

Cliente: Guacolda Energía SpA

País: Chile

Proyecto: Verificación de SSCC - C.T. Guacolda - U5

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

Código de Proyecto: EE-2020-185

Código de Informe: EE-EN-2022-0023

Revisión: B



Este documento EE-EN-2022-0023-RB fue preparado para Guacolda Energía SpA 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 166 páginas y ha sido guardado por última vez el 9/3/2022 por Marcelo Calviz. Sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	27/01/2022	Primera versión.	MC	AC	PR
B	09/03/2022	Correcciones por parte del cliente	MC	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	6
1.1	Descripción del personal participante	7
1.2	Nomenclatura.....	8
2	REQUERIMIENTO NORMATIVO.....	9
2.1	Control de tensión.....	9
2.1.1	Definición	9
2.1.2	Requerimientos asociados a la prestación	9
2.2	Control de frecuencia.....	11
2.3	Control primario de frecuencia	14
2.3.1	Definición	14
2.3.2	Requerimientos asociados a la prestación	14
2.4	Control terciario de frecuencia	17
2.4.1	Definición	17
2.4.2	Requerimientos asociados a la prestación	17
3	PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	18
3.1	Procedimiento de pruebas.....	18
3.2	Instrumental utilizado para la adquisición de datos	19
3.3	Registro de señales con equipos de planta	21
3.4	Metodología general de los ensayos.....	22
3.4.1	Control de tensión.....	22
3.4.2	Control de frecuencia	23
3.5	Reuniones de coordinación.....	23
4	EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN	24
4.1	Ensayos con la unidad en vacío (FSNL).....	25
4.1.1	Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión	26
4.1.2	Determinación de los techos de excitación.....	28
4.1.3	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreflujo (V/Hz).....	29
4.2	Ensayos con la unidad conectada a la red.....	30
4.2.1	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de subexcitación	30
4.2.2	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreexcitación	32
4.3	Análisis resultados pruebas dinámicas	37



4.3.1 Pruebas con la unidad en vacío.....	37
4.3.2 Pruebas con la unidad conectada a la red.....	37
5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO	38
5.1 Puntos operativos alcanzados.....	39
5.1.1 Análisis.....	43
5.2 Curvas de capacidad.....	45
5.2.1 Diagramas PQ de la unidad	47
5.2.2 Resumen de valores a informar	50
5.2.3 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.90 pu.....	51
5.2.4 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 pu.....	52
5.2.5 Ensayos de curva PQ para tensión de terminales 1.00 pu	53
5.2.6 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.05 pu.....	54
6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA.....	55
6.1 Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones tipo escalón	56
6.2 Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales de la frecuencia de la red	76
6.3 Evaluación del amortiguamiento del lazo de control de velocidad con máquina aislada	79
6.4 Análisis del control primario de frecuencia	81
6.4.1 Determinaciones a partir de los ensayos de escalón	81
6.4.2 Determinaciones a partir de los registros de operación normal.....	86
6.4.3 Determinación del retardo inicial del sistema de carga/velocidad y tiempo de establecimiento	87
6.4.4 Resumen de aportes	90
6.4.5 Conclusiones y hallazgos del CPF	91
7 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA	92
7.1 Incrementos de carga de la unidad.....	92
7.2 Bajada de carga de la unidad	95
7.3 Análisis del control terciario de frecuencia en giro.....	98
8 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.....	99
9 ANEXO	101
9.1 Verificación de curvas de capacidad en los diferentes niveles de tensión	101
9.1.1 Verificación curva PQ @ 0.9 pu	101



9.1.2 Verificación curva PQ @ 0.95 pu	110
9.1.3 Verificación curva PQ @ 1.00 pu	119
9.1.4 Verificación curva PQ @ 1.05 pu	128
9.1.5 Verificación curva PQ @ 1.10 pu	136
9.2 Datos característicos del generador	137
9.3 Datos característicos del sistema de excitación.....	140
9.4 Protecciones de generador	141
9.5 Diagrama de bloques del regulador de tensión	146
9.6 Criterio de ajuste de limitadores según fabricante.....	149
9.7 Foto de placa del transformador elevador	152
9.8 Foto de placa del transformador de servicios auxiliares de 6.3 kV.....	153
9.9 Valores de mínimo técnico y potencia máxima certificados por el CEN.....	154
9.10 Archivos adjuntos entregados.....	155
9.11 Acta de pruebas SSCC Guacolda U5	159
9.12 Actas de reunión SSCC Guacolda U5	164
9.13 Certificado de calibración de equipamiento utilizado	165



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume los resultados del proceso de Verificación de Servicios Complementarios correspondientes a la unidad 5 de la Central Térmica Guacolda. Se incluyen, los servicios de Control de Tensión (CT), Control Primario de Frecuencia (CPF) 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 elaborado por Estudios Eléctricos S.A. según el documento *“EE-EN-2021-1753-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Guacolda_U5”* y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

La verificación del SSCC de CT se complementa con informe de curvas PQ teórico máximo de la unidad según documento *“EE-EN-2021-1716-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Guacolda_U5”* emitido en la etapa de análisis preliminar previo al desarrollo del procedimiento de ensayos.

La Central Térmica Guacolda ubicada en la comuna de Huasco, región de Atacama, se compone de 5 (cinco) generadores sincrónicos, cada uno impulsado por una turbina de vapor:

- Unidades 1 y 2: Turbinas marca Mitsubishi modelo TC2F-28, de 150 MW de potencia nominal vinculadas a generadores marca Mitsubishi modelo MB-H, de 176.5 MVA.
- Unidades 3 y 4: Turbinas marca Mitsubishi modelo TC2F-30, de 152 MW de potencia nominal vinculadas a generadores marca Mitsubishi modelos MBH y TEWAC respectivamente, de 178.82 MVA.
- **Unidad 5:** Turbina marca Mitsubishi modelo TC2F-30, de 154 MW de potencia nominal vinculada a un generador marca Mitsubishi modelo TEWAC, de 181.17 MVA.

El **regulador de tensión** (AVR) de la unidad bajo ensayo (unidad 5) es marca Mitsubishi modelo MEC 700 y es 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. Por otro lado, el **regulador de**



velocidad (GOV) también es marca Mitsubishi modelo DEH, completamente digital, y es el encargado de regular todas las válvulas de control de la turbina. Cuando la unidad se encuentra conectada a la red opera en modo “**coordinado**”, modo de operación normal del regulador, el cual le permite a la unidad realizar control primario de frecuencia.

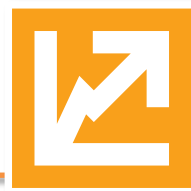
La unidad se vincula al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) mediante un transformador elevador de relación 14.5 kV / (242 kV \pm 4 x 1.25%) de potencia nominal 182 MVA (OFAF).

1.1 Descripción del personal participante

<i>Empresa</i>	<i>Personal</i>	<i>Cargo</i>
Estudios Eléctricos	Andrés Capalbo	Experto Técnico
Estudios Eléctricos	Gonzalo Espinoza	Ing. Especialista
Estudios Eléctricos	Marcelo Calviz	Ing. Especialista
Guacolda Energía SpA	Ismael Gaete	Ing. de Desempeño
Guacolda Energía SpA	Milton Narbona	Jefe de área I&C
Guacolda Energía SpA	Marcos Araya	Supervisor Eléctrico
Guacolda Energía SpA	Marco Galleguillos	Supervisor I&C
Guacolda Energía SpA	Cristian Varas	Supervisor Eléctrico
Guacolda Energía SpA	Luis Acuña	Operador Sala de Control

Tabla 1-1: Personal participante

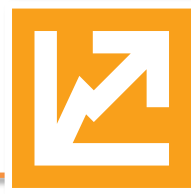
Las pruebas se llevaron a cabo entre los días 29 de noviembre al 01 de diciembre de 2021.



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
SSAA	Servicios Auxiliares
AVR	Regulador de tensión
V/Hz	Limitador de sobre-flujo
OEL	Limitador de sobreexcitación
UEL	Limitador de subexcitación
SCL	Limitador de sobrecorriente estatórica
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
NT SSSC	Norma Técnica de Servicios Complementarios.
TC	Transformador de Corriente
TP	Transformador de potencial
Pmax	Potencia activa bruta máxima de la unidad (156.215 MW)
Pmin	Potencia activa bruta correspondiente al mínimo técnico de la unidad (38 MW)
Trate	Potencia base del regulador de velocidad (154 MW)
TA	Technical Assistant
P1_CT	Despacho de la unidad a mínimo técnico (Pmin)
P2_CT	Despacho de la unidad a $(P5+2*P1) / 3$
P3_CT	Despacho de la unidad a $(P5+P1) / 2$
P4_CT	Despacho de la unidad a $(2*P5+P1) / 3$
P5_CT	Despacho de la unidad a potencia máxima (Pmax)
P1_CPF	Despacho de la unidad a mínimo técnico más bloque de reserva $(Pmax+5%*Trate)$
P2_CPF	Despacho de la unidad a valor intermedio
P4_CPF	Despacho de la unidad a valor intermedio
P5_CPF	Despacho de la unidad a potencia máxima menos bloque de reserva $(Pmax-5%*Trate)$

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.



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.

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 SSSC”.

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:

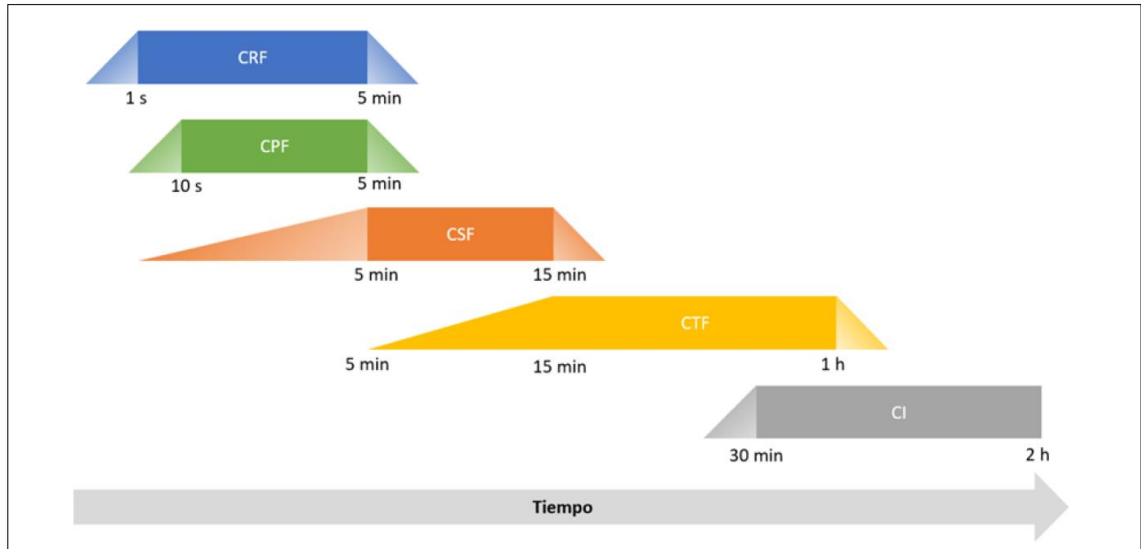


Figura 2-1: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal

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:

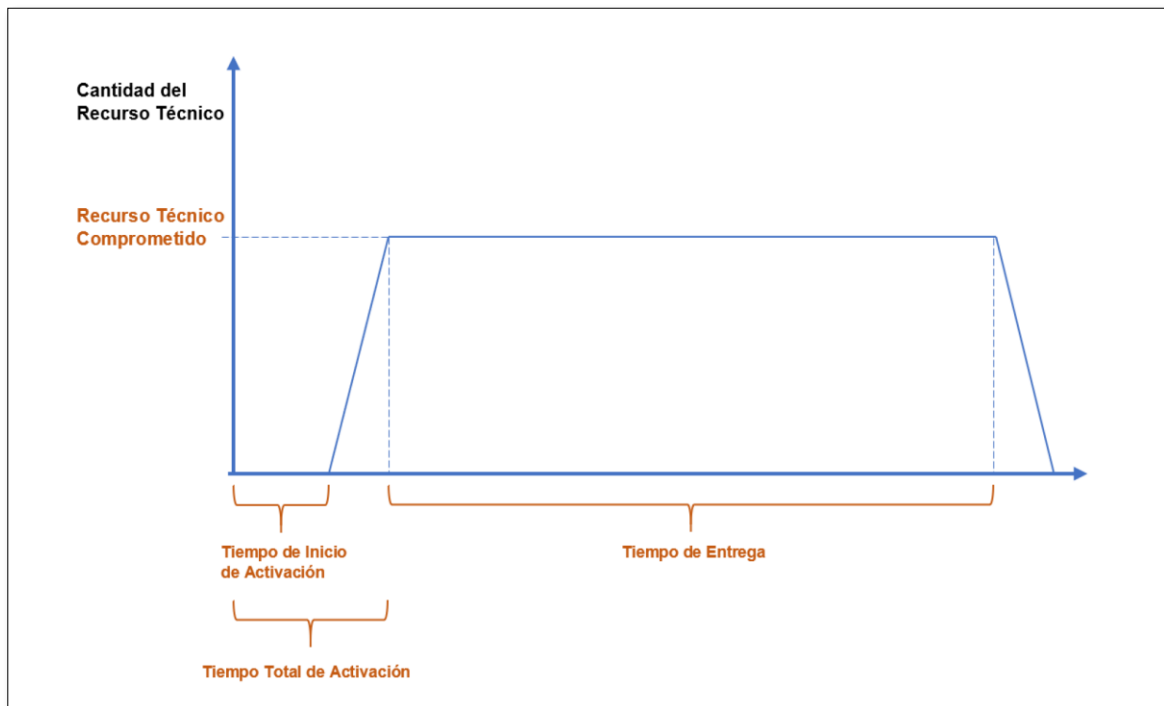


Figura 2-2: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal



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	15 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 primario de frecuencia

2.3.1 Definición

Corresponde a acciones de control automáticas locales orientadas a contener y corregir las desviaciones de frecuencia del sistema eléctrico.

El Tiempo Total de Activación del servicio CPF será de 10 [s], y su mínimo Tiempo de Entrega será de 5 [min].

La presentación de esta categoría de servicio se realizará a través de bandas de regulación simétricas, es decir, la reserva para subfrecuencia será igual que la reserva por sobrefrecuencia.

2.3.2 Requerimientos asociados a la prestación

I. Estado Normal de Operación

En Estado Normal de operación del Sistema, es necesario contar con reservas de potencia activa para enfrentar las variaciones de la demanda respecto del valor programado para el despacho, con el fin de disminuir el error de frecuencia del Sistema con respecto a su valor nominal. Se considerarán como variaciones normales, las desviaciones que se encuentren dentro de la banda de ± 0.2 [Hz].

Considerando lo anterior, y dadas las exigencias de la NTSyCS vigente, en especial lo dispuesto en el artículo 3-17, para la prestación de este servicio se considerará la participación de unidades de tipo sincrónica en el caso de CPF+ y CPF-. En el caso de las unidades del tipo ERV, serán consideradas en la medida que cumplan con los requerimientos indicados por el Coordinador.

Las unidades sincrónicas que participen de la regulación primaria deberán contar con las características técnicas asociadas al Controlador de Carga/Velocidad, según lo dispuesto en el artículo 3-17 de la NTSyCS. Este controlador deberá cumplir con las siguientes exigencias mínimas:

- a) Estatismo permanente con rango ajustable durante la operación de la unidad con carga, con excepción de las unidades impulsadas por turbinas de vapor, las cuales podrán requerir detener la máquina primaria para modificar el valor del estatismo. Los rangos de ajustes serán:
 - i. Para unidades hidráulicas: 0% a 8%.



- ii. Otras unidades sincrónicas: de 4% a 8%.
 - b) Banda muerta inferior a 0.1% del valor nominal de frecuencia, es decir, ± 25 [mHz].
 - c) El retardo inicial del sistema de carga/velocidad deberá ser inferior a dos segundos desde la detección de la sub o sobrefrecuencia hasta el comienzo de la acción. El Coordinador podrá aceptar retardos superiores sólo en caso de que el propietario de la unidad generadora proporcione evidencias técnicas que lo justifiquen.
 - d) Tiempo máximo de establecimiento igual a 30 segundos para unidades generadoras termoeléctricas y 120 segundos para unidades generadoras hidroeléctricas, operando conectadas al SI. Para la operación en isla, las unidades generadoras deberán permitir el cambio de ajustes de parámetros, al menos manualmente, a valores previamente definidos por el Coordinador.
 - e) Las oscilaciones deberán ser amortiguadas en todos los regímenes de operación.

II. Operación ante Contingencia

Ante la ocurrencia de una contingencia que genera un déficit o exceso importante de generación y por ende una subfrecuencia o sobrefrecuencia, respectivamente, es necesario contar con una reserva de potencia para contribuir a evitar una variación de frecuencia elevada y la posible pérdida de consumo o generación en el Sistema. Se considerará como evento que produce un déficit o exceso importante de generación, aquellas contingencias que den origen a una desviación de frecuencia superior a ± 0.2 [Hz].

En consistencia con lo descrito, podrá participar de este servicio:

- a) Unidades sincrónicas que cumplan con el estándar definido en el numeral I.
- b) Unidades sincrónicas que reemplacen su aporte al CPF con equipos de compensación de energía activa. En este caso los equipos de compensación de energía activa deberán cumplir con los siguientes requisitos:
 - Umbral de activación: ± 0.3 [Hz]



- Umbral de desactivación: entre 0 y ± 0.2 [Hz]. La asignación de estos umbrales será definida por el Coordinador para cada equipo.
- Criterio para carga del equipo: La carga del equipo deberá activarse a una frecuencia mínima de 50.025 [Hz] y deberá realizarse a una tasa que será definida por el Coordinador.

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

Para operar el Sistema de manera segura y acorde a los estándares exigidos en la NTSyCS se requiere que esta reserva cumpla con dos condiciones: una entrega de reserva pronta que compense el descenso de la frecuencia durante los primeros segundos post contingencia y contar con un aporte estable de potencia que permita la recuperación dinámica de la frecuencia.

De acuerdo con lo anterior se puede distinguir los siguientes atributos para el CPF ante contingencia:

- a) Control primario ante contingencia - 10s (CPF@10s): Reserva necesaria para compensar la caída inicial de la frecuencia, teniendo por objetivo evitar la excursión de la frecuencia a niveles que podrían activar la operación de los EDAC por Subfrecuencia ante la ocurrencia de una contingencia simple. Esta reserva debe ser entregada durante los primeros 10 [s] después de ocurrida la contingencia.
- b) Control primario ante contingencia - 5min (CPF@5min): Reserva requerida durante el tiempo de acción del CPF, esto es 5 minutos, teniendo por objetivo restablecer el valor permanente de la frecuencia por sobre 49.3 [Hz]. Esto para eventos de subfrecuencia o sobrefrecuencia.



2.4 Control terciario de frecuencia

2.4.1 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.

2.4.2 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 Guacolda detallado en el informe de curvas PQ teórico máximo de la unidad según el documento "*EE-EN-2021-1716-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Guacolda_U5*".

El procedimiento de pruebas se informa en el documento técnico:

- *EE-EN-2021-1753-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Guacolda_U5*

Ambos documentos fueron elaborados 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 Guacolda se llevaron a cabo de acuerdo con los procedimientos ya mencionados. 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 utilizó un equipo de adquisición de datos (propiedad de EE). Sus principales características 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 adquisidor calcula indirectamente la potencia activa y reactiva en bornes, y la frecuencia eléctrica. Lo anterior se ilustra en la Figura 3-1 y en la Figura 3-2.

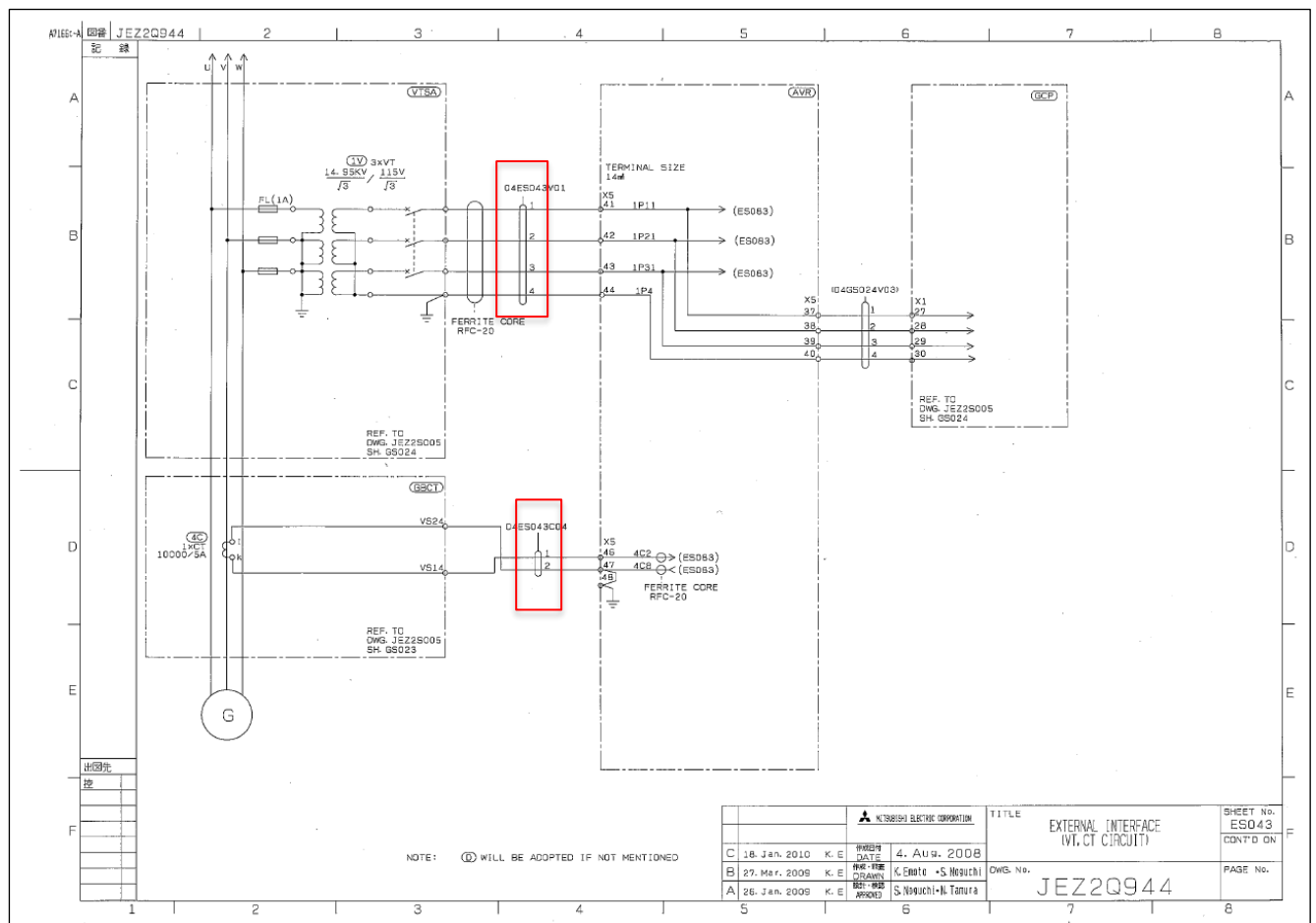


Figura 3-1: Puntos de conexión de tensión y corriente de terminales de la unidad 5

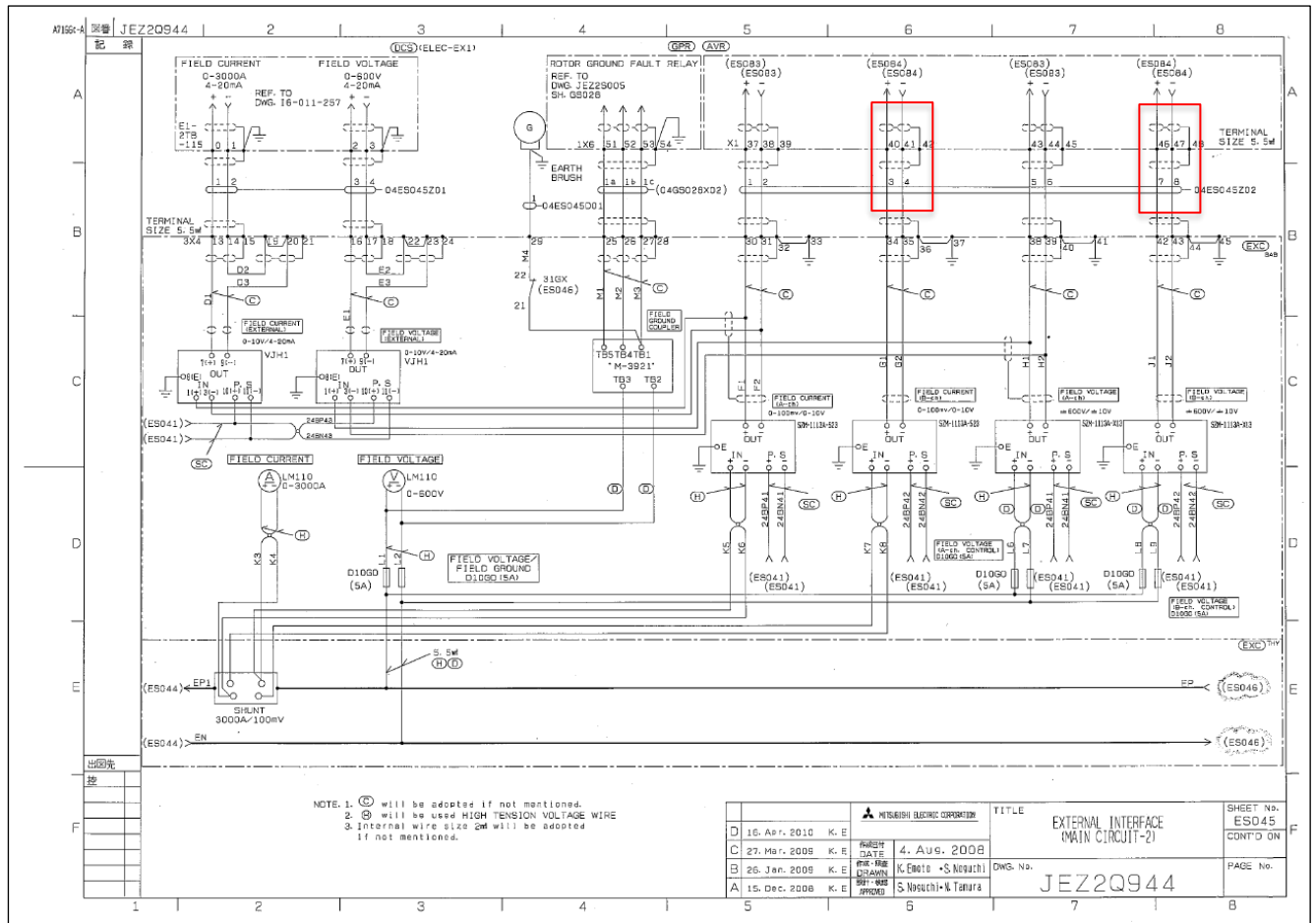


Figura 3-2: Puntos de conexión de tensión de campo y corriente de campo (shunt) en la unidad 5



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 una (1) muestra 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. Corriente de terminales del generador.
5. Frecuencia eléctrica.
6. Posición de válvulas de control.
7. Presión de vapor principal.
8. Flujo de vapor principal.



3.4 Metodología general de los ensayos

3.4.1 Control de tensión

Para realizar los ensayos correspondientes al control de tensión, se realizan escalones en la referencia de tensión de la unidad 5. Lo anterior se logra mediante la interfaz de control del AVR. En la Figura 3-3 se puede apreciar la interfaz de control del AVR MEC 700 de Mitsubishi.

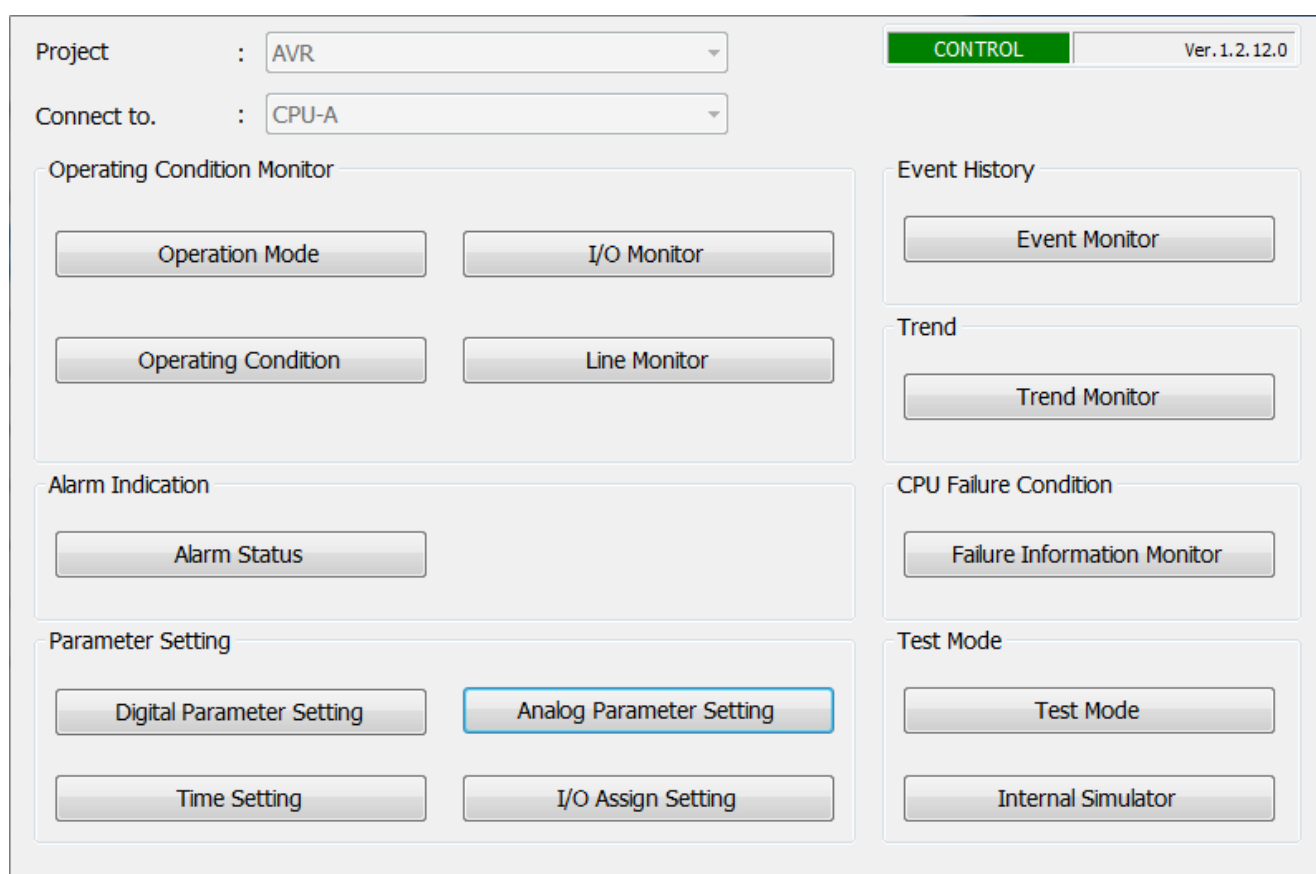


Figura 3-3: Interfaz de control del AVR



3.4.2 Control de frecuencia

Para realizar los ensayos correspondientes al control de frecuencia, se realizan escalones en las referencias de los lazos de potencia y frecuencia de la unidad 5. Lo anterior se logra mediante la interfaz de control del GOV. En la Figura 3-4 se puede apreciar la interfaz de control del GOV Mitsubishi DEH implementado en la unidad.

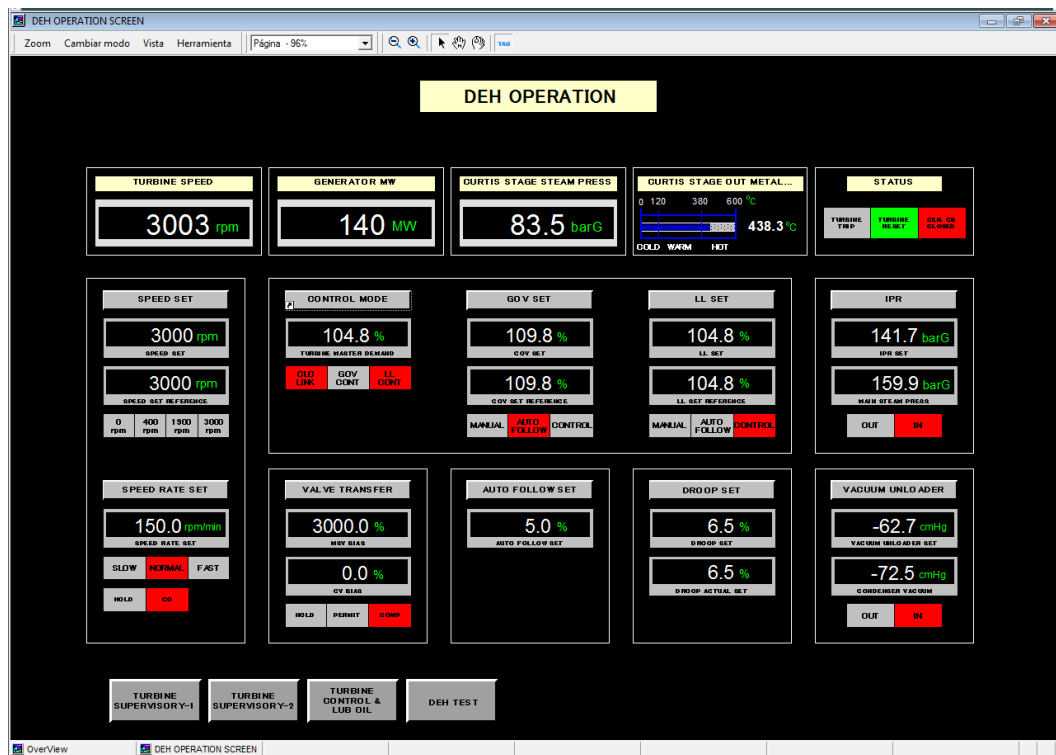


Figura 3-4: Interfaz de control del GOV

3.5 Reuniones de coordinación

En la etapa de preparación y coordinación de pruebas, se llevaron a cabo distintas reuniones previas a los ensayos con el fin de coordinar la metodología de ejecución de las tareas, tiempos estimados, señales a registrar por el software de planta, etc.

Se verifico con personal de Guacolda que las protecciones concuerdan con el seteo informado en el procedimiento de ensayos y que las condiciones de la central son las adecuadas para realizar las pruebas.

En el anexo 9.12, se adjunta el acta de asistencia a las reuniones de coordinación de tareas diarias que se llevaron a cabo durante las pruebas correspondientes a la unidad 5.



4 EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN

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.

Punto de ensayo	Despacho de Potencia Activa [MW]
P1_CT	38
P3_CT	97.1
P5_CT	156.2

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 de sobreflujo (V/Hz), subexcitación y sobreexcitación. La Tabla 4-2 y la Tabla 4-3 resumen los ensayos realizados en la unidad, tanto en vacío como conectada 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_CT	Limitador UEL y Limitador OEL
P3_CT	Limitador UEL y Limitador OEL
P5_CT	Limitador UEL y Limitador OEL

Tabla 4-3: Distribución de las pruebas según el despacho



4.1 Ensayos con la unidad en vacío (FSNL)

Con la unidad operando en vacío, se aplican cambios de tipo escalón de diversas amplitudes¹ 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.

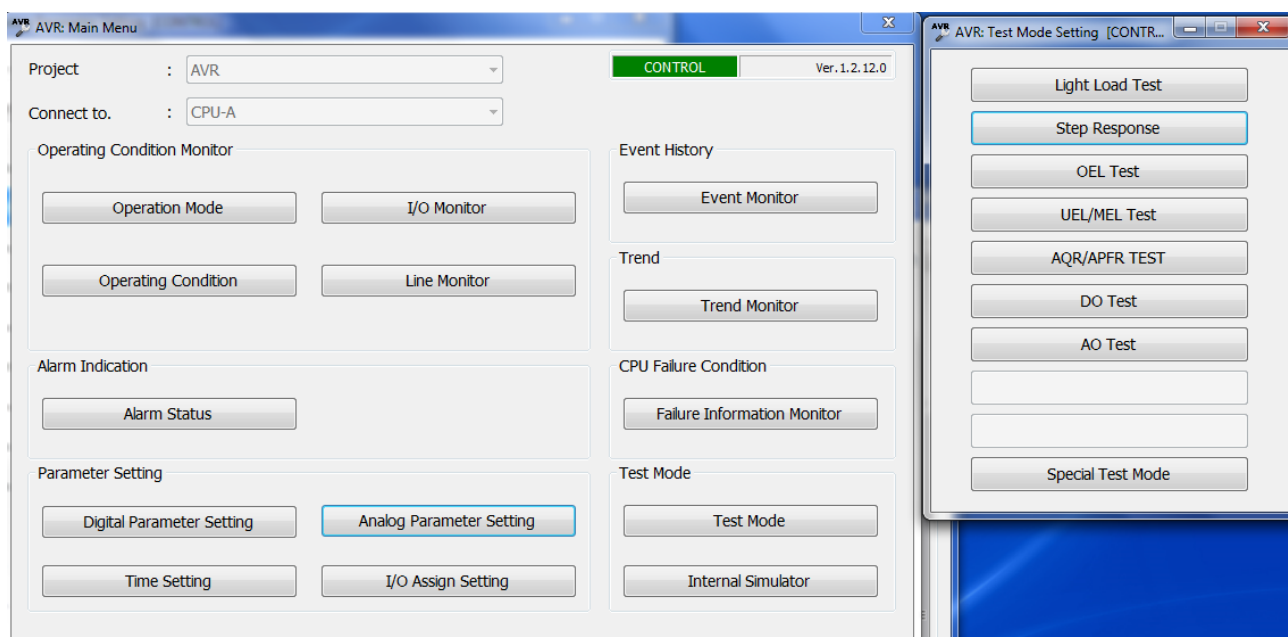


Figura 4-1: Configuración del escalón de tensión

¹ La tensión nominal de terminales de la unidad es de 14.5 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 de la unidad durante 20 segundos.

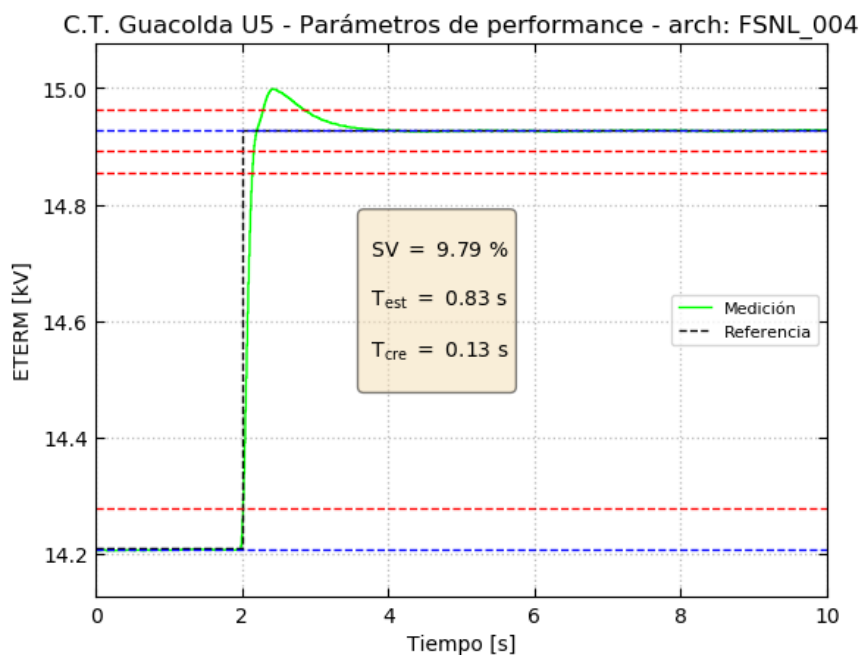


Figura 4-2: Parámetros de performance – ETERMo=1.0 pu – Step = 5%

Parámetro	Valor Medido	Requerimiento Normativo
Sobreoscilación	9.79 %	< 15%
Tiempo de crecimiento	130 ms	< 400 ms
Tiempo de establecimiento	0.83 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.

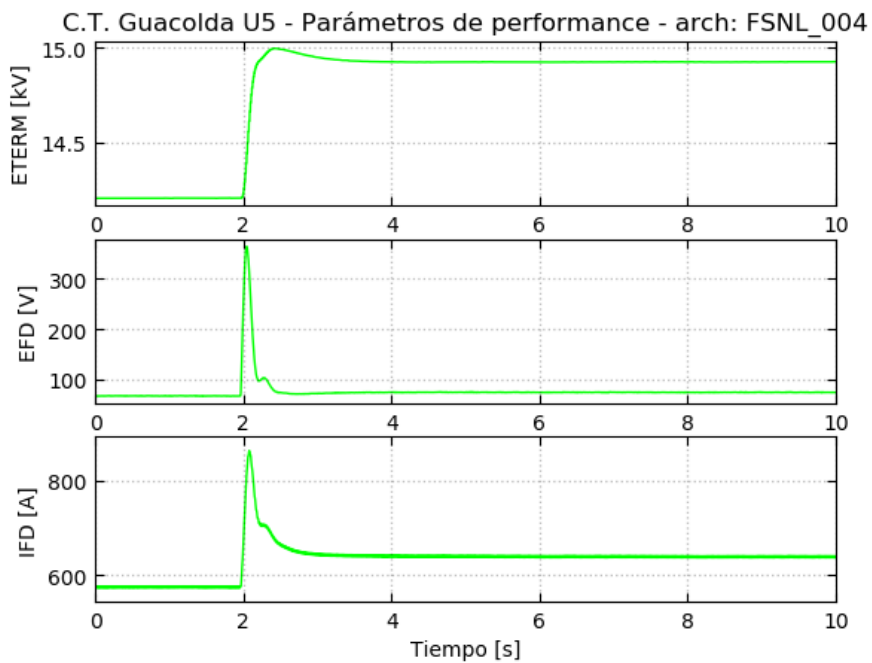


Figura 4-3: Respuesta en vacio – Step = 5%



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 12% durante aproximadamente 20 segundos en la consigna del regulador de tensión con la unidad operando en vacío.

En la Figura 4-4 se muestra la respuesta de la unidad ante un escalón de gran magnitud con el objetivo de determinar los techos de excitación.

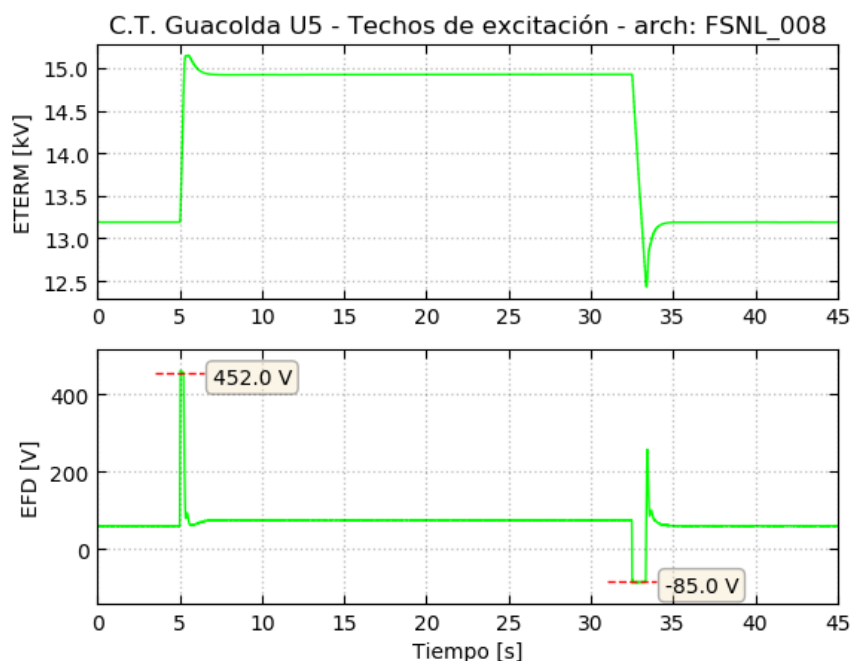


Figura 4-4: Techos de excitación - $ETERM_o = 0.91 pu$ - Step = 12%

A partir de la Figura 4-4 se tiene que los valores alcanzados son:

- Techo positivo: 452.0 V
- Techo negativo: -85.0 V

De acuerdo a los datos característicos del sistema de excitación, los cuales se muestran en el anexo 9.3, se verifica que el valor del techo de excitación obtenido durante las pruebas se aproxima al valor teórico informado por el fabricante (442 V).



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 105% en condiciones de frecuencia nominal. Para frecuencias menores a 50 Hz, la referencia máxima de tensión comienza a aumentar 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
V/Hz limit	105%	104%

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 104%.

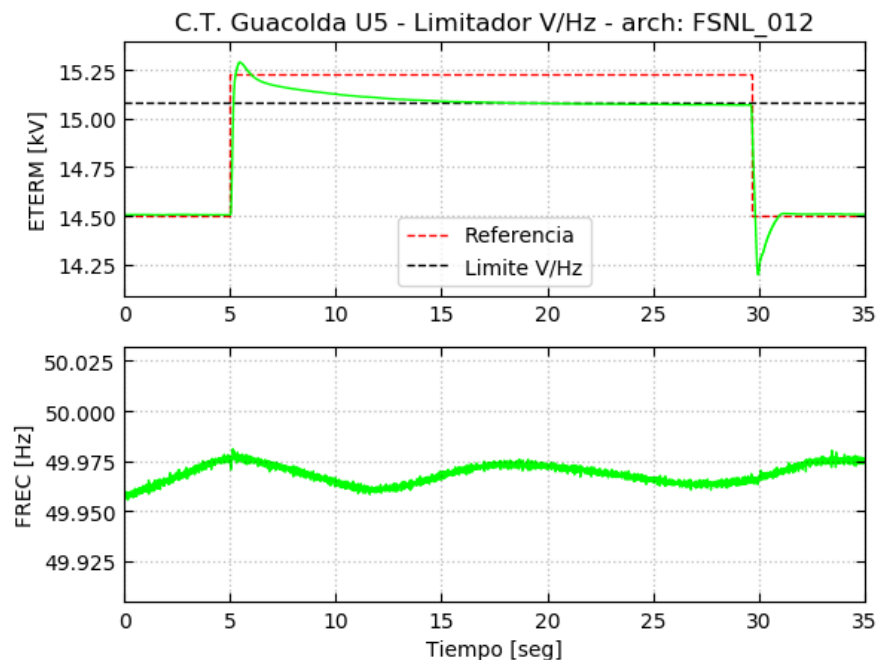


Figura 4-5: Respuesta limitador V/Hz – $ETERM_o = 1.0 pu$ – Step = 5%



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 del limitador 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 SEN. Los escalones se realizan para 3 niveles distintos de potencia activa (P1_CT, P3_CT y P5_CT).

El limitador de subexcitación funciona controlando la absorción de potencia reactiva de la unidad a través de la característica estática definida en la Tabla 4-6 y afectado por el cuadrado de la tensión de terminales medida.

Potencia Activa [p.u.]	Potencia Reactiva [p.u.]
0.00	-0.381
0.85	-0.155
1.00	-0.115
1.20	-0.062

Tabla 4-6 – Ajustes del limitador UEL

La verificación del limitador se realizó con su ajuste permanente.

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 aplicado y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado.



P1 CT = 38 MW

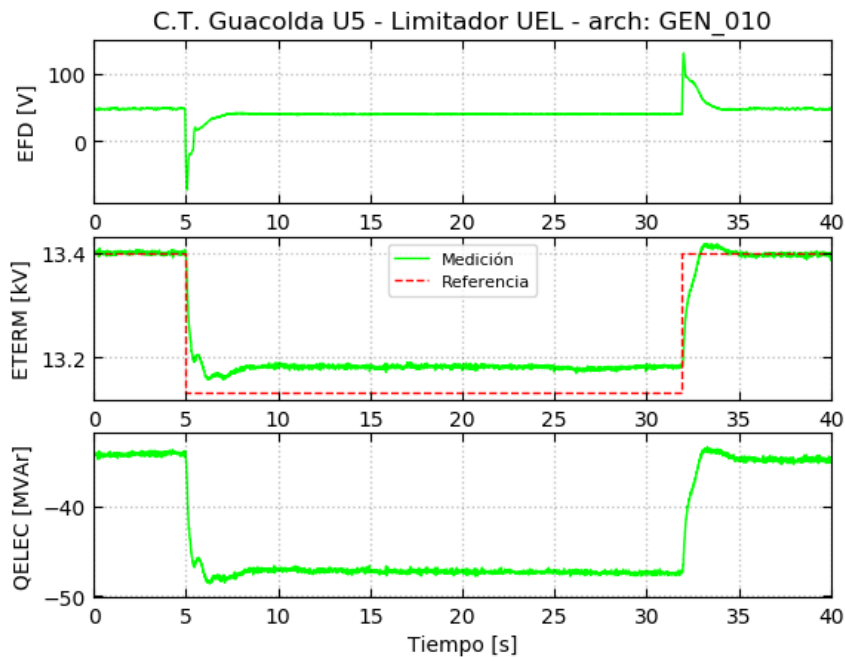


Figura 4-6 - Respuesta limitador UEL - $ETERMo = 0.92 pu$ - Step = -2%

P3 CT = 97.1 MW

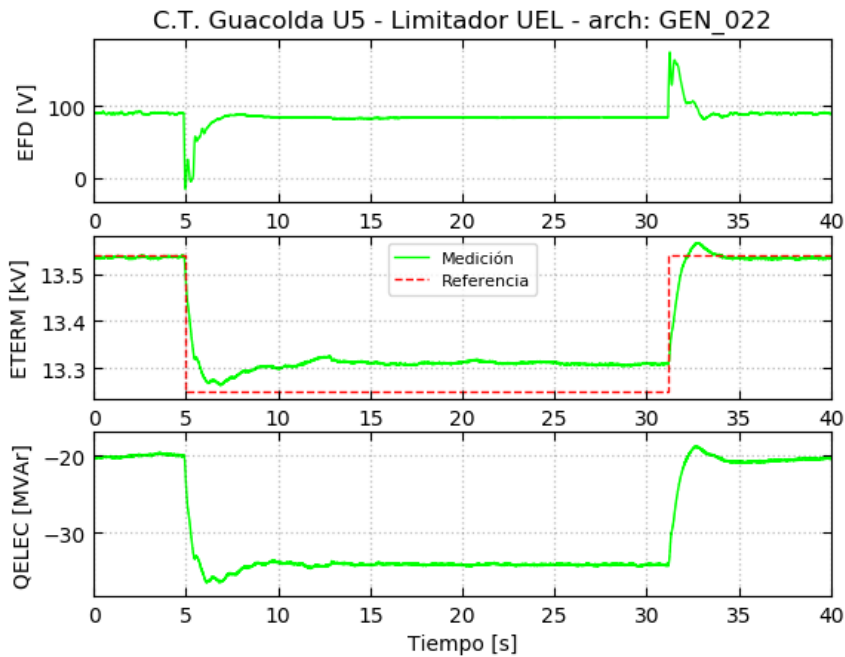


Figura 4-7 - Respuesta limitador UEL - $ETERMo = 0.93 pu$ - Step = -2%



P5 CT = 156.2 MW

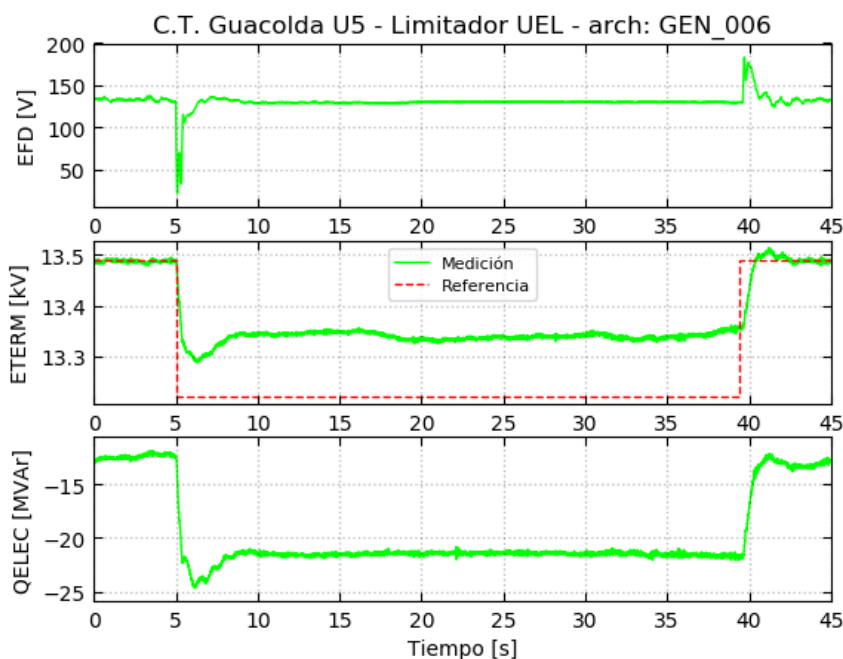


Figura 4-8 – Respuesta limitador UEL – $ETERMo = 0.93 pu$ – Step = -2%

Se observa un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva generada.

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

A continuación, se presenta la respuesta del sistema de excitación de la unidad sincronizada con el SEN, realizadas para 3 niveles distintos de potencia activa (P1_CT, P3_CT y P5_CT) para la verificación del limitador OEL temporizado.

La característica de limitación de corriente de excitación es temporizada y queda determinada por una función inversamente proporcional a la corriente de campo cuando se supera el valor de pickup (IEX_{pk}). La actuación del limitador se produce una vez alcanzado el valor de corriente máxima (IEX_{max}) para así devolver a la corriente al valor de pickup mencionado anteriormente.

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 Tabla 4-7.



Despacho de Potencia Activa [MW]	IFD_{lim} [A]	IFD_{pk} [A]
P1_CT = 38	1100	1150
P3_CT = 97.1	1200	1250
P5_CT = 156.2	1440	1480

Tabla 4-7 – Ajustes temporales del limitador OEL

Siendo su seteo permanente el detallado en la Tabla 4-8.

IFD_{lim} [A]	IFD_{pk} [A]
1565	1643.2

Tabla 4-8 – Ajuste permanente del limitador OEL temporizado

En la Figura 4-9, Figura 4-11 y Figura 4-13 se muestra la respuesta del limitador OEL mediante la aplicación de un escalón del 3% en la referencia de tensión de la unidad. Una vez alcanzado se espera el tiempo necesario para que el limitador OEL actúe.



P1 CT = 38 MW

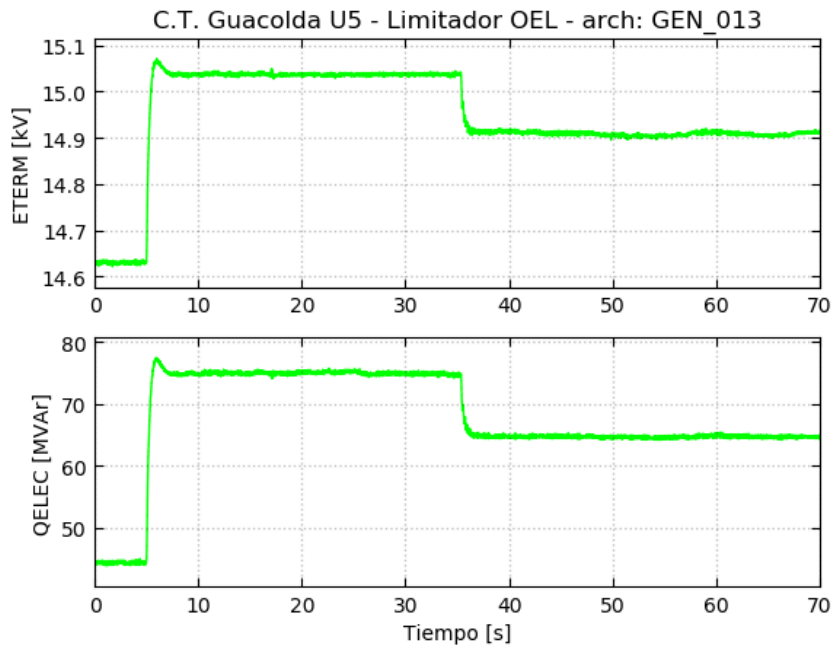


Figura 4-9 – Respuesta limitador OEL – $ETERMo = 1.01 pu$ – Step = 3%

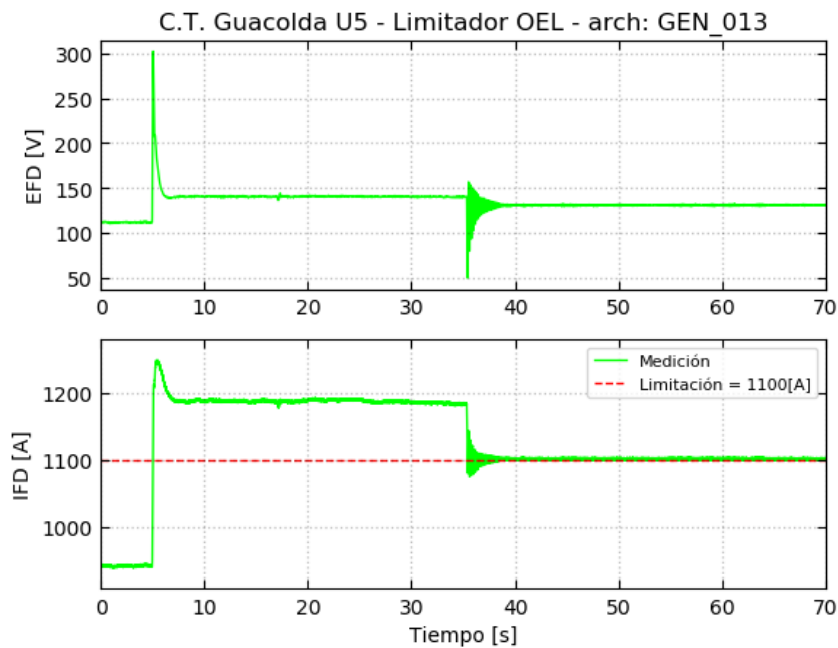


Figura 4-10 – Respuesta limitador OEL – Señales de campo



P3 CT = 97.1 MW

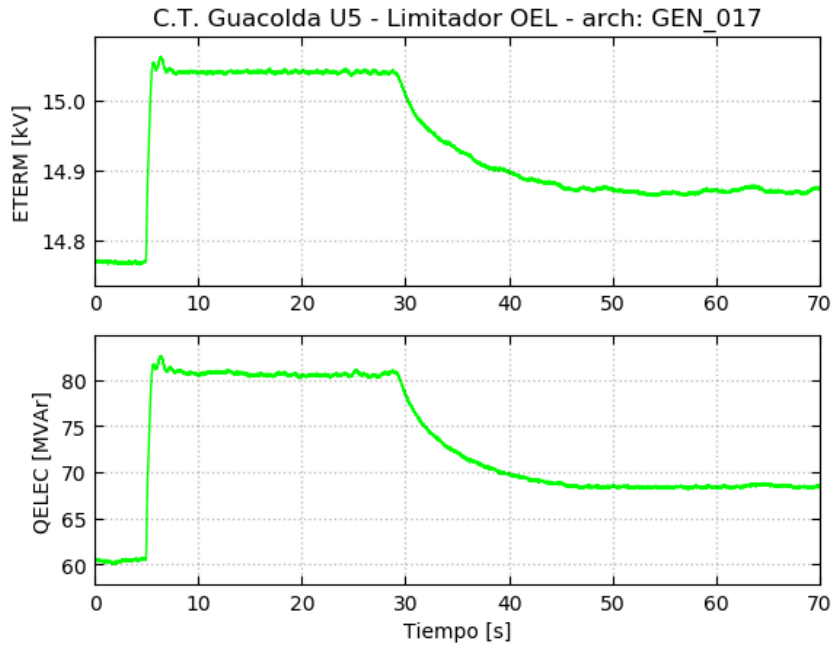


Figura 4-11 - Respuesta limitador OEL - $ETERM_o = 1.02 pu$ - Step = 2%

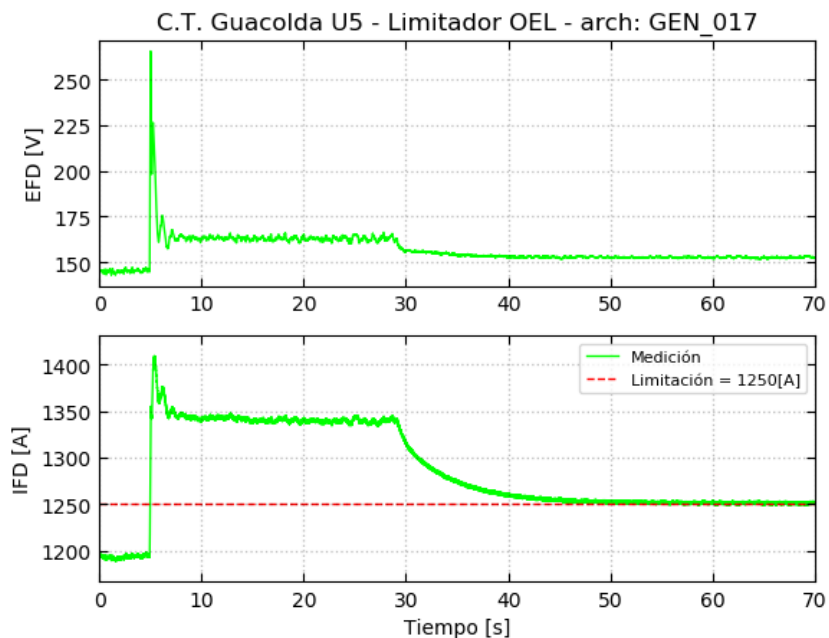


Figura 4-12 - Respuesta limitador OEL - Señales de campo



P5 CT = 156.2 MW

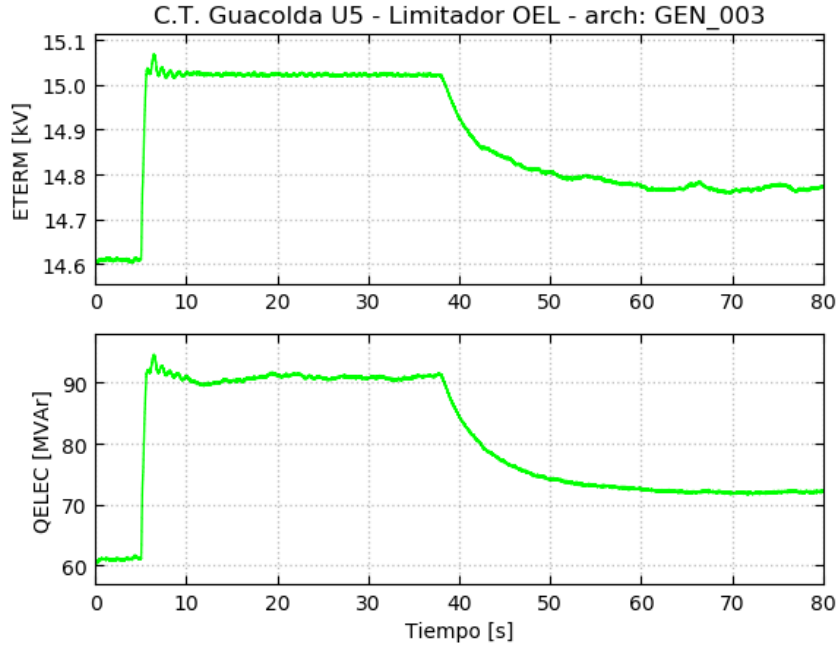


Figura 4-13 - Respuesta limitador OEL - $ETERM_o = 1.01 pu$ - Step = 3%

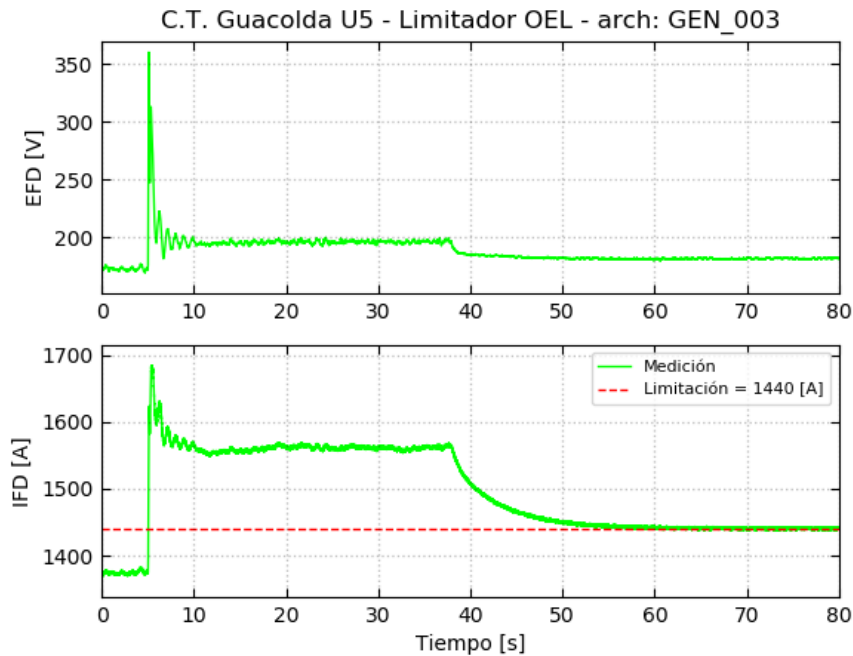


Figura 4-14 - Respuesta limitador OEL - Señales de campo



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 5 de la Central Térmica Guacolda.

4.3.1 Pruebas con la unidad en vacío

A partir de las pruebas en vacío de la unidad, 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 4-9 resume los parámetros obtenidos por cada unidad.

Parámetro	Requerimiento Normativo	Unidad 5
Sobreoscilación	< 15%	9.79 %
Tiempo de crecimiento	< 400 ms	130 ms
Tiempo de establecimiento	< 1.5 seg	0.83 seg
Error estacionario	< 0.25%	0%

Tabla 4-9 – Resultados respuesta temporal del lazo de regulación de tensión

4.3.2 Pruebas con la unidad conectada a la red

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

- **Limitador subexcitación (UEL):** Se verificó la correcta actuación del limitador en su seteo permanente. Se evidencia un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva absorbida por 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 verificó la correcta actuación del limitador 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 inyectada por la unidad.



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 unidad con la informada en el documento técnico **“EE-EN-2021-1716-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Guacolda_U5”** donde se han desarrollado y corregido las curvas de capacidad teóricas máximas informadas en la revisión A del documento anteriormente mencionado. La emisión de dicha revisión B se debe a que durante los ensayos se evidenció que la característica de UEL utilizada para el estudio difería levemente de la implementada en el AVR, por lo que se procedió a corregir los puntos de potencia reactiva objetivo para cada nivel de tensión y despacho de potencia activa.

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

Los ensayos consisten en pruebas estáticas, donde primero se intenta consignar la tensión objetivo en terminales y llegar al punto de potencia reactiva objetivo mediante la ayuda de las unidades restantes. Luego se solicita colaboración del CEN, para ajustar la tensión en la barra S/E Maitencillo 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-2021-1753-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_TER_Guacolda_U5**

Durante el desarrollo de las pruebas se solicitó colaboración al despacho en reiteradas oportunidades, los cuales se mostraron con total disposición para lograr ajustar la tensión en la barra S/E Maitencillo 220 kV con el propósito de llegar al punto de potencia reactiva objetivo, más allá de que en algunas ocasiones no se logró alcanzar el dicho punto.



5.1 Puntos operativos alcanzados

Luego de alcanzar cada punto operativo objetivo (P, Q, V) se registran las principales magnitudes durante al menos 15 minutos para comprobar la estabilidad en cada uno correspondiente a los puntos de plena carga (P5_CT) y, al menos 5 minutos para los restantes estados de carga. Para los casos en los que los puntos de la curva resultaron no ensayables, se muestra un registro de aproximadamente 3 minutos con el fin de demostrar el límite operable de la unidad según las restricciones del sistema.

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 5-1, la cual surge de la interpretación de la Figura 5-1.

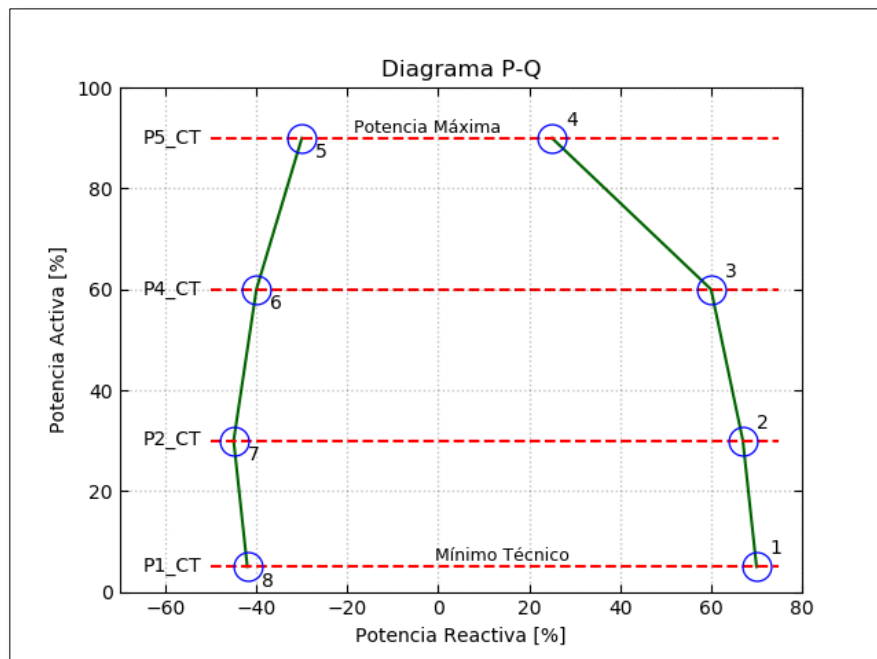


Figura 5-1: Puntos PQ referenciales a verificar en régimen estacionario para los 5 niveles de tensión

Despacho de Potencia Activa	Valor [MW]
P1_CT	38
P2_CT	77.4
P4_CT	116.8
P5_CT	156.2

Tabla 5-1: Nomenclatura utilizada para los distintos puntos operativos alcanzados



Las mediciones realizadas para los distintos niveles de tensión y diferentes puntos de despacho de potencia activa son presentados en los siguientes anexos:

- [9.1.1 Verificación curva PQ @ 0.9 pu](#)
- [9.1.2 Verificación curva PQ @ 0.95 pu](#)
- [9.1.3 Verificación curva PQ @ 1.00 pu](#)
- [9.1.4 Verificación curva PQ @ 1.05 pu](#)
- [9.1.5 Verificación curva PQ @ 1.10 pu](#)

A modo de resumen, en la Tabla 5-2 y Tabla 5-3 se presenta un detalle donde se contrastan los puntos operativos objetivo (P, Q, V) con los puntos alcanzados durante los ensayos para cada despacho de potencia activa y considerando la parte subexcitada y sobrecitada, respectivamente. En los casos en que no se alcanza la potencia reactiva objetivo, se representa con color **rojo** la potencia reactiva alcanzada.



<i>Subexcitación²</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>
0.90³	P1_CT = 38 MW	-45.9	-48.8	0.91
	P2_CT = 77.4 MW	-37.4	-39.2	0.91
	P4_CT = 116.8 MW	-28.9	-31.2	0.91
	P5_CT = 156.2 MW	-20.5	-21.1	0.91
0.95	P1_CT = 38 MW	-51.4	-23.4	0.95
	P2_CT = 77.4 MW	-41.9	-20.5	0.95
	P4_CT = 116.8 MW	-32.5	-30.3	0.93
	P5_CT = 156.2 MW	-23.0	-21.6	0.92
1.00	P1_CT = 38 MW	-57.1	36.6	1.00
	P2_CT = 77.4 MW	-46.6	34.4	1.00
	P4_CT = 116.8 MW	-36.2	38.1	1.00
	P5_CT = 156.2 MW	-25.7	40.5	1.00
1.05	P1_CT = 38 MW	-63.2	82.5	1.05
	P2_CT = 77.4 MW	-51.6	83.1	1.05
	P4_CT = 116.8 MW	-40.1	87.2	1.05
	P5_CT = 156.2 MW	-28.5	89.4	1.05
1.10⁴	P1_CT = 38 MW	-69.5	-	-
	P2_CT = 77.4 MW	-56.8	-	-
	P4_CT = 116.8 MW	-44.1	-	-
	P5_CT = 156.2 MW	-31.5	-	-

Tabla 5-2: Resumen de puntos operativos alcanzados - zona de subexcitación

² Los puntos de potencia reactiva objetivos fueron corregidos y presentados en la nueva revisión del documento técnico "EE-EN-2021-1716-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Guacolda_U5".

³ Debido a la imposibilidad de llegar a 0.90 pu de tensión de terminales del generador por protección de subtensión seteado en 0.90, se verifica la curva en valores cercanos por encima de 0.90 pu (0.91 pu)

⁴ Debido a la imposibilidad de llegar a 1.10 pu de tensión de terminales del generador por limitador de V/Hz seteado en 1.05 y protección de V/Hz seteado en 1.07 pu, no se logra verificar la curva ni registrar en valores cercanos por encima de 1.05 pu.



Sobrexcitación				
Tensión objetivo en Terminales [p.u.]	Despacho potencia activa	Potencia reactiva objetivo [MVAR]	Potencia reactiva alcanzada [MVAR]	Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]
0.90⁵	P1_CT = 38 MW	147.5	-28.2	0.91
	P2_CT = 77.4 MW	138.5	-20.1	0.91
	P4_CT = 116.8 MW	113.7	-13.5	0.91
	P5_CT = 156.2 MW	46.7	-12.7	0.91
0.95	P1_CT = 38 MW	142.8	3.4	0.95
	P2_CT = 77.4 MW	134.5	12.6	0.95
	P4_CT = 116.8 MW	119.6	17.5	0.95
	P5_CT = 156.2 MW	72.1	12.6	0.95
1.00	P1_CT = 38 MW	135.3	58.1	1.00
	P2_CT = 77.4 MW	127.5	67.6	1.00
	P4_CT = 116.8 MW	113.7	71.4	1.00
	P5_CT = 156.2 MW	91.6	90.8	1.03
1.05	P1_CT = 38 MW	124.8	98.1	1.05
	P2_CT = 77.4 MW	117.5	112.3	1.05
	P4_CT = 116.8 MW	104.5	105.5	1.04
	P5_CT = 156.2 MW	84.9	86.4	1.04
1.10⁶	P1_CT = 38 MW	111.2	-	-
	P2_CT = 77.4 MW	104.3	-	-
	P4_CT = 116.8 MW	92.1	-	-
	P5_CT = 156.2 MW	73.8	-	-

Tabla 5-3: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de sobrexcitación

⁵ Debido a la imposibilidad de llegar a 0.90 pu de tensión de terminales del generador por protección de subtensión seteado en 0.90, se verifica la curva en valores cercanos por encima de 0.90 pu (0.91 pu)

⁶ Debido a la imposibilidad de llegar a 1.10 pu de tensión de terminales del generador por limitador de V/Hz seteado en 1.05 y protección de V/Hz seteado en 1.07 pu, no se logra verificar la curva ni registrar en valores cercanos por encima de 1.05 pu.



5.1.1 Análisis

A partir de la Tabla 5-2, Tabla 5-3, 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 por fuera del rango de operación normal.

Por lo tanto, en función de los resultados de dicha sección, se resume en la Tabla 5-4, 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_CT=45 MW	No ensayable. Alcanzado aumentando tensión del generador	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable
P2_CT=81.3 MW	No ensayable. Alcanzado aumentando tensión del generador	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable
P4_CT=117.6 MW	No ensayable. Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado disminuyendo tensión del generador	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable
P5_CT=153.9 MW	No ensayable. Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado disminuyendo tensión del generador	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable

Tabla 5-4 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de subexcitación



Despacho potencia activa	Sobrecitación				
	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_CT=45 MW	No ensayable. No alcanzado ni aumentando la tensión del generador.	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable
P2_CT=81.3 MW	No ensayable. No alcanzado ni aumentando la tensión del generador.	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable
P4_CT=117.6 MW	No ensayable. No alcanzado ni aumentando la tensión del generador.	No alcanzado	No alcanzado	Alcanzado	No ensayable
P5_CT=153.9 MW	No ensayable. No alcanzado ni aumentando la tensión del generador.	No alcanzado	Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado	No ensayable

Tabla 5-5 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de sobrecitación

Donde:

- **Alcanzado:** Se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que pudieron ser alcanzados a la tensión objetivo en bornes del generador.
- **No Ensayable:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no se lograron verificar debido a una restricción operativa de la unidad (ej. ajuste protecciones o limitadores)
- **Alcanzado 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 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 alcanzado:** 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 algunos de los puntos objetivos producto de las restricciones del SEN, se puede afirmar que las curvas de capacidad de la unidad pueden operar establemente en sus puntos extremos de potencia reactiva en tres 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.

5.2 Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad de la unidad han sido calculadas y corregidas justificadamente en el informe técnico *“EE-EN-2021-1716-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Guacolda_U5”*.

Cabe mencionar que para el nivel de tensión de 1.1 p.u. en bornes de generador no es posible operar la unidad porque existe un límite sobreflujo (VHz) seteado en 1.05 p.u. y la protección de sobreflujo (VHz) seteado en 1.07 p.u., que impide alcanzar dicho valor. Por otro lado, para el nivel de tensión de 0.9 p.u. se cuenta con una protección de subtensión seteada en 0.9 p.u. lo que también impide llegar a este valor. De esta manera se descarta la operación, y por ende, la generación de la curva de capacidad para ambos niveles de tensión en bornes de generador.

A continuación, se presentan las curvas de capacidad definidas para cada nivel de tensión operable en la unidad 5 de la Central Térmica Guacolda.



Se muestran las siguientes curvas:

- Curva de máxima potencia reactiva inyectada teórica (trazo violeta segmentado)
- Corriente nominal de estator (trazo verde oscuro continuo)
- Ajuste de limitador OEL (trazo violeta oscuro segmentado)
- Protección de pérdida de excitación (trazo azul continuo)
- Estabilidad teórica (trazo azul segmentado)
- Ajuste de limitador UEL (trazo rojo segmentado)
- Potencia máxima (trazo negro continuo)
- Mínimo técnico (trazo naranja continuo)
- Factor de potencia nominal (trazo rojo 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.



5.2.1 Diagramas PQ de la unidad

Tensión en Terminales 0.95 p.u.

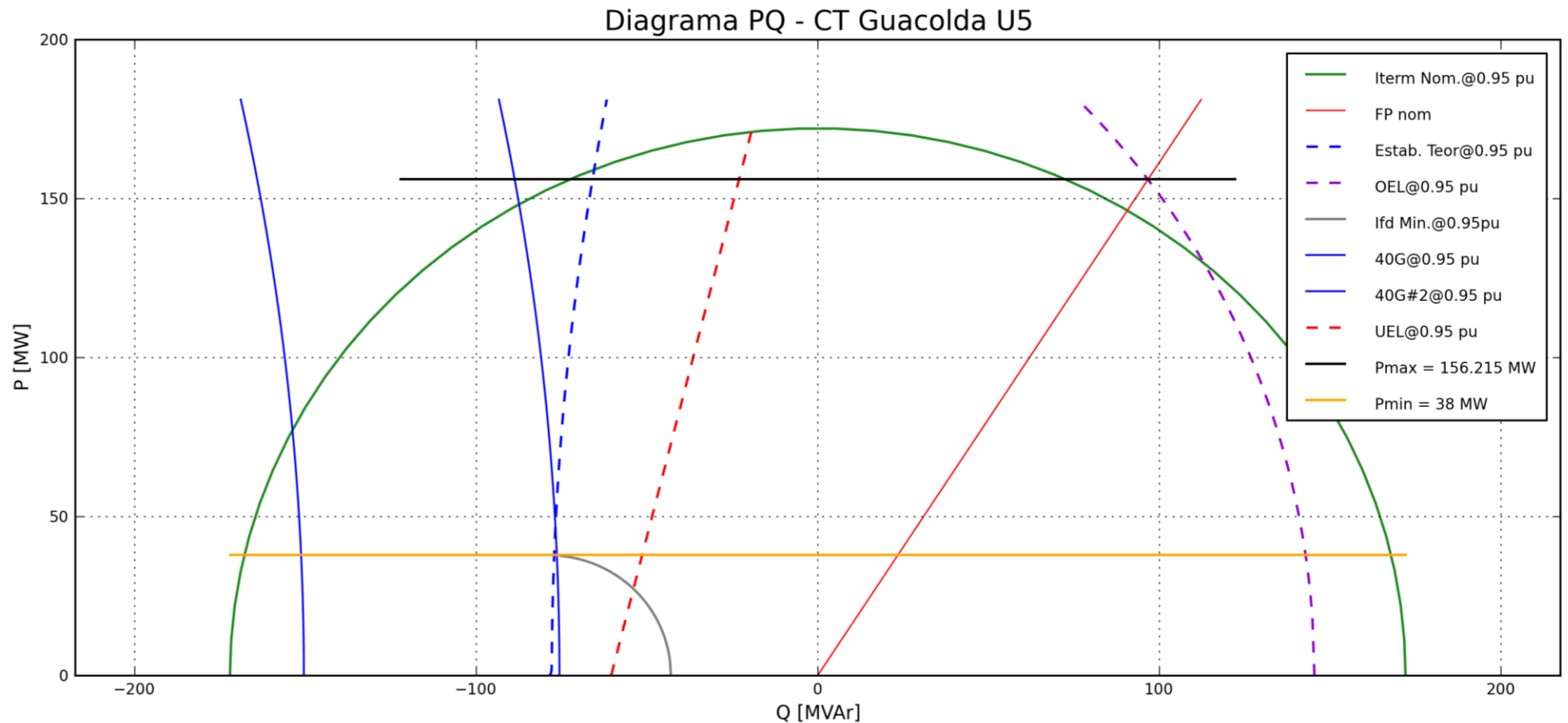


Figura 5-2: Diagrama PQ teórico - ETERM = 0.95 p.u.



Tensión en Terminales 1.00 p.u.

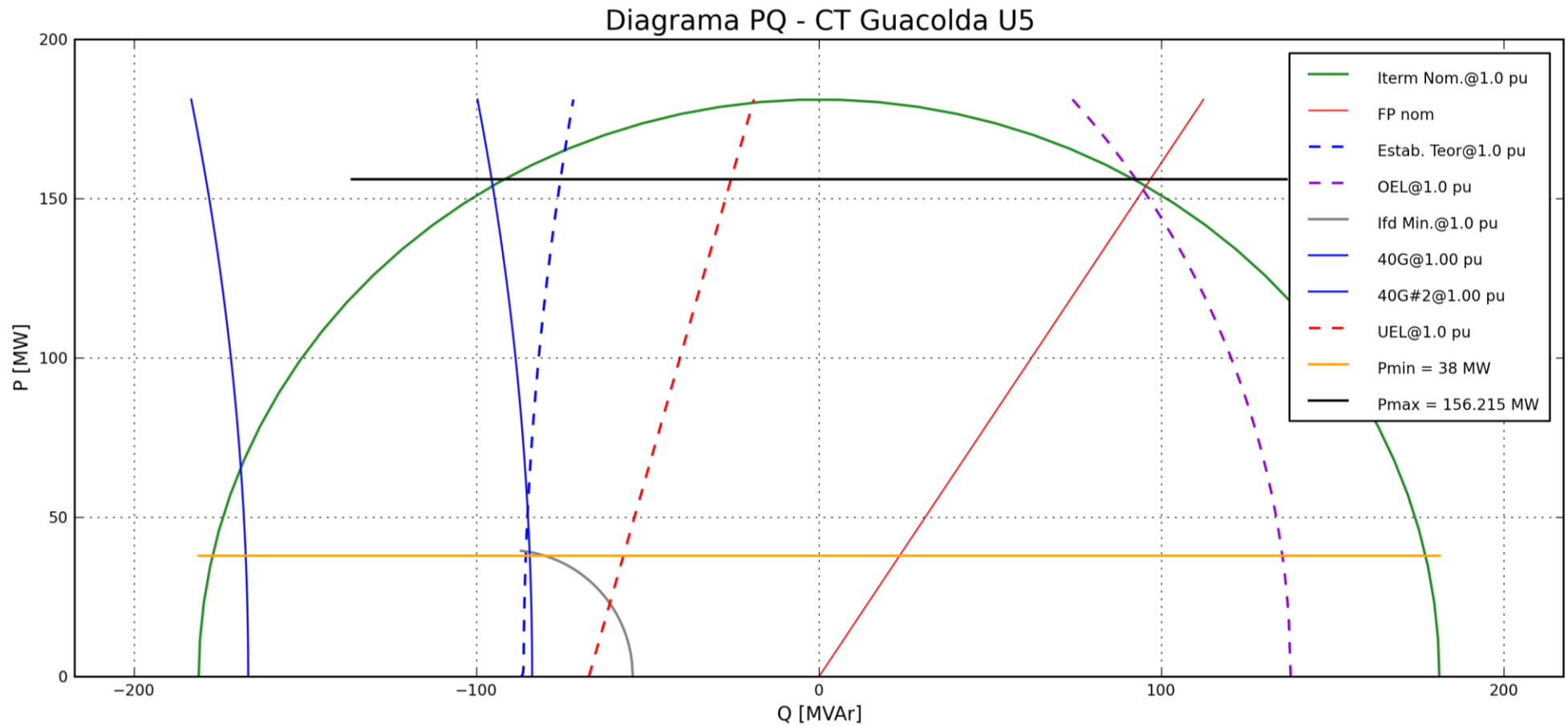


Figura 5-3: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.00 p.u.



Tensión en Terminales 1.05 p.u.

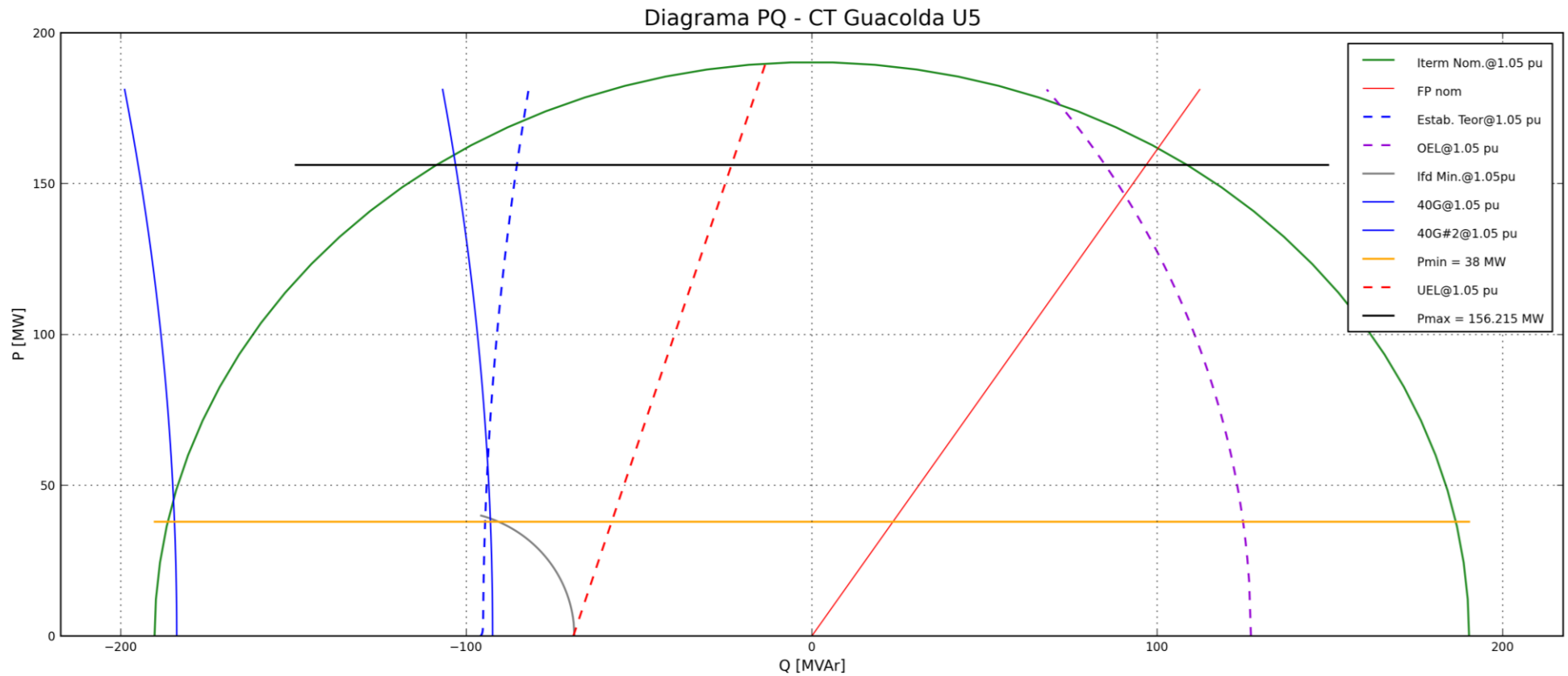


Figura 5-4: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.05 p.u.



5.2.2 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-2022-0023-RA-Curva_PQ_Final_CT_Guacolda_U5.xlsx”*

Potencia [MW]	Tensión [pu]	38.0	76.6	115.3	153.9	153.9	115.3	76.6	38.0
Unidad 5 [MVar] (0.9Vpu)	0.9	No operable							
Unidad 5 [MVar] (0.95Vpu)	0.95	-51.4	-41.9	-30.3	-21.6	72.1	119.6	134.5	142.8
Unidad 5 [MVar] (1 Vpu)	1	-57.1	-46.6	-36.2	-25.7	90.8	113.7	127.5	135.3
Unidad 5 [MVar] (1.05Vpu)	1.05	-63.2	-51.6	-40.1	-28.5	86.4	105.5	117.5	124.8
Unidad 5 [MVar] (1.1Vpu)	1.1	No operable							

Tabla 5-6: Resumen de valores curvas PQ



5.2.3 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.90 pu⁷

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo	Q obtenida	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación [MVar]	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	29/11/2021	10:51	10:55	38	147,5	38,3	-28,2	13,26	52,3	430	175,7	-	Punto no alcanzado
2	30/11/2021	06:08	06:12	77,4	138,5	77,4	-20,1	13,22	76,7	640	158,6	-	Punto no alcanzado
3	30/11/2021	04:02	04:06	116,8	113,7	116,8	-13,5	13,25	108,5	860	127,2	-	Punto no alcanzado
4	30/11/2021	01:32	01:36	156,2	46,7	155.3	-12,7	13,26	130,9	1078	59,4	-	Punto no alcanzado
5	30/11/2021	01:42	01:57	156,2	-20.5	155.7	-21,1	13,29	128,1	1050	0.6	Actúa Limite UEL	-
6	30/11/2021	04:21	04:26	116,8	-28.9	117,7	-31,2	13,28	97,7	815	2.3	Actúa Limite UEL	-
7	30/11/2021	06:19	06:24	77,4	-37.4	76,3	-39,2	13,21	67,7	566	1.8	Actúa Limite UEL	-
8	29/11/2021	11:21	11:26	38	-45.9	38,2	-48,8	13,28	39,4	338	2.9	Actúa Limite UEL	-

Tabla 5-7: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 0.90 pu

⁷ Dado que no es posible alcanzar la tensión en terminales de la unidad de 0.90 pu, se verifica que para tensiones de 0.91 p.u, en bornes, no existen restricciones operativas por parte de la unidad.



5.2.4 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 pu

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo	Q obtenida	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación [MVar]	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	29/11/2021	10:40	10:44	38	142,8	38.1	3,4	13,75	73,2	606	139,4	-	Punto no alcanzado
2	30/11/2021	06:01	06:05	77,4	134,5	77,1	12,6	13,73	98,1	794	121,9	-	Punto no alcanzado
3	30/11/2021	03:54	03:58	116,8	119,6	117,1	17,5	13,74	125,9	884	102,1	-	Punto no alcanzado
4	30/11/2021	01:23	01:27	156,2	72,1	154,9	12,6	13.69	139,7	1145	59,5	-	Punto no alcanzado
5	30/11/2021	02:10	02:25	156,2	-23.0	155,1	-21,6	13.59	128,3	1047	-1,4	Actúa Limite UEL	Punto alcanzado disminuyendo la tensión de terminales a 0,935 pu
6	30/11/2021	04:40	04:45	116,8	-32,5	116,9	-30,3	13,55	97,6	815	-2,2	Actúa Limite UEL	Punto alcanzado disminuyendo la tensión de terminales a 0,92 pu
7	30/11/2021	04:28	04:32	77,4	-41,9	76,8	-20,5	13,71	76,1	654	-21.4	-	Punto no alcanzado
8	29/11/2021	11:29	11:33	38	-51,4	37,9	-23,4	13,7	55,9	476	-28	-	Punto no alcanzado

Tabla 5-8: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 0.95 pu



5.2.5 Ensayos de curva PQ para tensión de terminales 1.00 pu

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVA]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación [MVA]	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVA]								
1	29/11/2021	10:30	10:34	38	135,3	37,9	58,1	14,57	123,7	1005	77,2	-	Punto no alcanzado
2	30/11/2021	05:54	05:58	77,4	127,5	76,9	67,6	14,55	144,1	1151	59,9	-	Punto no alcanzado
3	30/11/2021	03:46	03:50	116,8	113,7	117,2	71,4	14,55	169,3	1294	42,3	-	Punto no alcanzado
4	29/11/2021	07:38	07:53	156,2	91,6	153,5	90,8	14,9	198	1520	0,8	Actúa limite OEL	Punto alcanzado aumentando la tensión de terminales a 1,04 pu
5	30/11/2021	02:32	02:36	156,2	-25,7	155,4	40,5	14,51	157,4	1274	-68	-	Punto no alcanzado
6	30/11/2021	04:53	04:57	116,8	-36,2	117,1	38,1	14,53	131,8	1109	-76,1	-	Punto no alcanzado
7	30/11/2021	04:35	04:39	77,4	-46,6	77,2	34,4	14,52	108,6	947	-82,8	-	Punto no alcanzado
8	29/11/2021	11:42	11:46	38	-57,1	37,9	36,6	14,53	102,4	882	-95,5	-	Punto no alcanzado

Tabla 5-9: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.00 pu



5.2.6 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.05 pu

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P [MW]	Q obtenida Q [MVar]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación [MVar]	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	29/11/2021	10:22	10:24	38	124,8	38,3	98,1	15.12	165,1	1333	26,7	-	Punto no alcanzado
2	30/11/2021	05:44	05:50	77,4	117,5	77,3	112,3	15,2	196,7	1508	5,2	-	Punto no alcanzado
3	30/11/2021	03:37	03:42	116,8	104,5	117,2	105,5	15,01	201,8	1525	1	Actúa limite OEL	-
4	29/11/2021	06:55	07:10	156,2	84,9	154,4	86,4	15,01	202,7	1565	1.5	Actúa limite OEL	-
5	30/11/2021	02:42	02:46	156,2	-28,5	155,2	89,4	15,14	196,7	1565	-117,9	-	Punto no alcanzado
6	30/11/2021	05:04	05:09	116,8	-40,1	116,9	87,2	15,13	177,8	1423	-127,3	-	Punto no alcanzado
7	30/11/2021	06:44	06:48	77,4	-51,6	77,2	83,1	15,14	157,1	1308	-134,7	-	Punto no alcanzado
8	29/11/2021	11:52	11:56	38	-63,2	38,2	82,5	15.14	149	1238	-145,7	-	Punto no alcanzado

Tabla 5-10: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.05 pu



6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA

El objetivo de estos ensayos es verificar la respuesta del controlador potencia/frecuencia de la unidad ante grandes y pequeñas variaciones de la frecuencia vista por el control, considerando los requerimientos definidos en la NT SSSC vigente, y teniendo en consideración su comportamiento para condición en estado normal y contingencia.

Considerando un bloque de reserva del 5% de la potencia máxima de la unidad se trabajó con los siguientes despachos de potencia.

<i>Despacho de Potencia Activa</i>	<i>Valor [MW]</i>
P1_CPF	45.8
P2_CPF	80.0
P4_CPF	114.2
P5_CPF	148.4

Tabla 6-1: Despachos de potencia activa de la unidad para las pruebas



6.1 Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones tipo escalón

A fin de verificar el cumplimiento de lo establecido por la Guía Técnica, se verifica la respuesta de la unidad ante variaciones rápidas de la frecuencia vista por el control.

En la Figura 6-1 se puede observar un diagrama de bloques de la lógica de control encargada de hacer regulación primaria de frecuencia.

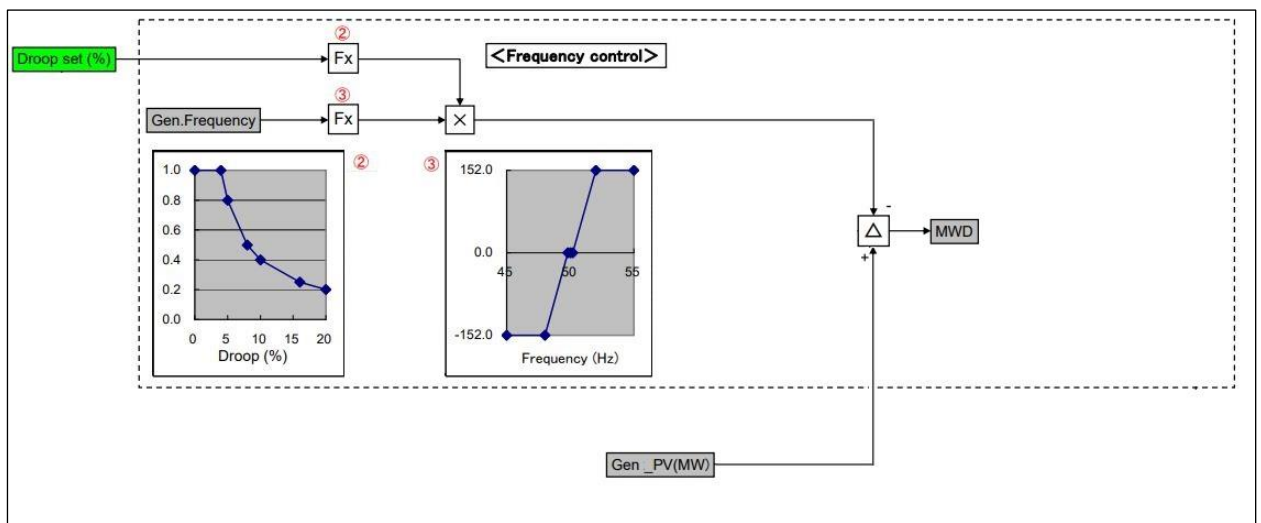


Figura 6-1: Lógica de control de RPF

Cada uno de los ensayos se compone de dos (2) escalones de frecuencia; escalones de signo positivo y negativo de 0.2 Hz y, por otro lado, escalones de signo positivo y negativo de 0.7 Hz. Los ensayos se realizan en cada uno de los niveles de potencia definidos en la Tabla 6-1 y se llevan a cabo con el estatismo en su valor actual (6.5%) y en su mínimo ajustable en el regulador de potencia/velocidad (4%). Además, se considera la banda muerta en su ajuste actual de ± 25 mHz para todos los estados de carga.

Los escalones aplicados tienen una duración aproximada de 6 minutos, con el fin de evidenciar el correcto establecimiento de la unidad y que su aporte es sostenido en el tiempo, además de verificar el cumplimiento de la guía técnica.

Para llevar a cabo estos ensayos, se fuerza un cambio de tipo escalón en la frecuencia vista por el control (FVC).



De acuerdo a la información relevada en terreno, la unidad posee una parametrización dinámica sobre el PI que actúa sobre el lazo de regulación de frecuencia. Esta parametrización depende de la demanda de potencia actual y está determinada por las curvas mostradas en la Figura 6-2 y Figura 6-3, las cuales representan los valores de K_p y K_i , respectivamente.

Nombre	Antiguo	Nuevo	Nombre	Antiguo	Nuevo
X1	0	0	Y1	1.7	1.7
X2	60	60	Y2	1.7	1.7
X3	100	100	Y3	1.43	1.43
X4	200	200	Y4	1.25	1.25
X5	0	0	Y5	0	0
X6	0	0	Y6	0	0
X7	0	0	Y7	0	0
X8	0	0	Y8	0	0
X9	0	0	Y9	0	0
X10	0	0	Y10	0	0

Figura 6-2 Parametrización dinámica de la constante proporcional K_p

Nombre	Antiguo	Nuevo	Nombre	Antiguo	Nuevo
X1	0	0	Y1	70	70
X2	75	75	Y2	70	70
X3	100	100	Y3	90	90
X4	116	116	Y4	90	90
X5	156	156	Y5	90	90
X6	200	200	Y6	90	90
X7	0	0	Y7	0	0
X8	0	0	Y8	0	0
X9	0	0	Y9	0	0
X10	0	0	Y10	0	0

Figura 6-3 Parametrización dinámica de la constante integral K_i



Limitación ante saltos de ± 0.7 Hz

De acuerdo a lo evidenciado al momento de realizar las pruebas sobre la unidad 4, ante un salto de -0.7 Hz sobre la frecuencia vista por el control, según se detalla en el documento “**EE-EN-2021-2095-RB_Informe_Final_SSCC_CT_Guacolda_U4**”, la gerencia técnica de Guacolda considera el mismo criterio y decide no realizar escalones de gran amplitud en la unidad 5, por no poner en riesgo la unidad ni la estabilidad del proceso. Estudios Eléctricos evidencia el riesgo y acepta la decisión como un desvío al procedimiento adoptando como metodología segura para las pruebas realizar escalones en la frecuencia vista por el control de tal magnitud y estatismo, que no se llegue a superar los 20 MW de variación de potencia. Lo anterior corresponde a escalones de 0.3 Hz, 0.4 Hz y 0.5 Hz dependiendo el estatismo configurado a la hora de realizar la prueba.



Despacho P1_CPF – Estatismo 6.5%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 6.5%.

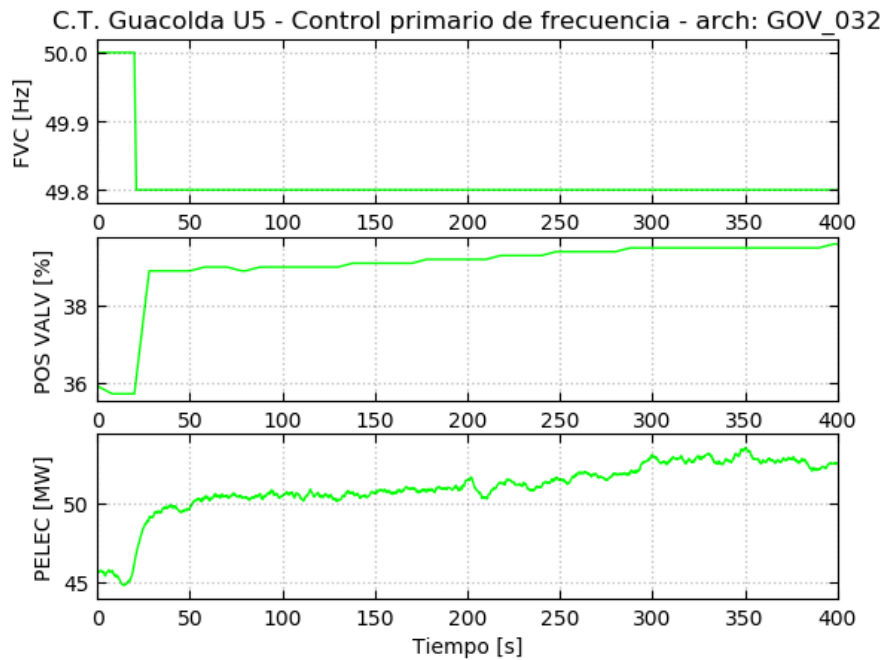


Figura 6-4: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 45 MW

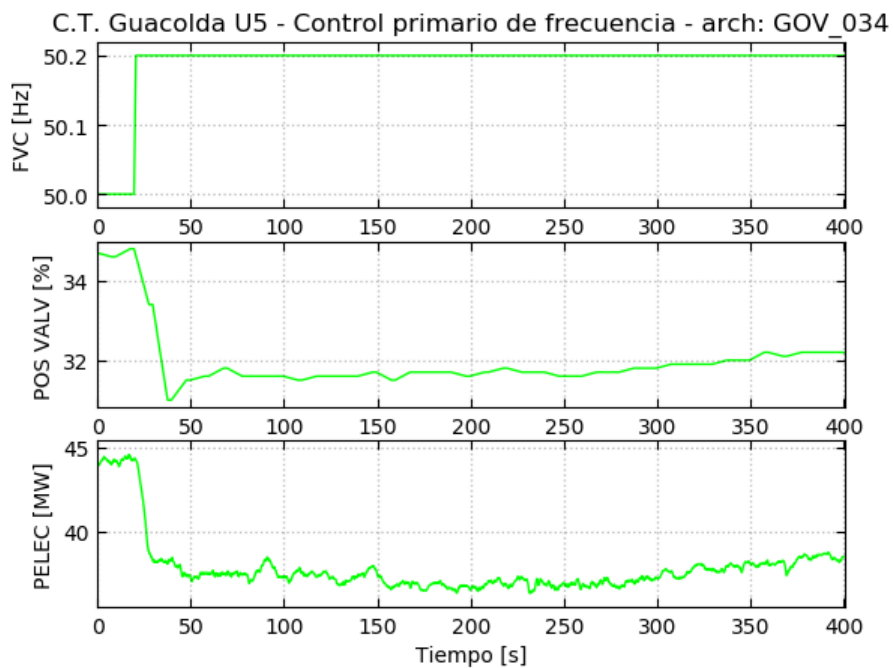


Figura 6-5: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 45 MW

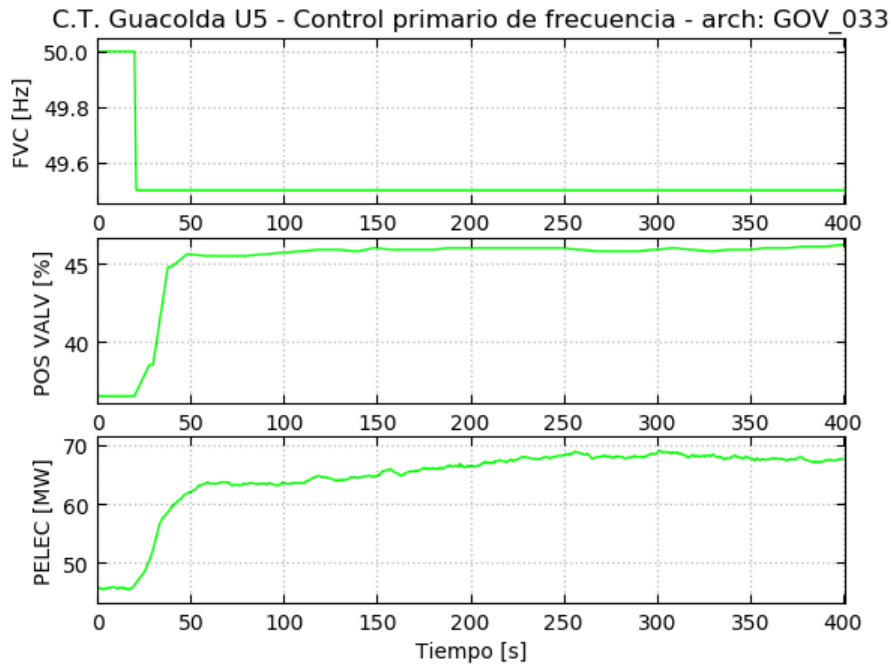


Figura 6-6: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.5 Hz - PELECo = 45 MW

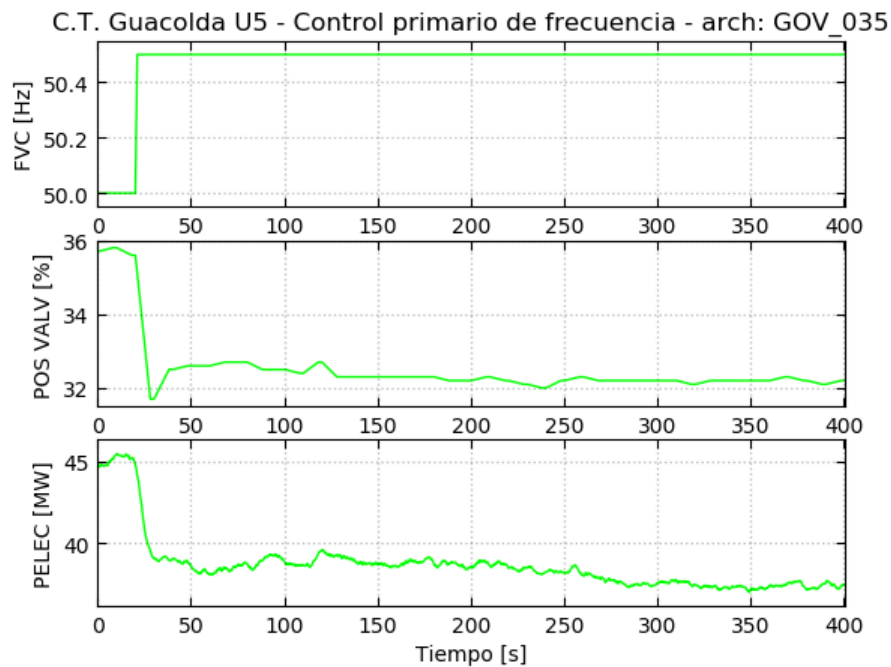


Figura 6-7: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.5 Hz - PELECo = 45 MW

Según se puede observar en las figuras anteriores, se evidencia que la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Despacho P1_CPF – Estatismo 4%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 4%.

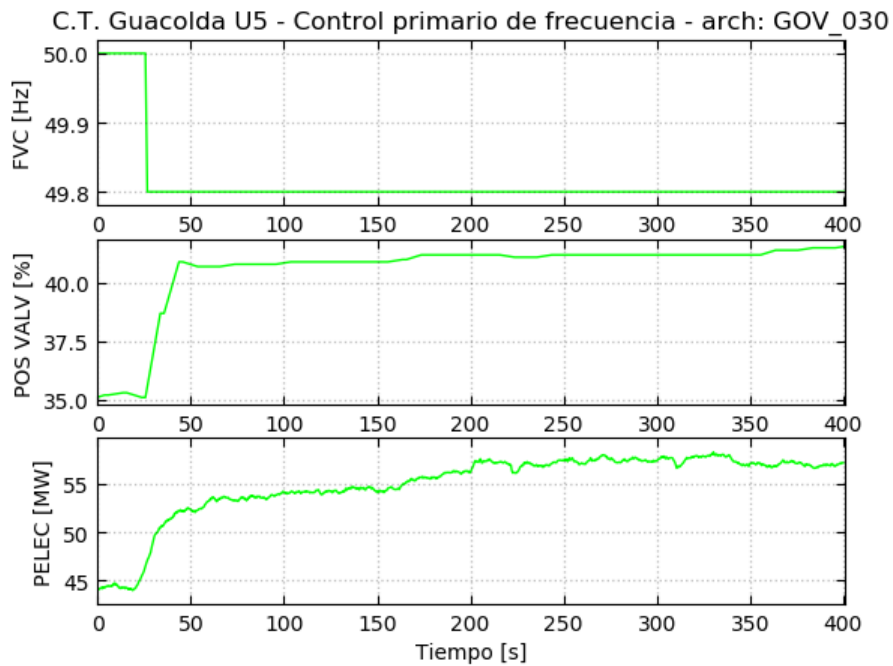


Figura 6-8: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 45 MW

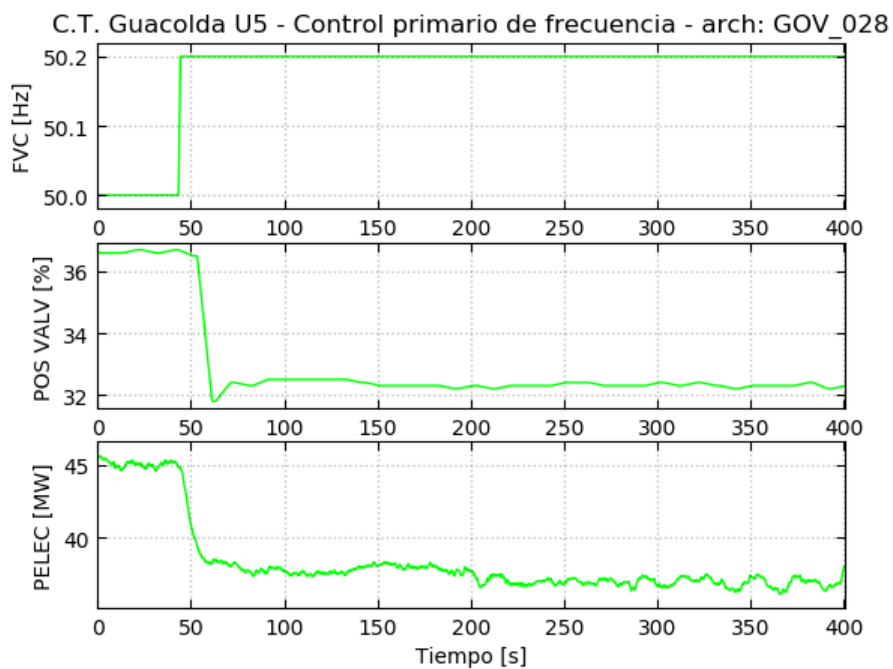


Figura 6-9: Respuesta al escalón en FVC – Step = 0.2 Hz – PELECo = 45 MW

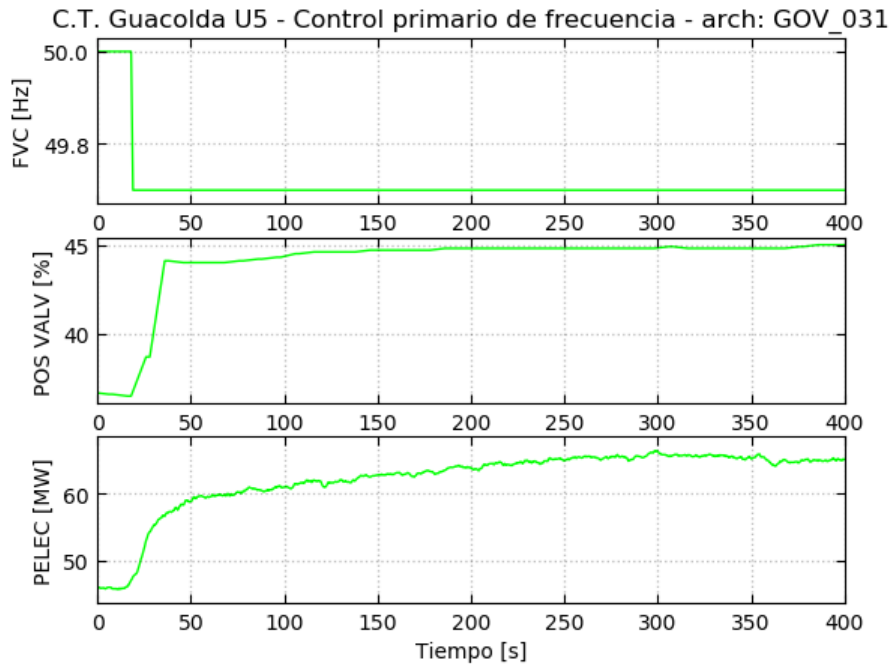


Figura 6-10: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.3 Hz – PELECo = 45 MW

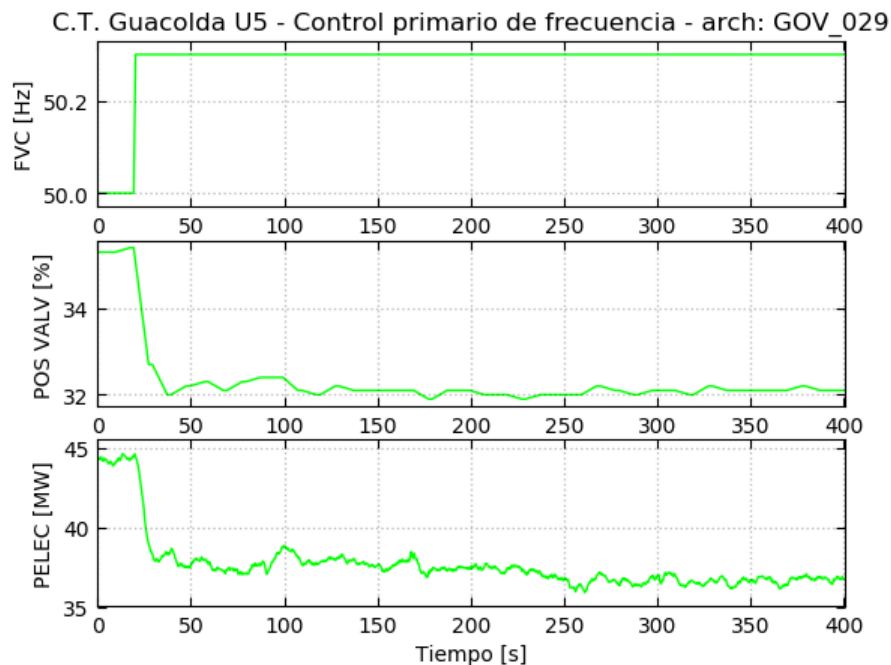


Figura 6-11: Respuesta al escalón en FVC – Step = 0.3 Hz – PELECo = 45 MW

Según se puede observar en las figuras anteriores, se evidencia que la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Cabe mencionar además que, en la Figura 6-9 y Figura 6-11 se observa que a pesar de tener el droop seteado en 4% ante saltos de 0.2 Hz y 0.3 Hz respectivamente, la potencia queda limitada por el límite de potencia mínima seteado en 38 MW.

Despacho P2_CPF – Estatismo 6.5%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 6.5%.

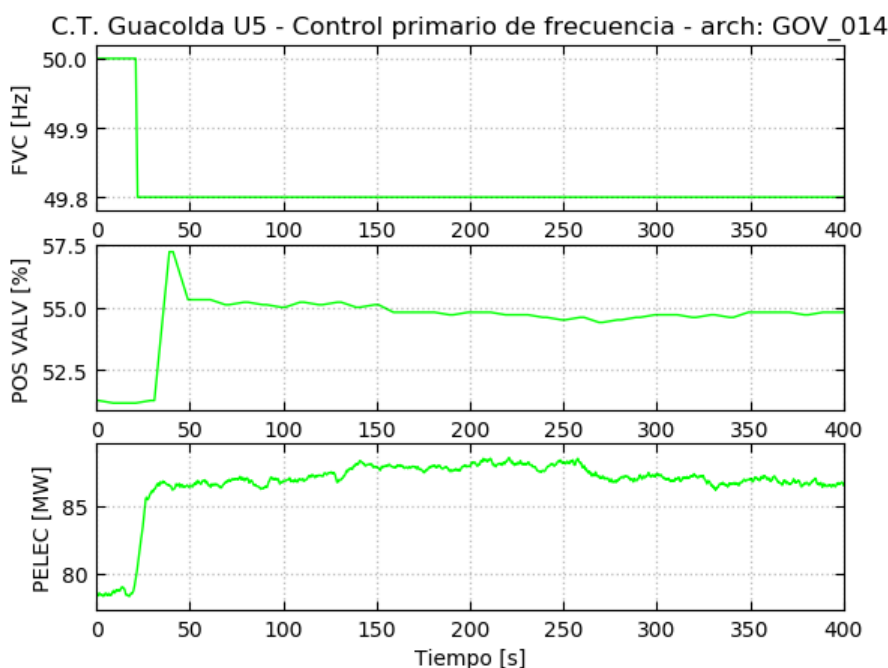


Figura 6-12: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 79MW

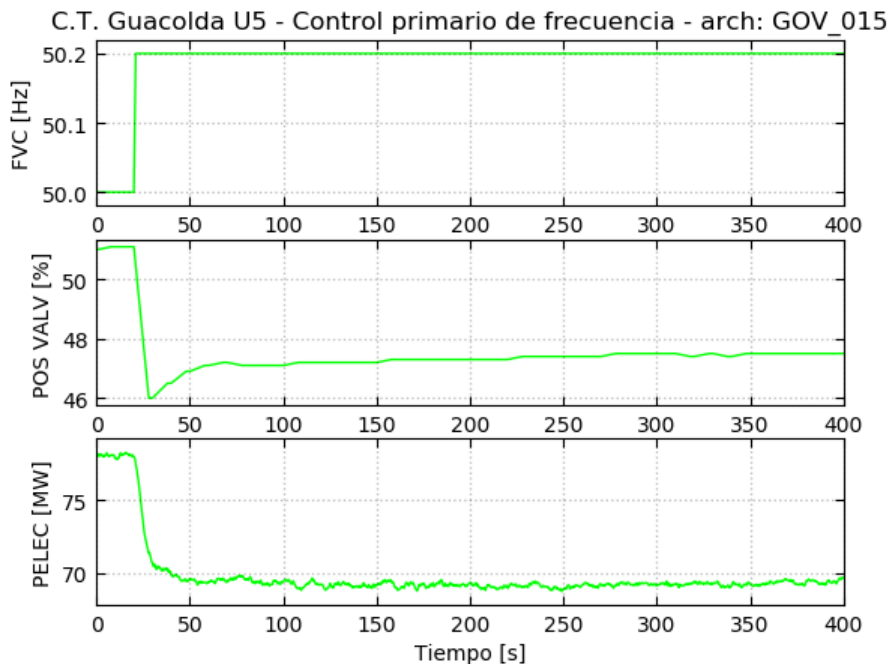
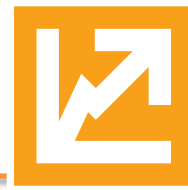


Figura 6-13: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 79 MW

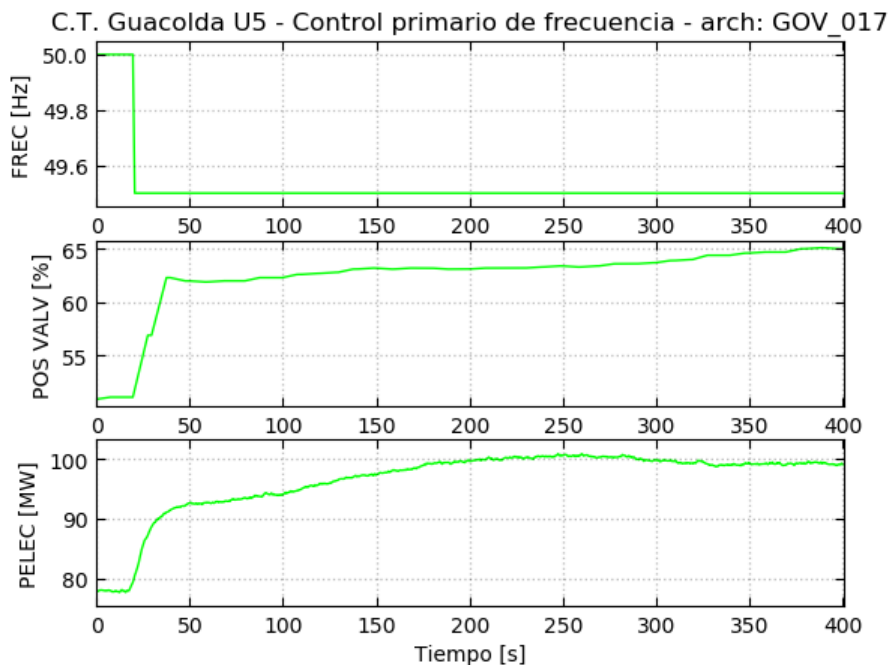


Figura 6-14: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.5 Hz - PELECo = 79 MW

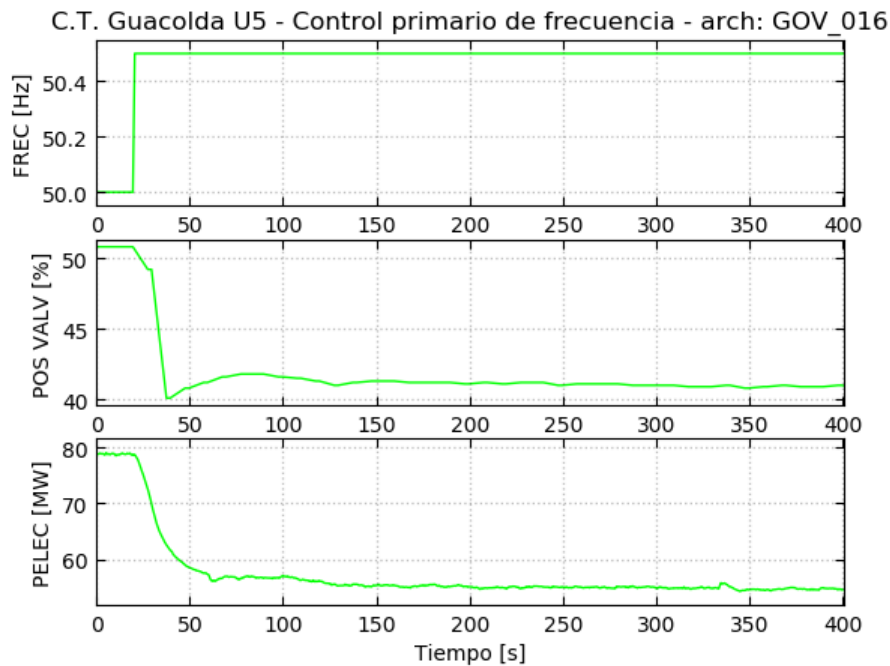


Figura 6-15: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.5 Hz – PELECo = 80 MW

Según se puede observar en la Figura 6-14 y Figura 6-15, para escalones de -0.5 Hz y +0.5 Hz respectivamente, la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.

Despacho P2_CPF – Estatismo 4%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 4%.

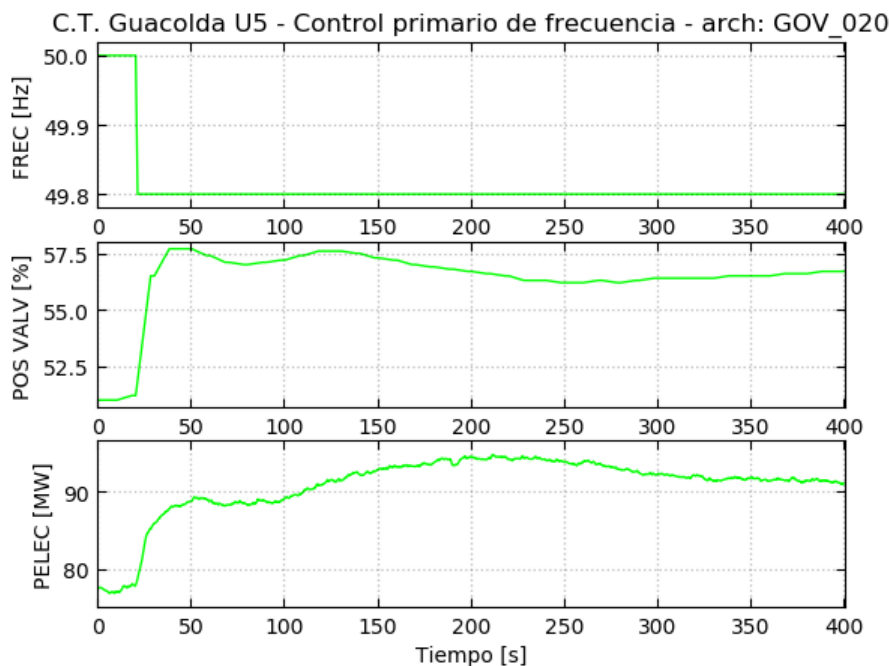


Figura 6-16: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 79 MW

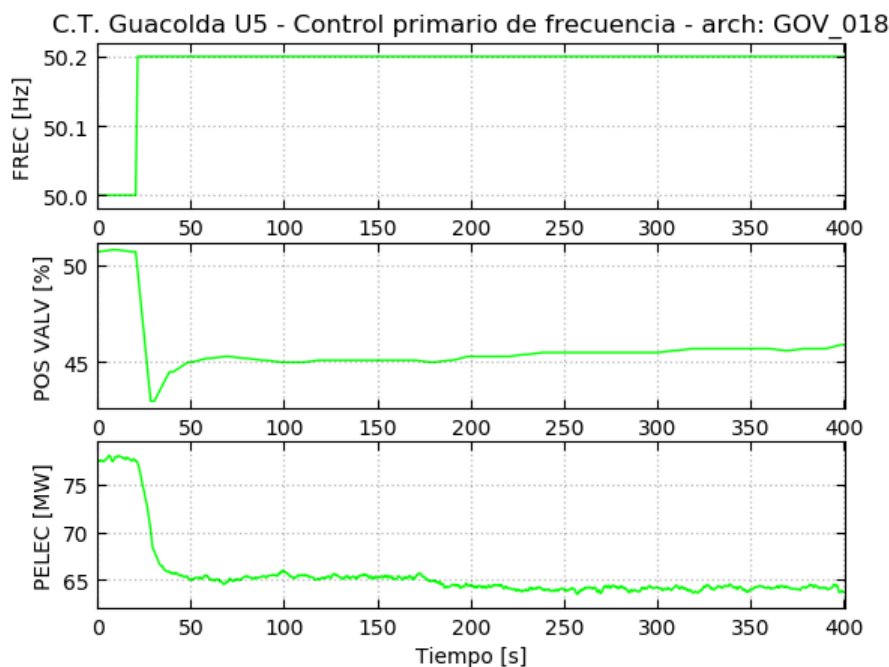


Figura 6-17: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 79 MW

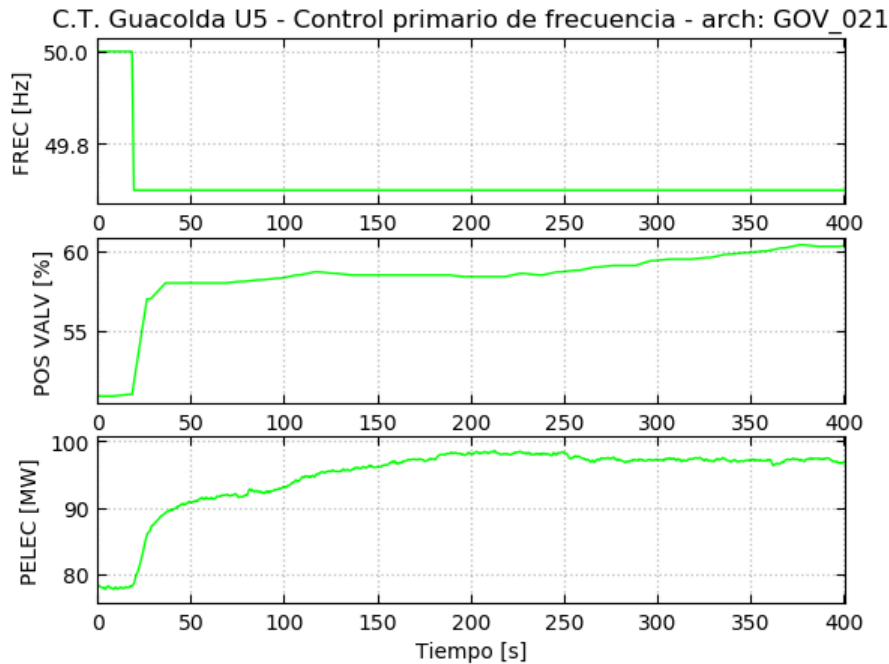


Figura 6-18: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.3 Hz – PELECo = 79 MW

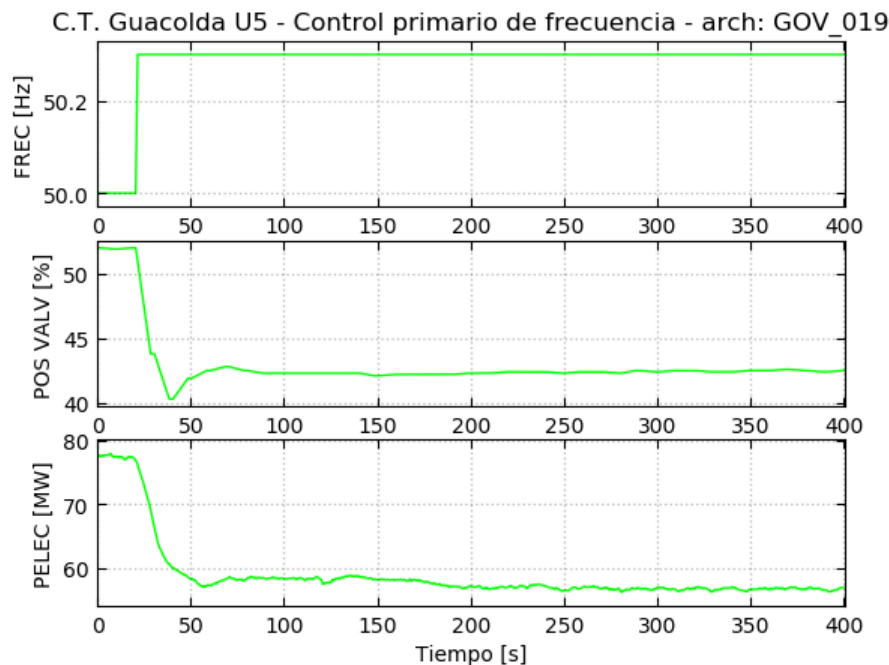


Figura 6-19: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.3 Hz – PELECo = 79 MW

Según se puede observar en las figuras anteriores, se evidencia que la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Despacho P4_CPF – Estatismo 6.5%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 6.5%.

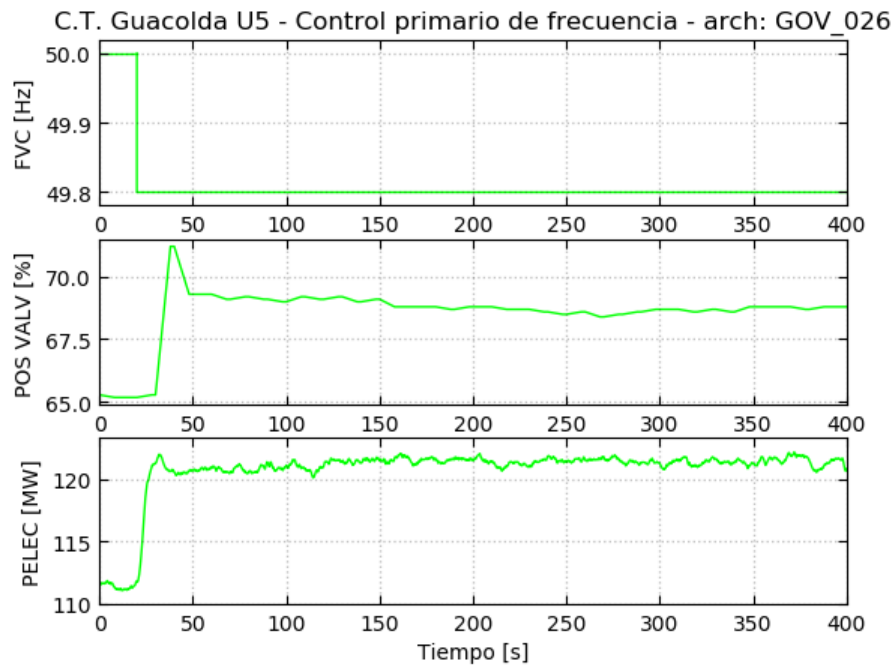


Figura 6-20: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 112 MW

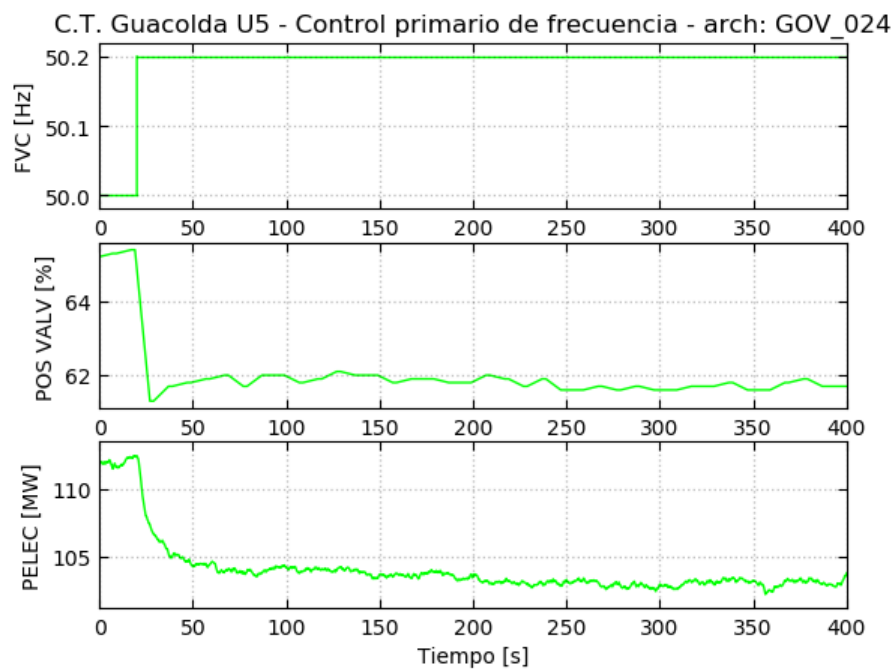


Figura 6-21: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 112 MW

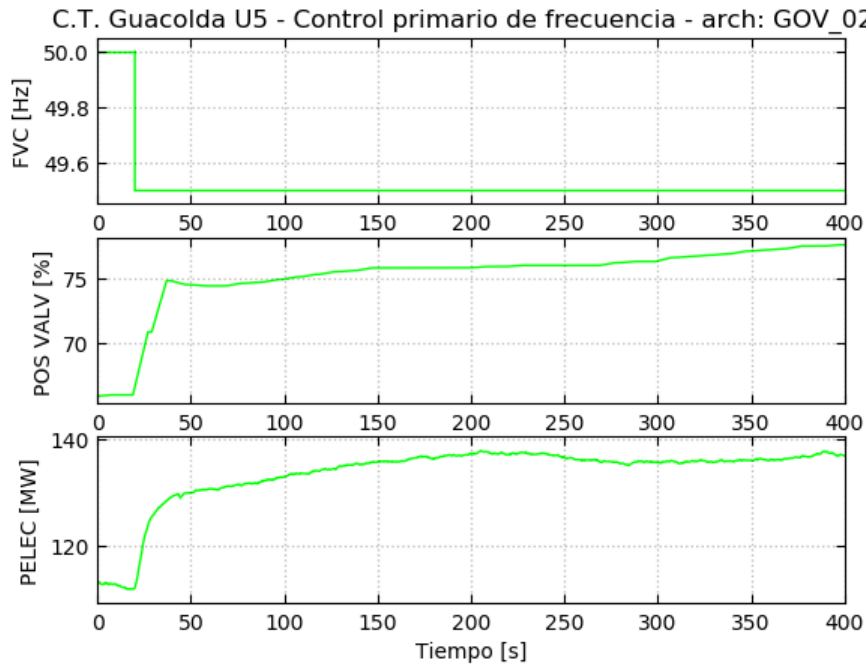


Figura 6-22: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.5 Hz - PELECo = 114 MW

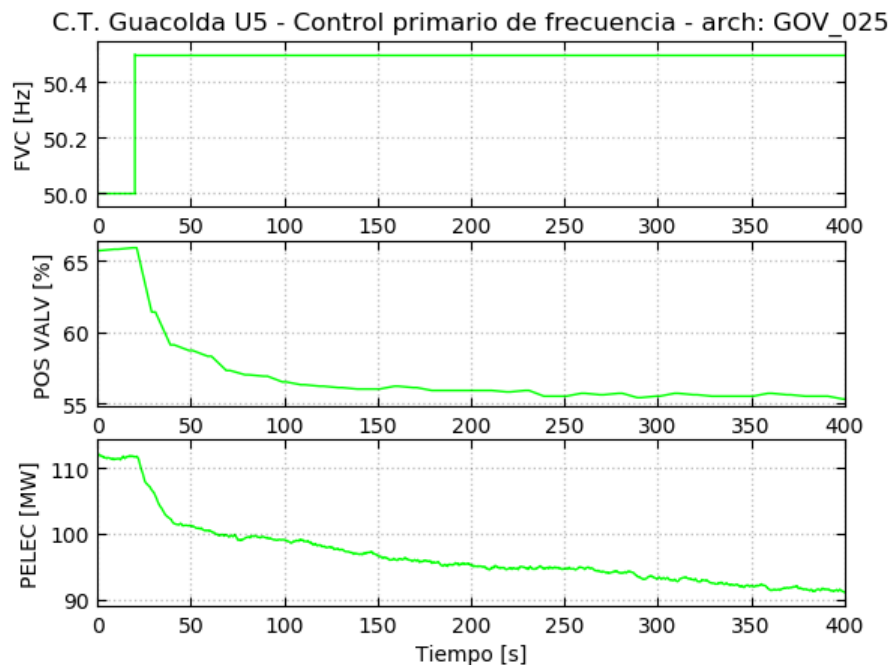


Figura 6-23: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.5 Hz - PELECo = 112 MW

Según se puede observar en la Figura 6-21, Figura 6-22 y Figura 6-23, para escalones de +0.2, - 0.5 Hz y +0.5 Hz respectivamente, la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Despacho P4_CPF – Estatismo 4%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 4%.

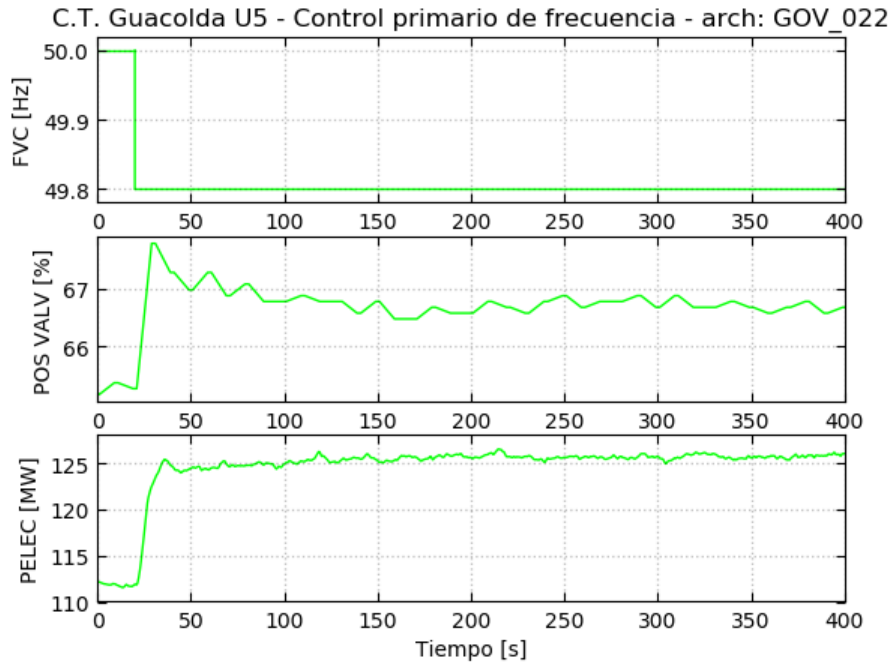


Figura 6-24: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 112 MW

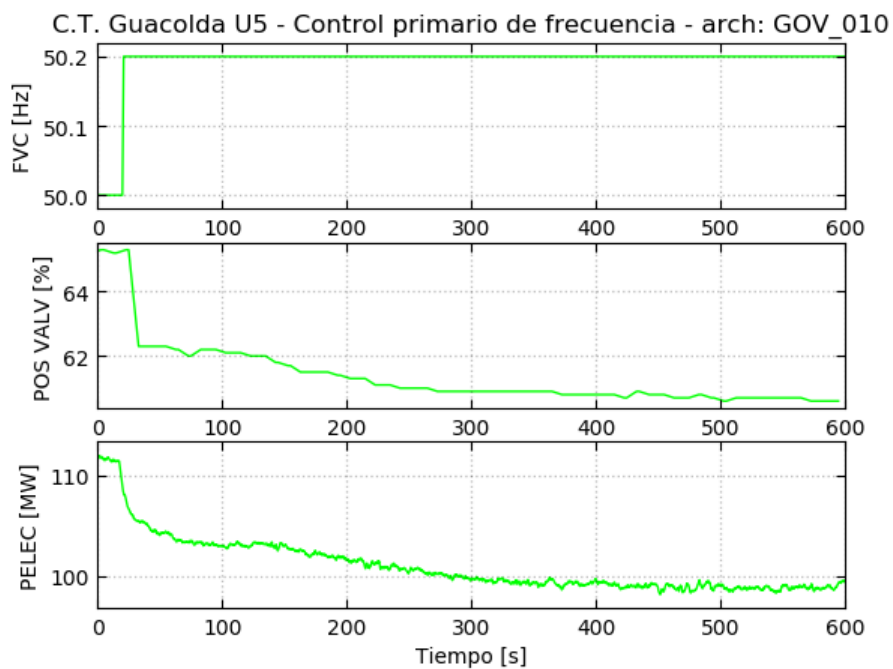


Figura 6-25: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 112 MW

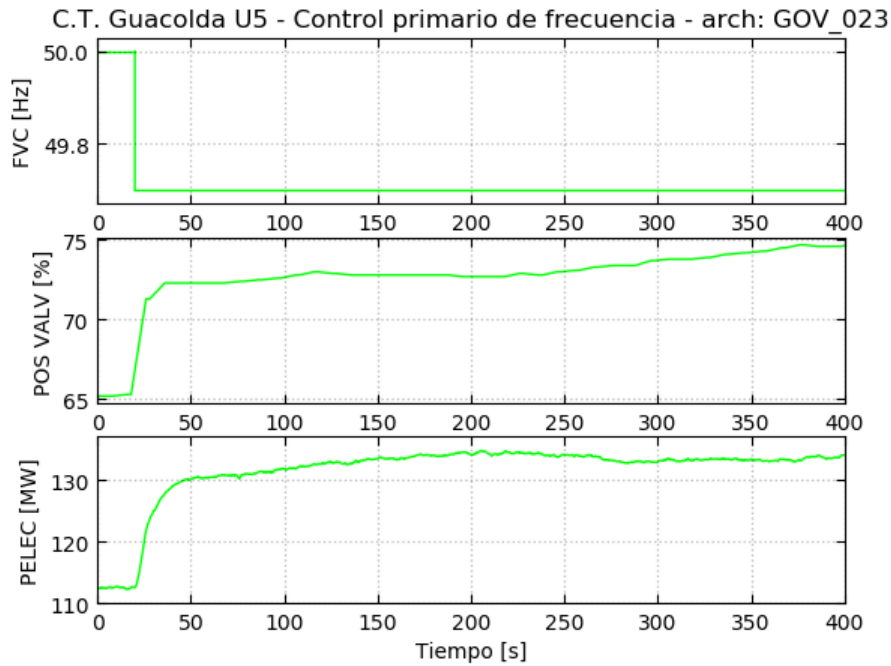


Figura 6-26: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.3 Hz - PELECo = 112 MW

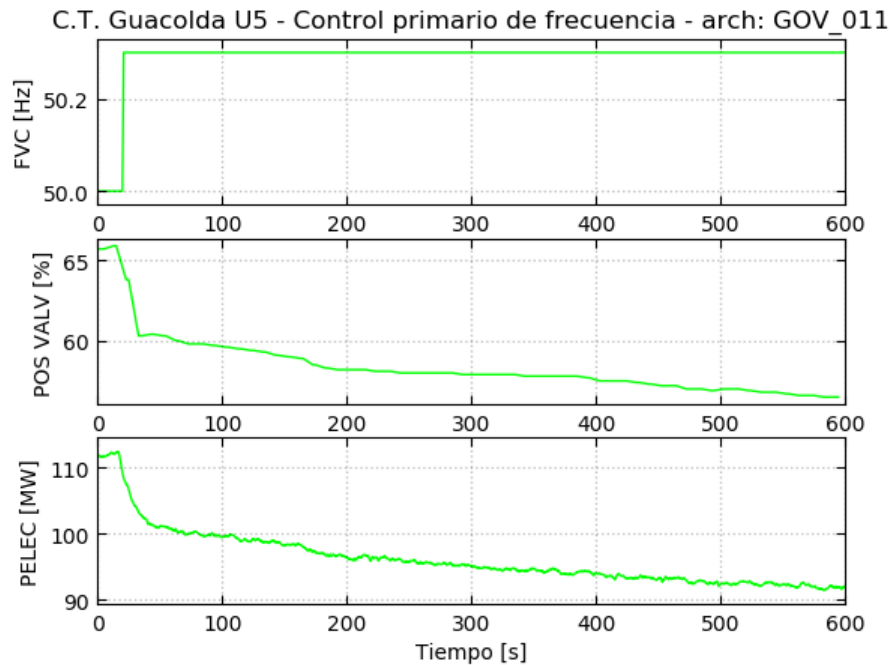


Figura 6-27: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.3 Hz - PELECo = 112 MW

Según se puede observar en la Figura 6-21, Figura 6-22 y Figura 6-23, para escalones de +0.2, - 0.5 Hz y +0.5 Hz respectivamente, la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Despacho P5_CPF – Estatismo 6.5%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 6.5%.

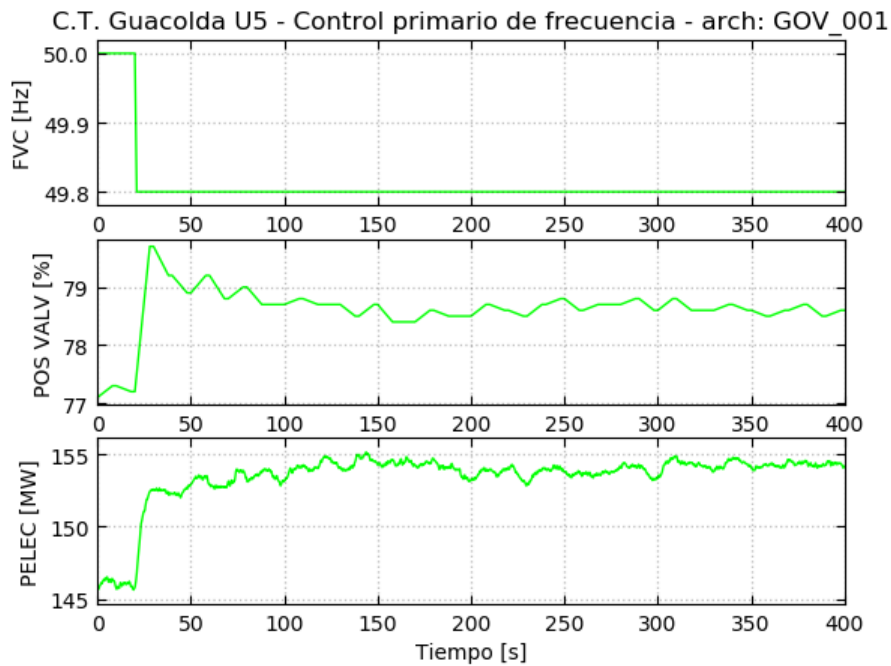


Figura 6-28: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 146 MW

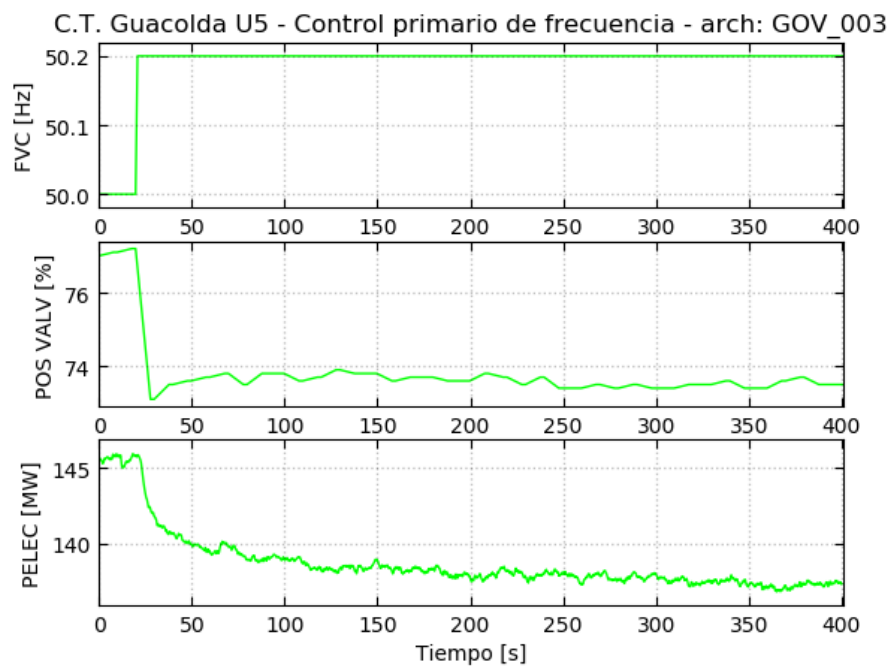


Figura 6-29: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 145 MW

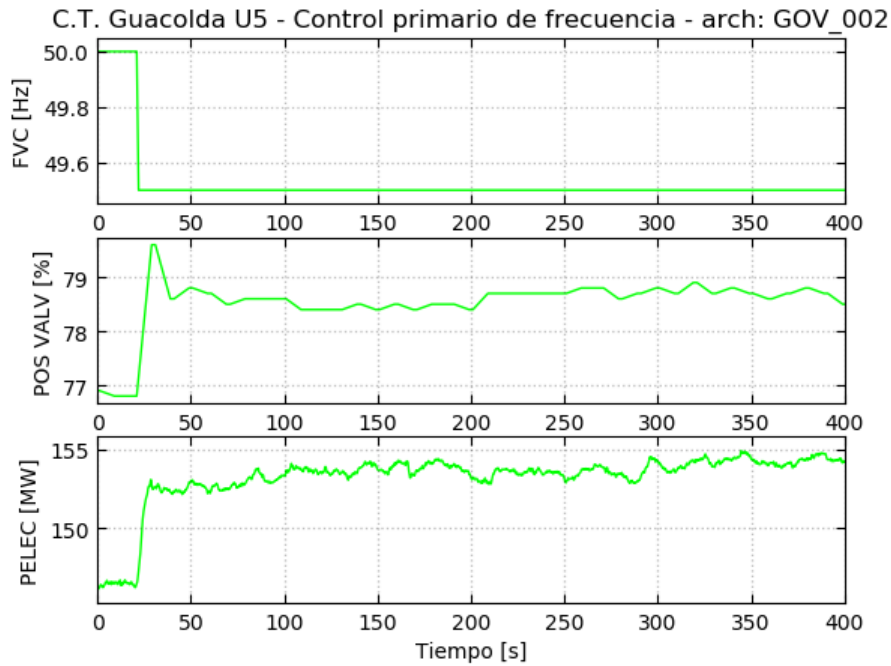


Figura 6-30: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.5 Hz - PELECo = 146 MW

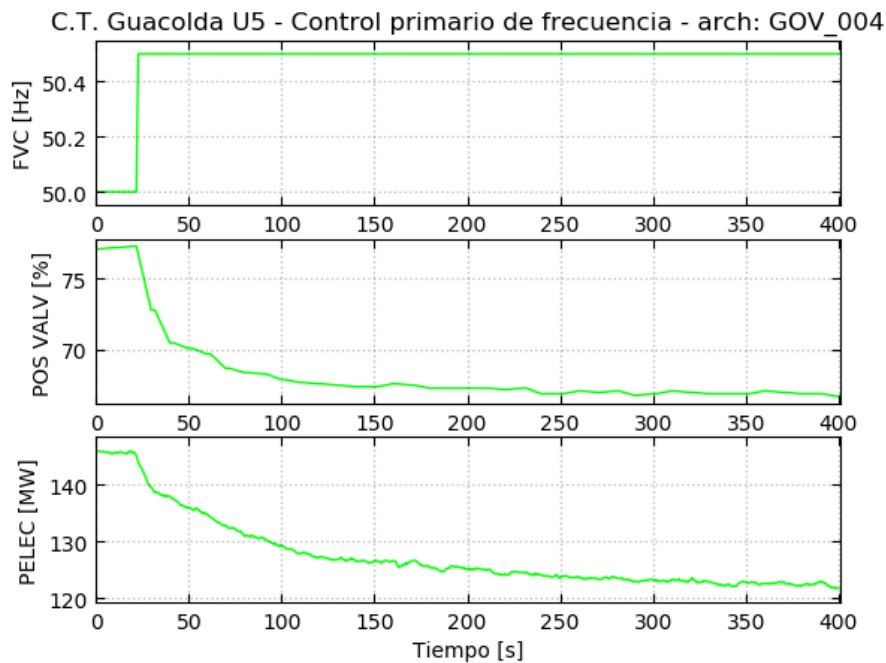


Figura 6-31: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.5 Hz - PELECo = 145 MW

Según se puede observar en las figuras anteriores, se evidencia que la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Despacho P5_CPF – Estatismo 4%

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 4%.

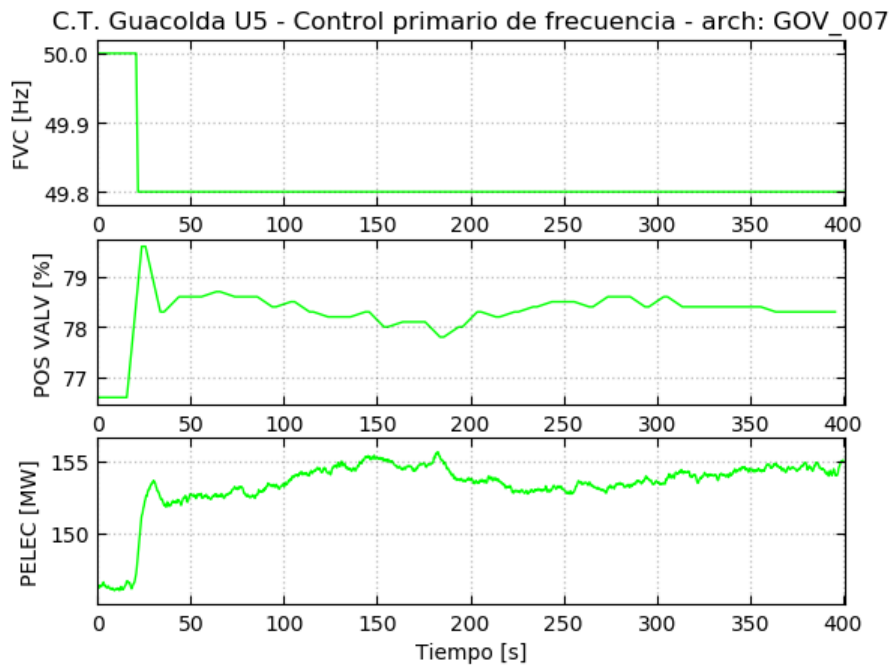


Figura 6-32: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 145 MW

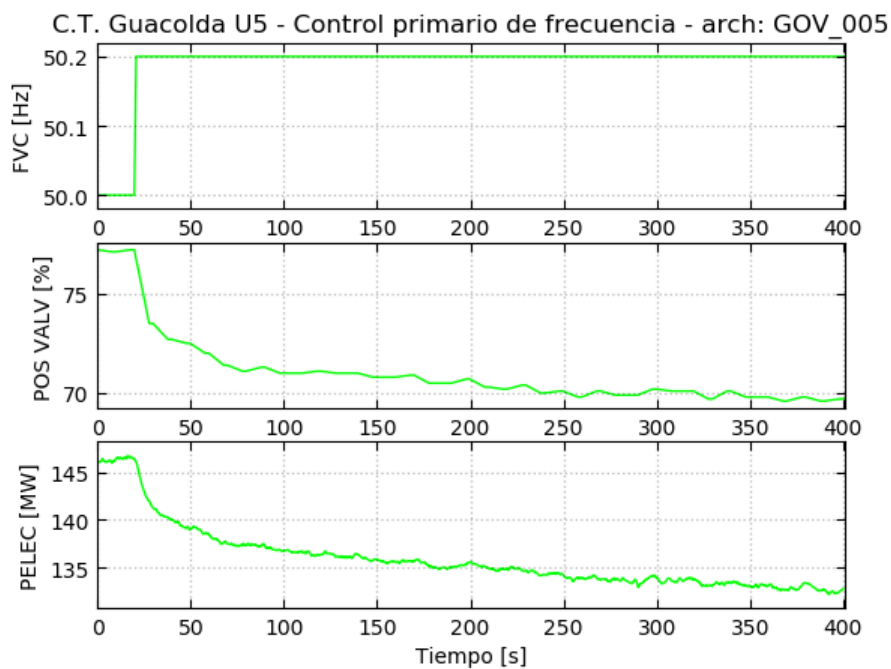


Figura 6-33: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 145 MW

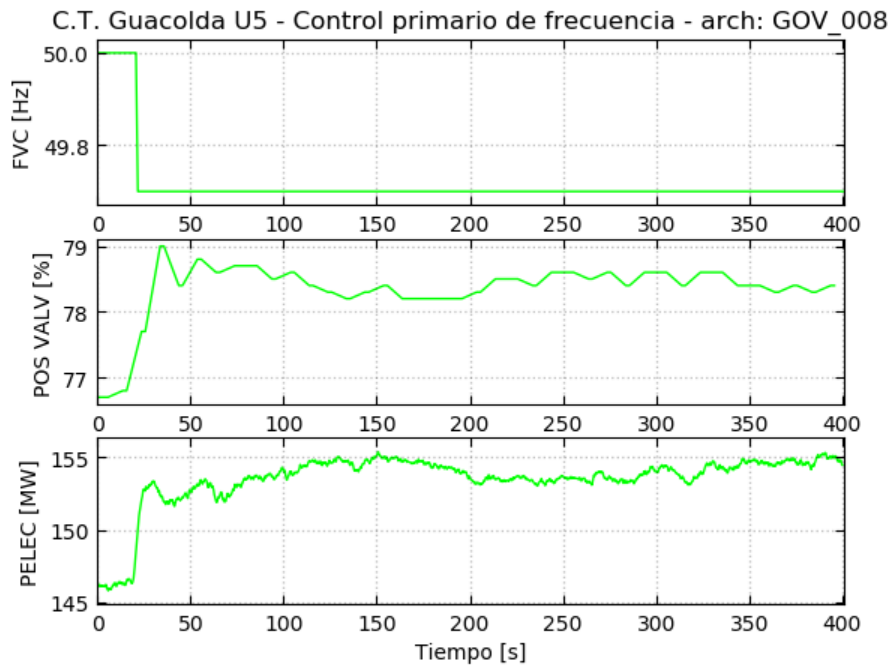


Figura 6-34: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.3 Hz - PELECo = 146 MW

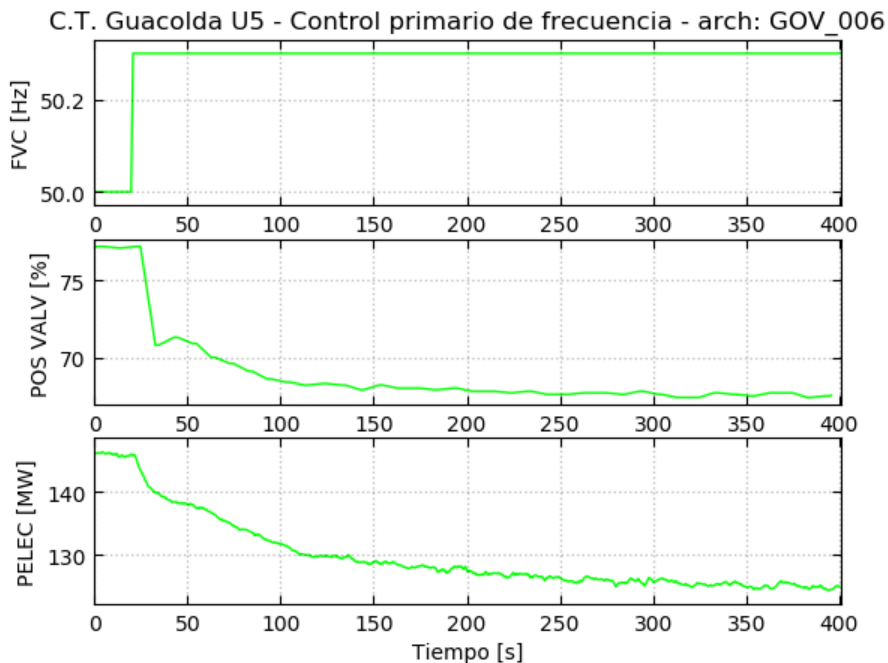


Figura 6-35: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.3 Hz - PELECo = 145 MW

Según se puede observar en las figuras anteriores, se evidencia que la unidad posee un tiempo de establecimiento considerable para el aporte de potencia esperado en respuesta a cada escalón de frecuencia aplicado.



Cabe mencionar además que, en la Figura 6-32 y Figura 6-34 se observa que a pesar de tener el droop seteado en 4% ante saltos de -0.2 Hz y -0.3 Hz respectivamente, la potencia queda limitada por el límite de potencia máxima seteado en 155 MW.

6.2 Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales de la frecuencia de la red

Operando la unidad en cada uno de los niveles de potencia definidos en la Tabla 6-1, se realiza un registro de la respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales de la frecuencia de la red.

Las pruebas consisten en registrar la evolución de la potencia activa en función de la frecuencia real de la red durante un plazo estimado de 20 minutos. Durante estas pruebas se considera la banda muerta en su ajuste original de ± 25 mHz (línea roja segmentada) y el estatismo en su valor actual de 6.5%.

En todos los casos puede observarse una adecuada respuesta con el esperado efecto espejo entre frecuencia y potencia.



P1_CPF = 45.8 MW:

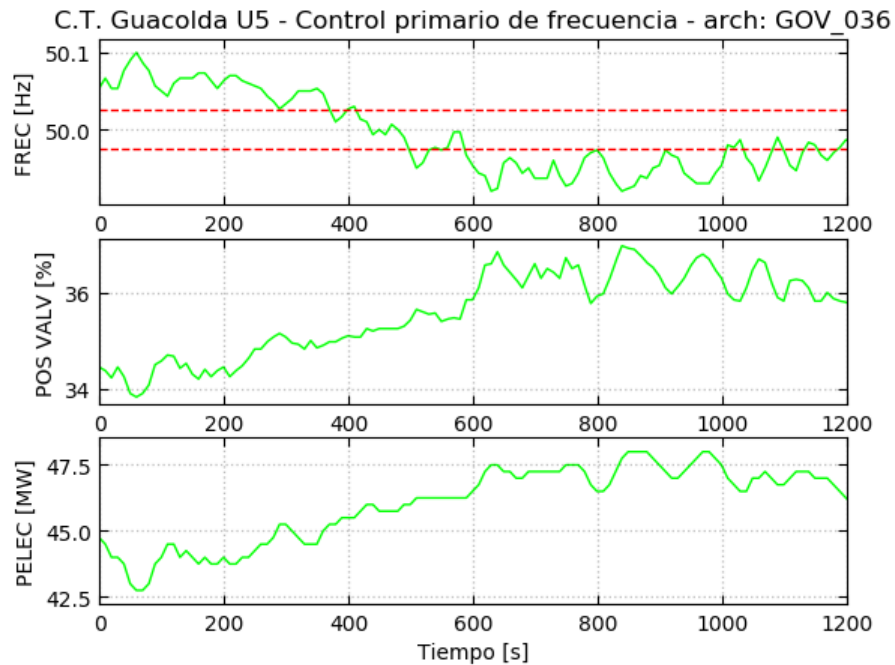


Figura 6-36: Respuesta ante variaciones de la frecuencia de la red - PELECo = 45 MW

P2_CPF = 80 MW:

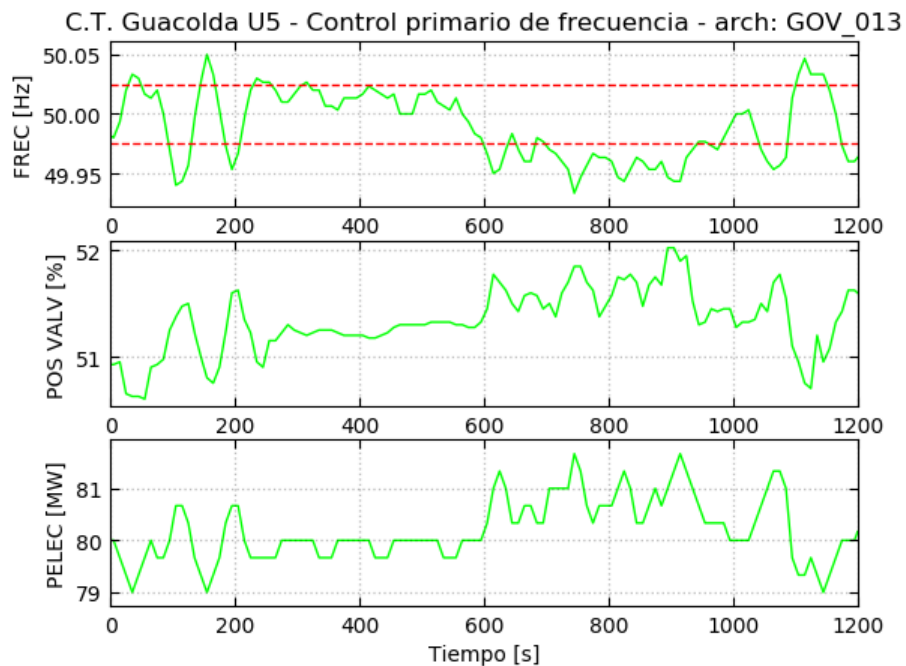


Figura 6-37: Respuesta ante variaciones de la frecuencia de la red - PELECo = 80 MW



P4_CPF = 114.2 MW:

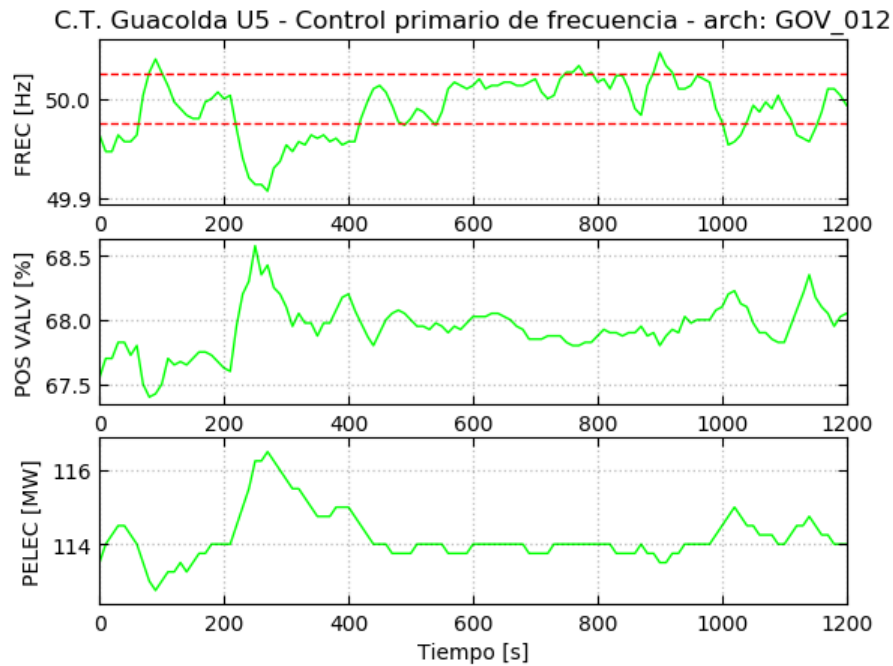


Figura 6-38: Respuesta ante variaciones de la frecuencia de la red - PELECo = 114 MW

P5_CPF =146.2 MW:

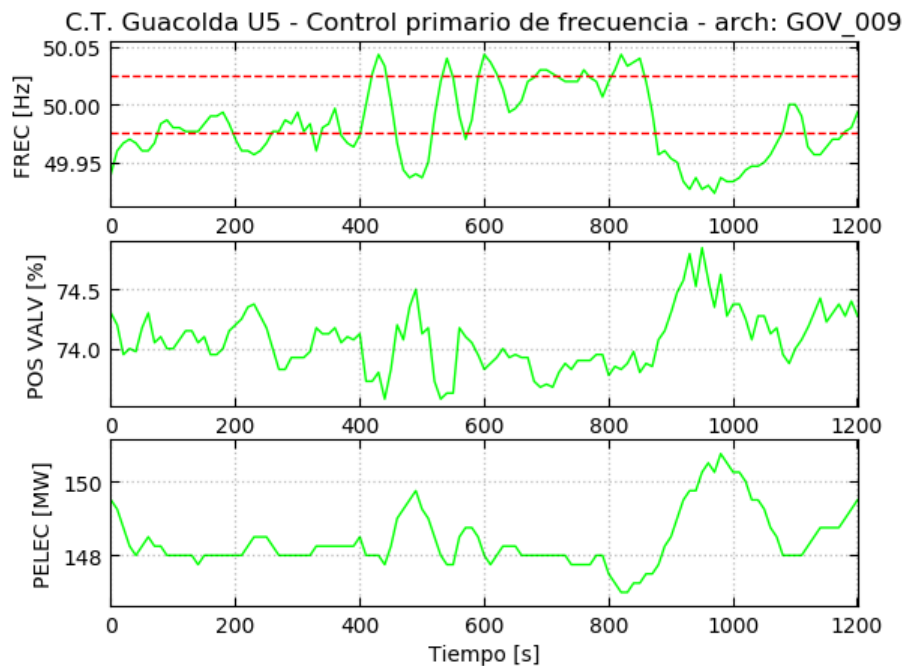


Figura 6-39: Respuesta ante variaciones de la frecuencia de la red - PELECo = 146 MW



6.3 Evaluación del amortiguamiento del lazo de control de velocidad con máquina aislada

La evaluación del amortiguamiento del lazo de control de velocidad con máquina aislada se realiza mediante la herramienta de simulación DigSilent. Para ello, se considera el modelo cargado en la base de datos del SEN (versión noviembre 2021)

Se despacha la unidad operando con carga aislada a un valor de potencia activa de $P4_CPF = 114$ MW. La Figura 6-40 ilustra el banco de pruebas con carga inicial.

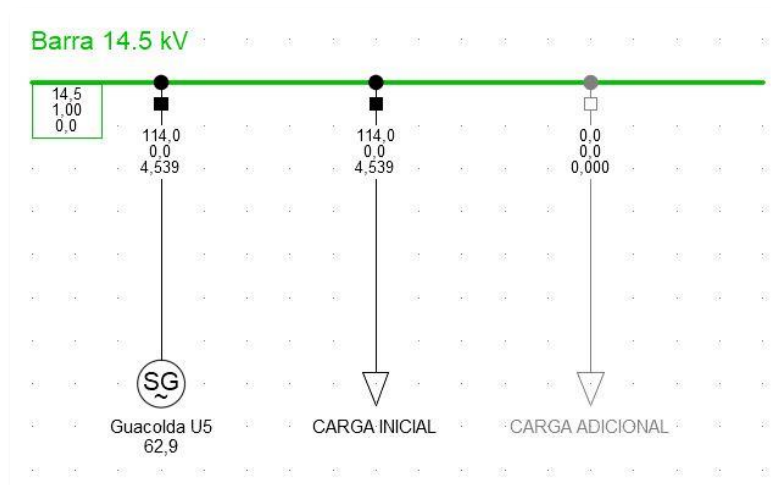


Figura 6-40: Despacho inicial Guacolda U5 PELECo = 114 MW

Luego, se realiza la conexión intempestiva de una carga equivalente al 5% de la potencia activa (5.7 MW). La Figura 6-41 ilustra el banco de pruebas posterior al evento.

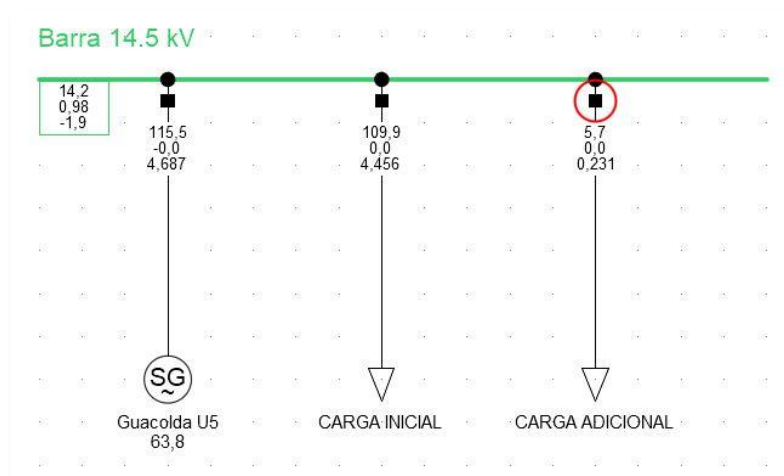


Figura 6-41: Despacho final Guacolda U5 PELECo = 114 MW



En la Figura 6-42 se muestra el resultado de para la unidad 5 de Guacolda, se visualiza que el resultado es inestable.

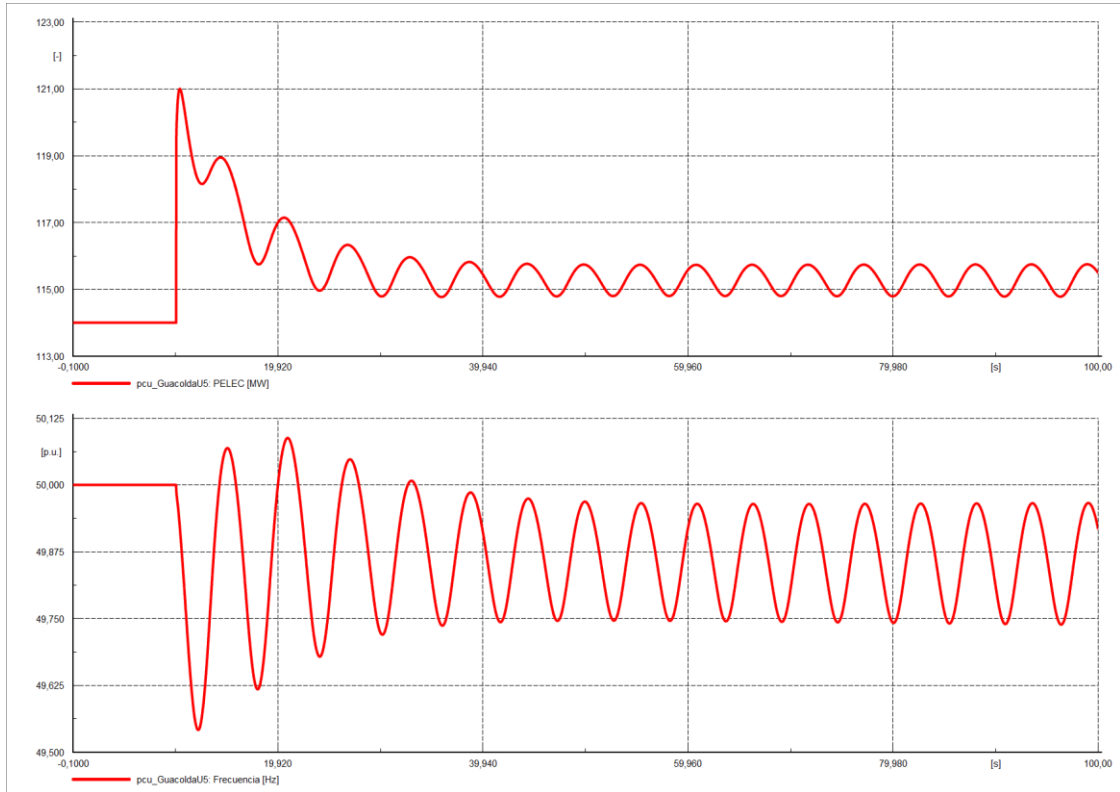


Figura 6-42: Evolución ciclo ante aumento de 5% de carga PELECo = 114 MW



6.4 Análisis del control primario de frecuencia

Durante el desarrollo de los ensayos de respuesta al escalón (apartado 6.1) y de operación normal (apartado 6.2) con distintos valores de estatismo (4%, 6.5%), se verificó que la respuesta de la unidad resulta acorde a lo esperado en cuanto a su respuesta cualitativa, signo de la variación y aporte de potencia desarrollado. Sin embargo, se evidencia que la respuesta de la unidad es considerablemente lenta en cuanto a tiempo de establecimiento, obteniendo valores por encima del rango aceptable (30 segundos).

Se observa también un comportamiento simétrico (CPF+, CPF-). Se presenta, a modo de resumen, el cálculo de los principales parámetros de desempeño de la unidad.

6.4.1 Determinaciones a partir de los ensayos de escalón

A partir de las pruebas de escalón en la unidad (ver apartado 6.1), se calcula el estatismo de la máquina para los escalones de -0.2 Hz y -0.5 Hz, esto se realiza para las pruebas con estatismo en 6.5%. Para las pruebas realizadas con estatismo de 4%, se realiza el cálculo sobre los escalones de -0.2 Hz y -0.3 Hz.

De acuerdo con lo presentado en el apartado 6.1, la mayoría de los escalones responden de forma similar en cuanto a aporte de potencia final desarrollado, por lo que se toma un estado de carga determinado (P2_CPF) para demostrar el desarrollo del estatismo ajustado en el sistema de control.

Debido a que se observa un tiempo de establecimiento considerable en la respuesta de la unidad ante un salto de frecuencia determinado, se mide el aporte de potencia aproximadamente a los 220 segundos luego de aplicado el escalón, donde se llega recién se llega a entregar la totalidad del aporte esperado.



Estatismo 6.5%

En la Figura 6-43 y Figura 6-44 se puede apreciar la respuesta de la unidad ante un escalón de -0.2 Hz y -0.5 Hz respectivamente. A partir de las figuras se calcula el valor del estatismo de la máquina.

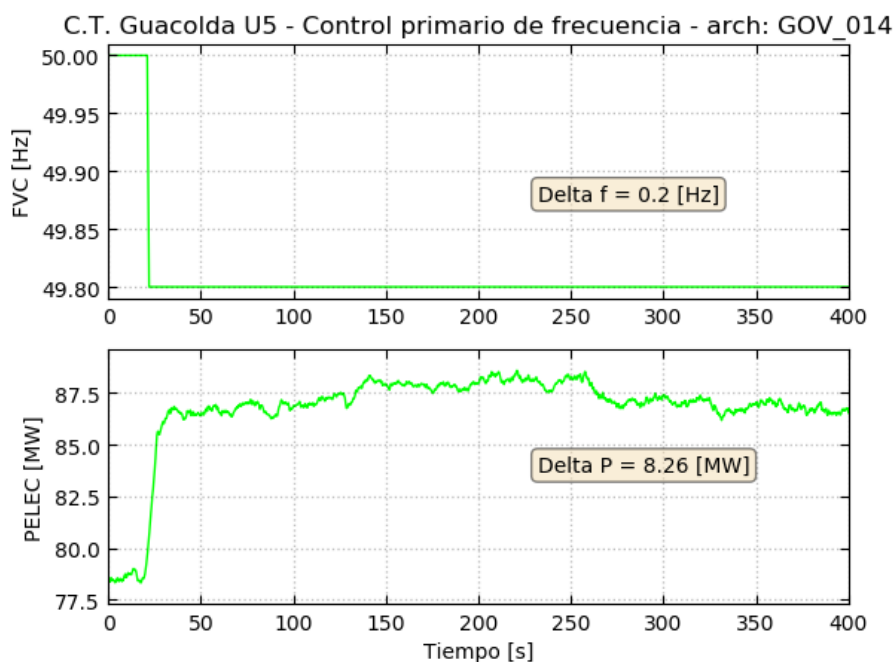


Figura 6-43: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 78 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 25 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 154 MW es:

$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - BM}{F_{BASE}}}{\frac{\Delta P}{T_{RATE}}} = \frac{(0.2 - 0.025)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{154 \text{ MW}}} = 6.52\%$$

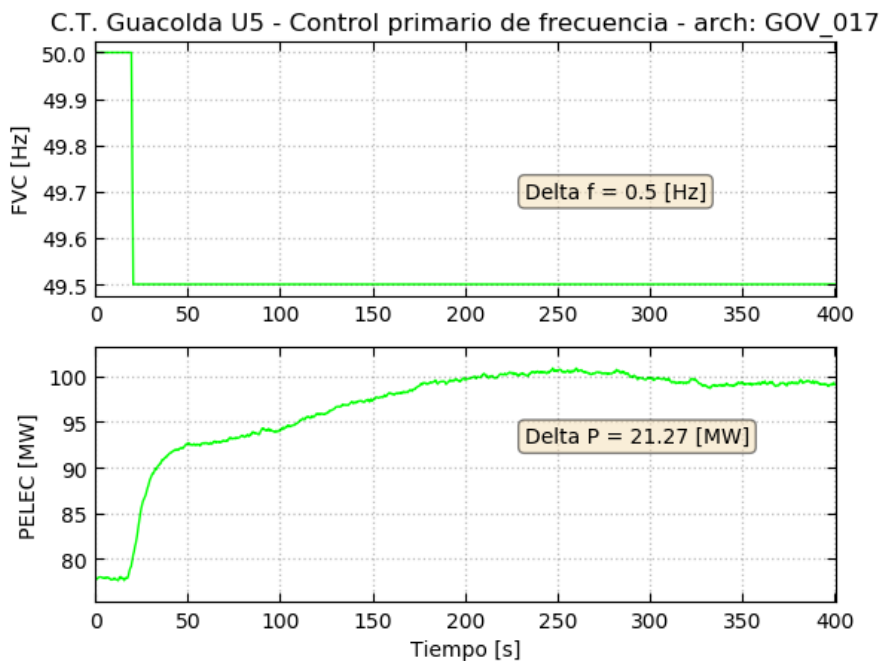
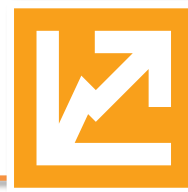


Figura 6-44: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.5 Hz – PELECo = 78 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 25 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 154 MW es:

$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - BM}{F_{BASE}}}{\frac{\Delta P}{T_{RATE}}} = \frac{\frac{(0.5 - 0.025)\text{Hz}}{50 \text{ Hz}}}{\frac{21.27 \text{ MW}}{154 \text{ MW}}} = 6.88\%$$



Estatismo 4%

En la Figura 6-45 y Figura 6-46 se puede apreciar la respuesta de la unidad ante un escalón de -0.2 Hz y -0.3 Hz respectivamente. A partir de las figuras se calcula el valor del estatismo de la máquina.

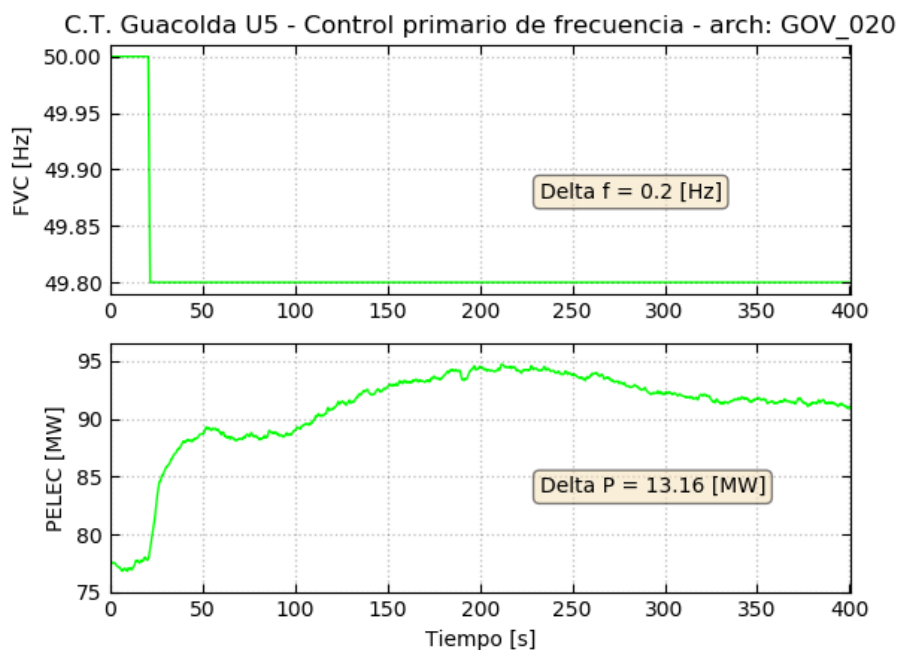


Figura 6-45: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 78 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 25 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 154 MW es:

$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - BM}{F_{BASE}}}{\frac{\Delta P}{T_{RATE}}} = \frac{(0.2 - 0.025)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{13.16 \text{ MW}}} = \frac{0.175 \text{ Hz}}{3.79 \text{ Hz}} = 4.11\%$$

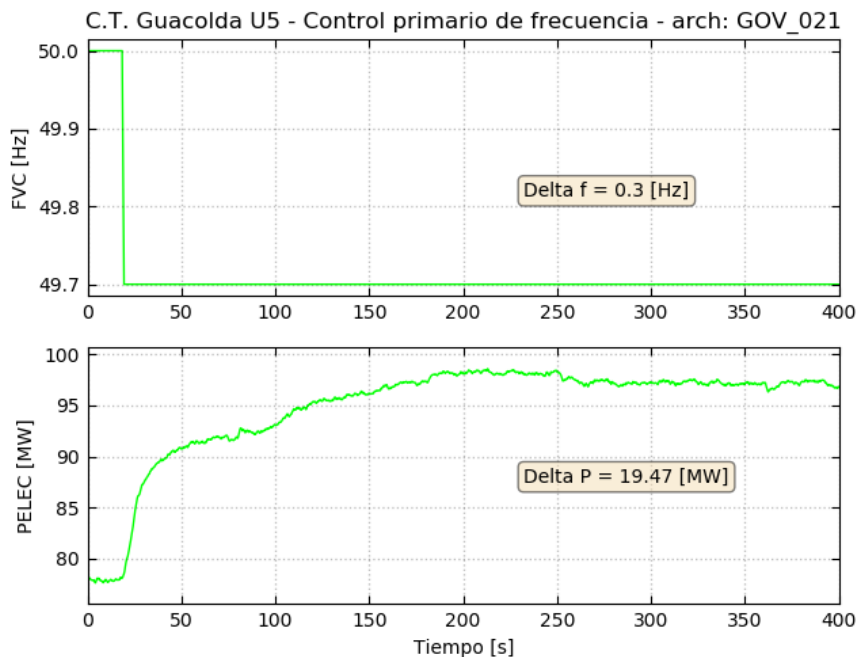


Figura 6-46: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.3 Hz – PELECo = 78 MW

El estadismo calculado, para una banda muerta (BM) de 25 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 154 MW es:

$$\text{Estadismo} = \frac{\frac{\Delta F - BM}{F_{BASE}}}{\frac{\Delta P}{T_{RATE}}} = \frac{(0.3 - 0.025)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{19.47 \text{ MW}}} = 4.35\%$$

Se puede observar que el valor de estadismo de la unidad corresponde al asignado por el operador al momento de ejecutar las pruebas.

Según se mencionó al inicio del presente apartado respecto a la similitud de las respuestas, para los distintos estados de carga, se puede afirmar que la conclusión mencionada en el párrafo anterior es válida para los demás despachos de potencia ensayados.



6.4.2 Determinaciones a partir de los registros de operación normal

El control de carga/velocidad responde a un estatismo de 6.5% y posee una banda muerta de ± 25 mHz. A los efectos de comprobar experimentalmente estos valores se grafica la relación Potencia/Frecuencia, para un estatismo del 6.5% y banda muerta de ± 25 mHz, en el estado de carga P1_CPF.

Como se observa en el apartado 6.2, las respuestas ante variaciones normales de la frecuencia de la red responden de forma similar para los todos los estados de carga, por lo que se toma un estado determinado (P1_CPF) para comprobar los valores de estatismo y banda muerta.

Tal como se observa en la Figura 6-47, la unidad puede operar con una banda muerta de ± 25 mHz y responde a un estatismo de 6.5% utilizando la base de Trate = 154 MW.

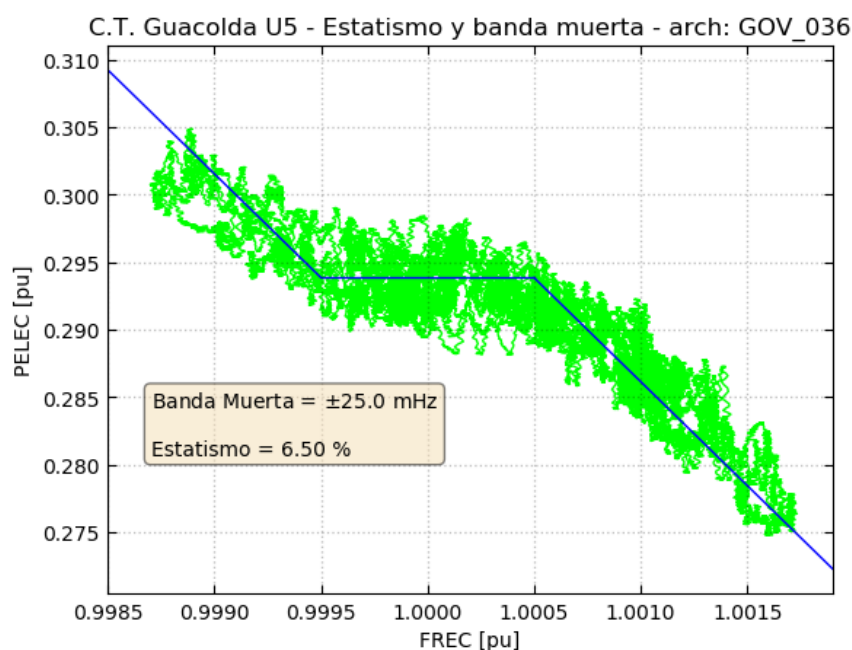


Figura 6-47: Determinación de banda muerta y estatismo – PELECo = 45 MW.

Se comprueba satisfactoriamente el valor actual de banda muerta de ± 25 mHz. Se logra apreciar un comportamiento simétrico del CPF, siendo válida la verificación para los restantes estados de carga.



6.4.3 Determinación del retardo inicial del sistema de carga/velocidad y tiempo de establecimiento

A partir de las pruebas de escalón en la unidad (ver apartado 6.1), se calcula el tiempo de activación de la máquina y el tiempo de establecimiento para los escalones de ± 0.2 Hz, en el estado de carga P1_CPF y P2_CPF, esto se realiza para las pruebas con estatismo original de 6.5%.

Notar por un lado que para para el estado de carga P1_CPF, ante escalones de -0.2 Hz y droop 6.5% se observa un tiempo de respuesta mayor que los obtenidos para los restantes estados de carga. Por otra parte, se evidencia que tanto para escalones mayores a 0.2 Hz con droop 6.5% como para escalones con droop de 4%, la respuesta del CPF es considerablemente lenta, llegando al valor esperado luego de aproximadamente 220 segundos.

Escalón de -0.2 Hz

En la Figura 6-48 se puede apreciar la respuesta de la unidad ante un escalón de -0.2 Hz. A partir de las figuras se calcula el valor el tiempo de activación y de establecimiento de la máquina.

P1_CPF = 45.8 MW

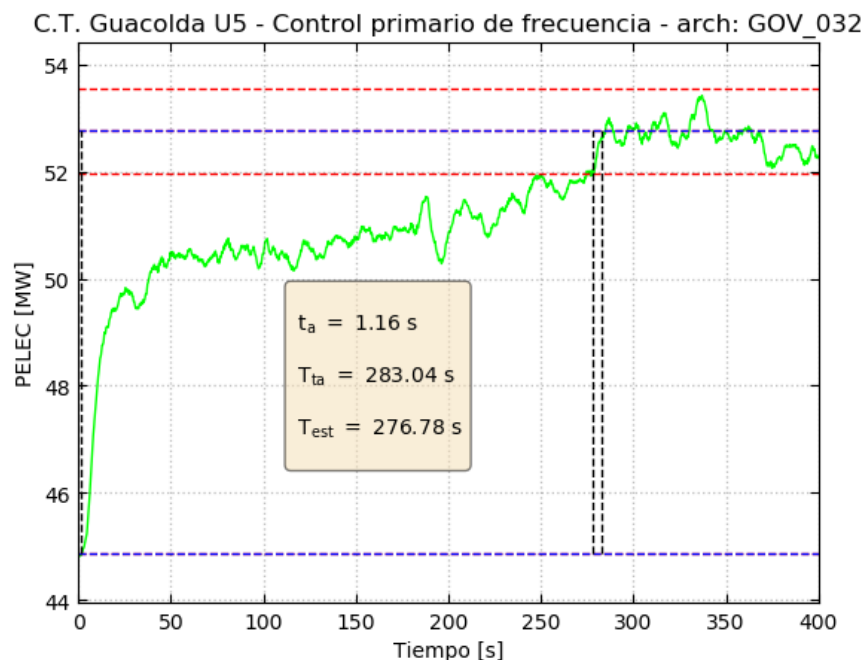


Figura 6-48: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 45.8 MW



Parámetro	Valor Medido
Tiempo de inicio de activación	1.16 seg
Tiempo total de activación	283.04 seg
Tiempo de establecimiento	276.78 seg

Tabla 6-2: Resumen de tiempos de la unidad

P2_CPF= 78 MW

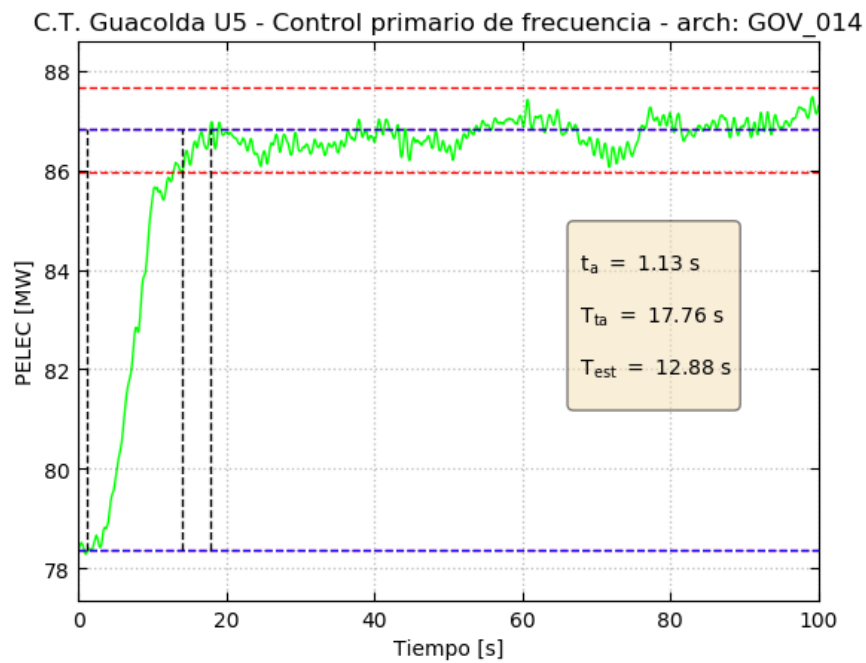


Figura 6-49: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 78.4 MW

Parámetro	Valor Medido
Tiempo de inicio de activación	1.13 seg
Tiempo total de activación	17.76 seg
Tiempo de establecimiento	12.88 seg

Tabla 6-3: Resumen de tiempos de la unidad



Escalón de +0.2 Hz

En la Figura 6-50 se puede apreciar la respuesta de la unidad ante un escalón de +0.2 Hz. A partir de las figuras se calcula el valor el tiempo de activación y de establecimiento de la máquina.

P2_CPF = 78 MW

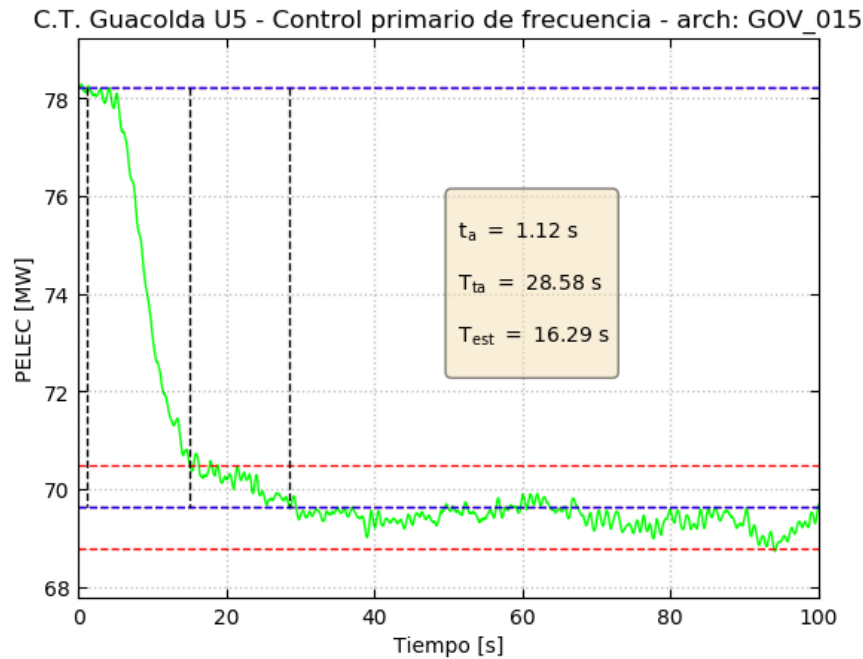


Figura 6-50: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 78.4 MW

Parámetro	Valor Medido
Tiempo de inicio de activación	1.12 seg
Tiempo total de activación	28.58 seg
Tiempo de establecimiento	16.29 seg

Tabla 6-4: Resumen de tiempos de la unidad

Se verifican los tiempos de inicio de activación, tiempo total de activación y el tiempo de establecimiento de la unidad ante escalones positivos y negativos de frecuencia.

Resumen de los tiempos de establecimientos medidos

Con el fin de evidenciar el tiempo de respuesta que presenta el CPF ante una desviación de frecuencia igual o mayor a 0.2 Hz, en la Tabla 6-5 se detallan los tiempos de establecimientos medidos para las pruebas realizadas con estatismo en su valor actual de 6.5% para los distintos despachos de potencia activa.



Despacho	Tiempo de establecimiento medido [segundos]			
	-0,2 Hz	+0,2 Hz	-0,5 Hz	+0,5 Hz
P1_CPF = 45MW	276.7	21.8	151.6	25.4
P2_CPF = 79 MW	12.8	16.3	146.9	40.1
P4_CPF = 112 MW	8.6	25.8	80.7	265.1
P5_CPF = 145 MW	81.3	161.5	60.4	180.6

Parámetro fuera de rango normativo

Parámetro dentro de rango normativo

Tabla 6-5 Resumen de tiempos de establecimientos para pruebas con estadismo 6.5 %

6.4.4 Resumen de aportes

Considerando la configuración de operación normal correspondiente a estadismo 6.5% y banda muerta ± 25 mHz se resumen los aportes obtenidos frente a perturbaciones de distinta amplitud.

Despacho	Aporte 1 seg			
	-0,2 Hz	+0,2 Hz	-0,7 Hz	+0,7 Hz
P1_CPF	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW
P2_CPF	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW
P4_CPF	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW
P5_CPF	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW

Despacho	Aporte a los 10 seg			
	-0,2 Hz	+0,2 Hz	-0,7 Hz	+0,7 Hz
P1_CPF	3.6 MW	-5.9 MW	No Medido	No Medido
P2_CPF	7.3 MW	-7.4 MW	No Medido	No Medido
P4_CPF	9.5 MW	-5.8 MW	No Medido	No Medido
P5_CPF	6.8 MW	-4.3 MW	No Medido	No Medido

Despacho	Aporte a los 5 min			
	-0,2 Hz	+0,2 Hz	-0,7 Hz	+0,7 Hz
P1_CPF	7.6 MW	-6.6 MW	No Medido	No Medido
P2_CPF	8.8 MW	-8.6 MW	No Medido	No Medido
P4_CPF	9.8 MW	-9.4 MW	No Medido	No Medido
P5_CPF	8.5 MW	-8.1 MW	No Medido	No Medido

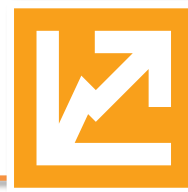
Tabla 6-6 Resumen de aportes de potencia – BM 25 mHz – Estadismo 6.5%

De la Tabla 6-6 se puede observar que no fue posible la medición de los tiempos ante escalones de ± 0.7 Hz, la unidad no puede mantenerse estable ante un salto de frecuencia de tal magnitud, según se comentó en el apartado 6.1.



6.4.5 Conclusiones y hallazgos del CPF

1. Se observa que la unidad responde de acuerdo con el estatismo ajustado. Sin embargo, en la mayor parte de los casos la totalidad del aporte esperado lo alcanza en un tiempo considerable y no cumpliendo con el tiempo máximo de establecimiento (30 segundos) indicado en el Art. 3-17 literal d) de la Norma Técnica.
2. En función de lo mencionado en la sección 6.1, no fue posible medir el aporte de la unidad ante saltos de ± 0.7 Hz.
3. Se recomienda evaluar la factibilidad de mejorar los tiempos de respuesta del CPF de la unidad en todo el rango de operación, prestando especial atención para bajos niveles de carga, con el fin de llegar a la totalidad del aporte esperado en tiempos cercanos a los requeridos por la norma técnica.



7 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA

Con el fin de verificar la capacidad de la planta para participar en el servicio complementario de CTF en giro, se ejecutan los siguientes ensayos.

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)

En la Tabla 7-1 se resumen los ensayos de incremento y bajada de carga. Estos valores son aproximados y pueden diferir con el despacho real alcanzado en los ensayos.

<i>Despacho Inicial de Potencia Activa [MW]</i>	<i>Despacho Final de Potencia Activa [MW]</i>	<i>Tasa de toma de carga [MW/min]</i>
38	155	1.5
38	155	2.5
155	38	1.5
155	38	2.5

Tabla 7-1: Ensayos de control terciario de frecuencia

7.1 Incrementos de carga de la unidad

Se realiza la prueba con la tasa de toma de carga configurada actualmente en la unidad, es decir 1.5 MW/min. Adicionalmente, se realiza un segundo incremento de carga, pero con una tasa superior, en este caso, 2.5 MW/min. Este valor representa el máximo autorizado por parte de la gerencia de operaciones de Guacolda.

Para verificar el gradiente de toma de carga (MW/min) de 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.



Toma de Carga desde mínimo técnico a carga base a 1.5 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 38 MW a un valor final de 155 MW.

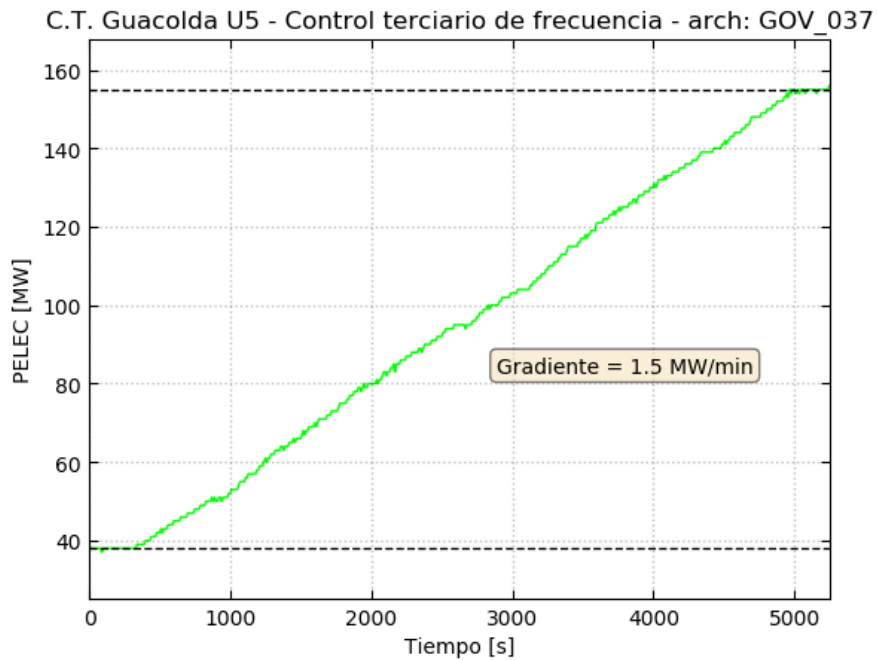


Figura 7-1: Toma de carga - Tasa = 1.5 MW/min

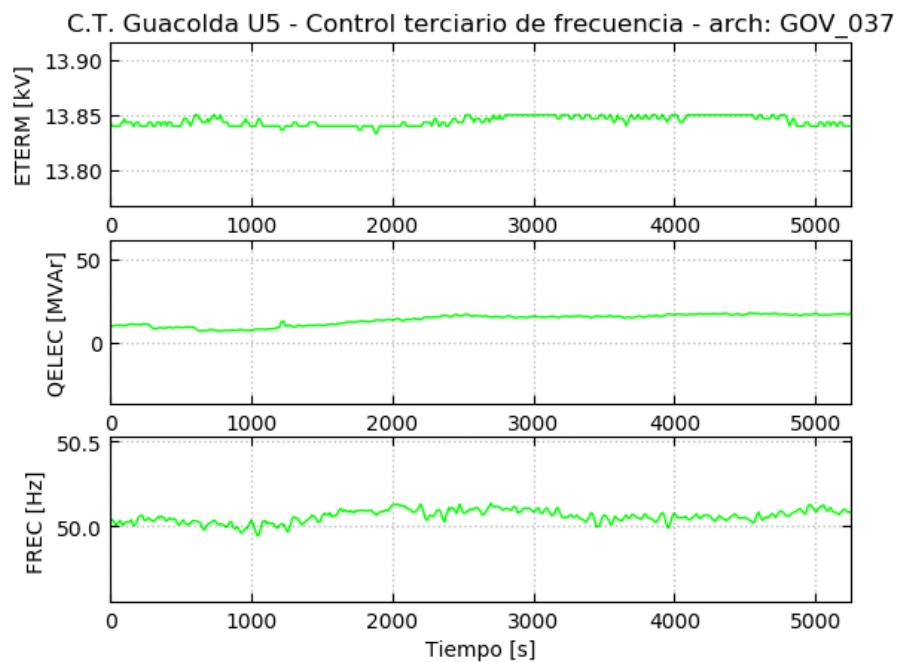


Figura 7-2: Toma de carga - Señales en terminales del generador



Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 1.5 MW/min, lo que equivale a una tasa del 0.96%/min de la potencia nominal de la unidad (156.21 MW).

Toma de Carga desde mínimo técnico a carga base a 2.5 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 38 MW a un valor final de 155 MW.

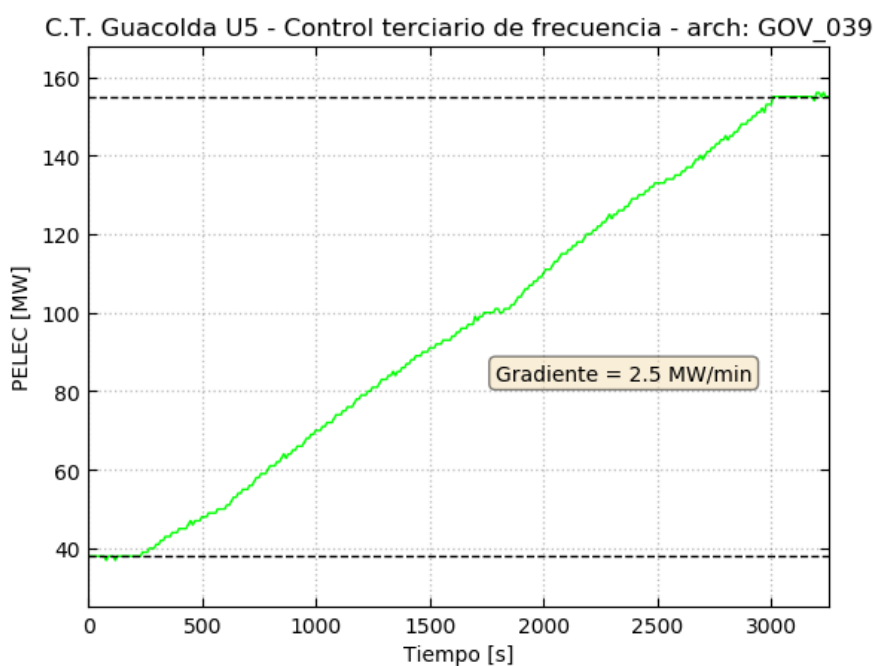


Figura 7-3: Toma de carga – Tasa = 2.5 MW/min

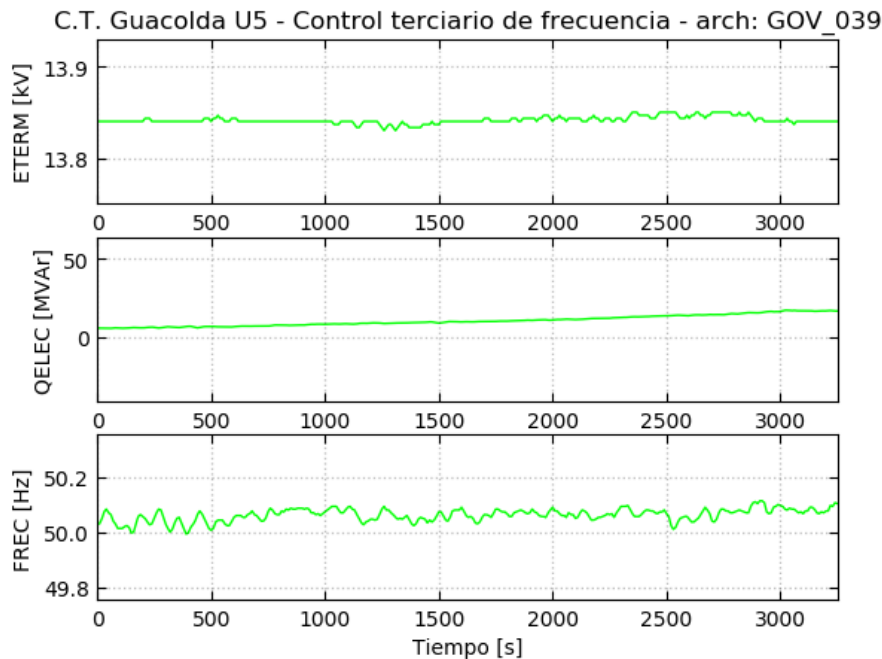


Figura 7-4: Toma de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 2.5 MW/min, lo que equivale a una tasa del 1.60%/min de la potencia nominal de la unidad (156.21 MW).

7.2 Bajada de carga de la unidad

Se realiza la prueba con la tasa de bajada de carga configurada actualmente en la unidad, es decir - 1.5 MW/min. Adicionalmente, se realiza una segunda bajada de carga con una tasa superior, en este caso, - 2.5 MW/min.

Para verificar el gradiente de toma de carga (MW/min) de la unidad, se comienza el ensayo operando a potencia máxima disponible, y se comienza a bajar carga en la unidad hasta alcanzar el mínimo técnico mediante un **único** cambio de referencia de potencia activa.

Bajada de carga desde carga base a mínimo técnico a -1.5 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 155 MW a un valor final de 38 MW.

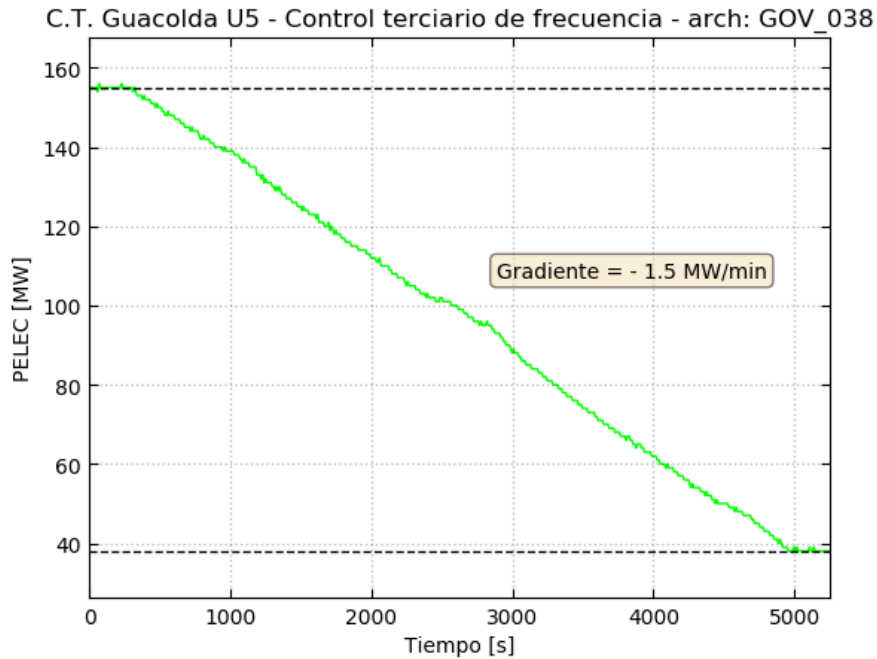


Figura 7-5: Bajada de carga – Tasa = - 1.5 MW/min

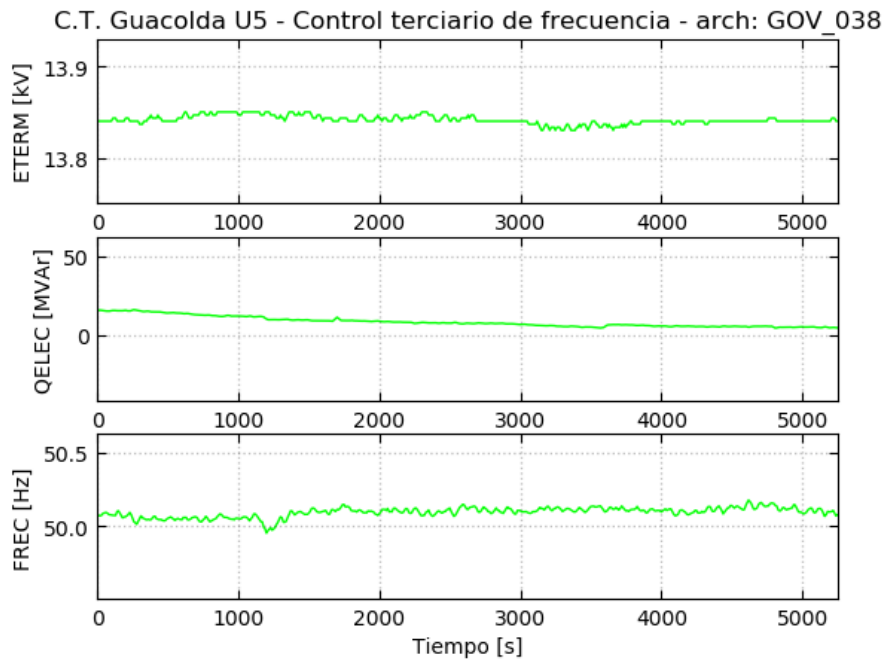


Figura 7-6: Bajada de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual a -1.5 MW/min, lo que equivale a una tasa del -0.96%/min de la potencia nominal de la unidad (156.21 MW).



Bajada de carga desde carga base a mínimo técnico a -2.5 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 155 MW a un valor final de 38 MW.

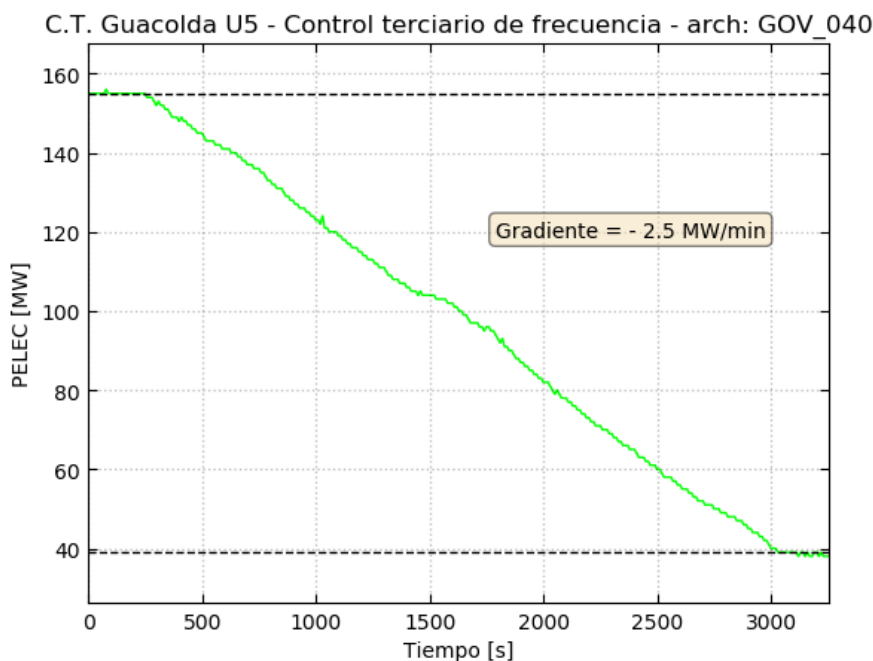


Figura 7-7: Bajada de carga – Tasa = - 2.5 MW/min

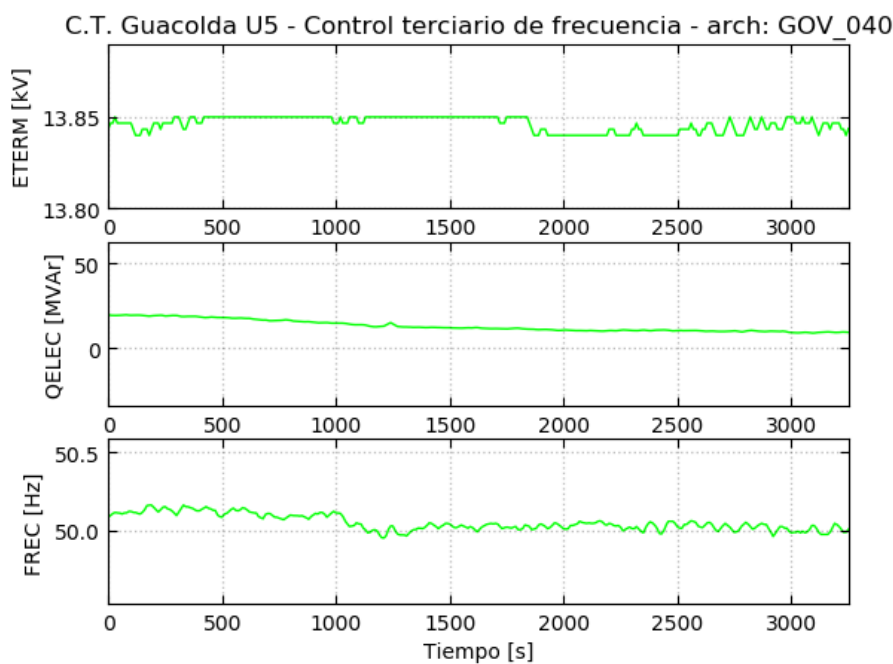


Figura 7-8: Bajada de carga – Señales en terminales del generador



Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a -2.5 MW/min, lo que equivale a una tasa del -1.60%/min de la potencia nominal de la unidad (156.21 MW).

7.3 Análisis del control terciario de frecuencia en giro

En la Tabla 7.2 se resumen los gradientes medidos para los diferentes movimientos de carga, mientras que en la Tabla 7.3 – Resumen gradientes entre movimientos de carga entre mínimo técnico y carga base se presenta la reserva para control terciario de frecuencia en giro para la unidad 5 de la Central Térmica Guacolda, en función de las pruebas realizadas.

Unidad	Valor Teórico [MW/min]	Valor Medido Toma [MW/min]	Valor Medido Bajada [MW/min]
Unidad 5	1.5	1.49	-1.48
	2.5	2.50	-2.48

Tabla 7.2 – Resumen gradientes entre movimientos de carga entre mínimo técnico y carga base

Unidad	Tasa [MW/min]	Reserva para CTFg [MW]
Unidad 5	1.5	15
	2.5	25

Tabla 7.3 – Resumen gradientes entre movimientos de carga entre mínimo técnico y carga base

Cabe mencionar que 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, por lo que se considera un tiempo de activación de 0 segundos.



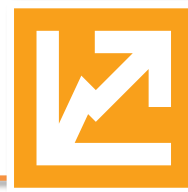
8 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

La unidad 5 de la Central Térmica Guacolda 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 el lazo 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-2021-1716-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Guacolda_U5**”.
- Se logra comprobar que 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, salvo para los valores de tensión de 0.90pu y 1.10pu, las cuales no se lograron verificar debido a encontrarse las protecciones de subtensión y de sobreflujo en 0.90pu y 1.07pu respectivamente. Sin embargo, para los puntos verificados, no se observan restricciones y se comprueba que la unidad puede operar estables en tales niveles de potencia reactiva.

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



- La banda muerta se encuentra seteada en ± 25 mHz, mientras que el estatismo responde a 6.5% para un Trate = 154 MW.
- Se verifican los tiempos de inicio de activación, tiempos totales de activación y tiempos máximos de establecimiento de la unidad. Se demuestra que la misma responde de manera adecuada ante escalones positivos y negativos de frecuencia de magnitud hasta 0.2 Hz, con tiempos de establecimiento considerables.
- El valor estatismo se pueden ajustar hasta 4% sin embargo no se recomienda la operación con valores bajos de estatismo debido a que la demora en la respuesta para alcanzar el aporte de potencia esperado se agrava para dicho ajuste. Estos valores pueden ser modificados por personal de Guacolda directamente en la sala de control de operaciones. Esto se pueden modificar de manera online con la unidad en carga.
- Si bien la unidad responde ante variaciones de frecuencia, se observaron comportamientos no ideales especialmente para baja carga y perturbaciones mayores a 0.2 Hz.

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, los movimientos de carga se realizan siguiendo el gradiente 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 15 MW como reserva para **Control Terciario de Frecuencia en giro** para su tasa de operación normal.



9 ANEXO

9.1 Verificación de curvas de capacidad en los diferentes niveles 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)
- Tensión de campo de la excitatriz (señal VFD)
- Corriente de campo de la excitatriz (señal IEX)

9.1.1 Verificación curva PQ @ 0.9 pu

A continuación, se presentan las mediciones realizadas para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la unidad llegando a valores próximos a 0.90 pu de tensión de terminales, debido a su imposibilidad de operar en 0.90 pu por contar con protección de subtensión en dicho valor⁸.

Si bien, la curva PQ @ 0.90 pu resulta no operable para la unidad, se consideró para las pruebas acercarnos a valores próximos a 0.90 pu y realizar la verificación de los puntos en esa condición.

⁸ La tensión nominal de la unidad es 14.5 kV



1. Punto P1_CT-Q1

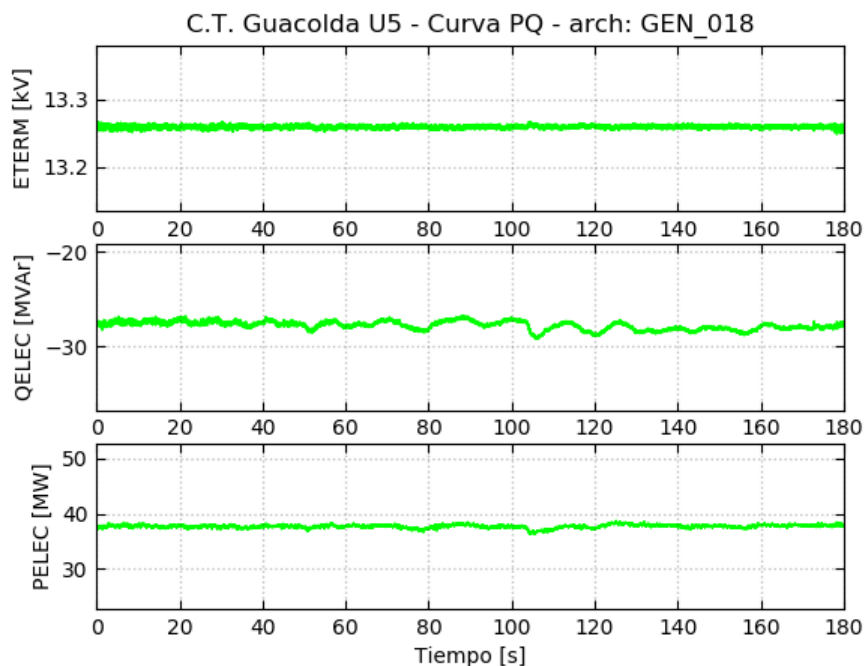


Figura 9-1: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

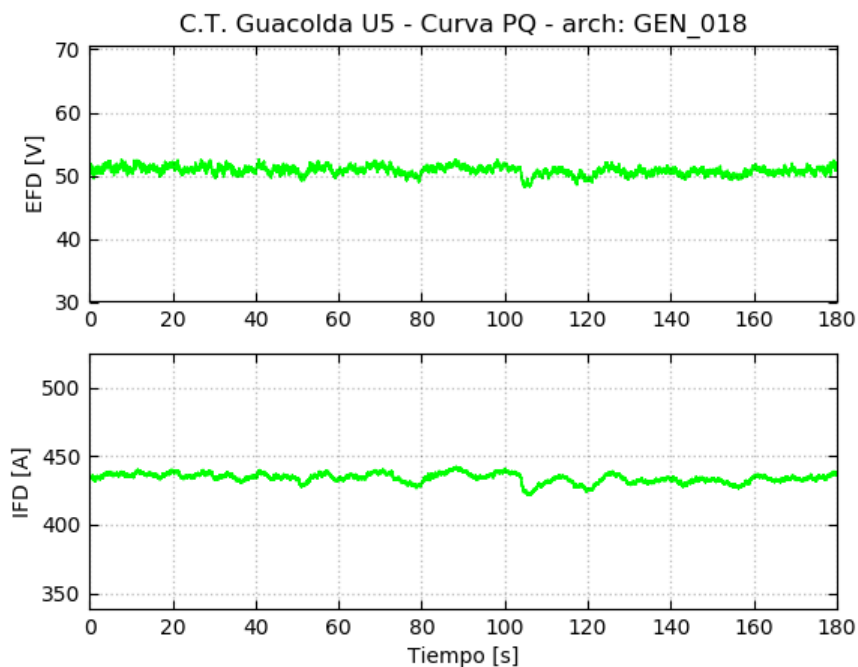


Figura 9-2: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



2. Punto P2_CT-Q2

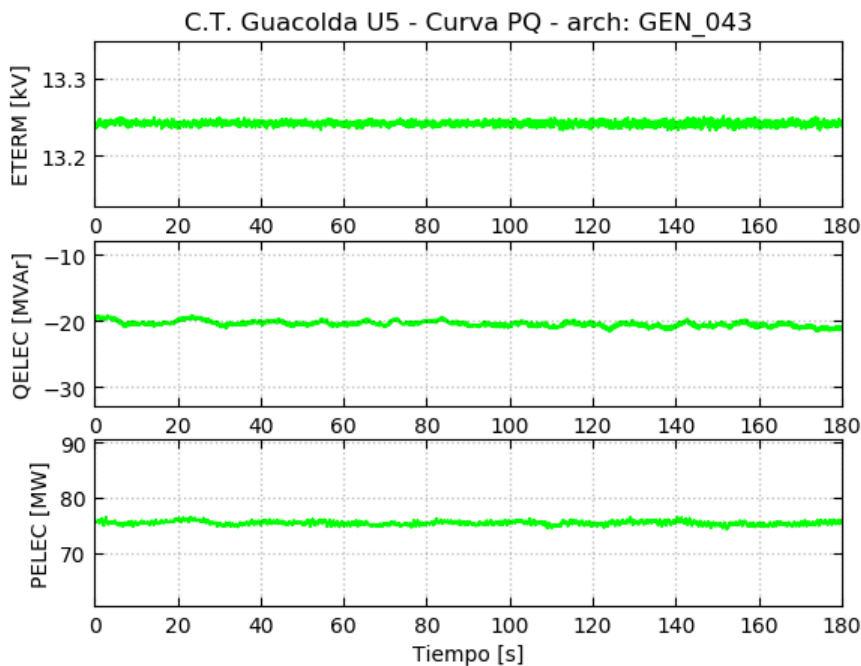


Figura 9-3: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

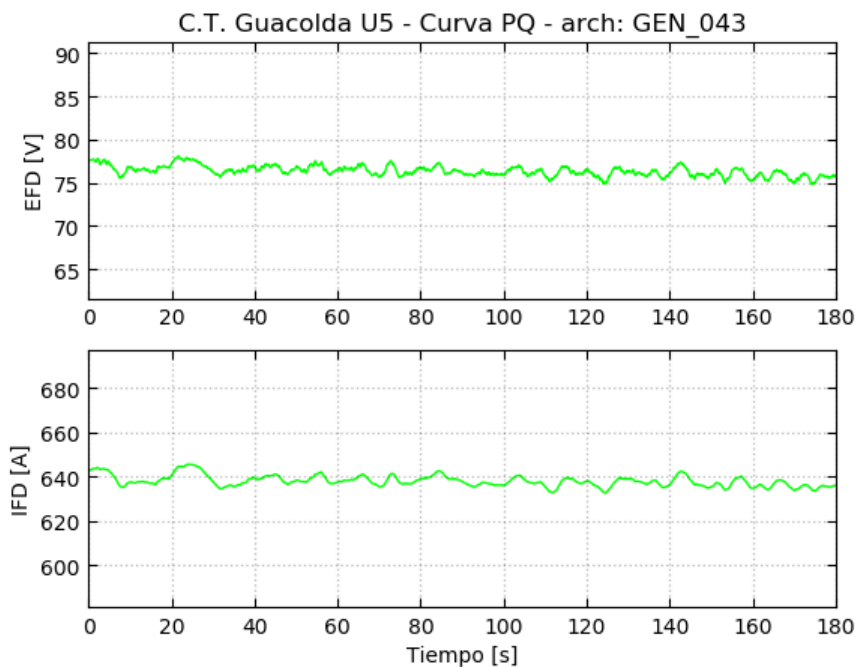


Figura 9-4: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



3. Punto P4_CT-Q3

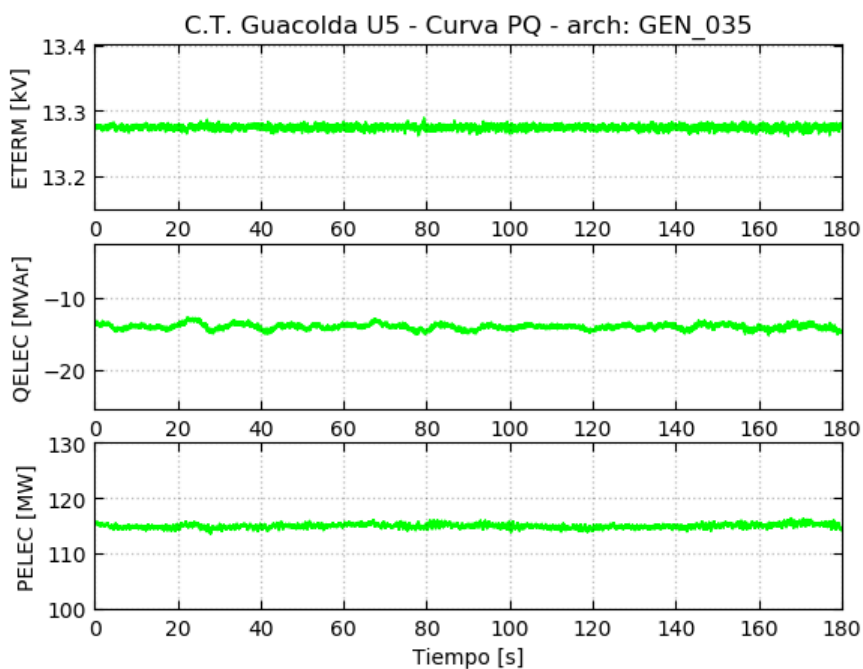


Figura 9-5: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

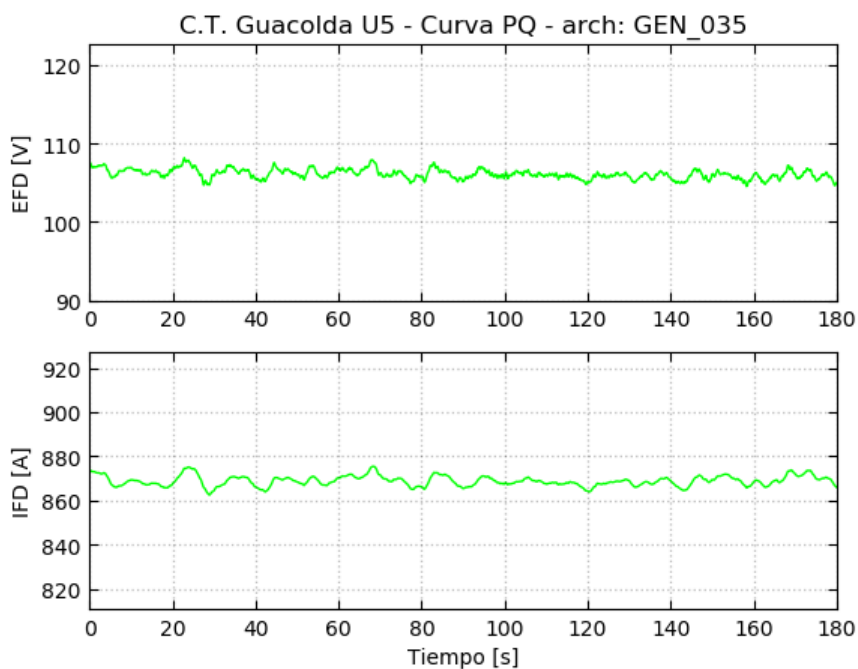


Figura 9-6: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



4. Punto P5_CT-Q4

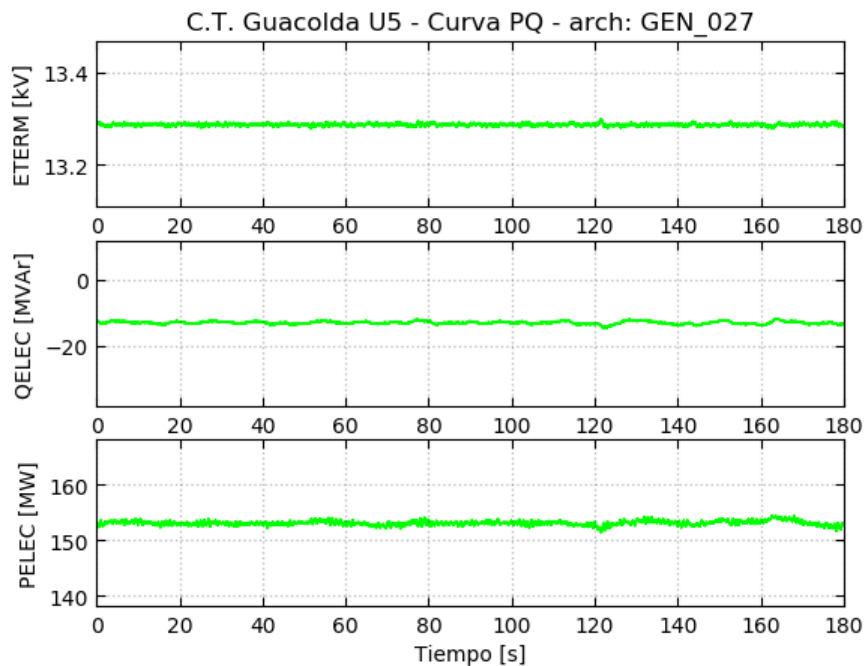


Figura 9-7: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

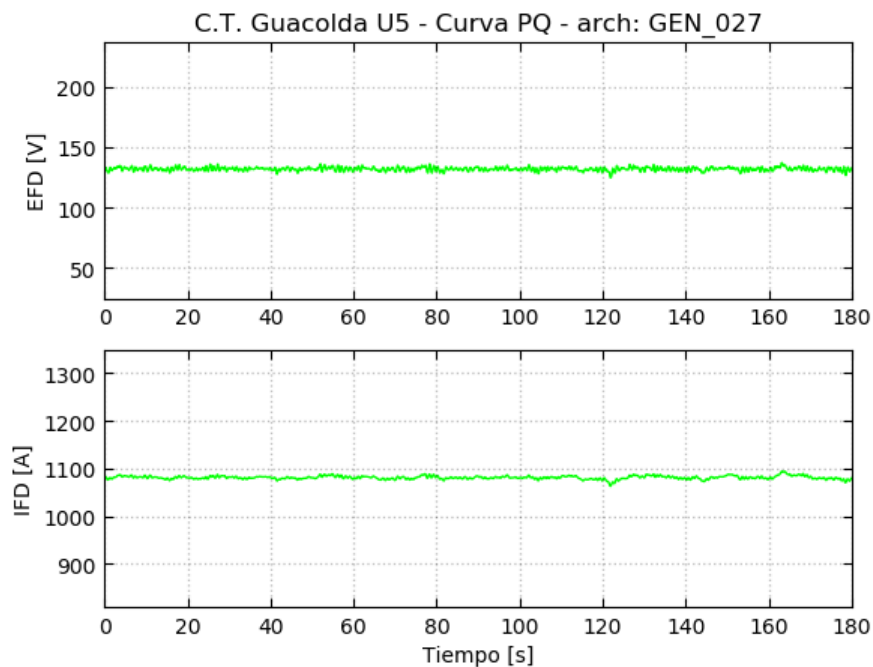


Figura 9-8: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



5. Punto P5_CT-Q5

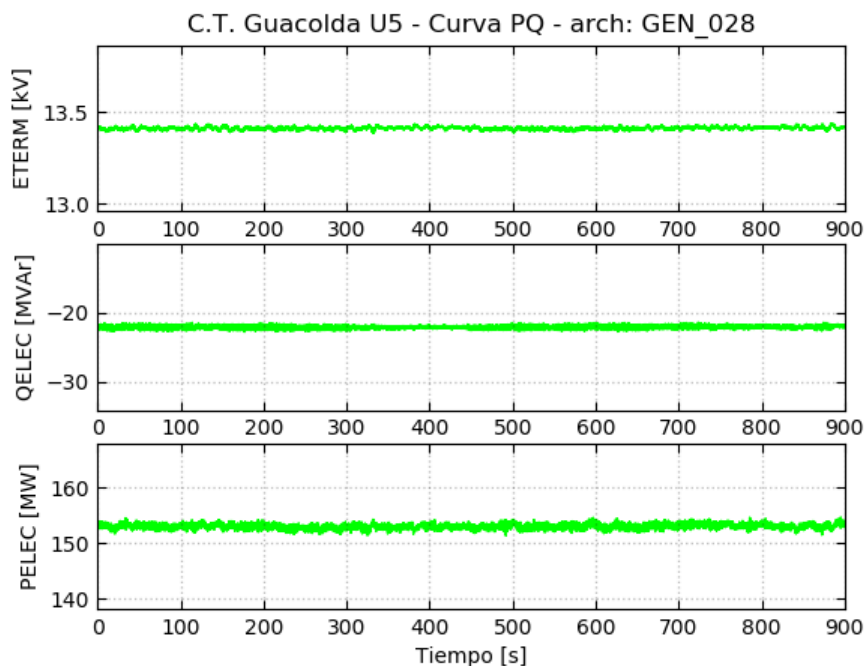


Figura 9-9: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

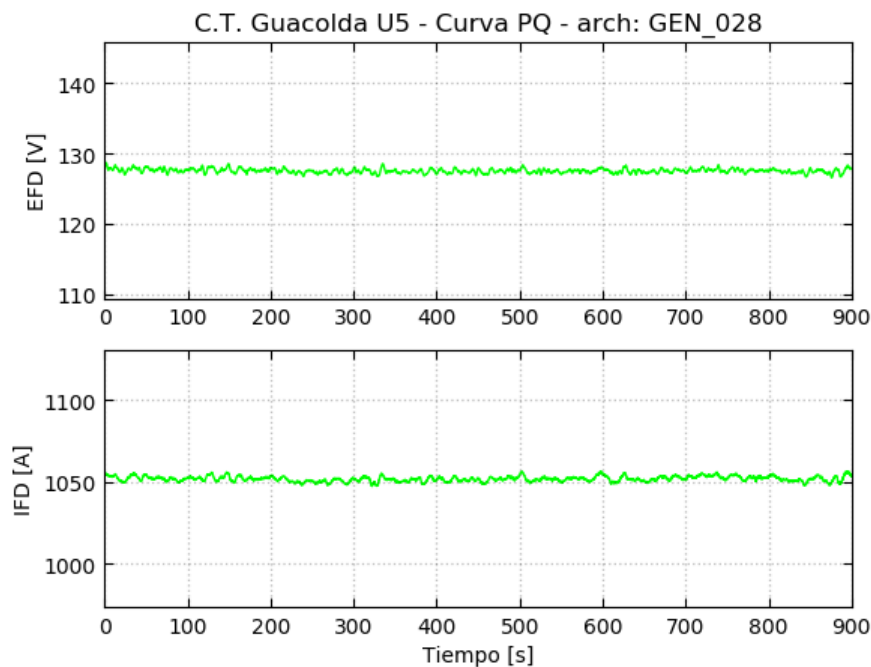


Figura 9-10: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



6. Punto P4_CT-Q6

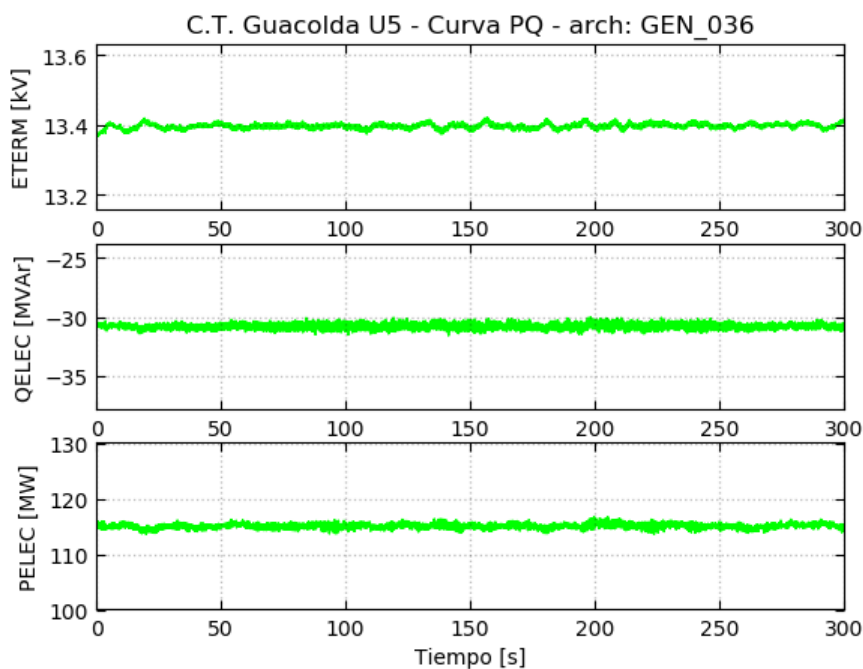


Figura 9-11: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

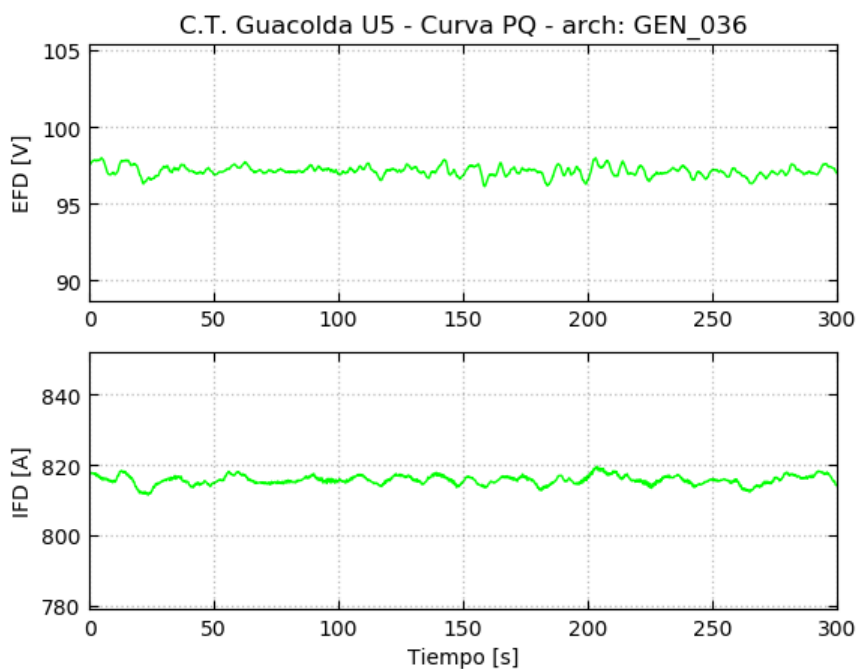
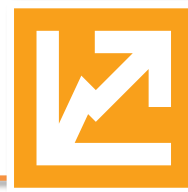


Figura 9-12: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



7. Punto P2_CT-Q7

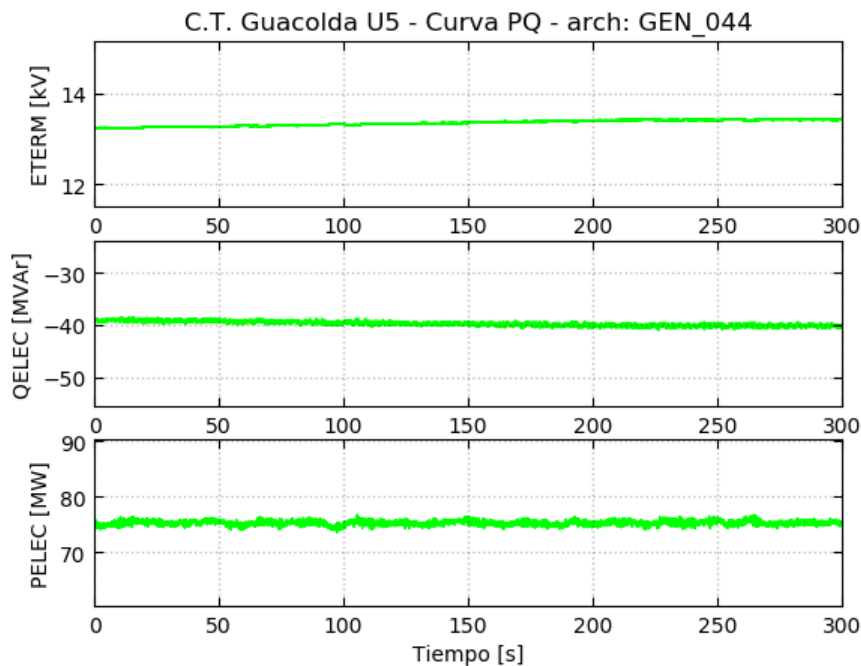


Figura 9-13: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

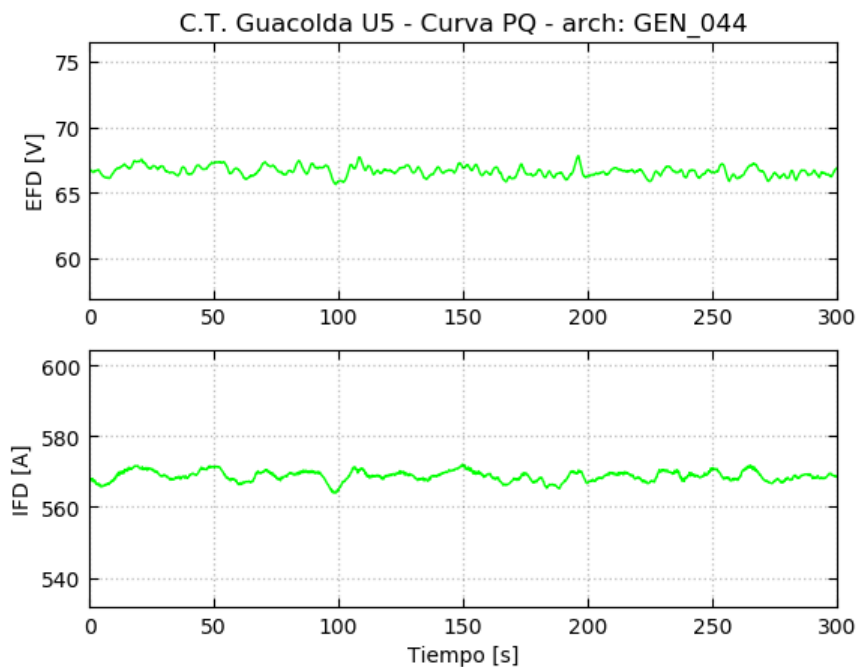


Figura 9-14: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



8. Punto P1_CT-Q8

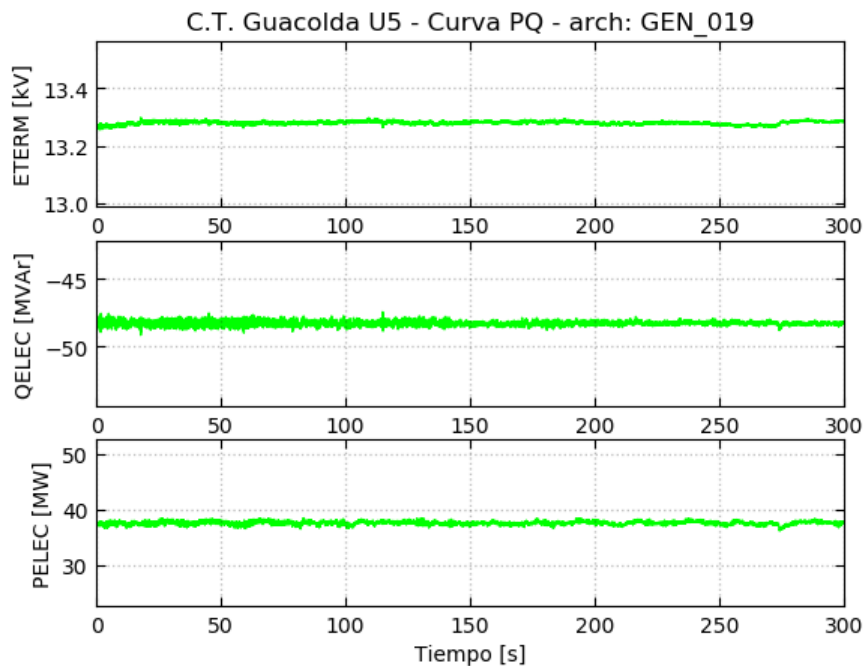


Figura 9-15: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

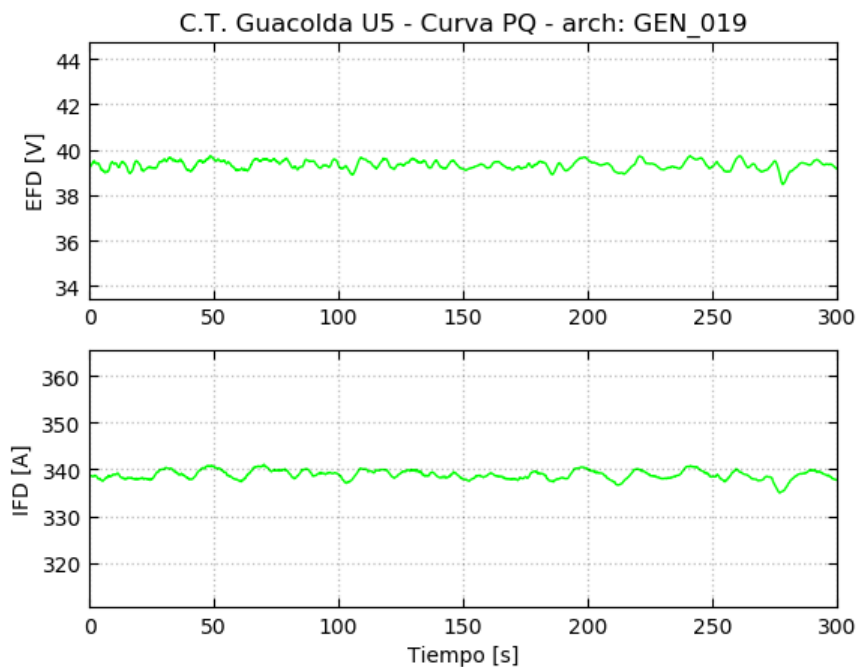


Figura 9-16: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



9.1.2 Verificación curva PQ @ 0.95 pu

A continuación, se presentan las mediciones realizadas para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la unidad correspondiente a 0.95 pu desde el lado sobrecitado hacia la parte subexcitada.

1. Punto P1_CT-Q1

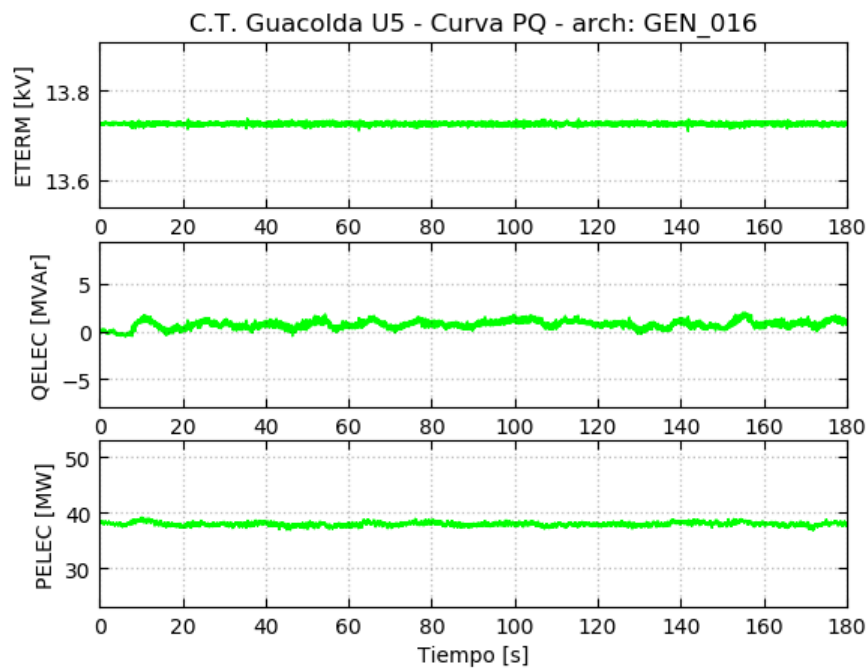


Figura 9-17: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

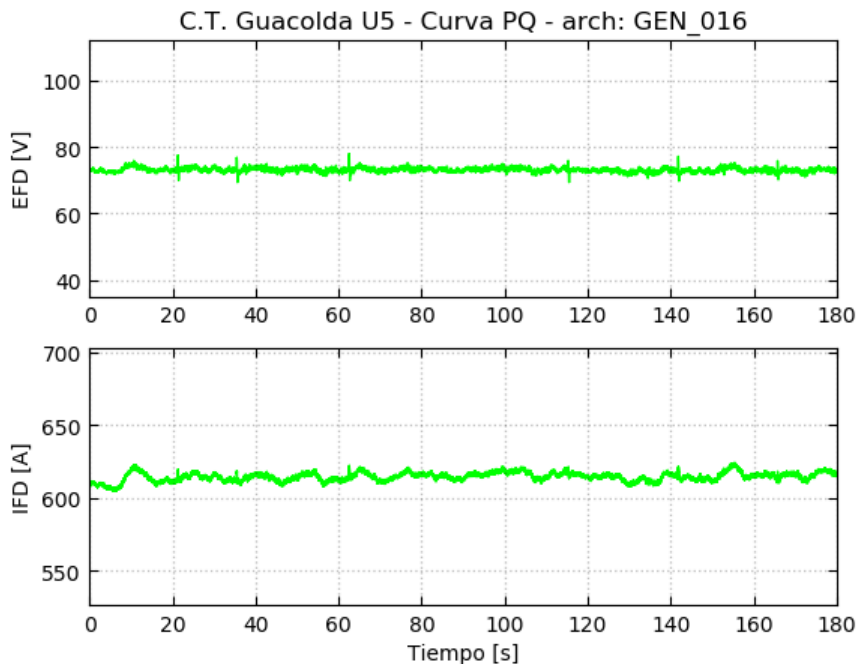


Figura 9-18: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

2. Punto P2_CT-Q2

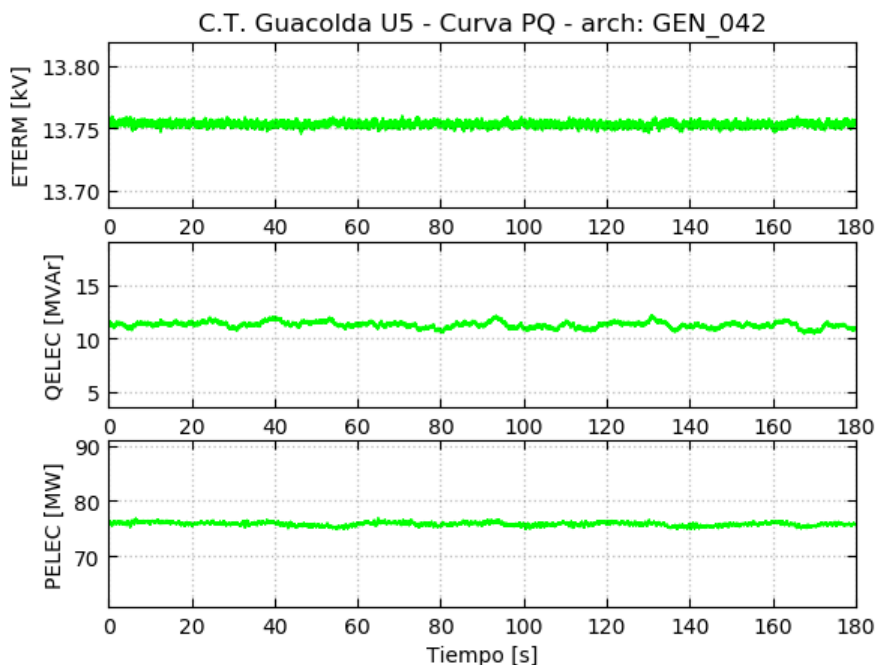


Figura 9-19: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

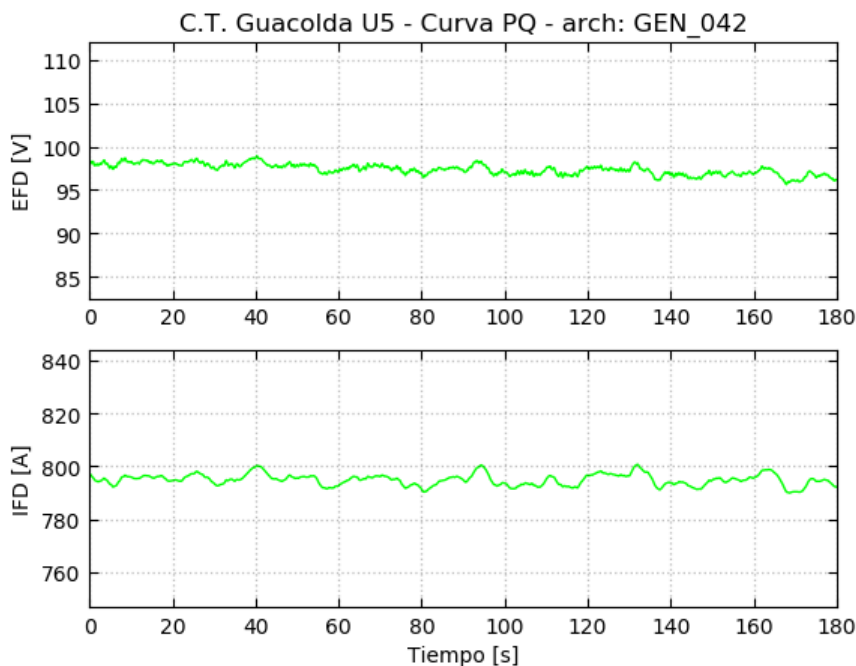
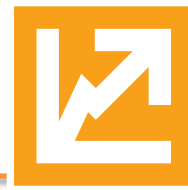


Figura 9-20: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

3. Punto P4_CT-Q3

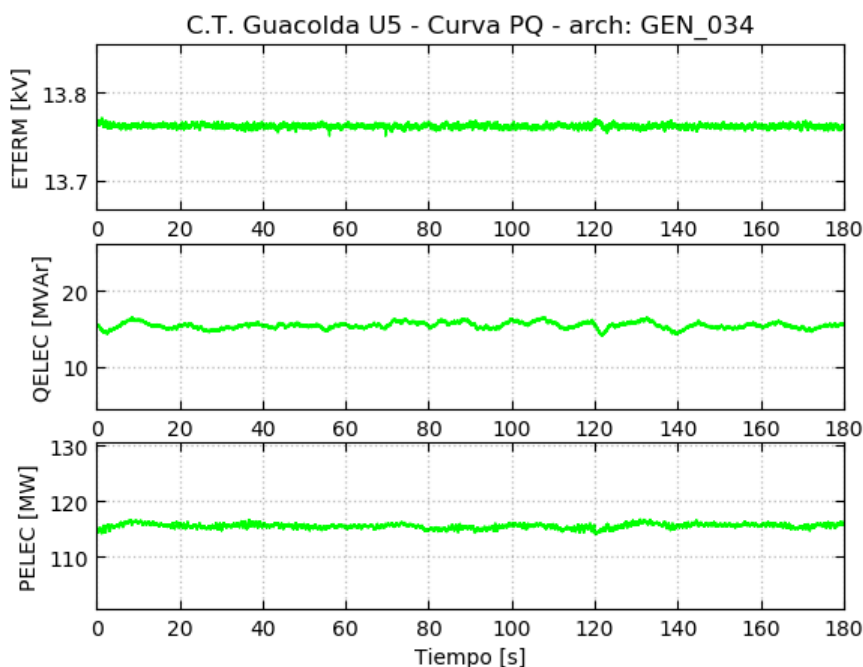


Figura 9-21: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

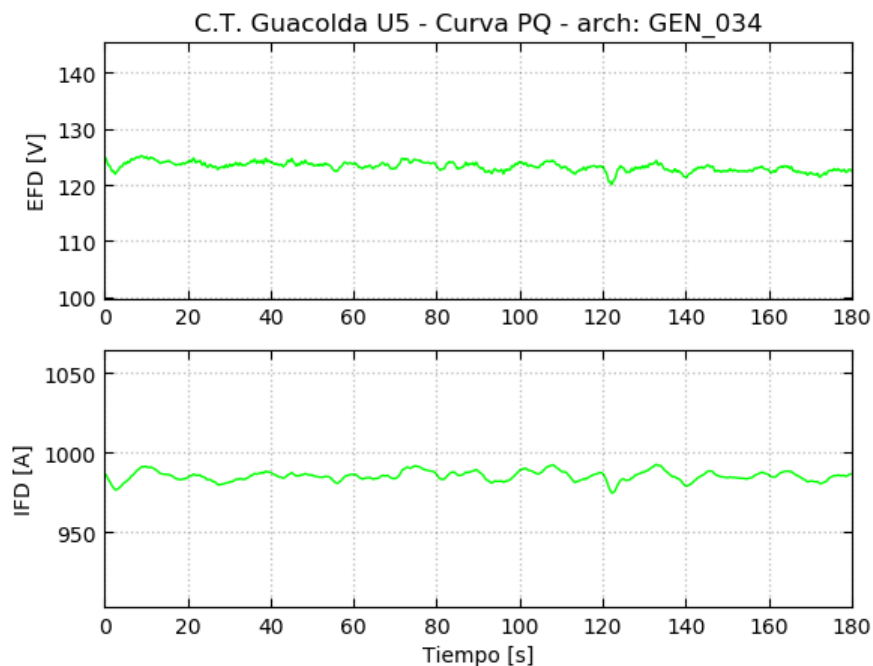


Figura 9-22: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

4. Punto P5_CT-Q4

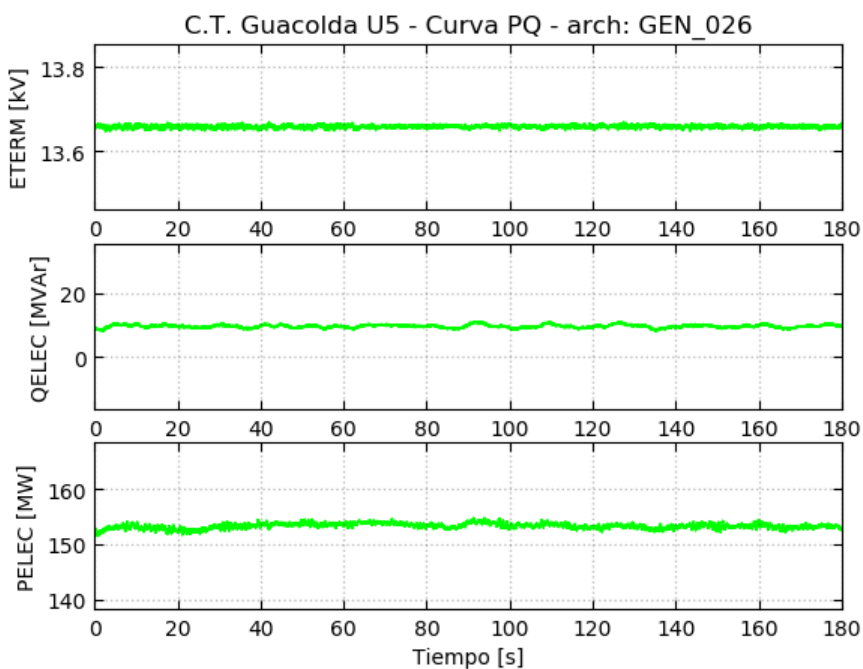


Figura 9-23: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

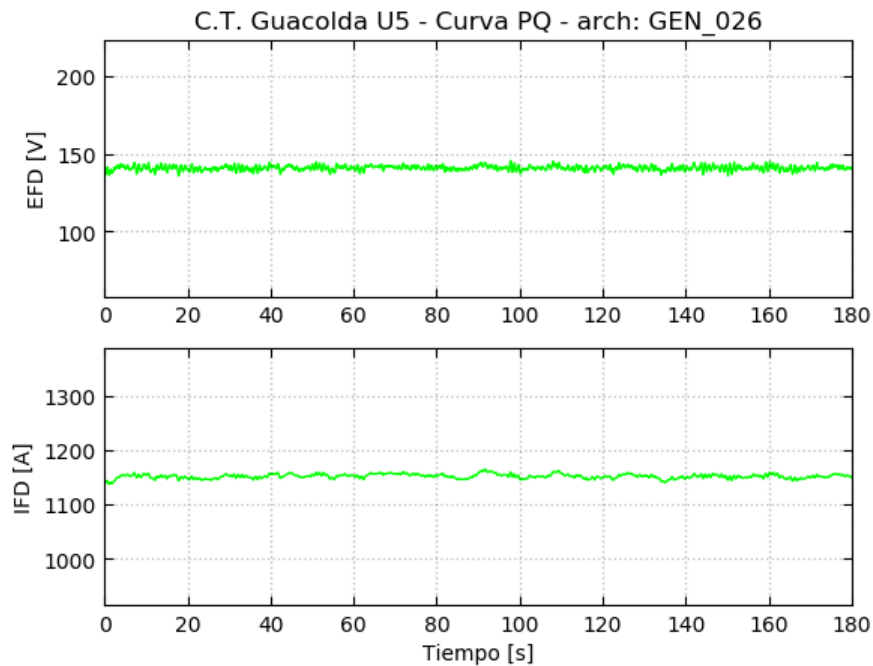


Figura 9-24: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

5. Punto P5_CT-Q5

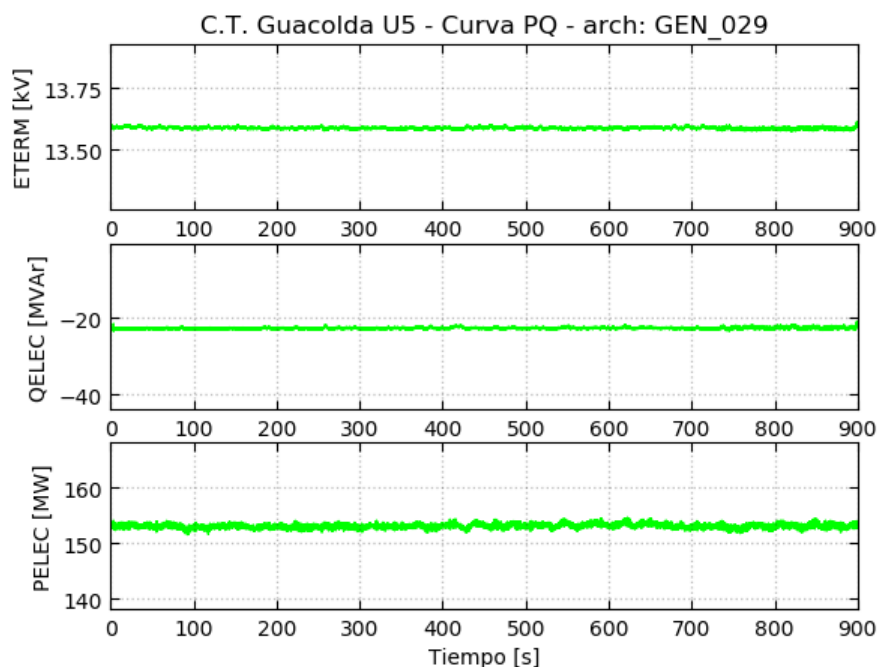


Figura 9-25: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

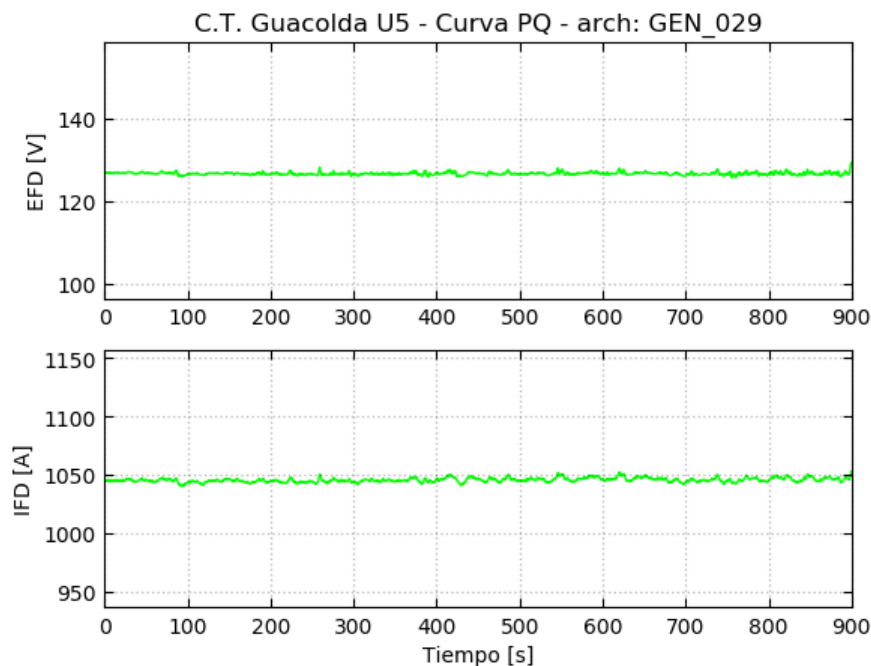


Figura 9-26: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

6. Punto P4_CT-Q6

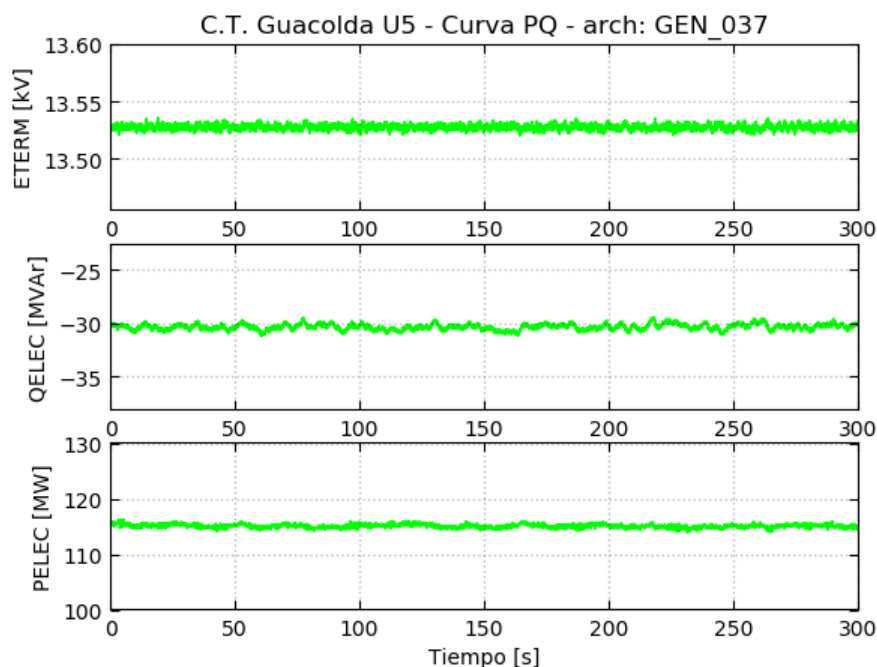


Figura 9-27: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

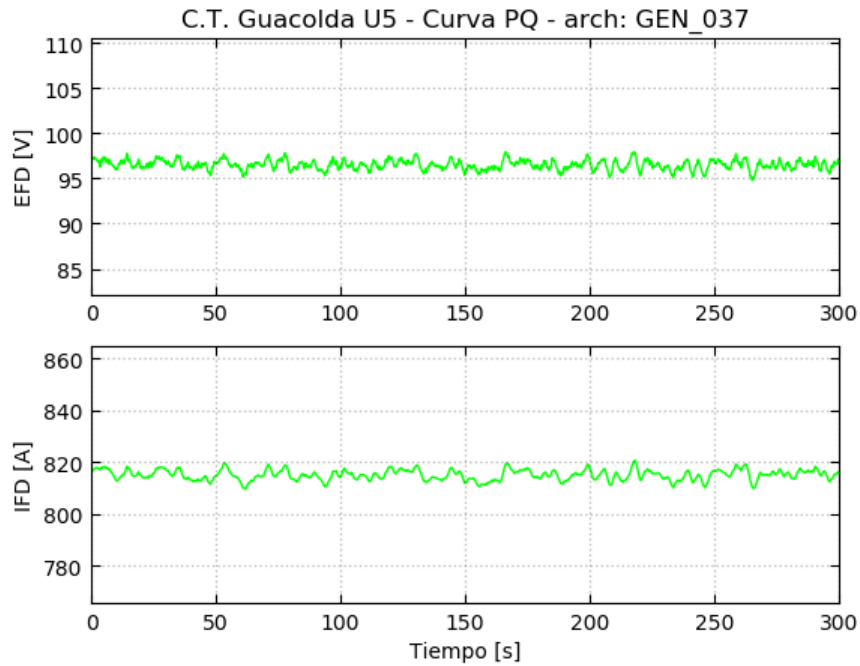


Figura 9-28: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

7. Punto P2_CT-Q7

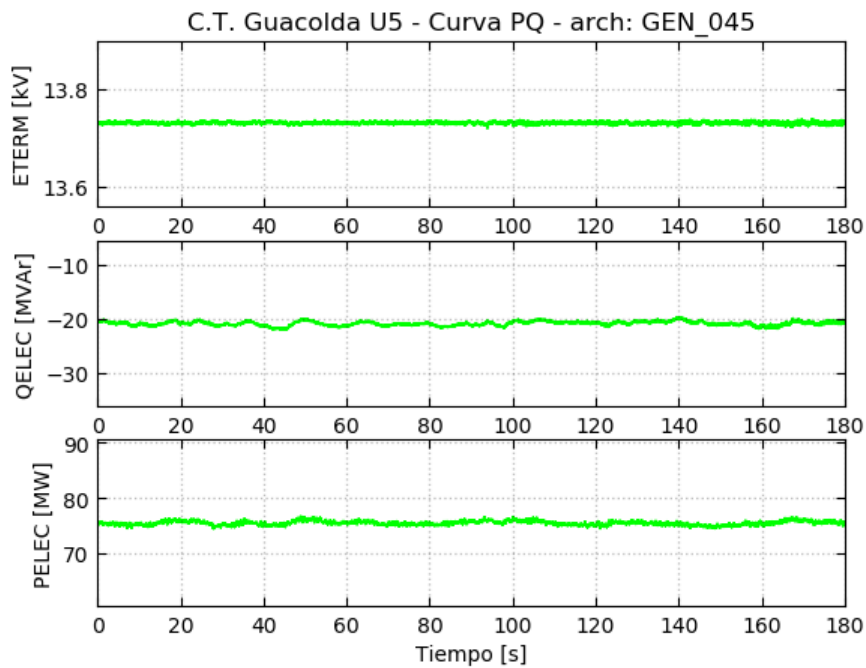


Figura 9-29: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

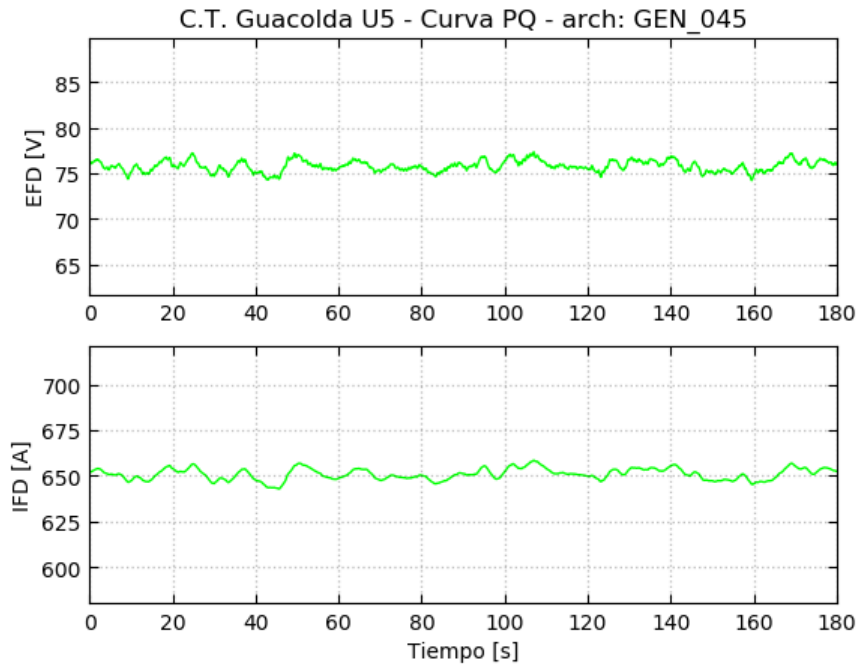


Figura 9-30: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

8. Punto P1_CT-Q8

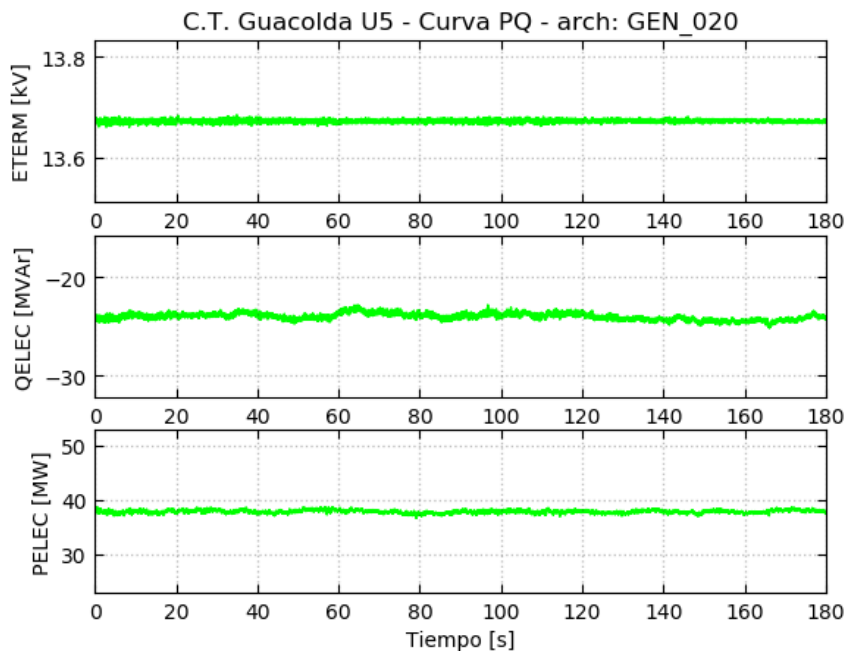


Figura 9-31: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

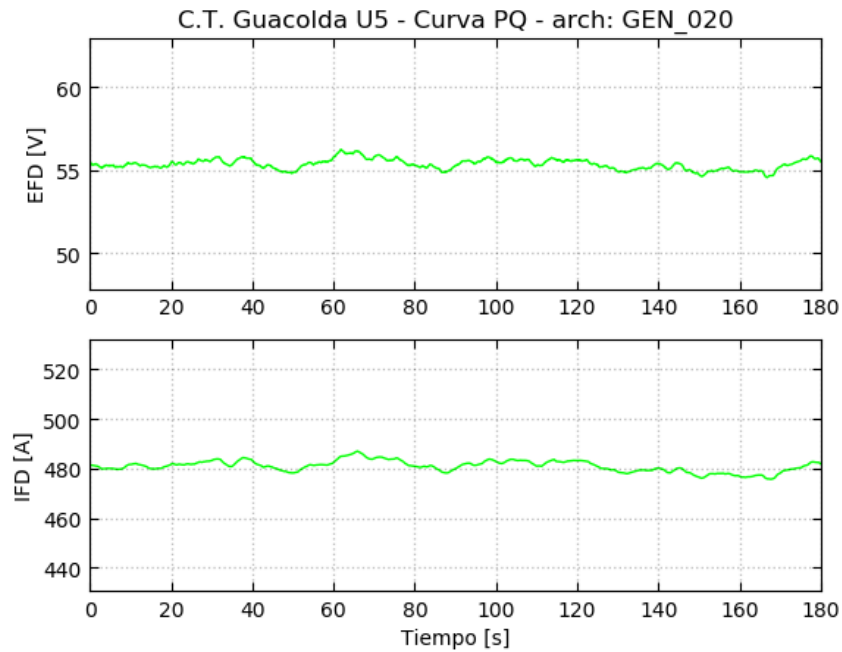


Figura 9-32: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



9.1.3 Verificación curva PQ @ 1.00 pu

A continuación, se presentan las mediciones realizadas para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la unidad correspondiente a 1.00 pu desde el lado sobrecitado hacia la parte subexcitada.

1. Punto P1_CT-Q1

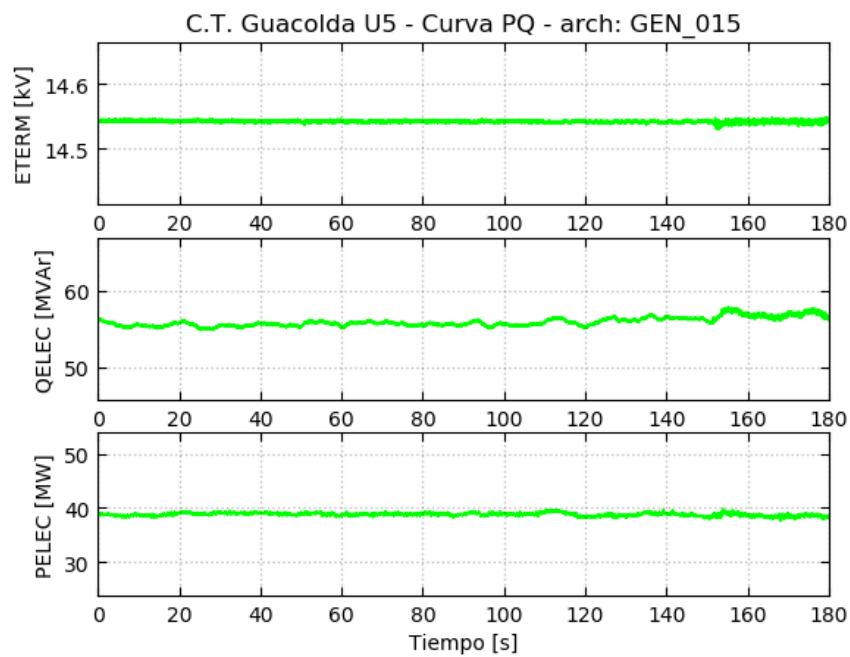


Figura 9-33: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

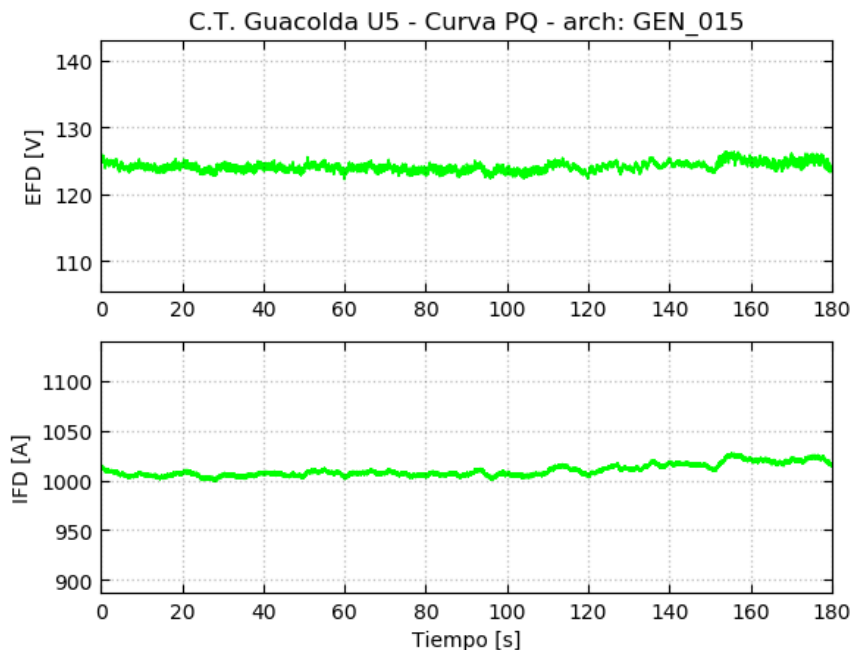
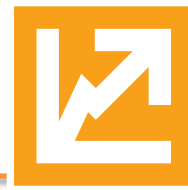


Figura 9-34: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

2. Punto P2_CT-Q2

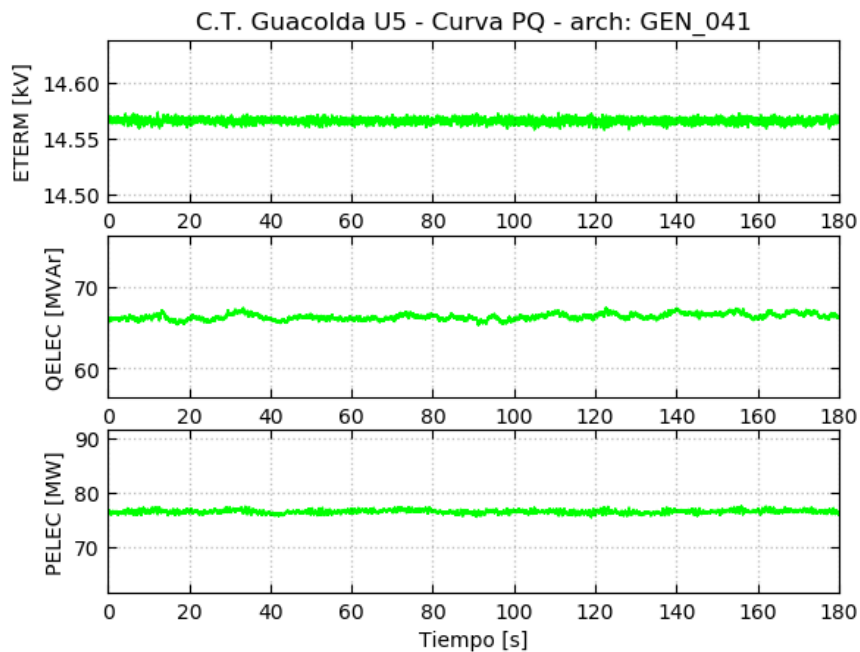


Figura 9-35: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

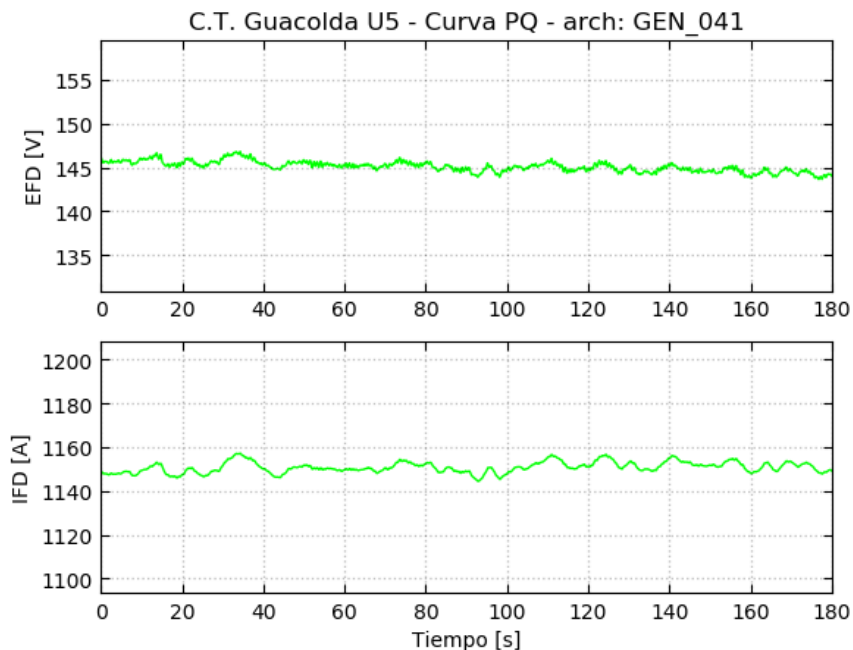
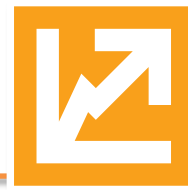


Figura 9-36: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

3. Punto P4_CT-Q3

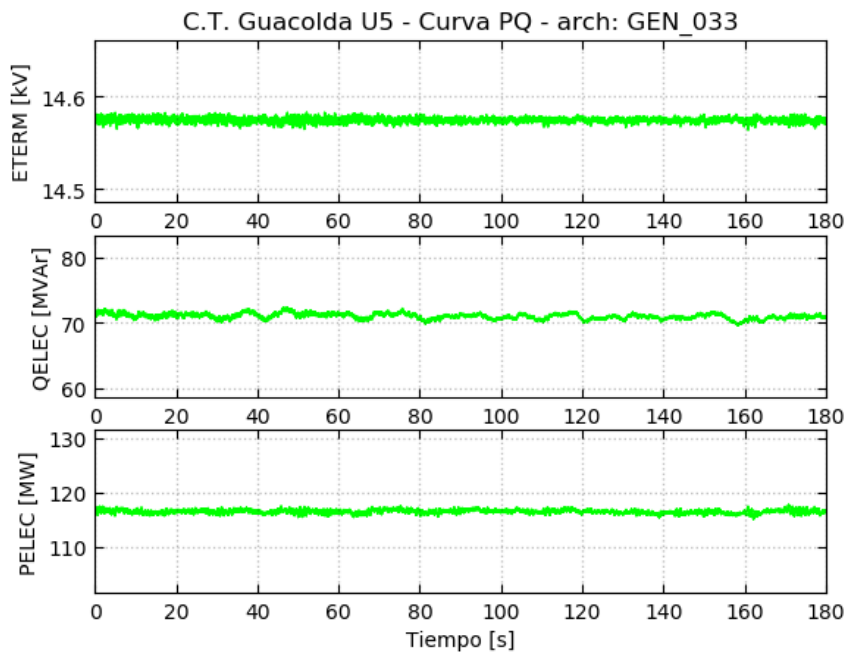


Figura 9-37: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

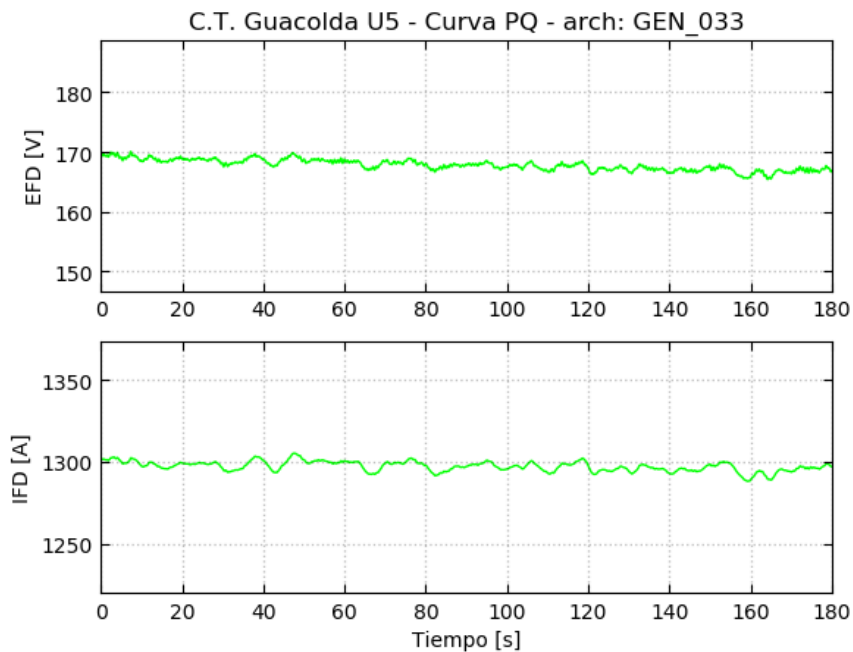


Figura 9-38: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

4. Punto P5_CT-Q4

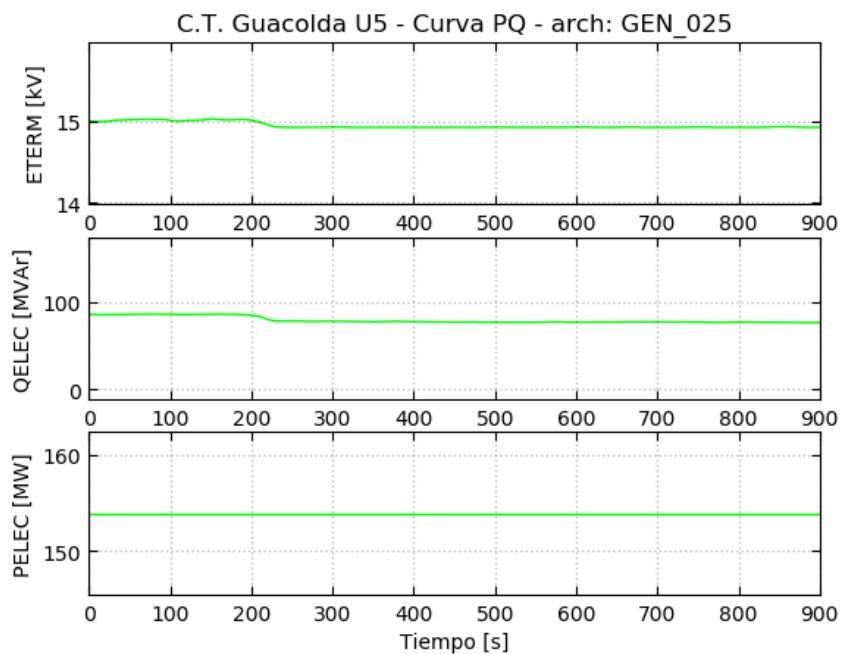


Figura 9-39: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

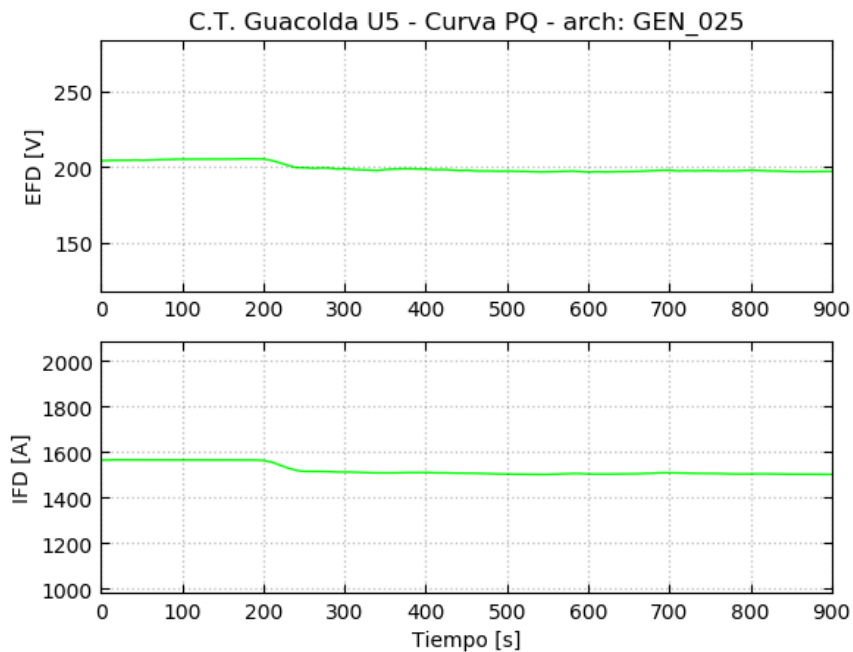


Figura 9-40: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

5. Punto P5_CT-Q5

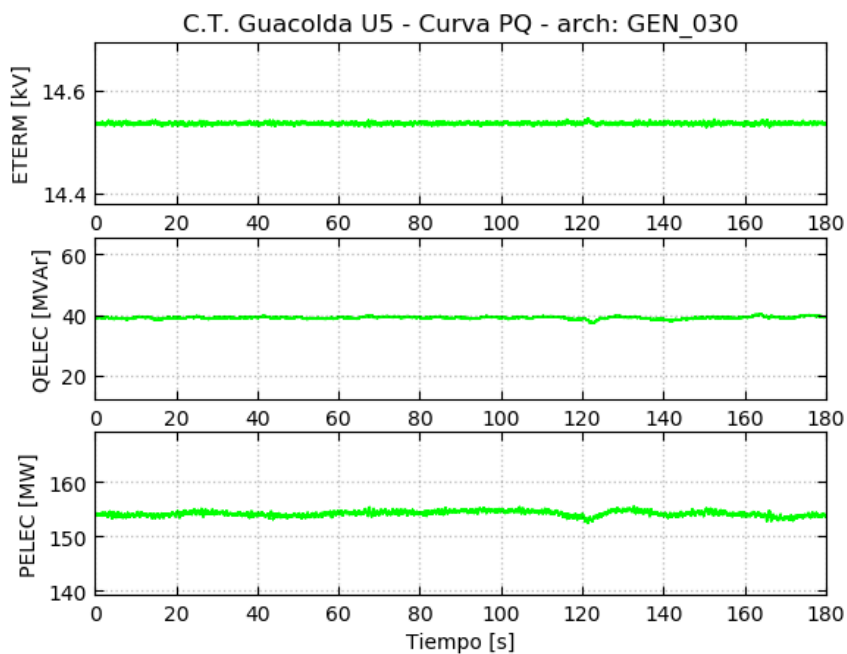


Figura 9-41: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

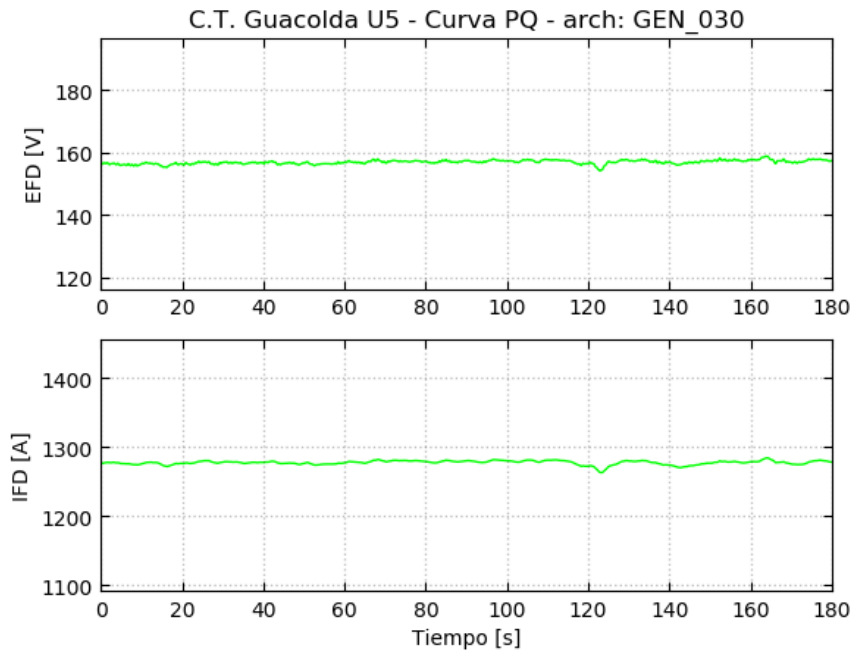


Figura 9-42: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

6. Punto P4_CT-Q6

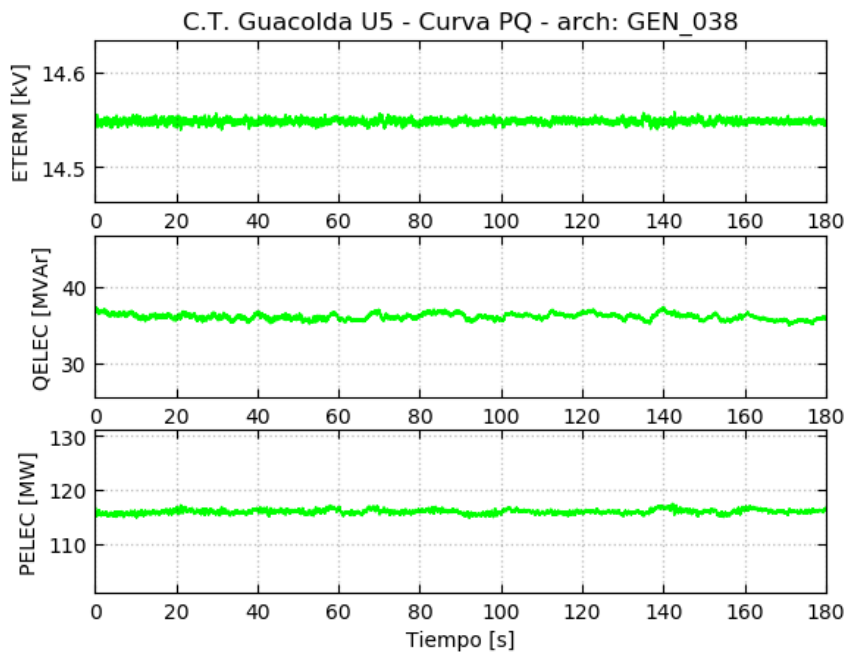


Figura 9-43: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

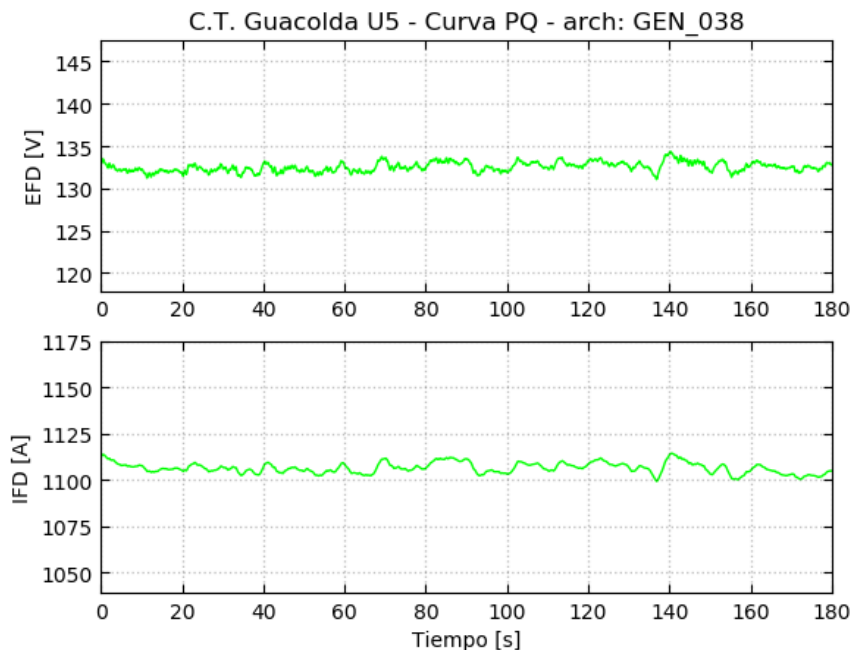


Figura 9-44: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

7. Punto P2_CT-Q7

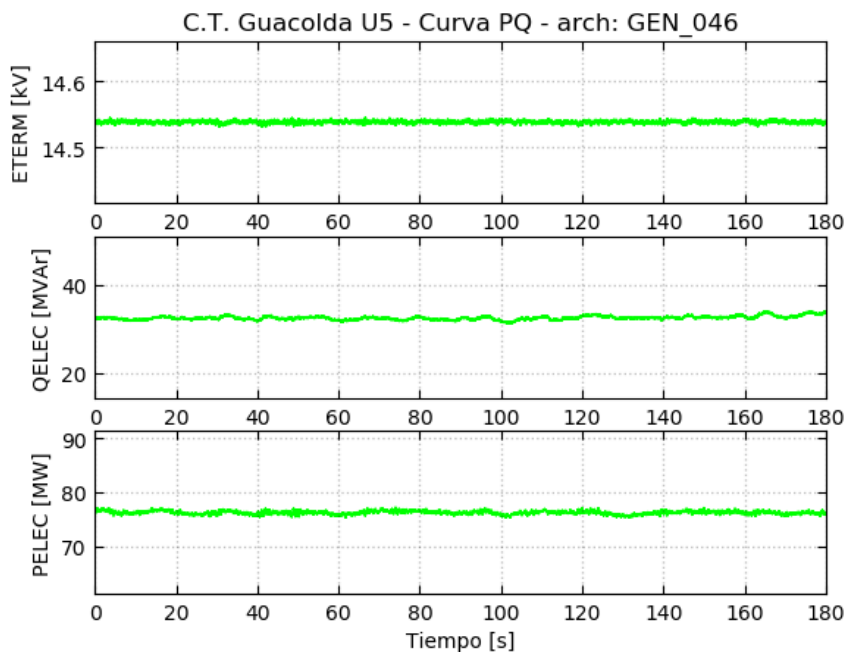


Figura 9-45: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

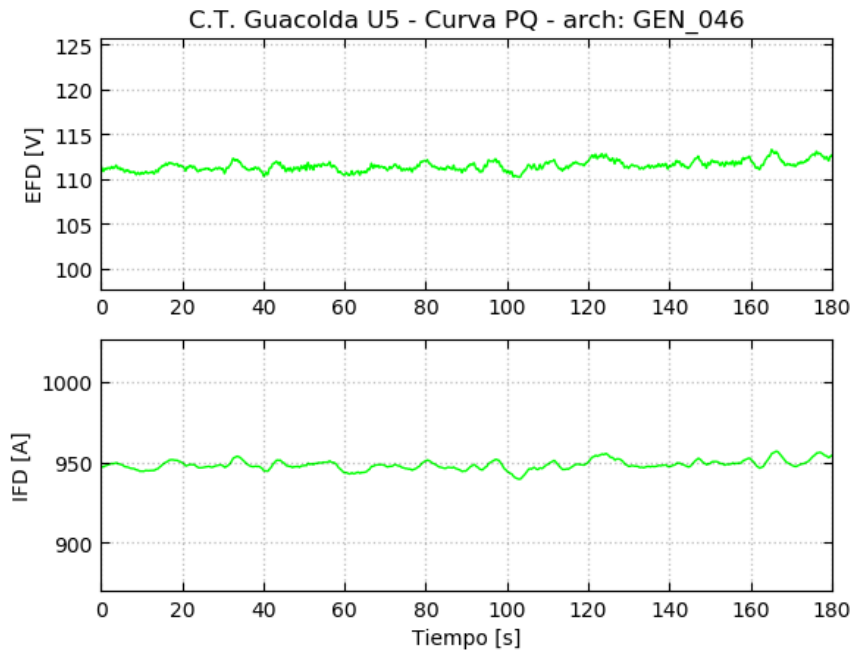


Figura 9-46: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

8. Punto P1_CT-Q8

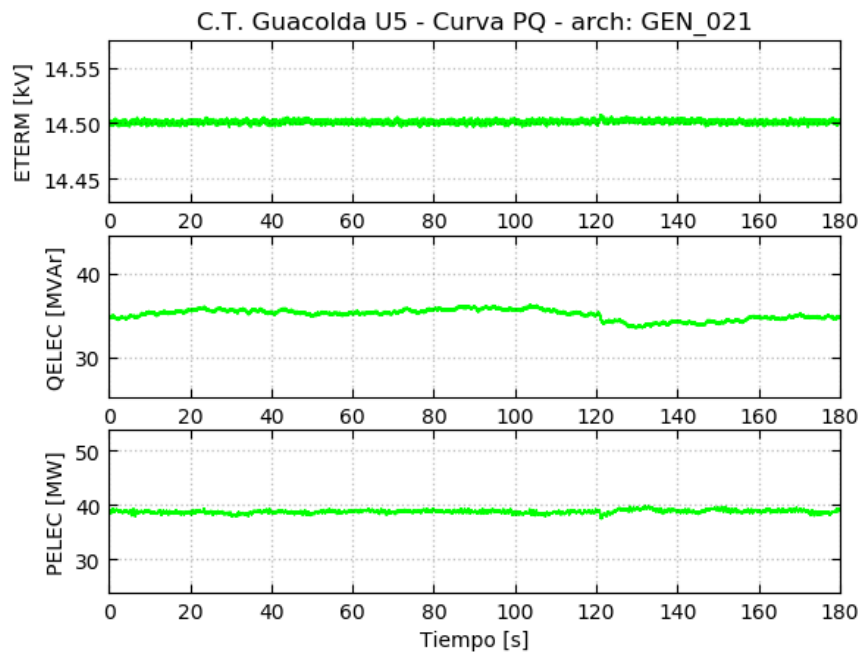


Figura 9-47: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

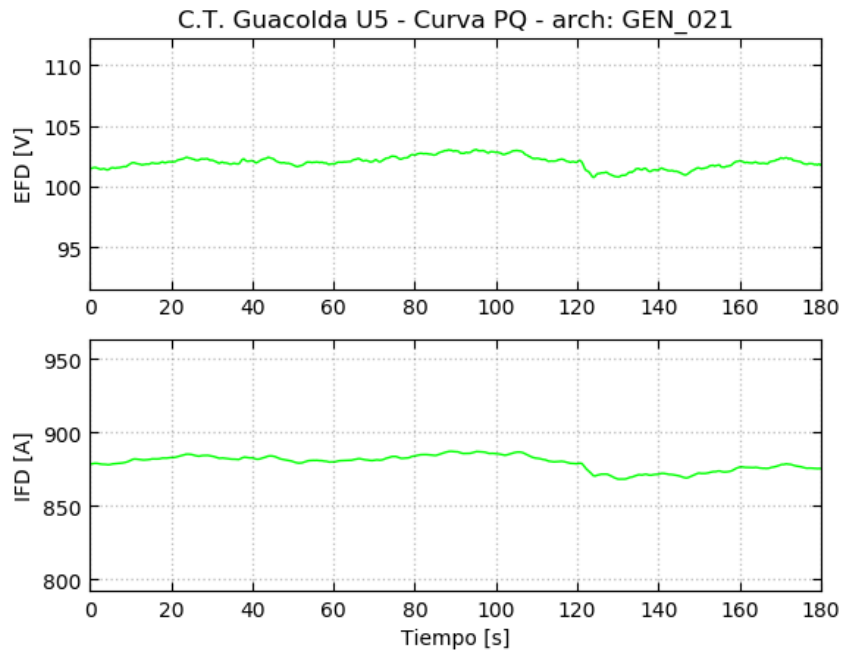


Figura 9-48: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



9.1.4 Verificación curva PQ @ 1.05 pu

A continuación, se presentan las mediciones realizadas para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la unidad correspondiente a 1.05 pu desde el lado sobrecitado hacia la parte subexcitada.

1. Punto P1_CT-Q1

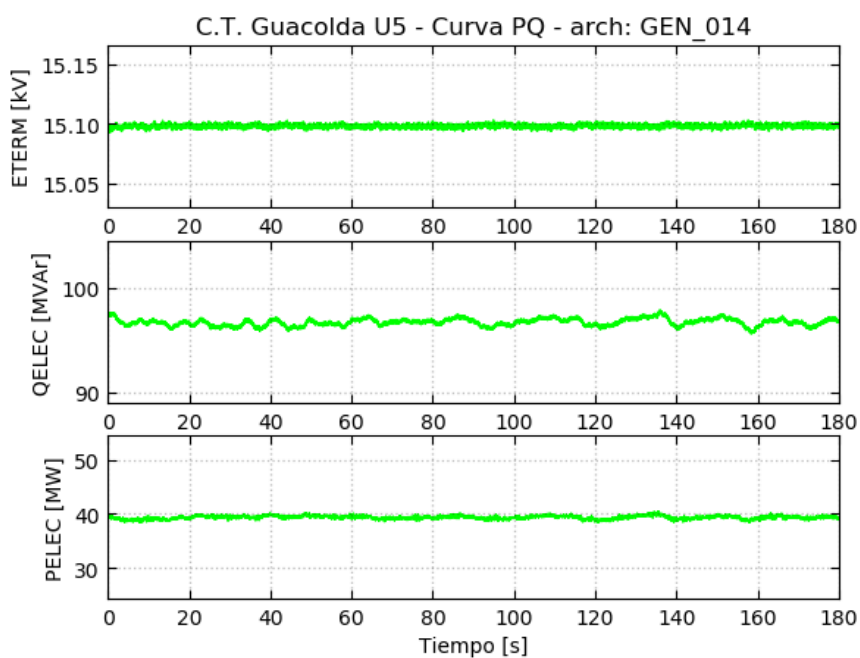


Figura 9-49: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

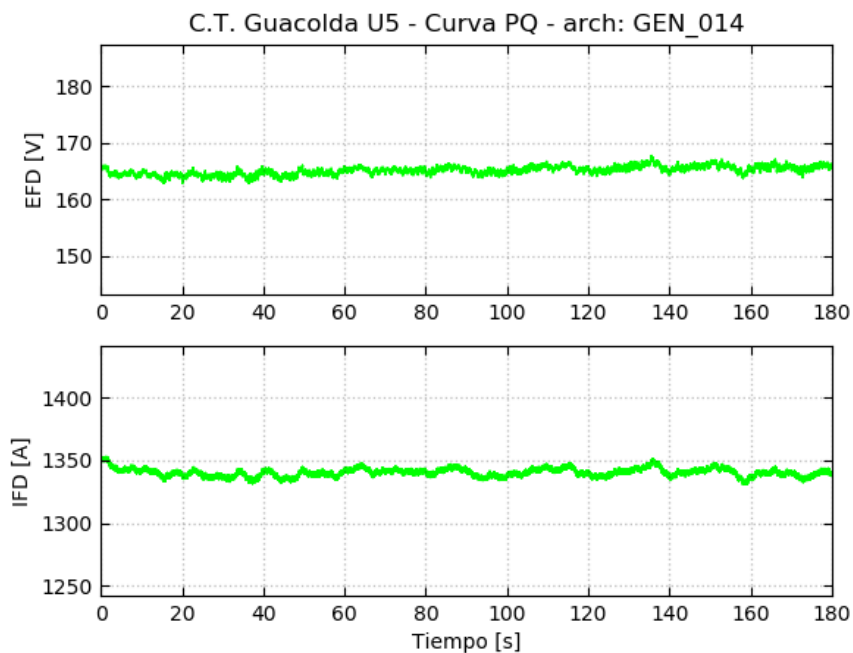


Figura 9-50: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

2. Punto P2_CT-Q2

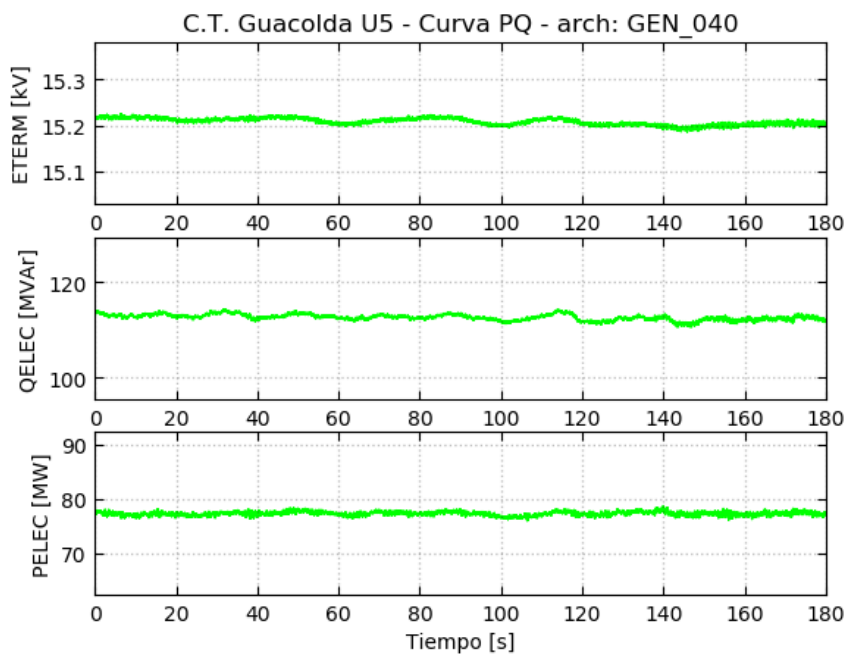


Figura 9-51: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

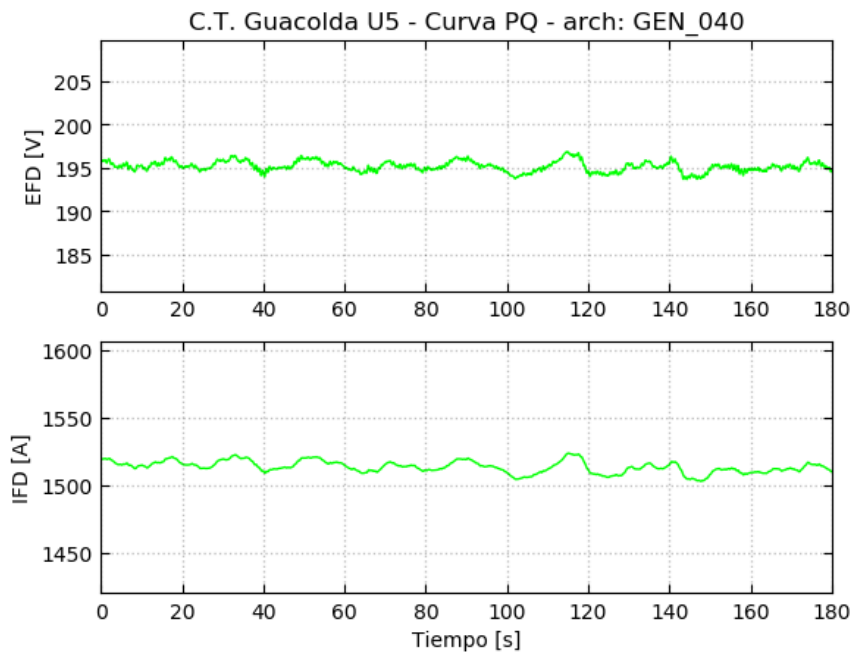


Figura 9-52: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

3. Punto P4_CT-Q3

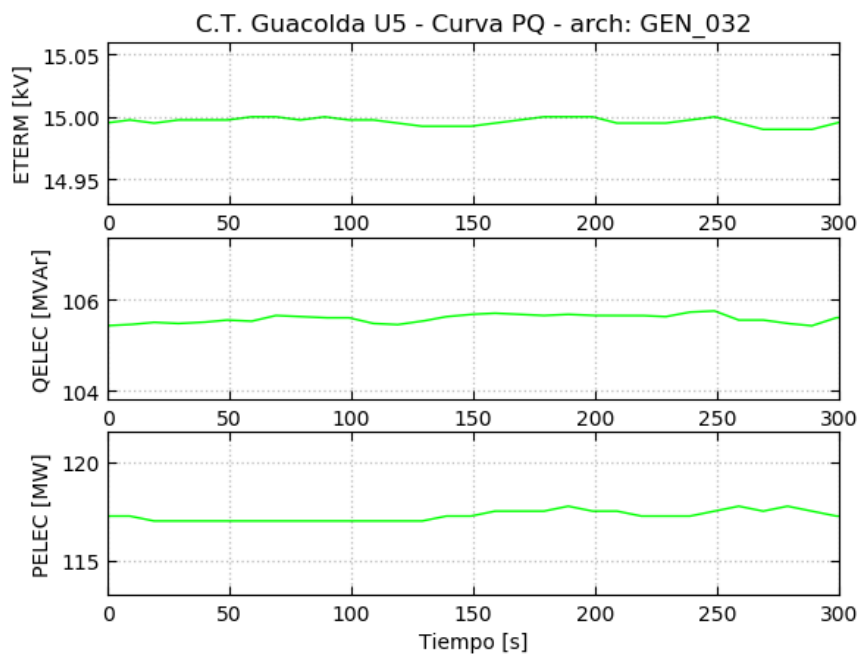


Figura 9-53: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

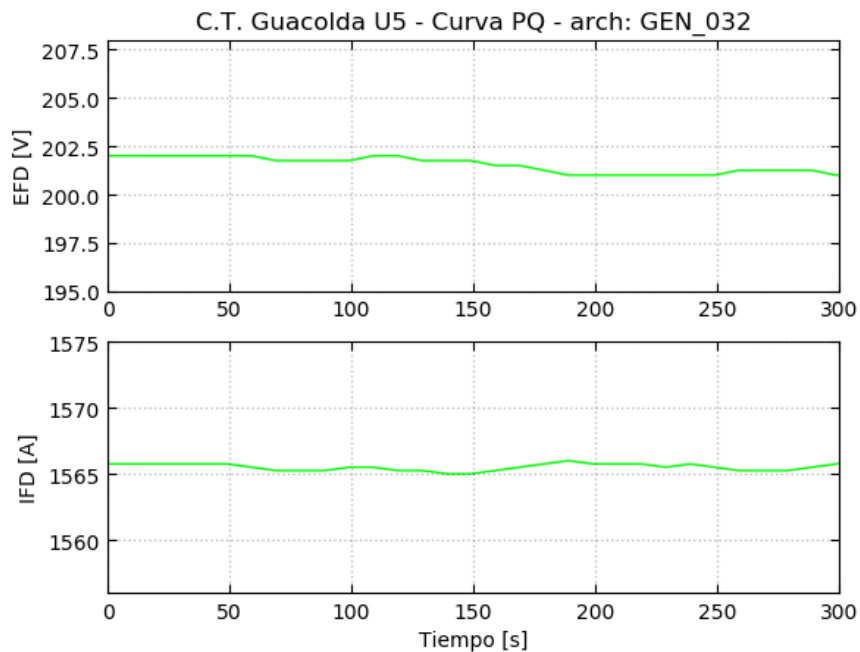


Figura 9-54: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

4. Punto P5_CT-Q4

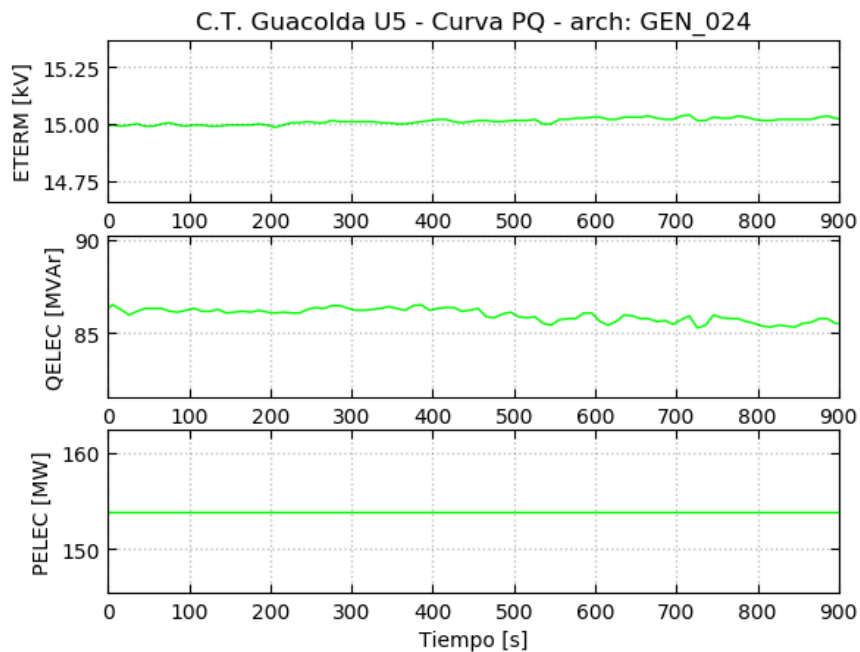


Figura 9-55: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

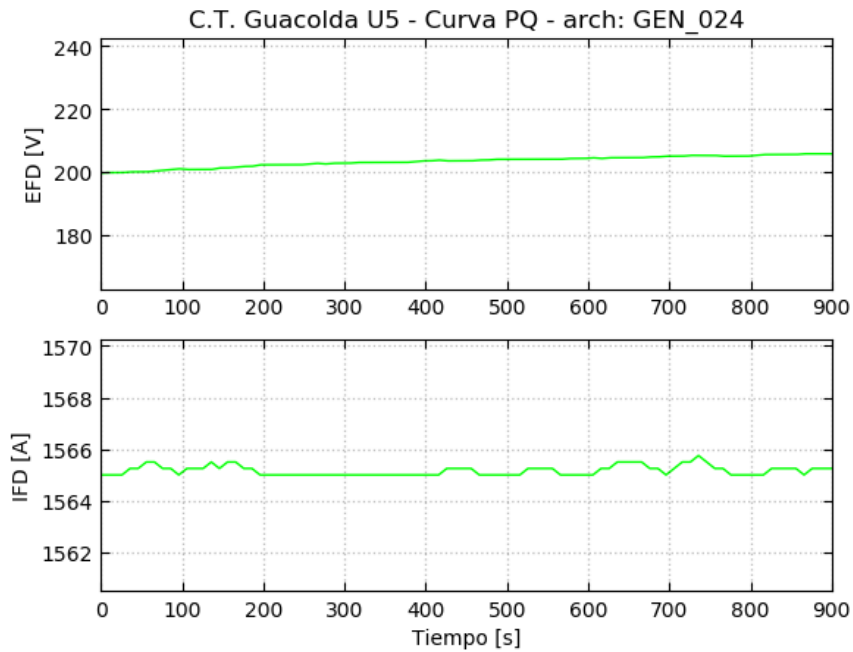


Figura 9-56: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

5. Punto P5_CT-Q5

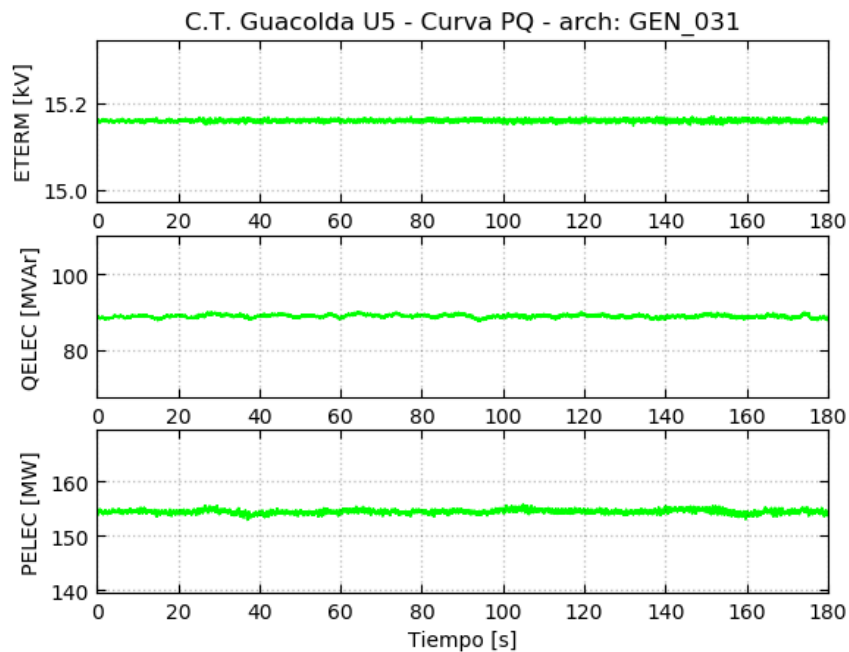


Figura 9-57: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

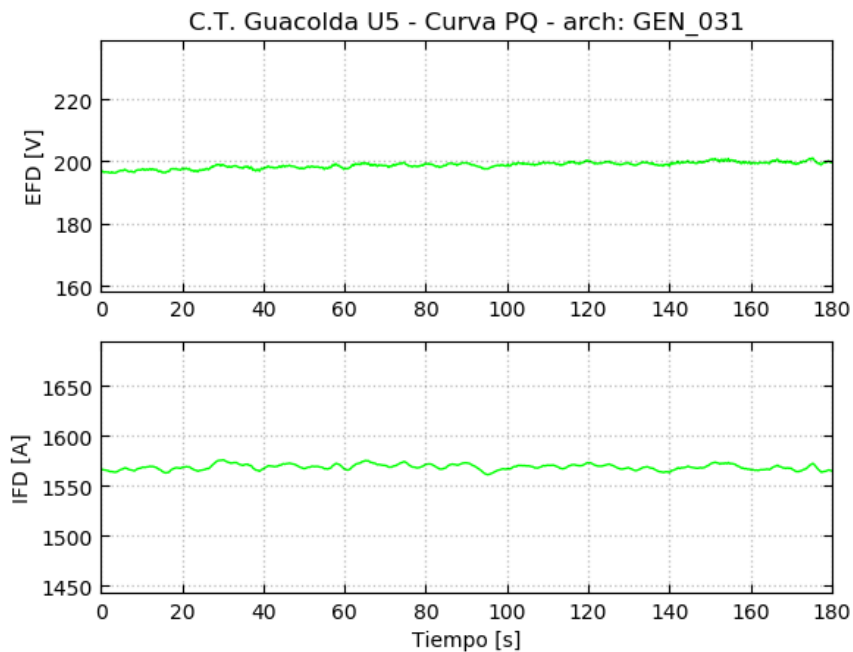


Figura 9-58: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

6. Punto P4_CT-Q6

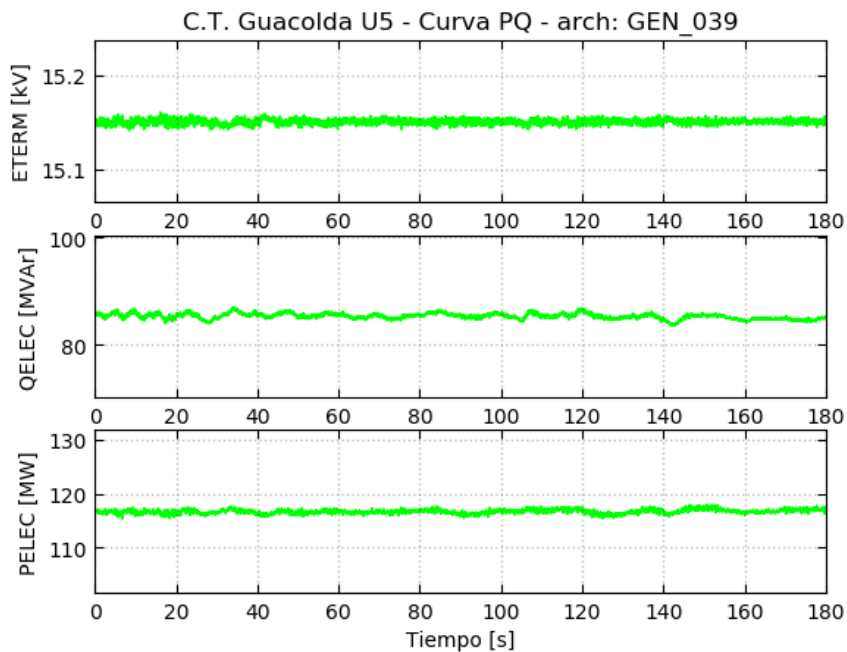


Figura 9-59: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

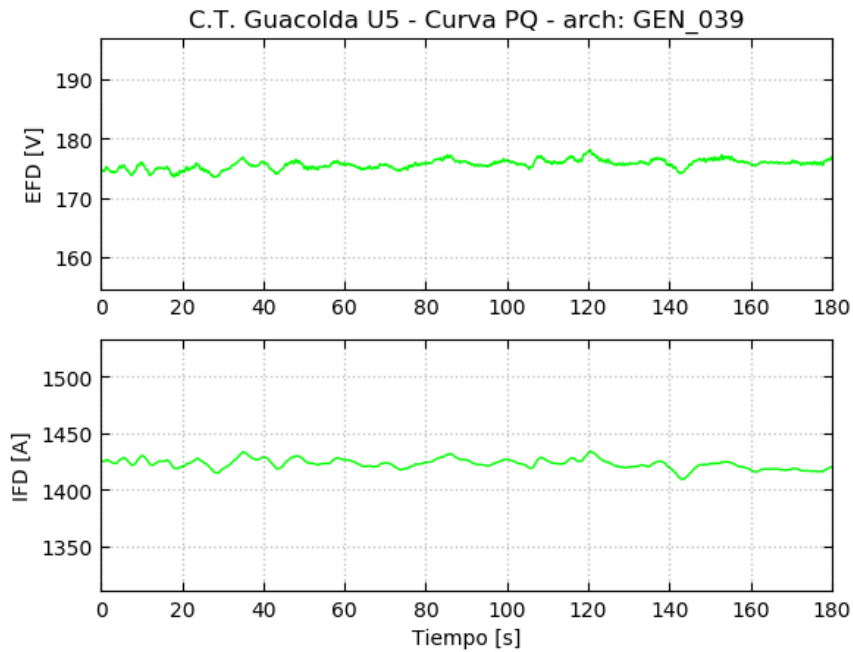


Figura 9-60: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

7. Punto P2_CT-Q7

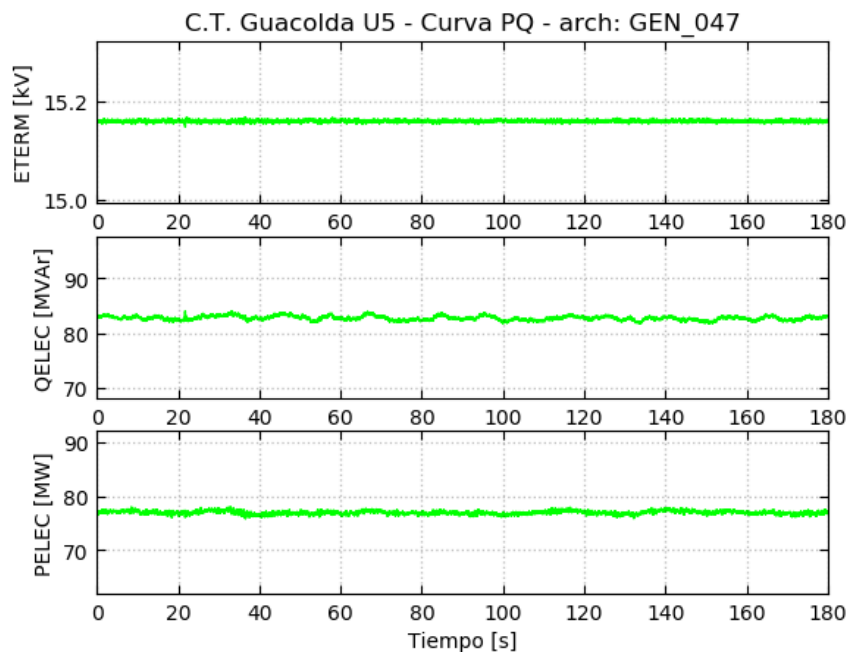


Figura 9-61: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

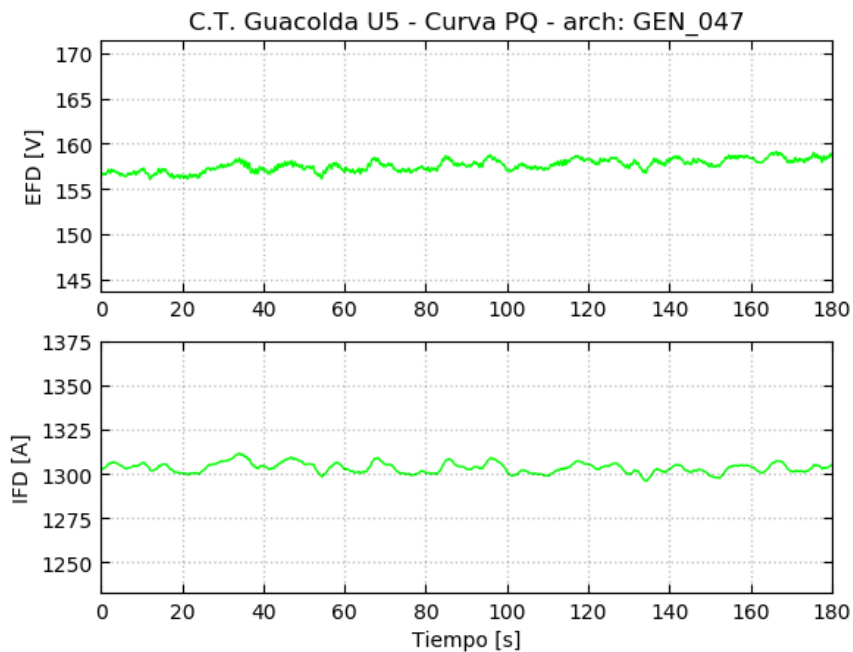


Figura 9-62: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

8. Punto P1_CT-Q8

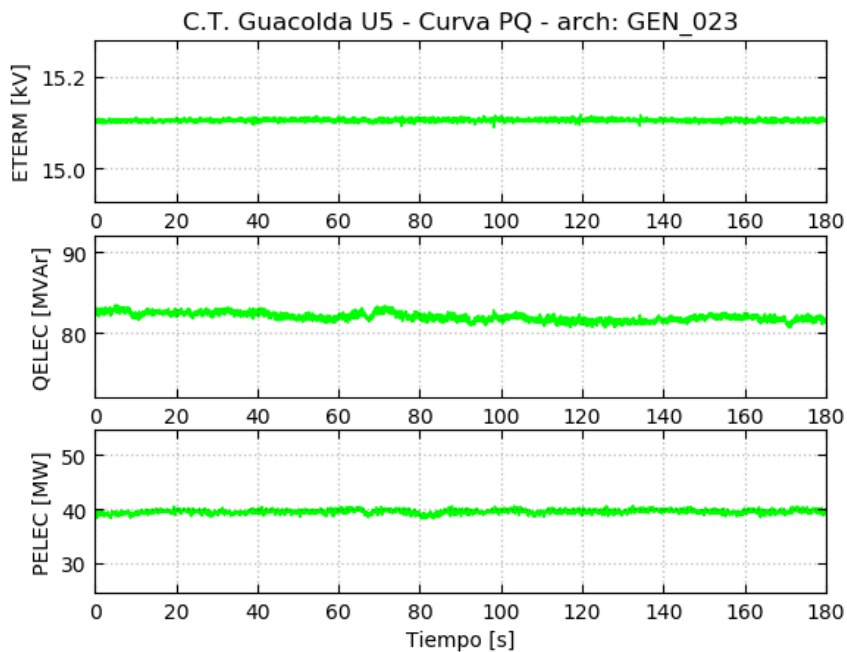


Figura 9-63: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

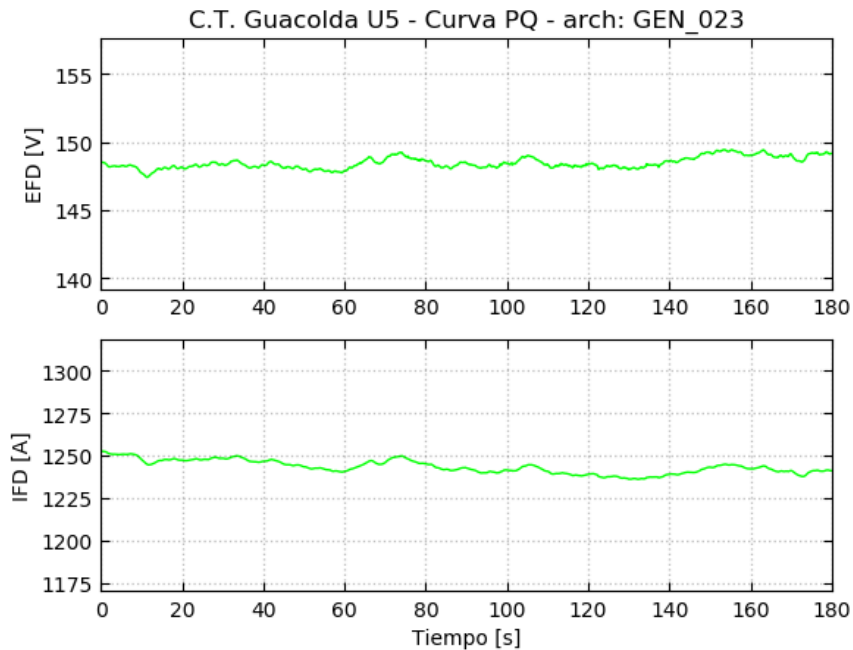
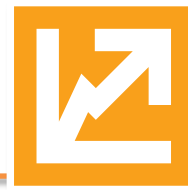


Figura 9-64: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

9.1.5 Verificación curva PQ @ 1.10 pu

Según se ha mencionado anteriormente, la curva PQ en el nivel de tensión 1.10 pu no se ha verificado debido al límite de sobreflujo V/Hz seteado en 1.05 pu de tensión de terminales, para valores cercanos a la frecuencia nominal.



9.2 Datos característicos del generador



 mitsubishi		AIR COOLED TURBINE GENERATOR	
181177	KVA	STANDARD	IEC 60034
14500	V	INS.CLASS/TEMP.RISE	
7214	A	ARM. F/B FIELD F/B	
0.85	PF	COOLING WATER TEMP	28 °C
3	PHASE	EXC . VOLT.	245 V
50	Hz	FIELD CURR.	1570 A
3000	min ⁻¹	SERIAL	IEC 60034
RATING	CONT.	DATE	12 JTS101
TYPE	TEWAC	DIRECTION OF ROTATION	COUNTERCLOCKWISE
PROTECTION	IP54	(AS VIEWED FROM SLIP RING SIDE) 	
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION		MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION	
MADE IN JAPAN			

Figura 9-65: Placa del generador



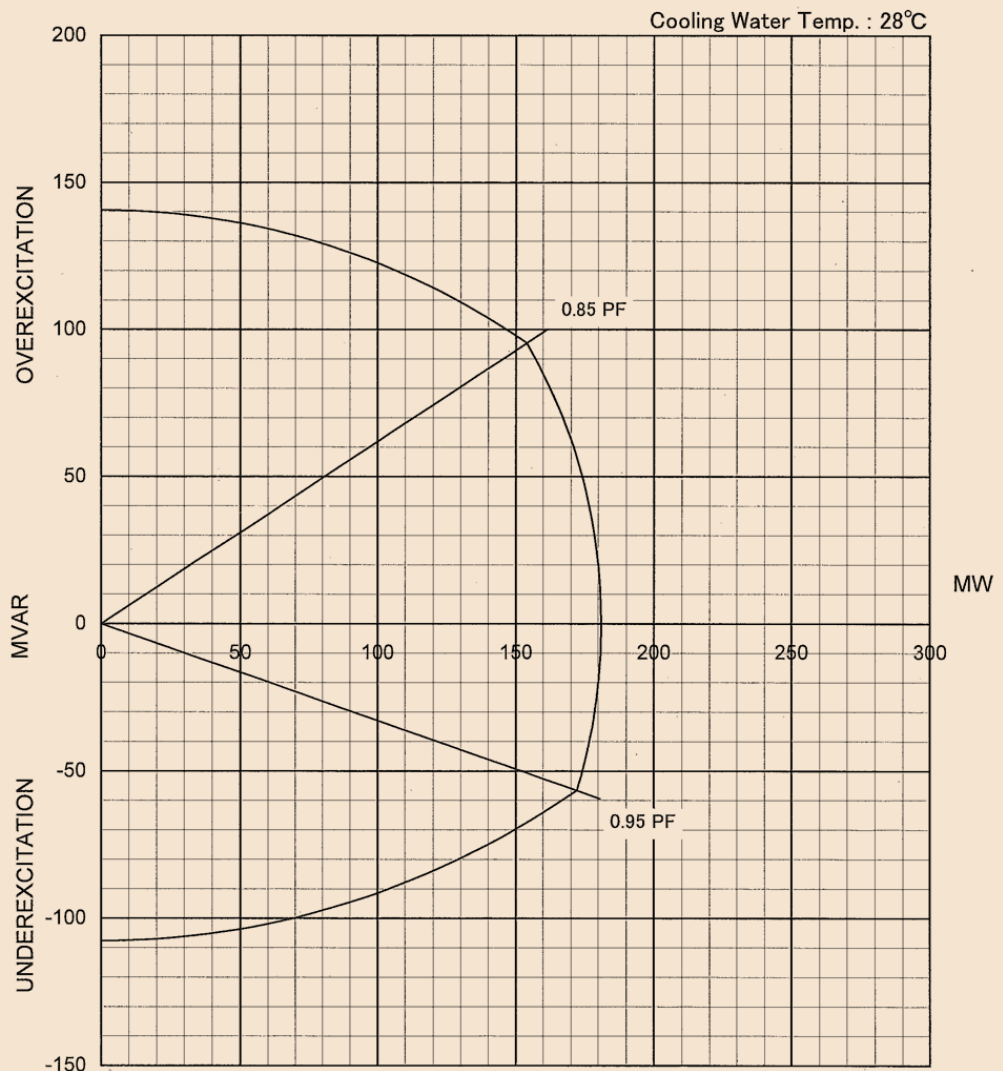
TE10029-138

**CHILE EMPRESA
GUACOLDA UNIT 5**



181177 kVA, 154000 kW, 85 %PF, 50 Hz, 3000 min-1,
14.5 kV, 7214 A, 14.5 kV, 245 V

**AIR COOLED GENERATOR
CAPABILITY CURVE**



APPROVED	<i>H. Mochi</i>
CHECKED	<i>K. Zamora</i>
DESIGNED	<i>12-9/8 m. Kurizumi</i>

TE10029-138

Figura 9-66: Curva de capacidad del generador según fabricante



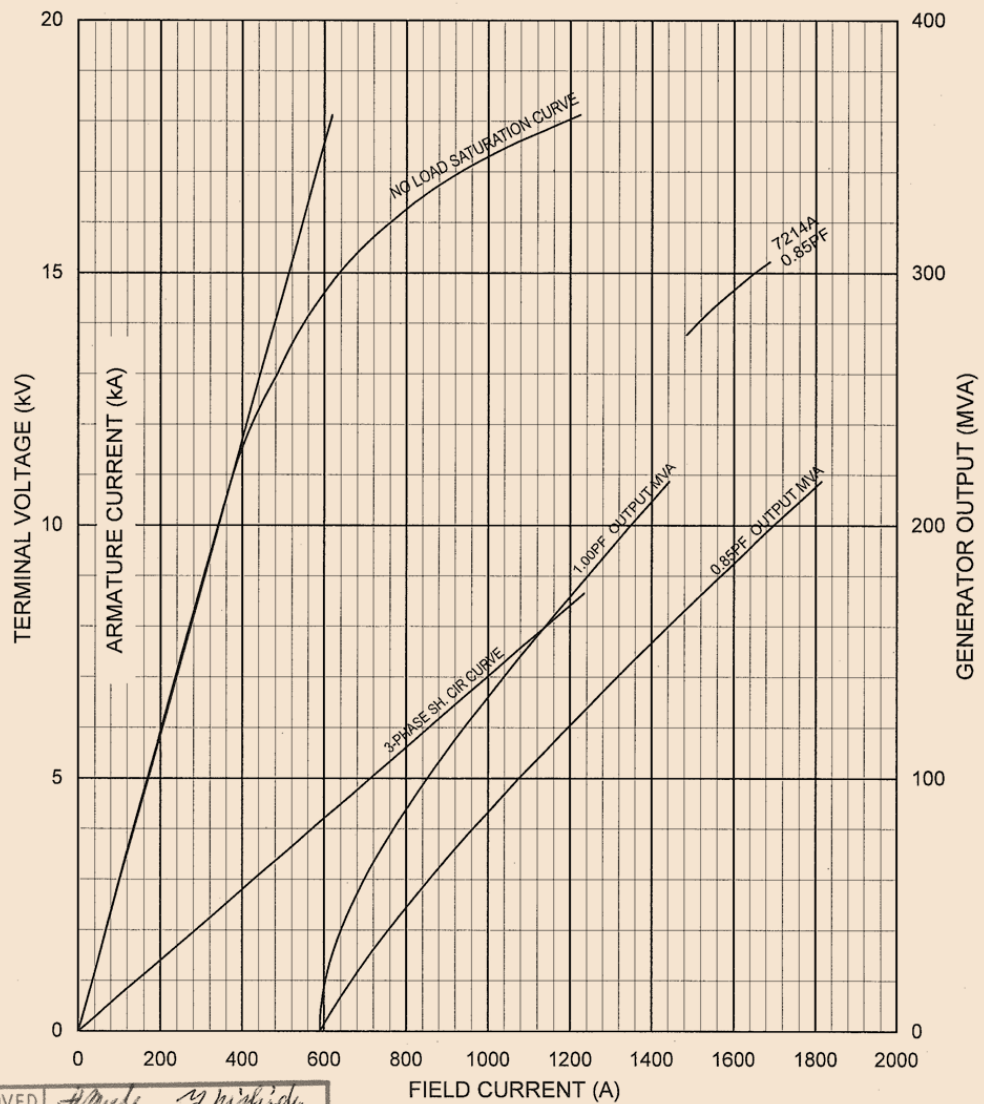
TE10029-136



CHILE EMPRESA
GUACOLDA UNIT 5

181177 kVA, 154000 kW, 85 %PF, 50 Hz, 3000 min-1,
14.5 kV, 7214 A, 14.5 kV, 245 V

AIR COOLED GENERATOR
CHARACTERISTIC CURVE



APPROVED	<i>Alfredo Y. Mishide</i>
CHECKED	<i>R. Zamora</i>
DESIGNED	<i>12-9/18 M. Higuchi</i>

TE10029-136

Figura 9-67: Curvas de saturación del generador según fabricante



9.3 Datos característicos del sistema de excitación

2. RATING OF EXCITER

	Rating	Remark
Rated output (kW)	425	
Rated output voltage (V)	245	
Rated output current (A)	1735	
Rated field voltage at full-load (V)	221	
Rated field current at full-load (A)	1565	
Ceiling voltage (V)	442	
Thyristor Rectifier	Type	3-phase full bridge
	Thyristor element	Type N880CH30
	Peak Reverse voltage	3000V
	Number of parallels	2 (include 1 redundant)

Figura 9-68 – Datos de placa del sistema de excitación



9.4 Protecciones de generador

1.4. Generator Loss of Field Relay 40G

1.4.1. Description

If a synchronous machine loses the excitation, the following condition will occur :

- a) When partial or complete loss of excitation occurs on a synchronous generator, reactive power flows from the other generator into the generator.
- b) The kW output is controlled by the prime-mover input, while kvar output is controlled by the field excitation. If the system is large enough to supply the deficiency in excitation through the armature, the synchronous generator will operate as an induction generator, supplying essentially the same kW to the system as before the loss of excitation.
- c) Since synchronous generators are not designed for asynchronous operation, the machine output will oscillate slightly as the rotor oscillates, in an attempt to lock into synchronism.
- d) Loss of synchronism does not require immediate tripping unless there is an accompanying decrease in the terminal voltage that threatens system stability. It generally takes at least 2 to 6 sec. to lose synchronism.

The relay operation will be blocked by the VT failure relay to avoid nuisance trip when a VT failure occurs.

1.4.2. Data for setting calculations

The data used for this calculation is shown below:

Generator capacity	: 181,177 kVA
Generator voltage	: 14,5 kV
CT turns ratio	: 10,000 / 5 A = 2,000
VT turns ratio	: 14,950 / 115 V = 130
Gen. transient impedance	: Xd' = 17.3 %
Gen. synchronous impedance	: Xd = 208 %

1.4.3. Relay setting calculations

Calculation of relay side impedance

The primary impedance %Z (%) is converted to relay side impedance Z (Ω) by the following formula :

$$Z = \%Z \times \frac{kV^2 \times 10}{kVA} \times \frac{CT \text{ Ratio}}{VT \text{ Ratio}}$$

1.4.4. Setting of small circle

1) Circle #1 diameter

The small circle diameter is set at 1.0 pu impedance on the machine base.

$$Z = 100.0 \times \frac{14.5^2 \times 10}{181,177} \times \frac{2,000}{130} = 17.85 \ \Omega$$

$$\text{Setting} = 17.9 \ \Omega$$

2) Circle #1 offset

The small circle offset is set to the generator transient reactance Xd'/2.

$$Z = 17.3 \times \frac{14.5^2 \times 10}{181,177} \times \frac{2,000}{130} \times \frac{1}{2} = 1.54 \ \Omega$$

$$\text{Setting} = -1.5 \ \Omega$$

3) Circle #1 trip delay

Trip delay = A small time delay for fast protection

Setting = 15 cycles (0.3 sec)

4) Circle #1 delay with voltage control (VC)

The delay with VC is utilized for small circle.

Delay with VC < #1 Delay

Setting = 10 cycles (0.2 sec)

Figura 9-69 – Protección de pérdida de excitación (1 de 2)



1.4.5. Setting of Large circle

1) Circle #2 diameter

The large circle diameter is set to the synchronous reactance of the generator.

$$Z = 208.0 \times \frac{14.5^2 \times 10}{181,177} \times \frac{2,000}{130} = 37.13 \ \Omega$$

$$\text{Setting} = 37.1 \ \Omega$$

2) Circle #2 offset

The large circle offset is set to the generator transient reactance $X_d'/2$.

$$Z = 17.3 \times \frac{14.5^2 \times 10}{181,177} \times \frac{2,000}{130} \times \frac{1}{2} = 1.54 \ \Omega$$

$$\text{Setting} = -1.5 \ \Omega$$

3) Circle #2 trip delay

Trip delay > Stable swing

$$\text{Setting} = 75 \text{ cycles (1.5 sec)}$$

4) Circle #2 delay with voltage control

The delay with VC is utilized for large circle.

Delay with VC < #2 Delay

$$\text{Setting} = 50 \text{ cycles (1.0 sec)}$$

1.4.6. Enable voltage supervision

The relay element with voltage control is blocked if voltage supervision is enable and the generator voltage is above the setpoint threshold.

$$\text{Setting} = 80 \text{ V (0.72 pu)}$$

1.4.7. Directional element angle

The directional element angle is set at rated lead power factor angle.

$$\text{Directional element angle} = \cos^{-1}(0.95) = 18.2^\circ$$

$$\text{Setting} = 18^\circ$$

1.4.8. Setting Curve

The characteristic curves of the relay are shown on Figures 1.3 and 1.4.

Figura 9-70 – Protección de pérdida de excitación (2 de 2)



1. Protection Relays for Generators

1.1. Generator Over Fluxing Relay 24G

1.1.1. Description

The relay measures the ratio of voltage to frequency (V/Hz) as this ratio is proportional to the flux-density level of the electromagnetic machine.

Over fluxing (over excitation) may occur when a generator is on an isolated operation with the AVR in service and the generator speed decreasing from the synchronous speed. Over fluxing may also occur when the utility system frequency decreases to a low value by any reason.

The following two (2) sets of the V/Hz relays are provided:

- a) Relay 24G (#2) for alarm
A definite time element #2 of the relay will be used to provide an alarm.
- b) Relay 24G (#1 & INV) for trip
Operation of the relay 24G will trip the generator circuit breaker.
A inverse time element of the relay will be used to provide a trip contact and a definite time element #1 is also used to further shape the protection curves.

1.1.2. Data for setting calculations

V/Hz withstand curve of the generator	: Fig. 1.1
Short-time V/Hz withstand level at full load	: 120 %
Continuous V/Hz withstand level at full load	: 105 %
AVR V/Hz Limiter setting	: 105 %

1.1.3. Setting of generator V/Hz alarm relay 24G (#2)

- 1) V/Hz alarm setting
V/Hz alarm pickup \leq Continuous V/Hz withstand level at full load (105 %)
Setting = 105 %
- 2) V/Hz alarm delay
Time delay : Practical recommendation is minimum setpoint of the relay.
Setting = 30 cycles (0.6 sec.)

1.1.4. Setting of generator V/Hz relay 24G (INV)

- 1) V/Hz trip setting for inverse time element
V/Hz trip pickup \geq Continuous V/Hz withstand level at full load \div Kr
= 105 \div 0.99 = 106.6 %
Where Kr : Reset value of V/Hz relay (pu)
Setting = 107 %
- 2) V/Hz curve for inverse time element
The inverse operating characteristic of V/Hz relay is shown in Fig. 1.1.
Setting = Curve #1
- 3) V/Hz time dial for inverse time element
Time delay \leq V/Hz withstand time (Refer to Fig. 1.1)
Setting = 3.0
- 4) V/Hz reset rate for inverse time element
Reset rate \geq Cooling characteristics of the protected equipment
Practical recommendation is maximum setpoint of the relay.
Setting = 999 sec.

1.1.5. Setting of generator V/Hz relay 24G (#1)

- 1) V/Hz trip setting
V/Hz trip pickup \leq Short time V/Hz withstand limit of the generator (120 %)
Setting = 119 %
- 2) V/Hz trip delay
Time delay \leq V/Hz withstand time (Refer to Fig. 1.1)
Setting = 50 cycles (1.0 sec.)

Figura 9-71: Protección de sobreflujo



1.7. Generator Overvoltage Relay 59G

1.7.1. Description

Overvoltages should not occur on a generator fitted with an automatic voltage regulator. Overvoltage may be caused by defective operation of the voltage regulator under isolated operation of the generator. The relay detects the over excitation of generators and transformers by measuring the over voltage

1.7.2. Data for setting calculations

Generator voltage : 14,500 V
 VT turns ratio : 14,950 / 115 V = 130
 The maximum permissible voltage for continuous load operation = 1.05 X Rated
 The maximum permissible voltage for no-load operation = 1.10 X Rated
 The maximum permissible transient overvoltage < 1.20 X Rated

1.7.3. Relay setting

1) Input Voltage Selection

The Phase Voltage is used for overvoltage function.

Setting = Phase volt

2) Setting Conditions

The trip pickup is intended for moderate overvoltages of long duration.

Pickup \leq The maximum permissible transient overvoltage
 $= 14,500 \div 130 \times 1.20 = 134 \text{ V}$

Delay \leq Recovery time for momentary overvoltage due to sudden loss of load $\times 1/2$
 $= \text{Less than 3 sec. at full load rejection} \times 1/2$ (75 cycles)
 at max. pickup setting

Delay > Min. time to go to the max. transient overvoltage at full load rejection (250ms)

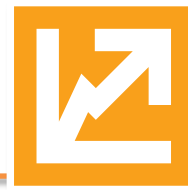
3) Settings

Channel	Pickup	Delay	
#1	120.0 V (108 %)	450 cycles	9.0 sec.
#2	128.0 V (115 %)	150 cycles	3.0 sec.
#3	134.0 V (120 %)	75 cycles	1.5 sec.

4) Coordination curve

The characteristic curves of the relays are shown on Figure 1.2.

Figura 9-72: Protección de sobretensión



1.2. Generator Undervoltage Relay 27G

1.2.1. Description

Generator undervoltage relay is applied for protection of the generator and its auxiliary equipment during prolonged undervoltage conditions.

The relay operation will be blocked by the VT failure relay to avoid nuisance trip when a VT failure occurs.

The relay is placed in service after the generator is put into parallel operation, that is the relay will be put into operation after the generator breaker is closed.

1.2.2. Data for setting calculations

Minimum operating voltage of generator : 95 % of the rated voltage
 Generator rated voltage : 14,500 V
 VT turns ratio : 14,950 / 115 V = 130

1.2.3. Setting

1) Setting Conditions

Pickup < Minimum operating voltage of generator
 = $14,500 \div 130 \times 0.95 = 106 \text{ V}$
 Delay > Trip delay of the phase fault relay
 = Trip delay of the relay 51G

2) Settings

Channel	Pickup	Delay
#1	100 V (90 %)	900 cycles (18.0 sec.)
#2	95 V (85 %)	300 cycles (6.0 sec.)
#3	90 V (81 %)	150 cycles (3.0 sec.)

3) Setting Curves

The pickup and time delay of the relay 27G is shown on Figure 1.2.

Figura 9-73: Protección de subtensión



9.5 Diagrama de bloques del regulador de tensión

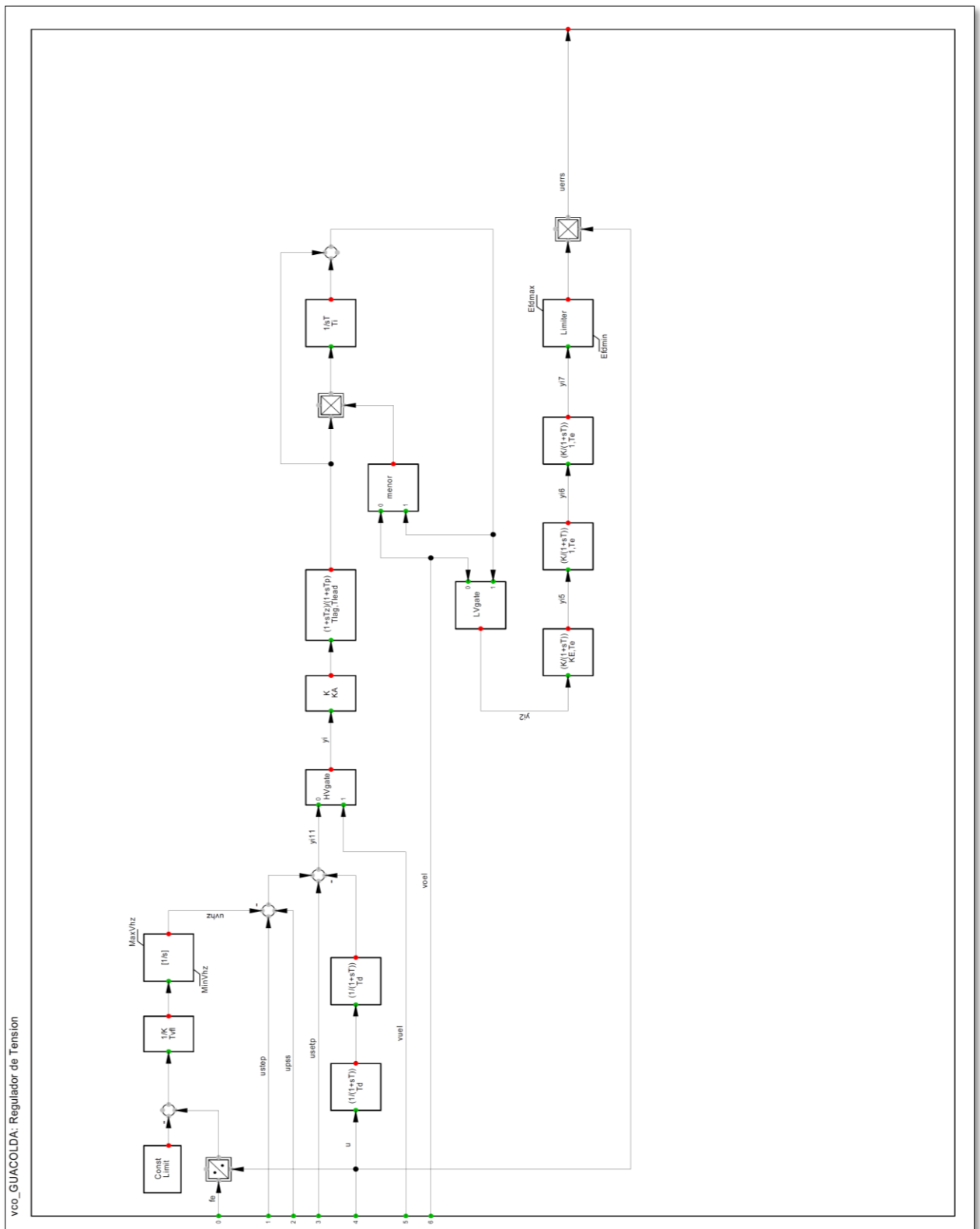


Figura 9-74: Diagrama de bloques – AVR + limitador V/Hz

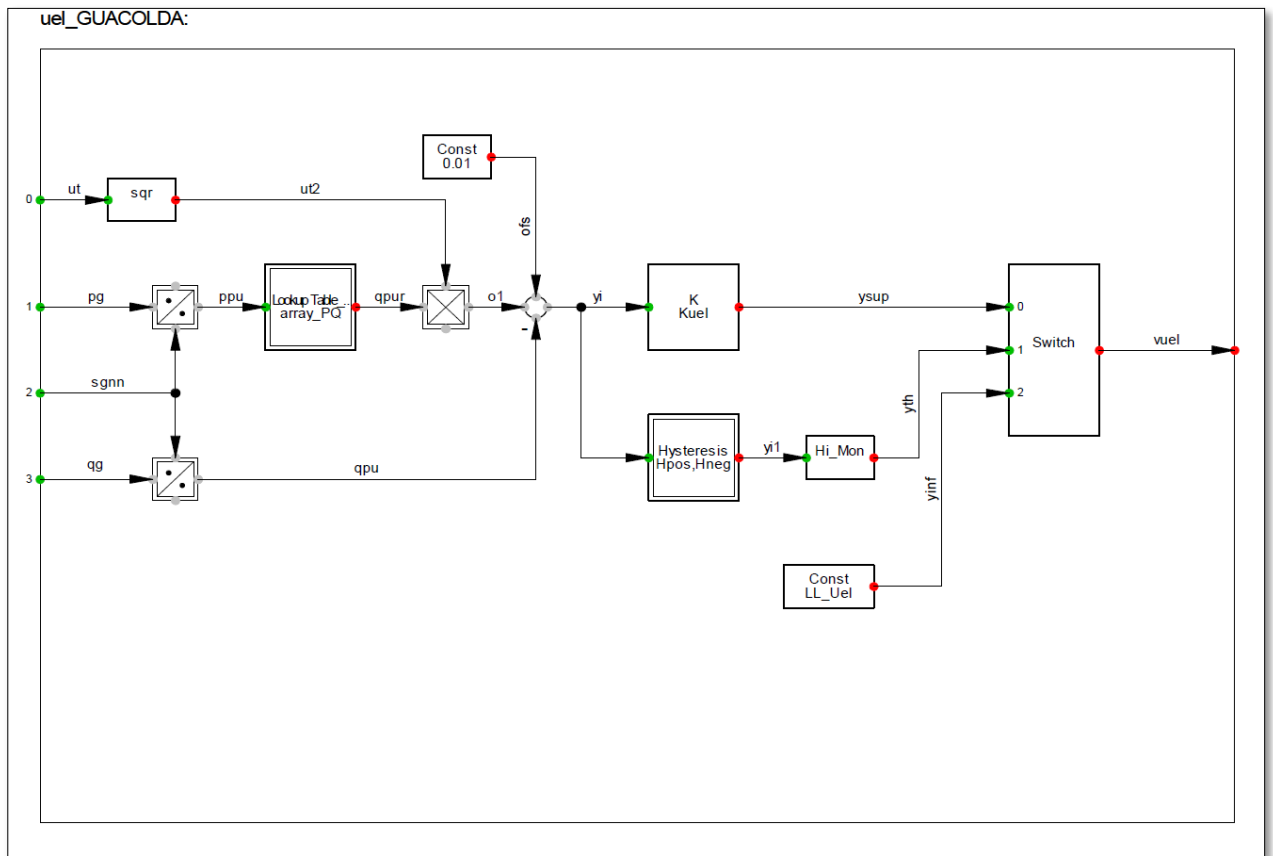


Figura 9-75: Diagrama de bloques del limitador UEL

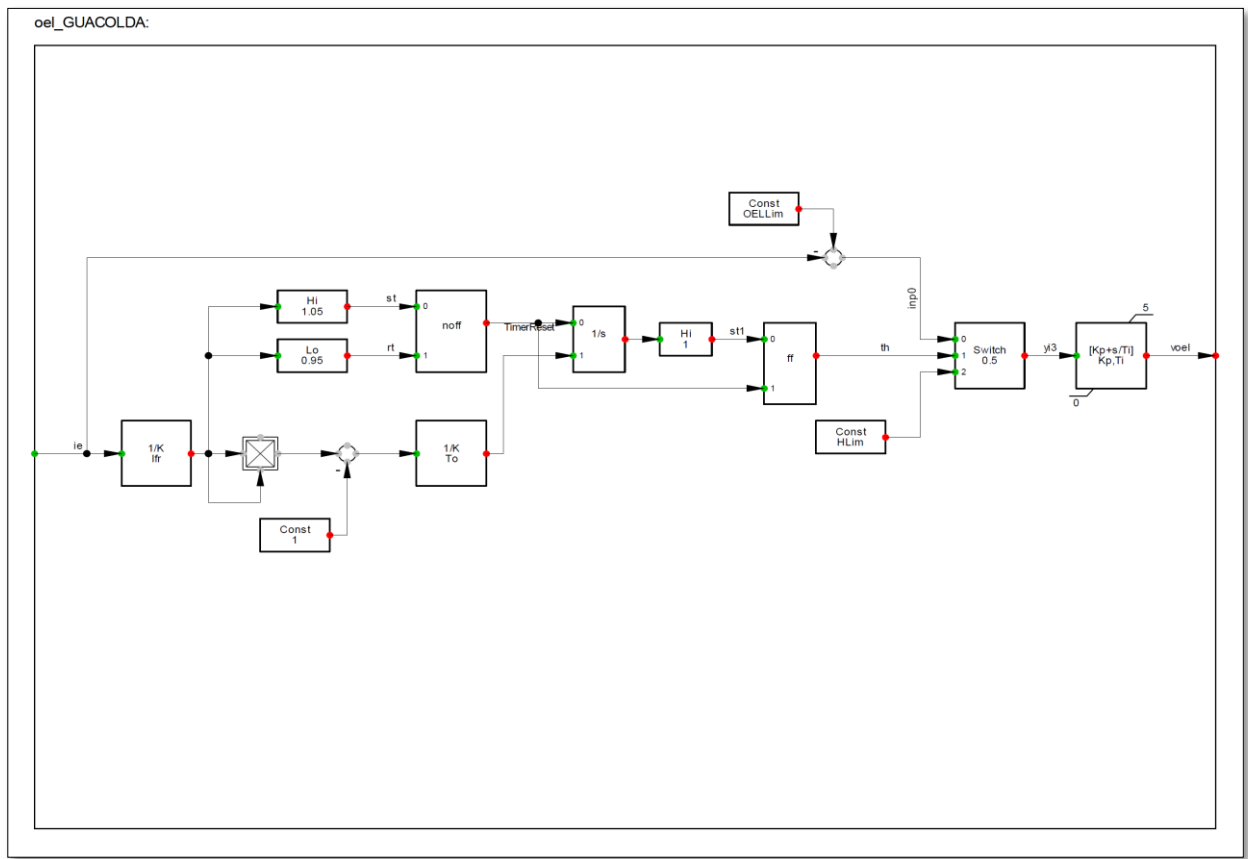



Figura 9-76: Diagrama de bloques limitador OEL



9.6 Criterio de ajuste de limitadores según fabricante

COMPANY PROPRIETARY
NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED WITHOUT SPECIFIC
WRITTEN PERMISSION OF MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

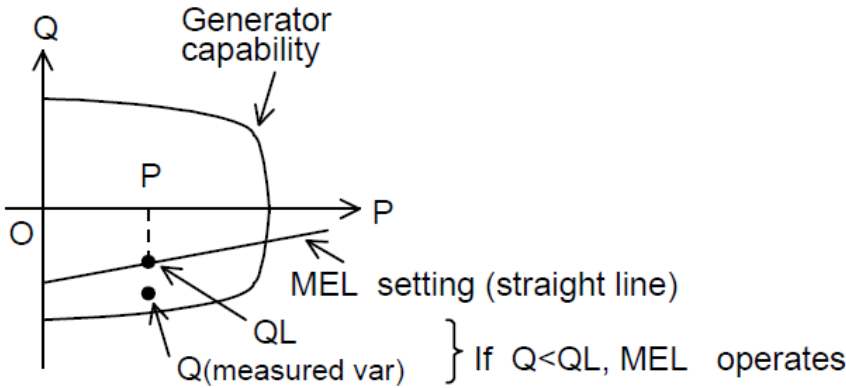


3 Protective function

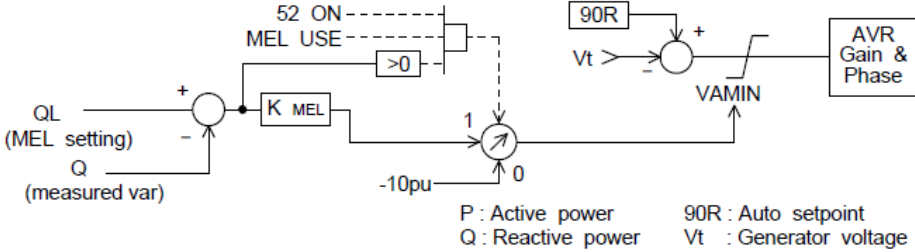
3.1 MEL (Minimum Excitation Limiter) function

The purpose of MEL is to protect the generator from under excitation. When MEL condition is detected, lower side limiter in AVR, i.e. VAMIN changes from -10pu to positive value to raise the excitation.

For example



For example



P : Active power 90R : Auto setpoint
 Q : Reactive power Vt : Generator voltage

Figura 9-77: Limitador UEL



COMPANY PROPRIETARY
NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED WITHOUT SPECIFIC
WRITTEN PERMISSION OF MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION



3.2 OEL (Over Excitation Limiter) function

The purpose of OEL is to protect the field winding from over heating. OEL characteristic is time-inverse and below the generator field winding withstand curve. When OEL timer is count up, alarm is raised and positive side limiter in AVR is limited not to exceed rated field current. When field current is less than reset level 95% of rated field current, OEL alarm and output signal for limiter is reset. OEL setting at on-load and OEL setting at no-load are furnished.

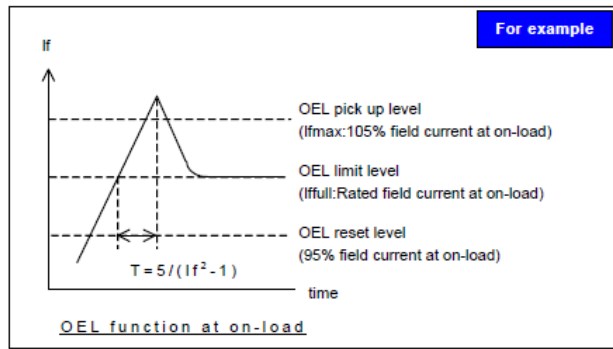
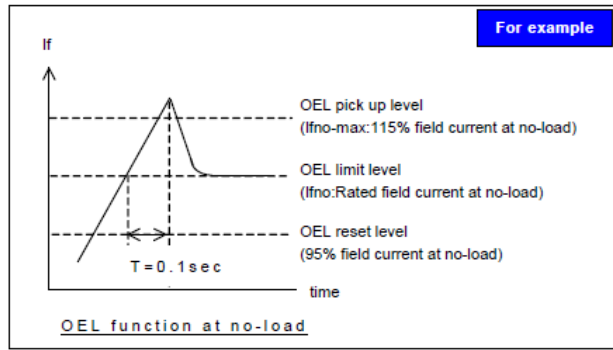
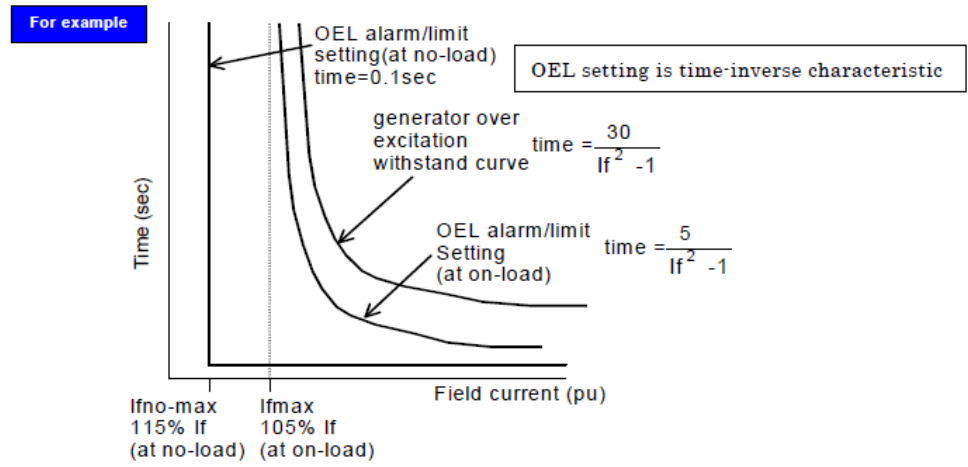


Figura 9-78: Limitador OEL

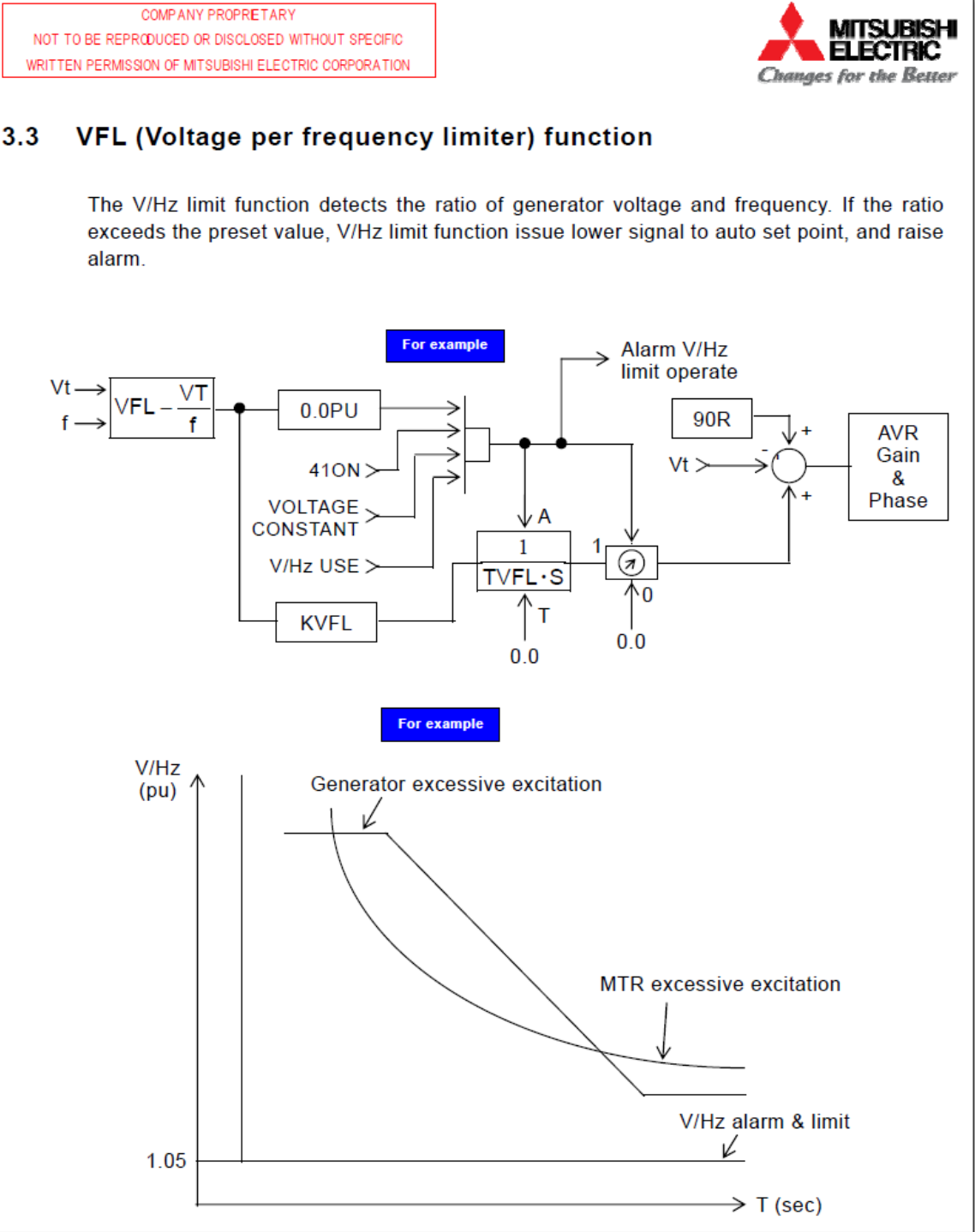


Figura 9-79: Limitador V/Hz



9.7 Foto de placa del transformador elevador

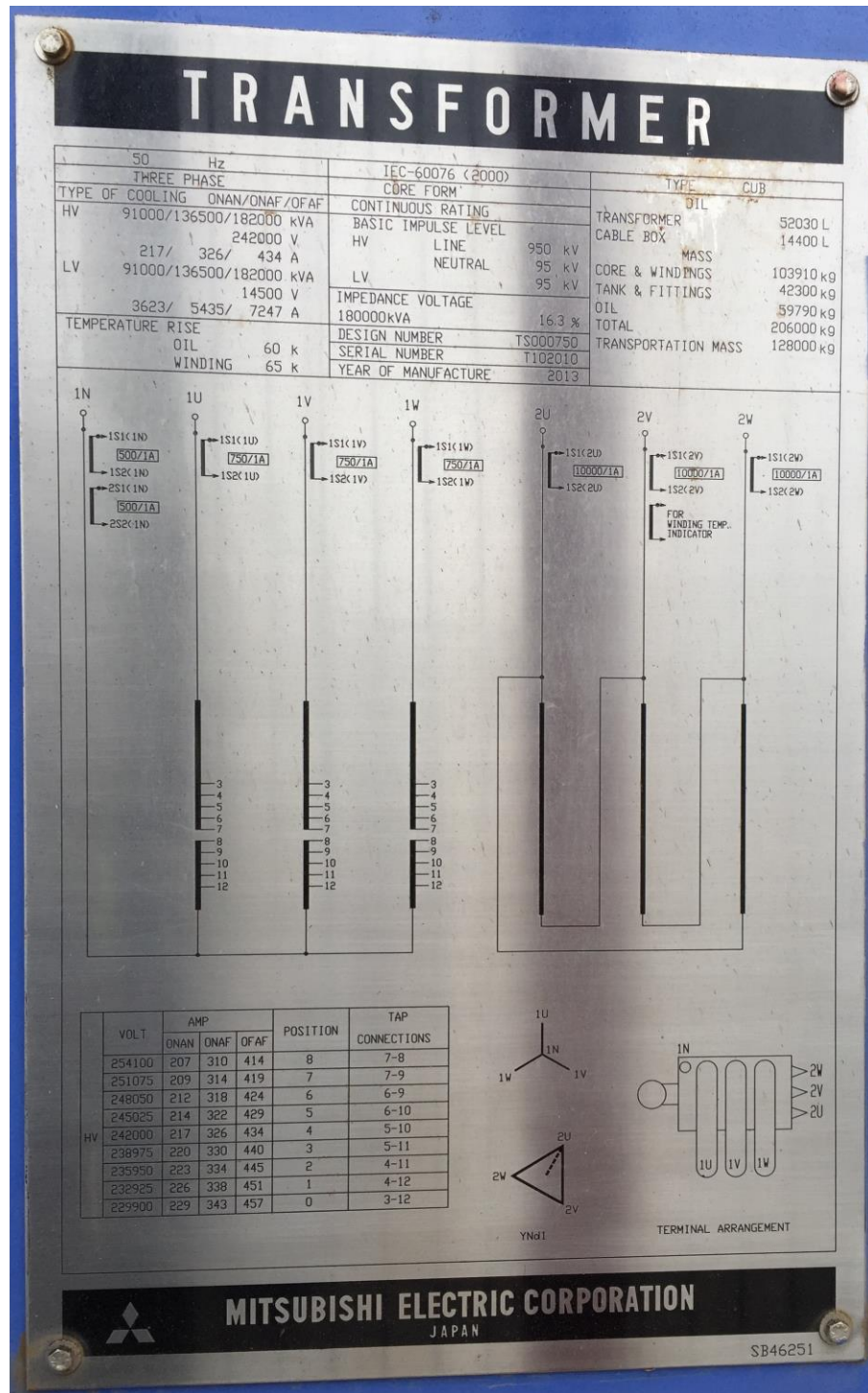


Figura 9-80: Placa del transformador elevador



9.8 Foto de placa del transformador de servicios auxiliares de 6.3 kV

05BBT00GH001

TERMINAL BOX FOR UNIT AUX. TRANSFORMER

VALVE LOCATION

ITEM	SIZE	DESCRIPTION	TOTAL	NORMAL CONDITION
1	BM-80T	RADIATOR VALVE	20	OPEN
2	JFAH-50	OIL FILTER VALVE (TANK TOP)	1	CLOSED
3	JFAH-50	OIL FILTER & DRAIN VALVE (TANK BOTTOM)	1	CLOSED
4	JFAH-50	VACUUM VALVE FOR TR	1	CLOSED
5	JFAH-50	CONNECTING VALVE (BUCHHOLZ RELAY ↔ CONSERVATOR)	1	OPEN
6	JFAH-50	OIL FILTER VALVE FOR TR CONSERVATOR	1	CLOSED
7	10UTB050	SHUT-OFF VALVE FOR GAS MONITOR SENSOR UNIT	1	OPEN
8	JFAH-25	CONNECTING VALVE (DLTC ↔ CONSERVATOR)	1	OPEN
9	JFAH-25	OIL DRAIN VALVE FOR DLTC	1	CLOSED
10	JFAH-25	OIL DRAIN VALVE FOR TR CONSERVATOR	1	CLOSED
11	JFAH-15	GAS SAMPLING VALVE FOR BUCHHOLZ RELAY	1	CLOSED
12	JFAH-15	AIR RELEASE VALVE FOR TR CONSERVATOR	1	CLOSED
13	JFAH-15	OIL DRAIN VALVE FOR RADIATOR	10	CLOSED
14	JFAH-25	WATER DRAIN VALVE FOR IPB	1	CLOSED

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
JAPAN

SR439E4

TRANSFORMER

WITH ON LOAD TAP CHANGER

22000 kVA		TEC-60076 (2000)		TYPE CR-VV	
50 Hz		CORE FORM		TYPE OF COOLING ONAN	
THREE PHASE		CONTINUOUS RATING		OIL TRANSFORMER	
H V	14500 V	BASIC IMPULSE LEVEL	95 kV	TAP CHANGER	12000 Ω
L V	876 A	HV LINE	60 kV	MASS	300 Ω
	6300 V	LV LINE	60 kV	CORE & WINDINGS	18200 kg
	2020 A	NEUTRAL	60 kV	TANK & FITTINGS	15700 kg
IMPEDANCE VOLTAGE 7.89 %		TEMPERATURE RISE		OIL	11100 kg
SERIAL NUMBER 13SY071101		WINDING		TOTAL	45000 kg
YEAR OF MANUFACTURE 2014		L-SPEC		HB63397	

VOLT	AMP	POSITION	CONNECTION	
			TAP SELECTOR	REVERSING SWITCH
16310	779	0	1	1
16130	787	1	2	2
15950	796	2	3	3
15770	805	3	4	4
15590	815	4	5	5
15410	824	5	6	6
15230	834	6	7	7
15040	845	7	8	8
14860	855	8	9	9
14680	865	9	10	10
14500	876	10A	11	11
		10B	K	
		10C	L	
14320	887	11	2	
14140	898	12	3	
13960	910	13	4	
13780	922	14	5	
13590	935	15	6	
13410	947	16	7	
13230	960	17	8	
13050	973	18	9	
12870	987	19	10	
12690	1001	20	11	

TERMINAL ARRANGEMENT

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
JAPAN

SW43256

Figura 9-81: Placa del transformador de servicios auxiliares de 6.3 kV



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

Unidad de Central Guacolda	Mínimo Técnico [MW]
N° 1	50
N° 2	50
N° 3	38
N°4	38
N°5	38

Tabla N° 1: valor de MT de las unidades de Central Guacolda

Tabla 9-1: Mínimo técnico contemplado por el CEN

Tabla N°1: Potencia Máxima Unidad Guacolda N°5				
Unidad	Combustible	Potencia Máxima Bruta [MW]	SS/AA [MW]	Potencia Máxima Neta [MW]
Guacolda 5	Carbón	156,215	13,542	142,673

Tabla 9-2: Potencia máxima contemplada por el CEN



9.10 Archivos adjuntos entregados

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

- Registros de ensayos: EE-EN-2022-0023-RA_CT_Guacolda_U5_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 U5 - Control de Tensión	
Nombre	Descripción
GUACOU5_FSNL_004	Performance
GUACOU5_FSNL_008	Techos
GUACOU5_FSNL_012	V/Hz
GUACOU5_GEN_006	UEL P5
GUACOU5_GEN_010	UEL P3
GUACOU5_GEN_022	UEL P1
GUACOU5_GEN_003	OEL P5
GUACOU5_GEN_017	OEL P3
GUACOU5_GEN_003	OEL P1

Tabla 9-3 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión

Ensayos U5 - Curva PQ - 0,9 pu	
Nombre	Descripción
GUACOU5_GEN_028	P5 Q5
GUACOU5_GEN_036	P4 Q6
GUACOU5_GEN_044	P2 Q7
GUACOU5_GEN_019	P1 Q8
GUACOU5_GEN_018	P1 Q1
GUACOU5_GEN_043	P2 Q2
GUACOU5_GEN_035	P4 Q3
GUACOU5_GEN_027	P5 Q4

Tabla 9-4 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 0.90 pu

Ensayos U5 - Curva PQ - 0,95 pu	
Nombre	Descripción
GUACOU5_GEN_029	P5 Q5
GUACOU5_GEN_037	P4 Q6
GUACOU5_GEN_045	P2 Q7
GUACOU5_GEN_020	P1 Q8
GUACOU5_GEN_016	P1 Q1
GUACOU5_GEN_042	P2 Q2
GUACOU5_GEN_034	P4 Q3
GUACOU5_GEN_026	P5 Q4

Tabla 9-5 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 0.95 pu



Ensayos U5 - Curva PQ - 1,00 pu	
Nombre	Descripción
GUACOU5_GEN_030	P5 Q5
GUACOU5_GEN_038	P4 Q6
GUACOU5_GEN_046	P2 Q7
GUACOU5_GEN_021	P1 Q8
GUACOU5_GEN_015	P1 Q1
GUACOU5_GEN_041	P2 Q2
GUACOU5_GEN_033	P4 Q3
GUACOU5_GEN_025	P5 Q4

Tabla 9-6 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 1.00 pu

Ensayos U5 - Curva PQ - 1,05 pu	
Nombre	Descripción
GUACOU5_GEN_031	P5 Q5
GUACOU5_GEN_039	P4 Q6
GUACOU5_GEN_047	P2 Q7
GUACOU5_GEN_023	P1 Q8
GUACOU5_GEN_014	P1 Q1
GUACOU5_GEN_040	P2 Q2
GUACOU5_GEN_032	P4 Q3
GUACOU5_GEN_024	P5 Q4

Tabla 9-7 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 1.05 pu



Ensayos CPF - Unidad 5	
Nombre	Descripción
GUACOU5_GOV_032	P1 - Droop 6,5% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_033	P1 - Droop 6,5% - Step -0.5 Hz
GUACOU5_GOV_034	P1 - Droop 6,5% - Step 0.2 Hz
GUACOU5_GOV_035	P1 - Droop 6,5% - Step 0.5 Hz
GUACOU5_GOV_028	P1 - Droop 4% - Step +0.2 Hz
GUACOU5_GOV_029	P1 - Droop 4% - Step +0.3 Hz
GUACOU5_GOV_030	P1 - Droop 4% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_031	P1 - Droop 4% - Step -0.3 Hz
GUACOU5_GOV_036	P1 - Registro Red
GUACOU5_GOV_013	P2 - Registro Red
GUACOU5_GOV_014	P2 - Droop 6,5% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_015	P2 - Droop 6,5% - Step +0.2 Hz
GUACOU5_GOV_016	P2 - Droop 6,5% - Step +0.5 Hz
GUACOU5_GOV_017	P2 - Droop 6,5% - Step -0.5 Hz
GUACOU5_GOV_018	P2 - Droop 4% - Step +0.2 Hz
GUACOU5_GOV_019	P2 - Droop 4% - Step +0.3 Hz
GUACOU5_GOV_020	P2 - Droop 4% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_021	P2 - Droop 4% - Step -0.3 Hz
GUACOU5_GOV_012	P4 - Registro Red
GUACOU5_GOV_024	P4 - Droop 6,5% - Step +0.2 Hz
GUACOU5_GOV_025	P4 - Droop 6,5% - Step +0.5 Hz
GUACOU5_GOV_026	P4 - Droop 6,5% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_027	P4 - Droop 6,5% - Step -0.5 Hz
GUACOU5_GOV_022	P4 - Droop 4% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_023	P4 - Droop 4% - Step -0.3 Hz
GUACOU5_GOV_010	P4 - Droop 4% - Step 0.2 Hz
GUACOU5_GOV_011	P4 - Droop 4% - Step 0.3 Hz
GUACOU5_GOV_001	P1 - Droop 6,5% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_002	P5 - Droop 6,5% - Step -0.5 Hz
GUACOU5_GOV_003	P5 - Droop 6,5% - Step +0.2 Hz
GUACOU5_GOV_004	P5 - Droop 6,5% - Step +0.5 Hz
GUACOU5_GOV_005	P5 - Droop 4% - Step +0.2 Hz
GUACOU5_GOV_006	P5 - Droop 4% - Step +0.3 Hz
GUACOU5_GOV_007	P5 - Droop 4% - Step -0.2 Hz
GUACOU5_GOV_008	P5 - Droop 4% - Step -0.3 Hz
GUACOU5_GOV_009	P5 - Registro Red

Tabla 9-8 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control primario de frecuencia

Ensayos - CTF - Unidad 5	
Nombre	Descripción
GUACOU4_GOV_037	Toma de MT a Máximo - Tasa 1.5 MW/min
GUACOU4_GOV_038	Bajada de Máximo a MT - Tasa 1.5 MW/min
GUACOU4_GOV_039	Toma de MT a Máximo - Tasa 2.5 MW/min
GUACOU4_GOV_040	Bajada de Máximo a MT - Tasa 2.5 MW/min

Tabla 9-9 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia



9.11 Acta de pruebas SSSC Guacolda U5



ACTA DE PRUEBAS

Fecha	29/11/2021	Empresa	Guacolda Energía SpA
ID Proyecto	EE-2020-185	Ubicación	Huasco, Región de Atacama
Denominación Planta	Central Térmica Guacolda - Unidad 5		
Servicios por verificar	Servicios Complementarios: - Control de Tensión (CT) - Control Primario de Frecuencia (CPF) - Control Terciario de Frecuencia en giro (CTFg)		

Datos de la instalación

Potencia aparente nominal [MVA]	181.17 MVA	Tipo de central	Térmica (Carbón)
Tensión en bornes nominal [kV]	14.5 kV	Cantidad de unidades	5
Potencia activa máxima [MW]	154 MW	Tipo de excitación	Estática
Potencia activa mínima [MW]	38 MW	Transformador elevador bajo carga	14.5/242 kV

Responsables durante las pruebas

Coordinado	Ismael Gaete	Representante Guacolda en las pruebas
Equipo Experto Técnico	Andrés Capalbo	Responsable general
	Marcelo Calviz	Ingeniero de ensayos

Datos de las pruebas

Estado previo de la planta	Deterida
Inicio del periodo de pruebas	29/11/2021
Fin del periodo de pruebas	01/12/2021
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-1753-RA_Procedimiento_Ensayos_SSSC_TER_Guacolda_U5
Posición de TAP trafo elevador	1

Firmas Aclaración/Empresa	 ISMAEL GAETE R. IUR. DESEMPEÑO Coordinado	 Andrés Capalbo Experto técnico
------------------------------	--	--

Figura 9-82: Acta de Pruebas SSSC Guacolda U5 (1 de 5)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Resumen de pruebas

SG Control de Tensión:

Se realizan pruebas en vacío en la unidad 5:

- Performance.
- Techo de Excitación.
- Limitador V/Hz

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

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

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

- Puntos Curva PQ operables en 4 estados de carga.

SC Control de Frecuencia:

Se realizan pruebas de Control Primario de Frecuencia en la unidad 3:

- Escalones en la referencia de frecuencia en 4 estados de carga.
- Registro de variaciones naturales de la red en 4 estados de carga.

Se realizan pruebas de Control Terciario de Frecuencia en giro en la unidad 5:

- Toma de carga con tasa en valor actual y máxima.
- Bajada de carga con tasa en valor actual y máxima.

Firmas Aclaración/Empresa	 ISRAEL GAE DE R. ING. DESEMPLEO Coordinado	 Andrés Capalbo Experto técnico
-------------------------------------	---	--

Figura 9-83: Acta de Pruebas SSSC Guacolda U5 (2 de 5)



ESTUDIOS ELECTRICOS
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Observaciones/Desvíos del protocolo

SC Control de Tensión:

Pruebas dinámicas de limitadores:
Sin desvíos

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 alcanzan una serie de puntos planteados, para lo cual, se solicita constante colaboración al centro de despacho para bajar/subir tensión en barra SE Guacolda 220 kV, quienes han colaborado activamente logrando ajustar la tensión en barra. Cabe mencionar también, que en reiteradas ocasiones no ha sido posible continuar ajustando la tensión de la barra por restricciones del sistema, lo que nos ha impedido llegar a algunos de los puntos objetivos.

Se presentan a continuación, dos tablas resumen con los puntos subexcitado y sobrecitado de lo realmente alcanzado en planta.

ID	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 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se alcanzó a 91%	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable	No ensayable debido a protección de sobreflujo
P2 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se alcanzó a 91%	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable	No ensayable debido a protección de sobreflujo
P4 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se alcanzó a 91%	Ensayado disminuyendo la tensión del generador a 0.93	No alcanzado	No alcanzable	No ensayable debido a protección de sobreflujo
P5 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se alcanzó a 91%	Ensayado disminuyendo la tensión del generador a 0.92	No alcanzado	No alcanzable	No ensayable debido a protección de sobreflujo

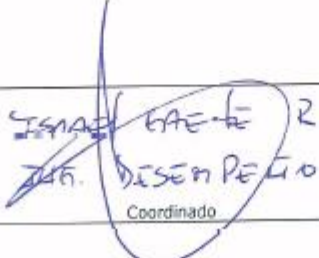

Firmas Aclaración/Empresa	 DANIEL PEÑA Coordinado	 Andrés Capaño Experto técnico
-------------------------------------	--	---

Figura 9-84: Acta de Pruebas SSSC Guacolda U5 (3 de 5)



ESTUDIOS ELECTRICOS
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

C	Sobrecarga				
	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 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se prueba a 91%	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable debido a protección de sobreflujo
P2 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se prueba a 91%	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayable debido a protección de sobreflujo
P4 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se prueba a 91%	No alcanzado	No alcanzado	Ensayado	No ensayable debido a protección de sobreflujo
P5 Ensayo	No ensayable debido a protección de subtensión. Se prueba a 91%	No alcanzado	Ensayado aumentando la tensión del generador a 1.04	Ensayado	No ensayable debido a protección de sobreflujo

SC Control de Frecuencia:

Control Primario de Frecuencia:

No ha sido posible por un lado verificar los escalones de ± 0.7 Hz a baja carga ya que esto implica en algunos casos una disminución muy por debajo del mínimo técnico definido en 38 MW. Debido a que ante variaciones de presión mayores a ± 4.5 bar, el control coordinado prioriza la presión y el límite de mínima potencia no actúa, por lo que se debe reducir la amplitud del escalón para evitar ir por debajo del valor mínimo de potencia. Operar la unidad bajo el valor de Mínimo Técnico, podría producir la pérdida del control de la caldera debido a que los pulverizadores trabajan en un nivel mínimo de inyección lo que produce inestabilidad de llama y por consiguiente una posible activación de protección. Por otra parte, se evidenció en la unidad 4 que ante escalones de gran amplitud (0.7 Hz), el nivel del domo llega a valores mínimos muy cercanos a la protección. Se observa una disminución importante sobre el agua de alimentación al generador de vapor, donde se corre el riesgo de trip de turbina. Por estos motivos se adopta el mismo criterio para la unidad 5 y se decide no realizar escalones de una magnitud tal que no superen los ± 20 MW.

A continuación, se detalla una tabla con los desvíos detectados para cada una de las pruebas planteadas en el protocolo.

Firmas Aclaración/Empresa	 ISMAEL GARCÍA DE R. Coordinado	 Andrés Capalbo Experto técnico
-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

Figura 9-85: Acta de Pruebas SSSC Guacolda U5 (4 de 5)



ESTUDIOS ELECTRICOS
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Ensayo	Despacho de Potencia Activa [MW]	Perturbación tipo escalón				Observación
		Estadístico	Punto de aplicación	Banda Muerta [mHz]	Magnitud Escalón [Hz]	
2	P1 = 45.8 MW	6.5% (actual)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ± 0.5 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
4	P1 = 45.8 MW	4% (mínimo)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ± 0.3 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
6	P2 = 80 MW	6.5% (actual)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ± 0.5 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
8	P2 = 80 MW	4% (mínimo)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ±0.3 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
10	P4 = 114.2 MW	6.5% (actual)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ± 0.5 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
12	P4 = 114.2 MW	4% (mínimo)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ±0.3 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
14	P5 = 148.4 MW	6.5% (actual)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ± 0.5 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.
16	P5 = 148.4 MW	4% (mínimo)	Ref. de frecuencia	±25	±0.7	Los escalones fueron de ±0.3 Hz, por riesgo de inestabilidad de la unidad.

Control Terciario de Frecuencia en giro:
Sin desvíos

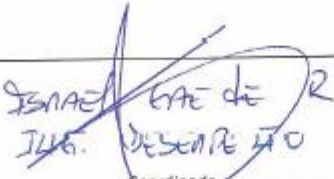

Firmas Aclaración/Empresa	 JUAN DESARTE Coordinado	 Andrés Capalbo Experto técnico
------------------------------	---	--

Figura 9-86: Acta de Pruebas SSSC Guacolda U5 (5 de 5)



9.12 Actas de reunión SSSC Guacolda U5

	Minuta de Reunión
	CL-EHS-PR-006/F9
	Versión: 2

UNIDAD DE NEGOCIO: Guacolda LUGAR: Unidad 5
 FECHA: 29-11-2021 HORA DE INICIO: 20:30
 ELABORADA POR: I. Guedes CARGO: Jub. Respons.

PARTICIPANTES: (Cargo y nombre de los participantes)	Nombre	Cargo	Firma*
	Luis Acuña	Oper. Sala	
	Marcelo Caliz	Jef. ENSAYOS	
	Marco Callejas	Supervisor I&C	
	Cristian Vargas	Supervisor Electrico	
	Milton Narbona	Jefe de área I&C	

* La firma será requerida en caso de reuniones de personal AES Gener, contratistas y subcontratistas o a consideración del equipo.

Figura 9-87 Acta de reunión SSSC U5



9.13 Certificado de calibración de equipamiento utilizado

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 ESTUDIOS ELECTRICOS		
Estudios Electricos declara que el instrumento:		
Instrumento	Número de serie	Última calibración
Adquisidor Cirion 16CH	EE-EQ-2010-0244	20/08/2021
<p>Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso.</p> <p>Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:</p>		
Instrumento	Número de Serie	Última Calibración
Valija de Inyección FREJA 300	4501345	04/05/2020

Fecha de evaluación: 20/08/21
Certificado número: EE-CI-2021-1562

Nombre Inspector: Leiss, Jorge

Firma:

Power System Studies & Power Plant Field Testing and
Electrical Commissioning

Figura 9-88 Certificado de calibración de equipo de medición utilizado



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.