 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 n las unidades hidráulicas de Papallacta.

Como resultado de estudio de Tim Warham se optaron por: nuevas políticas de operación de exportación de potencia a la EEQSA dependiendo de nivel de agua en lotero, cambio de ciertas secciones de la línea de Subtransmisión Papallacta-Pifo para disminuir las pérdidas de potencia, cambios del nivel d ajuste de los relés de sobre velocidad y los 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 conversores 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 Cumbaya que son parte del sistema eléctrico Quito. Segundo, realizar un estudio de seccionamiento de carga del sistema de HCJB, al separarse de sistema eléctrico Quito, en el cual se simulan dos tipos de casos: uno, fijando el nivel de ajuste de 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, contrastaciones con los resultados de las simulaciones

FOTOGRAFIA 1.1.1 MINI CENTRAL HIDROELECTRICA DE HCJB EN PAPALLACTA

FOTOGRAFIA 1.1.2 SUBESTACIÓN DE REDUCCIÓN DE 43.8/22.8 KV, 6.6 MVA EN PIFO

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.

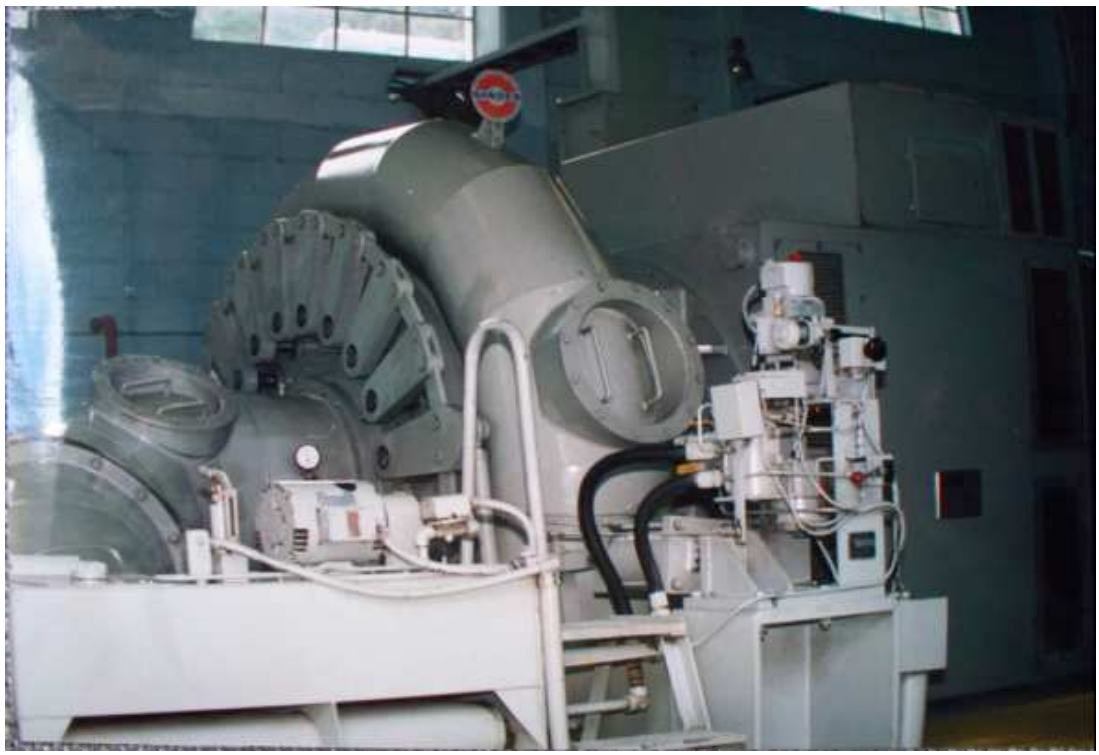
En las fotografías 1.1.3 y 1.1.4 se observan las dos unidades hidráulicas de HCJB en Papallacta.

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 sistema eléctrico

FOTOGRAFIA 1.1.3 UNIDAD 1 DE 1.8 MW, 358 A, 2900 V Y 720 r.p.m



FOTOGRAFÍA 1.1.4 UNIDAD 2 DE 4.2 MW, 612 A, 4160 V Y 600 r.p.m

1.3 JUSTIFICACIÓN

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 da radio de HCJB frente a cortes de suministro de energía desde la EEQSA o desde Papallacta. Además, los ingresos percibidos por la venta de la 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 sobre velocidad 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 fijara el nivel de ajuste de 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 DE 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 contratación con pruebas realizadas para 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 de 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 de contrato de venta de energía con la EEQSA, copia de las pruebas realizadas por los 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

OPERACIÓN 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 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 mese de marzo, abril y mayo se opera bajo las siguientes condiciones: para el nivel de agua en Loreto mayor que 3.5 m se exportará 3.0 MW y de 0 m 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 política 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
0	Noviembre, Diciembre enero y Febrero	0 m
	Septiembre y Octubre	0 a 5 m
	Marzo, abril y Mayo	0 a 2 m
	Agosto	0 a 3 m
	Junio y Julio	0 a 1 m
0.5		
1.0		
1.5		
2.0	Septiembre y Octubre	5.0 a 5.5 m
	Marzo, abril y Mayo	2 a 3.5 m
	Agosto	3 a 4 m
	Junio y Julio	1 a 2 m
2.5		
	Septiembre y Octubre	> 5.5 m
3.0	Marzo, abril y Mayo	> 3.5 m
	Agosto	> 4 m
	Junio y Julio	> 2 m
3.5		

En la tabla 2.1 se puede observar que para los meses de marzo y julio se ahorra agua en el reservorio de Lotero, para ser utilizados 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 SUBTRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓ

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 dos cables de guardia, el cual corresponde al 14% del largo total de la línea.

El tipo de conductor de fase usado es de 34mm2 ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) diseñado con 6 x 2.67 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.

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 – Pifo) se presentan en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Parámetros de la línea HCJB – Papallacta – Pifo (1)

CONDUCTOR PIGON # 3	R Ohms/km	X Ohsm/km	B Mho/km.10-6	LENGTH 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 PIGON # 3	R Ohms/km	X Ohsm/km	B Mho/km.10-6	LENGTH TOTAL
per Unit 100MVA	0.0176	0.0246	0.0001	
(2) CONDUCTOR FLATPAK # 2	R Ohms/km	X Ohsm/km	B Mho/km.10-6	LENGTH TOTAL
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 Ohms/km	X Ohsm/km	B Mho/km.10-6	LENGTH 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 length's to compensate for sag.

Tabla 2.2 (Continuación) Transformadores (1)

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

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

Rating underlined is one on which impedances are given 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) trasmiten a un nivel d 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 Baeza y 3x2/0 y 1/0 ACSR paras Pifo-Yaruquí-Tumbaco, en una configuración básica de 3

Fase más neutra corrida. La línea de Subtransmisión EEQSA Cumbaya-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 suministros 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 de 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)

$$\mathbf{fc = D' / Dmax}$$

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; 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	1497
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

	BAEZA	PAPALLACTA	PIFO	TOTAL
HOUR	KW	KW	KW	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	499	310	1078	1837

TABLA 2.5

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

	POTENCIA	HORA DE	HORA DE
TRANSMISOR	KW	ENTRADA	SALIDA
T1	50	5:30	24:00
T2	50	18:00	19:00
T3	250 (350-500)	5:30 13:00 19:00 20:15	08:00 18:00 19:30 03:30
T4	10	3:30	22:00
T5	30	TRANSMISOR DE EMRGENCIA REMPLAZO	
T6	100 (25-50-75)	02:30 05:30	04:30 1:00
T7	100 (25-50-75)	04:00 17:00	13:00 21:30
T8	100 (25-50-75)	12:00 17:00 23:30	15:00 21:30 11:00
T9	100 (30)	TRANSMISOR DE EMRGENCIA REMPLAZO	
T11	30	24:00	24:00

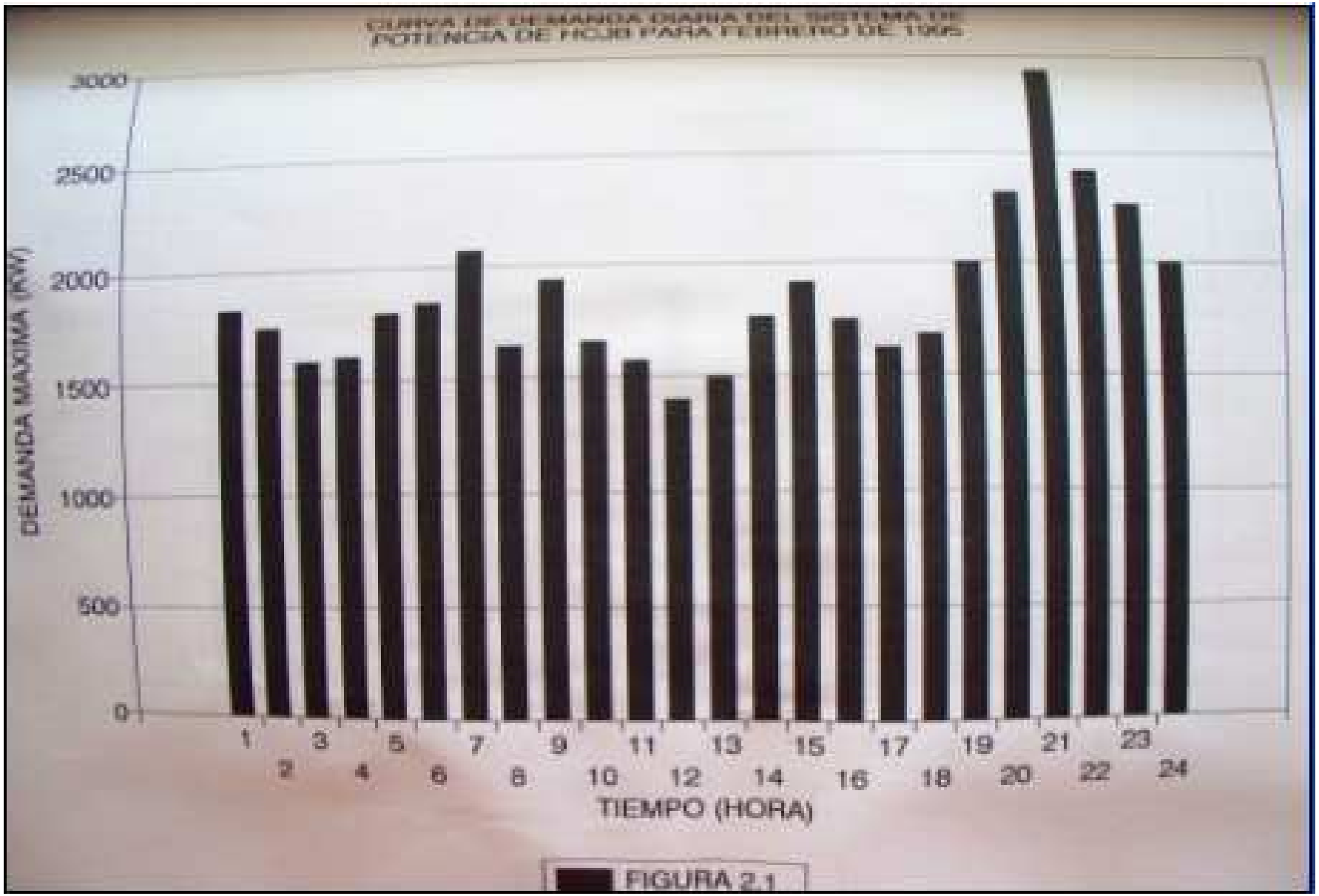

CURVA DE DEMANDA DIARIA DEL SISTEMA DE
POTENCIA DE FICO PARA FEBRERO DE 1995
DEMANDA MAXIMA (MW)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
TIEMPO (HORA)

FIGURA 2.1

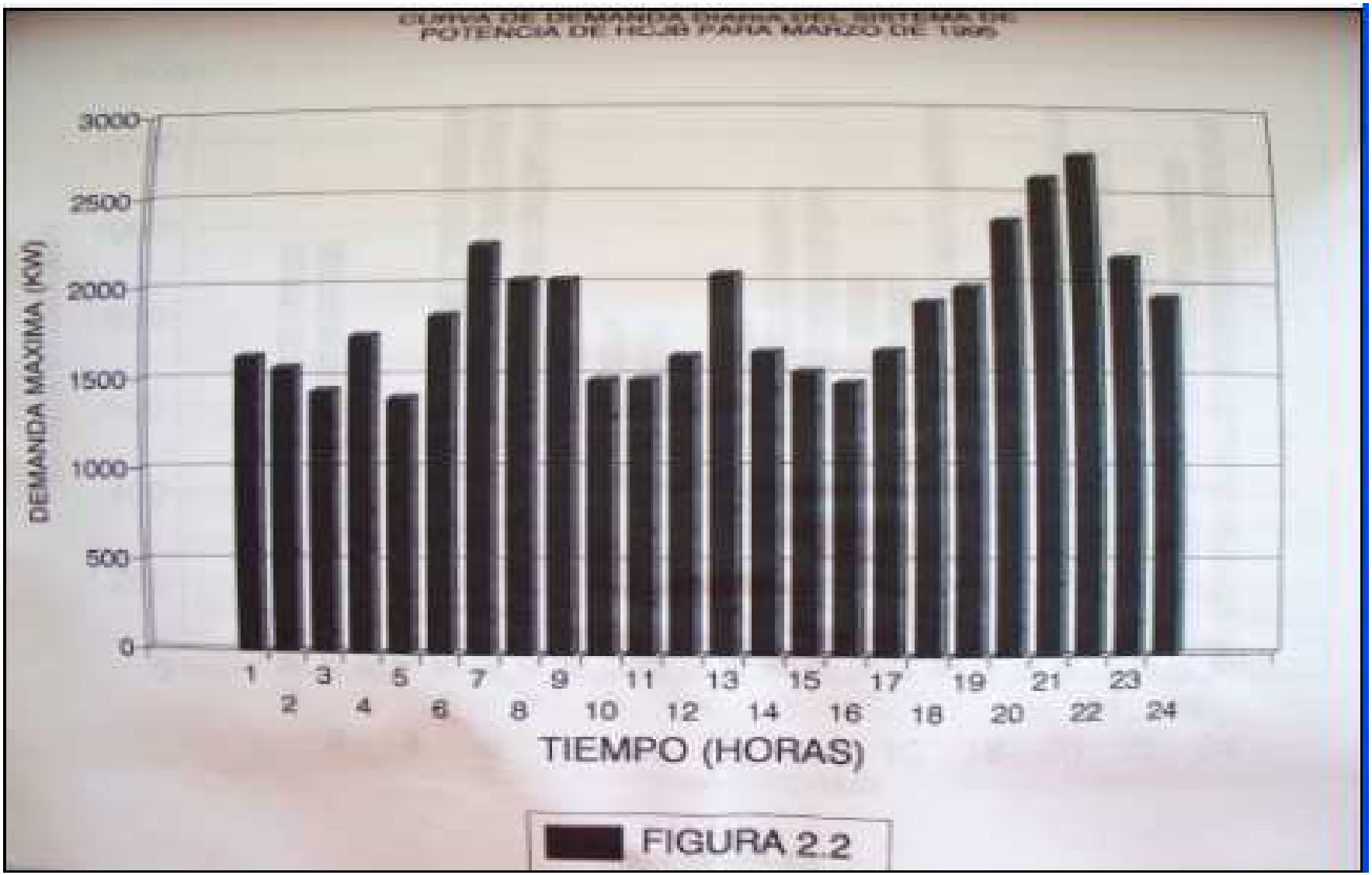

CURVA DE DEMANDA DIARIA DEL SISTEMA DE
POTENCIA DE HCJB PARA MARZO DE 1995
DEMANDA MAXIMA (KW)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
TIEMPO (HORAS)

FIGURA 2.2

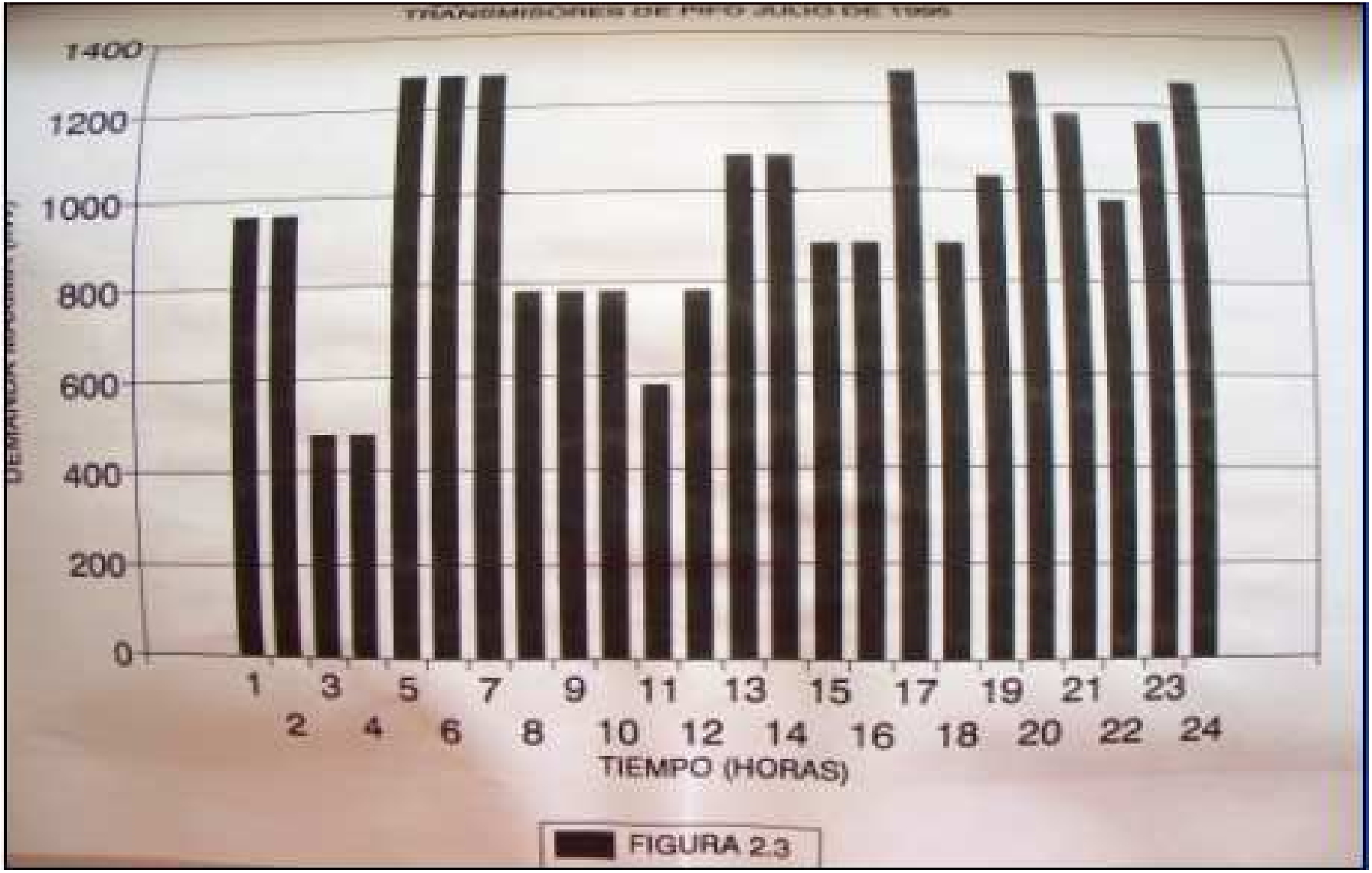

1400
1200
1000
800
600
400
200
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
TIEMPO (HORAS)

FIGURA 2.3

FOTOGRAFÍA 2.2.1 PANEL DE CONTROL TRANSMISOPR DIGITAL HC500

FOTOGRAFÍA 2.2.3 AUTOTRANSFORMADOR DE 6.6 MVA - 43.8/22.8 KV S/E PIFO

2.4 SISTEMA DE PROTECCIÓN

En la tabla 2.6 y 2.7 se presentan 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 48 VDC (38.5 a 60V), Capacidad de los conectores de salida Continuamente 3 A, Rango de temperatura ambiente -20 a +55º C, Humedad 95% de condensación, 25% sensitividad, 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, Tipe 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 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 de relé 50, 70, 10 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.

Tabla # 2.6 Continuación

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 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 quilovatios - 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 de G.	60 Hz
Voltaje del generador	135-145 V
Amperios de 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 transformado 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 de 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, en el cual permite la medición del voltaje trifásico.

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

Tabla # 2.6 Continuación

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

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.	120º C	instantáneo
3	Temperatura del Chumace.	60º C	instantáneo
4	Falla de 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.	Sobrevoltaje generador	132 VAC	2.5 segund.
9.	Fuerza en reverso (32)	0 Kw	7 segundos
10.	Sobrecorriente de 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 del 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	80º 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.	3.0 A	instantáneo
22.	Sobrecorriente a la bom. del gobernador	8.0 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 abre debido a una falla en la línea de Subtransmisión que está 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 de 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-Cumbaya-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 en 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, previó a un análisis dinámico de rechazo de carga en las unidades de Papallacta (1).

Una revisión más detallada del sistema de protección debería permitir una 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 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, 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 h

FOTOGRAFÍA 2.4.1 PANEL DE PROTECCIONES DE LA UNIDAD 1

FOTOGRAFÍA 2.4.2 PANEL DE PROTECCIONE 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 utilizara 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

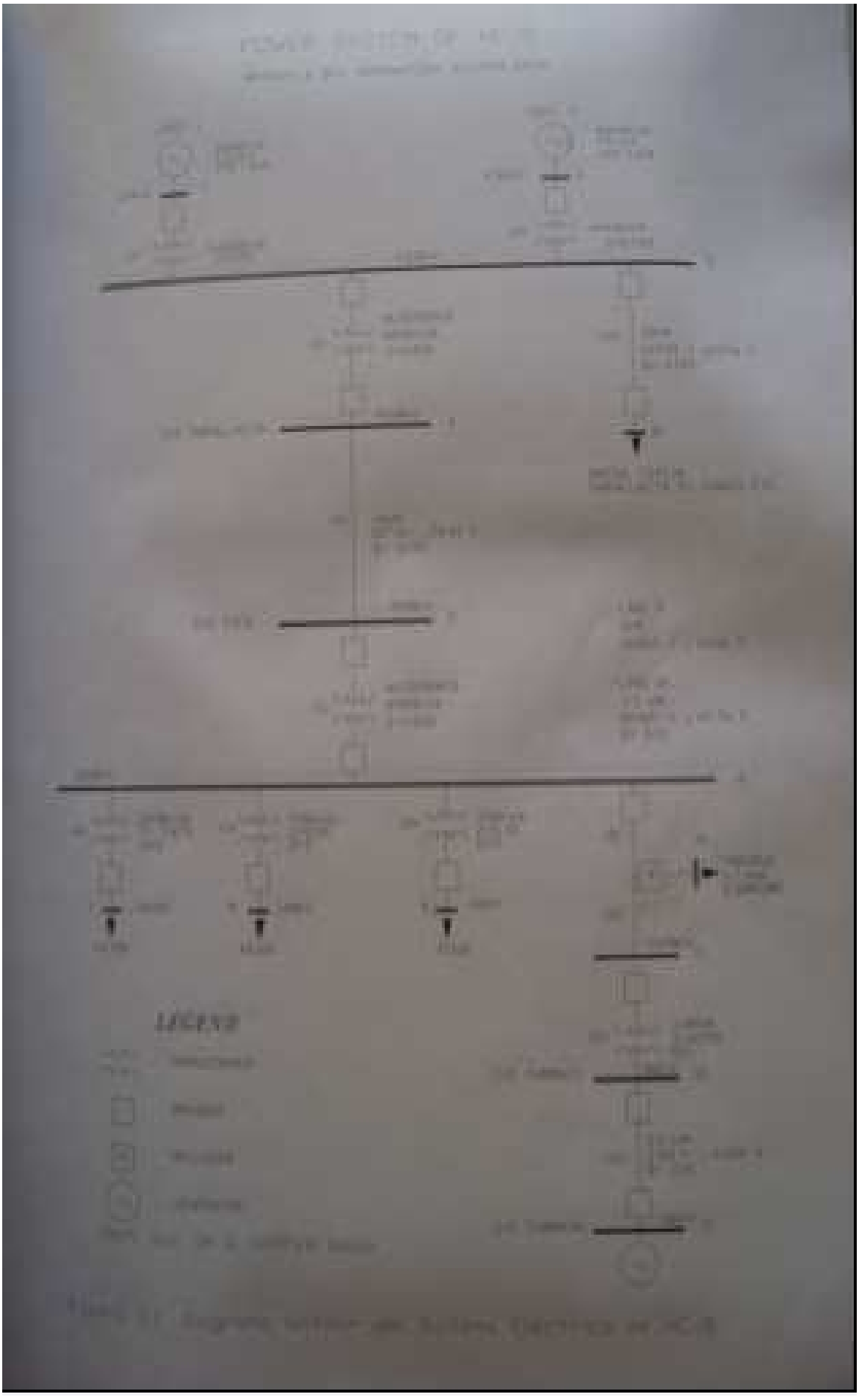
3.1 DESCONEXIÓN DEL ALIMENTADOR A LA EEQSA EN PIFO PARA DIFERENTES CONDICIONES DE EXPORTACIÓN

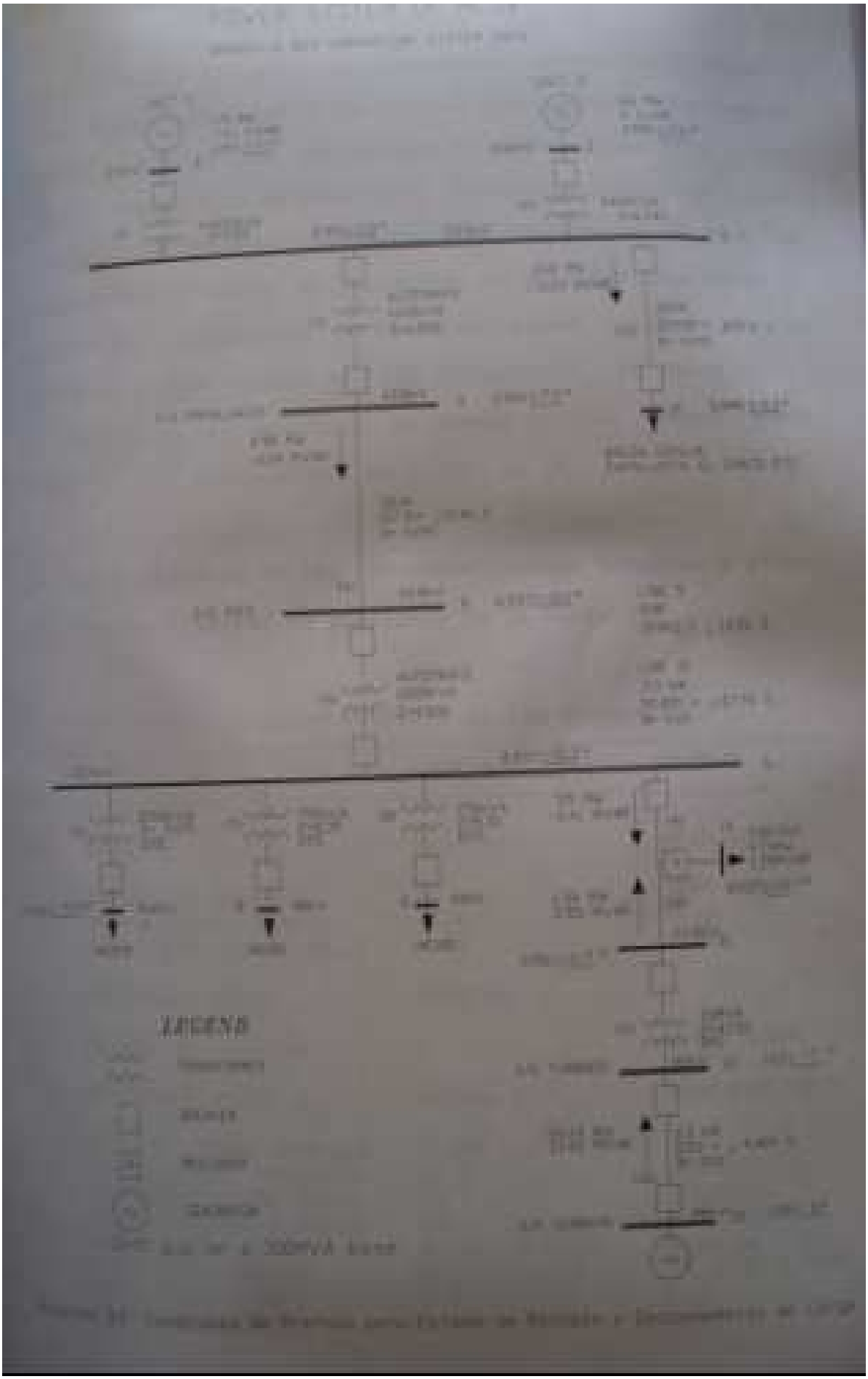
El alimentador de la EEQSA destinado para el sistema de HCJB corresponde al primario C de la S/E Tumbaco, de un total de 4 alimentadores que se encuentran interconectados con las Centrales Hidroeléctricas Cumbaya, Nayón, y la S/E Norte.

En el anexo 2 se presenta un diagrama de 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 en 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 falla para el estudio de Rechazo y Seccionamiento de carga para el caso de 3.5 MW de exportación a la EEQSA en Pifo.





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 transiet 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 kgm2
	Wáter column length	427m	580m
	Wáter time Constant	0.6s	0.81s
b)	FLYWHEEL: MASS	4535 kg	?
	Moment of Inertia	?	20040 kgm2
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 (máx.)	0.9	0.95

Tabla 3.1 Continuación

	UNIT 1	UNIT 2

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

Los datos técnicos par 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 (X1)	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*
Máximum 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*

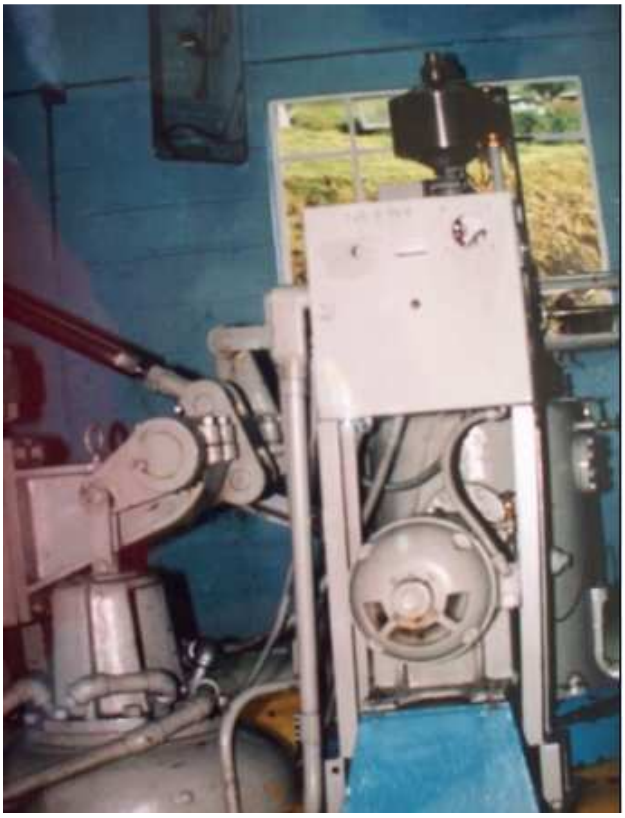
Note: *= Assumed data

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

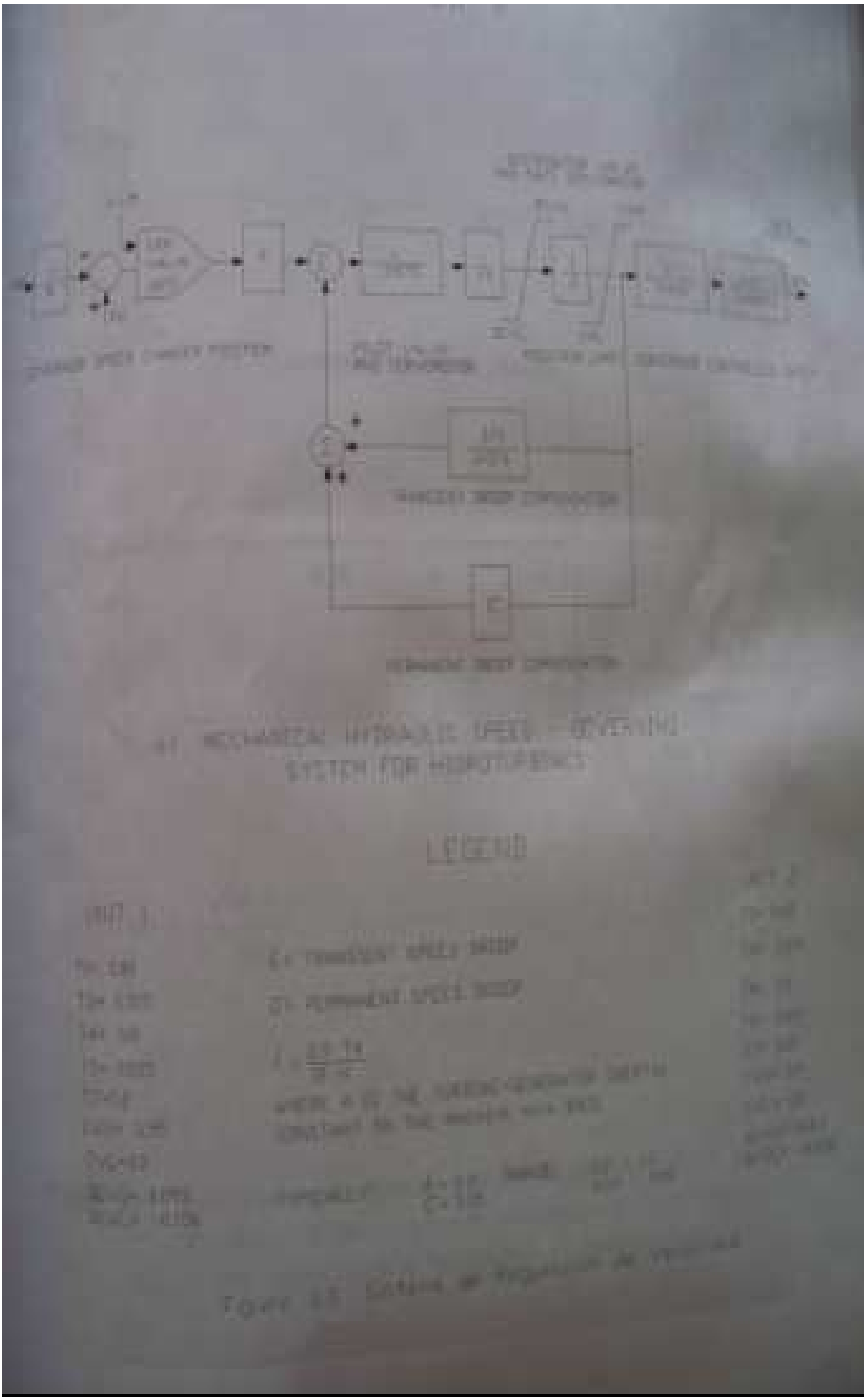
En la figura 3.3 se presenta el diagrama de bloques del sistema mecánico hidráulico de los reguladores de velocidad para las dos turbinas hidráulicas del sistema de HCJB.

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 Cada control.

FOTOGRAFIA 3.1.2 REGULADOR DE VELOCIDAD DE LA UNIDAD 2



FOTOGRAFIA 3.1.1 REGULADORES DE VELOCIDAD DE LA UNIDAD 1



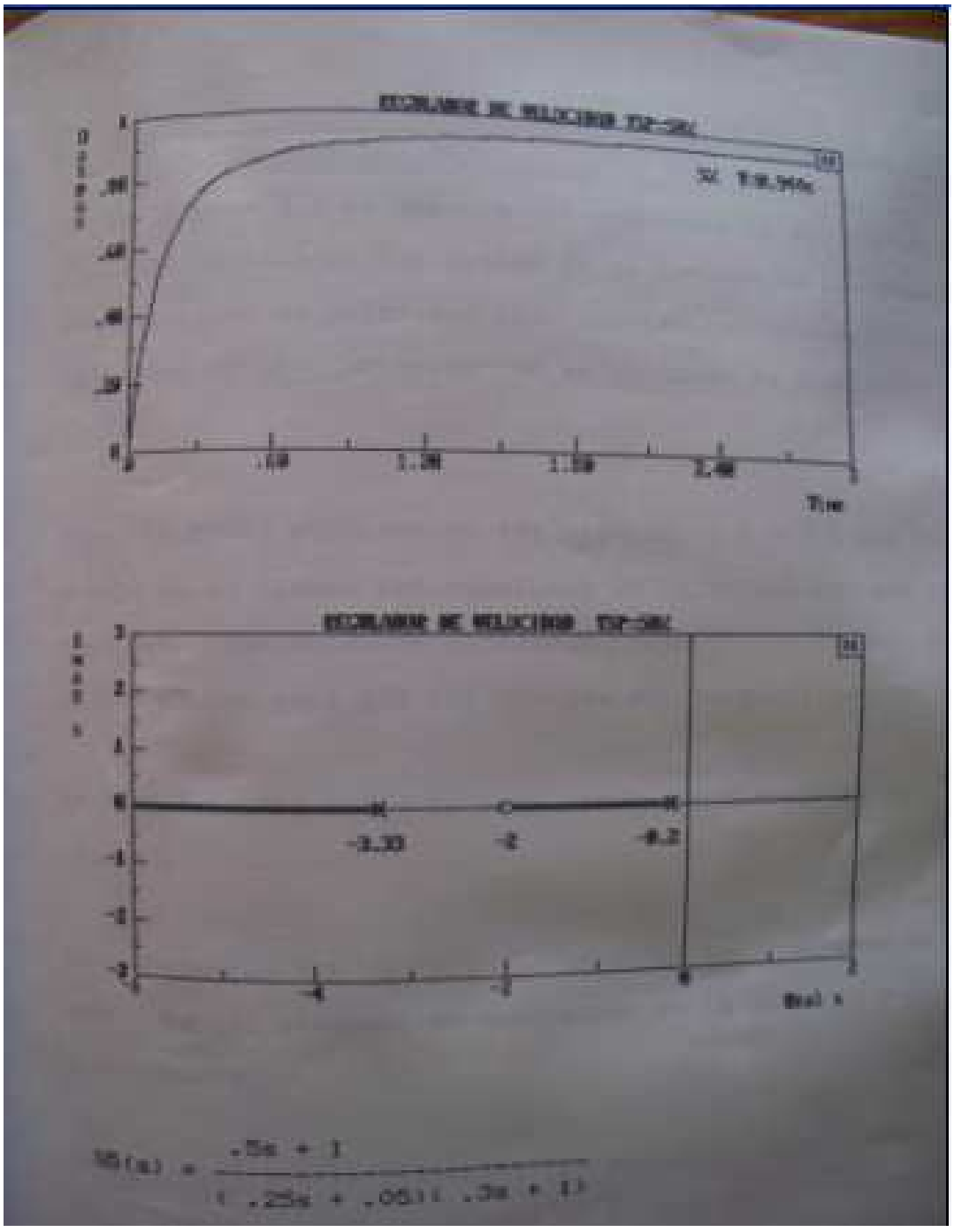


Figura 3.4 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrica de las Raíces
Regulador de Velocidad con un Transient Speed Droop
De 50% (Aproximado a un Sistema de Segundo Orden)

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 cada control.

Como se puede observar en las figuras 3.4 y 3.5 que la respuesta en el tiempo del regulador 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 respuestas 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.

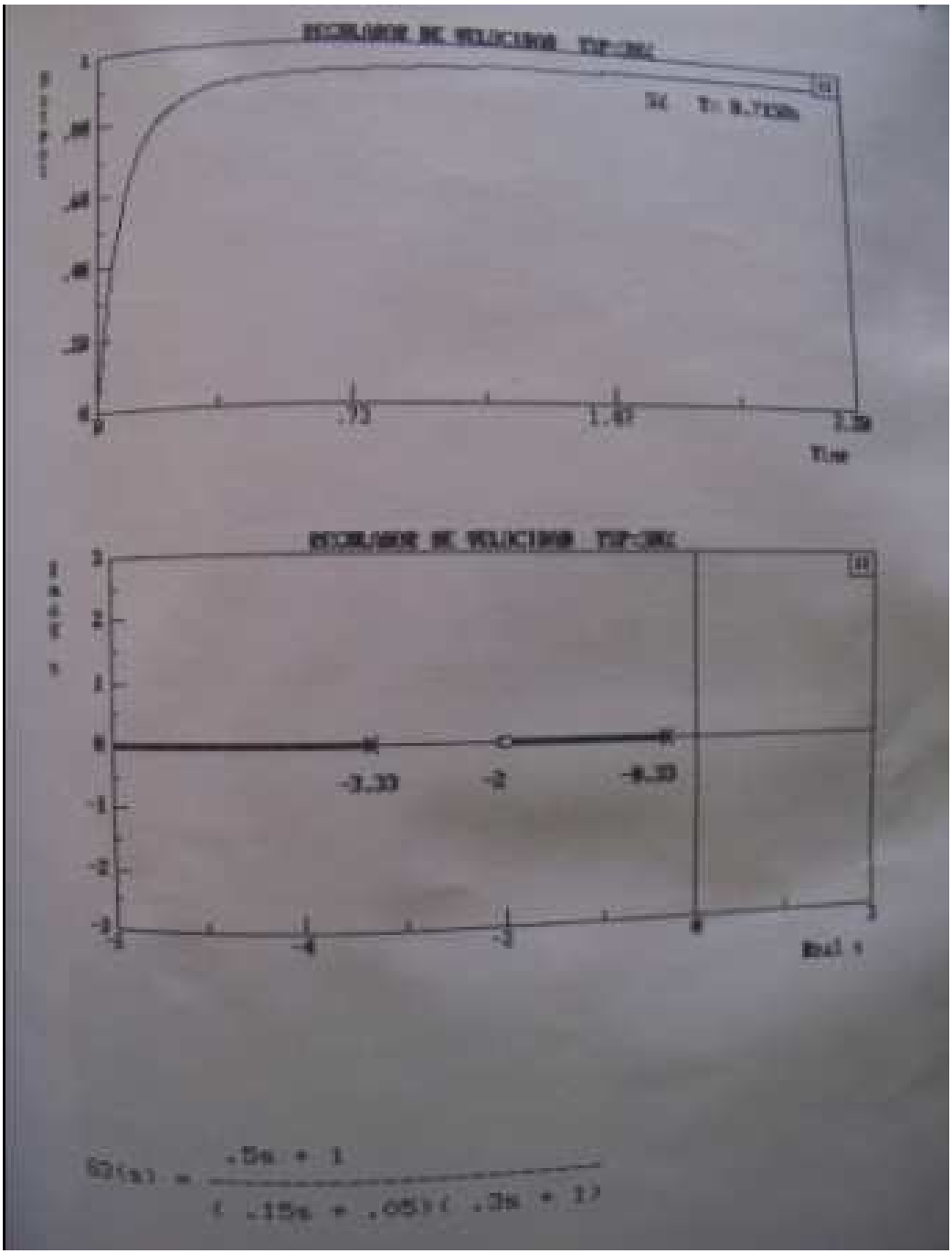
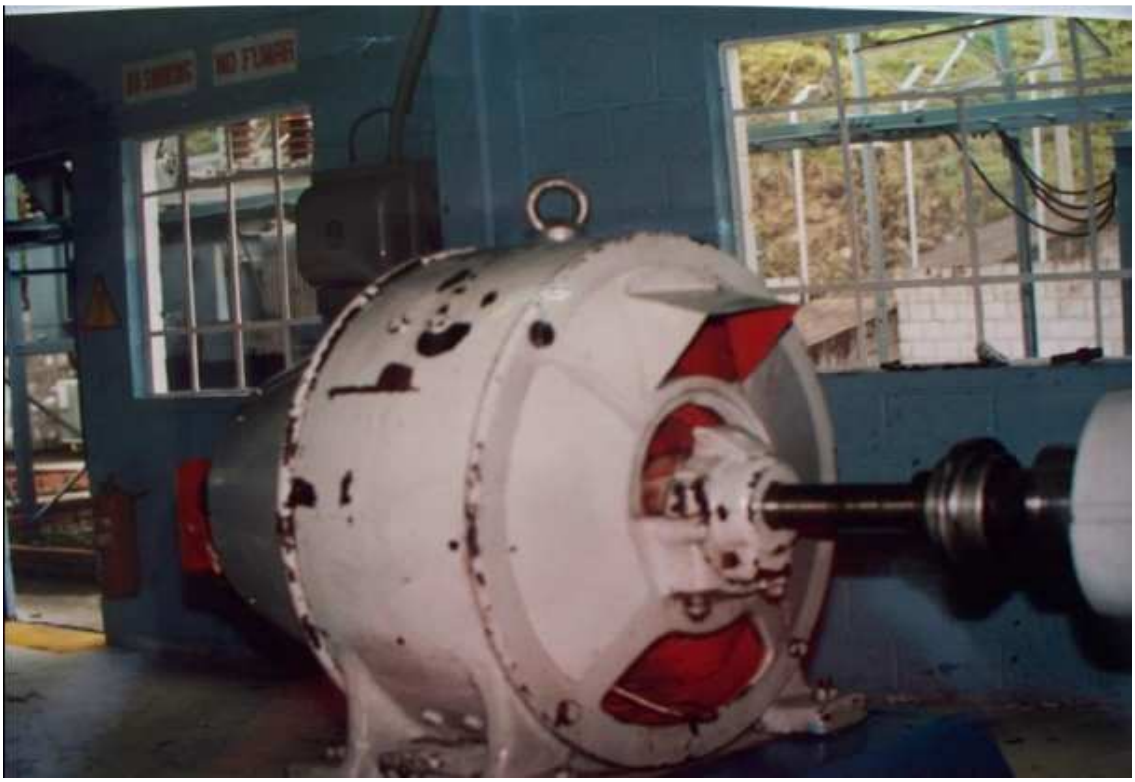
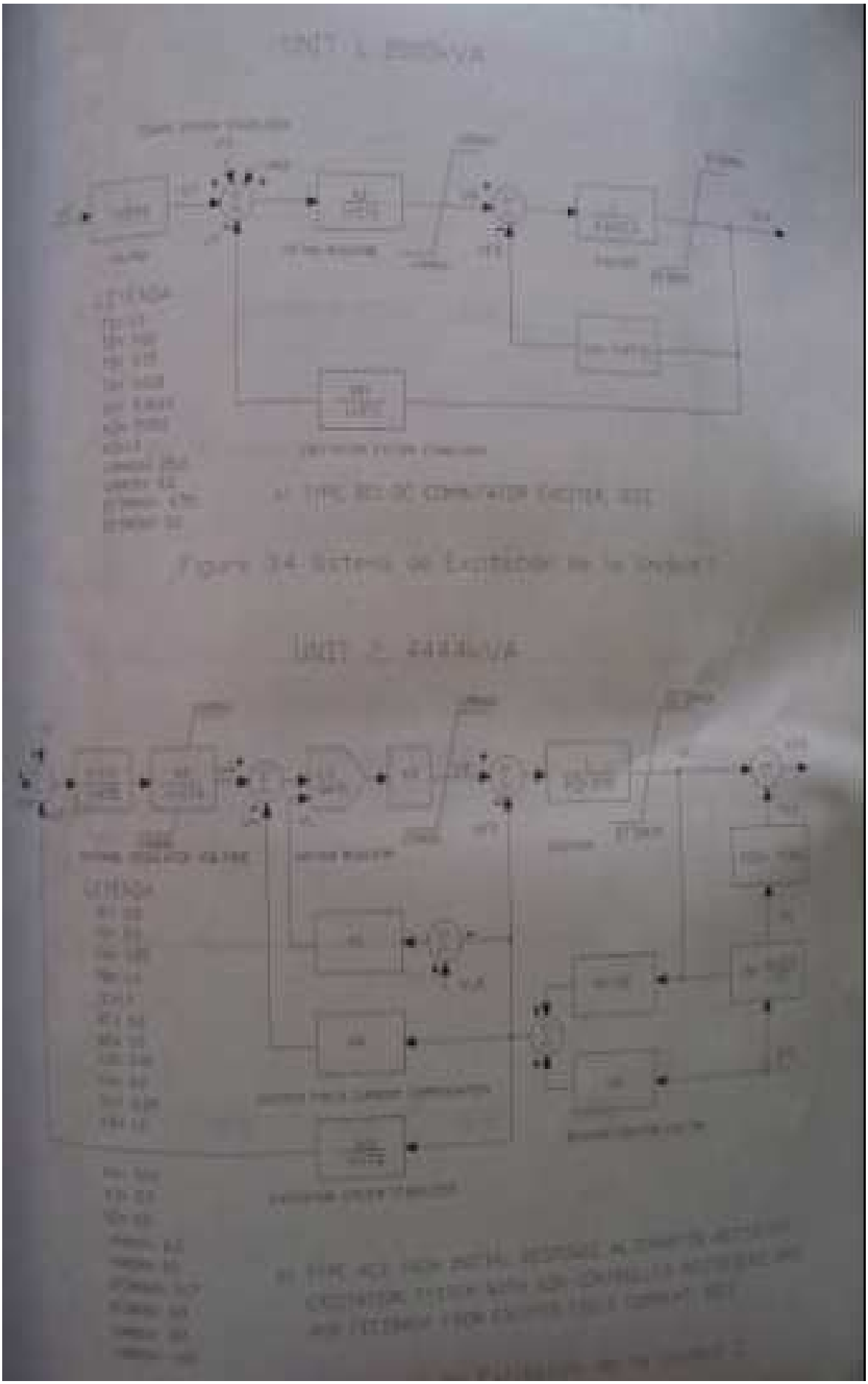


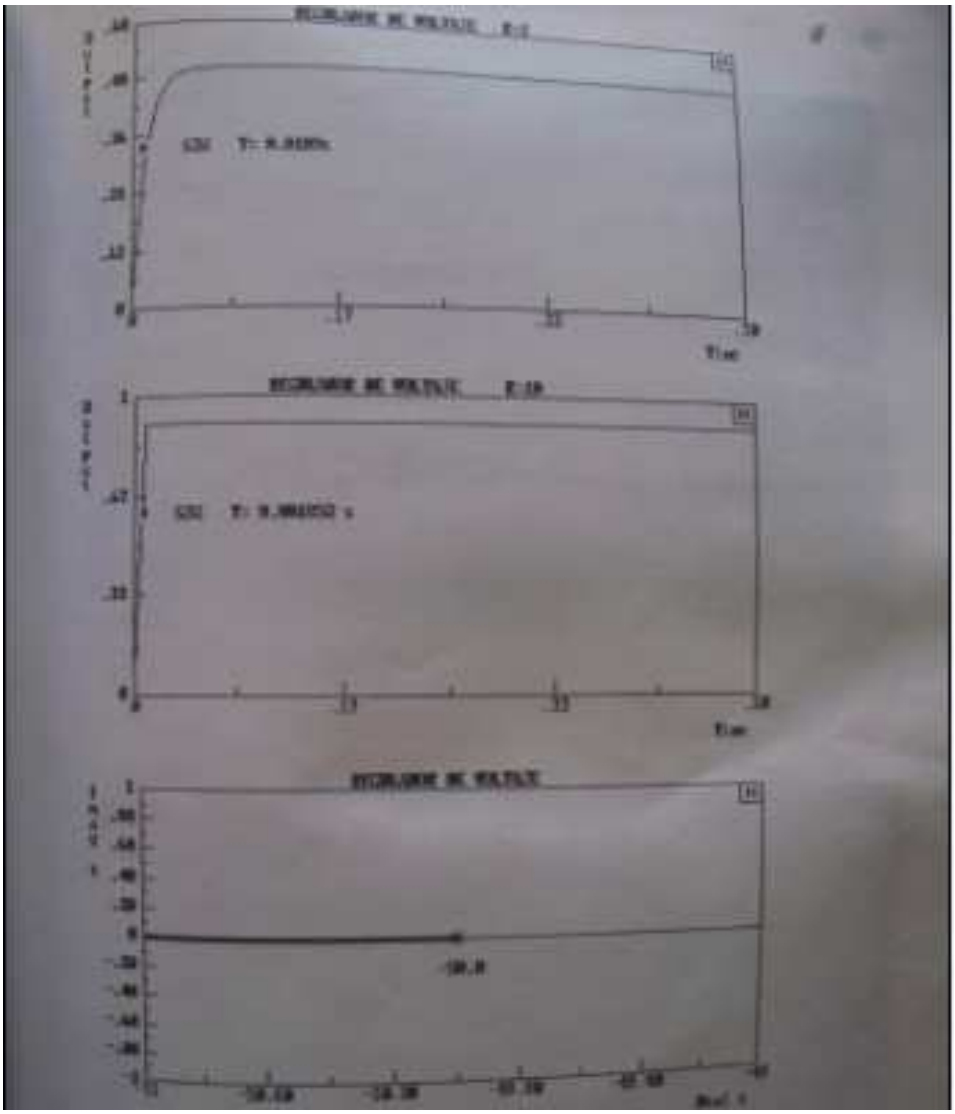
Figura 3.5 Respuesta en el tiempo y lugar Geométrico de las Raíces
Regulador de Velocidad con una Regulación Transitoria
de Velocidad del 30% (Aproximado Sistema de Segundo Orden)

FOTOGRAFÍA 3.1.3 PANEL DE PROTECCIÓN DE LA UNIDAD 2 (CONTINUACIÓN)



FOTOGRAFÍA 3.1.4 EXCITATRIZ DE LA UNIDAD 1





G10 (s)= 1/.02S+1

G13(s)= 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 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 d 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=501% 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=0.0109s) 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 alcance fundamental entre la potencia mecánica de la turbina y la potencia eléctrica generada.

El toque mecánico de la turbina que luego se transforma en potencia activa generada en función de (Wm), como se puede observar en la ecuación.

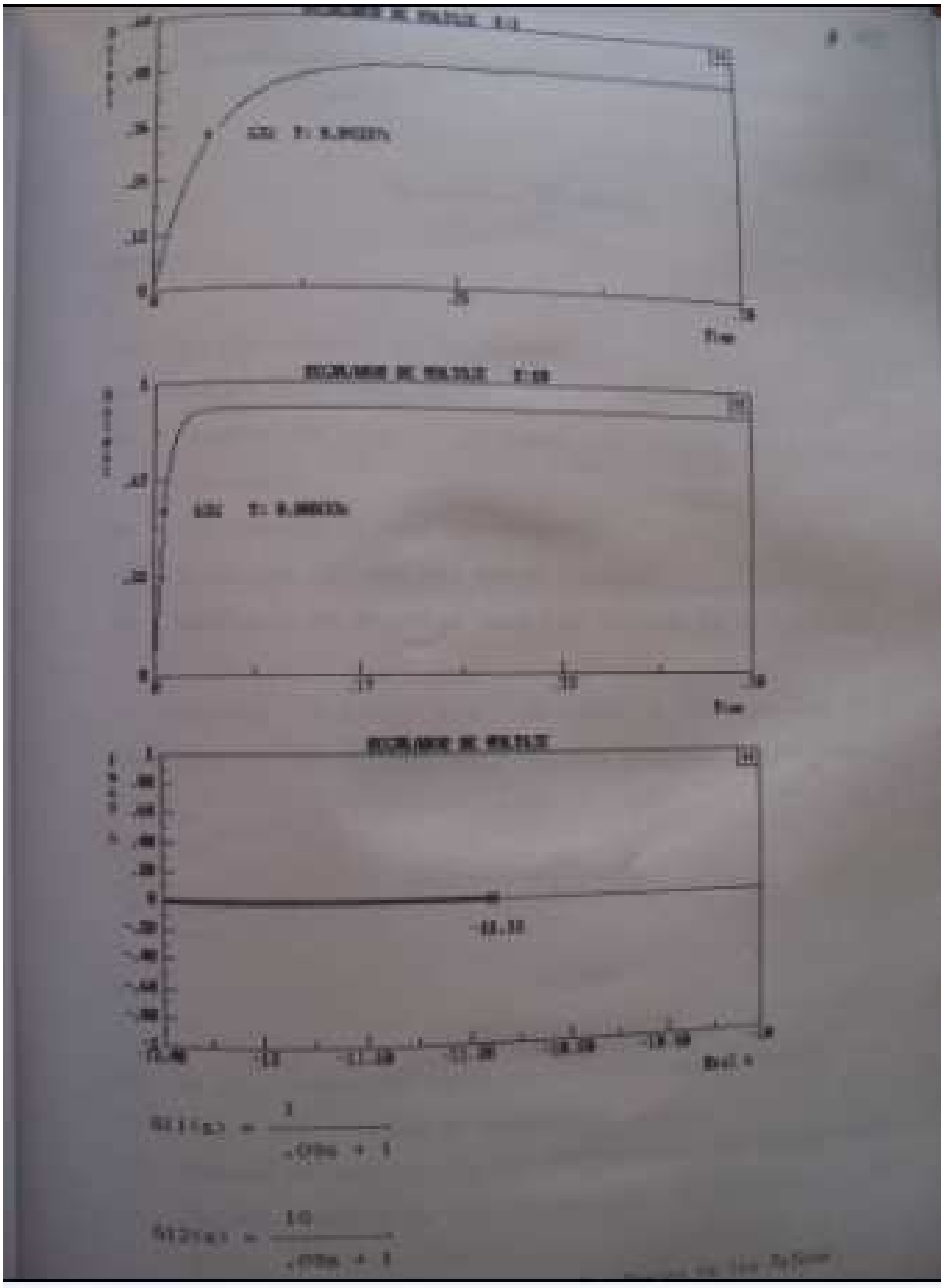
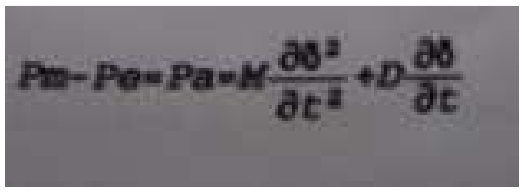


Figura 3.9 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces Regulador de Voltaje, Sistema de Primer Orden variando la ganancia de 1 a 10.

Donde:

Tm=	Torque mecánico de la turbina
Te=	Torque electromagnético
M=	Momento de la inercia de todas las partes rotativas del sistema
B=	Coeficiente del amortiguamiento
Wm=	Velocidad del eje del rotor (do/dt)
Ko=	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 maquinas sincrónicas.



Donde:

Pm=	Es la potencia mecánica de las maquinas impulsoras
Pe=	Potencia Eléctrica de generación
M=	Momento de inercia equivalente de todas las partes móviles del generador, que en función de la c9onstante de inercia H Equivalente en p.u. (Velocidad do/dt en p.u.) es:

M= 2 H p.u. (3.3)

Para un sistema multimáquina:

$$Heq = \sum_{i=1}^{n} Hi \frac{Si}{SB}$$

Siendo Hi la constante de inercia de cada generador expresado en sus propias bases Si (MVA), SB 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:

$$\frac{H}{\Pi f} \frac{\partial \delta^2}{\partial t^2} + D \frac{\partial \delta}{\partial t} = Pm - Pe$$

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 Iníciales 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 Condiciones Iníciales de Operación (**)

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 iníciales de simulación se corre flujos de potencia con un mis match de 1x10^-7. Luego, se simula el rechazo de carga abriendo la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-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 25ms.

La carga del sistema de potencia de HCJB a mas 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 (Po, Qo= 0), corriente (P1, Q1= 1) y potencia constante (P2, Q2= 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 es 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 cao 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 115VAC ; su punto de caída es ajustado a 66.6 Hz (820 r.p.m, 113.8%) y su tiempo d respuesta instantáneo (4).

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

aproximadamente 1.5 VA, tiempo de respuesta t= /f (f= frecuencia fijada), Salida: 4A/250VAC/500VAC, histérisis: aproximadamente 5% , circuito de control: duración mínima 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 este casó (3.5MW de exportación a la EEQSA en Pifo) actúa también en 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 -20ºC a +55ºC, ajuste del nivel de potencia inversa 0.5 a 99.9 W, Ajuste del tiempo del 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 relé de potencia inversa PRP 360, el dispositivo provee continuamente ajustes de la sensitividad 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 sensitiva 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 a 7 s, rango de temperatura ambiente de -20ºC a 50ºC; su puesto 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 DE RANGO DE Kw
Hidroturbinas	0.2 a 2.0
Turbinas a vapor (condesadas y no condesadas)	> 3.0
Inyección a Diesel	25
Turbinas a gas	50 (debido a la comprensión 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 SISTEM 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 ALRTEADY.
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 el 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:

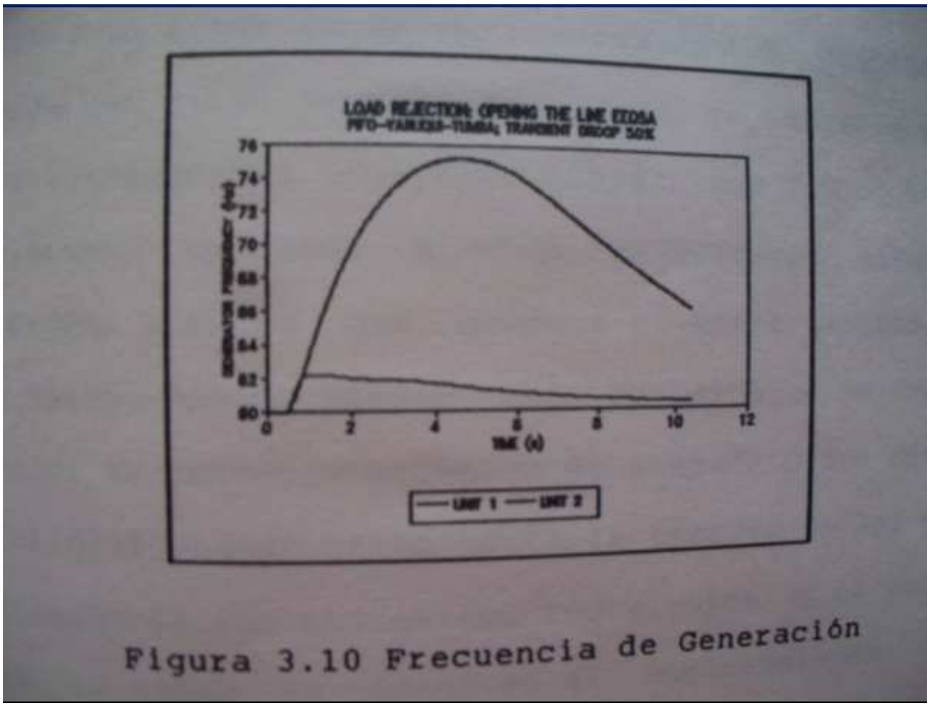


Figura 3.10 Frecuencia de Generación

Como se puede observar hasta antes de la apertura de la línea se obtiene una frecuencia en estado estable de 60Hz, luego de la perturbación la frecuencia de las unidades tiende a aumentar debido a la pérdida de carga eléctrica (hay una potencia acelere ante resultante). Las dos unidades se mueven en conjunto (están separadas únicamente por la reactancia de sus transformadores de evaluación) 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 de relé de potencia inversa de la unidad 1 tiende a disminuir su frecuencia 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 de potencia eléctrica entregada se hace cero (Pe=0); por tanto; la potencia acelerante es igual a toda la potencia mecánica de entrada Pa=Pm, y es la que produce el aceleramiento de las máquinas hasta cuando actúen los reguladores de velocidad disminuyendo la potencia mecánica de entrada a 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.

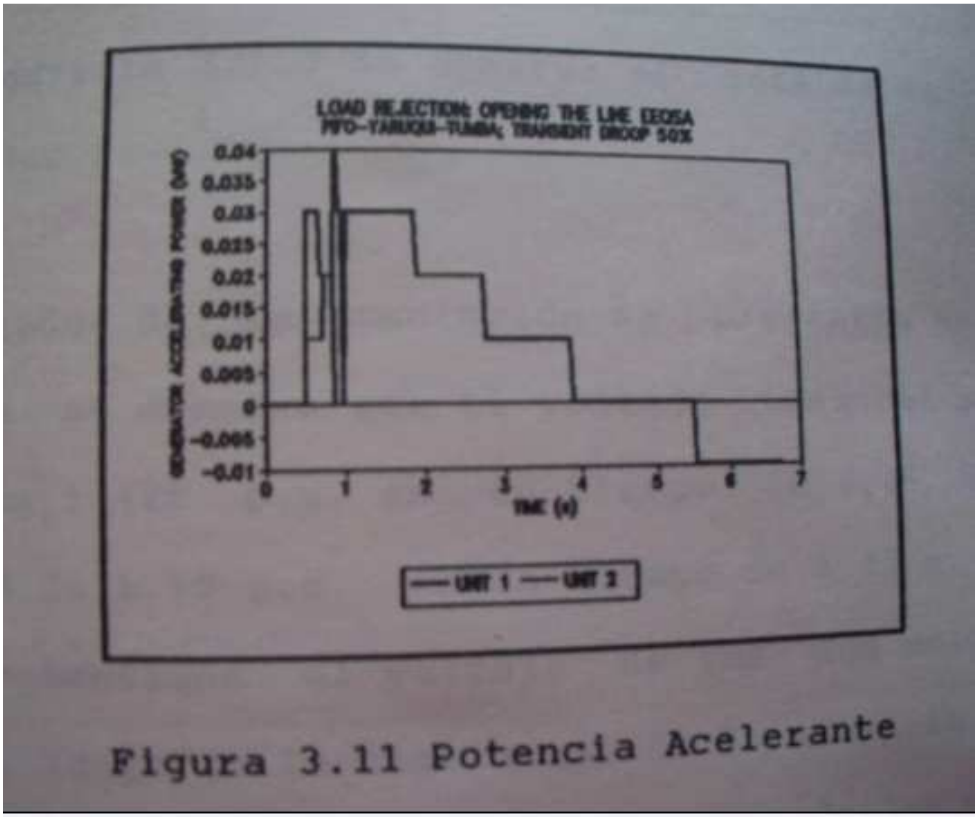


Figura 3.11 Potencia Acelerante

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 BoveriI tipo USM, con un tiempo de Sobrevoltaje ajustable dentro de un rango independiente de la fuente de alimentación, la frecuencia de operación e desde 40 a 60 Hz, la alimentación para l bobina es 100/110 voltios, el ajuste del setpoint del relé es de 100 a 160 VAC; su punto de caída está fijando en 132 VAC (120%) para un tiempo d respuesta de 2.5 s (9).

En la fotografía 3.1.3 se observa el relé del 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 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 de sus 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.

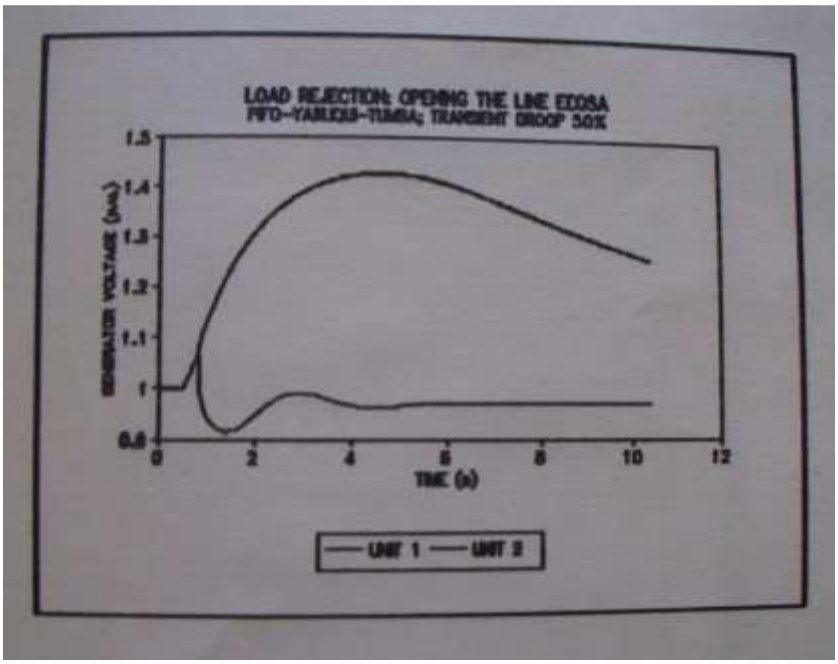


Figura 3.12 Voltaje Terminal del Generador

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE EEGSA-PPG YARUQUI-TUMBACO
TRANSIENT SPEED DROOP 60%

CASE EXPORT TO EEGSA (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 6 HC130 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 6 HC130 (p.u)	TIME (s)
0.0			62.62	3.00			1.074	3.60	62.62	3.00	62.63	3.00	1.07	0.73	1.08	0.78
1.0			65.53	3.49			1.098	3.75	65.53	3.37	65.53	2.37	1.13	0.91	1.09	0.93
1.5			65.09	4.75			1.272	5.06	59.70	4.78	65.70	4.78	1.27	4.62	1.27	5.13
2.0	64.84	3.00	64.62	3.10	1.050	0.52	1.038	3.50	64.62	3.10	64.64	3.07	1.04	0.50	1.05	0.52
2.5	66.50	4.60	66.62	3.00	1.087	0.66	1.071	3.00	66.62	3.20	66.63	4.60	1.07	0.70	1.09	0.66
3.0	72.29	4.12	69.98	3.70	1.136	0.80	1.118	1.10	69.97	3.70	72.00	3.72	1.13	0.80	1.15	0.80
3.5 *	75.18	4.66	62.18	1.10	1.425	4.46	1.080	0.83	62.17	1.20	75.15	4.46	1.08	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; rectificada por un conversor 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 reóstato.

Un problema muy frecuente en generadores sincrónico es la sobreexcitación que puede ser causada por fallas de regulador de voltaje, rechazo de carga o una excesiva excitación.
También puede resultar por el descrecimiento de la velocidad, mientras el regulador o un operador intentan 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 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 algunas fluctuaciones de voltaje con el generador. Esas resistencias son dos de 50 K 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 sobre impulso 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 sobre impulso de 13%.

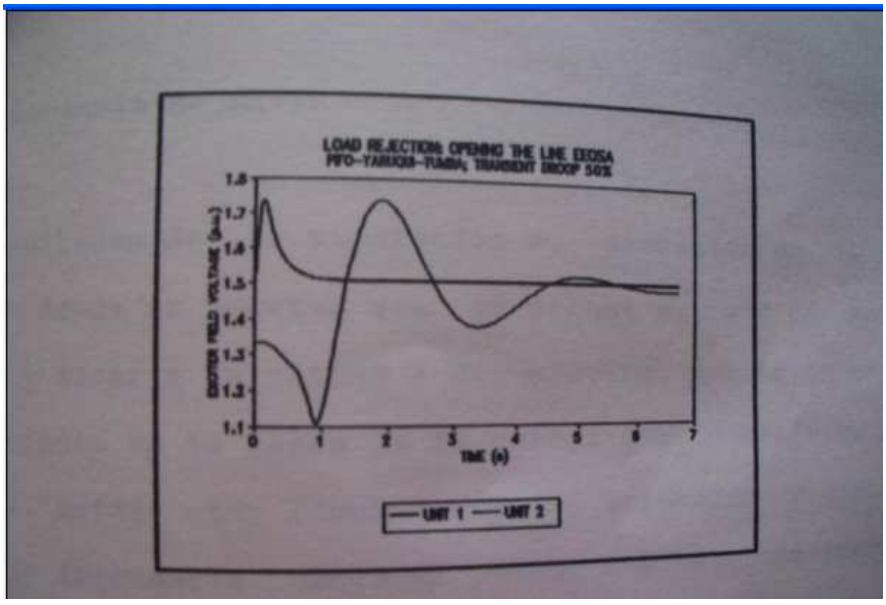


Figura 3.13 Voltaje de Excitación del Campo

Hay que enfatizar que los reguladores de voltaje son mucho más rápidos que los reguladores de velocidad, debido a las constantes 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 conversor de seis pulsos de rápida respuesta, razón por la cual su característica es una onda oscilatoria amortiguada, en cambio que la unidad 1 (2000 kVA)

Su regulador de voltaje es mediante un reostado 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 de la cual actúan los reguladores de velocidad y tienden a bajar la 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.

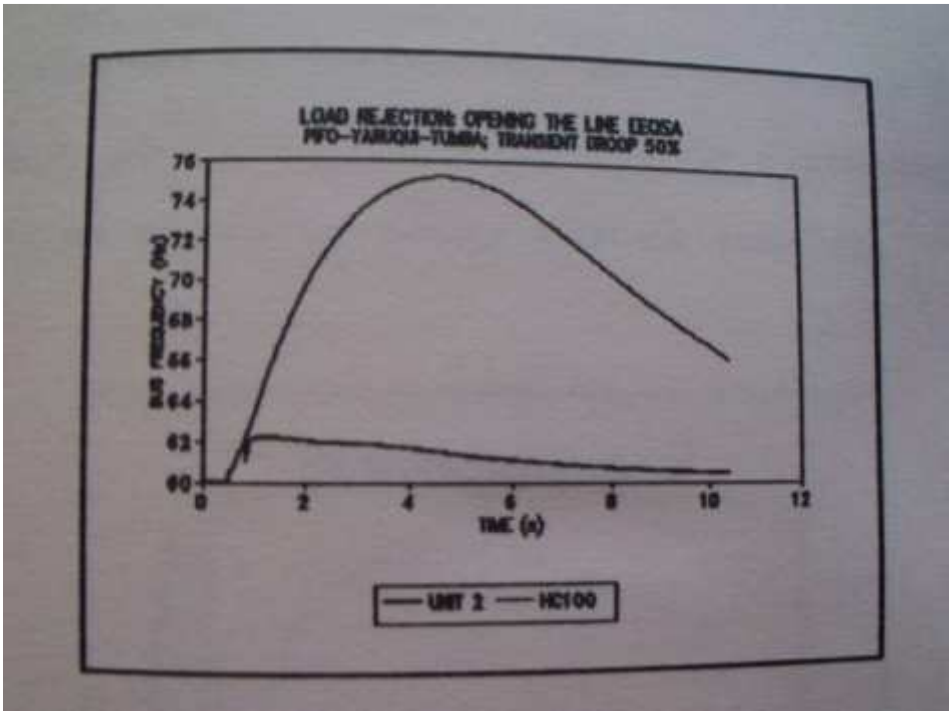


Figura 3.14 Frecuencia de Barra

c) 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 (+- 120%, tiempo de respuesta 2.5 s) aislándoles del sistema.

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

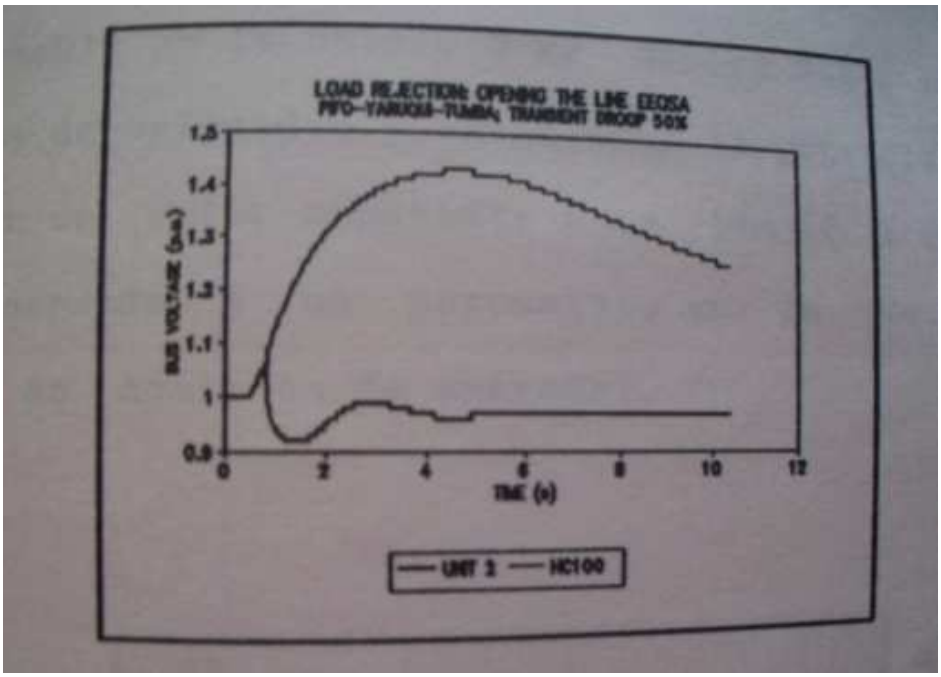


Figura 3.15 Voltaje de Barra

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 iníciales 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 cambiar 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 de un valor constante para los 10 s de simulación (que corresponde a un porcentaje en la posición de las compuertas de admisión de entrada).

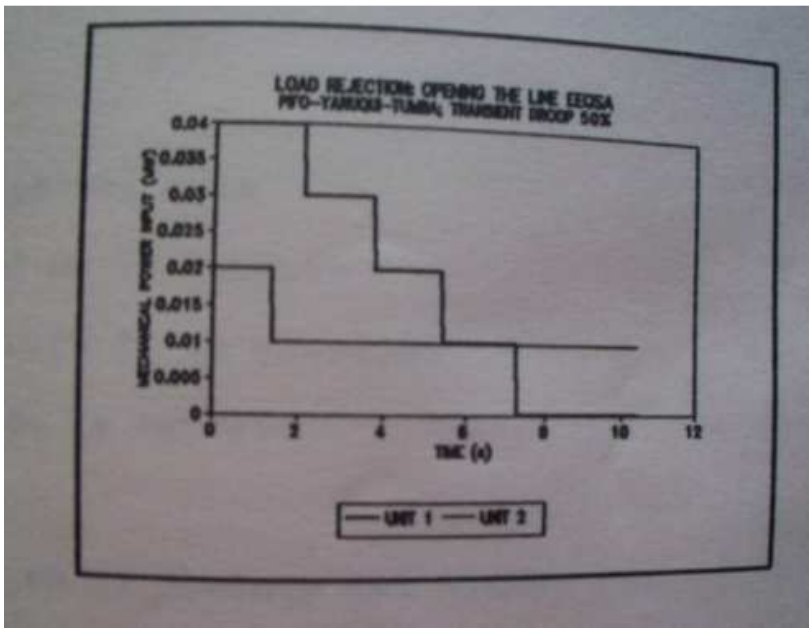
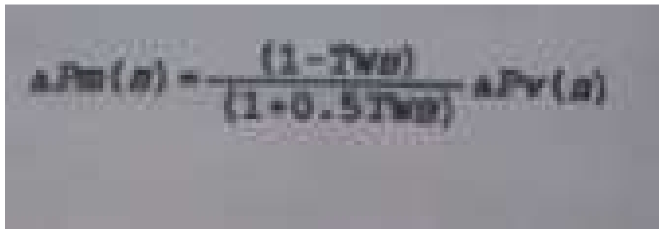


Figura 3.16 Potencia Mecánica de Entrada

Al abrirse las válvulas o compuertas de entrada a la turbina, el efecto inicial es 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.



Donde:

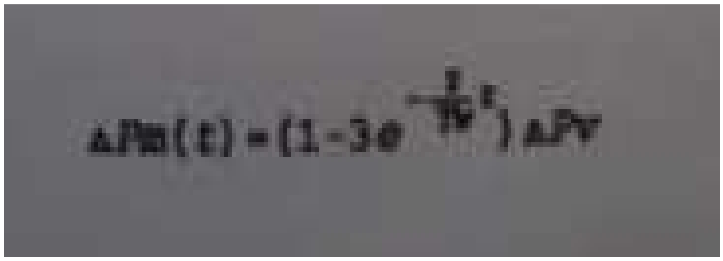
u= Velocidad de agua

L= Longitud de la tubería

g= Aceleración de la gravedad

H= Altura de la tubería

La respuesta en el dominio del tiempo es:



La constante de tiempo es t= Tw/2; Tw depende de la carga con que se halle la turbina; en relación directa, así si la maquina esta 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 de tiempo y de las frecuencias 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 comprensibilidad 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, etas 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 de un gobernador estaba en un 32%, en el momento de la perturbación de establece en 24% para un tiempo de 3 s y después de la perturbación se sitúa en 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.

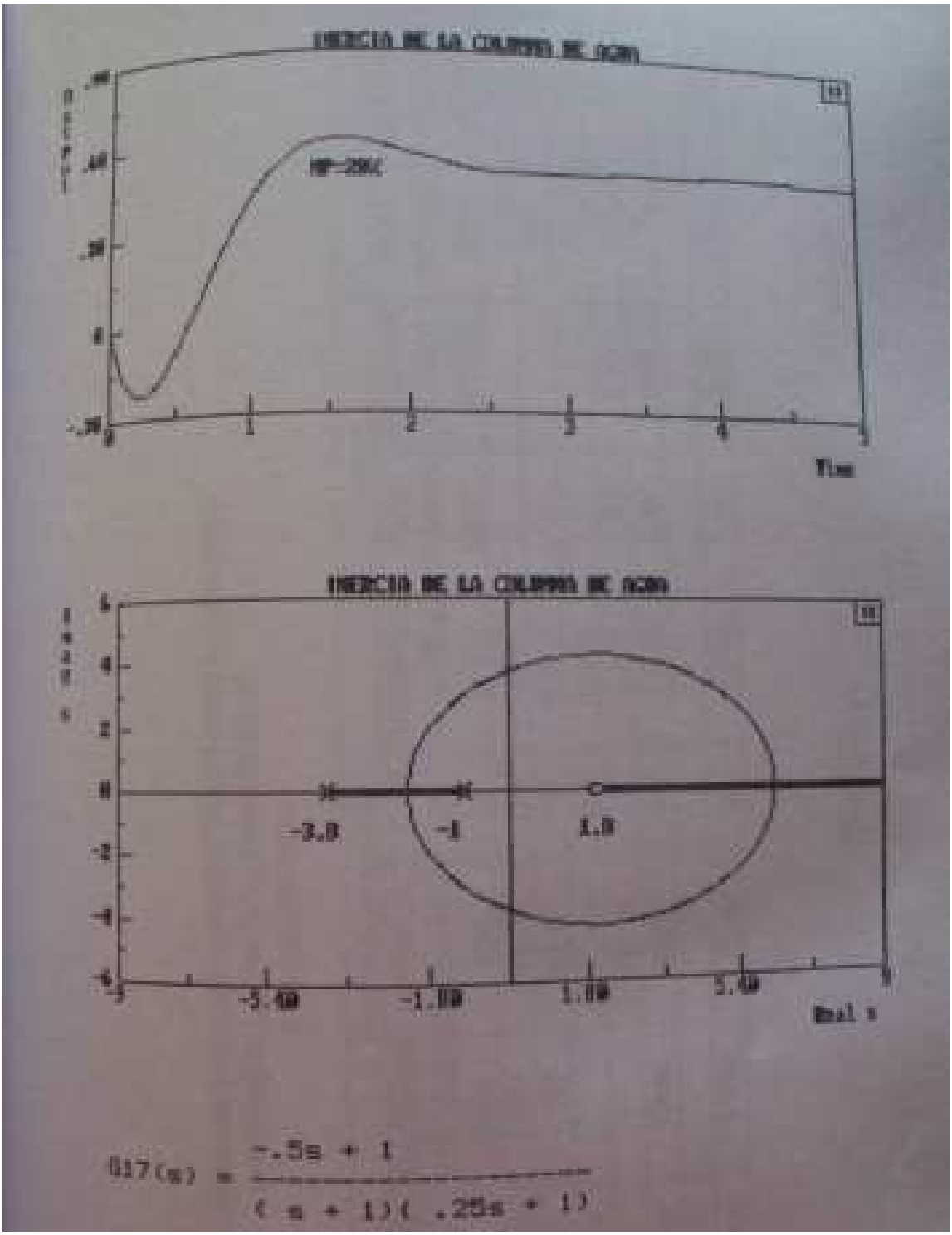


Figura 3.10 Respuesta en el Tiempo y Lugar Geométrico de las Raíces

Inercia de la Columna de Agua (Sistema de Fase no Mínima)

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE EEQSA-PIFO-YARUQUI-TUMBACO
PIFO/PAPALLACTA/EEQ POWER TEST
6TH AGUST 1994

	PAPALLACTA POWER PLANT			PIFO TRANSMITTION PLANT			UNIT 1		UNIT 2	
CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	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	6.6	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	67.6	8.3	1.045	67.90	8.3	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-RFO-YARUQUI-TUMBACO
RFO/PAPALLACTA/EEQ POWER TEST
8TH AGUST 1994

GOVERNOR POSITION					UNIT 1					UNIT 2			
BEFORE		PEAK		AFTER	BEFORE			AFTER		BEFORE		AFTER	
%	TIME (s)	%	TIME (s)	%	TIME (s)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MW)	REAL POWER (MW)	REACTIVE POWER (MVAR)	REAL POWER (Mw)	REACTIVE POWER (MW)
32	0	24	3	26	15.00					2.00	0.10	1.80	0.10
		15		25						3.40	0.00		0.00
50		5		25						3.10	0.00	1.40	0.30
45		0		14		1.20	0.75	0.600	0.25	2.20	0.00	0.50	0.00
45		0		13		1.25	0.00	0.485	0.13	2.60	0.00	0.80	0.00
						1.50	-0.10	0.428	0.25	3.60	3.80	0.70	0.00

TABLA 3.13 (CONTINUACION)

Los fabricantes de turbinas hidroeléctricas recomiendan hacer pruebas de rechazo de carga cada 2 años, debido a que no son pruebas de rutina y pueden ocasionar problemas serios a las maquinas.

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 comprables a la EEQSA se observan 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 siguiente 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 grafico 3.17, en donde se observa que inicialmente las 2 unidades se 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 en 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.).

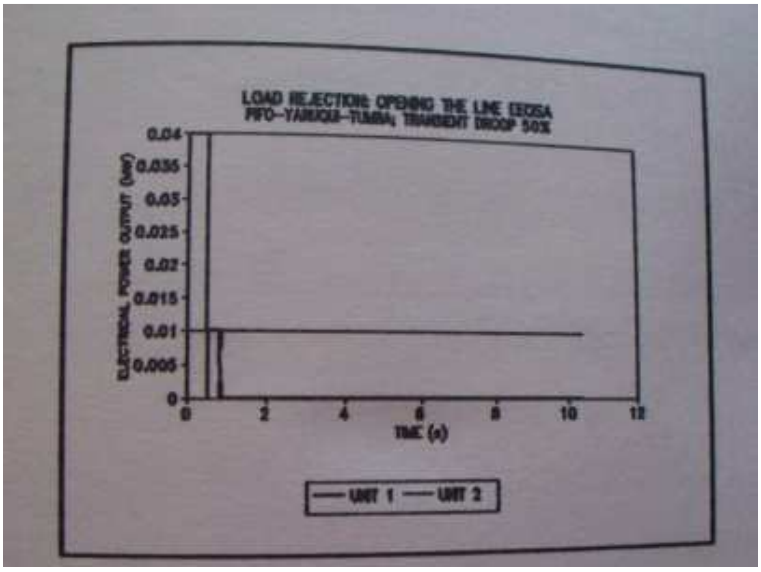


Figura 3.17 Potencia Eléctrica de Salida

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 SISTEM SPLIT. MAX. REGIONS =2
TT=	10.25	END OF THE CASE STUDY.

a) Frecuencia Del Generador

Los resultados de la simulación se presentan n 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 Cumbaya 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 actúa el regulador 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 Cumbaya se observa en 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.

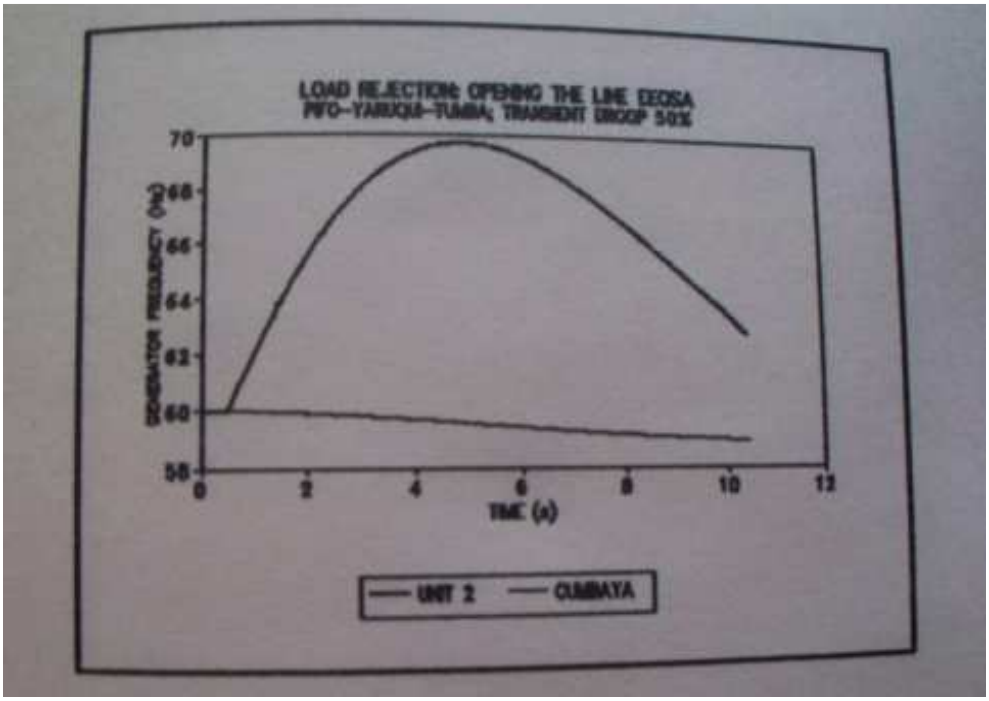


Figura 3.18 Frecuencia de Generador

Los resultados de la simulación se presentan 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 Cumbaya se mantienen en un valor constante, luego de la apertura del alimentador de la EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, el voltaje de la unidad 2 crece hasta un valor máximo luego de la cual disminuye por acción del regulador de voltaje hasta un valor bastante menor hasta en un tiempo aproximado de 5 s; en cambio en el voltaje de Cumbaya hay un sobreimpulso de 2% inicial y luego tiende a disminuir a un valor fijo cercano al inicial.

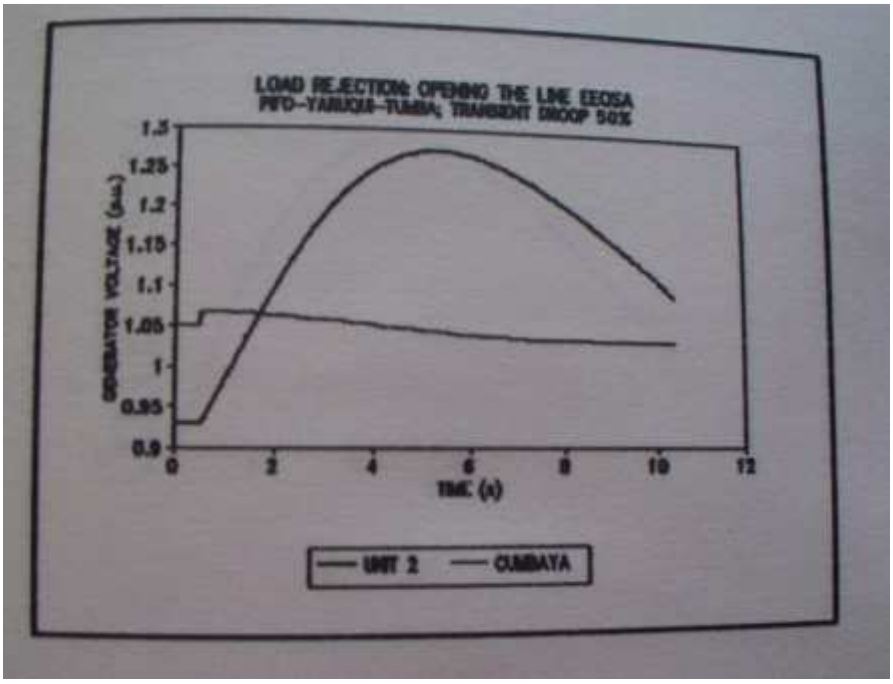


Figura 3.19 Voltaje Terminal del Generador

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 dela apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-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 al nivel de la barra de carga son iguales, lo que implica que no existe un efecto notable de la impedancia entre la generación y la carga.

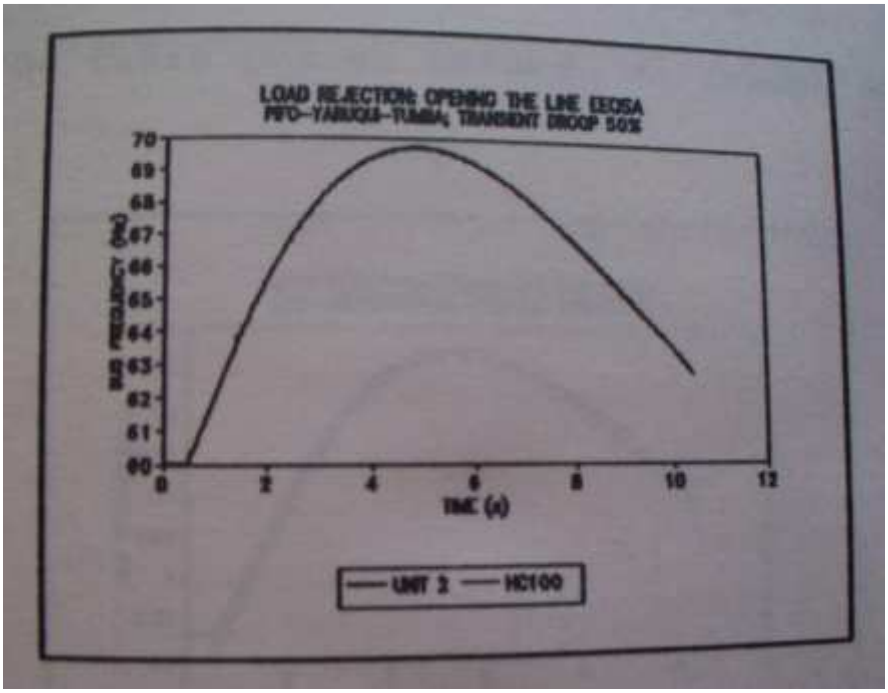


Figura 3.20 Frecuencia de Barra

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 5.13s.

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 de voltaje en la carga tiene un bajón, debido a la pérdida de potencia reactiva suministrada por la conexión con el sistema eléctrico Quito, luego de la 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 inerte.

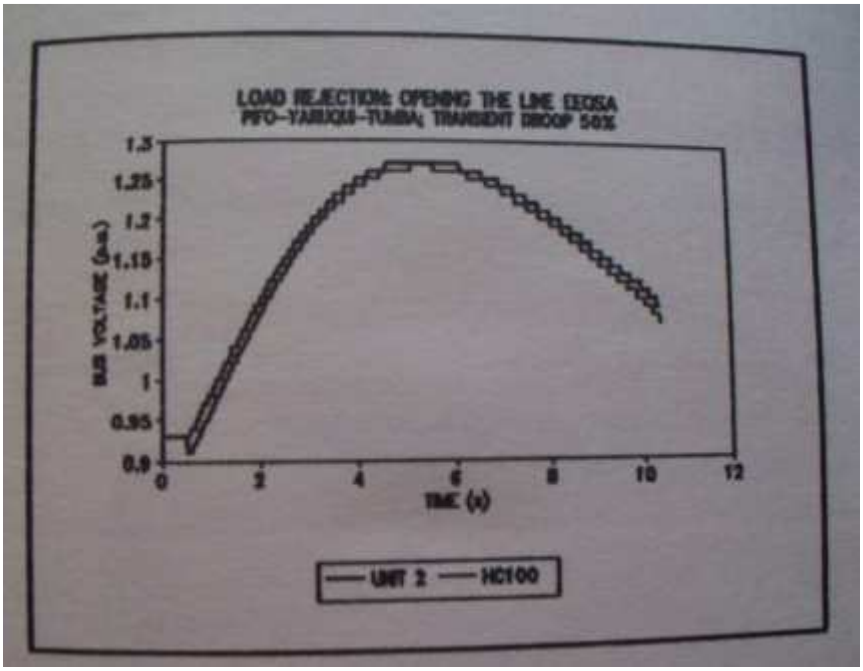


Figura 3.21 Voltaje de Barra

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 Cumbaya permanecen constantes en un valor inicial, luego de producirse la apertura de la línea EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco actúa el de regulador de velocidad de la unidad 2 en un tiempo de 3 s cerrando la entrada de admisión de agua a l 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 Cumbaya 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).

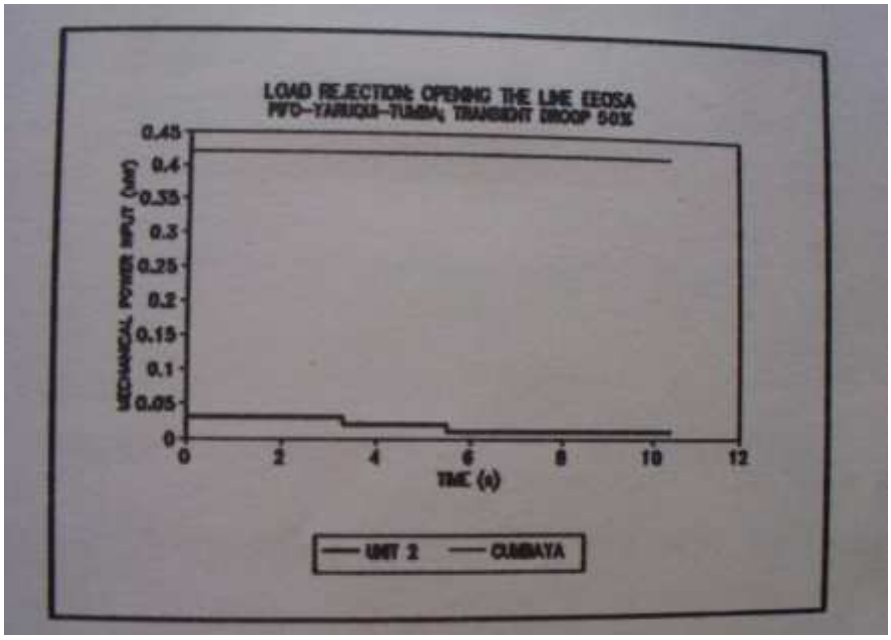


Figura 3.22 Potencia Mecánica de Entrada

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 Cumbaya 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 Cumbaya 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 del sistema Eléctrico HCJB).

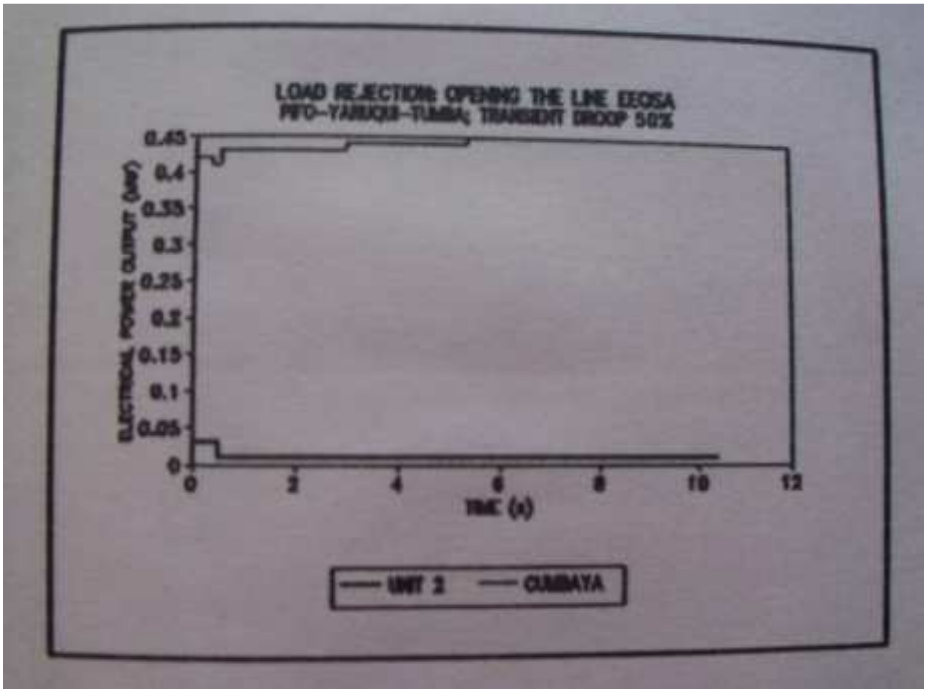


Figura 3.23 Potencia Eléctrica de Salida

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 de la EEQSA se presentan en el anexo 2.

3.1.3 FIJANDO LA REGULACIÓN 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 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)	TIME (s)	UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 3 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 9 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 3 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 9 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5			62.78	2.70			1.074	0.80	62.78	2.62	62.77	2.62	1.07	0.80	1.08	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	3.52	69.64	3.52	1.28	4.05	1.28	4.05
2.0	64.70	2.62	64.68	2.60	1.050	0.52	1.039	0.50	64.68	2.70	64.70	2.62	1.04	0.55	1.05	0.50
2.5	66.50	2.77	66.05	2.80	1.087	0.68	1.071	0.70	66.04	2.90	66.50	2.70	1.07	0.55	1.08	0.68
3.0	72.15	4.20	68.60	3.50	1.324	4.35	1.118	1.00	68.60	3.50	72.15	4.12	1.12	0.80	1.52	4.50
3.5 *	75.17	4.20	62.17	1.08	1.426	4.35	1.060	0.80	62.17	1.18	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 presentando es muy rápido para que actúe (censado y operación) el regulador de velocidad.

Al ocurrir un cambio brusco en la carga, oda 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 (Pm=0) se puede llegar a sobre frecuencias peligrosas; por lo tanto, la protección de Sobrevelocidad conectados (que son más rápidos que la actuación de los reguladores de velocidad).

3.2 DESCONEXIÓN DEL ALIMEMTADOR 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 este instante (respetando los horarios de transmisión) produce una máxima sobre frecuencia de 64.29 Hz en un tiempo d 3.37 s.

Este caso de operación del sistema eléctrico de HCJB ocurre

LOAD REJECTION OPENING THE P/FO TRANSMITTERS (HC500)
EXPORTING 0 MW TO ES'QSA IN P/FO TRANSMITTERS PLANT

TRANSIENT SPEED DROOP	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE				BUS MAXIMUM PEAK SHOT				BUS MAXIMUM RMS TIME			
	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 II HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 1 UNIT 1 (p.u.)	TIME (s)	BUS II HC100 (p.u.)	TIME (s)
50	64.29	3.37			1.095	0.80			64.29	3.37	64.29	3.37	1.10	0.88	1.10	0.88
30	64.20	3.22			1.000	0.56			64.20	3.22	64.20	3.22	1.09	0.58	1.09	0.55

TABLA 3.2

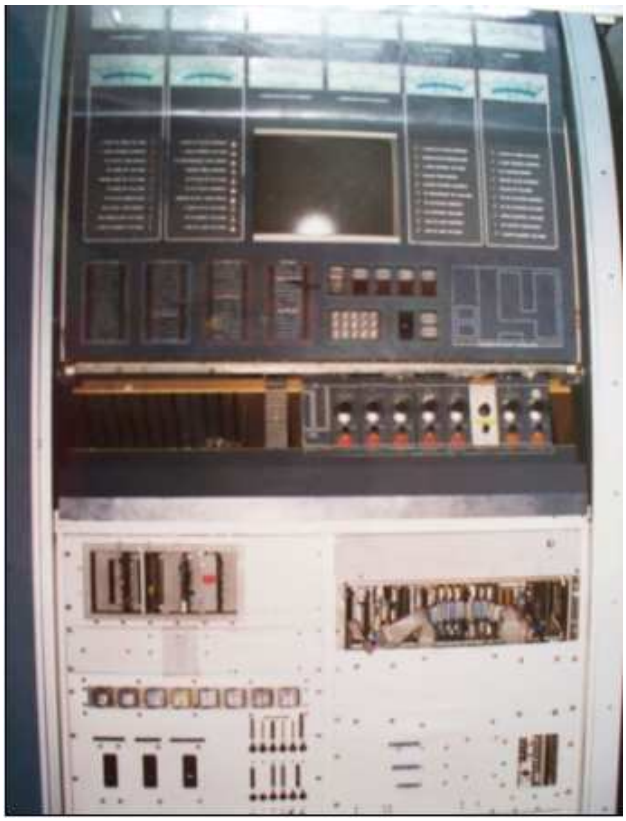
Cuando existe bajo nivel de agua en el reservorio de Papallacta y se tiene que operar con la unidad 1 y no con la unidad 2, que es lo usual, debido a que esta unidad es más eficiente con poco caudal d agua que la unidad 2, como se observa en la curva de potencia de generación vs caudal de agua presentada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

3.3. DESCONEXCIÓN DEL ALIMENTDOR A BAEZA

Se presenta 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 sobre frecuencia 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.



FOTOGRAFÍA 3.2.1 TRANSMISOR DE RADIO DIGITAL HC500

FOTOGRAFÍA 3.2.2 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN PARA LOS TRANSMISORES DE RADIO

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

	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTA				BUS MINIMUM FREQUENCY				BUS MINIMUM VOLTAGE			
TRANSIENT SPEED DROOP	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 6 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 1 UNIT 1 (p.u)	TIME (s)	BUS 6 HC100 (p.u)	TIME (s)
5C	62.78	2.62			1.074	0.60			62.78	2.62	62.77	2.62	1.07	0.40	1.06	0.45
3C	61.37	2.55			1.039	2.40			61.37	2.62	61.37	2.62	1.04	1.80	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 las tablas 3.4.1 y 3.4.2 par una 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 diferente condiciones de exportación a la EEQSA en Pifo y con los transmisores de radio fusionado de acurdo a su honorario 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 obtiene 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 este 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 baja de alimentar los transmisores de radio de Pifo.

LOAD REJECTION OPENING THE LINE HCIB-PAPALLACTA-PFC
TRANSIENT SPEED DROOP 30%

CASE EXPORT TO EECUA (MW)	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 (kV)	TIME (s)	BUS 5 HCIB2 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.	TIME (s)	BUS 5 HCIB2 (p.u.	TIME (s)
0.5			60.00	2.60			1.120	0.70	66.03	2.60	66.03	2.60	1.13	0.60	1.13	0.60
1.0			66.72	3.30			1.208	2.60	69.73	3.30	69.73	3.30	1.21	2.62	1.21	2.62
1.5			73.24	3.90			1.364	3.15	73.24	3.90	73.24	3.90	1.36	3.07	1.36	3.07
2.0	67.18	2.60	67.73	3.00	1.191	1.60	1.268	0.30	67.73	3.00	67.18	2.80	1.07	0.30	1.19	0.58
2.5	69.89	3.20	69.18	3.10	1.258	2.60	1.274	0.30	68.18	3.10	69.84	3.20	1.07	0.30	1.26	2.70
3.0	72.86	3.62	70.85	3.40	1.346	3.67	1.282	0.30	70.85	3.40	72.86	3.40	1.08	0.30	1.34	3.22
3.5 *	75.85	4.08	62.69	3.80	1.409	3.97	1.111	0.30	62.29	3.80	75.85	4.15	1.11	0.30	1.40	3.57

* REVERSE POWER RELAY OPERATES OF THE UNIT 1

TABLA No. 3.4.2

LOAD REJECTION: OPENING THE LINE HC-BI-PAPALLACTA-HYO
TRANSIENT SPEED DROOP 60%

CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE				S/E MAXIMUM FREQUENCY				S/E 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 3 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 6 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 3 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 6 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.5			68.27	3.30			1.120	0.83	62.27	3.30	68.27	3.30	1.12	0.80	1.12	0.80
1.0			68.87	3.57			1.211	3.37	68.88	3.52	68.89	3.52	1.21	3.58	1.21	3.59
1.5			73.28	3.90			1.365	3.75	73.28	3.90	73.29	3.90	1.37	3.80	1.36	3.90
2.0	67.30	0.02	68.17	3.60	1.190	1.72	1.068	0.30	68.18	3.60	67.30	3.10	1.07	3.80	1.19	1.20
2.5	68.67	3.15	68.72	3.60	1.268	2.95	1.074	0.30	68.72	3.72	68.68	3.72	1.07	0.30	1.26	2.51
3.0	72.91	3.82	71.74	4.10	1.341	3.67	1.080	0.30	71.74	4.20	72.91	3.80	1.08	0.30	1.34	4.11
3.5 *	75.28	4.05	82.31	3.80	1.429	3.82	1.111	0.80	82.80	3.80	75.27	3.85	1.11	3.30	1.43	3.81

* REVERSE POWER RELAY OPERATES OF THE UNIT 1

TABLA No. 3.4.1

FOTOGRAFÍA 3.3.1 DISYUNTOR PRINCIPAL LINEA EEQSA PAPALLACTA-BAEZA

FOTOGRAFÍA 3.4.1 LLEGADA/SALIDA LINEAS HCJB-EEQSA EN S/E PIFO

Para evitar la salida de la Línea de Papallacta-Pifo y aumentar su confiabilidad de operación se trata de no exceder los límites de cargabilidad de la línea (5MVA), su límite térmico, y se hace periódicamente su mantenimiento y revisión del tramo de la línea tanto desde Papallacta como desde Pifo.
Además, con los resultados obtenidos de análisis del sistema de potencia de HCJB por Tim Warham se cambio la sensitividad de los relés de protección, para evitar la salida de esta 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 (Cumbaya, Tumbaco, Puembo, Pifo, Tababela, Yaruquí, 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 cual 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. Comandos 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 habrá 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 capitulo 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 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 la carga pueden sucederse a cualquier sistema o “área”, todo el sistema de potencia reacciona con regulación primaria para absorber dicha variación, la frecuencia se estabiliza en valor superior a aquel que se obtendría si el área en la que se produjo el cambio, estuviere aislada.

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

La única forma de conocer cuál 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 d 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 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 de Tumbaco.

Para el caso de 3.5 MW de exportación a al 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 Regulador

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, ajustable desde 54 a 63 Hz, precisión y respetabilidad 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 -30ºC TO 75ºC; 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.

FOTOGRAFÍA 4.4.1 RELE DIGITAL DE FRECUENCIA INSTALADO EN PIFO

FOTOGRAFÍA 4.1.2 DISYUNTOR PRINCIPAL LINEA EEQSA PIFO-YARUQUI-TUMBACO

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

La secuencia de operación de 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 desconectado toda la carga de ese alimentador, en 2.99 s opera el relé de potencia inversa 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 se observa que la frecuencia desciende hasta activar un 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 1y 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.

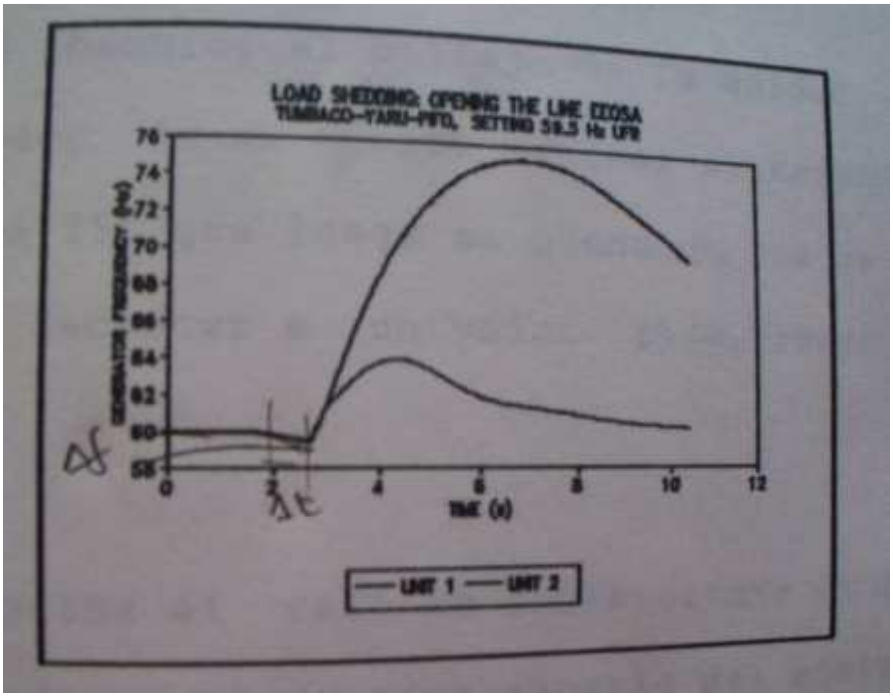


Figura 4.1 Frecuencia del Generador

b) Voltaje Terminal del Generador

Los resultados de la simulación se presentan en la figura 4.2, en dónde 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-Yaruquí-Pifo los voltajes (frecuencia) comienzan a descender hasta que actúa el relé de baja frecuencia en Pifo y aísla ala 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 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 alcanzado un máximo sobreimpulso de 25% que luego es atenuado por su regulador de voltaje para de crecer a un valor fijo, luego de 10 s de simulación.

En este caso, actúa un 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.

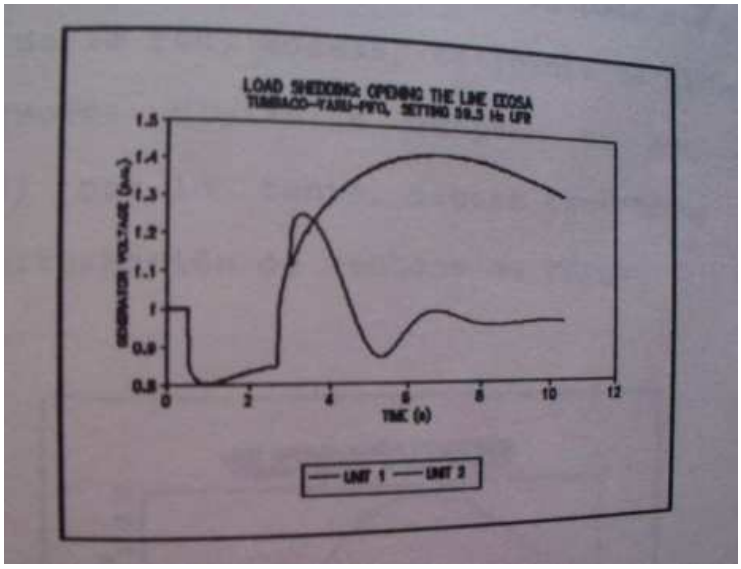


Figura 4.2 Voltaje Terminal del Generador

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 el sistema eléctrico HCJB y produciéndose un rechazo de carga en las unidades de Papallacta.

Los transmisores de radio no tienen protección contra sobre frecuencias, ya que utiliza osciladores para desacoplarse de la frecuencia de la red, además, la fuente de alimentación de estos transmisores digitales aceptan un amplio rango de frecuencia (1); por lo tanto, siguen conectados al sistema luego de la perturbación de rechazo de carga.

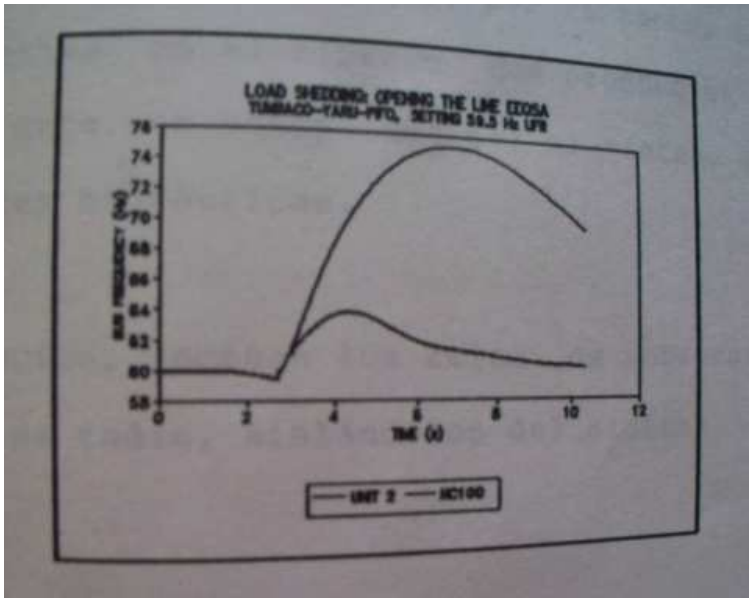


Figura 4.3 Frecuencia de Barra

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 varia 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.

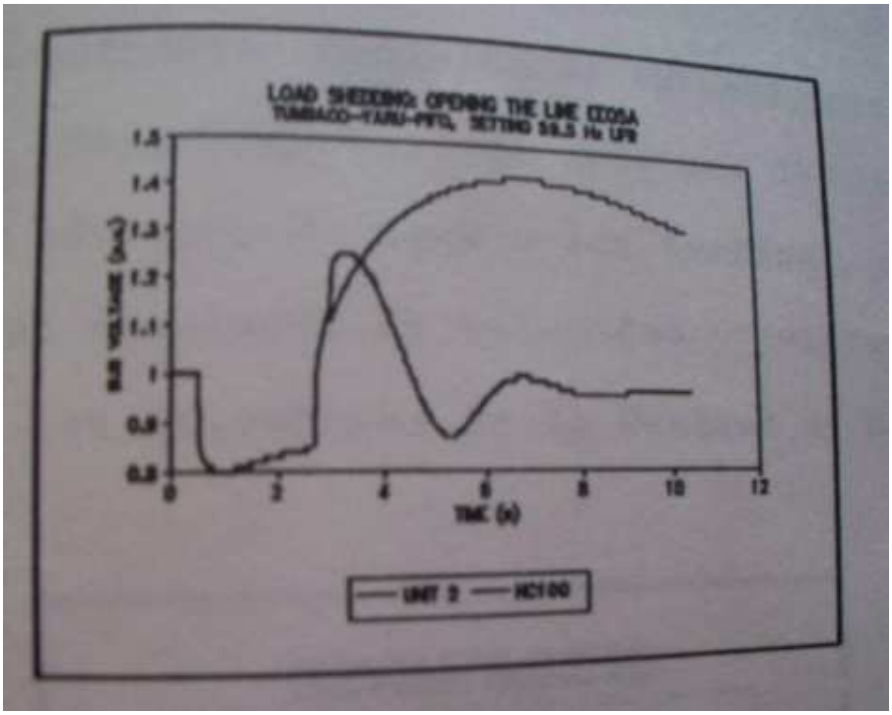


Figura 4.4 Voltaje de Barra

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-Yaruquí 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 visitas en un panel de control por los operadores de la central de Generación.

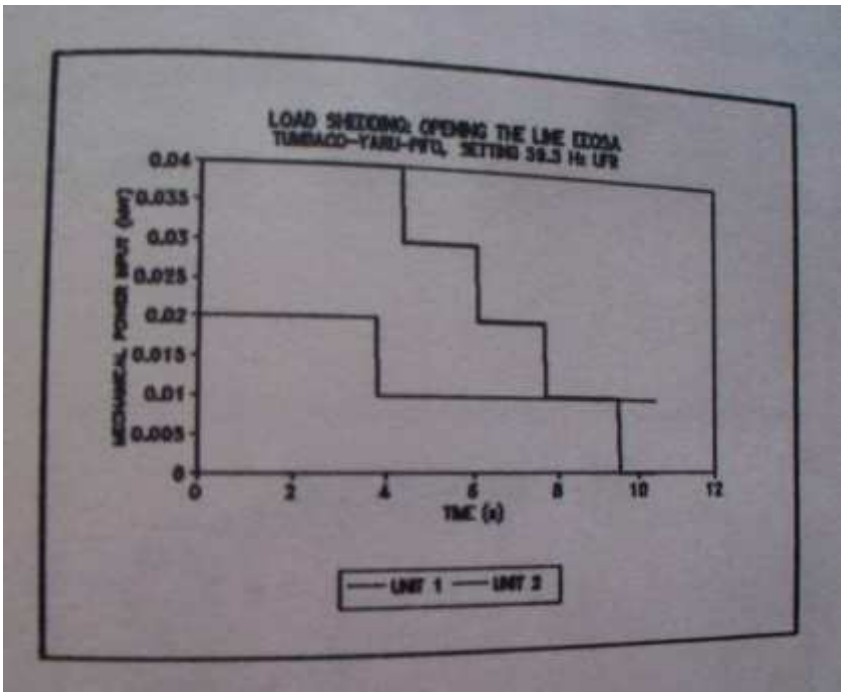


Figura 4.5 Potencia Mecánica de Entrada

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 de 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 esta 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.

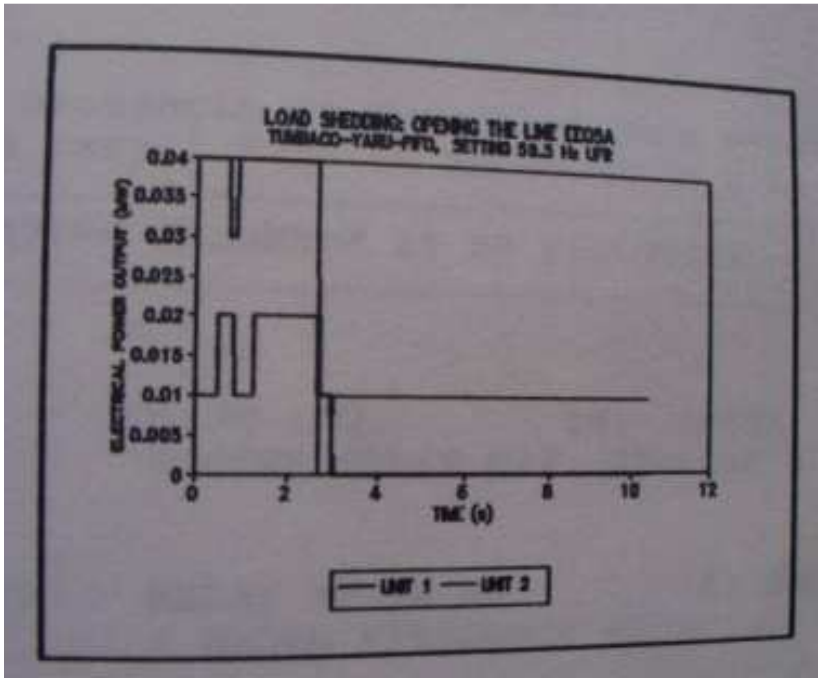


Figura 4.6 Potencia Eléctrica de Salida

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 actúa 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 presentan 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 desaparecerse 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 Cumbaya 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 es sobrefrecuencia es mínimo (62 Hz en 4.1 s).

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

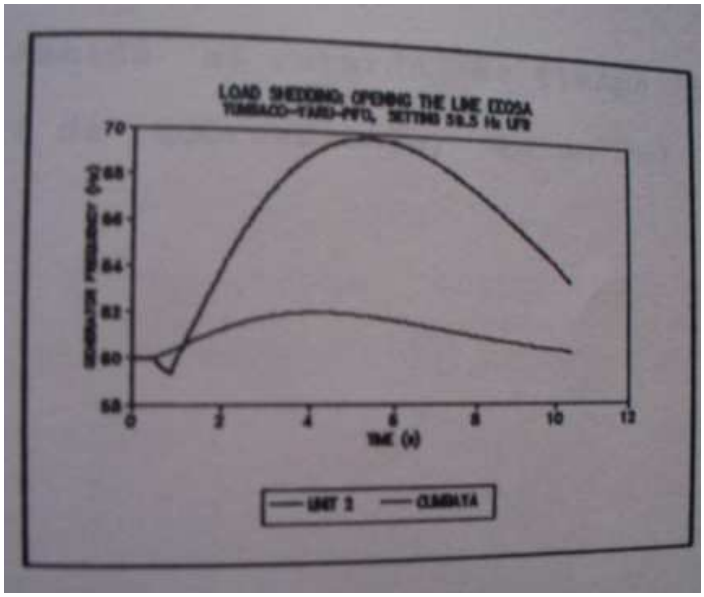


Figura 4.7 Frecuencia del Generador

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 Cumbaya 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 d 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 Cumbaya 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 dl relé de Sobrevoltaje, la unidad 2 no sale de operación.

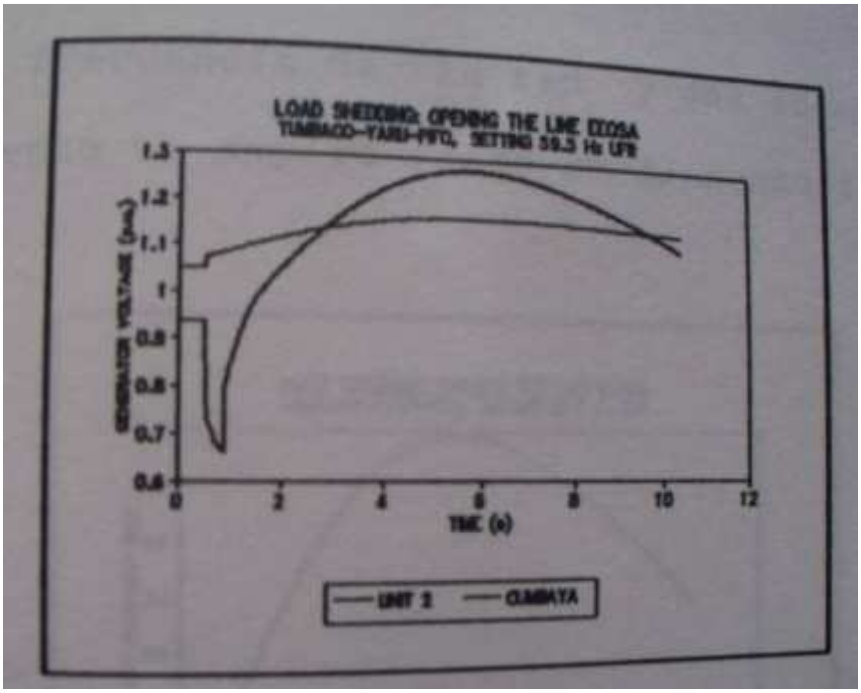


Figura 4.8 Voltaje Terminal del Generador

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 d 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 desacoplarse de la frecuencia de la red y una fuente

de alimentación que acepta un amplio rango de frecuencia de entrada.

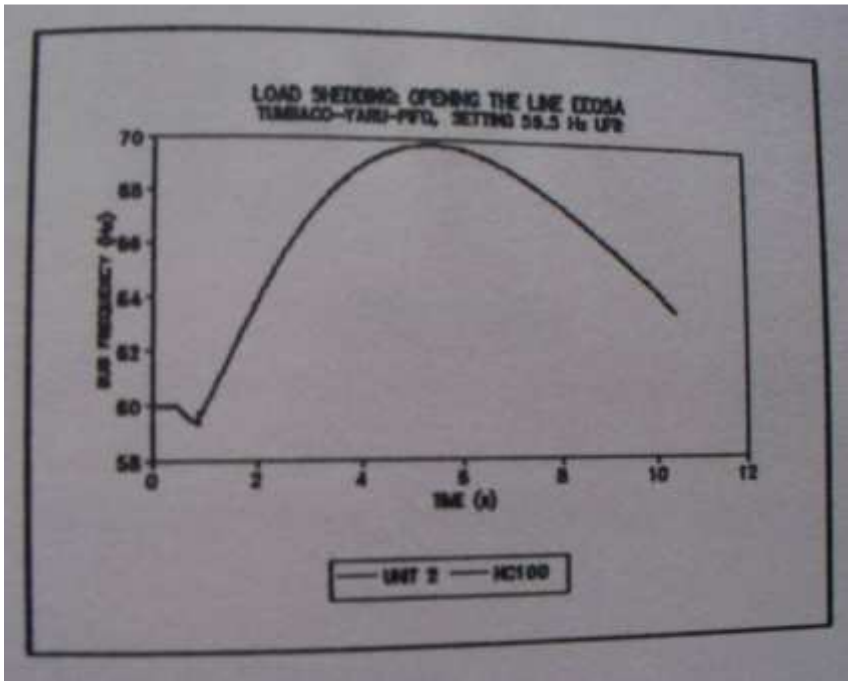


Figura 4.9 Frecuencia de Barra

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 fijando en el nivel de ajuste de la protección del transmisor, se mantiene la carga viva de los transmisores de radio durante la perturbación.

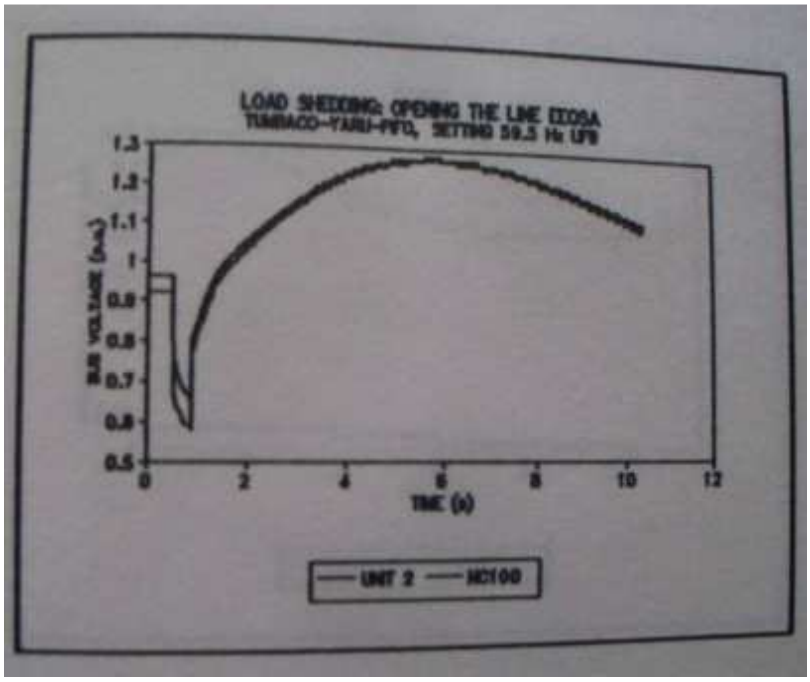


Figura 4.10 Voltaje de Barra

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 Cumbaya 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 de la cual comienza a descender progresivamente hasta un valor fijo durante los 10 s d simulación. En cambio, la potencia mecánica de entrada a las unidades de Cumbaya, inicialmente tienen una subida para luego decrecer progresivamente hasta un valor fijo, menor a la condición inicial.

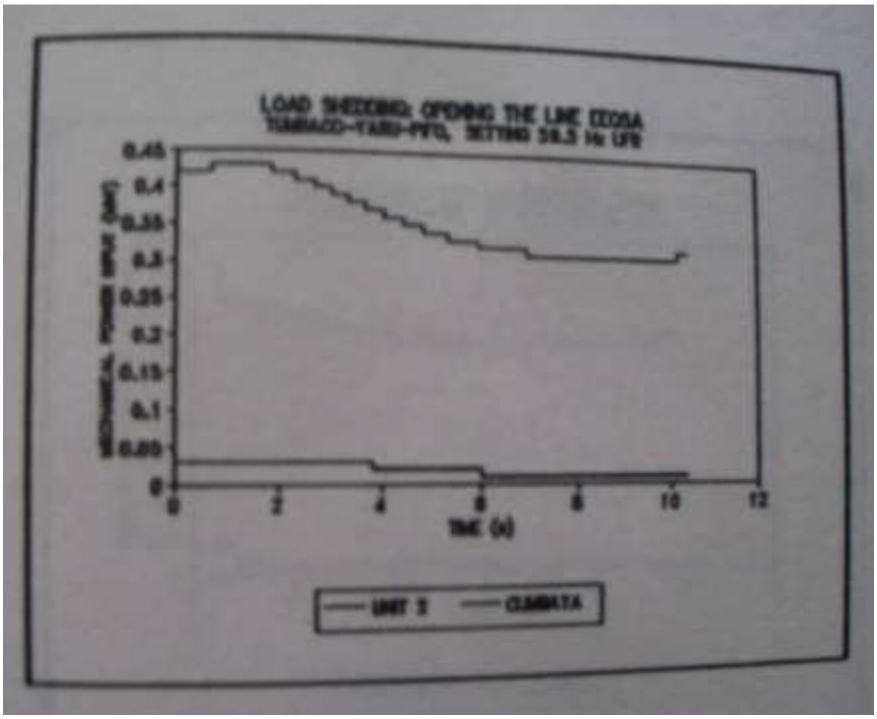


Figura 4.11 Potencia Mecánica de Entrada

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 Cumbaya 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 Cumbaya luego de la apertura d 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.

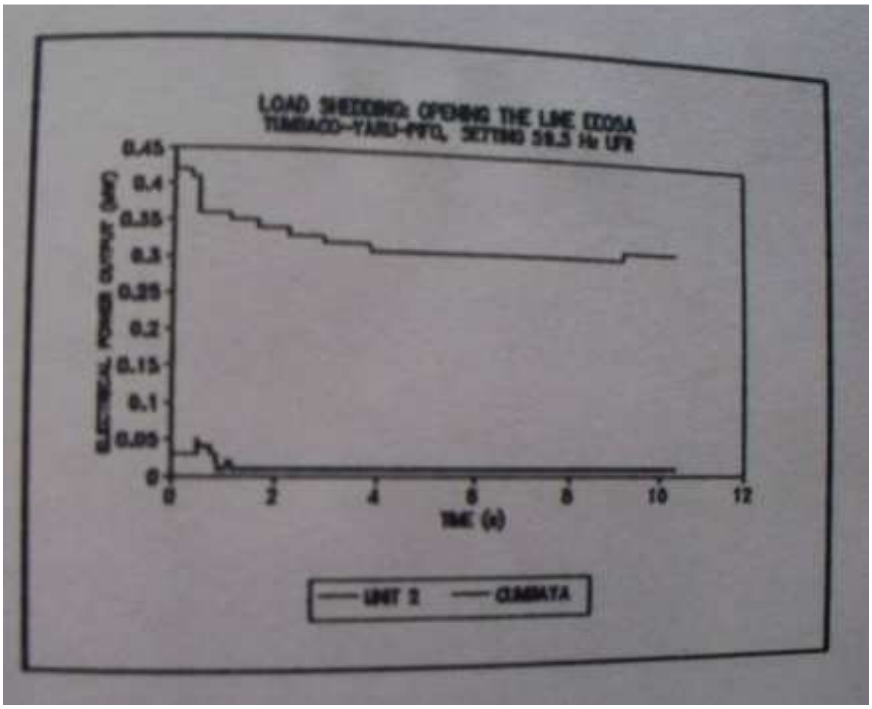


Gráfico # 4.12 Potencia Eléctrica de Salida

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

4.1.3 FIJANDO EL NIVEL DE AJUSTE DEL RELÉ 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 frecuencias obtenidas son ligeramente menores, en 75.23 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

	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE				BUS MAXIMUM FREQUENCY				BUS MAXIMUM VOLTAGE			
CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	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 3 (p.u)	TIME (s)	BUS 8 HC100 (p.u)	TIME (s)
0.5			62.69	4.06			1.039	0.93	62.61	3.97	62.61	3.97	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	1.06	0.98	1.27	0.98
1.5			69.77	5.28			1.276	5.25	69.76	5.20	69.76	5.20	1.28	5.65	1.27	5.30
2.0	67.22	3.45	60.70	0.90	1.163	3.22	1.105	1.90	66.87	2.30	67.22	3.45	1.13	1.80	1.14	3.52
2.5	69.66	3.62	60.52	0.90	1.257	3.52	1.124	4.70	60.53	1.00	69.66	3.90	1.12	4.60	1.26	3.75
3.0	73.05	5.98	62.14	3.40	1.343	4.27	1.118	0.80	62.04	1.90	73.05	4.00	1.12	0.85	1.24	4.00
3.5	75.23	4.79	63.95	4.30	1.427	6.69	1.252	3.25	63.91	4.30	75.23	6.80	1.25	3.15	1.43	6.47

TABLA 4.1.1

LOAD SHEDDING OPENING THE LINE EEQSA TUMBACO-YARUQUI-PIFO
SETTING 58.4 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 (p.u.)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (Hz)	TIME (s)	BUS 6 HC100 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u.)	TIME (s)	BUS 6 HC100 (p.u.)	TIME (s)
0.0			82.81	4.12			1.040	5.83	82.81	4.12	83.81	4.12	1.04	5.83	1.05	5.83
1.0			85.46	4.12			1.079	5.98	85.40	4.25	85.48	4.29	1.08	1.08	1.07	1.06
1.5			89.75	4.58			1.270	4.26	89.75	4.58	89.75	4.58	1.27	4.95	1.27	4.88
2.0	87.25	3.52	80.46	2.20	1.150	5.15	1.131	3.50	80.54	2.20	87.25	3.52	1.14	5.20	1.16	5.15
2.5	86.86	3.90	80.40	2.86	1.207	3.82	1.085	3.50	80.64	1.30	86.86	3.90	1.12	5.05	1.26	3.75
3.0	75.06	4.58	82.86	4.70	1.345	4.56	1.141	1.30	82.43	2.10	75.06	4.50	1.14	0.80	1.34	4.50
3.5	75.22	5.86	83.84	3.50	1.426	4.86	1.298	1.40	83.79	3.50	75.22	5.86	1.24	2.40	1.45	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-Cumbaya-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-Cumbaya-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 desconectado 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 de ese alimentador 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 par que habrá 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.

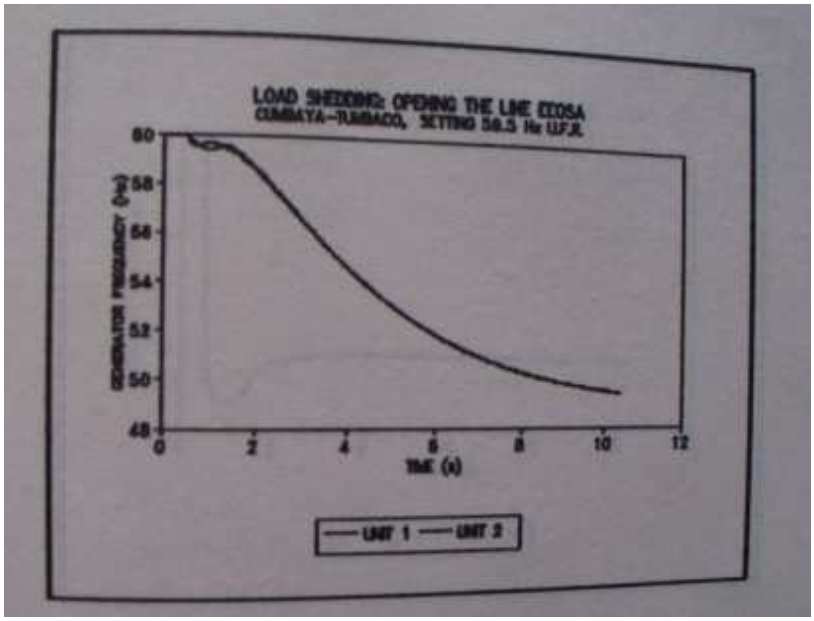


Gráfico 4.13 Frecuencia de Generación

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-Cumbaya-Tumbaco y la Línea EEQSA-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.

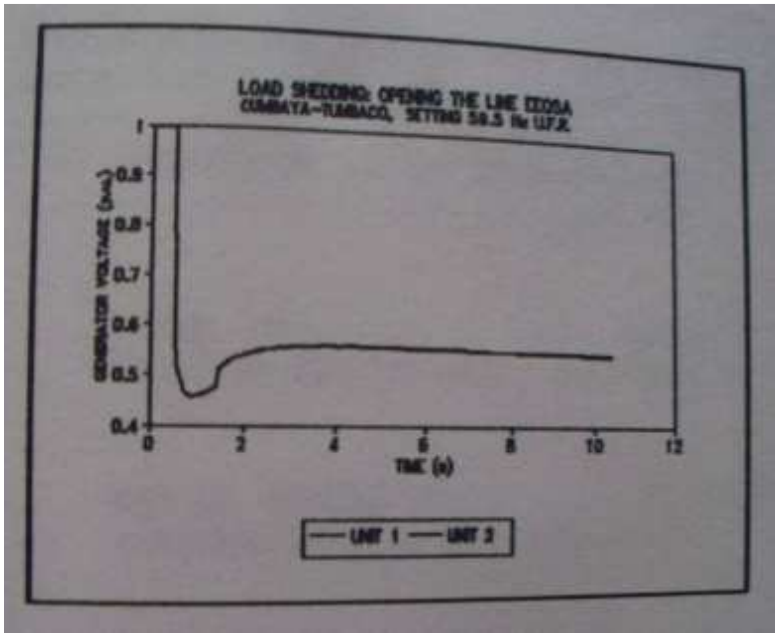


Figura 4.14 Voltaje Terminal de Generación

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 presenta 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-Cumbaya-Tumbaco en un tiempo de 0.5 s, en 3.16 s actúa 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.

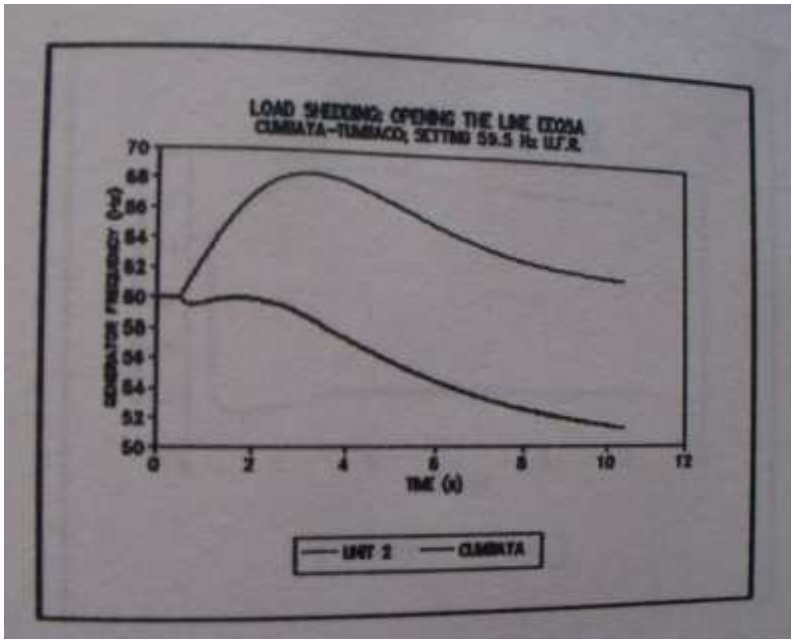


Gráfico 4.17 Frecuencia de Generación

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 Cumbaya permanecen constantes, luego de simular la apertura de la línea EEQSA-Cumbaya-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 esta 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.

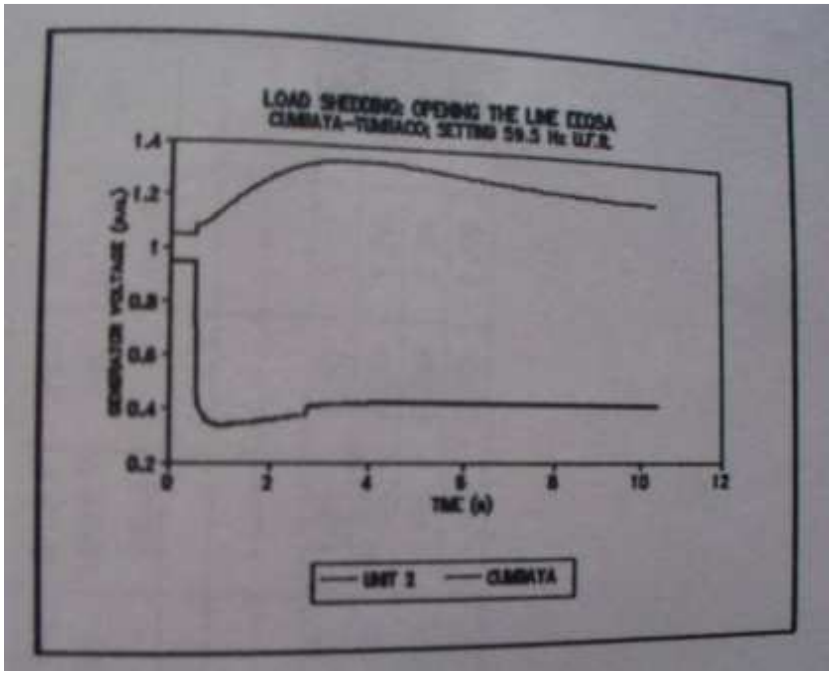


Gráfico 4.18 Voltaje Terminal de Generación

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 iníciales, 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 descienda (la potencia acelerante ahora es negativa) hasta el nivel fijado para el relé de baja frecuencia en Pifo y este 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)	[illegible]				[illegible]				[illegible]				[illegible]			
	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																
1.5																
1.5																
2.5	67.23	2.86	60.09	1.40	1.169	1.95	1.013	0.30	60.27	1.60	67.24	2.86	1.21	0.30	1.17	2.22
3.5	69.88	3.29	60.21	1.30	1.259	3.00	1.024	0.30	60.18	1.40	69.88	3.30	1.22	0.30	1.26	3.30
5.5	73.06	3.62	60.18	1.30	1.343	3.62	1.036	0.30	60.06	0.30	73.07	3.90	1.24	0.30	1.34	3.87
5.5	75.29	4.12	60.39	0.70	1.429	4.05	1.051	0.30	60.06	0.30	76.28	4.12	1.25	0.30	1.42	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

	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE				BUS MAXIMUM FREQUENCY				BUS MAXIMUM VOLTAGE			
CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	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 HC130 (Hz)	TIME (s)	BUS 2 UNIT 2 (p.u)	TIME (s)	BUS 8 HC130 (p.u)	TIME (s)
0.5																
1.0																
1.5																
2.5	87.23	2.85	60.28	1.40	1.169	1.35	1.013	0.30	60.27	1.90	87.24	2.85	1.01	0.30	1.17	2.02
3.5	69.89	3.22	60.31	5.12	1.259	3.07	1.094	0.60	60.06	3.40	69.88	3.22	1.38	0.60	1.28	3.07
4.5	73.06	3.62	60.16	1.30	1.343	3.82	1.096	0.30	60.13	1.30	73.07	3.60	1.34	0.30	1.34	3.75
5.5	75.29	4.20	60.09	1.30	1.429	4.20	1.060	0.30	60.09	0.80	75.29	4.13	1.38	0.30	1.45	4.13

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 3.5 MW de exportación) que luego es reducida por la actuación por su regulador d 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 únicamente es de 61.25 Hz en 2.85 s y cuando opera en el 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 iníciales, 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 este opere, abriendo el alimentador EEQSA-Pifo-Yaruquí-Tumbaco, por lo cual la potencia acelerante disminuye , pero debido al exceso de carga existe 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 59.5 UNDER FREQUENCY RELAY

	GENERATOR MAXIMUM FREQUENCY				GENERATOR MAXIMUM TERMINAL VOLTAGE				BUS MAXIMUM FREQUENCY				BUS MAXIMUM VOLTAGE			
CASE EXPORT TO EEQSA (MW)	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			61.15	2.92			1.001	2.50	61.15	2.85	61.15	2.90	1.20	0.52	1.23	3.52
1.0			61.15	2.85			1.047	2.68	61.14	2.70	61.14	2.70	1.06	0.85	1.07	3.60
1.5			61.28	2.85			1.063	2.68	61.28	2.92	61.28	2.92	1.08	0.92	1.06	0.92
2.0	67.06	3.85	68.18	3.50	1.153	4.30	1.013	3.40	68.18	3.50	67.06	2.32	1.00	0.80	1.13	4.80
2.5	68.78	4.80	69.92	4.10	1.202	4.80	1.024	0.50	69.92	4.10	68.77	4.98	1.02	0.30	1.25	4.95
3.0	73.97	4.95	71.74	4.10	1.340	4.73	1.012	0.90	71.74	4.12	72.97	4.95	1.04	0.30	1.34	4.75
3.5	75.19	5.08	71.92	4.00	1.408	5.03	1.026	0.80	71.92	4.00	75.19	5.03	1.06	0.80	1.43	4.85

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 continúa 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 del personal supervisado. Antes de realizar las pruebas de rechazo de carga se debe chequear el tiempo de cerrado de la compuerta y empezar con 20% del total de carga para luego continuar con 50, 75, 100% del porcentaje total de la carga, se tomará mediciones de la velocidad y presión de agua dentro de la turbina. Si en las pruebas realizadas se produce un riso de velocidad o de precisión 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 cual se pone a 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 puede 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 alcanza 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 alcanza para la unidad 1 es 77.2 Hz (902 r.p.m). Las practicas 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 (11%) 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 sobre velocidad 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 detectada 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 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% a120% para un tiempo de respuesta menor a 2.5 s, ya que en un rechazo de carga el Sobrevoltaje deteriora (irrevisiblemente) el aislamiento de los bobinados del estator, aislamiento de los transformadores de elevación y otros equipos conectados al generador.

- Los modelos del sistema de excitación, reguladores de velocidad. Parámetros de las maquinas y programa computacional resultaron adecuados para la regulación de este estudio dinámico, ya que se obtuvieron resultados muy similares respecto a las pruebas de campo realizadas por ingenieros de HCJB, con máximo error de 1.25%.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda al personal de operación del sistema eléctrico Quito y HCJB coordinar en las maniobras al tomarse en las S/E Tumbaco y Pifo, respectivamente. Cuando ocurra la apertura de la línea de subtransmisión EEQSA-Cumbaya-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 al 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 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 unas contingencias que lleven a este tipo de situaciones.

BIBLIOGRAFÍA:

1.- Warham, Tim, "Power System Analysis of HCJB System", Quito, Abril, 1989.

2.- Arguello, Gabriel, "Análisis y Control de Sistemas Electrónicos 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 od 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, Dolvec, Swann and Temoshok, "Analog Computer Studies of System Overvoltage's following Load Rejection", IEEE Trans.PAS, April, 1963.

15.- Dandeno and McClymont, "Extra -High-Voltage System Overvoltage's 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

Conner's Creek MTG` S # 15 and # 16", IEEE TRANS. Pas, October, 1997.

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 Under voltage, Overvoltage and Under/Overvoltage", Models: BE1-27, BE1-59, AND be1-27/59, USA, 1985.

24.- Basler Electric, "Instruction Manual for Time Digital Overcurrent 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

POLITICA PARA OPERACION DE PAPALLACTA

1995

NIVEL DE LORETO VERSUS VENTA A LA EEQ EN PPO

NOVIEMBRE, DICIEMBRE, ENERO, FEBRERO

venta neta de cero
solo lo necesario vender para evitar botar agua

SEPTIEMBRE, OCTUBRE

> 6.5m	3.0 MW
6.0m - 6.5m	1.0 MW
0m - 6.0m	0.0 MW

MARZO, ABRIL, MAYO

> 3.5m	3.0 MW
2.0m - 3.5m	1.0 MW
0m - 2.0m	0.0 MW

AGOSTO

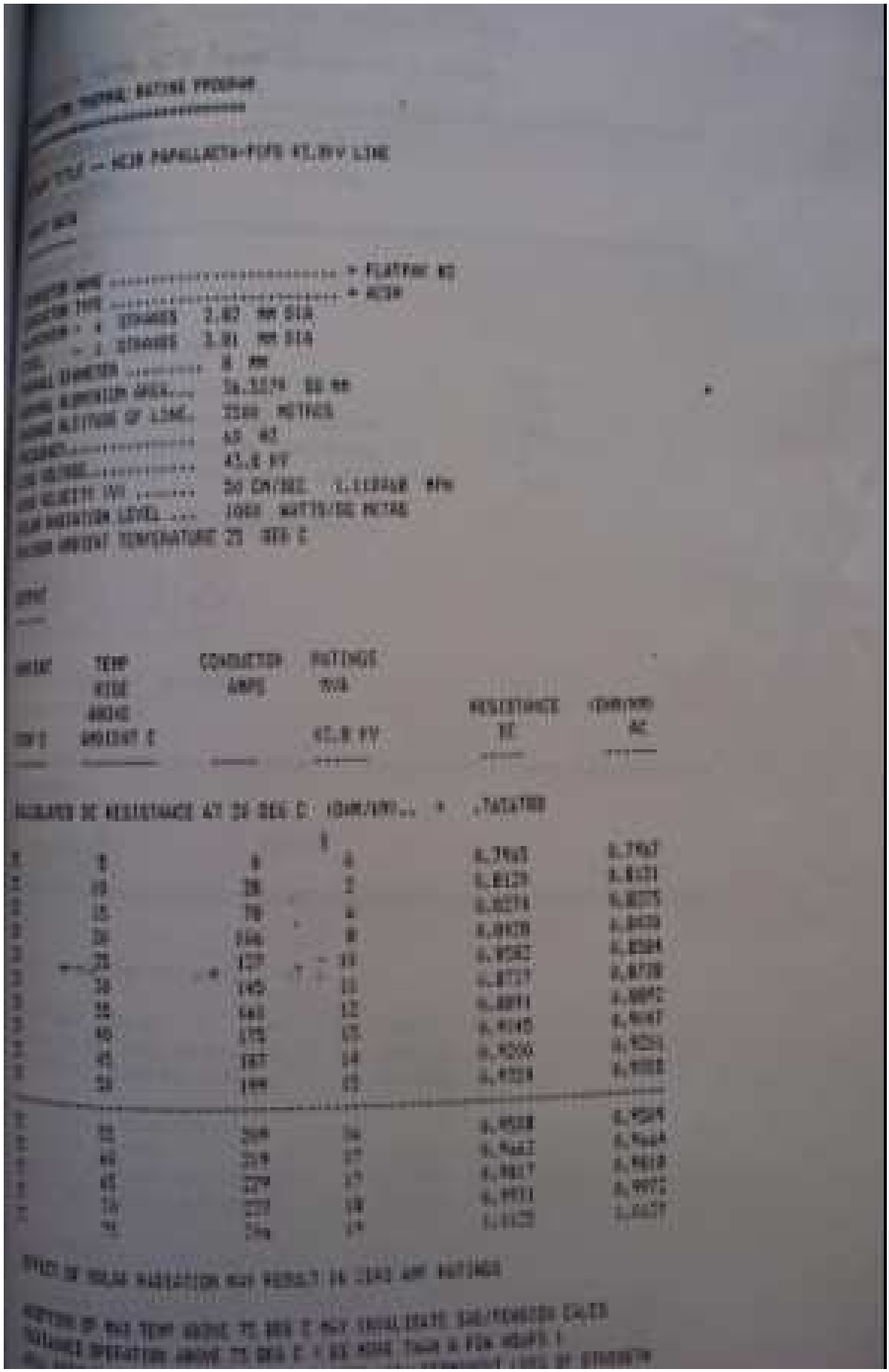
> 4.0m	3.0 MW
3.0m - 4.0m	1.0 MW
0m - 3.0m	0.0 MW

JUNIO, JULIO

> 2.0m	3.0 MW
1.0m - 2.0m	1.0 MW
0m - 1.0m	0.0 MW

[illegible]

[illegible]



[redacted]

INPUT DATA

[redacted]

SINGLE CIRCUIT LINE

[redacted]

OUTPUT

[redacted]

[redacted]

INPUT DATA

SINGLE CIRCUIT LINE

[redacted]

OUTPUT

CONTRATO DE COMPRA-VENTA DE ENERGÍA ENTRE LA EMPRESA ELÉCTRICA "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 DE 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 a 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, DURACIÓN Y RESOLUCIÓN DEL CONTRATO.- Este contrato tendrá vigencia del 1ro. 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: UTILIZACIÓN.- La EEQ utilizara 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 de 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: SUMINISTROS DE POTENCIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA.- HCJB pondrá a disposición de EEQ, la potencia eléctrica de 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: RESPOSABILIDAD 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.

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 utilizado en sus instalaciones se entregara al sistema eléctrico de la EEQ a los siguientes precios:

a) En Pifo S/. KwH

b) En Papallacta S/. KwH

c) Transporte de energía Pifo-Papallacta S/. KwH

OCTAVA: DEL TRANSPORTE DE ENERGÍA.- El transporte de energía al que se refiere las 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 de la Central Papallacta para ser utilizada, en el Cantón Quijos, en el caso de la Central Papallacta no está en operación.

NOVENA: FACTURACIÓN 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 efectuaran el último día de cada mes y la EEQ, podrá estar presente en el caso que así lo requiera. El pago se efectuara 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 de ajuste 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 1.994

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 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 SIN por la venta a la EEQSA.

DECIMO PRIMERA: ESTACIÓN 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 funcionara 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 de la aérea correspondiente.

DECIMO TERCERA: JURISDICCIÓN 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: RESOLUCIÓN DEL CONTRATO.- Sera 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 notificara 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 a 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 en cada planilla, hasta que la EEQ instale el equipo de su propiedad.

DECIMO SEXTA: ACEPTACIÓN.- 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.

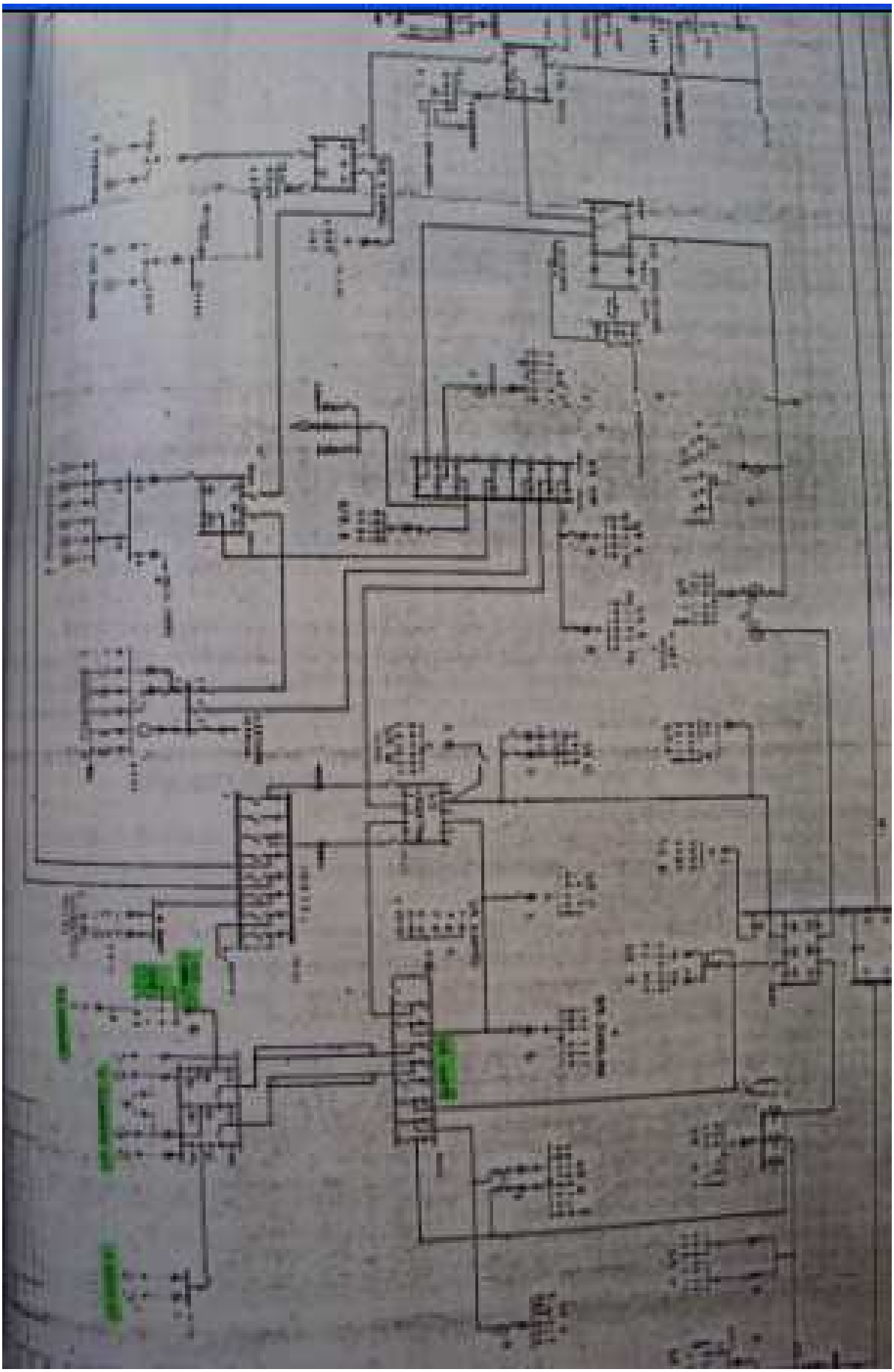
Para constancia y fe de conformidad, las partes firman al presente contrato en tres ejemplares de igual valor y tenor, en la ciudad de Quito a los días del mes de de .

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



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

APPLICATION
page 2

SPECIFICATIONS
Functional/Electrical
Mechanical Performance
page 4

EXTERNAL CONNECTIONS
Terminals/Diagrams
page 8

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 UHT

...R Directional Overpower Relay and the BE1-32 O/U Directional ...power Relay are solid-state devices which provide a new ...sensitivity and control in protecting machines against reverse ...underpower and overpower conditions.

FEATURES

- ...Pole Power — El case
- ...of input configurations are available including single-phase ...phase, 3 and 4 wire systems.
- ...ranges available from 0.5 to 6000 watts.
- ...definite and inverse timing characteristics available.
- ...sensing and supply burdens.
- ...to the requirements of
- ...IEEE C37.90-1978, C37.90a-1974, and IEC 255 for surge ...capability.
- ...IEEE C37.90.1-1989 for fast transient.
- ...255-5 for impulse.
- ...under Standard 508, UL File #E97033.
- ...warranty.

Basler Electric
Highland, Illinois

UBU-4
8-92

IAV

Time Delay Voltage Relays

DESCRIPTION

[illegible]

APPLICATION

OVERVOLTAGE RELAYS

[illegible]

For protection against overvoltage in a three-phase system, use the IAV71A relay (Fig. 7). 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 an existing machine, 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 auxiliary relay. The short-time rating for both IAV51D and IAV51K is 360 volts for 10 seconds.

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

The IAV71E relay can be used for a definite time delay and the time is adjustable from 2 to 20 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 voltage characteristics required.

[illegible]

COMBINED UNDERVOLTAGE AND OVERVOLTAGE RELAYS

Types IAV51, IAV60, IAV71, and IAV73 relays are [illegible] overvoltage relays having two contacts, one of which closes on overvoltage and the other on undervoltage.

REFERENCES

Dimensions	Section [illegible]
How to Order	Section [illegible]
Instruction Books	Section [illegible]
Target and Contact Data	Section [illegible]
Relay Standards	Section [illegible]

PLACING THE RELAY INTO SERVICE

1. RECEIVING, HANDLING, STOR

Upon receipt of the relay (when not included as part of a witch board) examine for shipping damage. If damage or loss is evident, file a claim at once and promptly notify the nearest Brow 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 l.

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 show in figure l. 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 withdraw 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 under frequency operation or over frequency 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 l 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, and 49.2 for the 50 HZ unit.

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

TIME DELAY SETTING

The Time Delay thumbwheel switches are labeled directly in cycles. The adjustment range is l 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 under frequency deletion; OR, for one step of over frequency protection and one step of under frequency protection. Selection of under frequency or over frequency 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 resigned to provide accurate detection of abnormal frequency conditions on electrical power systems. The ITE-81 is avallable in one stage and two stage models. Certain single step models are provided with means to select either under frequency or over frequency operation. Two stage models may be set up for either under frequency detection; or, for over frequency and under frequency 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 sent 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 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 electromechanical 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 tle line whit 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 cause an under frequency 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 l 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 l 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: 25ºC ambient Additional +/- 0.01% tolerance: -15ºC to +55ºC Must opérate: -30ºC to +75ºC

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	15	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	2	15
61.45	15	7	6	10	58.45	15	6	7	12	55.45	12	8	2	15
61.40	13	1	7	10	58.40	13	0	8	12	55.40	13	2	3	15
61.35	14	4	7	10	58.35	12	4	8	12	55.35	13	6	3	15
61.30	15	7	7	10	58.30	15	7	8	12	55.30	13	0	4	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	4	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

DIAL SETTINGS ARE SHOWN IN SAME ARRANGEMENT AS THEY ARE TO BE MADE

ON THE FRONT PANEL OF THE RELAY

Class 300 Equipment
PRP 360
REVERSE POWER RELAY

DEVICE NUMBER 32

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.

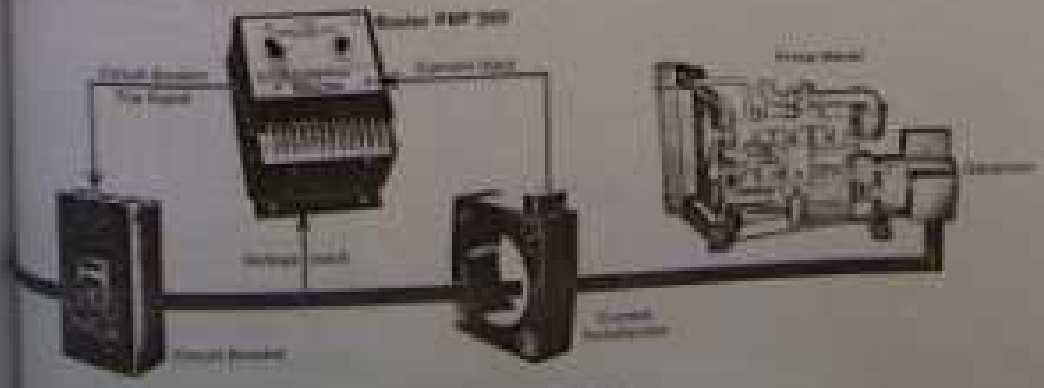


FIGURE 1 — APPLICATION DIAGRAM

Basler Electric
Highland, Illinois

... Power Relay is activated when a ... a predetermined current level (trip ... longer than a predetermined time. ... continuously adjustable, reverse ... from 1% to 10% of generator line ... current that delivers 5 amperes at ... provide an adjustable time delay ... variable between its upper ... adjustments are front panel mount... The relay incorporates ... adjustability. The device is solid ... for the output relay) and are ... designed with conservative derating to ... performance.

...: Refer to Table 1

Table 1

...	Basler Electric Power Relay
.25 to 1.5	PRP 360
1.25 to 7.5	PRP 360-2
.25 to 1.5	PRP 360-1

SPECIFICATION:

... Relay (Device Number 32) shall be used ... generating system from damage due ... into the generator. When a power ... the device shall cause the generator to ... line. The relay shall be capable of ... 120 volt (or 240, 480, or 600), 60 Hertz ... shall provide adjustable current sensi... 0.050 and 0.250 amperes and an adjust... between 0.25 and 1.5 seconds. The Re... relay shall incorporate a remote reset capa...

... Power Relay shall be Basler Electric Com... PRP 360 or equivalent.

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 . . . . [illegible]
- Current (max. continuous) . . . . 5 amperes
- Current Burden . . . . [illegible]
- Overload Current: Withstands currents up to 5 times nominal for short intervals of time.

OUTPUT: SPDT relay contact rated 10 amperes at 115 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: 5.60" x 6.56" x 5.12"

WEIGHT: Net - 6 pounds — Shipping - 7 pounds

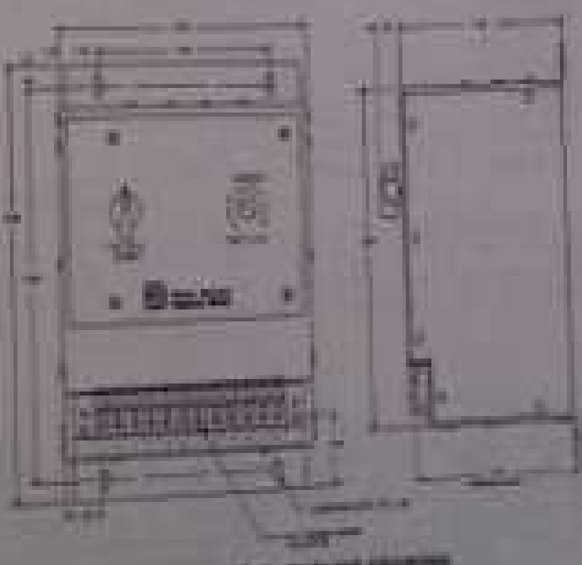


FIGURE 3—OUTLINE DRAWING

All drawings and data subject to change without notice.

Basler Electric
Highland, Illinois

P.O. BOX 269 HIGHLAND, ILLINOIS 62249   PHONE 618-654-2341   TWX 910-696-2522

UGB GOVERNOR

SEAL CONTENTS

PART ONE

APPLICATION — INSTALLATION — ADJUSTMENT — OPERATION

Fig. 1

...UGB dual cage governor is of the ... yet a sensitive isochronous (will ... engine speed regardless of engine ... maximum instantaneous speed droop ... the various operating features. The ... of the governor is right here ...

ADJUSTER, or speed adjusting control, ... engine speed when running ... engine load when the engine ... with other units. The synchro... ... before the synchronizer ... number of revolutions of the ... knob.

SYNCHRONIZER MOTOR. A synchronizing ... mounted on a control panel for the UGB ... remote speed control. Its use ... synchronized operation to match the fre... engine driven electrical with that of ... system, before synchronizing and to ... after synchronizing.

... is of the split field, series wound, ... It can be used on either direct cur...

... that is directly across or in parallel with ... It should be wired as shown on page 11.

A tuning fork coupling is provided between the power ... and the synchronizer vibrating gear to allow the ... minor variations in either speed to occur ... through gentle hunting on the governor ... ment of the friction coupling see page 11.

THE SPEED DROOP control can be set to automatically ... and balance load between engines driving ... same shaft, as provided by an electrical speed ...

Droop is incorporated in the governor through a ... linkage which varies the compression of the speeder ... (speed adjusting) spring as the governor shaft moves. ... 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 isochronous ... paired with other units when mechanically or electrically ...

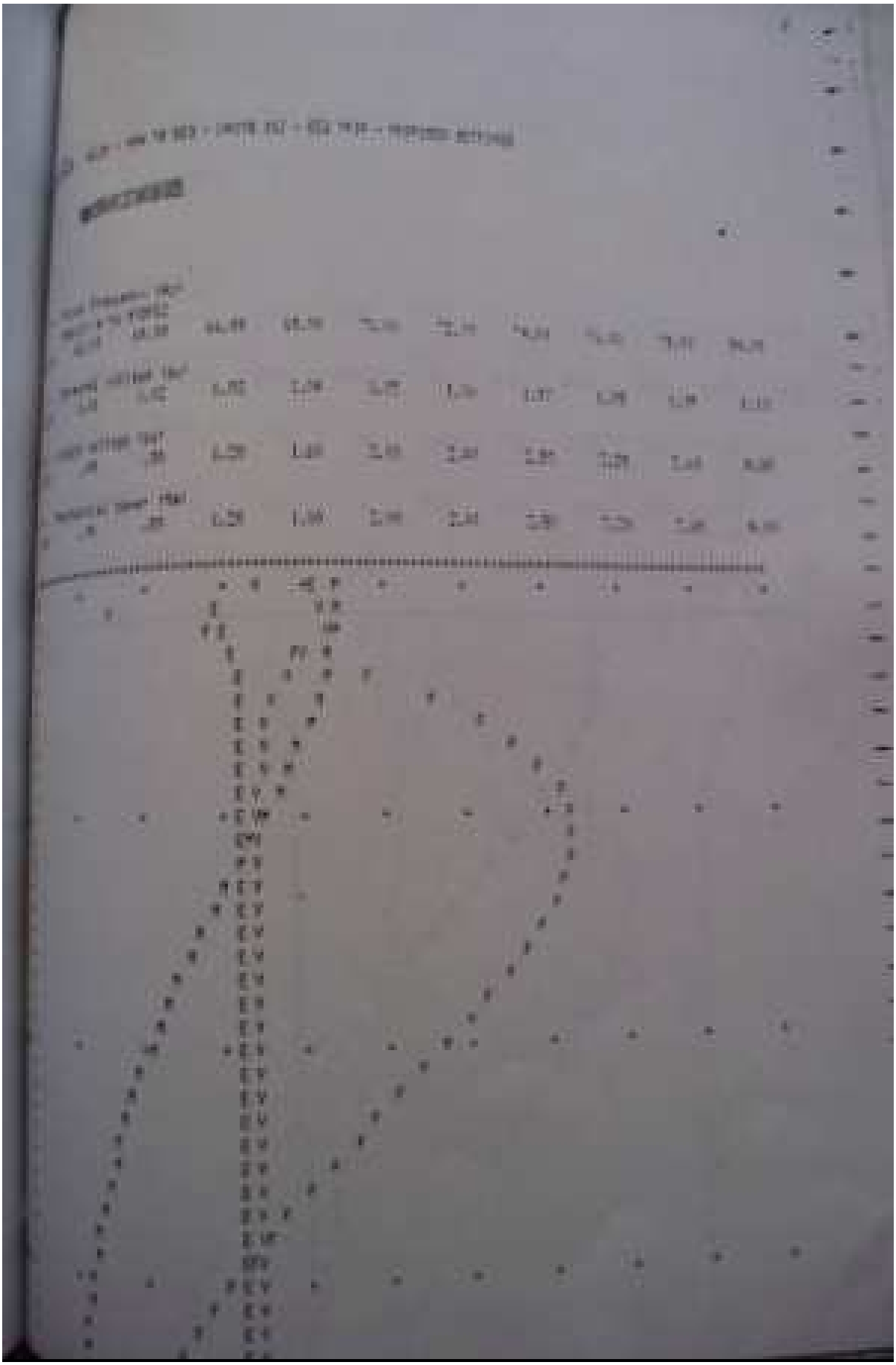
As droop is reduced toward zero the unit becomes ... to changes load without changing speed. As a general ... rule, units running alone should be set for zero droop, ... isochronous; units should be set with some droop ... among the will give satisfactory load division.

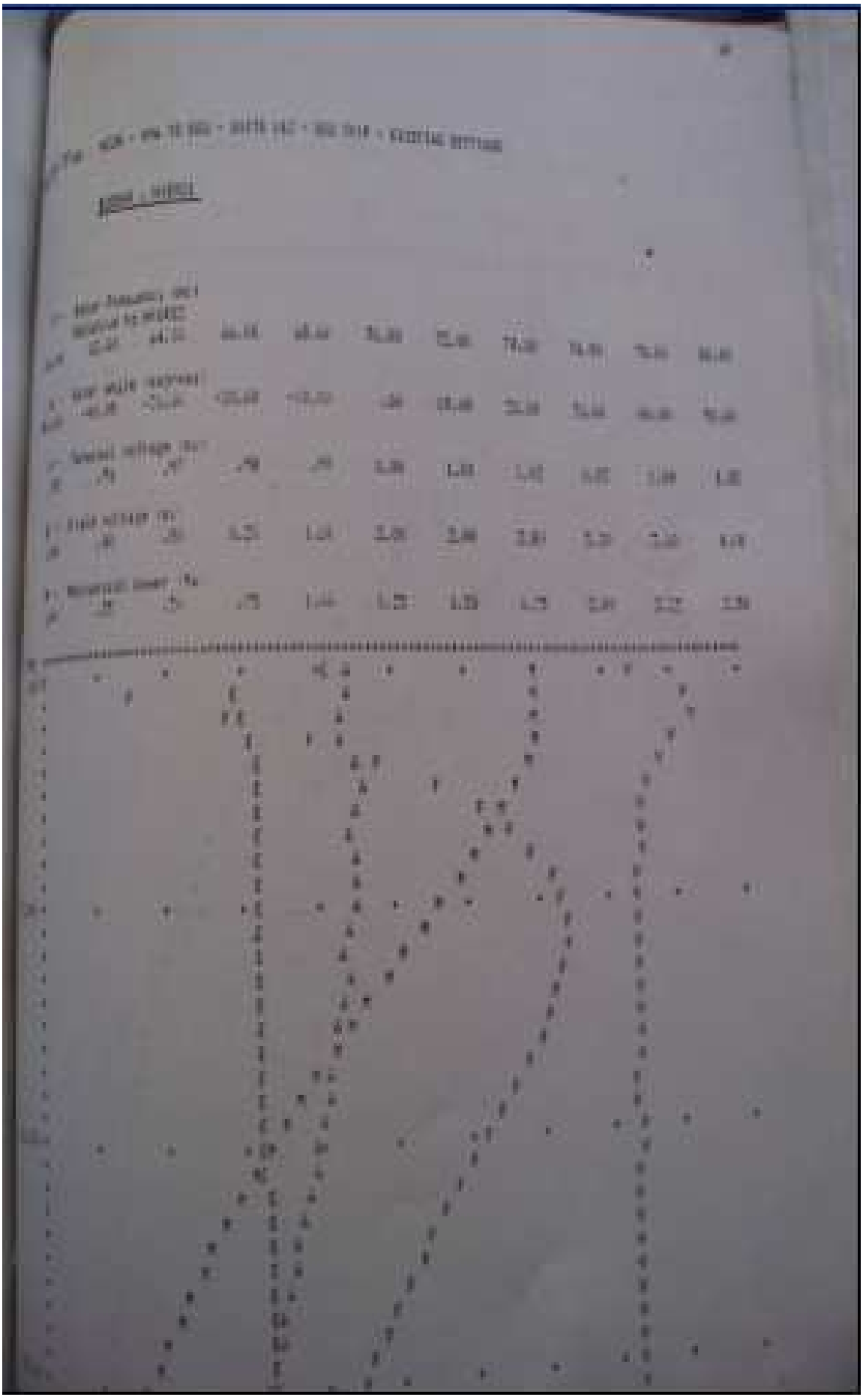
A. C. governing units and in with other units should ... have droop set sufficiently high (3% to 5% on the dial) ... to prevent interchange of load between units. If too ... low in the plant, or system, for enough reactance, the ... governor may be set on zero droop and it will regulate ... the frequency of the entire system. The unit will ... take all the load changes within the limits of its capacity and will ignore frequency if its capacity is not ... exceeded.

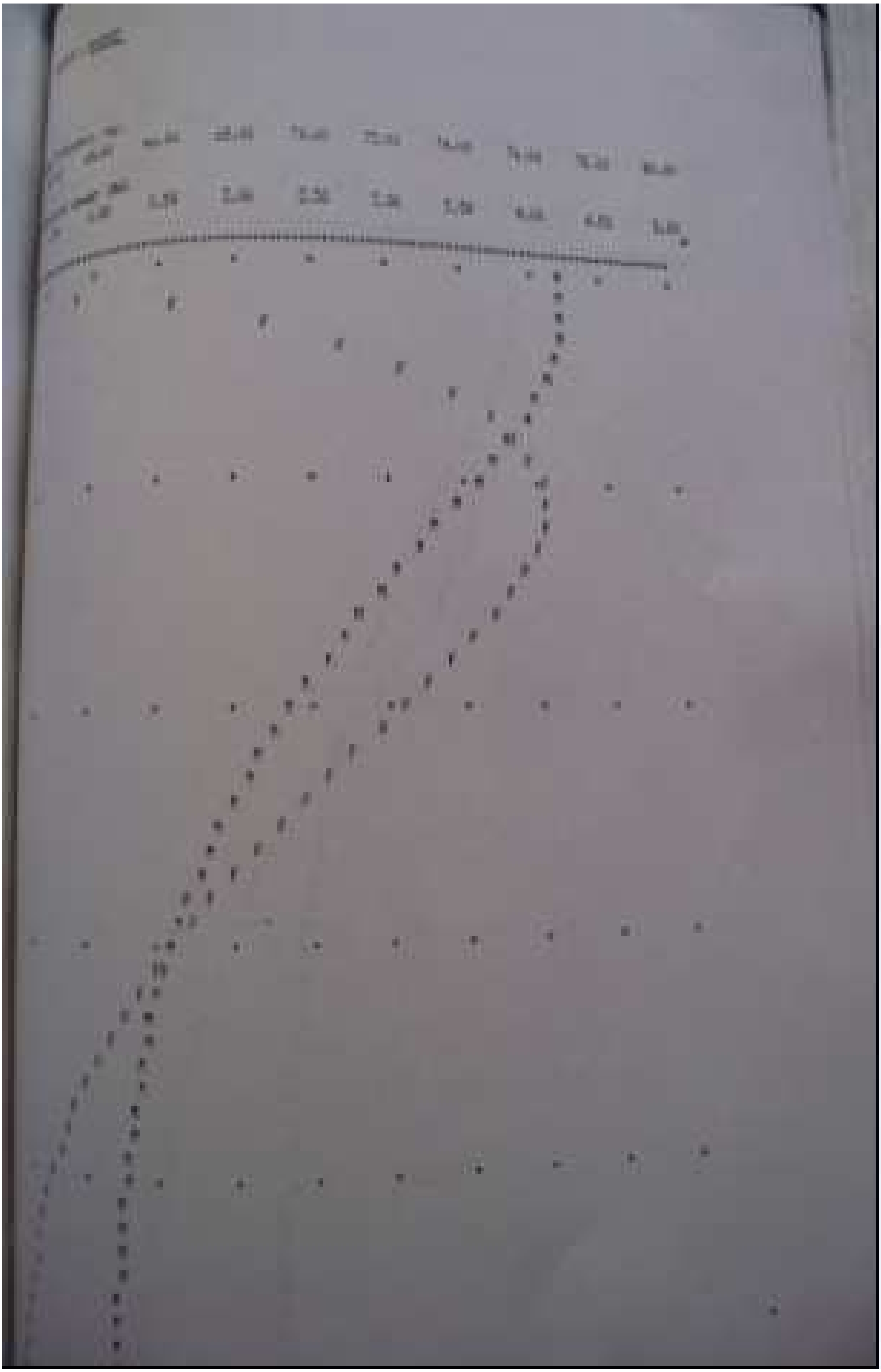
The system frequency is adjusted by operating the ... synchronizer of the governor having zero droop. ... The distribution of load between units is accomplished ... by operating the synchronizers of the governors ... having speed droop.

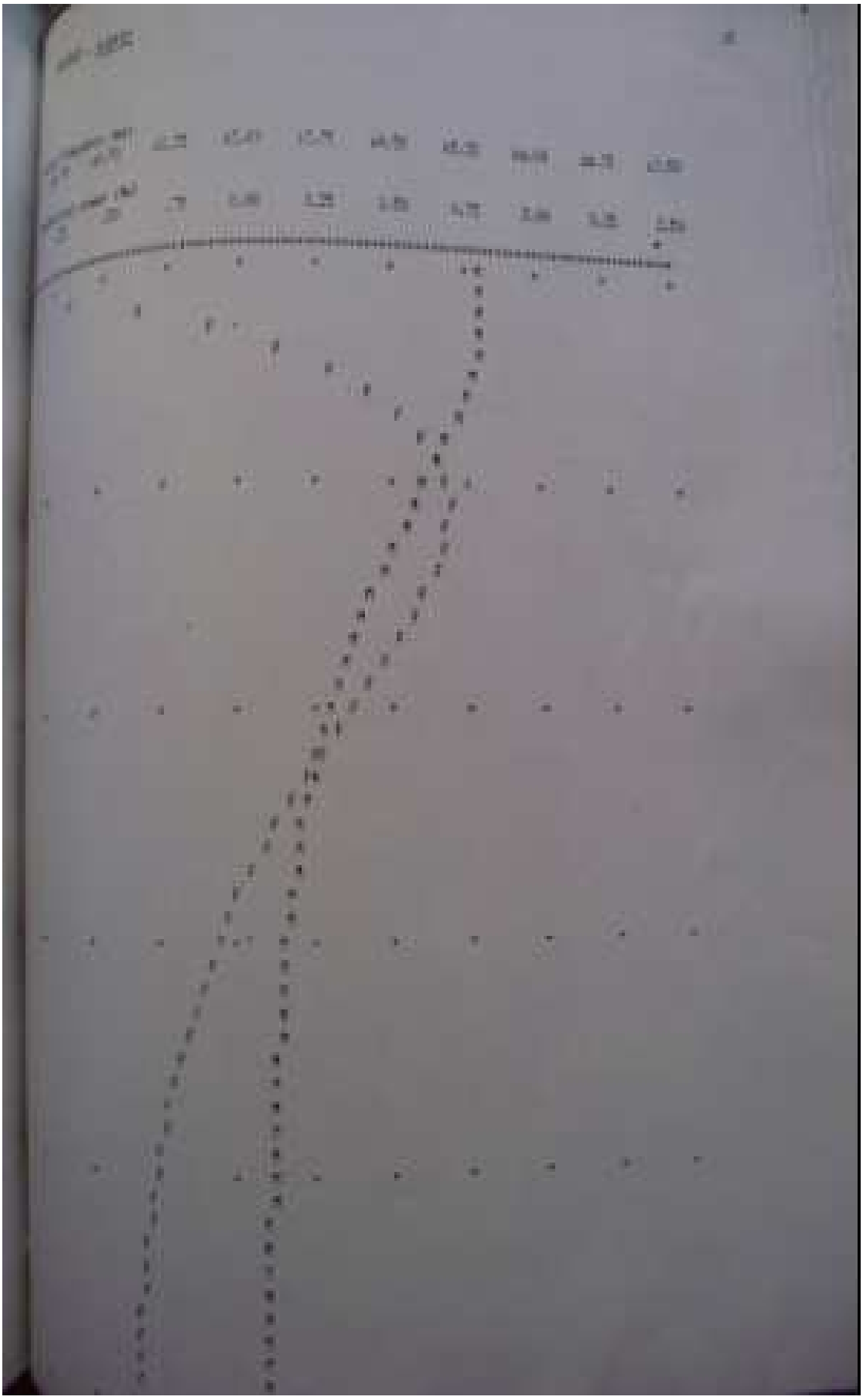
THE LOAD LIMIT control individually limits the ... load that can be put on the engine by governing the ... engine governor shaft position of the governor, and ... consequently, the quantity of fuel supplied to the ... engine. The control may also be used for starting ... down the engine to prevent it from stalling. CAUTION: Do ... not manually force engine linkage to increase fuel ... without first turning load limit knob to 10.

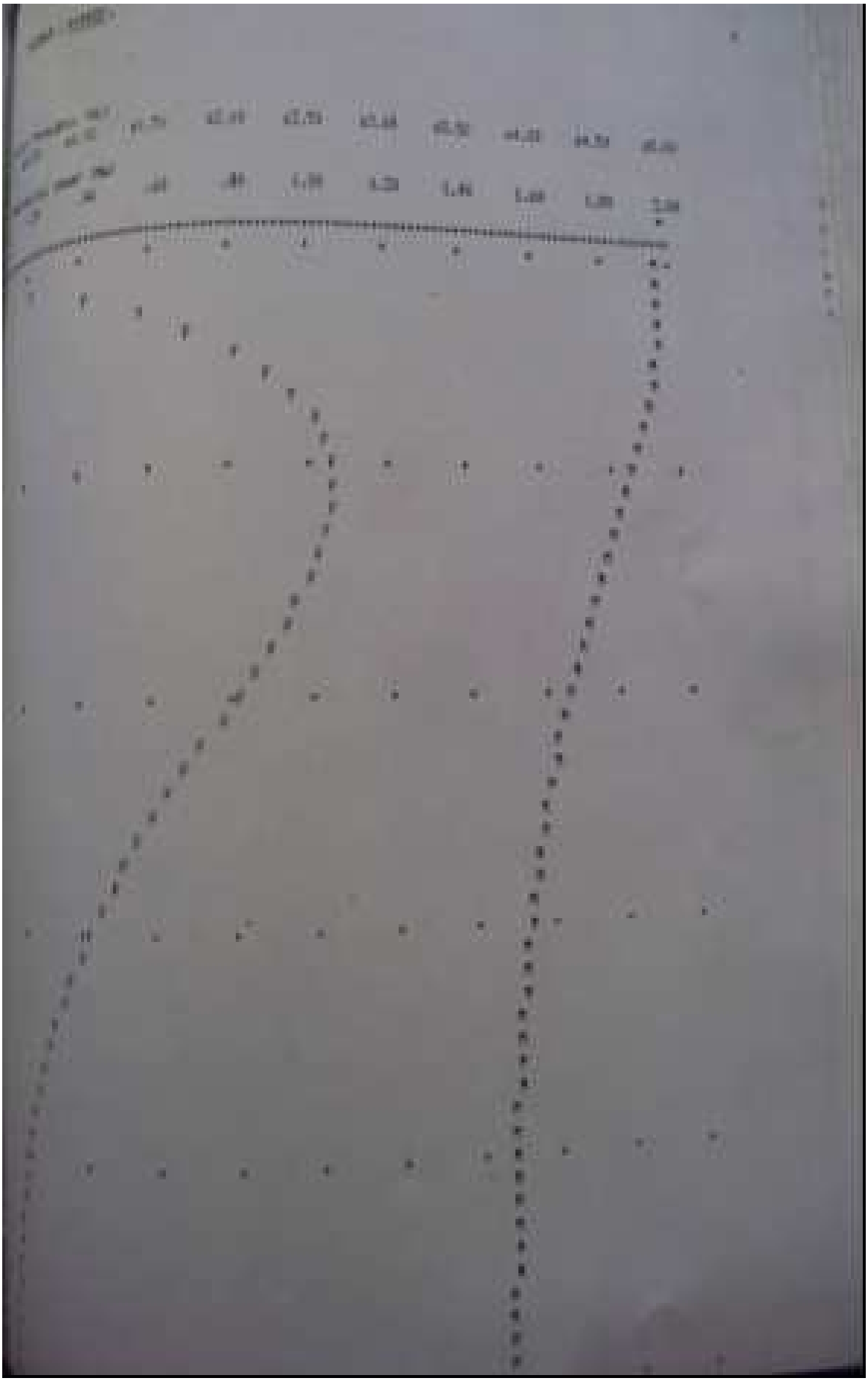
INSTALLATION. When the governor is installed on ... the engine, particular care should be exercised to see ... that it is properly assembled and that the drive connection ... to the engine is aligned properly. A gasket ... should be placed between the base of the governor ... and the mounting pad on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

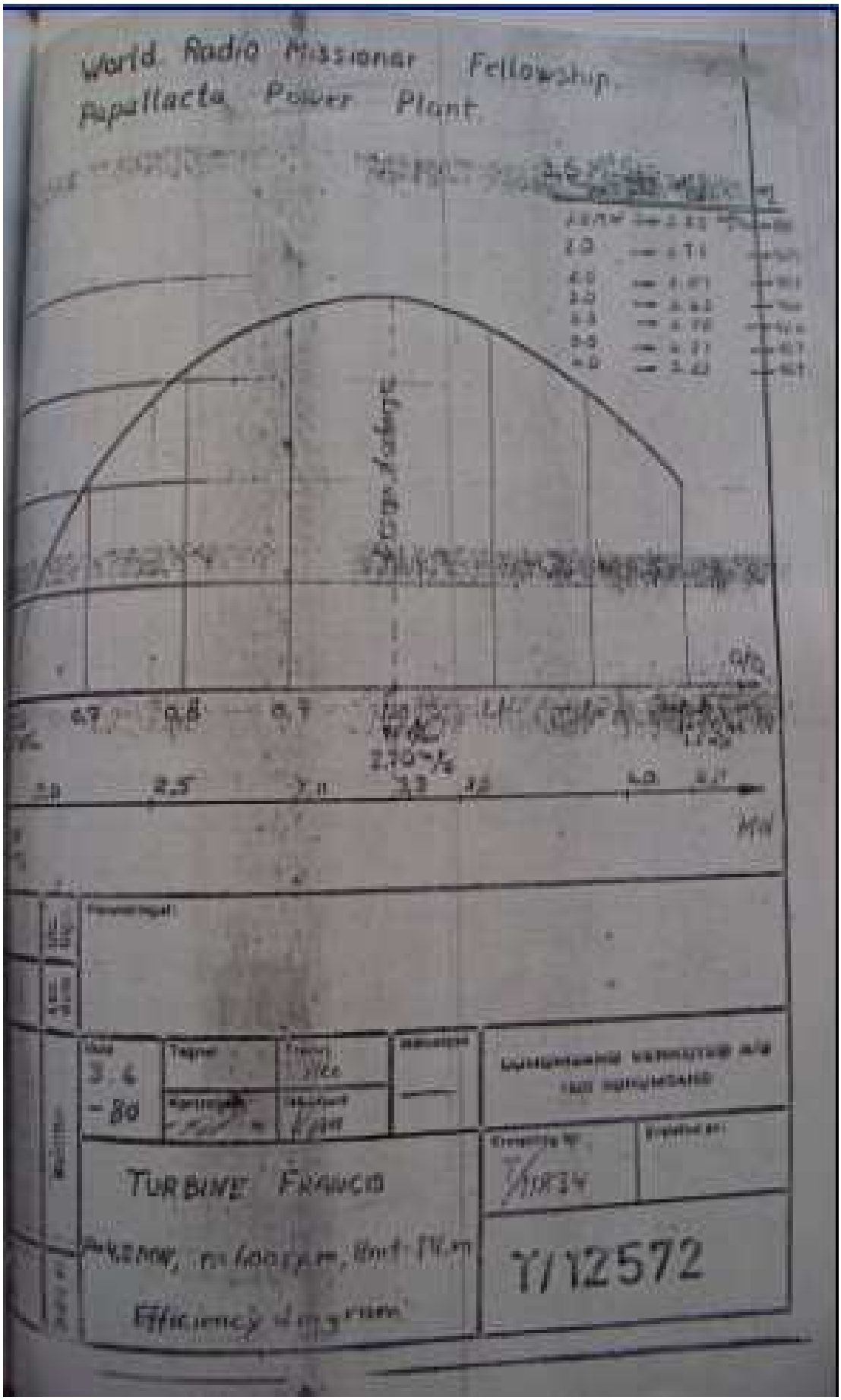











World Radio Missionar Fellowship.
Papallacta Power Plant.
TURBINE FRANCIS
T/12572

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 SYATEM OF HCJB : SEVEND CASE EXPORTING 3.5MW TO EEQSA

2	3	0.5000	6.540	0.00 1.000
1	3	0.5000	5.500	0.0001.000
3	4	0.5000	4.990	0.0001.000
4	5	107.91	74.40	0.190
6	5	0.5000	4.930	0.0001.000
6	7	0.5000	5.070	0.0001.000
6	8	1. 0000	5.300	0.0001.000
6	9	1. 0000	5.300	0.0001.000
0	10	19.965	14.56	0.000
1	11	92.821	67.76	0.100
2	12	0.0000	47.50	0.0001.000
3	13	2. 3300	4.424	0.100
9	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.	0.
4	0	LIN PA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
5	0	LIN PI	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6	0	S/E PI	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7	0	HC500	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.50	0.05
8	0	LVA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.35	0.15
9	0	LVB	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.35	0.15
10	0	YARUQU	1000	0.	0.	0.	0.	0.	4.73	2.15
11	0	S/E TU	1000	0.	0.	0.	0.	0.	38.4	8.15
12	0	LIN EE	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
13	2	CUMBAY	1050	0.					0.	0.
14	0	BAEZA	1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.12	0.05

19

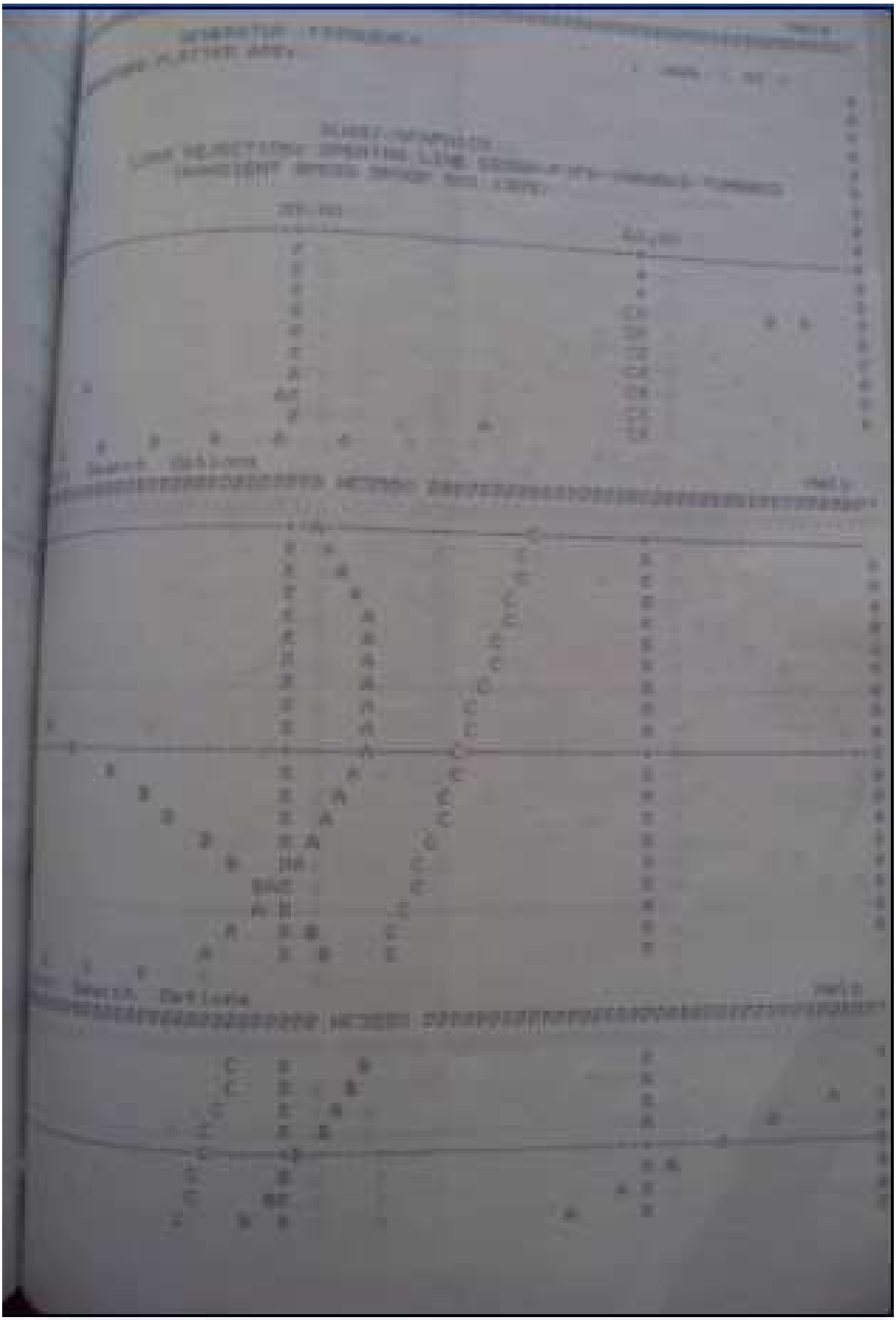
0000001. 0000001

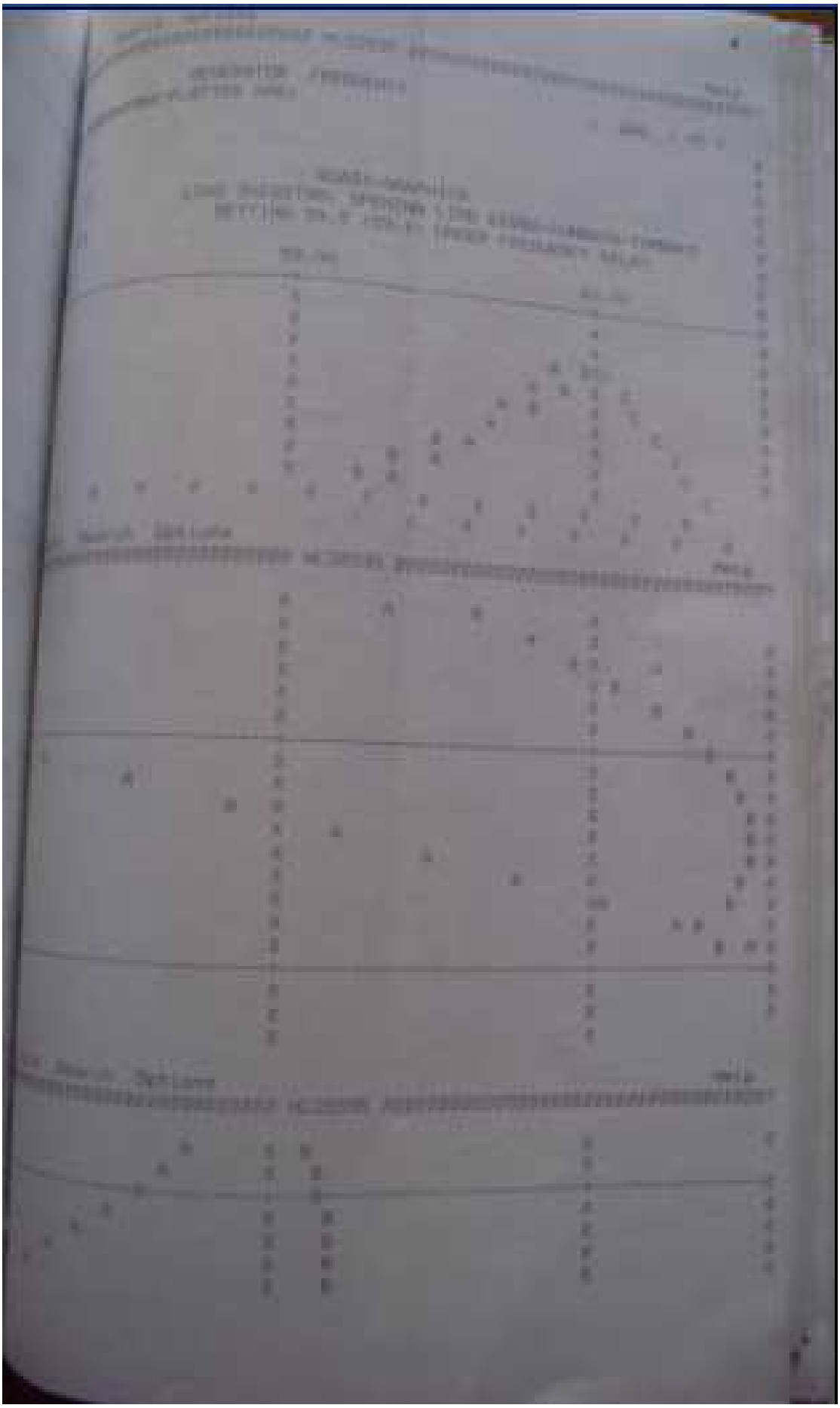
HCLKFHIS UNKNOWN

	VOLTS	ANGLE	GENERATION MW	GENERATION MVAR	LOAD MW	LOAD MVAR	SHUNT MVAR	TIE MVAR
	.986	-7.5	1.5	-.1	.6	.0	.0	
	.986	-7.3	2.6	.0	.0	.6	.1	
	.986	-7.6	.9	.0	.0	.0	.0	
	.988	-7.7	.0	.0	.0	.0	.0	
	.931	-10.0	.0	.0	.0	.0	.0	
	.931	-10.2	.0	.0	.0	.0	.0	

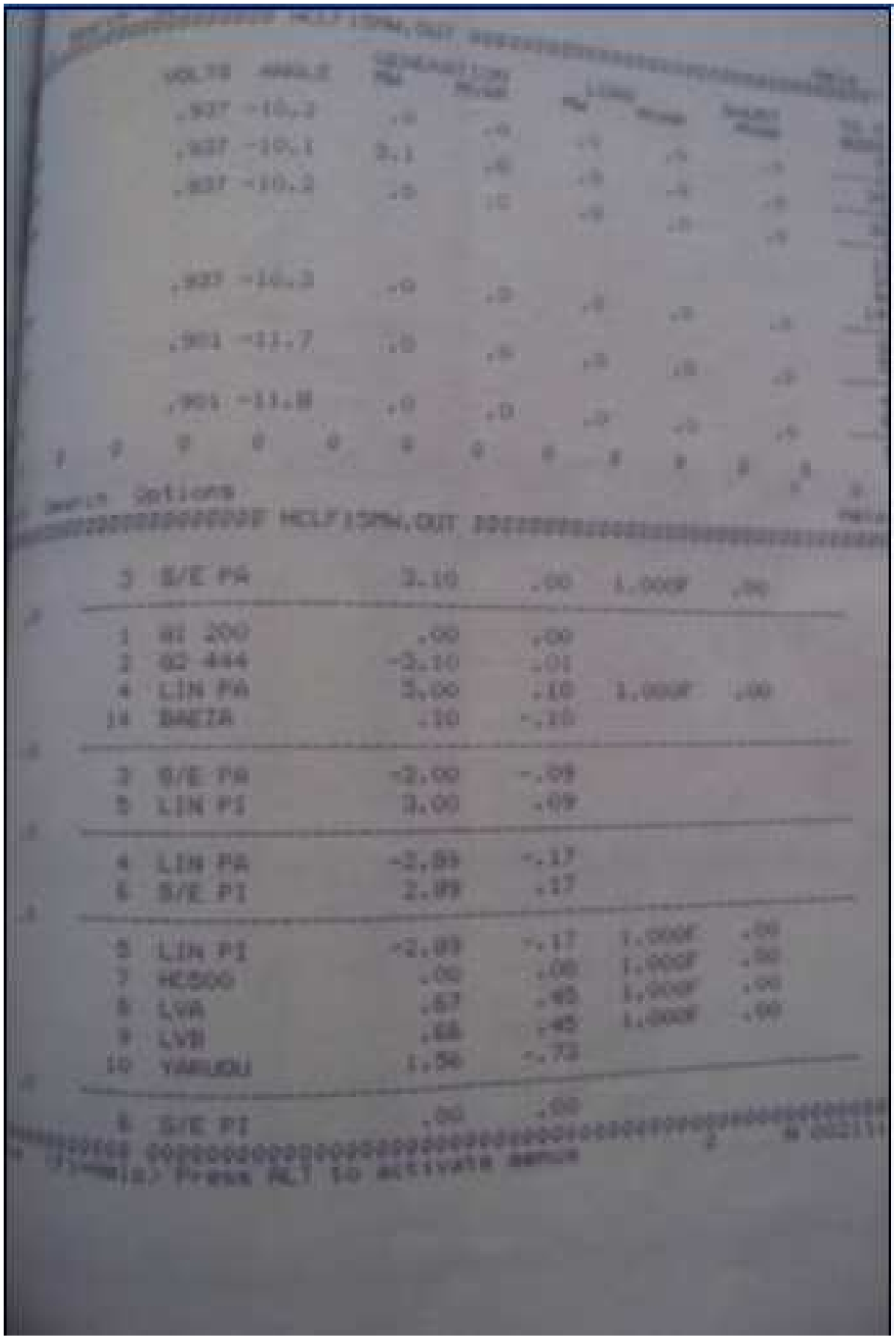
Search Options

3	S/E P6	3.60	.00	1.000F	.00
1	B1 200	-1.50	.10		
2	B2 444	-3.60	.01		
4	LIN P6	4.98	-.02	1.000F	.06
14	AREA	.12	-.08		
3	S/E P6	-4.98	.04		
5	LIN P1	4.98	-.04		
4	LIN P6	-4.70	.05		
6	S/E P1	4.70	-.05		
5	LIN P1	-4.70	.07	1.000F	.00
7	HC500	.90	.05	1.000F	.06
8	LV6	.25	.25	1.000F	.00
9	LV8	.25	.25	1.000F	.00
15	YAMAGAI	3.50	-.12		





1050	0.	0.	0.	0.	0.		
1020	0.	3.1	0.	0.	0.	0.	0.
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1040	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.67	0.20
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.66	0.20
1000	0.	0.	0.	0.	0.	4.73	1.15
1000	0.	0.	0.	0.	0.	38.4	8.50
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1050	0.					0.10	0.01
1000	0.	0.	0.	0.	0.		



VOLTS ANGLE

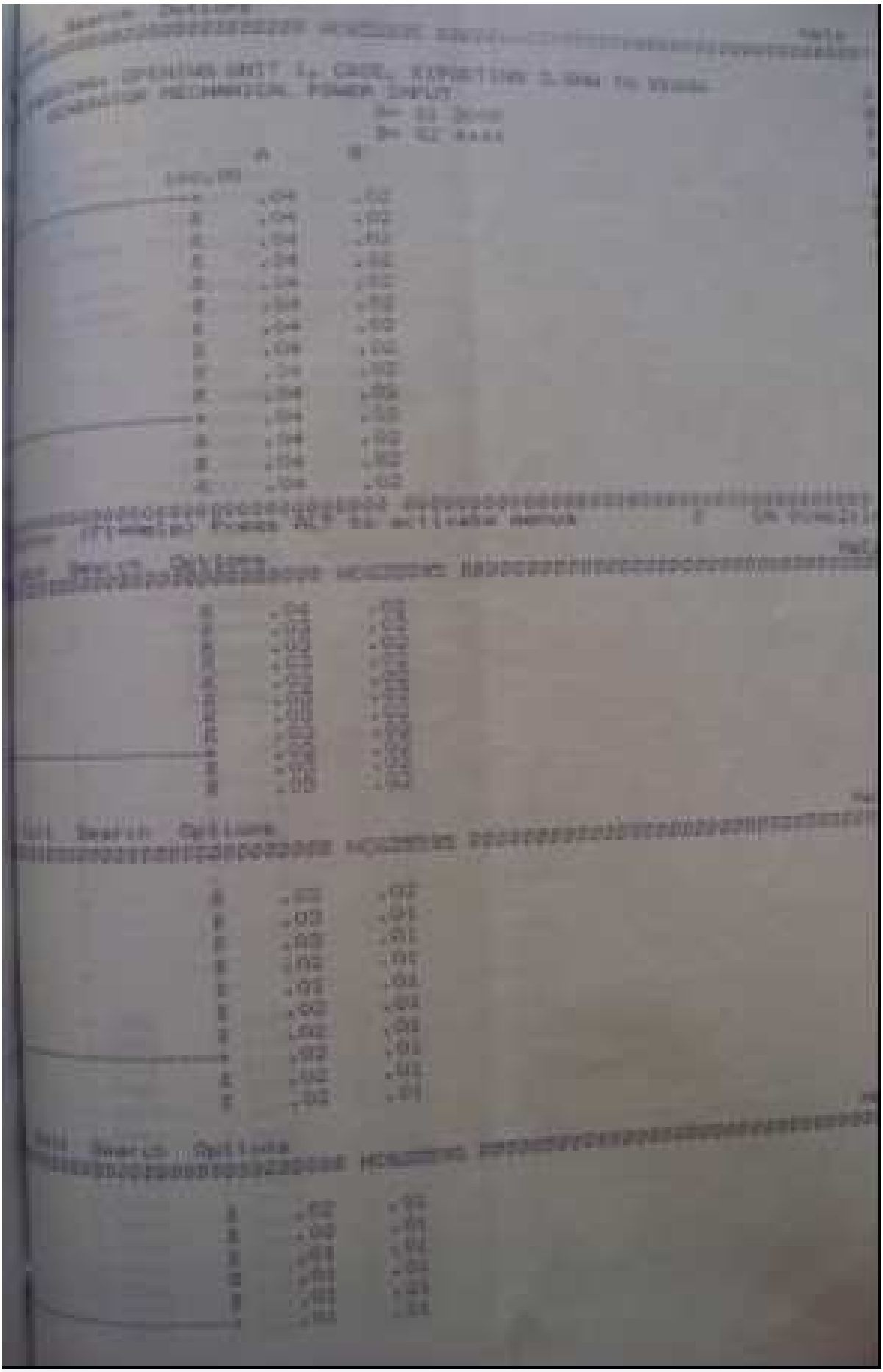
.937 -10.2
.937 -10.1
.937 -10.2
.937 -14.3
.901 -11.7
.901 -11.8

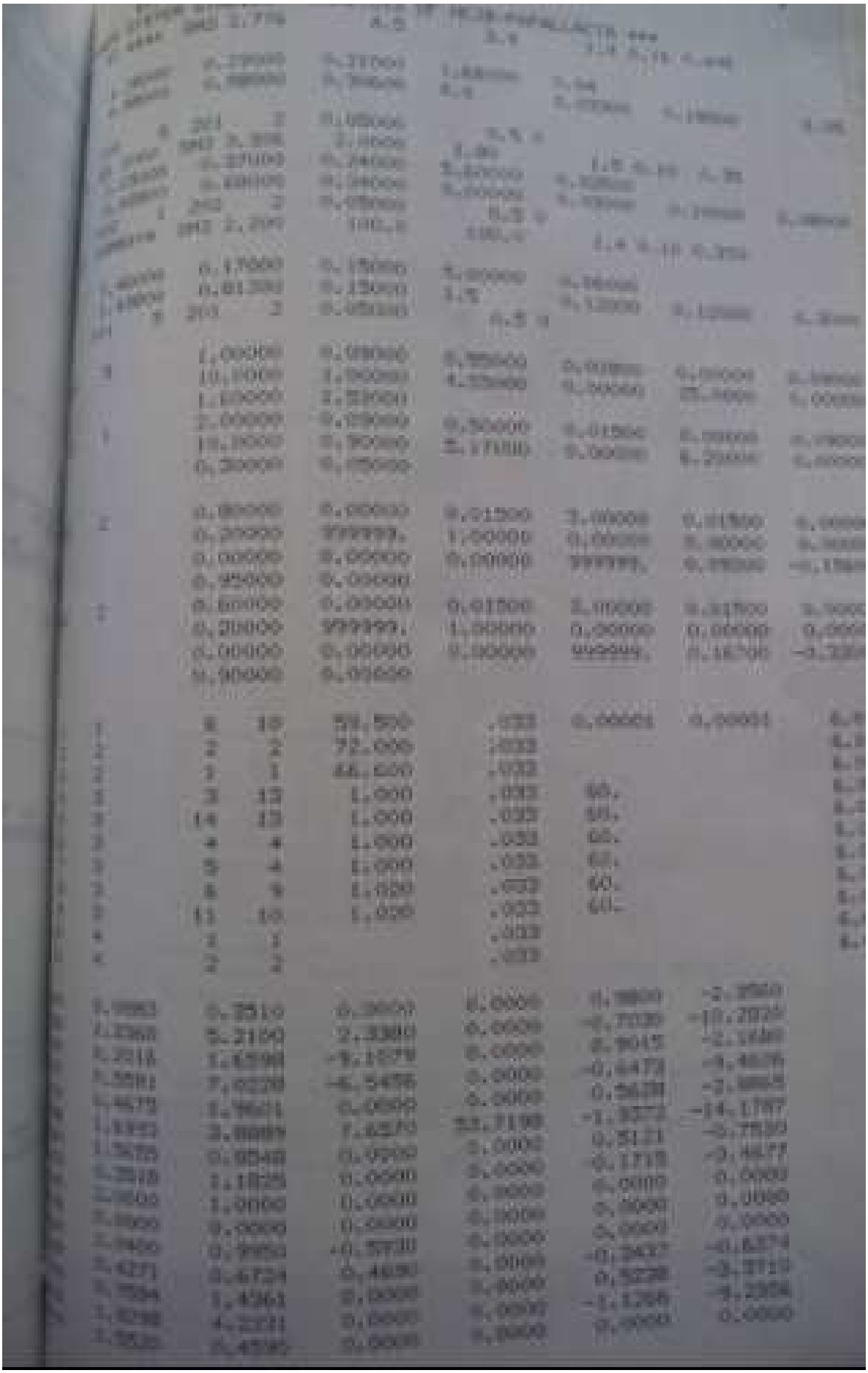
Options

HCLF1594.OUT

3	S/E PA	3.10	.00	1.000F	.00
1	BI 200	.00	.00		
2	BI 484	-3.10	.01		
4	LIN PA	3.00	.10	1.000F	.00
14	BAETA	.10	-.10		
3	S/E PA	-3.00	-.09		
5	LIN PI	3.00	.09		
4	LIN PA	-2.89	-.17		
6	S/E PI	2.89	.17		
5	LIN PI	-2.89	-.17	1.000F	.00
7	HC500	.00	.00	1.000F	.00
8	LVA	.67	.45	1.000F	.00
9	LVB	.68	.45	1.000F	.00
10	YARUDU	1.56	-.73		
6	S/E PI	.00	.00		

(Esc) Press ALT to activate menus





Typical values of reactances, resistances, and time constants of synchronous machines of various types are listed in Table 3.

TABLE 3

Typical Constants of Three-Phase Synchronous Machines
(Adapted from Refs. 13, 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	0.60	1.20	1.50
x_q	0.92	1.08	1.42	0.40	0.75	1.00	0.95	1.15	1.45	0.60	0.80	1.00
x_d'	0.13	0.23	0.28	0.20	0.27	0.36‡	0.30	0.40	0.50	0.25	0.35	0.45
x_q'	0.13	0.23	0.28	0.40	0.75	1.00	0.95	1.15	1.45	0.60	0.80	1.00
x_d''	0.07	0.12	0.17	0.13	0.24	0.33	0.18	0.25	0.36	0.20	0.30	0.40
x_q''	0.10	0.15	0.20	0.23	0.34	0.45	0.25	0.30	0.45	0.20	0.40	0.50
x_2	0.07	0.14	0.21	0.17	0.32	0.40	0.22	0.24	0.45			
x_0	0.07	0.12	0.17	0.13	0.24	0.33	0.17	0.24	0.37	0.25	0.35	0.45
x_d^*	0.01		0.10	0.02		0.21	0.03		0.13	0.04		0.27
Resistances in per unit												
r_a(d-c.)	0.0015		0.005	0.003		0.020	0.002		0.010			
r(a-c.)	0.002		0.006	0.005		0.015	0.004		0.010			
r_2	0.025		0.040	0.012		0.20	0.020		0.07			
Time constants in seconds												
T_{do}'	2.8	5.0	9.2	1.6	3.6	9.5	6.0	9.0	11.5			
T_d'	0.4	1.1	1.6	0.5	1.8	3.3	1.2	2.0	2.8			
$T_d'' = T_q''$	0.02	0.035	0.05	0.01	0.025	0.05	0.02	0.035	0.05			
T_a	0.04	0.16	0.25	0.03	0.15	0.25	0.1	0.17	0.3			

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

†For water-wheel generators without damper windings,

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

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. 34.

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.

[illegible] & Eithert, [illegible]
[illegible] Other Locations [illegible], Ears' & Eithert, [illegible]
[illegible] Schroeder, [illegible]
[illegible]
[illegible] RESULTS - [illegible]
[illegible] Time: [illegible]

[illegible] / EGG POWER TESTS
[illegible]

GENERATION	EGG (kW)	EGG TRIP	TIME
[illegible]	500	YES	[illegible]

[illegible] COLLECTION SHEET

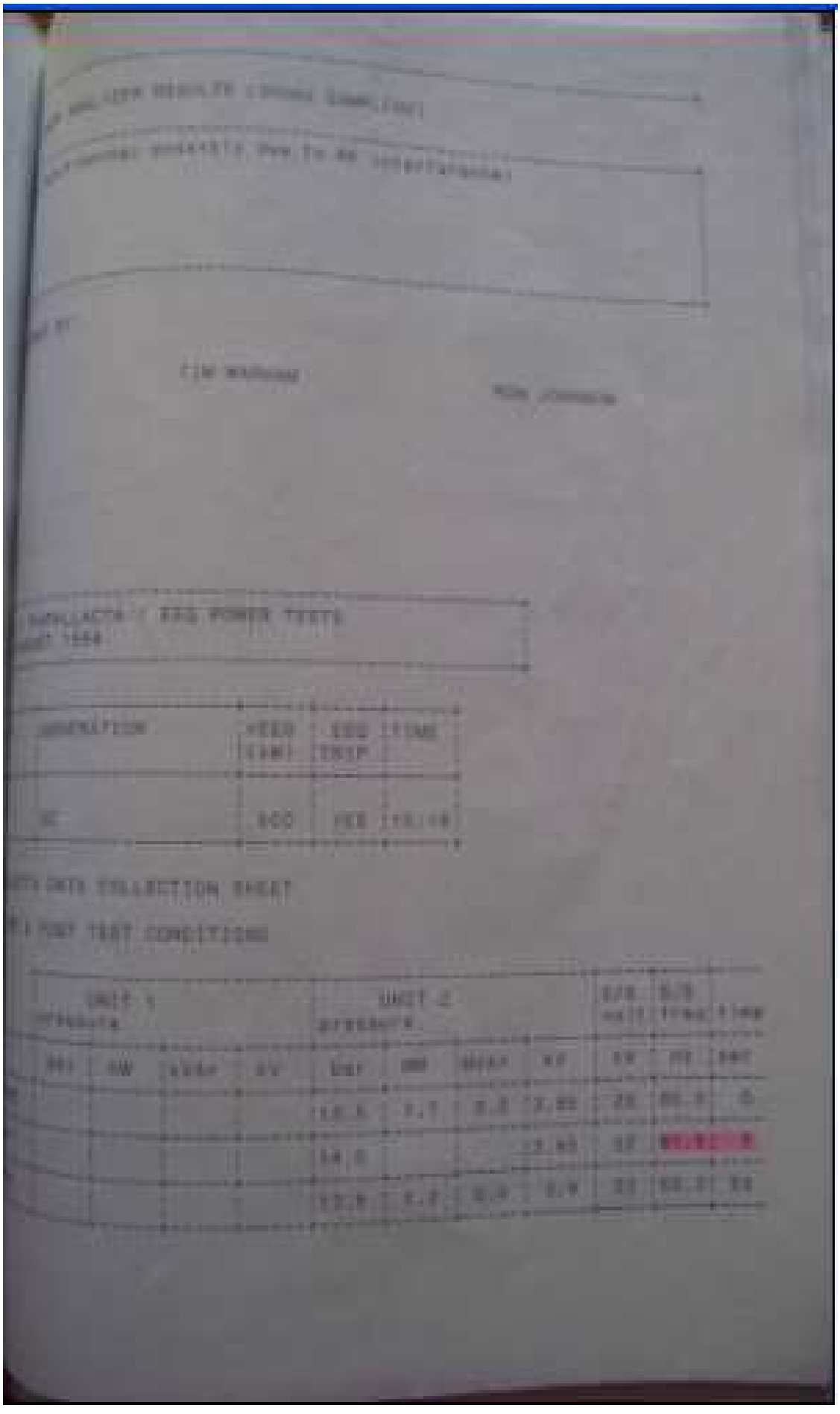
[illegible] POST TEST CONDITIONS

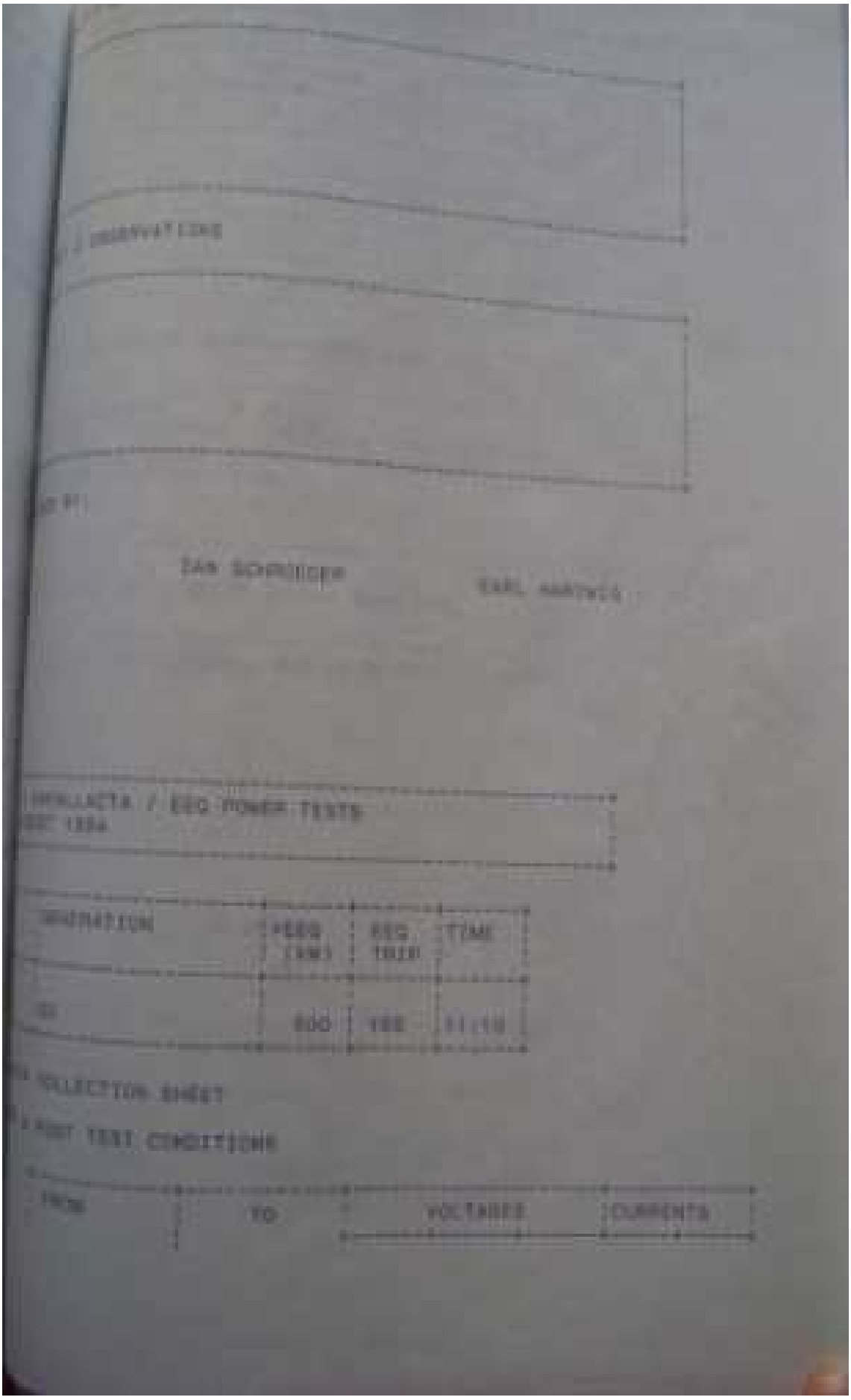
	FROM PARALLACTA		TO EGG		VOLTAGES			CURRENTS	
					24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
[illegible]	1800	-150	800	-300	22.5	470	475	540	420
[illegible]	900	300	0	0	22.5	445	470	540	425

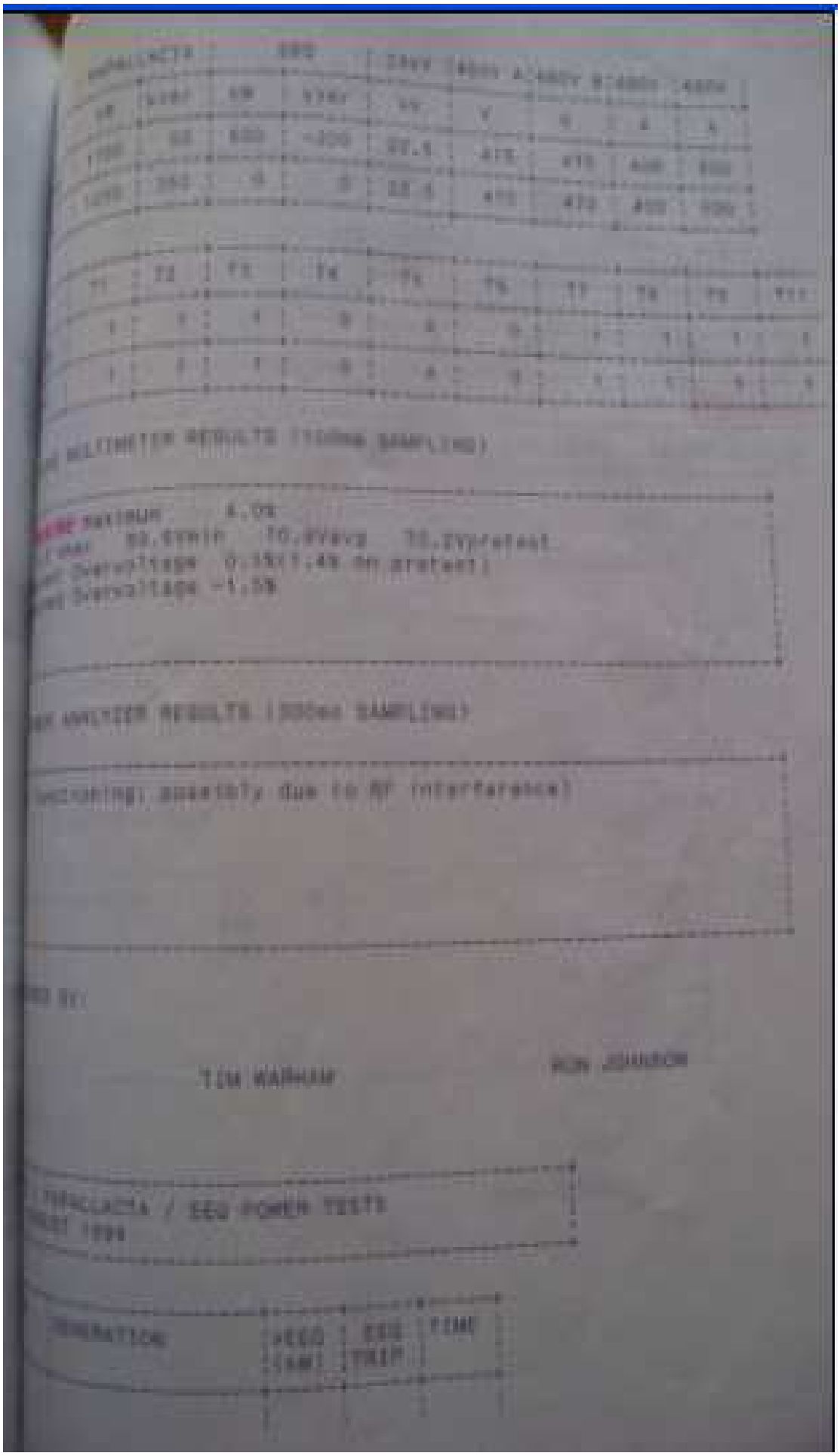
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
[illegible]	1	[illegible]	0	0	0	1	1	0	1	1
[illegible]	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1

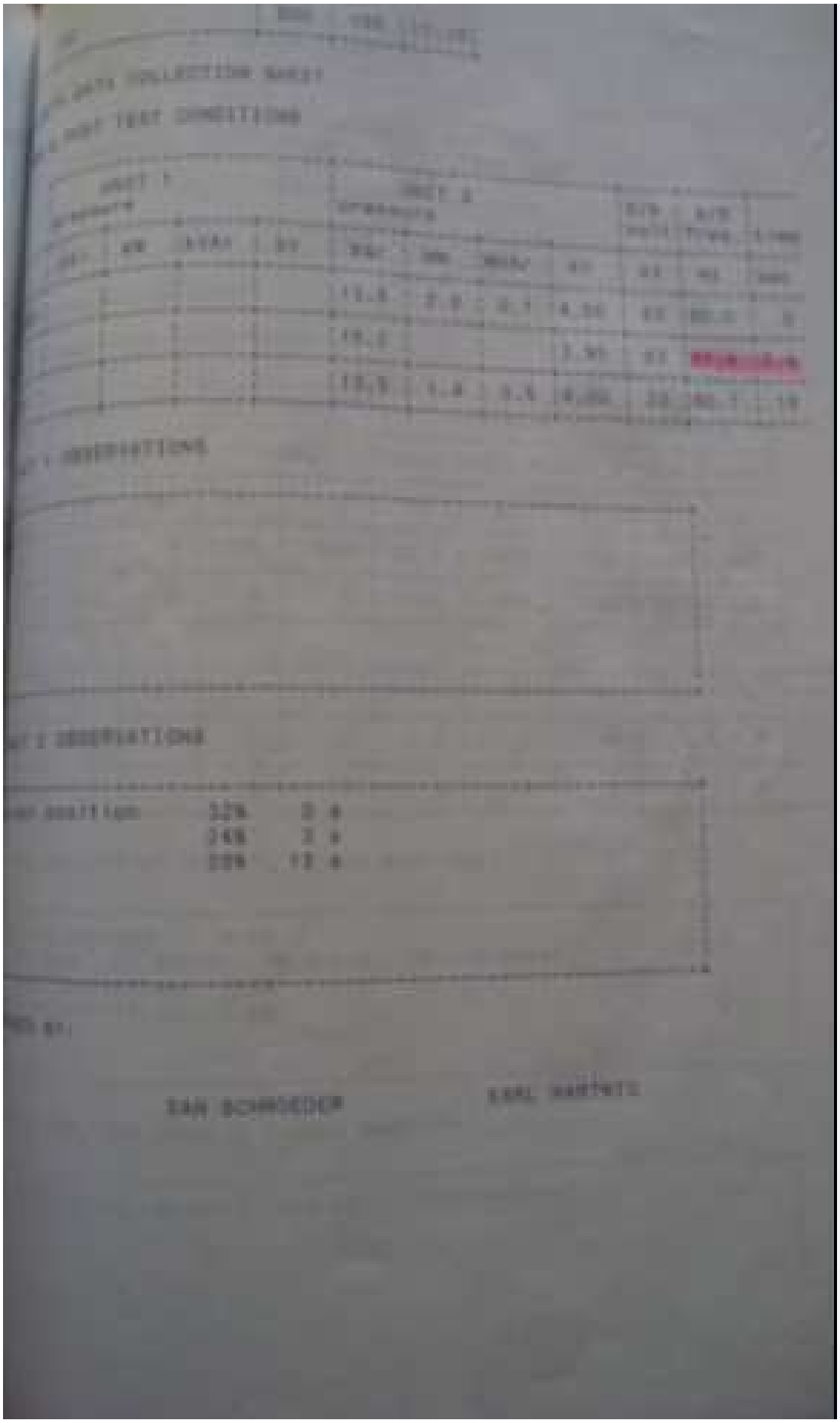
[illegible] MULTIMETER RESULTS (10kHz SAMPLING)

[illegible]
[illegible]
[illegible] is measured on [illegible] phase-phase, phase-ground on [illegible]
[illegible] corresponds to [illegible] due to open delta [illegible]
[illegible] % transient [illegible]
[illegible] % sustained









[illegible] DATA COLLECTION SHEET

[illegible] TEST CONDITIONS

UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
				13.5	2.0	0.1	4.50	[illegible]	[illegible]	[illegible]
				19.2			3.95	[illegible]	[illegible]	[illegible]
				13.5	1.4	0.5	4.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible] OBSERVATIONS

[illegible] OBSERVATIONS

[illegible] position	32%	0 [illegible]
	24%	3 [illegible]
	20%	13 [illegible]

[illegible]

SAM SCHROEDER

KARL HARTWIG

PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
[illegible] 1994

OPERATION	POWER (kW)	EEQ TRIP	TIME
[illegible]	1000	YES	[illegible]

DATA COLLECTION SHEET

[illegible] TEST CONDITIONS

FROM PAPALLACTA		TO EEQ		VOLTAGES			CURRENTS	
				22kV	480V A	480V B	480V	480V
kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
[illegible]	0	1000	-200	22.3	472	475	540	420
800	300	0	0	23	472	480	541	415

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
	1	1	0	0	4	1	1	1	1	1
	1	1	0	0	4	1	1	0	0	1

[illegible] MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

[illegible] Maximum 0.2%
[illegible] 59.5Vmin 70.5Vavg 70.0[illegible]
[illegible] Overvoltage 1.2%
[illegible] Overvoltage 0.3%

[illegible] ANALYZER RESULTS (200ms SAMPLING)

[illegible] (possibly due to RF interference)

[illegible]

TIM [illegible]

RON JOHNSON

[illegible]LACTA / EXO POWER TESTS
[illegible] 1994

GENERATION	MEG (kW)	EXO TRIP	TIME
[illegible]	7000	YES	10:35

[illegible] DATA COLLECTION SHEET

[illegible] POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1 Pressure				UNIT 2 Pressure				S/S volt.	S/S freq.	Time
	bar	MW	MVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	sec
[illegible]					13.4	2.2	0.5	4.00	23.1	50.0	0
[illegible]					15.0			3.80	23.2	[illegible]	[illegible]
[illegible]					13.5		0.0	4.00	23.0	50.1	48

[illegible] OBSERVATIONS

[illegible] OBSERVATIONS

[illegible] POSITION WENT TO [illegible]

JAN SCHROEDER EARL HARRIS

PARALLACTA / EEQ POWER TESTS
JULY 1994

GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
12	1000	YES	10:50

COLLECTION SHEET

POST TEST CONDITIONS

FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
PARALLACTA		EEQ		24VV	480V A	480V B	480V	480V
kW	kVAr	kW	kVAr	KV	V	V	A	A
0350	0	1000	-300	22.5	470	475	540	400
		0	0		470	475		

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	1	0	0	A	1	1	11	1
1	1	0	0	A	1	1	0	1

[illegible] ANALYZER RESULTS ([illegible] SAMPLING)

[illegible] maximum 0.6%
[illegible] 53.9 [illegible] 73.5 [illegible] 30.4 [illegible]
[illegible] overvoltage 1.2%
[illegible] overvoltage -1.1%

[illegible] ANALYZER RESULTS (300Hz SAMPLING)

[illegible]: possibly due to RF interference]

[illegible] BY:

TIM MARHAN   RON JOHNSON

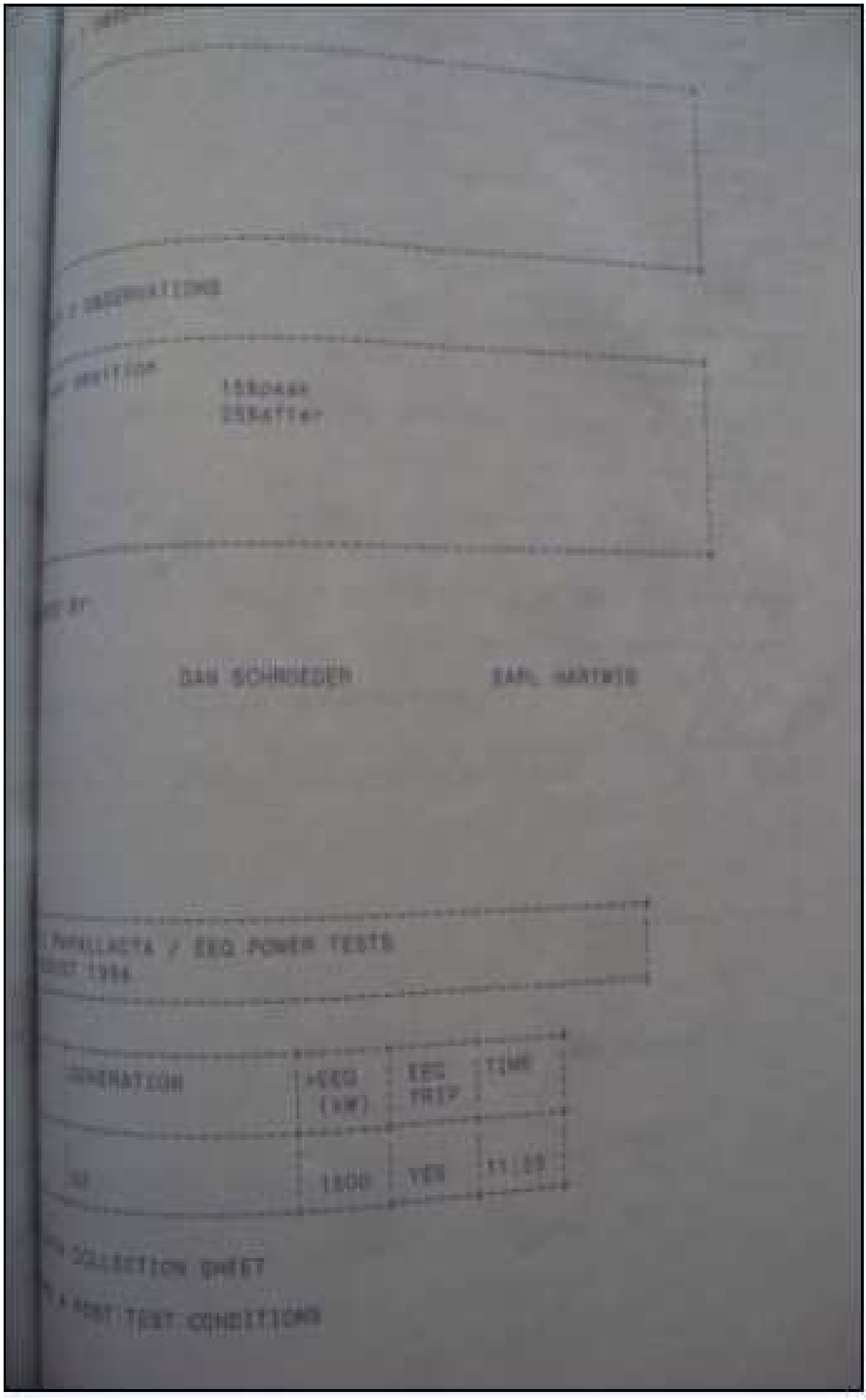
[illegible] PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
[illegible] 1996

	GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
	[illegible]	1000	YES	10:50

[illegible] DATA COLLECTION SHEET

[illegible] & POST TEST CONDITIONS

UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				S/S volt	S/S freq.	time
bar	kW	kVAR	kV	bar	MW	MVAR	[illegible]	kV	HZ	sec
				12.4	2.4	0.0	4.00	23.0	60.0	[illegible]
				19.0			3.95	23.0	[illegible]	



[illegible] PANALLACTA		EPS		VOLTAGES			CURRENTS	
				24kV	480V A	480V B	480V	480V
kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
[illegible]	-450	1500	-750	52.5	471	475	650	500
1250	200	0	0	52.5	472	415	275	500

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
0	1	1	2	4	0	1	1	1	3
1	1	1	0	4	0	1	1	1	1

MULTIMETER RESULTS (100MS SAMPLING)

maximum 17.5%
69.9%min 70.0%avg 70.4%greatest
Overvoltage 1.2%
Overvoltage -1.5%
showed a peak (not rms) of 119.2V or 18% - not seen ass

ANALYZER RESULTS (300mA SAMPLING)

functioning, possibly due to RF interference)

BY:

TIM MARHAM

RON JOHNSON

PANALLACTA / EEG POWER TESTS
1996

[illegible]RATION	LOAD (kW)	[illegible] TRIP	TIME
[illegible]	7500	755	11:25

[illegible] DATA COLLECTION SHEET

[illegible] / POST TEXT CONDITIONS

UNIT 1 pressure				UNIT 2 pressure				S/S volts	S/S freq.	time
[illegible]	kW	kvar	kV	bar	MW	Mvar	kV	kV	Hz	sec
				13.2	5.5	0.6	4.00	23.1	45.0	0
				15.1			3.90	23.1	13.5	4.5
				13.5	5.5	0.2	4.00	23.0	50.1	28

[illegible] 1 OBSERVATIONS

[illegible] 2 OBSERVATIONS

[illegible] position 50%before
5%peak
20%after
[illegible] Low water pressure in oil cooling

[illegible] BY:

DAN SCHROEDER KARL HARTWIG

[illegible]ALLACTA / EEG POWER TESTS
[illegible] 1998

GENERATION	KEEG (kW)	EEQ TN(?)	TIME
[illegible]	7500	750	11:45

[illegible] COLLECTION SHEET

[illegible] POST TEST CONDITIONS

	FROM PAPALLACTA		TO EEQ		VOLTAGES			CURRENTS	
					24kV	480V A	480V B	480V	480V
	kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
[illegible]	2000	-500	1850	-752	27.5	475	475	385	500
[illegible]	1200	350	0	5		470	472	550	450

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
[illegible]	1	1	1	0	4	0	1	1	1	1
[illegible]	1	1	1	0	4	0	1	1	1	1

[illegible] MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

[illegible] maximum 17.6%
[illegible] 58.8vmin 73.8vavg 70.4vpretest
[illegible] Overvoltage 1.2%
[illegible] Overvoltage -1.7%

[illegible] ANALYZER RESULTS (250ms SAMPLING)

[illegible] functioning; possibly due to RF interference)

TIM WARHAM

RON JOHNSON

[illegible]LACTA / EEU POWER TESTS
[illegible] 1984

GENERATION	FEED (kW)	EEU TRIP	TIME
32	1500	YES	11:40

[illegible] DATA COLLECTION SHEET

[illegible] POST TEST CONDITIONS

	UNIT 1 Pressure				UNIT 2 Pressure				S/S Volt.	S/S Freq.	[illegible]
	bar	kW	kVAr	kV	bar	MW	MVAr	kV	kV	Hz	[illegible]
[illegible]					13.2	3.1	0.8	6.30	23.1	60.6	[illegible]
[illegible]					15.2			1.90	23.1	72.3	[illegible]
[illegible]					13.4	1.4	0.3	6.20	23.5	60.2	[illegible]

[illegible] OBSERVATIONS

[illegible]

[illegible]

[illegible]

DAN SCHROEDER EARL HARTNIS

PAPALLACTA / EEG POWER TESTS
[illegible] 1994

GENERATION	MEEG (kW)	EEG TRIP	TIME
U2 + U1	2000	YES	13:55

DATA COLLECTION SHEET

PRE & POST TEST CONDITIONS

FROM PAPALLACTA		TO EEG		VOLTAGES			CURRENTS	
				22kV	480V A	480V B	480V	480V
KW	KVAR	KW	KVAR	KV	V	V	A	A
3400	-800	2000	-500	22.5	417	475	240	410
1110	300	0	0	22.7	460	480	350	400

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9

position 50kkvar
70kvar
25kvar

DAN SCHROEDER KARL MARTNIS

PAPALLACTA / EEQ POWER TESTS
UST 1994

GENERATION	>EEQ (kW)	EEQ TRIP	TIME
G2 + G1	2000	YES	15:45

DATA COLLECTION SHEET

PRE & POST TEST CONDITIONS

FROM PAPALLACTA		TO EEG		VOLTAGES			CURRENTS	
				24kV	480V A	480V B	480V	480V
kW	kVAr	kW	kVAr	kV	V	V	A	A
3400	-800	2000	+900	22.5	477	475	240	425
1100	300	0	2	22.7	488	482	250	400

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9

... MULTIMETER RESULTS (100Hz SAMPLING)

... [illegible]	70.4Vmin	71.5Vavg	70.4V[illegible]
... Overvoltage	2.3%		
... Overvoltage	0.0%		

... ANALYZER RESULTS (300Hz SAMPLING)

... maximum	9.0%W	13:59:01
... maximum	0.7%W	13:59:23

... BY:

TIM WARHAM　　　　　RON JOHNSON

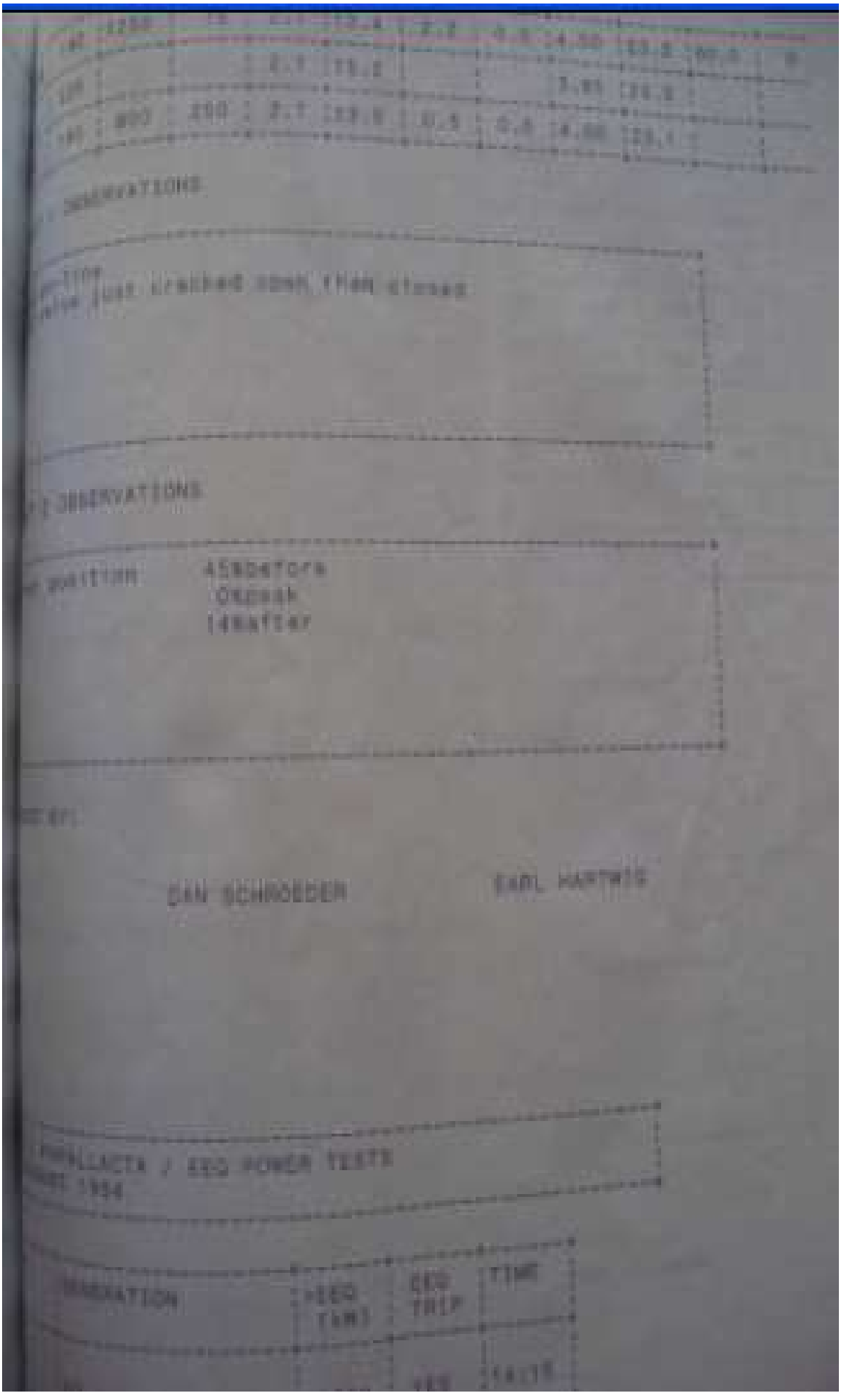
... PAPALLACTA / EEG POWER TESTS
... UST 1998

GENERATION	>EEG (kW)	EEG TRIP	TIME
G2 + G1	2000	YES	13:55

... DATA COLLECTION SHEET

... & POST TEST CONDITIONS

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



... COLLECTION SHEET

... TEST CONDITIONS

FROM HAFALLACTA		TO EEG		VOLTAGES			CURRENTS	
kW	kVAr	kW	kVAr	24kV	480V A	480V B	480V	480V
				kV	V	V	A	A
3807	-850	2550	-1200	22.5	480	475	240	410
1083	200	0	0	22.5	480	455	240	400

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	1	1	0	A	0	2	1	0
1	1	1	0	A	3	0	1	8

... MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

... 72.40min 72.11avg 70.41greatest
... Overvoltage 3.8%
... Overvoltage 1.2%

... ANALYZER RESULTS (200ms SAMPLING)

... Maximum 13.29% 14:17:25
... Maximum 0.79% 14:17:25

... EEG turned off - tube failed on grid scr...
... only 2000 hours old

... BY:

RON JOHNSON

TIM BARHAM

... HAFALLACTA / EEG POWER TESTS

[illegible]	VOLT. (kV)	[illegible]	TIME
[illegible]	1500	[illegible]	[illegible]

DATA COLLECTION SHEET

[illegible] TEST CONDITIONS

UNIT 1 [illegible]				UNIT 2 [illegible]				S/S VOLT.	S/S FREQ.	TIME
(%)	kW	kvar	kV	[illegible]	MW	Mvar	kV	kV	Hz	sec
160	1255	0	2.7	13.5	2.6	0.0	4.00	21.2	60.0	6
160			2.9	15.2			4.10	22.1	[illegible]	[illegible]
150	455	150	2.7	13.5	9.8	0.3	4.00	23.2	61.8	11

OBSERVATIONS

[illegible]
[illegible] just cracked open then closed

[illegible] OBSERVATIONS

[illegible] Station: [illegible]
[illegible]
[illegible]

[illegible] by:

[illegible] [illegible]

…ALLACTA / EEQ POWER TESTS
… 1994

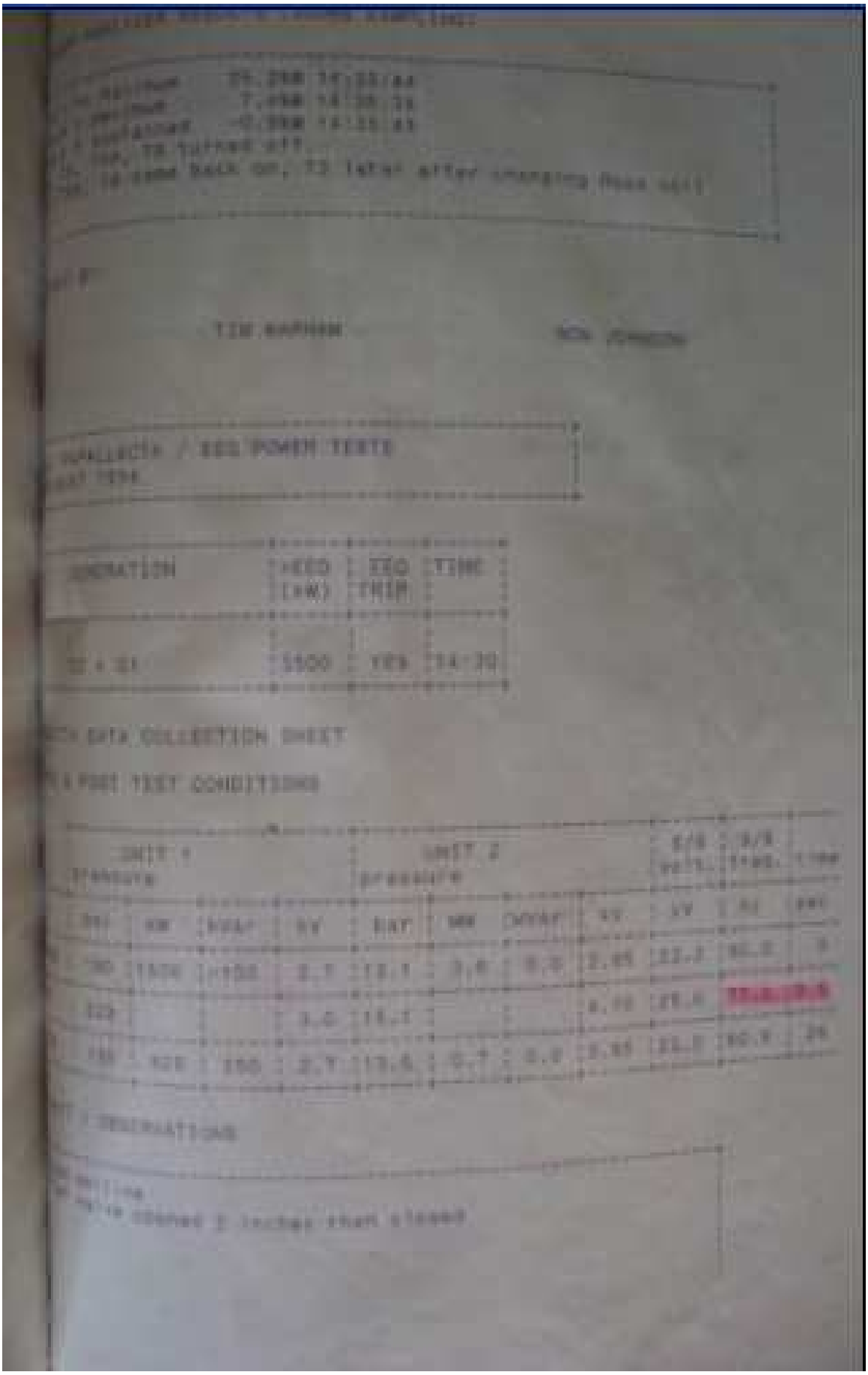
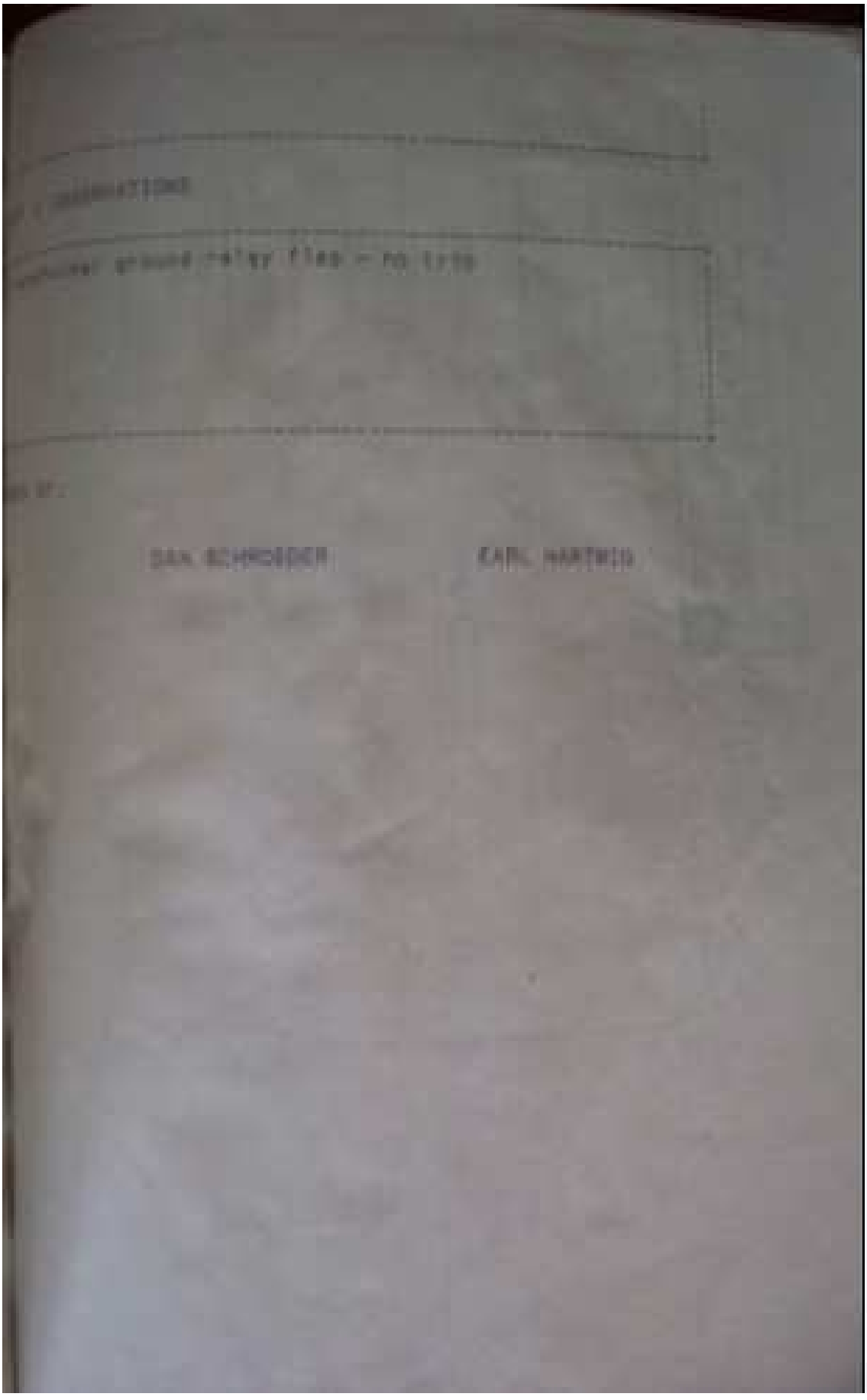
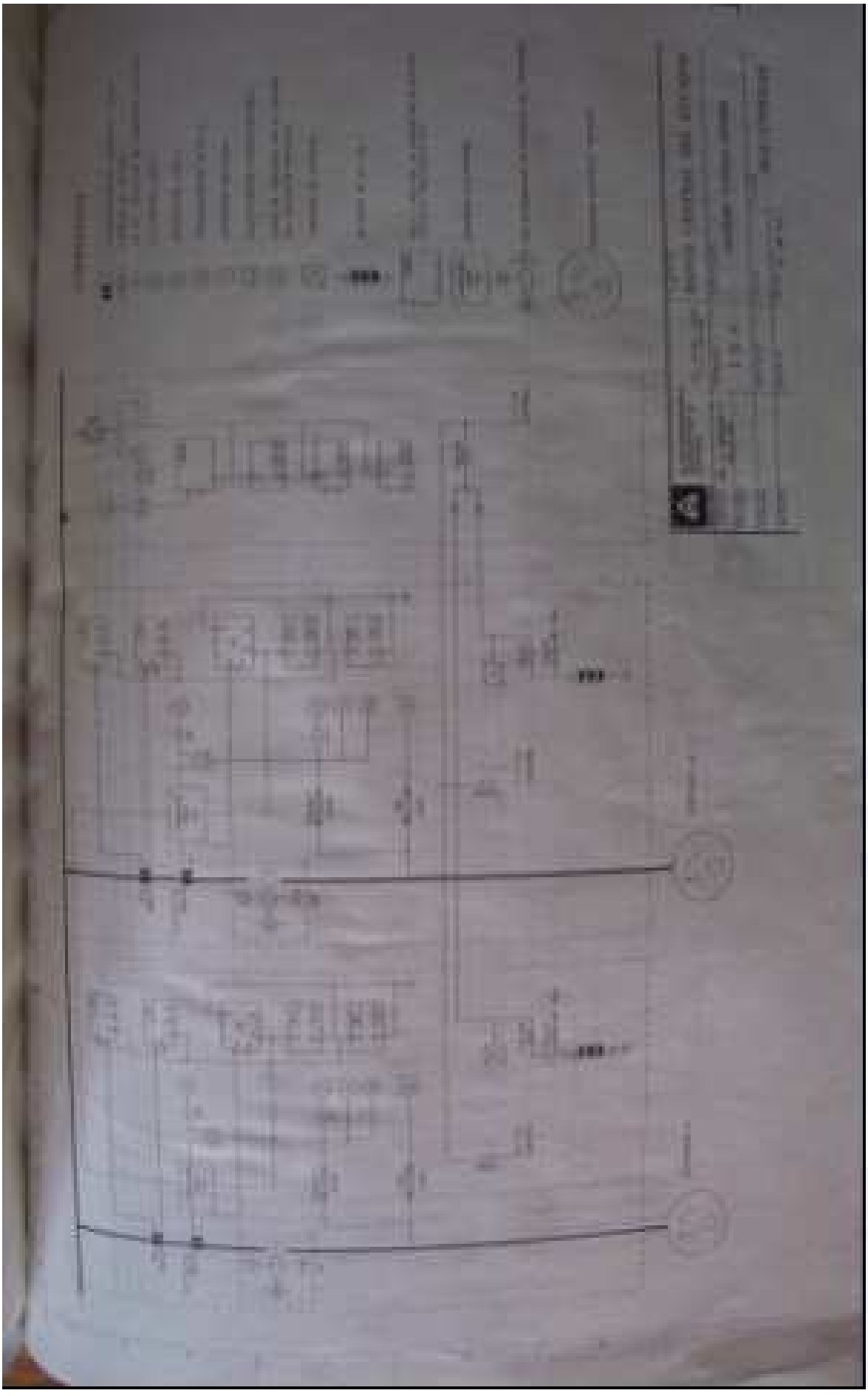
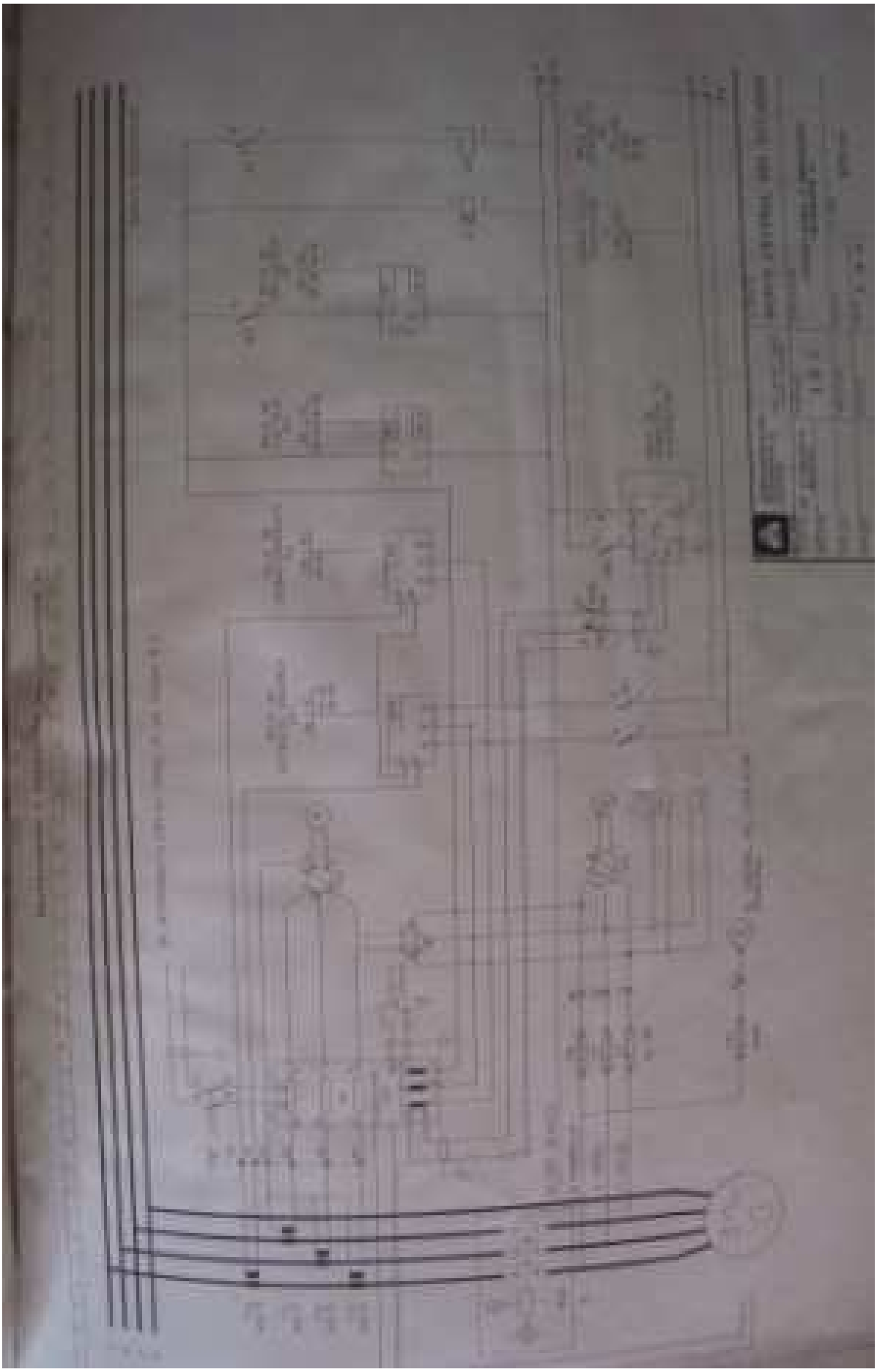
GENERATION	FEED (kW)	EEQ TRIP	TIME
…32 + 01	3500	YES	14:30

… COLLECTION SHEET

… TEST CONDITIONS

FROM		TO		VOLTAGES			CURRENTS	
PAPALLACTA		EEQ		24kV	480V A	480V B	480V	480V
kW	KVAr	kW	KVAr	kV	V	V	A	A
3000	-2100	3500	-2100	22.5	480	477	240	420
		0	0					

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11
1	1	[illegible]	0	[illegible]	0	0	1	[illegible]	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

… MULTIMETER RESULTS (100ms SAMPLING)

… max … min T3.1 … T1.avg …
… voltage 13.9 …