



INFORME TÉCNICO VERIFICACIÓN DE SSCC CT Y CTF (EN GIRO) UNIDAD GENERADORA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PASADA RUCATAYO

Preparó : DOMINET ENERGÍA SPA
Referencia : Gonzalo Barros / Kurt Heitmann
Número Referencia : SO_129_INFOT_VSSCC_CT_CTF_V3
Fecha : septiembre 07, 2022.
Fecha revisión 1 : diciembre 22,2022.
Fecha revisión 2 : abril 11,2023.

**CLIENTE : COORDINADOR ELÉCTRICO /
CENTRAL HP RUCATAYO.**

Versiones y Revisiones del documento:

Revisiones: Id. de cambios	Realizado por	Fecha
Revisión 1	knp- gbo	07-09-2022
Revisión 2	knp- gbo	22/12/2022
Revisión 3	KnP-gbo	11/04/2023

TABLA DE CONTENIDOS:

0. DEFINICIONES, NOMENCLATURAS Y NORMAS APLICADAS.	4
1. RESUMEN EJECUTIVO Y RESPONSABLES DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE CT Y CTF.	6
2. OBJETO DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE CT Y CTF.	9
3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES.	10
4. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN.	13
4.1 PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA PRUEBAS DE VERIFICACIÓN CT Y CTF	13
4.2 ACTA DE LA PRUEBA DE VERIFICACIÓN CT y CTF.	14
4.3 ENSAYOS DE UNIDAD GENERADORA EN VACÍO Y CON CARGA.	16
4.4 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Control de Tensión CT.	28
4.5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Control Terciario de Frecuencia CTF.	39
5. MEMORIA TÉCNICA DEL PROCEDIMIENTO.	44
6 ANEXO: Información de Ensayos del fabricante.	45

Índice de Ilustraciones, Gráficos y Tablas:

Ilustración 1 Unilineal Central Rucatayo	11
Ilustración 2 Diagrama P-Q de la Unidad Generadora de Central Rucatayo.	12
Ilustración 3 Parámetros de tiempo en que interviene control de corriente de excitación. ..	28
Ilustración 4 Parámetros límites Unidad Generadora.....	30
Gráfico 1 Respuesta temporal del lazo de regulación.	16
Gráfico 2 Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión (-5%-> +5%)	17
Gráfico 3 Techos de excitación y límites electrónicos	18
Gráfico 4 Limitación V/F	19
Gráfico 5 Limitación Voltaje/frecuencia	20
Gráfico 6 Ensayo Límite V/F	21
Gráfico 7 Excitación UEL a Pmin	22
Gráfico 8 Excitación UEL a P Media	23
Gráfico 9 Excitación UEL a PMAX	24
Gráfico 10 Excitación OEL a Pmin	25
Gráfico 11 Excitación OEL a P media	26
Gráfico 12 Excitación OEL a Pmax	27
Gráfico 13 Curva PQ característica y ensayo	30
Gráfico 15 Registro de Pruebas Verificación CT	35
Gráfico 16 Voltajes líneas transmisión y salida Generador, durante las pruebas.....	36
Gráfico 17 Prueba Tasa de Subida y Bajada Reserva en Giro	41
Gráfico 18 Registro de partida en frío	42
Tabla 1 Parámetros PQ para CT	6
Tabla 2 Ensayo Verificación CTF	7
Tabla 3 Características Unidad Generadora	10
Tabla 4 Parámetros de respuesta temporal del lazo de regulación.	17
Tabla 5 Techos de excitación.	18
Tabla 6 Ensayos UEL	22
Tabla 7 Ensayo OEL.....	25
Tabla 8 Ensayos CT Subexcitación	29
Tabla 9 Ensayo CT Sobreexcitación	29
Tabla 10 Ensayo Subexcitación.....	32
Tabla 11 Ensayo Sobreexcitación	32
Tabla 12 Control de Tensión Valores a Informar.....	33
Tabla 13 Limitadores por Voltaje, valores registrados y Parámetros.....	37
Tabla 14 Información Registrada Prueba Verificación CT, extracto.	38
Tabla 15 Ensayo y valores a informar CTF.....	39
Tabla 16 Control CTF valores registrados.	40
Tabla 17 Información Registrada Prueba Verificación CTF, extracto.	43

0. DEFINICIONES, NOMENCLATURAS Y NORMAS APLICADAS.

DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS:

AGC: Control Automático de Generación.

ANEXO NT SSCC: Anexo Norma Técnica Verificación de Instalaciones para la prestación de SSCC.

COORDINADO: Empresa sujeta a la coordinación de su operación por parte del COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL.

COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL: Organismo técnico e independiente, encargado de la coordinación de la operación del conjunto de instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional que operen interconectadas entre sí.

CPF: Control Primario de Frecuencia.

CSF: Control Secundario de Frecuencia.

CTF: Control Terciario de Frecuencia.

CT: Control de Tensión.

DO: Dirección de Operación.

EXPERTO TÉCNICO: Persona natural o jurídica distinta a la propietaria u operadora de la instalación en la que se realizarán las Pruebas, y que no forma parte del personal del Coordinador, calificado por este último para que en representación suya ejecute lo indicado en el Anexo Técnico.

HP: Central Hidráulica de Pasada (HP) Rucatayo.

INFORME TÉCNICO: Es el informe del Experto Técnico aprobado por el Coordinador, que debe ser desarrollado conforme a lo indicado en el Anexo Técnico y demás normativa vigente.

ISO: Organización Internacional de Normalización.

POTENCIA MÁXIMA: Máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener una unidad generadora, en un período mínimo de 5 horas continuas, en los bornes de salida del generador para cada una de las modalidades de operación informadas al Coordinador.

PRS: Plan de Recuperación del Servicio.

SSCC: Servicios Complementarios.

SI: Sistema Interconectado.

SITR: Sistema de Información en Tiempo Real.

TTCC: Transformadores de corriente para medida en instrumentos.

TTPP: Transformadores de potencial para medida en instrumentos.

UG: Unidades Generadoras, Equipos destinados a la Generación eléctrica en el SI.

NORMATIVAS APLICADAS:

El presente protocolo se basa en las siguientes Normas y Guías:

- i. Norma Técnica de seguridad y Calidad y de Servicio (NTSyCS)
- ii. Norma Técnica de Servicios Complementarios (CNE – Resolución exenta N° 786, 18 de diciembre de 2019)
- iii. Anexo Técnico: Verificación de Instalaciones para la prestación de SSCC.
- iv. Guía de Verificación Control de frecuencia.
- v. Guía de Verificación de Control de Tensión.
- vi. Informe de Definición de Servicios Complementarios (Res. Ex. N° 442)

1. RESUMEN EJECUTIVO Y RESPONSABLES DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE CT Y CTF.

1.1 RESUMEN EJECUTIVO:

Conforme a la normativa y procedimientos establecidos por el COORDINADOR ELÉCTRICO, se realizaron pruebas de verificación de los SSCC de CT y CTF a la unidad generadora de la Central Generadora HP Rucatayo, bajo un protocolo aprobado por el Coordinador. Estas pruebas han sido dirigidas por un experto técnico con más de 10 años de experiencia en el área.

Las pruebas fueron realizadas el 23 de agosto del 2022 y complementada con ensayos de puesta en servicio en fábrica (FAT) y en terreno (SAT).

Los ensayos de verificación de CT, han estado limitados por condiciones de operación de la línea de transmisión, sin embargo se concluye que la Unidad Generadora puede operar conforme con las características de potencia activa y reactivas informadas por el fabricante y sus pruebas de recepción en terreno.

Tabla 1 Parámetros PQ para CT

SSCC		Control de Tensión				
Categoría		Control de Tensión				
Subcategoría		Control de Tensión				
Central / Unidad	Tensión [pu] Potencia [MW]	Valor Determinado [MVar]				
		0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
Central Rucatayo/ UG1	P1=15.0	-	32.00	33.10	33.70	-
	P2=33.2	-	29.80	30.30	30.90	-
	P3=44.1	-	24.80	25.40	25.90	-
	P4=52.5	-	17.60	17.60	17.60	-
	P4=52.5	-	-17.60	-17.60	-17.60	-
	P3=44.1	-	-30.30	-30.90	-31.40	-
	P2=33.2	-	-35.30	-37.00	-38.60	-
	P1=15.0	-	-38.00	-41.00	-43.00	-

Los resultados obtenidos para la prueba de verificación de CTF, corresponden con lo informado por el fabricante y sus pruebas de recepción en terreno, para lo cual se realizaron ensayos que permiten acreditar su cumplimiento.

Tabla 2 Ensayo Verificación CTF

SSCC		Control de Frecuencia				
Categoría		Control Terciario de Frecuencia				
Subcategoría		CTF+ y CTF-				
Central	Combustible	Parámetro		Valor determinado		
				U1	U2	U3
Central Rucatayo	Hidraulica	Tasa normal de operación [MW/min]	Subida	18		
			Bajada	-18		
		Tasa máxima de operación [MW/min]	Subida	18.25		
			Bajada	-18.4		
		Tiempo de respuesta [minutos]	Subida	2.05		
			Bajada	2.04		
		Aporte CTF [MW]	Subida	37.5		
			Bajada	37.5		
Límite de regulación superior [MW]			52.5			
Límite de regulación inferior [MW]			15			

Para referencias técnicas, de procedimientos e información se deben considerar los siguientes documentos:

- Norma Técnica de Seguridad y Calidad del Suministro NTSyCS, dic-2019.
- Guía de Verificación de Servicios Complementarios Control de Tensión, jun 2020.
- Guía de Verificación de Servicios Complementarios Control de Frecuencia, jun 2020.
- COMMISSIONING RESULTS / Resultados de puesta en servicio Rucatayo 360/1850Rr

1.2 RESPONSABLES DE LA PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE CT Y CTF:

OPERADOR PROPIETARIO:

La prueba se efectuó en las Instalaciones de La Central Generadora HP Rucatayo, cuyo operador es STATKRAFT. La persona responsable de las operaciones y coordinación es:

Jefe de Operación	STATKRAFT / Nelson Ríos Basualto
Fono	+56 223987812.
Celular	+56 9 39221683
Email	nelson.rios@statkraft.com

EXPERTO TÉCNICO:

El experto técnico es DÓMINET ENERGÍA SPA, responsable de desarrollar el protocolo de pruebas de verificación, de supervisar y de realizar los cálculos e informe Técnico de la prueba. En terreno y durante la prueba estará presente Kurt Heitmann Prieto y Gonzalo Barros Orrego.

Experto Técnico /	DÓMINET ENERGÍA SPA /Gonzalo Barros Orrego
Fono	+.56 (2) 26640798
Celular	+.56 (9)97425202
Email	gonzalobarros@dominet.cl

COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL:

El COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL coordina los ensayos de SSCC conforme al protocolo aprobado.

COORDINADOR	Rodrigo Espinoza V.
Fono	+.56 (2) 24246300
Celular	.
Email	correspondencia@coordinador.cl

2. OBJETO DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE CT Y CTF.

2.1. Objeto de las pruebas de Verificación de CT.

El objetivo de la prueba de Verificación de los SSCC de CT para la Unidad Generadora Rucatayo es medir bajo un procedimiento estandarizado la capacidad de Control de Tensión, y que corresponden a acciones de control que permiten mantener la tensión de operación de las barras del sistema eléctrico en una banda predeterminada, dentro de los niveles admisibles establecidos en la normativa. La naturaleza de la prestación de este servicio se considera local.

2.2. Objeto de las pruebas de Verificación de CTF.

El objetivo de los ensayos relativos a este SC es el de verificar que la instalación tenga la capacidad técnica de responder con el 100% de la carga comprometida frente a desviaciones de la frecuencia de la red eléctrica para lograr la estabilización del sistema en el tiempo establecido en el Informe de SSCC vigente.

En este caso, la Potencia Máxima disponible para la prestación del Servicio Complementario de CTF está supeditado al recurso hidráulico disponible al momento del requerimiento para aportar al sistema. Cabe mencionar que durante la realización de las pruebas se logró verificar hasta una potencia de 53.5 MW.

ID Barra Conexión	Barra de Conexión al SEN	Modo	Combustible	Potencia Máxima [MW]	Capacidad de Absorción de reactivos [MVAr]	Capacidad de Inyección de Reactivos [MVAr]	Capacidad de prestar servicio sin Recurso Primario	Verificado transitoriamente año 2021
2436	BA SIE RUCATAYO 220KV	PV	Hidráulica Pasada	53.50	2.94	2.94	-	SI

3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES.

La Central Rucatayo pertenece a la Empresa STATKRAFT y es una central hidroeléctrica de pasada ubicada en el Río Pilmaiquén, en el límite entre la Región de Los Ríos y la Región de Los Lagos y sus principales características son:

Ubicación de las instalaciones: Latitud Sur 40,618°, Longitud Oeste 72.704°

Generador Modelo: Generador Hidroeléctrico sincrónico trifásico vertical tipo CB 783/105/40

Tabla 3 Características Unidad Generadora

Descripción	Valor
Potencia nominal a la frecuencia nominal de rotación, coeficiente nominal de potencia, tensión nominal Frecuencia nominal y a la temperatura del aire frío (a la salida de los enfriadores de aire) 40°C, MVA	55,26
Tensión nominal (de línea),kV	13,8
Banda de variaciones de la tensión, %	±5
Banda de variaciones de la frecuencia, %	±2
Corriente nominal del estator (en fase), A	2312
Coficiente nominal de potencia	0.95
Frecuencia nominal, Hz	50
Frecuencia nominal de rotación, rot/min	150

Equipo de Excitación y sincronismo:

Modelo: SEMIPOL D3.1 SEE

Principio de operación:

Convertidor de frecuencia estático.

Operación Manual y Remota.



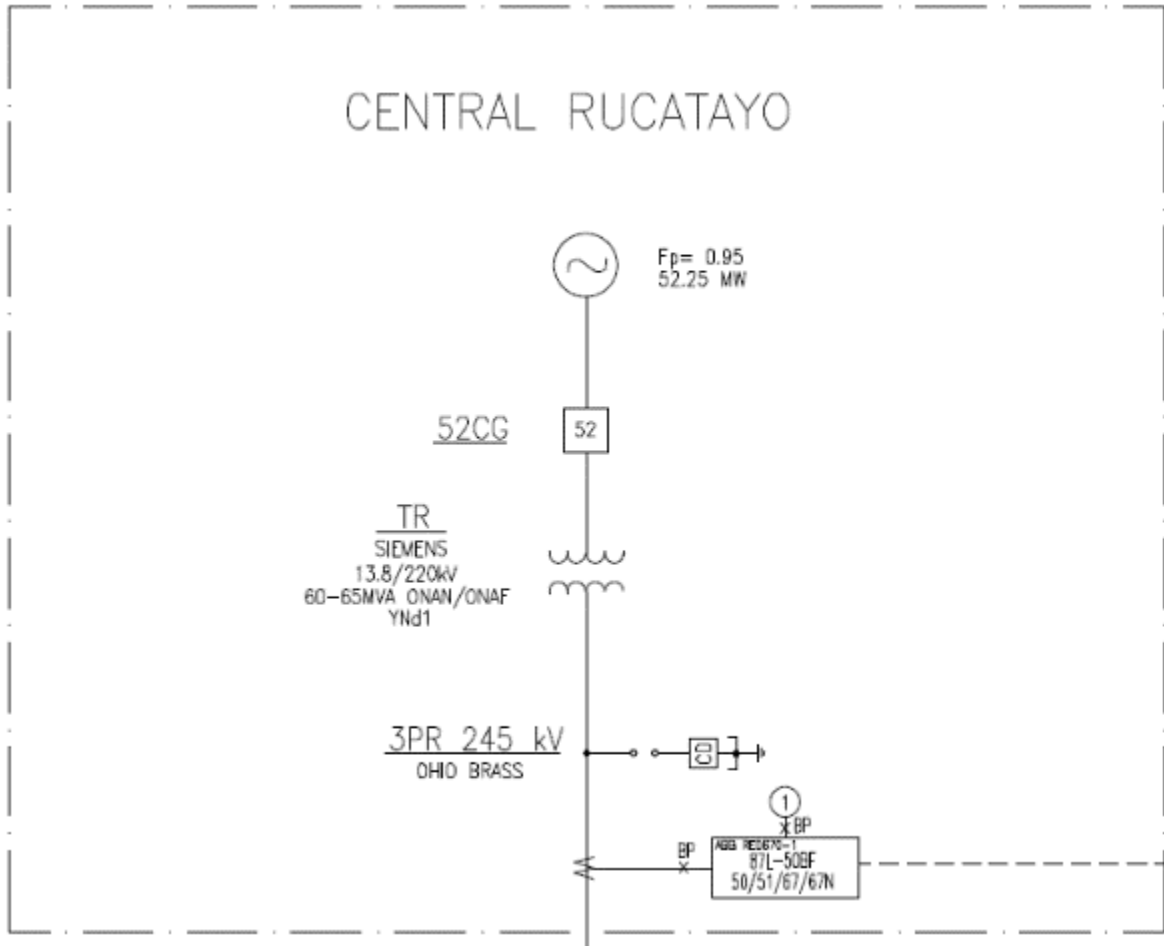


Ilustración 1 Unilineal Central Rucatayo

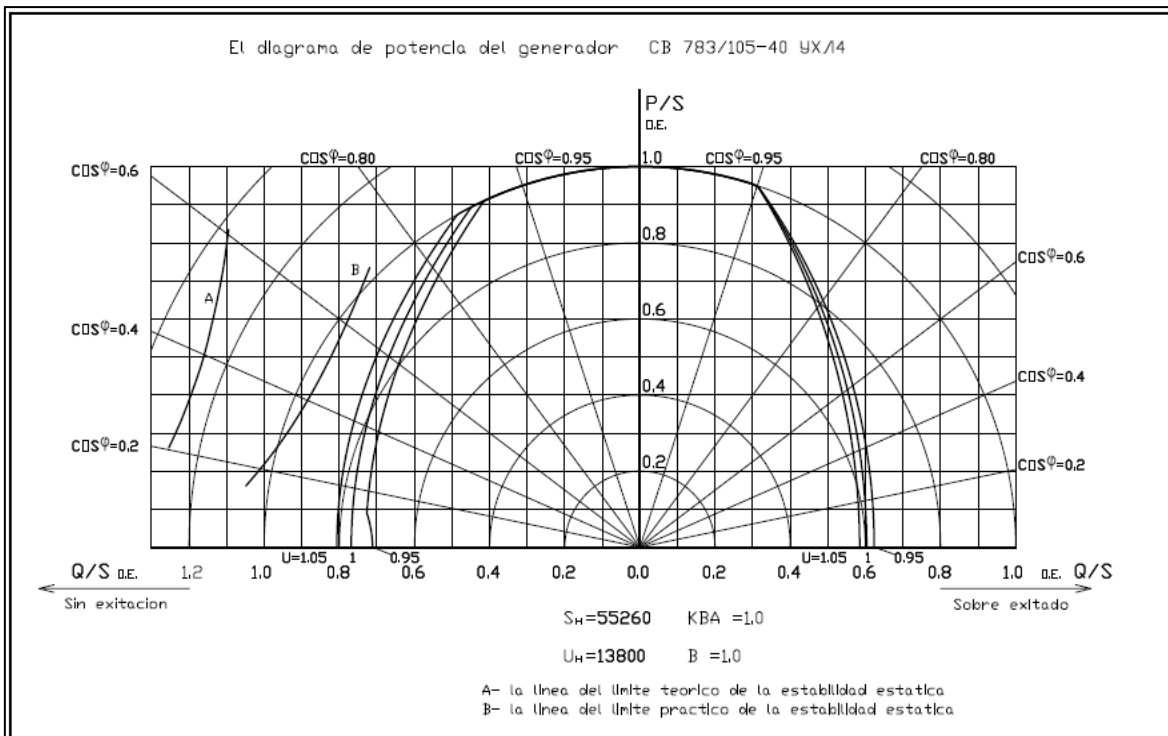


Ilustración 2 Diagrama P-Q de la Unidad Generadora de Central Rucatayo.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN.

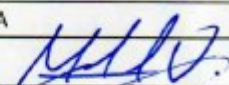
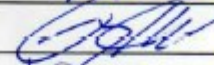

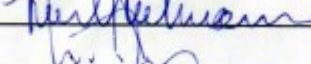
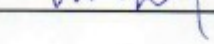
4.1 PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA PRUEBAS DE VERIFICACIÓN CT Y CTF.

Las pruebas fueron realizadas el día 23 de agosto de 2022.

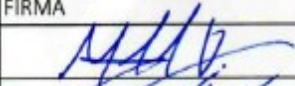

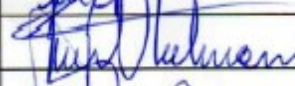


- a) Se realizó Charla de inducción en relación a la prueba y condiciones de seguridad.
- b) Se verificó: Tablero Control y Sincronismo cerrado.
- c) Se verificó: Sistemas auxiliares energizados.
- d) Se verificó: Áreas de desplazamiento al interior y exterior de las Unidades Generadoras despejadas.
- e) Se verificó: niveles de agua al inicio de la prueba y estimación de niveles requeridos para la prueba, por Unidad Generadora.
- f) Se habilitó: todos los sistemas de protección de pre-alarmas y Alarmas de detención de las Unidades Generadoras.
- g) INICIO DE LAS PRUEBAS: estas se realizan al finalizar el período de estabilización y se registra en ACTA DE PRUEBAS.
- h) REGISTRO DE INFORMACIÓN: en conformidad a lo indicado en el punto 3.1.1.1 del protocolo de pruebas, al término de la prueba se recolectaron los datos registrados.
- i) CONDICIONES DE SUSPENSIÓN DE LA PRUEBA: la prueba no fue suspendida.
- j) FINALIZACIÓN DE LA PRUEBA: Transcurrido el período de ejecución de la prueba, se procede a comunicar al Coordinador la terminación de esta.
- k) RECOLECCIÓN DE DATOS: Finalizada la prueba se recolectaron por parte del COORDINADO, los datos registrados en los equipos que adquieren los datos de terreno y a la vez se firmaron las actas de la Prueba donde constan los responsables de esta, participantes, los horarios y eventos registrados durante esta.

4.2 ACTA DE LA PRUEBA DE VERIFICACIÓN CT y CTF.

Acta pruebas CT:

ACTA DE PRUEBAS VERIFICACIÓN SSCC CT			
CENTRAL GENERADORA HP RUCATAYO STATKRAFT-CHILE CONSULTOR: DÓMINET ENERGÍA SPA			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	INFORMACIÓN Y COMENTARIOS	
A5	LUGAR DE LA PRUEBA:	Rucatayo	Prueba UG
A6	FECHA DE LA PRUEBA:	23-08-2022	
A7	HORA DE COMIENZO DE LA PRUEBA:	9:00	Autorización e Inicio de pruebas
A8			
B9	IDENTIFICACIÓN DE LOS PARTICIPANTES:		
B10	NOMBRE	EMPRESA	CARGO
B11	MIRKO OJEDA	STATKRAFT	Coordinador Despacho.
B12	GABRIEL BELLO	STATKRAFT	Despachador.
B13	NELSON RIOS	STATKRAFT	MANTENIMIENTO
B14			
B15	Kurt Heitmann	DÓMINET ENERGÍA	Consultor
B16	Gonzalo Barros	DÓMINET ENERGÍA	Consultor
C17	OBJETO DE LA PRUEBA		
C18	Verificar bajo un procedimiento estandarizado la capacidad de Control de Voltaje.		
D19	INFORMACIÓN DE OPERACIÓN		
D20	HORA DE COMIENZO	9:00	
D21	HORA INICIO ESTABILIZACIÓN	9:30	
D22	HORA INICIO DE LA PRUEBA	9:45	
D23	HORA DE TÉRMINO DE LA PRUEBA	12:55	
D24			
E25	REGISTRO DE EVENTOS, FALLAS U OTROS		
E26	CHECKLIST, ÍTEM 3. PROTOCOLO	Sí	
E27			
E28			
F29	IDENTIFICACION DE REGISTROS DESCARGADOS		
F30	DATOS EXTRAIDOS GENERADOR	Sí	
F31			
F32	TOMA LECTURAS MED. ENERGÍA ACTIVA	Si	
F33	TOMA LECTURAS ENERGÍA REACTIVA	Si	
F34	OTROS DATOS RELEVANTES	Si	
G35	FIRMA E IDENTIFICACION PRESENTES EN LA PRUEBA		
G36	NOMBRE	EMPRESA	FIRMA
G37	MIRKO OJEDA	STATKRAFT	
G38	GABRIEL BELLO	STATKRAFT	
G39	NELSON RIOS	STATKRAFT	
G40	Kurt Heitmann	DÓMINET ENERGÍA	
G41	Gonzalo Barros	DÓMINET ENERGÍA	

Acta Pruebas CTF:

ACTA DE PRUEBAS VERIFICACIÓN SSCC CTF			
CENTRAL GENERADORA HP RUCATAYO STATKRAFT-CHILE CONSULTOR: DÓMINET ENERGÍA SPA			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	INFORMACIÓN Y COMENTARIOS	
A5	LUGAR DE LA PRUEBA:	Rucatayo	Prueba UG
A6	FECHA DE LA PRUEBA:	23-08-2022	
A7	HORA DE COMIENZO DE LA PRUEBA:	13:15	Autorización e Inicio de pruebas
A8			
B9	IDENTIFICACIÓN DE LOS PARTICIPANTES:		
B10	NOMBRE	EMPRESA	CARGO
B11	MIRKO OJEDA	STATKRAFT	Coordinador despacho.
B12	GABRIEL BELLO	STATKRAFT	Despachador
B13	NELSON RIOS	STATKRAFT	MANTENIMIENTO
B14			
B15	Kurt Heitmann	DÓMINET ENERGÍA	Consultor
B16	Gonzalo Barros	DÓMINET ENERGÍA	Consultor
C17	OBJETO DE LA PRUEBA		
C18	Verificar bajo un procedimiento estandarizado la capacidad de Control Terciario de Frecuencia		
D19	INFORMACIÓN DE OPERACIÓN		
D20	HORA DE COMIENZO	13:15	
D21	HORA INICIO ESTABILIZACIÓN	13:15	
D22	HORA INICIO DE LA PRUEBA	13:25	
D23	HORA DE TÉRMINO DE LA PRUEBA	13:40	
D24			
E25	REGISTRO DE EVENTOS, FALLAS U OTROS		
E26	CHECKLIST, ITEM 3. PROTOCOLO	Sí	
E27			
E28			
F29	IDENTIFICACION DE REGISTROS DESCARGADOS		
F30	DATOS EXTRAIDOS GENERADOR	Sí	
F31			
F32	TOMA LECTURAS MED. ENERGÍA ACTIVA	Sí	
F33	TOMA LECTURAS ENERGÍA REACTIVA	Sí	
F34	OTROS DATOS RELEVANTES	Sí	
G35	FIRMA E IDENTIFICACION PRESENTES EN LA PRUEBA		
G36	NOMBRE	EMPRESA	FIRMA
G37	MIRKO OJEDA	STATKRAFT	
G38	GABRIEL BELLO	STATKRAFT	
G39	NELSON RIOS	STATKRAFT	
G40	Kurt Heitmann	DÓMINET ENERGÍA	
G41	Gonzalo Barros	DÓMINET ENERGÍA	

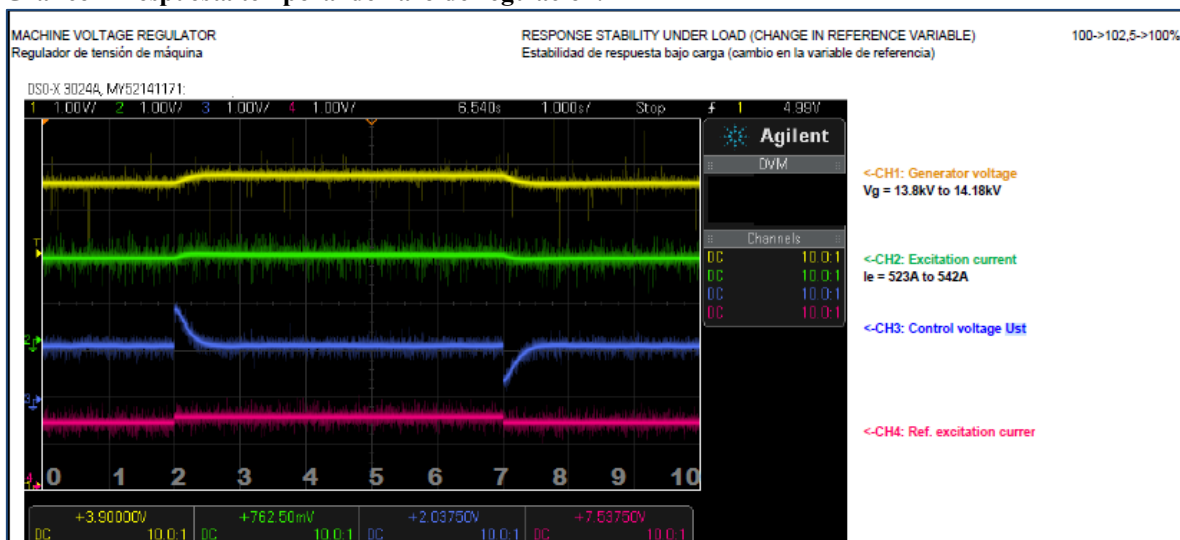
4.3 ENSAYOS DE UNIDAD GENERADORA EN VACÍO Y CON CARGA.

4.3.1 Ensayo de la Unidad en Vacío

4.3.1.1 Respuesta Temporal del lazo de regulación de tensión.

Estando en voltaje nominal de 13.8 kV y una frecuencia nominal de 50 Hz, se aplica un escalón de referencia equivalente 2,5% tal como lo señala el Gráfico 1 Respuesta temporal del lazo de regulación.

Gráfico 1 Respuesta temporal del lazo de regulación.



Se presenta también la misma respuesta para un escalón de referencia -5% a +5% del valor nominal de Voltaje como lo señala el Gráfico 2 Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión (-5%-> +5%).

Gráfico 2 Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión (-5% -> +5%)

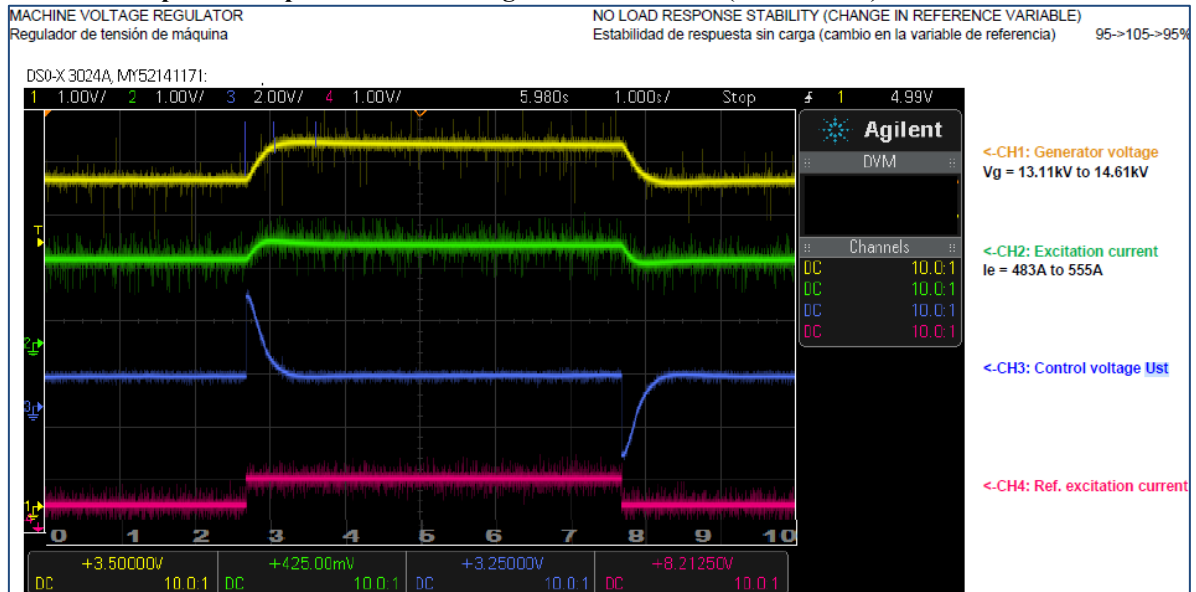


Tabla 4 Parámetros de respuesta temporal del lazo de regulación.

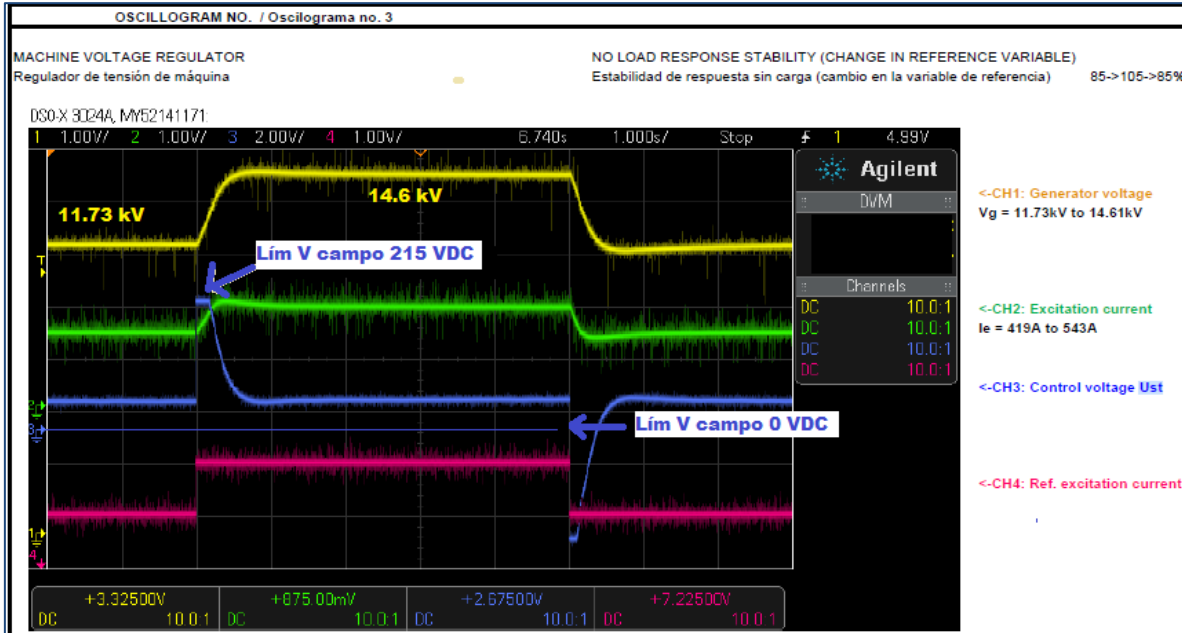
ítem	Parámetro según NTSyCS Art.3-12	Medición	Requerimiento Norma	Unidades
1	Sobreoscilación	0.80%	<15%	%
2	Tiempo de crecimiento	0.3	<0.4	[s]
3	Tiempo de establecimiento	0.6	<1.5	[s]
4	Error estacionario	-	<0.25%	%

Los parámetros cumplen con los requerimientos del artículo 3-12 de la NTSyCS.

4.3.1.2 Ensayos de Techos de excitación y límites electrónicos.

Se aplica una referencia de tensión al regulador AVR, un escalón de subida y luego bajada con amplitud 20% de la tensión nominal del generador para revelar los techos máximos y mínimos de la tensión de campo, tal como se señala en el Gráfico 3 Techos de excitación y límites electrónicos.

Gráfico 3 Techos de excitación y límites electrónicos



En la siguiente tabla se señalan los límites.

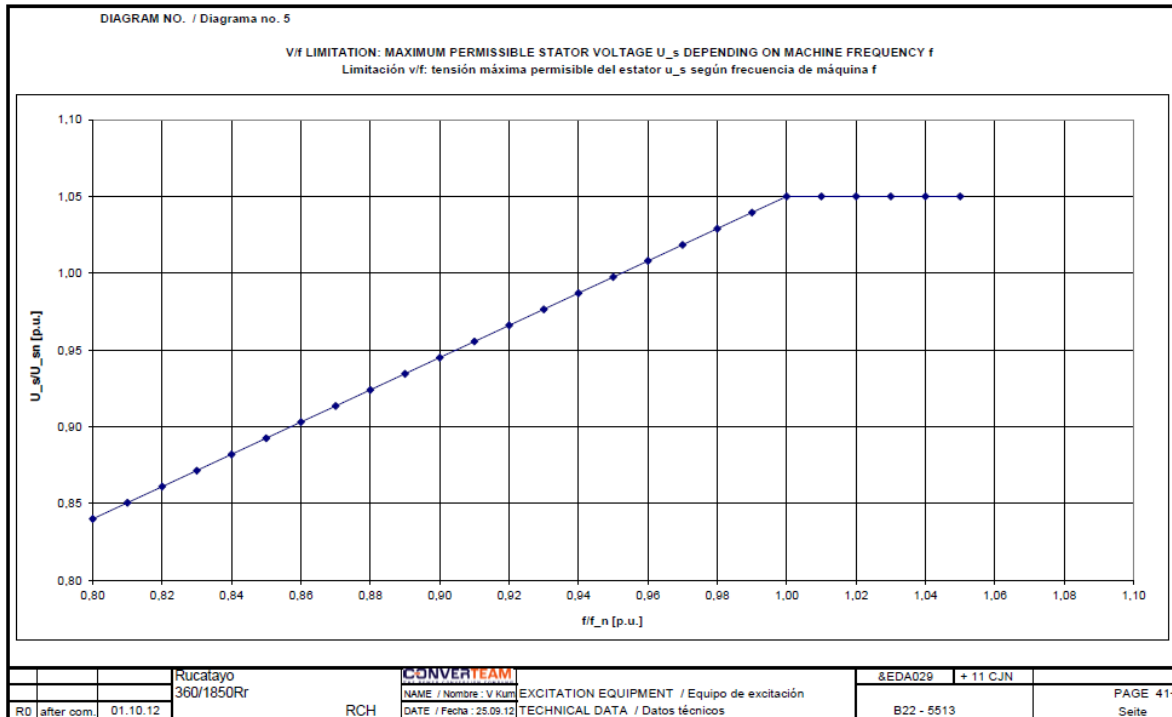
Tabla 5 Techos de excitación.

ítem	Techos de excitación	Medición	Unidades
1	Techo positivo	215	[V]
2	Techo negativo	0	[V]
3	Voltaje Campo Max / V Campo Nom	2.6875	Norma: >2

4.3.1.3 Respuesta del sistema de excitación con actuación de los limitadores de sobreflujo (V/Hz).

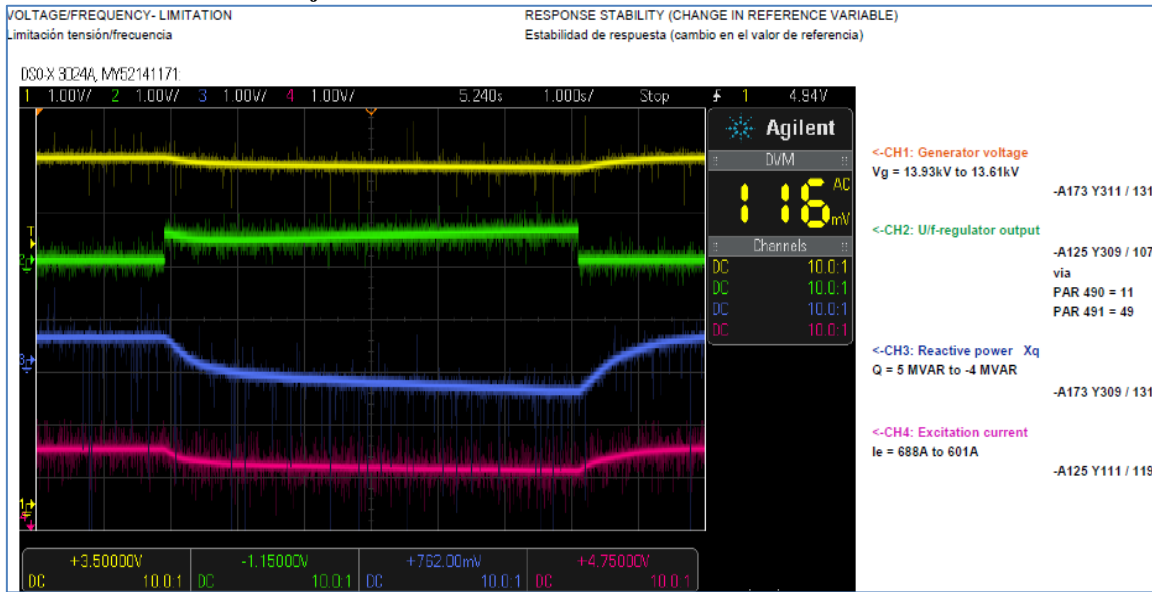
El limitador de sobreflujo presenta una curva de limitación en base a la tensión y frecuencia de operación. Esta curva aportada por el fabricante de la Unidad Generadora es la que se presenta en el siguiente gráfico:

Gráfico 4 Limitación V/F



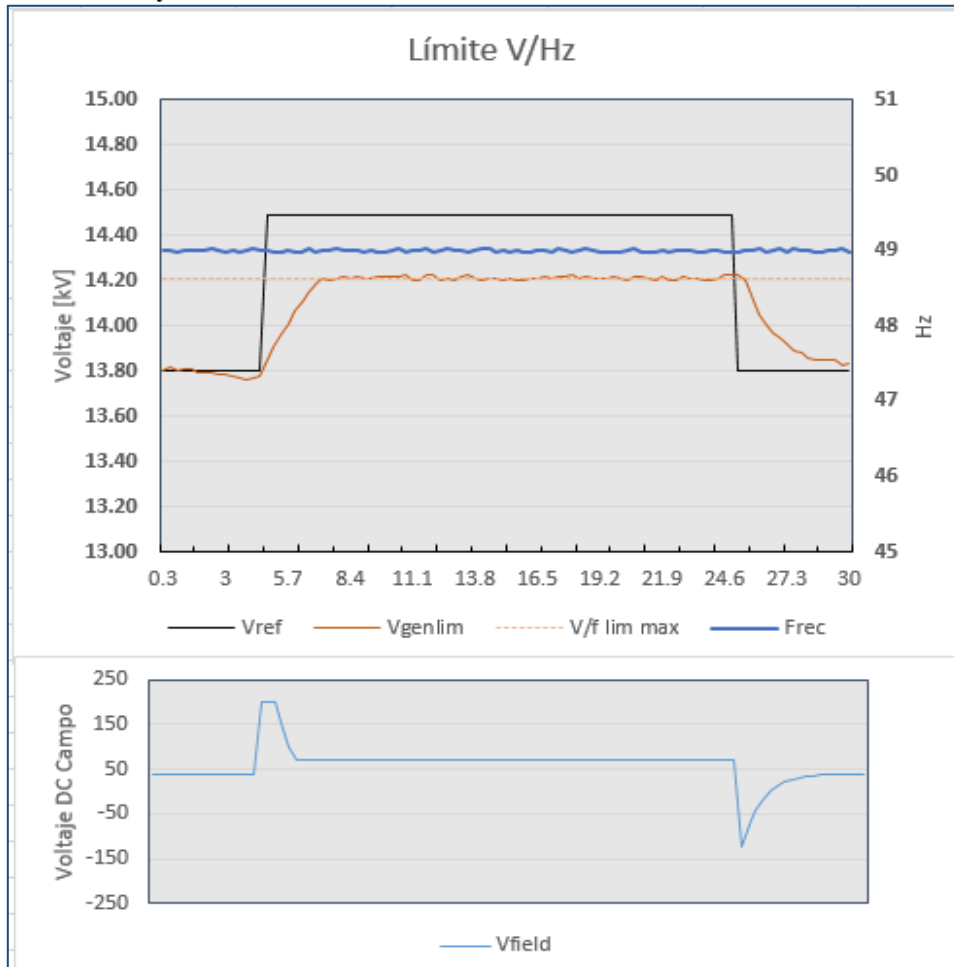
En el ensayo se presenta la respuesta limitando a 1.03 la tensión emulando una frecuencia de 0.98 de la nominal de 50Hz (49 Hz).

Gráfico 5 Limitación Voltaje/frecuencia



La información se presenta detallada en el Gráfico 6 Ensayo Límite V/F, siendo en el gráfico Vref la referencia de tensión para el AVR, Vgenlim el voltaje del generador limitado por límite V/F, V/f lim max la referencia límite para la frecuencia de referencia en este caso 49 Hz.

Gráfico 6 Ensayo Límite V/F



4.3.2 Pruebas de la Unidad con Carga

Las pruebas de la Unidad Generadora con carga están sometidas a la disponibilidad de la línea de transmisión para inyectar reactivos. Cuando lo anterior no sucede, es decir existen límites técnicos para inyectar los reactivos que se requieren para el ensayo, no se logran los límites prefijados por el fabricante, es por ello que se alteran los parámetros o se simulan estos a partir de los ensayos realizados en la puesta en servicio y documentados por el fabricante.

4.3.2.1 Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de subexcitación.

Con el generador en carga se verifica respuesta del sistema de excitación bajo el control del limitador de subexcitación (UEL).

Ensayos realizados en Potencia mínima, media y máxima, aplicando un escalón en la referencia de voltaje y este se ve limitado por UEL, y que se ve reflejado en la limitación de voltaje e inyección de reactivo.

La siguiente tabla enumera los ensayos y que se grafican más abajo:

Tabla 6 Ensayos UEL

Ensayo UEL	Potencia Activa	p.u. límite	Q [MVAR]
1	15	0.96	-35
2	30	0.96	-32
3	50	0.99	-17

Gráfico 7 Excitación UEL a Pmin

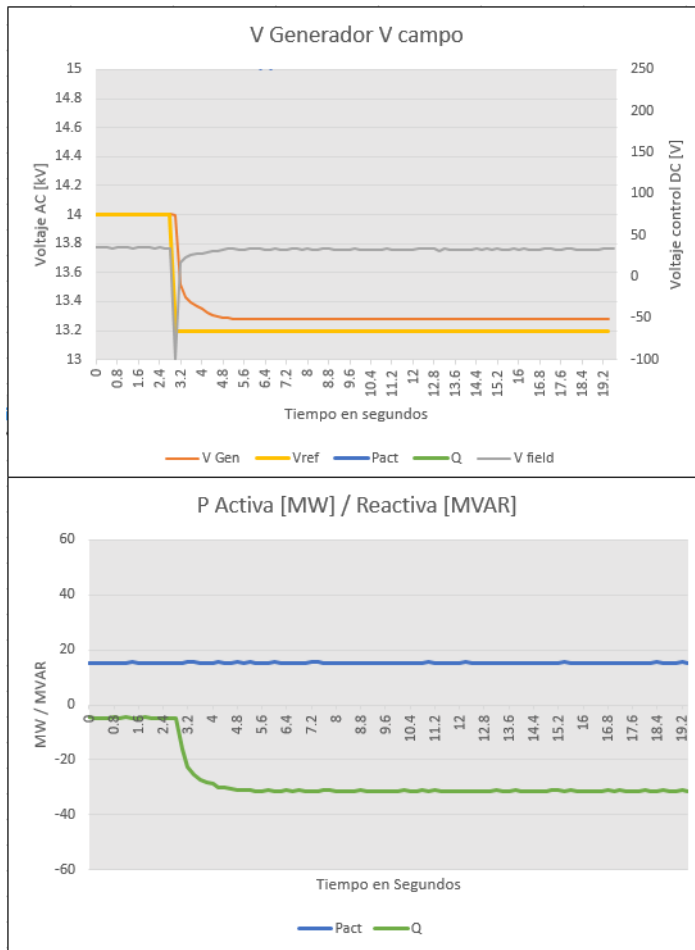


Gráfico 8 Excitación UEL a P Media

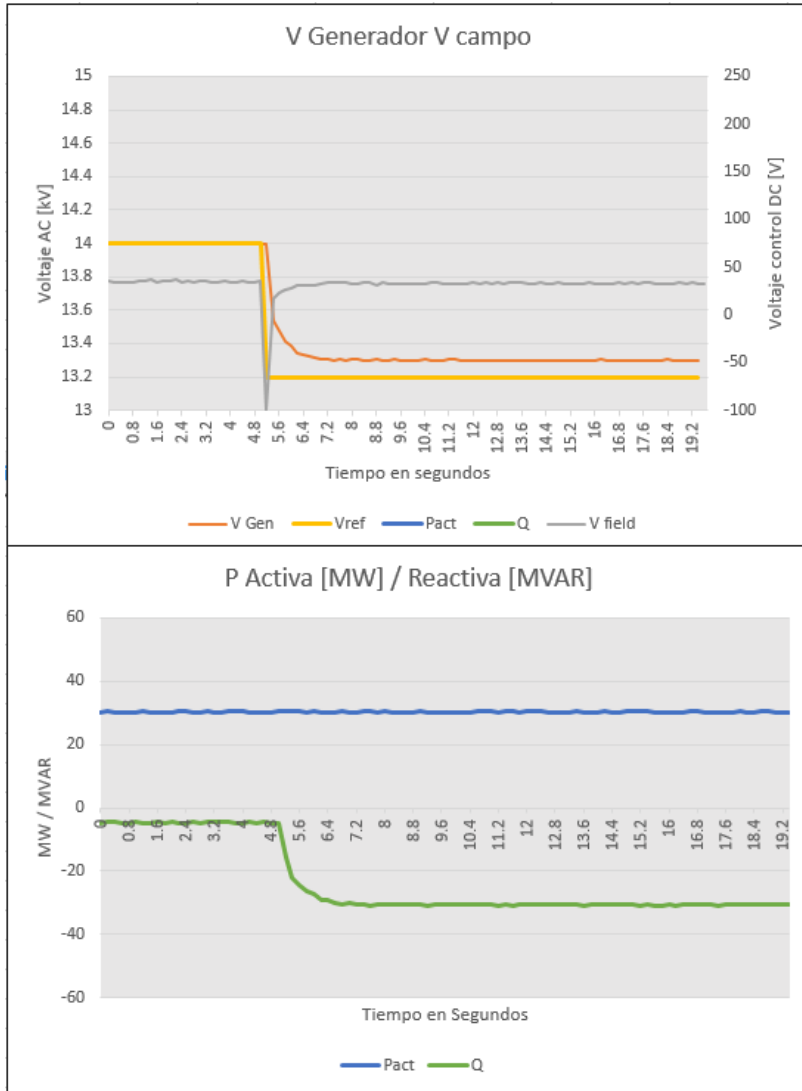
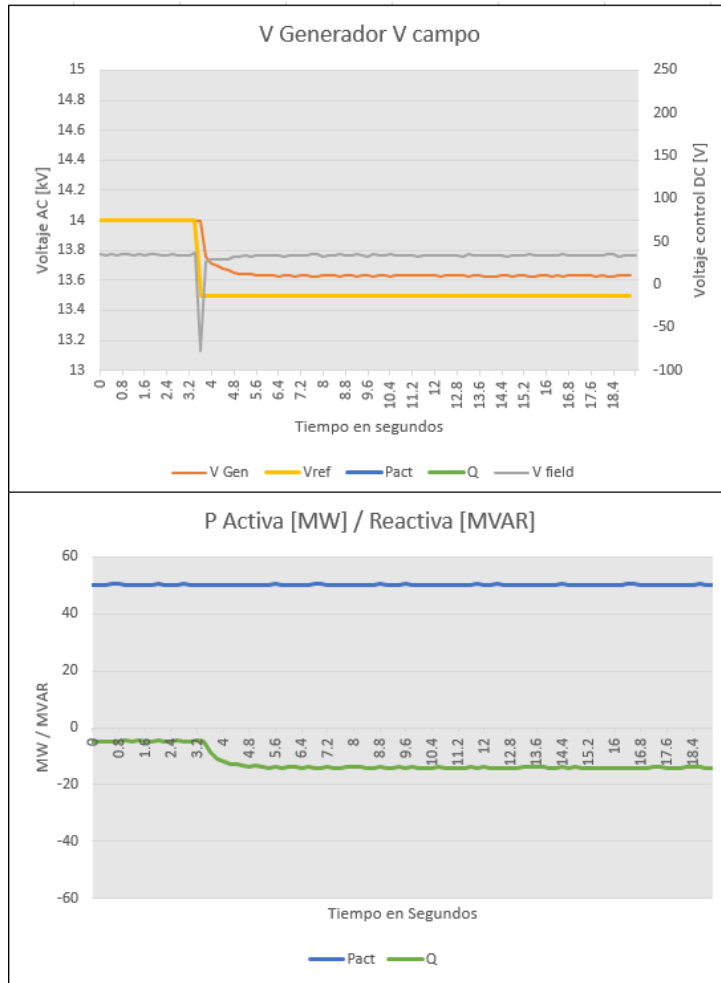


Gráfico 9 Excitación UEL a PMAX



4.3.2.2 Respuesta del sistema de excitación con actuación de los limitadores de sobreexcitación.

Se realiza este ensayo con el generador con carga y se verifica la respuesta del limitador de sobreexcitación (OEL) temporal bajo un escalón en la referencia de tensión que permite verificar la actuación del limitador de sobreexcitación.

La siguiente tabla señala los límites del ensayo.

Tabla 7 Ensayo OEL

Ensayo OEL	Potencia Activa	p.u. límite
1	15	1.01
2	30	0.99
3	50	1.01

Gráfico 10 Excitación OEL a Pmin

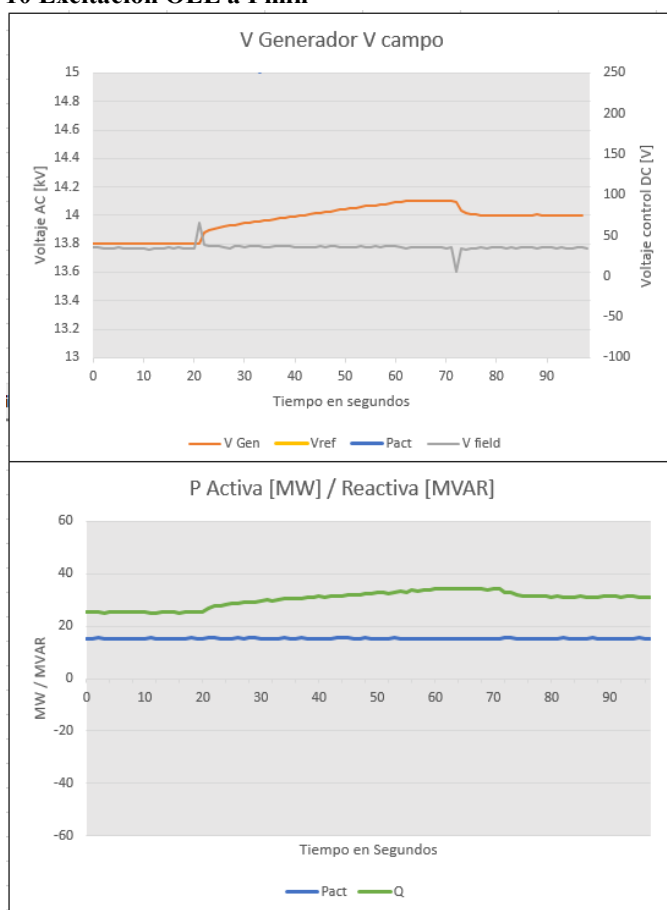


Gráfico 11 Excitación OEL a P media

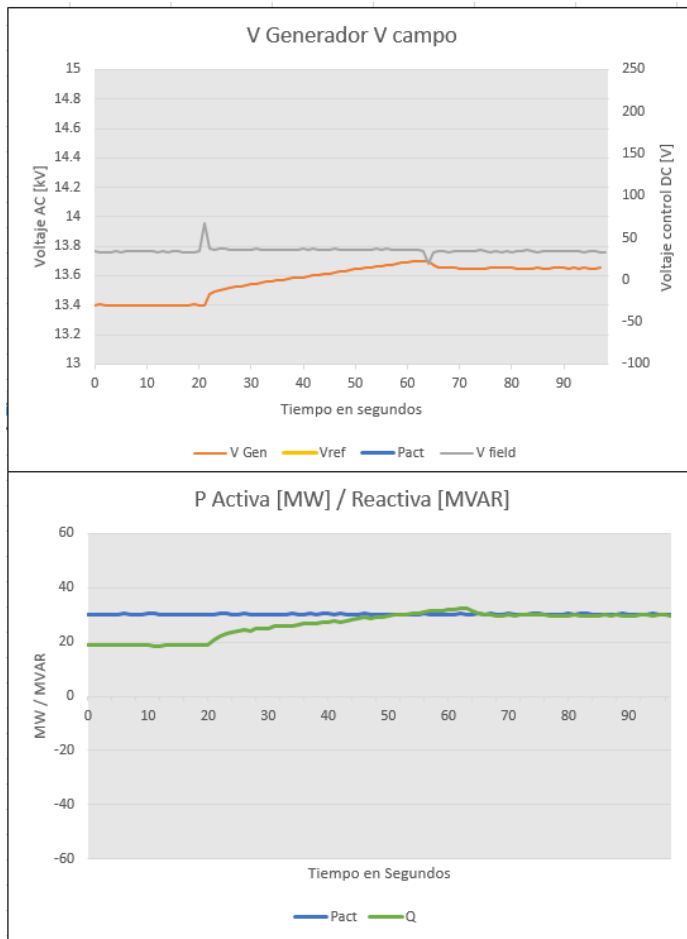


Gráfico 12 Excitación OEL a Pmax

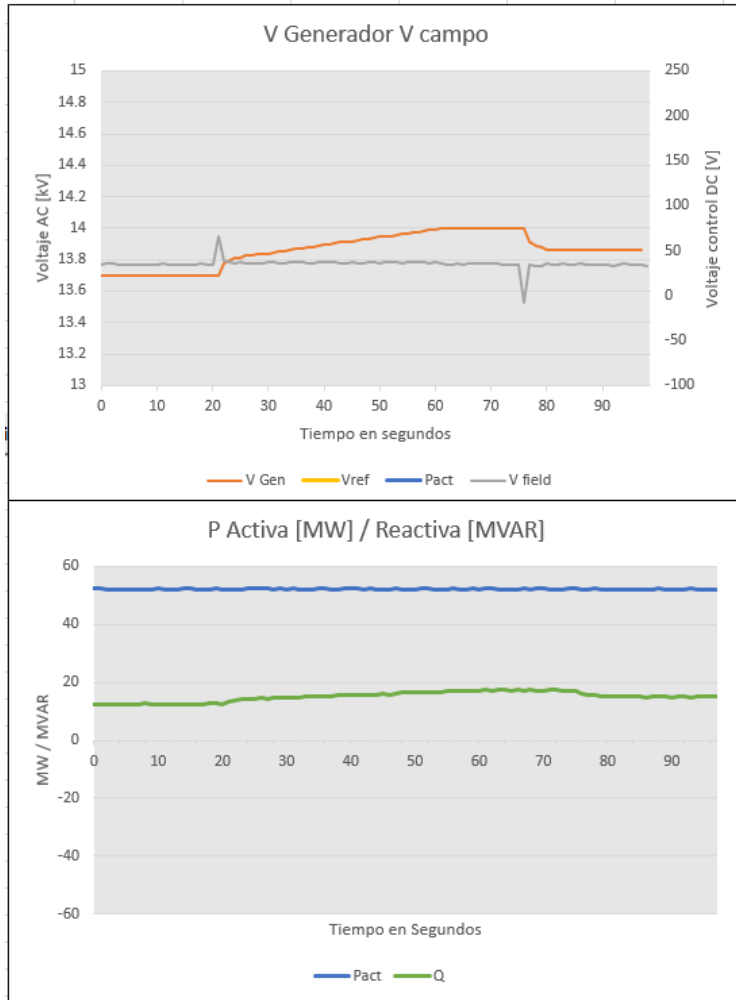
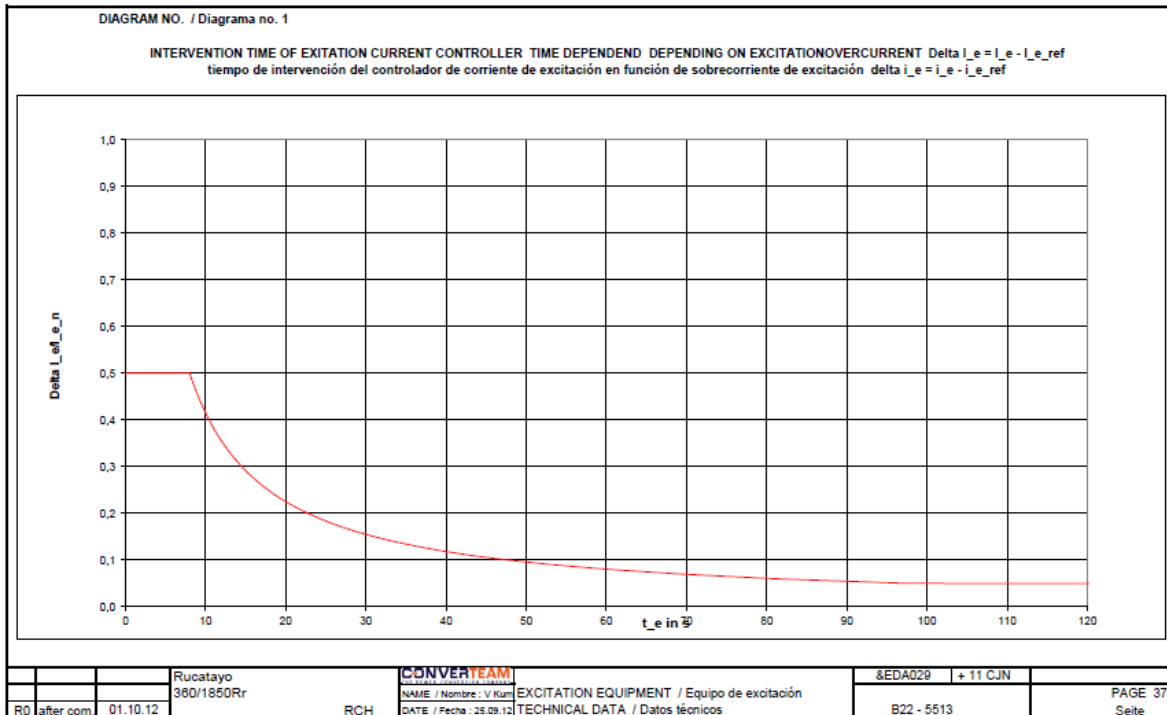


Ilustración 3 Parámetros de tiempo en que interviene control de corriente de excitación.



4.4 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Control de Tensión CT.

4.4.1 Ensayos realizados CT.

Se realizan ensayos con el objetivo de verificar la capacidad real de la Central Rucatayo de realizar el Control de Tensión a través de la inyección de potencia reactiva.

Se realizan los ensayos con la Unidad Generadora sincronizada y con despacho de potencia activa al SI entre el mínimo técnico y la potencia máxima de la central.

Se solicitó la colaboración del despacho de carga del Coordinador, para que realizara cambios en los voltajes de la línea Rucatayo-Pichirrahue de forma tal poder llegar a los límites de control en la inyección de reactivos, lo que no siempre fue factible y se indica en el detalle de este informe.

Se seleccionan 4 puntos de potencia activa (Mínimo técnico 15MW, 60% de PMax 32 MW, 80% PMax 44MW y Pmax 52 MW), que se ensaya cada punto con los límites de subexcitación, sobreexcitación y a niveles de voltaje: 1.0 del nominal, 1.05 del nominal y 0.95 del nominal. Los niveles de voltaje 1.1 y 0.9 no son permitidos por la Unidad Generadora.

Las siguientes tablas indican los resultados, presentando un guion “-“ el punto no alcanzado debido a las condiciones de operación de la línea que no permitieron reducir o aumentar los voltajes requeridos de la línea para la inyección de reactivo.

Tabla 8 Ensayos CT Subexcitación

Subexcitación					
Tensión UG [p.u.]		P activa [MW]	P Reactiva objetivo [MVAR]	Preactiva alcanzada [MVAR]	Tensión UG del nominal
0.95	P1	15.2	-38.0	-30.2	0.95
	P2	33.2	-35.3	-30.2	0.95
	P3	44.1	-30.3	-26.5	0.95
	P4	52.5	-17.6	-17.6	0.96
1.00	P1	15.2	-41.0	-	-
	P2	33.2	-37.0	-	-
	P3	44.1	-30.9	-	-
	P4	52.5	-17.6	-17.7	0.98
1.05	P1	15.2	-43.0	-	-
	P2	33.2	-38.6	-	-
	P3	44.1	-31.4	-	-
	P4	52.5	-17.6	-	-

Tabla 9 Ensayo CT Sobreexcitación

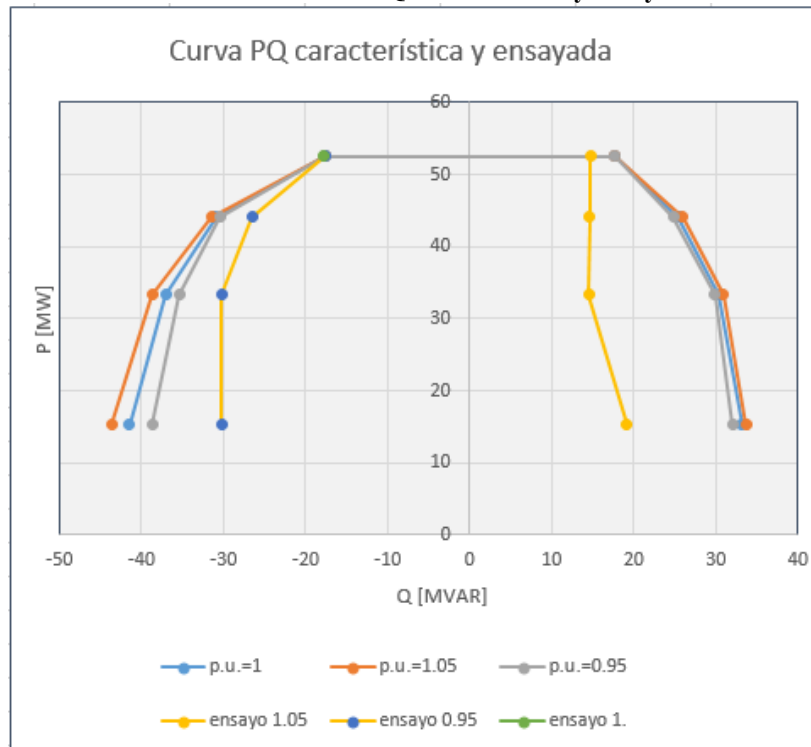
Sobreexcitación					
Tensión UG [p.u.]		P activa [MW]	P Reactiva objetivo [MVAR]	Preactiva alcanzada [MVAR]	Tensión UG del nominal
0.95	P1	15.2	32.0	-	-
	P2	33.2	29.8	-	-
	P3	44.1	24.8	-	-
	P4	52.5	17.6	-	-
1.00	P1	15.2	33.1	-	-
	P2	33.2	30.3	-	-
	P3	44.1	25.4	-	-
	P4	52.5	17.6	-	-
1.05	P1	15.2	33.7	19.1	1.05
	P2	33.2	30.9	14.5	1.05
	P3	44.1	25.9	14.6	1.05
	P4	52.5	17.6	14.7	1.05

Se presenta en el Gráfico 13 Curva PQ característica y ensayo, los puntos seleccionados de la curva característica del diagrama PQ de la Unidad Generadora. Con línea amarilla se destacan los puntos obtenidos en el ensayo, donde sólo en punto indicado en verde es coincidente con la curva característica, dadas las limitaciones de la línea de transmisión en cuanto a regular voltaje para los requerimientos de los ensayos, la Unidad generadora limita la inyección por limitación de sobreflujo y voltaje máximo en el caso de la sobreexcitación y por limitación de voltaje mínimo de la Unidad Generadora, tal como lo señala la Ilustración 4 Parámetros límites Unidad Generadora.

Ilustración 4 Parámetros límites Unidad Generadora

PARAMETER Parámetro	DESCRIPTION	Beschreibung	VALUE / Valor AUTO1 / Auto1	VALUE / Valor AUTO2 / Auto2	UNIT Unidad	REMARKS Comentarios
PAR122	GEN. VOLTAGE UPPER LIMIT	Límite superior de tensión de gen.	1,050	1,050	p.u.	
PAR123	GEN. VOLTAGE LOWER LIMIT	Límite inferior de tensión de gen.	0,949	0,949	p.u.	

Gráfico 13 Curva PQ característica y ensayo



El sistema de Rucatayo no dispone en la línea de transmisión de regulador de voltaje ni compensadores de reactivos, por lo que el ensayo se realizó con el voltaje de línea del SI y las limitaciones corresponden con las curvas entregadas por el fabricante y conforme a la letra f) del punto 5.1 de la Guía de Verificación SSCC CT. Se destaca que la inyección de reactivos se limitó solo por limitación de voltaje de

la Unidad Generadora al llegar a los límites 1.05 y 0.95 p.u., cuando los voltajes del SI permitían entrar en rango de control se aumentaron las inyecciones conforme a la curva del fabricante.

4.4.2 Análisis y valores a informar.

Como se comentó en el punto 4.4.1, debido a niveles de tensión en la línea transmisión, no fue factible durante los ensayos realizar las inyecciones de reactivos para alcanzar los puntos indicados. Se resume en las siguientes tablas lo indicado.

Tabla 10 Ensayo Subexcitación

Subexcitación					
Nivel Potencia Activa	Tensión				
	0.9 p.u.	0.95 p.u.	1.0 p.u.	1.05 p.u.	1.1 p.u.
P1	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible
P2	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible
P3	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible
P4	no disponible	verificado	verificado	no alcanzado	no disponible

Tabla 11 Ensayo Sobreexcitación

Sobreexcitación					
Nivel Potencia Activa	Tensión				
	0.9 p.u.	0.95 p.u.	1.0 p.u.	1.05 p.u.	1.1 p.u.
P1	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible
P2	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible
P3	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible
P4	no disponible	no alcanzado	no alcanzado	no alcanzado	no disponible

Durante los ensayos no se han alcanzado todos los puntos seleccionados, exceptuando los puntos indicados en azul como verificado. Lo anterior debido a las restricciones en la línea de transmisión, se puede afirmar que las curvas características de capacidad de inyectar reactivos de la Unidad Generadora pueden operar estables y conforme a lo indicado por el fabricante y con los límites de los parámetros de configuración de la Unidad Generadora.

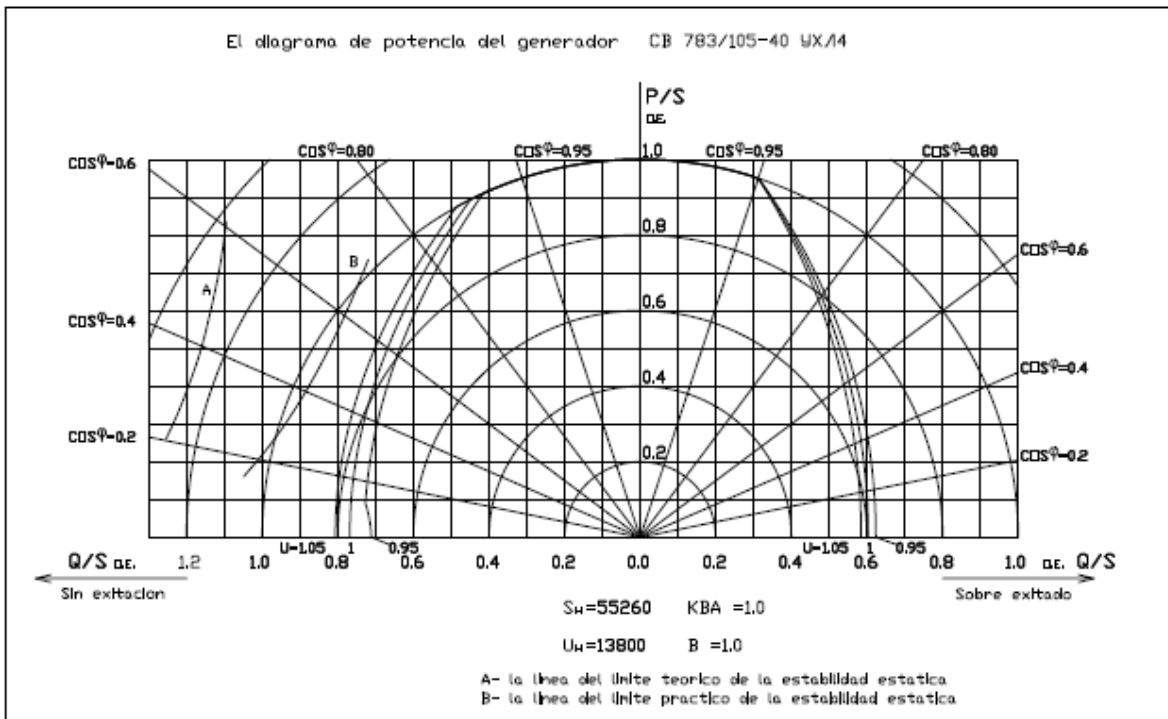
Por consiguiente los valores a informar son los que se indican en la siguiente tabla y se adjunta en planilla Excel correspondiente:

Tabla 12 Control de Tensión Valores a Informar

SSCC		Control de Tensión				
Categoría		Control de Tensión				
Subcategoría		Control de Tensión				
Central / Unidad	Tensión [pu]	Valor Determinado [MVar]				
	Potencia [MW]	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
Central Rucatayo/ UG1	P1=15.0	-	32.00	33.10	33.70	-
	P2=33.2	-	29.80	30.30	30.90	-
	P3=44.1	-	24.80	25.40	25.90	-
	P4=52.5	-	17.60	17.60	17.60	-
	P4=52.5	-	-17.60	-17.60	-17.60	-
	P3=44.1	-	-30.30	-30.90	-31.40	-
	P2=33.2	-	-35.30	-37.00	-38.60	-
	P1=15.0	-	-38.00	-41.00	-43.00	-

4.4.3 Información y gráficas.

Ilustración 2 Diagrama P-Q de la Unidad Generadora de Central Rucatayo.



Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de los distintos parámetros durante los ensayos.

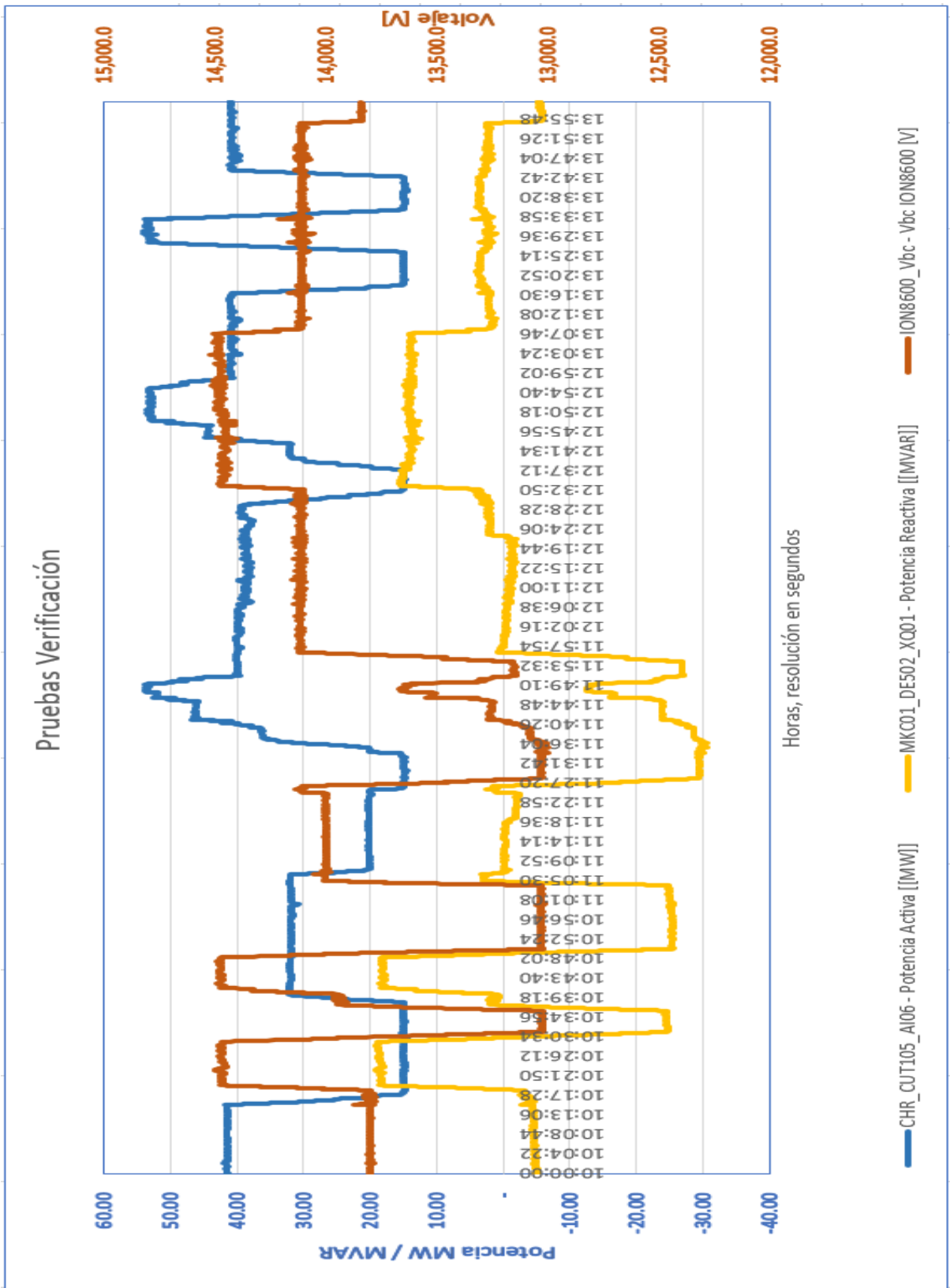


Gráfico 14 Registro de Pruebas Verificación CT

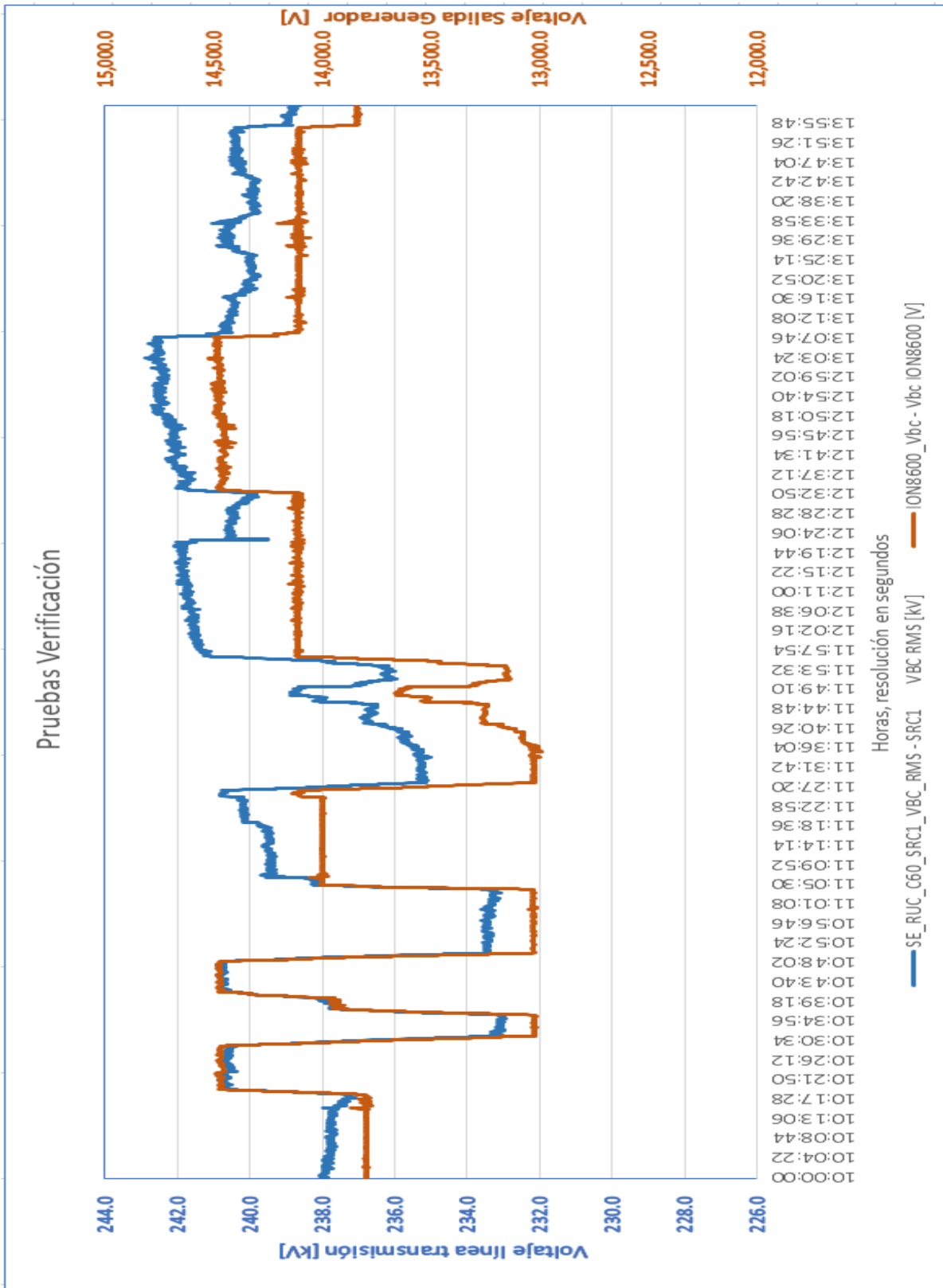


Gráfico 15 Voltajes líneas transmisión y salida Generador, durante las pruebas.

Detalle información recolectada y de los cálculos realizados:

Tabla 13 Limitadores por Voltaje, valores registrados y Parámetros

Límites de la prueba	Valores Base [kV]	Valores registrados[kV]
Voltaje Nominal	13.80	
Límite Superior Voltaje +5%	14.49	14.47
Límite Inferior Voltaje - 5%	13.11	13.09

Los valores registrados se calcularon cuando la operación de inyección de reactivos estaba limitada por el voltaje a la salida de la Unidad Generadora, ya sea por sobre voltaje o por bajo voltaje y a consecuencia del nivel de tensión del sistema de transmisión del SI.

Tabla 14 Información Registrada Prueba Verificación CT, extracto.

Hora	ION8600_V bc - Vbc ION8600 [V]	SE_RUC_C60 _SRC1_VBC_ RMS - SRC1 VBC RMS [kV]	CHR_CUT10 5_AI06 - Potencia Activa [[MW]]	MKCO1_DE5 O2_XQ01 - Potencia Reactiva [[MVAR]]
10:00:00	13,800.0	237.9	41.53	-4.85259
10:00:01	13,801.0	237.9	41.42	-4.88311
10:00:02	13,801.0	237.9	41.40	-4.91363
10:00:03	13,798.0	237.9	41.44	-4.91363
10:00:04	13,796.0	237.9	41.47	-4.91363
10:00:05	13,798.0	237.9	41.44	-4.88311
10:00:06	13,796.0	237.9	41.44	-4.88311
10:00:07	13,801.0	237.8	41.44	-4.91363
10:00:08	13,796.0	237.8	41.44	-4.97467
10:00:09	13,797.0	237.9	41.51	-4.97467
10:00:10	13,796.0	237.9	41.49	-5.00519
10:00:11	13,798.0	237.9	41.49	-4.97467
10:00:12	13,799.0	237.9	41.49	-4.97467
10:00:13	13,804.0	237.9	41.44	-4.97467
10:00:14	13,803.0	237.9	41.38	-5.06623
10:00:15	13,798.0	238.0	41.38	-5.12727
10:00:16	13,797.0	238.0	41.38	-5.1883
10:00:17	13,798.0	238.0	41.38	-5.21882
10:00:18	13,797.0	238.0	41.40	-5.24934
10:00:19	13,797.0	238.0	41.40	-5.27986
10:00:20	13,797.0	238.0	41.40	-5.31038
10:00:21	13,796.0	238.0	41.42	-5.31038
10:00:22	13,796.0	238.0	41.47	-5.21882
10:00:23	13,801.0	237.9	41.44	-5.1883
10:00:24	13,798.0	237.9	41.47	-5.21882
10:00:25	13,798.0	238.0	41.51	-5.21882
10:00:26	13,800.0	238.0	41.49	-5.21882
10:00:27	13,800.0	238.1	41.44	-5.21882
10:00:28	13,796.0	238.1	41.47	-5.21882
10:00:29	13,797.0	238.0	41.49	-5.15779
10:00:30	13,802.0	238.0	41.47	-5.12727
10:00:31	13,798.0	238.0	41.44	-5.12727
10:00:32	13,798.0	238.0	41.47	-5.09675
10:00:33	13,800.0	238.0	41.47	-5.09675
10:00:34	13,797.0	238.0	41.47	-5.09675
10:00:35	13,798.0	238.0	41.49	-5.03571

4.5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Control Terciario de Frecuencia CTF.

Se realiza el ensayo para verificar la capacidad de Central Rucatayo para participar en el servicio complementario de CTF en giro.

Conforme al protocolo se genera una rampa de subida de toma de carga desde el mínimo técnico a potencia máxima y una rampa de bajada desde potencia máxima a mínimo técnico conforme a las características y recomendaciones del fabricante. Ver el Gráfico 16 Prueba Tasa de Subida y Bajada Reserva en Giro.

4.4.1 Resultados ensayos de Verificación de CTF y valores a informar.

Se han registrado los valores a partir del ensayo descrito y se informan estos en la Tabla 15 Ensayo y valores a informar CTF, que a la vez se adjunta en planilla Excel para uso del Coordinador.

Tabla 15 Ensayo y valores a informar CTF

SSCC		Control de Frecuencia					
Categoría		Control Terciario de Frecuencia					
Subcategoría		CTF+ y CTF-					
Central	Combustible	Parámetro		Valor determinado			
				U1	U2	U3	
Central Rucatayo	Hidraulica	Tasa normal de operación [MW/min]	Subida	18			
			Bajada	-18			
		Tasa máxima de operación [MW/min]	Subida	18.25			
			Bajada	-18.4			
		Tiempo de respuesta [minutos]	Subida	2.05			
			Bajada	2.04			
		Aporte CTF [MW]	Subida	37.5			
			Bajada	37.5			
		Límite de regulación superior [MW]			52.5		
		Límite de regulación inferior [MW]			15		

Tabla 16 Control CTF valores registrados.

Control CTF	Norma	Medido	Unidades
Reserva en Giro			
Tasa de subida	18	18.25	[MW/min]
Tasa de Bajada	-18	-18.40	[MW/min]
Reserva Fría			
Tiempo Estado Apagado a mínimo Técnico	15	2.85	[min]
Capacidad de operar por menos de 1 hora	Sí	Sí	
Sincronizar en menos de 5 minutos	5	0.95	[min]

Los valores de la Tabla 16 Control CTF valores registrados. y señalados más arriba, corresponden al ensayo de un escalón en cambio de set point y por lo tanto es la tasa máxima de subida y bajada. Esta tasa es ajustable manualmente sólo a menores valores de MW/min estando la Unidad Generadora en servicio.

En la misma tabla el valor indicado como Norma es el que se debe cumplir. El valor medido es para un escalón de cambio en el set point, por lo tanto es la tasa máxima de subida o bajada respectivamente de la Unidad Generadora. Para la Reserva en Giro estos valores deben ser mayores o iguales a los indicados.

Para la Reserva Fría, corresponden a valores que deben ser menores o iguales a los tiempos indicados como valores Norma. Los valores registrados corresponden con los tiempos de PPyD de la Unidad Generadora.

4.4.2 Gráficas ensayos de Verificación de CTF.

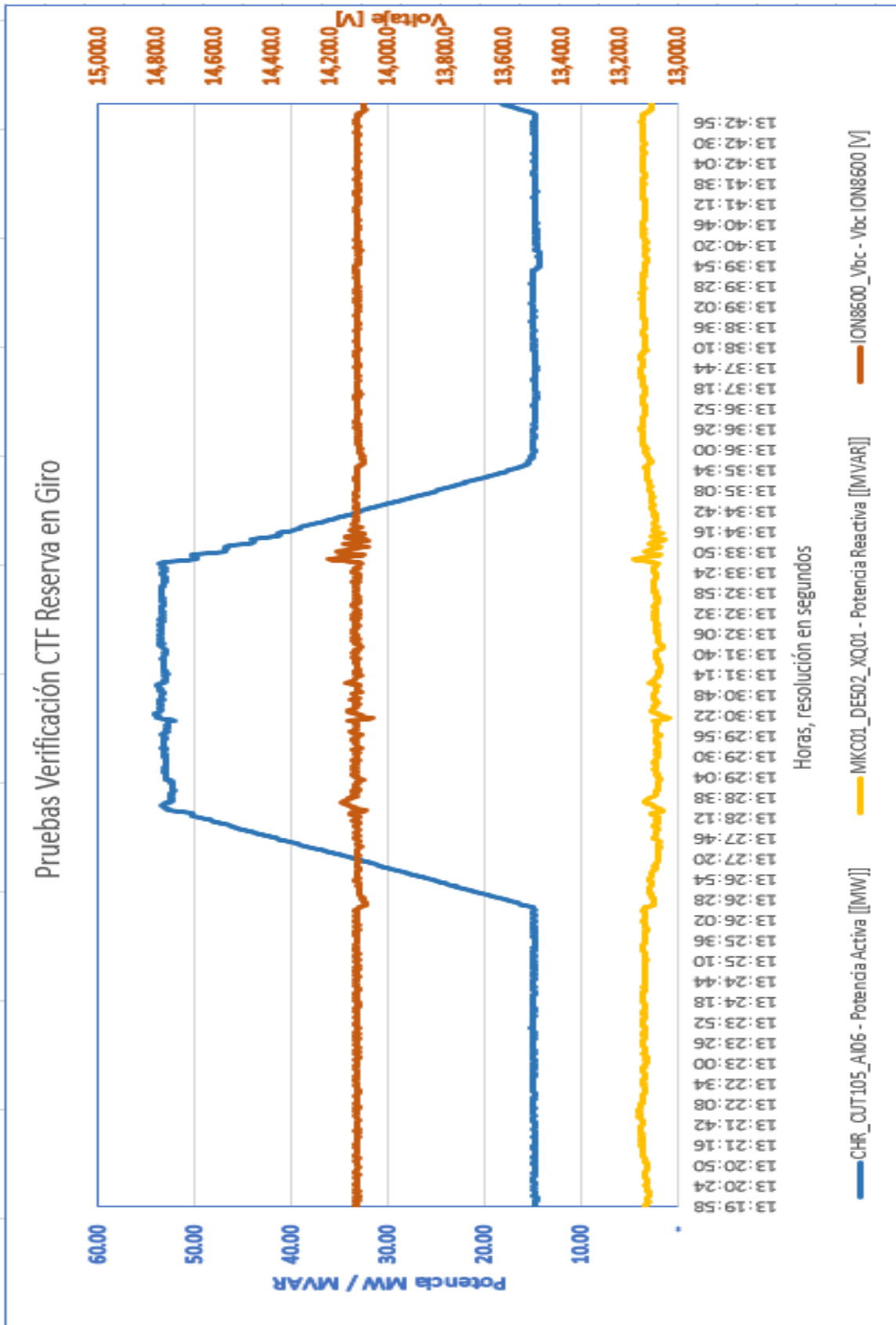


Gráfico 16 Prueba Tasa de Subida y Bajada Reserva en Giro

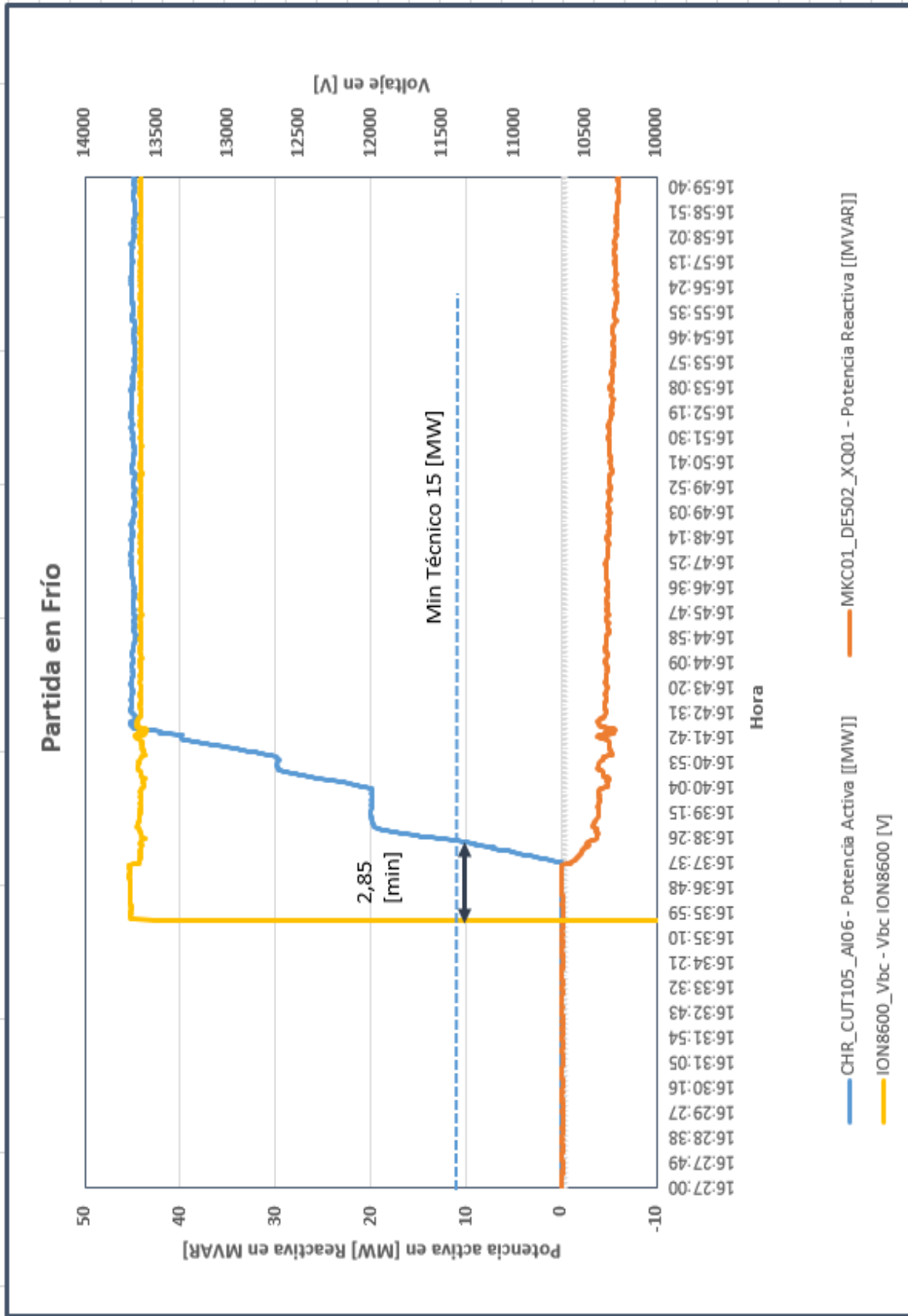


Gráfico 17 Registro de partida en frío

Tabla 17 Información Registrada Prueba Verificación CTF, extracto.

Hora	ION8600_V bc - Vbc ION8600 [V]	SE_RUC_C60 _SRC1_VBC_ RMS - SRC1 VBC RMS [kV]	CHR_CUT10 5_AI06 - Potencia Activa [[MW]]	MKC01_DES 02_XQ01 - Potencia Reactiva [[MVAR]]
13:19:58	14,110.0	240.0	14.78	3.38766
13:19:59	14,113.0	240.0	14.78	3.35714
13:20:00	14,110.0	240.1	14.76	3.35714
13:20:01	14,113.0	240.1	14.92	3.26558
13:20:02	14,105.0	240.1	14.87	3.20454
13:20:03	14,109.0	240.1	14.78	3.23506
13:20:04	14,113.0	240.2	14.78	3.20454
13:20:05	14,112.0	240.2	14.92	3.08246
13:20:06	14,103.0	240.1	14.69	3.20454
13:20:07	14,114.0	240.1	14.78	3.23506
13:20:08	14,110.0	240.2	14.64	3.2961
13:20:09	14,116.0	240.2	14.64	3.17402
13:20:10	14,104.0	240.1	14.87	3.1435
13:20:11	14,108.0	240.1	14.80	3.02142
13:20:12	14,102.0	240.1	14.94	3.02142
13:20:13	14,105.0	240.1	14.89	3.02142
13:20:14	14,108.0	240.2	14.87	3.05194
13:20:15	14,110.0	240.2	14.80	3.08246
13:20:16	14,113.0	240.1	14.78	3.08246
13:20:17	14,108.0	240.1	14.85	3.11298
13:20:18	14,104.0	240.1	14.89	3.05194
13:20:19	14,107.0	240.1	15.03	3.17402
13:20:20	14,115.0	240.1	14.98	3.17402
13:20:21	14,109.0	240.1	14.80	3.20454
13:20:22	14,107.0	240.1	14.92	3.17402
13:20:23	14,107.0	240.1	14.96	3.23506
13:20:24	14,111.0	240.1	14.98	3.23506
13:20:25	14,110.0	240.1	14.87	3.32662
13:20:26	14,113.0	240.1	14.92	3.32662
13:20:27	14,112.0	240.1	14.85	3.23506
13:20:28	14,108.0	240.1	14.85	3.23506



5. MEMORIA TÉCNICA DEL PROCEDIMIENTO.

El procedimiento realizado se ajustó al protocolo aprobado por el Coordinador.

Se obtuvieron los registros desde las Unidades medidores ION y ABB para consolidar toda la información de análisis.

El detalle de los cálculos realizados y su procedimiento se ha descrito detalladamente en los puntos 4.1 al 4.5 del presente informe.

6 ANEXO: Información de Ensayos del fabricante.

Revisión	Descripción	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
					
		CENTRAL HIDROELECTRICA RUCATAYO			
Título REPORTE DE PUESTA EN SERVICIO	Cliente:	Eléctrica Rucatayo	Cliente No.:	Preparó:	JCC 16/03/2015
	Proyecto:	Rucatayo		Revisó:	JCC 16/03/2015
	Pedido No.:		Dibujo No.	Aprobó:	
	Contrato No.:		S/N	Página:	1 de 22
Este documento es propiedad de ANDRITZ HYDRO, S.A. de C.V.					

6.1 Rodado

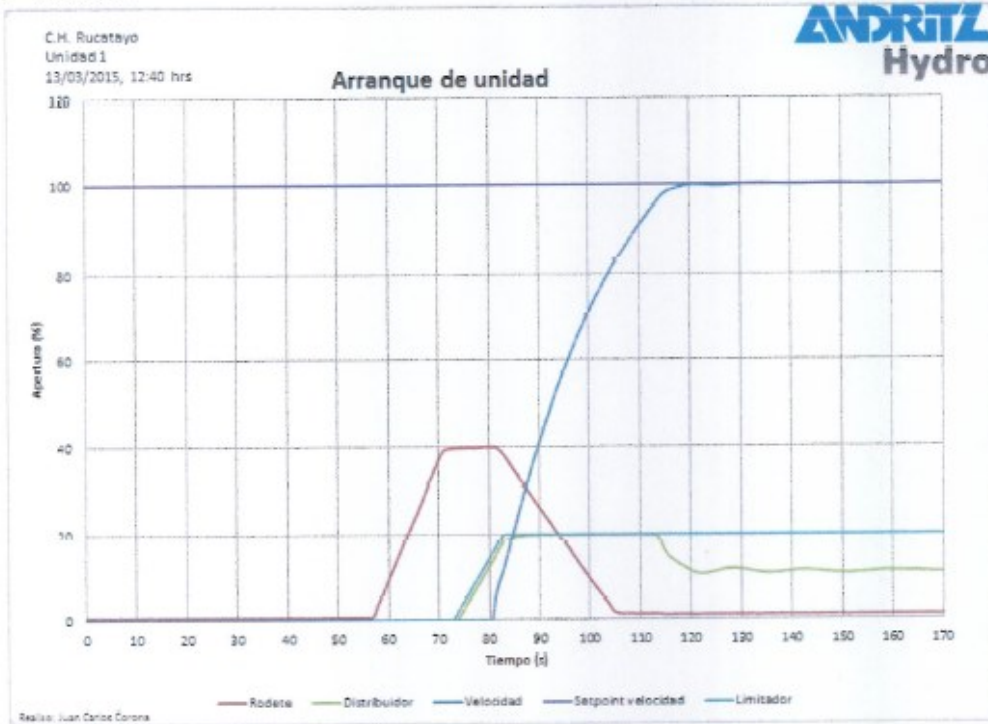


Fig. 12: Rodado de la unidad.

ANDRITZ HYDRO, S.A de C.V. Reporte de puesta en servicio	Cliente Rucatayo	No. de pedido	Proyecto Rucatayo	Dibujo No. S/N	P. 17/22
---	---------------------	---------------	----------------------	-------------------	-------------

5.1.1 Escalón de velocidad

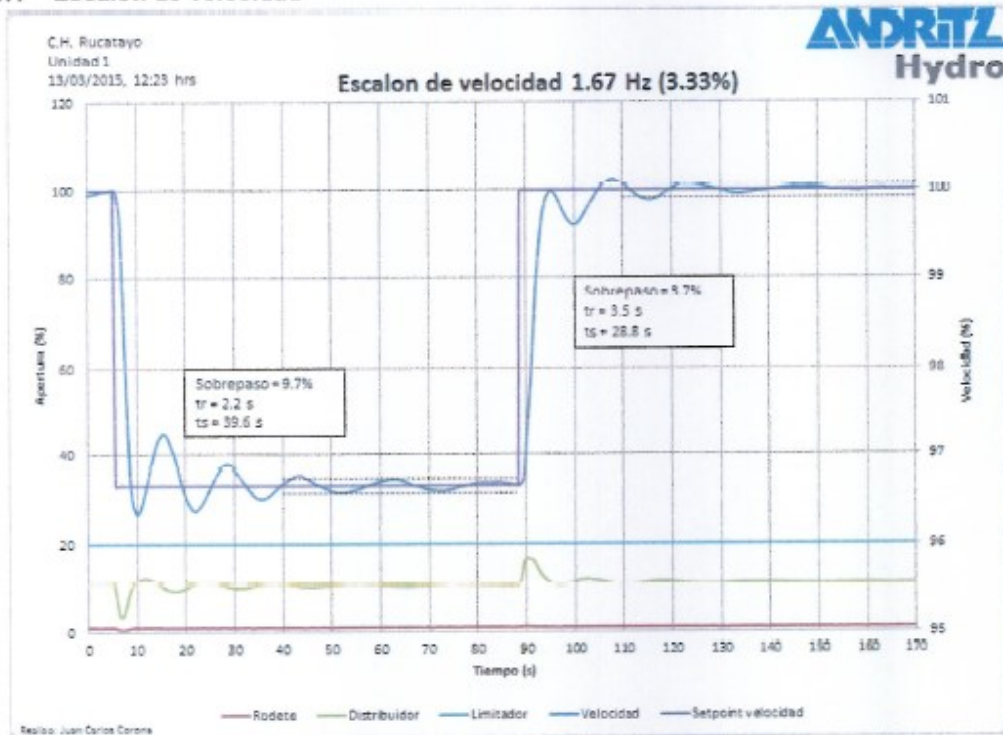


Fig. 8. Escalón de velocidad $\Delta f = 1.01$ Hz (96.66 a 100 %)

ANDRITZ HYDRO, S.A de C.V. Reporte de puesta en servicio	Cliente Rucatayo	No. de pedido	Proyecto Rucatayo	Dibujo No. S/N	P. 12/22
---	---------------------	---------------	----------------------	-------------------	-------------

F:\Documents\Rucatayo\Documentos para H2O\Reporte P&S RUCATAYO.DOC

5.2 Regulador de potencia

Ajuste	PW	Valor y unidad
Velocidad de ajuste de la consigna	P_POC;TIM_PSP	0.3 MWs ⁻¹
Estatismo permanente b_p (potencia / frec.)	P_CON;Rp_INT	4.0 %
Constante proporcional K_p en red aislada	P_POC;KP_POC	0.5
Constante integrativo T_i en vacío	P_POC;TN_POC	3.0 s
Filtro de señal de potencia	P_CON;TN Pa	0.5 s

5.2.1 Estatismo de potencia

La prueba del estatismo permanente fue realizada mediante el programa de pruebas del regulador AK1703 ACP. Se simuló un error de -0.3 Hz

$$\Delta f = -0.3 \text{ Hz} = -0.6 \%$$

.Con un banda muerta ajustada a +/- 0.04% o 0.02 Hz

$$\Delta f = -0.28 \text{ Hz} = -0.56 \%$$

Con potencia inicial de

$$P_0 = 25.15 \text{ MW,}$$

se alcanzó en la prueba un valor medido de

$$P_1 = 16.86 \text{ MW.}$$

El estatismo de potencia se determina mediante la siguiente fórmula

$$B_p = - \frac{(P_{nom}) \Delta F}{(F_{nom}) \Delta P} \times 100$$

$$B_p = - \frac{(60) (-0.28)}{(50)(8.29)} \times 100 = 4.05 \% \approx 4\% \text{ ajustado en regulador}$$

5.2.2 Limitador de apertura

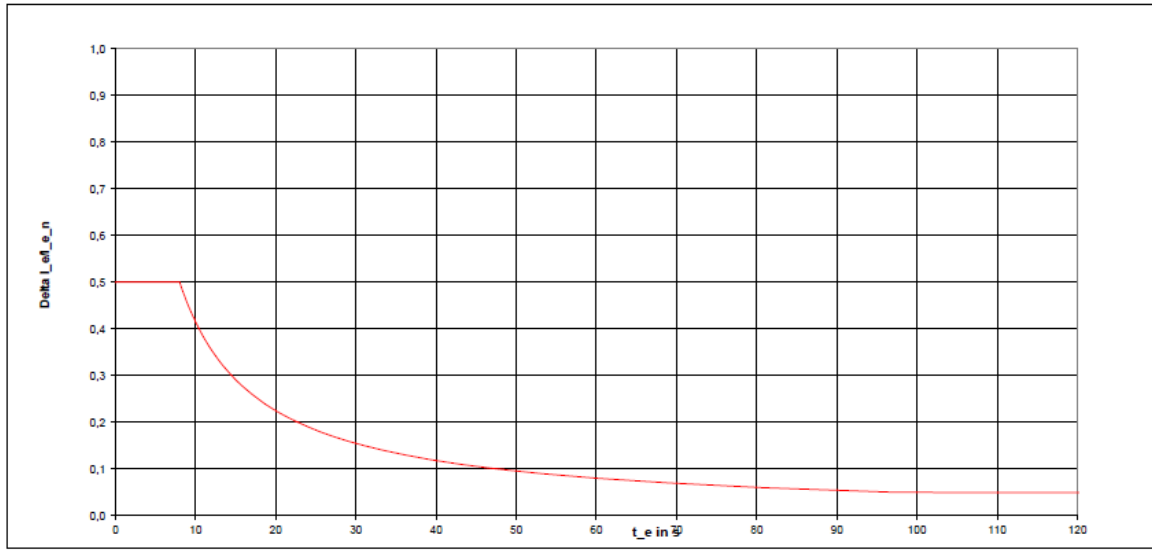
Ajuste	PW	Valor y unidad
Velocidad de ajuste manual	P_UPL;TIM_UPL	2.0 %s ⁻¹
Posición de arranque	P_OPL;MAX_OPLST	20.0 %
Posición predeterminada en paralelo	P_OPL;OPL_MAX	100.0 %

ANDRITZ HYDRO, S.A de C.V.	Cliente	No. de pedido	Proyecto	Dibujo No.	P.
Reporte de puesta en servicio	Rucatayo		Rucatayo	S/N	14/22

E:\Documents\Rucatayo\Documentos para HCL\Reporte PeS Rucatayo.doc

DIAGRAM NO. / Diagrama no. 1

INTERVENTION TIME OF EXITATION CURRENT CONTROLLER TIME DEPENDEND DEPENDING ON EXCITATIONOVERCURRENT $\Delta I_e = I_e - I_{e_ref}$
 tiempo de intervención del controlador de corriente de excitación en función de sobrecorriente de excitación $\Delta I_e = I_e - I_{e_ref}$



		Rucalayo	CONVERTTEAM	&EDA029	+ 11 CJN
		360/1850Rr	NAME / Nombre : V Klum	EXCITATION EQUIPMENT / Equipo de excitación	
R0	after.com	01.10.12	DATE / Fecha : 25.09.12	TECHNICAL DATA / Datos técnicos	
		RCH		B22 - 5513	PAGE 37+ Seite