

Cliente: Generadora Metropolitana

País: Chile

Proyecto: Verificación de SSCC - Ciclo Combinado Nueva Renca

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

Código de Proyecto: EE-2020-203

Código de Informe: EE-EN-2021-1413

Revisión: H



Este documento EE-EN-2021-1413-RH fue preparado para Generadora Metropolitana 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 241 páginas y ha sido guardado por última vez el 18/8/2022 por Gonzalo Espinoza Vásquez. Sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	12/08/2021	Primera versión.	IC/GE	AC	PR
B	16/09/2021	Correcciones según observaciones de cliente	IC/GE	AC	PR
C	13/10/2021	Correcciones según observaciones de cliente	GE	AC	PR
D	14/04/2022	Correcciones según observaciones del Coordinador	GE	AC	PR
E	21/04/2022	Correcciones según observaciones del cliente	GE	AC	PR
F	09/05/2022	Correcciones según observaciones del cliente	GE	AC	PR
G	09/08/2022	Correcciones según observaciones del Coordinador	GE	AC	PR
H	18/08/2022	Correcciones según observaciones del cliente	GE	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	7
1.1	Descripción del personal participante	8
1.2	Nomenclatura.....	9
2	REQUERIMIENTO NORMATIVO.....	10
2.1	Control de tensión.....	10
2.1.1	Definición	10
2.1.2	Requerimientos asociados a la prestación	10
2.2	Control de frecuencia.....	12
2.3	Control primario de frecuencia	15
2.3.1	Definición	15
2.3.2	Requerimientos asociados a la prestación	15
2.4	Control terciario de frecuencia	18
2.4.1	Definición	18
2.4.2	Requerimientos asociados a la prestación	18
3	PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	19
3.1	Procedimiento de pruebas.....	19
3.2	Instrumental utilizado para la adquisición de datos	20
3.3	Registro de señales con equipos de planta	22
3.4	Metodología general de los ensayos.....	23
3.4.1	Control de tensión.....	23
3.4.2	Control de frecuencia	24
4	EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN DE LAS UNIDADES TG Y TV	25
4.1	Ensayos con la unidad en vacío (FSNL).....	26
4.1.1	Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión	27
4.1.2	Determinación de los techos de excitación.....	31
4.1.3	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreflujo (V/Hz).....	33
4.2	Ensayos con la unidad conectada a la red.....	36
4.2.1	Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de subexcitación	36
4.2.2	Respuesta del sistema de excitación con actuación de limitadores de sobreexcitación	41
4.3	Análisis resultados pruebas dinámicas	50



4.3.1 Pruebas con las unidades en vacío	50
4.3.2 Pruebas con las unidades conectadas a la red	51
5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO	52
5.1 Registros temporales de los puntos operativos alcanzados	52
5.1.1 Análisis.....	59
5.2 Curvas de capacidad.....	61
5.2.1 Unidad TG.....	63
5.2.2 Unidad TV	67
5.3 Resumen de valores a informar	72
5.3.1 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 pu – Unidad TG	73
5.3.2 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.05 pu – Unidad TG	74
5.3.3 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 pu – Unidad TV	75
5.3.4 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.10 pu – Unidad TV	76
6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA.....	77
6.1 Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones tipo escalón	78
6.1.1 Ensayos con GNL	79
6.1.2 Ensayos con DIESEL	105
6.2 Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales de la frecuencia de la red	131
6.3 Evaluación del amortiguamiento del lazo de control de velocidad con máquina aislada	135
6.4 Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control	139
6.5 Análisis del CPF.....	140
6.5.1 Determinaciones a partir de los ensayos de escalón	141
6.5.2 Determinaciones a partir de los registros de operación normal.....	145
6.5.3 Determinación del retardo inicial del sistema de carga/velocidad y tiempo de establecimiento	147
6.5.4 Resumen de aportes	149
7 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA	153
7.1 Incremento de carga de la central	153
7.1.1 Toma de carga desde mínimo técnico (85 MW + 75 MW) a carga base (220 MW + 110 MW) - GNL ...	154
7.1.2 Toma de carga desde mínimo técnico (125 MW + 80 MW) a carga base (220 MW + 118 MW) - DIESEL	157



7.1.3 Toma de carga desde carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) a carga base con fuegos adicionales (220 MW + 160 MW) - GNL+GNL.....	160
7.1.4 Toma de carga desde carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) a carga base con fuegos adicionales (220 MW + 142 MW) - GNL+GLP	161
7.1.5 Toma de carga desde carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 118 MW) a carga base con fuegos adicionales (220 MW + 148 MW) - DIESEL+GLP	163
7.2 Reducción de carga de la central	165
7.2.1 Reducción de carga desde carga base a mínimo técnico - GNL	165
7.2.2 Reducción de carga desde carga base (220 MW + 118 MW) a mínimo técnico (125 MW + 80 MW) - DIESEL	168
7.2.3 Reducción de carga desde carga base con fuegos adicionales (220 MW + 160 MW) a carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) - GNL+GNL.....	171
7.2.4 Reducción de carga desde carga base con fuegos adicionales (220 MW + 142 MW) a carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) - GNL+GLP	173
7.2.5 Reducción de carga desde carga base con fuegos adicionales a carga base sin fuegos adicionales- DIESEL+GLP	174
7.3 Resumen de gradientes.....	176
8 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.....	178
9 ANEXOS	181
9.1 Verificación de curvas de capacidad en diferentes niveles de tensión.....	181
9.1.1 Unidad TG.....	181
9.1.2 Unidad TV	189
9.2 Imágenes durante pruebas de curva PQ.....	198
9.2.1 Tap de transformador de SSAA durante pruebas subexcitadas.....	198
9.2.2 Alarma "High Voltage" durante pruebas sobrecitadas	202
9.3 Datos característicos de los generadores	203
9.3.1 Unidad TG.....	203
9.3.2 Unidad TV	206
9.4 Protecciones de generador	209
9.4.1 Unidad TG.....	209
9.4.2 Unidad TV	210
9.5 Regulador de tensión GE EX2100	211



9.6	Transformadores de excitación alimentados de la propia unidad.....	215
9.6.1	Unidad TG.....	215
9.6.2	Unidad TV.....	216
9.7	Foto de placa del transformador elevador.....	217
9.7.1	Unidad TG.....	217
9.7.2	Unidad TV.....	218
9.8	Foto de placa del transformador de servicios auxiliares de 6.6 kV.....	219
9.9	Foto de placa del transformador de partida de 6.6 kV.....	220
9.10	Valores de mínimo técnico y potencia máxima certificados por el CEN.....	221
9.11	Informe de Potencia Máxima.....	222
9.12	Ensayos de Control Secundario de Frecuencia.....	227
9.13	AGC Nueva Renca.....	227
9.14	Verificaciones en terreno.....	228
9.15	Respuesta del control secundario de frecuencia ante cambios de consigna.....	228
9.15.1	Caso con CPF desactivado.....	228
9.15.2	Caso con CPF activado.....	230
9.16	Archivos adjuntos entregados.....	232
9.17	Acta de pruebas SSCC Nueva Renca.....	237



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume los resultados del proceso de Verificación de Servicios Complementarios de la Central Térmica Nueva Renca. 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 los procedimientos: ***“EE-EN-2021-0800-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Tension_CT_Nueva Renca”*** y ***“EE-EN-2021-1070-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Frecuencia_CT_Nueva Renca”*** elaborados por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

La verificación del SSCC de CT se complementa con informe de curvas PQ teórico máximo de las unidades TG y TV en ***“EE-EN-2021-0799-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Nueva Renca”*** emitido en la etapa de análisis preliminar previo al desarrollo del procedimiento de ensayos.

La Central Térmica Nueva Renca ubicada en la comuna de Renca, región Metropolitana, consiste en un ciclo combinado compuesto de una turbina de gas (TG) vinculada a un generador de 304.12 MVA de potencia aparente, junto con una turbina de vapor (TV) vinculada a un generador de 251.18 MVA de potencia aparente.

El regulador de tensión de ambas unidades es marca General Electric modelo EX2100e y es completamente digital. Cuando el ciclo se encuentra conectado a la red, ambas unidades operan en modo control de tensión, el cual es el modo de operación normal de los reguladores.

El regulador de potencia/velocidad de ambas unidades es marca General Electric modelo Mark VIe, completamente digital. Cuando el ciclo se encuentra conectado a la red, la unidad TG opera en modo control de potencia, que es el modo de operación normal del regulador, el cual le permite realizar control primario de frecuencia. Por su parte, en condiciones normales, la unidad TV opera con



la válvula de admisión 100% abierta, es decir, opera a presión deslizante. En dichas condiciones no aporta a la regulación primaria de frecuencia, por lo que se considera de potencia mecánica constante.

La unidad TG se vincula al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) mediante un transformador elevador de relación 15.75 kV / (110 kV \pm 2 x 2.5%) de potencia nominal 133.2 / 177.6 / 222.0 MVA (OA/FA1/FA2). En tanto, la unidad TV se vincula al SEN mediante un transformador elevador de relación 15.75 kV / (110 kV \pm 2 x 2.5%) de potencia nominal 123.0 / 164.0 / 205.0 MVA (OA/FA1/FA2).

Se han realizado todos los ensayos de verificación en la Central Térmica Nueva Renca de acuerdo al procedimiento de ensayo de control de tensión **“EE-EN-2021-0800-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Tension_CT_Nueva Renca”** y procedimiento de ensayos de control de frecuencia **“EE-EN-2021-1070-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Frecuencia_CT_Nueva Renca”**.

1.1 Descripción del personal participante

Empresa	Personal	Cargo
Estudios Eléctricos	Andrés Capalbo	Líder
Estudios Eléctricos	Gonzalo Espinoza	Ingeniero de Ensayos
Estudios Eléctricos	Iñaki Cubillos	Ingeniero de Ensayos
Generadora Metropolitana	Máximo Cortés	Supervisor Generadora Metropolitana

Tabla 1.1: Nómina del personal participante

Las pruebas fueron llevadas a cabo entre los días 29 de junio y 7 de julio 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
SS/AA	Servicios Auxiliares
GOV	Regulador de velocidad
AVR	Regulador de tensión
V/Hz	Limitador de sobreflujo
OEL	Limitador de sobrecitación
UEL	Limitador de subexcitación
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
GNL	Gas Natural Licuado
GLP	Gas Licuado de Petróleo
CPF	Control primario de frecuencia
CSF	Control secundario de frecuencia
CTF	Control terciario de frecuencia
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
Pmax	Potencia activa bruta máxima del ciclo
Pmin	Potencia activa bruta correspondiente al mínimo técnico del ciclo
Trate	Potencia base turbina gas (TG=220 MW)
P1_CT	Despacho de las unidades TG y TV a mínimo técnico (Pmin)
P2_CT	Despacho de la unidad TG a valor intermedio (punto no considerado en unidad TV)
P3_CT	Despacho de las unidades TG y TV a valor intermedio
P4_CT	Despacho de la unidad TG a potencia máxima, unidad TV a valor intermedio con fuegos adicionales
P5_CT	Despacho de las unidades TG y TV a potencia máxima con fuegos adicionales
P1_CPF	Despacho de la unidad TG a mínimo técnico más bloque de reserva ($P_{max}+5\%*Trate$)
P2_CPF	Despacho de la unidad TG a valor intermedio
P3_CPF	Despacho de la unidad TG a valor intermedio
P4_CPF	Despacho de la unidad TG a potencia máxima menos bloque de reserva ($P_{max}-5\%*Trate$)

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 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.

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 SSCC”.

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

- Operar de manera estable en forma permanente en el rango de frecuencia comprendido entre 49 y 51 Hz, para tensiones comprendidas entre 0.95 y 1.05 por unidad de la tensión nominal, 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:

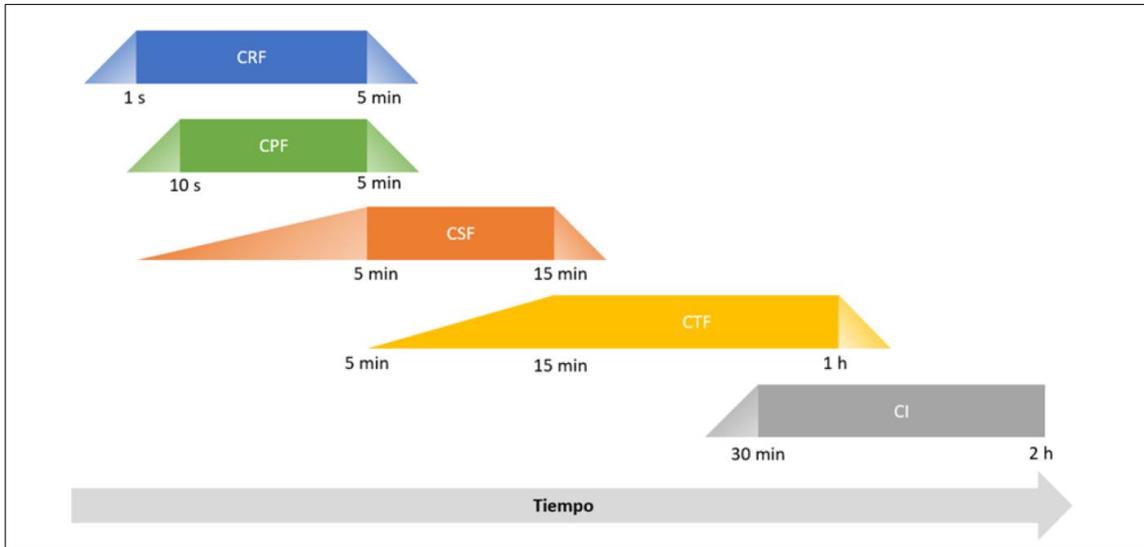


Figura 2.1: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal

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:

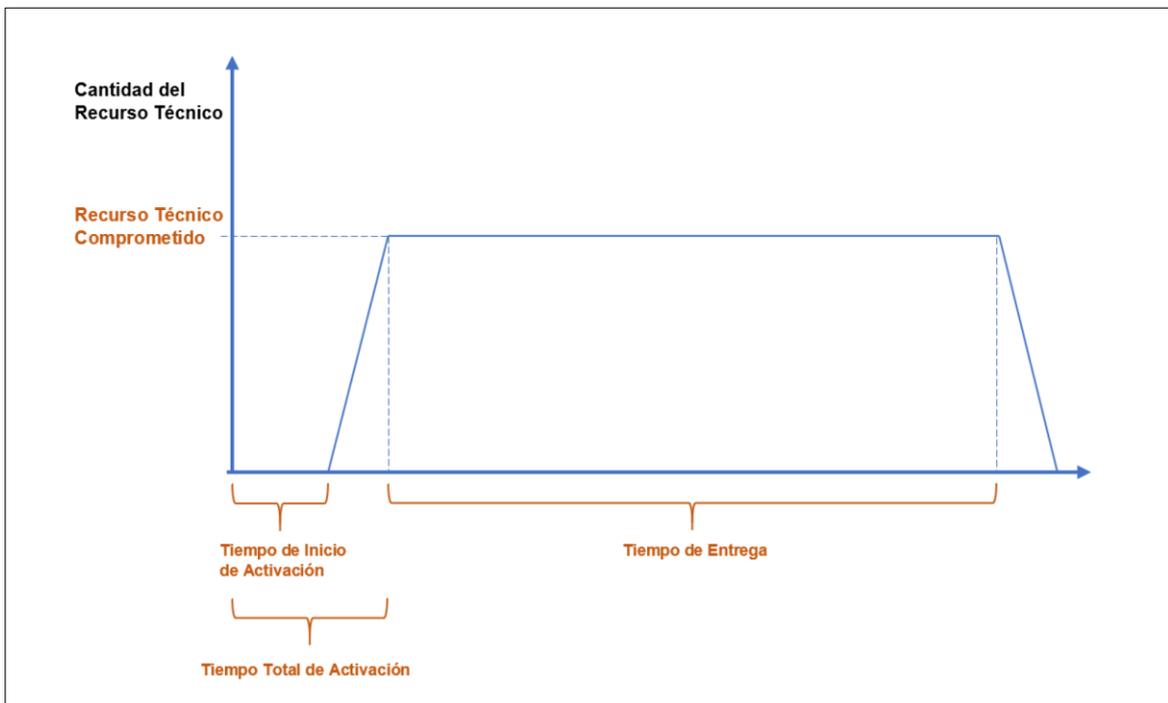


Figura 2.2: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal



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 - SSCC 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 Nueva Renca, en ***“EE-EN-2021-0254-RB_Estudio_preliminar_de_ensayos-CT_Nueva_Renca”*** y del informe de curvas PQ teórico máximo de las unidades TG y TV en ***“EE-EN-2021-0799-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Nueva_Renca”***.

El procedimiento de pruebas se informa en el documento técnico ***“EE-EN-2021-0800-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Tension_CT_Nueva Renca”*** y ***“EE-EN-2021-1070-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Frecuencia_CT_Nueva Renca”*** elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional. En dichos documentos se analiza la factibilidad de llegar a los límites de subexcitación y sobreexcitación de ambas unidades y se define el plan de acción de trabajo.

Las pruebas realizadas en la Central Térmica Nueva Renca 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 utilizan dos equipos de adquisición de datos (propiedad de EE). Las principales características de los adquirentes se presentan en la Tabla 3.1.

Denominación	Canales	Tasa de muestreo	Bits de resolución	N serie
Adquisidor de datos	8	0.1 - 10 kHz	16 bits	EEEQ2015794
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 adquirentes 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.

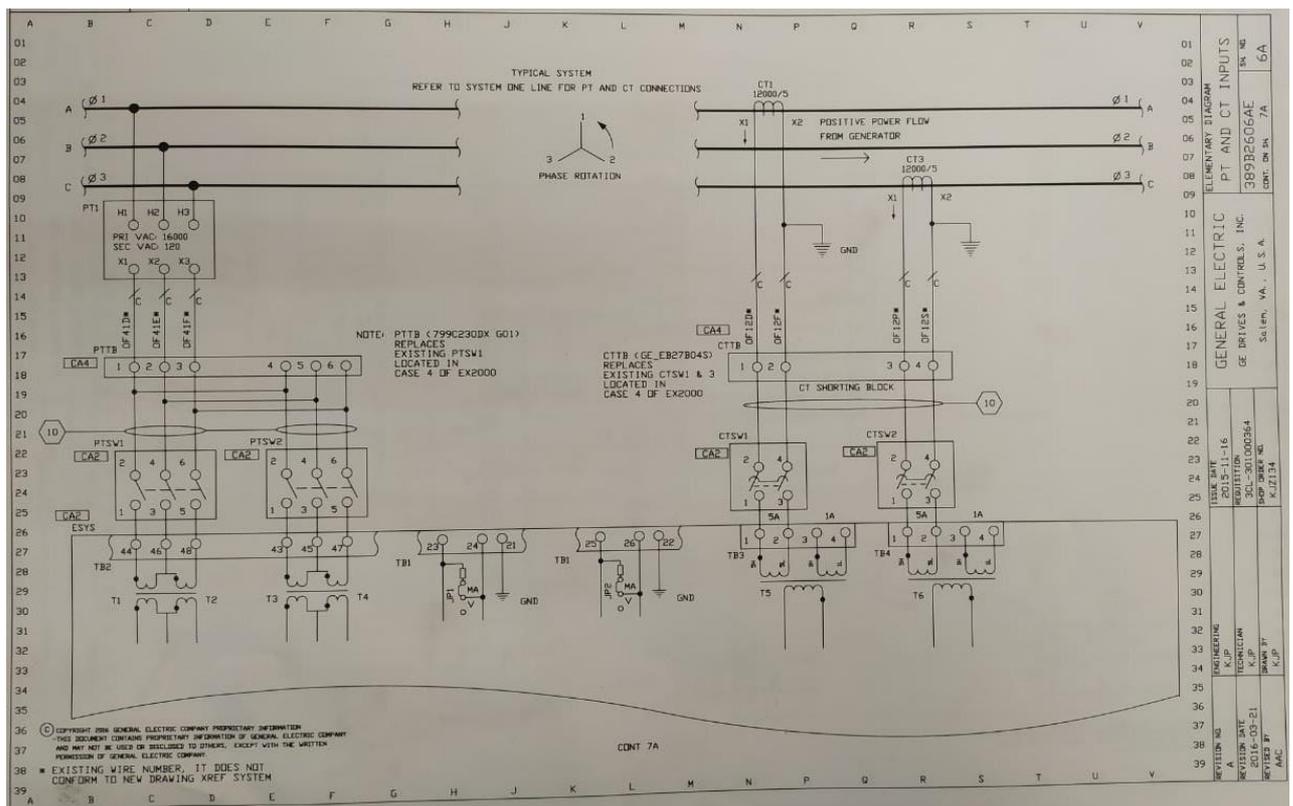


Figura 3.1: Puntos de conexión de terminales en los generadores TG y TV

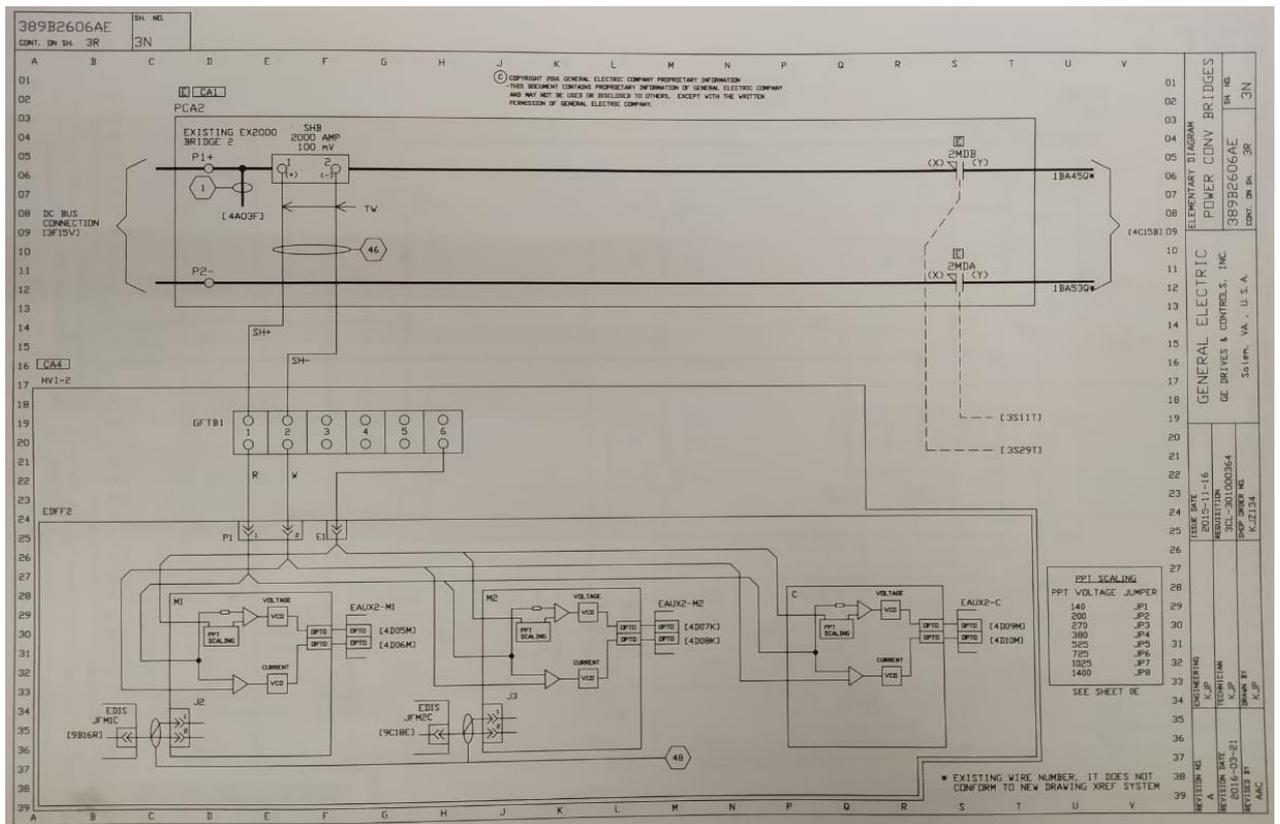


Figura 3.2: Puntos de conexión de tensión de excitación y corriente de excitación (shunt) en las unidades TG y TV



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 25 muestras por segundo. Los registros son exportados en formato .CSV.

Las señales registradas fueron:

1. Potencia activa en bornes del generador.
2. Potencia reactiva en bornes del generador.
3. Tensión de terminales del generador.
4. Corriente de terminales del generador.
5. Frecuencia eléctrica.
6. Posición de válvulas de control.
7. Presión de vapor principal y recalentado.
8. Flujo de vapor principal y recalentado.

3.4 Metodología general de los ensayos

3.4.1 Control de tensión

Para realizar los ensayos descritos en el protocolo “**EE-EN-2021-0800-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Tension_CT_Nueva Renca**” se realizan escalones en la referencia de tensión de las unidades TG y TV. 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 EX2100e de General Electric.

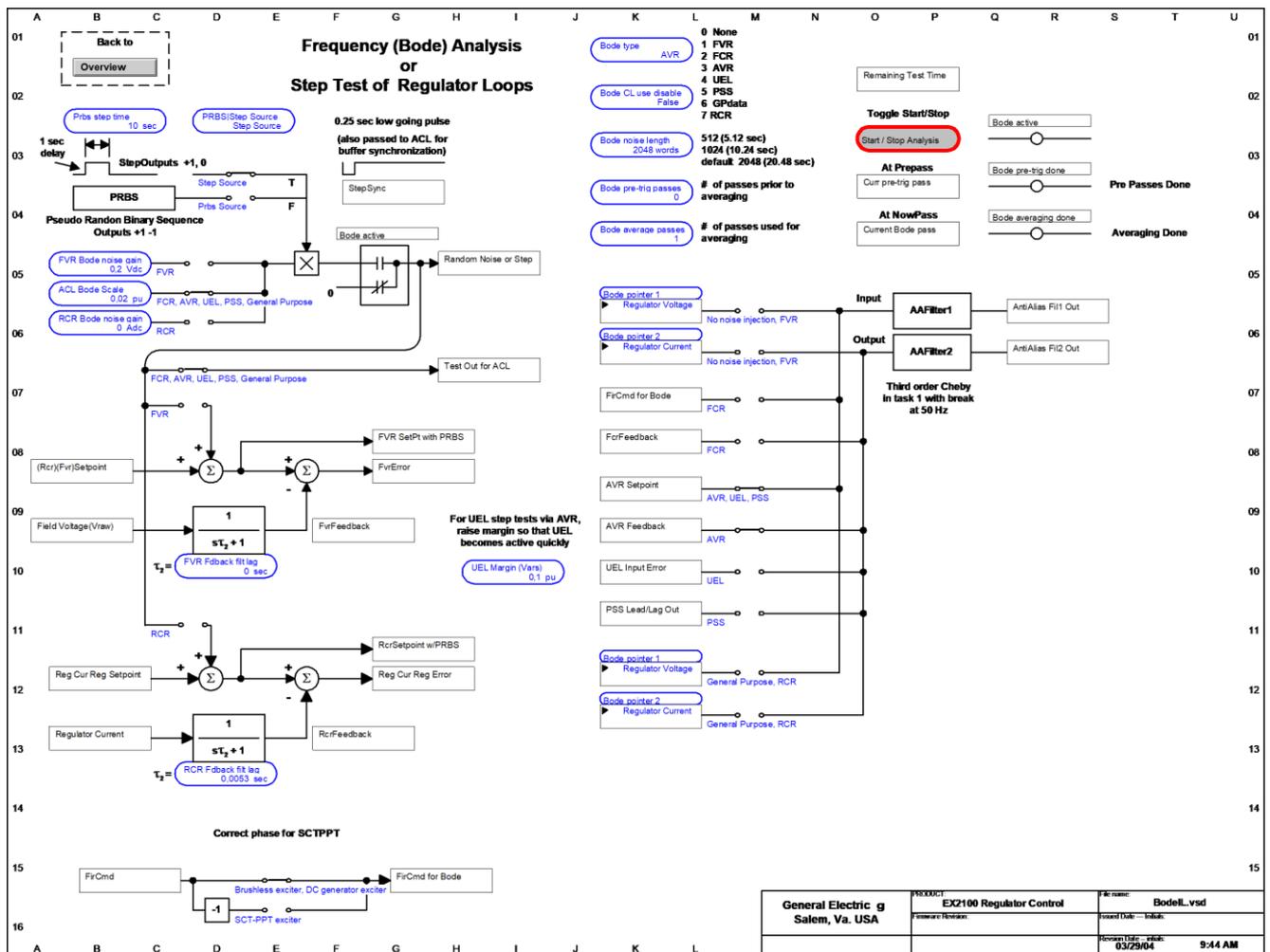


Figura 3.3: Interfaz de control del AVR

3.4.2 Control de frecuencia

Para realizar los ensayos descritos en el protocolo “**EE-EN-2021-1070-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Frecuencia_CT_Nueva Renca**” se realizan escalones en las referencias de los lazos de potencia y frecuencia de la unidad TG. Lo anterior se logra mediante la interfaz de control del GOV. En la Figura 3.4 se puede apreciar la interfaz del Modo Test de control del GOV Mark VIe de General Electric implementado en la central.

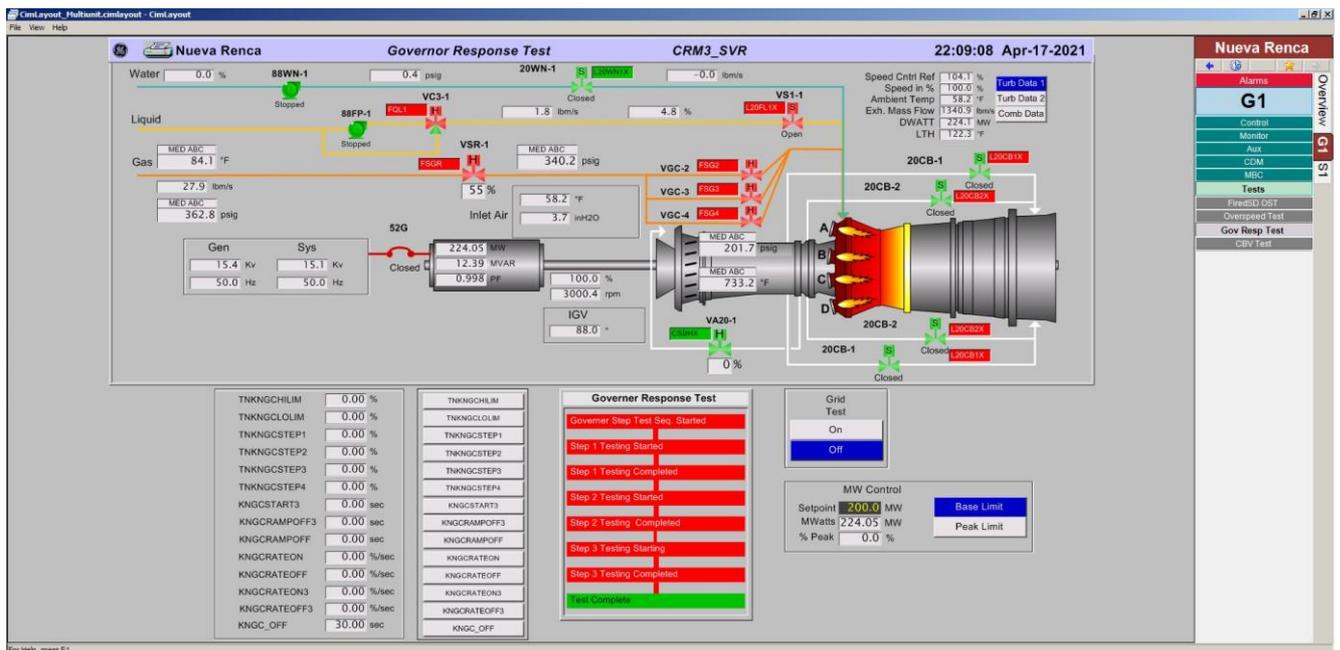


Figura 3.4: Interfaz de Modo Test control del GOV unidad TG

Por otra parte, no se han efectuado cambios de consigna sobre el controlador de potencia/frecuencia de la unidad TV. Como esta unidad opera con la válvula de admisión 100% abierta, responde a las variaciones de potencia de la unidad TG. De todas maneras, se han realizado las mediciones correspondientes de dichas variaciones de potencia para visualizar el efecto de ambas unidades.

4 EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN DE LAS UNIDADES TG Y TV

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 las unidades TG y TV.

Se utilizan los siguientes despachos de potencia activa al ensayar.

Despacho de Potencia Activa	Valor unidad TG [MW]	Valor unidad TV [MW]
P1_CT (Pmin)	85	75
P2_CT	130	-
P3_CT	170	97
P4_CT (con FA GNL+GNL)	219	130
P5_CT (Pmax con FA GNL+GNL)		162

Tabla 4.1: Estados de carga ensayados

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

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

Tabla 4.2: Distribución de las pruebas en vacío

Despacho de Potencia Activa	Pruebas en carga
$P_{TG} = P_{TV} = P_1$	Limitador UEL y Limitador OEL
$P_{TG} = P_{TV} = P_3$	Limitador UEL y Limitador OEL
$P_{TG} = P_{TV} = P_5$	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.

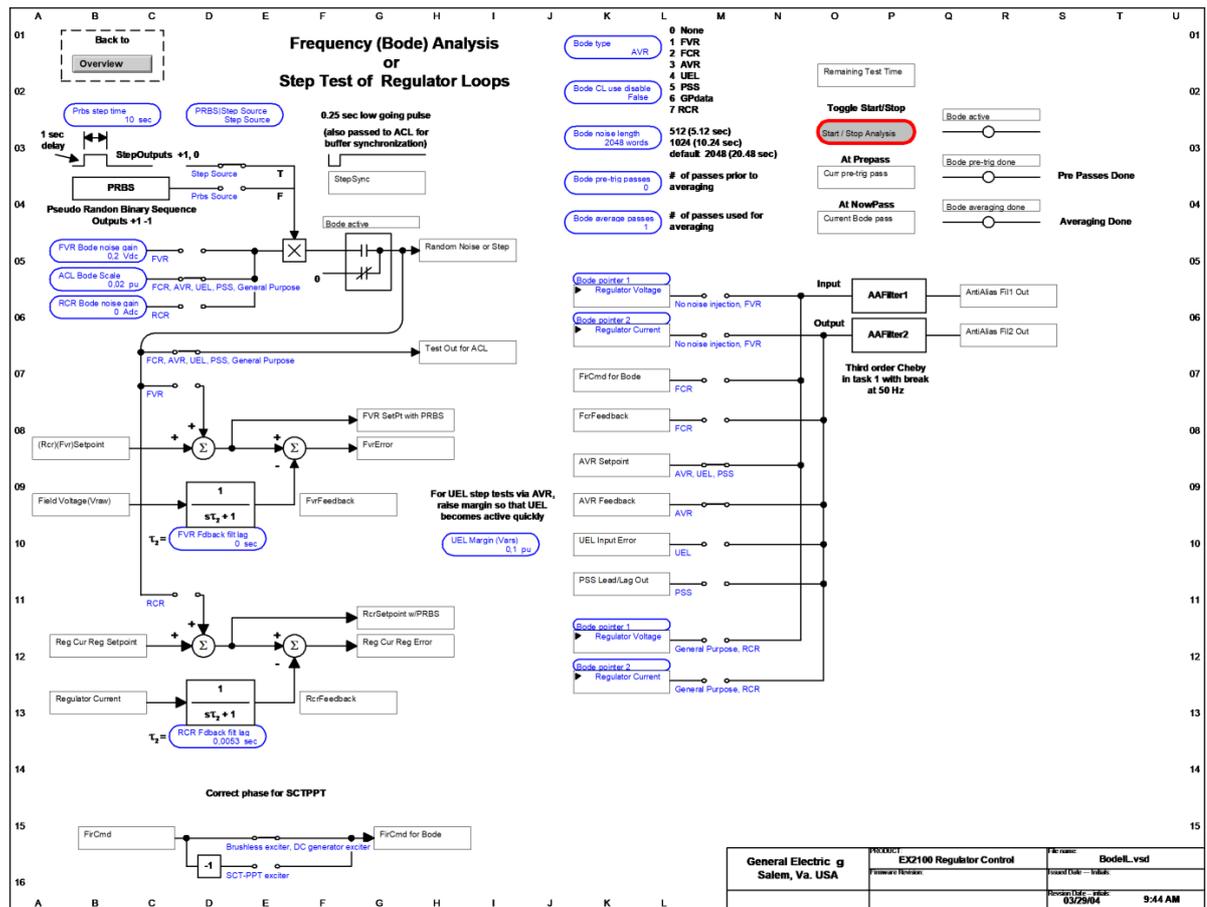


Figura 4.1: Configuración del escalón de tensión

¹ La tensión nominal de terminales de las unidades TG y TV es de 15.75 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 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 TG y TV durante 20 segundos.

Unidad TG

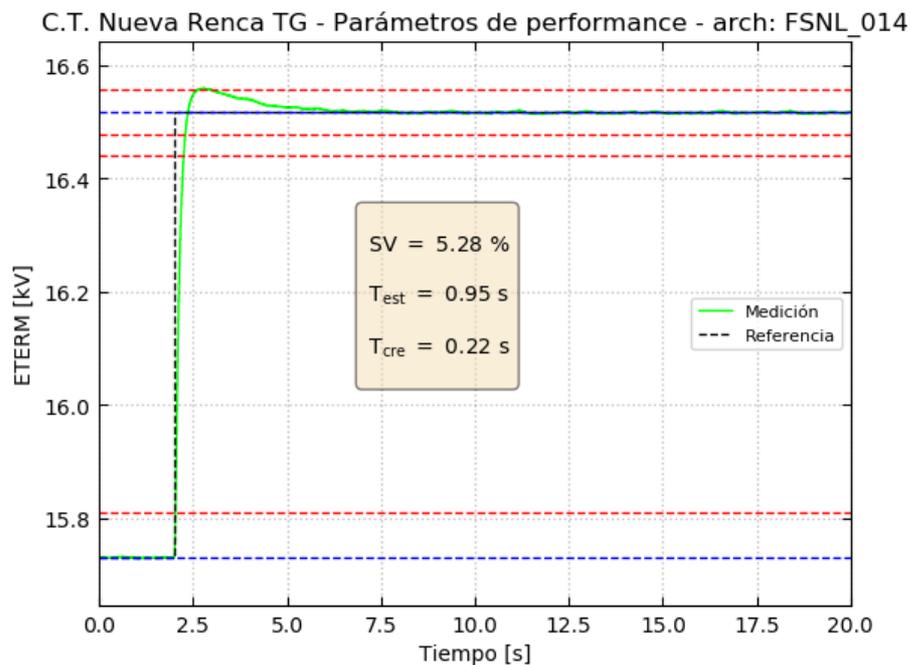


Figura 4.2: Parámetros de performance – $ETERM_o=1.0$ pu – Step = 5% - Unidad TG

Parámetro	Valor Medido	Requerimiento Normativo
Sobreoscilación	5.28%	< 15%
Tiempo de crecimiento	220 ms	< 400 ms
Tiempo de establecimiento	0.95 seg	< 1.5 seg
Error estacionario	0%	< 0.25%

Tabla 4.4: Análisis de requerimiento establecidos por NTS&CS – Unidad TG

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

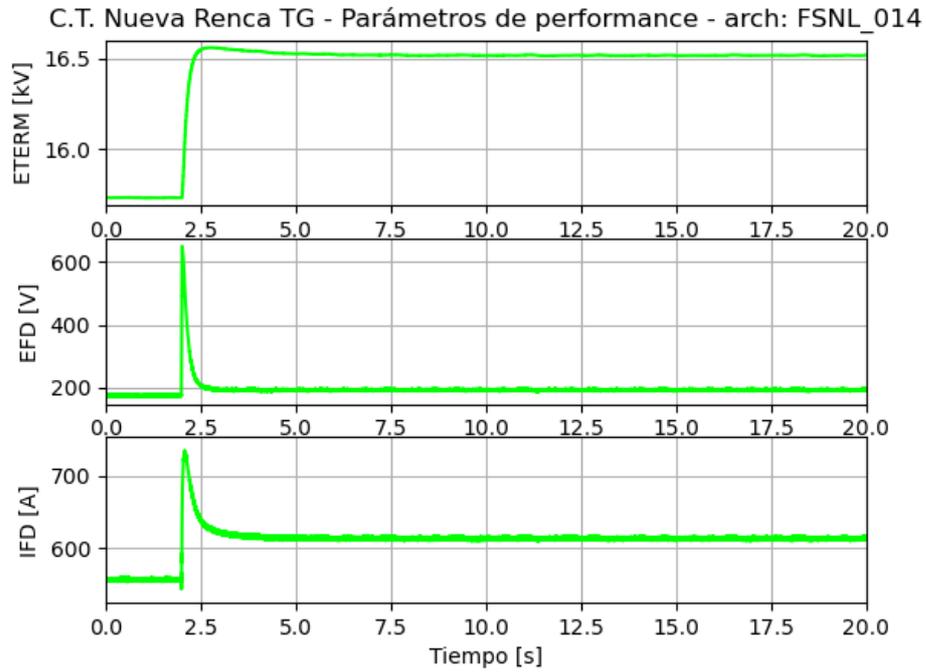


Figura 4.3: Parámetros de performance – Step = 5% - Unidad TG

Unidad TV

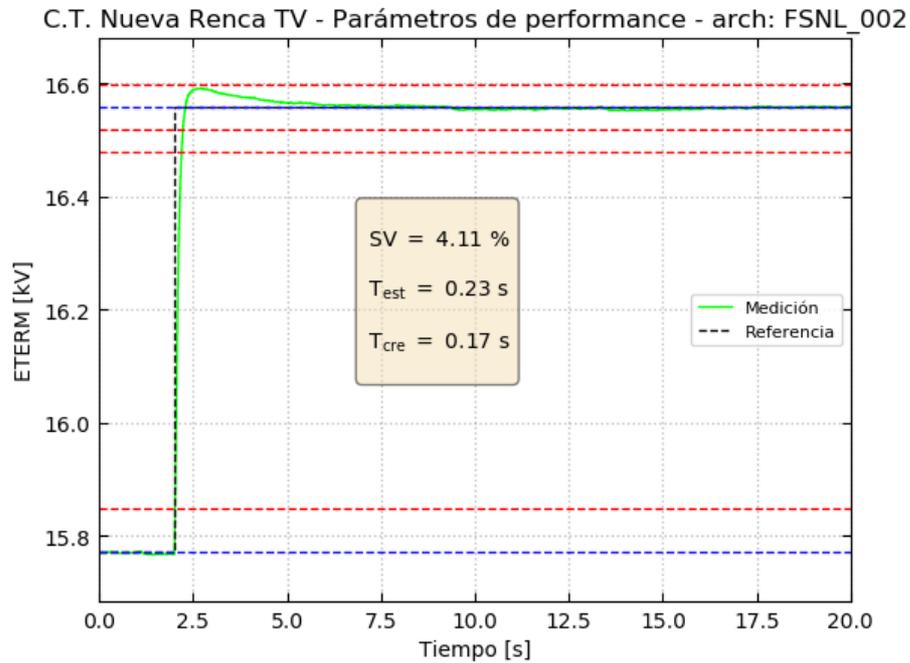


Figura 4.4: Parámetros de performance – $ETERM_o = 1.0 pu$ - Step = 5% - Unidad TV

Parámetro	Valor Medido	Requerimiento Normativo
Sobreoscilación	4.11%	< 15%
Tiempo de crecimiento	170 ms	< 400 ms
Tiempo de establecimiento	0.23 seg	< 1.5 seg
Error estacionario	0%	< 0.25%

Tabla 4.5: Análisis de requerimiento establecidos por NTS&CS – Unidad TV

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.

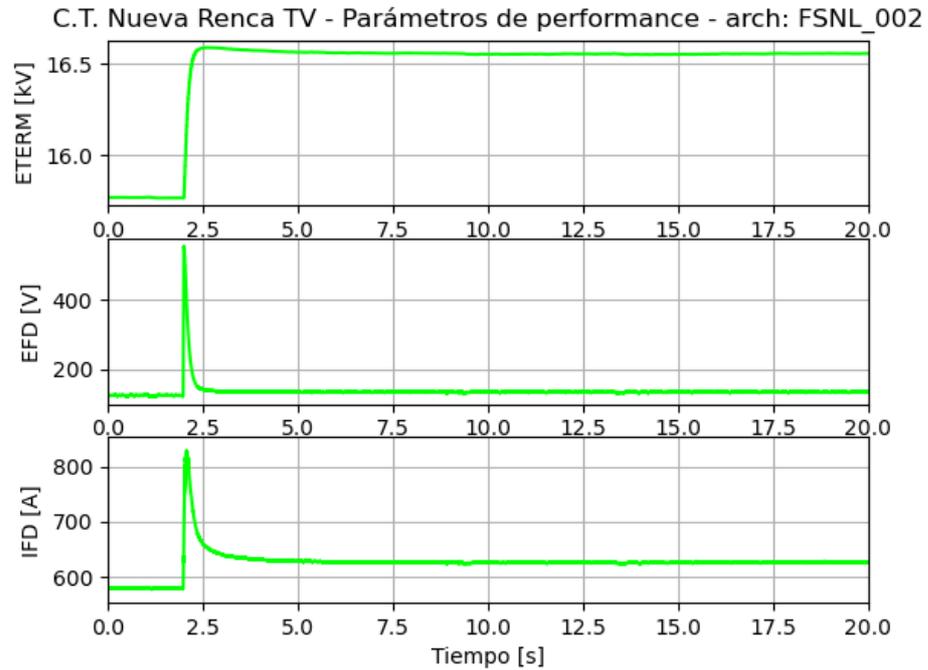


Figura 4.5: Parámetros de performance - $ETERM_o = 1.0 pu$ - Step = 5% - Unidad TV

Se observa que ambas unidades cumplen con los requerimientos estipulados en la NTSyCS respecto a los parámetros de performance en vacío.

4.1.2 Determinación de los techos de excitación

A los efectos de verificar los techos de excitación, se registra para cada unidad, la respuesta dinámica del AVR ante la aplicación de un escalón del 18% durante 5 segundos en la consigna del regulador con la unidad operando en vacío. En la Figura 4.6 y la Figura 4.7 se muestra la respuesta de la unidad TG y TV ante un escalón de gran magnitud respectivamente, introducido con el objetivo de determinar los techos de excitación.

Unidad TG

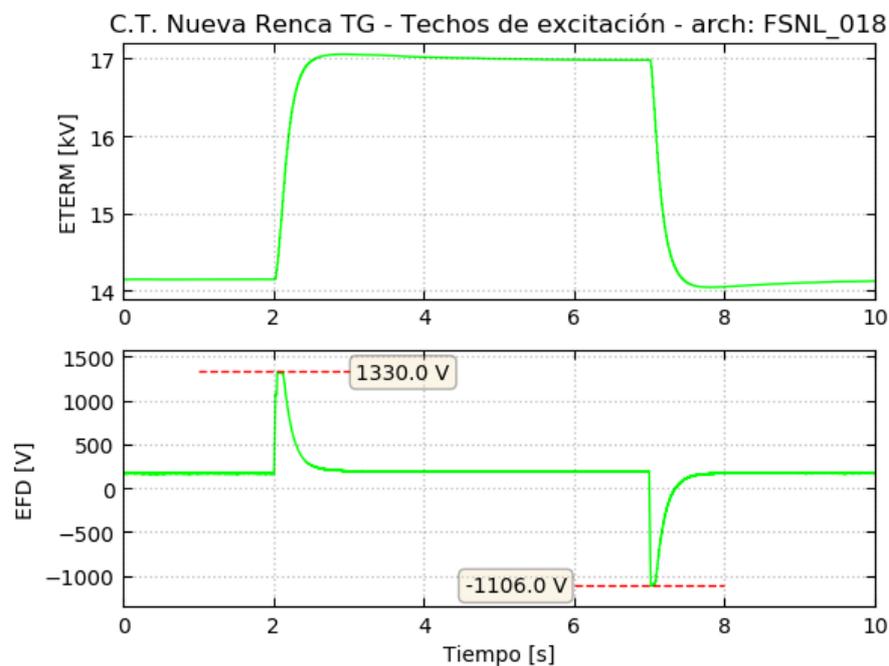


Figura 4.6: Techos de excitación - $ETERM_o = 0.9 pu$ - Step = 18% - Unidad TG

A partir de la Figura 4.6 se tiene que los valores alcanzados son:

- Techo positivo: 1330.0 V
- Techo negativo: -1106.0 V

Comparación teórica

De acuerdo a la información proporcionada por el fabricante, según se muestra en el anexo 9.6, el transformador de excitación está tomado de la salida de tensión de la propia unidad y cuenta con 800 V en su enrollado secundario.

Teóricamente, luego de rectificado, el voltaje del lado de continua corresponde a:

$$V_{CC} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} * V_{LL} = 1.35 * V_{LL} = 1.35 * 800 = 1080 \text{ V}$$

Por lo tanto, el valor obtenido mediante ensayos se encuentra en el orden de lo esperado teóricamente.

Unidad TV

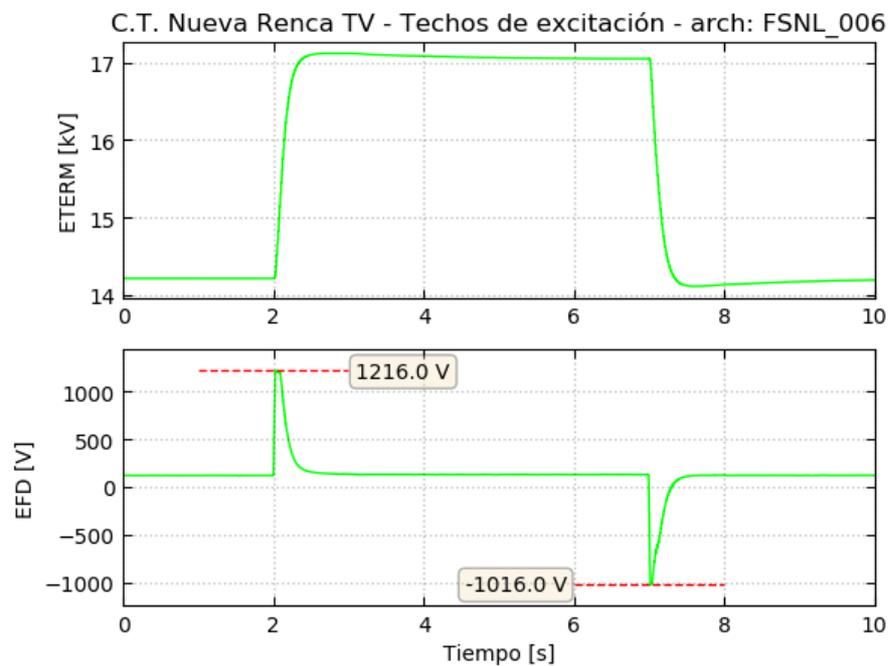


Figura 4.7: Techos de excitación – $ETERM_o = 0.9 \text{ pu}$ – $Step = 18\%$ – Unidad TV

A partir de la Figura 4.7 se tiene que los valores alcanzados son:

- Techo positivo: 1216.0V
- Techo negativo: -1016.0V

Comparación teórica

De acuerdo a la información proporcionada por el fabricante, según se muestra en el anexo 9.6, el transformador de excitación está tomado de la salida de tensión de la propia unidad y cuenta con 550 V en su enrollado secundario.



Teóricamente, luego de rectificado, el voltaje del lado de continua corresponde a

$$V_{CC} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} * V_{LL} = 1.35 * V_{LL} = 1.35 * 550 = 742.5 V$$

Por lo tanto, el valor obtenido mediante ensayos se encuentra en el orden de lo esperado teóricamente.

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

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

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

<i>Variable</i>	<i>Ajuste permanente TG y TV</i>	<i>Ajuste transitorio TG y TV</i>
Auto V/Hz limit (ver Figura 9.51)	109%	103%

Tabla 4.6 – Ajustes del limitador V/Hz

Unidad TG

En la Figura 4.8 se muestra la respuesta del limitador V/Hz ante un escalón del 5% en la referencia de tensión de la unidad TG. La línea **roja** segmentada representa el escalón del 5% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado de 103%.

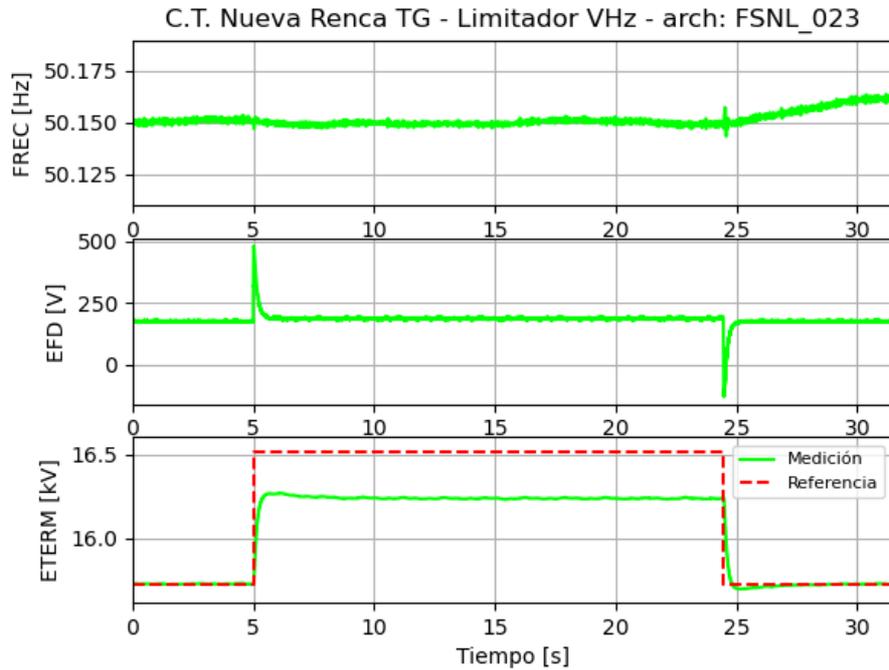


Figura 4.8 - Respuesta limitador V/Hz - $ETERM_o = 1.0 pu$ - Step = +5% - Unidad TG

Unidad TV

En la Figura 4.9 se muestra la respuesta del limitador V/Hz mediante un escalón del 5% en la referencia de tensión de la unidad TV. La línea roja segmentada representa el escalón del 5% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado de 103%.

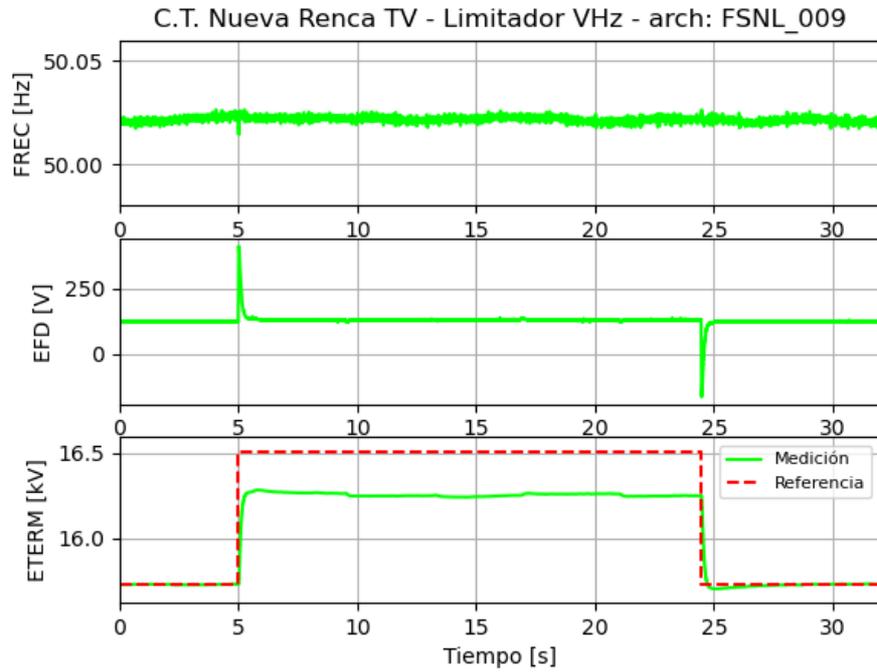


Figura 4.9 - Respuesta limitador V/Hz - $ETERM_o = 1.0 pu$ - Step = +5% - Unidad TV

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

4.2 Ensayos con la unidad conectada a la red

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

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

A continuación, se presenta la respuesta del sistema de excitación ante la aplicación de un escalón en la referencia de tensión de la unidad sincronizada con el Sistema. Los escalones se realizan para 3 niveles distintos de potencia activa (P1_CT, P3_CT y P5_CT).

Unidad TG

Durante el desarrollo de los ensayos, las condiciones del Sistema no permiten realizar la prueba con ajuste permanente, por lo que se utiliza un ajuste transitorio tal que produzca la activación del limitador a valores de menor absorción de reactivos. Por ende, se modifica transitoriamente el valor de actuación del límite UEL mediante un offset en la variable **UEL margins (Vars)** (ver Figura 9.53), para que actúe frente a un escalón en la referencia de tensión del -2%.

Despacho	Ajuste permanente	Ajuste transitorio
P1_CT	0.1 p.u.	0.22 p.u.
P3_CT	0.1 p.u.	0.25 p.u.
P5_CT	0.1 p.u.	0.26 p.u.

Tabla 4.7 – Ajustes del limitador UEL – Unidad TG

En la Figura 4.10, Figura 4.11 y Figura 4.12 se muestra la respuesta del limitador UEL mediante un escalón del -2% en la referencia de tensión de la unidad TG. La línea roja segmentada representa el escalón del -2% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado.

P1 CT=85 MW

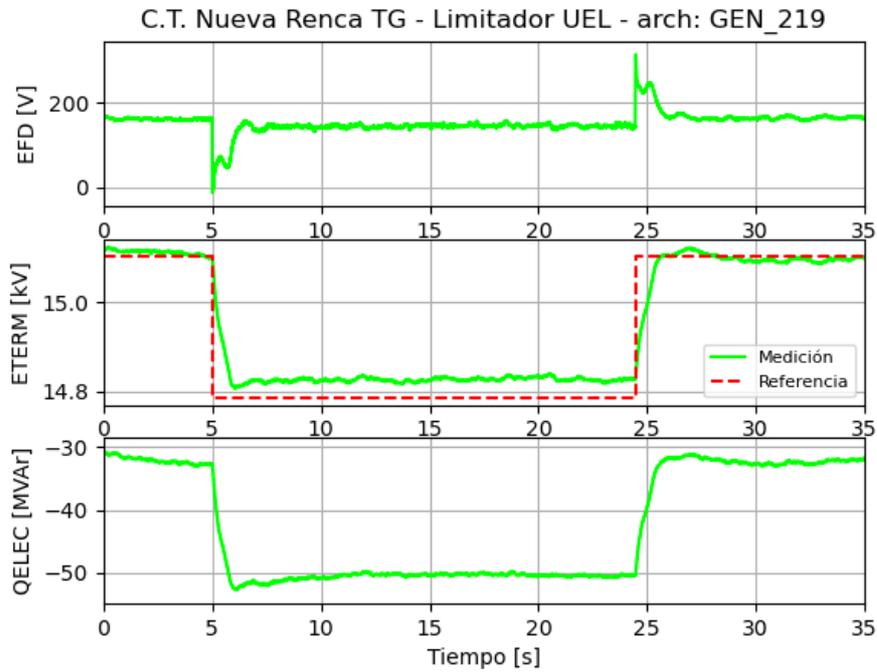


Figura 4.10 - Respuesta limitador UEL - $ETERMo = 0.96 pu$ - Step = -2% - Unidad TG

P3 CT=170 MW

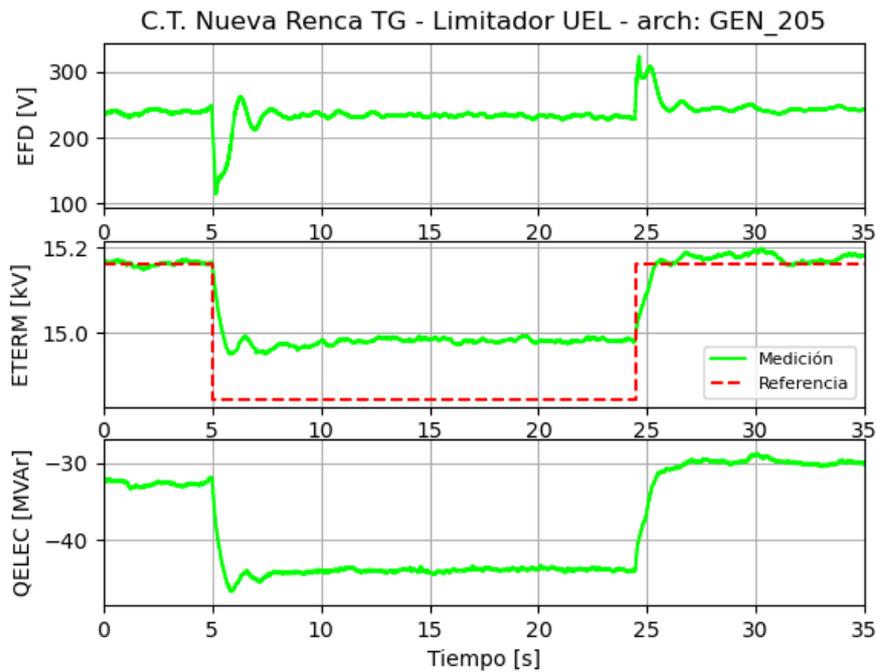


Figura 4.11 - Respuesta limitador UEL - $ETERMo = 0.96 pu$ - Step = -2% - Unidad TG

P5 CT=219 MW

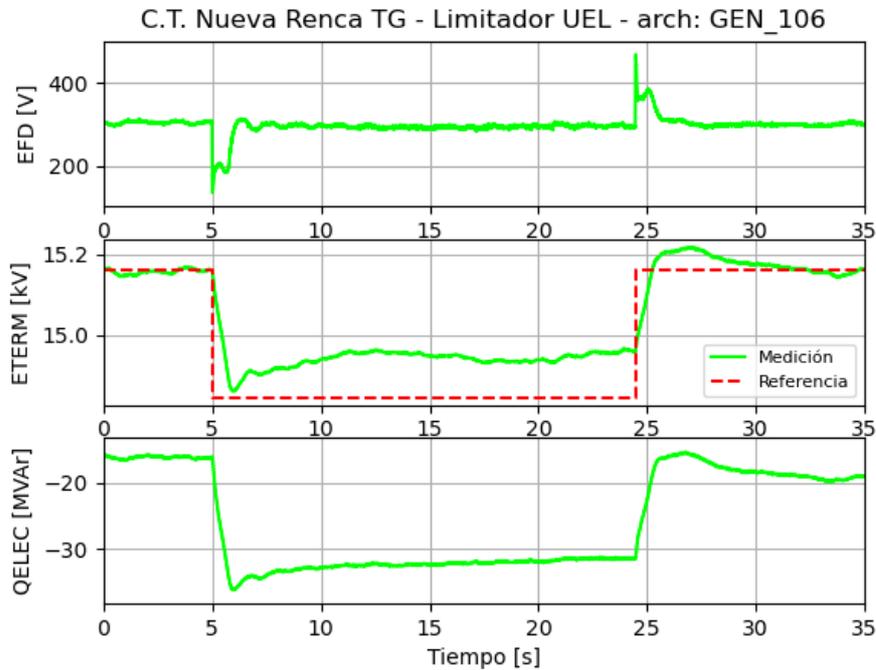


Figura 4.12 – Respuesta limitador UEL – $ETERMo = 0.96 pu$ – $Step = -2\%$ – Unidad TG

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

Unidad TV

Durante el desarrollo de los ensayos se utiliza el valor original de actuación del límite UEL presentado en la Tabla 4.8. En la Figura 4.13, Figura 4.14 y Figura 4.15, se muestra la respuesta del limitador UEL mediante un escalón del -2% en la referencia de tensión de la unidad TV. La línea roja segmentada representa el escalón del -2% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado.

Despacho	Ajuste permanente
P1_CT	0.1 p.u.
P3_CT	0.1 p.u.
P5_CT	0.1 p.u.

Tabla 4.8 – Ajustes del limitador UEL – Unidad TV

P1 CT=75 MW

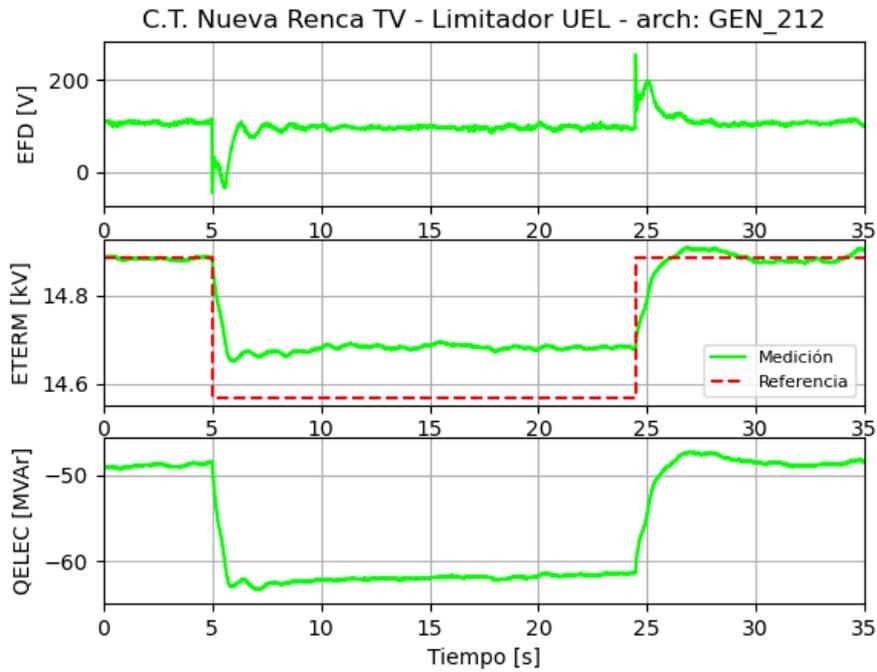


Figura 4.13 - Respuesta limitador UEL - $ETERM_o = 0.94 pu$ - Step = -2% - Unidad TV

P3 CT=97 MW

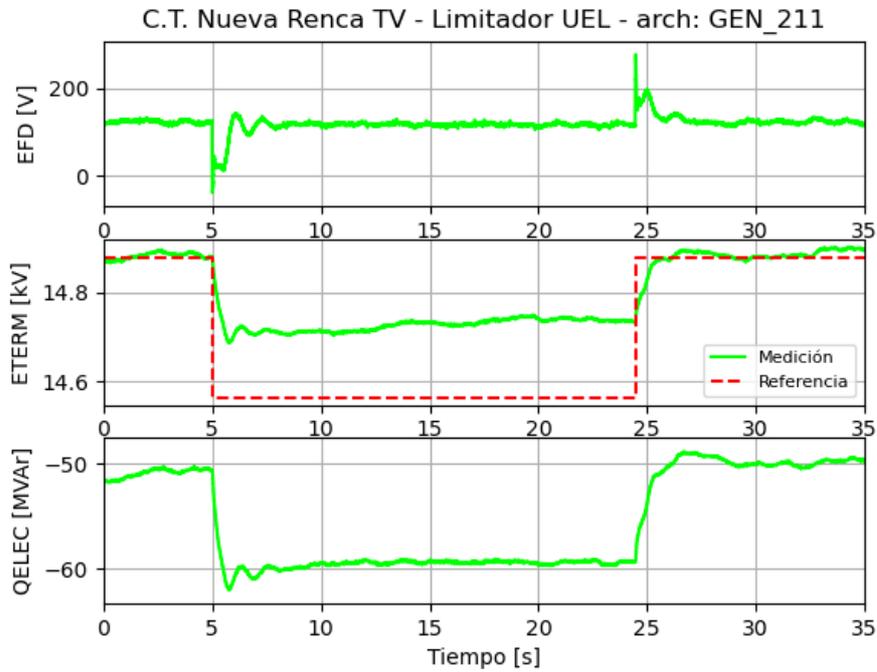


Figura 4.14 - Respuesta limitador UEL - $ETERMo = 0.94 pu$ - Step = -2% - Unidad TV

P5 CT=162 MW

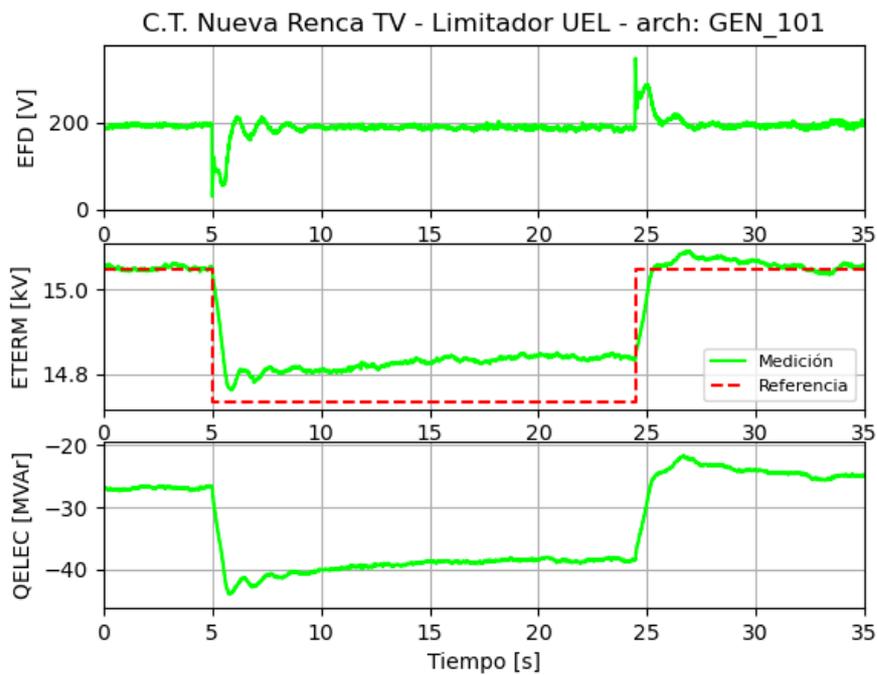


Figura 4.15 - Respuesta limitador UEL - $ETERMo = 0.955 pu$ - Step = -2% - Unidad TV

Se observa un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva generada. Adicionalmente se evidencia que este limitador tiene una adecuada coordinación con la protección de mínima excitación (40G).

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

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

Unidad TG

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

Parámetro	Ajuste original	Ajuste transitorio P1_CT	Ajuste transitorio P3_CT	Ajuste transitorio P5_CT
FcrRefLo (Limitación)	1651.00 A	930.00 A	1000.00 A	1150.00 A
OE_PU	1684.02 A	948.10 A	1020.52 A	1173.76 A
OE_Inf	1750.06 A	985.28 A	1060.54 A	1219.79 A
OE_TripLev	1849.12 A	1041.05 A	1120.57 A	1288.84 A

Tabla 4.9 – Ajustes del limitador OEL temporizado – Unidad TG

En la Figura 4.17, Figura 4.19 y Figura 4.21 se muestra la respuesta del limitador OEL temporizado, para los tres estados de carga, mediante un aumento escalonado en la referencia de tensión de la unidad TG. Una vez alcanzado se espera el tiempo necesario para que el limitador OEL actúe y limite la corriente de campo (IFD) al valor transitorio del parámetro **FcrRefLo** representado con una línea roja segmentada en la Figura 4.18, Figura 4.20 y Figura 4.22.

NOTA: Por la naturaleza de la implementación del software del AVR, no es factible inyectar escalones en la referencia de duración mayor a 20 segundos. Por lo anterior, y, debido a que la actuación del OEL ocurre en una ventana de tiempo que en general es superior a ese lapso, la única forma de probar el limitador OEL en este tipo de regulador es subiendo la referencia de tensión de forma progresiva (manualmente). Esto se realiza de la forma rápida para afectar lo mínimo posible la temporización esperada. En la Figura 4.16 se puede apreciar la curva de retardo del OEL definida para el ajuste original de dicho limitador.

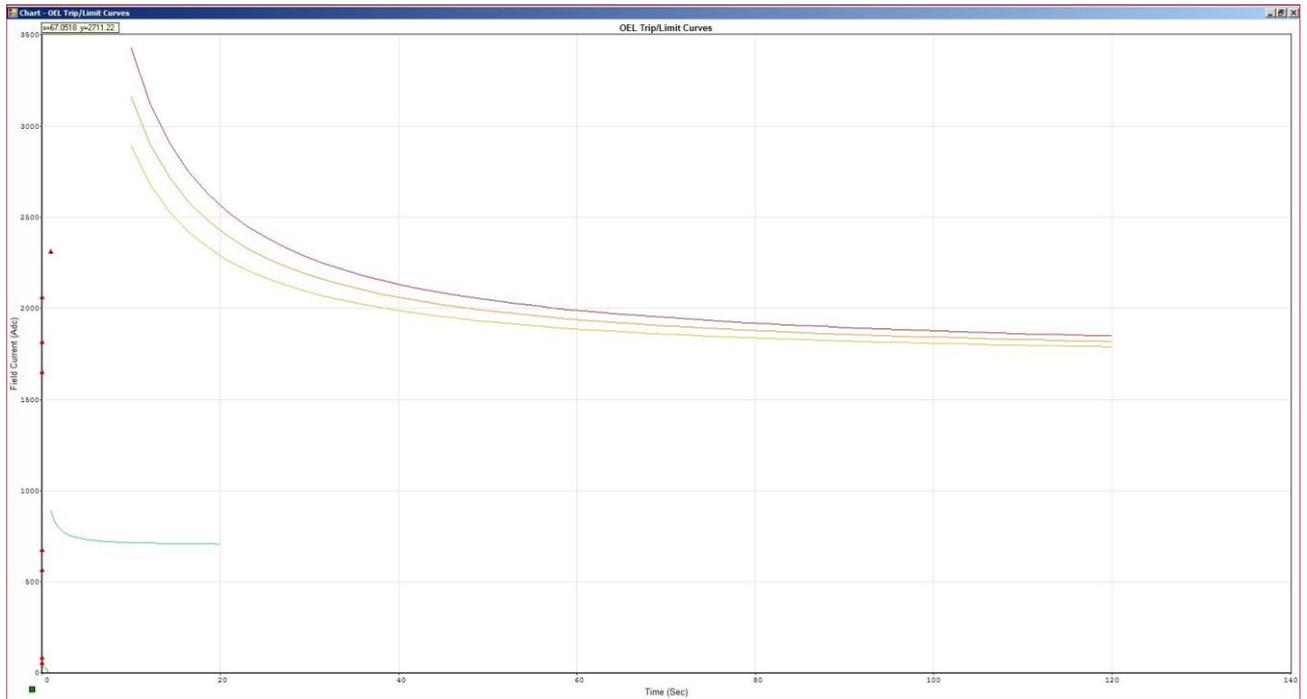


Figura 4.16 – Curva de retardo del OEL – Unidad TG

P1 CT=85 MW

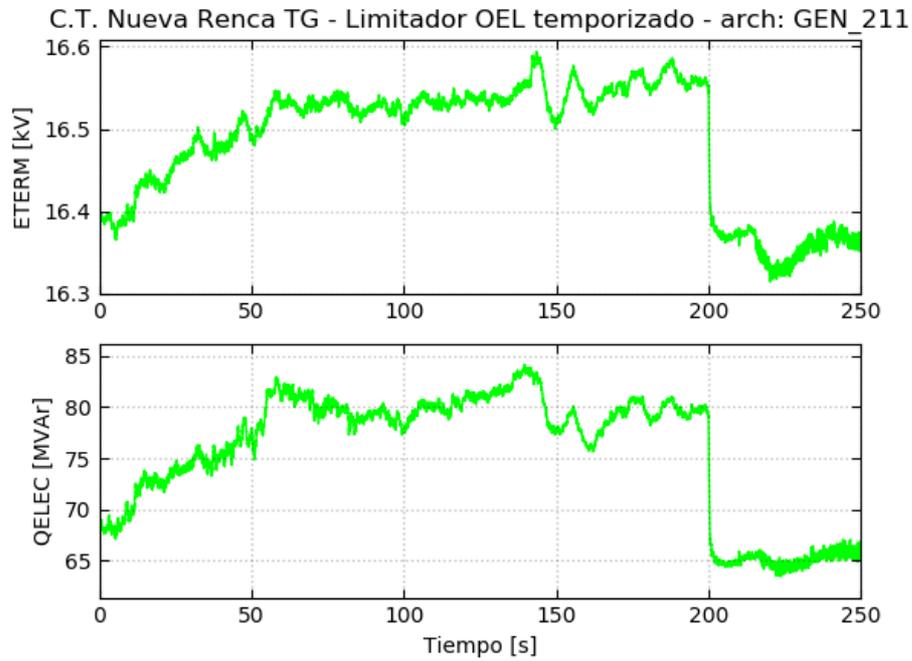


Figura 4.17 – Respuesta limitador OEL temporizado – $ETERM_o = 1.04 pu$ – Unidad TG

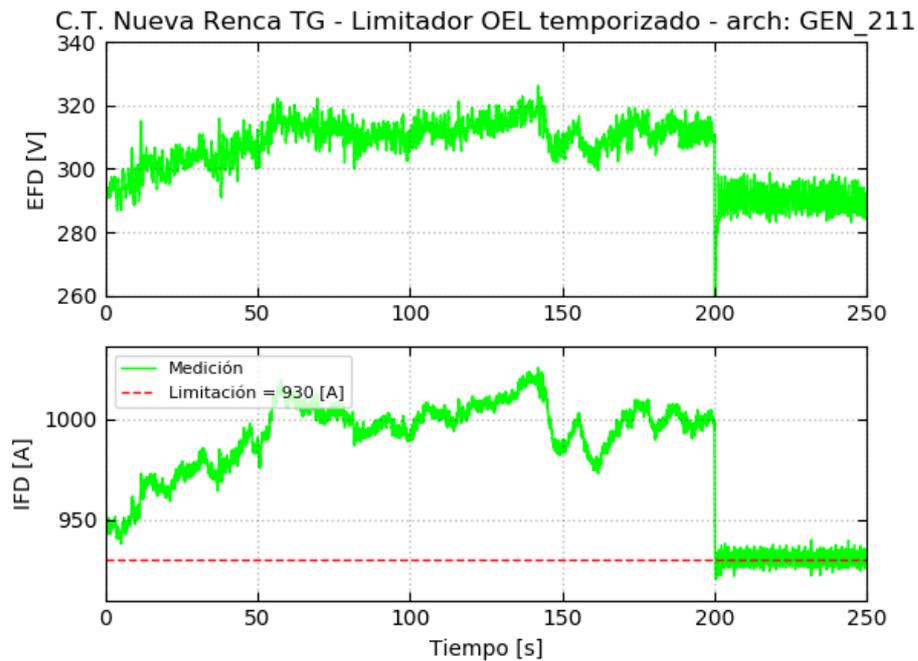


Figura 4.18 – Respuesta limitador OEL temporizado – Señales de campo – Unidad TG

P3 CT =170 MW

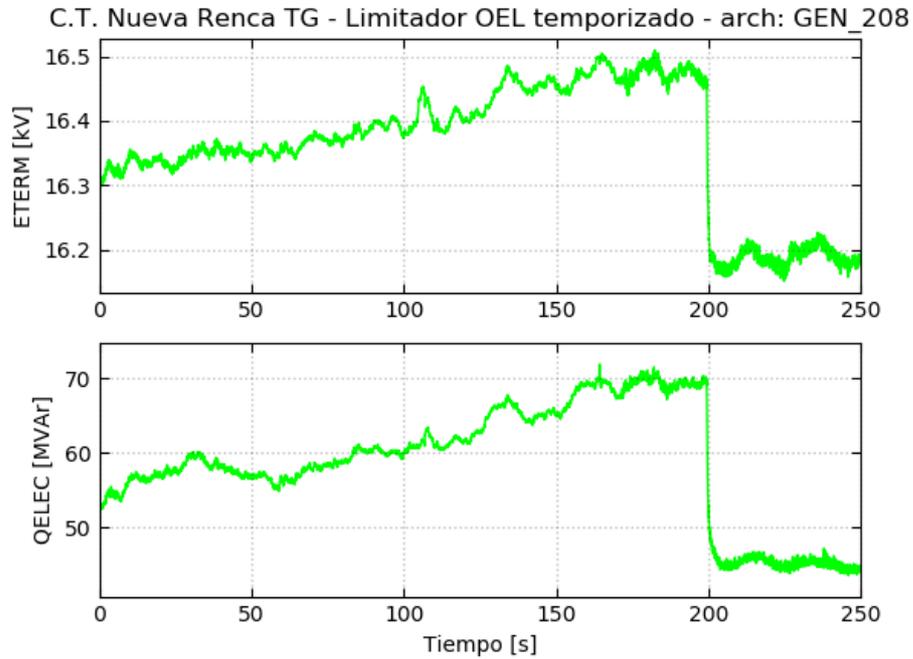


Figura 4.19 - Respuesta limitador OEL temporizado - $ETERM_o = 1.025$ pu - Unidad TG

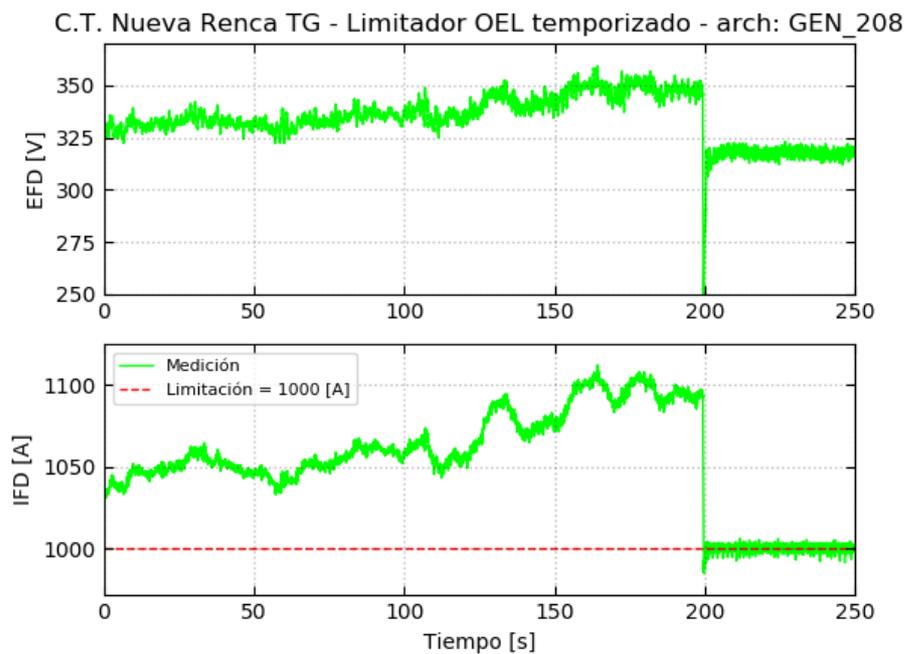


Figura 4.20 - Respuesta limitador OEL temporizado - Señales de campo - Unidad TG

P5 CT =219 MW

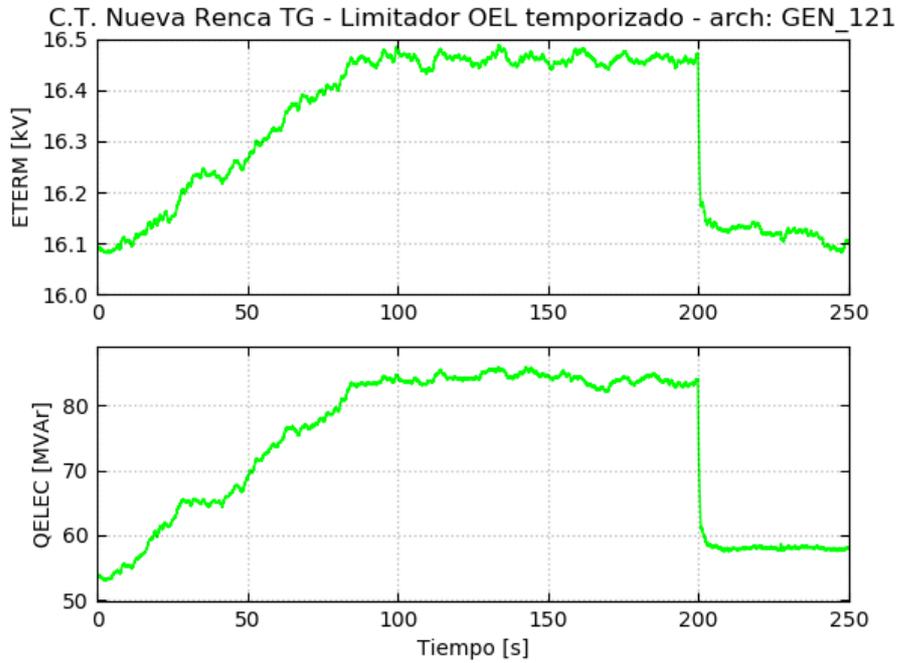


Figura 4.21 - Respuesta limitador OEL temporizado - $ETERM_o = 1.025$ pu - Unidad TG

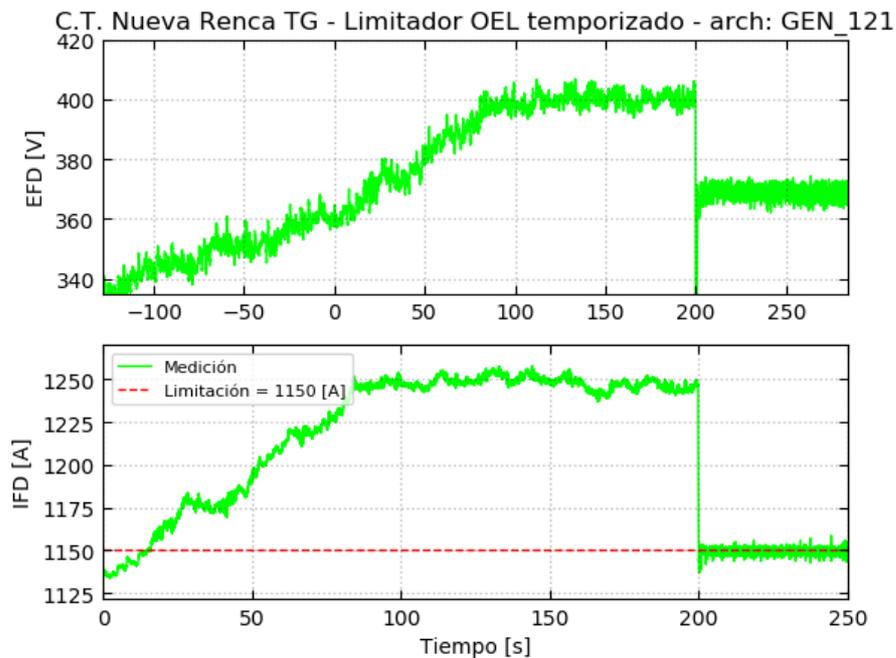


Figura 4.22 - Respuesta limitador OEL temporizado - Señales de campo - Unidad TG



Unidad TV

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

Parámetro	Ajuste original	Ajuste transitorio P1_CT	Ajuste transitorio P3_CT	Ajuste transitorio P5_CT
FcrRefLo (Limitación)	1663.20 A	1100.00 A	1060.00 A	1300.00 A
OE_PU	1696.46 A	1121.36 A	1080.65 A	1325.96 A
OE_Inf	1762.99 A	1165.38 A	1123.03 A	1377.95 A
OE_TripLev	1862.78 A	1231.30 A	1186.59 A	1455.95 A

Tabla 4.10 – Ajustes del limitador OEL temporizado – Unidad TV

En la Figura 4.23, Figura 4.25 y Figura 4.27 se muestra la respuesta del limitador OEL temporizado, para los tres estados de carga, mediante un aumento escalonado en la referencia de tensión de la unidad TV. La tensión en la referencia de tensión del AVR se aumenta hasta que se alcanza el límite de sobreexcitación. Una vez alcanzado se espera el tiempo necesario para que el limitador OEL actúe y limite la corriente de campo al valor transitorio del parámetro **FcrRefLo** representado con una línea **roja** segmentada en la Figura 4.24, Figura 4.26 y Figura 4.28.

P1 CT =75 MW

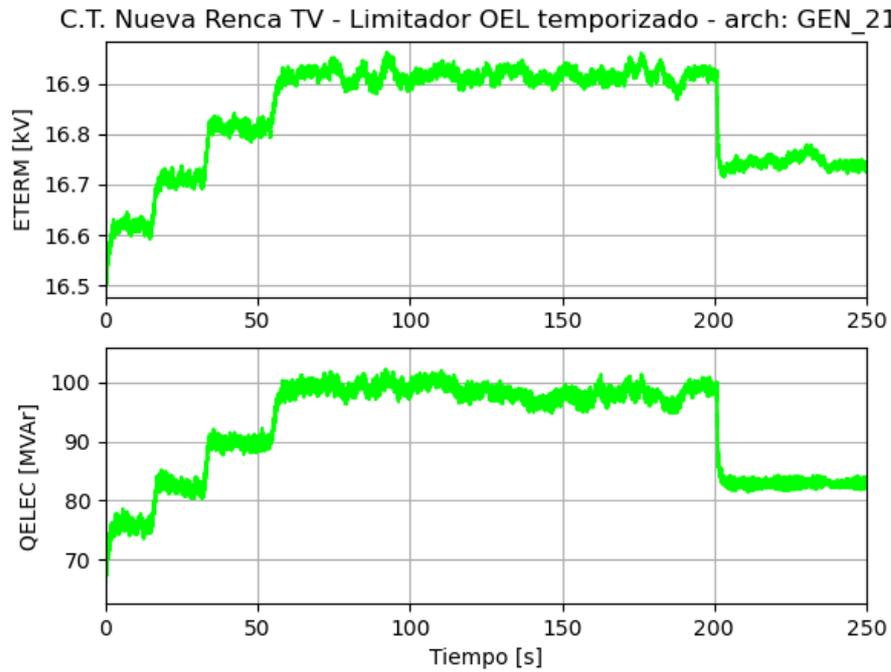


Figura 4.23 – Respuesta limitador OEL temporizado – $ETERMo = 1.06 pu$ – Unidad TV

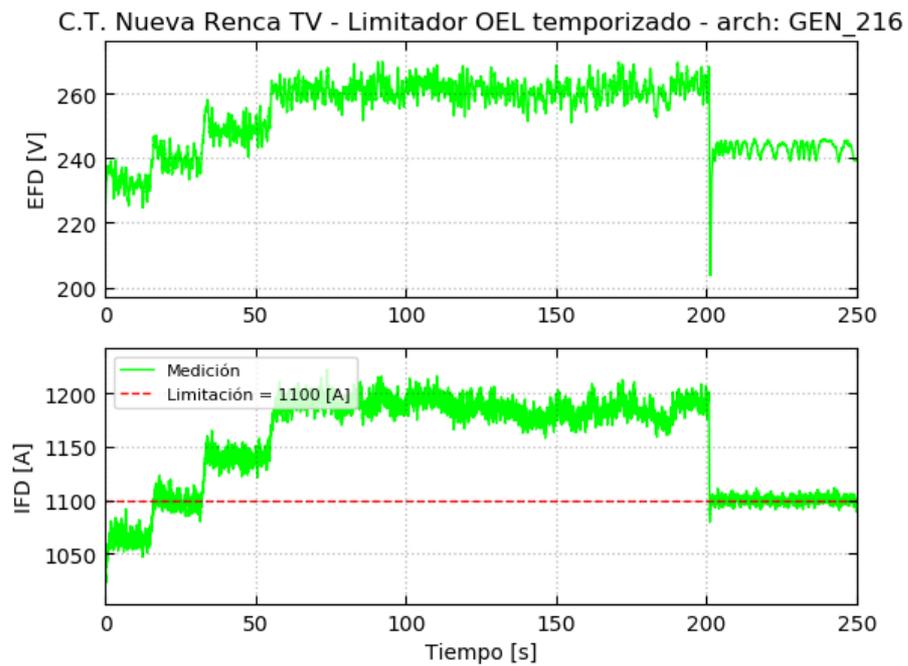


Figura 4.24 – Respuesta limitador OEL temporizado – Señales de campo – Unidad TV

P3=97 MW

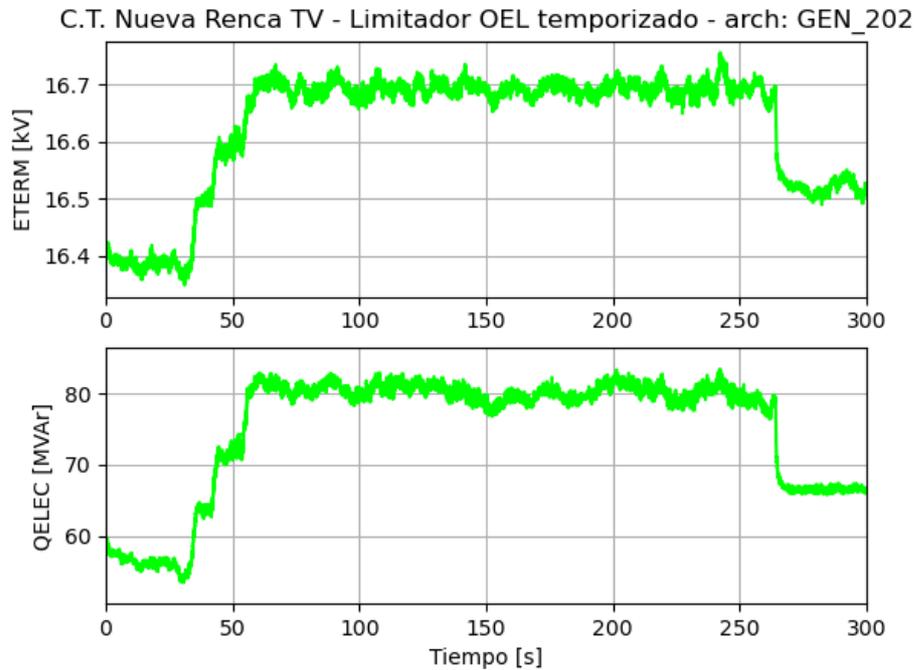


Figura 4.25 - Respuesta limitador OEL temporizado - $ETERM_o = 1.047$ pu - Unidad TV

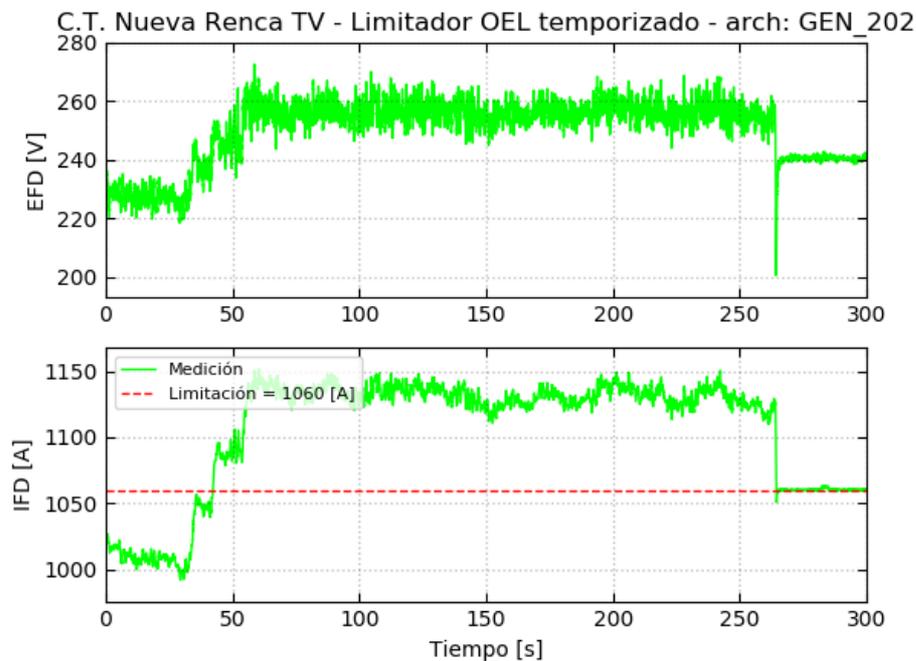


Figura 4.26 - Respuesta limitador OEL temporizado - Señales de campo - Unidad TV

P5=162 MW

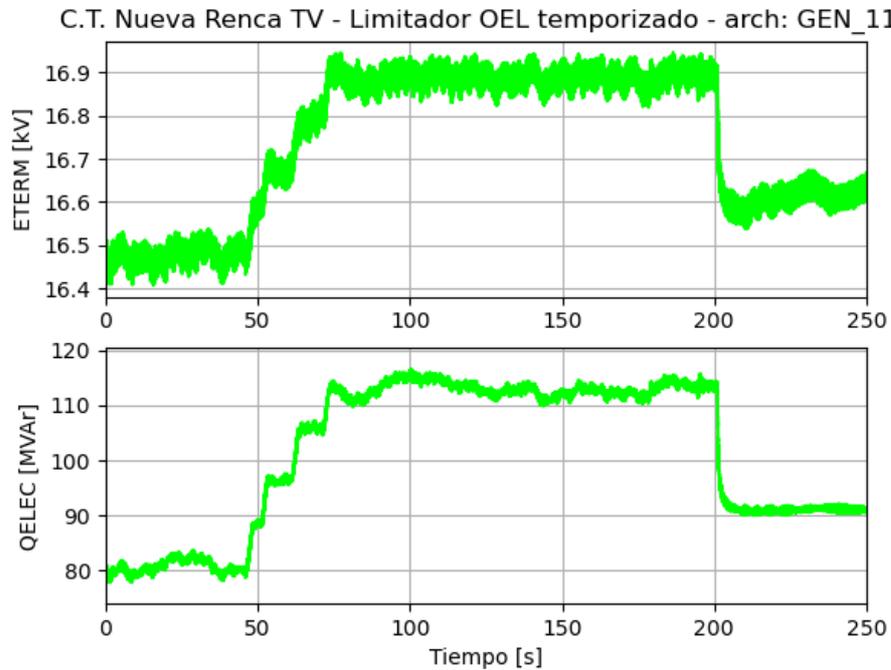


Figura 4.27 - Respuesta limitador OEL temporizado - $ETERM_o = 1.047$ pu - Unidad TV

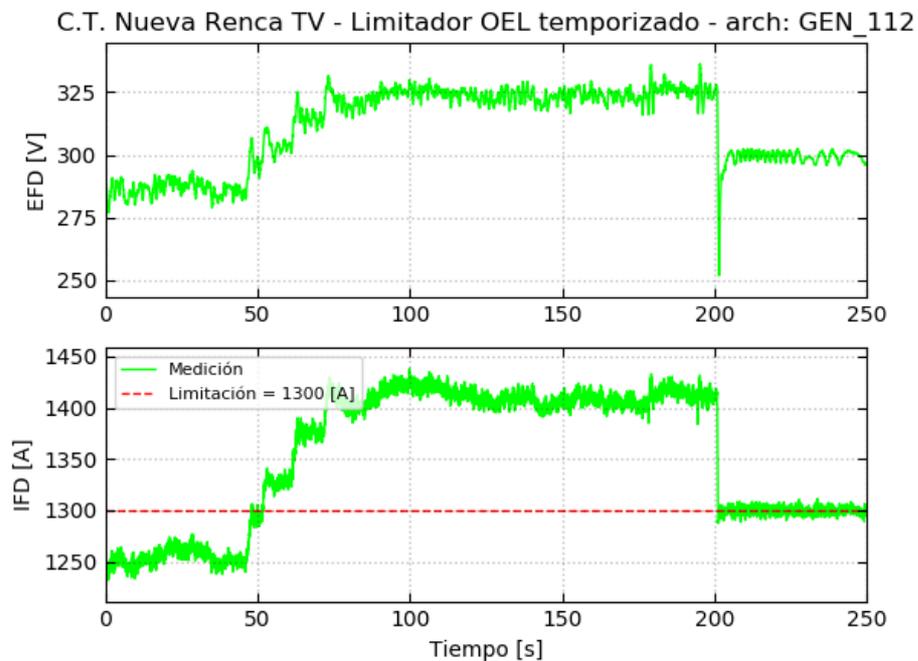


Figura 4.28 - Respuesta limitador OEL temporizado - Señales de campo - Unidad TV

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 las unidades TG y TV del ciclo combinado Nueva Renca.

4.3.1 Pruebas con las unidades en vacío

A partir de las pruebas en vacío de las unidades TG y TV (ver apartado 4.1), se observa lo siguiente:

- **Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión:** Se obtiene en ambas unidades, 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 4.11 resume los parámetros obtenidos por cada unidad.

Parámetro	Requerimiento Normativo	Unidad TG	Unidad TV
Sobreoscilación	< 15%	5.28%	4.11%
Tiempo de crecimiento	< 400 ms	220 ms	170 ms
Tiempo de establecimiento	< 1.5 seg	0.95 seg	0.23 seg
Error estacionario	< 0.25%	0%	0%

Tabla 4.11 – Resultados respuesta temporal del lazo de regulación de tensión

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

A partir de la información suministrada por el fabricante de las curvas de la excitatriz de las unidades TG y TV (Figura 9.38 y Figura 9.41 respectivamente), se determinan los valores de EFDnom con los que se puede evaluar la relación. Para la unidad TG son EFDnom = 550 V y EFDmax = 1156 V, mientras que para la unidad TV son EFDnom = 500 V y EFDmax = 1265 V. De esta manera, los resultados obtenidos son:

Parámetro	Requerimiento Normativo	Unidad TG	Unidad TV
EFDmax/EFDnom	> 2.0	2.1	2.53

Tabla 4.12 - Resultados de los techos de excitación

Con los resultados obtenidos se verifica el **cumplimiento** de las exigencias de la NTSyCS en lo que respecta a la relación EFDmax/EFDnom.

- **Limitador de sobreflujo (VHz):** Tanto en la unidad TG como en la unidad TV se ha probado la correcta actuación del limitador de sobreflujo. Adicionalmente se verifica en ambas unidades, el **cumplimiento** del artículo 3-11, literal a) de la NTS&CS, por cuanto el rango operativo exigido en dicho artículo (49-51 Hz y 0.95-1.05 p.u. de tensión) no se ve interferido por el limitador.

4.3.2 Pruebas con las unidades conectadas a la red

A partir de las pruebas en carga de las unidades TG y TV (ver apartado 4.2), se observa lo siguiente:

- **Limitador subexcitación (UEL):** En la unidad TG, se efectúan pruebas a seteos reducidos debido a la incapacidad de lograr el reactivo deseado con la parametrización original. En el caso de la unidad TV no ha sido necesario realizar seteos reducidos para estas pruebas. En ambos casos, se evidencia un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva generada. En ambas unidades, 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):** Tanto en la unidad TG como en la unidad TV, se efectúan pruebas a seteos reducidos debido a la incapacidad de lograr el reactivo deseado con la parametrización original. Adicionalmente, para probar el limitador OEL se realiza un incremento progresivo de la referencia de tensión de manera manual. De esta manera se logra la actuación esperada del limitador al evidenciar que la corriente de campo (IFD) es limitada en el valor transitorio configurado en el parámetro **FcrRefLo**. Lo anterior, sumado a que la respuesta dinámica es rápida y estable, nos permite afirmar que el limitador opera satisfactoriamente.

5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO

En esta sección se presentan los ensayos realizados con el objetivo de comparar la capacidad real de la central con la informada en el documento técnico **“EE-EN-2021-0799-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Nueva_Renca”** donde se han desarrollado las curvas de capacidad teóricas máximas.

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

Los ensayos consisten en pruebas estáticas, donde primero se intenta consignar la tensión objetivo en terminales mediante la ayuda de la unidad restante. Luego se solicita colaboración del CEN, para ajustar la tensión en la barra S/E Renca 110 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-2021-0800-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Tension_CT_Nueva Renca”**.

Durante el desarrollo de las pruebas se solicita colaboración al despacho en reiteradas oportunidades, sin embargo, dadas las condiciones del Sistema, el despacho no logra hacer un cambio significativo en la tensión en la S/E Renca 110 kV lo que implica que no es posible llevar a cabo el ensayo para los 5 niveles de tensión solicitados. En cambio, se ensaya la curva PQ con la tensión actual de la barra antes mencionada.

5.1 Registros temporales de los puntos operativos alcanzados

Luego de alcanzar cada punto operativo objetivo (P, Q, V) o más cercano según condiciones del Sistema el día de las pruebas, se registran las principales magnitudes durante al menos 15 minutos para comprobar la estabilidad en cada uno.

Con el objetivo de identificar cada punto operativo a alcanzar en cada nivel de tensión, se utiliza la nomenclatura y correlación presentada en la Tabla 5.1, la cual surge de la interpretación de la Figura 5.1 y Figura 5.2.

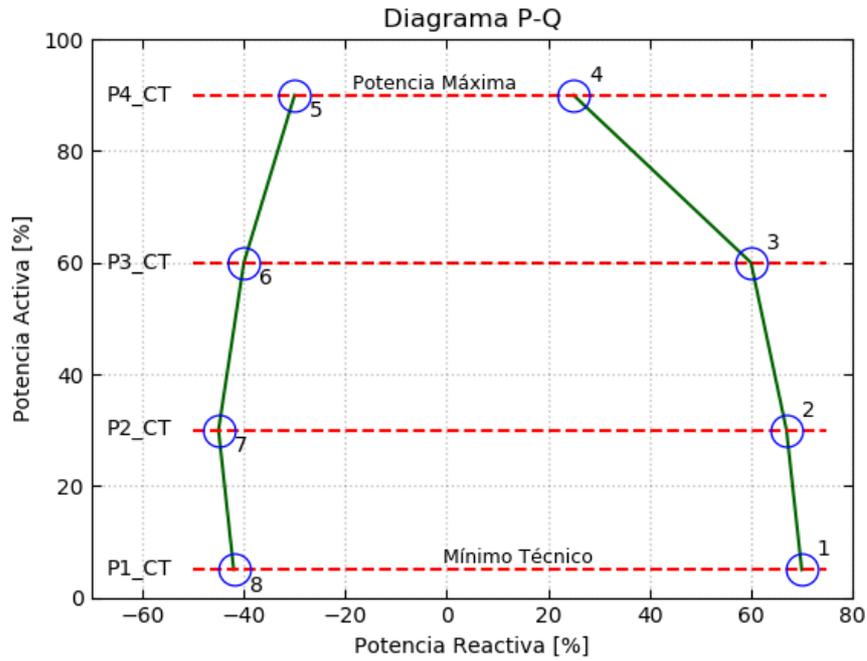


Figura 5.1: Puntos PQ referenciales a verificar en la unidad TG en régimen estacionario para los 5 niveles de tensión

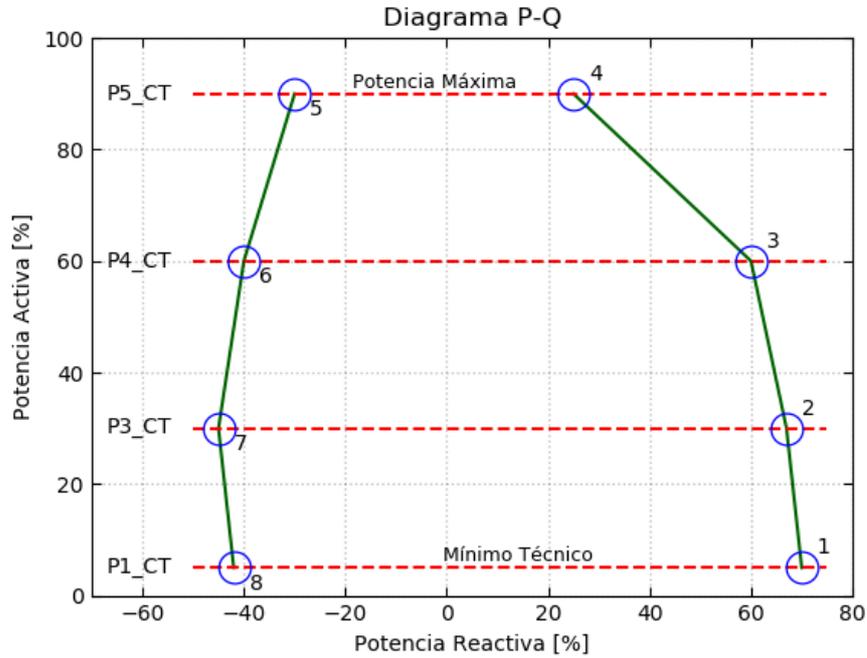


Figura 5.2: Puntos PQ referenciales a verificar en la unidad TV en régimen estacionario para los 5 niveles de tensión



<i>Despacho de Potencia Activa</i>	<i>Valor unidad TG [MW]</i>	<i>Valor unidad TV [MW]</i>
P1_CT (Pmin)	85	75
P2_CT	130	-
P3_CT	170	97
P4_CT (con FA GNL+GNL)	219	130
P5_CT (Pmax con FA GNL+GNL)		162

Tabla 5.1: Nomenclatura utilizada para los distintos puntos operativos alcanzados

Debido a que no ha sido posible variar significativamente la tensión en la barra S/E Renca 110 kV, solo se muestran los resultados para los niveles de tensión alcanzados. Estos son presentados en los siguientes anexos:

- Anexo 9.1.1: Verificación curva PQ unidad TG.
- Anexo 9.1.2: Verificación curva PQ unidad TV.

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



Subexcitación				
Tensión objetivo en Terminales [p.u.]	Despacho potencia activa	Potencia reactiva objetivo² [MVar]	Potencia reactiva alcanzada [MVar]	Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]
0.90	P1_CT = 85 MW	-74.9	-	-
	P2_CT = 130 MW	-74.1	-	-
	P3_CT = 170 MW	-69.0	-	-
	P5_CT = 219 MW	-57.2	-	-
0.95	P1_CT = 85 MW	-82.9	-46.8	0.952
	P2_CT = 130 MW	-83.4	-49.7	0.951
	P3_CT = 170 MW	-80.0	-49.0	0.951
	P5_CT = 219 MW	-70.7	-35.3	0.950
1.00	P1_CT = 85 MW	-91.4	-	-
	P2_CT = 130 MW	-92.7	-	-
	P3_CT = 170 MW	-90.5	-	-
	P5_CT = 219 MW	-83.5	-	-
1.05	P1_CT = 85 MW	-100.3	-	-
	P2_CT = 130 MW	-102.5	-	-
	P3_CT = 170 MW	-101.6	-	-
	P5_CT = 219 MW	-96.2	-	-
1.10	P1_CT = 85 MW	-108.9	-	-
	P2_CT = 130 MW	-112.1	-	-
	P3_CT = 170 MW	-111.9	-	-
	P5_CT = 219 MW	-108.2	-	-

Tabla 5.2: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de subexcitación – Unidad TG

En la Tabla 5.2, se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del Sistema para mover la tensión en la barra S/E Renca 110 kV.

Los puntos medidos, presentados en la Tabla 5.2, corresponden a la menor tensión alcanzada en bornes de la unidad TG. A partir de ese punto se encuentra una limitante ya que el tap del transformador de SS/AA alcanza una posición 16 de 17. Como es sabido cualquier reducción de tensión en la unidad llevaría a cambiar el tap del transformador a la posición 17. Personal de operaciones indica

² Los valores de reactivo objetivo han sido modificados respecto de los mencionados en el procedimiento de ensayos, debido a que en ese momento se contaba con información no actualizada de la característica del UEL TG. Esto se considera en las curvas presentadas en el capítulo 5.2.1.

que dicha posición no se utiliza por criterios internos de seguridad en la operación. Esta fue la limitante en el proceso de ensayos en dicho punto. En el anexo 9.2.1, se puede apreciar la consola de operación al momento de las pruebas de curva de capacidad subexcitadas en la unidad TG, donde se evidencia la posición 16 de 17 del tap del transformador de los SS/AA.

Sobreexcitación				
Tensión objetivo en Terminales [p.u.]	Despacho potencia activa	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Potencia reactiva alcanzada [MVar]	Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]
0.90	P1_CT = 85 MW	221.7	-	-
	P2_CT = 130 MW	209.0	-	-
	P3_CT = 170 MW	192.4	-	-
	P5_CT = 219 MW	164.5	-	-
0.95	P1_CT = 85 MW	220.1	-	-
	P2_CT = 130 MW	208.1	-	-
	P3_CT = 170 MW	192.7	-	-
	P5_CT = 219 MW	166.9	-	-
1.00	P1_CT = 85 MW	215.8	-	-
	P2_CT = 130 MW	204.5	-	-
	P3_CT = 170 MW	190.1	-	-
	P5_CT = 219 MW	166.1	-	-
1.05	P1_CT = 85 MW	208.8	109.4	1.061
	P2_CT = 130 MW	198.2	104.1	1.062
	P3_CT = 170 MW	184.6	109.4	1.061
	P5_CT = 219 MW	162.2	117.4	1.054
1.10	P1_CT = 85 MW	199.0	-	-
	P2_CT = 130 MW	189.0	-	-
	P3_CT = 170 MW	176.2	-	-
	P5_CT = 219 MW	155.1	-	-

Tabla 5.3: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de sobreexcitación - Unidad TG

En la Tabla 5.3, se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del Sistema para mover la tensión en la barra S/E Renca 110 kV.

Los puntos medidos, presentados en la Tabla 5.3, corresponden a la mayor tensión alcanzada en bornes de la unidad TG. A partir de ese punto se levanta en consola de operación, una alarma “High Voltage” por lo que personal de Generadora Metropolitana decide no seguir aumentando tensión

según su criterio de operaciones. En el anexo 9.2.2 se puede apreciar la alarma de “High Voltage” que se activa al momento de las pruebas de curva de capacidad sobrecitada en la unidad TG.

<i>Subexcitación</i>				
<i>Tensión objetivo en Terminales [p.u.]</i>	<i>Despacho potencia activa</i>	<i>Potencia reactiva objetivo³ [MVar]</i>	<i>Potencia reactiva alcanzada [MVar]</i>	<i>Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]</i>
0.90	P1_CT = 75 MW	-55.6	-	-
	P3_CT = 97 MW	-51.6	-	-
	P4_CT = 130 MW	-38.8	-	-
	P5_CT = 162 MW	-23.2	-	-
0.95	P1_CT = 75 MW	-62.7	-62.1	0.938
	P3_CT = 97 MW	-59.7	-59.6	0.941
	P4_CT = 130 MW	-50.3	-48.4	0.939
	P5_CT = 162 MW	-34.7	-36.2	0.942
1.00	P1_CT = 75 MW	-70.1	-	-
	P3_CT = 97 MW	-68.2	-	-
	P4_CT = 130 MW	-60.6	-	-
	P5_CT = 162 MW	-47.0	-	-
1.05	P1_CT = 75 MW	-77.4	-	-
	P3_CT = 97 MW	-76.1	-	-
	P4_CT = 130 MW	-70.6	-	-
	P5_CT = 162 MW	-59.9	-	-
1.10	P1_CT = 75 MW	-84.7	-	-
	P3_CT = 97 MW	-84.3	-	-
	P4_CT = 130 MW	-80.0	-	-
	P5_CT = 162 MW	-71.7	-	-

Tabla 5.4: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de subexcitación - Unidad TV

En la Tabla 5.4, se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del Sistema para mover la tensión en la barra S/E Renca 110 kV.

³ Los valores de reactivo objetivo han sido modificados respecto de los mencionados en el procedimiento de ensayos, debido a que en ese momento se contaba con información no actualizada de la característica del UEL TV. Esto se considera en las curvas presentadas en el capítulo 5.2.2.



Los puntos medidos, presentados en la Tabla 5.4, corresponden a la menor tensión alcanzada en bornes de la unidad TV, ya que en tal punto actúa el limitador de subexcitación. La potencia reactiva alcanzada difiere levemente con la potencia reactiva objetivo, debido a que esta última ha sido calculada para tensión 0.95 p.u. en bornes de generador y durante las pruebas, el limitador se alcanza con 0.94 p.u.

Sobreexcitación				
Tensión objetivo en Terminales [p.u.]	Despacho potencia activa	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Potencia reactiva alcanzada [MVar]	Tensión alcanzada en Terminales [p.u.]
0.90	P1 = 75 MW	195.3	-	-
	P3 = 97 MW	189.2	-	-
	P4 = 130 MW	176.9	-	-
	P5 = 162 MW	157.3	-	-
0.95	P1 = 75 MW	196.1	-	-
	P3 = 97 MW	190.4	-	-
	P4 = 130 MW	178.9	-	-
	P5 = 162 MW	163.7	-	-
1.00	P1 = 75 MW	194.6	-	-
	P3 = 97 MW	189.3	-	-
	P4 = 130 MW	178.5	-	-
	P5 = 162 MW	164.4	-	-
1.05	P1 = 75 MW	190.9	-	-
	P3 = 97 MW	185.9	-	-
	P4 = 130 MW	175.7	-	-
	P5 = 162 MW	162.5	-	-
1.10	P1 = 75 MW	184.7	136.7	1.089
	P3 = 97 MW	180.0	133.7	1.091
	P4 = 130 MW	170.4	125.1	1.091
	P5 = 162 MW	162.5	125.4	1.088

Tabla 5.5: Resumen de puntos operativos alcanzados - Zona de sobreexcitación - Unidad TV

En la Tabla 5.5, se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del Sistema para mover la tensión en la barra S/E Renca 110 kV.

Los puntos medidos, presentados en la Tabla 5.5, corresponden a la mayor tensión alcanzada en bornes de la unidad TV. En este punto, y tal como se mencionó en el procedimiento de ensayos, actúa el limitador de sobreflujo (VHz), seteado en 1.09 p.u. de tensión.

5.1.1 Análisis

A partir de la Tabla 5.2, Tabla 5.3, Tabla 5.4 y Tabla 5.5, se observa que existen puntos objetivos que no son alcanzados de acuerdo a las exigencias de la guía de verificación, debido a que no se puede llevar la tensión del Sistema a los extremos del rango de operación normal.

Por lo tanto, en función de los resultados de dicha sección, se resume en la Tabla 5.6, Tabla 5.7, Tabla 5.8 y Tabla 5.9, la condición final de cada punto operativo de la curva PQ en la zona de subexcitación y sobrexitación 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	No alcanzado por restricción de Operaciones	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P2_CT	No alcanzado por restricción de Operaciones	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P3_CT	No alcanzado por restricción de Operaciones	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P4_CT	No alcanzado por restricción de Operaciones	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)

Tabla 5.6 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de subexcitación – Unidad TG

Despacho potencia activa	Sobrexitación				
	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	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado por restricción de Operaciones
P2_CT	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado por restricción de Operaciones
P3_CT	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado por restricción de Operaciones
P4_CT	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado por restricción de Operaciones

Tabla 5.7 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de sobrexitación – Unidad TG



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	No alcanzado	Verificado a 0.94 pu de tensión	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P3_CT	No alcanzado	Verificado a 0.94 pu de tensión	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P4_CT	No alcanzado	Verificado a 0.94 pu de tensión	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P5_CT	No alcanzado	Verificado a 0.94 pu de tensión	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)

Tabla 5.8 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de subexcitación – Unidad TV

Despacho potencia activa	Sobrexcitación				
	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	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P3_CT	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P4_CT	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)
P5_CT	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No ensayado debido al límite V/Hz (1.09 pu)

Tabla 5.9 – Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de sobrexcitación – Unidad TV

Donde:

- **Verificado aumentando/disminuyendo la tensión del generador:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no pudieron ser alcanzados a la tensión objetivo en bornes del generador como consecuencia del flujo de carga. Se pudo alcanzar el valor de reactivo objetivo a una tensión superior/inferior en la secuencia según corresponda. No se prevé ninguna restricción por parte de la unidad.
- **No ensayado:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no pudieron ser verificados debido a una restricción operativa de la central. (ej. ajuste protecciones de los generadores).
- **No alcanzado / No alcanzable:** se utiliza el término para indicar los puntos operativos objetivo (P, Q, V) que no pudieron ser verificados para el nivel de tensión en la barra planteada. Lo anterior como consecuencia del flujo de carga y de las restricciones operativas impuestas por el SEN el día de las pruebas sobre la barra a la cual se conecta la central.

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

5.2 Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad de las unidades TG y TV han sido calculadas justificadamente en el informe PQ teórico máximo *“EE-EN-2021-0799-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Nueva_Renca”*.

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

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

Por otro lado, para el nivel de tensión de 0.9 p.u. en bornes de generador no es posible operar con la unidad TG. Esto debido a que a partir de los 0.95 p.u. de tensión en bornes de la unidad TG, la tensión en barra de los SSAA llega a la mínima tensión de operación y el tap del transformador de SSAA llega a su posición máxima.

A continuación, se presentan las curvas de capacidad definidas para cada nivel de tensión operable en las unidades TG y TV.



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 Unidad TG

Tensión en Terminales 0.95 p.u.

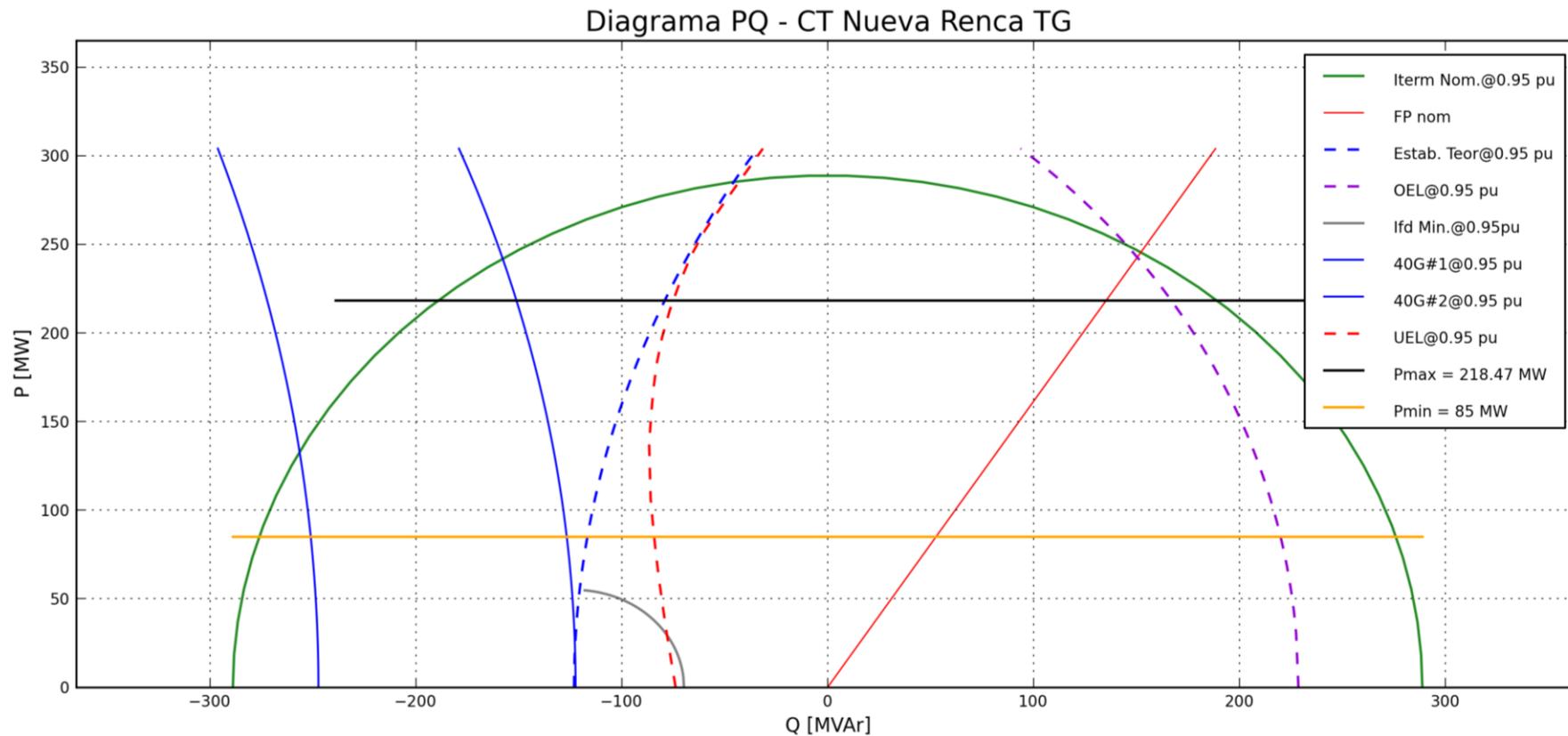


Figura 5.3: Diagrama PQ teórico - ETERM = 0.95 p.u. - Unidad TG



Tensión en Terminales 1.00 p.u.

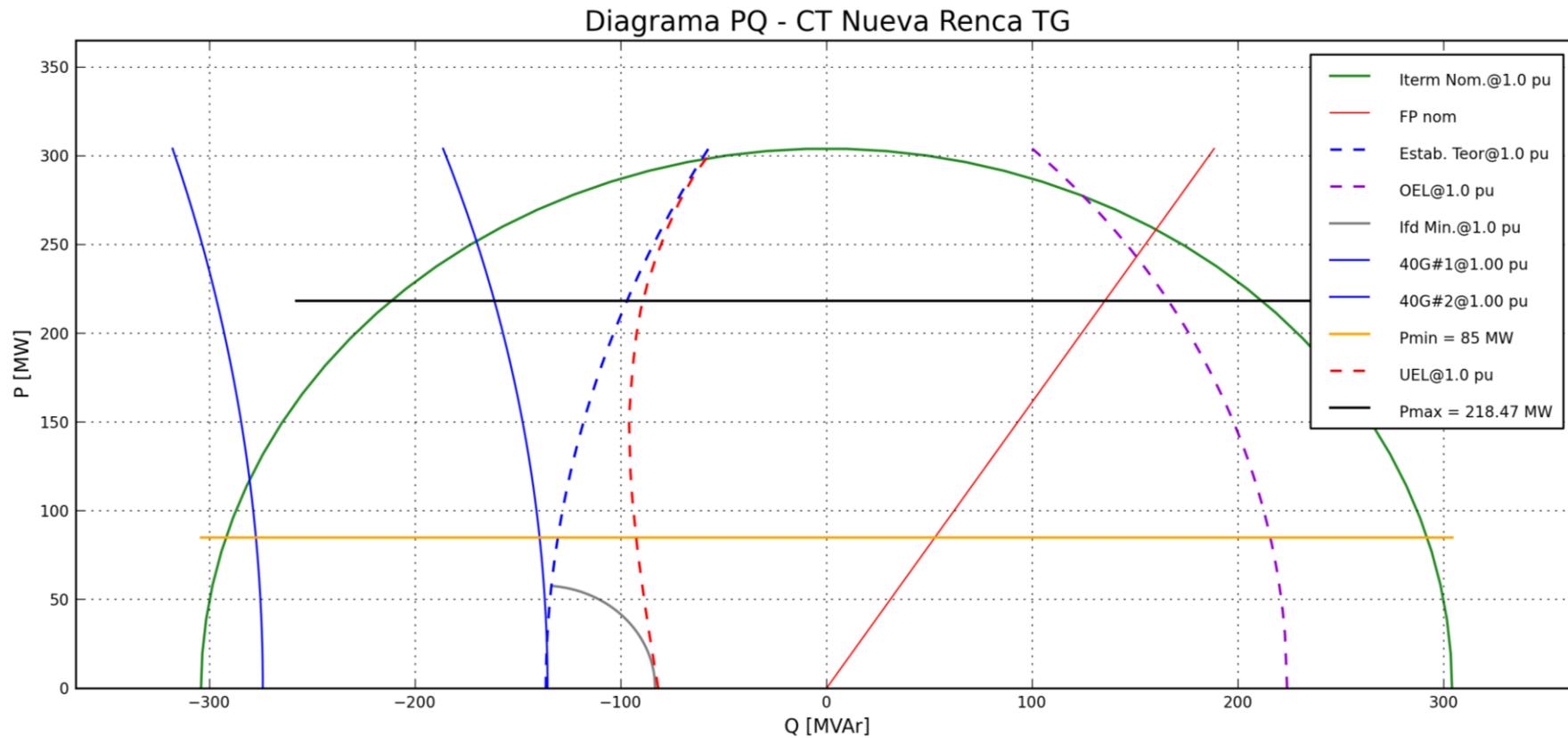


Figura 5.4: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.00 p.u. - Unidad TG



Tensión en Terminales 1.05 p.u.

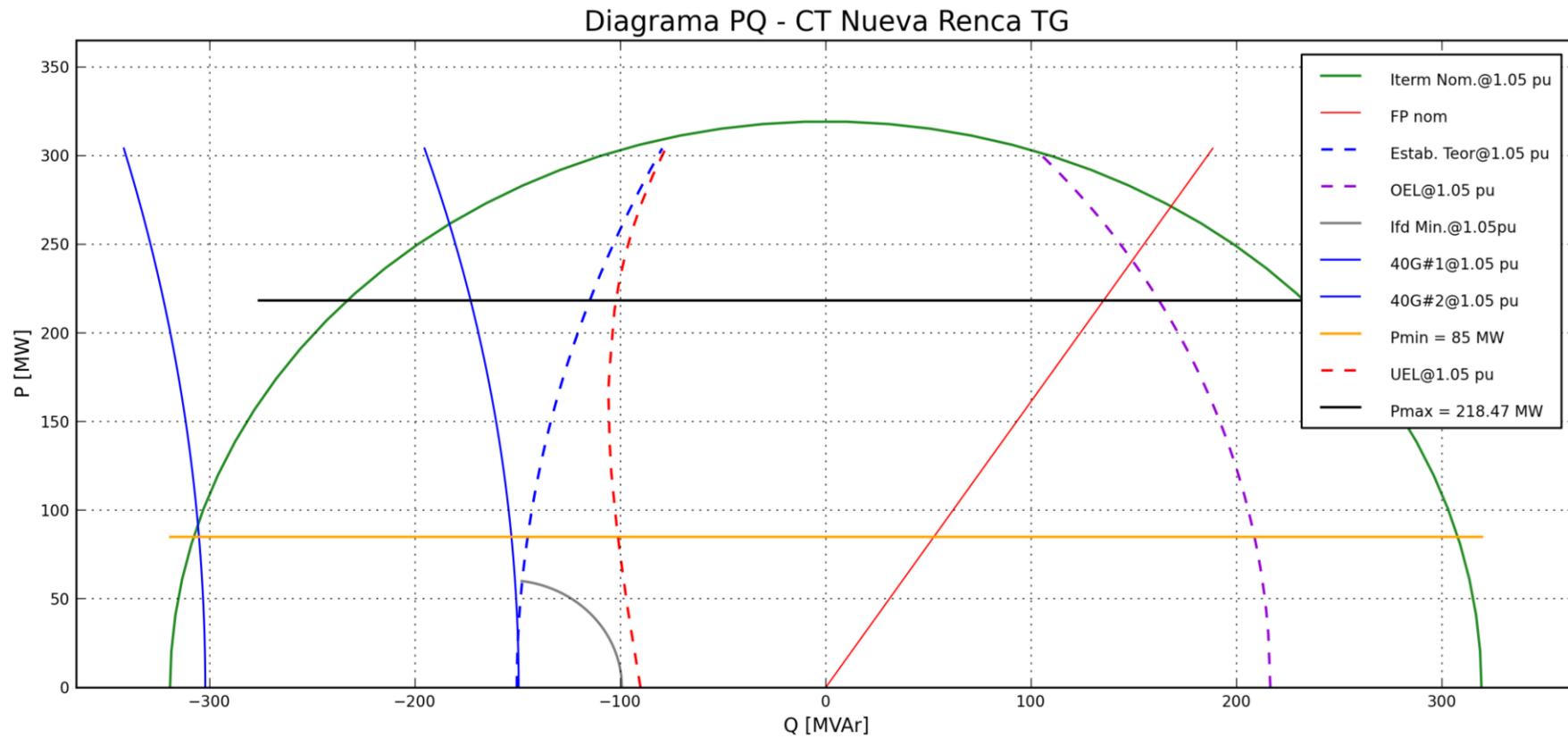


Figura 5.5: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.05 p.u. - Unidad TG



Tensión en Terminales 1.09 p.u.

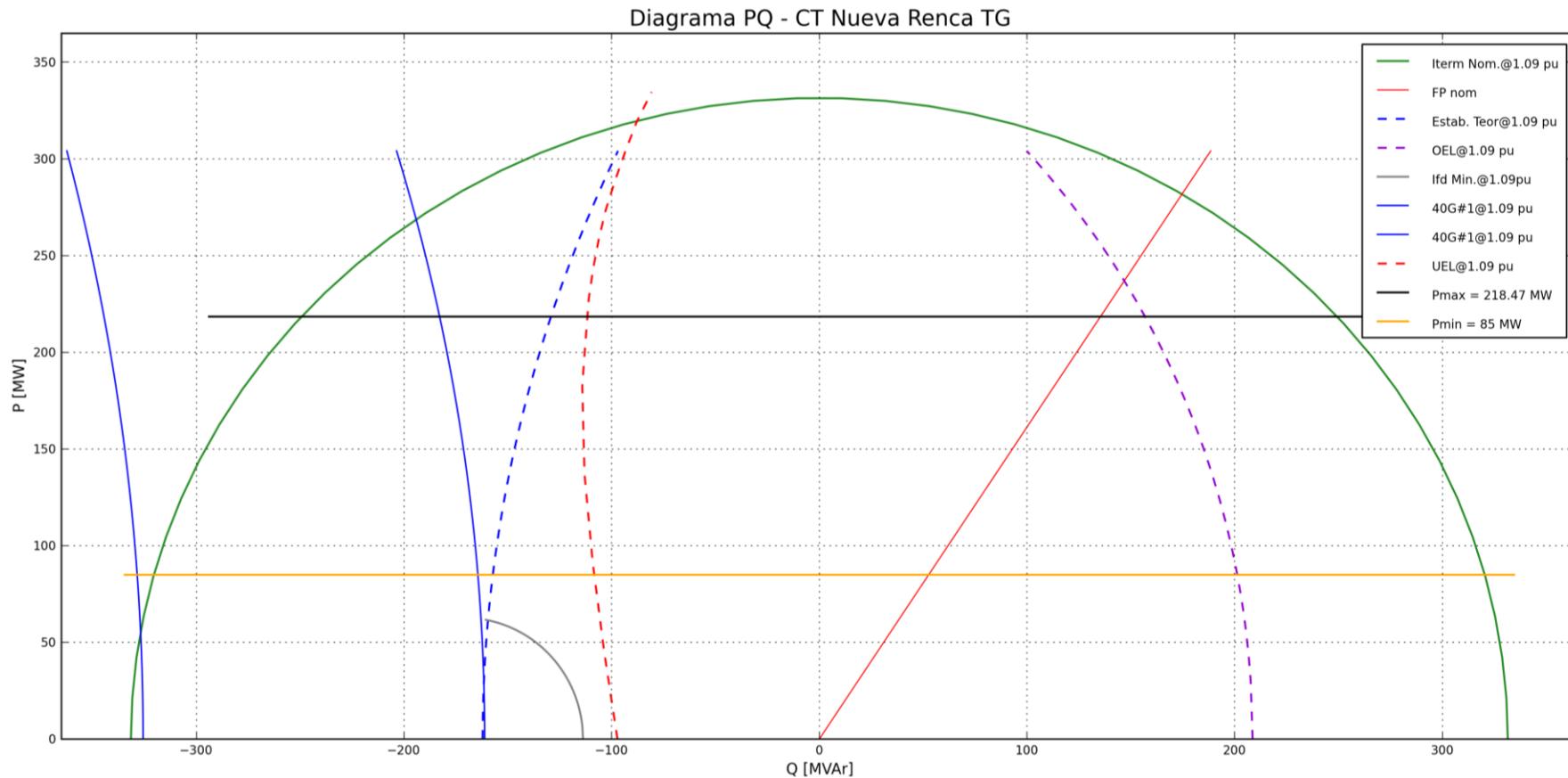


Figura 5.6: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.09 p.u. - Unidad TG



5.2.2 Unidad TV

Tensión en Terminales 0.90 p.u.

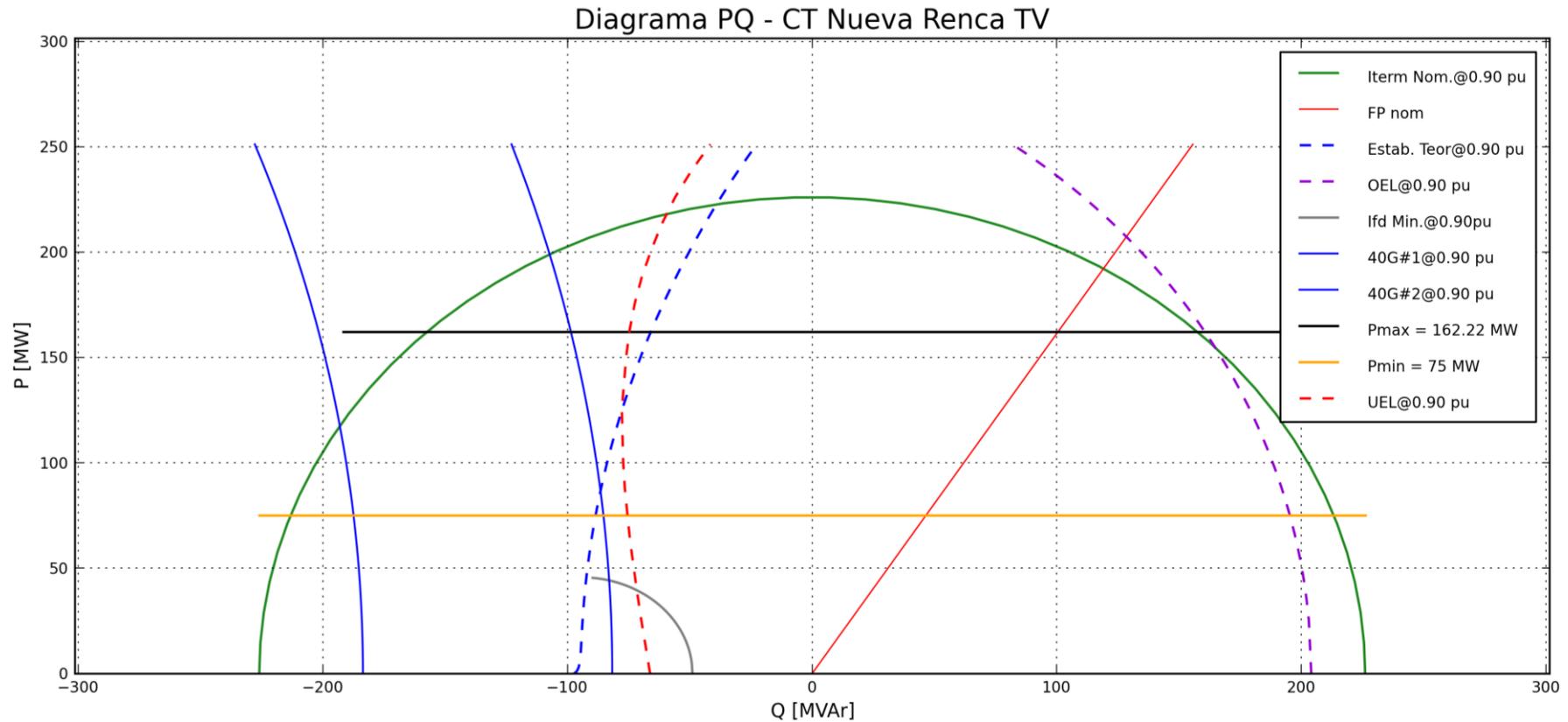


Figura 5.7: Diagrama PQ teórico - ETERM = 0.90 p.u. - Unidad TV



Tensión en Terminales 0.95 p.u.

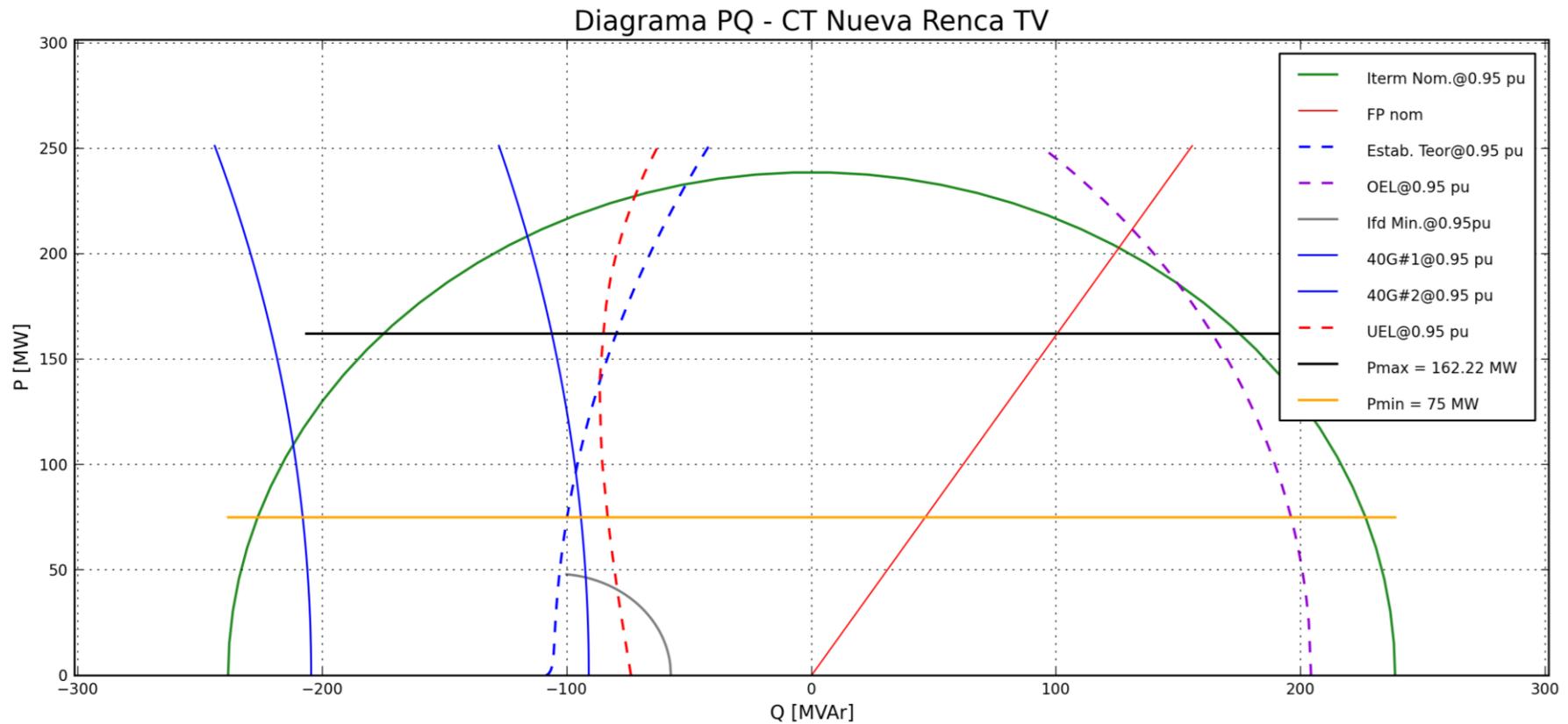


Figura 5.8: Diagrama PQ teórico - ETERM = 0.95 p.u. - Unidad TV



Tensión en Terminales 1.00 p.u.

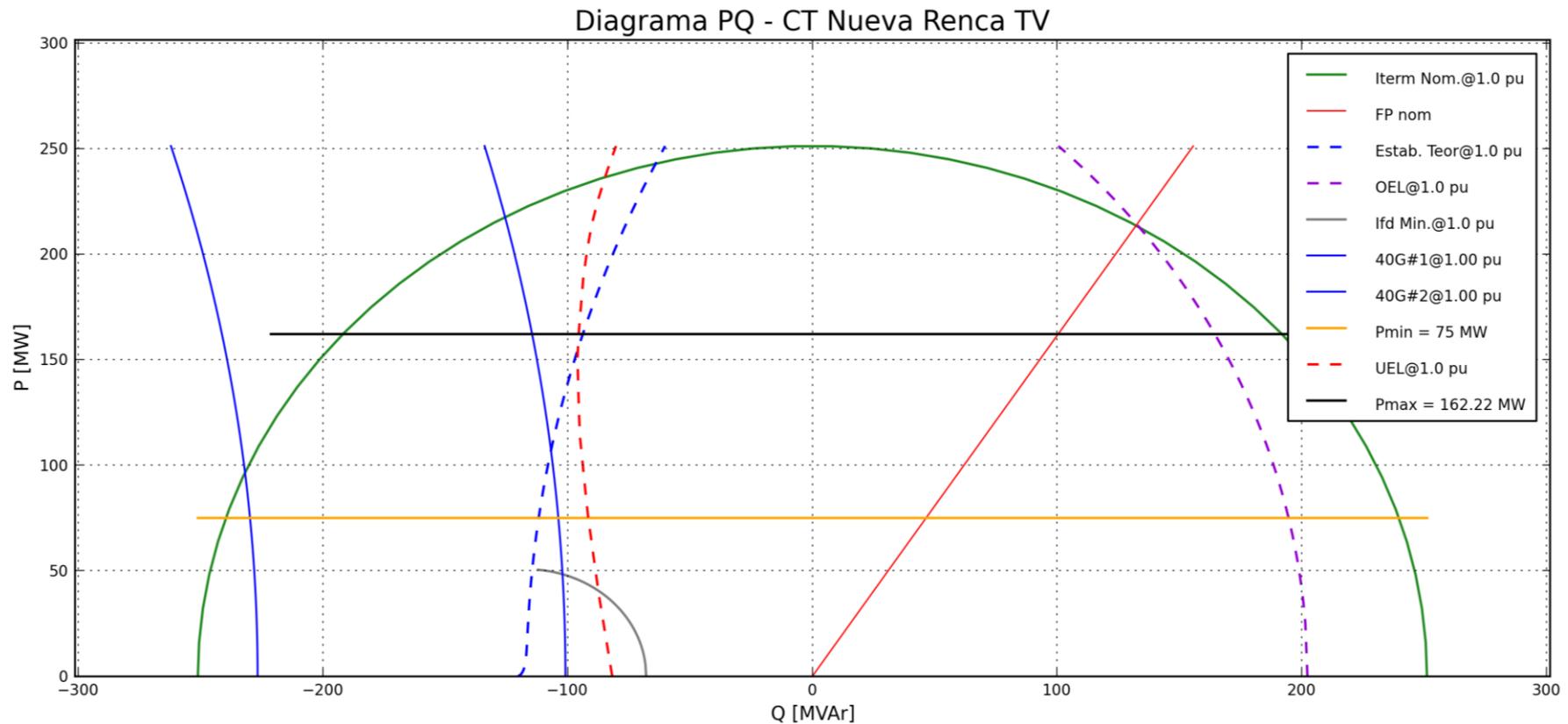


Figura 5.9: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.00 p.u. - Unidad TV



Tensión en Terminales 1.05 p.u.

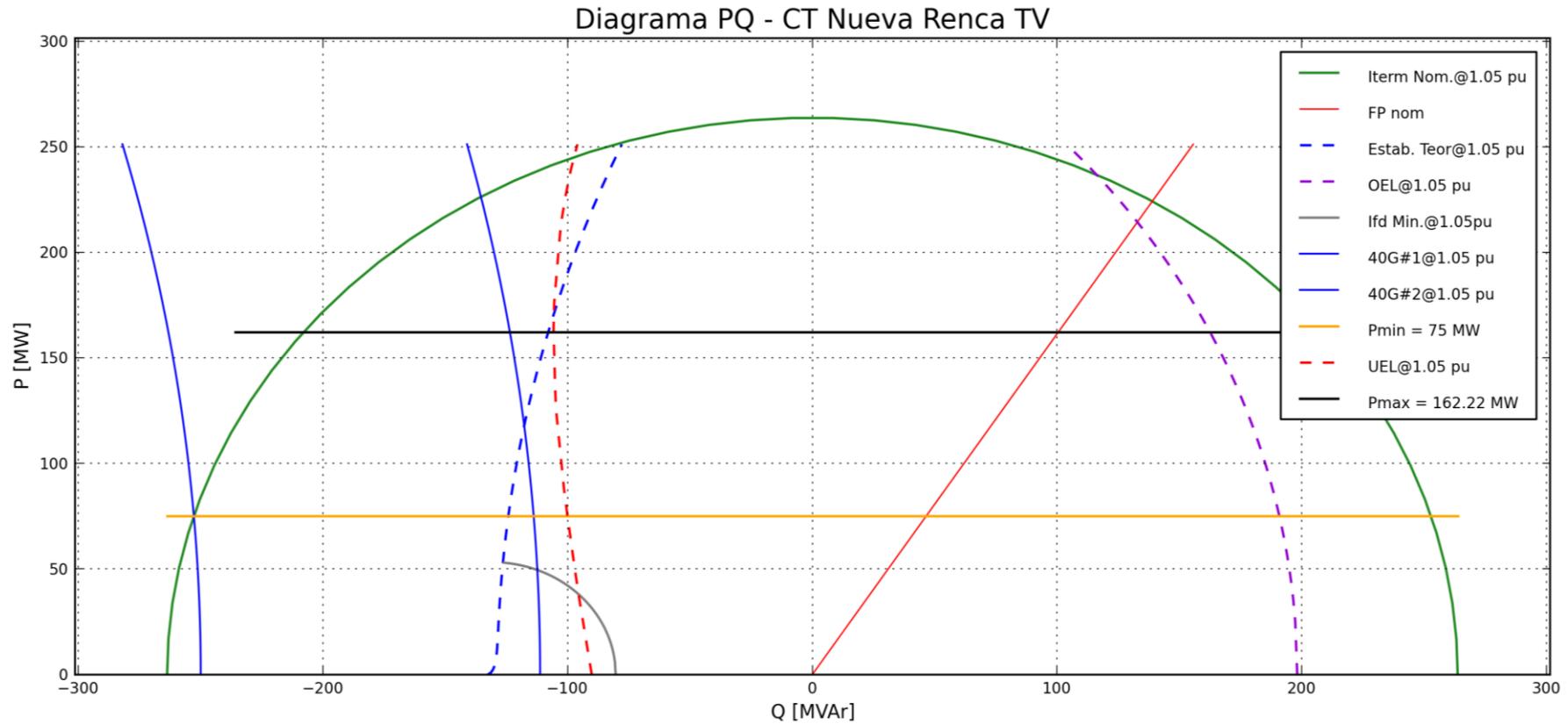


Figura 5.10: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.05 p.u. - Unidad TV



Tensión en Terminales 1.09 p.u.

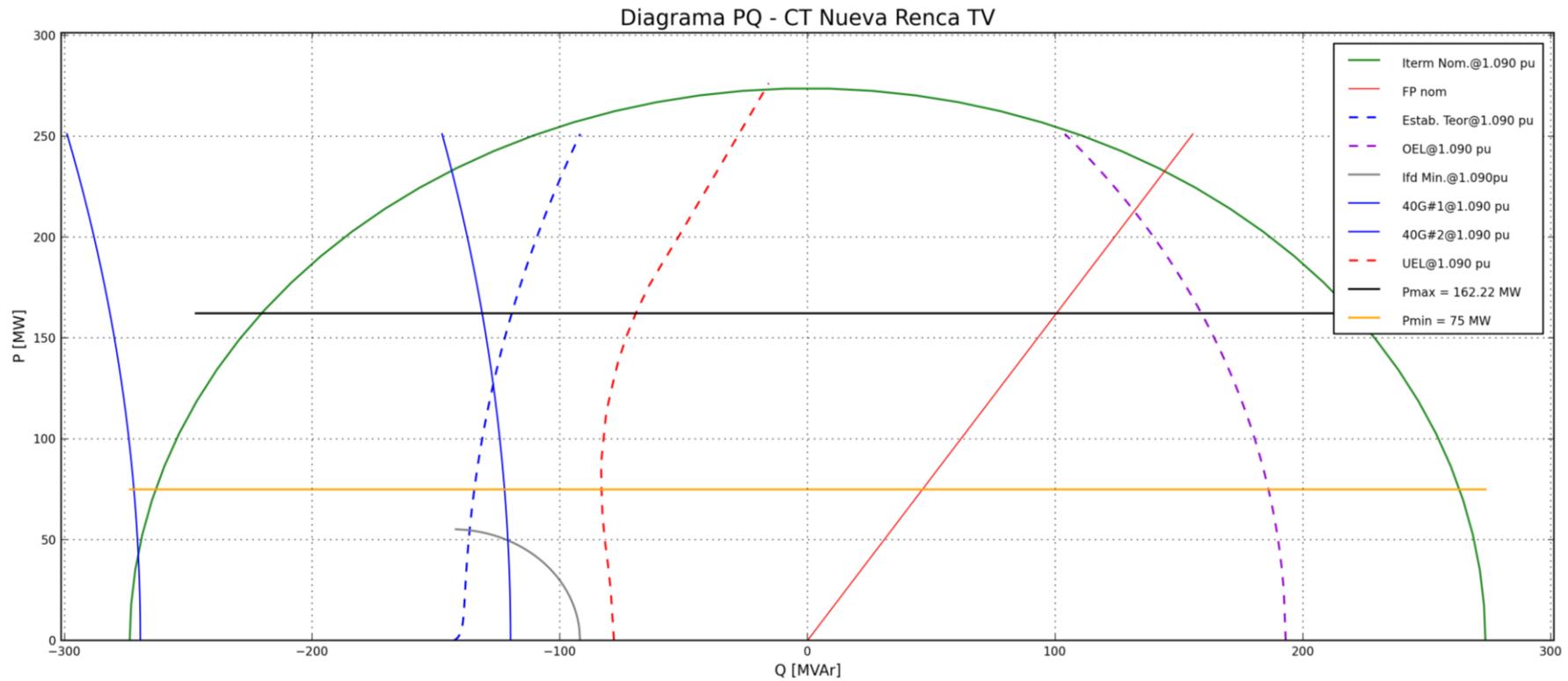


Figura 5.11: Diagrama PQ teórico - ETERM = 1.09 p.u. - Unidad TV



5.3 Resumen de valores a informar

A continuación, se muestran las tablas de resumen de los valores PQ ensayados para todos los niveles de tensión en el formato requerido por el CEN (*“Guía de Verificación Control de Tensión”* – Anexo B – Junio 2020) para presentar en la planilla adjunta *“EE-EN-2021-1413-RD-Curva_PQ_Final_CT_Nueva_Renca.xlsx”*

Potencia [MW]	Tensión [pu]	85.00	130.00	170.00	218.50	218.50	170.00	130.00	85.00
Unidad TG [MVar] (0.9Vpu)	0.9 ⁴	-76.40	-77.50	-73.60	-59.60	164.50	192.40	209.00	221.70
Unidad TG [MVar] (0.95Vpu)	0.95	-84.20	-86.50	-84.50	-75.00	166.90	192.70	208.10	220.10
Unidad TG [MVar] (1 Vpu)	1	-92.50	-95.50	-95.00	-89.20	166.10	190.10	204.50	215.80
Unidad TG [MVar] (1.05Vpu)	1.05	-101.30	-105.00	-106.00	-102.10	162.20	184.60	198.20	208.80
Unidad TG [MVar] (1.09Vpu)	1.09	-108.40	-112.50	-113.90	-111.70	156.80	178.10	191.10	201.20
Unidad TG [MVar] (1.1Vpu)	1.1	No operable							

Tabla 5.10: Resumen de valores curvas PQ - Unidad TG

Potencia [MW]	Tensión [pu]	75.00	97.00	130.00	162.20	162.20	130.00	97.00	75.00
Unidad TV [MVar] (0.9Vpu)	0.9	-55.60	-51.60	-38.80	-23.20	157.30	176.90	189.20	195.30
Unidad TV [MVar] (0.95Vpu)	0.95	-62.70	-59.70	-50.30	-34.70	163.70	178.90	190.40	196.10
Unidad TV [MVar] (1 Vpu)	1	-70.10	-68.20	-60.60	-47.00	164.40	178.50	189.30	194.60
Unidad TV [MVar] (1.05Vpu)	1.05	-77.40	-76.10	-70.60	-59.90	162.50	175.70	185.90	190.90
Unidad TV [MVar] (1.09Vpu)	1.09	-83.2	-82.6	-78.1	-69.3	159.0	171.6	181.3	186.1
Unidad TV [MVar] (1.1Vpu)	1.1	No operable							

Tabla 5.11: Resumen de valores curvas PQ - Unidad TV

⁴ A solicitud del Coordinador se incorpora la información de valores teóricos de curva PQ para 0.9p.u de tensión. La inclusión de esta información no implica que la unidad pueda operar en dicho nivel de tensión.



5.3.1 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 pu – Unidad TG⁵

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		Potencia de ensayo [MW]	Q obtenida [MVar]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
5	01-07-2021	18:05	18:20	218.5	-75	218.26	-35.27	0.95	295.72	935.73	No Aplica	Personal de operaciones no permite bajar menos de 6580 V en barra de SSAA. Tap del transformador SSAA en posición máxima	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
6	02-07-2021	16:47	17:02	170	-84.5	167.61	-49.03	0.951	228.04	734.4	No Aplica		
7	01-07-2021	17:02	17:17	130	-86.5	127.46	-49.71	0.951	186.51	603.19	No Aplica		
8	01-07-2021	13:14	13:29	85	-84.2	87.38	-46.84	0.952	149.12	488.79	No Aplica		

Tabla 5.12: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 0.95 pu- Unidad TG

Dado que no es posible alcanzar las condiciones de operación de subexcitación necesarias en la unidad TG, no aplica el cálculo de desviación, de esta manera los puntos medidos no son válidos para dar cumplimiento a la verificación de la curva de capacidad PQ para la tensión en terminales de 0.95 pu, sin embargo, permiten verificar que en dichos puntos, no existen restricciones operativas por parte de la unidad.

⁵ Los puntos teóricos de potencia activa y reactiva corresponden al nivel de tensión de 0.95pu.



5.3.2 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.05 pu – Unidad TG⁶

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		Potencia de ensayo [MW]	Q obtenida [MVar]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	01-07-2021	16:22	16:37	85	208.8	88.01	109.4	1.061	362.73	1126.4	No Aplica	Personal de operaciones no autoriza aumentar tensión al levantarse una Alarma de "High Voltage" en 16.75 kV	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
2	01-07-2021	17:02	17:17	130	198.2	128.05	104.12	1.062	375.7	1162	No Aplica		
3	02-07-2021	14:08	14:23	170	184.6	168.16	109.41	1.061	410.27	1250.1	No Aplica		
4	02-07-2021	9:28	9:43	218.5	162.2	218.39	119.14	1.054	465.01	1386.5	No Aplica		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV

Tabla 5.13: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.05 pu- Unidad TG

Dado que no es posible alcanzar las condiciones de operación de sobrecitación necesarias en la unidad TG, no aplica el cálculo de desviación, de esta manera los puntos medidos no son válidos para dar cumplimiento a la verificación de la curva de capacidad PQ para la tensión en terminales de 1.05 pu, sin embargo, permiten verificar que en dichos puntos, no existen restricciones operativas por parte de la unidad.

⁶ Los puntos teóricos de potencia activa y reactiva corresponden al nivel de tensión de 1.05pu.



5.3.3 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 pu – Unidad TV⁷

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		Potencia de ensayo [MW]	Q obtenida [MVar]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
5	02-07-2021	10:14	10:29	162.2	-34.7	155.93	-36.17	0.94	191.13	865.76	4.24	Limita por UEL	Despacho no logra ajustar la tensión de la S/E Renca 100 kV
6	02-07-2021	9:33	9:48	130	-50.3	131.8	-48.44	0.94	159.47	729.49	3.70		
7	02-07-2021	14:09	14:24	97	-59.7	96.12	-59.65	0.94	118.51	543.99	0.08		
8	01-07-2021	15:22	15:37	75	-62.7	75.76	-62.12	0.94	97.38	47.96	0.93		

Tabla 5.14: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 0.95 pu- Unidad TV

A pesar de que los puntos de operación alcanzados activan el limitador UEL, estos son válidos para la condición de subexcitación de la curva de capacidad para 0.94 p.u. (condición de ensayos). Esto conlleva a que existan leves desviaciones entre los puntos medidos y los puntos teóricos de reactivos ya que estos últimos fueron calculados para 0.95 p.u. de tensión.

⁷ Los puntos teóricos de potencia activa y reactiva corresponden al nivel de tensión de 0.95pu.



5.3.4 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.10 pu – Unidad TV⁸

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		Potencia de ensayo [MW]	Q obtenida [MVar]	VT	Vfd[V]	Ifd[A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]								
1	01-07-2021	13:37	13:52	75	184.7	75.91	136.7	1.09	339.55	1416.92	No Aplica	Limita V/Hz en 1.09	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento de ensayos
2	02-07-2021	13:32	13:47	97	180	96.1	133.7	1.09	340.5	1422.16	No Aplica		
3	02-07-2021	11:24	11:39	130	170.4	131.84	125.1	1.09	344.84	1436.41	No Aplica		
4	02-07-2021	10:40	10:55	162.2	158	156.67	125.4	1.09	357.6	1489.27	No Aplica		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Limitación esperada de acuerdo al procedimiento

Tabla 5.15: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.10 pu- Unidad TV

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

⁸ Los puntos teóricos de potencia activa y reactiva corresponden al nivel de tensión de 1.1pu.

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 TG ante grandes y pequeñas variaciones de la frecuencia considerando los requerimientos definidos en la NT SSCC 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 activa para GNL y DIESEL.

Despacho de Potencia Activa	Valor [MW]
P1_CPF	96
P2_CPF	130
P3_CPF	170
P4_CPF	208

Tabla 6.1: Despachos de potencia activa de la unidad TG para las pruebas con GNL

Despacho de Potencia Activa	Valor [MW]
P1_CPF	136
P2_CPF	158
P3_CPF	185
P4_CPF	200

Tabla 6.2: Despachos de potencia activa de la unidad TG para las pruebas con DIESEL



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 TG ante variaciones rápidas de frecuencia. Las configuraciones utilizadas son las siguientes:

- TG+TV_GNL
- TG+TV_DIESEL

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 0.4 Hz, siendo este último el escalón más grande permitido por la Gerencia Técnica de Generadora Metropolitana. Los ensayos se realizan en cada uno de los niveles de potencia definidos en la Tabla 6.1 y Tabla 6.2 y se llevan a cabo con el estatismo en su valor actual (4%) y en su máximo ajustable en el regulador de potencia/velocidad (5%). Además, se considera la banda muerta en su ajuste actual de ± 10 mHz para todos los estados de carga y en P1 se adiciona la prueba con banda muerta ± 25 mHz para evaluar el efecto de ajuste.

El primer escalón de -0.2 Hz que se realiza en cada nivel de carga, tiene una duración de 12 minutos, esto con el objetivo de verificar el correcto establecimiento del ciclo completo (TG+TV) ante el escalón, y demostrar que la unidad TG es capaz de sostener el aporte por más de 5 minutos, tal como lo exige la Guía de verificación. El resto de los escalones, tienen una duración aproximada de 3 minutos, solo con el fin de evidenciar el correcto establecimiento de la unidad TG y que su aporte es sostenido en el tiempo.

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

En los escalones de 3 minutos, se muestra además la señal FSR (Fuel Stroke Reference) que representa la posición de válvulas de la unidad TG.

6.1.1 Ensayos con GNL

A continuación, se presenta la respuesta del control primario de frecuencia de la unidad TG con la configuración TG+TV_GNL.

Despacho P1_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones en la frecuencia vista por el control (FVC). La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación de posible cambio de combustión, generando inestabilidad en la llama.

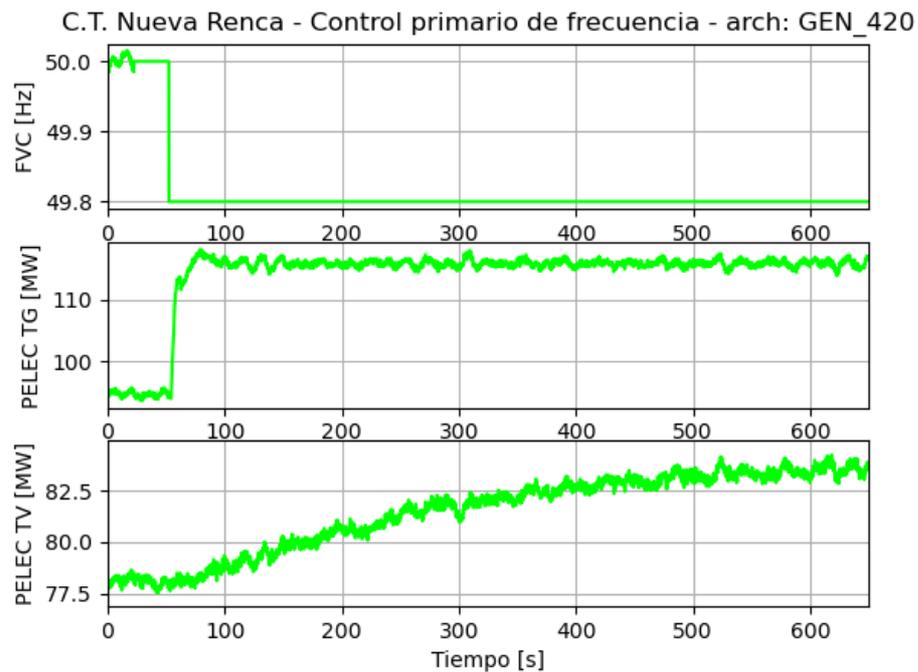


Figura 6.1: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 95 MW – Combustible GNL

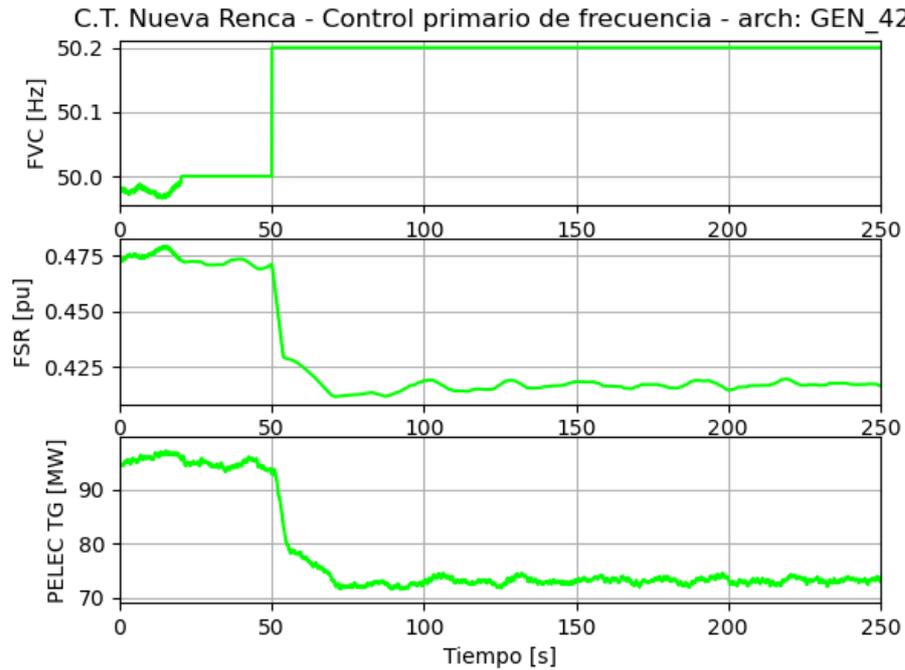


Figura 6.2: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 94 MW - Combustible GNL

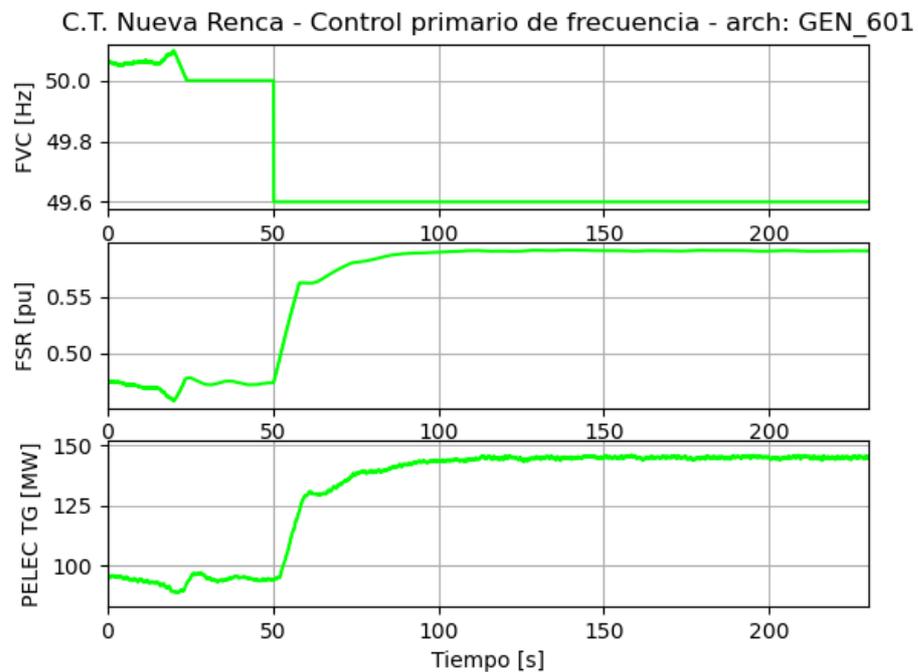


Figura 6.3: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 95 MW - Combustible GNL

Despacho P1_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 25mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 25 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación de posible cambio de combustión, generando inestabilidad en la llama.

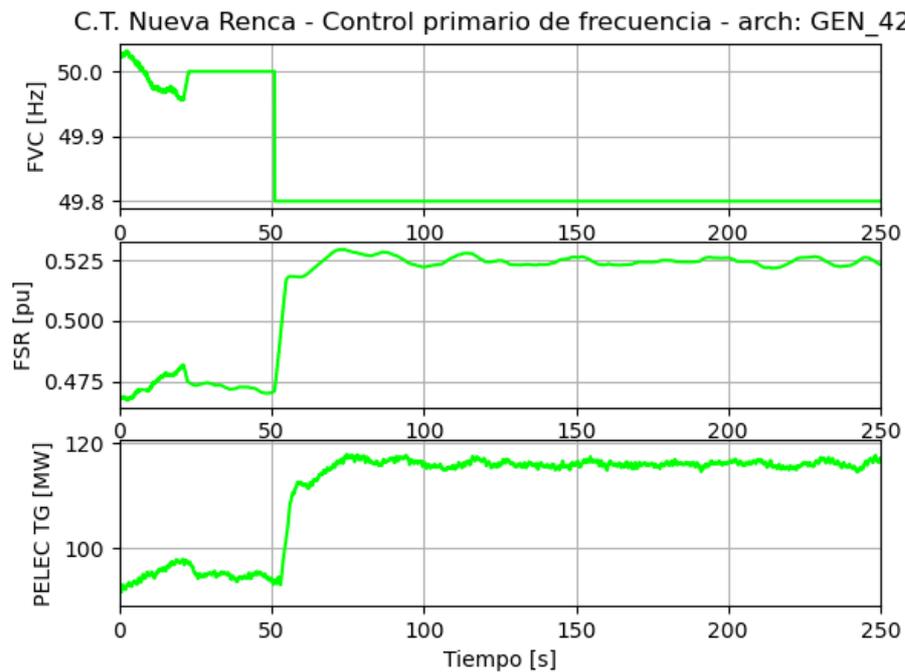


Figura 6.4: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 92 MW – Combustible GNL

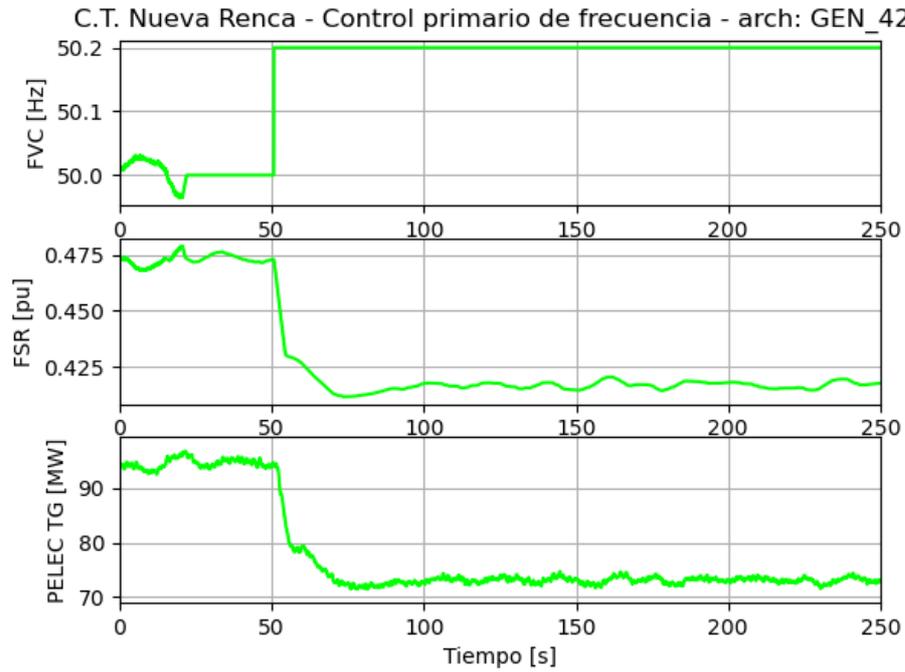


Figura 6.5: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 94 MW - Combustible GNL

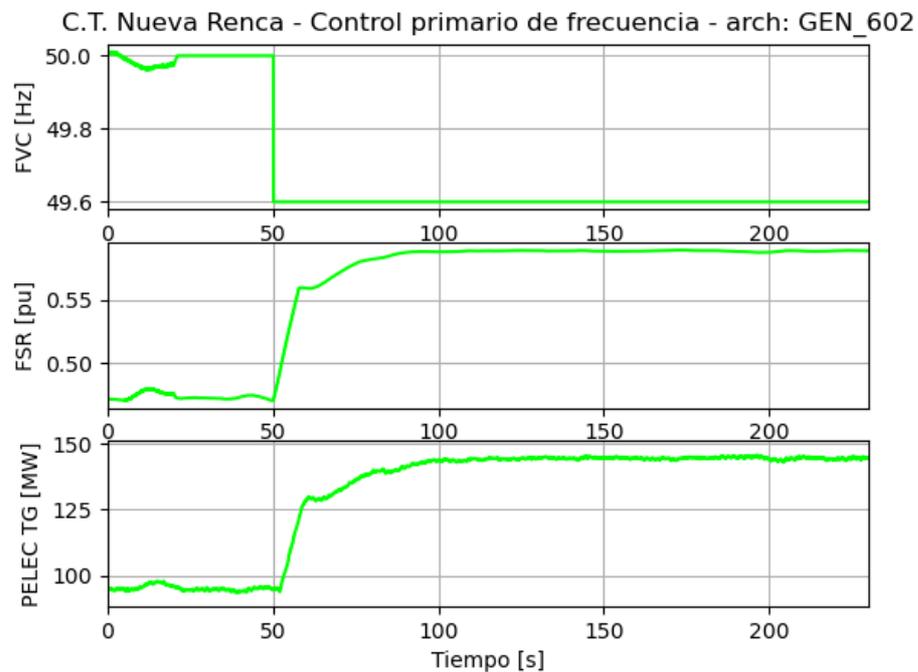


Figura 6.6: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 95 MW - Combustible GNL



Despacho P1_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación de posible cambio de combustión, generando inestabilidad en la llama.

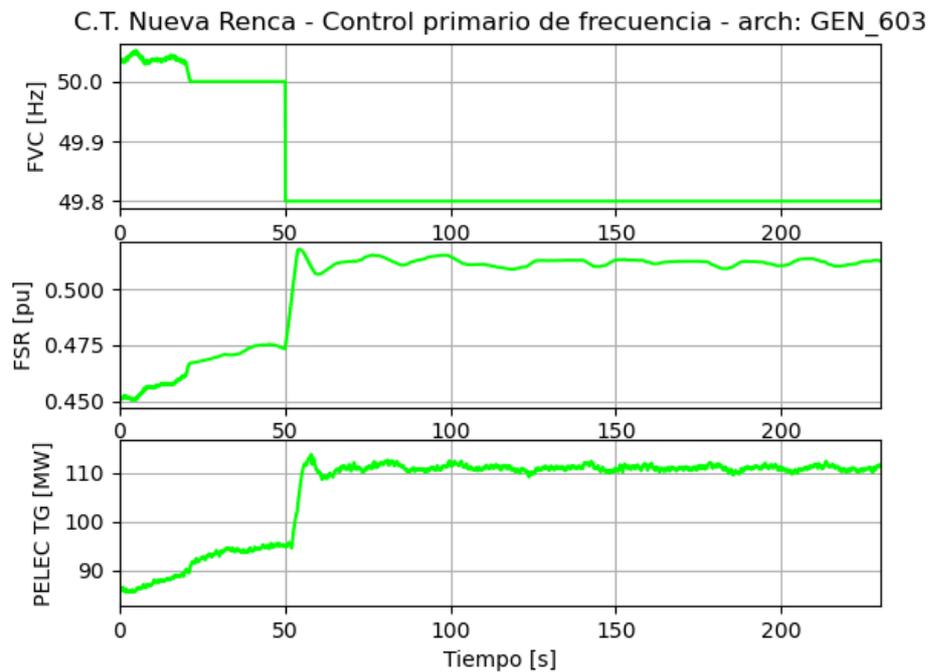


Figura 6.7: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 86 MW – Combustible GNL

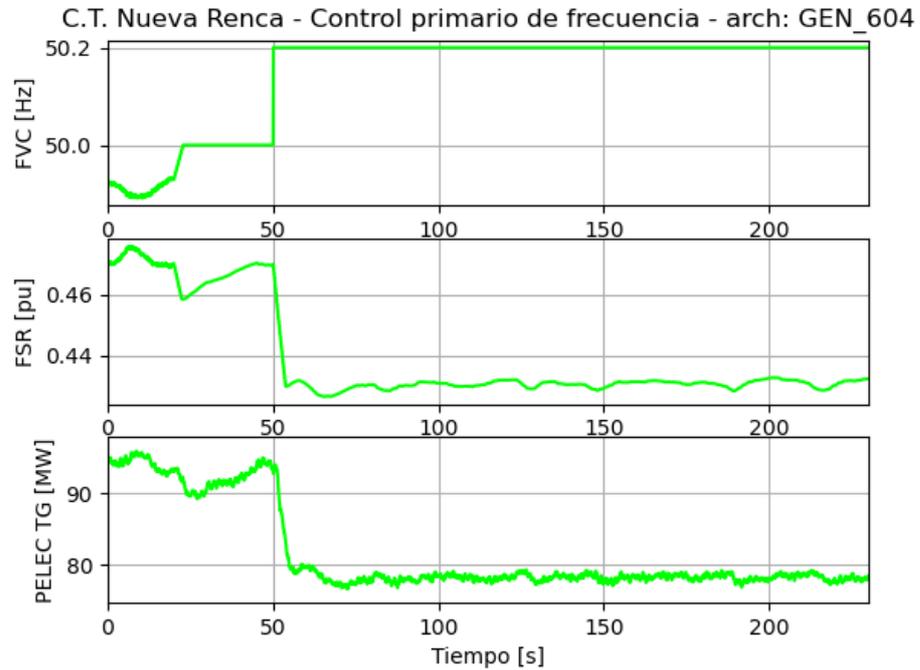


Figura 6.8: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 94 MW - Combustible GNL

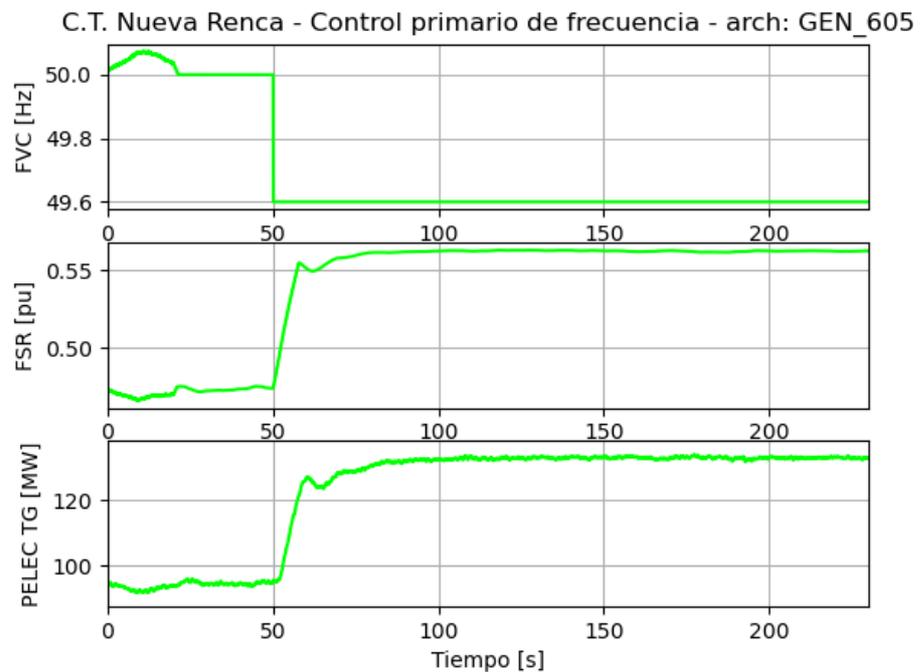


Figura 6.9: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 94 MW - Combustible GNL

Despacho P1_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 25mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 25 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación de posible cambio de combustión, generando inestabilidad en la llama.

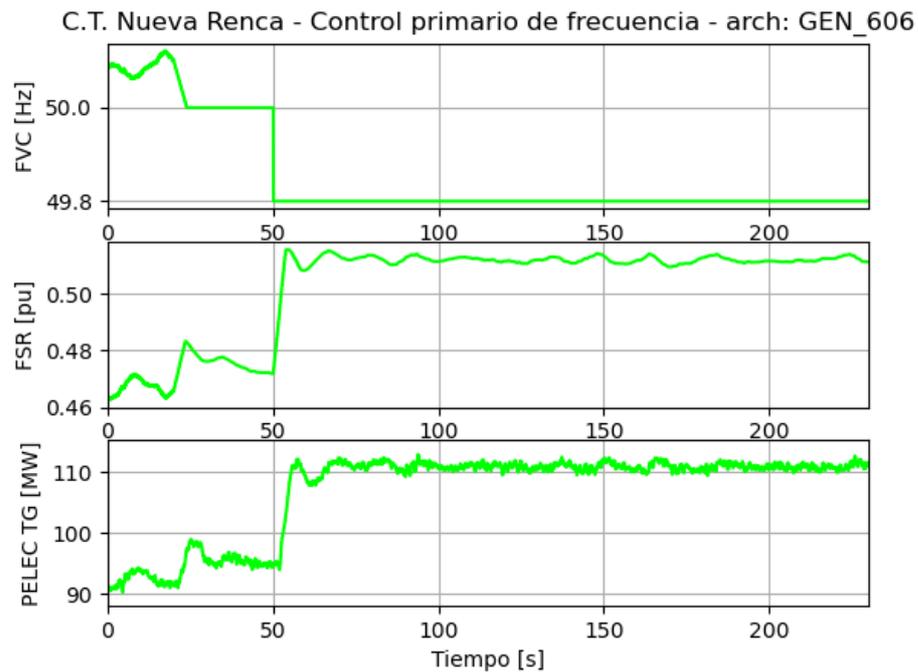


Figura 6.10: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 91 MW – Combustible GNL

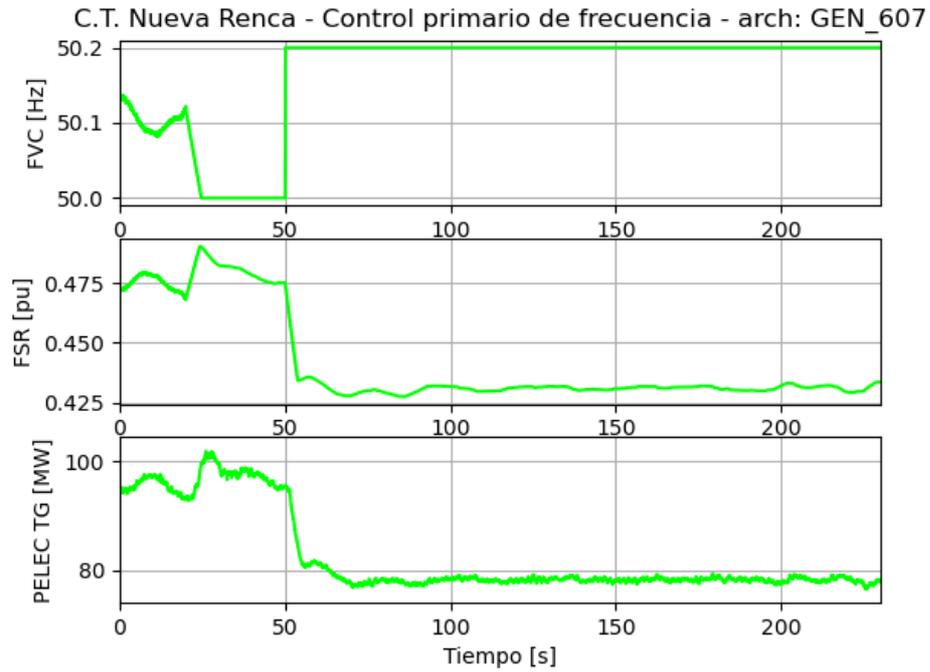


Figura 6.11: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 95 MW - Combustible GNL

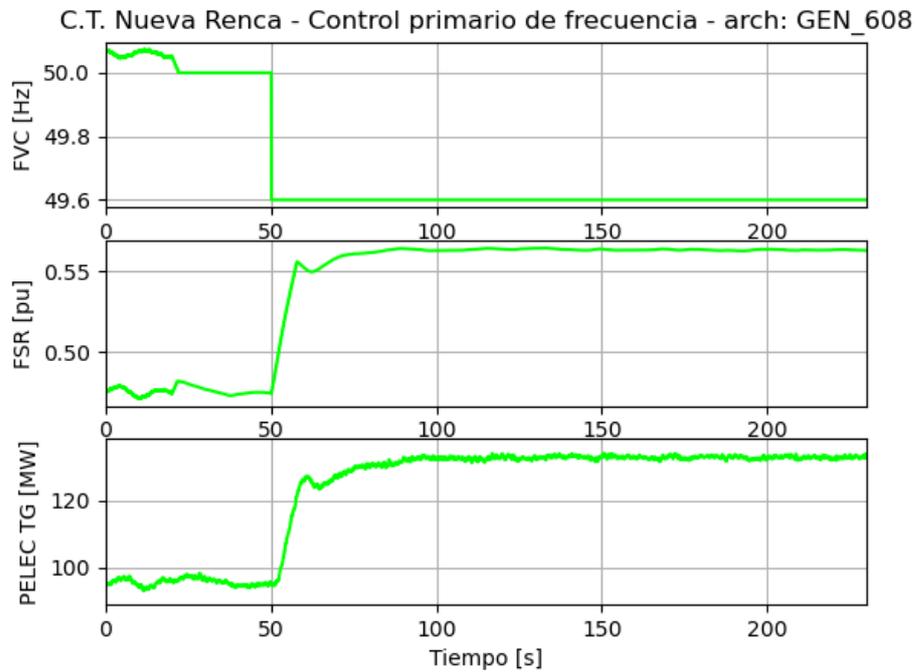


Figura 6.12: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 95 MW - Combustible GNL

Despacho P2_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz.

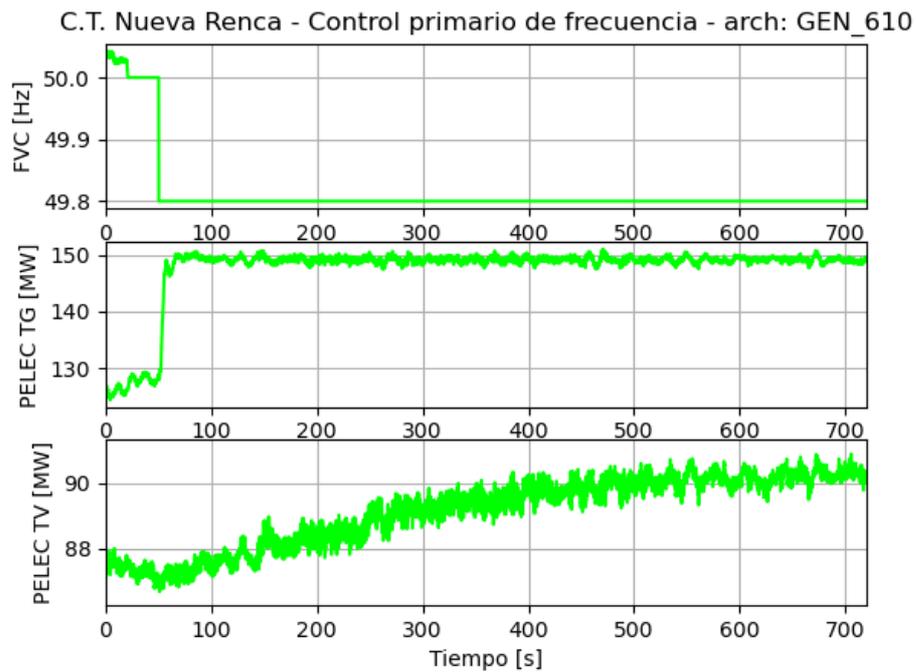


Figura 6.13: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 127 MW – Combustible GNL

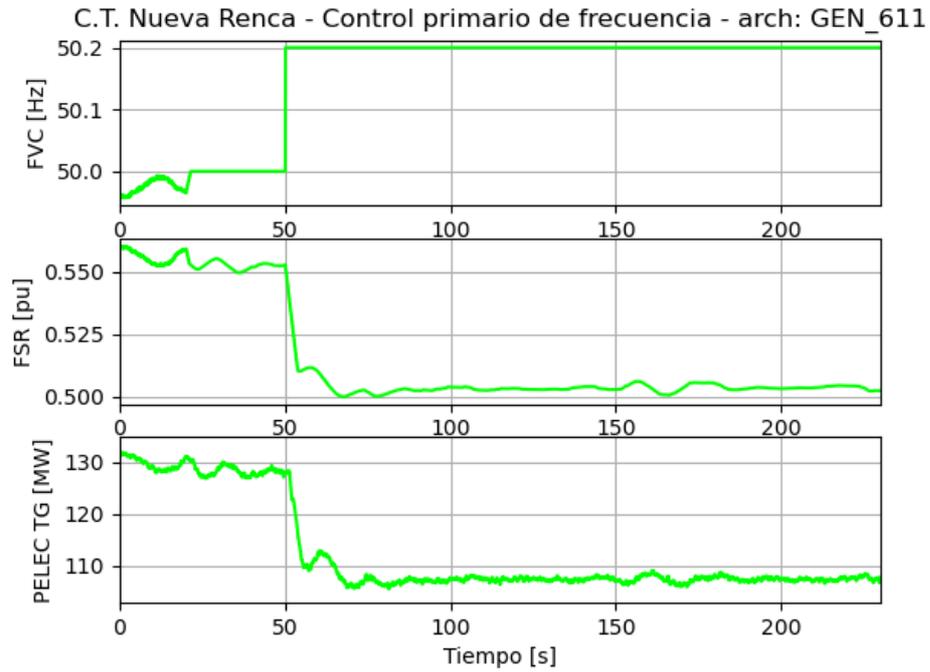


Figura 6.14: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 132 MW – Combustible GNL

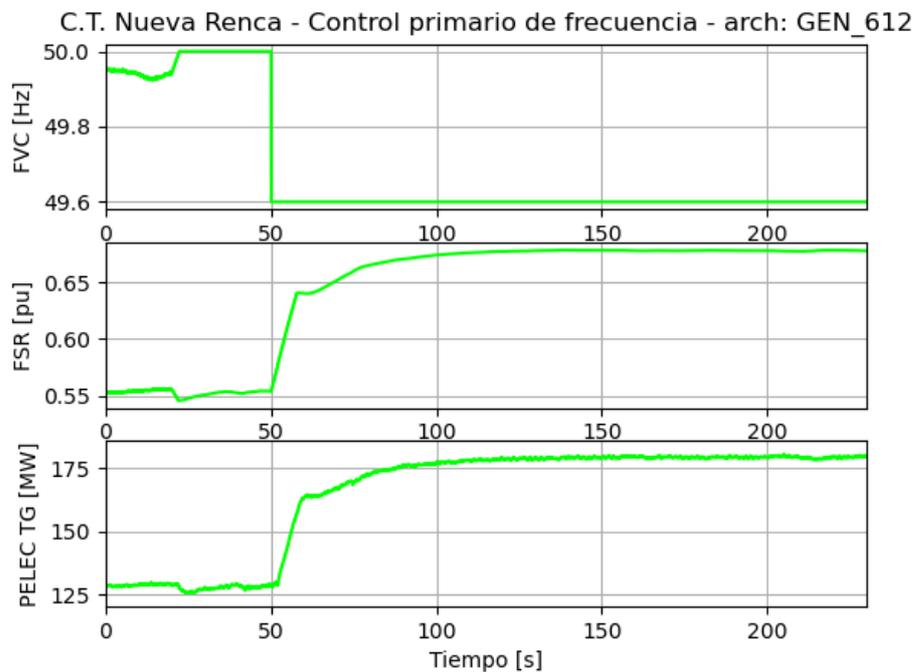


Figura 6.15: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.4 Hz – PELECo = 129 MW – Combustible GNL

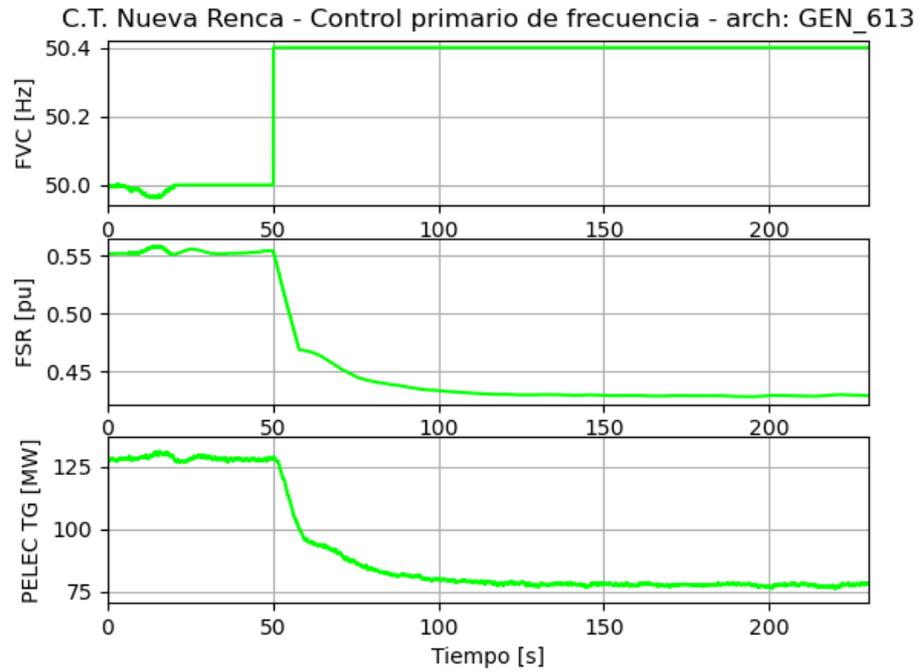


Figura 6.16: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 128 MW- Combustible GNL

Despacho P2_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz.

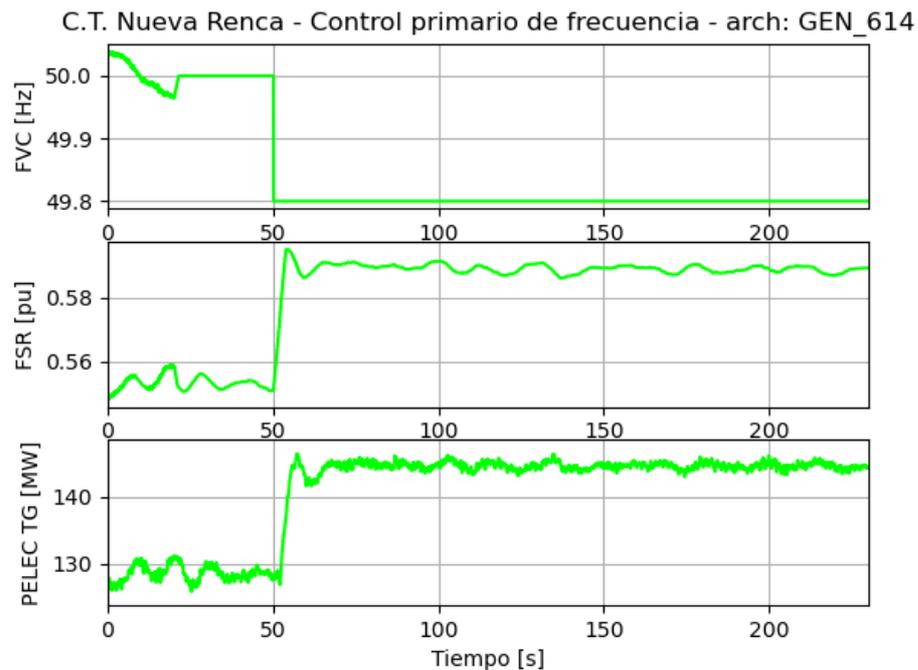


Figura 6.17: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 127 MW – Combustible GNL

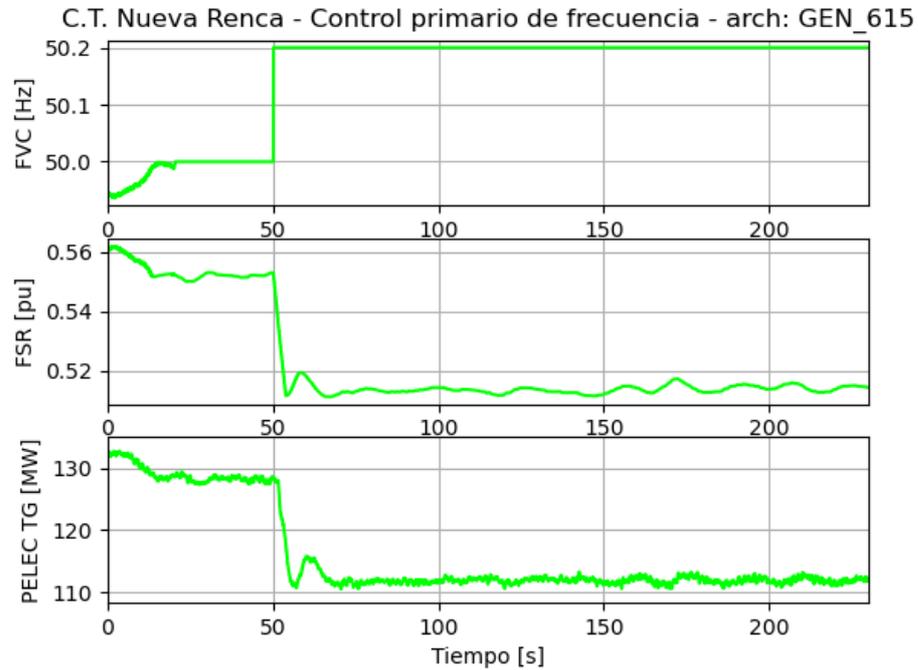


Figura 6.18: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 132 MW – Combustible GNL

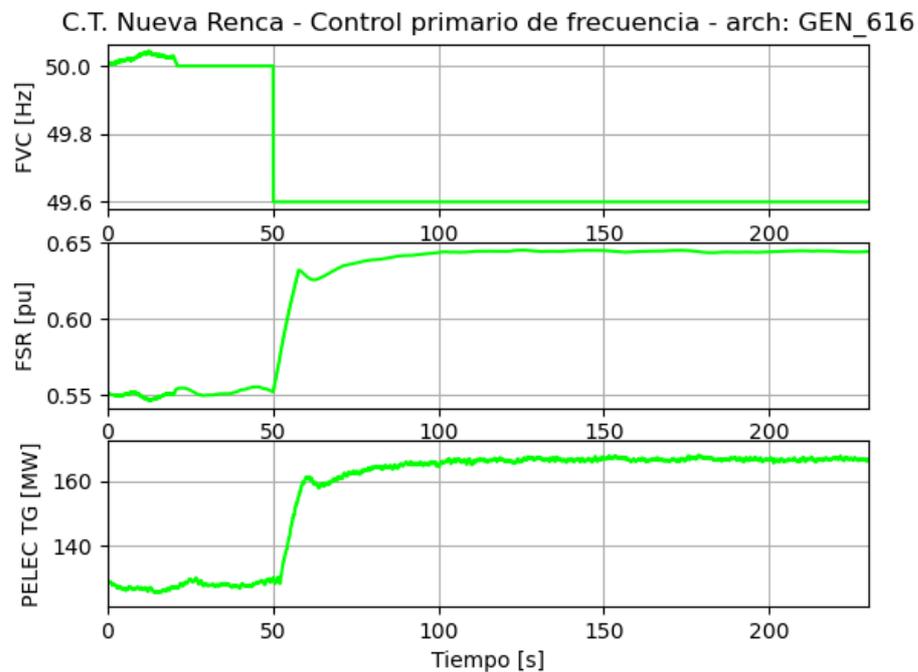


Figura 6.19: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.4 Hz – PELECo = 129 MW – Combustible GNL

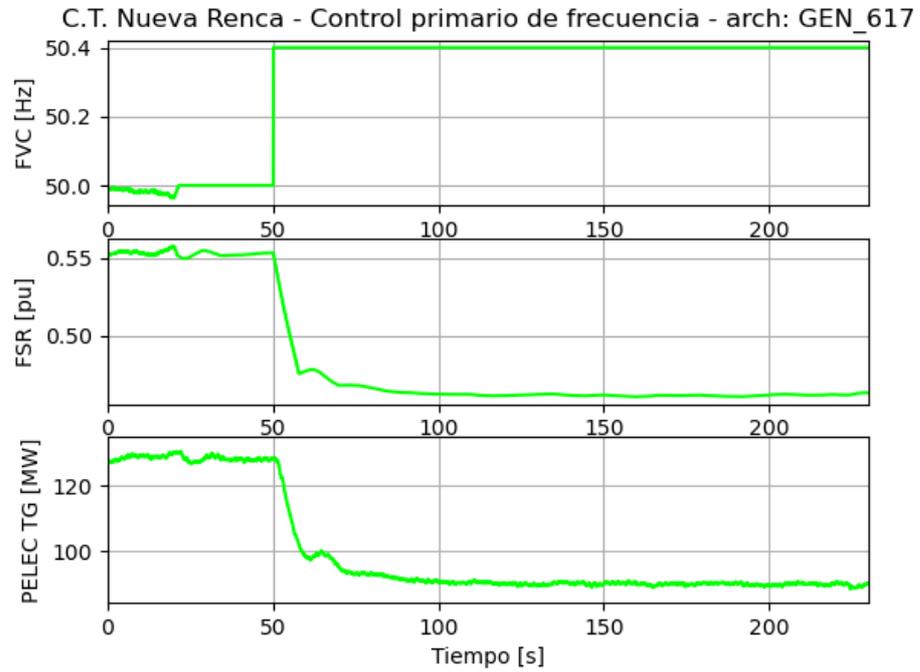


Figura 6.20: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 128 MW- Combustible GNL



Despacho P3_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz.

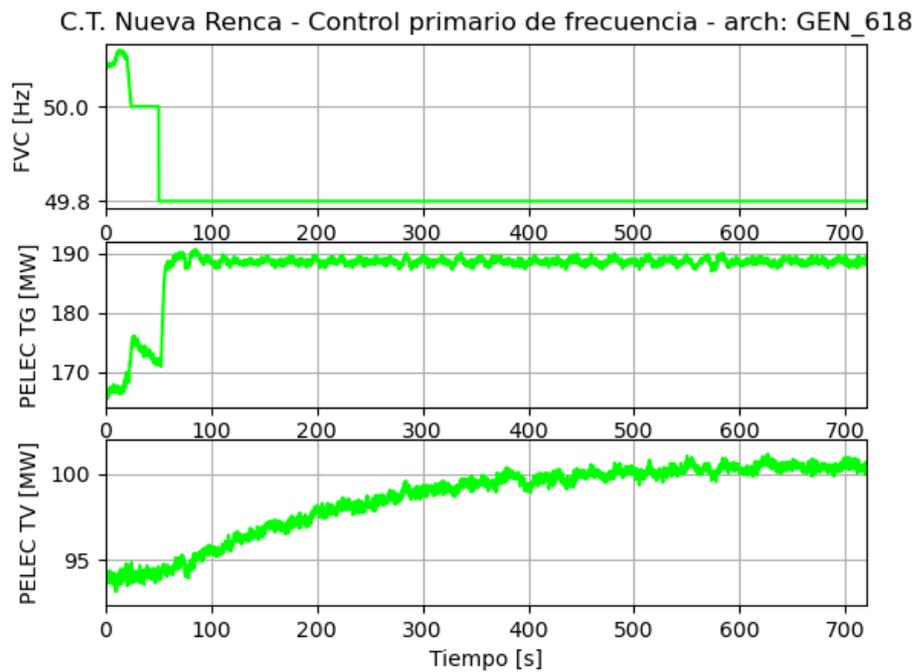


Figura 6.21: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 166 MW – Combustible GNL

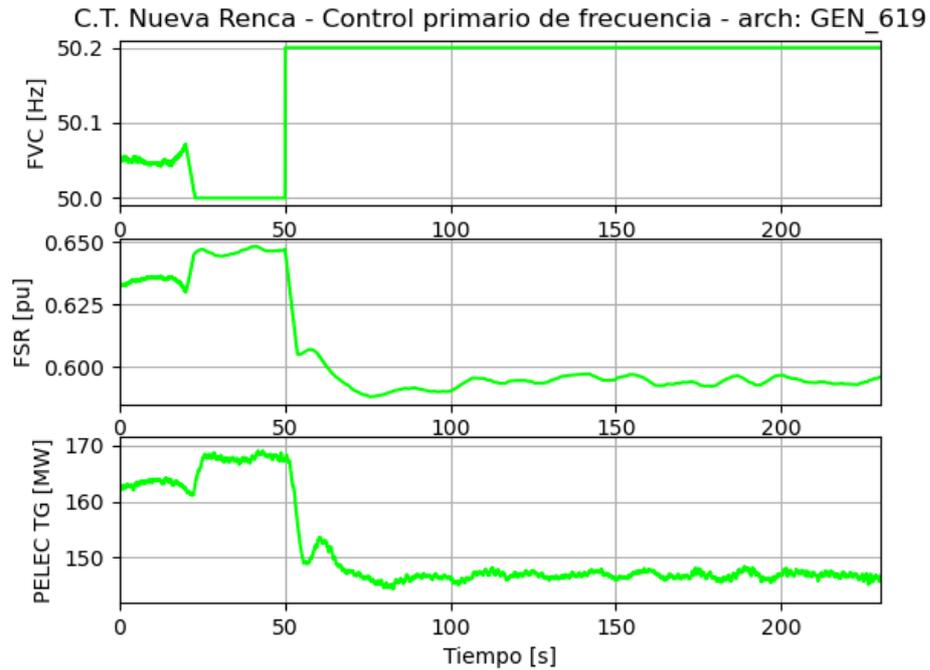


Figura 6.22: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 163 MW – Combustible GNL

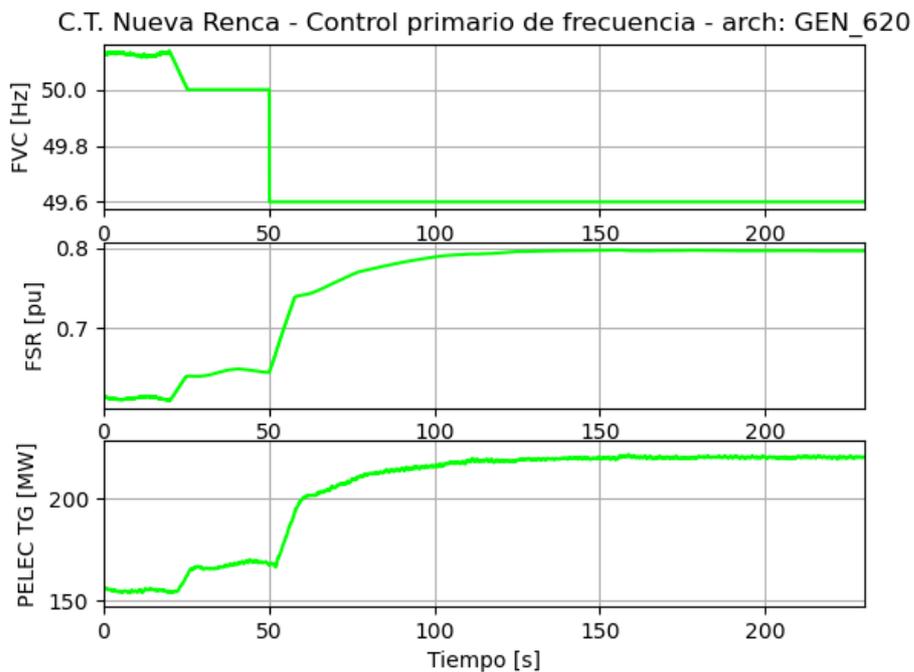


Figura 6.23: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.4 Hz – PELECo = 156 MW – Combustible GNL

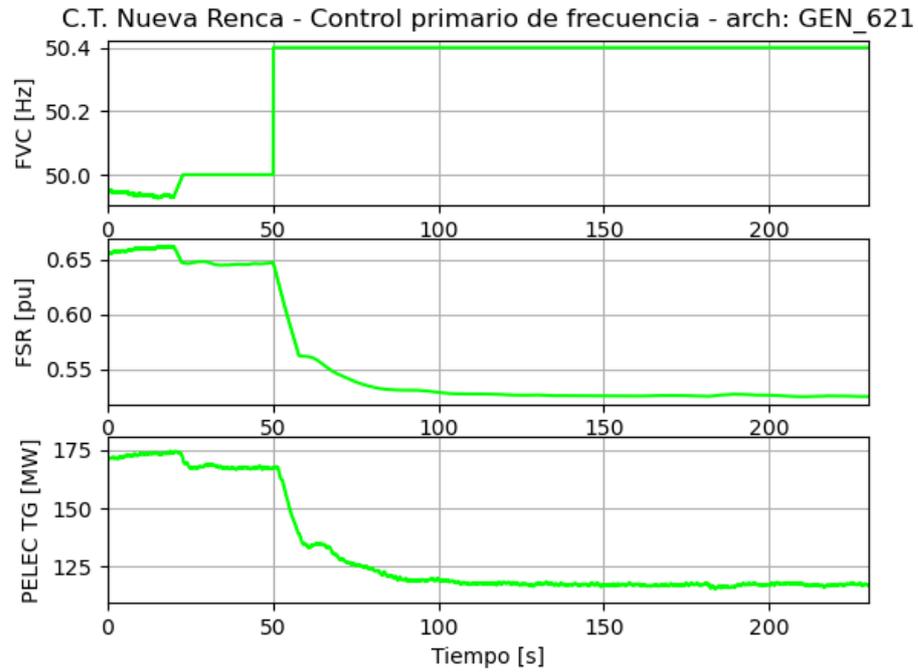


Figura 6.24: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 172 MW- Combustible GNL

Despacho P3_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz.

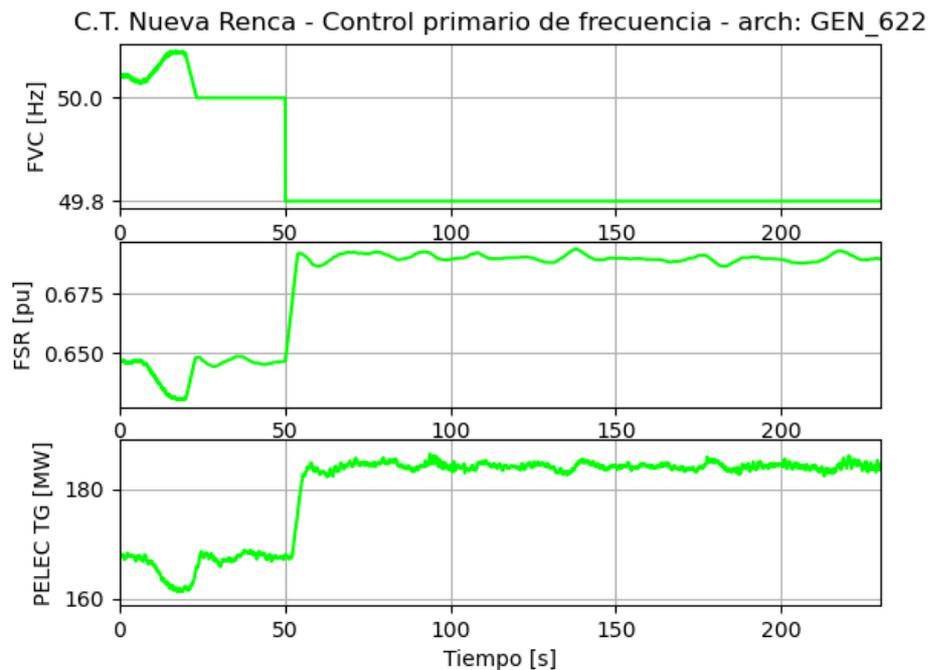


Figura 6.25: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 168 MW – Combustible GNL

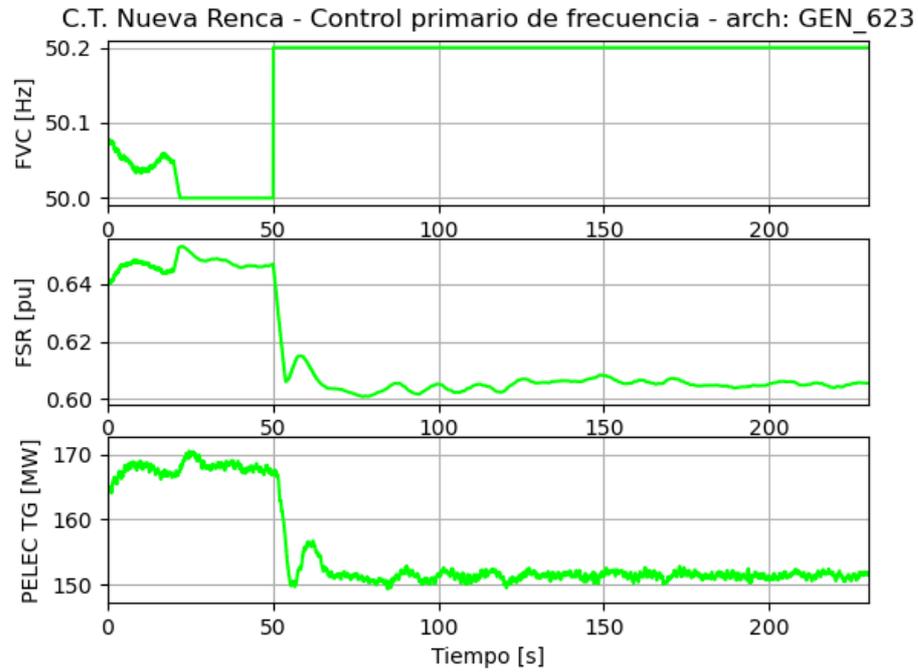


Figura 6.26: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 165 MW – Combustible GNL

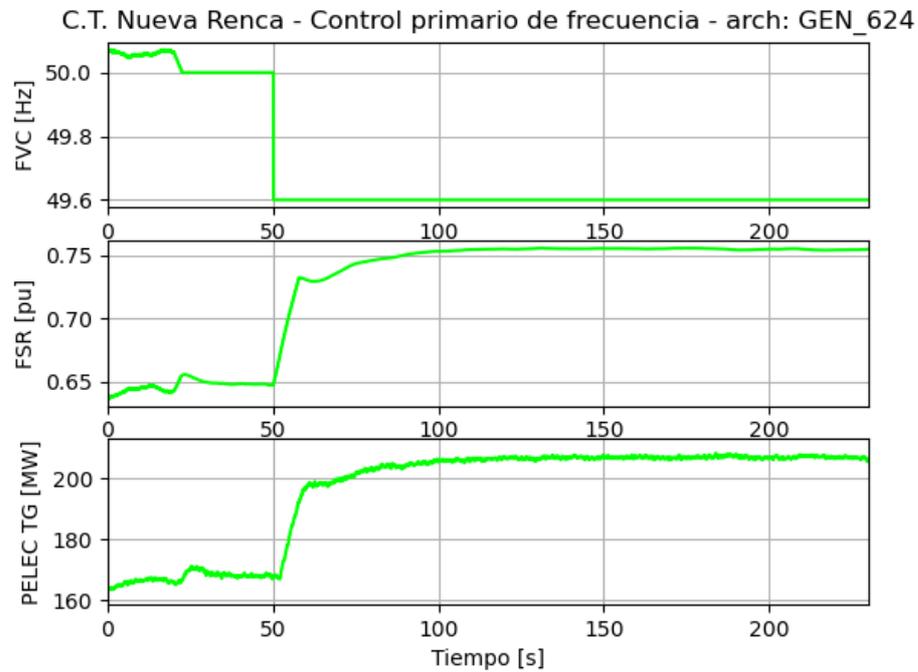


Figura 6.27: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.4 Hz – PELECo = 163 MW – Combustible GNL

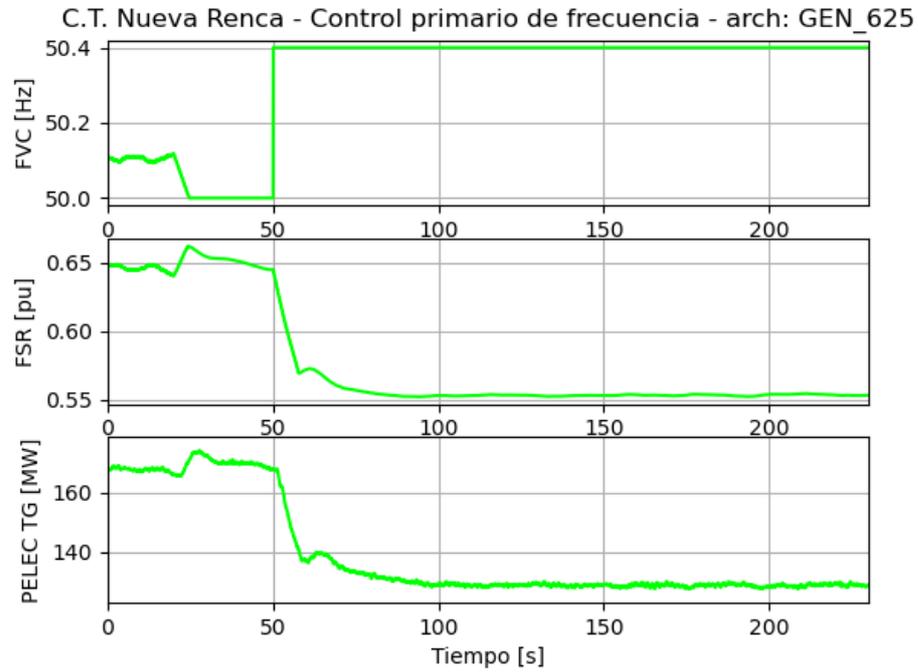


Figura 6.28: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 168 MW- Combustible GNL

Despacho P4_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz. Ante los escalones de -0.2 Hz y -0.4 Hz la potencia activa entregada por la unidad TG se ve limitada por el control por temperatura.

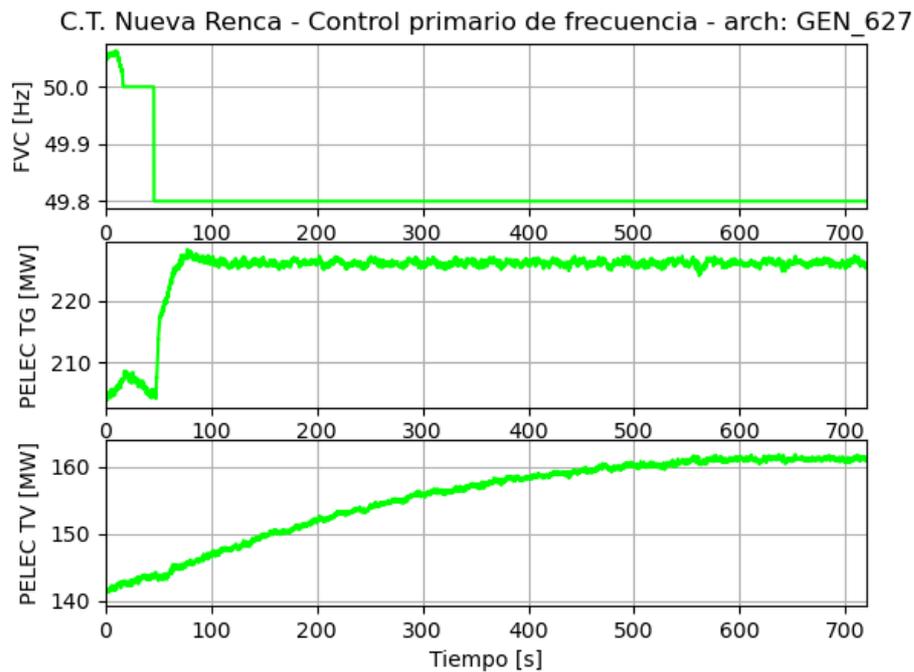


Figura 6.29: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 204 MW – Combustible GNL

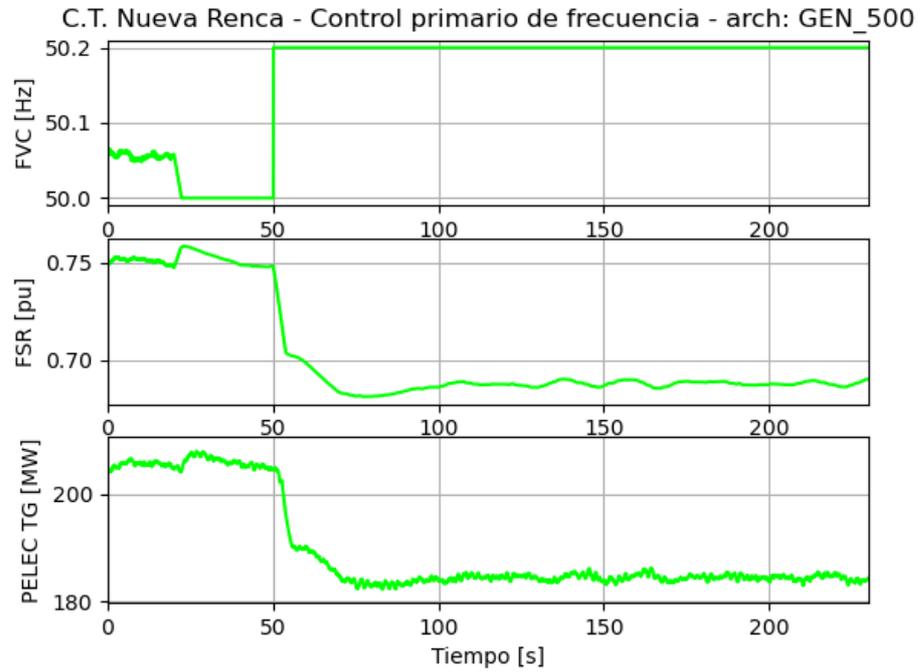


Figura 6.30: Respuesta al escalón en FVC – Step = +0.2 Hz – PELECo = 205 MW – Combustible GNL

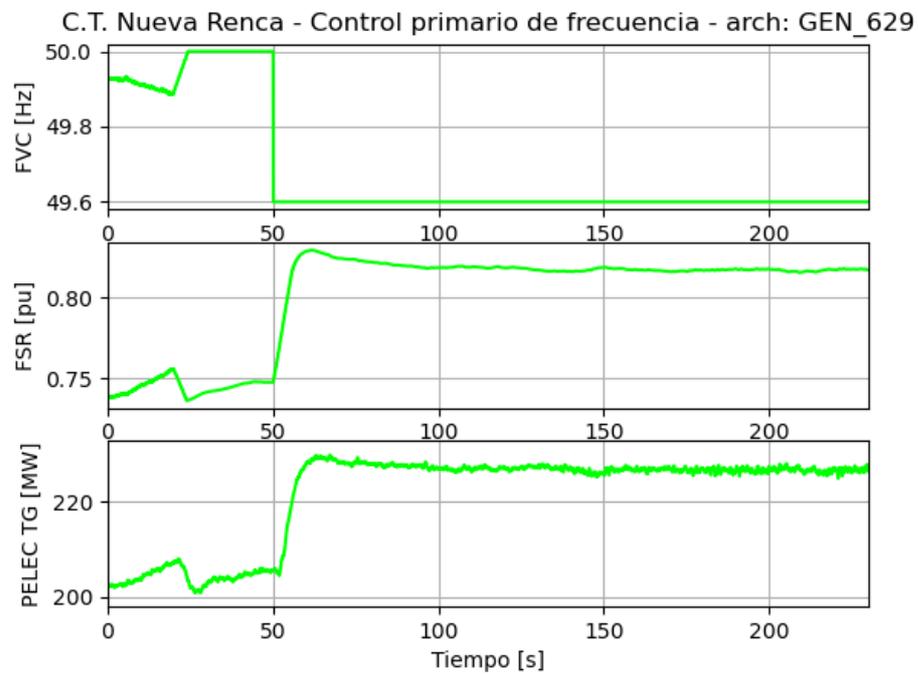


Figura 6.31: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.4 Hz – PELECo = 202 MW – Combustible GNL

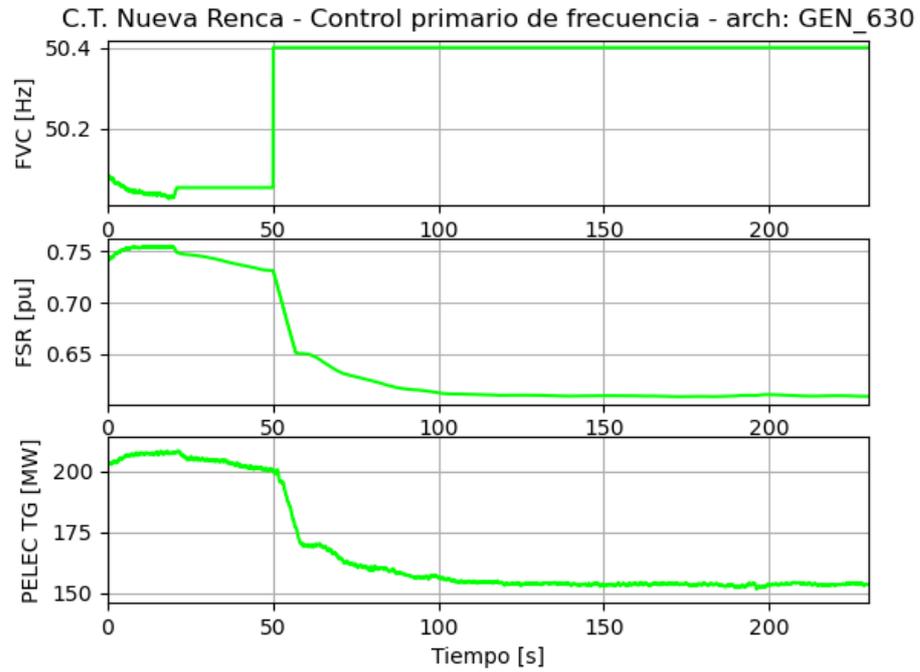


Figura 6.32: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 203 MW- Combustible GNL

Despacho P4_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz. Ante los escalones de -0.2 Hz y -0.4 Hz la potencia activa entregada por la unidad TG se ve limitada por el control por temperatura.

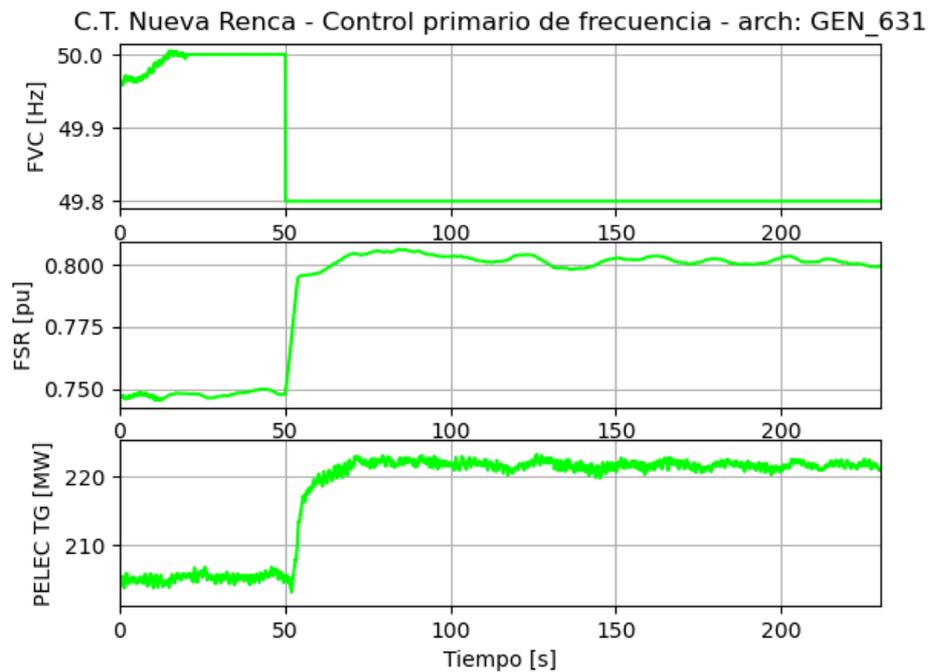


Figura 6.33: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 204 MW – Combustible GNL

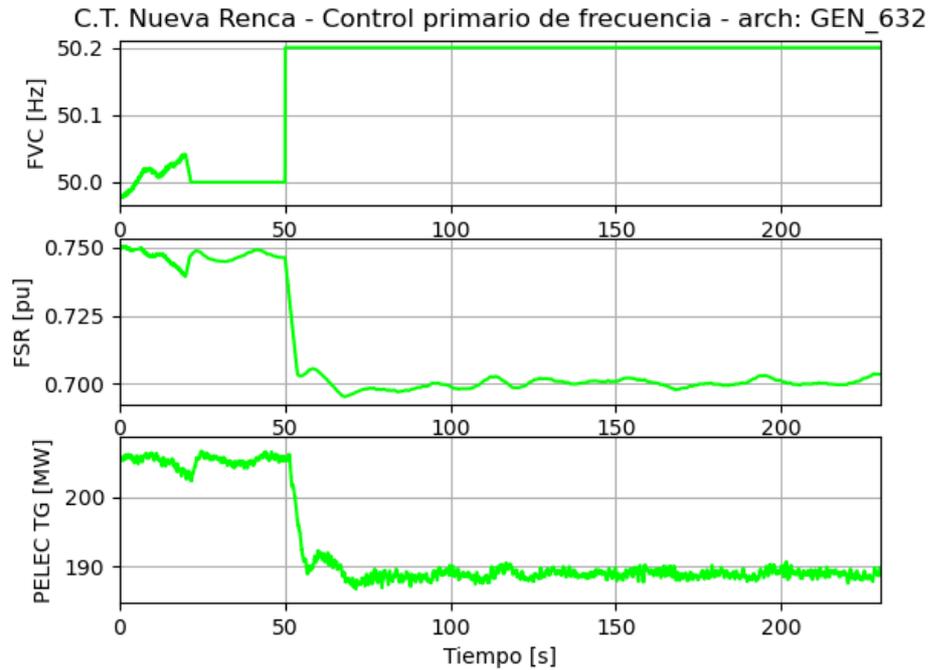


Figura 6.34: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 206 MW - Combustible GNL

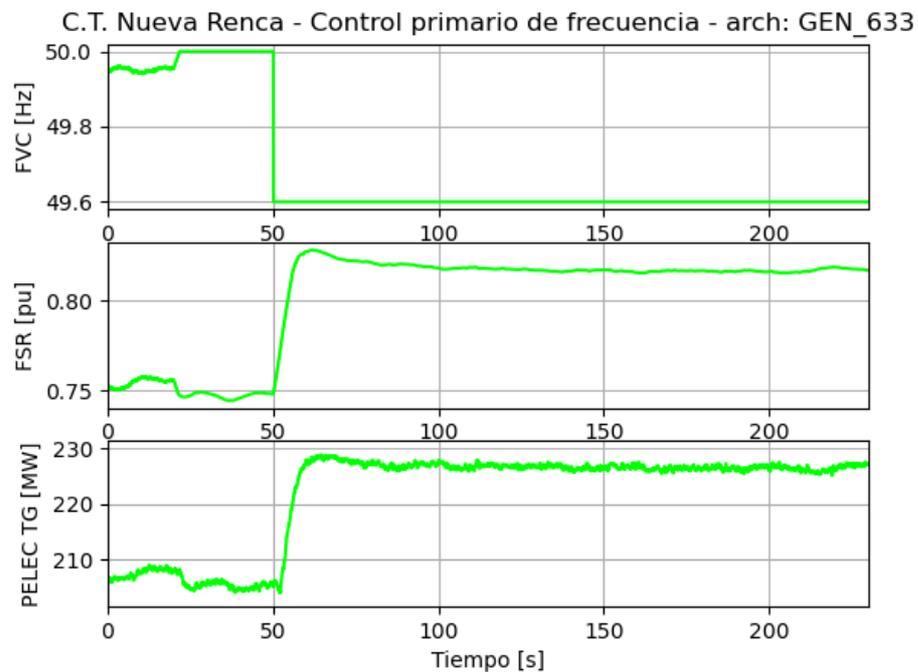


Figura 6.35: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 206 MW - Combustible GNL

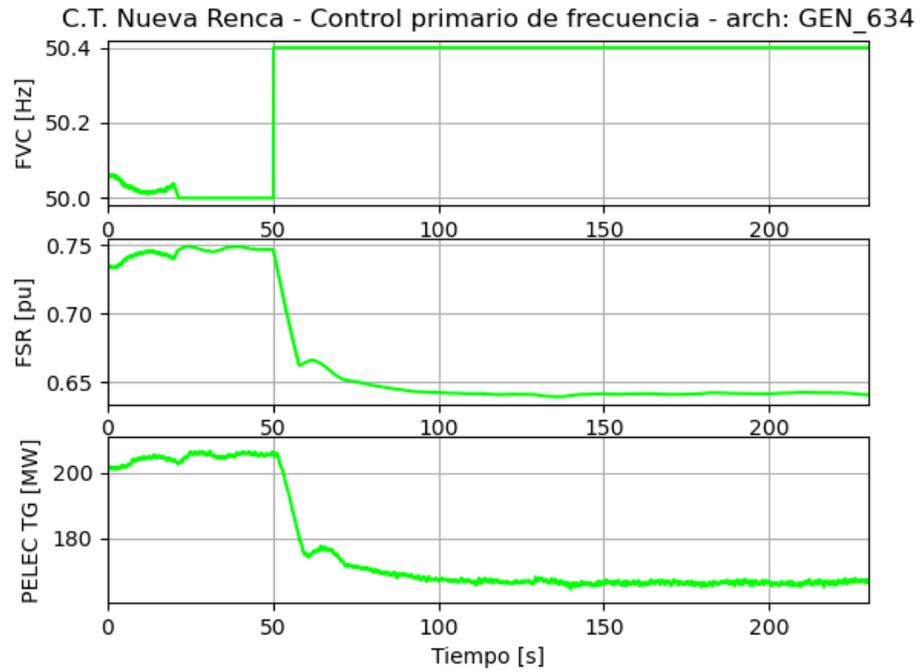


Figura 6.36: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 202 MW - Combustible GNL

6.1.2 Ensayos con DIESEL

A continuación, se presenta la respuesta del control primario de frecuencia de la unidad TG con la configuración TG+TV_DIESEL.

Despacho P1_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación en el que la unidad puede quedar sin agua (Water injection OFF), por lo que se corre el riesgo de provocar la salida intempestiva de la misma.

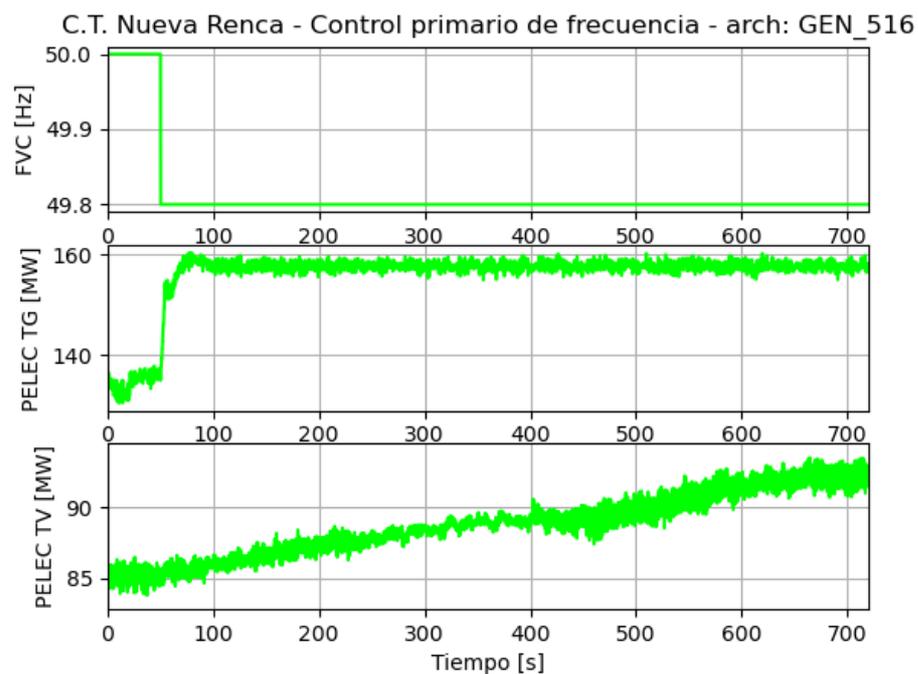


Figura 6.37: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 134 MW – Combustible DIESEL

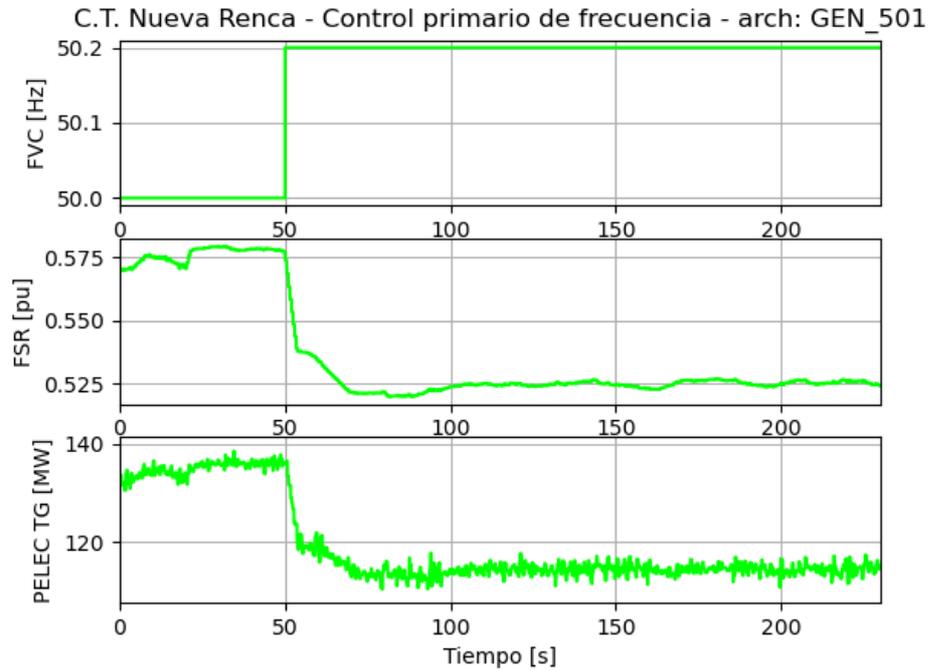


Figura 6.38: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 132 MW - Combustible DIESEL

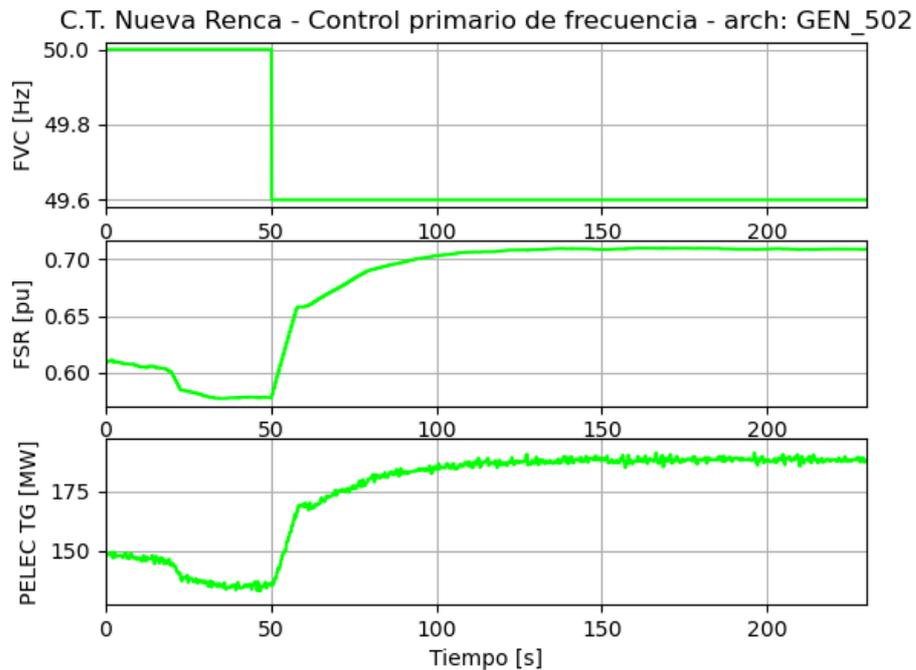


Figura 6.39: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 148 MW - Combustible DIESEL

Despacho P1_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 25 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 25 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación en el que la unidad puede quedar sin agua (Water injection OFF), por lo que se corre el riesgo de provocar la salida intempestiva de la misma.

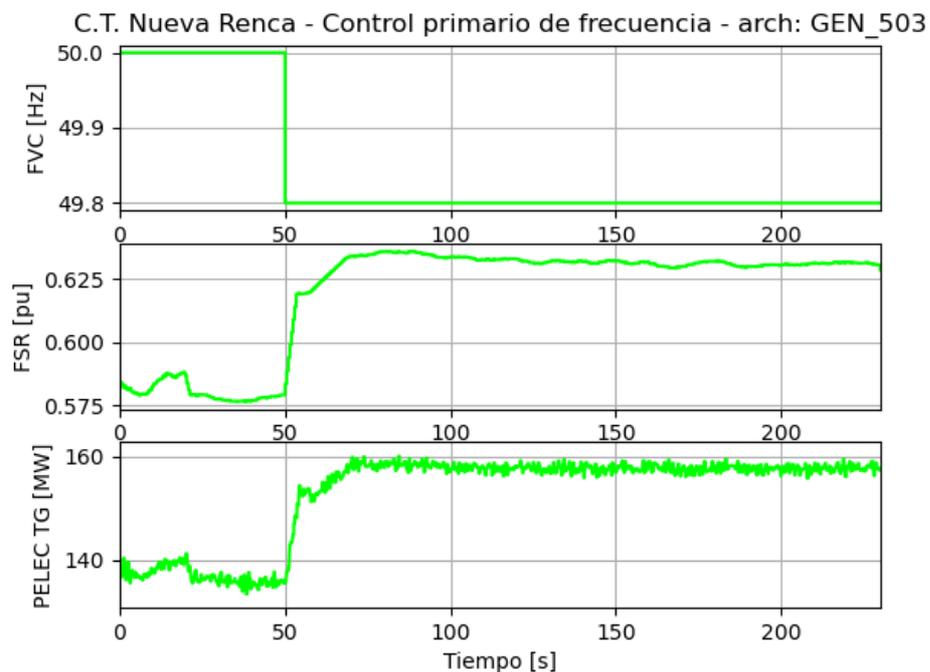


Figura 6.40: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 139 MW – Combustible DIESEL

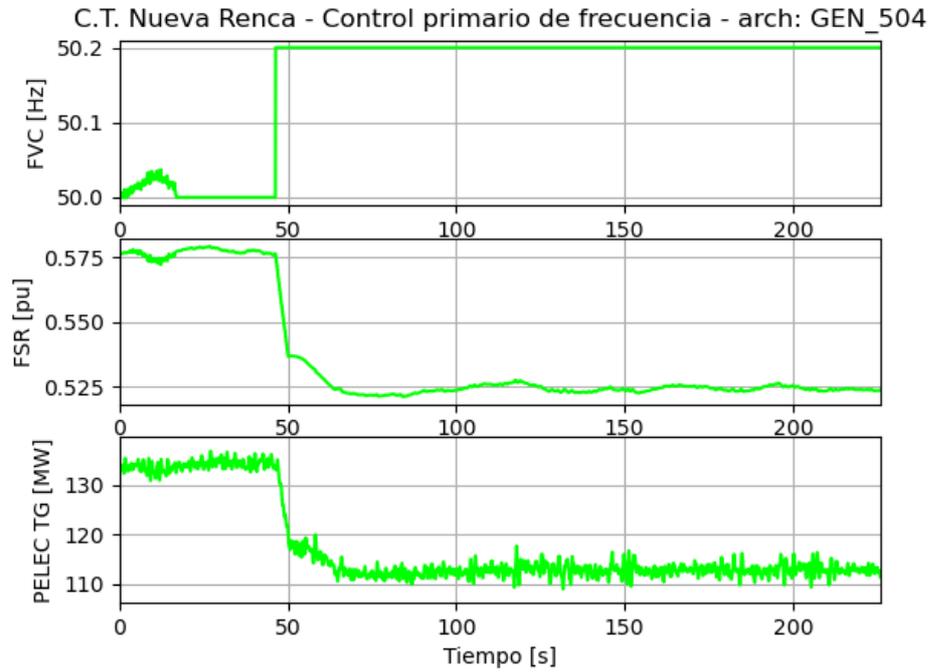


Figura 6.41: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 133 MW - Combustible DIESEL

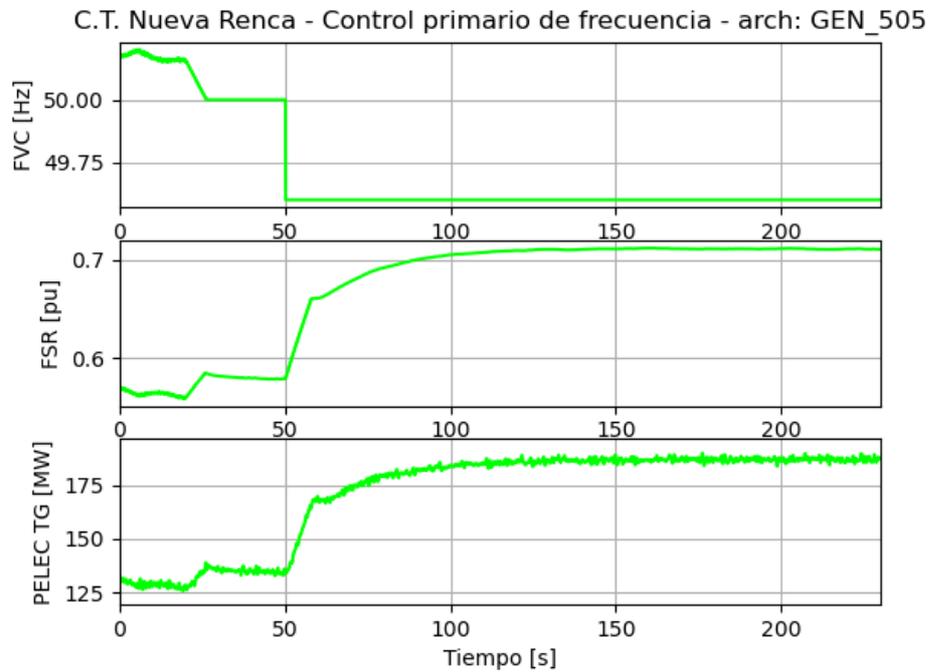


Figura 6.42: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 131 MW - Combustible DIESEL

Despacho P1_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación en el que la unidad puede quedar sin agua (Water injection OFF), por lo que se corre el riesgo de provocar la salida intempestiva de la misma.

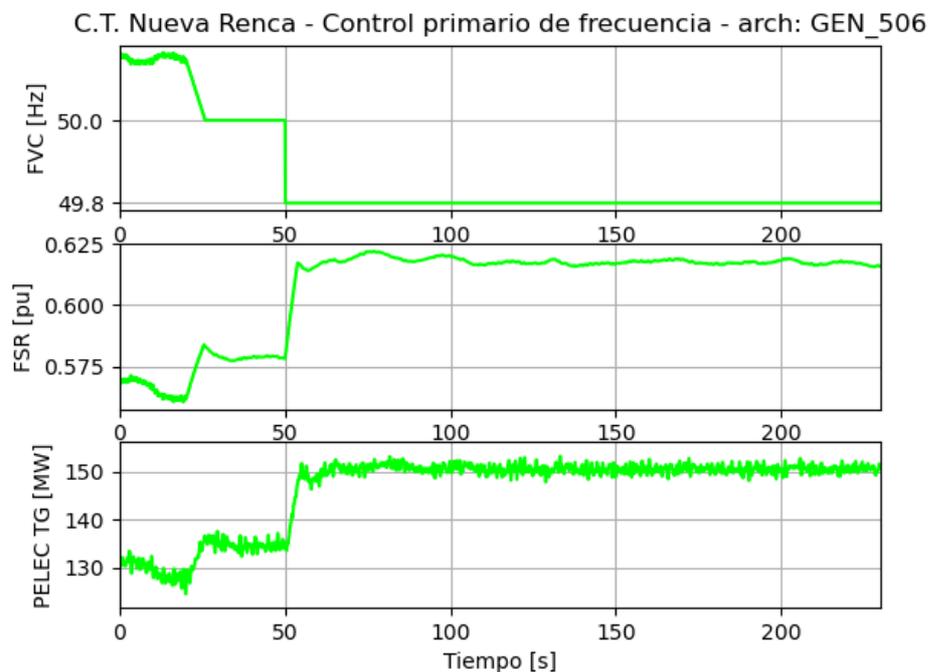


Figura 6.43: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 130 MW – Combustible DIESEL

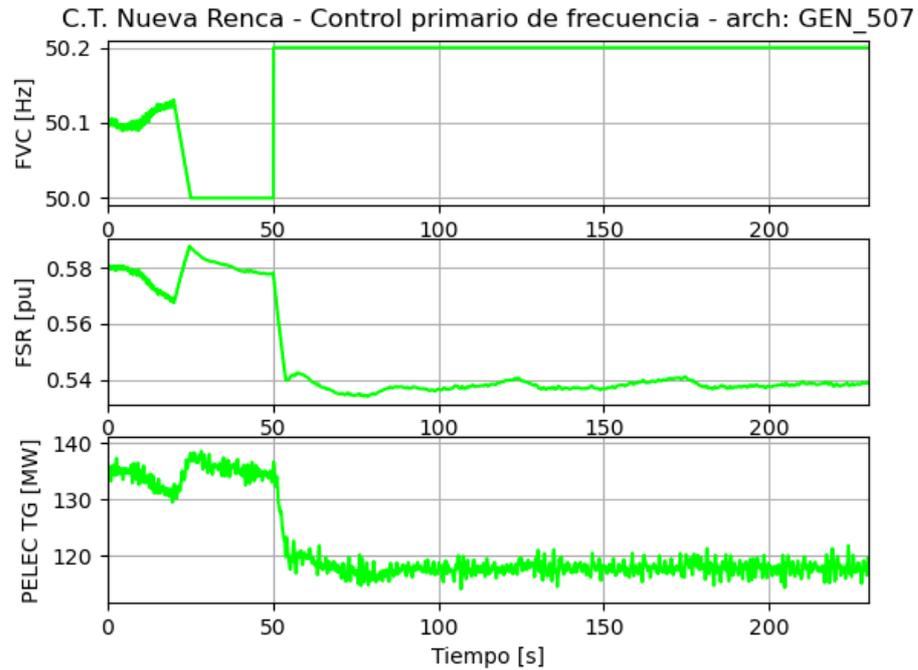


Figura 6.44: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 135 MW - Combustible DIESEL

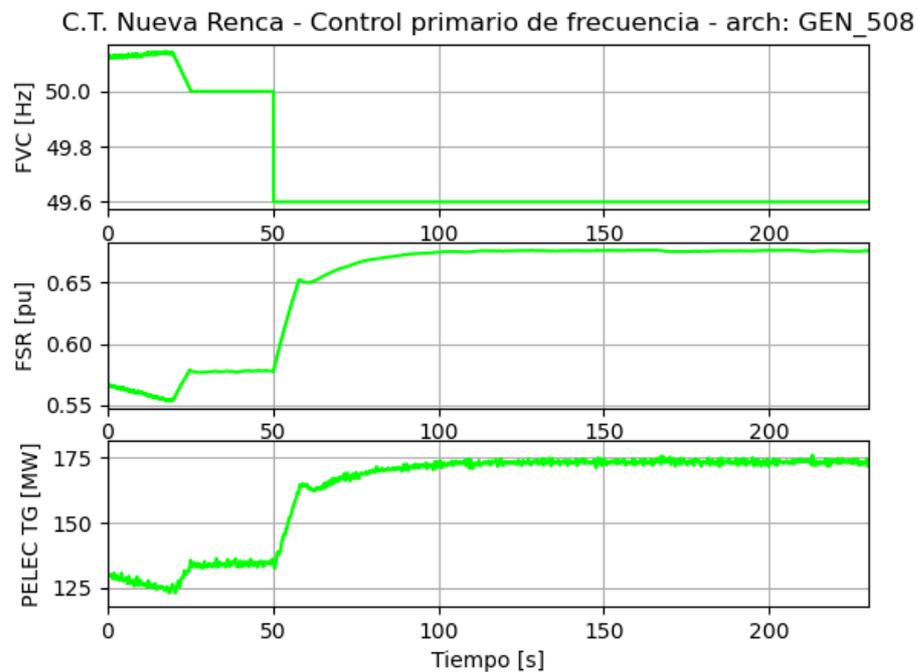


Figura 6.45: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 130 MW - Combustible DIESEL

Despacho P1_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 25 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 25 mHz. El escalón de +0.4 Hz no se lleva a cabo para evitar llevar a la máquina a un estado de operación en el que la unidad puede quedar sin agua (Water injection OFF), por lo que se corre el riesgo de provocar la salida intempestiva de la misma.

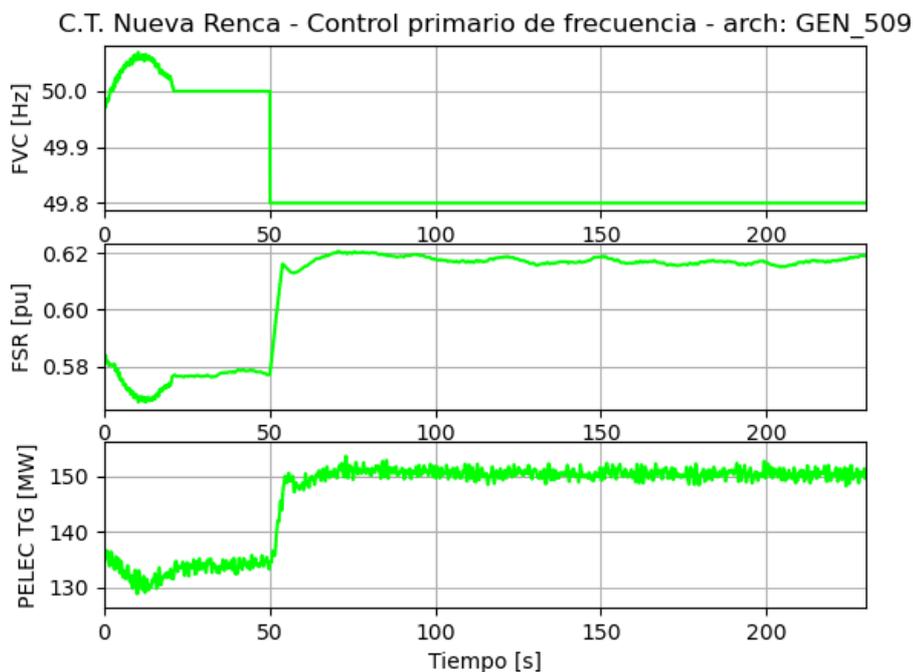


Figura 6.46: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 136 MW – Combustible DIESEL

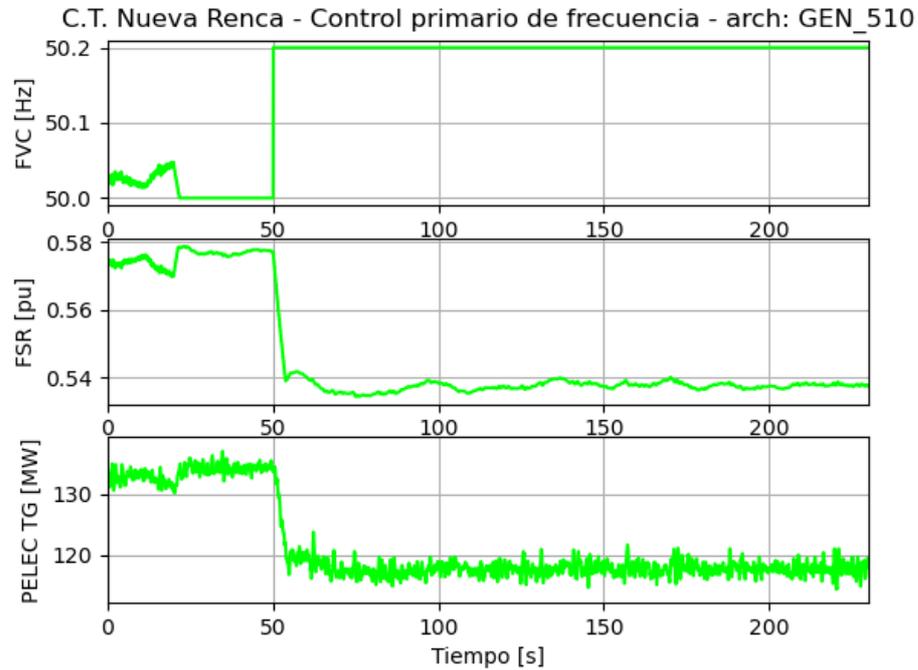


Figura 6.47: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 133 MW - Combustible DIESEL

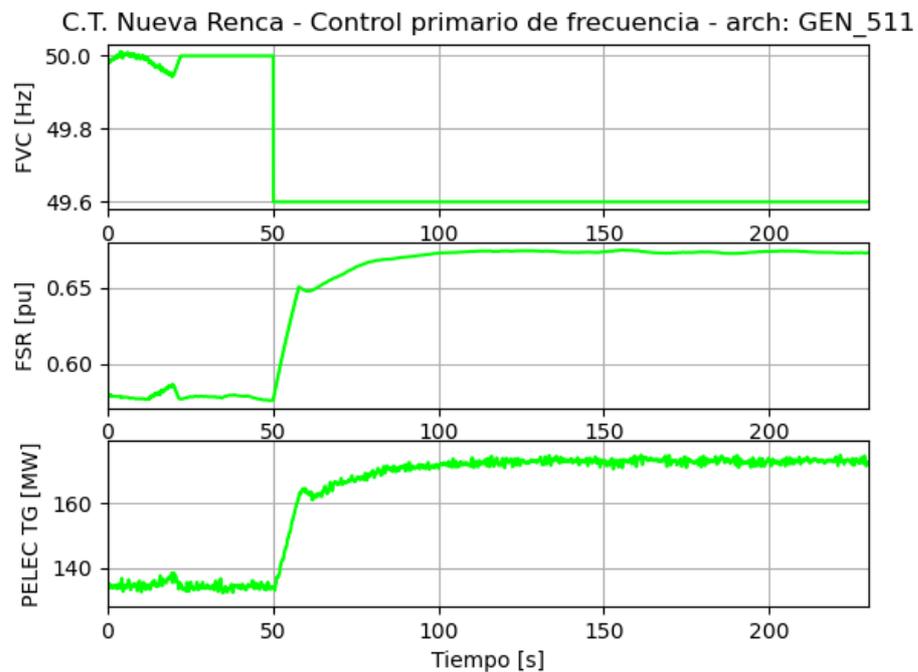


Figura 6.48: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 134 MW - Combustible DIESEL



Despacho P2_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz.

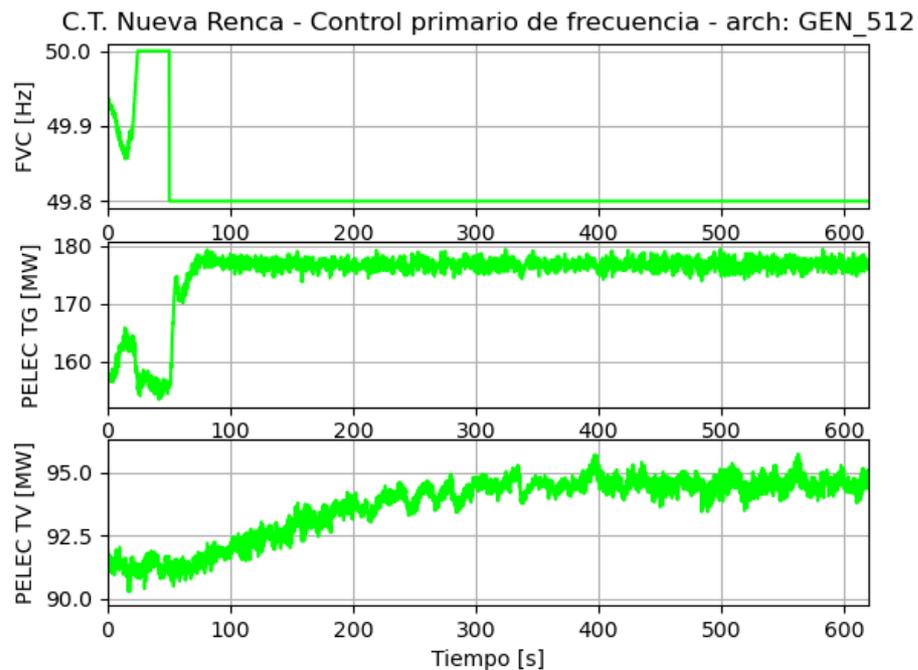


Figura 6.49: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 157 MW – Combustible DIESEL

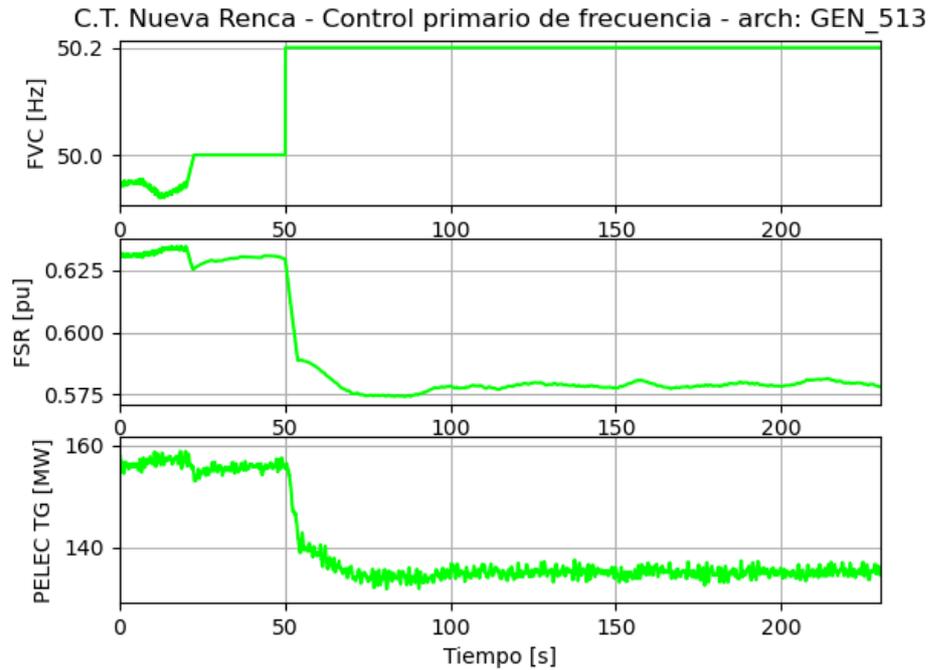


Figura 6.50: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 157 MW - Combustible DIESEL

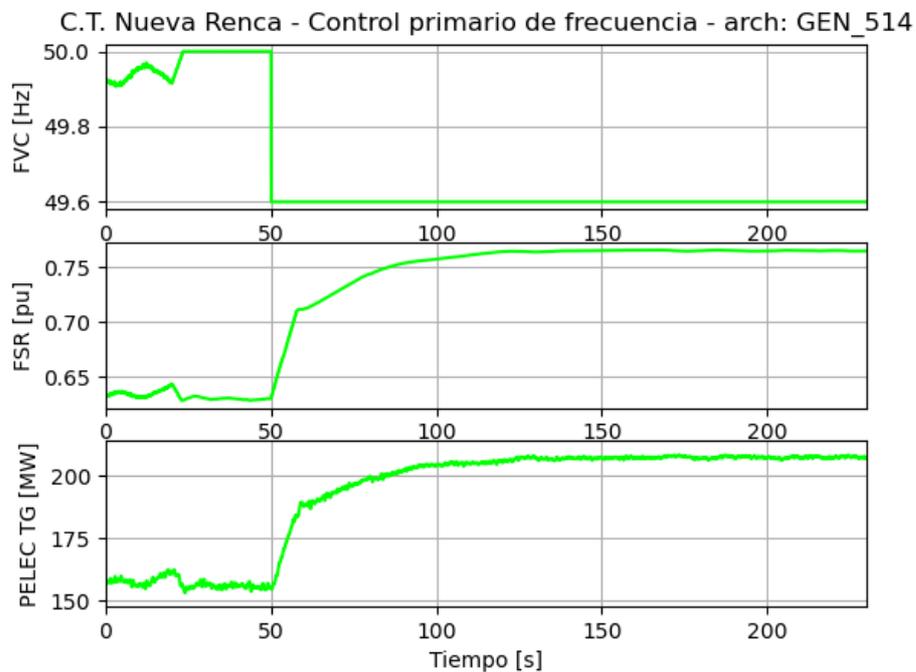


Figura 6.51: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 157 MW - Combustible DIESEL

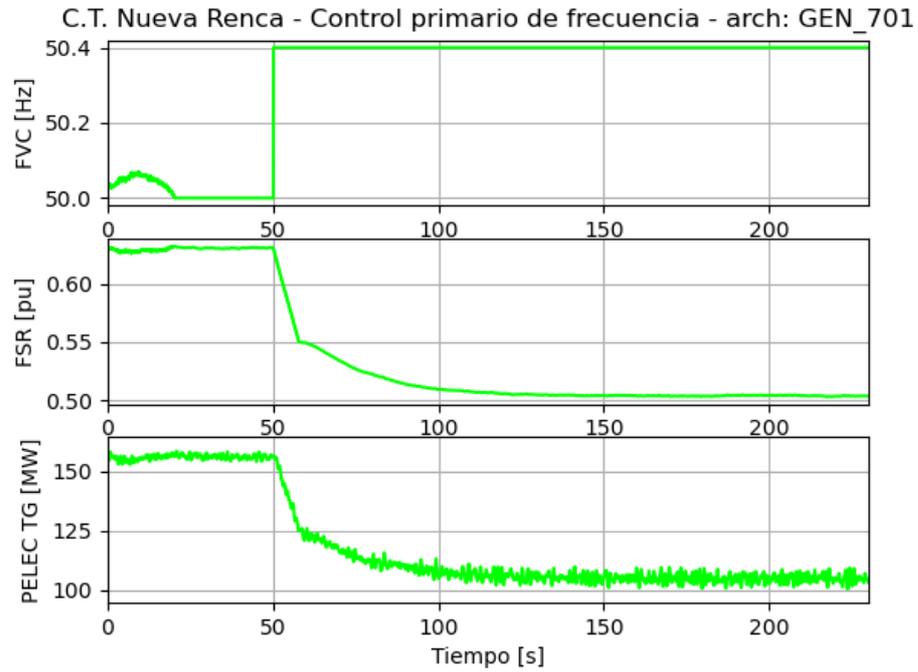


Figura 6.52: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 156 MW - Combustible DIESEL



Despacho P2_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz.

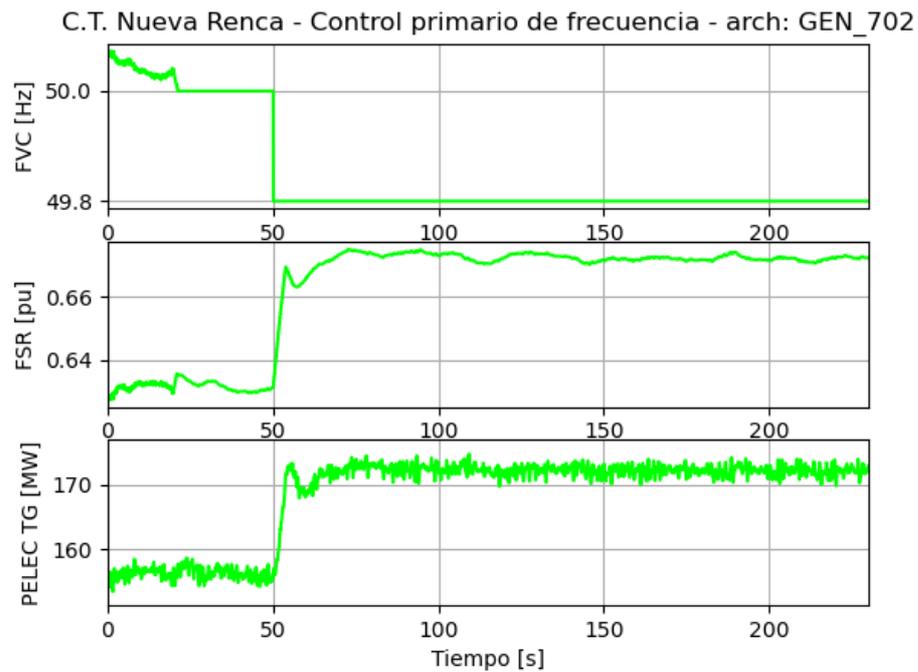


Figura 6.53: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 155 MW – Combustible DIESEL

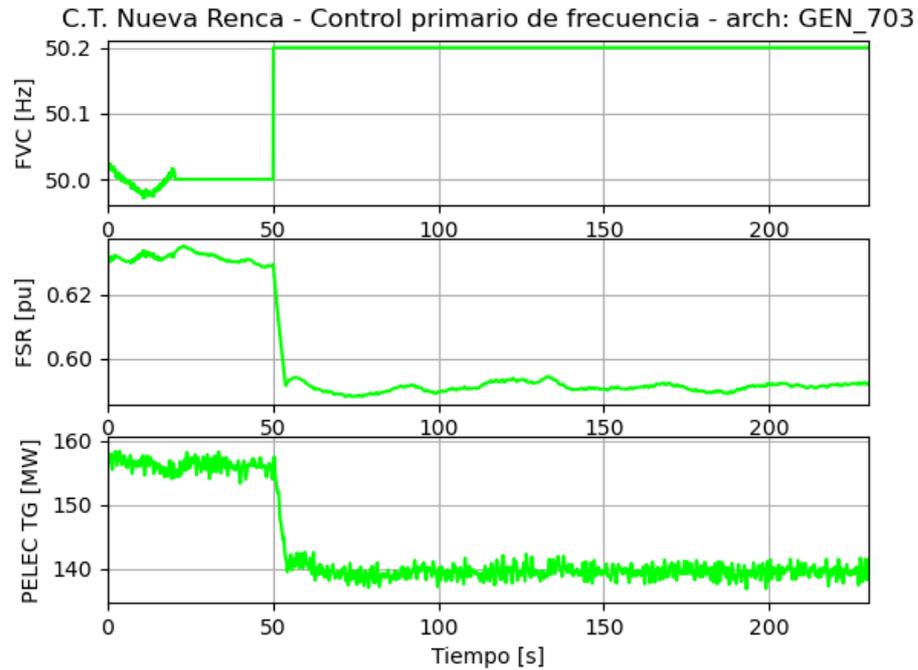


Figura 6.54: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 157 MW - Combustible DIESEL

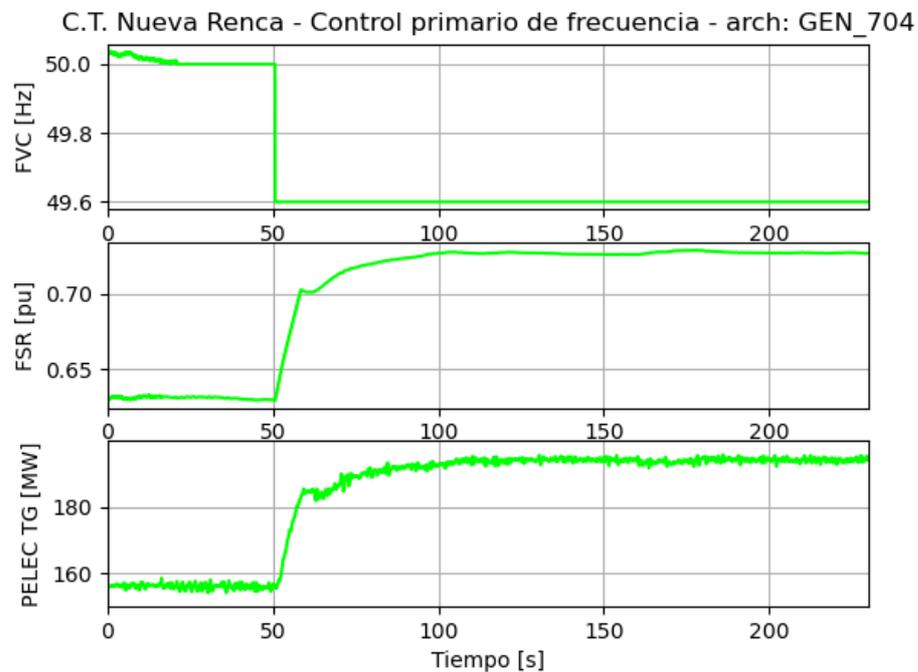


Figura 6.55: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 156 MW - Combustible DIESEL

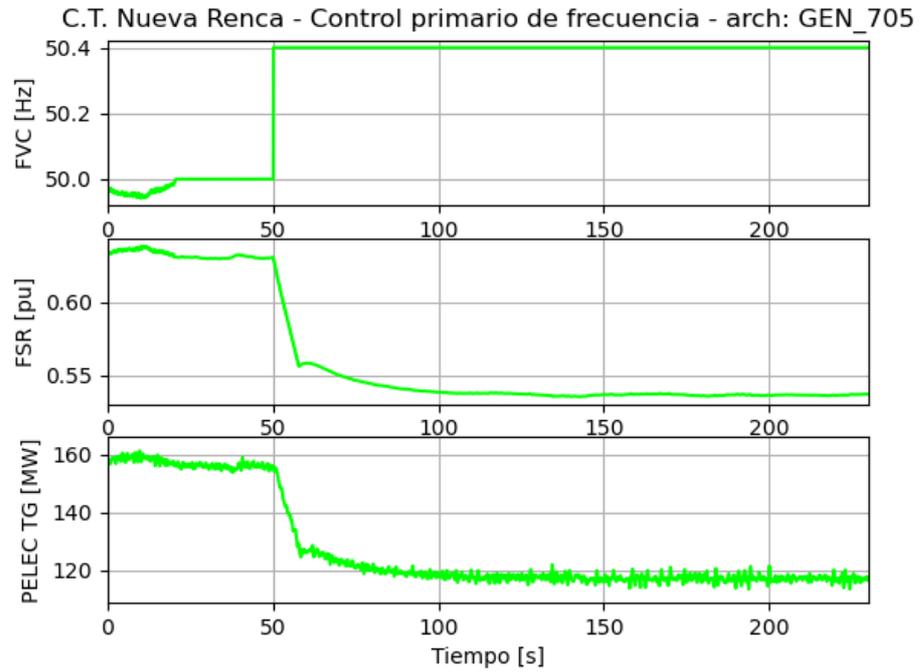


Figura 6.56: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 157 MW - Combustible DIESEL



Despacho P3_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz

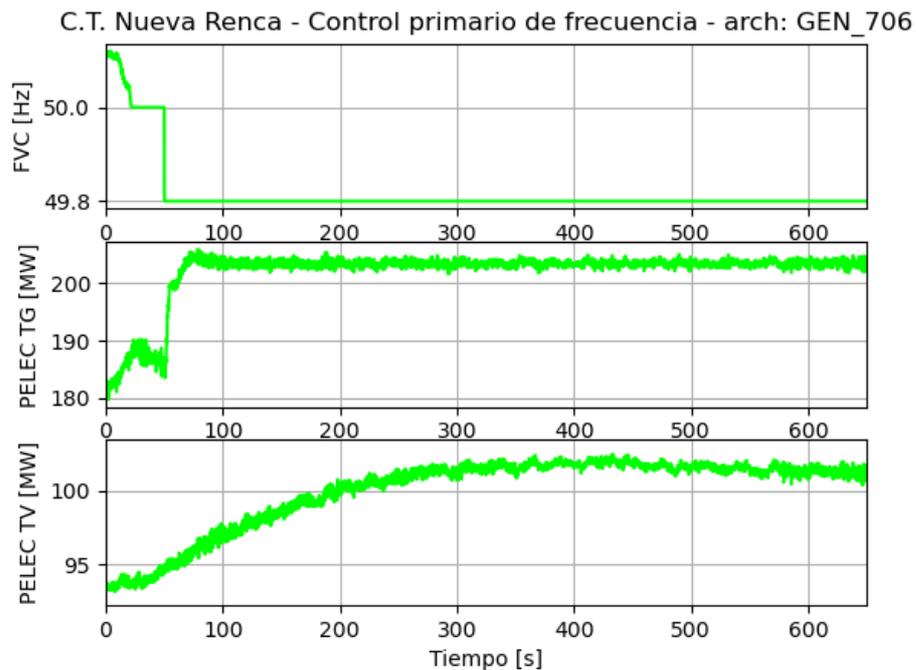


Figura 6.57: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 180 MW – Combustible DIESEL

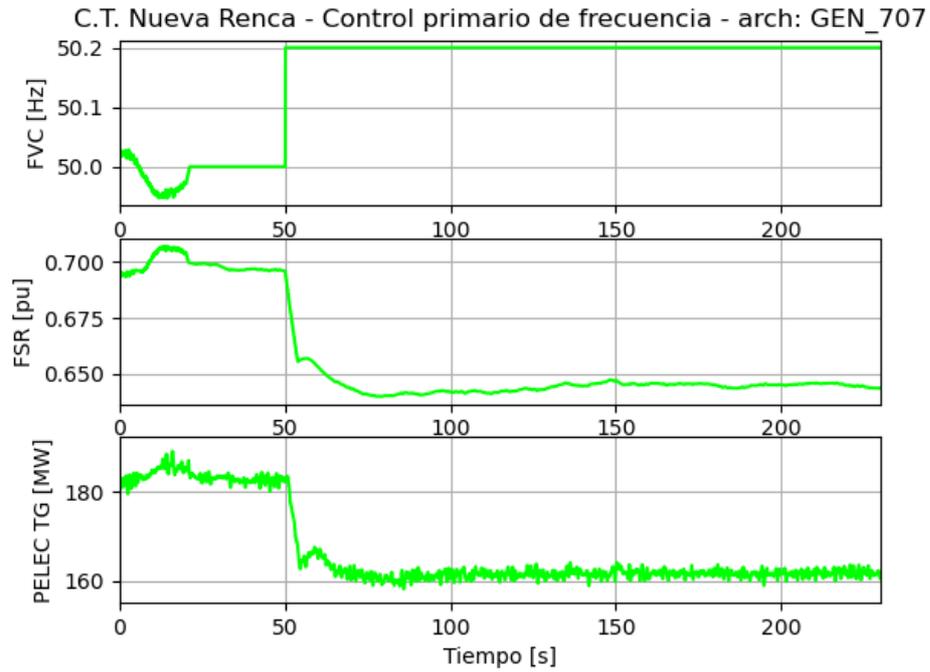


Figura 6.58: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 181 MW - Combustible DIESEL

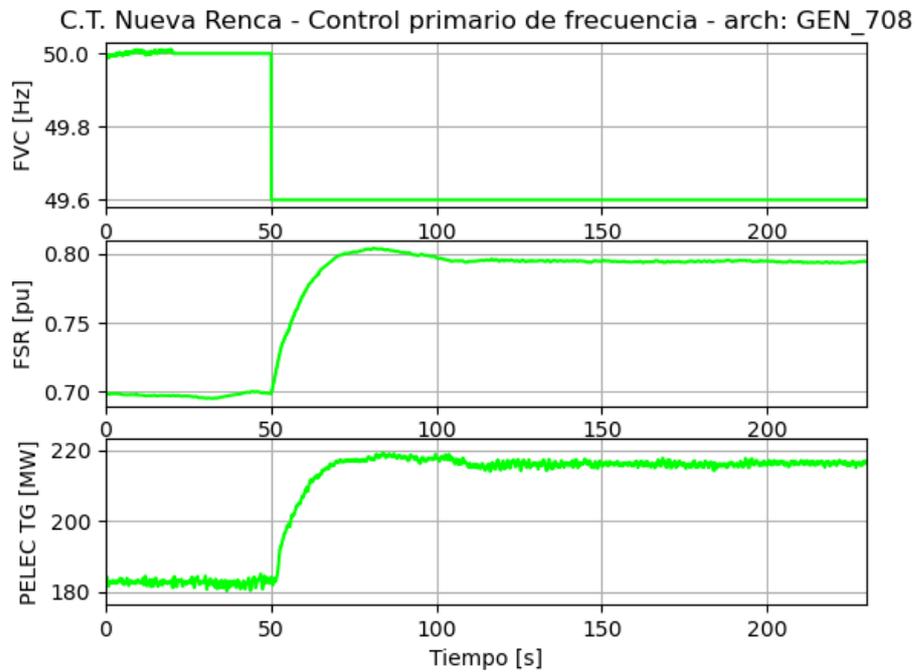


Figura 6.59: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 181 MW - Combustible DIESEL

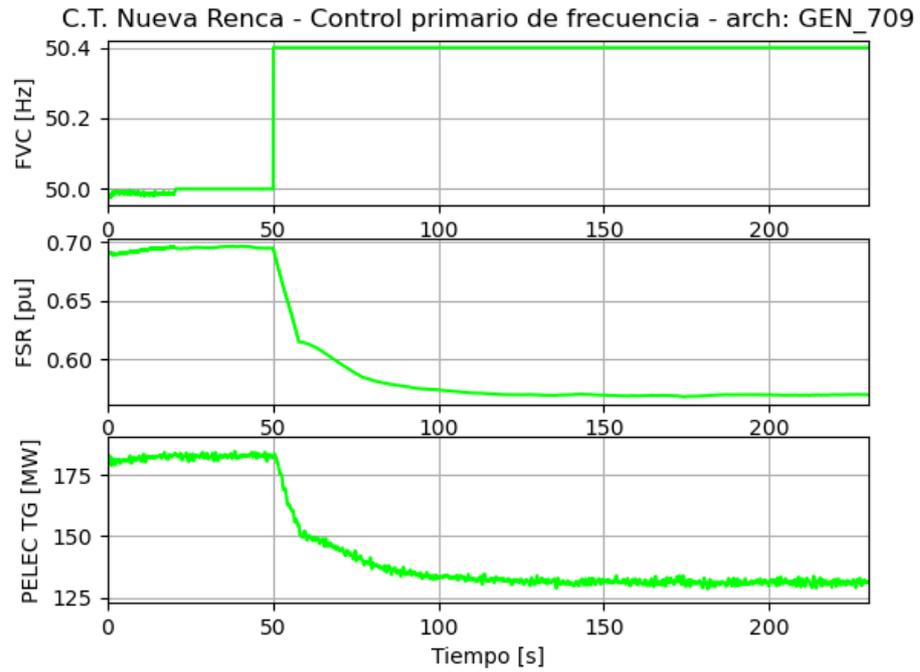


Figura 6.60: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 180 MW - Combustible DIESEL



Despacho P3_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz.

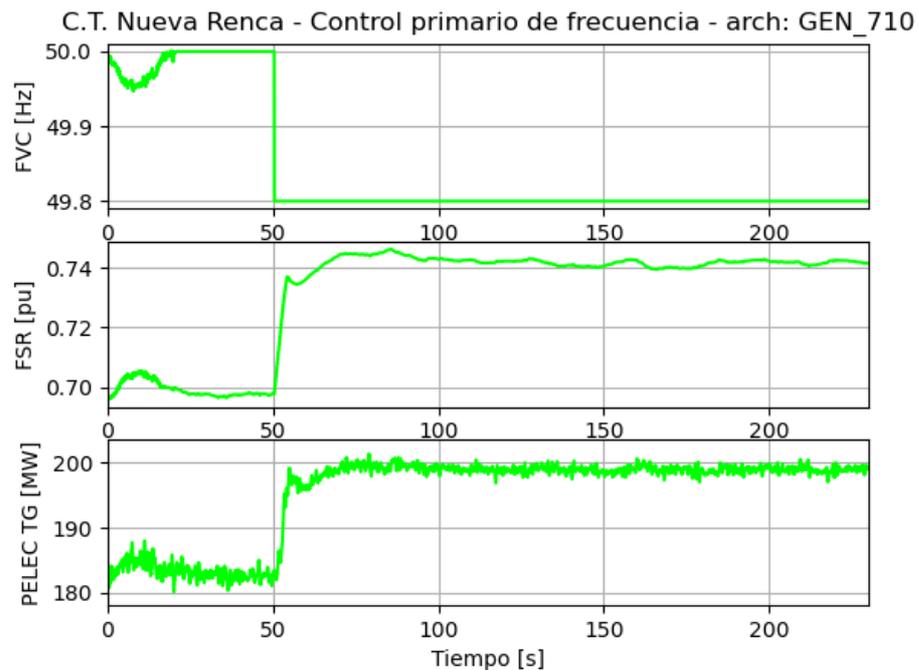


Figura 6.61: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 184 MW – Combustible DIESEL

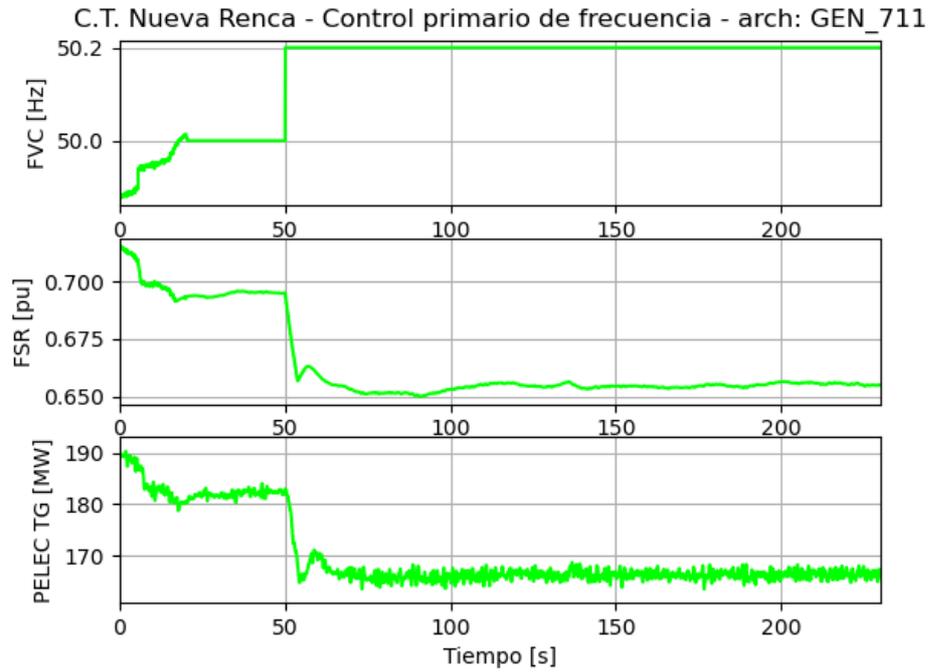


Figura 6.62: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 189 MW - Combustible DIESEL

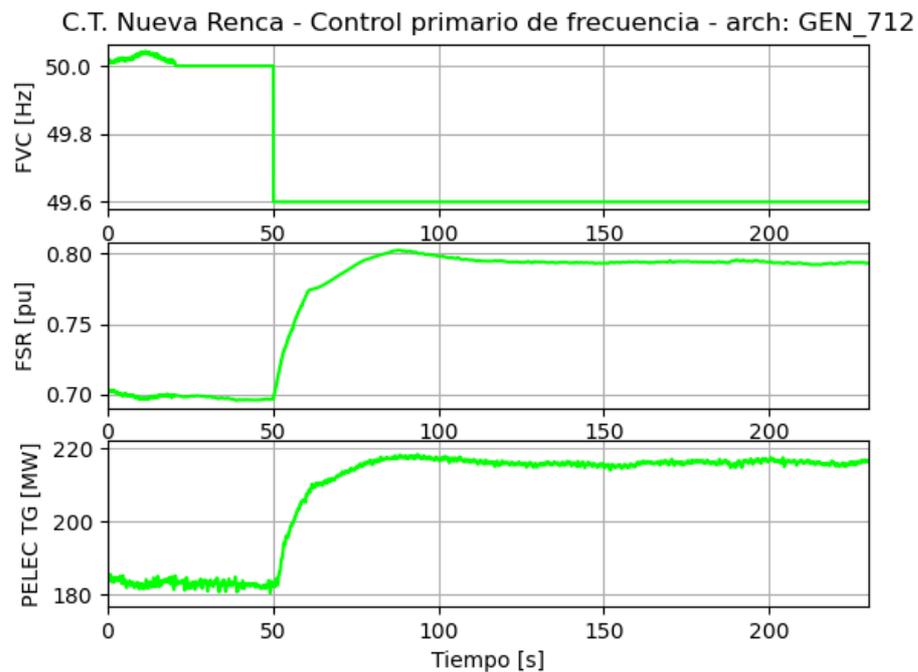


Figura 6.63: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 184 MW - Combustible DIESEL

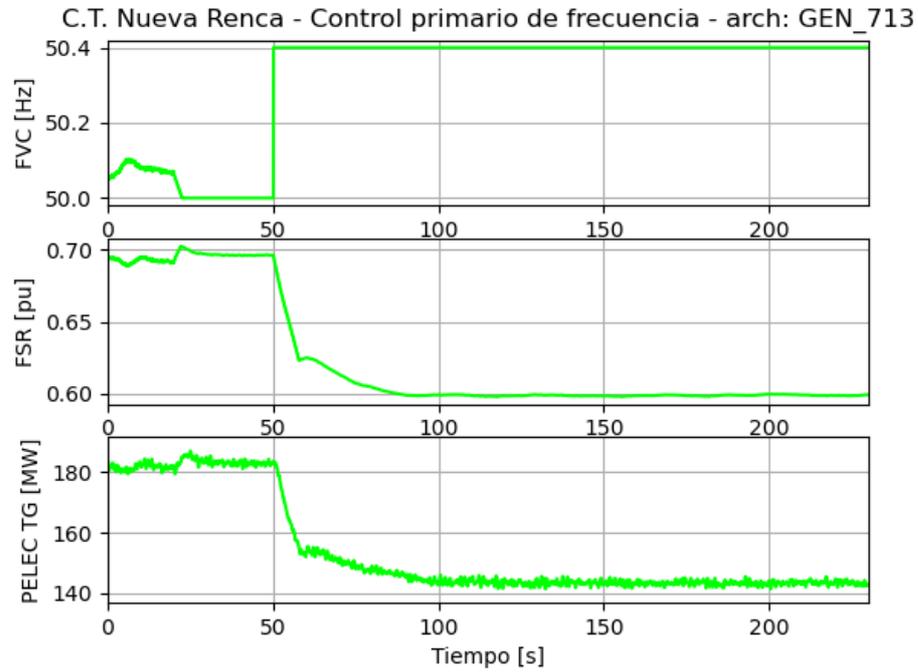


Figura 6.64: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 183 MW - Combustible DIESEL



Despacho P4_CPF – Estatismo 4% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 4% y una banda muerta de 10 mHz.

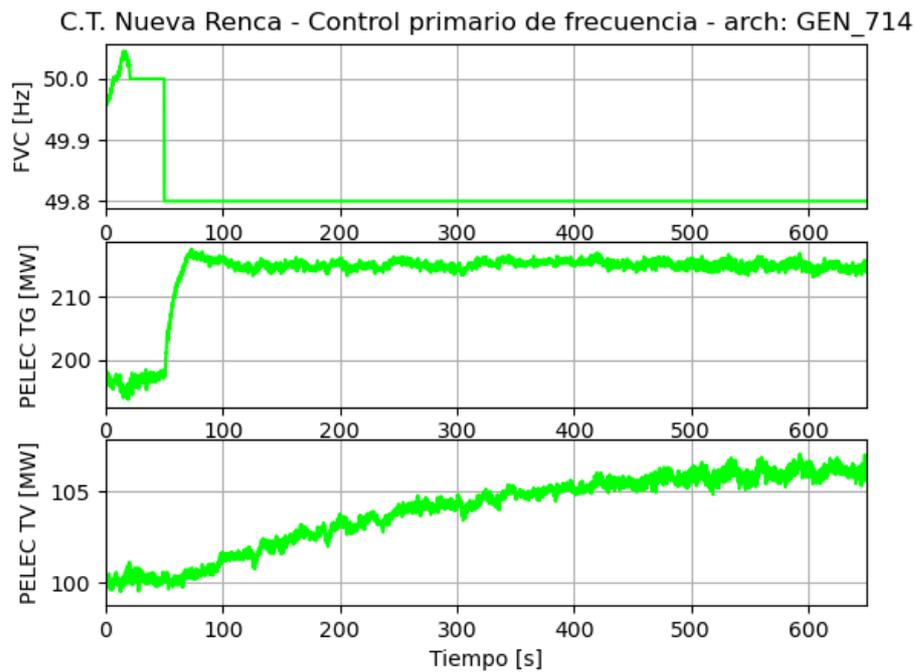


Figura 6.65: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 197 MW – Combustible DIESEL

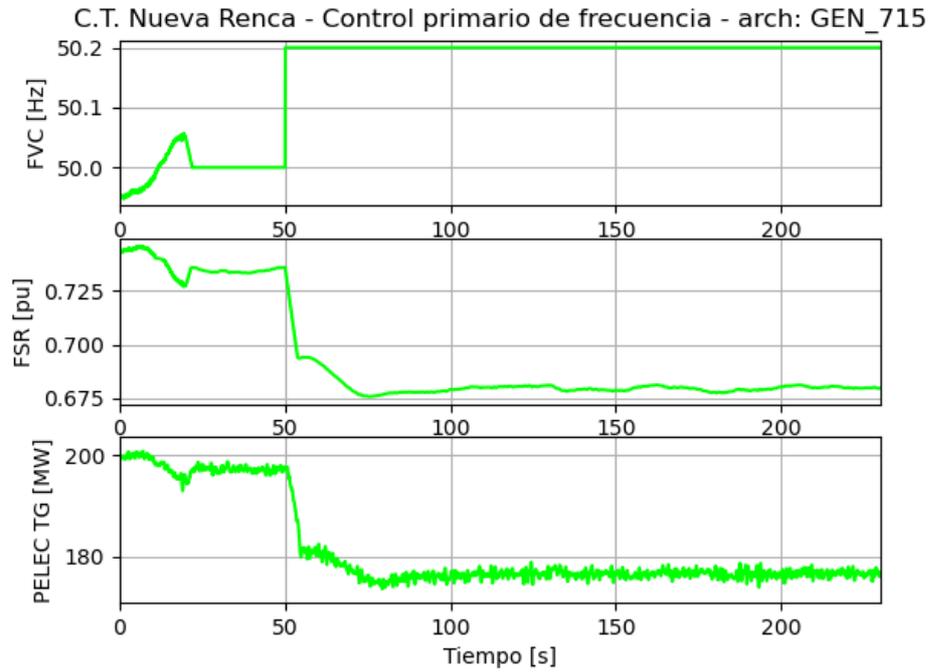


Figura 6.66: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 199 MW - Combustible DIESEL

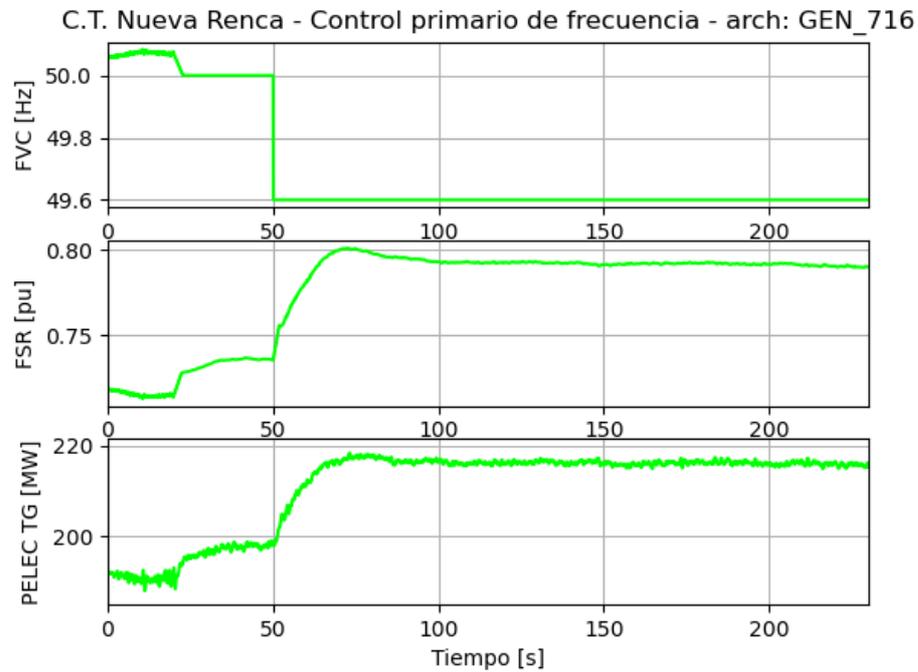


Figura 6.67: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 191 MW - Combustible DIESEL

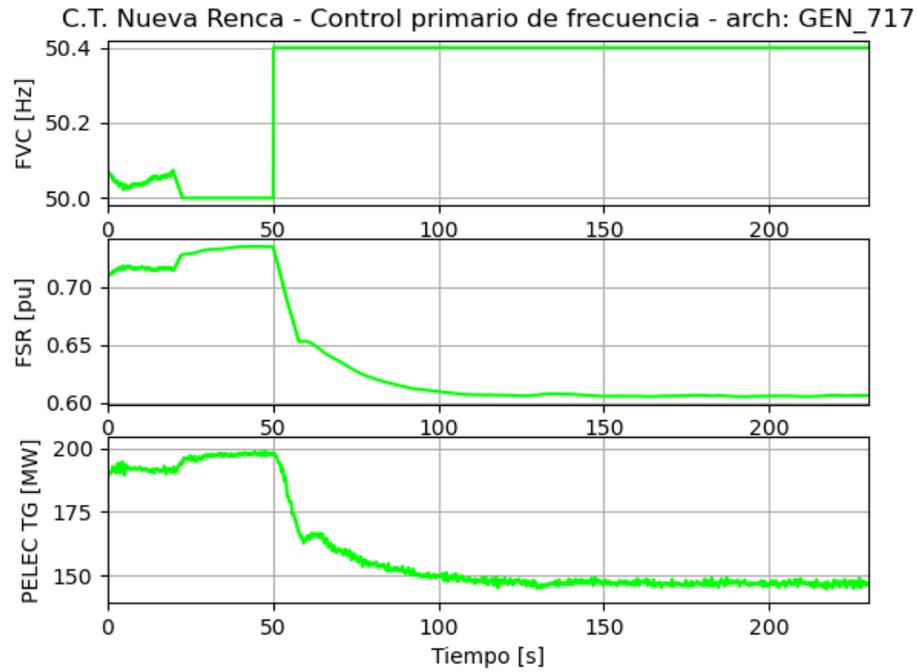


Figura 6.68: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 190 MW - Combustible DIESEL



Despacho P4_CPF – Estatismo 5% – Banda muerta 10 mHz

Las siguientes figuras presentan la respuesta de la unidad TG ante escalones de frecuencia. La unidad se encuentra con un estatismo del 5% y una banda muerta de 10 mHz.

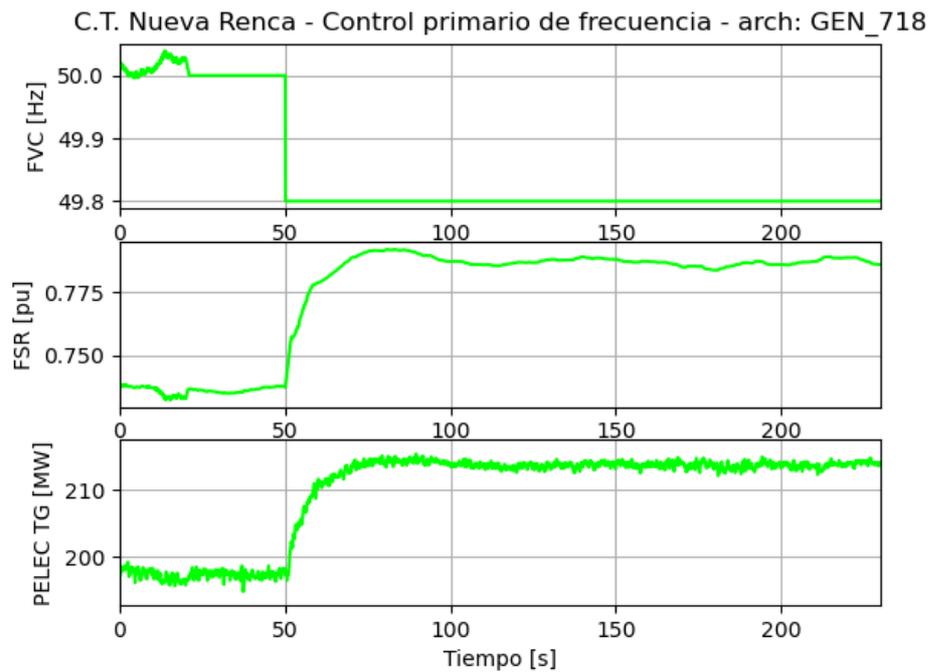


Figura 6.69: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.2 Hz – PELECo = 197 MW – Combustible DIESEL

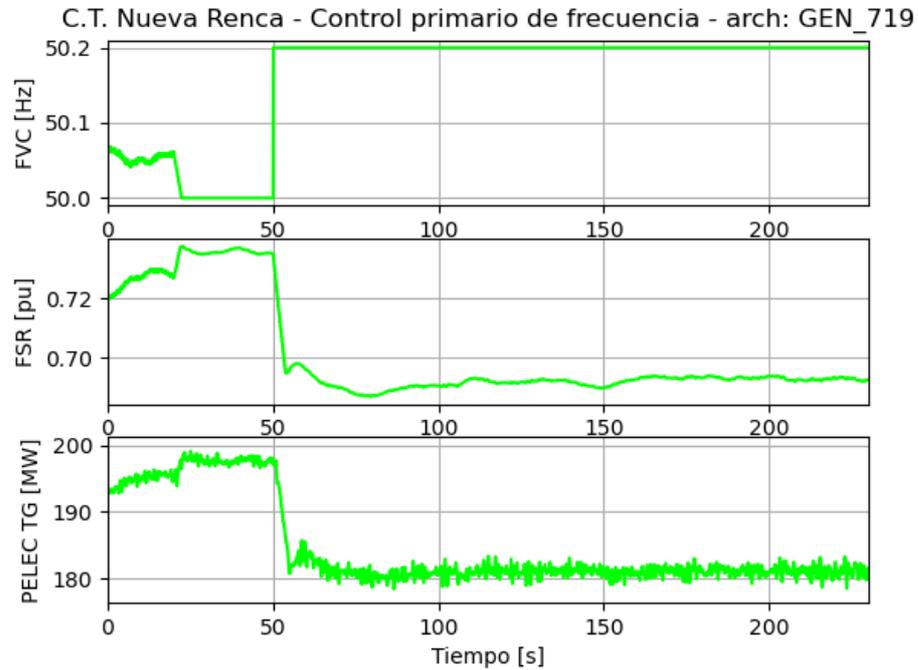


Figura 6.70: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 193 MW - Combustible DIESEL

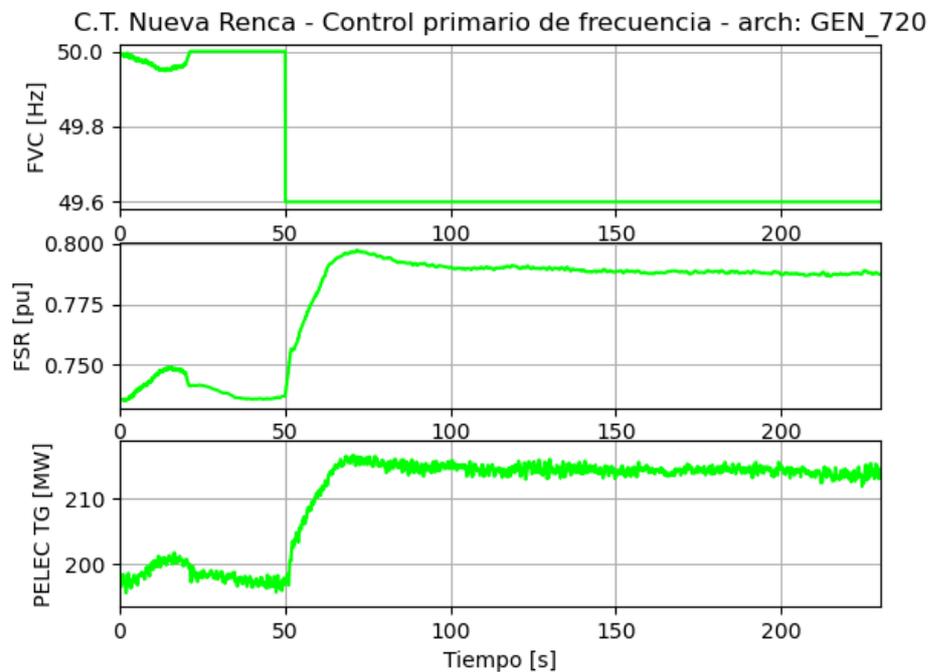


Figura 6.71: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 196 MW - Combustible DIESEL

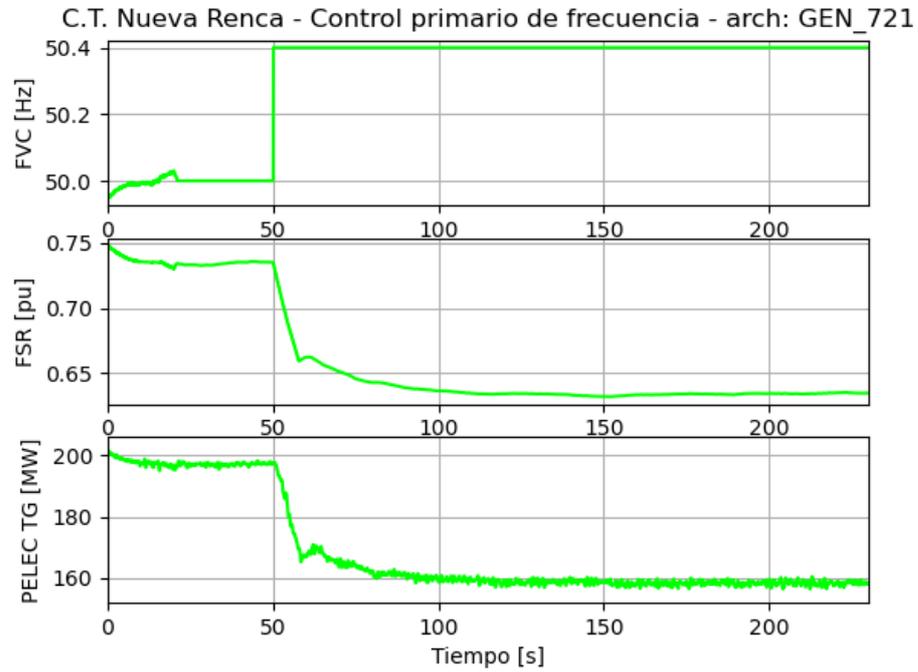


Figura 6.72: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.4 Hz - PELECo = 200 MW - Combustible DIESEL

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

Operando la unidad TG 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 ± 10 mHz (línea roja segmentada) y el estatismo en su valor actual de 4%.

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

Unidad TG

P1_CPF = 96 MW:

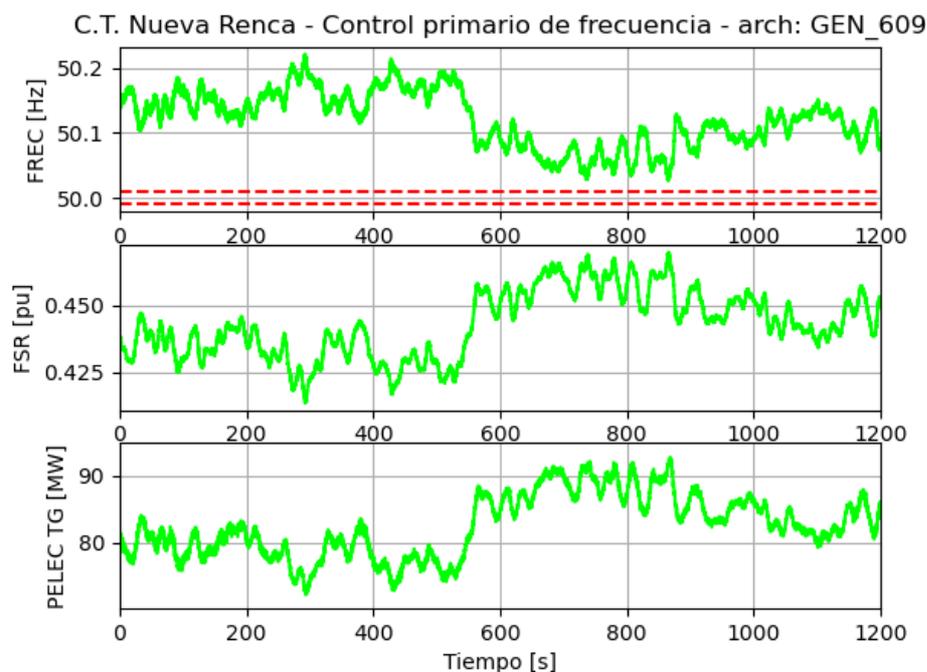


Figura 6.73: Respuesta ante variaciones de la red – PELECo = 82 MW – Combustible GNL

P2_CPF =130 MW:

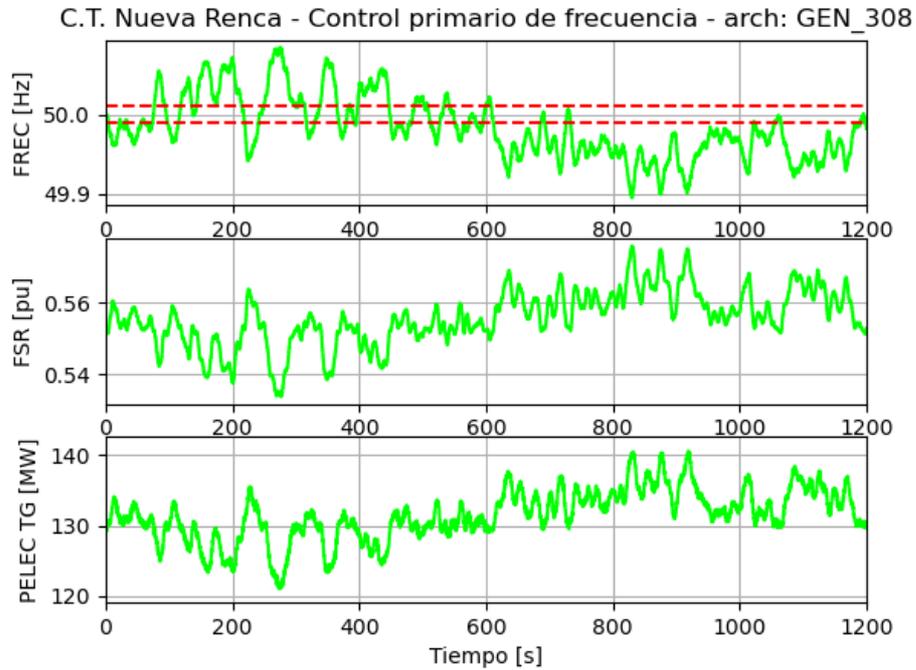


Figura 6.74: Respuesta ante variaciones de la red - PELECo = 131 MW - Combustible GNL

P3_CPF =170 MW:

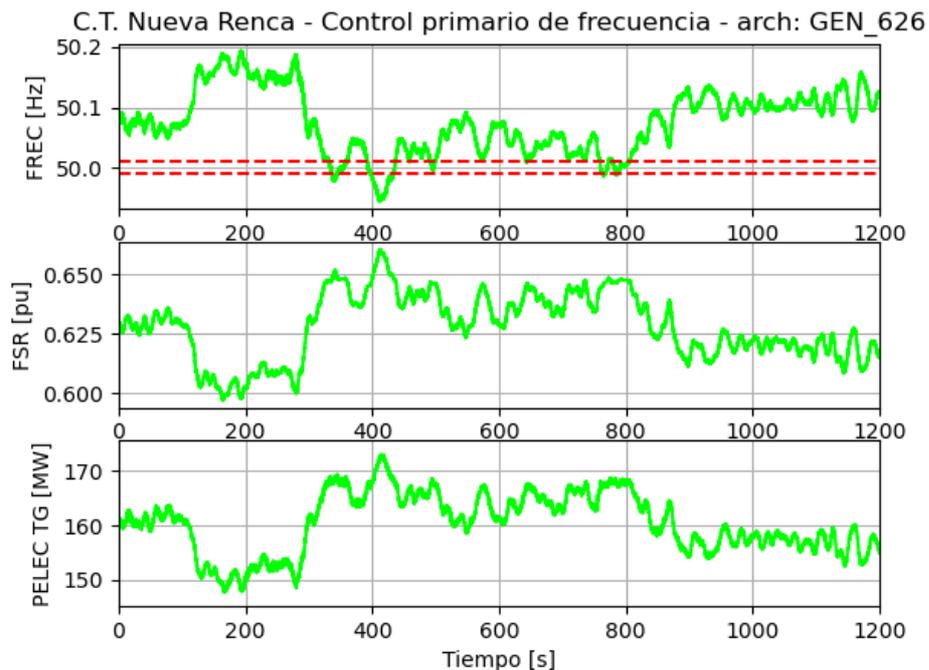


Figura 6.75: Respuesta ante variaciones de la red - PELECo = 161 MW - Combustible GNL



P4_CPF =208 MW:

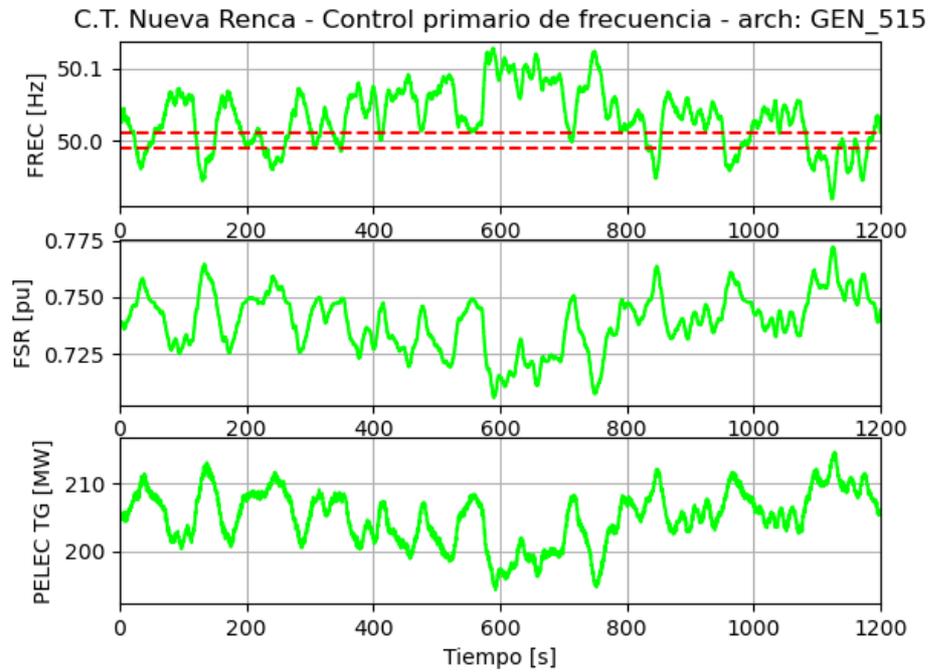


Figura 6.76: Respuesta ante variaciones de la red - PELECo = 206 MW - Combustible GNL

Unidad TV

Por otro lado, la unidad TV no participa en el CPF ya que dicha unidad opera a presión deslizante, es decir, con la válvula de admisión 100% abierta. Esto se puede observar de mejor manera en la Figura 6.77.

P1_CPF = 96 MW + 78 MW (TG+TV):

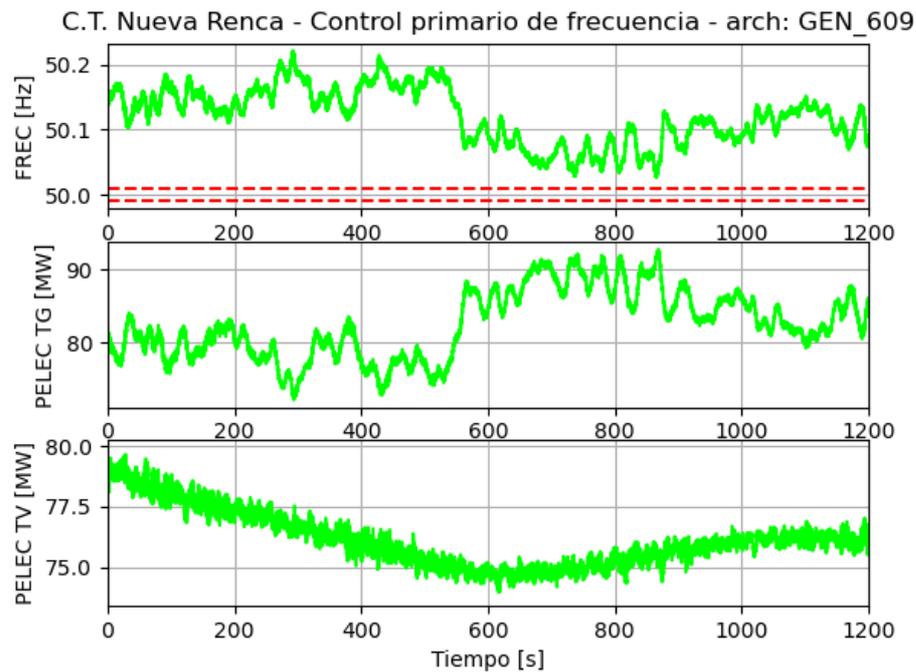


Figura 6.77: Respuesta ante variaciones de la red – PELECo = 82 MW – Combustible GNL

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 del regulador de carga velocidad homologado por Estudios Eléctricos en el documento **“EE-EN-2019-149-RD_Informe_de_homologación_NTSyCS_Ciclo_combinado TG-TV”**.

Se despacha el ciclo combinado operando con carga aislada a un valor de potencia activa de $P3_CPF = 267 \text{ MW}$ (170 MW + 97 MW). La Figura 6.78 ilustra el banco de pruebas con carga inicial.

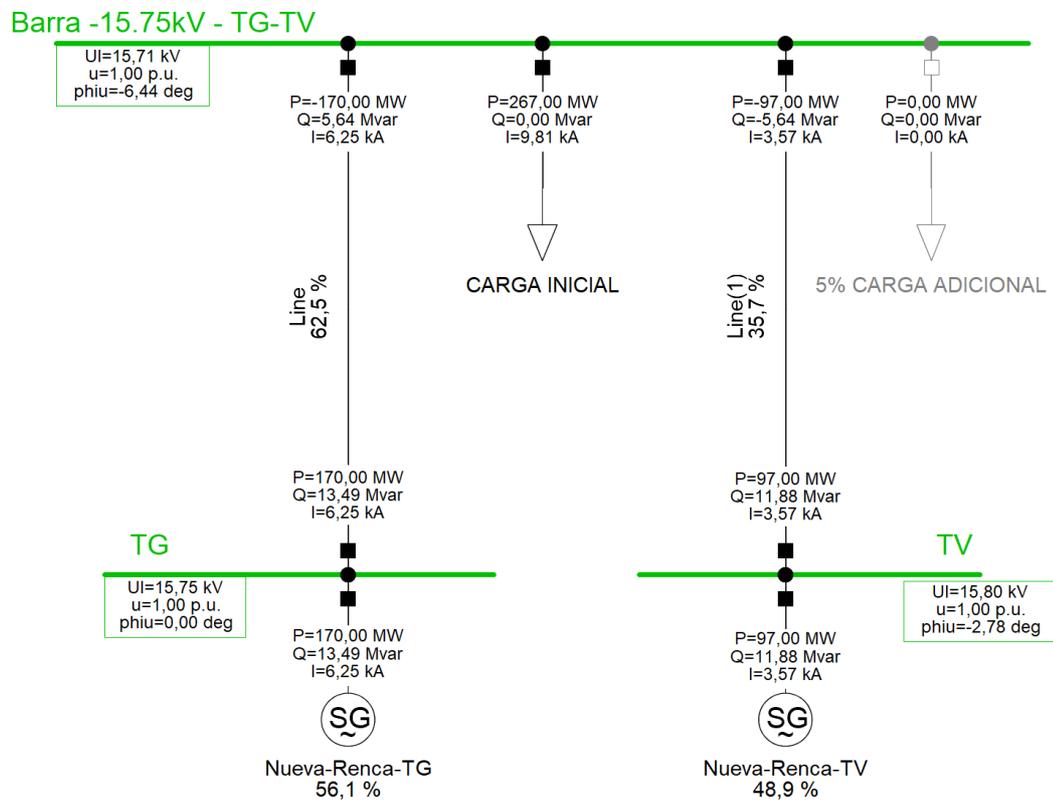


Figura 6.78: Despacho inicial ciclo combinado Nueva Renca PELECo = 267 MW

Luego, se realiza la conexión intempestiva de una carga equivalente al 5% de la potencia activa (13.35 MW). La Figura 6.79 ilustra el banco de pruebas posterior al evento.

Barra -15.75kV - TG-TV

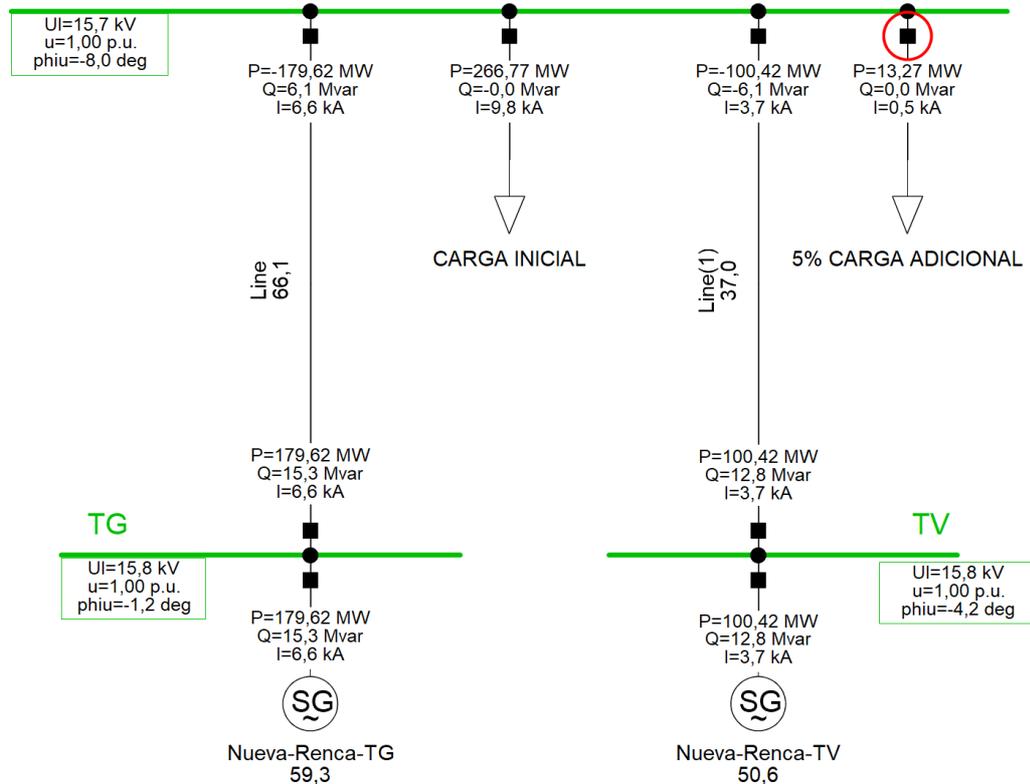


Figura 6.79: Despacho inicial ciclo combinado Nueva Renca PELECo = 267 MW

En la Figura 6.80 se visualiza que, al estar el ciclo en carga aislada y producto del aumento de potencia, la frecuencia cae e inmediatamente la unidad TG asume la demanda de potencia aumentado la generación. Por otra parte, como era de esperar, la unidad TV aumenta paulatinamente su generación, arrastrada por el aumento súbito llevado a cabo por la unidad TG. A medida que la unidad TV aumenta la generación, la unidad TG va disminuyendo su potencia, alcanzando un punto de equilibrio de generación entre ambas unidades y compensando de esta manera la demanda de la isla eléctrica. Se visualiza además que la frecuencia no se recupera ya que las unidades no poseen modo isócrona, por lo que en estado de régimen permanente se genera un delta de frecuencia.

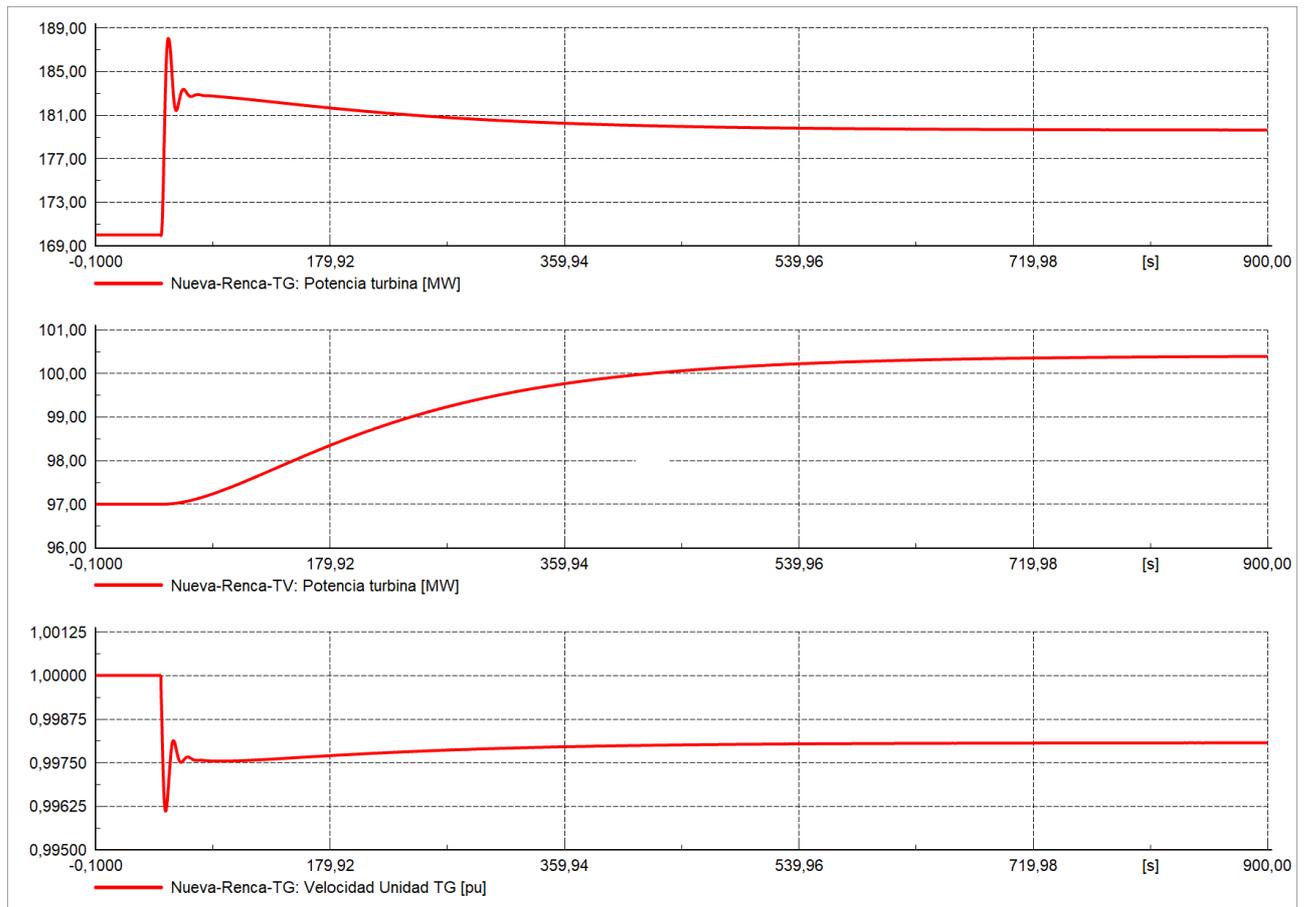


Figura 6.80: Evolución ciclo ante aumento de 5% de carga PELECo = 267 MW

En la Figura 6.81 se muestran los resultados del tiempo de establecimiento para ambas unidades del ciclo. En la Tabla 6.3 se resume los resultados.

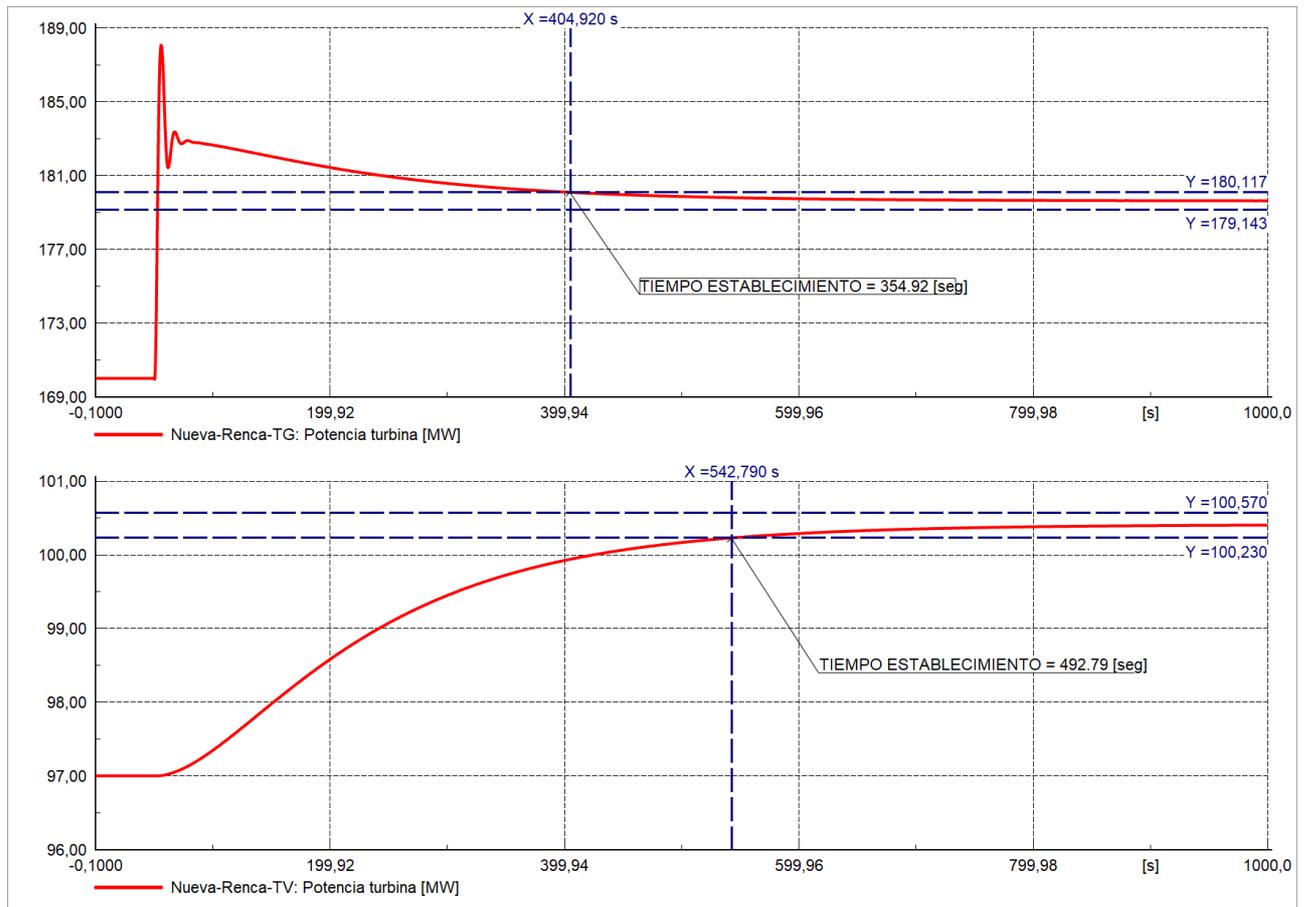


Figura 6.81: Tiempo establecimiento ciclo combinado PELECo = 267 MW

Parámetro	Unidad TG	Unidad TV
Tiempo de establecimiento	354.92 seg	492.79 seg

Tabla 6.3: Resumen tiempo establecimiento unidades TG y TV

6.4 Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control

Si bien los escalones de frecuencia realizados durante los ensayos no han superado los ± 0.4 Hz, por decisión de la Gerencia Técnica de Generadora Metropolitana, a partir del análisis de la lógica de control, se observa que a pesar de que existen restricciones al error de frecuencia, estos no impiden que la unidad responda ante desviaciones de la frecuencia de ± 0.7 Hz.

En la Figura 6.82 se observa que en el bloque de entrada, a partir de la desviación de velocidad (PFR_SPD_DEV9) y estadismo (DWKDG) se obtiene la desviación de potencia (PFRLD_CMD). Dicha desviación es limitada por un valor máximo (KPFRLDCL_MX) y mínimo (KPFRLDCL_MN) de potencia antes de dirigirse al bloque de control final del GOV. Estos límites de potencia máxima y mínima se encuentran configurados en ± 120 MW, por lo que dicho limitador no interfiere en la respuesta de la unidad ante escalones de ± 0.7 Hz, para los cuales se espera un aporte de la unidad TG de ± 75.9 MW.

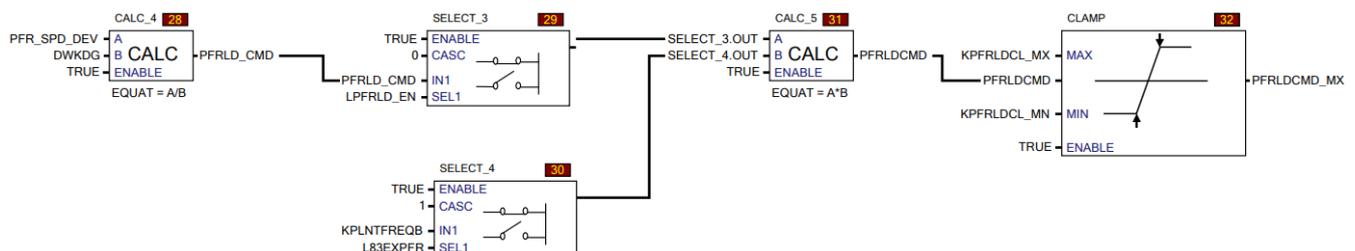


Figura 6.82: Lógica de control del GOV

Parámetros	Tag sistema control	Valor
Límite máximo	KPFRLDCL_MX	120 MW
Límite mínimo	KPFRLDCL_MN	-120 MW

Tabla 6.4: Parámetros lógica de control del GOV

En cuanto a la metodología para llevar a cabo las pruebas se trabaja directamente en la estación de ingeniería, desde donde personal capacitado de General Electric puede realizar las modificaciones a los parámetros de estadismo y banda muerta, los cuales pueden ser modificados de manera online con la unidad TG en carga. La Tabla 6.5 muestra los parámetros modificados transitoriamente durante las pruebas de Control de Frecuencia.

Parámetros	Ajuste original	Tag sistema control	Rango de ajuste
Estatismo	4%	DWKDG	4% a 5%
Banda muerta	10 mHz	TNKEDB	10 mHz a 25 mHz

Tabla 6.5: Parámetros pruebas CPF – Unidad TG

Vale decir, que el operador de planta no tiene acceso al cambio de estos parámetros.

Por otra parte, la configuración del escalón de frecuencia propiamente tal, se realiza desde la consola de operación, mostrada en la Figura 6.83, la cual cuenta con una interfaz de Modo Test de control del GOV Mark VIe de General Electric implementado en la central.

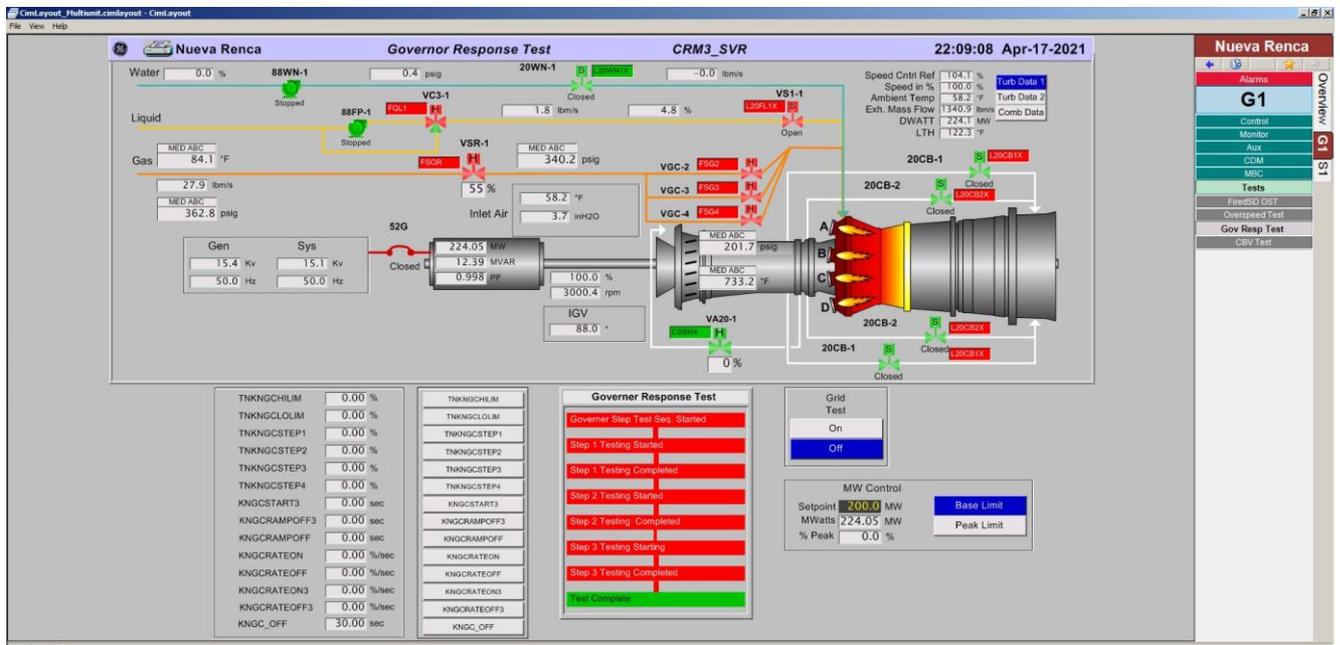


Figura 6.83: Interfaz de Modo Test control del GOV unidad TG

6.5 Análisis del CPF

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%,5%) y banda muerta ($\pm 10\text{mHz}$, $\pm 25\text{mHz}$) se verificó que la respuesta de la unidad TG resulta acorde a lo esperado en cuanto a su respuesta cualitativa, signo de la variación y aporte de potencia desarrollado. 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 TG.

Por otra parte, la unidad TV opera a presión deslizante con válvula principal de vapor 100% abierta como se ha mencionado. Esto implica que no realiza ninguna acción de control como consecuencia de las variaciones de frecuencia, no es capaz de prestar el servicio de CPF y por lo tanto no corresponde definir parámetros de desempeño. Lo anterior no quita que la unidad TV modificará su potencia activa como consecuencia de los cambios de potencia de la unidad TG y por lo tanto tendrá un aporte de largo plazo frente a desvíos sostenidos de la frecuencia del sistema.

6.5.1 Determinaciones a partir de los ensayos de escalón

A partir de las pruebas de escalón en la unidad TG (ver apartado 6.1), se calcula el estatismo de la máquina para los escalones de -0.2 Hz y -0.4 Hz, en el estado de carga P1_CPF, esto se repite para las pruebas con estatismo 4% y 5%.

Estatismo 4% - BM 10 mHz

En la Figura 6.84 y Figura 6.85 se puede apreciar la respuesta de la unidad TG ante un escalón de -0.2 Hz y -0.4 Hz respectivamente. A partir de las figuras se calcula el valor del estatismo de la máquina.

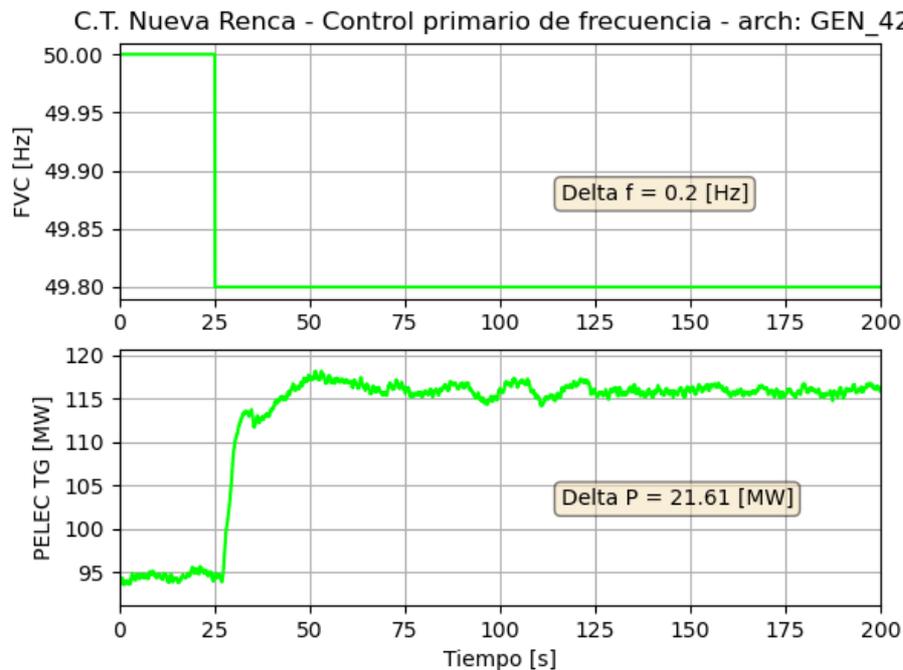


Figura 6.84: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 94.53 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 10 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 220 MW es:



$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - \text{BM}}{F_{\text{BASE}}}}{\frac{\Delta P}{T_{\text{RATE}}}} = \frac{(0.2 - 0.01)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{21.61 \text{ MW}}} = 3.9\%$$

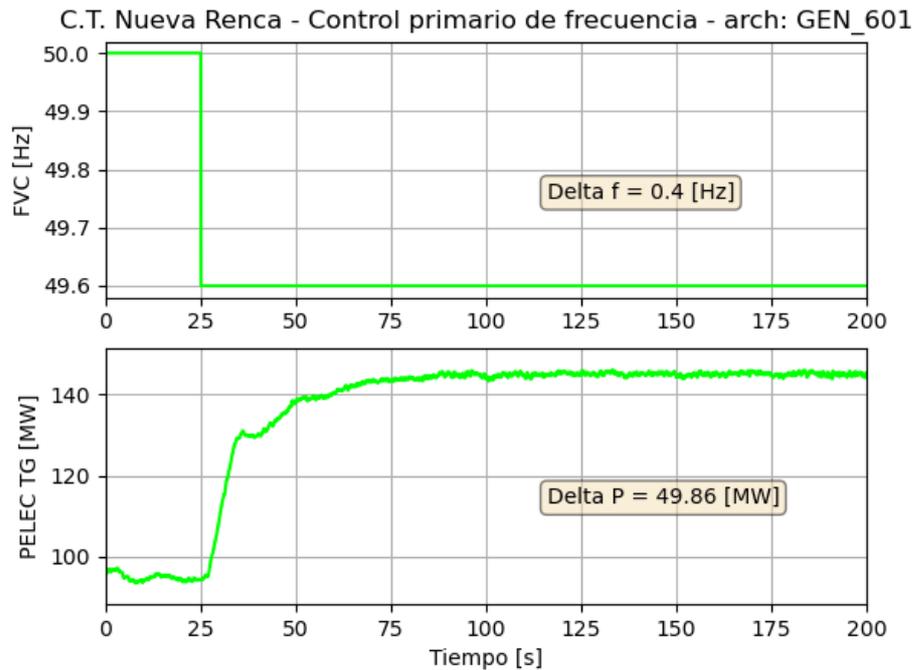


Figura 6.85: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.4 Hz - PELECo = 95.43 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 10 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 220 MW es:

$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - \text{BM}}{F_{\text{BASE}}}}{\frac{\Delta P}{T_{\text{RATE}}}} = \frac{(0.4 - 0.01)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{49.86 \text{ MW}}} = 3.4\%$$

Estatismo 5% - BM 10 mHz

En la Figura 6.86 y Figura 6.87 se puede apreciar la respuesta de la unidad TG ante un escalón de -0.2 Hz y -0.4 Hz respectivamente. A partir de las figuras se calcula el valor del estatismo de la máquina.

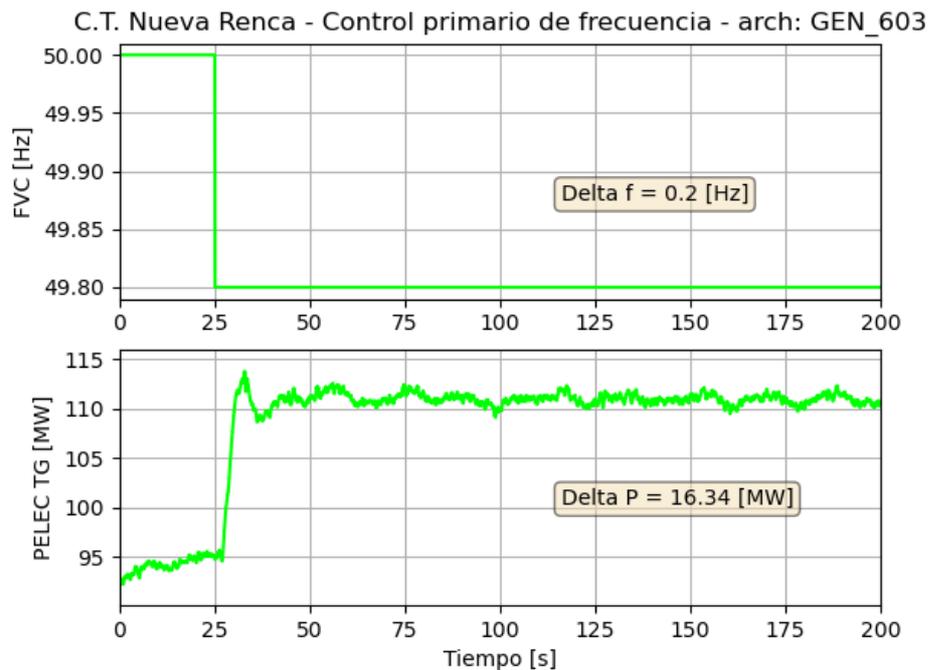


Figura 6.86: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 92.73 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 10 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 220 MW es:

$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - BM}{F_{BASE}}}{\frac{\Delta P}{T_{RATE}}} = \frac{(0.2 - 0.01)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{220 \text{ MW}}} = 5.1\%$$

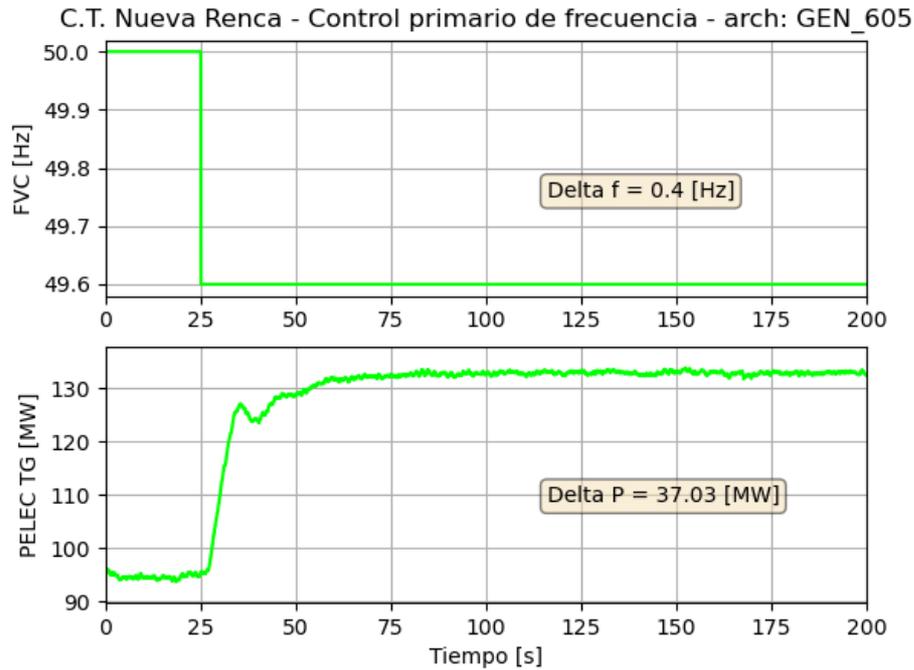


Figura 6.87: Respuesta al escalón en FVC – Step = -0.4 Hz – PELECo = 95.16 MW

El estatismo calculado, para una banda muerta (BM) de 10 mHz y una potencia base (T_{RATE}) de 220 MW es:

$$\text{Estatismo} = \frac{\frac{\Delta F - BM}{F_{BASE}}}{\frac{\Delta P}{T_{RATE}}} = \frac{(0.4 - 0.01)\text{Hz}}{\frac{50 \text{ Hz}}{37.03 \text{ MW}}} = 4.6\%$$

Se puede observar que el valor de estatismo de la unidad TG corresponde al asignado por el Asesor Técnico (TA) de General Electric al momento de ejecutar las pruebas. Esto se cumple para la operación con ambos estatismos.

6.5.2 Determinaciones a partir de los registros de operación normal

El control de carga/velocidad responde a un estatismo de 4% y posee una banda muerta de ± 10 mHz. A los efectos de comprobar experimentalmente estos valores se grafica la relación Potencia/Frecuencia, para un estatismo del 4% y banda muerta de ± 10 mHz y ± 25 mHz, en el estado de carga P1_CPF.

Banda Muerta de ± 10 mHz

Tal como se observa en la Figura 6.88, la unidad puede operar con una banda muerta de ± 10 mHz y responde a un estatismo de 4% utilizando la base de Trate = 220 MW.

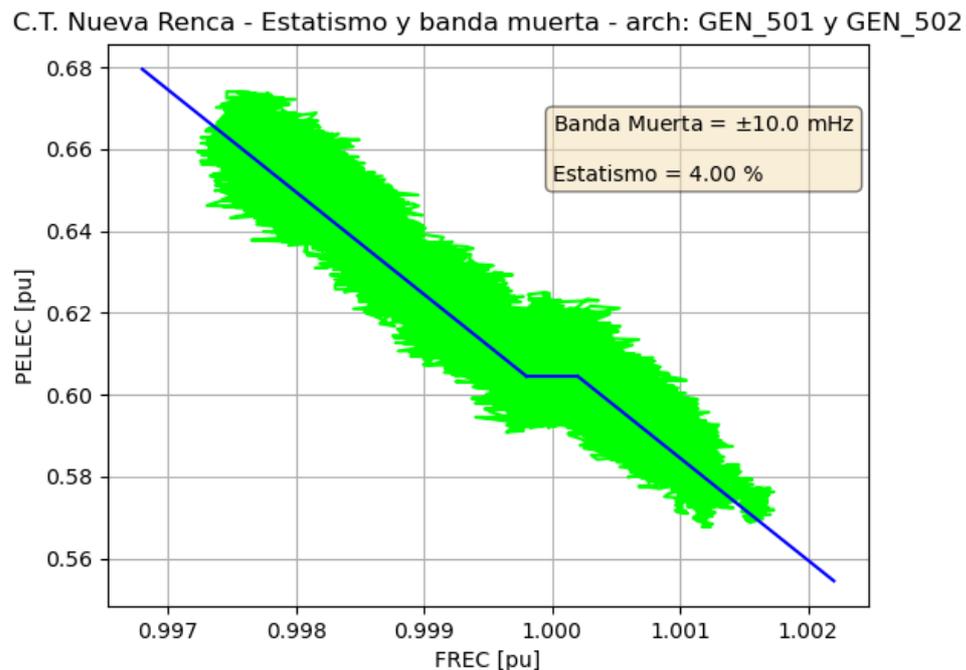


Figura 6.88: Determinación de banda muerta y estatismo - PELECo = 132.46 MW

Banda Muerta de ± 25 mHz

Tal como se observa en la Figura 6.89, la unidad puede operar con una banda muerta de ± 25 mHz y responde a un estatismo de 4% utilizando la base de Trate = 220 MW.



C.T. Nueva Renca - Estatismo y banda muerta - arch: GEN_503 y GEN_504

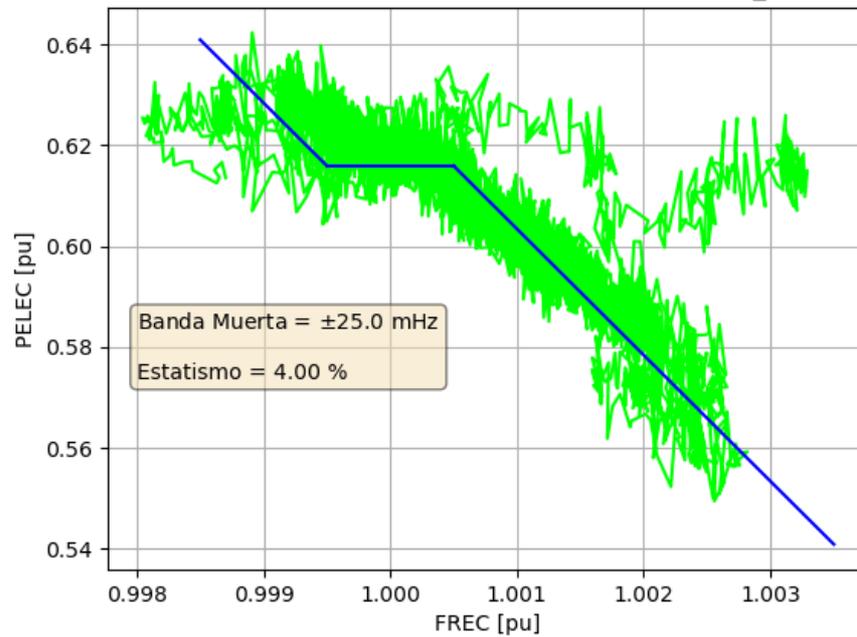


Figura 6.89: Determinación de banda muerta y estatismo – PELECo = 139.84 MW

Se observa que la unidad TG es capaz de operar con una banda muerta regulable. Se comprueba satisfactoriamente el valor actual de ± 10 mHz y el máximo permitido por la NTSyCS de ± 25 mHz, ante un estatismo del 4%. Se logra apreciar un comportamiento simétrico del CPF.

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

A partir de las pruebas de escalón en la unidad TG (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, esto se realiza para las pruebas con estatismo 4% y banda muerta de 10 mHz.

Escalón de -0.2 Hz

En la Figura 6.90 se puede apreciar la respuesta de la unidad TG 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.

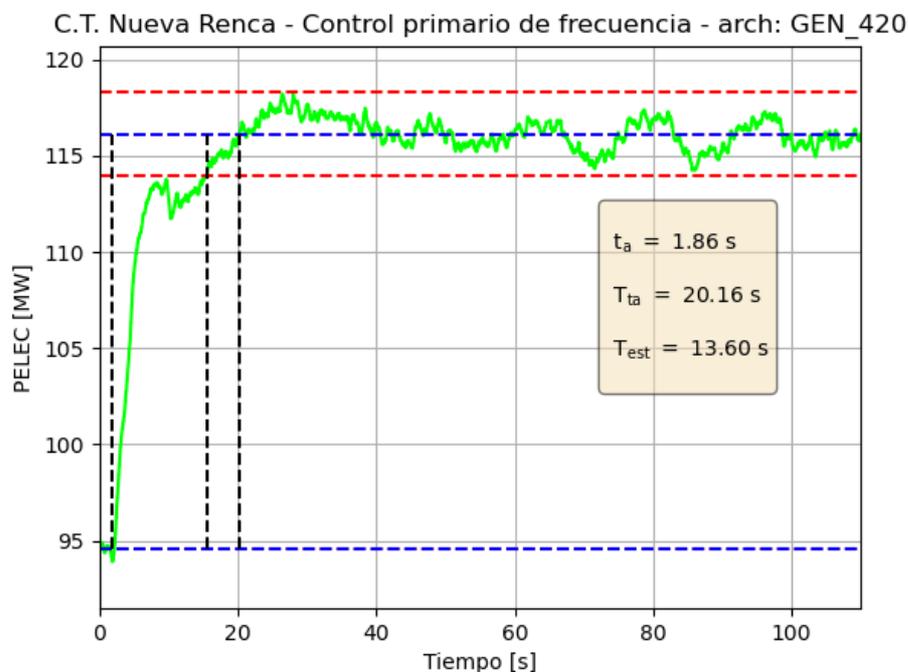


Figura 6.90: Respuesta al escalón en FVC - Step = -0.2 Hz - PELECo = 94.53 MW

Parámetro	Valor Medido
Tiempo de inicio de activación	1.86 seg
Tiempo total de activación	20.16 seg
Tiempo de establecimiento	13.60 seg

Tabla 6.6: Resumen de tiempo de la unidad TG

Escalón de +0.2 Hz

En la Figura 6.91 se puede apreciar la respuesta de la unidad TG 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.

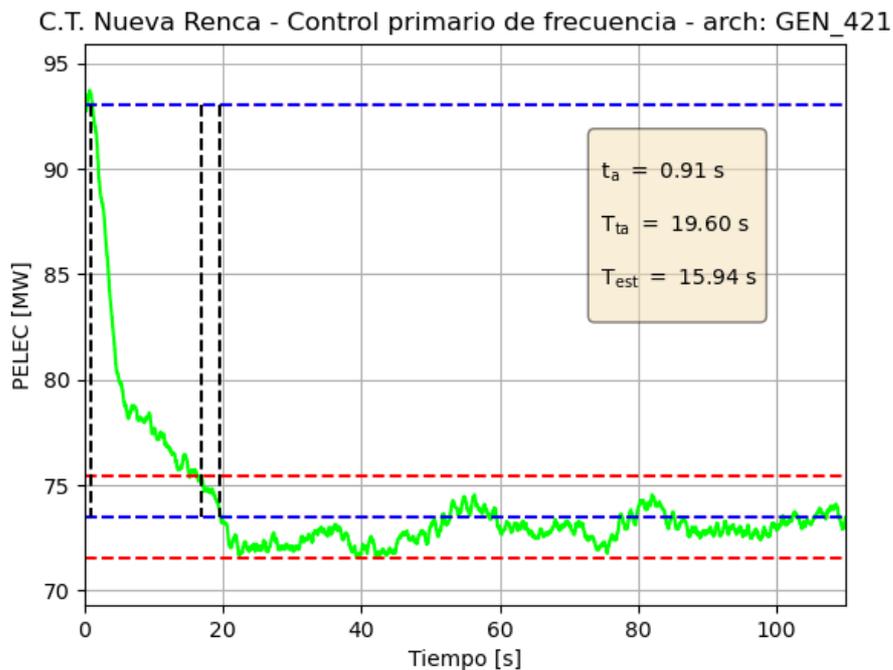


Figura 6.91: Respuesta al escalón en FVC - Step = +0.2 Hz - PELECo = 94.53 MW

Parámetro	Valor Medido
Tiempo de inicio de activación	0.91 seg
Tiempo total de activación	19.60 seg
Tiempo de establecimiento	15.94 seg

Tabla 6.7: Resumen de tiempos de la unidad TG

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



6.5.4 Resumen de aportes

Considerando la configuración de operación normal correspondiente a estadismo 4% y banda muerta ± 10 mHz se resumen los aportes obtenidos frente a perturbaciones de distinta amplitud.

Ciclo con combustible GNL:

Unidad TG	Aporte a 1 seg.				Aporte a los 10 seg.				Aporte a los 5 min.			
	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz
P1_CPF= 96 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	18.1 MW	-15.4 MW	63.9 MW	-52.9 MW	21.5 MW	-20.0 MW	75.9 MW	-75.9 MW
P2_CPF= 130 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	18.2 MW	-15.6 MW	68.7 MW	-51.3 MW	20.1 MW	-20.9 MW	75.9 MW	-75.9 MW
P3_CPF= 170 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	16.1 MW	-14.5 MW	50.0 MW	-48.1 MW	17.0 MW	-20.7 MW	50.0 MW	-75.9 MW
P4_CPF= 208 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	14.4 MW	-14.4 MW	12.0 MW	-48.3 MW	20.9 MW	-20.5 MW	12.0 MW	-75.9 MW

Tabla 6.8 – Resumen de aportes de potencia – Unidad TG – **Ciclo con combustible GNL**

Unidad TV ⁹	Aporte a 1 seg.				Aporte a los 10 seg.				Aporte a los 5 min.			
	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz
P1_CPF= 78 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	4.1 MW	-4.3 MW	14.0 MW	-14.0 MW
P2_CPF= 88 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	2.4 MW	-3.5 MW	14.4 MW	-14.5 MW
P3_CPF= 94 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	5.5 MW	-3.0 MW	12.1 MW	-13.7 MW
P4_CPF= 108 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	2.0 MW	-6.0 MW	2.0 MW	-14.0 MW

Tabla 6.9 – Resumen de aportes de potencia – Unidad TV – **Ciclo con combustible GNL**

⁹ Considerando que los fuegos adicionales se activan manualmente y en estado de plena carga, no han sido considerados para efectos de este análisis.

Ciclo con combustible DIESEL:

Unidad TG	Aporte a 1 seg.				Aporte a los 10 seg.				Aporte a los 5 min.			
	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz
P1_CPF= 136 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	16.5 MW	-16.7 MW	55.7 MW	-60.1 MW	22.5 MW	-21.1 MW	75.9 MW	-75.9 MW
P2_CPF= 158 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	15.3 MW	-17.1 MW	56.1 MW	-65.2 MW	20.7 MW	-19.9 MW	62.0 MW	-75.9 MW
P3_CPF= 185 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	15.3 MW	-17.4 MW	35.0 MW	-62.6 MW	18.7 MW	-21.1 MW	35.0 MW	-75.9 MW
P4_CPF= 200 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	10.4 MW	-15.3 MW	20.0 MW	-56.4 MW	18.2 MW	-20.6 MW	20.0 MW	-75.9 MW

Tabla 6.10 – Resumen de aportes de potencia – Unidad TG – **Ciclo con combustible DIESEL**

Unidad TV ¹⁰	Aporte a 1 seg.				Aporte a los 10 seg.				Aporte a los 5 min.			
	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz	-0.2 Hz	+0.2 Hz	-0.7 Hz	+0.7 Hz
P1_CPF= 85 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	4.1 MW	-4.3 MW	9.2 MW	-9.2 MW
P2_CPF= 91 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	4.0 MW	-3.0 MW	15.8 MW	-15.7 MW
P3_CPF= 95 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	6.7 MW	-3.6 MW	15.0 MW	-15.0 MW
P4_CPF= 101 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	~0 MW	5.0 MW	-4.0 MW	7.1 MW	-15.0 MW

Tabla 6.11 – Resumen de aportes de potencia – Unidad TV – **Ciclo con combustible DIESEL**

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 6.8 y Tabla 6.10, tanto para combustible GNL como para combustible DIESEL, se puede comprobar que el aporte de potencia activa de la unidad TG corresponde al esperado ante los escalones de ± 0.2 Hz. Por otro lado, según la información disponible en la sección 6.4, en la que se muestra que no habrá restricción, y asumiendo la respuesta como un sistema de primer orden, se muestran los valores teóricos para escalones de ± 0.7 Hz.

Por otra parte, la unidad TV al operar en arrastre con la unidad TG, y por ende presentar una dinámica lenta, no tiene un aporte de potencia en los primeros segundos. Luego, el aporte de la unidad TV a los 5 minutos viene dado por el cambio final de la unidad TG y según la Figura 6.1, Figura 6.13,

¹⁰ Considerando que los fuegos adicionales se activan manualmente y en estado de plena carga, no han sido considerados para efectos de este análisis.

Figura 6.21 y Figura 6.29, al operar con combustible GNL la unidad TV tiene un aporte a los 5 minutos en torno a un 77% del valor final. Al operar con combustible DIESEL y según la Figura 6.37, Figura 6.49, Figura 6.57 y Figura 6.65, la unidad tiene un aporte a los 5 minutos del 42%, 83%, 100% y 79% del valor final, respectivamente.

A continuación, se muestran los tiempos asociados al tiempo de activación y tiempo de establecimiento para saltos de ± 0.7 Hz.

Ciclo con combustible GNL:

Parámetro	Estado de carga	Saltos de -0.7 Hz		Saltos de +0.7 Hz	
		Unidad TG	Unidad TV	Unidad TG	Unidad TV
Tiempo de inicio de activación	P1	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg
	P2	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg
	P3	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg
	P4	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg

Tabla 6.12 – Tiempo de activación para saltos ± 0.7 Hz - **Ciclo con combustible GNL**

Parámetro	Estado de carga	Saltos de -0.7 Hz		Saltos de +0.7 Hz	
		Unidad TG	Unidad TV	Unidad TG	Unidad TV
Tiempo de establecimiento	P1	12.6 seg	> 5 min	13.4 seg	> 5 min
	P2	9.8 seg	> 5 min	14.4 seg	> 5 min
	P3	7.8 seg	> 5 min	16.4 seg	> 5 min
	P4	19.7 seg	> 5 min	16.3 seg	> 5 min

Tabla 6.13 – Tiempo de establecimiento para saltos ± 0.7 Hz - **Ciclo con combustible GNL**



Ciclo con combustible DIESEL:

Parámetro	Estado de carga	Saltos de -0.7 Hz		Saltos de +0.7 Hz	
		Unidad TG	Unidad TV	Unidad TG	Unidad TV
Tiempo de inicio de activación	P1	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg
	P2	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg
	P3	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg
	P4	< 2 seg	> 10 seg	< 2 seg	> 10 seg

Tabla 6.14 – Tiempo de activación para saltos ± 0.7 Hz - **Ciclo con combustible DIESEL**

Parámetro	Estado de carga	Saltos de -0.7 Hz		Saltos de +0.7 Hz	
		Unidad TG	Unidad TV	Unidad TG	Unidad TV
Tiempo de establecimiento	P1	12.6 seg	> 5 min	17.3 seg	> 5 min
	P2	17.1 seg	> 5 min	13.9 seg	> 5 min
	P3	13.5 seg	> 5 min	15.6 seg	> 5 min
	P4	27.2 seg	> 5 min	20.0 seg	> 5 min

Tabla 6.15 – Tiempo de establecimiento para saltos ± 0.7 Hz - **Ciclo con combustible DIESEL**

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)

7.1 Incremento de carga de la central

Se realiza la prueba con la tasa de toma de carga configurada actualmente en la unidad TG, es decir 6.1 MW/min. Para verificar el gradiente de toma de carga (MW/min) en la unidad TG, se comienza el ensayo operando el ciclo a mínimo técnico, y se incrementa la generación en la unidad TG hasta alcanzar potencia máxima disponible mediante un único cambio de referencia de potencia activa. Este proceso se realiza con combustible GNL y DIESEL.

Por otro lado, el gradiente de toma de carga de la unidad TV, se mide desde mínimo técnico hasta potencia máxima sin fuegos adicionales y se encienden los fuegos adicionales hasta alcanzar potencia máxima disponible en la unidad TV. El proceso de fuegos adicionales se repite con combustible GNL y GLP.

En la Tabla 7.1 se resumen los ensayos de incremento 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>Combustible</i>
160 (85+75)	330 (220+110)	GNL
205 (125+80)	338 (220+118)	DIESEL
330 (220+110)	380 (220+160)	GNL+GNL
330 (220+110)	362 (220+142)	GNL+GLP
338 (220+118)	368 (220+148)	DIESEL+GLP

Tabla 7.1: Ensayos de control terciario de frecuencia - Toma de carga

7.1.1 Toma de carga desde mínimo técnico (85 MW + 75 MW) a carga base (220 MW + 110 MW) - GNL

Unidad TG

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad TG desde un valor inicial de 87 MW a un valor final de 215 MW.

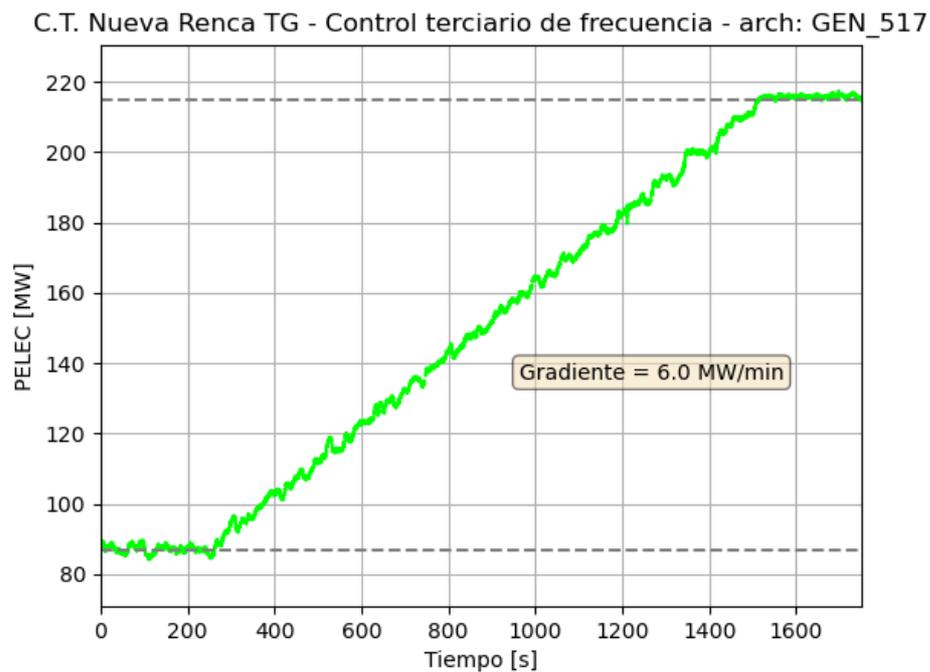


Figura 7.1: Toma de carga - Tasa = 6.0 MW/min - Unidad TG

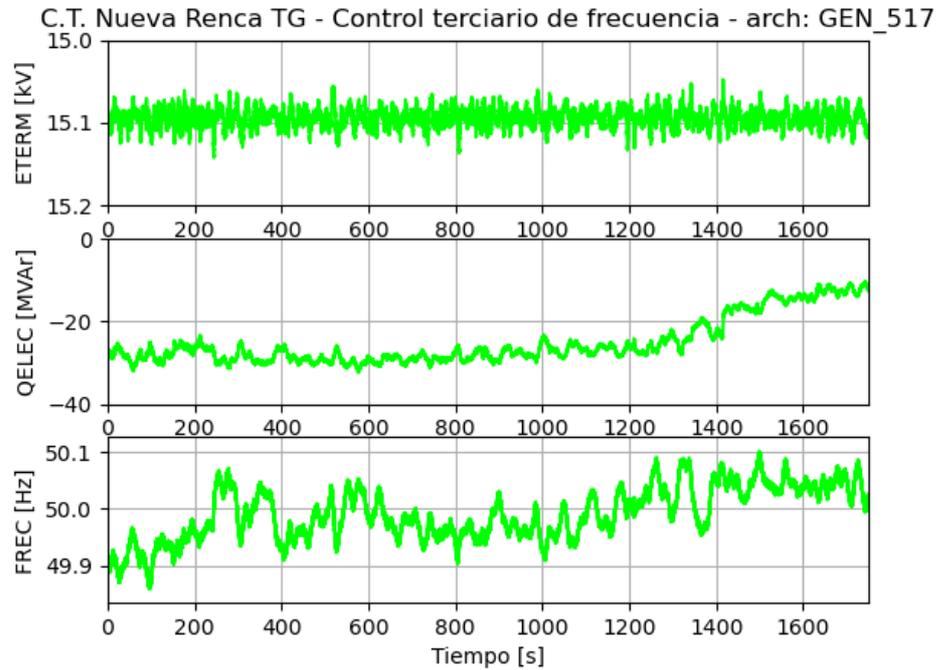


Figura 7.2: Toma de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TG

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TG presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 6.0 MW/min, lo que equivale a una tasa del 2.32%/min de la potencia nominal de la unidad TG (258.5 MW).

Unidad TV

Dado que la unidad TV opera a presión deslizante, la toma de carga en la unidad TG provoca un aumento de carga en la unidad TV desde un valor inicial de 68 MW a un valor final de 113 MW.

C.T. Nueva Renca TV - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_517

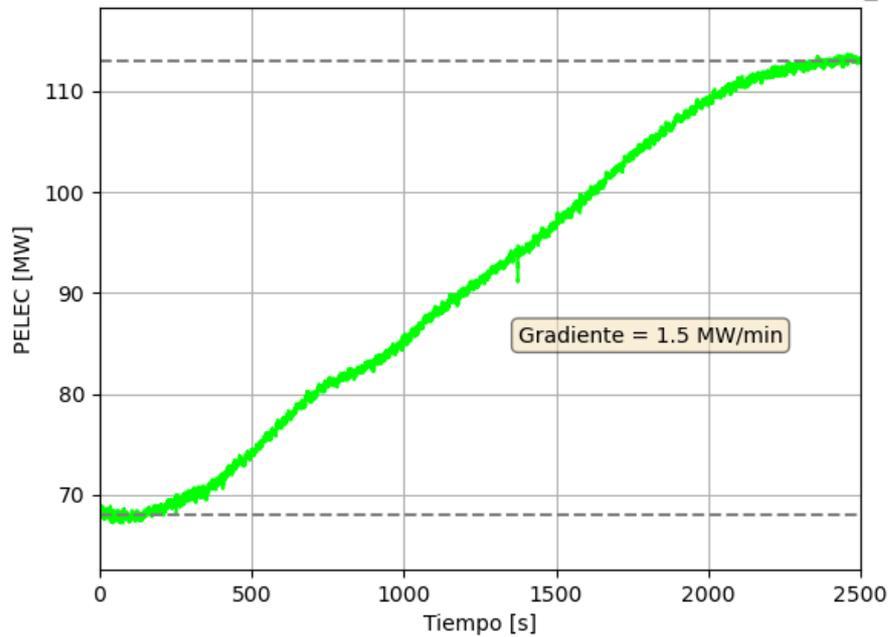


Figura 7.3: Toma de carga - Tasa = 1.5 MW/min - Unidad TV

C.T. Nueva Renca TV - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_517

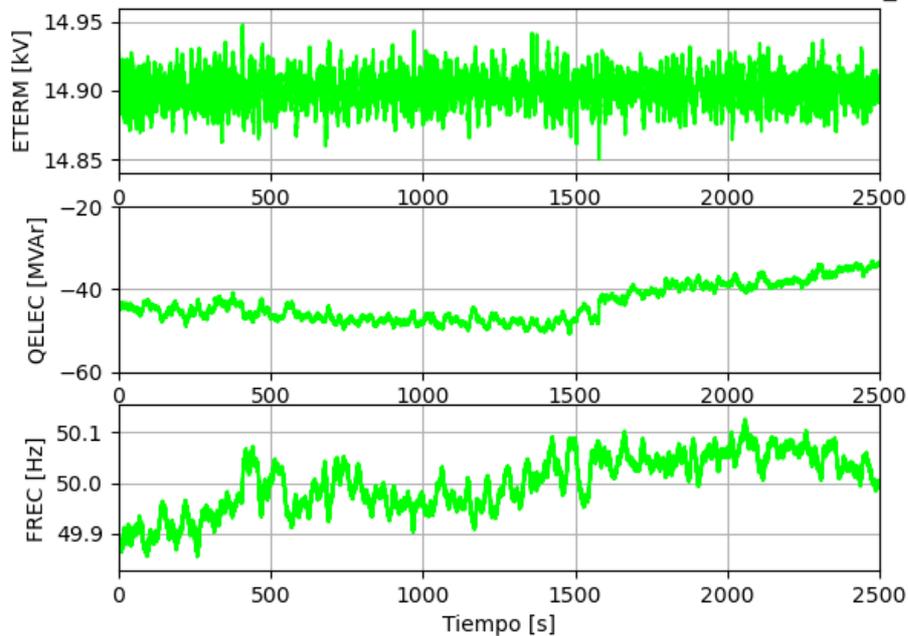


Figura 7.4: Toma de carga - Señales en terminales del generador - Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV 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 0.70%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).



7.1.2 Toma de carga desde mínimo técnico (125 MW + 80 MW) a carga base (220 MW + 118 MW) - DIESEL

Unidad TG

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad TG desde un valor inicial de 122 MW a un valor final de 222 MW.

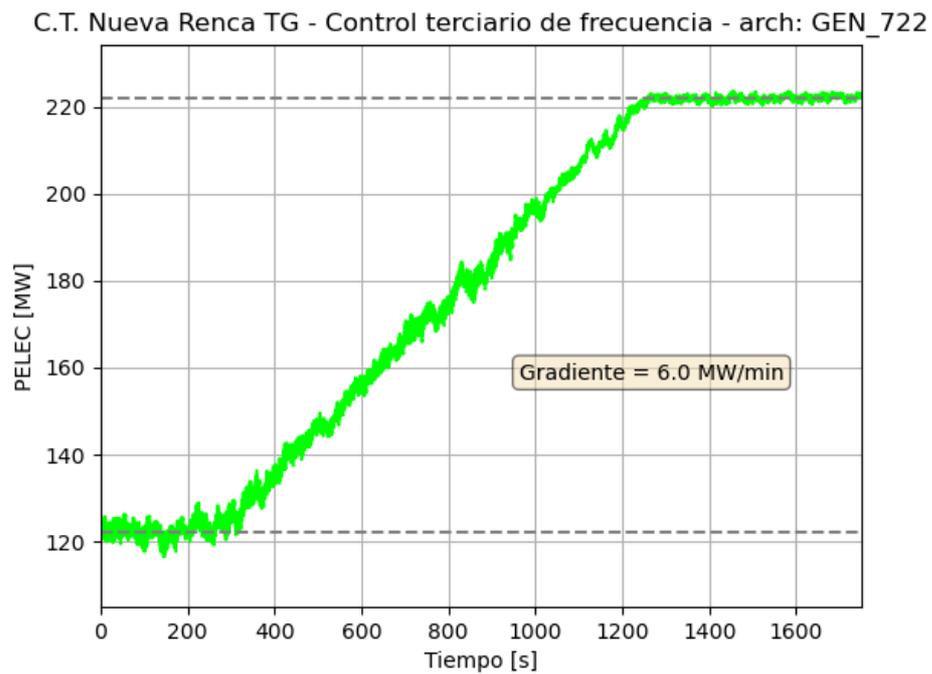


Figura 7.5: Toma de carga - Tasa = 6.0 MW/min - Unidad TG

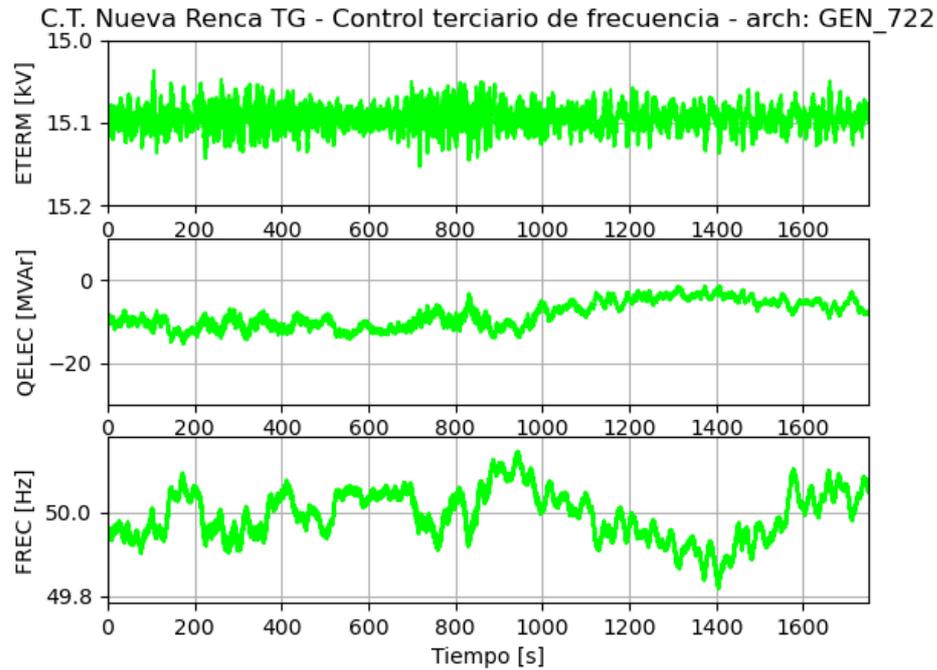


Figura 7.6: Toma de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TG

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TG presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 6.0 MW/min, lo que equivale a una tasa del 2.32%/min de la potencia nominal de la unidad TG (258.5 MW).

Unidad TV

Dado que la unidad TV opera a presión deslizante, la toma de carga en la unidad TG provoca un aumento de carga en la unidad TV desde un valor inicial de 86 MW a un valor final de 104 MW.

C.T. Nueva Renca TV - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_722

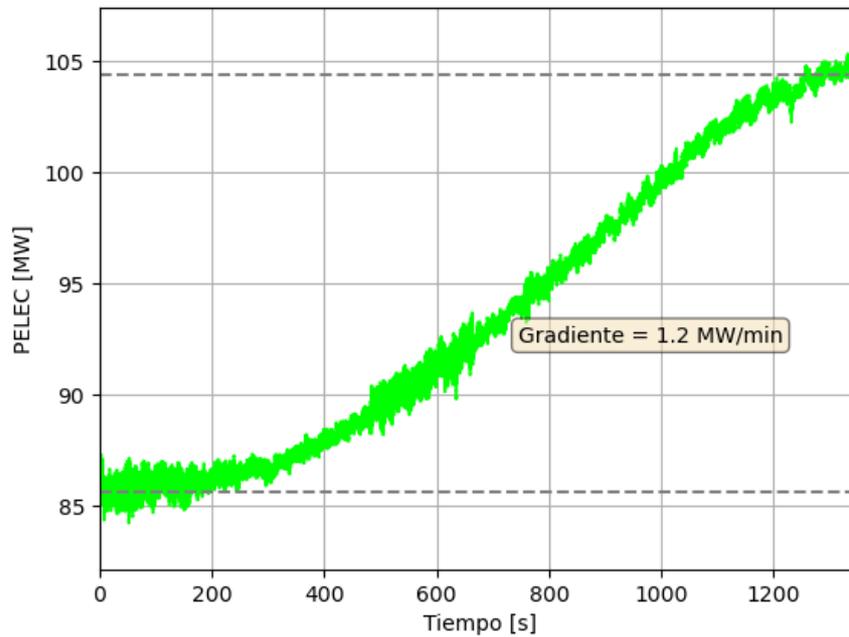


Figura 7.7: Toma de carga - Tasa = 1.2 MW/min - Unidad TV

C.T. Nueva Renca TV - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_722

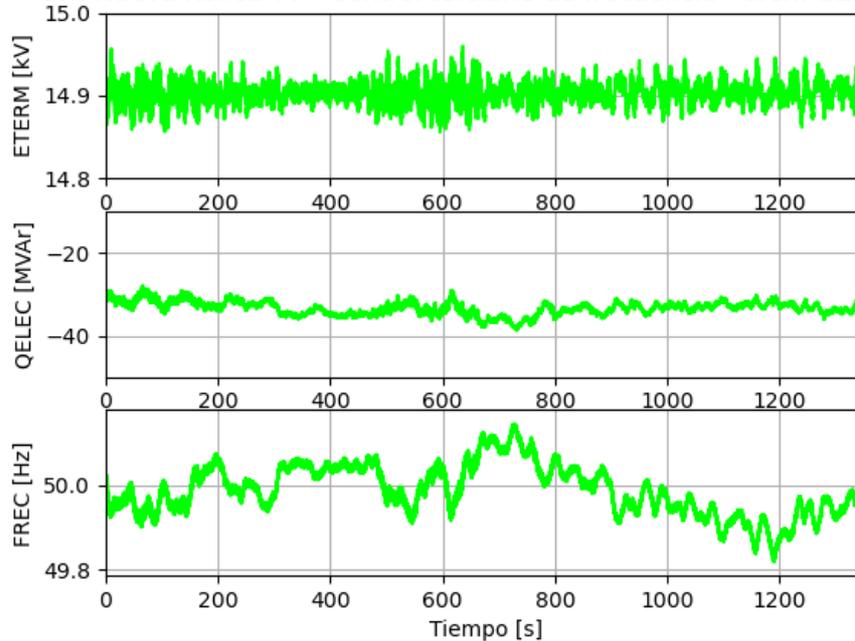


Figura 7.8: Toma de carga - Señales en terminales del generador - Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 1.2 MW/min, lo que equivale a una tasa del 0.56%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

7.1.3 Toma de carga desde carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) a carga base con fuegos adicionales (220 MW + 160 MW) - GNL+GNL

Unidad TV

Se realiza una toma de carga con la unidad TV desde un valor inicial de 112 MW a un valor final de 156 MW. Para ello se encienden los fuegos adicionales de manera inmediata en un solo paso.

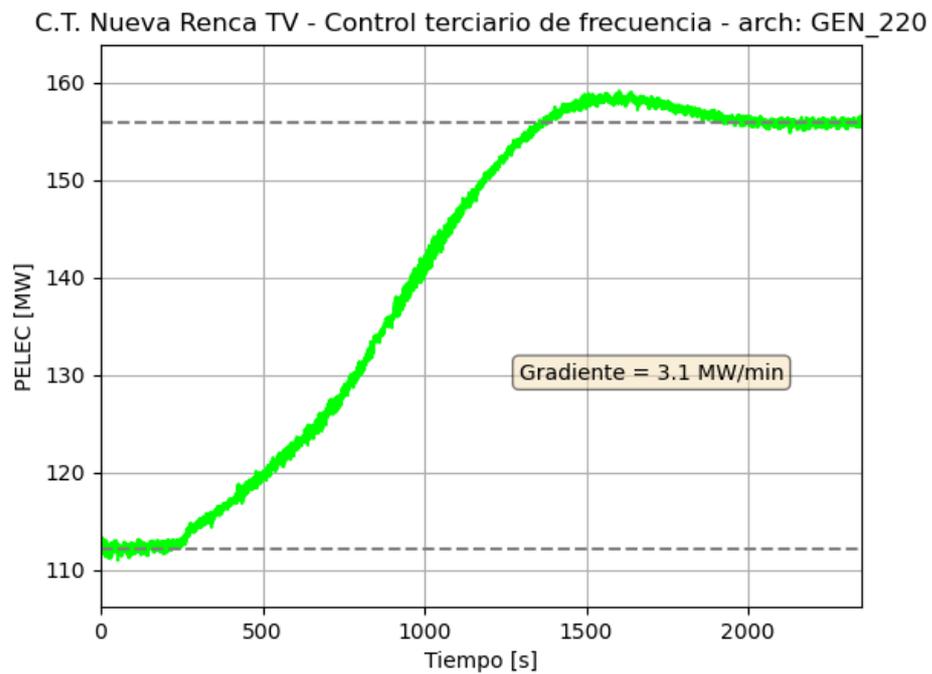


Figura 7.9: Toma de carga - Tasa = 3.1 MW/min - Unidad TV

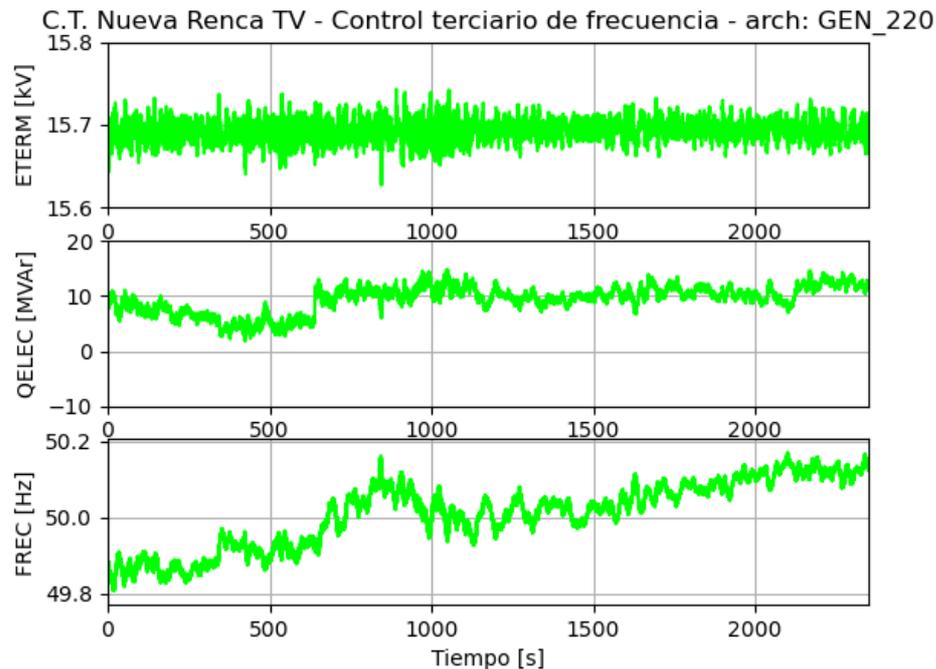


Figura 7.10: Toma de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 3.1 MW/min, lo que equivale a una tasa del 1.45%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

Cabe destacar que el gradiente de toma de carga de la unidad TV, al encender los fuegos adicionales con GNL, está fuertemente determinado por la constante de tiempo de transferencia energética entre la unidad TG hacia la unidad TV vía la caldera de recuperación de calor o HRSG.

7.1.4 Toma de carga desde carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) a carga base con fuegos adicionales (220 MW + 142 MW) - GNL+GLP

Unidad TV

Se realiza una toma de carga con la unidad TV desde un valor inicial de 113 MW a un valor final de 149 MW. Para ello se encienden los fuegos adicionales de manera inmediata en un solo paso.

C.T. Nueva Renca TV - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_519

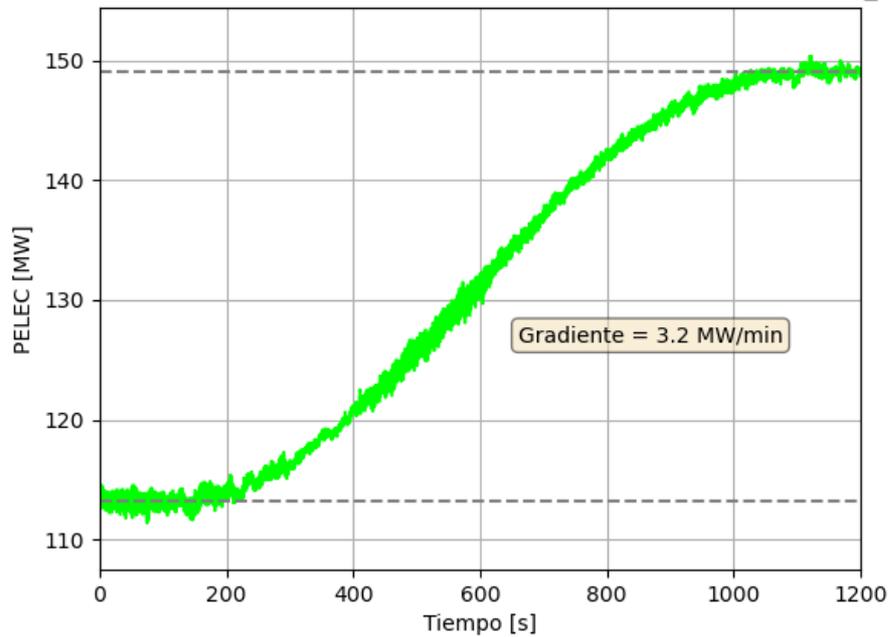


Figura 7.11: Toma de carga – Tasa = 3.2 MW/min – Unidad TV

C.T. Nueva Renca TV - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_519

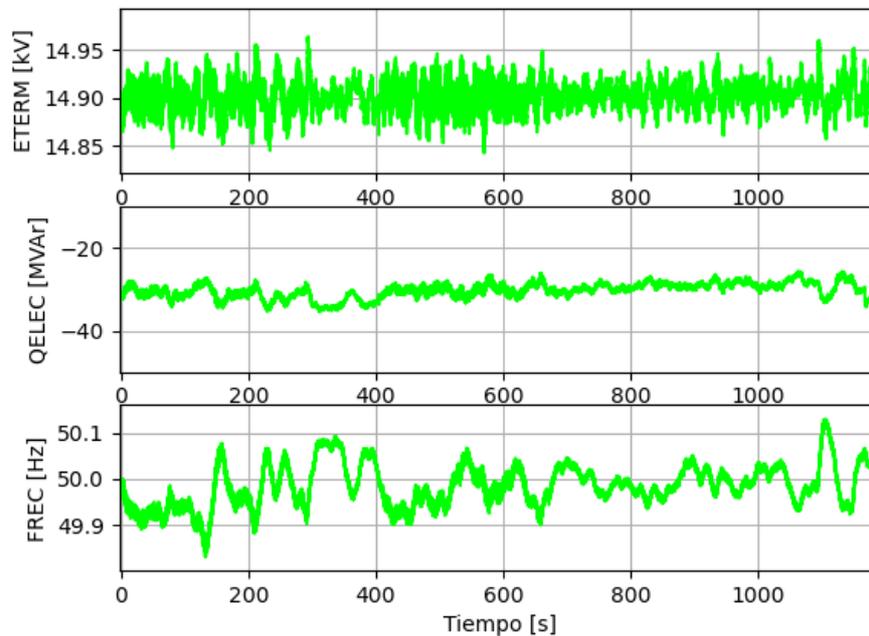


Figura 7.12: Toma de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 3.2 MW/min, lo que equivale a una tasa del 1.50%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).



Cabe destacar que el gradiente de toma de carga de la unidad TV, al encender los fuegos adicionales con GLP, está fuertemente determinado por la constante de tiempo de transferencia energética entre la unidad TG hacia la unidad TV vía la caldera de recuperación de calor o HRSG.

7.1.5 Toma de carga desde carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 118 MW) a carga base con fuegos adicionales (220 MW + 148 MW) - DIESEL+GLP

Unidad TV

Se realiza una toma de carga con la unidad TV desde un valor inicial de 103 MW a un valor final de 135 MW. Para ello se encienden los fuegos adicionales de manera inmediata en un solo paso.

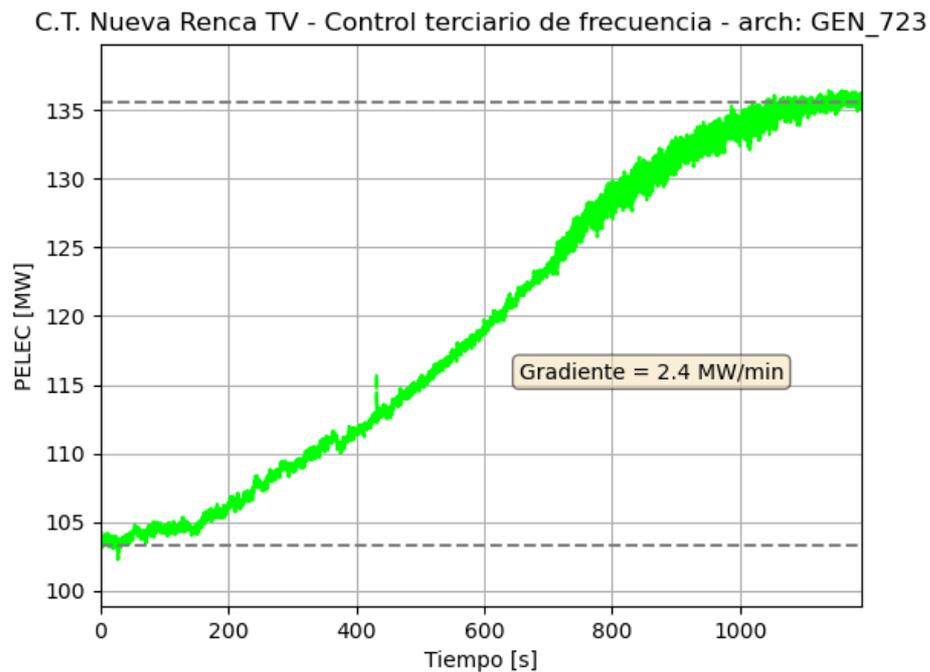


Figura 7.13: Toma de carga - Tasa = 2.4 MW/min - Unidad TV

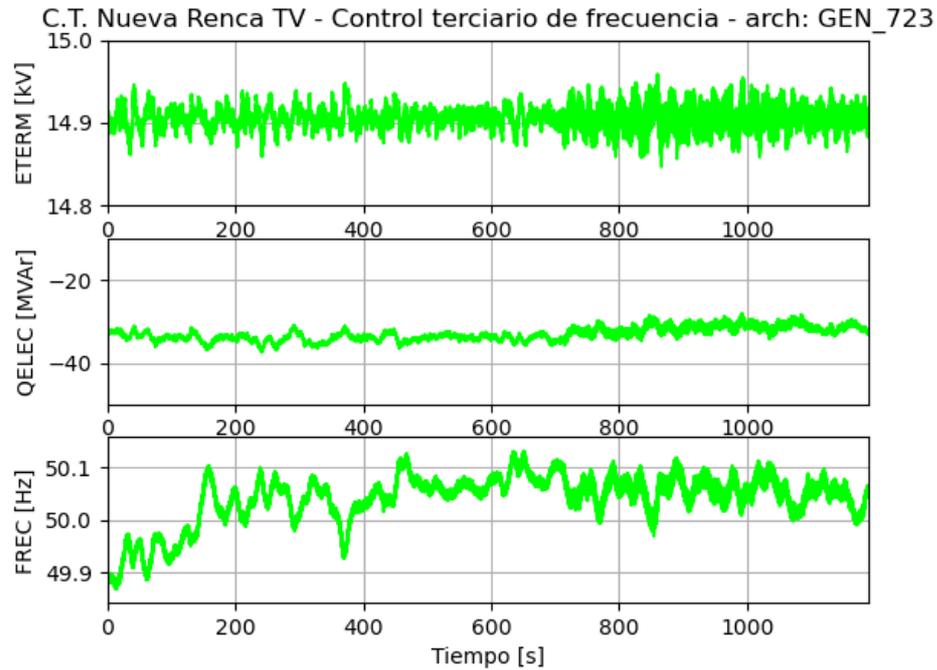


Figura 7.14: Toma de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 2.4 MW/min, lo que equivale a una tasa del 1.12%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

Cabe destacar que el gradiente de toma de carga de la unidad TV, al encender los fuegos adicionales con GLP, está fuertemente determinado por la constante de tiempo de transferencia energética entre la unidad TG hacia la unidad TV vía la caldera de recuperación de calor o HRSG.



7.2 Reducción de carga de la central

Se realiza la prueba con la tasa de bajada de carga configurada actualmente en la unidad TG, es decir -6.1 MW/min. Para verificar el gradiente de bajada de carga (MW/min) en la unidad TG, se comienza el ensayo operando a potencia máxima, y se reduce la generación en la unidad TG hasta alcanzar mínimo técnico disponible mediante un **único** cambio de referencia de potencia activa. Este proceso se realiza con combustible GNL y DIESEL.

Por otro lado, el gradiente de reducción de carga de la unidad TV, se mide desde potencia máxima con fuegos adicionales y se apagan los fuegos adicionales hasta alcanzar potencia máxima disponible en la unidad TV. Este proceso se repite con combustible GNL y GLP.

En la Tabla 7.2 se resumen los ensayos de decremento de carga. Estos valores son aproximados y pueden diferir con el despacho real alcanzado en los ensayos.

Despacho Inicial de Potencia Activa [MW]	Despacho Final de Potencia Activa [MW]	Combustible
330 (220+110)	160 (85+75)	GNL
338 (220+118)	205 (125+80)	DIESEL
380 (220+160)	330 (220+110)	GNL+GNL
362 (220+142)	330 (220+110)	GNL+GLP
368 (220+148)	338 (220+118)	DIESEL+GLP

Tabla 7.2: Ensayos de control terciario de frecuencia – Bajada de carga

7.2.1 Reducción de carga desde carga base a mínimo técnico - GNL

Unidad TG

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad TG desde un valor inicial de 217 MW a un valor final de 87 MW.

C.T. Nueva Renca TG - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_518

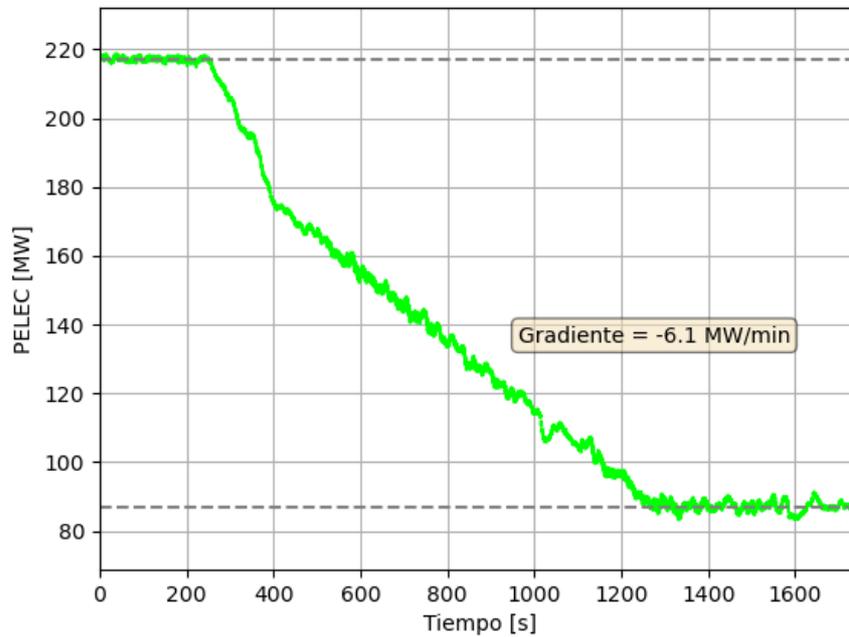


Figura 7.15: Bajada de carga - Tasa = -6.1 MW/min - Unidad TG

C.T. Nueva Renca TG - Control terciario de frecuencia - arch: GEN_518

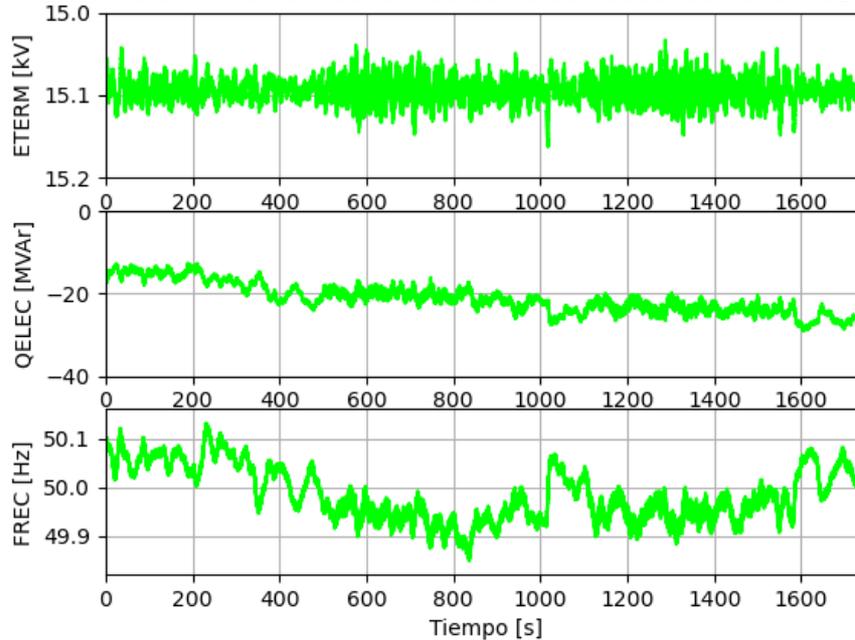


Figura 7.16: Bajada de carga - Señales en terminales del generador - Unidad TG

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TG presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -6.1 MW/min , lo que equivale a una tasa del $-2.36\%/min$ de la potencia nominal de la unidad TG (258.5 MW).

Unidad TV

Dado que la unidad TV opera a presión deslizante, la bajada de carga en la unidad TG provoca un descenso de carga en la unidad TV desde un valor inicial de 113 MW a un valor final de 72 MW.

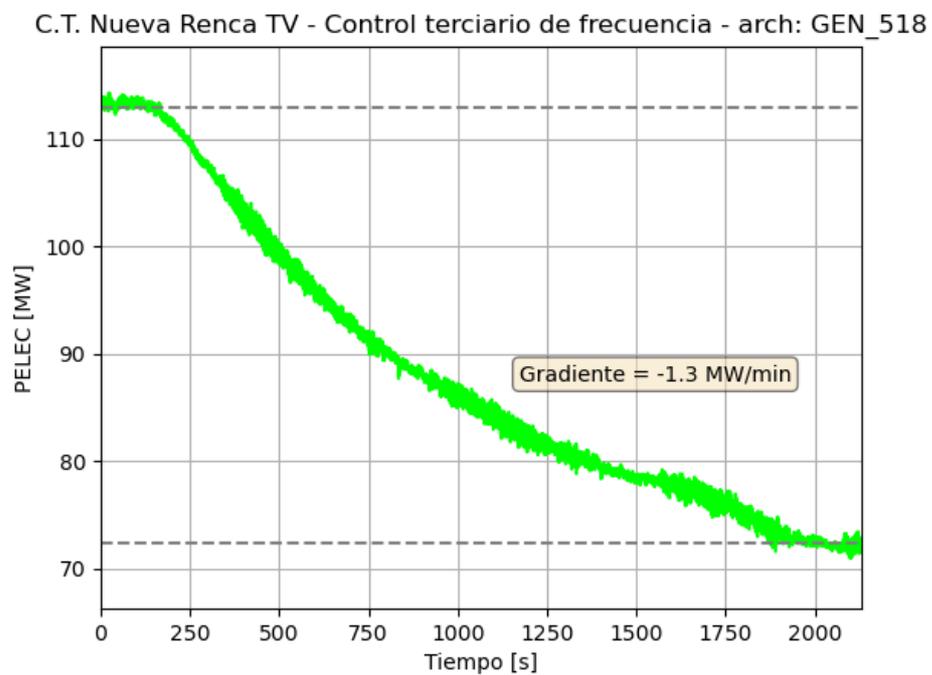


Figura 7.17: Bajada de carga - Tasa = -1.3 MW/min - Unidad TV

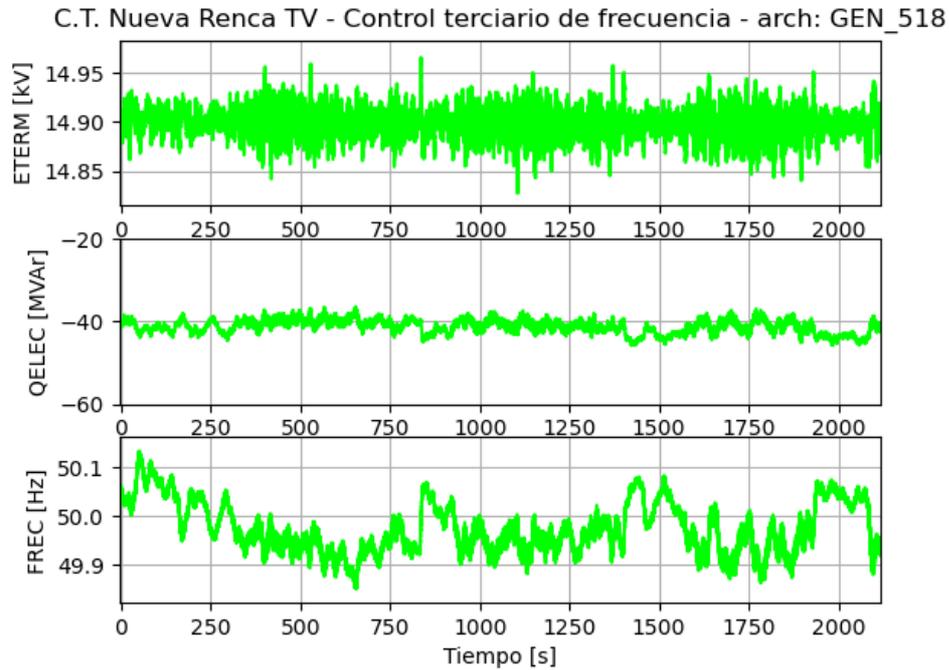


Figura 7.18: Bajada de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -1.3 MW/min , lo que equivale a una tasa del $-0.61\%/min$ de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

7.2.2 Reducción de carga desde carga base (220 MW + 118 MW) a mínimo técnico (125 MW + 80 MW) - DIESEL

Unidad TG

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad TG desde un valor inicial de 222 MW a un valor final de 122 MW.

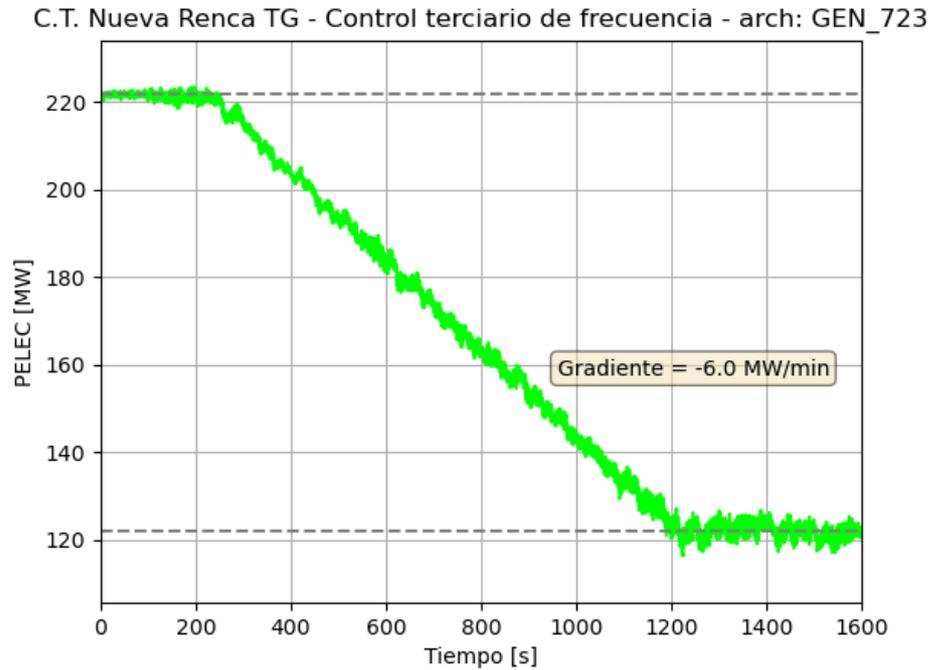


Figura 7.19: Bajada de carga - Tasa = -6.0 MW/min - Unidad TG

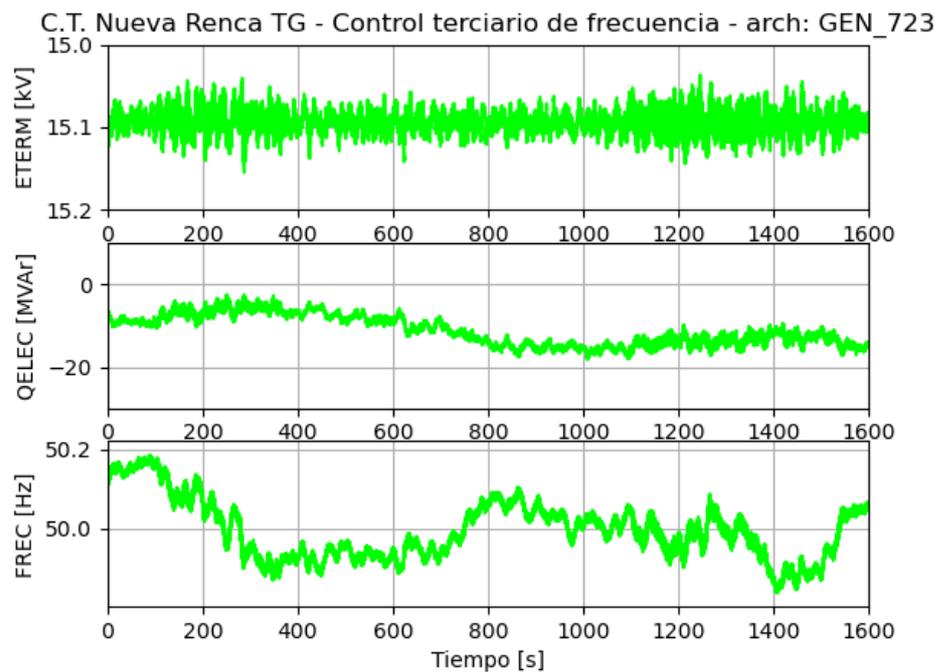


Figura 7.20: Bajada de carga - Señales en terminales del generador - Unidad TG

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TG presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -6.0 MW/min , lo que equivale a una tasa del $-2.32\%/min$ de la potencia nominal de la unidad TG (258.5 MW).

Unidad TV

Dado que la unidad TV opera a presión deslizante, la bajada de carga en la unidad TG provoca un descenso de carga en la unidad TV desde un valor inicial de 105 MW a un valor final de 86 MW .

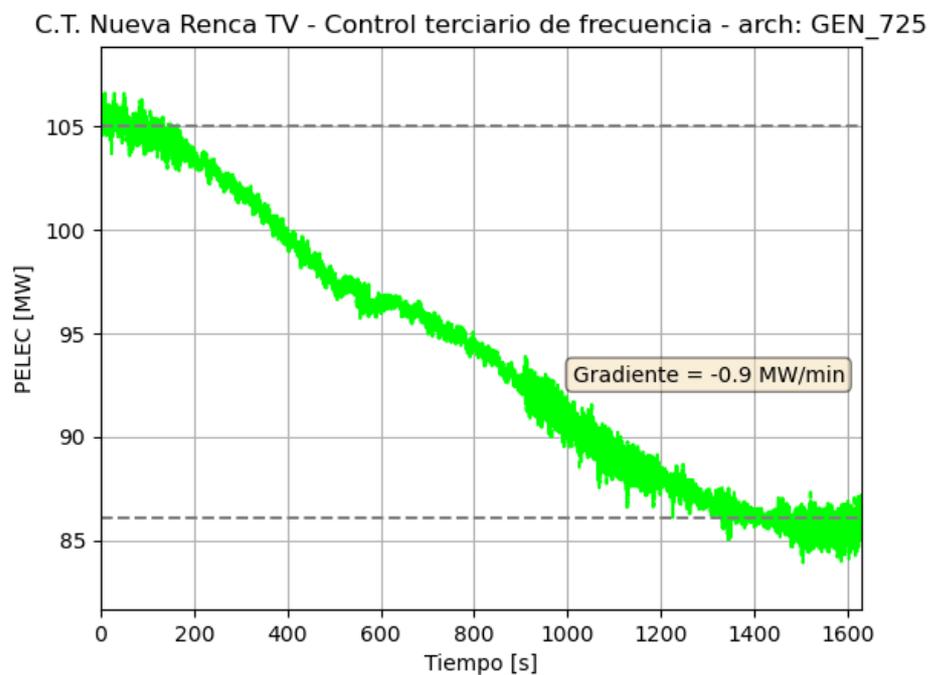


Figura 7.21: Bajada de carga - Tasa = -0.9 MW/min - Unidad TV

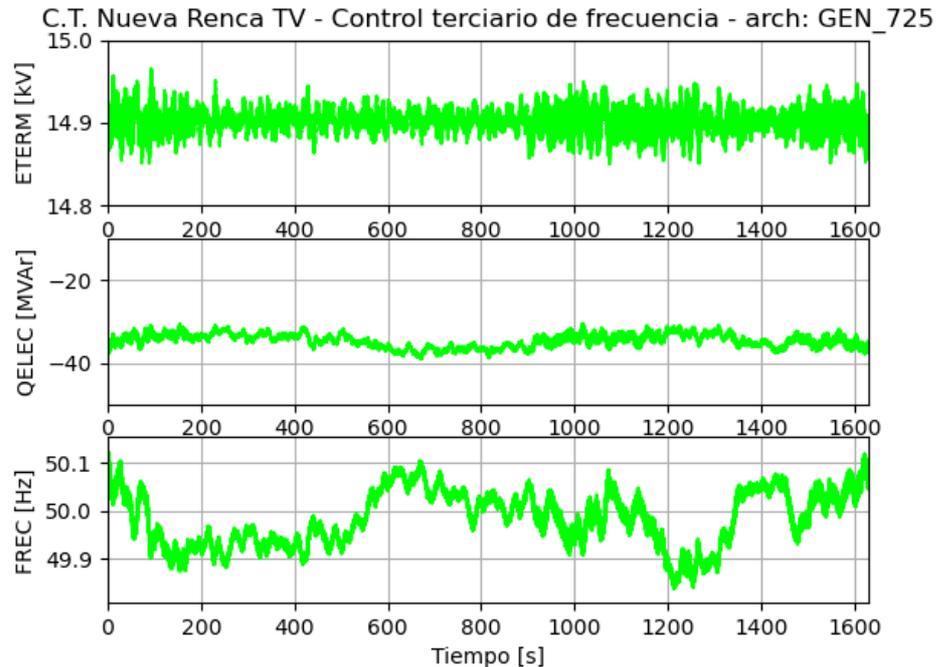


Figura 7.22: Bajada de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -0.9 MW/min , lo que equivale a una tasa del $-0.42\%/min$ de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

7.2.3 Reducción de carga desde carga base con fuegos adicionales (220 MW + 160 MW) a carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) - GNL+GNL

Unidad TV

Se realiza una bajada de carga con la unidad TV desde un valor inicial de 158 MW a un valor final de 115 MW. Para ello se apagan los fuegos adicionales de manera inmediata en un solo paso.

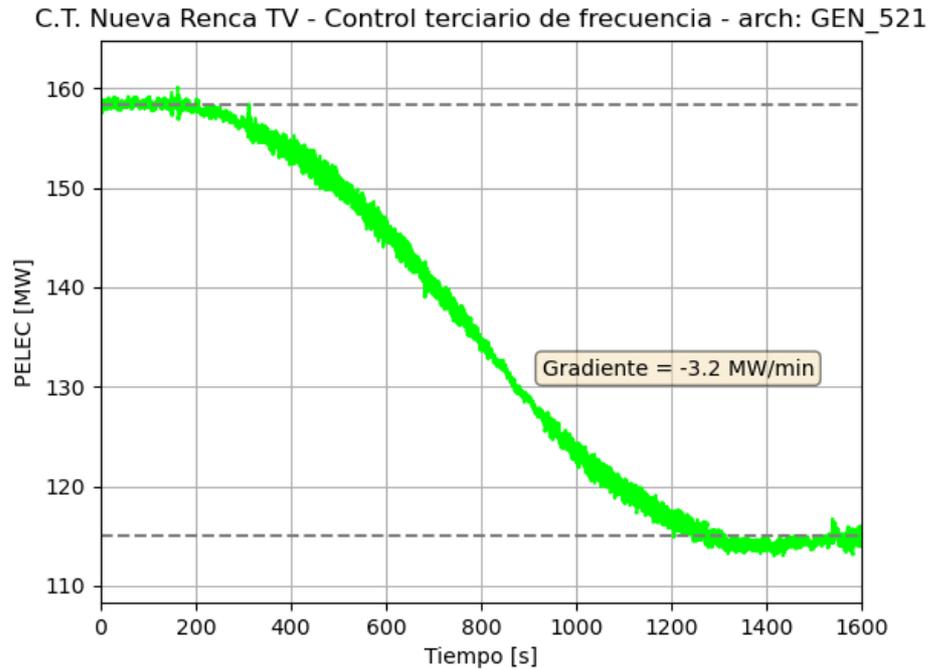


Figura 7.23: Bajada de carga - Tasa = -3.2 MW/min - Unidad TV

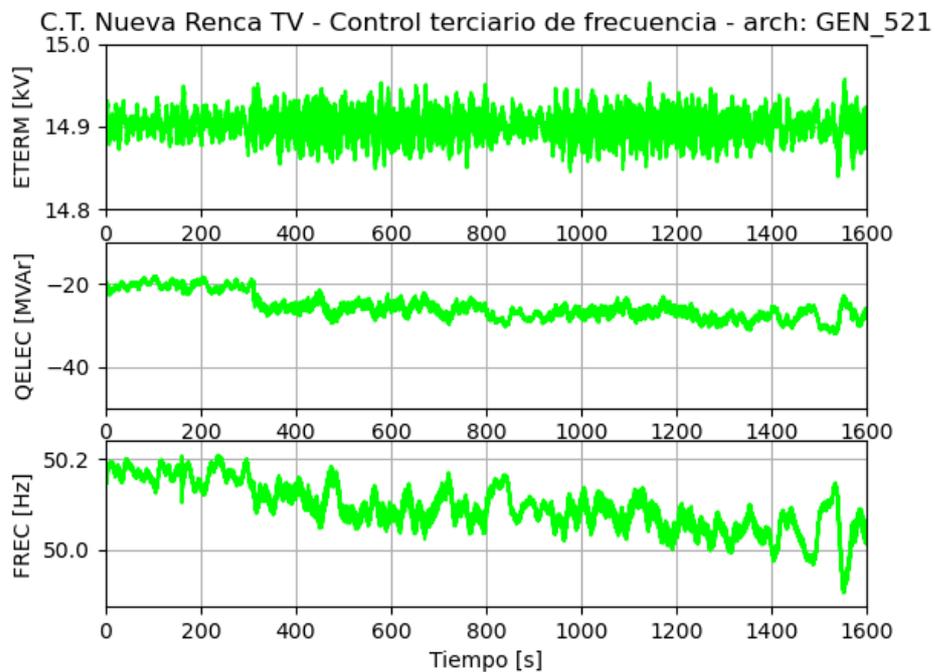


Figura 7.24: Bajada de carga - Señales en terminales del generador - Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -3.2 MW/min, lo que equivale a una tasa del 1.50%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

Cabe destacar que el gradiente de bajada de carga de la unidad TV, al apagar los fuegos adicionales con GNL, está fuertemente determinado por la constante de tiempo de transferencia energética entre la unidad TG hacia la unidad TV vía la caldera de recuperación de calor o HRSG.

7.2.4 Reducción de carga desde carga base con fuegos adicionales (220 MW + 142 MW) a carga base sin fuegos adicionales (220 MW + 110 MW) - GNL+GLP

Unidad TV

Se realiza una bajada de carga con la unidad TV desde un valor inicial de 149 MW a un valor final de 111 MW. Para ello se apagan los fuegos adicionales de manera inmediata en un solo paso.

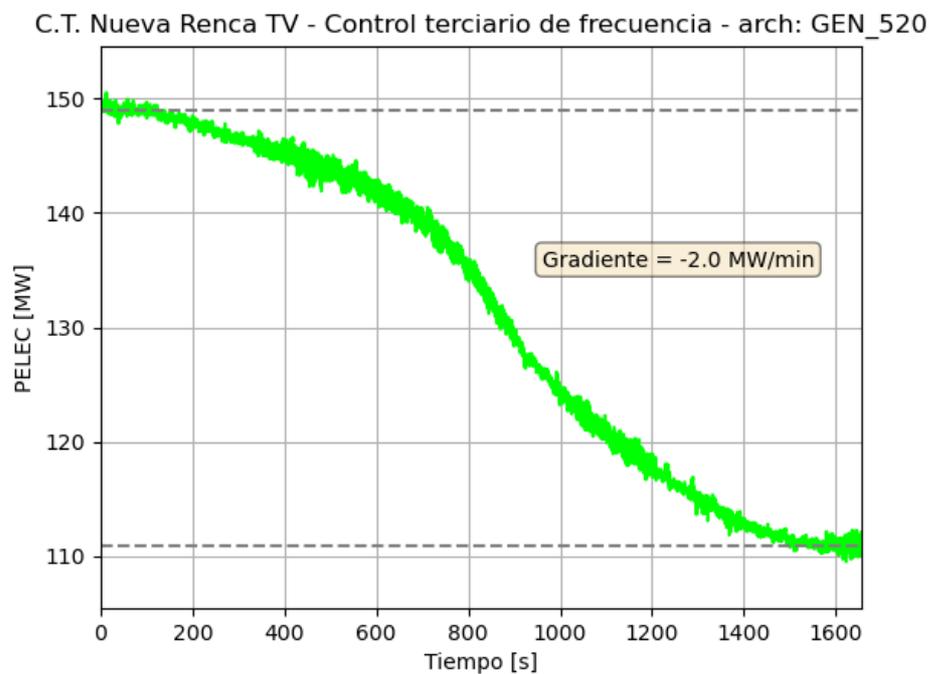


Figura 7.25: Bajada de carga - Tasa = -2.0 MW/min - Unidad TV

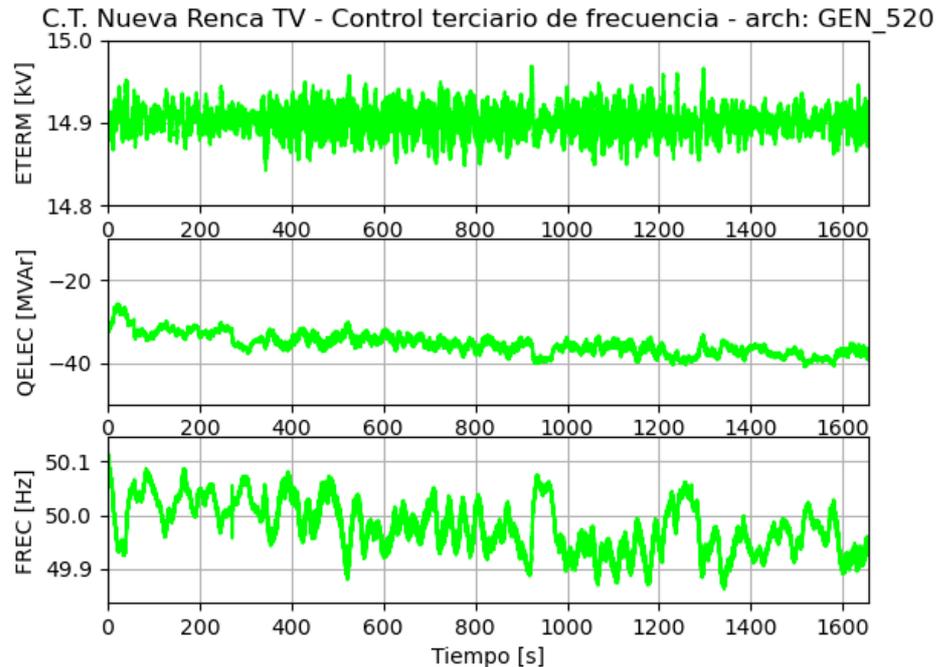


Figura 7.26: Bajada de carga – Señales en terminales del generador – Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -2.0 MW/min , lo que equivale a una tasa del $-0.94\%/min$ de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

Cabe destacar que el gradiente de bajada de carga de la unidad TV, al apagar los fuegos adicionales con GLP, está fuertemente determinado por la constante de tiempo de transferencia energética entre la unidad TG hacia la unidad TV vía la caldera de recuperación de calor o HRSG.

7.2.5 Reducción de carga desde carga base con fuegos adicionales a carga base sin fuegos adicionales- DIESEL+GLP

Unidad TV

Se realiza una bajada de carga con la unidad TV desde un valor inicial de 136 MW a un valor final de 104 MW. Para ello se apagan los fuegos adicionales de manera inmediata en un solo paso.

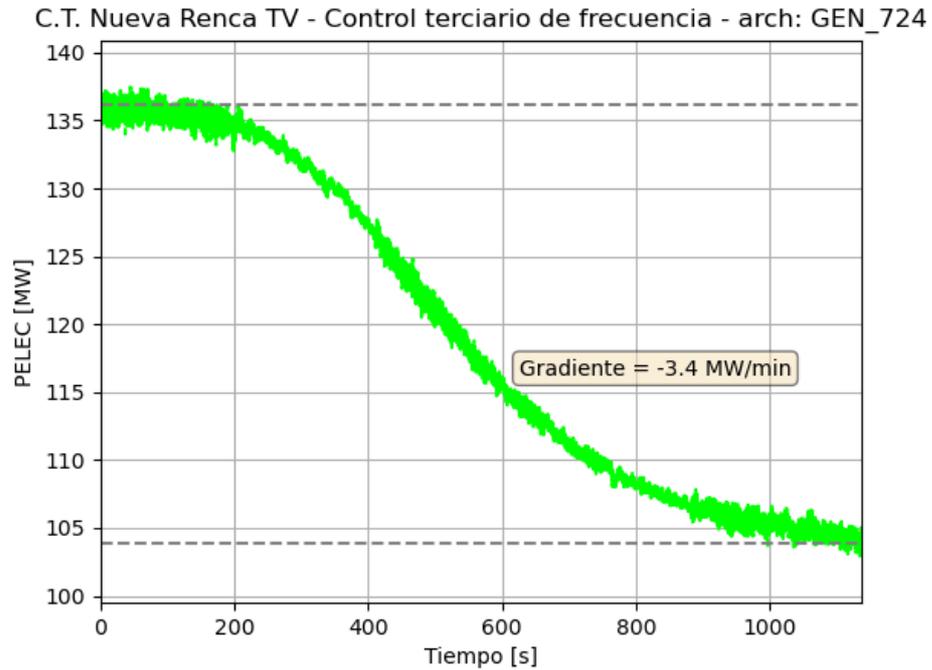


Figura 7.27: Bajada de carga - Tasa = -3.4 MW/min - Unidad TV

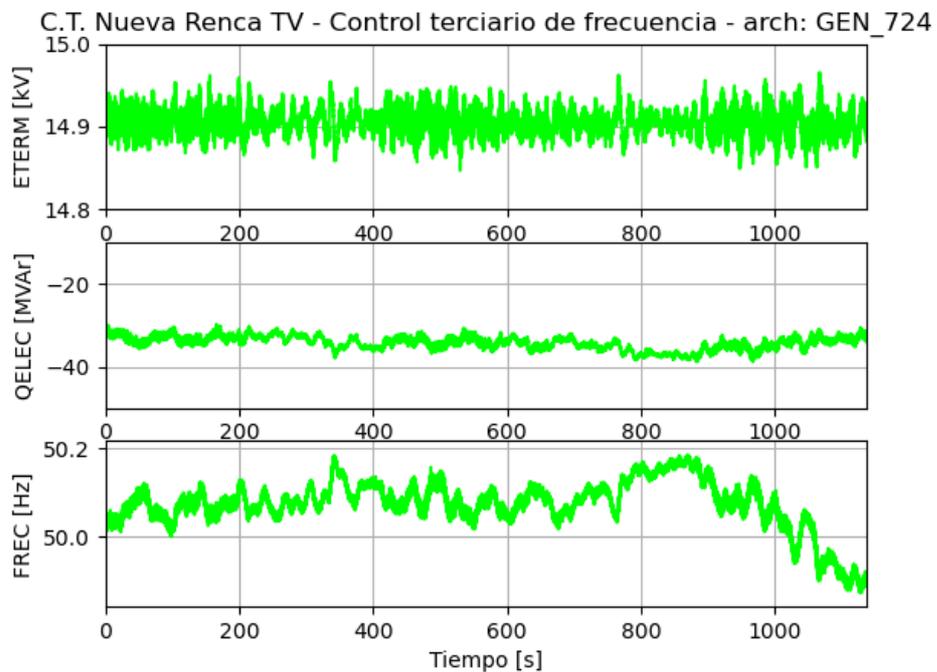


Figura 7.28: Bajada de carga - Señales en terminales del generador - Unidad TV

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad TV presenta una respuesta estable. Y la tasa de reducción de carga medida resulta igual a -3.4 MW/min, lo que equivale a una tasa del -1.59%/min de la potencia nominal de la unidad TV (213.5 MW).

Cabe destacar que el gradiente de bajada de carga de la unidad TV, al apagar los fuegos adicionales con GLP, está fuertemente determinado por la constante de tiempo de transferencia energética entre la unidad TG hacia la unidad TV vía la caldera de recuperación de calor o HRSG.

7.3 Resumen de gradientes

Los gradientes de las unidades TG y TV de la Central Térmica Nueva Renca se encuentran fijos y no se pueden cambiar. En la Tabla 7.3 y Tabla 7.4 se resumen los gradientes medidos para cada combustible en los diferentes movimientos de carga.

Combustible	Unidad	Toma [MW/min]	Bajada [MW/min]
GNL	TG	6.0	-6.1
	TV	1.5	-1.3
DIESEL	TG	6.0	-6.0
	TV	1.2	-0.9

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

Combustible	Unidad	Toma [MW/min]	Bajada [MW/min]
GNL+GNL	TV	3.1	-3.2
GNL+GLP		3.2	-2.0
DIESEL+GLP		2.4	-3.4

Tabla 7.4 – Resumen gradientes entre movimientos entre carga base con y sin fuegos adicionales

Se puede apreciar que los gradientes de toma y reducción de carga en la unidad TG coinciden, es decir, que cumplen con una característica simétrica. Por otro lado, los gradientes de la unidad TV cumplen una característica de simetría para los casos donde se usa como combustible GNL, y no así para el resto de los combustibles.

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. De esta manera el aporte de potencia del Control Terciario de Frecuencia en giro se comienza a entregar antes de 5 minutos.

Se pueden distinguir tres etapas durante el CTFg:

- **Etapa 1:** En esta etapa la unidad TG comienza a tomar/bajar carga. La duración de esta etapa corresponde al tiempo que tarda la unidad TV en responder ante las variaciones de carga de la unidad TG. El gradiente de toma/bajada de carga corresponde únicamente a la tasa de la unidad TG.
- **Etapa 2:** En esta etapa la unidad TV comienza a participar en la toma/bajada de carga del ciclo, es decir, ambas unidades se encuentran participando en el CTFg. La duración de esta etapa es la más prolongada y se mantiene hasta que la unidad TG deja de mover carga. El gradiente de toma/bajada de carga corresponde a la suma de las tasas de la unidad TG y TV.
- **Etapa 3:** En esta etapa solo la unidad TV se encuentra participando en el CTFg. La duración de esta etapa es el tiempo que tarda la unidad TV en alcanzar el estado de régimen permanente. El gradiente de toma/bajada de carga corresponde a la tasa de la unidad TV.

Durante la etapa 2 el ciclo cuenta con la mayor tasa de toma/bajada de carga y es la que más tiempo dura entre las tres etapas. Un aumento de carga en la unidad TG a 6.0 MW/min implica que la TV subirá a 1.5 MW/min y el ciclo completo aumentará carga con un gradiente igual a 6.0+1.5 MW/min, es decir, el gradiente de toma y bajada de carga del ciclo se puede calcular como la suma de gradientes de la unidad TG y TV y tendrá validez siempre que la unidad TG se encuentre dentro de sus rangos operativos. En la Tabla 7.5 se resumen los valores de gradiente del ciclo combinado Nueva Renca.

Combustible	Etapa 1		Etapa 2		Etapa 3	
	Toma [MW/min]	Bajada [MW/min]	Toma [MW/min]	Bajada [MW/min]	Toma [MW/min]	Bajada [MW/min]
GNL	6.0	-6.1	7.5	-7.4	1.5	-1.3
DIESEL	6.0	-6.0	7.2	-6.9	1.2	-0.9

Tabla 7.5 – Resumen gradientes del ciclo completo para movimientos de carga entre mínimo técnico y carga base

8 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

La Central Térmica Nueva Renca 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 ambas unidades es rápida y estable, cumpliendo con los parámetros de performance exigidos por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
- Se logra comprobar un correcto ajuste en los lazos de control del regulador de tensión de ambas unidades. 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-2021-0799-RB_Diagrama_PQ_Teórico_Máximo_CT_Nueva_Renca**”.
- No se logra comprobar si la central puede operar en forma segura y estable en los extremos de las zonas de operación definidas por las curvas PQ teóricas presentadas en el capítulo 5 para cada uno de los niveles de tensión. Esto se debe principalmente a la imposibilidad del despacho de mover la tensión en la barra S/E Renca 110 kV. Sin embargo, para los puntos verificados, no se observan restricciones y se comprueba que las unidades pueden operar estables en tales niveles de potencia reactiva.
- No se evidencia restricción por parte de las unidades para operar dentro de las cartas de operación teóricas, exceptuando la carta de operación para el nivel de tensión 1.1 p.u, ya que la operación de las unidades se ve restringida por el limitador V/Hz en 1.09 p.u.



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

- Se logra comprobar que la unidad TG responde de manera correcta ante variaciones de frecuencia. Esto se verifica tanto para la operación con GNL como DIESEL. La banda muerta se encuentra seteada en ± 10 mHz, mientras que el estatismo responde a 4% para un Trate=220 MW.
- Se verifican los tiempos de inicio de activación, tiempos totales de activación y tiempos máximos de establecimiento de la unidad TG y TV. Se demuestra que la unidad TG responde de manera adecuada ante escalones positivos y negativos de frecuencia de magnitud 0.2 Hz, observándose un comportamiento simétrico. La Gerencia Técnica de Generadora Metropolitana restringe la verificación a escalones máximos de ± 0.4 Hz, con lo cual no se verifica el comportamiento ante escalones de ± 0.7 Hz, sin embargo, estos aportes y tiempos son calculados teóricamente considerando lo expuesto en 6.4 donde se menciona que el sistema de control no impondría restricciones de aporte de la unidad TG ante escalones de dicha amplitud y considerando un sistema de respuesta de primer orden.
- Se logra verificar que la magnitud del aporte de potencia se condice con lo planteado en el procedimiento de ensayos de control de frecuencia ***“EE-EN-2021-1070-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Frecuencia_CT_Nueva Renca”***.
- Los valores de banda muerta y estatismo se pueden ajustar hasta ± 25 mHz y 5% respectivamente. Estos valores pueden ser modificados por personal de General Electric directamente en la estación de ingeniería. Esto se pueden modificar de manera online con la unidad TG en carga. El operador de planta no tiene acceso a la modificación de estos parámetros.
- El aporte de potencia activa de la unidad TG ante los escalones de frecuencia no varía según el estado de carga de la unidad. Este aporte queda determinado por el estatismo y banda muerta configurados.



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 la totalidad de su rango operativo como reserva para **Control Terciario de Frecuencia en giro** con las diferentes configuraciones de combustible con las que cuenta.

9 ANEXOS

9.1 Verificación de curvas de capacidad en diferentes niveles de tensión

A continuación, se presentan las mediciones realizadas en la unidad TG. Para los puntos sobrecitados y subexcitados solo se logra ensayar un nivel de tensión de terminales para cada uno, 1.05 pu y 0.95 pu respectivamente.

9.1.1 Unidad TG

Punto P1_CT-Q1 / VT=1.061 p.u.

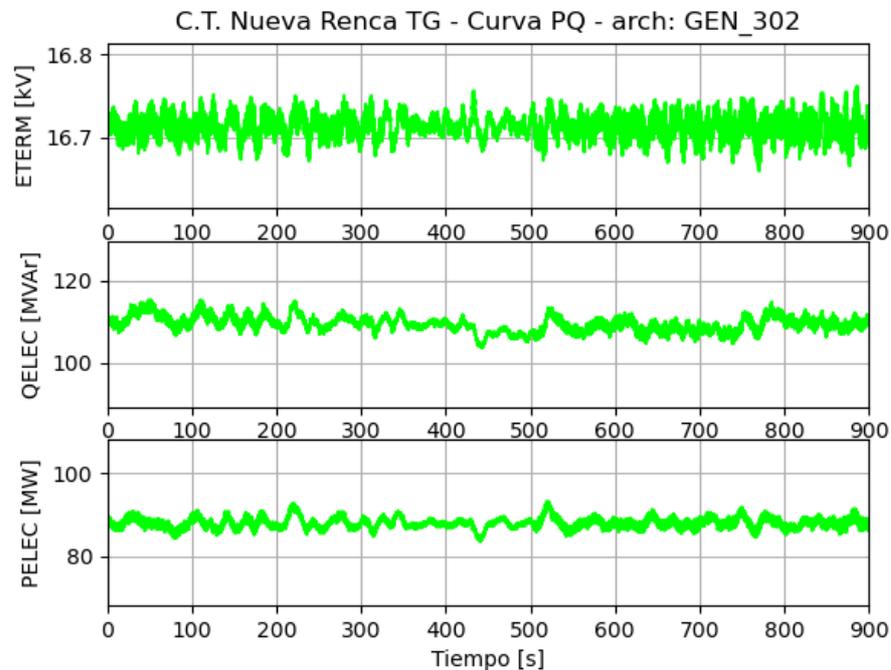


Figura 9.1: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

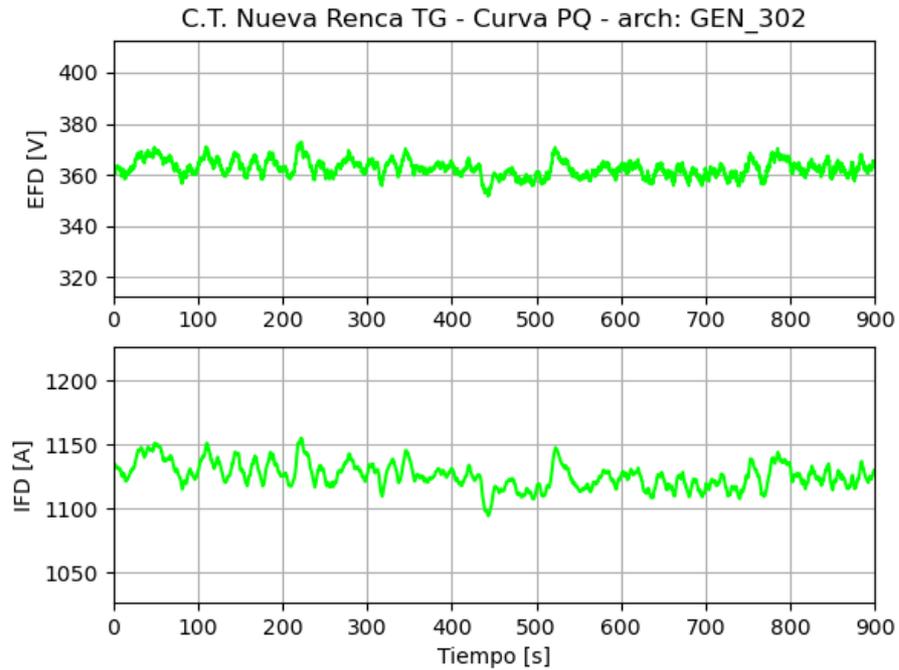


Figura 9.2: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P1_CT -Q8/ VT=0.952 p.u.

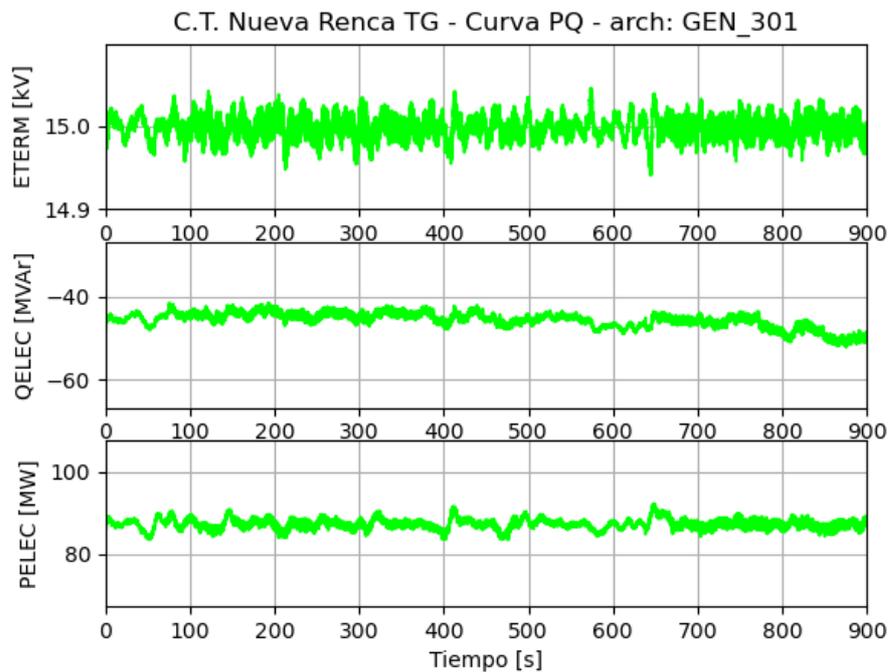


Figura 9.3: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

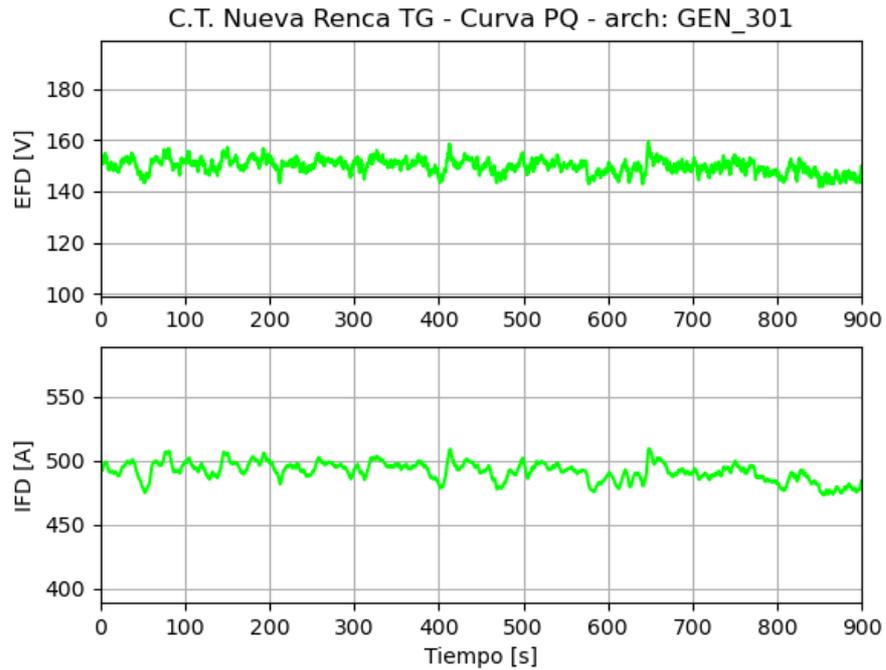


Figura 9.4: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P2_CT -Q2/ VT=1.062 p.u.

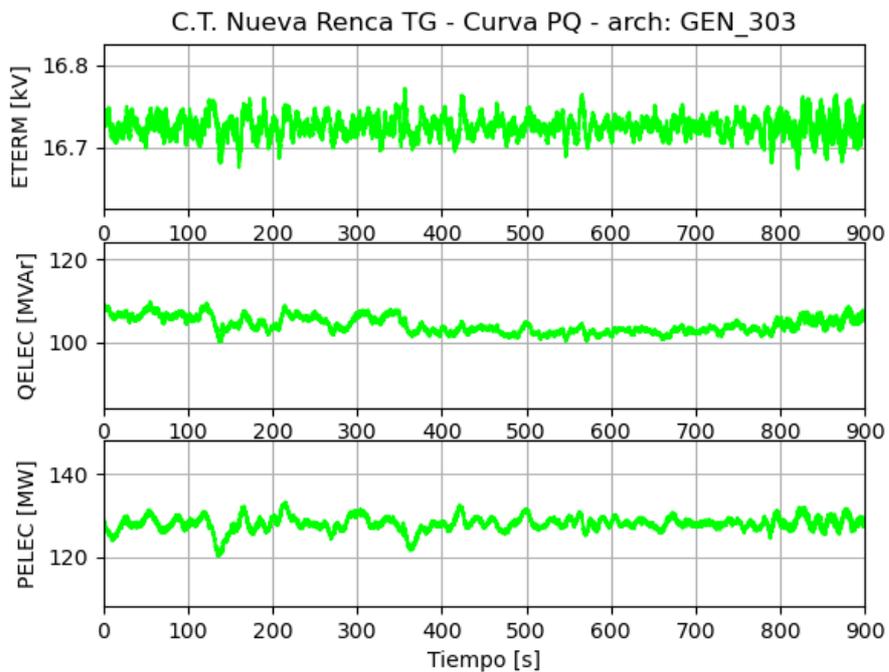


Figura 9.5: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

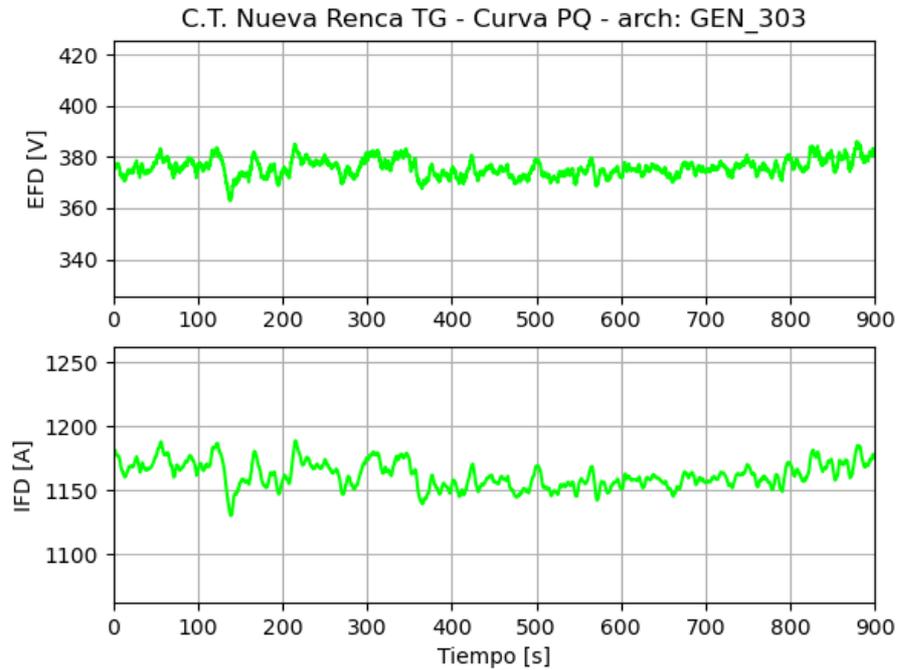


Figura 9.6: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P2_CT -Q7/ VT=0.951 p.u.

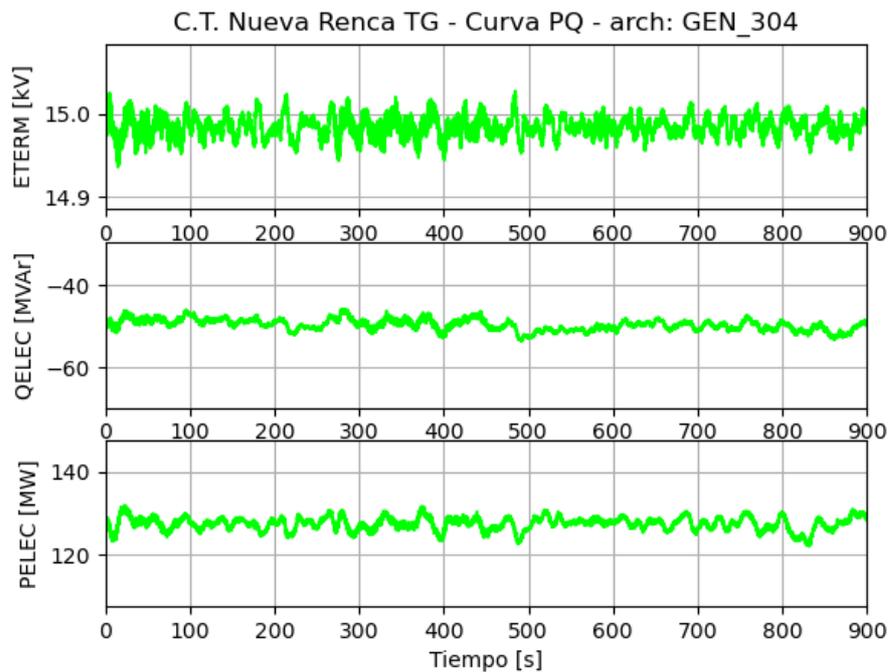


Figura 9.7: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

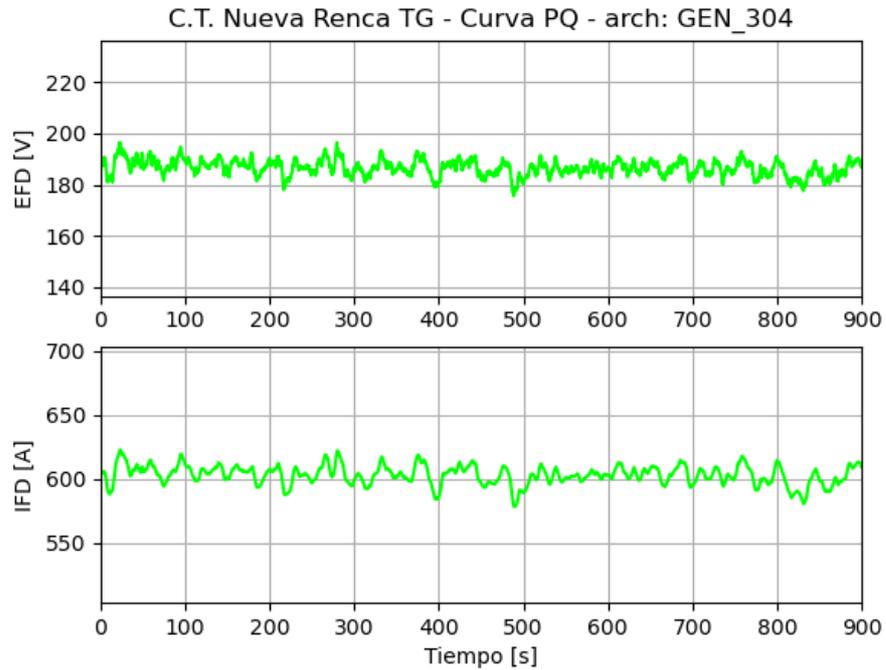


Figura 9.8: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P3_CT-Q3/ VT=1.061 p.u.

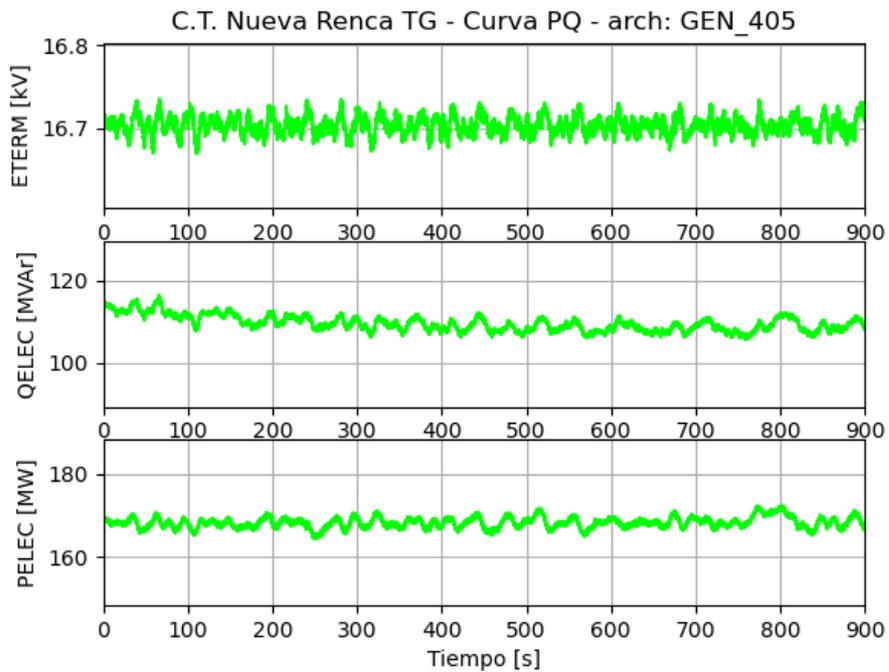


Figura 9.9: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

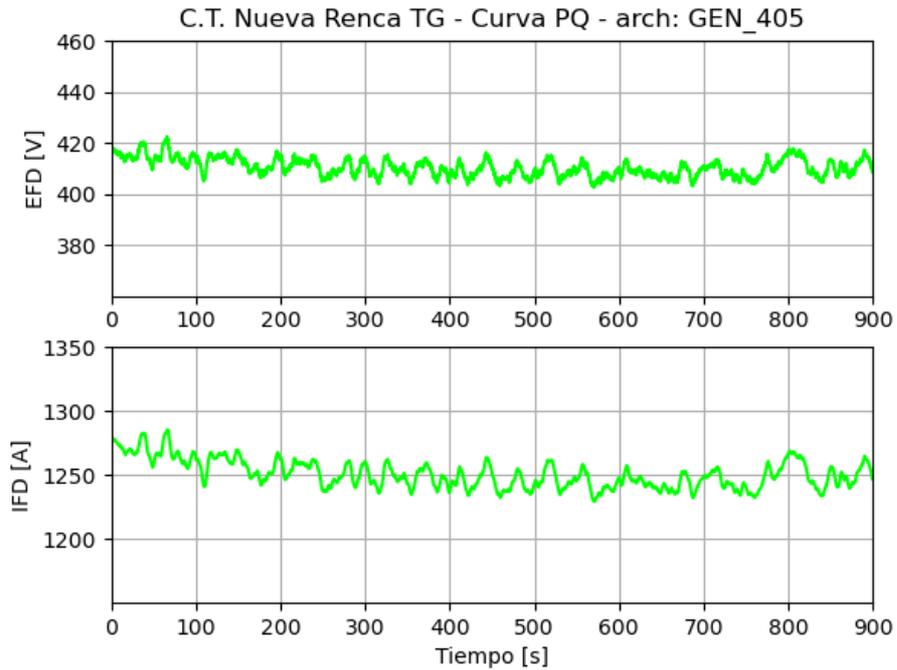


Figura 9.10: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P3_CT -Q6/ VT=0.951 p.u.

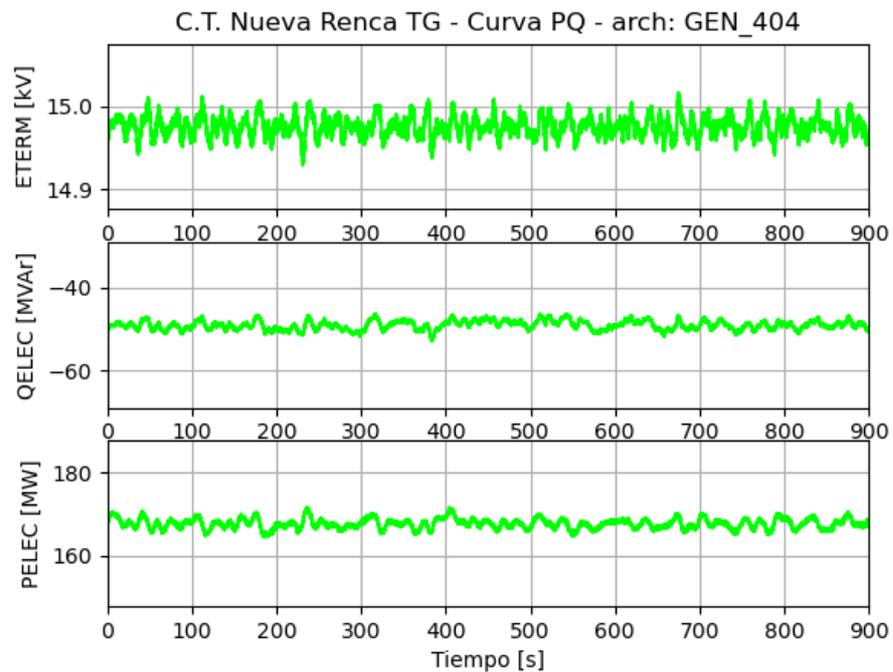


Figura 9.11: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

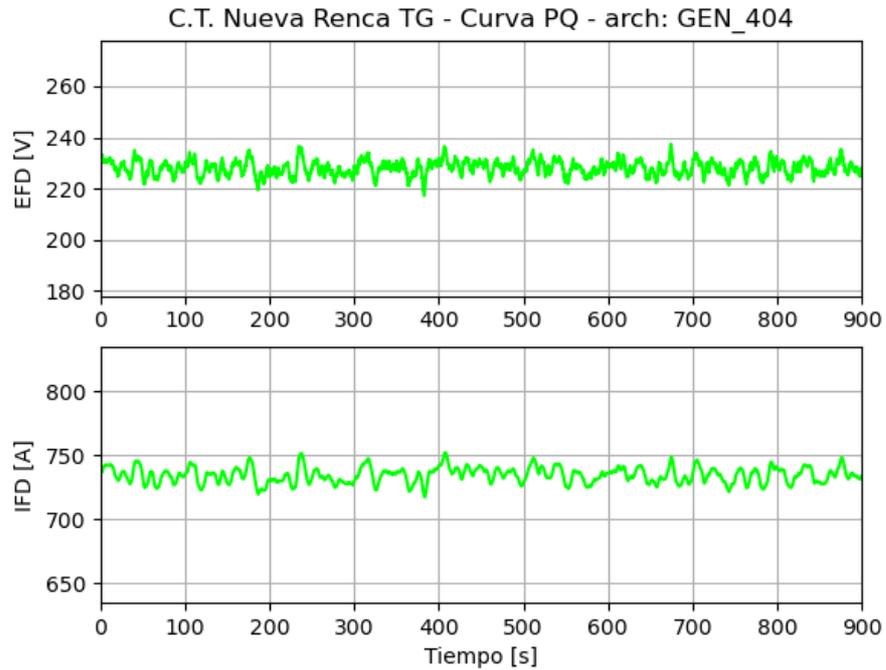


Figura 9.12: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P5_CT -Q4/ VT=1.054 p.u.

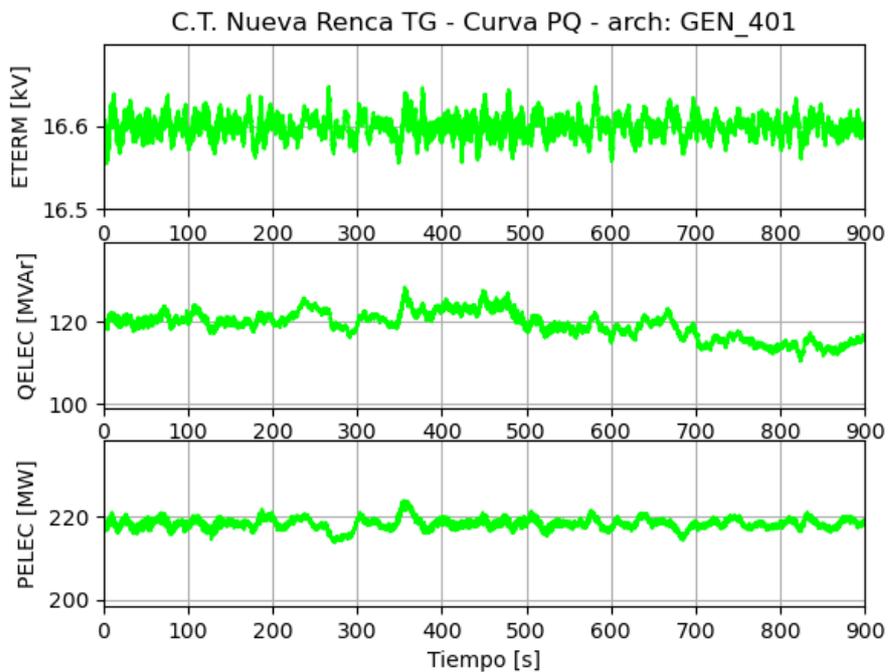


Figura 9.13: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

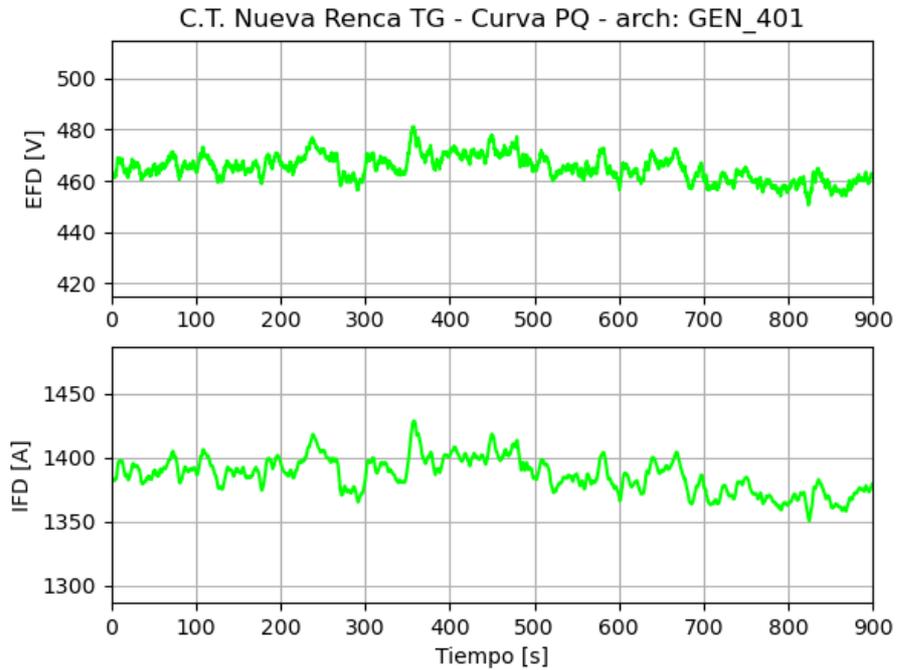


Figura 9.14: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

Punto P5_CT -Q5/ VT=0.950 p.u.

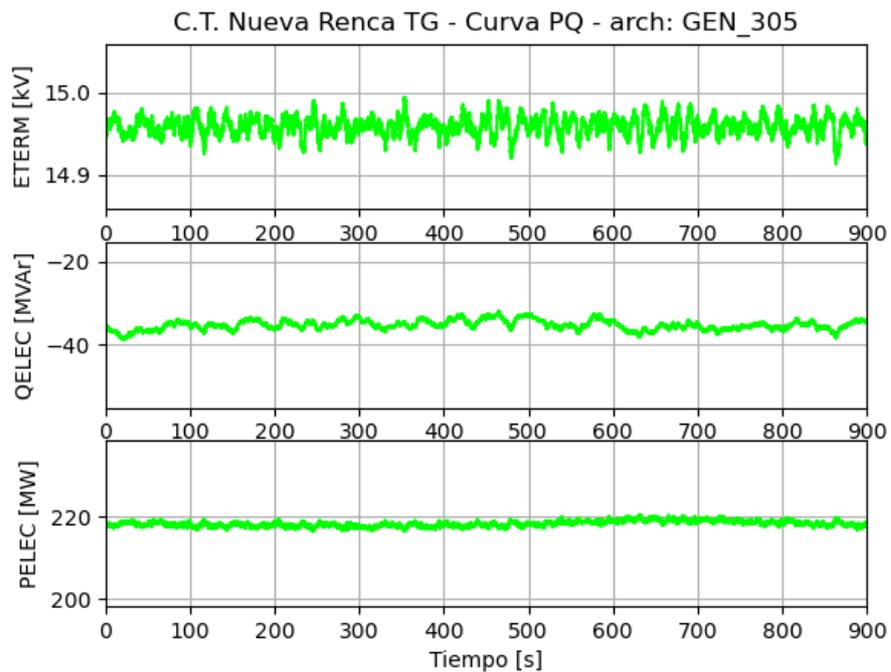


Figura 9.15: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TG

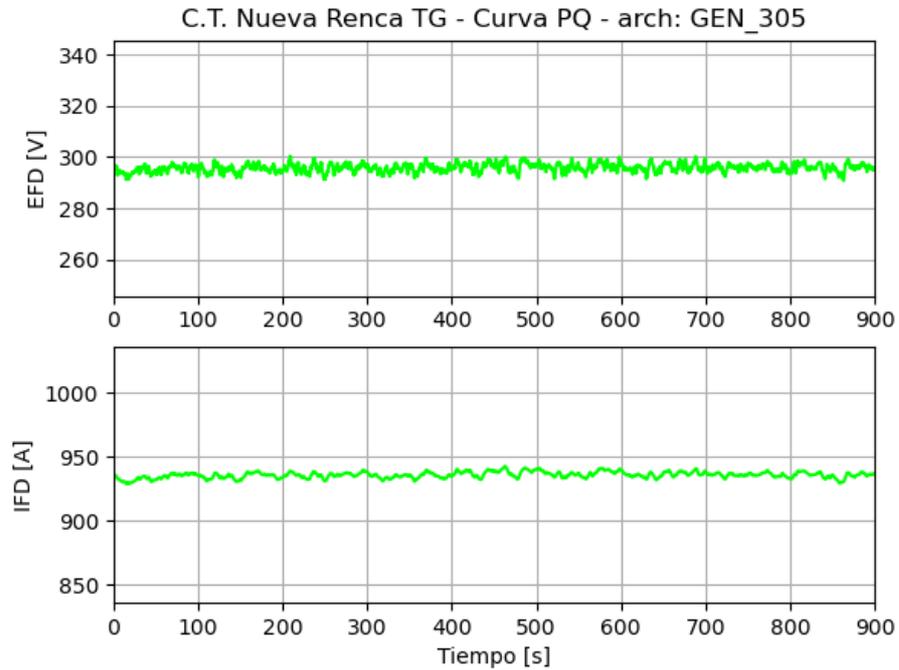


Figura 9.16: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TG

9.1.2 Unidad TV

A continuación, se presentan las mediciones en la unidad TV. Para los puntos sobrecitados y subexcitados solo se logra ensayar un nivel de tensión de terminales para cada uno, 1.10 pu y 0.95 pu respectivamente.

Punto P1_CT -Q1/ VT=1.089 p.u.

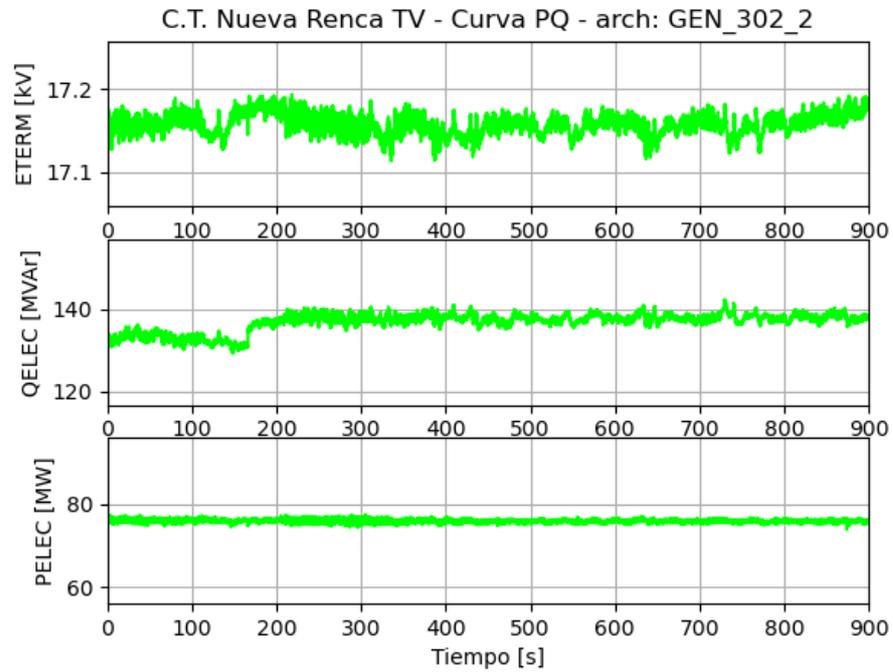


Figura 9.17: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

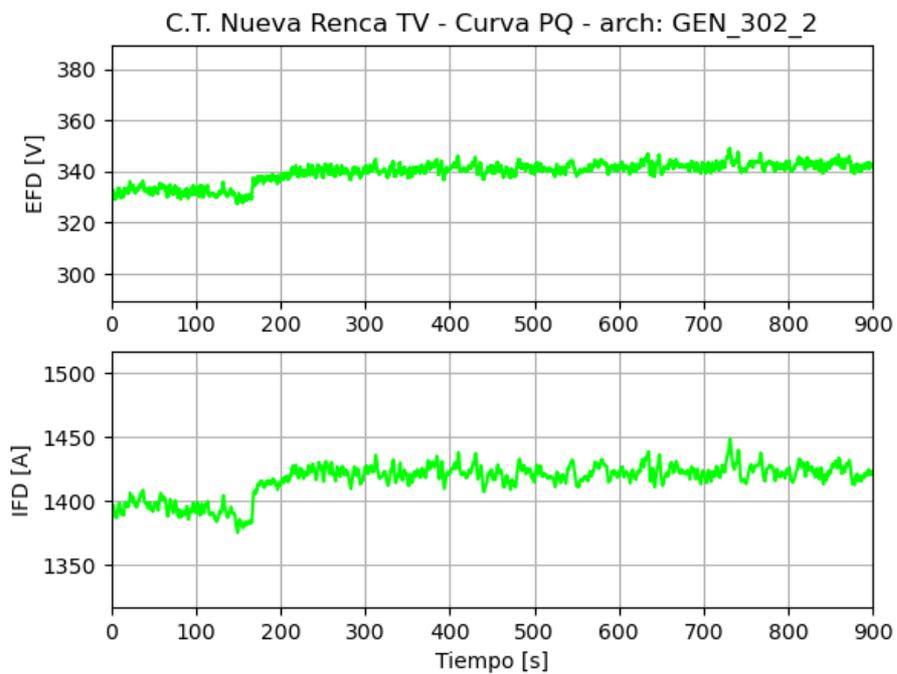


Figura 9.18: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P1_CT -Q8/ VT=0.938 p.u.

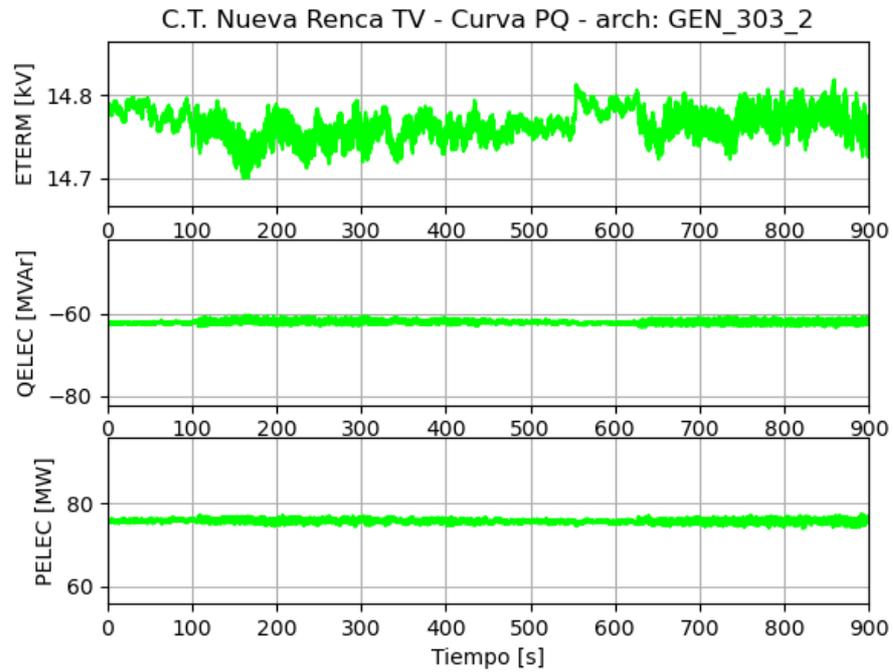


Figura 9.19: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

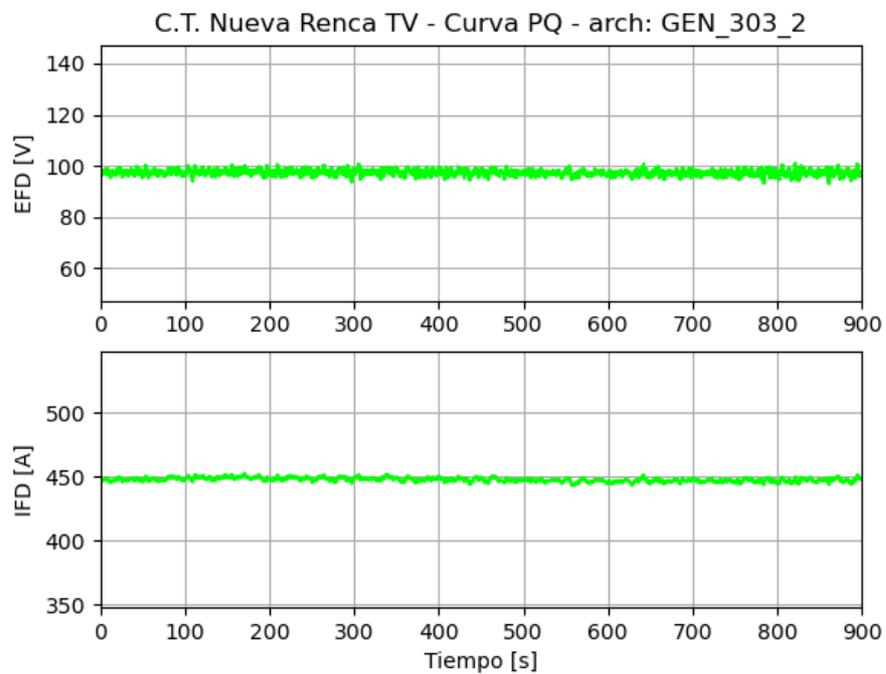


Figura 9.20: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P2_CT-Q2/ VT=1.091 p.u.

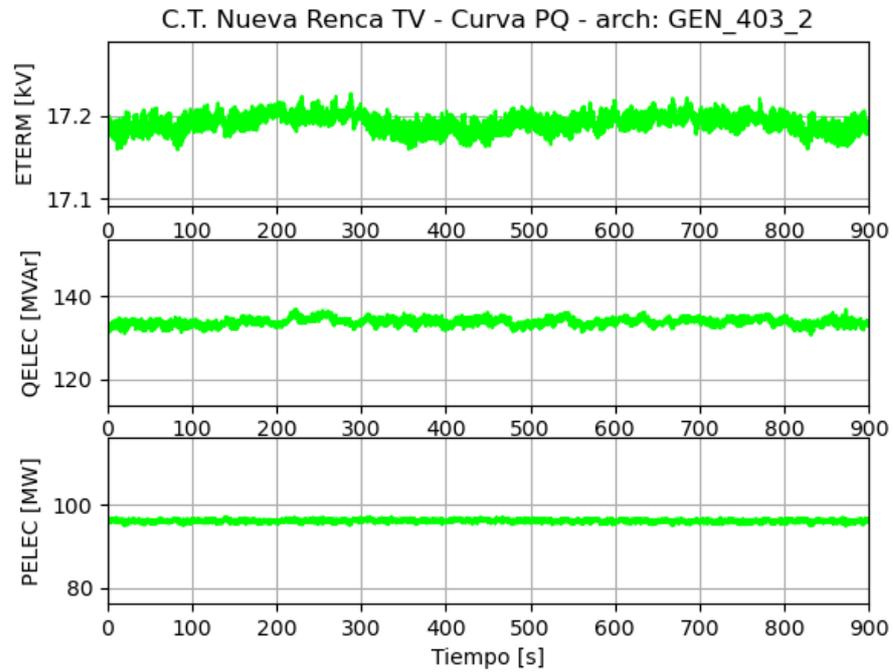


Figura 9.21: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

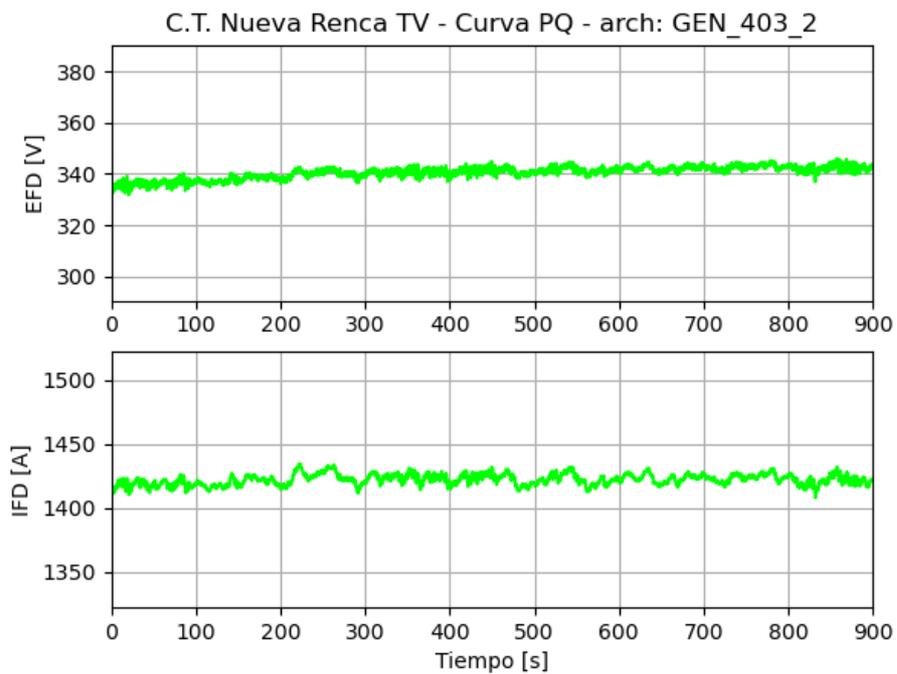


Figura 9.22: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P2_CT -Q7/ VT=0.941 p.u.

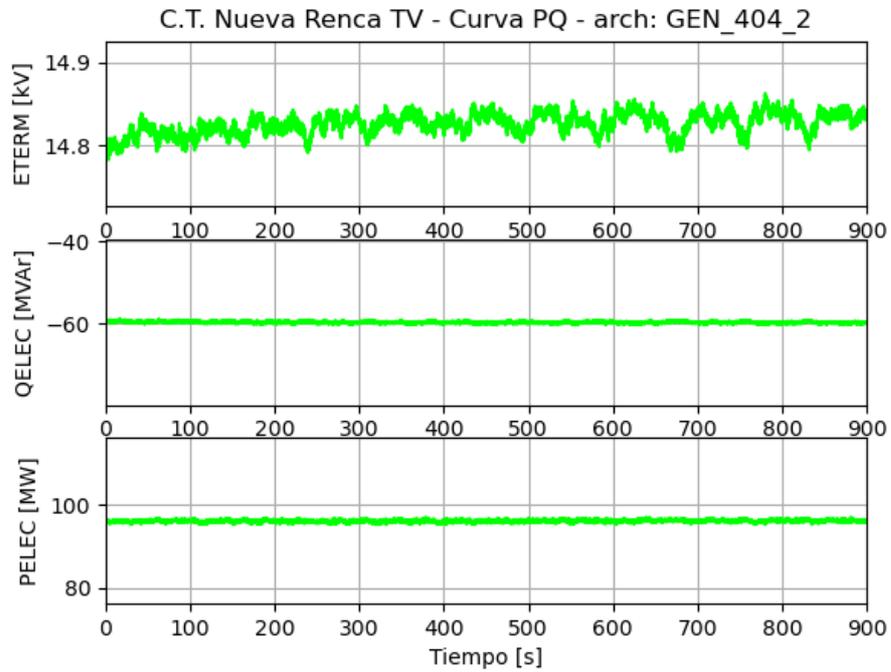


Figura 9.23: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

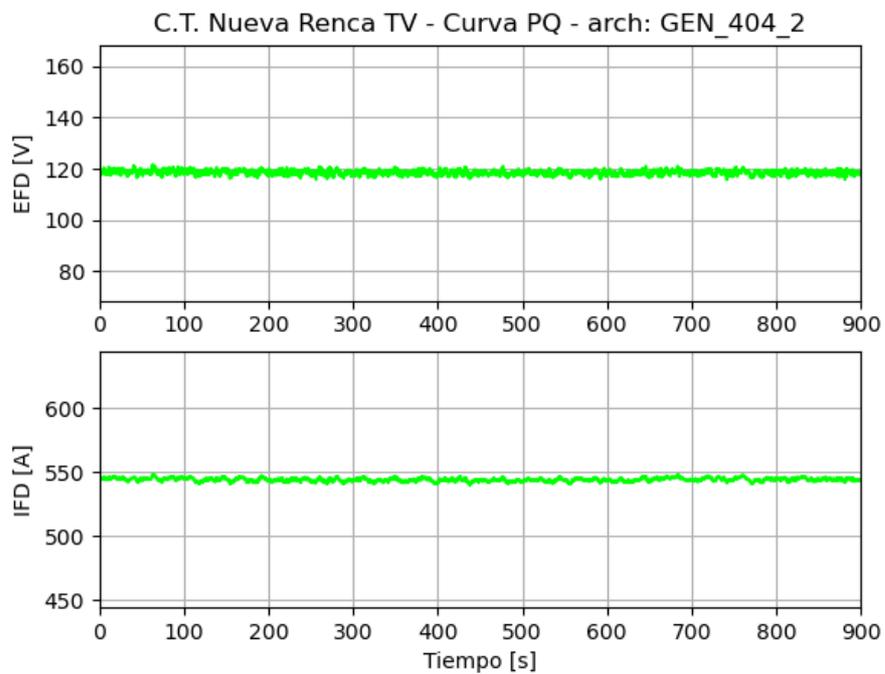


Figura 9.24: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P3_CT -Q3/ VT=1.091 p.u.

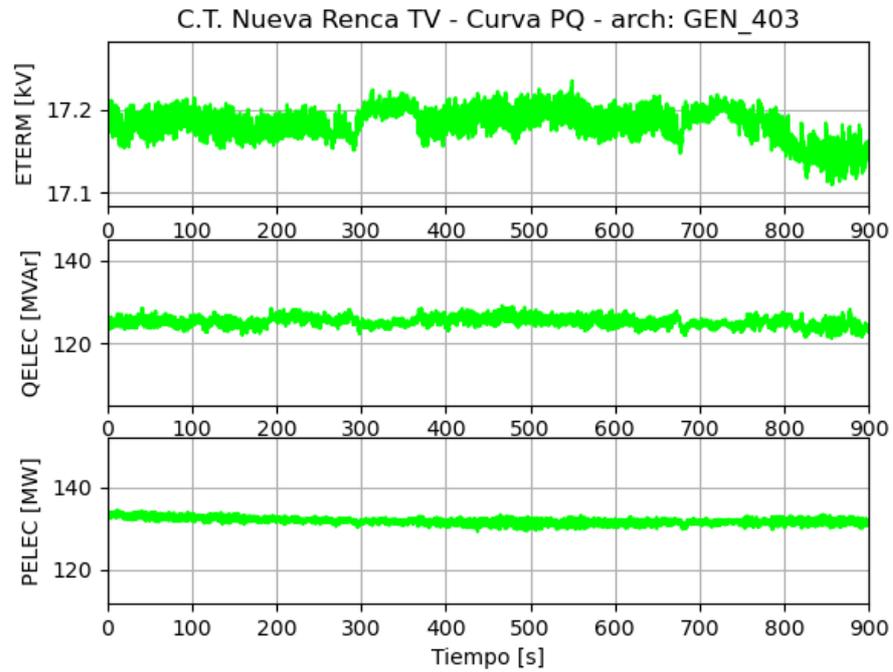


Figura 9.25: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

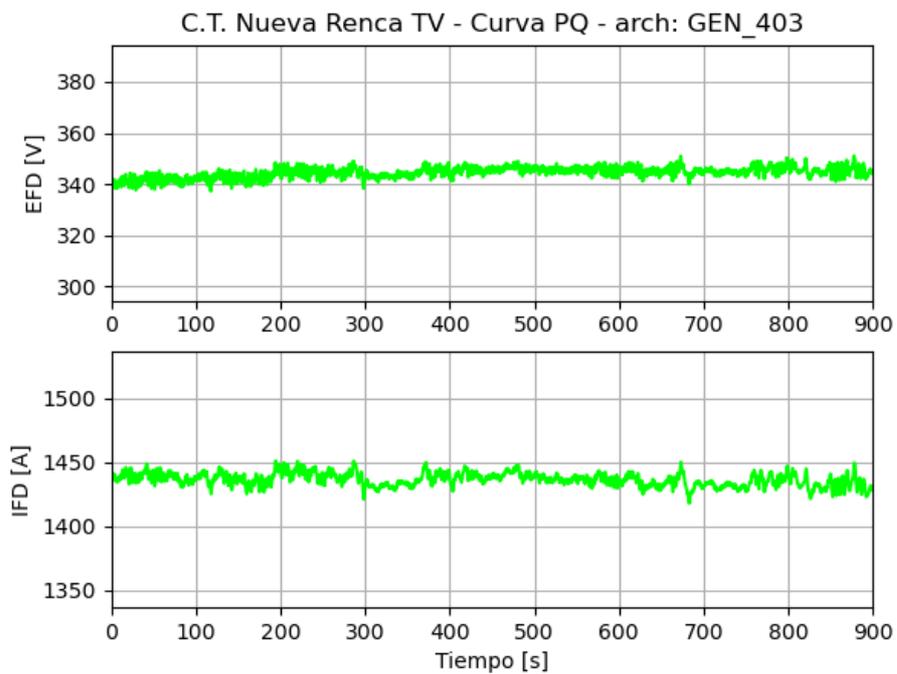


Figura 9.26: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P3_CT -Q6/ VT=0.939 p.u.

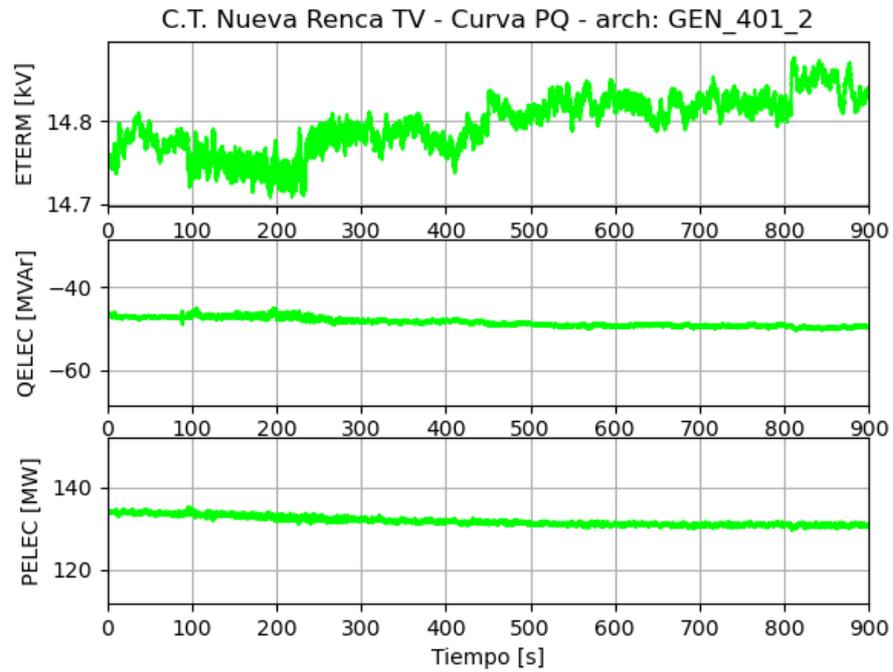


Figura 9.27: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

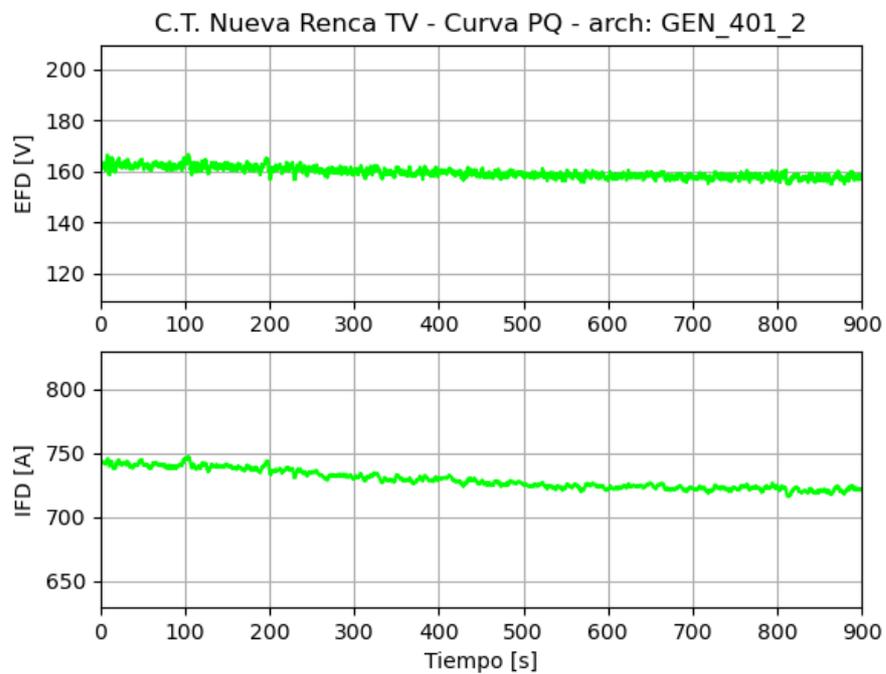


Figura 9.28: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P5_CT -Q4/ VT=1.088 p.u.

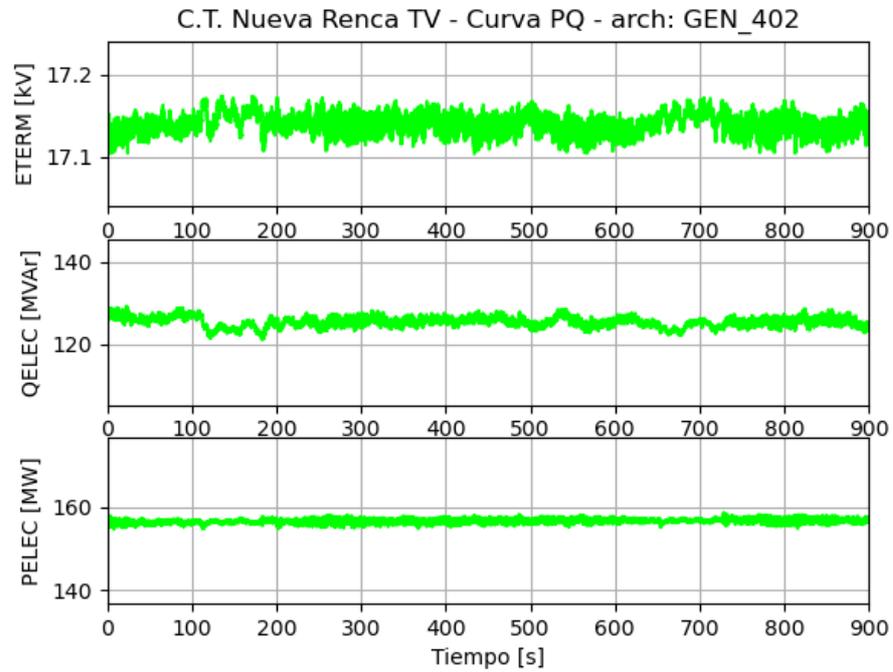


Figura 9.29: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

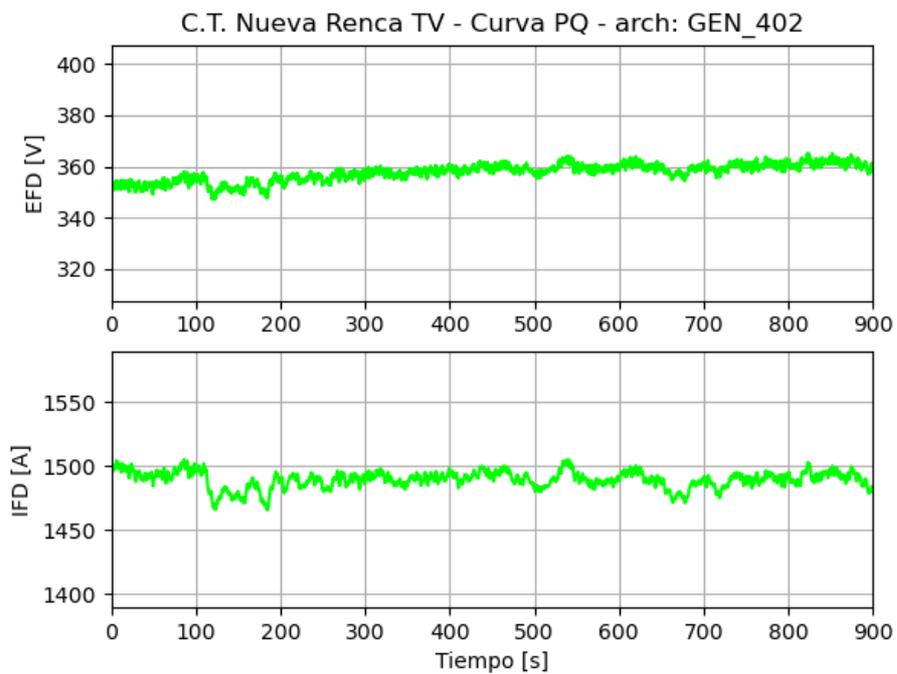


Figura 9.30: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

Punto P5_CT -Q5/ VT=0.942 p.u.

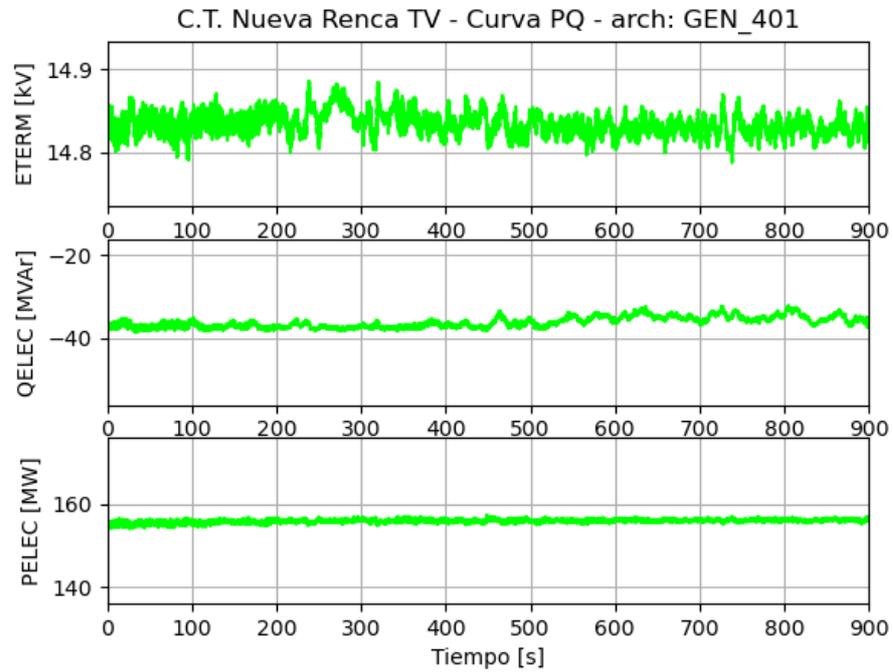


Figura 9.31: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador – Unidad TV

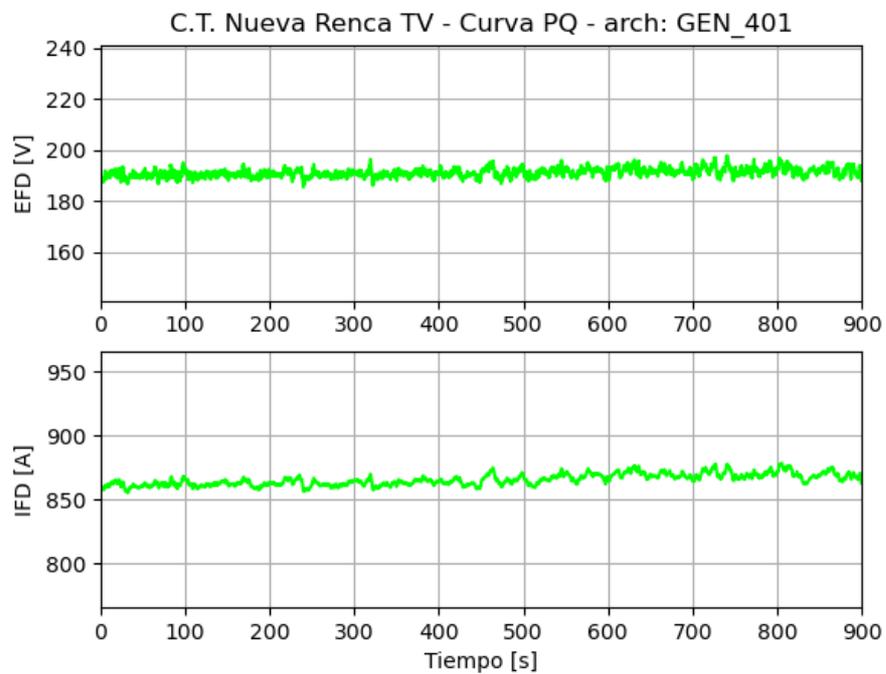


Figura 9.32: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador – Unidad TV

9.2 Imágenes durante pruebas de curva PQ

9.2.1 Tap de transformador de SSAA durante pruebas subexcitadas

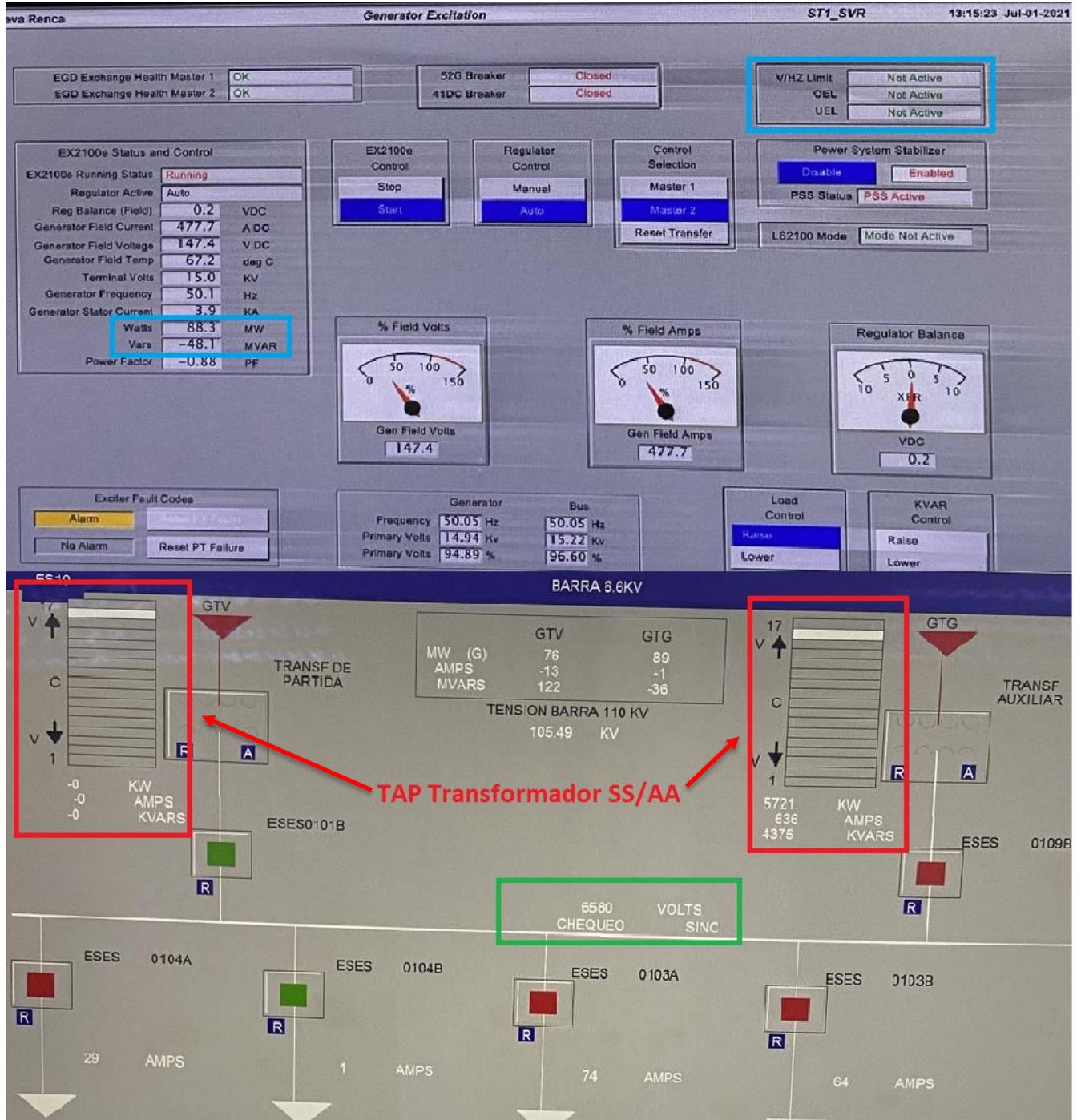


Figura 9.33: Posición de tap utilizado durante pruebas subexcitadas de curva PQ – Estado de carga P1

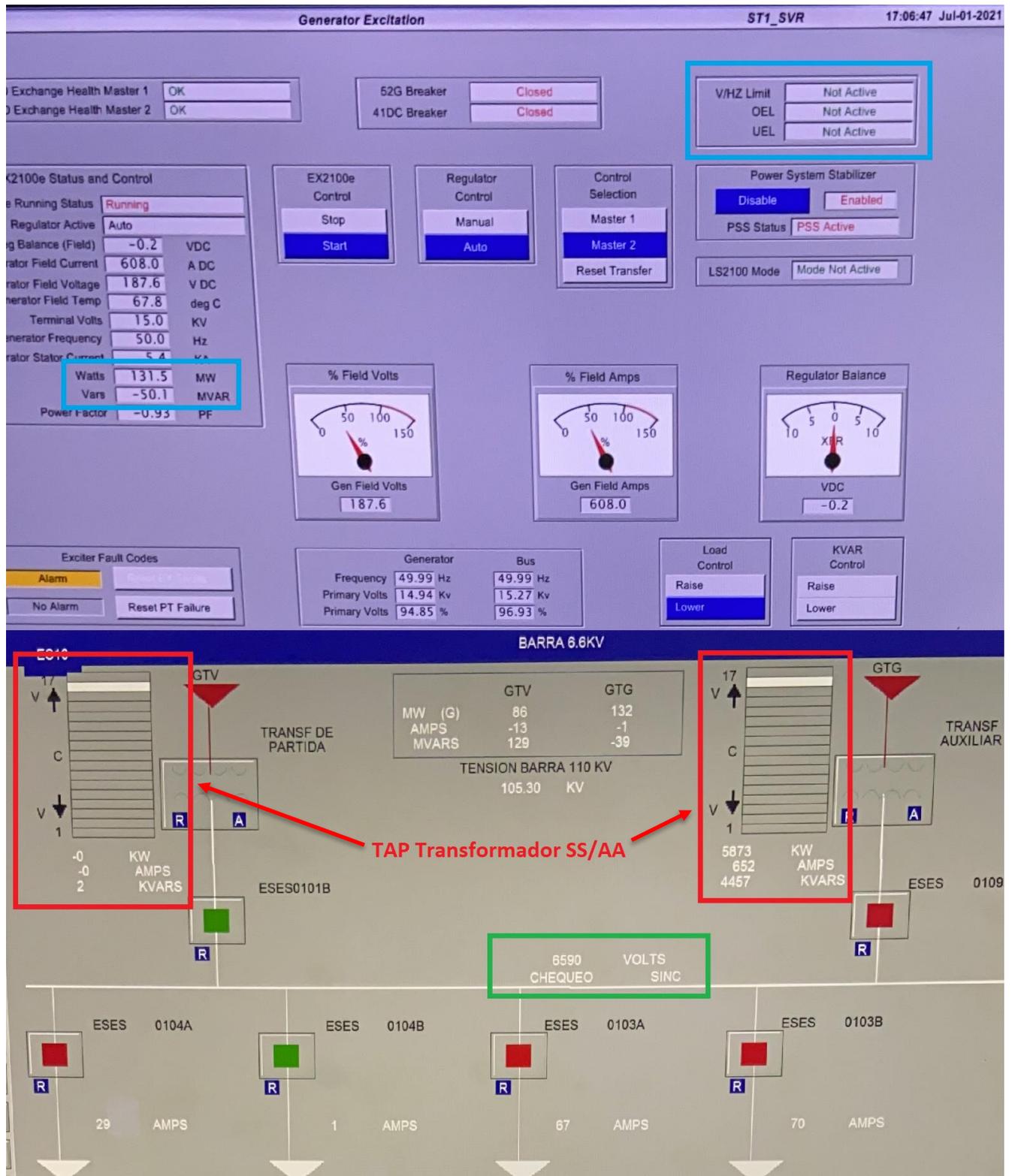


Figura 9.34: Posición de tap utilizado durante pruebas subexcitadas de curva PQ - Estado de carga P2

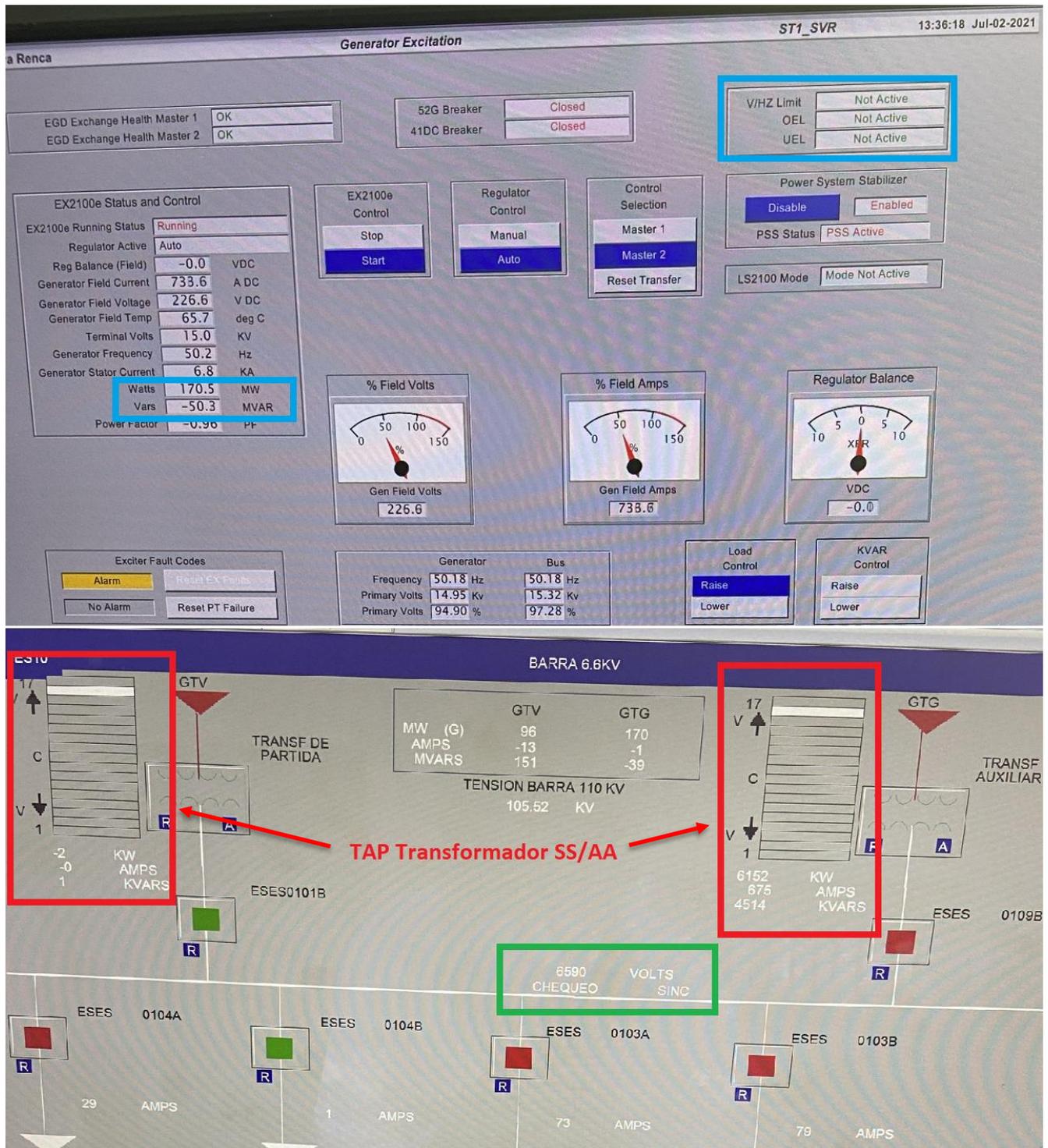


Figura 9.35: Posición de tap utilizado durante pruebas subexcitadas de curva PQ – Estado de carga P3



Figura 9.36: Posición de tap utilizado durante pruebas subexcitadas de curva PQ – Estado de carga P5

9.2.2 Alarma "High Voltage" durante pruebas sobrecargadas

Date/Time (Local Time)	Received Time (Local Time)	Type	Alarm State	Class	Device	Severity	Ack	Alarm ID	Variable Name	Description	Primary Language Description	Ack	Cus	Act	Second Language De
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Event	Normal (1 - 0)	Event	GI	1	No	16852498	G1 LFBXSA	Local Auto Lower Auxiliary Signal	Local Auto Lower Auxiliary Signal	Yes	Good		
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Event	Normal (1 - 0)	Event	GI	1	No	16852621	G1 LFBXSB	Local Auto Lower Feedback	Local Auto Lower - Feedback	Yes	Good		
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17542777	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend26.6.interna_31 Volting Mismatch Local-2789.000. Volad-	Input Signal Flammend26.6.interna_31 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Event	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17542783	G1 GI-DCN-10.0V-ALM	Over High Voltage Alarm	Over High Voltage Alarm	Yes	Good		
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Event	Normal (1 - 0)	Event	GI	1	No	168610498	G1 BINA_C10	Voltage Regulator Reset Control Push Button - changed value from 0 value to 1	Voltage Regulator Reset Control Push Button - changed value from 0 value to 1	Yes	Good	ST	changed value from
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17542778	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend26.6.interna_32 Volting Mismatch Local-2818.000. Volad-	Input Signal Flammend26.6.interna_32 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17226568	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend476.interna_41 Volting Mismatch Local-2848.000. Volad-	Input Signal Flammend476.interna_41 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17542779	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend276.interna_40 Volting Mismatch Local-2828.000. Volad-	Input Signal Flammend276.interna_40 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17226567	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend176.interna_39 Volting Mismatch Local-2823.000. Volad-	Input Signal Flammend176.interna_39 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Event	Normal (1 - 0)	Event	GI	1	No	16786140	G1 L30PT_M0_T100	Feed Forward in Mode B - Trigger	Feed Forward in Mode B - Trigger	Yes	Good		
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17226569	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend276.interna_38 Volting Mismatch Local-2817.000. Volad-	Input Signal Flammend276.interna_38 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	17542776	G1 FMVW-26.6.1160.110	Input Signal Flammend176.interna_37 Volting Mismatch Local-2811.000. Volad-	Input Signal Flammend176.interna_37 Volting Mismatch	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16793202	X1 SI_U01_ACTIV_7/5	Underexcitation Limiter is Active	Underexcitation Limiter is Active	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16793198	X1 SI_U01_ACTIV_7/5	Underexcitation Limiter is Active	Underexcitation Limiter is Active	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16793199	X1 EXCTR_ALM	Alarm logic (testing active)	Manual or Auto L3/5 Active	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16793203	X1 Diagnostic	Diagnostic (master)	Alarm logic (testing active)	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16793443	X1 SI_V01_ACTIV_7/5	EX VOLTAGE LIMITER IS ACTIVE	EX VOLTAGE LIMITER IS ACTIVE	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16791215	G1 LIMEX_ALM	EXOK DIAGNOSTIC ALARM	EXOK DIAGNOSTIC ALARM	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16791136	G1 S307T616B	RESTART BOWL LOWER TC P1018.204	RESTART BOWL LOWER TC P1018.204	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Diagnostic	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16777110	G1 L30PT_ALM	Primary freq regulation unexpectedly selected off	Primary freq regulation unexpectedly selected off	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	175255	G1 S31_A1L3C6.5.4.307	Sec B FR B G/Low Alarm (Alarm ID 2071, UC06-6, Controller R)	Primary freq regulation unexpectedly selected off	Yes	Good		Input Signal Flammend
2021-07-02 14:00:00.000	2021-07-02 14:00:00.000	Alarm	Warning (2 - 1)	Warning	GI	1	Yes	16793006	G1 L3051_ALM	SRM Alarm 0.02 disconnected	SRM Alarm 0.02 disconnected	Yes	Good	CA	Sec B FR B G/Low Alarm (Alarm ID 2071, UC06-6, Controller R)

Figura 9.37: Alarma "High Voltage" durante pruebas sobrecargadas de curva PQ

9.3 Datos característicos de los generadores

9.3.1 Unidad TG

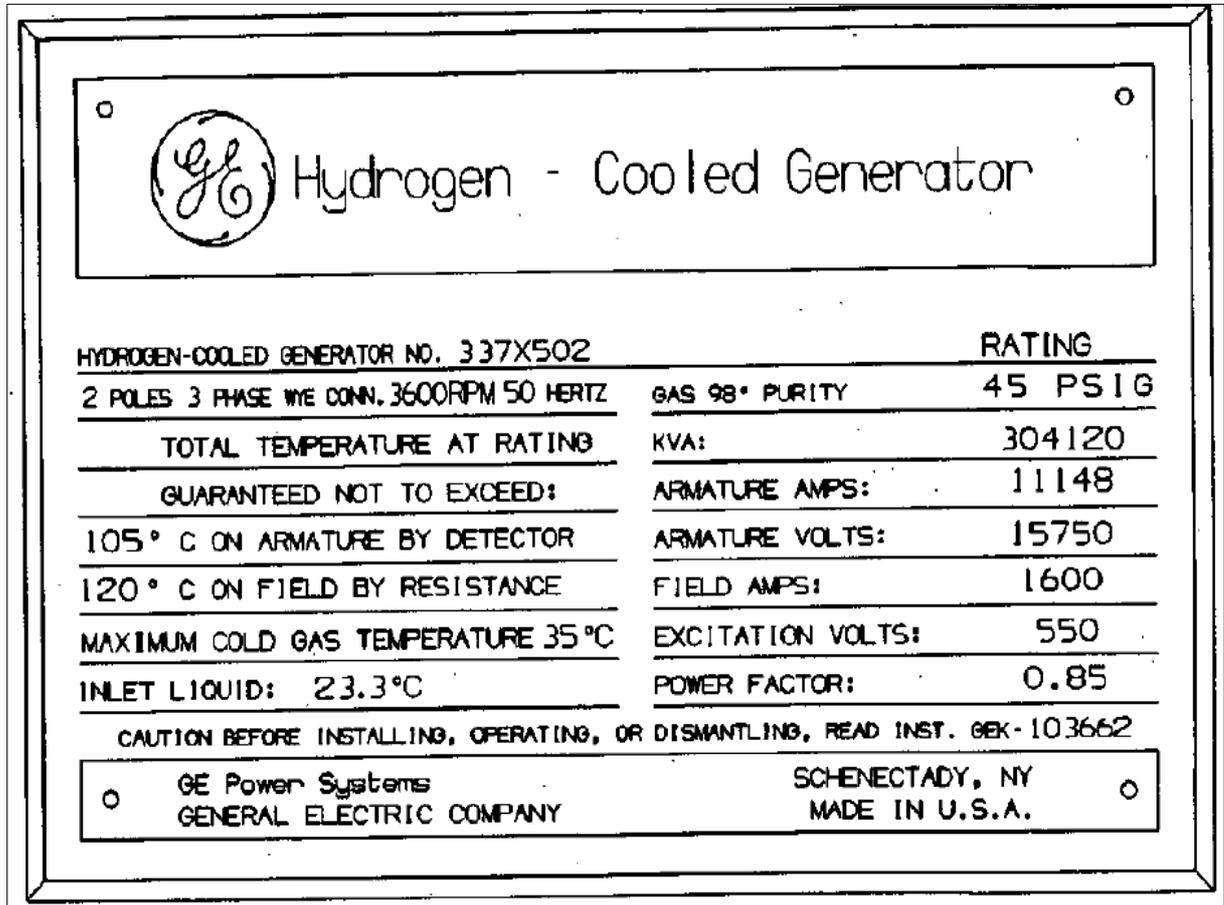


Figura 9.38: Placa del generador - Unidad TG

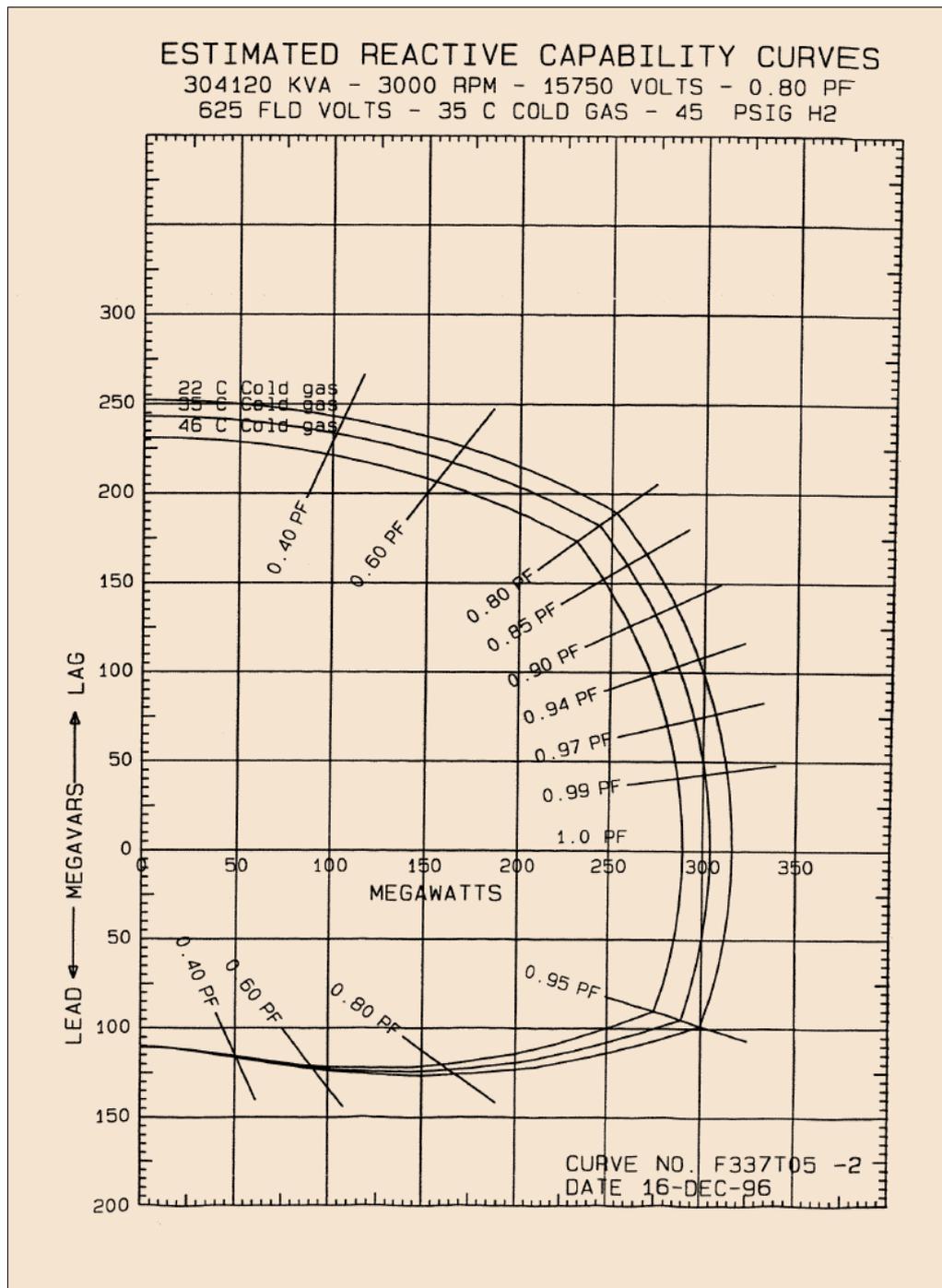


Figura 9.39: Curva de capacidad - Unidad TG

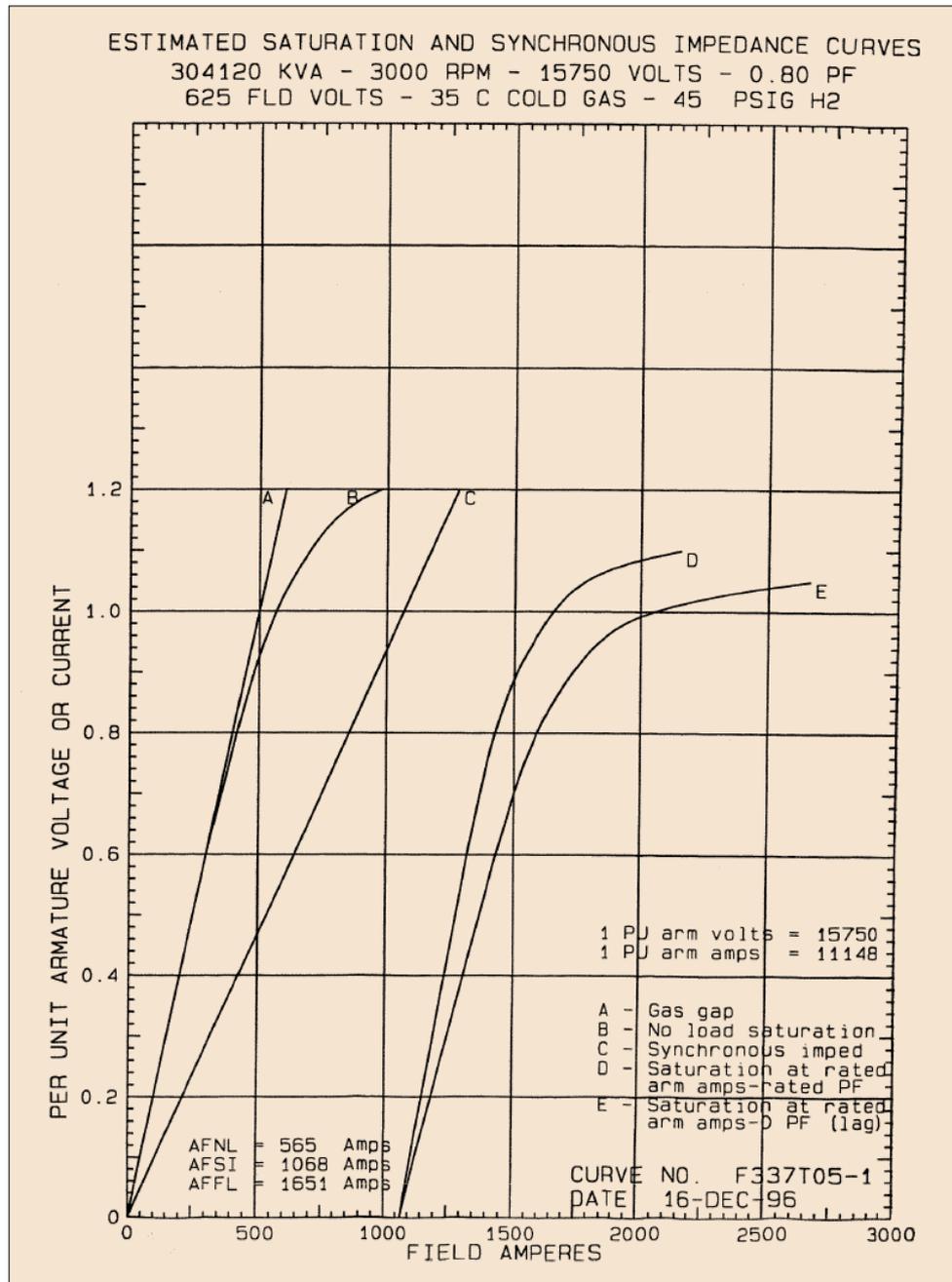


Figura 9.40: Curvas características - Unidad TG

9.3.2 Unidad TV

		<h2>Steam Turbine Generator Unit</h2>	
TURBINE			
TURBINE NO. 270T365		RATING: 170,020KW	
		3000 RPM	
		22 STAGES	
STEAM CONDITIONS: PRESSURE 1424PSIG TEMPERATURE 999°F EXHAUST PRESSURE: 1.38HgA			
GENERATOR			
HYDROGEN-COOLED GENERATOR NO. 290T365		RATING	
2 POLES	3 PHASE	WYE CONN.	50 HERTZ
TOTAL TEMPERATURE AT RATING		GAS 98% PURITY	
GUARANTEED NOT TO EXCEED:		45 PSIG	
105°C ON ARMATURE BY DETECTOR		KVA: 251,180	
120°C ON FIELD BY RESISTANCE		ARMATURE AMPS: 9,208	
MAXIMUM COLD GAS TEMPERATURE 37°C		ARMATURE VOLTS: 15,750	
INLET WATER: 23.3°C (74°F)		FIELD AMPS: 1,663	
		EXCITATION VOLTS: 500	
		POWER FACTOR: 0.85	
CAUTION! BEFORE INSTALLING, OPERATING, OR DISMANTLING, READ INST. GEK 101905			
GE Power Systems General Electric Company		Schenectady, New York Made in U.S.A.	

Figura 9.41: Placa del generador – Unidad TV

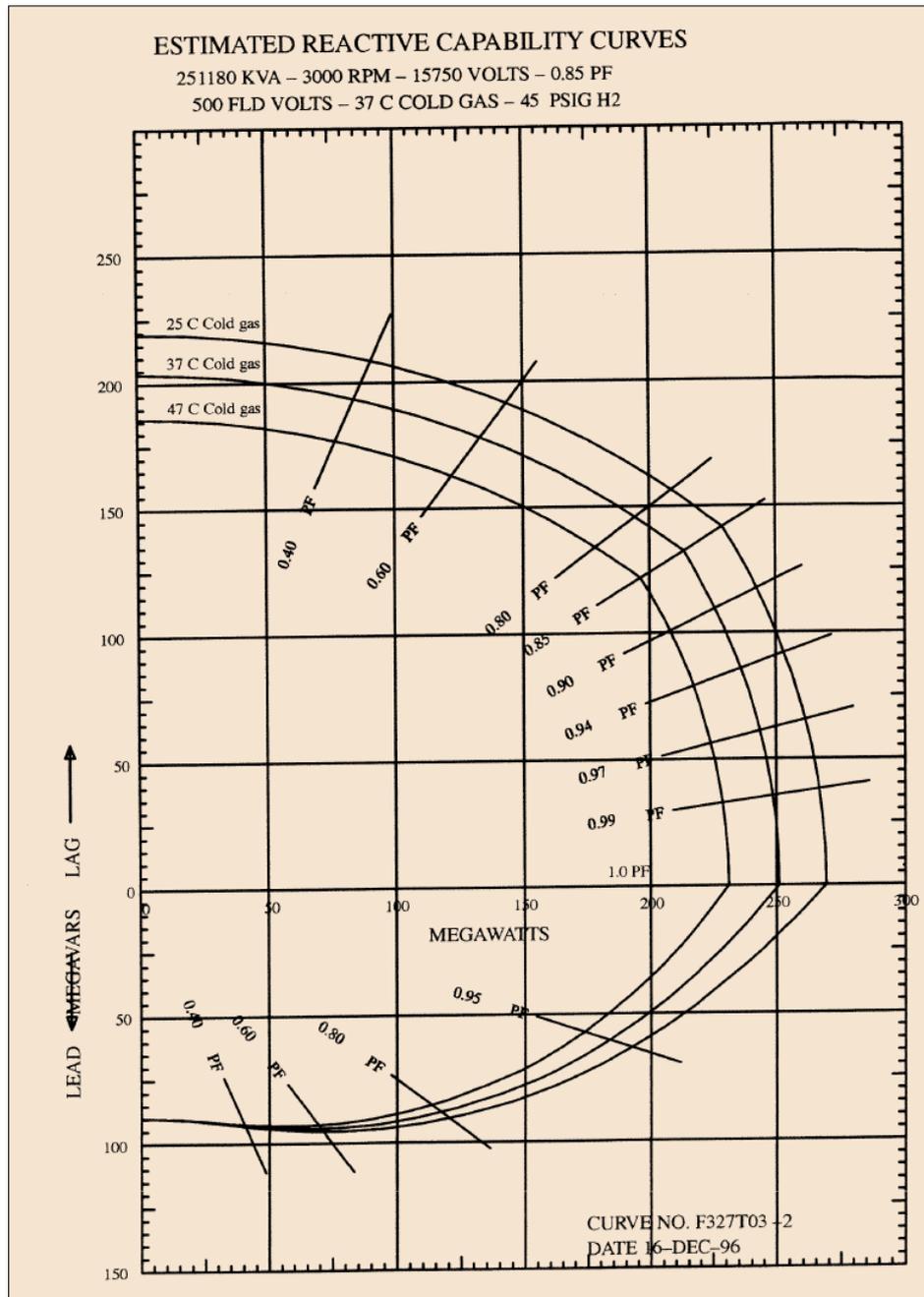


Figura 9.42: Curva de capacidad - Unidad TV

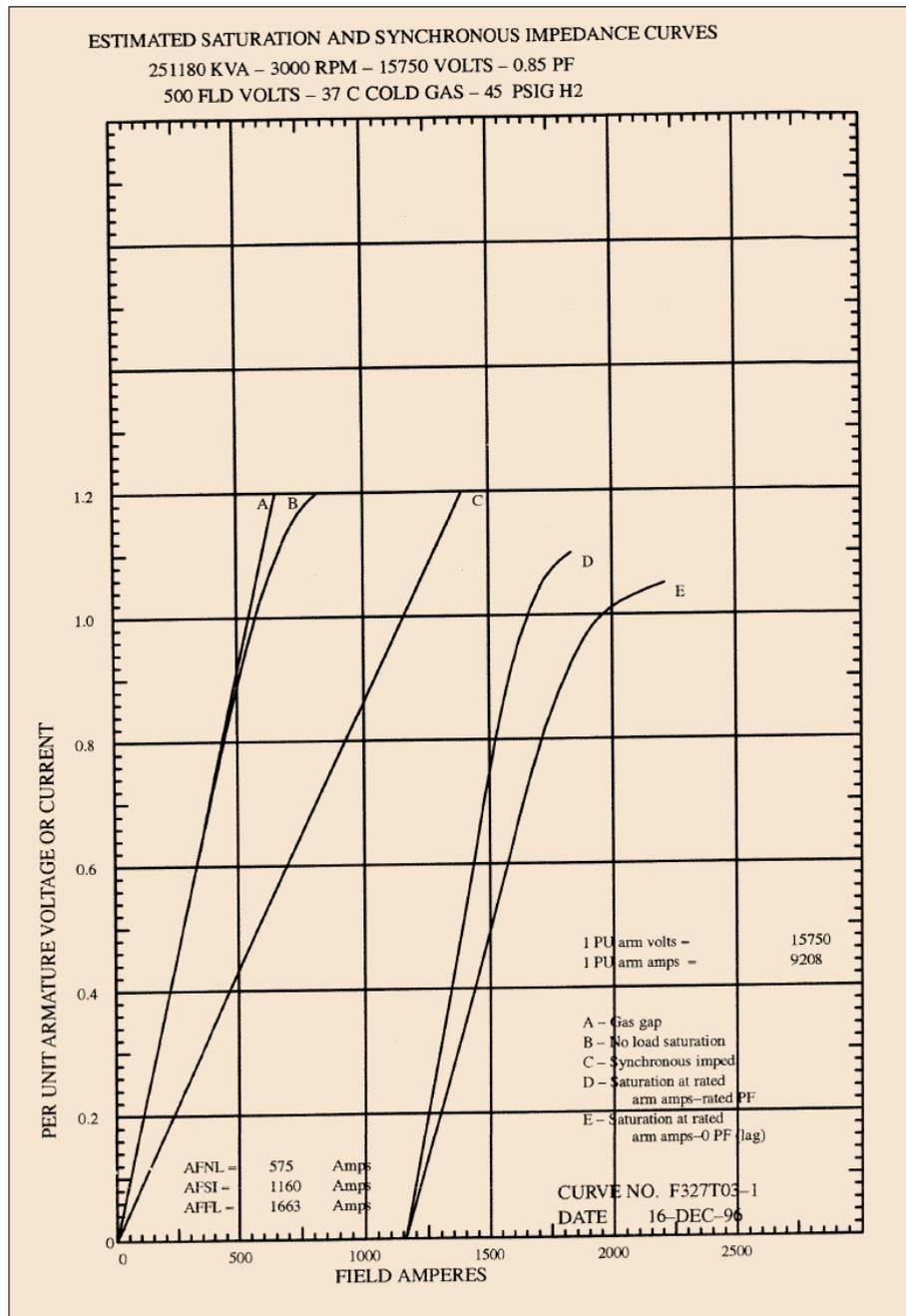


Figura 9.43: Curvas características – Unidad TV

9.4 Protecciones de generador

9.4.1 Unidad TG

LOSS OF EXCITATION [GROUP 1]	
Function	Enabled
Source	SALIDA (SRC 1)
Center 1	9.21 ohm
Radius 1	7.34 ohm
UV Supervision Enable 1	Enabled
Pickup Delay 1	0.060 s
Center 2	17.85 ohm
Radius 2	15.59 ohm
UV Supervision Enable 2	Enabled
Pickup Delay 2	0.500 s
UV Supervision	0.800 pu
Block	OFF
Target	Latched
Events	Enabled

Figura 9.44 – Protección de pérdida de excitación – Unidad TG

PHASE OV [GROUP 1]	
PHASE OV1: Function	Enabled
PHASE OV1: Source	SALIDA (SRC 1)
PHASE OV1: Pickup	1.100 pu
PHASE OV1: Delay	6.75 s
PHASE OV1: Reset Delay	1.00 s
PHASE OV1: Block	GEN_OFF_LINE On(H7a)
PHASE OV1: Target	Latched
PHASE OV1: Events	Enabled

Figura 9.45 – Protección de sobretensión – Unidad TG

VOLTS PER HERTZ [GROUP 1]	
VOLTS PER HERTZ 1: Function	Enabled
VOLTS PER HERTZ 1: Source	SALIDA (SRC 1)
VOLTS PER HERTZ 1: VHZ Voltage Mode	Phase to Phase
VOLTS PER HERTZ 1: Pickup	1.18 pu
VOLTS PER HERTZ 1: Curves	Definite Time
VOLTS PER HERTZ 1: TD Multiplier	2.00
VOLTS PER HERTZ 1: T Reset	1.0 s
VOLTS PER HERTZ 1: Block	OFF
VOLTS PER HERTZ 1: Target	Latched
VOLTS PER HERTZ 1: Events	Enabled
VOLTS PER HERTZ 2: Function	Enabled
VOLTS PER HERTZ 2: Source	SALIDA (SRC 1)
VOLTS PER HERTZ 2: VHZ Voltage Mode	Phase to Phase
VOLTS PER HERTZ 2: Pickup	1.09 pu
VOLTS PER HERTZ 2: Curves	Inverse B
VOLTS PER HERTZ 2: TD Multiplier	4.00
VOLTS PER HERTZ 2: T Reset	1.0 s
VOLTS PER HERTZ 2: Block	OFF
VOLTS PER HERTZ 2: Target	Latched
VOLTS PER HERTZ 2: Events	Enabled

Figura 9.46 – Protección de sobreflujo – Unidad TG

9.4.2 Unidad TV

LOSS OF EXCITATION [GROUP 1]	
Function	Enabled
Source	COLA (SRC 2)
Center 1	9.26 ohm
Radius 1	7.41 ohm
UV Supervision Enable 1	Enabled
Pickup Delay 1	0.060 s
Center 2	17.80 ohm
Radius 2	15.95 ohm
UV Supervision Enable 2	Enabled
Pickup Delay 2	0.050 s
UV Supervision	0.800 pu
Block	OFF
Target	Latched
Events	Enabled

Figura 9.47 – Protección de pérdida de excitación – Unidad TV

PHASE OV [GROUP 1]	
PHASE OV1: Function	Enabled
PHASE OV1: Source	SALIDA (SRC 1)
PHASE OV1: Pickup	1.100 pu
PHASE OV1: Delay	6.75 s
PHASE OV1: Reset Delay	1.00 s
PHASE OV1: Block	GEN_OFF_LINE On(H5a)
PHASE OV1: Target	Self-reset
PHASE OV1: Events	Enabled

Figura 9.48 – Protección de sobretensión – Unidad TV

VOLTS PER HERTZ [GROUP 1]	
VOLTS PER HERTZ 1: Function	Enabled
VOLTS PER HERTZ 1: Source	SALIDA (SRC 1)
VOLTS PER HERTZ 1: Pickup	1.12 pu
VOLTS PER HERTZ 1: Curves	Definite Time
VOLTS PER HERTZ 1: TD Multiplier	2.00
VOLTS PER HERTZ 1: T Reset	1.0 s
VOLTS PER HERTZ 1: Block	OFF
VOLTS PER HERTZ 1: Target	Latched
VOLTS PER HERTZ 1: Events	Enabled
VOLTS PER HERTZ 2: Function	Enabled
VOLTS PER HERTZ 2: Source	SALIDA (SRC 1)
VOLTS PER HERTZ 2: Pickup	1.13 pu
VOLTS PER HERTZ 2: Curves	Inverse B
VOLTS PER HERTZ 2: TD Multiplier	4.00
VOLTS PER HERTZ 2: T Reset	1.0 s
VOLTS PER HERTZ 2: Block	OFF
VOLTS PER HERTZ 2: Target	Latched
VOLTS PER HERTZ 2: Events	Enabled

Figura 9.49 – Protección de sobreflujo – Unidad TV

9.5 Regulador de tensión GE EX2100

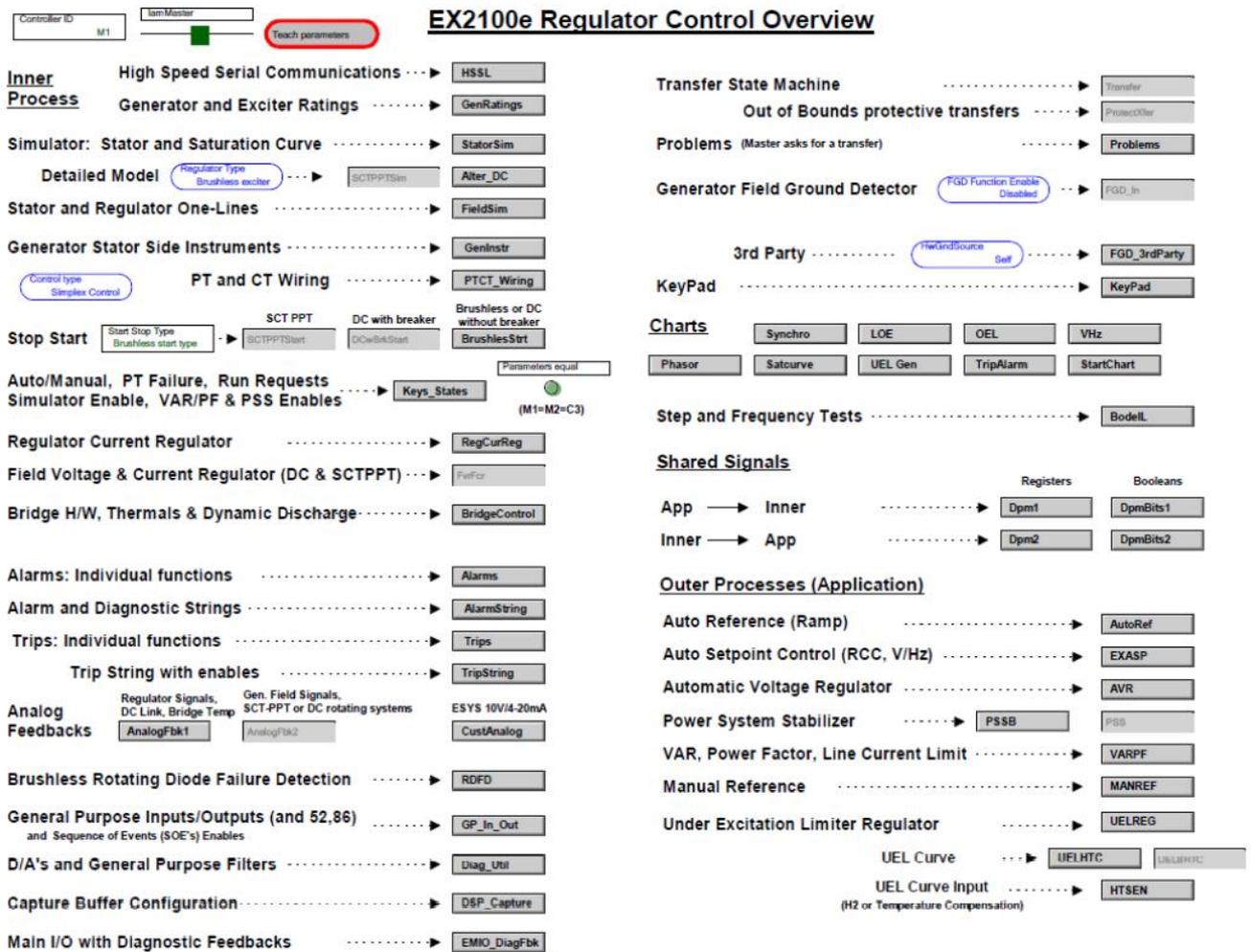


Figura 9.50: Pantalla principal AVR - Overview



AVR Setpoint Block (EXASP)

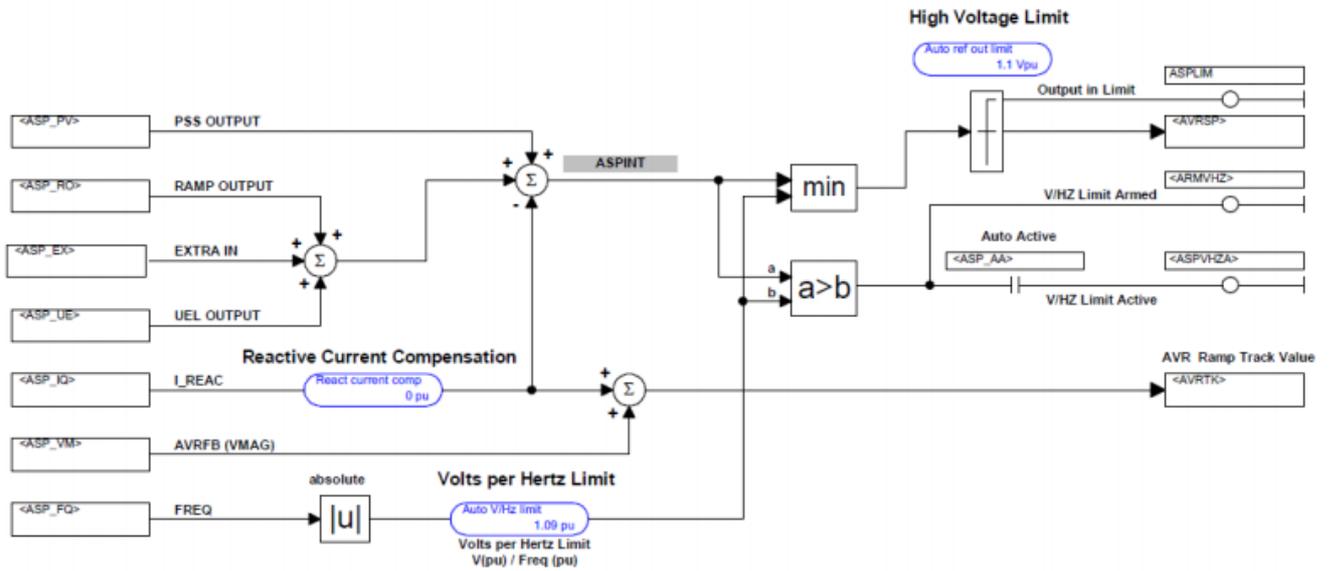


Figura 9.51: Bloque EXASP – Pantalla del VHZ

Under Excitation Limit (UEL) Regulator

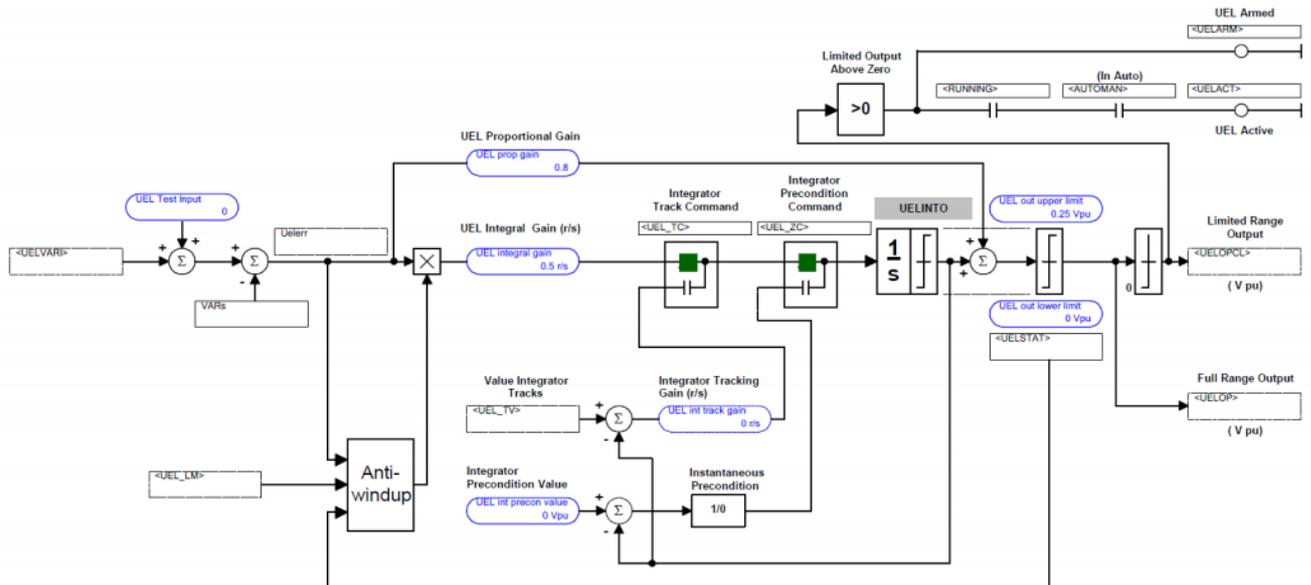


Figura 9.52: Pantalla UEL - PI

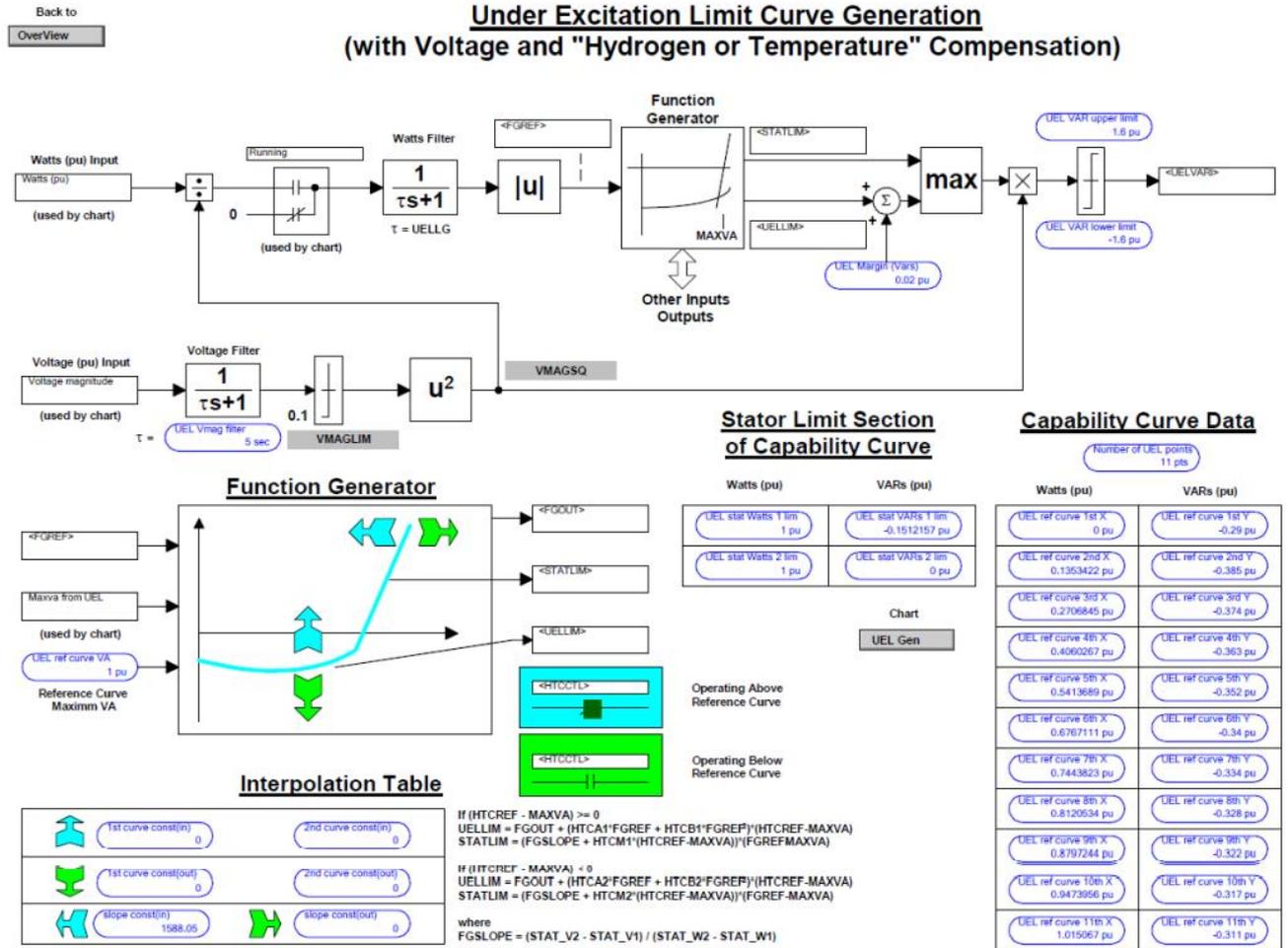


Figura 9.53: Curva UEL

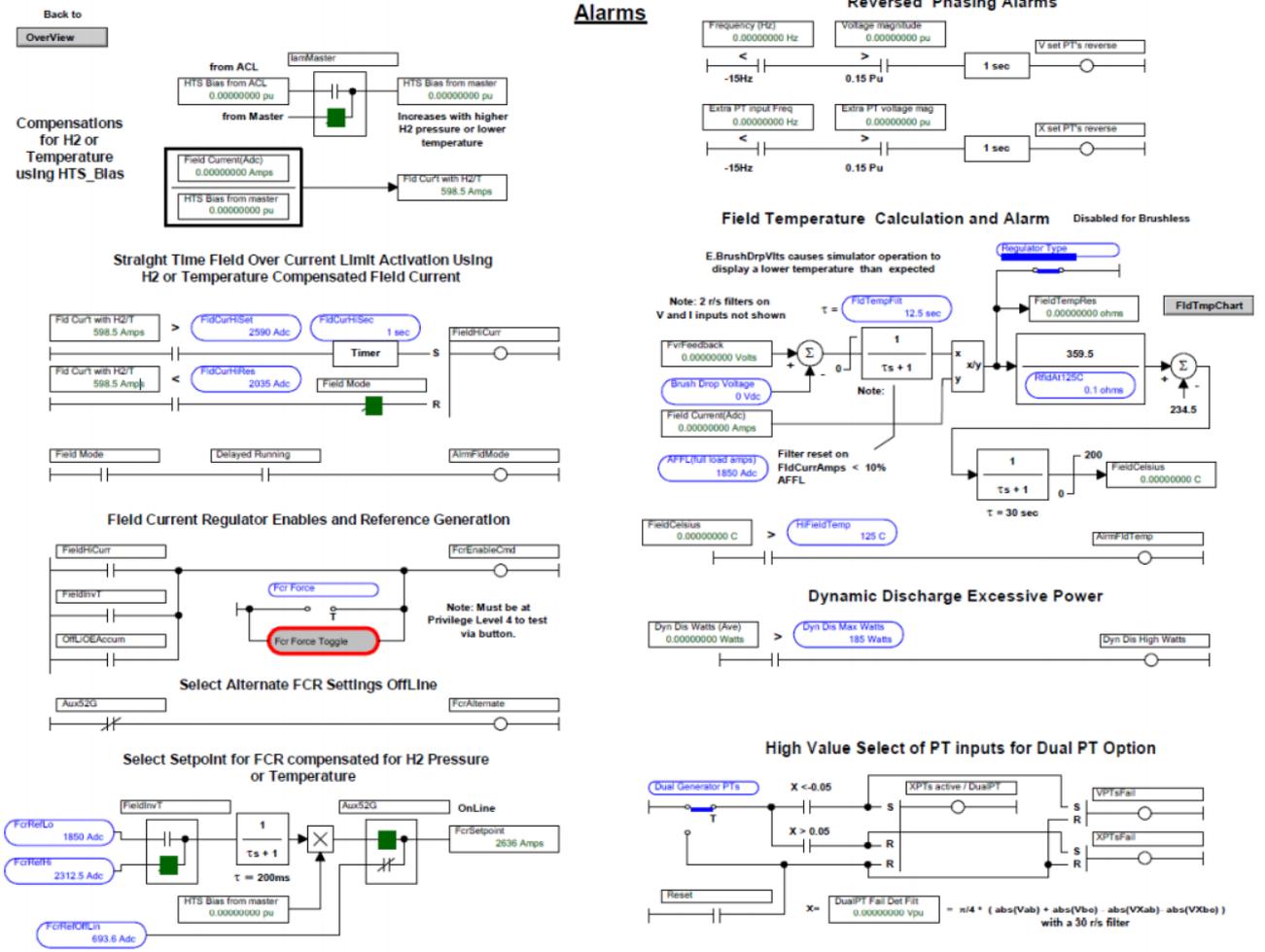


Figura 9.54: Pantalla Alarms

9.6 Transformadores de excitación alimentados de la propia unidad

9.6.1 Unidad TG

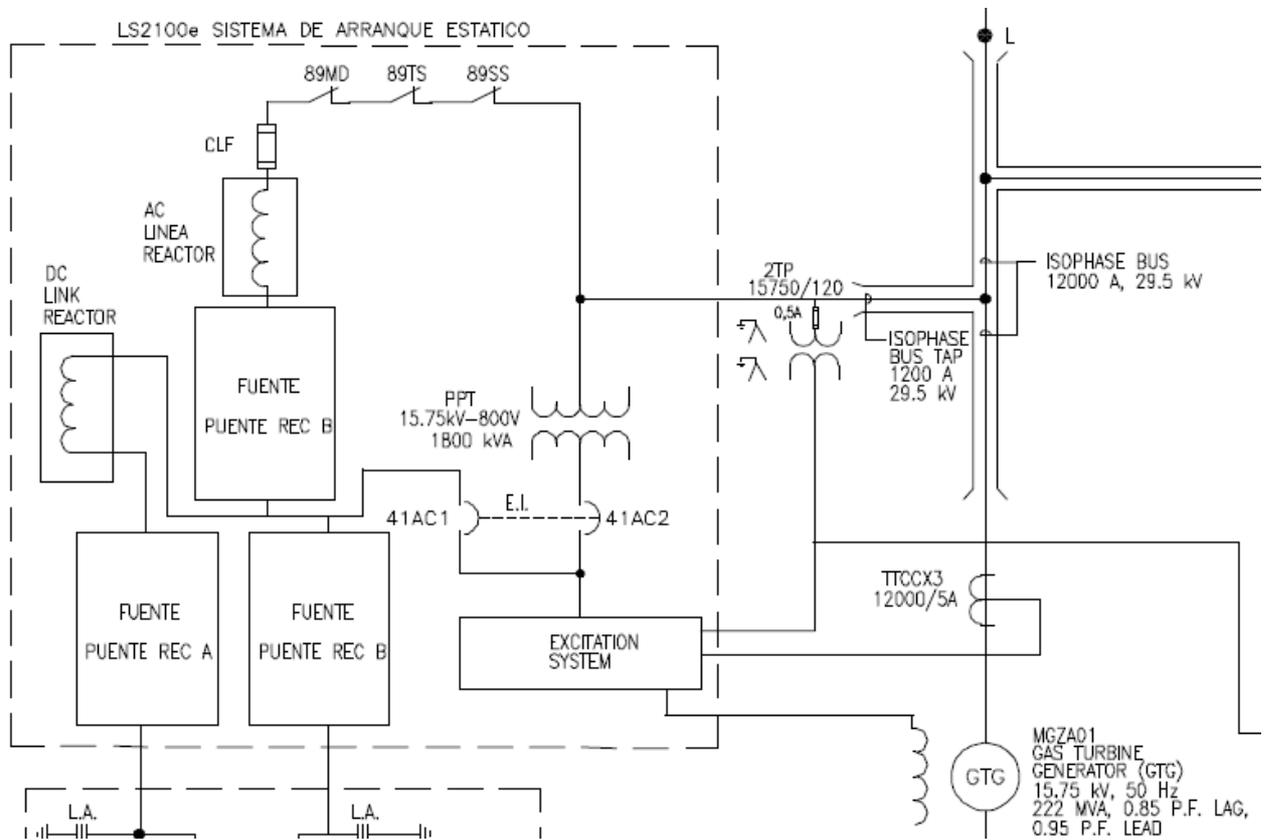


Figura 9.55: Unidad TG

9.6.2 Unidad TV

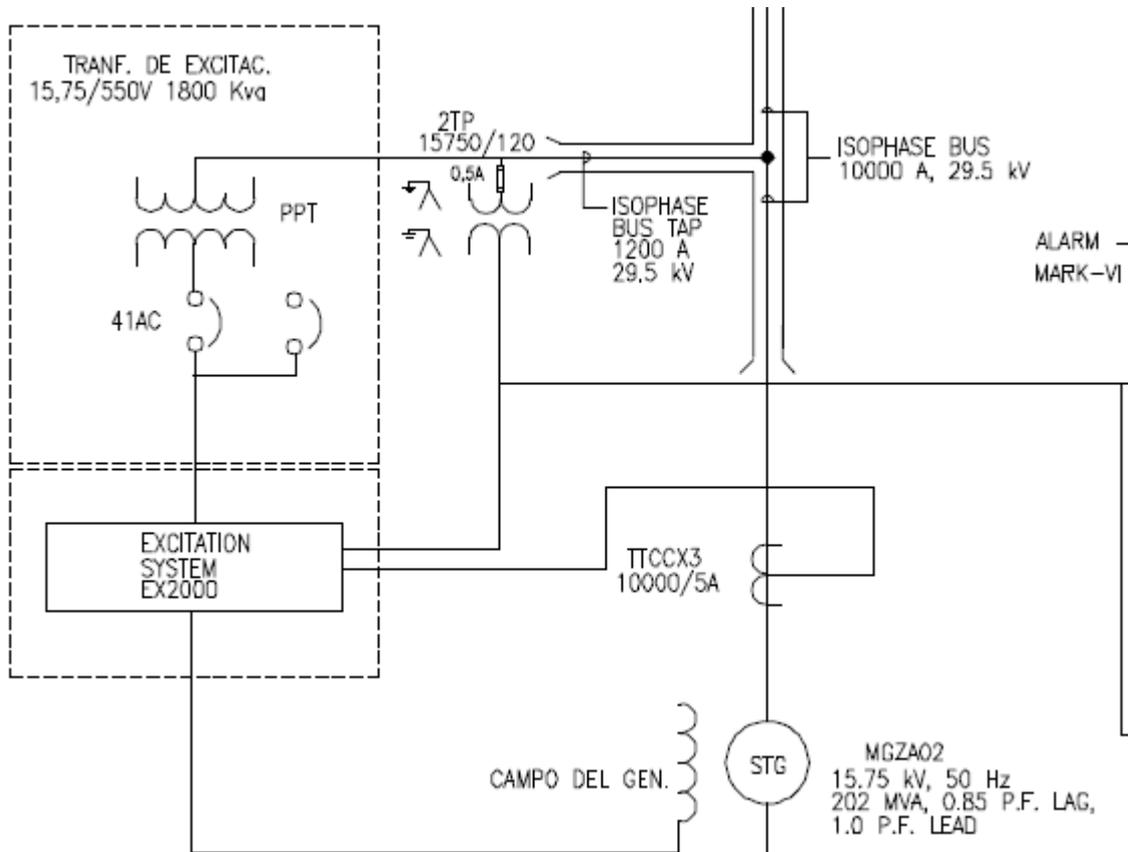


Figura 9.56: Unidad TV

9.7 Foto de placa del transformador elevador

9.7.1 Unidad TG

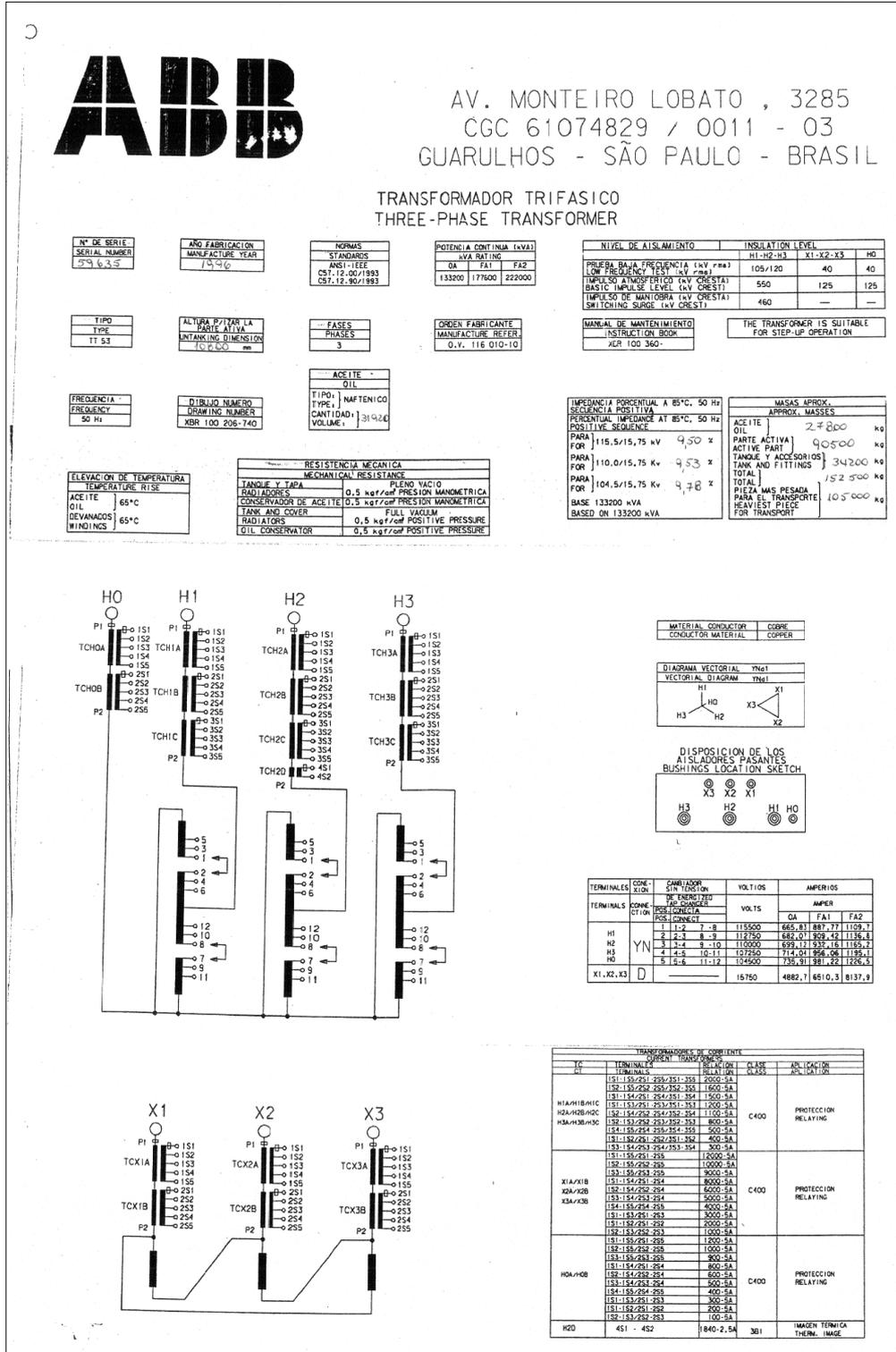


Figura 9.57: Placa del transformador elevador - Unidad TG

9.7.2 Unidad TV

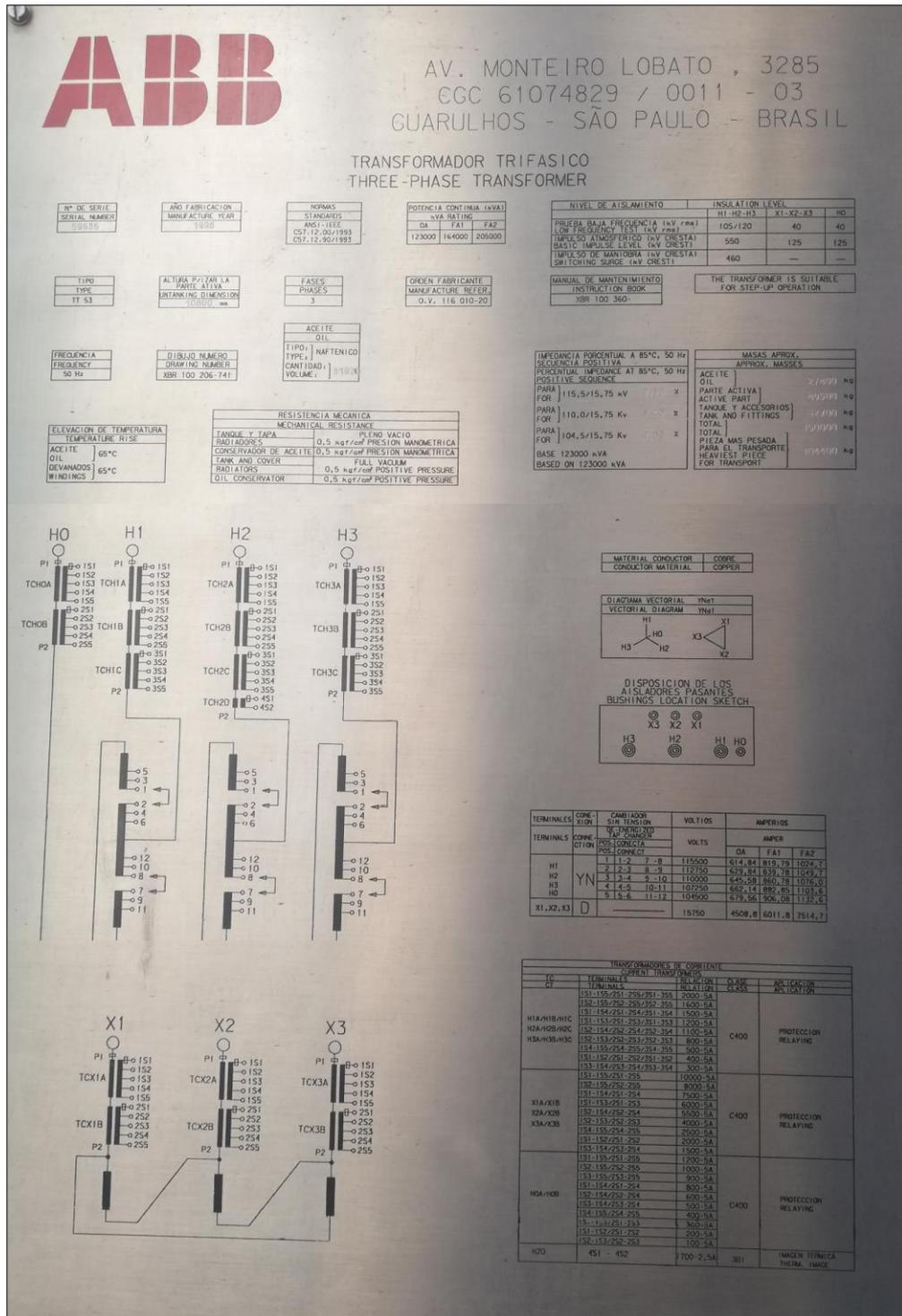
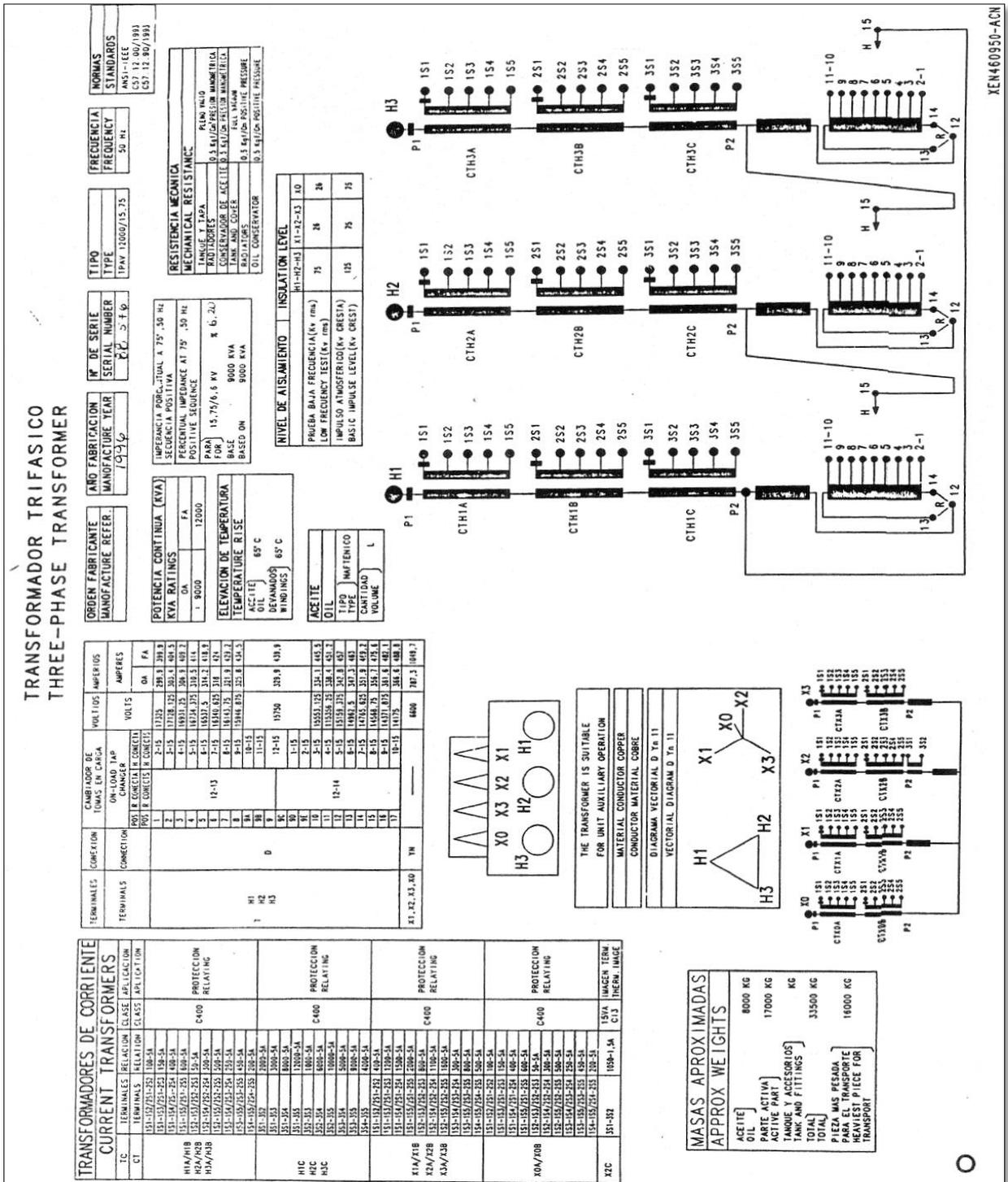


Figura 9.58 – Placa del transformador elevador – Unidad TV



9.8 Foto de placa del transformador de servicios auxiliares de 6.6 kV





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

Tabla 1: Parámetros de mínimo técnico Unidad Nueva Renca			
Central	Unidad	Combustible	Mínimo Técnico ⁽¹⁾ [MW]
Nueva Renca	Nueva Renca TG+TV	GNL	160 (85+75)
Nueva Renca	Nueva Renca TG+TV	Diésel	205 (125+80)

Tabla 9.1: Mínimo técnico contemplado por el CEN

Tabla 1: Parámetros de Potencia Máxima de Central Nueva Renca				
Central/Unidad	Combustible	Fuegos Adicionales	Potencia Máxima Bruta [MW]	Potencia Máxima Neta [MW]
Nueva Renca	Diésel	-	338,04	327,24
Nueva Renca	GNL	-	330,48	320,72
Nueva Renca	Diésel	GLP	368,02	356,52
Nueva Renca	GNL	GLP	362,40	351,86
Nueva Renca	GNL	GNL	380,81	370,10

Tabla 9.2: Potencia máxima contemplada por el CEN

9.11 Informe de Potencia Máxima

PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA DIESEL SIN FUEGO

N°	Parámetro	Unidad	Valor	Variable	KKS / Fórmula
1	Potencia Bruta en Bornes del Generador TG	kWh	218.444,28	PBG _{TG}	Medidor portatil, columna "kW int" Integración entre las 15:45h y las 20:45h (5h)
2	Potencia Bruta en Bornes del Generador TV	kWh	105.397,20	PBG _{TV}	Medidor portatil, columna "kW int" Integración entre las 15:45h y las 20:45h (5h)
3	Potencia Neta TG	kWh	208.306,55	kW _{NetoTG}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 15:45h y las 20:45h
4	Potencia Neta TV	kWh	104.723,04	kW _{NetoTV}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 15:45h y las 20:45h
5	Duración de la prueba	h	5,00	t	(medido)
6	Potencia Neta Medida Ciclo Combinado	kW	313.029,59	kW _{Neto Unidad}	kW _{Neto TG} + kW _{NetoTV}
7	Potencia Bruta Medida Ciclo Combinado	kW	323.841,48	PBG	PBG _{TG} + PBG _{TV}
8	Consumos Auxiliares No esenciales	kW	46,15	kW _{Aj Aux}	Medidor VIGAFLOW, columna "kW int". Integración entre las 15:45h y las 20:45h
9	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP = 0,95	kW	190,50	P _{1,0,95}	Desde la Curva 522HA265
10	Factor de potencia medido en los terminales del generador a vapor	[-]	0,9695	FP _{medido}	Medidor portatil, columna "PF lag tot" Integración entre las 15:45h y las 20:45h (5h)
11	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP medido	kW	228,87	P _{1,medido}	Desde la Curva 522HA265
12	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor respecto de FP =0,95	kW	38,37	P ₁	P _{1,medido} - P _{1,0,95}
13	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP = 0,95	kW	389,00	P _{2,0,95}	Desde la Curva 522HA248
14	Factor de potencia medido en los terminales del generador gas	[-]	0,9993	FP _{medido}	Medidor portatil, columna "PF lag tot" Integración entre las 15:45h y las 20:45h (5h)
15	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP medido	kW	579,18	P _{2,medido}	Desde la Curva 522HA248
16	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas respecto de FP =0,95	kW	190,18	P ₂	P _{2,medido} - P _{2,0,95}
17	Temperatura de Entrada al Compresor de la Turbina	°C	23,28	TE	CTIM
18	Factor de corrección por desviaciones de la temperatura de entrada al compresor de la turbina a gas respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,96	P _{TE}	Desde la Curva 522HA261, se genera la ecuación de Regresión Polinomial para la Potencia: P _{TE} = -7E-05TE ² - 0,0021TE + 1,042 R ² = 0,9985
19	Presión Barométrica medida	bar	0,95	PB	Medido Estación Meteorológica temporal
20	Factor de corrección por desviaciones de la presión barométrica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,00	P _{PB}	Desde la Curva 522HA264, Regresión Lineal para la Potencia PB = -0,00657+1,05483*PB
21	Humedad Específica	kg _{H2O} /kg _{Gas}	0,005810	HE	Desde Estación Meteorológica Temperatura de Bulbo Seco medida = 20,92 °C y Humedad Relativa medida = 37,87%
22	Factor de corrección por desviaciones de la humedad específica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,00	P _{HE}	Desde la Curva 522HA262, Regresión Lineal para la Potencia =1,0053619-1,4159418*HE+147,84905*HE^2-6257,6264*HE^3
23	Factor de corrección por desviaciones del poder calorífico respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0015	P _{PC}	Poder Calorífico Inferior = 10.250 kcal/kg = 18.450 Btu/lbm Desde la Curva 103H6359 - 21
24	Factor de corrección por desviaciones del agua de make-up del ciclo respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0000	P _{MU}	Desde la Curva 522HA250 se genera la ecuación de regresión lineal: y = -2E-05x + 1
25	Corrección de la potencia por variaciones entre las condiciones de prueba y las condiciones de garantía	[-]	1,04	kW _{Aj}	1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC} *P _{MU})
26	Potencia Neta Corregida	kW	326.801,87	PNC	(kW _{Neto Unidad} + kW _{Aj Aux} - P ₁ - P ₂) x kW _{Aj}
27	Potencia Bruta Corregida	kW	338.047,81	PBGC	(PBG - P ₁ - P ₂) x 1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC})

Figura 9.61: Memoria de cálculo para Potencia Máxima – Prueba DIESEL sin fuegos adicionales

PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA GNL SIN FUEGO

N°	Parámetro	Unidad	Valor	Variable	KKS / Fórmula
1	Potencia Bruta en Bornes del Generador TG	kWh	212.673,045	PBG _{TG}	Medidor portatil, columna "kW int" Integración entre las 15:15h y las 20:15h (5h)
2	Potencia Bruta en Bornes del Generador TV	kWh	109.724,392	PBG _{TV}	Medidor portatil, columna "kW int" Integración entre las 15:15h y las 20:15h (5h)
3	Potencia Neta TG	kWh	203.626,134	kW _{NetoTG}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 15:15h y las 20:15h
4	Potencia Neta TV	kWh	109.019,711	kW _{NetoTV}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 15:15h y las 20:15h
5	Duración de la prueba	h	5	t	(medido)
6	Potencia Neta Medida Ciclo Combinado	kW	312.645,84	kW _{Neto Unidad}	kW _{Neto TG} + kW _{NetoTV}
7	Potencia Bruta Medida Ciclo Combinado	kW	322.397,44	PBG	PBG _{TG} + PBG _{TV}
8	Consumos Auxiliares No esenciales	kW	1,702	kW _{Aj Aux}	Medidor VIGAFLOW, columna "kW int". Integración entre las 15:15h y las 20:15h
9	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP = 0,95	kW	190,500	P _{1,95}	Desde la Curva 522HA265, Regresión Lineal para la Potencia (sin Fuegos) FC = -1681 + 1970* FP
10	Factor de potencia medido en los terminales del generador a vapor	[-]	0,91	FP _{medido}	Medidor portatil, columna "PF lag tot" Integración entre las 15:15h y las 20:15h (5h)
11	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP medido	kW	109,604	P _{1,medido}	Desde la Curva 522HA265, Regresión Lineal para la Potencia (sin Fuegos) FC = -1681 + 1970* FP
12	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor respecto de FP=0,95	kW	-80,896	P ₁	P _{1,medido} - P _{1,95}
13	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP = 0,95	kW	389,000	P _{2,95}	Desde la Curva 522HA248, Regresión Lineal para la Potencia FC = -3278 + 3860* FP
14	Factor de potencia medido en los terminales del generador gas	[-]	0,9934	FP _{medido}	Medidor portatil, columna "PF lag tot" Integración entre las 15:15h y las 20:15h (5h)
15	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP medido	kW	556,398	P _{2,medido}	Desde la Curva 522HA248, Regresión Lineal para la Potencia (sin Fuegos) FC = -1681 + 1970* FP
16	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas respecto de FP =0,95	kW	167,398	P ₂	P _{2,medido} - P _{2,95}
17	Temperatura de Entrada al Compresor de la Turbina	°C	22,317	TE	CTIM
18	Factor de corrección por desviaciones de la temperatura de entrada al compresor de la turbina a gas respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,960	P _{TE}	Desde la Curva 522HA261, se genera la ecuación de Regresión Polinomial para la Potencia: P _{TE} = -7E-05TE ² - 0,0021TE + 1,042 R ² = 0,9985
19	Presión Barométrica medida	bar	0,9562	PB	Medido Estación Meteorológica temporal Dato: BP _{mmHg} = 717,21
20	Factor de corrección por desviaciones de la presión barométrica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0021	P _{PB}	Desde la Curva 522HA264, Regresión Lineal para la Potencia PB = -0,00657+1,05483*PB Desde Estación Meteorológica
21	Humedad Especifica	kg _{H2O} /kg _{Gas}	0,0033	HE	Temperatura de Bulbo Seco medida = 20,03 °C y Humedad Relativa medida = 22,77%
22	Factor de corrección por desviaciones de la humedad especifica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0021	P _{HE}	Desde la Curva 522HA262, Regresión Lineal para la Potencia =1,0053619-1,4159418*HE+147,84905*HE^2-6257,6264*HE^3
23	Factor de corrección por desviaciones del poder calorífico respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0115	P _{PC}	Poder Calorífico Inferior = 49.587,8 kJ/kg Desde la Curva 522HA263
24	Factor de corrección por desviaciones del agua de make-up del ciclo respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0000	P _{MU}	Desde la Curva 522HA250
25	Corrección de la potencia por variaciones entre las condiciones de prueba y las condiciones de garantía	[-]	1,0253	kW _{Aj}	1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC} *P _{MU})
26	Potencia Neta Corregida	kW	320.475,51	PNC	(kW _{Neto Unidad} + kW _{Aj Aux} - P ₁ - P ₂) x kW _{Aj}
27	Potencia Bruta Corregida	kW	330.472,16	PBGC	(PBG - P ₁ - P ₂) x 1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC})

Figura 9.62: Memoria de cálculo para Potencia Máxima – Prueba GNL sin fuegos adicionales



PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA GNL CON FUEGO GNL

N°	Parámetro	Unidad	Valor	Variable	KKS / Fórmula
1	Potencia Bruta en Bornes del Generador TG	kWh	210.045,118	PBG _{TG}	Medidor portátil, columna "kW int" Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
2	Potencia Bruta en Bornes del Generador TV	kWh	155.833,202	PBG _{TV}	Medidor portátil, columna "kW int" Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
3	Potencia Neta TG	kWh	200.429,714	KW _{NetoTG}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
4	Potencia Neta TV	kWh	154.731,322	KW _{NetoTV}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
5	Duración de la prueba	h	5	t	(medido)
6	Potencia Neta Medida Ciclo Combinado	KW	355.161,04	KW _{Neto Unidad}	KW _{Neto TG} + KW _{NetoTV}
7	Potencia Bruta Medida Ciclo Combinado	kW	365.878,32	PBG	PBG _{TG} + PBG _{TV}
8	Consumos Auxiliares No esenciales	kW	1,685	KW _{Aux}	Medidor VIGAFLOW, columna "kW int". Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
9	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP = 0,95	kW	305,5	P1 _{0,95}	Desde la Curva 522HA251
10	Factor de potencia medido en los terminales del generador a vapor	[-]	0,95	FP _{medido}	Medidor portátil, columna "PF lag tot" Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
11	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP medido	kW	294,960	P1 _{medido}	Desde la Curva 522HA251
12	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor respecto de FP =0,95	kW	-10,540	P1	P1 _{medido} - P1 _{0,95}
13	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP = 0,95	kW	389,000	P2 _{0,95}	Desde la Curva 522HA248
14	Factor de potencia medido en los terminales del generador gas	[-]	0,9918	FP _{medido}	Medidor portátil, columna "PF lag tot" Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
15	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP medido	kW	350,207	P2 _{medido}	Desde la Curva 522HA248
16	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas respecto de FP =0,95	kW	161,207	P2	P2 _{medido} - P2 _{0,95}
17	Temperatura de Entrada al Compresor de la Turbina	°C	23,306	TE	CTIM
18	Factor de corrección por desviaciones de la temperatura de entrada al compresor de la turbina a gas respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,958	P _{TE}	Desde la Curva 522HA244
19	Presión Barométrica medida	bar	0,9579	PB	Medido Estación Meteorológica temporal Dato: BP mmHg = 718,47
20	Factor de corrección por desviaciones de la presión barométrica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0036	P _{PB}	Desde la Curva 522HA246
21	Humedad Específica	kg _{H2O} /kg _{gas}	0,0065	HE	Desde Estación Meteorológica Temperatura de Bulbo Seco medida = 22,66 °C y Humedad Relativa medida = 38%
22	Factor de corrección por desviaciones de la humedad específica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0008	P _{HE}	Desde la Curva 522HA243
23	Factor de corrección por desviaciones del poder calorífico respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,9984	P _{PC}	Poder Calorífico inferior = 930,8 Btu/r ³ = 49.382,488 kJ/kg Desde la Curva 522HA247
24	Factor de corrección por desviaciones del agua de make-up del ciclo respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,000	P _{MU}	Desde la Curva 522HA250
25	Corrección de la potencia por variaciones entre las condiciones de prueba y las condiciones de garantía	[-]	1,0412	KW _{Aj}	1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC} *P _{MU})
26	Potencia Neta Corregida	kW	369.655,80	PNC	(KW _{Neto Unidad} + KW _{Aux} - P1 - P2) x KW _{Aj}
27	Potencia Bruta Corregida	kW	380.813,29	PBGC	(PBG - P1 - P2) x 1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC})

Figura 9.63: Memoria de cálculo para Potencia Máxima – Prueba GNL con fuegos adicionales GNL

PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA GNL CON FUEGO GLP

Nº	Parámetro	Unidad	Valor	Variable	KKS / Fórmula
1	Potencia Bruta en Bornes del Generador TG	kWh	223.032,117	PBG _{TG}	Medidor portátil, columna "kW int" Integración entre las 08:30h y las 13:30h (5h)
2	Potencia Bruta en Bornes del Generador TV	kWh	139.517,741	PBG _{TV}	Medidor portátil, columna "kW int" Integración entre las 08:30h y las 13:30h (5h)
3	Potencia Neta TG	kWh	213.417,710	kW _{NetoTG}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 08:30h y las 13:30h (5h)
4	Potencia Neta TV	kWh	138.592,739	kW _{NetoTV}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 08:30h y las 13:30h (5h)
5	Duración de la prueba	h	5	t	(medido)
6	Potencia Neta Medida Ciclo Combinado	kW	352.010,45	kW _{NetoUnidad}	kW _{NetoTG} + kW _{NetoTV}
7	Potencia Bruta Medida Ciclo Combinado	kW	362.549,86	PBG	PBG _{TG} + PBG _{TV}
8	Consumos Auxiliares No esenciales	kW	47,897	kW _{Aj Aux}	Medidor VIGAFLOW, columna "kW int". Integración entre las 08:30h y las 13:30h (5h)
9	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP = 0,95	kW	305,500	P _{1,0,95}	Desde la Curva 522HA251
10	Factor de potencia medido en los terminales del generador a vapor	[-]	0,95	FP _{medido}	Medidor portátil, columna "PF lag tot" Integración entre las 08:30h y las 13:30h (5h)
11	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP medido	kW	182,620	P _{1medido}	Desde la Curva 522HA2251
12	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor respecto de FP =0,95	kW	-122,880	P ₁	P _{1medido} - P _{1,0,95}
13	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP = 0,95	kW	389,000	P _{2,0,95}	Desde la Curva 522HA248
14	Factor de potencia medido en los terminales del generador gas	[-]	0,9940	FP _{medido}	Medidor portátil, columna "PF lag tot" Integración entre las 14:30h y las 19:30h (5h)
15	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP medido	kW	558,879	P _{2medido}	Desde la Curva 522HA248
16	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas respecto de FP =0,95	kW	169,879	P ₂	P _{2medido} - P _{2,0,95}
17	Temperatura de Entrada al Compresor de la Turbina	°C	15,471	TE	CTIM
18	Factor de corrección por desviaciones de la temperatura de entrada al compresor de la turbina a gas respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,996	P _{TE}	Desde la Curva 522HA244
19	Presión Barométrica medida	bar	0,9599	P _B	Medido Estación Meteorológica temporal Dato: BP_mmHg = 718,47
20	Factor de corrección por desviaciones de la presión barométrica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0055	P _{PB}	Desde la Curva 522HA246
21	Humedad Específica	kg _{H2O} /kg _{as}	0,0065	HE	Desde Estación Meteorológica Temperatura de Bulbo Seco medida = 22,66 °C y Humedad Relativa medida = 38%
22	Factor de corrección por desviaciones de la humedad específica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0008	P _{HE}	Desde la Curva 522HA245
23	Factor de corrección por desviaciones del poder calorífico respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,9984	P _{FC}	Poder Calorífico Inferior = 930,9 Btu/ft ³ = 49.587,83 kJ/kg Desde la Curva 622HA247
24	Factor de corrección por desviaciones del agua de make-up del ciclo respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,000	P _{MU}	Desde la Curva 522HA250
25	Corrección de la potencia por variaciones entre las condiciones de prueba y las condiciones de garantía	[-]	0,9997	kW _{Aj}	1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{FC} *P _{MU})
26	Potencia Neta Corregida	kW	351.914,10	PNC	(kW _{NetoUnidad} + kW _{Aj Aux} - P ₁ - P ₂) x kW _{Aj}
27	Potencia Bruta Corregida	kW	362.402,61	PBGC	(PBG - P ₁ - P ₂) x 1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{FC})

Figura 9.64: Memoria de cálculo para Potencia Máxima – Prueba GNL con fuegos adicionales GLP

PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA DIESEL CON FUEGO GLP

N°	Parámetro	Unidad	Valor	Variable	KKS / Fórmula
1	Potencia Bruta en Bornes del Generador TG	kWh	224.150,742	PBG _{TG}	Medidor portátil, columna "kW int" Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
2	Potencia Bruta en Bornes del Generador TV	kWh	143.853,340	PBG _{TV}	Medidor portátil, columna "kW int" Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
3	Potencia Neta TG	kWh	213.672,832	kW _{NetoTG}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
4	Potencia Neta TV	kWh	142.834,648	kW _{NetoTV}	Medidor ENEL, columna "kW int". Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
5	Duración de la prueba	h	5	t	(medido)
6	Potencia Neta Medida Ciclo Combinado	kW	356.507,48	kW _{Neto Unidad}	kW _{Neto TG} + kW _{NetoTV}
7	Potencia Bruta Medida Ciclo Combinado	kW	368.004,08	PBG	PBG _{TG} + PBG _{TV}
8					
9	Consumos Auxiliares No esenciales	kW	2,614	kW _{Aj Aux}	Medidor VIGAFLOW, columna "kW int". Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
10	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP = 0,95	kW	305,500	P _{1,0,95}	Desde la Curva 522HA251
11	Factor de potencia medido en los terminales del generador a vapor	[-]	0,9984	FP _{medido}	Medidor portátil, columna "PF lag tot" Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
12	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor para FP medido	kW	451,668	P _{1,medido}	Desde la Curva 522HA251
13	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a vapor respecto de FP=0,95	kW	146,168	P ₁	P _{1,medido} - P _{1,0,95}
14	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP = 0,95	kW	389,000	P _{2,0,95}	Desde la Curva 522HA248
15	Factor de potencia medido en los terminales del generador gas	[-]	0,9971	FP _{medido}	Medidor portátil, columna "PF lag tot" Integración entre las 17:45h y las 22:45h (5h)
16	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas para FP medido	kW	570,806	P _{2,medido}	Desde la Curva 522HA248
17	Corrección de la potencia por el Factor de Potencia del turbogenerador a gas respecto de FP=0,95	kW	181,806	P ₂	P _{2,medido} - P _{2,0,95}
18	Temperatura de Entrada al Compresor de la Turbina	°C	15,948	TE	CTIM
19	Factor de corrección por desviaciones de la temperatura de entrada al compresor de la turbina a gas respecto a las condiciones de garantía.	[-]	0,994	P _{TE}	Desde la Curva 522HA244
20	Presión Barométrica medida	bar	0,9569	PB	Medido Estación Meteorológica temporal Dato: BP mmHg = 717,77
21	Factor de corrección por desviaciones de la presión barométrica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0028	P _{PB}	Desde la Curva 522HA246
22	Humedad Específica	kg _{H2O} /kg _{Bas}	0,0056	HE	Desde Estación Meteorológica Temperatura de Bulbo Seco medida = 13,71 °C y Humedad Relativa medida = 57,5%
23	Factor de corrección por desviaciones de la humedad específica respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0011	P _{HE}	Desde la Curva 522HA245
24	Factor de corrección por desviaciones del poder calorífico respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,0014	P _{PC}	Poder Calorífico Inferior = 10.246 kcal/kg = 18.443 Btu/lbm Desde la Curva 103H6359 - 21
25	Factor de corrección por desviaciones del agua de make-up del ciclo respecto a las condiciones de garantía.	[-]	1,000	P _{MU}	Desde la Curva 522HA250
26	Corrección de la potencia por variaciones entre las condiciones de prueba y las condiciones de garantía	[-]	1,0009	kW _{Aj}	1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC} *P _{MU})
27	Potencia Neta Corregida	kW	356.515,10	PNC	(kW _{Neto Unidad} + kW _{Aj Aux} - P ₁ - P ₂) x kW _{Aj}
28	Potencia Bruta Corregida	kW	368.019,77	PBGC	(PBG - P ₁ - P ₂) x 1/(P _{TE} *P _{PB} *P _{HE} *P _{PC})

Figura 9.65: Memoria de cálculo para Potencia Máxima – Prueba DIESEL con fuegos adicionales GLP

9.12 Ensayos de Control Secundario de Frecuencia

El objetivo de los ensayos relativos a este SSCC es el de verificar la respuesta de las instalaciones ante la acción del AGC según lo requerido en el Informe de SSCC vigente. El CSF debe operar de forma centralizada y automática a través de un esquema de control centralizado o AGC.

En este caso Estudios Eléctricos participó como veedor en las pruebas colaborando con la medición de las variables eléctricas. Las pruebas estuvieron lideradas por Arturo Olavarría del Coordinador y Máximo Cortés de Generadora Metropolitana.

El presente anexo resume las pruebas de movimiento de carga realizadas pero no tiene el objetivo de presentar una verificación completa del SSCC de CSF ya que esto es realizado por el Coordinador en forma directa.

9.13 AGC Nueva Renca

La Figura 9.66 muestra el sistema implementado en el ciclo combinado Nueva Renca para operar con AGC.

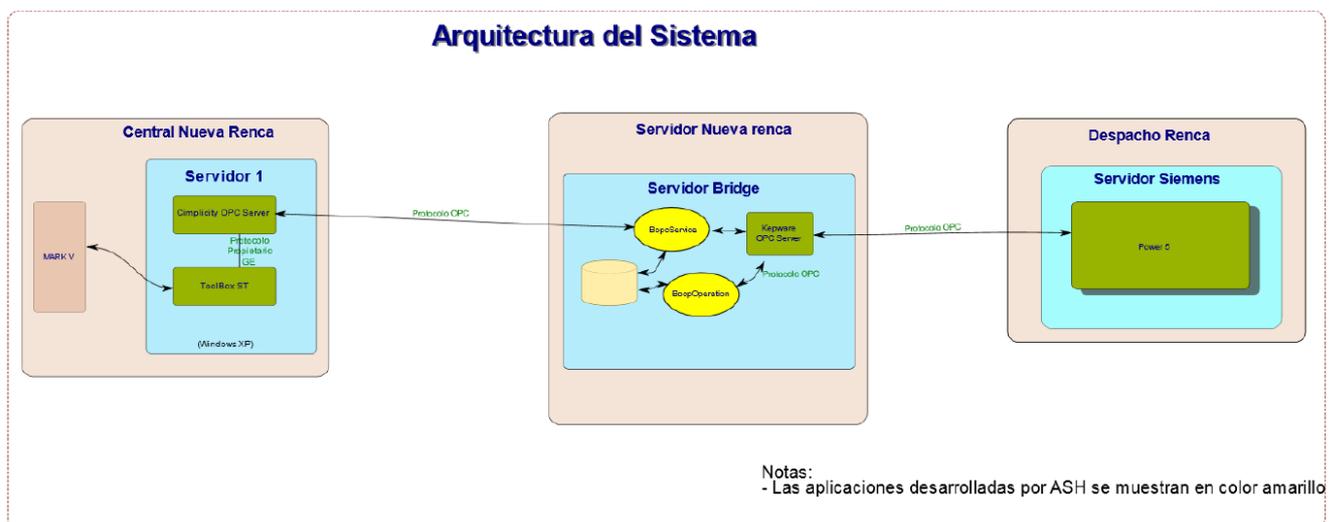


Figura 9.66 – Arquitectura sistema AGC implementado para el ciclo combinado Nueva Renca

El sistema implementado permite al AGC leer variables de operación de la Central Nueva Renca, a través de una interfaz OPC. Se leen variables desde el sistema de control Cimplicity y se disponen en una interfaz OPC para ser accedidas desde el sistema AGC. Adicionalmente, desde el AGC es posible escribir la consigna de potencia.



9.14 Verificaciones en terreno

El Coordinador realiza pruebas de comunicaciones en línea con personal del CEN y se verifica lo siguiente:

- Correcta conectividad de los elementos de control.
- Correcta recepción de señal de consigna de potencia desde el AGC.
- Correcto envío de señal de feedback de potencia hacia el AGC.
- Verificación de respuesta ante cambios de consigna desde AGC.

9.15 Respuesta del control secundario de frecuencia ante cambios de consigna

A fin de verificar el cumplimiento de lo establecido por la Guía Técnica, se verifica la respuesta de la unidad TG ante cambios en la consigna de potencia activa desde AGC.

Durante las pruebas, el límite inferior del AGC se configura en 170 MW y el límite superior en 220 MW. El ensayo se realiza con la unidad TG configurada en sus valores originales de estatismo (4%) y banda muerta (10 mHz).

9.15.1 Caso con CPF desactivado

La Figura 9.67 muestra un cambio de consigna desde el sistema AGC en la potencia activa de 210 MW a 190 MW en la unidad TG.

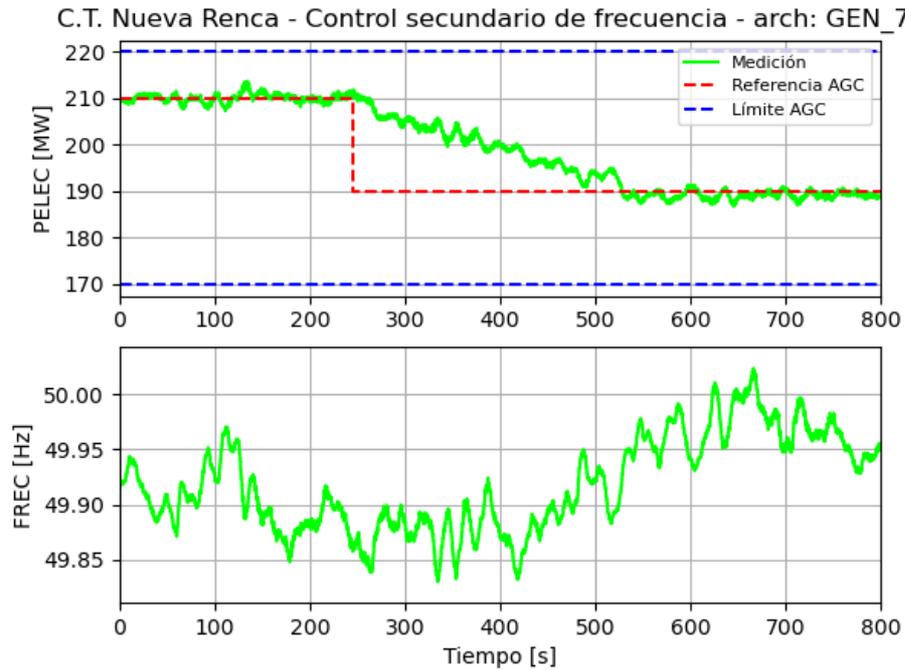


Figura 9.67 – Respuesta sistema al AGC PELECo = 210 MW

La

Figura 9.68 muestra un cambio de consigna desde el sistema AGC en la potencia activa de 190 MW a 210 MW en la unidad TG.

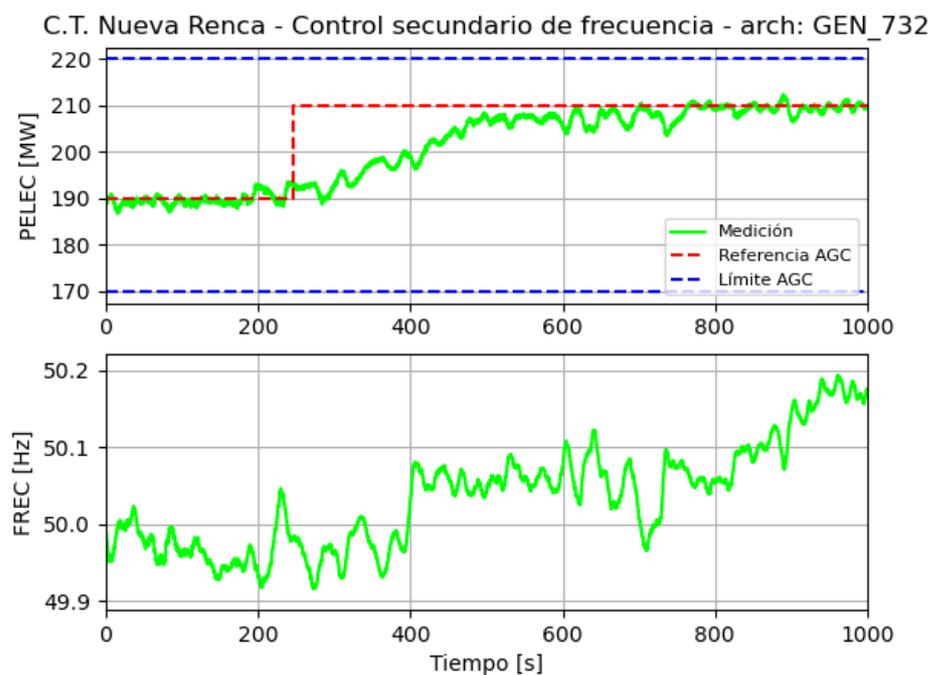


Figura 9.68 – Respuesta sistema al AGC PELECo = 190 MW

Se verifica que con CPF desactivado, la unidad TG responde de acuerdo a lo esperado, siguiendo la consigna del AGC y dentro del rango de potencia destinado para tal fin.

9.15.2 Caso con CPF activado

La Figura 9.69 muestra un cambio de consigna desde el sistema AGC en la potencia activa de 210 MW a 180 MW en la unidad TG.

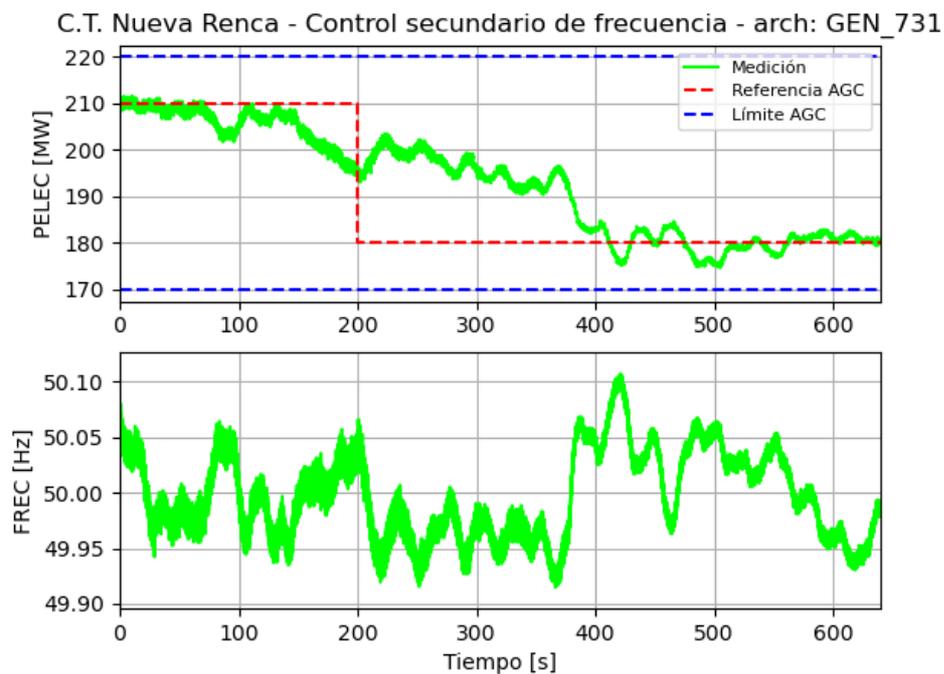


Figura 9.69 – Respuesta sistema al AGC PELECo = 210 MW

La Figura 9.70 muestra un cambio de consigna desde el sistema AGC en la potencia activa de 173 MW a 180 MW en la unidad TG.

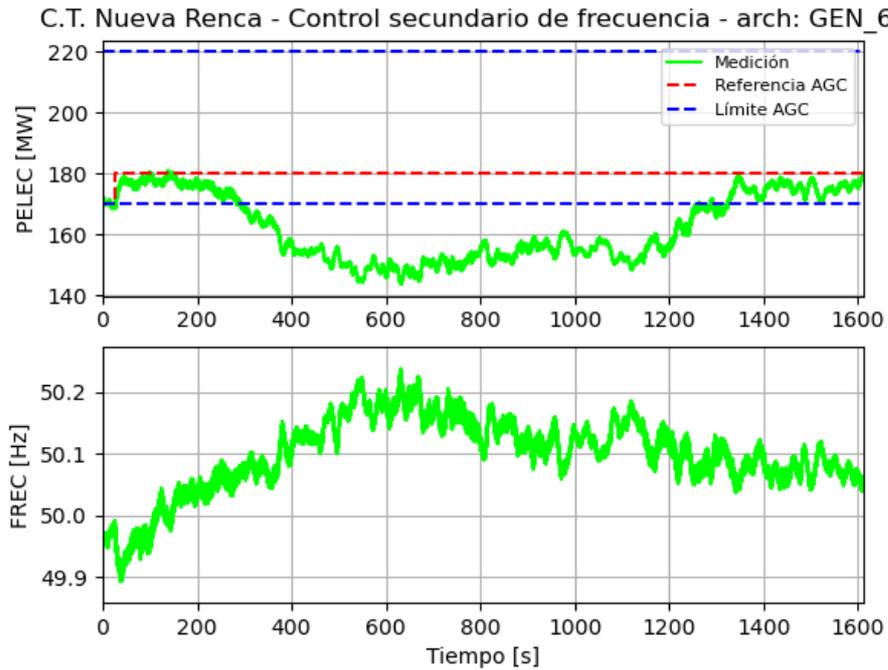


Figura 9.70 – Respuesta sistema al AGC PELECo = 173 MW

Se verifica que con CPF activado, la unidad TG responde bien a la consigna desde AGC cuando la frecuencia del Sistema varía en un pequeño rango (menor a ± 0.1 Hz). Por otra parte, cuando la frecuencia varía considerablemente, la unidad incursiona fuera del rango de control del AGC.



9.16 Archivos adjuntos entregados

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

- Registros de ensayos: EE-EN-2021-1413-RF_CT_Nueva_Renca_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 TG - Control de Tensión	
Nombre	Descripción
TG_FSNL_014	Performance
TG_FSNL_018	Techos
TG_FSNL_023	VHz
TG_GEN_106	UEL P5
TG_GEN_205	UEL P3
TG_GEN_219	UEL P1
TG_GEN_121	OEL temporizado P5
TG_GEN_208	OEL temporizado P3
TG_GEN_211	OEL temporizado P1
TG_GEN_401	PQ Q4
TG_GEN_405	PQ Q3
TG_GEN_303	PQ Q2
TG_GEN_302	PQ Q1
TG_GEN_305	PQ Q5
TG_GEN_404	PQ Q6
TG_GEN_304	PQ Q7
TG_GEN_301	PQ Q8

Tabla 9.3 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Unidad TG

Ensayos TV - Control de Tensión	
Nombre	Descripción
TV_FSNL_002	Performance
TV_FSNL_006	Techos
TV_FSNL_009	VHz
TV_GEN_101	UEL P5
TV_GEN_211	UEL P3
TV_GEN_212	UEL P1
TV_GEN_112	OEL temporizado P5
TV_GEN_202	OEL temporizado P3
TV_GEN_216	OEL temporizado P1
TV_GEN_402	PQ Q4
TV_GEN_403	PQ Q3
TV_GEN_403_2	PQ Q2
TV_GEN_302_2	PQ Q1
TV_GEN_401	PQ Q5
TV_GEN_401_2	PQ Q6
TV_GEN_404_2	PQ Q7
TV_GEN_303_2	PQ Q8

Tabla 9.4 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Unidad TV



Ensayos TG - CPF GNL	
Nombre	Descripción
TG_GEN_420	P1 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_421	P1 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_422	P1 - Droop 4% - BM 25mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_423	P1 - Droop 4% - BM 25mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_601	P1 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_602	P1 - Droop 4% - BM 25mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_603	P1 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_604	P1 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_605	P1 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_606	P1 - Droop 5% - BM 25mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_607	P1 - Droop 5% - BM 25mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_608	P1 - Droop 5% - BM 25mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_609	P1 - Registro de Red
TG_GEN_610	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_611	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_612	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_613	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_614	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_615	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_616	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_617	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_308	P2 - Registro de Red
TG_GEN_618	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_619	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_620	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_621	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_622	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_623	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_624	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_625	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_626	P3 - Registro de Red
TG_GEN_627	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_500	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_629	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_630	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_631	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_632	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_633	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_634	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_515	P4 - Registro de Red

Tabla 9.5 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control primario de frecuencia– Unidad TG GNL



Ensayos TG - CPF DIESEL	
Nombre	Descripción
TG_GEN_516	P1 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_501	P1 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_503	P1 - Droop 4% - BM 25mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_504	P1 - Droop 4% - BM 25mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_502	P1 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_505	P1 - Droop 4% - BM 25mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_506	P1 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_507	P1 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_508	P1 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_509	P1 - Droop 5% - BM 25mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_510	P1 - Droop 5% - BM 25mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_511	P1 - Droop 5% - BM 25mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_512	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_513	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_514	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_701	P2 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_702	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_703	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_704	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_705	P2 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_706	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_707	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_708	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_709	P3 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_710	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_711	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_712	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_713	P3 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_714	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_715	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_716	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_717	P4 - Droop 4% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz
TG_GEN_718	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.2 Hz
TG_GEN_719	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.2 Hz
TG_GEN_720	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step -0.4 Hz
TG_GEN_721	P4 - Droop 5% - BM 10mHz - Step +0.4 Hz

Tabla 9.6 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control primario de frecuencia – Unidad TG DIESEL



Ensayos TG - CSF	
Nombre	Descripción
TG_GEN_730	Pruebas AGC - RPF OFF
TG_GEN_640	Pruebas AGC - RPF ON
TG_GEN_731	Pruebas AGC - RPF ON
TG_GEN_732	Pruebas AGC - RPF OFF

Tabla 9.7 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control secundario de frecuencia – Unidad TG

Ensayos TG - CTF	
Nombre	Descripción
TG_GEN_517	Toma de MT a Máximo - GNL
TG_GEN_722	Toma de MT a Máximo - DIESEL
TG_GEN_518	Bajada de máximo a MT - GNL
TG_GEN_723	Bajada de máximo a MT - DIESEL

Tabla 9.8 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia – Unidad TG

Ensayos TV - CTF	
Nombre	Descripción
TV_GEN_517	Toma de MT a Máximo - GNL
TV_GEN_722	Toma de MT a Máximo - DIESEL
TV_GEN_220	Toma de Máximo SF a Máximo CF - GNL+GNL
TV_GEN_519	Toma de Máximo SF a Máximo CF - GNL+GLP
TV_GEN_723	Toma de Máximo SF a Máximo CF - DIESEL+GLP
TV_GEN_518	Bajada de máximo a MT - GNL
TV_GEN_725	Bajada de máximo a MT - DIESEL
TV_GEN_521	Bajada de Máximo CF a Máximo SF - GNL+GNL
TV_GEN_520	Bajada de Máximo CF a Máximo SF - GNL+GLP
TV_GEN_724	Bajada de Máximo CF a Máximo SF - DIESEL+GLP

Tabla 9.9 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia – Unidad TV

9.17 Acta de pruebas SSCC Nueva Renca

ESTUDIOS ELECTRICOS  ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS	
---	--

ACTA DE PRUEBAS

Fecha	07/07/2021	Empresa	Generadora Metropolitana
ID Proyecto	EE-2020-203	Ubicación	Renca, Santiago, Región Metropolitana
Denominación Planta	Ciclo combinado Nueva Renca (TG-TV)		
Servicios por verificar	Servicios Complementarios: - Control de Tensión (CT) - Control Primario de Frecuencia (CPF) - Control Secundario de Frecuencia (CSF) - Control Terciario de Frecuencia en giro (CTFg)		

Datos de la instalación

Potencia aparente nominal [MVA]	304.12 MVA (TG) 251.18 MVA (TV)	Tipo de central	Térmica (Ciclo Combinado)
Tensión en bornes nominal [kV]	15.75 kV (TG) 15.75 kV (TV)	Cantidad de unidades	2 (TG y TV)
Potencia activa máxima [MW]	218.47 MW (TG) 162.22 MW (TV)	Tipo de excitación	Estática
Potencia activa mínima [MW]	160 MW (GNL) 205 MW (DIESEL)	Transformador elevador bajo carga	15.75/110 kV (TG) 15.75/110 kV (TV)

Responsables durante las pruebas

Coordinado	Máximo Cortés
Coordinador	N/A
Experto técnico	Gonzalo Espinoza
Otros	N/A

Datos de las pruebas

Estado previo de la planta	Detenida
Inicio del período de pruebas	29/06/2021
Fin del período de pruebas	07/07/2021
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-0800- RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Tension_CT_Nueva_Renca EE-EN-2021-1070- RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_Control_Frecuencia_CT_Nueva_Renca
Posición de TAP trafo elevador	3 (TG) 3 (TV)

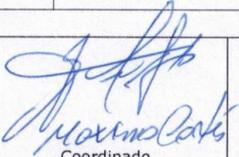
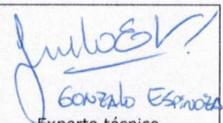
Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	 Coordinador	
-------------------------------------	---	--	--

Figura 9.71: Acta de Pruebas SSCC Nueva Renca (1 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS

ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Resumen de pruebas

SC Control de Tensión:

Se realiza pruebas en vacío en ambas unidades:

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

Se realiza pruebas dinámicas con las unidades conectadas a la red:

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

Se realiza pruebas estáticas con las unidades conectadas a la red:

- Puntos Curva PQ operables en 4 estados de carga.

SC Control de Frecuencia:

Se realiza pruebas de Control Primario de Frecuencia con el ciclo:

- Escalones en la referencia de frecuencia con combustible GNL.
- Escalones en la referencia de frecuencia con combustible Diesel.
- Registro de variaciones naturales de la red en 4 estados de carga con combustible GNL.

Se realiza pruebas de Control Secundario de Frecuencia con el ciclo:

- Como veedor se verifica que las señales de valor de potencia son correctamente leídas por el AGC del CEN y la consigna de potencia es correctamente recibida en el sistema de control de planta.
- Como veedor se verifica la conformidad por parte del CEN al hacer cambios de consigna en el AGC con CPF habilitado y deshabilitado.

Se realiza pruebas de Control Terciario de Frecuencia en giro con el ciclo:

- Toma de carga con combustible GNL y combustible DIESEL.
- Toma de carga con fuegos adicionales con combustible GNL y GLP.
- Bajada de carga con combustible GNL y combustible DIESEL.
- Bajada de carga con fuegos adicionales con combustible GNL y GLP.

Firmas Aclaración/Empresa		Coordinador		Coordinador	Experto técnico
-------------------------------------	--	-------------	--	-------------	-----------------

Figura 9.72: Acta de Pruebas SSCC Nueva Renca (2 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Observaciones/Desvíos del protocolo

SC Control de Tensión:

Curva PQ:

De acuerdo con el procedimiento se intenta probar los distintos niveles de tensión en bornes para cada uno de los estados de carga planteados. Se solicita constante colaboración al centro de despacho para bajar/subir tensión en barra SE Renca 110 kV. El centro de despacho en ocasiones no accedió a mover la tensión en barra por condiciones operativas desfavorables del Sistema y en otras ocasiones en que accedió, no logró mover lo suficiente para lograr las condiciones de ensayo solicitadas. El procedimiento consideraba lograr mover entre 0.93 pu y 1.07 pu de tensión en barra. Sin embargo, las fluctuaciones fueron entre 0.97 pu y 1.0 pu de tensión como máximo.

Debido a esto, no se logró medir los puntos en las condiciones exigidas en la Guía de Verificación. Sólo se logró llevar la unidad a los extremos de su capacidad de absorción/inyección de reactivos con las limitantes descritas en las siguientes tablas.

Unidad TG

Subexcitación						
Estado de carga	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVar)	Tensión en bornes (kV)	Tensión en Barra 110 kV (kV)	Tap trafo auxiliar	Actuación Límite UEL
P1=85	88.5	-48.1	15.00	108.62	16	No
P2=130	131.5	-50.1	15.00	109.23	16	No
P3=170	170.1	-51.2	15.00	109.24	16	No
P4=219	218	-35.0	14.96	108.90	16	No

Limitación: Para todos los estados de carga no fue posible disminuir la tensión en bornes debido a que se alcanza el tope 16 en el Transformador Auxiliar, el cual, es el último tope de operación segura de la unidad.

Sobrexcitación						
Estado de carga	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVar)	Tensión en bornes (kV)	Tensión en Barra 110 kV (kV)	Tap trafo auxiliar	Actuación Límite OEL
P1=85	91.2	107.0	16.75	106.53	8	No
P2=130	128.0	105.0	16.73	108.90	8	No
P3=170	171.5	111.7	16.74	108.72	8	No
P4=219	218.0	120.0	16.73	107.47	8	No

Limitación: Para todos los estados de carga no fue posible aumentar la tensión en bornes debido a que en los 16.73 kV se activa una alarma "HighVoltage" en consola por lo que operaciones decide no seguir aumentando tensión.

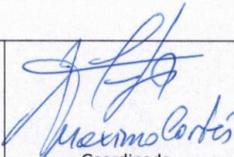
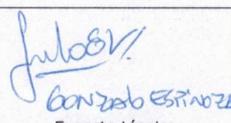
Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	Coordinador	 Experto técnico
-------------------------------------	---	-------------	--

Figura 9.73: Acta de Pruebas SSSC Nueva Renca (3 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS

ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Unidad TV

Subexcitación						
Estado de carga	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVAR)	Tensión en bornes (kV)	Tensión en Barra 110 kV (kV)	Tap trafo auxiliar	Actuación Límite UEL
P1=75	75.1	-61.2	14.7	106.53	8	Si
P3=97	95.9	-58.8	14.5	108.72	8	Si
P4=130	132.0	-45.0	14.7	107.47	8	Si
P5=162	155.1	-35.0	14.9	107.39	11	Si

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

Sobrexcitación						
Estado de carga	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVAR)	Tensión en bornes (kV)	Tensión en Barra 110 kV (kV)	Tap trafo auxiliar	Actuación Límite OEL
P1=75	76.5	138.1	17.2	108.92	16	No
P3=97	96.9	137.0	17.2	109.24	16	No
P4=130	133.8	128.8	17.2	110.09	11	No
P5=162	157.1	129.0	17.2	109.82	12	No

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

SC Control de Frecuencia:

Control Primario de Frecuencia:

- Debido al tiempo requerido para que la unidad TV alcance valores de régimen estables después de aplicar un escalón de frecuencia, se decide sostener solo el primer escalón de -0.2Hz, en cada estado de carga, por un tiempo de 12 minutos. Este tiempo de sostenimiento del escalón nos permite validar la dinámica del ciclo completo (TG+TV), y a su vez, demostrar que la unidad TG, que es la unidad que realiza CPF, puede sostener el aporte por más de 5 minutos como lo exige la Guía de Verificación. El resto de los escalones, son sostenidos durante 3 minutos solo para corroborar la estabilidad y régimen de la unidad TG.
- Gerencia Técnica de Generadora Metropolitana no autorizó aplicar escalones de $\pm 0.7\text{Hz}$ debido a que, de acuerdo a su experiencia operacional, un escalón de $\pm 0.7\text{Hz}$ conlleva un gran riesgo a la seguridad operacional del ciclo. Solo se autorizó aplicar escalones de un máximo de $\pm 0.4\text{Hz}$.
- En particular, el escalón de +0.4Hz en estado P1=96 MW (GNL), no se realiza por implicar alcanzar un valor menor a 70 MW (GNL) lo que implica un posible cambio en el modo de combustión, generando inestabilidad en la llama y por consiguiente una posible activación de protección. Por otra parte, tampoco se realiza el escalón de +0.4Hz en estado P1=136 MW (DIESEL), ya que implica alcanzar un valor menor a 110 MW (DIESEL) en la unidad TG, lo cual implica el riesgo de quedar sin agua (Water injection OFF), esto puede provocar que la unidad salga de servicio intempestivamente.

Firmas Aclaración/Empresa	 Maximiliano Cortés Coordinado	 Gonzalo Estroza Coordinador	 Gonzalo Estroza Experto técnico
-------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--

Figura 9.74: Acta de Pruebas SSSC Nueva Renca (4 de 4)



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.