

Cliete: Colbún S.A.

País: Chile

Proyecto: Verificación de SSCC - C.T. Los Pinos - U1

Descripción: Informe final de ensayos - Control de Tensión y Frecuencia

Código de Proyecto: EE-2021-023

Código de Informe: EE-EN-2021-2195

Revisión: A



06 de enero de 2022



Este documento EE-EN-2021-2195-RA fue preparado para Colbún S.A. por Estudios Eléctricos SA.
Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman

Coordinador Dpto. Ensayos e Ingeniería
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo

Coordinador Dpto. Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani

Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 89 páginas y ha sido guardado por última vez el 6/1/2022 por Gonzalo Espinoza. Sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

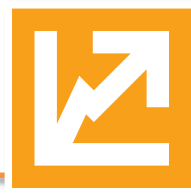
Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	06/01/2022	Primera versión.	IC	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la página web de Estudios Eléctricos: <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



Índice

1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	Descripción del personal participante	6
1.2	Nomenclatura.....	7
2	REQUERIMIENTO NORMATIVO.....	8
2.1	Control de tensión.....	8
2.1.1	Definición	8
2.1.2	Requerimientos asociados a la prestación	8
2.2	Control de frecuencia.....	11
2.3	Control terciario de frecuencia	14
2.3.1	Definición	14
2.3.2	Requerimientos asociados a la prestación	14
3	PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	15
3.1	Procedimiento de pruebas.....	15
3.2	Instrumental utilizado para la adquisición de datos	16
3.3	Registro de señales con equipos de planta	18
3.4	Metodología general de los ensayos.....	19
3.4.1	Control de tensión.....	19
3.4.2	Control de frecuencia	20
4	EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN DE LA UNIDAD	21
4.1	Ensayos con la unidad en vacío (FSNL).....	22
4.1.1	Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión	23
4.1.2	Determinación de los techos de excitación.....	25
4.1.3	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreflujo (V/Hz).....	26
4.2	Ensayos con la unidad conectada a la red.....	27
4.2.1	Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de subexcitación	27
4.2.2	Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de sobrexcitación	30
4.3	Análisis resultados pruebas dinámicas	34
4.3.1	Pruebas con las unidades en vacío.....	34
4.3.2	Pruebas con las unidades conectadas a la red	35
5	ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO	36
5.1	Registros temporales de los puntos operativos alcanzados	39



5.1.1 Análisis.....	49
5.2 Curvas de capacidad.....	51
5.2.1 Resumen de valores a informar	57
5.2.1 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.00 pu	58
5.2.2 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.10 pu.....	59
6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA	60
6.1 Incremento de carga de la unidad	60
6.1.1 Toma de carga desde mínimo técnico (17 MW) a carga base (107.7 MW)	60
6.2 Reducción de carga de la central	62
6.2.1 Reducción de carga desde carga base (107.7 MW) a mínimo técnico (17 MW).....	62
6.3 Resumen de gradientes.....	63
7 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.....	64
8 Anexo	66
8.1 Datos característicos de los generadores	66
8.2 Protecciones de generador	70
8.3 Regulador de tensión GE EX2100	73
8.4 Foto de placa del transformador elevador	78
8.5 Foto de placa del transformador de servicios auxiliares	79
8.6 Valores de mínimo técnico y potencia máxima certificados por el CEN.....	80
8.7 Gradiente máximo de toma y bajada de carga.....	81
8.8 Archivos adjuntos entregados.....	83
8.9 Acta de pruebas SSCC Los Pinos.....	85



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume los resultados del proceso de Verificación de Servicios Complementarios de la Central Térmica Los Pinos. Se incluyen, los servicios de Control de Tensión (CT) y Control Terciario de Frecuencia en giro (CTFg), con el objeto de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la Norma Técnica de Servicios Complementarios vigente. Las verificaciones anteriormente señaladas se realizan siguiendo los lineamientos estipulados en las “*Guías de Verificación de Servicios Complementarios*” expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional.

Los ensayos se realizaron siguiendo el procedimiento: “**EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1**” elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

La verificación del SSCC de CT se complementa con el informe de curvas PQ teórico máximo de la unidad en “**EE-EN-2021-1656-RA_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Los_Pinos_U1**” emitido en la etapa de análisis preliminar previo al desarrollo del procedimiento de ensayos.

La Central Térmica Los Pinos ubicada en la comuna de Cabrero, región del Biobío, se compone de 1 (un) generador sincrónico, marca Hitachi modelo GH1550A de 138.75 MVA de potencia aparente nominal, impulsado por una turbina de gas marca General Electric modelo LMS100 de 117 MW.

El regulador de tensión (AVR) de la unidad es marca General Electric modelo EX2100 y es completamente digital. Cuando la unidad se encuentra conectada a la red opera en modo “control de tensión”, el cual es el modo de operación normal del regulador.

El regulador de potencia/velocidad (GOV) de la unidad es marca General Electric modelo Mark VIe, completamente digital. Cuando la unidad se encuentra conectada a la red opera en modo “MW Control”, modo de operación normal del regulador.

La unidad se vincula al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) mediante un transformador elevador de relación 11.5 kV / (230 kV \pm 2 x 2.5%) de potencia nominal 100 / 125 / 150 MVA (ONAN/ONAF/ONAF).

Se han realizado todos los ensayos de verificación en la Central Térmica Los Pinos de acuerdo al procedimiento de ensayo “**EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1**”.



1.1 Descripción del personal participante

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Iñaki Cubillos	30 de noviembre al 2 de diciembre de 2021

Tabla 1.1: Personal EE participante



1.2 Nomenclatura

Tag	Descripción
ETERM	Tensión de terminales del generador
ITERM	Corriente de terminales del generador
EFD/VFD	Tensión de campo del generador / Tensión de campo de la excitatriz
IFD/IEX	Corriente de campo del generador / Corriente de campo de la excitatriz
PELEC	Potencia eléctrica activa generada
QELEC	Potencia eléctrica reactiva generada
FREC	Frecuencia eléctrica
SS/AA	Servicios Auxiliares
GOV	Regulador de velocidad
AVR	Regulador de tensión
V/Hz	Limitador de sobreflujo
OEL	Limitador de sobreexcitación
UEL	Limitador de subexcitación
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
CTF	Control terciario de frecuencia
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
Pmax	Potencia activa bruta máxima de la unidad (107.7 MW)
Pmin	Potencia activa bruta correspondiente al mínimo técnico de la unidad (17 MW)
Trate	Potencia base del regulador de velocidad (120 MW)
TA	Technical Assistant
P1	Despacho de la unidad a mínimo técnico (Pmin)
P2	Despacho de la unidad a $(P_{max} + 2 * P_{min}) / 3$
P3	Despacho de la unidad a $(P_{max} + P_{min}) / 2$
P4	Despacho de la unidad a $(2 * P_{max} + P_{min}) / 3$
P5	Despacho de la unidad a potencia máxima (Pmax)

Tabla 1.2 - Nomenclatura empleada



2 REQUERIMIENTO NORMATIVO

2.1 Control de tensión

El objetivo de esta sección es citar los requerimientos mínimos que debe cumplir cada una de las instalaciones interconectadas al SEN para verificar las capacidades de prestar el servicio de control de tensión según la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC), y el Anexo Técnico “Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC”.

2.1.1 Definición

Este servicio corresponde 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 vigente. La naturaleza de la prestación de este servicio se considera local.

2.1.2 Requerimientos asociados a la prestación

Dependiendo de la naturaleza del equipamiento/unidad que preste este servicio complementario se distinguen diferentes tipos de requerimientos:

a) Unidades generadoras sincrónicas

- **Control de régimen permanente y dinámico:** Esta prestación corresponde a la actuación del controlador de tensión de una unidad generadora sobre la salida de la excitatriz, a través de la modificación de la corriente de campo, para contribuir a mantener la tensión de operación de una barra de referencia, en régimen permanente y ante la ocurrencia de contingencia, de acuerdo con la consigna previamente establecida por el Coordinador.

b) Parques eólicos y fotovoltaicos

- **Control estático:** Esta prestación corresponde a la entrega de una cantidad fija de potencia reactiva, de acuerdo con una consigna previamente establecida por el Centro de Despacho y Control, y dentro de las capacidades establecidas por la curva PQ de cada instalación. En los casos que esta acción sea requerida en ausencia del recurso primario, el costo asociado al consumo de energía incurrido será compensado en el proceso de remuneraciones de los SSCC.



- **Control dinámico:** Esta prestación corresponde a la actuación del regulador de tensión de un parque eólico o solar sobre sus equipos de generación o sobre equipos de suministro de potencia reactiva, para contribuir a mantener la tensión de operación en los niveles admisibles establecidos en la NTSyCS, tanto en régimen permanente como ante contingencias, de acuerdo con la consigna de tensión previamente establecida por el Coordinador y conforme a lo establecido en los artículos 3-8 y 3-9 de la NTSyCS vigente. Este tipo de control se diferenciará en uno de tipo rápido y otro lento, diferenciándose en cuanto a su tiempo de respuesta, que en el primer caso no podrá ser superior a 1 segundo, mientras que para el lento no podrá exceder los 20 segundos. Será el Coordinador por medio del quién definirá si se requiere que alguna instalación preste este tipo de servicio. En los casos que esta acción sea requerida en ausencia del recurso primario, el costo asociado al consumo de energía incurrido será compensado en el proceso de remuneraciones de los SSCC.

c) Elementos de compensación reactiva

- **Control estático:** Esta prestación corresponde a la disponibilidad y/o utilización de compensadores estáticos de potencia reactiva, bancos de condensadores o reactores fijos y/o desconectables, entre otros, para contribuir a mantener la tensión de operación de las barras del Sistema dentro de los niveles establecidos en la NTSyCS, en régimen permanente y ante la ocurrencia de una contingencia.
- **Control dinámico:** Esta prestación corresponde a la disponibilidad y/o utilización de compensadores sincrónicos y reguladores estáticos o dinámicos de tensión (SVC, STATCOM, etc.), entre otros, para contribuir a mantener la tensión de operación de las barras del Sistema dentro de los niveles establecidos en la NTSyCS, en régimen permanente y ante la ocurrencia de una contingencia.



Las unidades generadoras sincrónicas y parques eólicos/fotovoltaicos deberán operar de forma estable y permanente, entregando o absorbiendo reactivos, de acuerdo con los límites establecidos en sus diagramas PQ, considerando las exigencias descritas en la NTSyCS. En el caso de los parques eólicos y fotovoltaicos, esto podrá ser realizado mediante un control por consigna de tensión sobre la barra de inyección al Sistema, ajustando el factor de potencia del parque o mediante un control de inyección de potencia reactiva.

El sistema de excitación de una máquina sincrónica deberá cumplir con que el error en estado estacionario de la tensión de generación deberá ser inferior a 0.25% para cualquier cambio en la carga del generador, según el artículo 3-12 literal b) de la NTSyCS.

Las unidades generadoras sincrónicas pertenecientes a Centrales Eléctricas de potencia nominal total igual o mayor a 50 [MW] con dos o más unidades generadoras deberán tener un sistema de excitación que permita recibir una señal proveniente de un control conjunto de potencia reactiva/tensión, cuya función sea controlar la tensión en barras de alta tensión de la central a un valor ajustado por el operador y efectuar una distribución proporcional de la potencia reactiva entre las unidades generadoras que se encuentren operando, según el artículo 3-13 de la NTSyCS.

Los parques eólicos y fotovoltaicos de potencia nominal total igual o mayor a 50 [MW] deberán tener un sistema de control que permita recibir una señal proveniente de un control conjunto de potencia reactiva/tensión, cuya función sea controlar la tensión en barras de alta tensión del parque a un valor ajustado por el operador, según el artículo 3-13 de la NTSyCS.

Este servicio podría ser prestado por otras instalaciones, en la medida que cumplan con los requisitos y exigencias técnicas definidos por el Coordinador.



2.2 Control de frecuencia

El objetivo de esta sección es citar los requerimientos mínimos que debe cumplir cada una de las instalaciones interconectadas al SEN para verificar las capacidades para prestar el servicio de control de frecuencia, específicamente control rápido de frecuencia (CRF), control primario de frecuencia (CPF), control secundario de frecuencia (CSF) y control terciario de frecuencia según la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC), y el Anexo Técnico “Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC”.

En líneas generales, las instalaciones deberán ser a los menos capaces de:

- Operar de manera estable en forma permanente en el rango de frecuencia comprendido entre 49 y 51 Hz, para tensiones comprendidas entre 0.95 y 1.05 por unidad de la tensión nominal, medido en su punto de conexión en el caso de parques eólicos o solares, en cualquier nivel de potencia.
- No reducir en más de un 10% su potencia activa entregada en estado normal de operación al SEN en su punto de conexión para frecuencias estabilizadas en el rango de 47.5 Hz y 49.5 Hz.
- Soportar cambios de frecuencia de hasta 2 Hz/s sin desconectarse del SEN. Para ello, la tasa de cambio de la frecuencia debe ser medida durante un período de 500 ms, según lo señalado en el artículo 3-11 de la NTSyCS.



En la Figura 2.1 se muestra la interpretación temporal de como intervienen las diferentes subcategorías de SSCC referidas al control de frecuencia según el Coordinador:

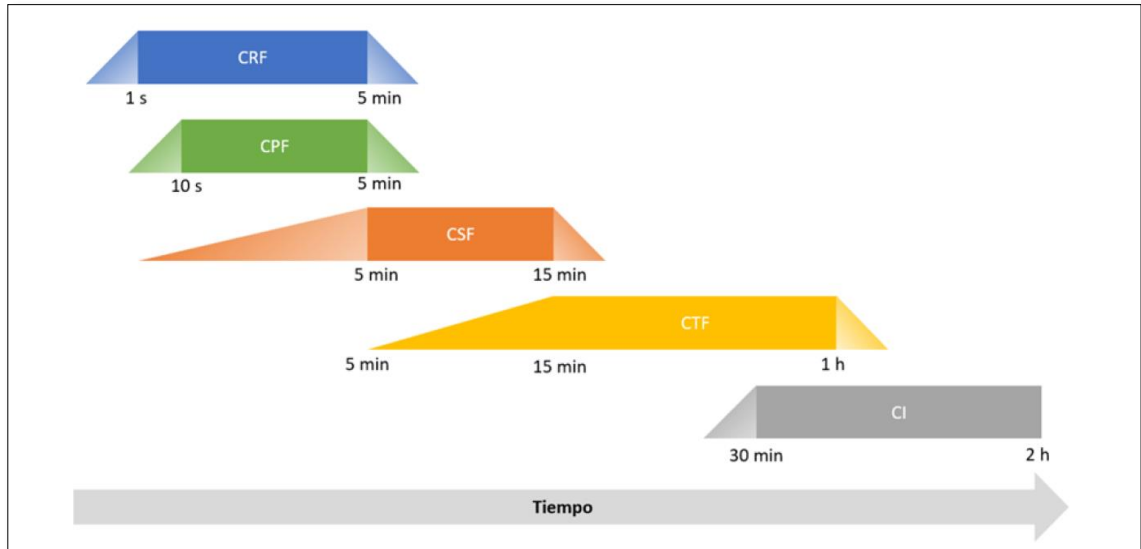


Figura 2.1: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal

En la Figura 2.2 se presenta la interpretación de los distintos tiempos involucrados en cada subcategoría de SSCC de control de frecuencia de manera referencial:

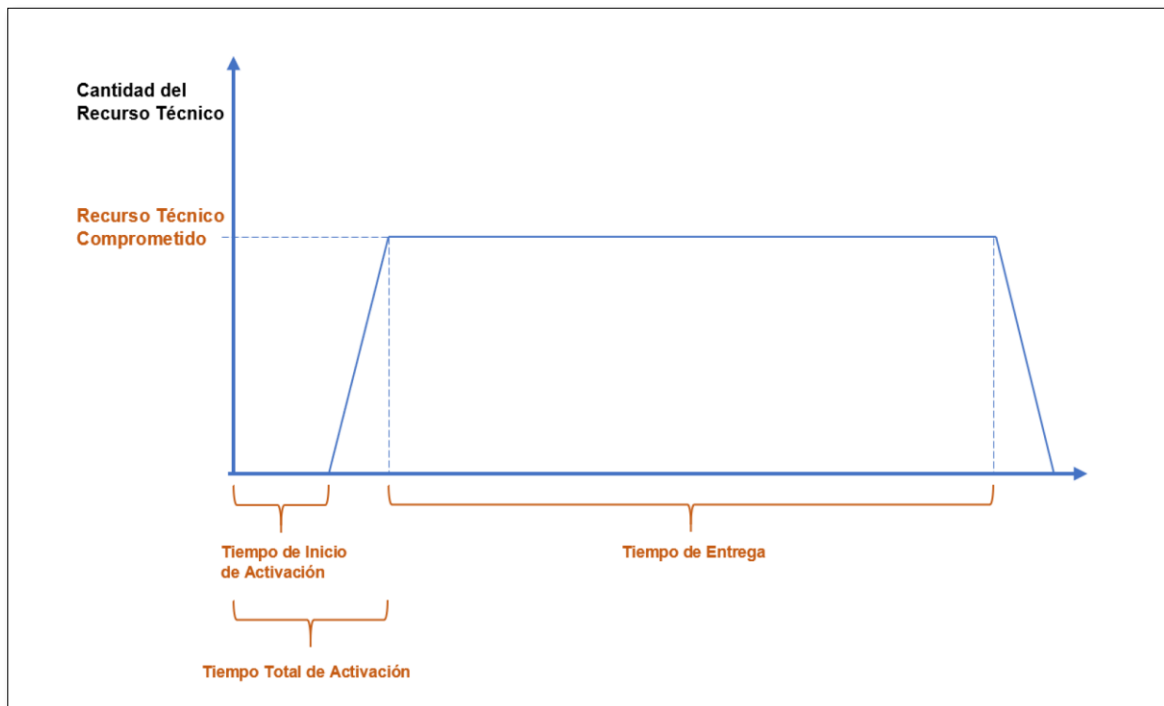


Figura 2.2: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal



Donde:

- **Tiempo de inicio de activación:** Período en que se inicia la prestación del “Recurso Técnico Comprometido”, contado desde que es requerido el respectivo Servicio Complementario. Se entenderá que el respectivo Servicio Complementario es requerido cuando se produzca una condición operativa en el SEN, que active automatismos locales; a través del envío de la consigna tratándose de servicios automáticos centralizados; o desde la instrucción, en la operación en tiempo real, del Coordinador tratándose de Servicios Complementarios cuyo modo de activación no es mediante automatismos, según corresponda.
- **Tiempo total de activación:** Período en que se entrega la totalidad del “Recurso Técnico Comprometido”, incluyendo el “Tiempo de inicio de activación”.
- **Tiempo de entrega:** Período en que las instalaciones deberán ser capaces de mantener el total del “Recurso Técnico Comprometido”, contando desde el momento en que transcurrió el “Tiempo total de activación”.

Lo presentado anteriormente en ambas figuras se puede resumir en la siguiente tabla:

Subcategoría	Modo de activación	Tiempo de inicio de activación	Tiempo total de activación	Mínimo tiempo de entrega	Máximo tiempo de entrega
CRF	Automático local	-	1 s	5 min	-
CPF	Automático local	-	10 s	5 min	-
CSF	Automático centralizado	-	5 min	15 min	-
CTF	Por instrucción, en la operación en tiempo real, del CEN	5 min	-	-	1 hs
CI	Por instrucción, en la operación en tiempo real, del CEN	-	30 min	2 hs	-

Figura 2.3: Tiempos comprometidos por subcategoría - SSSC Control de frecuencia



2.3 Control terciario de frecuencia

2.3.1 Definición

Corresponde a acciones de control activadas por instrucción del Coordinador en la operación en tiempo real, destinadas a restablecer las reservas del Control Secundario de Frecuencia o incorporar reservas adicionales con el objeto de preparar el SEN para responder a desequilibrios respecto de los cuales las reservas por otras categorías de Control de Frecuencia sean insuficientes.

Esta categoría de servicio considera las subcategorías de Control Terciario por Subfrecuencia (CTF+) y de Control Terciario por Sobrefrecuencia (CTF-).

El Tiempo de Inicio de Activación del CTF será de cinco (5) minutos a partir de la instrucción del Coordinador, y su máximo Tiempo de Entrega será de una (1) hora.

2.3.2 Requerimientos asociados a la prestación

Dentro de las consideraciones que se deberán tomar para la prestación de este servicio, y para mantener la coherencia con la cadena de reservas que se da entre los distintos controles, se deberá considerar el 100% de la entrega de reserva comprometida en un tiempo máximo de quince (15) minutos, medidos desde que el Coordinador entrega la instrucción al Centro de Control, de manera que el CTF reemplace la acción ejercida previamente por el CSF.

En el caso que este servicio sea prestado por usuarios finales, éstos deberán cumplir con los siguientes requisitos adicionales:

- a) Integrar al SCADA del Coordinador las señales de Potencia Activa, Potencia Reactiva, Tensión y Frecuencia en la barra de retiro.
- b) Disponer de un Centro de Control validado por el Coordinador, que permita cumplir las instrucciones dadas por el Coordinador en los tiempos que el servicio requiere.
- c) En el caso que uno o más usuarios finales participen de la prestación del servicio a través de un Agregador, este último deberá cumplir con los requisitos anteriores, de modo de realizar las labores de comunicación, entrega de información y coordinación de las acciones necesarias para la correcta prestación del servicio correspondiente.



3 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS

3.1 Procedimiento de pruebas

El procedimiento implementado se diseñó en base al análisis de las características y capacidades de la Central Térmica Los Pinos en el informe de curvas PQ teórico máximo de la unidad en ***“EE-EN-2021-1656-RA_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Los_Pinos_U1”***.

El procedimiento de pruebas se informa en el documento técnico ***“EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1”*** elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional. En dichos documentos se analiza la factibilidad de llegar a los límites de subexcitación y sobreexcitación de la unidad y se define el plan de acción de trabajo.

Las pruebas realizadas en la Central Térmica Los Pinos se llevaron a cabo de acuerdo con el procedimiento ya mencionado. Algunas de las pruebas realizadas sufrieron variaciones en terreno. Dichas variaciones con respecto al procedimiento se detallan en la sección correspondiente a cada prueba.



3.2 Instrumental utilizado para la adquisición de datos

Para realizar los ensayos se utiliza un equipo de adquisición de datos (propiedad de EE). Las principales características del adquirente se presentan en la Tabla 3.1.

Denominación	Canales	Tasa de muestreo	Bits de resolución	N serie
Adquisidor de datos	16	0.1 - 10 kHz	16 bits	EEEQ2010244

Tabla 3.1 – Característica de los equipos de adquisición

Se mide tensión y corriente en terminales del generador, y adicionalmente tensión y corriente de excitación. El adquirente calcula indirectamente la potencia activa y reactiva en bornes, y la frecuencia eléctrica. Lo anterior se ilustra en la Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3.

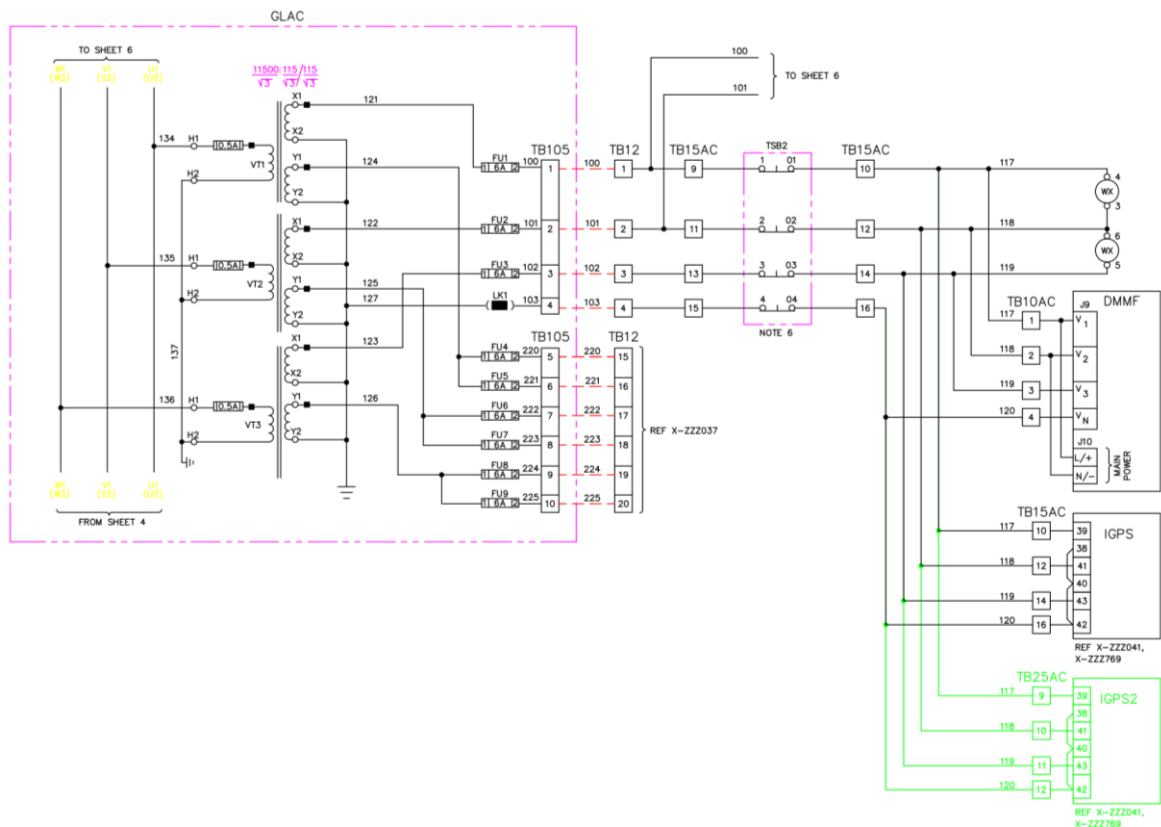


Figura 3.1: Puntos de conexión de terminales en los generadores. Transformador de Potencia.

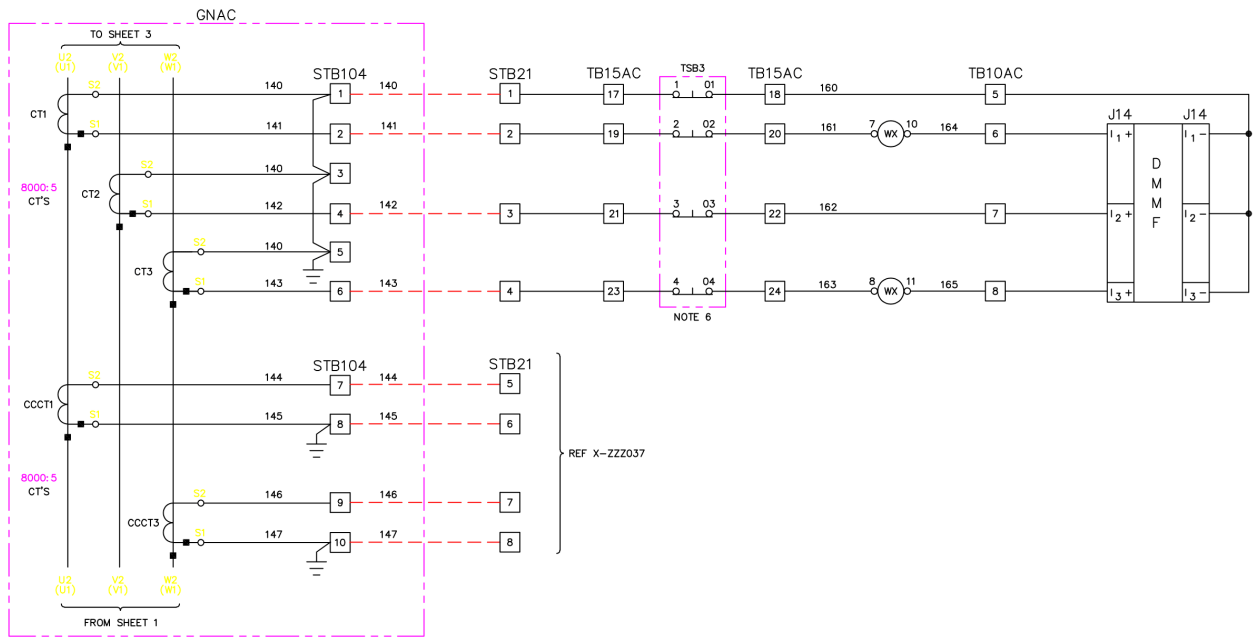


Figura 3.2: Puntos de conexión de terminales en los generadores. Transformador de Corriente.

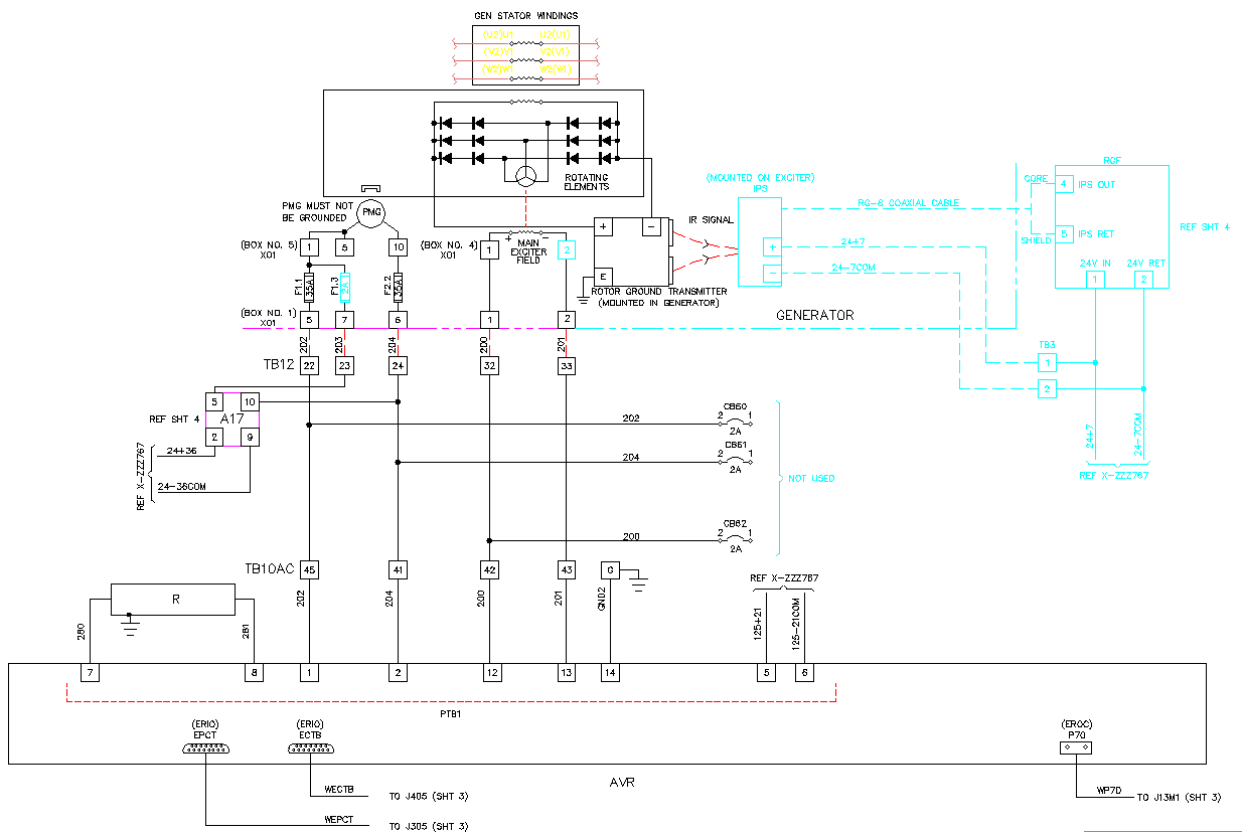


Figura 3.3: Puntos de conexión de tensión de excitación y corriente de excitación en la unidad.



3.3 Registro de señales con equipos de planta

Adicionalmente, se registran señales de interés con el sistema de adquisición de planta, el cual posee una tasa de muestreo de 100 muestras por segundo. Los registros son exportados en formato .CSV.

Las señales registradas fueron:

1. Potencia activa en bornes del generador.
2. Potencia reactiva en bornes del generador.
3. Tensión de terminales del generador.
4. Factor de potencia.
5. Frecuencia eléctrica.
6. Temperatura en el devanado del estator.
7. Flujo de combustible.
8. Temperatura ambiente.



3.4 Metodología general de los ensayos

3.4.1 Control de tensión

Para realizar los ensayos descritos en el protocolo “*EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1*” se realizan escalones en la referencia de tensión de la unidad. Lo anterior se logra mediante la interfaz de control del AVR. En la Figura 3.4 se puede apreciar la interfaz de control del AVR EX2100 de General Electric.

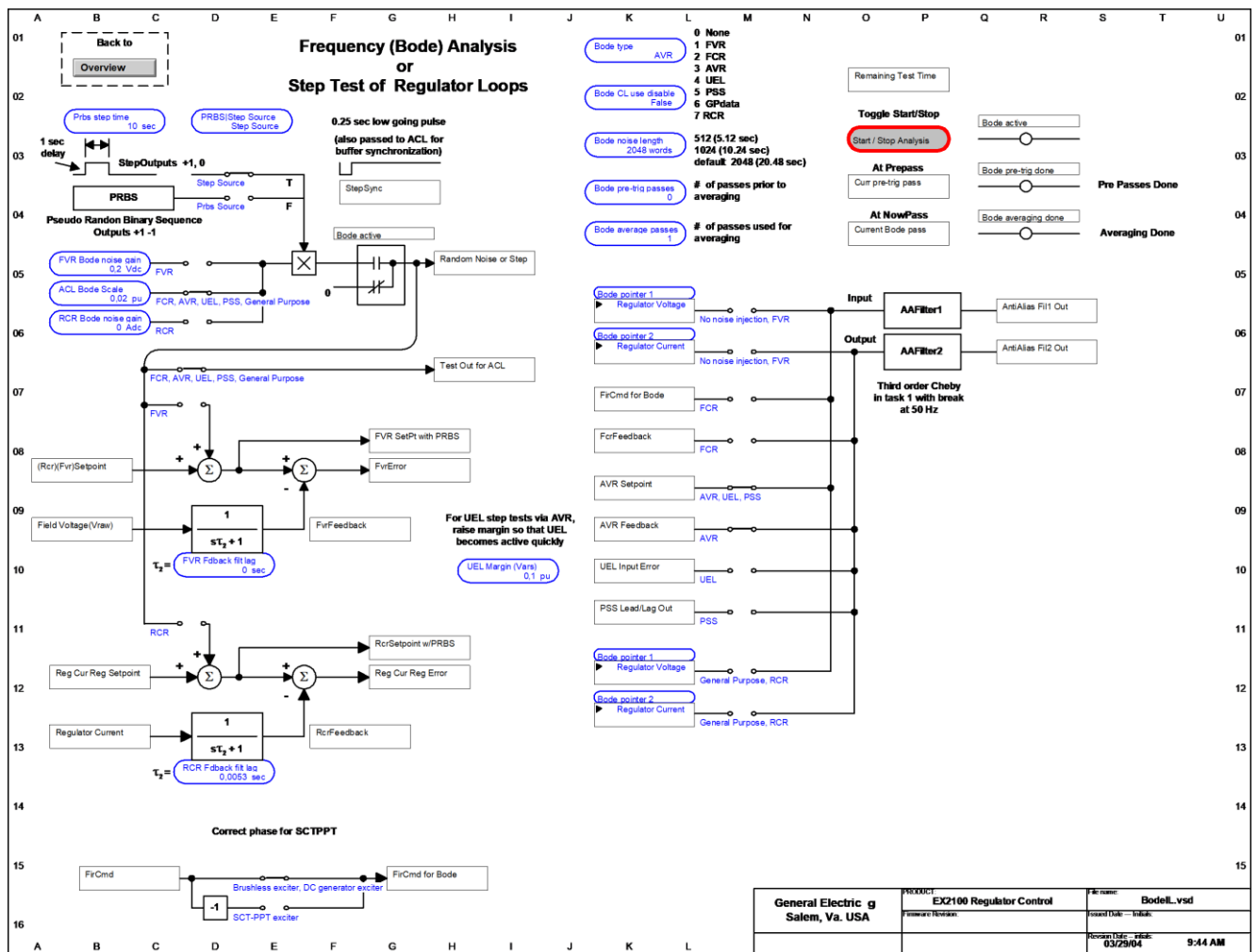


Figura 3.4: Interfaz de control del AVR



3.4.2 Control de frecuencia

Para realizar los ensayos descritos en el protocolo “**EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1**” se realizan cambios de consigna de Potencia. Lo anterior se logra mediante la interfaz de control del GOV. En la Figura 3.5 se puede apreciar la interfaz de control del GOV.

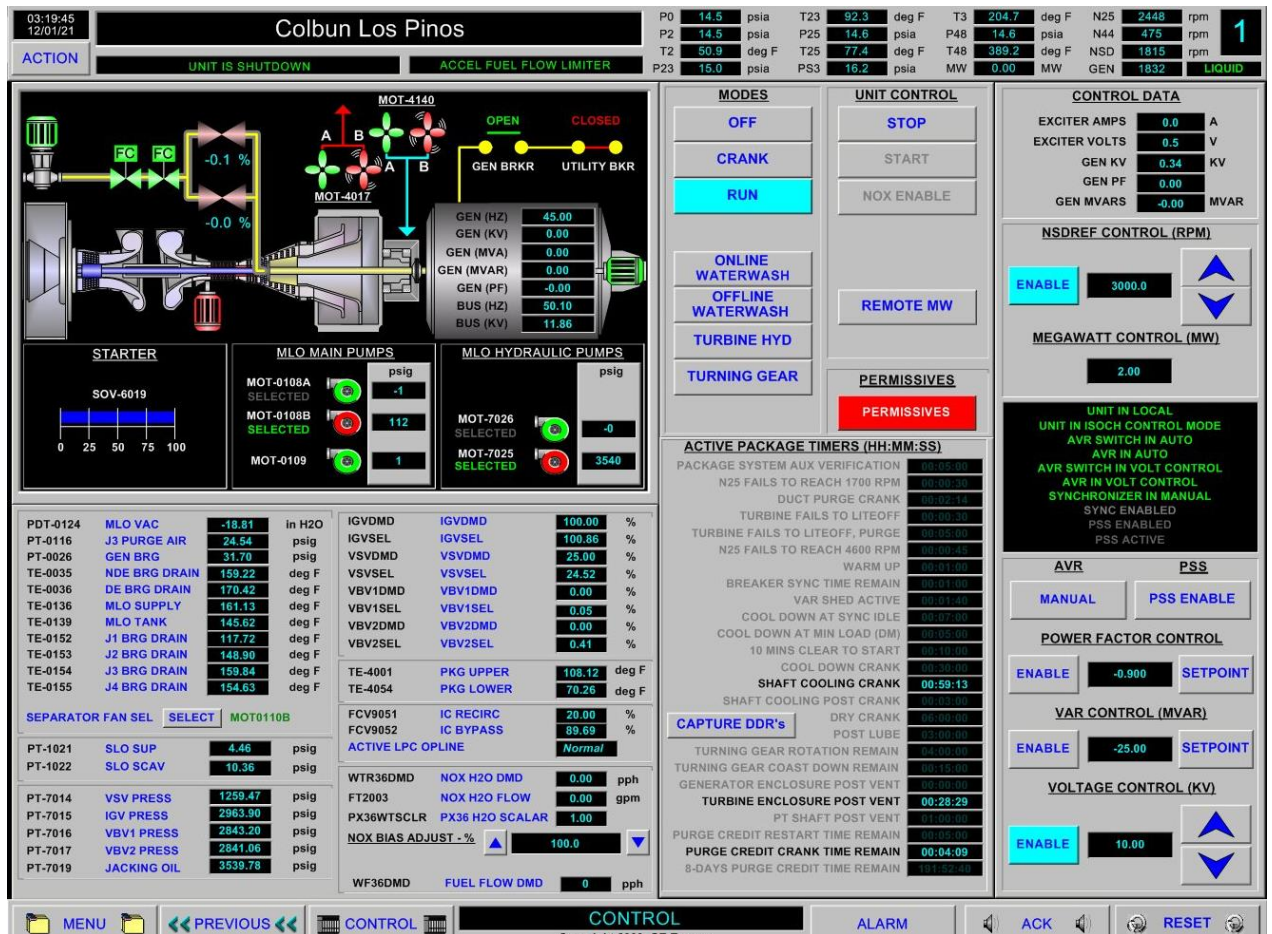


Figura 3.5: Interfaz de control del GOV



4 EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN DE LA UNIDAD

En esta sección se presentan los ensayos realizados con el objetivo de evaluar la respuesta dinámica de los elementos incorporados al control de tensión/potencia reactiva de la unidad.

Se utilizan los siguientes despachos de potencia activa al ensayar.

Despacho de Potencia Activa	Valor unidad [MW]
P1 (Pmin)	17.0
P2	47.2
P3	62.4
P4	77.5
P5¹	97.8

Tabla 4.1: Estados de carga ensayados

Los ensayos consisten en pruebas dinámicas de respuesta al escalón a los distintos limitadores de la unidad. Vale la aclaración que la unidad cuenta con las funciones de limitación (OEL, UEL y VHz). La Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 resumen los ensayos realizados en la unidad, tanto en vacío como conectadas a la red.

Pruebas en vacío
Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión
Techos de excitación
Limitador V/Hz

Tabla 4.2: Distribución de las pruebas en vacío

Despacho de Potencia Activa	Pruebas en carga
P1	Limitador UEL y Limitador OEL
P3	Limitador UEL y Limitador OEL
P5	Limitador UEL y Limitador OEL

Tabla 4.3: Distribución de las pruebas según el despacho

¹ Según Procedimiento de Ensayos el estado de carga P5, corresponde a 107.7 MW (Pmax), sin embargo, durante los ensayos en sitio solo fue posible alcanzar 97.8 MW, esto debido a las condiciones de temperatura ambiental el día de las pruebas.



4.1 Ensayos con la unidad en vacío (FSNL)

Con la unidad operando en vacío, se aplican cambios de tipo escalón de diversas amplitudes² en la referencia de tensión del AVR. Esto se lleva a cabo mediante el software de mantenimiento del propio regulador (ver Figura 4.1). La duración de los escalones es tal, que permita el establecimiento de las principales magnitudes en bornes de la unidad.

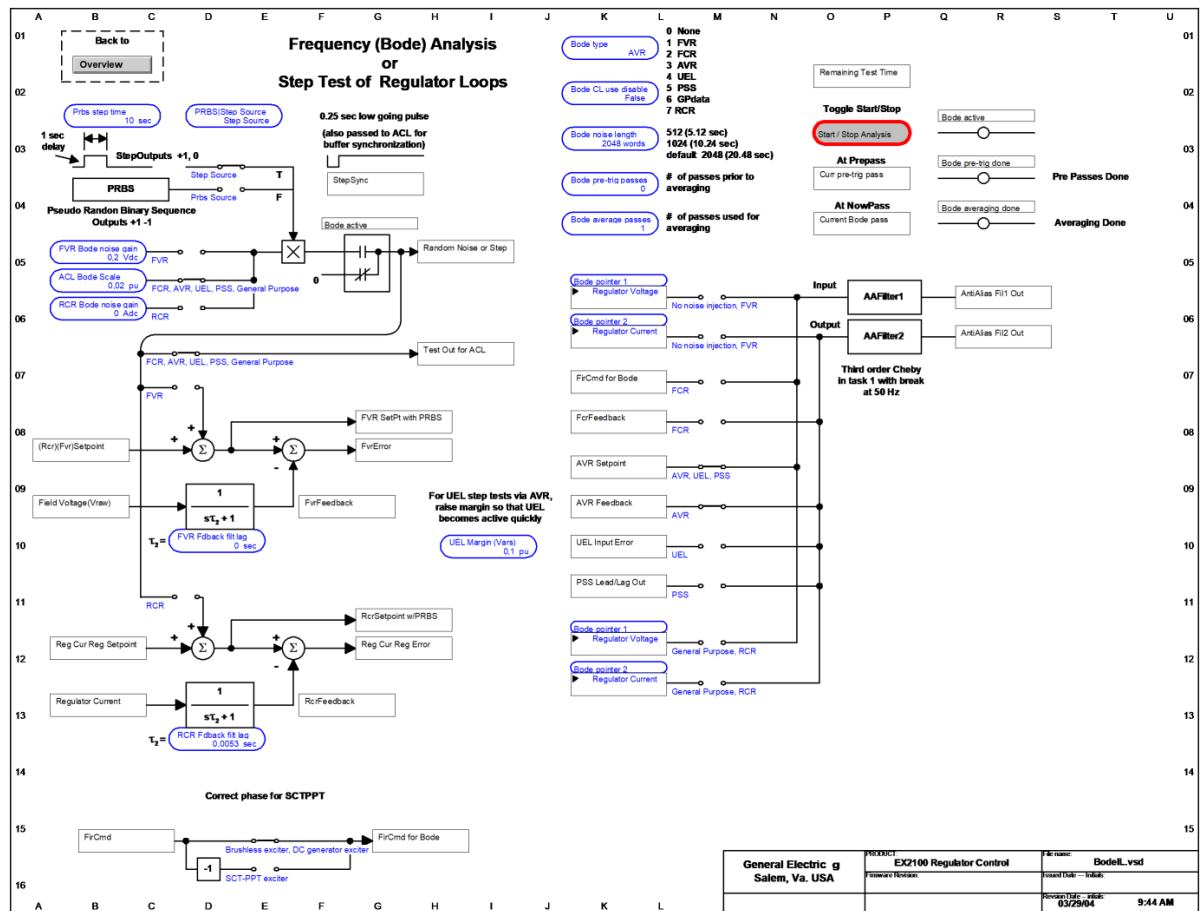


Figura 4.1: Configuración del escalón de tensión

² La tensión nominal de terminales de la unidad es de 11.5 kV.



4.1.1 Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión

A partir de un estado de operación con tensión nominal y velocidad rotacional nominal, se miden los requerimientos establecidos en el artículo 3-12 de la NTSyCS. Para ello se aplica un escalón de amplitud 5% en la referencia de tensión del AVR durante 20 segundos.

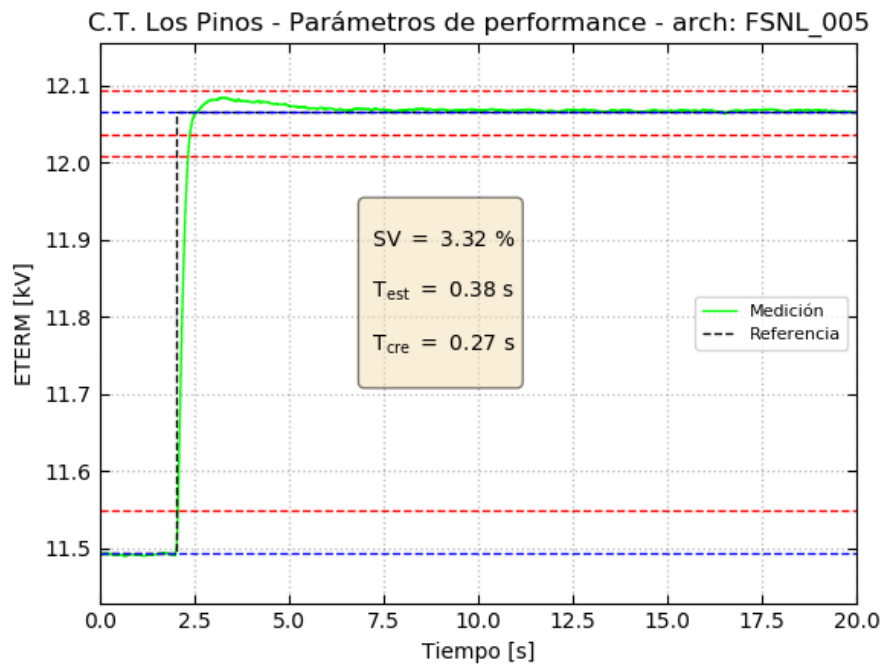


Figura 4.2: Parámetros de performance – $ETERMo=1.0 \text{ pu}$ – Step = 5%

Parámetro	Valor Medido	Requerimiento Normativo
Sobreoscilación	3.32%	< 15%
Tiempo de crecimiento	270 ms	< 400 ms
Tiempo de establecimiento	0.38 seg	< 1.5 seg
Error estacionario	0%	< 0.25%

Tabla 4.4: Análisis de requerimiento establecidos por NTS&CS

Dado que el AVR cuenta con acción integral en su lazo principal de control, el error estacionario resulta nulo, dando cumplimiento a lo exigido por la normativa.

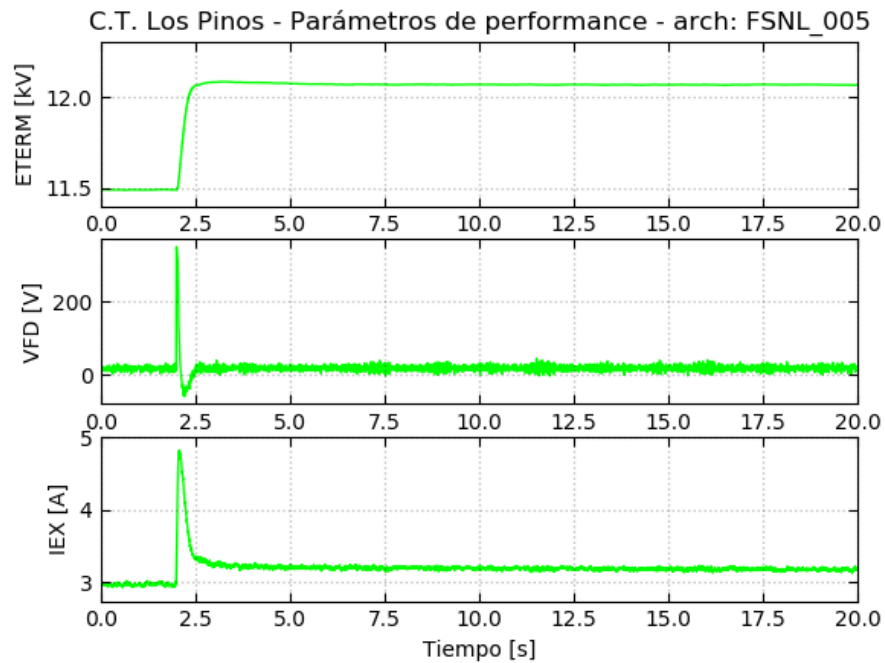


Figura 4.3: Parámetros de performance – Step = 5%

Se observa que la unidad cumple con los requerimientos estipulados en la NTSyCS respecto a los parámetros de performance en vacío.



4.1.2 Determinación de los techos de excitación

A los efectos de verificar los techos de excitación, se registra la respuesta dinámica del AVR ante la aplicación de un escalón del 25% en la consigna del regulador con la unidad operando en vacío. En la Figura 4.4 se muestra la respuesta de la unidad ante un escalón de gran magnitud, introducido con el objetivo de determinar los techos de excitación.

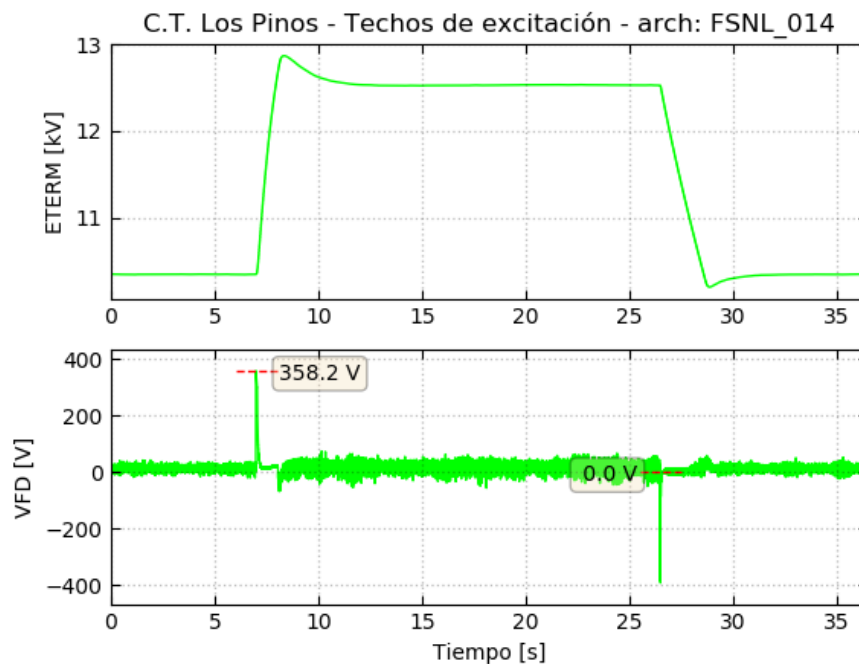


Figura 4.4: Techos de excitación – $ETERM_o = 0.9 pu$ - Step = 25%

A partir de la Figura 4.4 se tiene que los valores alcanzados son:

- Techo positivo: 358.2V
- Techo negativo: 0.0V

Se aclara que lo que parece ser el techo negativo de excitación es en verdad un transitorio que ocurre hasta que se llega al corte por corriente del puente de diodos, pero realmente el AVR no posee capacidad de inversión de la tensión de campo.



4.1.3 Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreflujo (V/Hz)

El limitador establece una máxima referencia de tensión en base a la frecuencia medida, dicho valor de referencia se encuentra en un valor de 109% en condiciones de frecuencia nominal. Para frecuencias menores a 50Hz, la referencia máxima de tensión comienza a disminuir gradualmente.

Durante el desarrollo de los ensayos se modifica transitoriamente el valor de máxima referencia de tensión en condiciones de frecuencia nominal, para lograr la actuación del limitador frente a un escalón en la referencia de tensión del 5%.

Variable	Ajuste permanente	Ajuste transitorio
Auto V/Hz limit (ver Figura 8.10)	109%	102%

Tabla 4.5 – Ajustes del limitador V/Hz

En la Figura 4.5 se muestra la respuesta del limitador V/Hz ante un escalón del 5% en la referencia de tensión de la unidad. La línea roja segmentada representa el escalón del 5% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado de 102%.

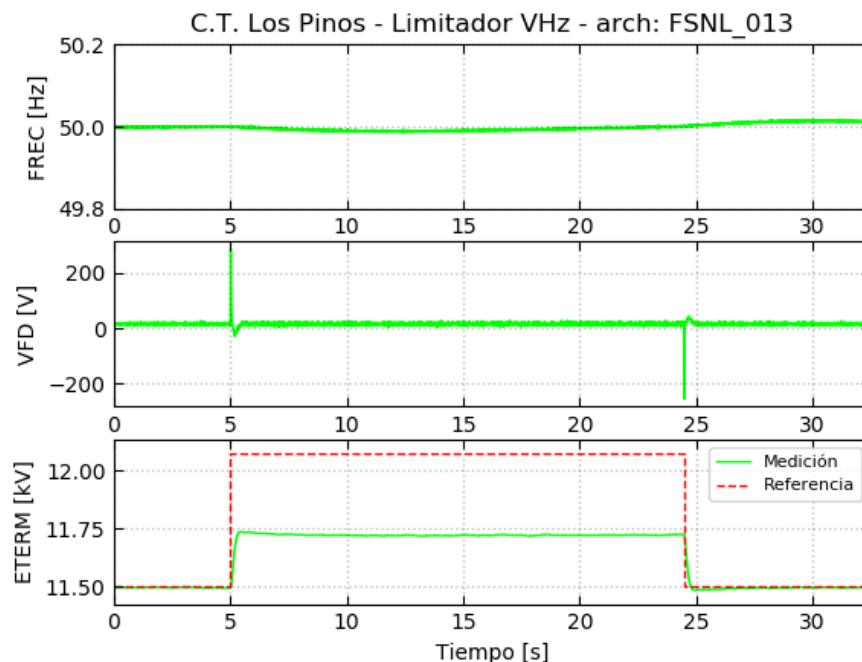


Figura 4.5 – Respuesta limitador V/Hz – $ETERM_o = 1.0 pu$ – Step = +5%

Se observa un control rápido y estable del limitador V/Hz.



4.2 Ensayos con la unidad conectada a la red

Con la unidad operando conectada al Sistema, se aplican cambios de tipo escalón de diversas amplitudes en la referencia de tensión del AVR. La duración de los escalones es tal, que permita el establecimiento de las principales magnitudes en bornes de la unidad.

4.2.1 Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de subexcitación

A continuación, se presenta la respuesta del sistema de excitación ante la aplicación de un escalón en la referencia de tensión de la unidad sincronizada con el Sistema. Los escalones se realizan para 3 niveles distintos de potencia activa (P1, P3 y P5).

Durante el desarrollo de los ensayos, las condiciones del Sistema no permiten realizar la prueba con ajuste permanente, por lo que se utiliza un ajuste transitorio tal que produzca la activación del limitador a valores de menor absorción de reactivos. Por ende, se modifica transitoriamente el valor de actuación del límite UEL mediante un offset en la variable **UEL margin (Vars)** (ver Figura 8.11), para que actúe frente a un escalón en la referencia de tensión del -2%.

<i>Despacho</i>	<i>Ajuste permanente</i>	<i>Ajuste transitorio</i>
P1	0.02 p.u.	0.02 p.u.
P3	0.02 p.u.	0.15 p.u.
P5	0.02 p.u.	0.15 p.u.

Tabla 4.6 – Ajustes del limitador UEL

En la Figura 4.6, Figura 4.7 y Figura 4.8 se muestra la respuesta del limitador UEL mediante un escalón del -2% en la referencia de tensión de la unidad. La línea **roja** segmentada representa el escalón del -2% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado.



P1 = 17 MW

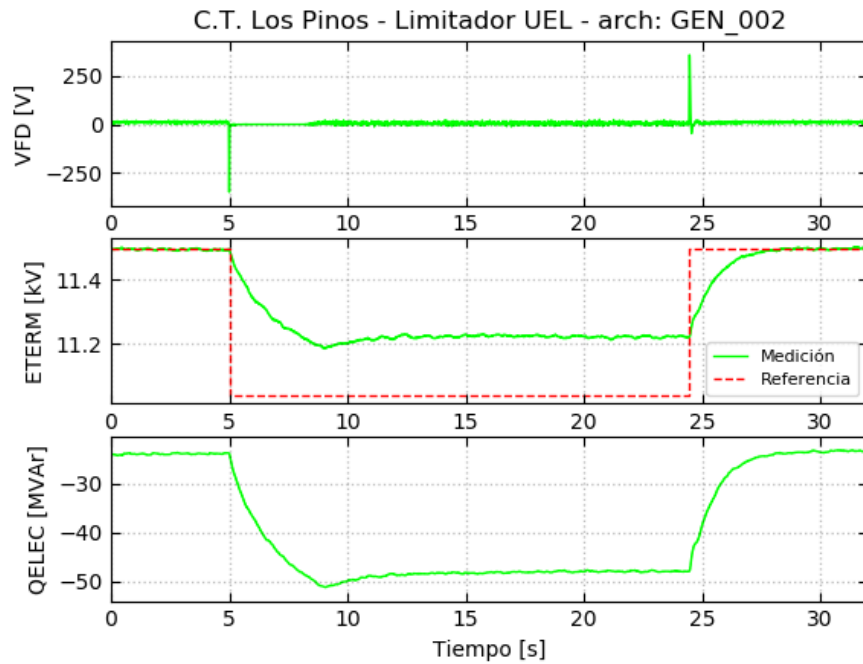


Figura 4.6 – Respuesta limitador UEL – $ETERMo = 1.0 pu$ – Step = -4%

P3 = 62.4 MW

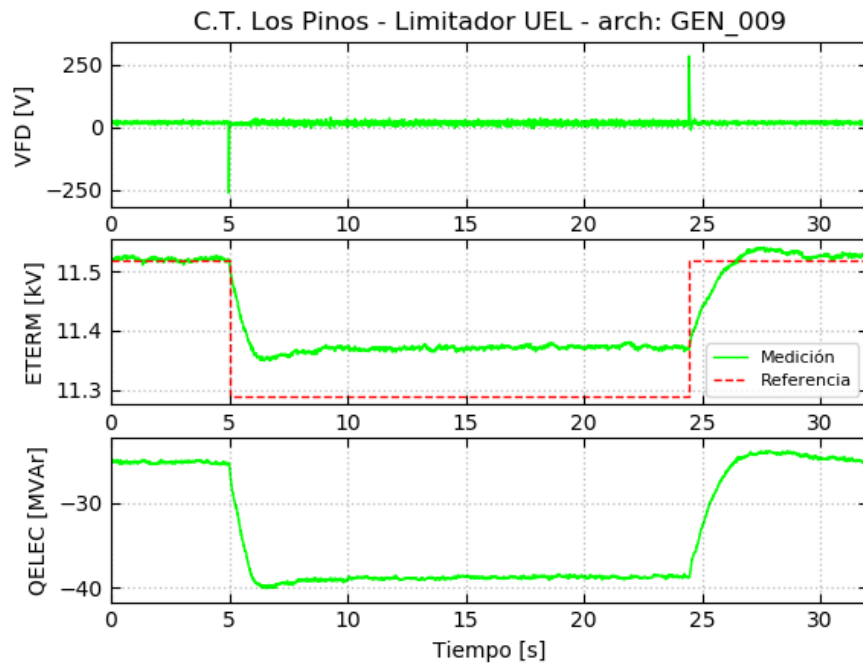


Figura 4.7 – Respuesta limitador UEL – $ETERMo = 1.0 pu$ – Step = -2%



P5 = 97.8 MW

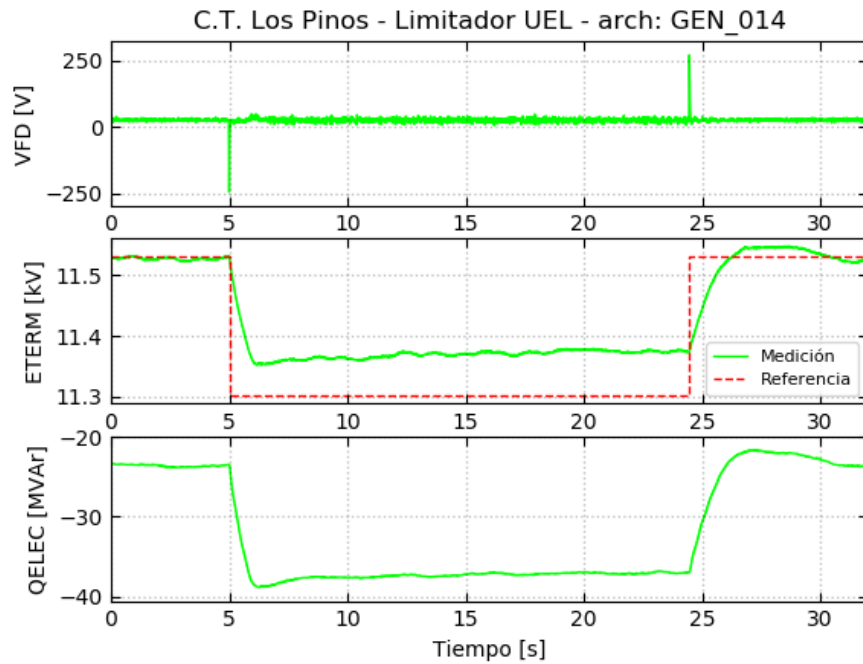


Figura 4.8 – Respuesta limitador UEL – $ETERMo = 1.0 pu$ – Step = -2%

Se observa un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva generada. Por otra parte, si bien el ensayo se realizó a seteos reducidos, del análisis de curva PQ y protecciones del Capítulo 5 se puede concluir que este limitador tiene una adecuada coordinación con la protección de mínima excitación (40G).



4.2.2 Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de sobreexcitación

A continuación, se presenta la respuesta del sistema de excitación de la unidad sincronizada con el Sistema, realizadas para 3 niveles distintos de potencia activa (P1, P3 y P5) para la verificación del limitador OEL temporizado.

Al momento de los ensayos, el Sistema presenta imposibilidad de absorber la potencia reactiva necesaria para probar el limitador con su parametrización original, de modo que se realizan las pruebas a seteo reducido según se muestra en la siguiente tabla:

Parámetro	Ajuste original	Ajuste transitorio P1	Ajuste transitorio P3	Ajuste transitorio P5
FcrRefLo (Limitación)	1170.0 A	367.00 A	470.00 A	587.00 A
OE_PU	1193.4 A	374.34 A	479.40 A	598.74 A
OE_Inf	1240.2 A	389.02 A	498.20 A	622.22 A
OE_TripLev	1310.4 A	411.04 A	526.40 A	657.44 A

Tabla 4.7 – Ajustes del limitador OEL temporizado

En la Figura 4.9, Figura 4.11 y Figura 4.13 se muestra la respuesta del limitador OEL temporizado mediante un aumento escalonado en la referencia de tensión de la unidad. Una vez alcanzado se espera el tiempo necesario para que el limitador OEL actúe.



P1 = 17 MW

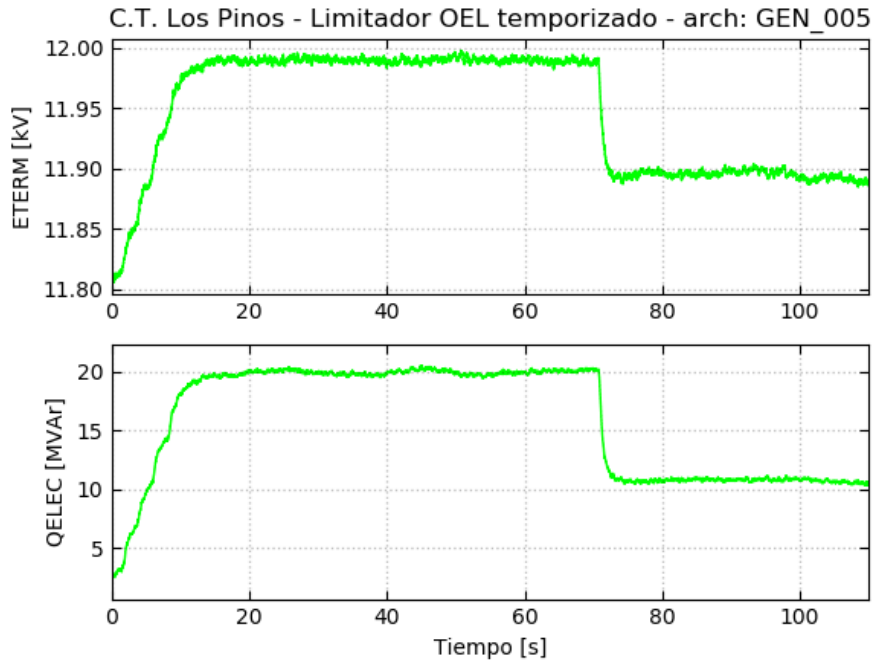


Figura 4.9 – Respuesta limitador OEL temporizado – $ETERM_o = 1.03 pu$

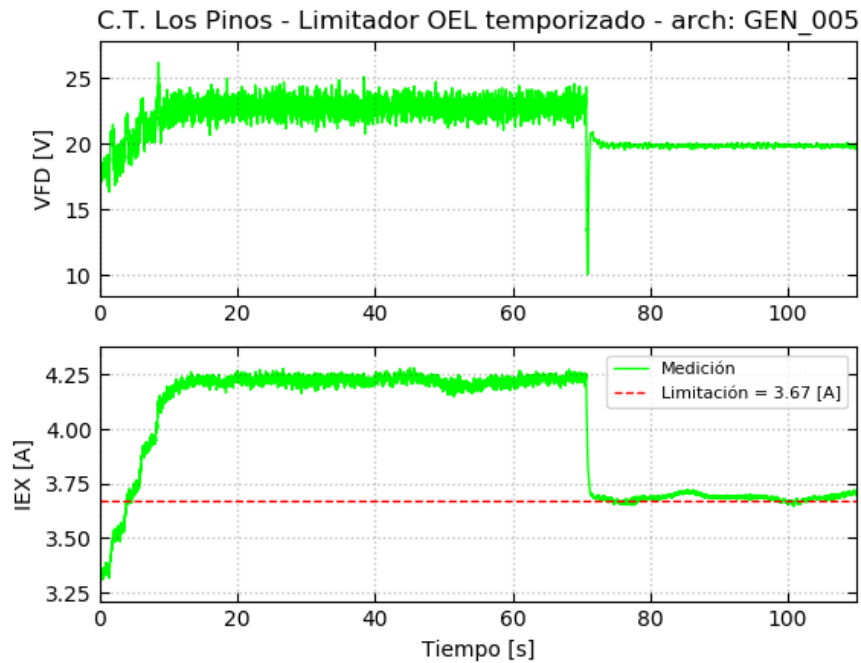


Figura 4.10 – Respuesta limitador OEL temporizado – Señales de excitatriz



P3 = 62.4 MW

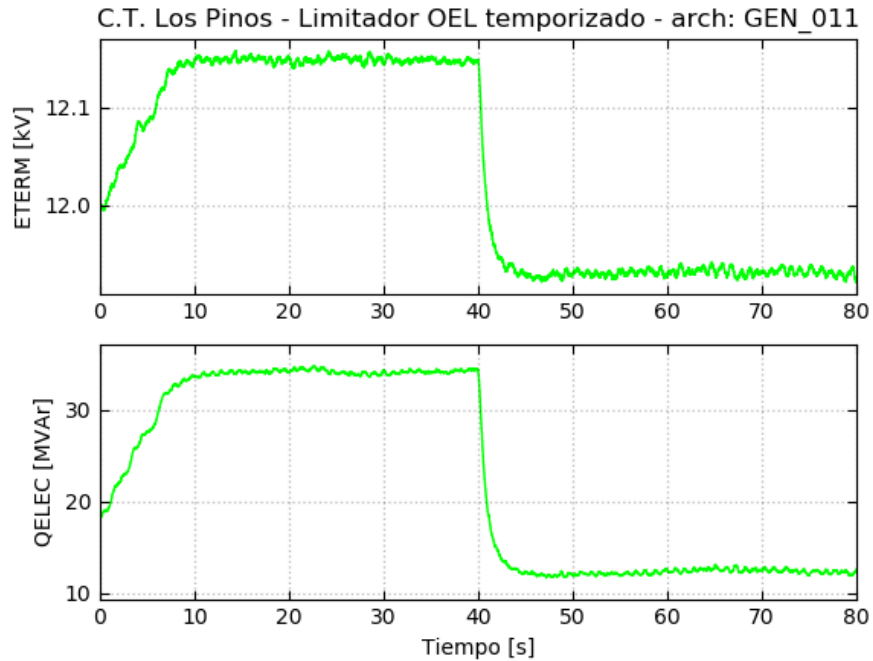


Figura 4.11 - Respuesta limitador OEL temporizado - $ETERM_o = 1.04$

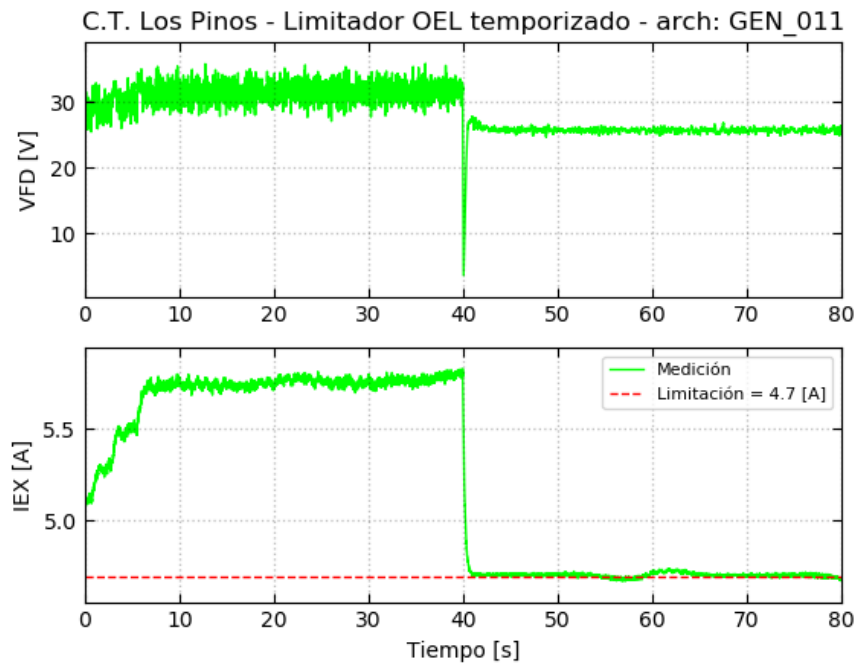


Figura 4.12 - Respuesta limitador OEL temporizado - Señales de excitatriz



P5 = 97.8 MW

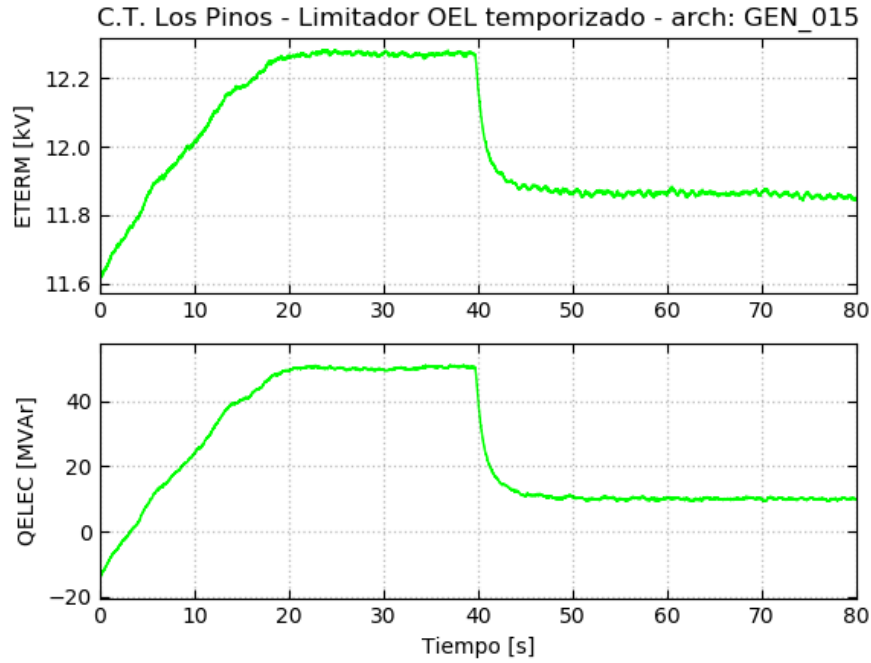


Figura 4.13 - Respuesta limitador OEL temporizado - $ETERM_0 = 1.01 pu$

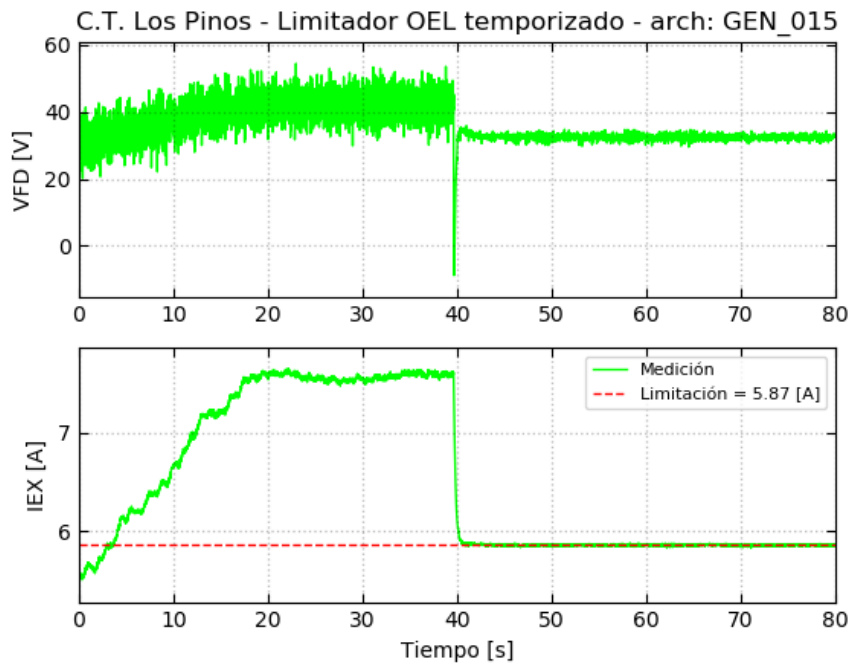


Figura 4.14 - Respuesta limitador OEL temporizado - Señales de excitatriz



4.3 Análisis resultados pruebas dinámicas

Se presenta, a modo de resumen, un análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas dinámicas llevadas a cabo en la unidad.

4.3.1 Pruebas con las unidades en vacío

A partir de las pruebas en vacío de la unidad (ver apartado 4.1), se observa lo siguiente:

- **Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión:** Se obtiene una respuesta rápida, del tipo subamortiguada con muy poca sobreoscilación, **cumpliendo** lo exigido por la normativa vigente. Adicionalmente, dado que el AVR cuenta con acción integral en su lazo principal de control, el error estacionario resulta nulo, dando cumplimiento a lo exigido por la normativa. La Tabla 4.8 resume los parámetros obtenidos en la unidad.

Parámetro	Requerimiento Normativo	Unidad
Sobreoscilación	< 15%	3.32%
Tiempo de crecimiento	< 400 ms	270 ms
Tiempo de establecimiento	< 1.5 seg	0.38 seg
Error estacionario	< 0.25%	0%

Tabla 4.8 – Resultados respuesta temporal del lazo de regulación de tensión

- **Techos de excitación:** Se entiende por VFDnom a la tensión de campo de la excitatriz del generador cuando la unidad opera a plena carga y factor de potencia nominal. Por otro lado, VFDmax es la tensión de campo de la excitatriz en el valor de techo.

A partir de la información suministrada por el fabricante de las curvas de la excitatriz de la unidad (Figura 8.2), se determinan los valores de VFDnom con los que se puede evaluar la relación. Para la unidad son VFDnom = 105 V y VFDmax = 358.2 V. De esta manera, los resultados obtenidos son:

Parámetro	Requerimiento Normativo	Unidad
VFDmax/VFDnom	> 2.0	3.4

Tabla 4.9 - Resultados de los techos de excitación



Con los resultados obtenidos se verifica el **cumplimiento** de las exigencias de la NTSyCS en lo que respecta a la relación VFD_{max}/VFD_{nom} .

- **Limitador de sobreflujo (VHz):** Se ha probado la correcta actuación del limitador de sobreflujo, adicionalmente se verifica que se **cumple** con la normativa por cuanto se encuentra seteado en 109%, lo cual no interfiere el rango operativo de la unidad 49-51 Hz y 0.95-1.05 p.u. de tensión.

4.3.2 Pruebas con las unidades conectadas a la red

A partir de las pruebas en carga de la unidad (ver apartado 4.2), se observa lo siguiente:

- **Limitador subexcitación (UEL):** En la unidad, se efectúan pruebas a seteos reducidos debido a la incapacidad de lograr el reactivo deseado con la parametrización original. Se evidencia un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva generada. En la unidad, se puede concluir a partir del análisis de curva PQ y protecciones del Capítulo 5 que el limitador tiene una adecuada coordinación con la protección de mínima excitación (40G).
- **Limitador sobreexcitación (OEL):** Se efectúan pruebas a seteos reducidos debido a la incapacidad de lograr el reactivo deseado con la parametrización original. Adicionalmente, para probar el limitador OEL se realiza un incremento progresivo de la referencia de tensión de manera manual. De esta manera se logra la actuación del limitador y su respuesta resulta satisfactoria.



5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO

En esta sección se presentan los ensayos realizados con el objetivo de comparar la capacidad real de la central con la informada en el documento técnico **“EE-EN-2021-1656-RA_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Los_Pinos_U1”** donde se han desarrollado las curvas de capacidad teóricas máximas.

Los ensayos se realizan con la central sincronizada al Sistema y en cuatro despachos de potencia activa entre el mínimo técnico y la potencia máxima de la central.

Los ensayos consisten en pruebas estáticas, donde primero se intenta consignar la tensión objetivo en terminales mediante la ayuda de la unidad restante. Luego se solicita colaboración del CEN, para ajustar la tensión en la barra S/E Charrúa 220 kV de manera tal de lograr ajustar la inyección/absorción de potencia reactiva en bornes del generador, en concordancia con lo presentado en el procedimiento de ensayos **“EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1”**.

Durante el desarrollo de las pruebas se solicita colaboración al despacho en reiteradas oportunidades, sin embargo, dadas las condiciones del Sistema, el despacho no logra hacer un cambio significativo en la tensión en la S/E Charrúa 220 kV lo que implica que no es posible llevar a cabo el ensayo para los 5 niveles de tensión solicitados. En cambio, se ensaya la curva PQ con la tensión actual de la barra antes mencionada.



A modo de resumen, se presenta una tabla donde se contrastan los puntos operativos objetivo (P, Q, V) con los puntos alcanzados durante los ensayos para cada despacho de potencia activa. En los casos en que no se alcanza la potencia reactiva objetivo, se representa con color **rojo** la potencia reactiva alcanzada.

<i>Subexcitación</i>				
<i>Tensión objetivo en Terminales [p.u.]</i>	<i>Despacho potencia activa</i>	<i>Potencia reactiva objetivo [MVar]</i>	<i>Potencia reactiva alcanzada [MVar]</i>	<i>Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]</i>
0.90	P1=17.0 MW	-40.8	-	-
	P2=47.2 MW	-44.2	-	-
	P4=77.5 MW	-42.2	-	-
	P5=97.8 MW	-36.5	-	-
0.95	P1=17.0 MW	-45.2	-	-
	P2=47.2 MW	-49.2	-	-
	P4=77.5 MW	-48.4	-	-
	P5=97.8 MW	-44.3	-	-
1.00	P1=17.0 MW	-49.7	-47.932	0.987
	P2=47.2 MW	-54.0	-53.955	0.982
	P4=77.5 MW	-54.2	-55.055	0.980
	P5=97.8 MW	-51.6	-52.794	0.975
1.05	P1=17.0 MW	-54.4	-	-
	P2=47.2 MW	-59.0	-	-
	P4=77.5 MW	-60.4	-	-
	P5=97.8 MW	-51.6	-	-
1.10	P1=17.0 MW	-59.3	-	-
	P2=47.2 MW	-64.3	-	-
	P4=77.5 MW	-66.2	-	-
	P5=97.8 MW	-65.3	-	-

Tabla 5.1: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de subexcitación

En la Tabla 5.1, se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del Sistema para mover la tensión en la barra S/E Charrúa 220 kV.

Los puntos medidos, presentados en la Tabla 5.1, corresponden a la menor tensión alcanzada en bornes de la unidad. En este punto actúa el limitador de subexcitación (UEL).



Sobrexcitación				
Tensión objetivo en Terminales [p.u.]	Despacho potencia activa	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Potencia reactiva alcanzada [MVar]	Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]
0.90	P1=17.0 MW	121.2	-	-
	P2=47.2 MW	115.6	-	-
	P4=77.5 MW	97.9	-	-
	P5=97.8 MW	77.6	-	-
0.95	P1=17.0 MW	120.2	-	-
	P2=47.2 MW	115.3	-	-
	P4=77.5 MW	105.4	-	-
	P5=97.8 MW	88.4	-	-
1.00	P1=17.0 MW	117.0	-	-
	P2=47.2 MW	112.5	-	-
	P4=77.5 MW	103.2	-	-
	P5=97.8 MW	94.0	-	-
1.05	P1=17.0 MW	111.6	-	-
	P2=47.2 MW	107.3	-	-
	P4=77.5 MW	98.6	-	-
	P5=97.8 MW	90.0	-	-
1.10	P1=17.0 MW	103.8	74.360	1.090
	P2=47.2 MW	99.7	74.810	1.091
	P4=77.5 MW	91.6	69.988	1.091
	P5=97.8 MW	83.5	74.662	1.091

Tabla 5.2: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de sobrexcitación

En la Tabla 5.2, se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del Sistema para mover la tensión en la barra S/E Charrúa 220 kV.

Los puntos medidos, presentados en la Tabla 5.2, corresponden a la mayor tensión alcanzada en bornes de la unidad. En este punto, y tal como se mencionó en el procedimiento de ensayos, actúa el limitador de sobreflujo (VHz), seteado en 1.09 p.u. de tensión.

A continuación, se presentan los registros temporales para cada punto operativo alcanzado (P, Q, V), donde se presentan las siguientes señales:



- Tensión de terminales (señal ETERM)
- Potencia reactiva en el terminal (señal QELEC)
- Potencia activa en el terminal (señal PELEC)

Finalmente, se presentan las curvas de capacidad definidas para cada nivel de tensión, así como también se muestra una tabla resumen de los valores de puntos PQ en el formato de archivo Excel requerido por el CEN.

5.1 Registros temporales de los puntos operativos alcanzados

Luego de alcanzar cada punto operativo objetivo (P, Q, V) o más cercano según condiciones del Sistema el día de las pruebas, se registran las principales magnitudes durante al menos 5 minutos para los estados de carga **P1**, **P2** y **P4**, y al menos 15 minutos en el estado de carga **P5**, para comprobar la estabilidad en cada uno.

Con el objetivo de identificar cada punto operativo a alcanzar en cada nivel de tensión, se utiliza la nomenclatura y correlación presentada en la Tabla 5.3, la cual surge de la interpretación de la Figura 5.1.

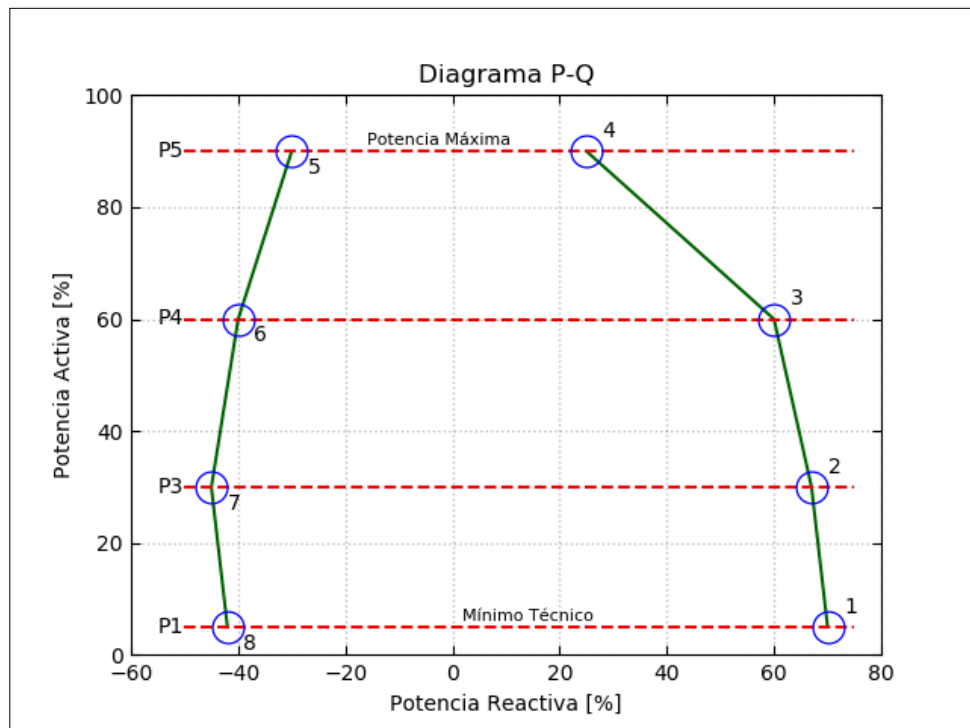


Figura 5.1: Puntos PQ referenciales a verificar en la unidad en régimen estacionario para los 5 niveles de tensión



<i>Despacho de Potencia Activa</i>	<i>Valor unidad [MW]</i>
P1 (Pmin)	17.0
P2	47.2
P4	77.5
P5	97.8

Tabla 5.3: Nomenclatura utilizada para los distintos puntos operativos alcanzados

Debido a que no ha sido posible variar significativamente la tensión en la barra S/E Charrúa 220 kV, solo se muestran los resultados para los niveles de tensión alcanzados.

A continuación, se presentan las mediciones realizadas en la unidad. Para los puntos sobrecitados y subexcitados solo se logra ensayar un nivel de tensión de terminales para cada uno, 1.10 pu y 1.00 pu respectivamente.

Punto P1-Q1 / VT=1.090 p.u.

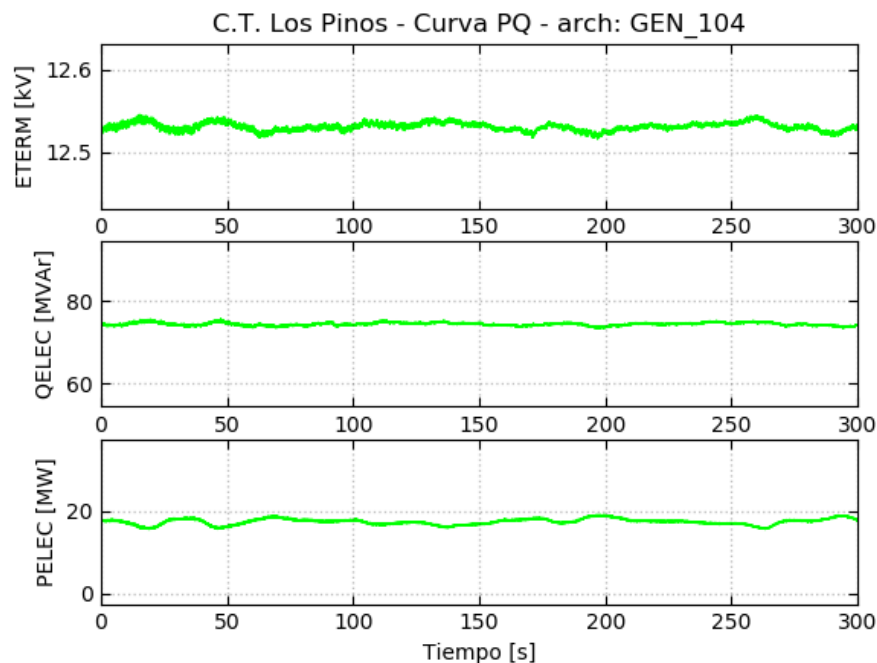


Figura 5.2: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

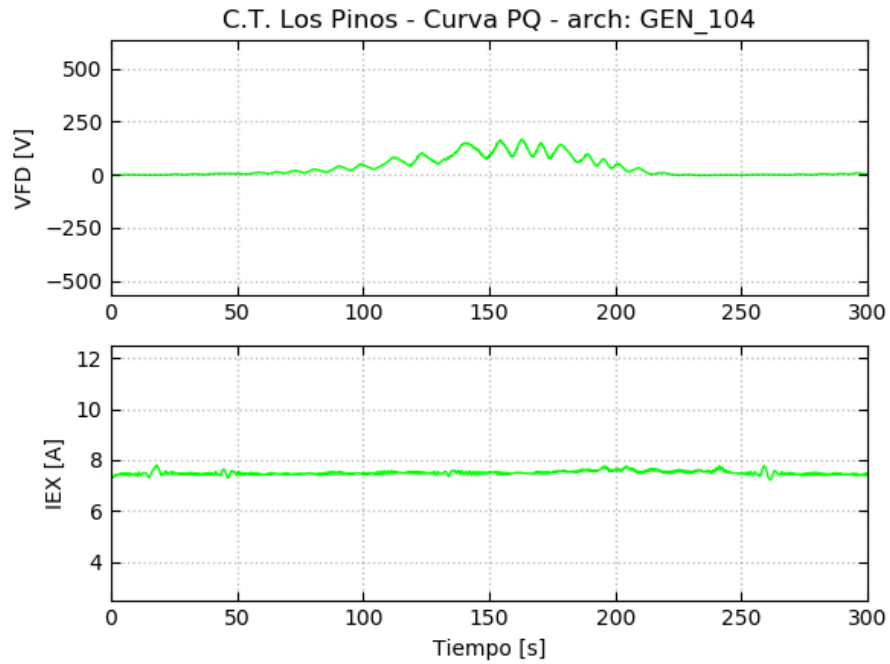


Figura 5.3: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P1 -Q8/ VT=0.987 p.u.

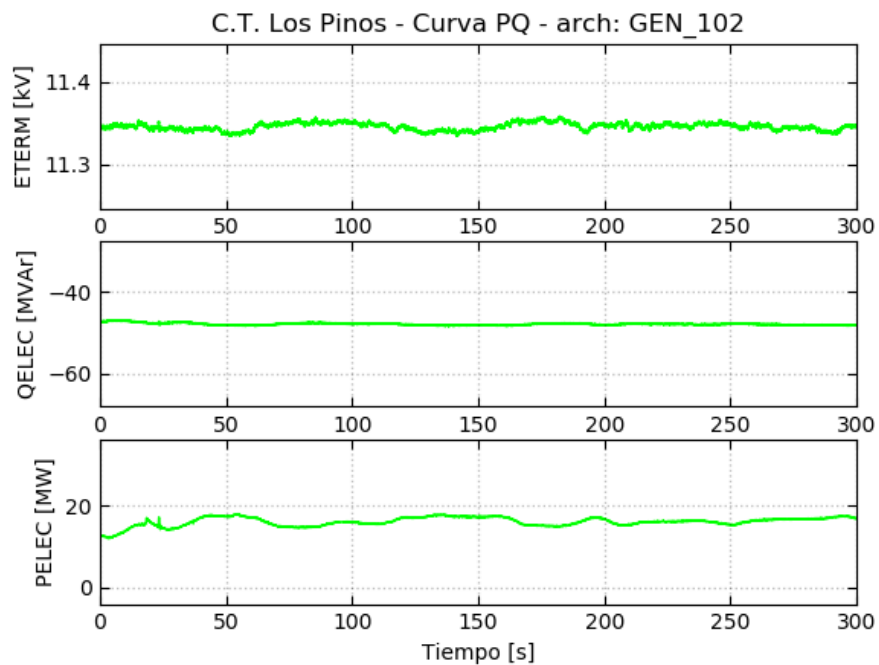


Figura 5.4: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

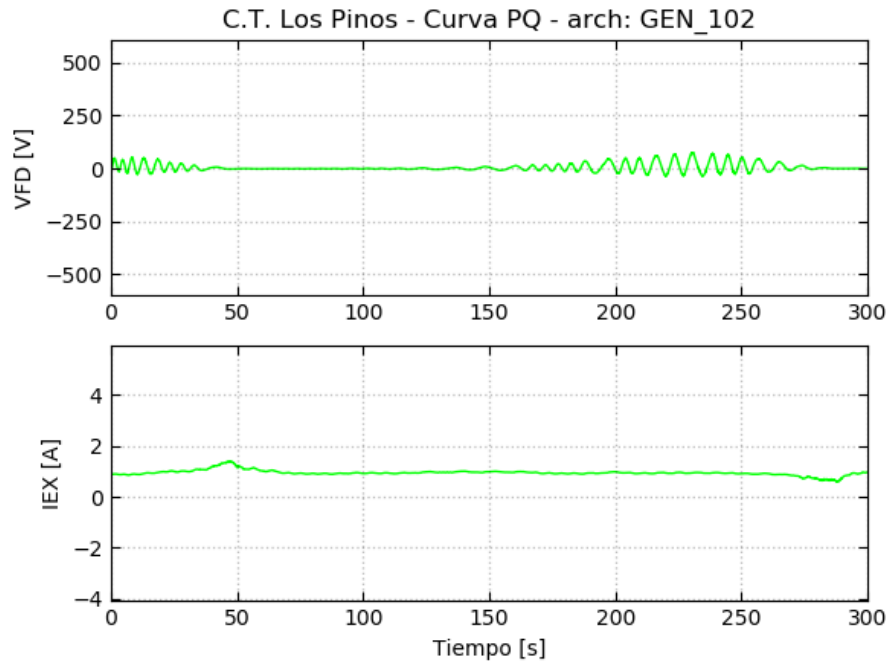


Figura 5.5: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P2 -Q2/ VT=1.091 p.u.

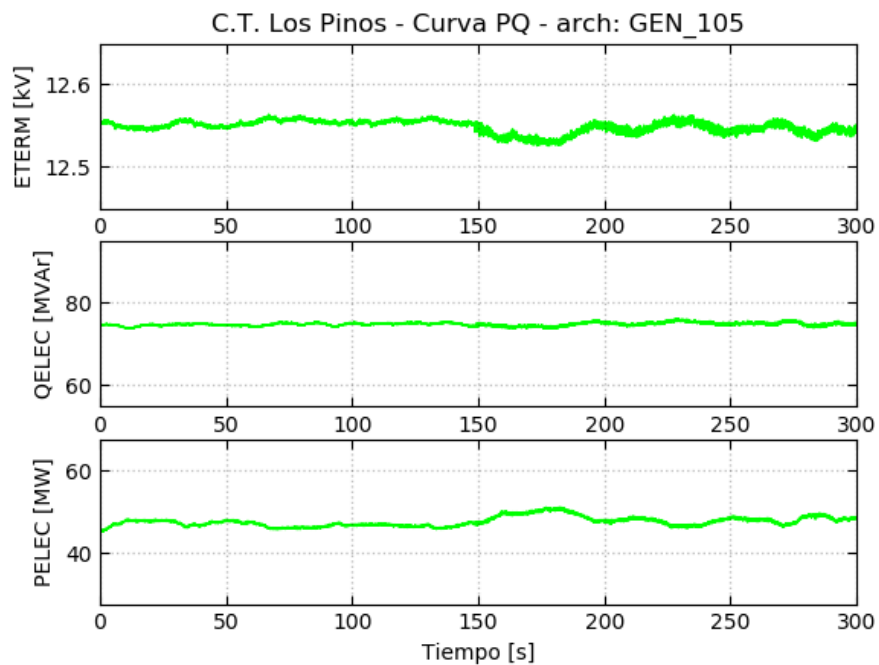


Figura 5.6: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

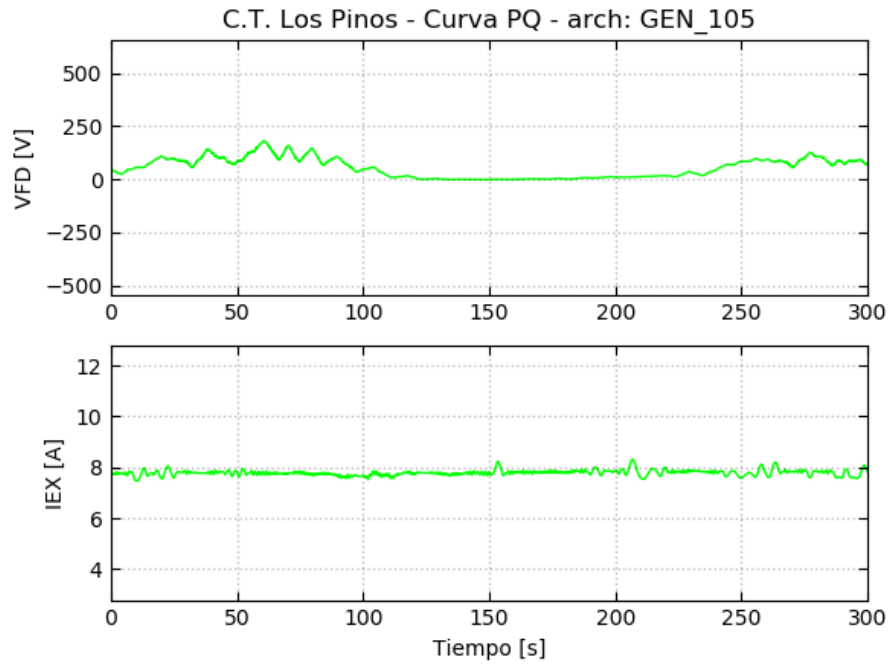


Figura 5.7: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P2-Q7/ VT=0.982 p.u.

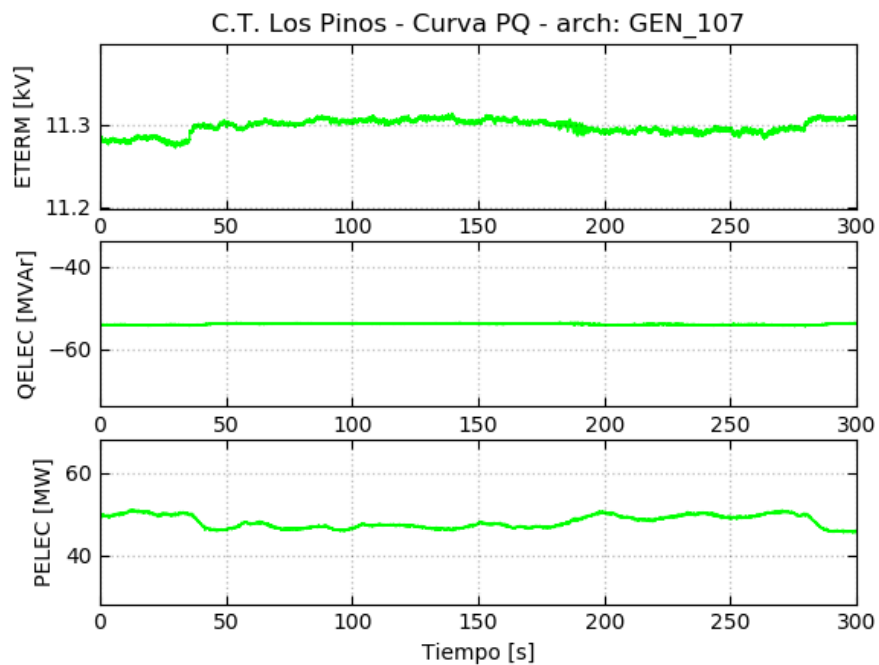


Figura 5.8: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

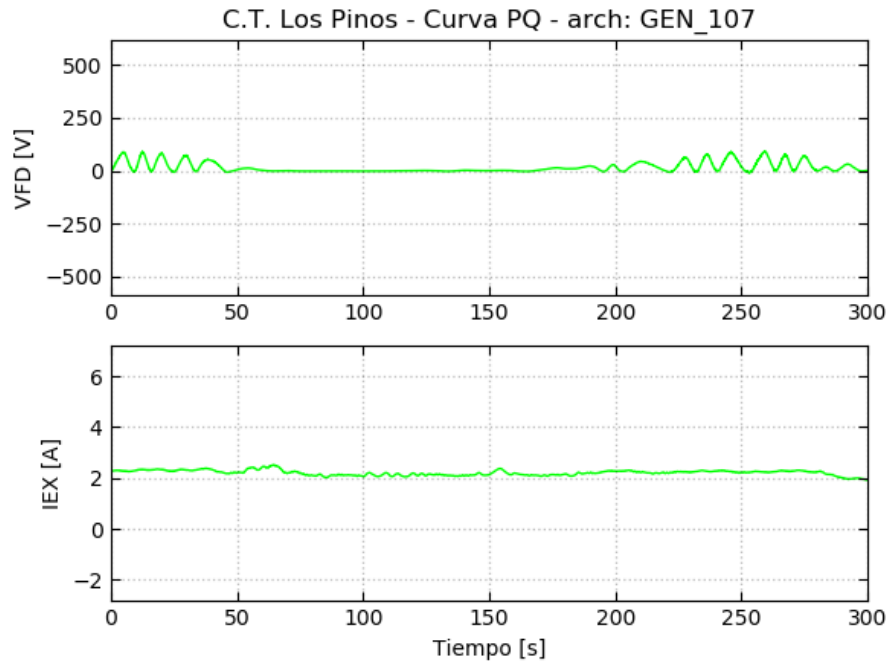


Figura 5.9: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P4-Q3/ VT=1.091 p.u.

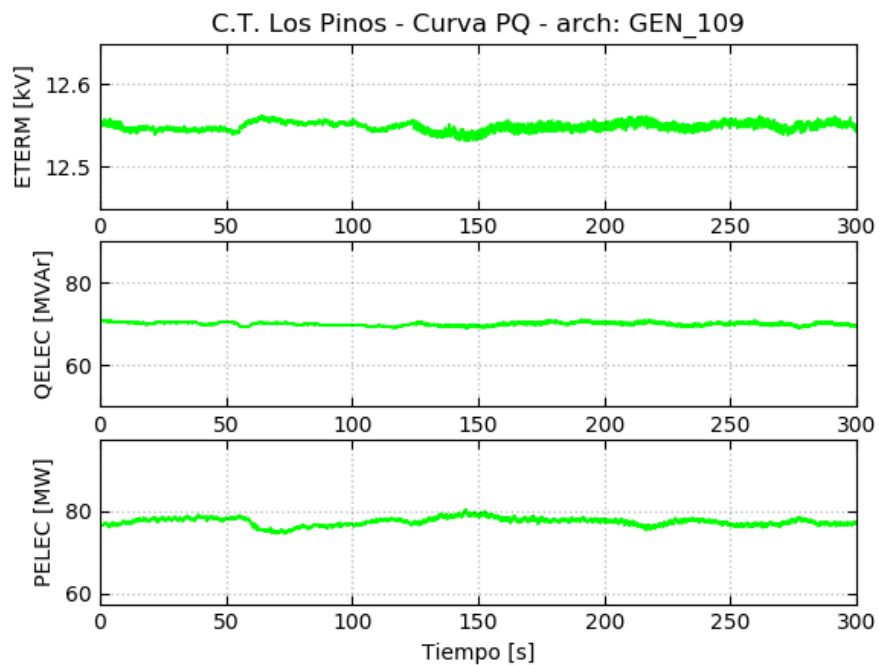


Figura 5.10: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

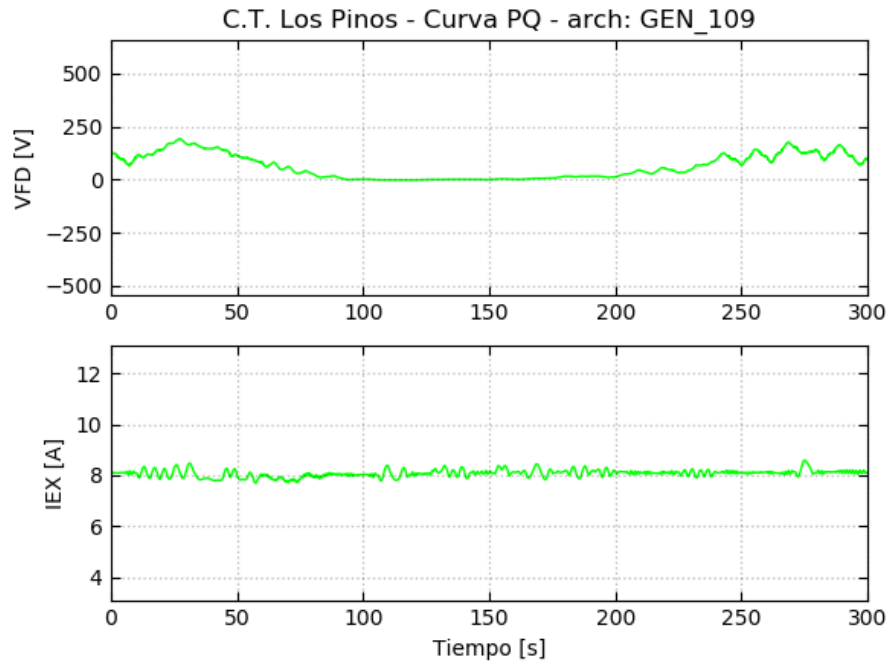


Figura 5.11: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P4-Q6/ VT=0.980 p.u.

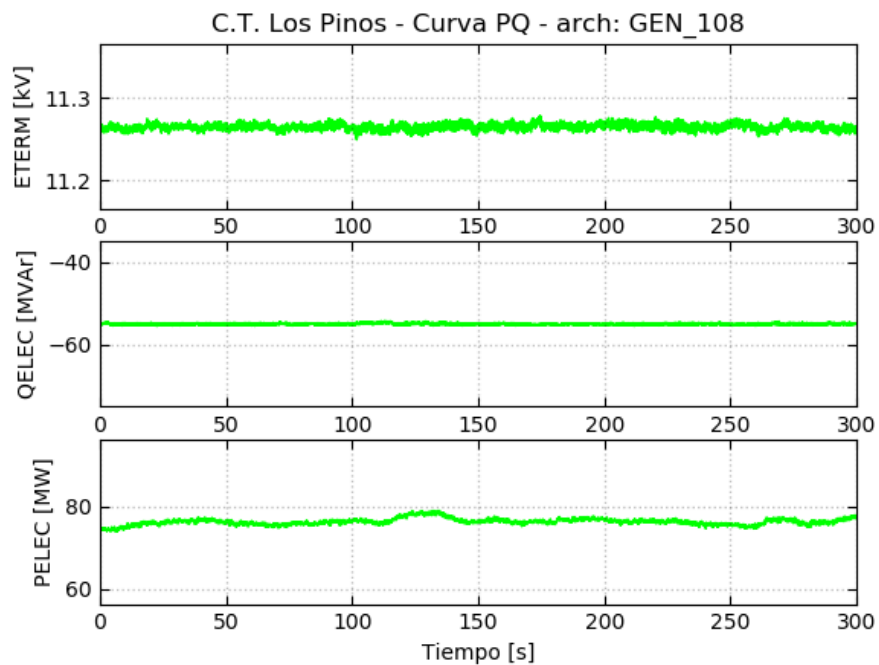


Figura 5.12: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

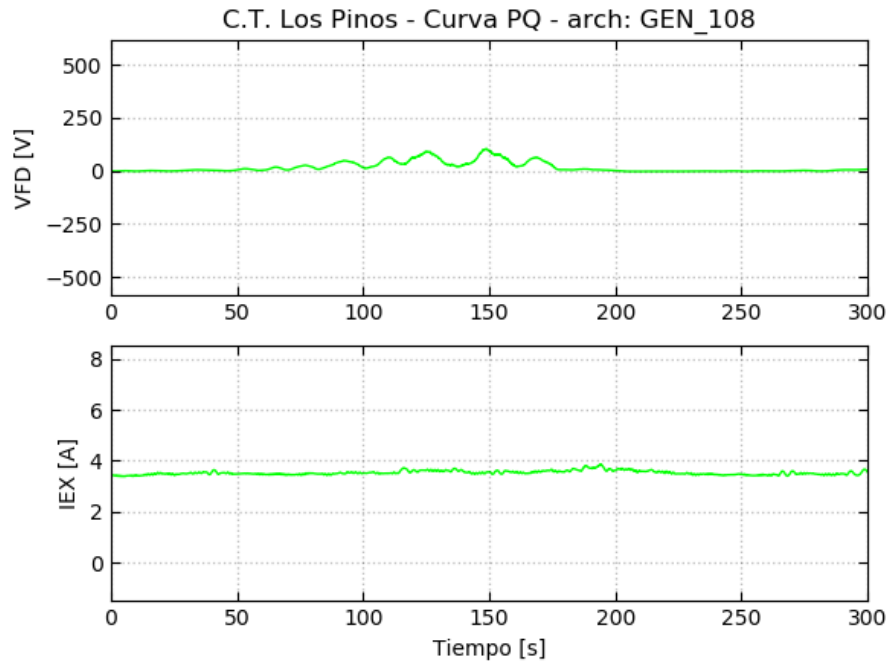


Figura 5.13: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P5 -Q4/ VT=1.091 p.u.

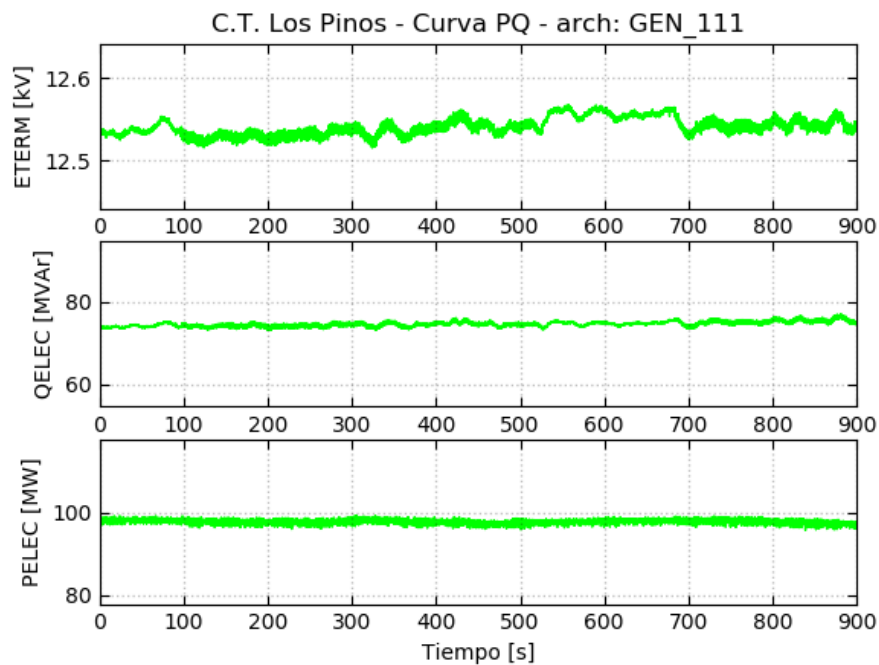


Figura 5.14: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

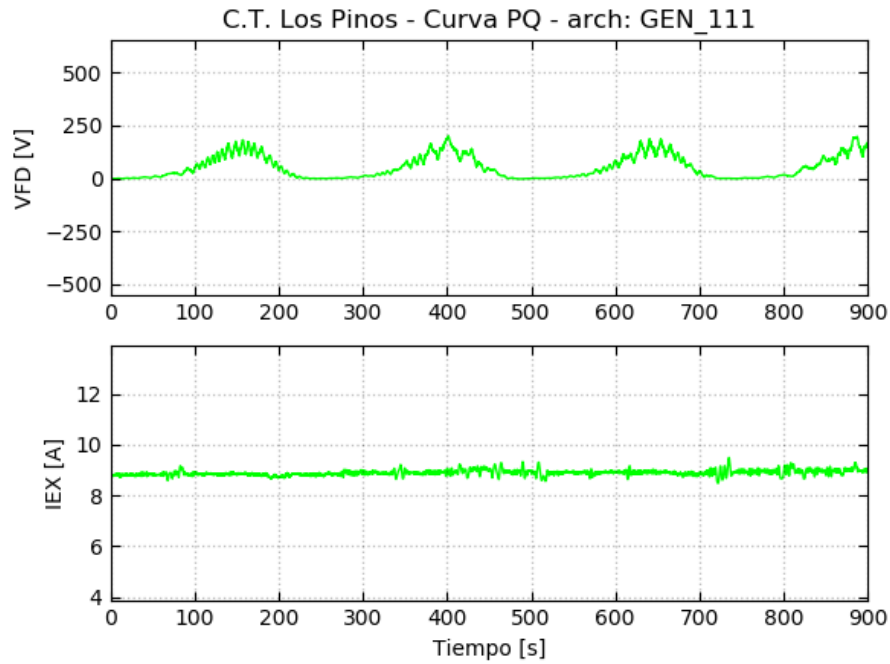


Figura 5.15: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

Punto P5 -Q5/ VT=0.975 p.u.

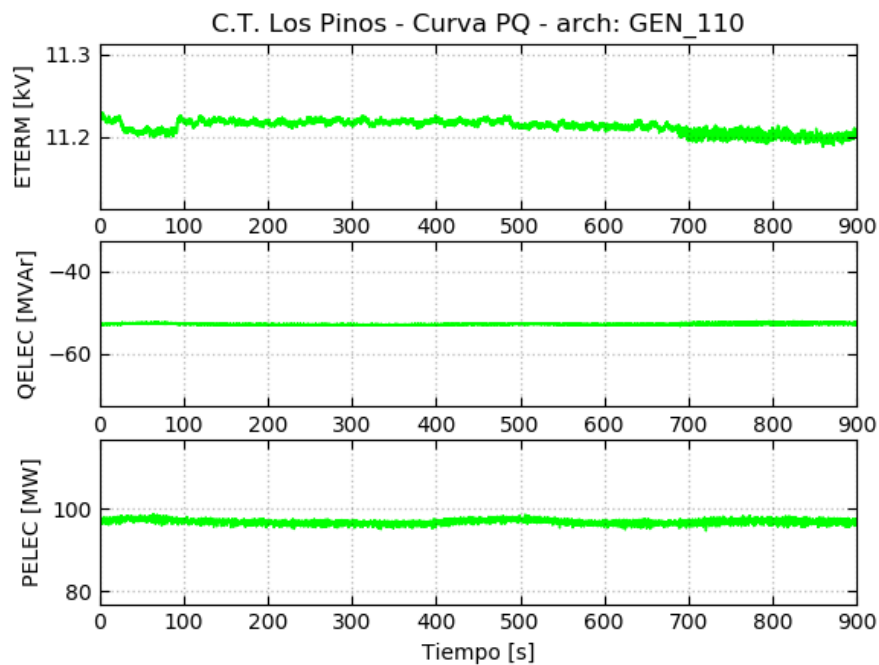


Figura 5.16: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

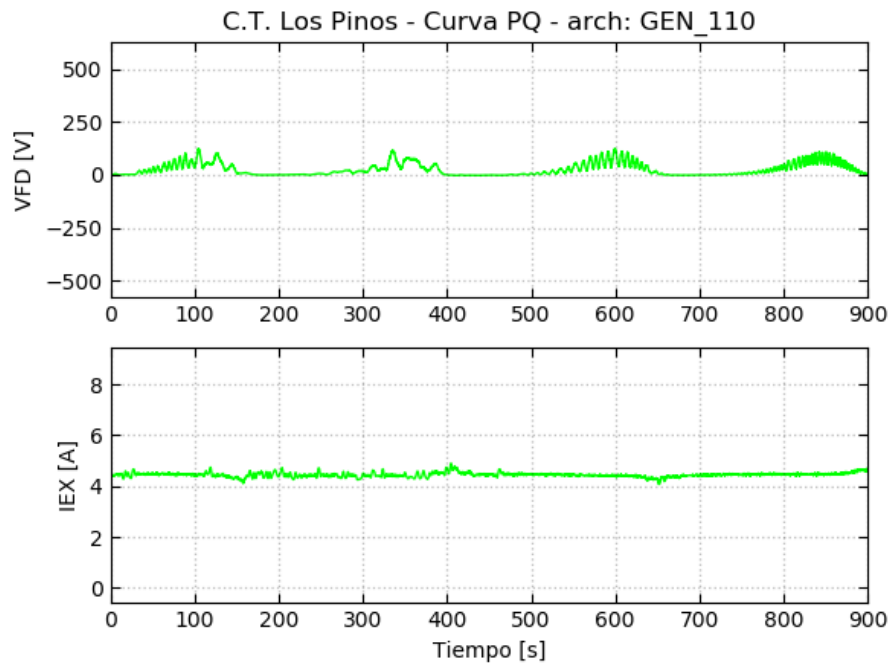


Figura 5.17: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



5.1.1 Análisis

A partir de la Tabla 5.1 y Tabla 5.2, se observa que existen puntos objetivos que no son alcanzados de acuerdo a las exigencias de la guía de verificación, debido a que no se puede llevar la tensión del Sistema a los extremos del rango de operación normal.

Por lo tanto, en función de los resultados de dicha sección, se resume en la Tabla 5.4 y Tabla 5.5, la condición final de cada punto operativo de la curva PQ en la zona de subexcitación y sobreexcitación para cada uno de los niveles de tensión y estados de carga solicitados por la guía de verificación.

Despacho potencia activa	Subexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P1	No alcanzado	No alcanzado	Verificado disminuyendo la tensión del generador a 0.98 p.u.	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P2	No alcanzado	No alcanzado	Verificado disminuyendo la tensión del generador a 0.98 p.u.	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P4	No alcanzado	No alcanzado	Verificado disminuyendo la tensión del generador a 0.98 p.u.	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P5	No alcanzado	No alcanzado	Verificado disminuyendo la tensión del generador a 0.98 p.u.	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)

Tabla 5.4 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de subexcitación

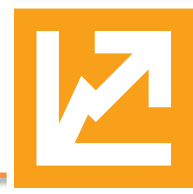
Despacho potencia activa	Sobreexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u. ³
P1	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P2	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P4	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P5	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)

Tabla 5.5 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de sobreexcitación

Donde:

- **Verificado aumentando/disminuyendo la tensión del generador:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no pudieron ser alcanzados a la

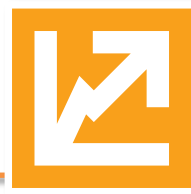
³ El nivel de tensión 1.1 p.u. no fue ensayado debido a la actuación del límite V/Hz seteado en 1.09 p.u. Las gráficas mostradas corresponden al nivel 1.09 p.u. cuando actúa el limitador de sobreflujo.



tensión objetivo en bornes del generador como consecuencia del flujo de carga. Se pudo alcanzar el valor de reactivo objetivo a una tensión superior/inferior en la secuencia según corresponda. No se prevé ninguna restricción por parte de la unidad.

- **No ensayado:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no pudieron ser verificados debido a una restricción operativa de la central. (ej. ajuste protecciones del generador).
- **No alcanzado / No alcanzable:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no pudieron ser verificados para el nivel de tensión en la barra planteada. Lo anterior como consecuencia del flujo de carga y de las restricciones operativas impuestas por el SEN el día de las pruebas sobre la barra a la cual se conecta la central.

Si bien durante las pruebas no se han alcanzado los puntos objetivos producto de las restricciones del Sistema, se puede afirmar que las curvas de capacidad de la unidad pueden operar establemente en sus puntos extremos de potencia reactiva en cuatro de los cinco niveles de tensión en bornes del generador, en ellos no se presentan limitaciones para la entrega de potencia reactiva de la unidad. Esto, considerando que los limitadores actúan de acuerdo a sus ajustes, los cuales fueron verificados por ensayos en el capítulo 4.2.



5.2 Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad de la unidad han sido calculadas justificadamente en el informe PQ teórico máximo “*EE-EN-2021-1656-RA_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Los_Pinos_U1*”.

Por otra parte, las pruebas llevadas a cabo en terreno permiten asegurar que no se presentan limitaciones para la entrega de potencia reactiva en los niveles de tensión 0.9 p.u, 0.95 p.u, 1.0 p.u y 1.05 p.u en la unidad, tal como se desprende del mencionado informe.

Así mismo, para el nivel de tensión de 1.1 p.u. en bornes de generador, no es posible operar. En primera instancia porque existe una limitación de sobreflujo (VHz) seteado en 1.09 p.u., que impide alcanzar dicho valor, y adicionalmente, la protección de sobretensión se encuentra seteada en 1.1 p.u. de tensión. De esta manera se descarta la operación, y por ende, la generación de la curva de capacidad en este nivel de tensión en bornes de generador.

A continuación, se presentan las curvas de capacidad definidas para cada nivel de tensión operable en la unidad.

Se muestran las siguientes curvas:

- Corriente nominal de estator (trazo verde oscuro continuo)
- Ajuste de limitador OEL (trazo violeta segmentado)
- Protección de pérdida de excitación (trazo azul continuo)
- Estabilidad teórica (trazo azul segmentado)
- Ajuste de limitador UEL y SCL (trazo rojo segmentado)
- Potencia máxima (trazo negro continuo)
- Mínimo técnico (trazo naranja continuo)
- Mínima corriente de campo de generador (trazo gris continuo)



Además, se muestra una tabla resumen de los valores de curva PQ alcanzados en el formato de archivo Excel requerido por el CEN.



Tensión en Terminales 0.90 p.u.

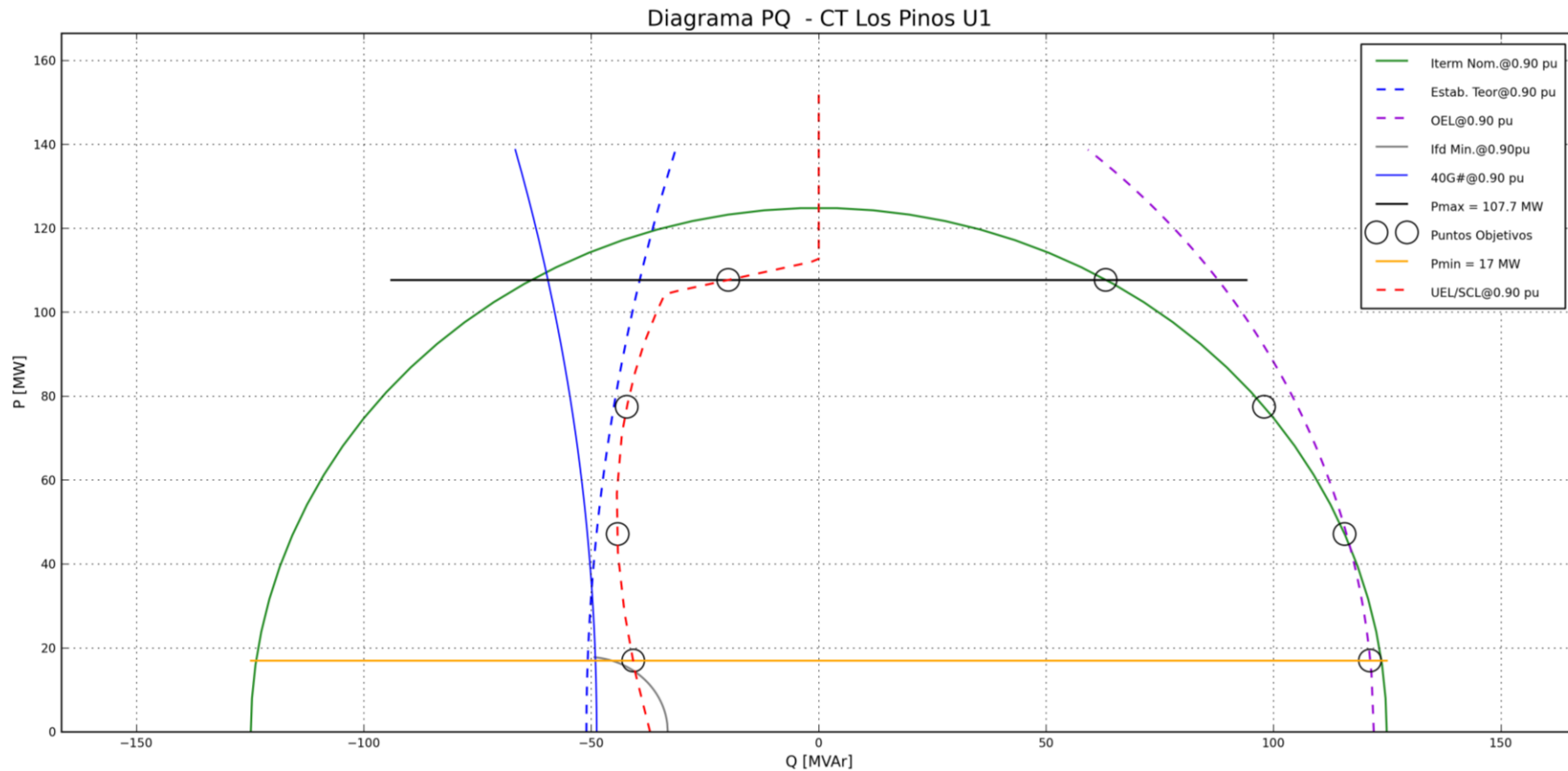


Figura 5.18: Diagrama PQ teórico - ETERM = 0.90 p.u.



Tensión en Terminales 0.95 p.u.

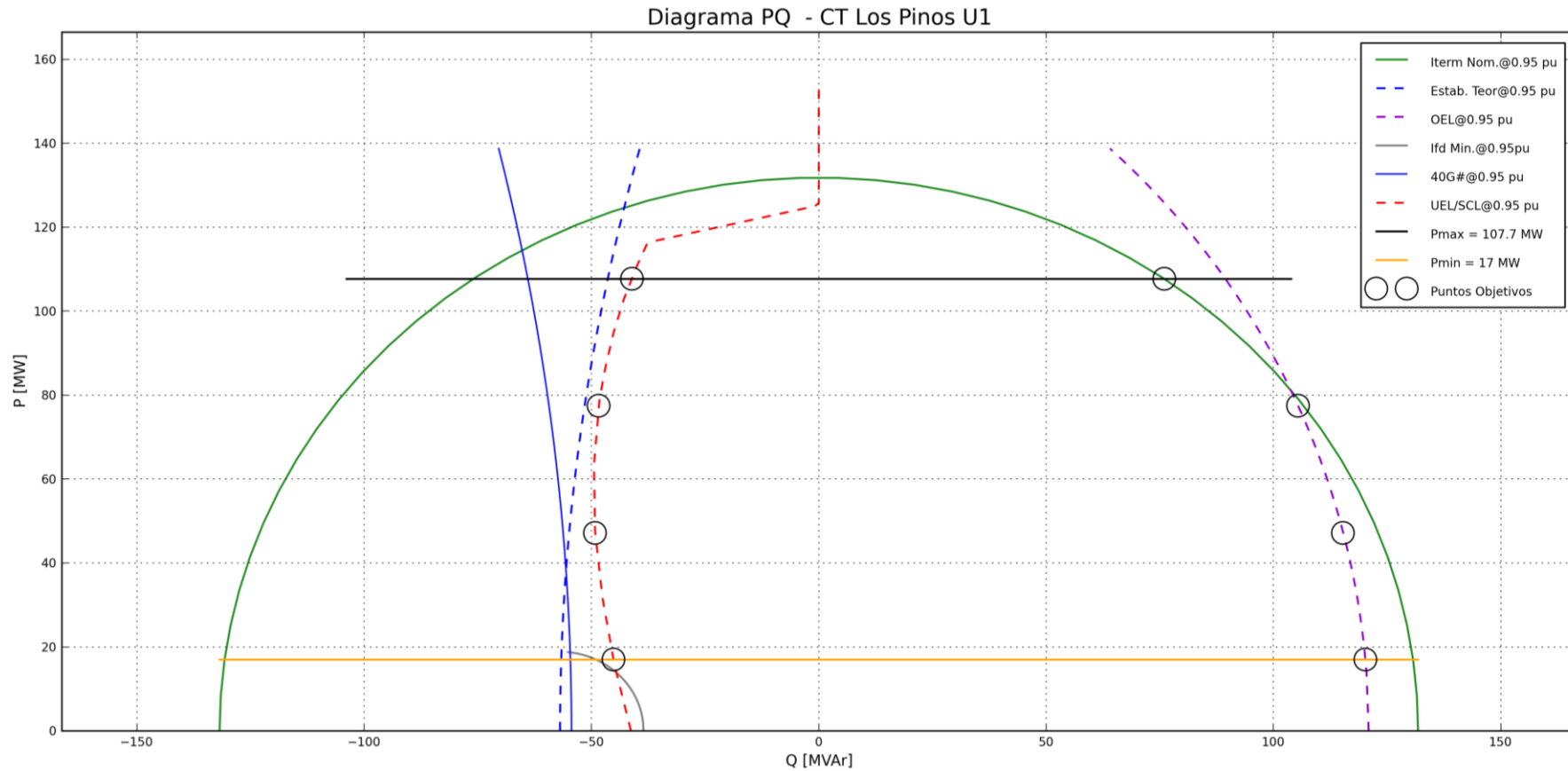


Figura 5.19: Diagrama PQ teórico - ETERM = 0.95 p.u.



Tensión en Terminales 1.00 p.u.

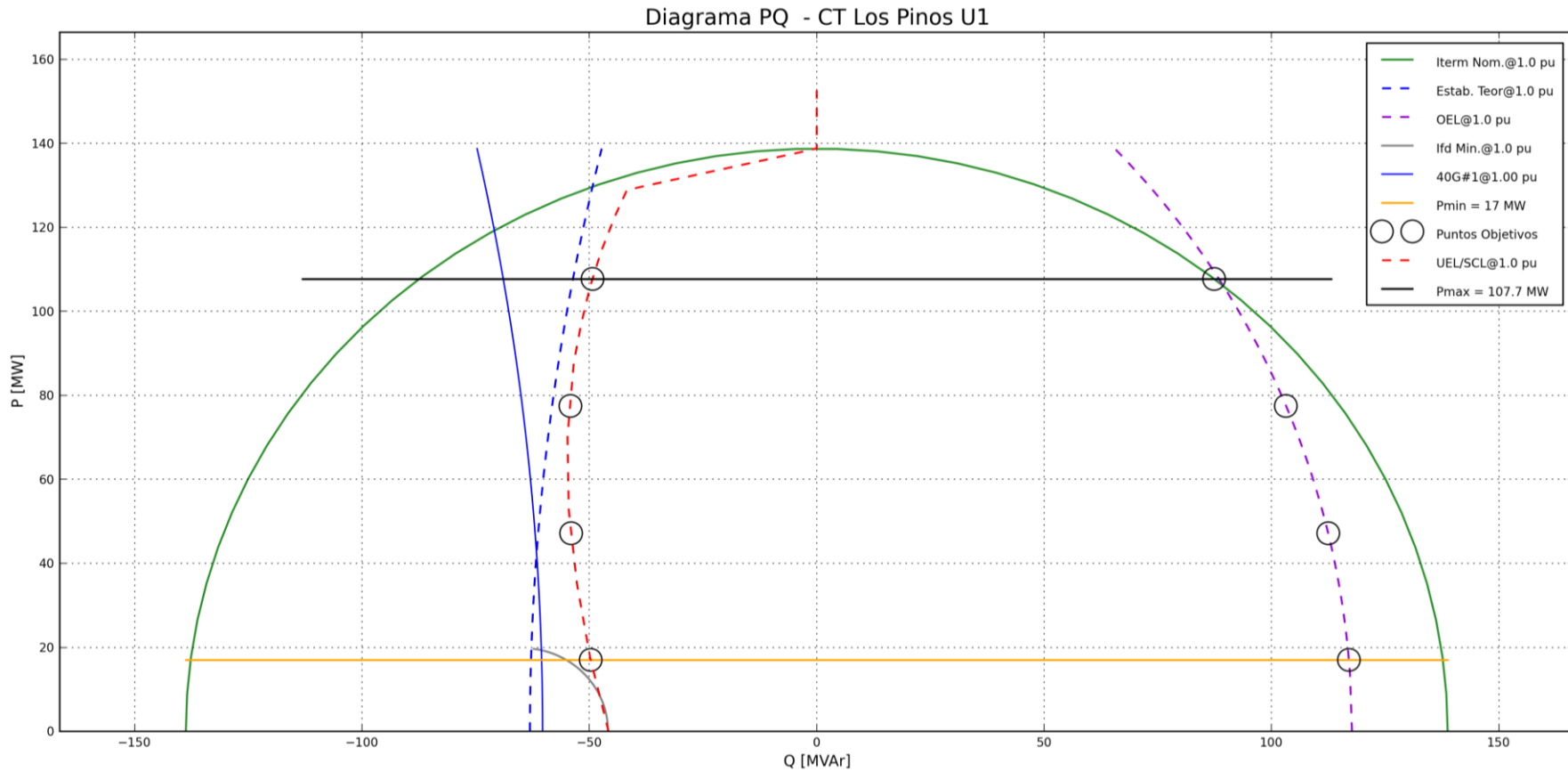


Figura 5.20: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.00 p.u.



Tensión en Terminales 1.05 p.u.

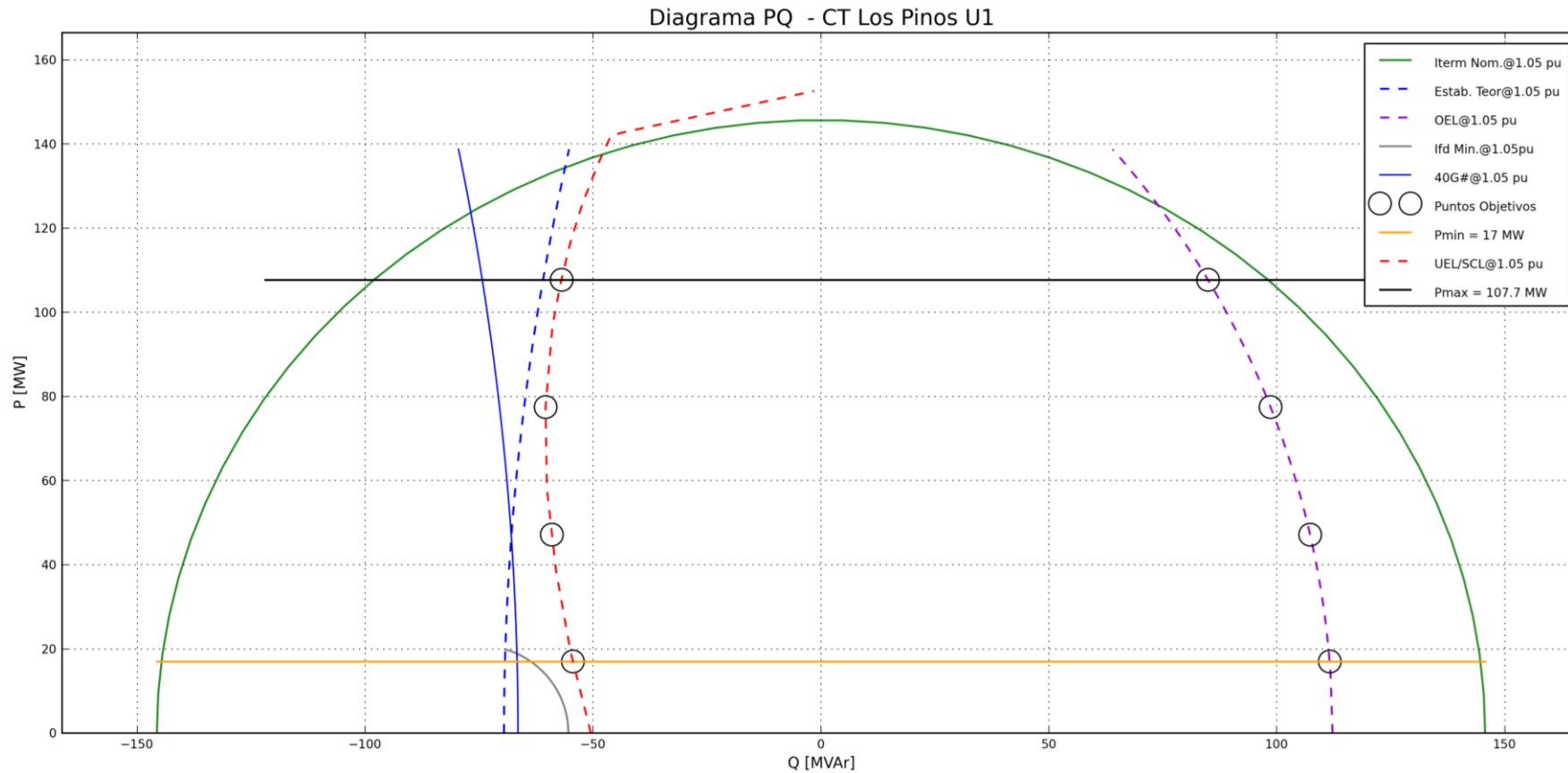


Figura 5.21: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.05 p.u.



5.2.1 Resumen de valores a informar

A continuación, se muestran las tablas de resumen de los valores PQ ensayados para todos los niveles de tensión en el formato requerido por el CEN (*“Guía de Verificación Control de Tensión”* – Anexo B – Junio 2020) para presentar en la planilla adjunta *“EE-EN-2021-2195-RA-Curva_PQ_Final_CT_Los_Pinos.xlsx”*

Potencia [MW]	Tensión [pu]	17.00	47.20	77.50	107.70	107.70	77.50	47.20	17.00
Los Pinos U1 [MVAR] (0.9Vpu)	0.9	-40.80	-44.20	-42.20	-19.90	63.10	97.90	115.60	121.20
Los Pinos U1 [MVAR] (0.95Vpu)	0.95	-45.20	-49.20	-48.40	-41.10	76.00	105.40	115.30	120.20
Los Pinos U1 [MVAR] (1 Vpu)	1	-49.70	-54.00	-54.20	-49.30	87.40	103.20	112.50	117.00
Los Pinos U1 [MVAR] (1.05Vpu)	1.05	-54.40	-59.00	-60.40	-56.90	84.90	98.60	107.30	111.60
Los Pinos U1 [MVAR] (1.1Vpu)	1.1	No operable							

Tabla 5.6: Resumen de valores curvas PQ



5.2.1 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.00 pu⁴

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo	Q obtenida	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	T°estator	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]									
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Charrúa 220 kV
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Charrúa 220 kV
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Charrúa 220 kV
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Charrúa 220 kV
5	02-12-2021	1:04	1:21	97.8	-51.6	96.9	-52.8	0.97	25.3	4.4	67.7	2.33	Limita por UEL	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Charrúa 220 kV
6	02-12-2021	0:29	0:35	77.5	-54.2	76.3	-55.1	0.98	16.2	3.5	58.8	1.66		
7	02-12-2021	0:16	0:22	47.2	-54	48.1	-54	0.98	15	2.2	57.2	0.00		
8	01-12-2021	22:51	22:59	17	-49.7	16	-47.9	0.99	4.2	0.9	50.56	3.62		

Tabla 5.7: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.00 pu

A pesar de que los puntos de operación alcanzados activan el limitador UEL, estos son válidos para la condición de subexcitación de la curva de capacidad para 0.98 y 0.99 p.u. (condición de ensayos). Esto conlleva a que existan leves desviaciones entre los puntos medidos y los puntos teóricos de reactivos ya que estos últimos fueron calculados para 1.00 p.u. de tensión.

⁴ Los puntos teóricos de potencia activa y reactiva corresponden al nivel de tensión de 1.00pu.



5.2.2 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.10 pu⁵

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P [MW]	Q obtenida Q [MVar]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	T°estator	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]									
1	01-12-2021	23:23	23:29	17	103.8	17.5	74.4	1.09	34.1	7.5	52.22	No Aplica	Limita V/Hz en 1.09	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento de ensayos
2	01-12-2021	23:38	23:44	47.2	99.7	47.6	74.8	1.09	55.6	7.9	55	No Aplica		
3	02-12-2021	0:45	0:51	77.5	91.6	77.4	70	1.09	57.6	8.1	62.7	No Aplica		
4	02-12-2021	1:25	1:42	97.8	83.5	97.8	74.7	1.09	51.4	8.9	72.7	No Aplica		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento

Tabla 5.8: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.10 pu

Dado que no es posible alcanzar las condiciones de operación de sobrecitación necesarias en la unidad, no aplica el cálculo de desviación, de esta manera los puntos medidos no son válidos para dar cumplimiento a la verificación de la curva de capacidad PQ para la tensión en terminales de 1.10 p.u, sin embargo, permiten verificar que para tensiones menores a 1.09 p.u, en bornes, no existen restricciones operativas por parte de la unidad. Se aclara que en el nivel de tensión 1.1 p.u. la unidad no es operable.

⁵ Los puntos teóricos de potencia activa y reactiva corresponden al nivel de tensión de 1.1pu.



6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA

Con el fin de verificar la capacidad de la de la central Los Pinos para participar en el servicio complementario de CTF en giro, se ejecuta una toma y bajada de carga con el gradiente actual de la unidad. El gradiente se encuentra fijo en el valor recomendado por el fabricante en la lógica interna del regulador de velocidad, por lo que no se puede modificar por personal de operaciones (ver 8.7).

Para estas pruebas se presentan las siguientes señales:

- Potencia activa generada por la unidad (señal PELEC)
- Tensión, potencia reactiva en terminales de la unidad (señales ETERM y QELEC, respectivamente)
- Frecuencia eléctrica (señal FREC)

6.1 Incremento de carga de la unidad

Se realiza la prueba con la tasa de toma de carga configurada actualmente en la unidad, es decir 30 MW/min. Para verificar el gradiente de toma de carga (MW/min) en la unidad, se comienza el ensayo operando a mínimo técnico, y se incrementa la generación en la unidad hasta alcanzar potencia máxima disponible mediante un único cambio de referencia de potencia activa.

6.1.1 Toma de carga desde mínimo técnico (17 MW) a carga base (107.7 MW)

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 17 MW a un valor final de 98 MW.

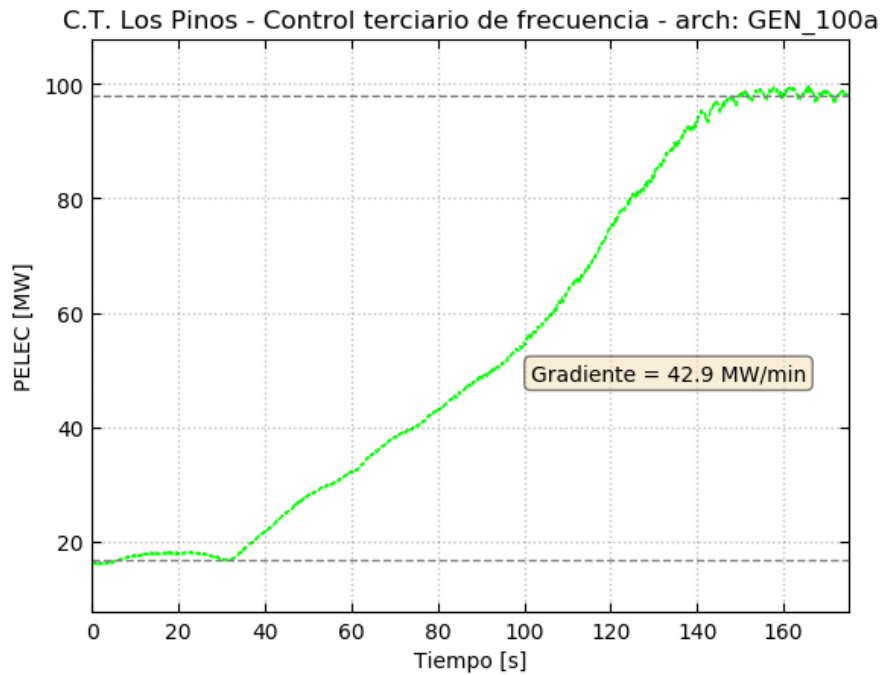


Figura 6.1: Toma de carga - Tasa = 42.9 MW/min

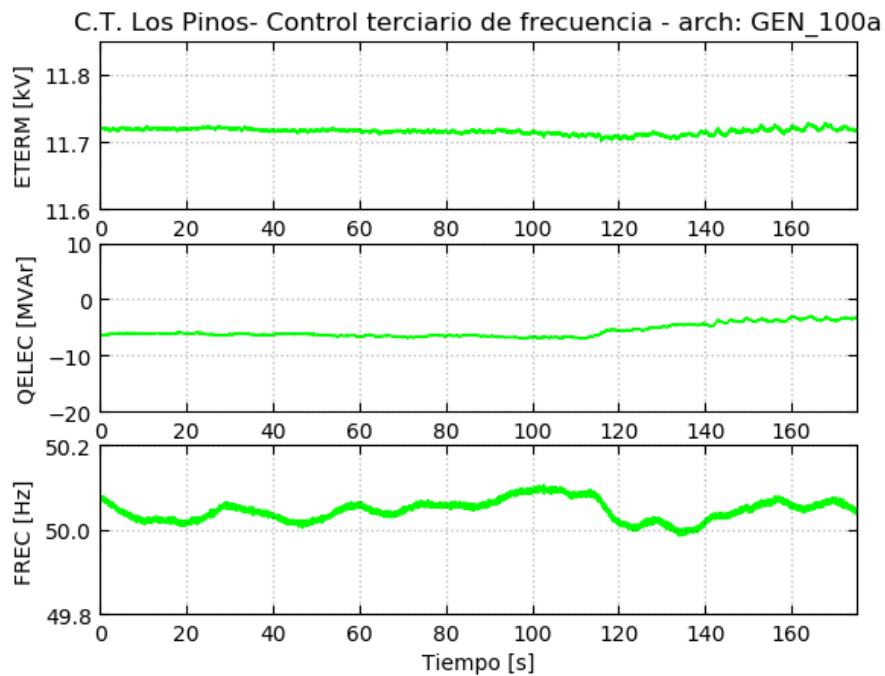


Figura 6.2: Toma de carga - Señales en terminales del generador



Como se puede observar en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable. Si bien la tasa de toma de carga documentada es de 30 MW/min, la tasa de toma de carga medida resulta igual a 42.9 MW/min, lo que equivale a una tasa del 35.75%/min de la potencia nominal de la unidad (120 MW).

6.2 Reducción de carga de la central

Se realiza la prueba con la tasa de bajada de carga configurada actualmente en la unidad, es decir -30 MW/min. Para verificar el gradiente de bajada de carga (MW/min) en la unidad, se comienza el ensayo operando a potencia máxima, y se reduce la generación en la unidad hasta alcanzar mínimo técnico disponible mediante un **único** cambio de referencia de potencia activa.

6.2.1 Reducción de carga desde carga base (107.7 MW) a mínimo técnico (17 MW)

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 96.1 MW a un valor final de 18 MW.

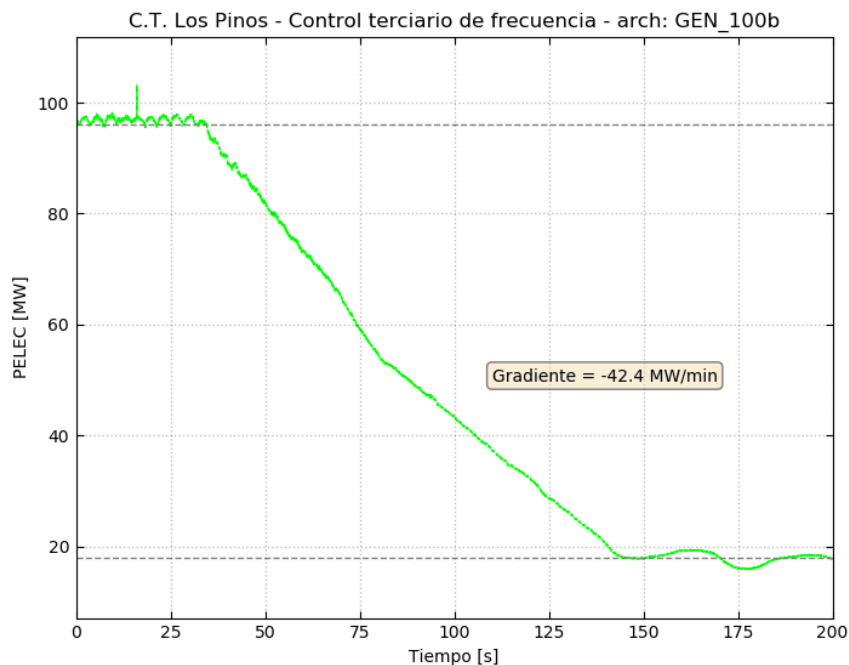


Figura 6.3: Bajada de carga - Tasa = -42.4 MW/min

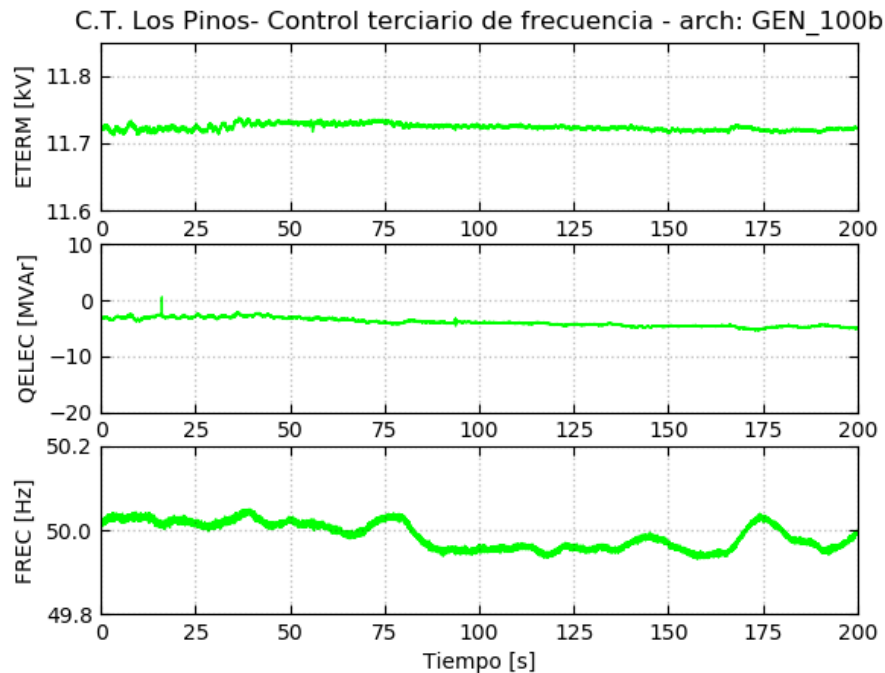


Figura 6.4: Bajada de carga – Señales en terminales del generador

Como se puede observar en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable. Si bien la tasa de reducción de carga documentada es de -30 MW/min, la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -42.4 MW/min, lo que equivale a una tasa del -35.33%/min de la potencia nominal de la unidad (120 MW).

6.3 Resumen de gradientes

Los gradientes de la unidad 1 de la Central Térmica Los Pinos se encuentran fijos y no se pueden cambiar. En la Tabla 6.1 se resumen los gradientes medidos en los diferentes movimientos de carga.

Unidad	Toma [MW/min]	Bajada [MW/min]
1	42.9	-42.4

Tabla 6.1 – Resumen gradientes entre movimientos de carga entre mínimo técnico y carga base

Se puede apreciar que los gradientes de toma y reducción de carga en la unidad coinciden, es decir, que cumplen con una característica simétrica.



7 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

La Central Térmica Los Pinos ha sido sometida al proceso de verificación para la prestación de Servicios Complementarios. El mismo ha sido llevado a cabo bajo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica de Servicios Complementarios y el Anexo Técnico, “*Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC*” vigente.

En lo que respecta al **SSCC de Control de Tensión** y en función de los ensayos realizados puede concluirse que:

- La respuesta dinámica del regulador de tensión de la unidad es rápida y estable, cumpliendo con los parámetros de performance exigidos por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
- Se logra comprobar un correcto ajuste en los lazos de control del regulador de tensión. A través de cambios en la tensión de referencia se comprueba que actúan adecuadamente los diferentes limitadores.
- Se realizó un informe de determinación de curvas PQ máxima teórica para cada uno de los niveles de tensión, el cual es entregado en el documento “**EE-EN-2021-1656-RA_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Los_Pinos_U1**”.
- No se logra comprobar si la central puede operar en forma segura y estable en los extremos de las zonas de operación definidas por las curvas PQ teóricas presentadas en el capítulo 5 para cada uno de los niveles de tensión. Esto se debe principalmente a la imposibilidad del despacho de mover la tensión en la barra S/E Charrúa 220 kV. Sin embargo, para los puntos verificados, no se observan restricciones y se comprueba que la unidad puede operar estable en tales niveles de potencia reactiva.
- No se evidencia restricción por parte de la unidad para operar dentro de las curvas de operación teóricas, exceptuando la curva de operación para el nivel de tensión 1.1 p.u, ya que la operación de la unidad se ve restringida por el limitador V/Hz en 1.09 p.u.



En lo que respecta al **SSCC de Control Terciario de Frecuencia** y en función de los ensayos realizados puede concluirse que:

- En cuanto al CTF en giro, la unidad responde con un gradiente distinto al configurado.
- El tiempo de activación del CTF en giro es despreciable ya que depende exclusivamente del tiempo que demora el operador en consignar el nuevo valor de referencia de potencia activa sobre la interfaz del GOV de la Central.
- Adicionalmente, se deduce, que la central podrá entregar hasta la totalidad de su rango operativo como reserva para **Control Terciario de Frecuencia en giro**.



8 Anexo

8.1 Datos característicos de los generadores

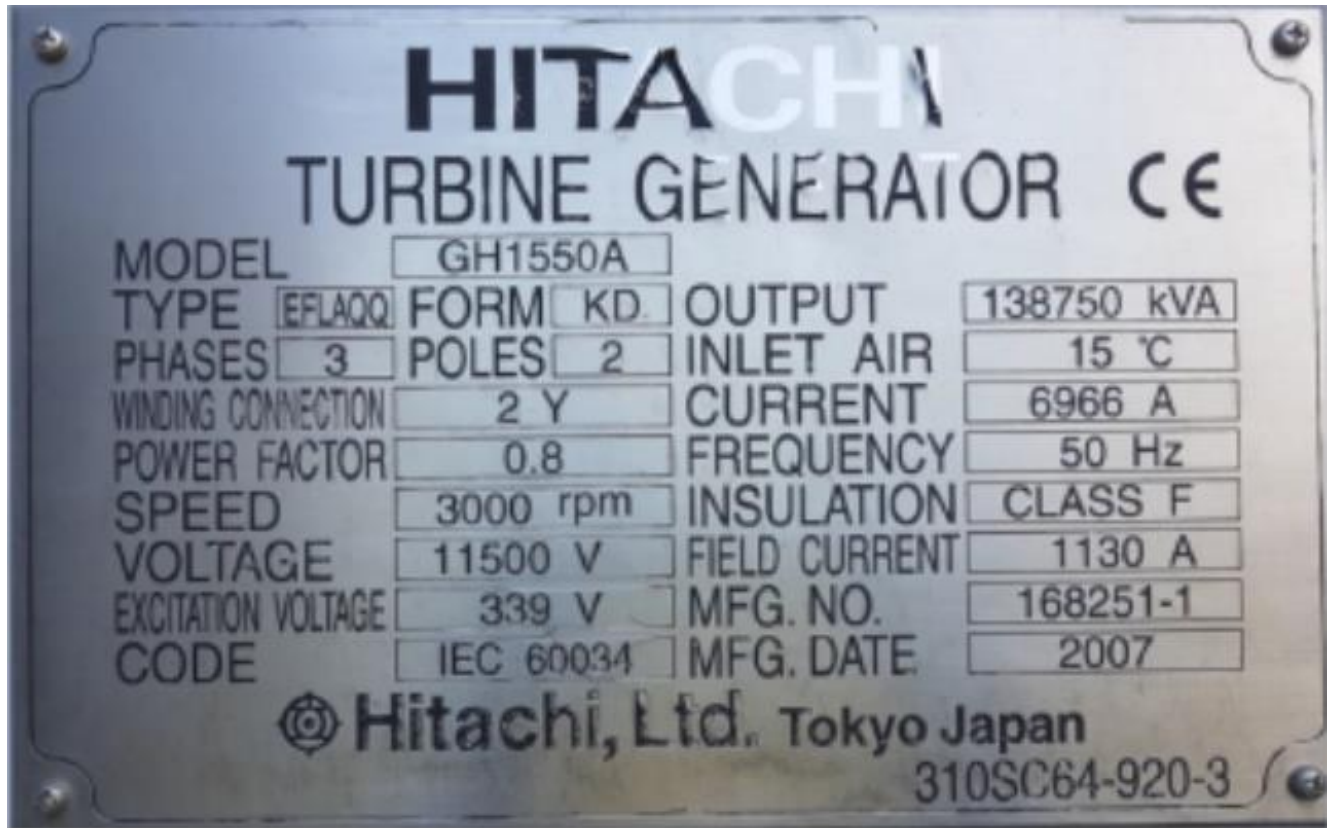


Figura 8.1: Placa del generador



Figura 8.2: Placa de la excitación

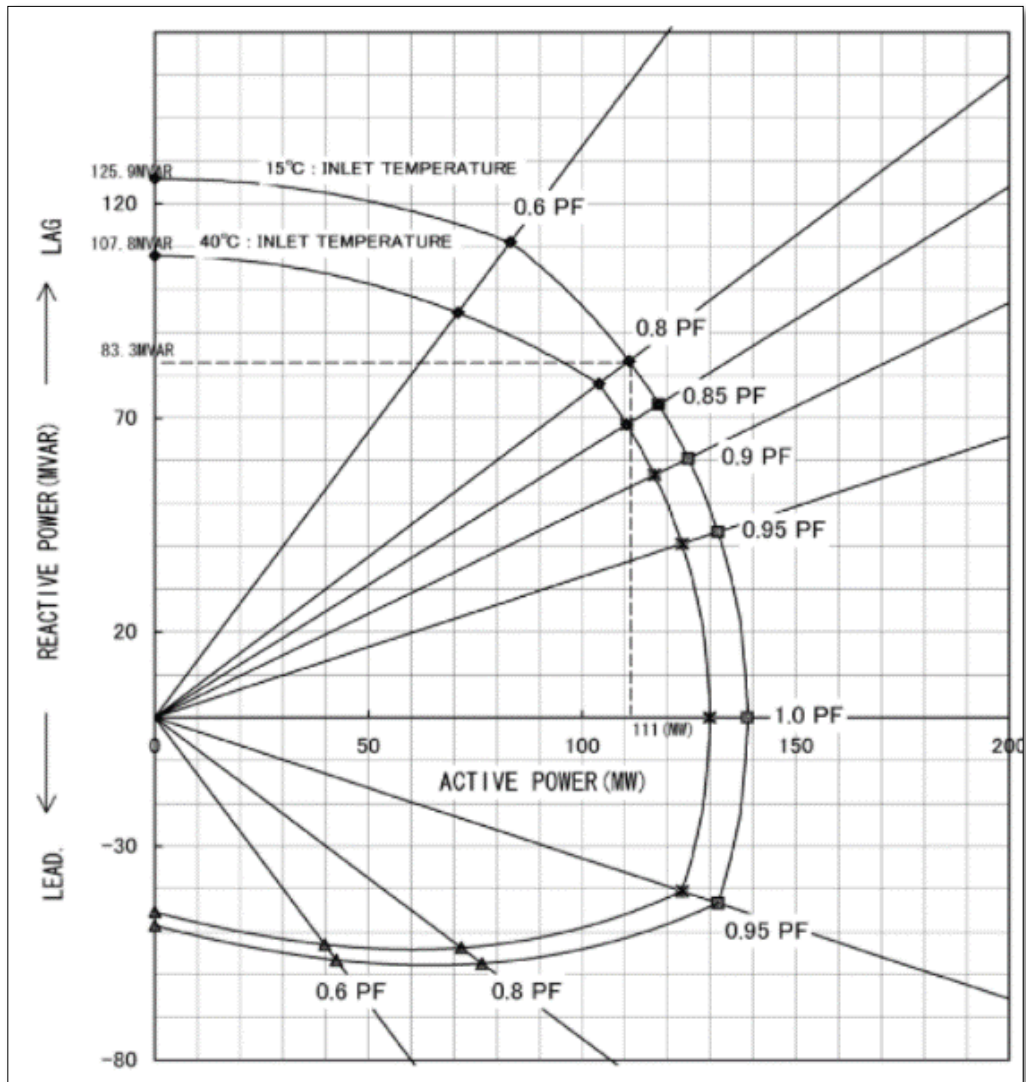


Figura 8.3: Curva de capacidad

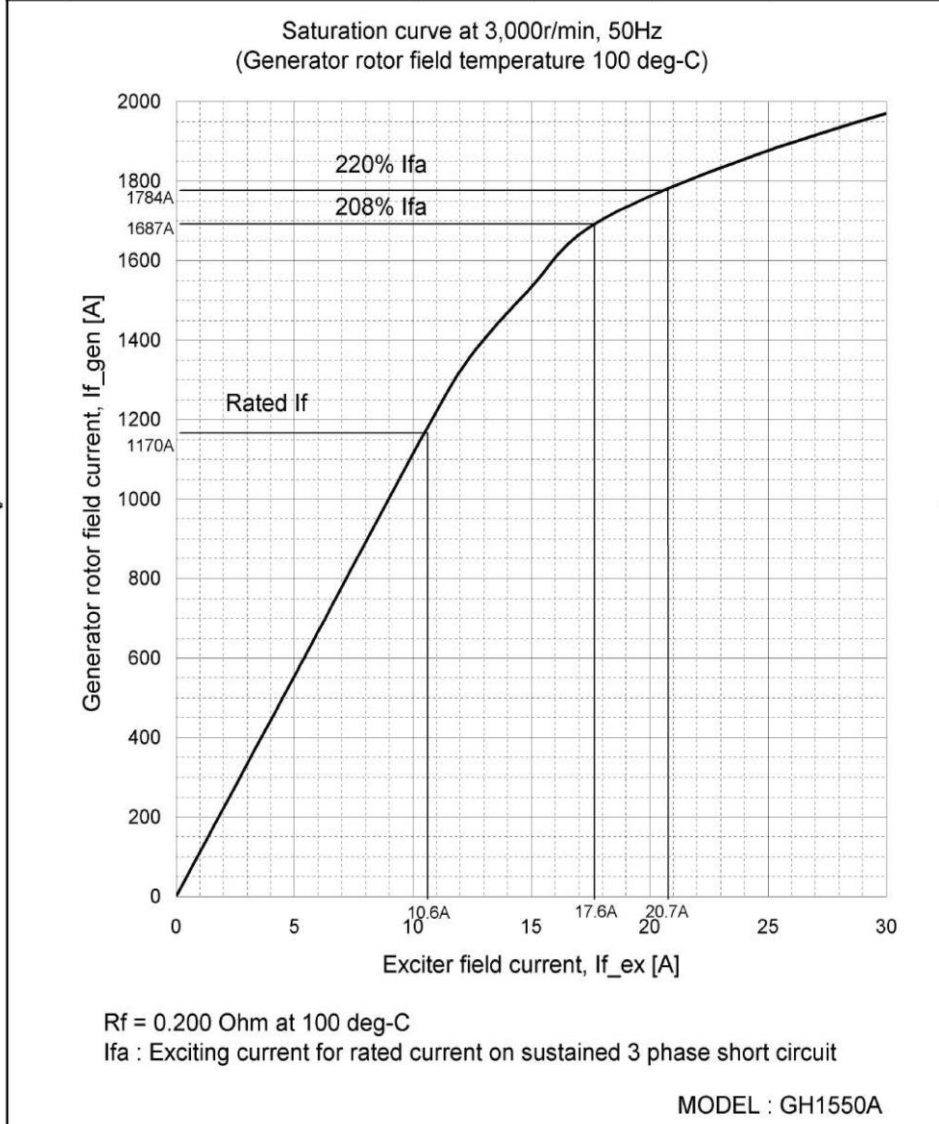


【 REGD. NO. 31020064EDE 】

REV. 4 / CHKD. K. HATTORI 2006-04-06 / APPD. M. SAEKI 2006-04-

DWG. No. 310TB75-778

REVISIONS					
REV.	DESCRIPTION	REVD.	CHKD.	APPD.	DATE
1	Based on field temperature 100 deg-C	A. Semba 2004.11.01	K. Harroti 2004.11.04	M. Saeki	2004.11.05
2	Curve modified	K. Harroti 2004.11.08	M. Saeki 2004.11.10	M. Saeki	2004.11.10
3	Curve modified based on the exciter final design	A. Semba 2006.01.23	K. Hattori 2006.01.23	M. Saeki	2006.01.23
4	Drawing format corrected	A. Semba 2006.04.05	Indicated in upper margin		



SIGNATURES		DATE	TITLE		DWG. No.		SH.	REV.
DWN.	A. Semba	2004-10-25	SATURATION CURVE AT 3000r/min, 50Hz, 11.5kV (GENERATOR ROTOR FIELD TEMPERATURE 100 deg-C)		310TB75-778			4
CHKD.	M. Saeki	2004-10-25						
APPD.	M. Saeki	2004-10-25						
			Hitachi, Ltd. Tokyo Japan		SIZE DESIGNATION		A4	

Figura 8.4: Curvas características



8.2 Protecciones de generador

[40] LOSS OF FIELD						
Circle Diameter:	15.3	Ohm(s)	Offset:	-1.5	Ohm(s)	#1
Delay:	4	Cycle(s)				
OUTPUTS:	8 7 X X	3 2 1 X X X	BLOCKING Inputs:	FL X		
Delay with VC#1:		Cycle(s)				
OUTPUTS:	--D--I--S--A--B--L--E--		BLOCKING Inputs:			
Circle Diameter:	33.6	Ohm(s)	Offset:	-1.5	Ohm(s)	#2
Delay:	25	Cycle(s)				
OUTPUTS:	8 7 X X	3 2 1 X X X	BLOCKING Inputs:	FL X		
Delay with VC#2:		Cycle(s)				
OUTPUTS:	--D--I--S--A--B--L--E--		BLOCKING Inputs:			
Voltage Control:	V		Directional Element:	13	Degree(s)	

Figura 8.5: Protección de pérdida de excitación



[24] VOLTS per HERTZ				
PICKUP:	118 %		Delay:	200 Cycles DT #1
OUTPUTS:	8 7 X X	3 1 X X	BLOCKING Inputs:	
PICKUP:	110 %		Delay:	2250 Cycles DT #2
OUTPUTS:	8 7 X X	3 1 X X	BLOCKING Inputs:	
PICKUP:	%		CURVE(INV.):	IT
TIME DIAL:			RESET RATE(INV.):	Second(s)
OUTPUTS:	--D--I--S--A--B--L--E--		BLOCKING Inputs:	

Figura 8.6: Protección de sobreflujo

[59] PHASE OVERVOLTAGE				
Pickup:	127 V		Delay:	150 Cycle(s) Input Voltage Select: Phase Voltage #1
OUTPUTS:	8 7 X X	3 2 1 X X X	BLOCKING Inputs:	
Pickup:	138 V		Delay:	50 Cycle(s) Input Voltage Select: Phase Voltage #2
OUTPUTS:	8 7 X X	3 2 1 X X X	BLOCKING Inputs:	
Pickup:	V		Delay:	Cycle(s) Input Voltage Select: #3
OUTPUTS:	--D--I--S--A--B--L--E--		BLOCKING Inputs:	

Figura 8.7: Protección de sobretensión



[27] PHASE UNDERVOLTAGE							
PICKUP:	92	V		Delay:	150	Cycle(s)	27 #1
OUTPUTS:	8 7		3 1	BLOCKING Inputs:	FL	1	
	X X		X X		X	X	
PICKUP:	81	V		Delay:	50	Cycle(s)	27 #2
OUTPUTS:	8 7		1	BLOCKING Inputs:	FL	1	
	X X		X		X	X	
PICKUP:		V		Delay:		Cycle(s)	27 #3
OUTPUTS:				BLOCKING Inputs:			
					---D--I--S--A--B--L--E---		

Figura 8.8: Protección de subtensión



8.3 Regulador de tensión GE EX2100

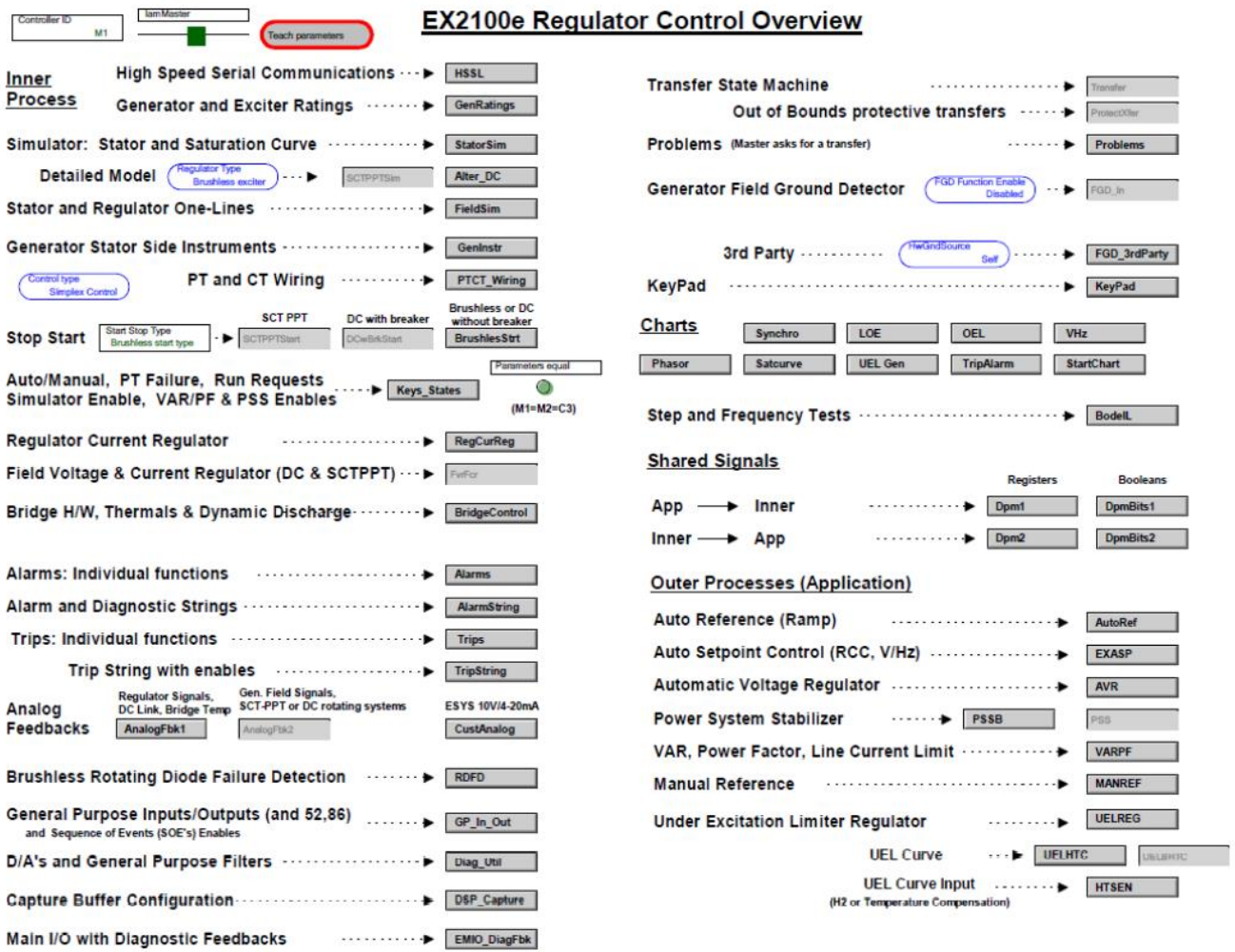


Figura 8.9: Pantalla principal AVR - Overview



AVR Setpoint Block (EXASP)

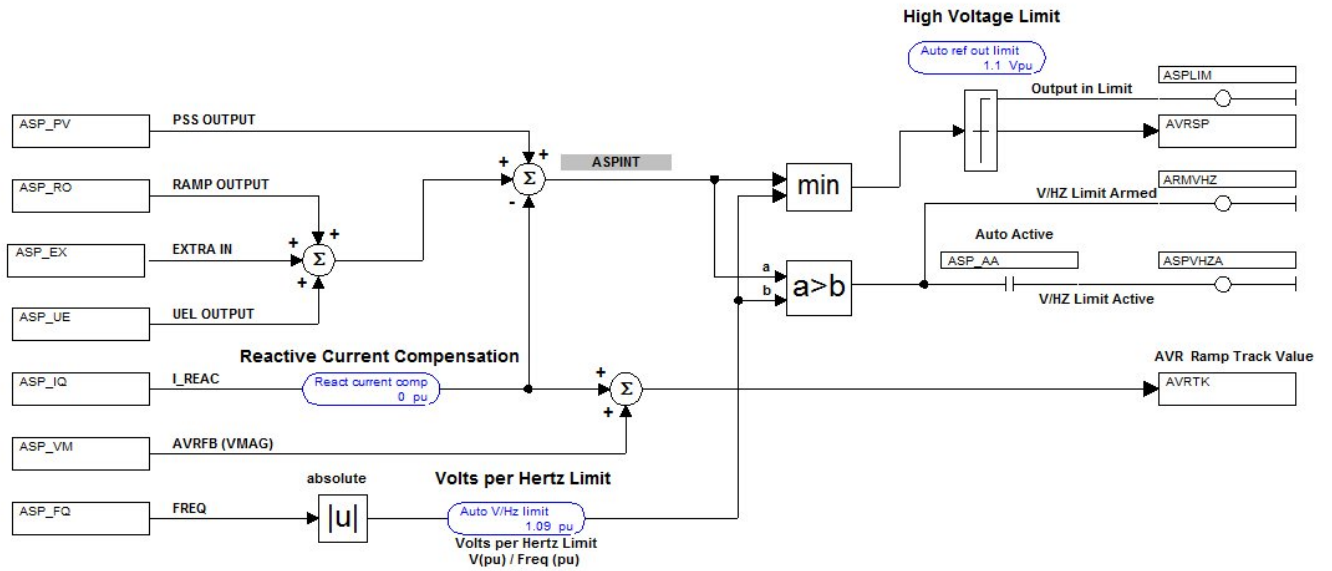


Figura 8.10: Bloque EXASP – Pantalla del VHz

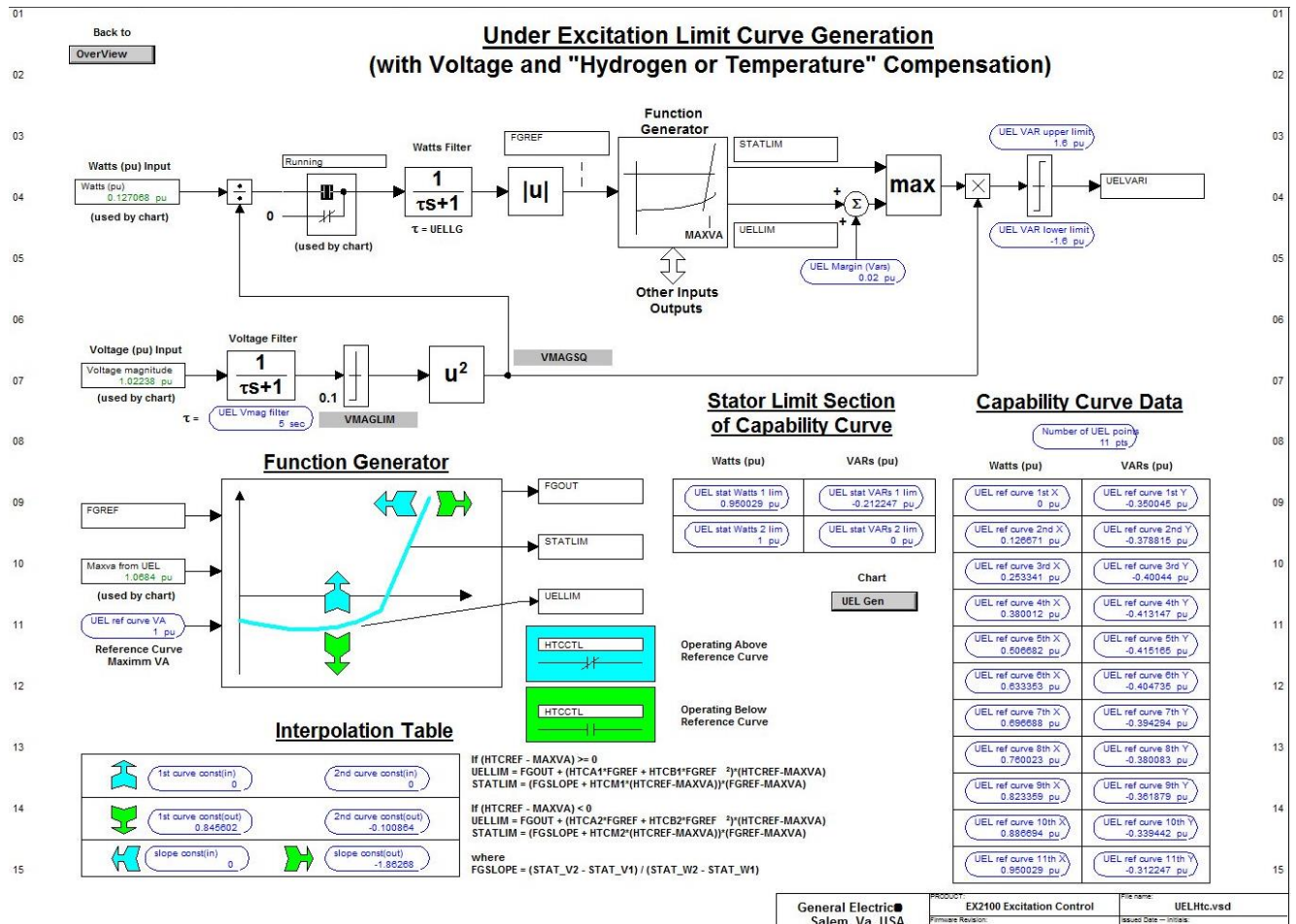


Figura 8.11: Curva UEL

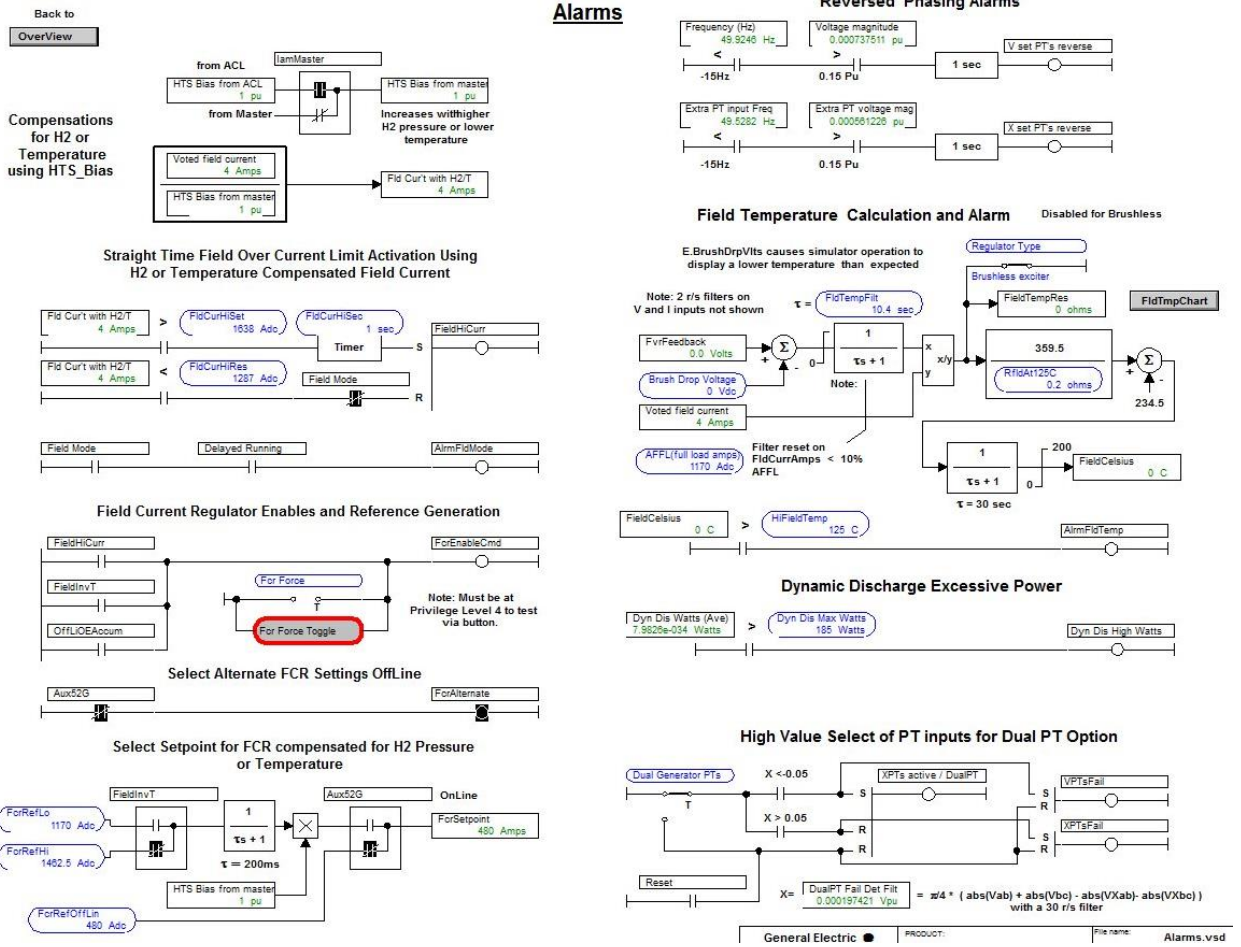


Figura 8.12: Pantalla Alarms

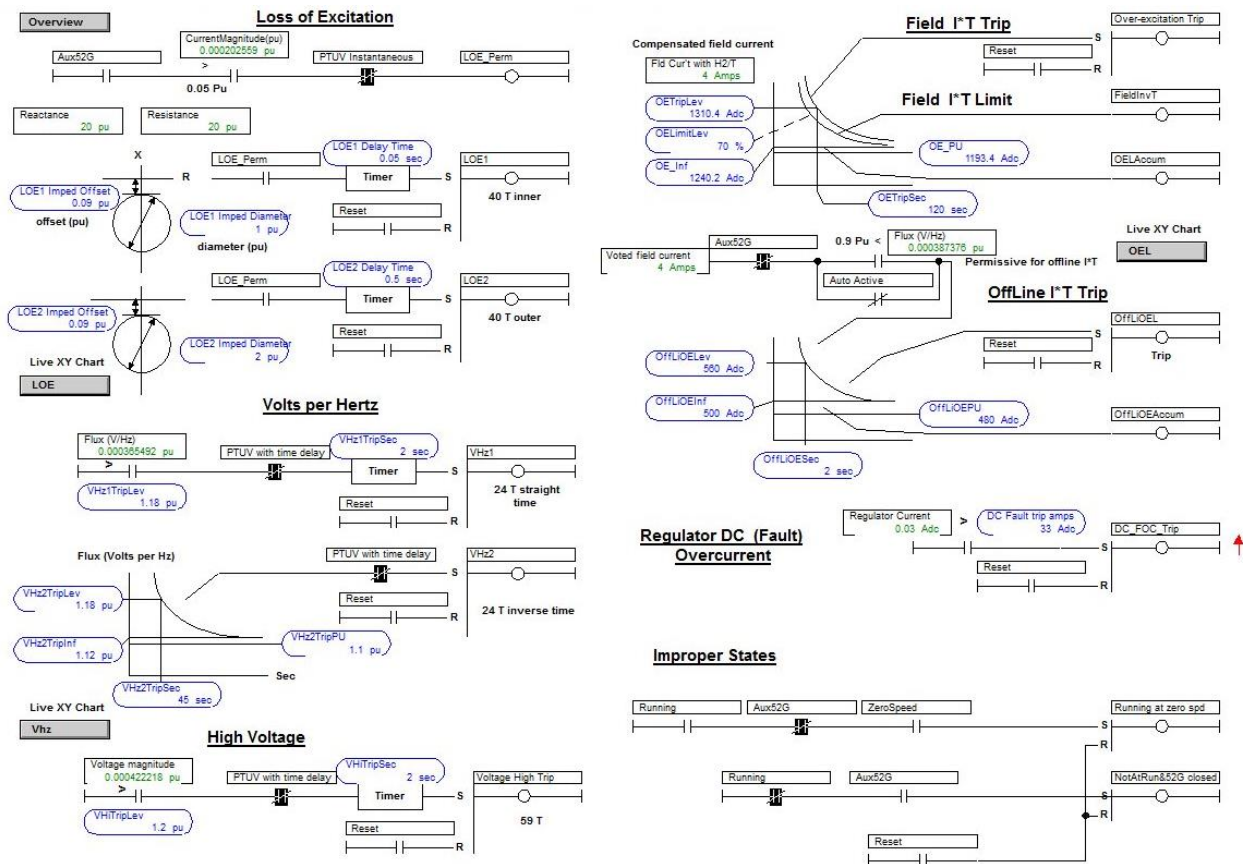


Figura 8.13: Pantalla Trips



8.4 Foto de placa del transformador elevador

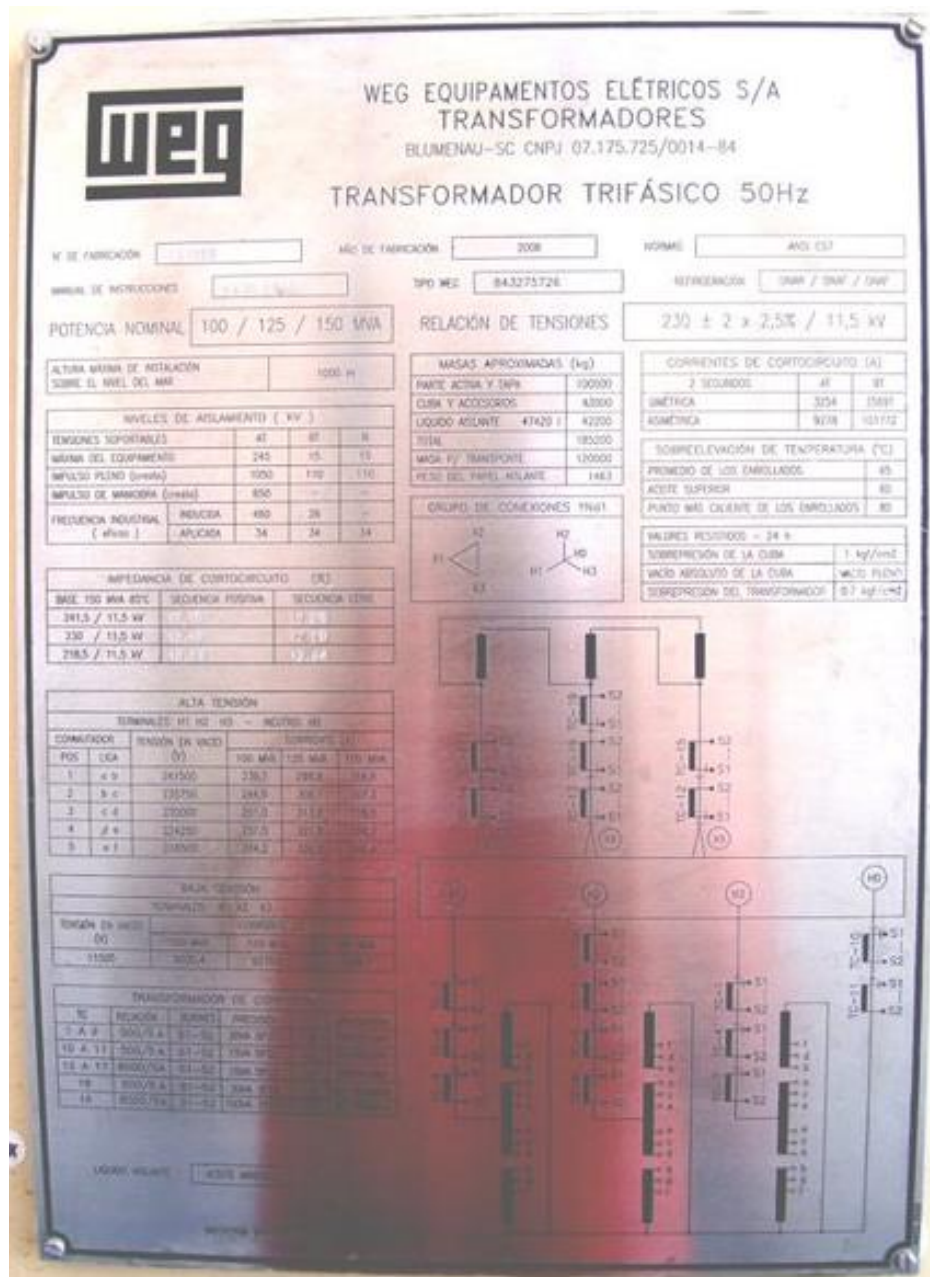


Figura 8.14: Placa del transformador elevador



8.5 Foto de placa del transformador de servicios auxiliares



Figura 8.15: Placa del transformador de servicios auxiliares



8.6 Valores de mínimo técnico y potencia máxima certificados por el CEN

Tabla N°1: Parámetro de mínimo técnico para la Central Termoeléctrica Los Pinos conforme al Anexo Técnico

Central	Unidad	Combustible	Mínimo Técnico [MW]
Los Pinos	Los Pinos 1	Diésel	2,14

Tabla 8.1: Mínimo técnico contemplado por el CEN

Tabla N°2: Parámetro de mínimo técnico para la Central Termoeléctrica Los Pinos en conformidad a la normativa ambiental

Central	Unidad	Combustible	Mínimo Técnico [MW]
Los Pinos	Los Pinos 1	Diésel	17,00

Tabla 8.2: Despacho técnico ambiental contemplado por el CEN


Tabla 1: Parámetros de Potencia Máxima de Central Los Pinos

Central/Unidad	Combustible	Potencia Máxima Bruta [MW]	SS/AA [MW]	Potencia Máxima Neta [MW]
Los Pinos	Diésel	107,70	1,29	106,41

Tabla 8.3: Potencia máxima contemplada por el CEN



8.7 Gradiente máximo de toma y bajada de carga


GE Energy

- If the unit is being fired on Liquid fuel, there is a 15 MW power limit for running without Nox water injection. Water injection status is determined by monitoring the flow meter and the command signals to the water injection block valve and the water injection metering valve position feedback value.
- e. XNSD ramp rate is approximately 30 MW per minute, or 500 KW per second from an XNSD reference rate of 1.0 RPM / sec while a raise or lower is being commanded to the control from any source.
- f. Voltage, Var, and PF control are all available through the EX2100 AVR. The Mode Request and setpoint are sent from the HMI to the Package Controller which then sends those commands to the EX2100. The Remote setpoint for Var and PF is by 4-20 mA channels into the Package Controller. Voltage control is available only when the unit is running in Isoch or is the lead machine in an islanded operation mode.
- g. The Package Controller handles MW Control. Feedback is from the MW transducer connected to the Engine Processor via the Core Engine application code. Because of the lag caused by the intercooler system, MW control is inherently an iterative process and the operator will observe what appears to be "hunting" of the XNSD reference when MW control is active. What is happening is the process of convergence occurring between the MW controller, the XNSD reference, change in fuel flow to the engine, change in Booster speed, and compensational adjustment of the cooling water flow to the intercooler. Over a period of several seconds to a few minutes, the system will converge to a balance point where cooling water modulation and fuel flow are optimized for current inlet conditions (temperature and humidity).

Figura 8.16: Máximo gradiente de toma de carga recomendado por el fabricante



GE Energy

generator speed to synchronize generator phase to bus phase.

- The Synchronizer sends voltage raise/lower commands to the EX2100 to bring generator and bus voltage together
- Start the selected Water Injection Boost pump Drive.
- When 52G and 52U are detected closed, the XNSD reference is immediately set to 3 RPM greater than XNSD shaft speed (typically 3603 RPM on a 60 Hz application.) Further adjustments to the XNSD reference are blocked for the remainder of the 2-minute overall warmup timer. When that time has expired, the XNSD reference is ramped upward at normal rate until fuel demand into the engine exceeds 10,000 pph to allow water injection enable.
- The mixing valves on the intercooler water skid are automatically modulated to provide the proper water flow and temperature to the intercooler.

1.3.2 Normal Shutdown Sequence from Power Generation Mode

When the turbine-generator is producing power and a Stop command is initiated, both the turbine and generator will slow down to a stop.

- a. The GTG package can be commanded to run the shutdown sequence from the HMI, or by Remote HMI, communications link, hardware contact input, or a Decel to Min (DM) sequence that timed out.
- b. The XNSD reference is ramped down at a rate of 1.0 RPM per second, or approximately 30 MW per minute or 500 KW per second. The actual power rate is determined by the control actions of the intercooler
- c. As fuel flow demand to the GTG falls below 10,500 pph, the water injection system is sequenced out.
 - The water injection demand is ramped to zero pph.
 - The metering valve ramps closed
 - The water injection block valve is closed
 - The water injection boost pump drive is given a Stop command

Figura 8.17: Máximo gradiente de bajada de carga recomendado por el fabricante

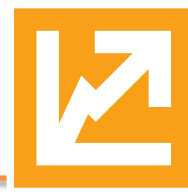


8.8 Archivos adjuntos entregados

Forman parte integral del presente informe los siguientes archivos que se entregan en forma adjunta:

- Registros de ensayos: EE-EN-2021-2195-RA_CT_Los_Pinos_Registros.zip

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato “.csv”. Para correlacionar el nombre del archivo con la figura se debe considerar las siguientes tablas:



Ensayos CT	
Nombre de prueba	Archivo
Performance en vacío	FSNL_005
Techos de excitación	FSNL_014
VHz	FSNL_013
UEL - Baja	GEN_002
UEL - Media	GEN_009
UEL - Alta	GEN_014
OEL - Baja	GEN_005
OEL - Media	GEN_011
OEL - Alta	GEN_015
Curva PQ – P1 Q1	GEN_104
Curva PQ – P2 Q2	GEN_105
Curva PQ – P4 Q3	GEN_109
Curva PQ – P5 Q4	GEN_111
Curva PQ – P5 Q5	GEN_110
Curva PQ – P4 Q6	GEN_108
Curva PQ – P2 Q7	GEN_107
Curva PQ – P1 Q8	GEN_102

Tabla 8.4 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión

Ensayos CTFg	
Nombre de prueba	Archivo
Toma de carga	GEN_100a
Bajada de carga	GEN_100b

Tabla 8.5 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia



8.9 Acta de pruebas SSCC Los Pinos



ACTA DE PRUEBAS

Fecha	02/12/2021	Empresa	Colbún
ID Proyecto	EE-2021-023	Ubicación	Cabrero, Región del Biobío
Denominación Planta	Central Los Pinos		
Servicios por verificar	Servicios Complementarios: - Control de Tensión (CT) - Control Terciario de Frecuencia en giro (CTFg)		

Datos de la instalación

Potencia aparente nominal [MVA]	138.75 MVA	Tipo de central	Térmica
Tensión en bornes nominal [kV]	11.5 kV	Cantidad de unidades	1
Potencia activa máxima [MW]	107.7 MW	Tipo de excitación	Brushless
Potencia activa mínima [MW]	17 MW	Transformador elevador bajo carga	11.5/220 kV

Responsables durante las pruebas

Coordinado	Julián Larrea
Experto técnico	Iñaki Cubillos

Datos de las pruebas

Estado previo de la planta	Detenida
Inicio del período de pruebas	30/11/2021
Fin del período de pruebas	02/11/2021
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-1986-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Los_Pinos_U1
Posición de TAP trafo elevador	3

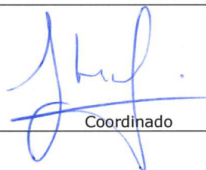
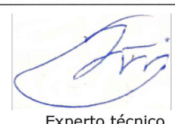
Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	 Experto técnico
-------------------------------------	---	--

Figura 8.18: Acta de Pruebas SSCC Los Pinos (1 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Resumen de pruebas

SC Control de Tensión:

Se realizan pruebas en vacío en la unidad:

- Performance.
- Techos de Excitación.
- Limitador de sobreflujo (V/Hz).

Se realizan pruebas dinámicas con la unidad conectada a la red:

- Prueba de limitador Sobreexcitación (OEL) en 3 estados de carga.
- Prueba de limitador Subexcitación (UEL) en 3 estados de carga.

Se realizan pruebas estáticas con la unidad conectada a la red:

- Puntos Curva PQ operables en 4 estados de carga.

SC Control de Frecuencia:

Se realizan pruebas de Control Terciario de Frecuencia en giro con la unidad:

- Toma de carga.
- Bajada de carga.



Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	 Experto técnico
-------------------------------------	---	--

Figura 8.19: Acta de Pruebas SSCC Los Pinos (2 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Observaciones/Desvíos del protocolo

SC Control de Tensión:

De acuerdo con el procedimiento, el estado de carga P5 correspondía a un valor de 107.7 MW (potencia máxima declarada) que se alcanzó con la unidad en óptimas condiciones de mantenimiento. Sin embargo, durante las pruebas en terreno se alcanzó 97.8 MW como potencia máxima, el cual pasó a ser el estado de carga P5.

Curva PQ:

De acuerdo con el procedimiento se intenta probar los distintos niveles de tensión en bornes para cada uno de los estados de carga planteados. Se solicita constante colaboración al centro de despacho para bajar/subir tensión en barra SE Charrúa 220 kV. El centro de despacho en ocasiones no accedió a mover la tensión en barra por condiciones operativas desfavorables del Sistema y en otras ocasiones en que accedió, no logró mover lo suficiente para lograr las condiciones de ensayo solicitadas. El procedimiento consideraba lograr mover entre 0.95 pu y 1.05 pu de tensión en barra. Sin embargo, las fluctuaciones fueron entre 1.04 pu y 1.05 pu de tensión como máximo.¹ Debido a esto, no se logró medir los puntos en las condiciones exigidas en la Guía de Verificación. Sólo se logró llevar la unidad a los extremos de su capacidad de absorción/inyección de reactivos con las limitantes descritas en las siguientes tablas.

Subexcitación						
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]	Tensión en bornes [kV]	Tensión en Barra 220 kV [kV]	Tap trafo auxiliar	Actuación Límite UEL
P1=17	16	-47.9	11.385	235.0	3	Si
P2=47.2	48.1	-54.0	11.270	235.2	3	Si
P4=77.5	76.3	-55.1	11.270	235.1	3	Si
P5=97.8	96.9	-52.8	11.155	233.8	3	Si

Limitación: Para todos los estados de carga se logró la actuación del límite UEL.

Sobrexcitación						
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]	Tensión en bornes [kV]	Tensión en Barra 220 kV [kV]	Tap trafo auxiliar	Actuación Límite OEL
P1=17	17.5	74.4	12.535	236.1	3	No
P2=47.2	47.6	74.8	12.535	236.4	3	No
P4=77.5	77.4	70.0	12.535	237.2	3	No
P5=97.8	97.8	74.7	12.535	236.0	3	No

Limitación: Para todos los estados de carga actuó el limitador de sobreflujo (V/Hz), seteado en 1.09 pu.

¹ La tensión de servicio de SE Charrúa es 226 kV.

Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	 Experto técnico
-------------------------------------	---	--

Figura 8.20: Acta de Pruebas SSSC Los Pinos (3 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

SC Control de Frecuencia:

Control Terciario de Frecuencia:

- Debido a que no se puede cambiar la tasa de toma/bajada de carga de la unidad, ya que se encuentra fijo en el valor recomendado por el fabricante en la lógica interna del regulador de velocidad (± 30 MW/min), solo se realizó una toma y una bajada de carga. No fue posible realizar esta prueba con una tasa de toma/bajada de carga mayor o menor.



Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	 Experto técnico
------------------------------	---	--

Figura 8.21: Acta de Pruebas SSCC Los Pinos (4 de 4)



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.