

**Cliente:** Tinguiririca Energía

**País:** Chile

**Proyecto:** Verificación de SSCC - C.H. La Confluencia U1

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

**Código de Proyecto:** EE-2021-142

**Código de Informe:** EE-EN-2022-0315

**Revisión:** A



Este documento EE-EN-2022-0315-RA fue preparado para Tinguiririca Energía por Estudios Eléctricos S.A. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

**Ing. Claudio Celman**

Coordinador Dpto. Ensayos e Ingeniería  
[claudio.celman@estudios-electricos.com](mailto:claudio.celman@estudios-electricos.com)

**Ing. Andrés Capalbo**

Coordinador Dpto. Ensayos e Ingeniería  
[andres.capalbo@estudios-electricos.com](mailto:andres.capalbo@estudios-electricos.com)

**Ing. Pablo Rifrani**

Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería  
[pablo.rifrani@estudios-electricos.com](mailto:pablo.rifrani@estudios-electricos.com)

[www.estudios-electricos.com](http://www.estudios-electricos.com)

Este documento contiene 136 páginas y ha sido guardado por última vez el 18/3/2022 por Franco Di Rosa. Sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev.	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	18/3/2022	Primera versión.	IC	AC	PR

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



## Índice

1	INTRODUCCIÓN .....	6
1.1	Descripción del personal participante y fecha de ensayos .....	7
1.2	Nomenclatura.....	8
2	REQUERIMIENTO NORMATIVO.....	9
2.1	Control de tensión.....	9
2.1.1	Definición .....	9
2.1.2	Requerimientos asociados a la prestación .....	9
2.2	Control de frecuencia.....	10
2.3	Control terciario de frecuencia .....	13
2.3.1	Definición .....	13
2.3.2	Requerimientos asociados a la prestación .....	13
3	PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	14
3.1	Procedimiento de pruebas.....	14
3.2	Instrumental utilizado para la adquisición de datos .....	15
3.3	Registro de señales con equipos de planta .....	17
3.4	Metodología general de los ensayos.....	18
3.4.1	Control de tensión.....	18
3.4.2	Control de frecuencia .....	18
4	EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN .....	19
4.1	Ensayos con la unidad en vacío (FSNL).....	20
4.1.1	Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión .....	20
4.1.2	Determinación de los techos de excitación.....	22
4.2	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreflujo .....	24
4.3	Ensayos con la unidad conectada a la red.....	26
4.3.1	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de subexcitación .....	26
4.3.2	Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreexcitación .....	29
4.4	Análisis resultados pruebas dinámicas .....	34
4.4.1	Pruebas con la unidad en vacío.....	34
4.4.2	Pruebas con la unidad conectada a la red.....	35
5	ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO .....	36
5.1	Puntos operativos alcanzados.....	37



5.1.1 Análisis.....	41
5.2 Curvas de capacidad.....	43
5.2.1 Tensión en Terminales 0.95 p.u. ....	45
5.2.2 Tensión en Terminales 1.00 p.u. ....	46
5.2.3 Tensión en Terminales 1.05 p.u. ....	47
5.2.4 Resumen de valores a informar .....	48
5.2.5 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 p.u.....	49
5.2.6 Ensayos de curva PQ para tensión de terminales 1.00 p.u. ....	50
5.2.7 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.05 p.u.....	51
<b>6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA .....</b>	<b>52</b>
6.1 Reserva en giro.....	52
6.1.1 Incrementos de carga de la unidad .....	53
6.1.2 Bajada de carga de la unidad .....	59
6.1.3 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en giro .....	65
6.2 Reserva en frío .....	66
6.2.1 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en frío.....	69
<b>7 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.....</b>	<b>70</b>
<b>8 ANEXOS .....</b>	<b>72</b>
8.1 Verificación de curvas de capacidad en diferentes niveles de tensión.....	72
8.1.1 Verificación curva PQ @ 0.95 p.u.....	72
8.1.2 Verificación curva PQ @ 1.00 p.u.....	80
8.1.3 Verificación curva PQ @ 1.05 p.u.....	89
8.2 Placa del generador.....	98
8.3 Placa del sistema de excitación.....	99
8.4 Datos característicos de la turbina.....	101
8.5 Curva de capacidad del generador .....	102
8.6 Curva de saturación del generador.....	103
8.7 Máxima y mínima tasa de toma y bajada de carga.....	104
8.8 Protecciones de generador .....	105
8.9 Diagrama de bloques del regulador de tensión .....	110
8.10 Criterio de ajuste de limitadores según el fabricante .....	115
8.11 Ajuste de limitadores .....	119





---

8.12 Diagrama unilineal de la central .....	123
8.13 Placa del transformador elevador.....	124
8.14 Placa del transformador de servicios auxiliares.....	126
8.15 Valores de mínimo técnico certificados por el CEN .....	127
8.16 Archivos adjuntos entregados.....	128
8.17 Acta de pruebas .....	130
8.18 Certificado de calibración de equipamiento utilizado .....	135



## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume los resultados del proceso de Verificación de Servicios Complementarios de la **Central Hidroeléctrica La Confluencia Unidad 1**. Se incluyen, los servicios de **Control de Tensión** y **Control Terciario de Frecuencia** (reserva en giro y en frío), con el objeto de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la Norma Técnica de Servicios Complementarios vigente. Las verificaciones anteriormente señaladas se realizan siguiendo los lineamientos estipulados en las “*Guías de Verificación de Servicios Complementarios*” expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional.

Los ensayos se realizaron siguiendo el procedimiento elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional, “*EE-EN-2022-0036-RB\_Procedimiento\_Ensayos\_SSCC\_CH\_La\_Confluencia\_U1*”.

La verificación del Servicio Complementario de Control de Tensión se complementa con el informe de determinación de curvas PQ teóricas máximas de la unidad según documento “*EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1*” emitido en la etapa de análisis preliminar previo al desarrollo del procedimiento de ensayos.

La Central Hidroeléctrica La Confluencia, ubicada en la comuna de San Fernando, Región Libertador Bernardo O’Higgins, se compone de dos (2) generadores sincrónicos marca Voith Siemens modelo 1DH 6151-3WE06-Z de 95.8 MVA de potencia aparente nominal impulsados, cada uno, por una turbina hidráulica del tipo Francis, marca Voith Hydro modelo 19570.

El **regulador de tensión** es marca Voith modelo Thyricon 600 y es completamente digital. Cuando la unidad se encuentra conectada a la red opera en modo “**control de tensión**”, el cual es el modo de operación normal del regulador.

El **regulador de velocidad** es marca Voith modelo HyConTM Series 400, y es el encargado de regular todas las válvulas de control de la turbina. Cuando la unidad se encuentra conectada a la red opera en modo “**control de potencia**”, modo de operación normal del regulador.

La unidad se vincula al Sistema Eléctrico Nacional mediante un transformador elevador de relación 15 kV / (154/220 kV  $\pm$  2 x 2.5%) de potencia nominal 75/96 MVA (ONAN/ONAF).



## 1.1 Descripción del personal participante y fecha de ensayos

<b>Empresa</b>	<b>Personal</b>	<b>Cargo/Puesto</b>
Estudios Eléctricos	Claudio Celman	Líder
Estudios Eléctricos	Iñaki Cubillos	Ingeniero de ensayos
Estudios Eléctricos	Fernando Montecinos	Ingeniero de ensayos
Estudios Eléctricos	Franco Di Rosa	Ingeniero de ensayos
Tinguiririca Energía	Cristopher López	Operaciones Tinguiririca Energía
Tinguiririca Energía	Claudio Rebolledo	Operaciones Tinguiririca Energía

*Tabla 1.1: Nomina de personal participante*

Las pruebas se llevaron a cabo entre los días 14 de febrero y 16 de febrero de 2022.



## 1.2 Nomenclatura

<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>
<b>ETERM</b>	Tensión de terminales del generador
<b>ITERM</b>	Corriente de terminales del generador
<b>EFD/VFD</b>	Tensión de campo del generador / Tensión de campo de la excitatriz
<b>IFD/IEX</b>	Corriente de campo del generador / Corriente de campo de la excitatriz
<b>PELEC</b>	Potencia eléctrica activa generada
<b>QELEC</b>	Potencia eléctrica reactiva generada
<b>FREC</b>	Frecuencia eléctrica
<b>SS/AA</b>	Servicios auxiliares
<b>AVR</b>	Regulador de tensión
<b>GOV</b>	Regulador de velocidad
<b>V/Hz</b>	Limitador de sobre-flujo
<b>OEL</b>	Limitador de sobreexcitación
<b>UEL</b>	Limitador de subexcitación
<b>MEL</b>	Limitador de mínima excitación
<b>SCL</b>	Limitador de corriente estatórica
<b>CEN</b>	Coordinador Eléctrico Nacional
<b>SEN</b>	Sistema Eléctrico Nacional
<b>SSCC</b>	Servicios Complementarios
<b>NT SSCC</b>	Norma Técnica de Servicios Complementarios
<b>CT</b>	Control de Tensión
<b>CTFg</b>	Control Terciario de Frecuencia reserva en giro
<b>CTFf</b>	Control Terciario de Frecuencia reserva en frío
<b>TC</b>	Transformador de corriente
<b>TP</b>	Transformador de potencial
<b>Pmax</b>	Potencia activa bruta máxima de la unidad (81.6 MW potencia máx. de la turbina)
<b>Pmin</b>	Potencia activa bruta correspondiente al mínimo técnico de la unidad (28 MW)
<b>Trate</b>	Potencia base del regulador de velocidad (81.6 MW)
<b>TA</b>	'Technical Assistant'
<b>P1_CT</b>	Despacho de la unidad a mínimo técnico (Pmin)
<b>P2_CT</b>	Despacho de la unidad a $(P_{max} + 2 * P_{min}) / 3$
<b>P3_CT</b>	Despacho de la unidad a $(P_{max} + P_{min}) / 2$
<b>P4_CT</b>	Despacho de la unidad a $(2 * P_{max} + P_{min}) / 3$
<b>P5_CT</b>	Despacho de la unidad a potencia máxima (Pmax)

Tabla 1.2 – Nomenclatura empleada



## 2 REQUERIMIENTO NORMATIVO

### 2.1 Control de tensión

El objetivo de esta sección es citar los requerimientos mínimos que debe cumplir cada una de las instalaciones interconectadas al SEN para verificar las capacidades de prestar el servicio de control de tensión según la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NT SSCC), 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:

##### **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 SSSC”.

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

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



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

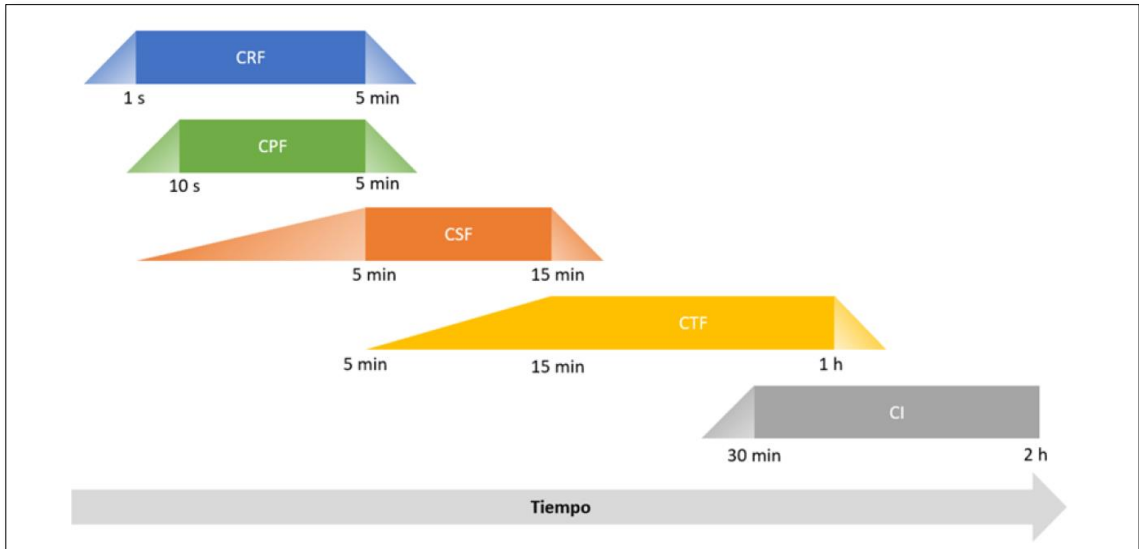


Figura 2.1: Control de Frecuencia – Subcategorías según intervalo temporal

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

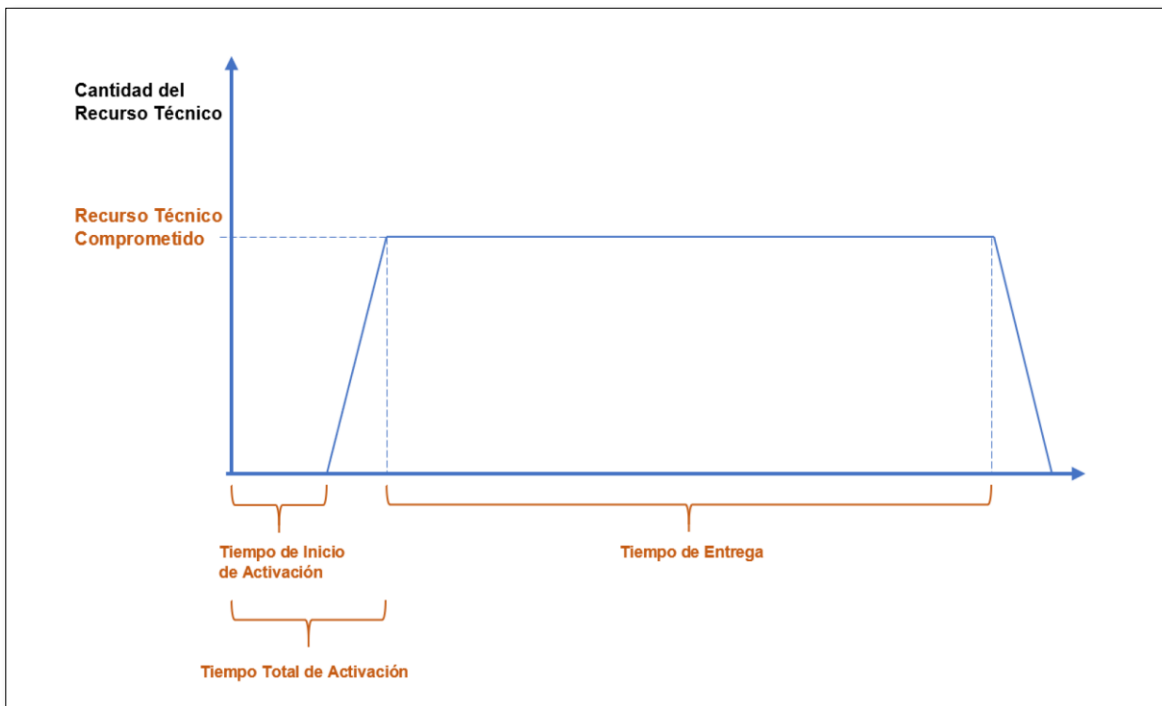


Figura 2.2: Control de Frecuencia – Subcategorías según intervalo temporal



Donde:

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

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

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

Figura 2.3: Tiempos comprometidos por subcategoría – SSCC Control de Frecuencia





## 2.3 Control terciario de frecuencia

### 2.3.1 Definición

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

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

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

### 2.3.2 Requerimientos asociados a la prestación

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

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

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



## 3 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS

---

### 3.1 Procedimiento de pruebas

El procedimiento implementado se diseñó en base al análisis de las características y capacidades de la **Central Hidroeléctrica La Confluencia Unidad 1** detallado en el informe de determinación de curvas PQ teóricas máximas de la unidad según el documento **“EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1”**.

El procedimiento de pruebas se informa en el documento técnico **“EE-EN-2022-0036-RB\_Procedimiento\_Ensayos\_SSCC\_CH\_La\_Confluencia\_U1”**.

Dicho procedimiento fue elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional. En dicho documento se analiza la factibilidad de llegar a los límites de subexcitación y sobreexcitación de la unidad y se define el plan de acción de trabajo.

Las pruebas realizadas en la unidad 1 de la Central Hidroeléctrica La Confluencia se llevaron a cabo de acuerdo con el procedimiento ya mencionado. Algunas de las pruebas realizadas sufrieron variaciones en terreno, Dichas variaciones con respecto al procedimiento se detallan en la sección correspondiente a cada prueba.



### 3.2 Instrumental utilizado para la adquisición de datos

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo de adquisición de datos (propiedad de EE). Sus principales características se presentan en la Tabla 3.1.

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

Tabla 3.1 – Característica de los equipos de adquisición

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

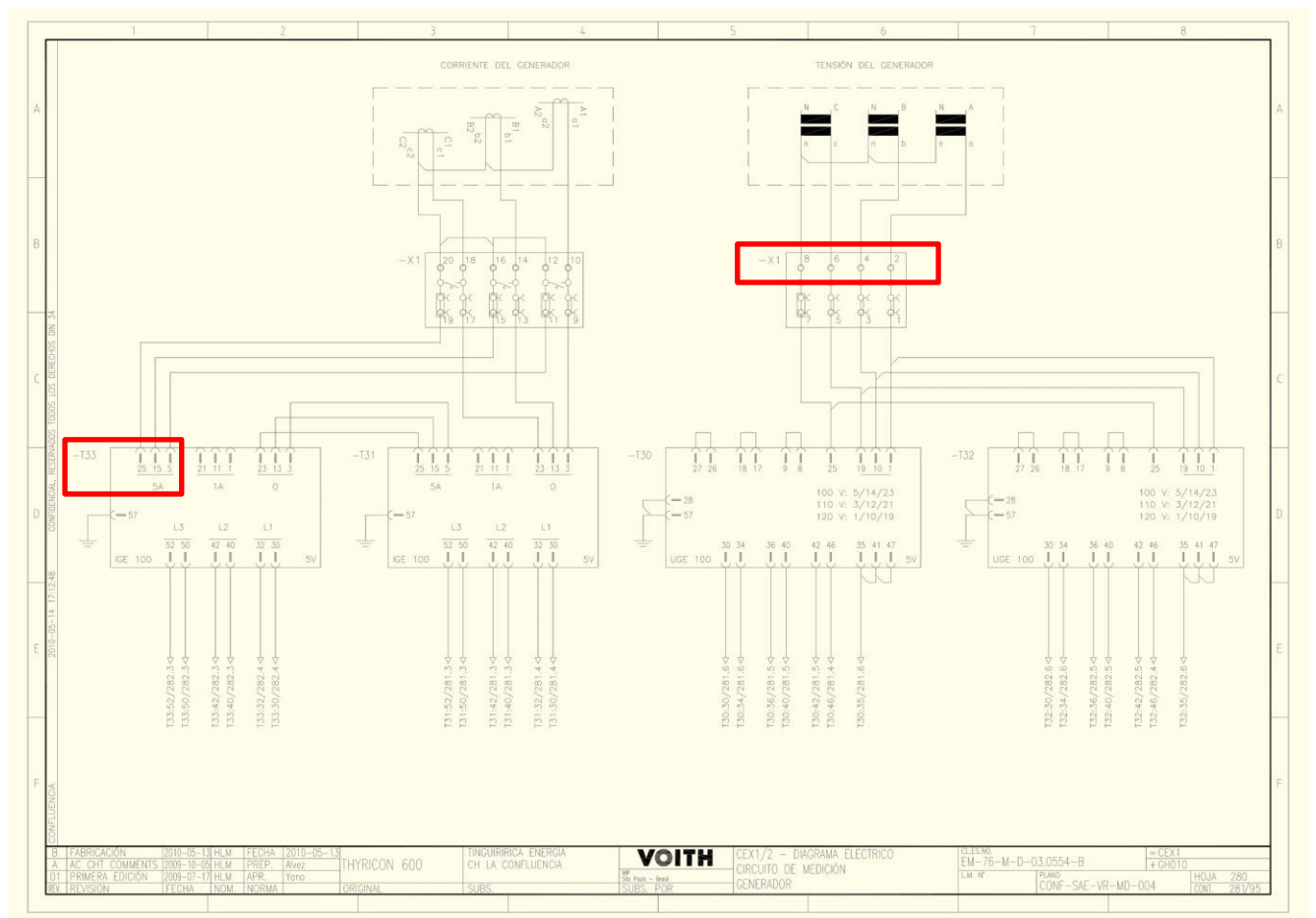


Figura 3.1: Puntos de conexión de tensión y corriente de terminales de la unidad 1

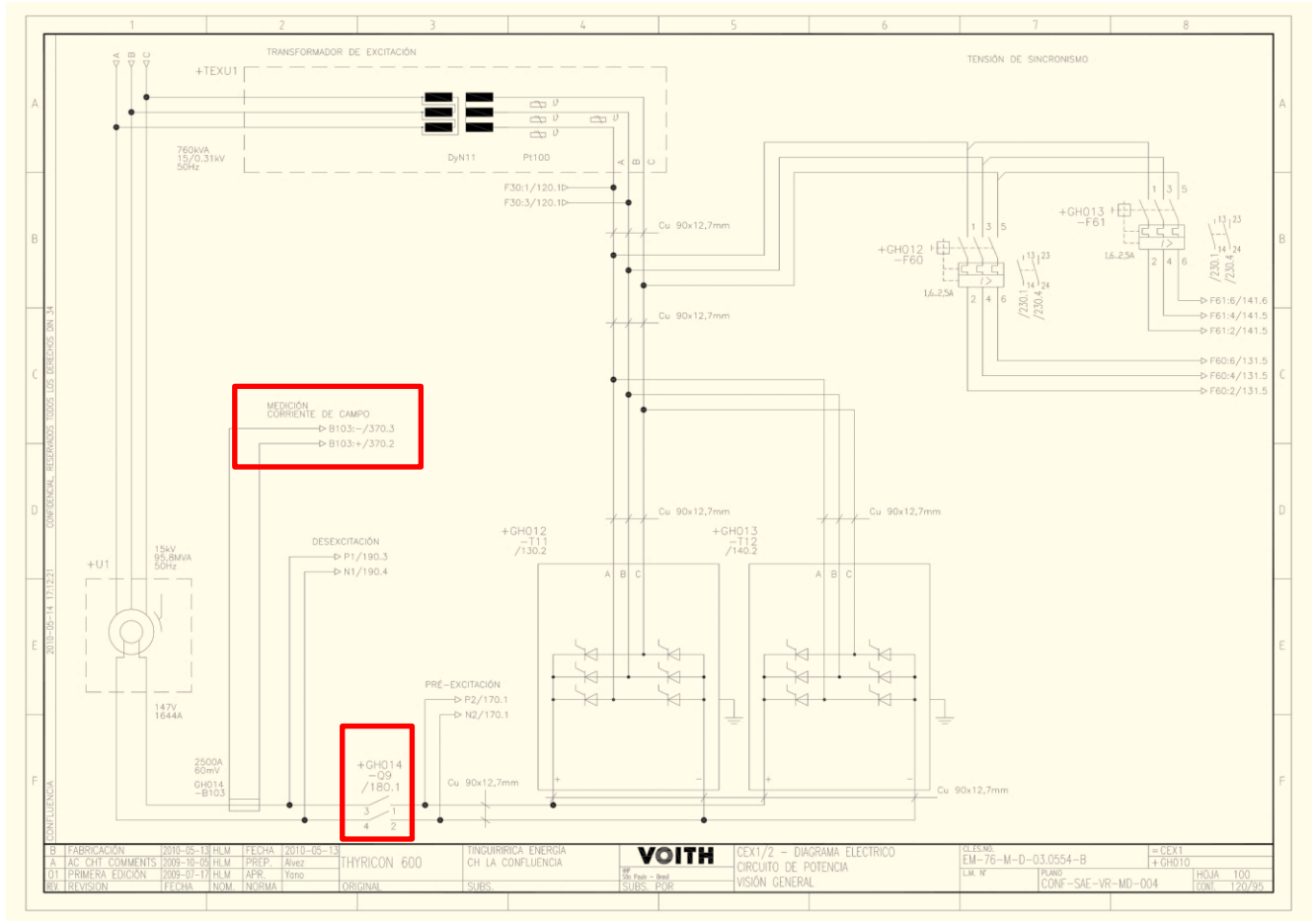


Figura 3.2: Puntos de conexión de tensión de campo y corriente de campo (shunt) en la unidad 1



### 3.3 Registro de señales con equipos de planta

Adicionalmente, se registran señales de interés con el sistema de adquisición de planta, el cual posee una tasa de muestreo de una (1) muestra por segundo. Los registros son exportados en formato 'csv'.

Las señales registradas son:

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. Tensión del lado de alta del transformador elevador.
7. Tensión del lado de baja del transformador SS/AA.
8. Reactivos del lado de baja del transformador SS/AA.
9. Referencias de tensión y potencia activa del generador.
10. Caudal de agua.



### 3.4 Metodología general de los ensayos

#### 3.4.1 Control de tensión

Para realizar los ensayos correspondientes al control de tensión, se realizan escalones en la referencia de tensión de la unidad 1. 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 Voith Thyricon 600.

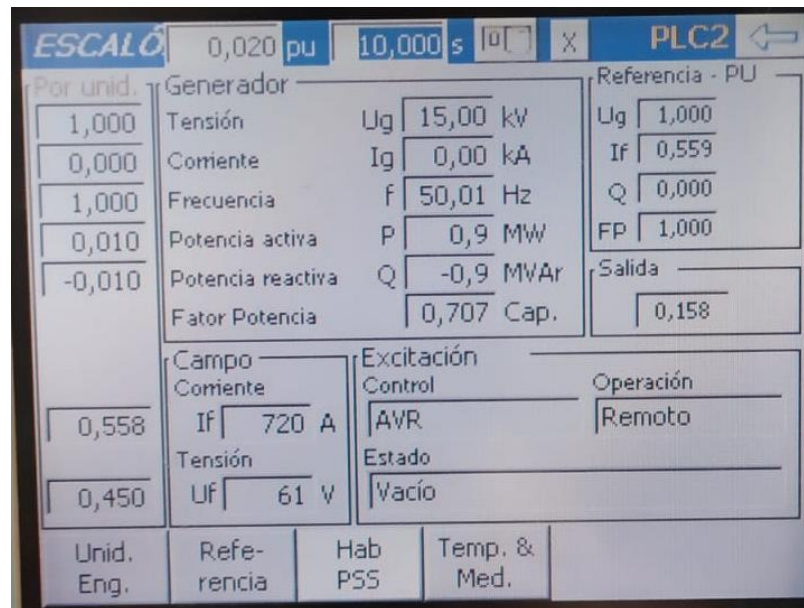


Figura 3.3: Interfaz de control del AVR

#### 3.4.2 Control de frecuencia

Para realizar los ensayos correspondientes al control de frecuencia, se realizan cambios de consigna en las referencias de los lazos de potencia de la unidad 1. Lo anterior se logra mediante la interfaz de control del GOV.

Por otro lado, para la realización de la prueba del control de frecuencia reserva en frío, se procedió al registro de las principales variables eléctricas desde el envío de la señal de sincronización de la unidad desde el estado de apagado hasta alcanzar su estado de mínimo técnico.



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

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

Se utilizan los siguientes despachos de potencia activa al ensayar.

<b>Punto de ensayo</b>	<b>Despacho de Potencia Activa [MW]</b>
<b>P1_CT</b>	28.0
<b>P3_CT</b>	54.8
<b>P5_CT</b>	81.6

Tabla 4.1: Estados de carga ensayados

Los ensayos consisten en pruebas dinámicas de respuesta al escalón a los distintos limitadores de la unidad. Vale la aclaración que la unidad cuenta con las funciones de limitación de sub-excitación, sobre-excitación y sobreflujo. La Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 resumen los ensayos realizados en la unidad, tanto en vacío como conectada a la red.

<b>Pruebas en vacío</b>
Respuesta temporal del lazo de regulación de tensión
Techos de excitación
Respuesta del limitador de sobreflujo (V/Hz)

Tabla 4.2: Distribución de las pruebas en vacío

<b>Despacho de Potencia Activa</b>	<b>Pruebas en carga</b>
<b>P1_CT</b>	Limitador UEL y Limitador OEL
<b>P3_CT</b>	Limitador UEL y Limitador OEL
<b>P5_CT</b>	Limitador UEL y Limitador OEL

Tabla 4.3: Distribución de las pruebas en carga



## 4.1 Ensayos con la unidad en vacío (FSNL)

Con la unidad operando en vacío, se aplican cambios de tipo escalón de diversas amplitudes<sup>1</sup> en la referencia de tensión del AVR. Esto se lleva a cabo mediante el software de mantenimiento del propio regulador (ver Figura 3.3). La duración de los escalones es tal, que permita el establecimiento de las principales magnitudes en bornes de la unidad.

### 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 durante 20 segundos.

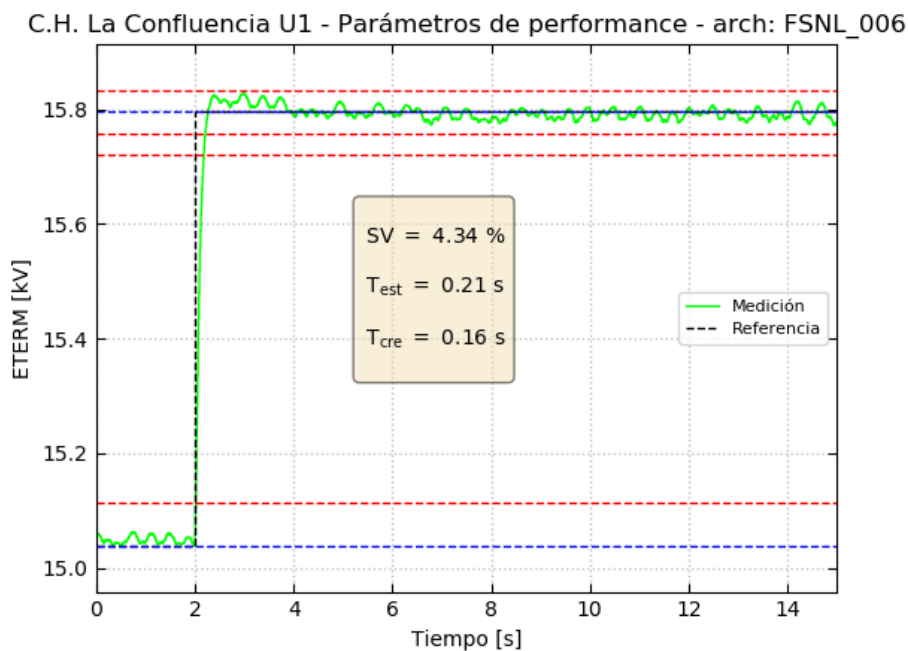


Figura 4.1: Parámetros de performance – ETERMo=1.0 pu – Step = 5%

<sup>1</sup> La tensión nominal de terminales de la unidad es de 15 kV.





Parámetro	Valor Medido	Requerimiento Normativo
Sobreoscilación	4.34 %	< 15%
Tiempo de crecimiento	160 ms	< 400 ms
Tiempo de establecimiento	0.21 seg	< 1.5 seg
Error estacionario <sup>2</sup>	0%	< 0.25%

Tabla 4.4: Análisis de requerimiento establecidos por NTS&CS

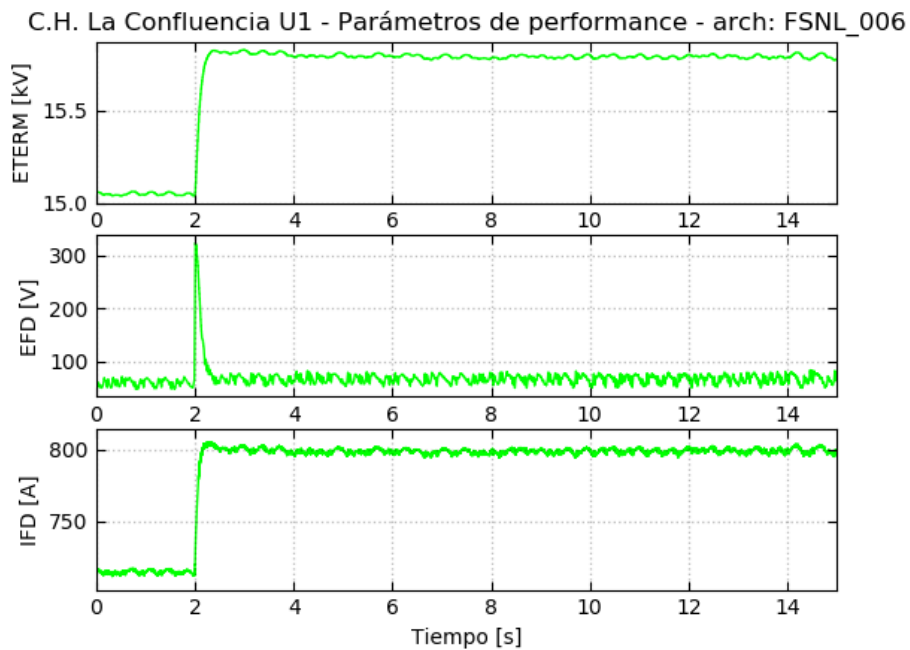


Figura 4.2: Respuesta en vacío - Step = 5%

<sup>2</sup> 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.



#### 4.1.2 Determinación de los techos de excitación

A los efectos de verificar los techos de excitación, se registra la respuesta dinámica del AVR ante la aplicación de un escalón del 20% durante aproximadamente 5 segundos en la consigna del regulador de tensión con la unidad operando en vacío.

En la Figura 4.3 se muestra la respuesta de la unidad ante un escalón de gran magnitud con el objetivo de determinar los techos de excitación.

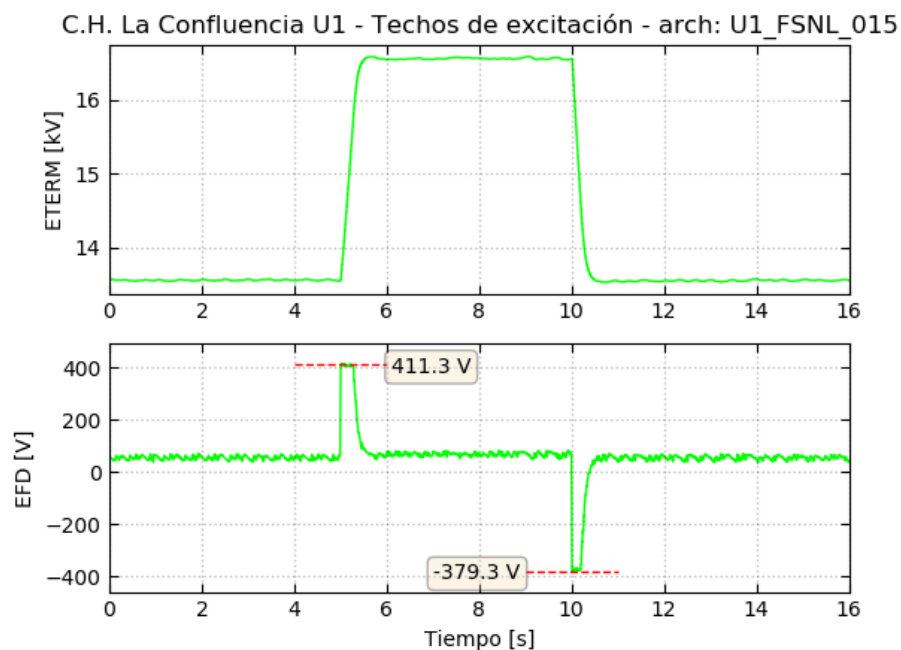


Figura 4.3: Techos de excitación -  $ETERM_o = 0.9 pu$  - Step = 20%

A partir de la Figura 4.3 se tiene que los valores alcanzados son:

Parámetro	Valor Medido [V]
Techo positivo	411.3
Techo negativo	-379.3

Tabla 4.5: Techos de excitación



### **Comparación teórica**

De acuerdo a los datos característicos del sistema de excitación, los cuales se muestran en la Figura 8.49, el valor teórico de techos informado por el fabricante corresponde a  $V_{TechoTeo} = 367 V$ .

Como se puede observar, el valor obtenido durante los ensayos se aproxima al valor teórico determinado a partir de los datos característicos del sistema de excitación entregados por el fabricante.



## 4.2 Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobreflujo

El limitador establece una máxima referencia de tensión proporcional a la frecuencia eléctrica medida. La ganancia de proporcionalidad, parámetro 'KVHz', se encuentra seteada en un valor de 1.071 p.u./p.u.

De esta manera, para frecuencias menores o iguales a 49 Hz, la referencia máxima de tensión del AVR comienza a disminuir gradualmente.

Durante el desarrollo de los ensayos se modifica transitoriamente el valor de la ganancia proporcional del limitador. El ajuste utilizado se presenta en la Tabla 4.6.

<b>Parámetro</b>	<b>Ajuste permanente [p.u./p.u.]</b>	<b>Ajuste transitorio [p.u./p.u.]</b>
KVHz (ver Figura 8.64)	1.071	1.05

Tabla 4.6: Ajuste del limitador V/Hz

Dada la estructura del limitador, la cual responde ante variaciones en la frecuencia, se realizó el ensayo variando la velocidad del generador para ver la limitación actuando sobre la tensión de terminales. En la Figura 4.4 se muestra la respuesta del limitador V/Hz ante un escalón del -2% en la referencia de velocidad, lo que provoca una caída en la tensión de terminales desde 1.05 pu a 1.03 pu, siendo esta la variación esperada ante el ajuste transitorio realizado.

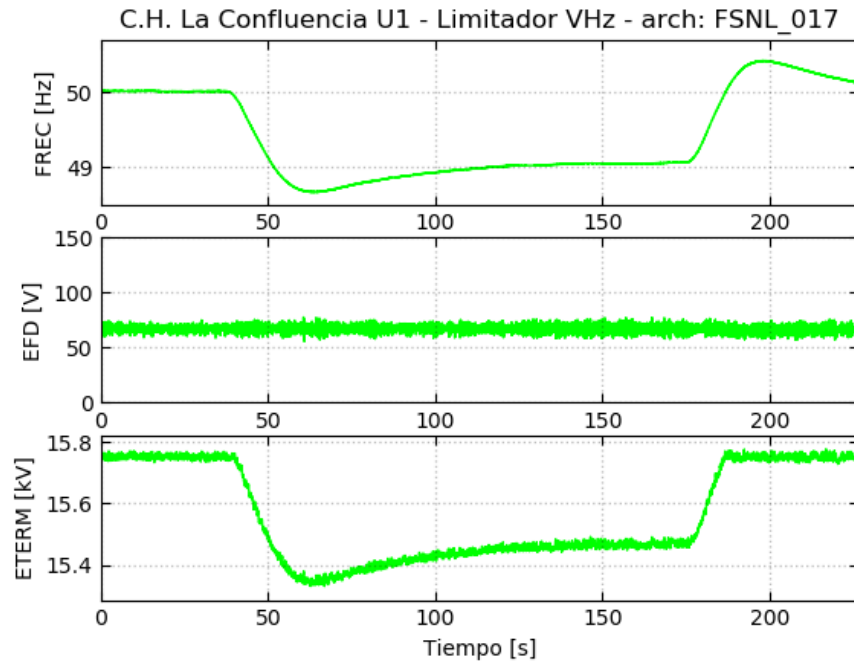


Figura 4.4: Respuesta limitador V/Hz-  $ETERM_o = 1.05 pu$  - Step = -2%



## 4.3 Ensayos con la unidad conectada a la red

Con la unidad operando conectada al SEN, 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.

### 4.3.1 Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de subexcitación

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

El limitador de sobrexcitación funciona controlando la absorción de potencia reactiva de la unidad a través de la característica estática definida en la Tabla 4.7 y afectado por el cuadrado de la tensión de terminales medida. La verificación del limitador se realizó con su ajuste permanente.

$F_x$ [p.u.]	$F_y$ [p.u.]
0.0	-0.4
0.7	-0.4
2.0	-0.0

Tabla 4.7 - Ajustes permanentes del limitador UEL

En la Figura 4.5, Figura 4.6 y Figura 4.7 se muestra la respuesta del limitador UEL mediante un escalón del -3% en la referencia de tensión de la unidad. La línea **roja** segmentada representa el escalón del -3% y se visualiza que el limitador actúa en el valor parametrizado.



**P1 CT = 28.0 MW**

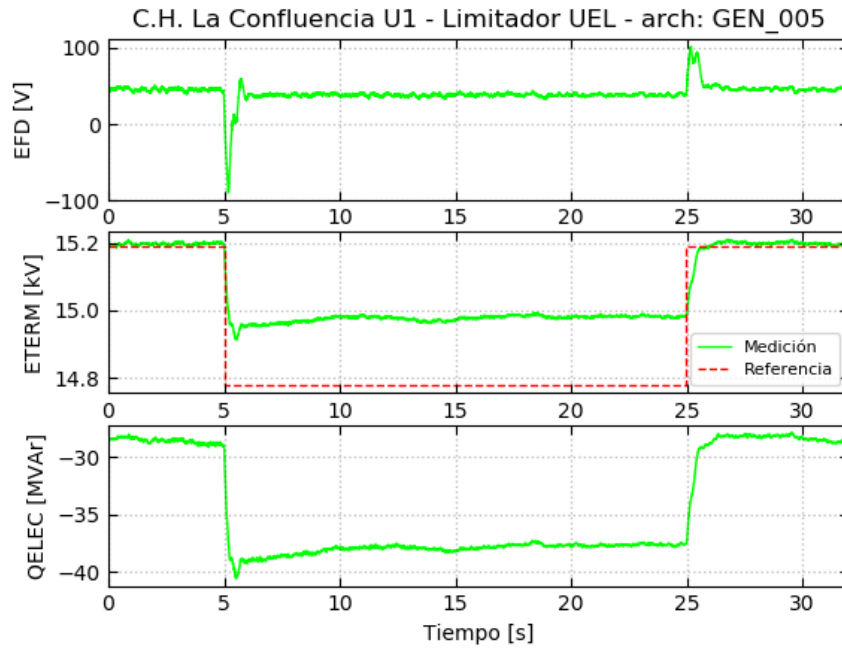


Figura 4.5 - Respuesta limitador UEL -  $ETERMo = 1.01 pu$  - Step = -3%

**P3 CT = 54.8 MW**

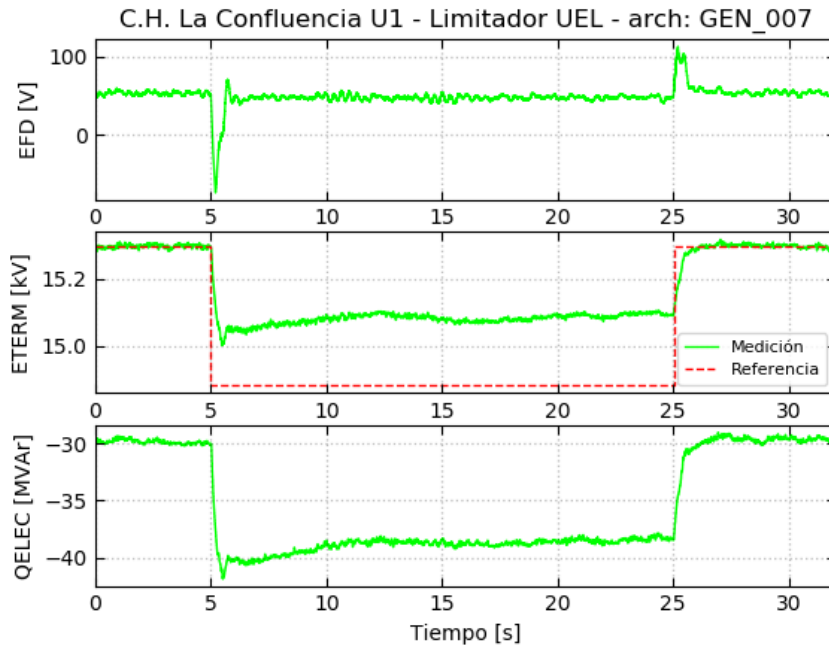


Figura 4.6 - Respuesta limitador UEL -  $ETERMo = 1.02 pu$  - Step = -3%



**P5 CT = 81.6 MW**

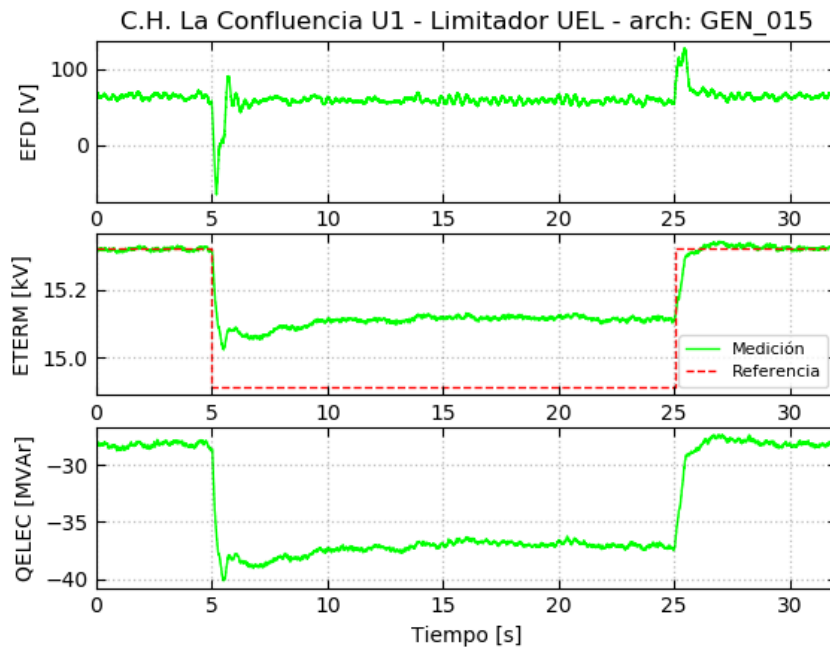


Figura 4.7 - Respuesta limitador UEL -  $ETERM_o = 1.02 pu$  - Step = -3%





#### 4.3.2 Respuesta del sistema de excitación con actuación del limitador de sobrecitación

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

La característica de limitación de corriente de excitación es temporizada y queda determinada por una función inversamente proporcional a la corriente de campo cuando se supera el valor de pickup (parámetro '*FOC.Ifmax*'). La actuación del limitador se produce una vez alcanzado el valor de corriente máxima ('*Ifmax<sub>load</sub>*') para así devolver a la corriente al valor de pickup mencionado anteriormente, el tiempo que tarda en devolver la corriente al valor de pickup queda determinado por la variable '*FOC.up*' según la siguiente función:

$$FOC.up = (Ifmax_{load} - FOC.Ifmax) * Tiempo_{Deseado\ de\ actuación\ OEL} / Tiempo_{Actuación\ OEL}$$

Al momento de los ensayos, el SEN presentó dificultades para absorber la potencia reactiva necesaria para probar el limitador con su parametrización original, de modo que se realizan las pruebas a seteo reducido según se muestra en la Tabla 4.8.

<i>Despacho de Potencia Activa</i> [MW]	<i>FOC.Ifmax</i> [A]	<i>Ifmax<sub>load</sub></i> [A]	<i>FOC.up</i> [p.u.]
<b>P1_CT = 28.0</b>	709.5	774	0.1
<b>P3_CT = 54.8</b>	709.5	774	0.1
<b>P5_CT = 81.6</b>	838.5	903	0.1

Tabla 4.8 – Ajustes transitorios del limitador OEL

Considerando que el *Tiempo<sub>Actuación OEL</sub>* es de 5 segundos se obtiene que el *Tiempo<sub>Deseado de actuación OEL</sub>* será de 10 segundos para un *FOC.up* de 0.1 p.u.



Siendo su seteo permanente el detallado en la Tabla 4.9.

<b><i>FOC.Ifmax</i></b> <b>[A]</b>	<b><i>Ifmax_load</i></b> <b>[A]</b>	<b><i>FOC.up</i></b> <b>[p.u.]</b>
1419	1806	0.6

*Tabla 4.9 – Ajustes permanente del limitador OEL temporizado*

En la Figura 4.8, Figura 4.10 y Figura 4.12 se muestra la respuesta del limitador OEL mediante la aplicación de un escalón del 3% en la referencia de tensión de la unidad. Una vez alcanzado se espera el tiempo necesario para que el limitador OEL actúe.



**P1 CT = 28.0 MW**

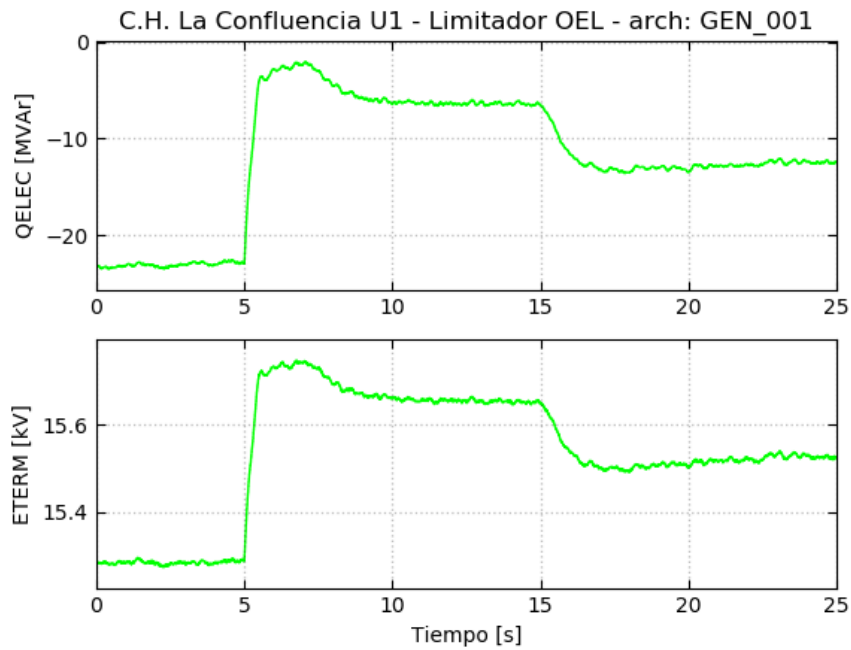


Figura 4.8 – Respuesta limitador OEL –  $E_{TERM0} = 1.02 pu$  – Step = 3%

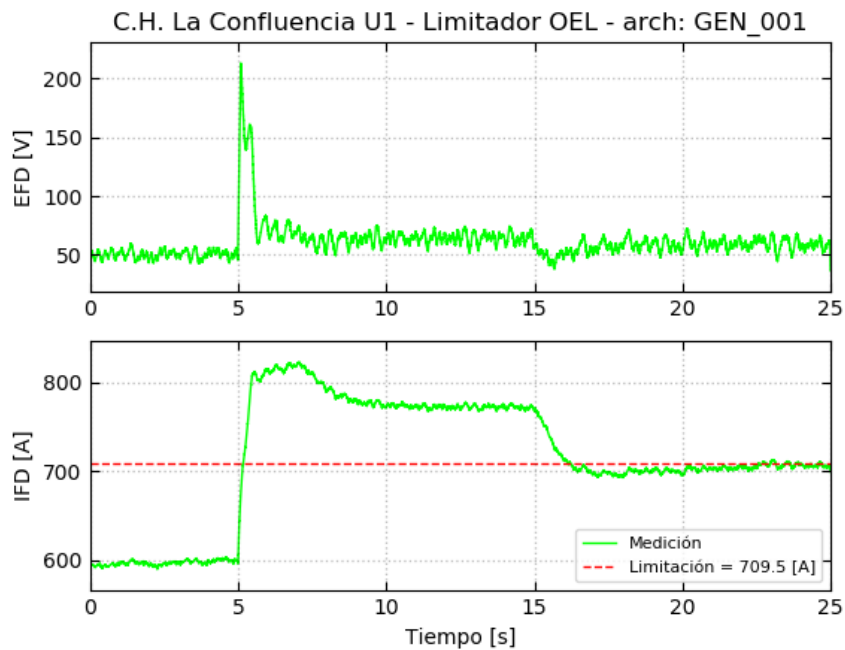


Figura 4.9 – Respuesta limitador OEL – Señales de campo



**P3 CT = 54.8 MW**

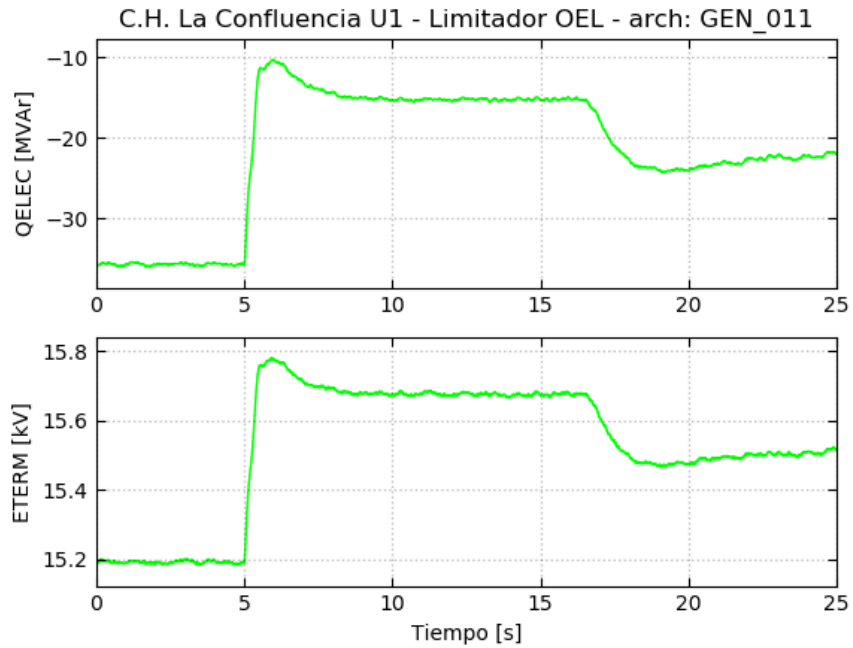


Figura 4.10 - Respuesta limitador OEL -  $ETERM_o = 1.013 pu$  - Step = 3%

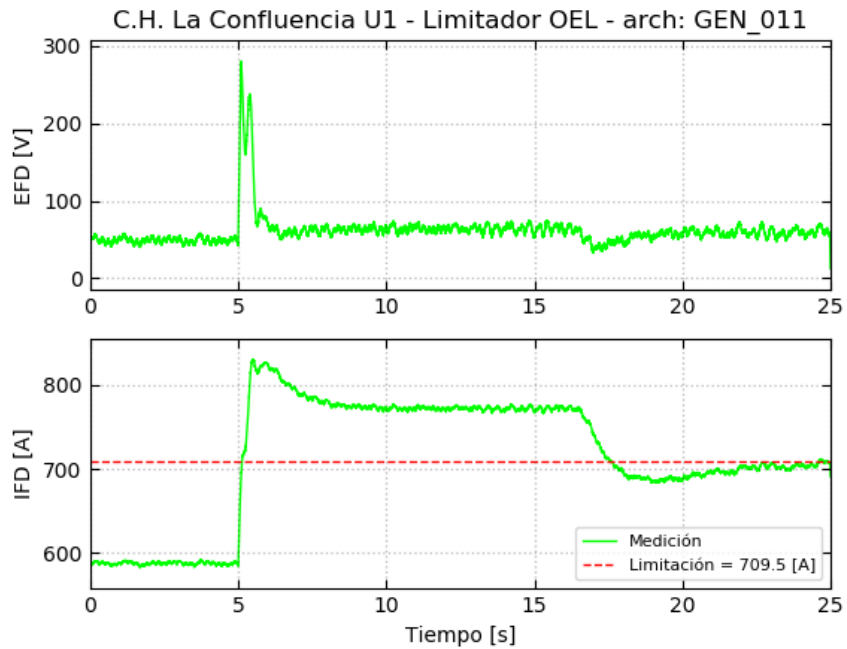


Figura 4.11 - Respuesta limitador OEL - Señales de campo



**P5 CT = 81.6 MW**

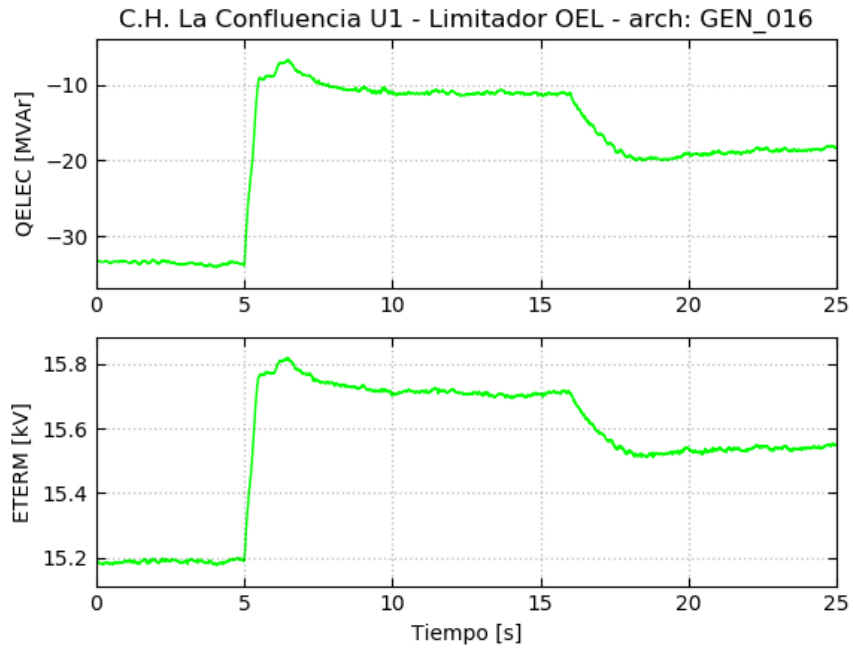


Figura 4.12 - Respuesta limitador OEL -  $ETERM_o = 1.013 pu$  - Step = 3%

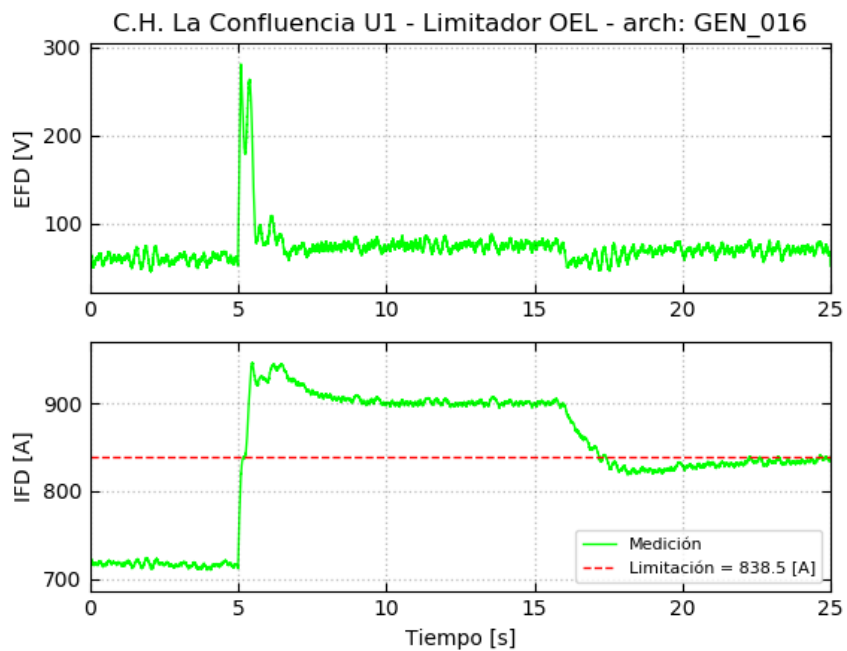


Figura 4.13 - Respuesta limitador OEL - Señales de campo



## 4.4 Análisis resultados pruebas dinámicas

Se presenta, a modo de resumen, un análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas dinámicas llevadas a cabo en la unidad 1 de la Central Hidroeléctrica La Confluencia.

### 4.4.1 Pruebas con la unidad en vacío

A partir de las pruebas en vacío de la unidad, se observa lo siguiente:

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

La Tabla 4.10 resume los parámetros obtenidos por cada unidad.

Parámetro	Requerimiento Normativo	HLC U1
Sobreoscilación	< 15%	4.34 %
Tiempo de crecimiento	< 400 ms	160 ms
Tiempo de establecimiento	< 1.5 seg	0.21 seg
Error estacionario	< 0.25%	0%

Tabla 4.10 – 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 del sistema de excitación (ver Figura 8.49), se determina el valor de EFDnom con lo que se puede evaluar la relación EFDmax/EFDnom, siendo EFDnom = 147 V y EFDmax = 411.3 V. De esta manera, el resultado obtenido es:

Parámetro	Requerimiento Normativo	HLC U1
EDFmax/EFDnom	> 2.0	2.8

Tabla 4.11 – Resultados de los techos de excitación



- **Limitador de sobreflujo (V/Hz):** Se ha probado la correcta actuación del limitador de sobreflujo, adicionalmente se verifica que se **cumple** con la normativa por cuanto se encuentra seteado la ganancia de dicho limitador en 107.1%/%, lo cual no interfiere el rango operativo de la unidad 49-51 Hz y 0.95-1.05 p.u. de tensión.

#### 4.4.2 Pruebas con la unidad conectada a la red

A partir de las pruebas en carga de la unidad (ver apartado 4.3), se observa lo siguiente:

- **Limitador subexcitación (UEL):** Se verificó la correcta actuación del limitador en su seteo permanente. Se evidencia un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva absorbida por la unidad. Se puede concluir a partir del análisis de curva PQ y protecciones del capítulo 5 que el limitador tiene una adecuada coordinación con la protección de mínima excitación (40G).
- **Limitador sobreexcitación (OEL):** Se verificó la correcta actuación del limitador a seteos reducidos debido a la incapacidad de lograr el reactivo deseado con la parametrización original. Se evidencia un control rápido y estable que limita efectivamente la potencia reactiva inyectada por la unidad en el valor ajustado lo que permite inferir una correcta actuación en su valor de ajuste permanente.



## 5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO

En esta sección se presentan los ensayos realizados con el objetivo de comparar la capacidad real de la unidad con la informada en el documento técnico de código **“EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1”** donde se han desarrollado las curvas de capacidad teóricas máximas.

Los ensayos se realizan con la unidad sincronizada al SEN y en cuatro (4) despachos de potencia activa entre el mínimo técnico y la potencia máxima de la unidad.

Los ensayos consisten en pruebas estáticas, donde primero se intenta consignar la tensión objetivo en terminales mediante la ayuda de la unidad restante. Luego se solicita colaboración del CEN, para ajustar la tensión en la barra S/E Tinguiririca 154 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 de código **“EE-EN-2022-0036-RB\_Procedimiento\_Ensayos\_SSCC\_CH\_La\_Confluencia\_U1”**. Adicionalmente, se destaca que el cambiador de tomas del transformador elevador de la unidad opera en vacío, siendo la posición de operación normal la N°3, por lo cual su manipulación no es una maniobra posible de ajuste.

Durante el desarrollo de las pruebas se solicita colaboración al despacho en reiteradas oportunidades, sin embargo, dadas las condiciones del SEN, el despacho no logra hacer un cambio significativo en la tensión en la S/E Tinguiririca 154 kV lo que implica que no es posible llevar a cabo los ensayos para los cinco (5) niveles de tensión solicitados.





## 5.1 Puntos operativos alcanzados

Luego de alcanzar cada punto operativo objetivo (P, Q, V) se registran las principales magnitudes durante al menos quince (15) minutos para el estado de carga 'P5\_CT' y al menos cinco (5) minutos para los demás estados de carga, esto con el fin de comprobar la estabilidad en cada uno. Para los casos en los que los puntos de la curva resultan no ensayables, se muestra un registro de aproximadamente tres (3) minutos con el fin de demostrar el límite operable de la unidad según las restricciones del SEN.

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

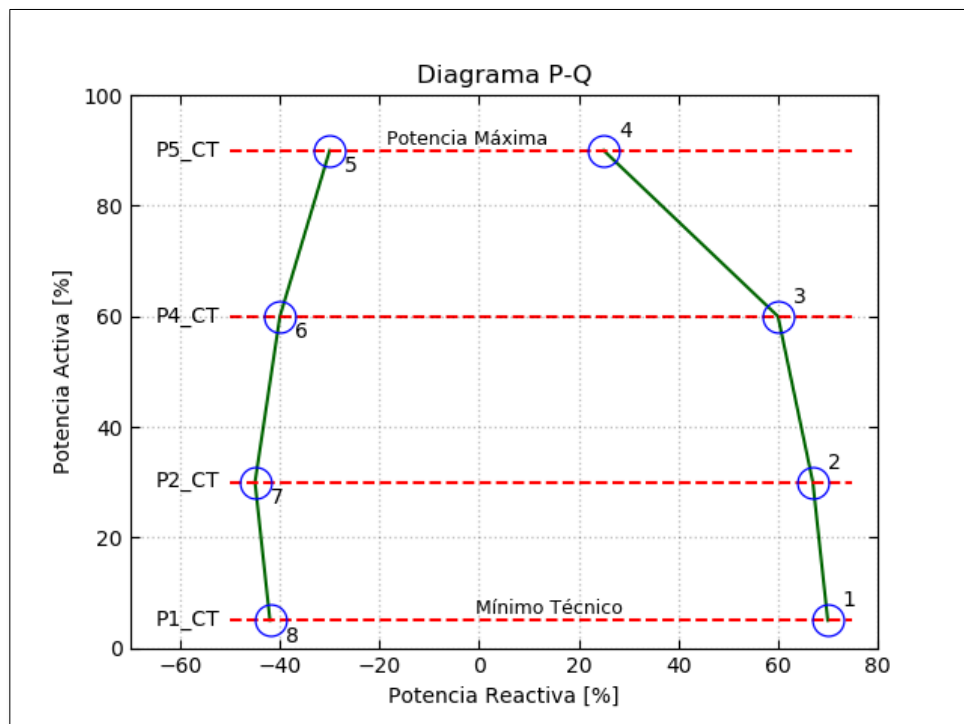


Figura 5.1: Puntos PQ referenciales a verificar en régimen estacionario para los 5 niveles de tensión

Despacho de Potencia Activa	Valor [MW]
P1_CT	28.0
P2_CT	45.9
P4_CT	63.7
P5_CT	81.6

Tabla 5.1: Nomenclatura utilizada para los distintos puntos operativos alcanzados



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

- Anexo 8.1.1: Verificación curva PQ @ 0.95 p.u.
- Anexo 8.1.2: Verificación curva PQ @ 1.0 p.u.
- Anexo 8.1.3: Verificación curva PQ @ 1.05 p.u.

A modo de resumen, en la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 se presenta un detalle donde se contrastan los puntos operativos objetivo (P, Q, V) con los puntos alcanzados durante los ensayos para cada despacho de potencia activa y considerando la parte subexcitada y sobrecitada, respectivamente. En los casos en que no se alcanza la potencia reactiva objetivo, se representa con color **rojo** la potencia reactiva alcanzada.



<b>Subexcitación</b>				
<b>Tensión objetivo en terminales [p.u.]</b>	<b>Despacho potencia activa</b>	<b>Potencia reactiva objetivo [MVar]</b>	<b>Potencia reactiva alcanzada [MVar]</b>	<b>Tensión alcanzada en terminales [p.u.]</b>
<b>0.90<sup>3</sup></b>	P1_CT = 28.0 MW	-27.3	-	-
	P2_CT = 45.9 MW	-31.0	-	-
	P4_CT = 63.7 MW	-28.1	-	-
	P5_CT = 81.6 MW	-22.6	-	-
<b>0.95</b>	P1_CT = 28.0 MW	-33.7	-36.4	0.98
	P2_CT = 45.9 MW	-34.6	-36.8	0.99
	P4_CT = 63.7 MW	-33.6	-36.8	0.99
	P5_CT = 81.6 MW	-28.1	-32.3	0.99
<b>1.00</b>	P1_CT = 28.0 MW	-38.3	-37.8	1.00
	P2_CT = 45.9 MW	-38.3	-38.2	1.00
	P4_CT = 63.7 MW	-38.3	-38.3	1.00
	P5_CT = 81.6 MW	-33.8	-33.3	1.00
<b>1.05</b>	P1_CT = 28.0 MW	-42.2	-29.7	1.01
	P2_CT = 45.9 MW	-42.2	-32.6	1.01
	P4_CT = 63.7 MW	-42.2	-30.1	1.01
	P5_CT = 81.6 MW	-39.9	-27.8	1.01
<b>1.10<sup>4</sup></b>	P1_CT = 28.0 MW	-46.4	-	-
	P2_CT = 45.9 MW	-46.4	-	-
	P4_CT = 63.7 MW	-46.4	-	-
	P5_CT = 81.6 MW	-46.2	-	-

Tabla 5.2: Resumen de puntos operativos alcanzados – Zona de subexcitación

En la Tabla 5.2 se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del SEN para mover la tensión en la barra S/E Tinguirica 154 kV.

<sup>3</sup> El nivel de tensión 0.90 p.u. se encuentra fuera del rango de tensión de operación de los SS/AA, por lo que no es posible ensayar dicho nivel de tensión.

<sup>4</sup> El nivel de tensión 1.10 p.u. se encuentra fuera del rango de tensión de operación de los SS/AA, por lo que no es posible ensayar dicho nivel de tensión. Además, el limitador V/Hz no permite aumentar la tensión sobre 1.05 p.u.



<b>Sobrecitación</b>				
<b>Tensión objetivo en terminales [p.u.]</b>	<b>Despacho potencia activa</b>	<b>Potencia reactiva objetivo [MVar]</b>	<b>Potencia reactiva alcanzada [MVar]</b>	<b>Tensión alcanzada en terminales [p.u.]</b>
<b>0.90<sup>5</sup></b>	P1_CT = 28.0 MW	77.1	-	-
	P2_CT = 45.9 MW	73.0	-	-
	P4_CT = 63.7 MW	58.1	-	-
	P5_CT = 81.6 MW	27.7	-	-
<b>0.95</b>	P1_CT = 28.0 MW	72.4	-32.1	0.99
	P2_CT = 45.9 MW	68.8	-31.8	0.99
	P4_CT = 63.7 MW	63.4	-34.8	0.99
	P5_CT = 81.6 MW	40.2	-	-
<b>1.00</b>	P1_CT = 28.0 MW	66.0	2.2	1.04
	P2_CT = 45.9 MW	62.7	0.9	1.04
	P4_CT = 63.7 MW	57.6	-1.7	1.04
	P5_CT = 81.6 MW	50.2	-1.7	1.04
<b>1.05</b>	P1_CT = 28.0 MW	57.9	7.4	1.05
	P2_CT = 45.9 MW	54.8	6.4	1.05
	P4_CT = 63.7 MW	50.1	5.0	1.05
	P5_CT = 81.6 MW	43.6	3.6	1.05
<b>1.10<sup>6</sup></b>	P1_CT = 28.0 MW	48.2	-	-
	P2_CT = 45.9 MW	45.3	-	-
	P4_CT = 63.7 MW	40.9	-	-
	P5_CT = 81.6 MW	34.8	-	-

Tabla 5.3: Resumen de puntos operativos alcanzados – Zona de sobrecitación

En la Tabla 5.3 se indica mediante “-”, que existen niveles de tensión no alcanzados en bornes del generador debido a la incapacidad del SEN para mover la tensión en la barra S/E Tinguiririca 154 kV.

<sup>5</sup> El nivel de tensión 0.90 p.u. se encuentra fuera del rango de tensión de operación de los SS/AA, no es posible ensayar dicho nivel de tensión.

<sup>6</sup> El nivel de tensión 1.10 p.u. se encuentra fuera del rango de tensión de operación de los SS/AA, no es posible ensayar dicho nivel de tensión. Además, el limitador V/Hz no permite aumentar la tensión sobre 1.05 p.u.



### 5.1.1 Análisis

A partir de la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 se observa que existen puntos objetivos que no son alcanzados de acuerdo a las exigencias de la guía de verificación, debido a que no se puede llevar la tensión de la barra S/E Tinguiririca 154 kV a los extremos del rango de operación normal.

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

Despacho potencia activa	Subexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P1_CT = 28.0 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ
P2_CT = 45.9 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ
P4_CT = 63.7 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ
P5_CT = 81.6 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	Alcanzado aumentando tensión del generador	Alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ

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

Despacho potencia activa	Sobreexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P1_CT = 28.0 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ
P2_CT = 45.9 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ
P4_CT = 63.7 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ
P5_CT = 81.6 MW	No operable debido a tensión en SS/AA	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzado	No operable debido a tensión en SS/AA y ajuste limitador V/HZ

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



Donde:

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



## 5.2 Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad de la unidad han sido calculadas justificadamente en el informe de determinación de curvas PQ teóricas máximas “**EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1**” elaborado por Estudios Eléctricos.

Cabe mencionar que para el nivel de tensión de 0.9 p.u. en bornes de generador no es posible operar la unidad porque la tensión de los SS/AA se encontraría fuera de su rango de operación seguro, lo que impide alcanzar dicho valor<sup>7</sup>. 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.

Por otro lado, para el nivel de tensión de 1.1 p.u. en bornes de generador no es posible operar la unidad porque el limitador de sobreflujo (V/Hz) limita la tensión en 1.05 p.u., lo que impide alcanzar dicho valor<sup>8</sup>. Además, la tensión de los SS/AA se encontraría fuera de su rango de operación seguro. 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.

---

<sup>7</sup> Para mayor detalle referirse al informe técnico “**EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1**”.

<sup>8</sup> Para mayor detalle referirse al informe técnico “**EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1**”.



A continuación, se presentan las curvas de capacidad definidas para cada nivel de tensión operable en la **Unidad 1** de la **Central Hidroeléctrica La Confluencia**.

Se muestran las siguientes curvas:

- Corriente nominal de estator (trazo verde oscuro continuo)
- Ajuste de limitador SCL (trazo verde oscuro segmentado)
- Ajuste de limitador OEL (trazo violeta 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)
- Ajuste de limitador MEL (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 Tensión en Terminales 0.95 p.u.

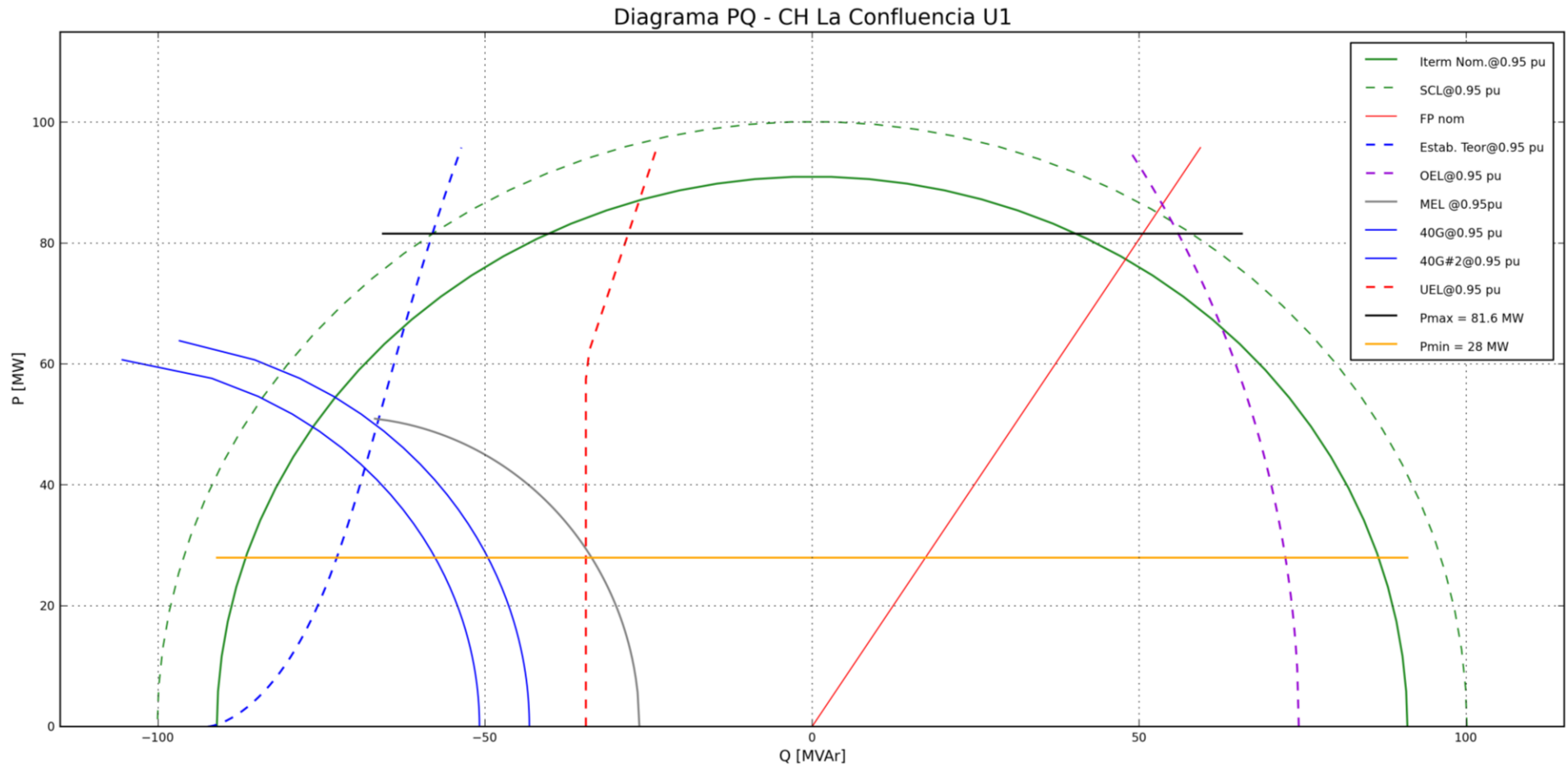


Figura 5.2: Diagrama PQ ensayado - ETERM = 0.95 p.u.



### 5.2.2 Tensión en Terminales 1.00 p.u.

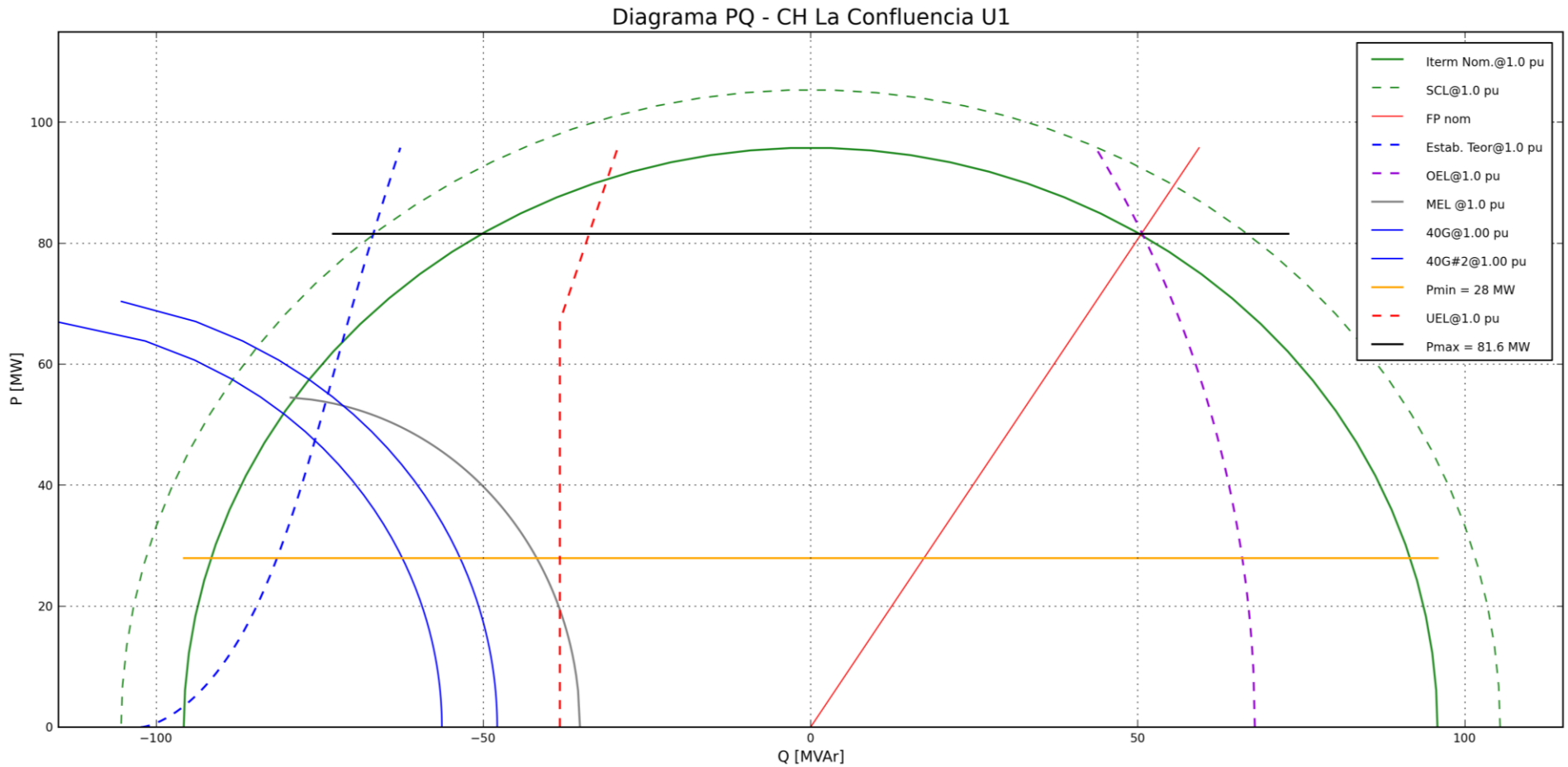


Figura 5.3: Diagrama PQ ensayado - ETERM = 1.00 p.u.



### 5.2.3 Tensión en Terminales 1.05 p.u.

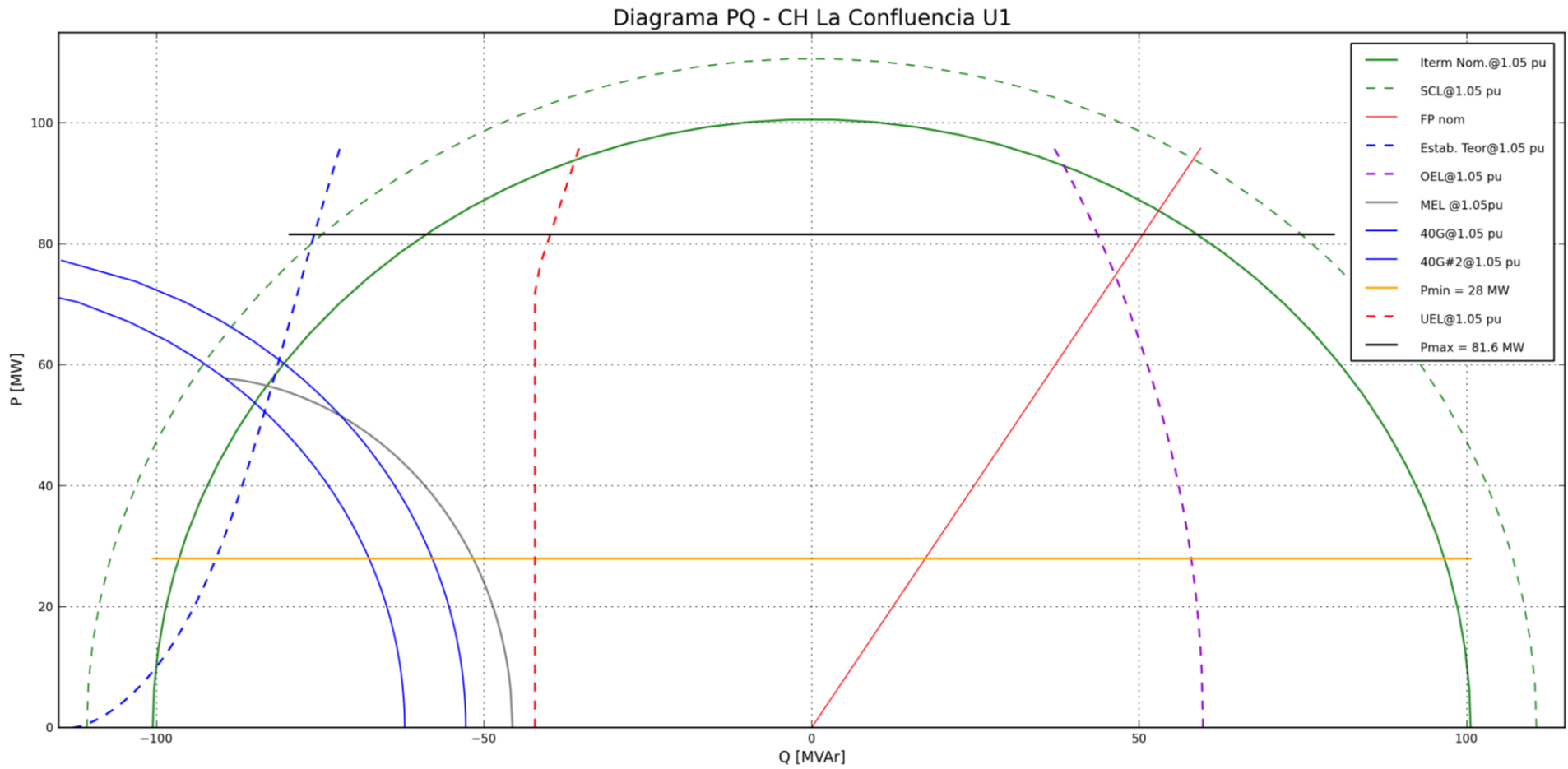


Figura 5.4: Diagrama PQ ensayado – ETERM = 1.05 p.u.



### 5.2.4 Resumen de valores a informar

A continuación, se muestran las tablas de resumen de los valores PQ ensayados para todos los niveles de tensión en el formato requerido por el CEN (*“Guía de Verificación Control de Tensión”* – Anexo B – Junio 2020) para presentar en la planilla adjunta *“EE-EN-2022-0315-RA-Curvas\_PQ\_Final\_CH\_La\_Confluencia\_U1.xlsx”*

Potencia [MW]	Tensión [pu]	28.0	45.9	63.7	81.6	81.6	63.7	45.9	28.0
Unidad 1 [MVar] (0.9Vpu)	0.9	No operable <sup>9</sup>							
Unidad 1 [MVar] (0.95Vpu)	0.95	-33.7	-34.6	-33.6	-28.1	40.2	63.4	68.8	72.4
Unidad 1 [MVar] (1Vpu)	1	-38.3	-38.3	-38.3	-33.8	50.2	57.6	62.7	66.0
Unidad 1 [MVar] (1.05Vpu)	1.05	-42.2	-42.2	-42.2	-39.9	43.6	50.1	54.8	57.9
Unidad 1 [MVar] (1.1Vpu)	1.1	No operable <sup>9</sup>							

Tabla 5.6: Resumen de valores curvas PQ

<sup>9</sup> Para mayor detalle referirse al informe técnico *“EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1”*.



### 5.2.5 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 0.95 p.u.

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo	Q obtenida	VT	Vfd[V]	I <sub>ex</sub> [A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]	P[MW]	Q [MVar]						
1	15/02/2022	11:00	11:01	28.0	72.4	30	-32.1	0.99	41.5	503.8	No aplica	No se alcanza el punto objetivo ya que al subir tensión se alcanza el siguiente nivel de tensión objetivo	Punto no alcanzable
2	15/02/2022	11:59	12:01	45.9	68.8	46.3	-31.8	0.99	49	570.5	No aplica		Punto no alcanzable
3	15/02/2022	14:39	14:41	63.7	63.4	64.7	-34.8	0.99	55.3	657.3	No aplica		Punto no alcanzable
4	-	-	-	81.6	40.2	-	-	-	-	-	-		Punto no alcanzable
5	15/02/2022	15:53	16:08	81.6	-28.1	81.2	-32.3	0.99	66.4	772.8	14.9	Actúa límite UEL/MEL	-
6	15/02/2022	14:32	14:37	63.7	-33.6	64.7	-36.8	0.99	53.9	639.5	9.5	Actúa límite UEL/MEL	-
7	15/02/2022	12:51	12:56	45.9	-34.6	43.2	-36.8	0.99	43.4	513.9	6.4	Actúa límite UEL/MEL	-
8	15/02/2022	10:54	10:59	28.0	-33.7	30	-36.4	0.98	37.3	451.4	8.0	Actúa límite UEL/MEL	-

Tabla 5.7: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 0.95 p.u.



### 5.2.6 Ensayos de curva PQ para tensión de terminales 1.00 p.u.

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo	Q obtenida	VT	Vfd[V]	Iex[A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]	P[MW]	Q [MVar]						
1	15-02-2022	11:10	11:12	28.0	66.0	30.4	2.2	1.04	69.3	846.9	No aplica	No se alcanza el punto objetivo ya que al subir tensión se alcanza el siguiente nivel de tensión objetivo	Punto no alcanzable
2	15-02-2022	11:48	11:52	45.9	62.7	45.9	0.9	1.04	75.5	884.8	No aplica		Punto no alcanzable
3	15-02-2022	14:47	14:52	63.7	57.6	64.9	-1.7	1.04	78.6	938.5	No aplica		Punto no alcanzable
4	15-02-2022	16:14	16:19	81.6	50.2	81.4	-1.7	1.04	87.3	1017.4	No aplica		Punto no alcanzable
5	15-02-2022	15:24	15:39	81.6	-33.8	81.4	-33.3	1	66.5	771.4	1.5	Actúa límite UEL/MEL	-
6	15-02-2022	14:13	14:18	63.7	-38.3	63.7	-38	1	53.4	632.2	0.8	Actúa límite UEL/MEL	-
7	15-02-2022	12:27	12:32	45.9	-38.3	46.1	-38.2	1	45.7	540.3	0.3	Actúa límite UEL/MEL	-
8	15-02-2022	10:24	10:29	28.0	-38.3	28.1	-37.8	1	37.5	453.2	1.3	Actúa límite UEL/MEL	-

Tabla 5.8: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.00 p.u.



### 5.2.7 Ensayos de Curva PQ para tensión en terminales 1.05 p.u.

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo		Q obtenida		VT	Vfd[V]	Iex[A]	Desviación	Origen de la Limitación	Observaciones
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]	P[MW]	Q [MVar]								
1	15-02-2022	11:15	11:20	28.0	57.9	30.5	7.4	1.05	74.8	908.6	No aplica	Actuación del límite de máxima consigna de tensión del AVR (1.05 p.u.)	Punto no alcanzable		
2	15-02-2022	11:33	11:38	45.9	54.8	45.4	6.4	1.05	80	941.3	No aplica		Punto no alcanzable		
3	15-02-2022	14:54	14:59	63.7	50.1	65	5	1.05	84.5	1002.2	No aplica		Punto no alcanzable		
4	15-02-2022	16:20	16:35	81.6	43.6	81.3	3.6	1.05	92.7	1067.7	No aplica		Punto no alcanzable		
5	15-02-2022	15:15	15:18	81.6	-39.9	81.6	-27.8	1.01	70.1	810.2	No aplica	No se alcanza el punto objetivo ya que al bajar tensión se alcanza el siguiente nivel de tensión objetivo	Punto no alcanzable		
6	15-02-2022	14:04	14:06	63.7	-42.2	61.9	-30.1	1.01	57.6	681.2	No aplica		Punto no alcanzable		
7	15-02-2022	12:34	12:36	45.9	-42.2	45.5	-32.6	1.01	49.5	587	No aplica		Punto no alcanzable		
8	15-02-2022	9:49	9:50	28.0	-42.2	27.9	-29.7	1.01	43.4	524.8	No aplica		Punto no alcanzable		

Tabla 5.9: Resumen de valores curvas PQ con tensión en terminales de 1.05 p.u.



## 6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA

### 6.1 Reserva en giro

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

Para estas pruebas se presentan las siguientes señales:

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

La unidad 1 de la Central Hidroeléctrica La Confluencia posee ajustada una tasa de 18 MW/min, tanto para bajada como subida. Además, puede variar su tasa de toma y bajada de carga en un amplio rango, el cual va desde 0 MW/min a 4896 MW/min (ver Figura 8.53 y Figura 8.54). En línea con lo anterior, se decide probar como mínima y máxima tasa de toma y bajada de carga 6 MW/min (correspondiente al 7.3%Pnom/min) y 42 MW/min (correspondiente al 51.5%Pnom/min) respectivamente. Dichos valores fueron recomendados por el representante del fabricante del regulador de velocidad presente en terreno.

En la Tabla 6.1 se resumen los ensayos de incremento y bajada de carga. Estos valores son aproximados y pueden diferir con el despacho real alcanzado en los ensayos.

<i>Despacho Inicial de Potencia Activa [MW]</i>	<i>Despacho Final de Potencia Activa [MW]</i>	<i>Tasa de toma de carga [MW/min]</i>
28	81.6	18
28	81.6	6
28	81.6	42
81.6	28	-18
81.6	28	-6
81.6	28	-42

Tabla 6.1: Ensayos de CTFg





### 6.1.1 Incrementos de carga de la unidad

Se realiza la prueba con la tasa de toma de carga configurada actualmente en la unidad, es decir 18 MW/min. Adicionalmente, se realiza un incremento de carga con una tasa inferior, en este caso, 6 MW/min y una tasa superior, en este caso, 42 MW/min.

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

#### Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima a 18 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 27.5 MW a un valor final de 79.5 MW.

C.H. La Confluencia U1 - Control terciario de frecuencia - arch: GOV\_001

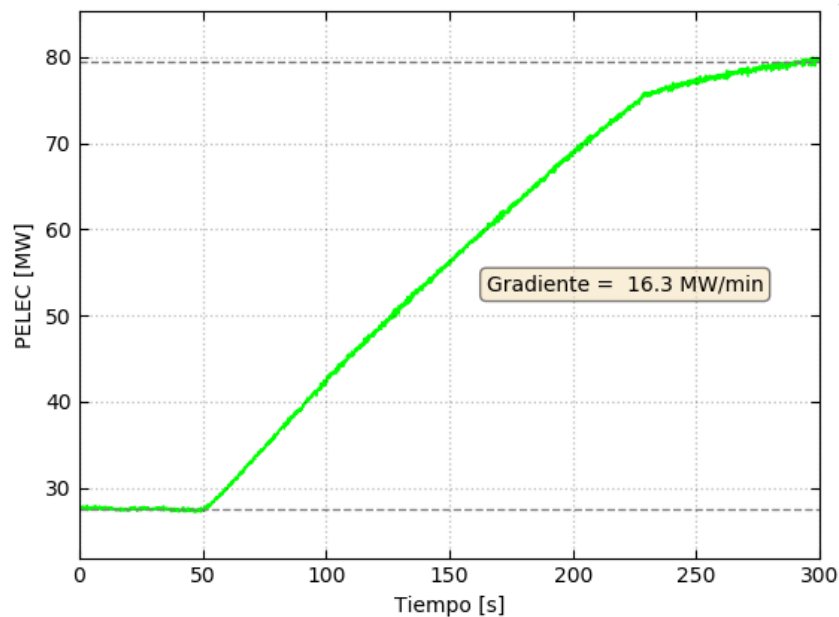


Figura 6.1: Toma de carga – Tasa = 18.0 MW/min

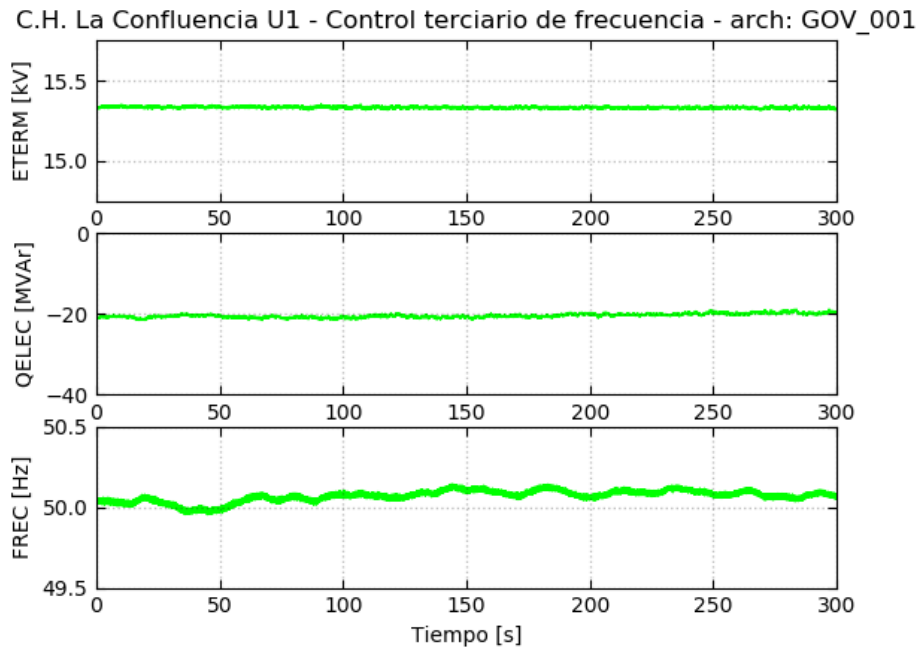


Figura 6.2: Toma de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 16.3 MW/min, lo que equivale a una tasa del 19.98%/min de la potencia nominal de la unidad (81.6 MW).



### Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima a 6 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 27.6 MW a un valor final de 78.7 MW.

C.H. La Confluencia U1 - Control terciario de frecuencia - arch: GOV\_002

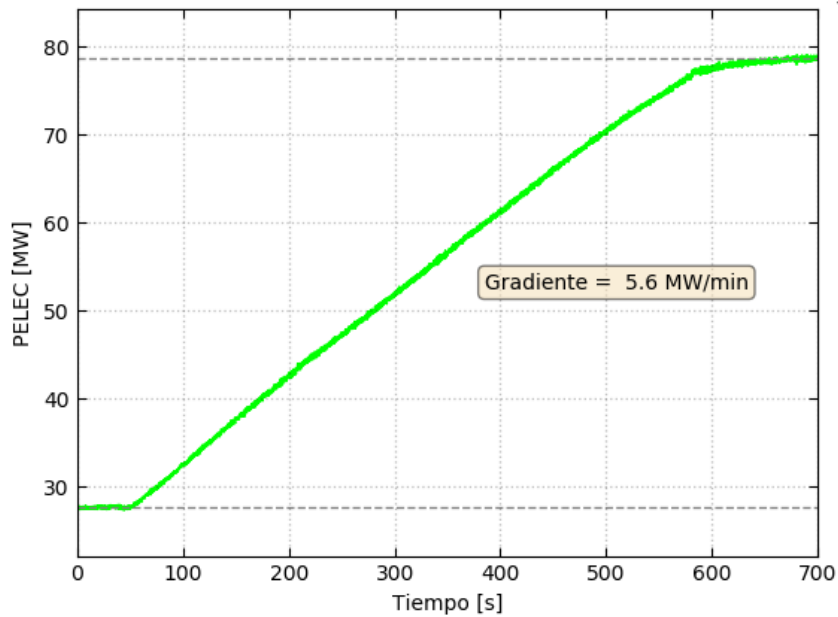


Figura 6.3: Toma de carga - Tasa = 6.0 MW/min

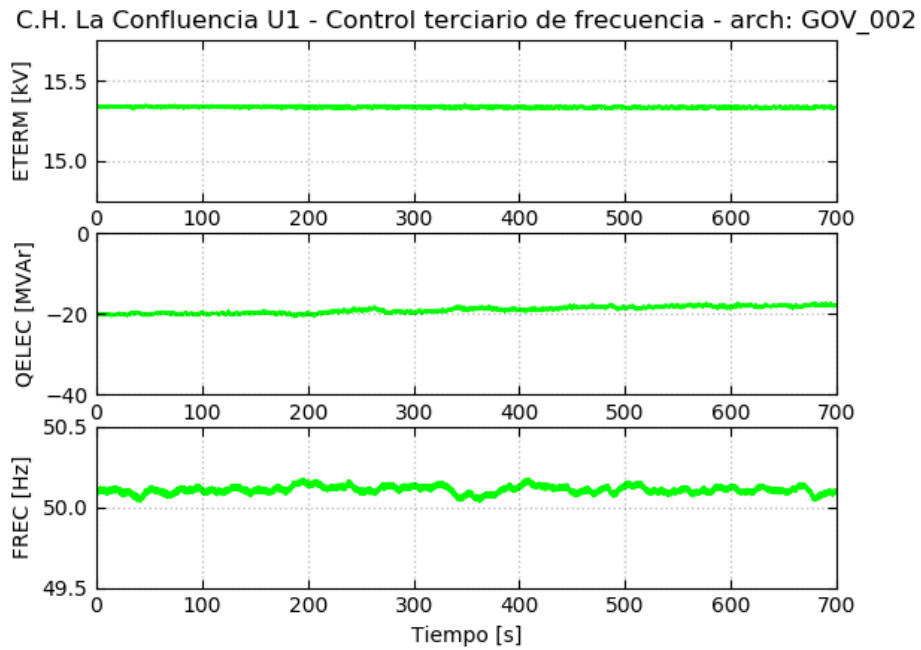


Figura 6.4: Toma de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 5.6 MW/min, lo que equivale a una tasa del 6.86%/min de la potencia nominal de la unidad (81.6 MW).



### Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima a 42 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 27.5 MW a un valor final de 79.0 MW.

C.H. La Confluencia U1 - Control terciario de frecuencia - arch: GOV\_003

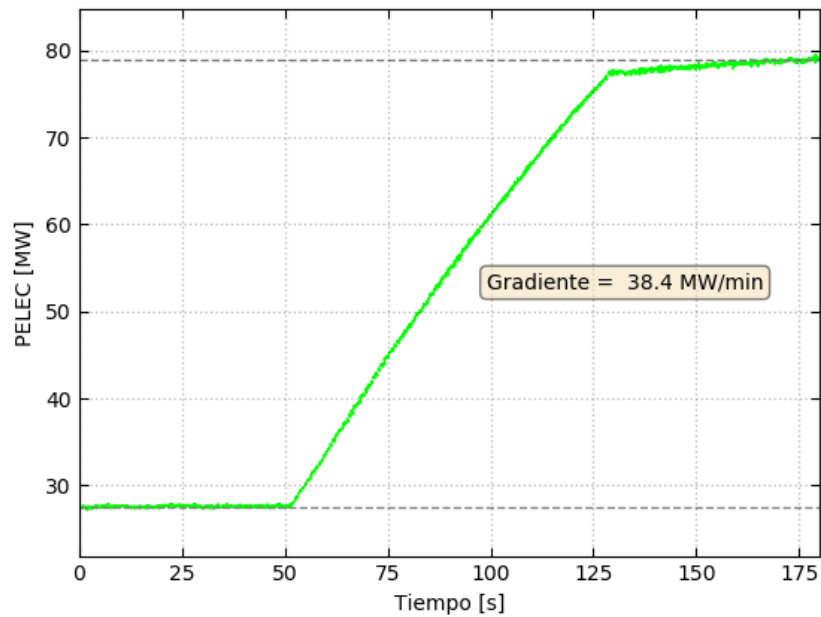


Figura 6.5: Toma de carga - Tasa = 42.0 MW/min

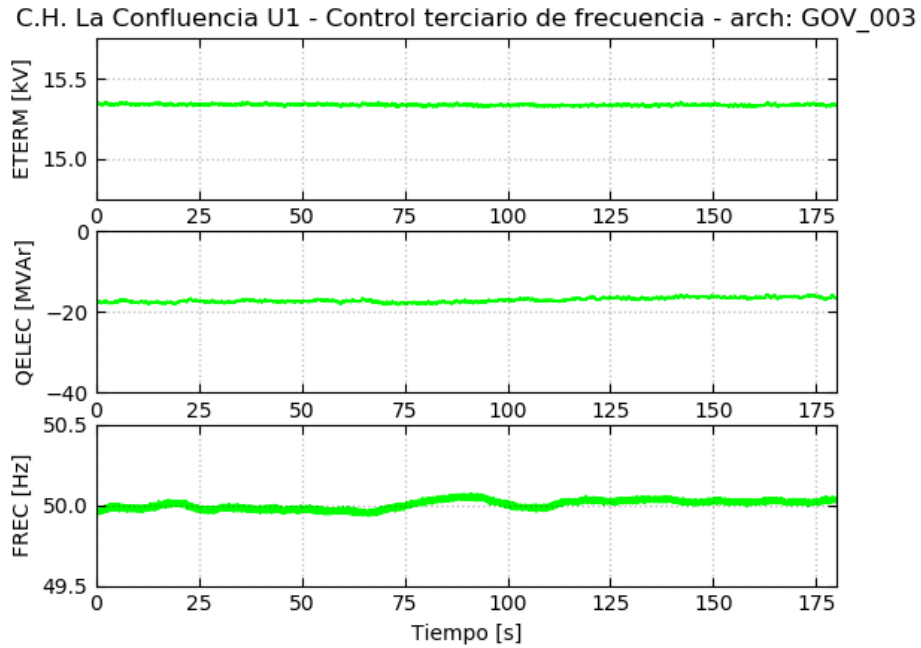


Figura 6.6: Toma de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 38.4 MW/min, lo que equivale a una tasa del 47.06%/min de la potencia nominal de la unidad (81.6 MW).



### 6.1.2 Bajada de carga de la unidad

Se realiza la prueba con la tasa de bajada de carga configurada actualmente en la unidad, es decir -18 MW/min. Adicionalmente, se realiza una bajada de carga con una tasa superior, en este caso, -6 MW/min y una tasa inferior, en este caso, -42 MW/min.

Para verificar el gradiente de toma de carga (MW/min) de la unidad, se comienza el ensayo operando a potencia máxima disponible, y se baja carga en la unidad hasta alcanzar el mínimo técnico. La disminución de generación en la unidad se realiza mediante un **único** cambio en la referencia de potencia por parte del personal de operaciones de la central.

#### Bajada de carga desde potencia máxima a mínimo técnico a -18 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 80.8 MW a un valor final de 28.3 MW.

C.H. La Confluencia U1 - Control terciario de frecuencia - arch: GOV\_001

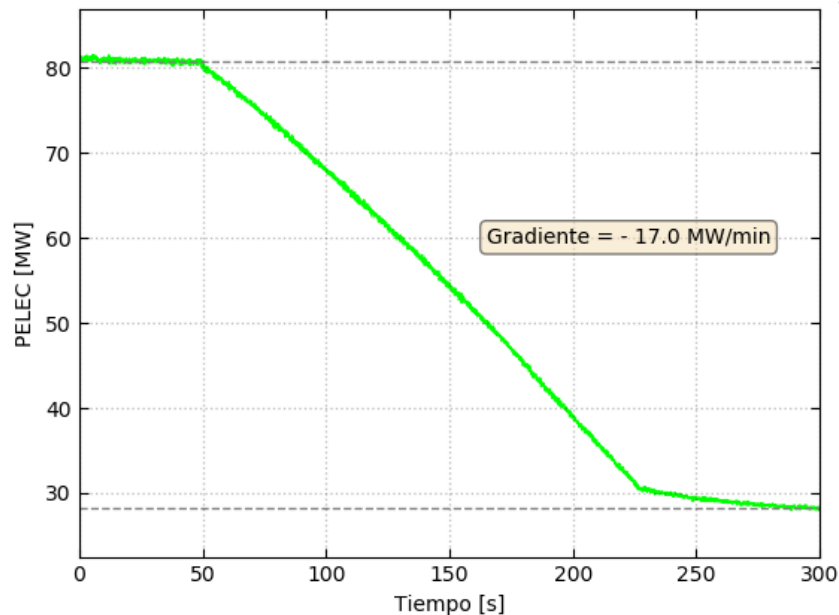


Figura 6.7: Bajada de carga - Tasa = -18.0 MW/min

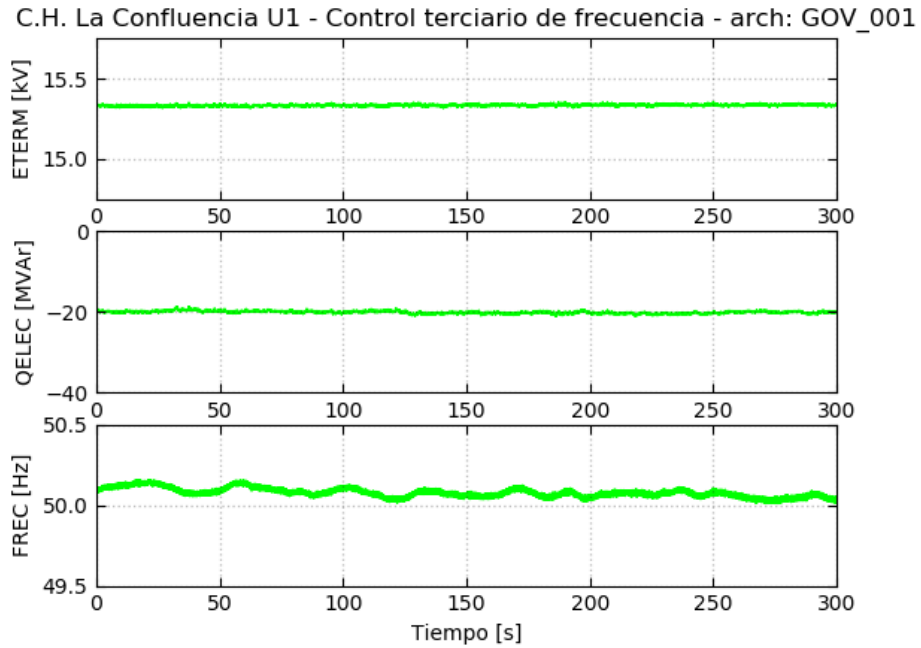


Figura 6.8: Bajada de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a  $-17.0 \text{ MW/min}$ , lo que equivale a una tasa del  $-20.83\%/min$  de la potencia nominal de la unidad ( $81.6 \text{ MW}$ ).





### Bajada de carga desde potencia máxima a mínimo técnico a -6 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 80.0 MW a un valor final de 28.0 MW.

C.H. La Confluencia U1 - Control terciario de frecuencia - arch: GOV\_002

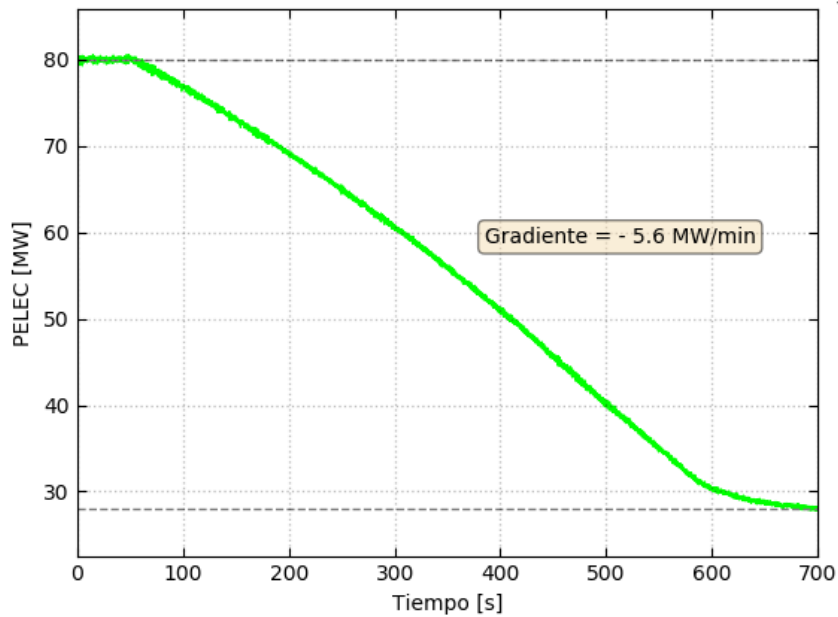


Figura 6.9: bajada de carga - Tasa = -6.0 MW/min

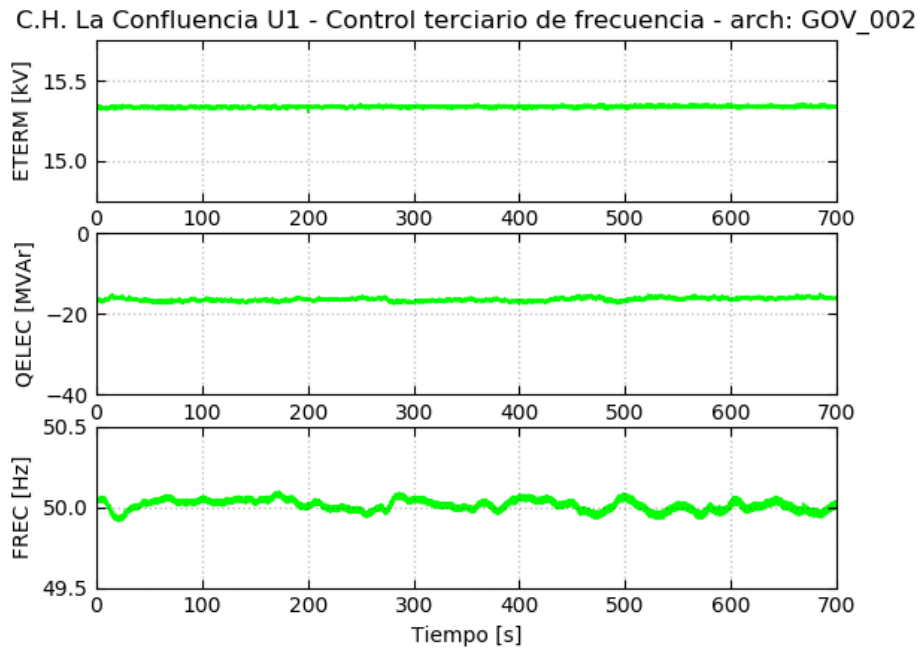


Figura 6.10: Bajada de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a  $-5.6 \text{ MW/min}$ , lo que equivale a una tasa del  $-6.86\%/min$  de la potencia nominal de la unidad ( $81.6 \text{ MW}$ ).



Bajada de carga desde potencia máxima a mínimo técnico a -42 MW/min

Se modifica la consigna de potencia activa de la unidad desde un valor inicial de 82.0 MW a un valor final de 29.5 MW.

C.H. La Confluencia U1 - Control terciario de frecuencia - arch: GOV\_003

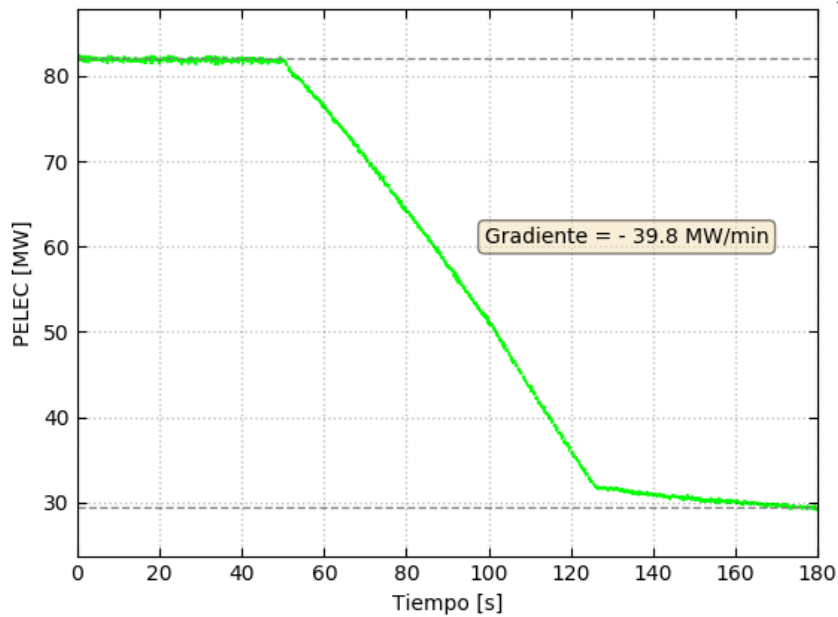


Figura 6.11: bajada de carga - Tasa = -42.0 MW/min

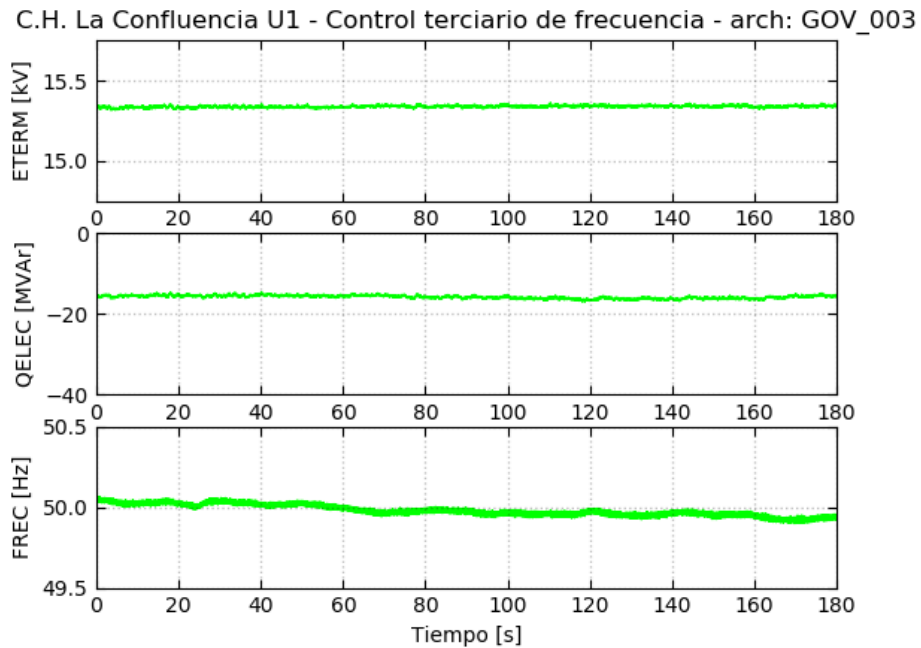


Figura 6.12: Bajada de carga – Señales en terminales del generador

Como puede observarse en las figuras anteriores, la unidad presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a  $-39.8 \text{ MW/min}$ , lo que equivale a una tasa del  $-48.77\%/min$  de la potencia nominal de la unidad ( $81.6 \text{ MW}$ ).



### 6.1.3 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en giro

En la Tabla 6.2 se resumen los gradientes medidos para los diferentes movimientos de carga, mientras que en la Tabla 6.3 se presenta la reserva para CTFg para la unidad 1 de la Central Hidroeléctrica La Confluencia, en función de las pruebas realizadas.

Unidad	Valor Teórico [MW/min]	Valor Medido Subida [MW/min]	Valor Medido Bajada [MW/min]
HLC U1	18	16.3	-17.0
	6	5.6	-5.6
	42	38.4	-39.8

Tabla 6.2 – Resumen gradientes entre movimientos de carga entre mínimo técnico y potencia máxima

La reserva en giro para CTF corresponde al valor mínimo entre la potencia que es posible variar la unidad en 10 minutos de acuerdo a la tasa consignada y el margen entre la potencia de despacho y la potencia límite (máxima o mínima) que la unidad es capaz de entregar. Esto se expresa en la Tabla 6.3 donde:

- *Reserva Giro CTF<sup>+</sup>*: Reserva en giro para CTF por subfrecuencia.
- *Reserva Giro CTF<sup>-</sup>*: Reserva en giro para CTF por sobrefrecuencia.
- *Pd*: Potencia bruta de despacho.

Unidad	Tasa [MW/min]	Reserva para CTFg [MW]
HLC U1	18	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min\{18 \cdot 10, 81.6 - Pd\}$ $Reserva\ Giro\ CTF^- = \min\{18 \cdot 10, Pd - 28\}$
	6	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min\{6 \cdot 10, 81.6 - Pd\}$ $Reserva\ Giro\ CTF^- = \min\{6 \cdot 10, Pd - 28\}$
	42	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min\{42 \cdot 10, 81.6 - Pd\}$ $Reserva\ Giro\ CTF^- = \min\{42 \cdot 10, Pd - 28\}$

Tabla 6.3 – Reservas de potencia para CTFg

Cabe mencionar que el tiempo de activación del CTFg 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 cero (0) segundos.



## 6.2 Reserva en frío

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

Para estas pruebas se presentan las siguientes señales:

- Potencia activa en bornes de la unidad (señal PELEC).
- Tensión y potencia reactiva en terminales de la unidad (señales ETERM y QELEC, respectivamente).

El ensayo realizado evalúa la capacidad de la unidad de sincronizar desde el estado “**apagado**” y alcanzar su estado de mínimo técnico en un tiempo máximo de quince (15) minutos y mantenerse en dicha condición durante otros sesenta (60) minutos. Se comienza con la unidad en modo apagado y se da la orden de partida, se registra el tiempo que tarda la unidad en sincronizar con el SEN y seguidamente se continua la subida de carga hasta mínimo técnico. En la Figura 6.13 se presenta la maniobra ya descrita.

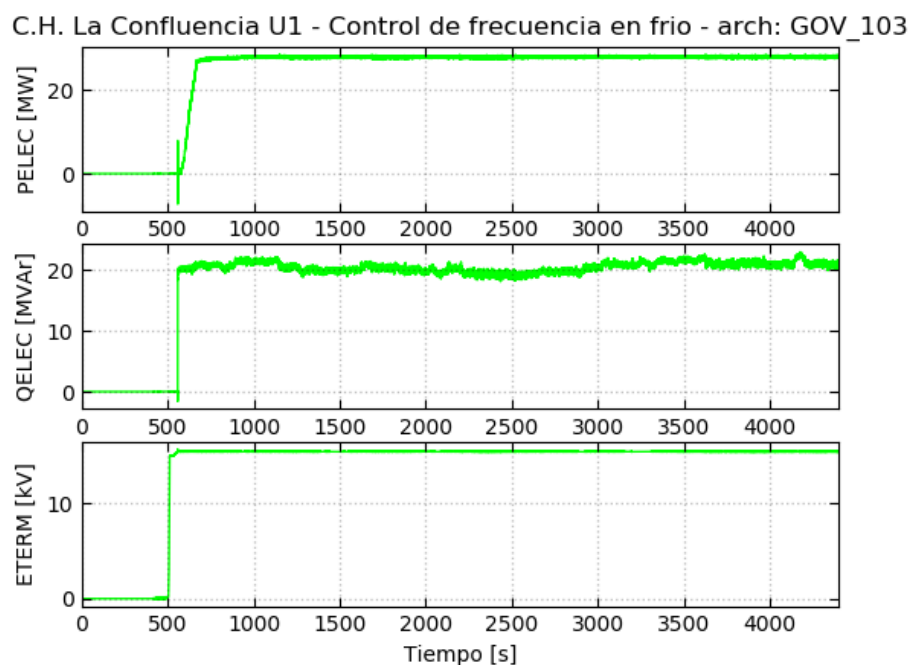


Figura 6.13: Registro de potencia activa, reactiva y tensión en bornes de la unidad



El detalle de las maniobras anteriores (proceso de arranque) se muestran en las Figura 6.14 y Figura 6.15. En las mismas se puede ver la evolución de la potencia activa de la unidad durante las pruebas. Se detalla con líneas rojas segmentadas los hitos temporales que marcan el proceso de partida de la unidad, los cuales son descritos en la Tabla 6.4.

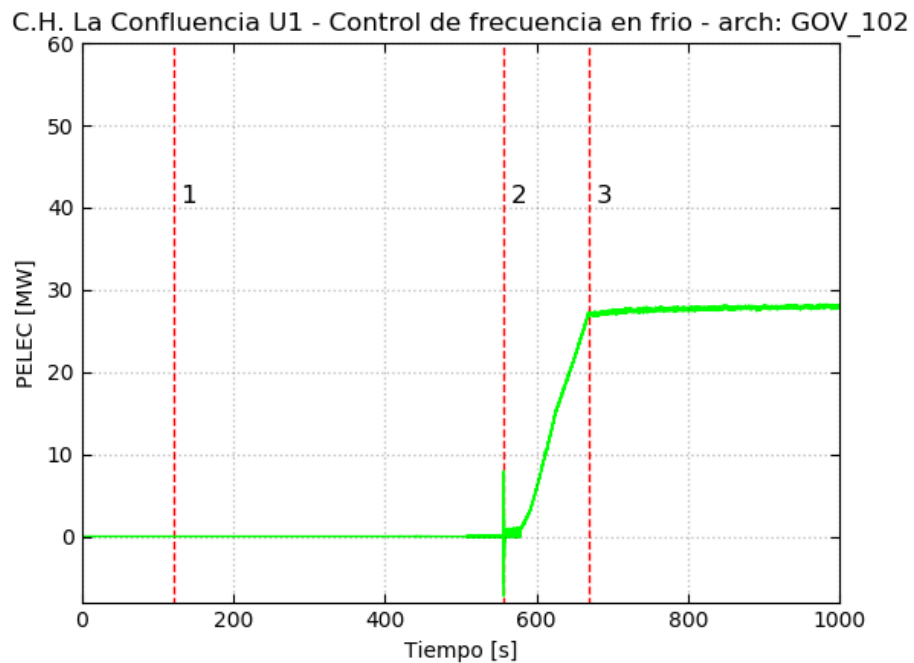


Figura 6.14: Registro de potencia activa (Encendido)



C.H. La Confluencia U1 - Control de frecuencia en frío - arch: GOV\_103

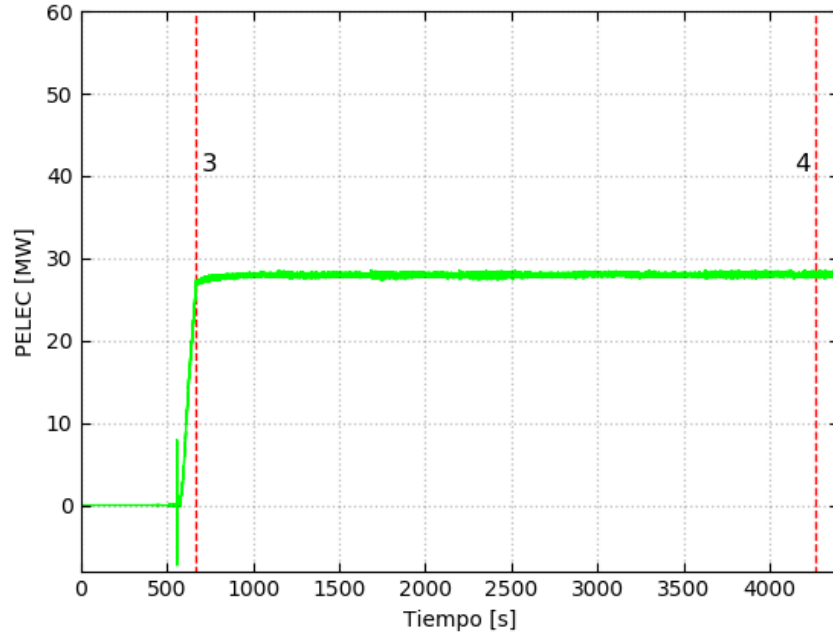


Figura 6.15: Registro de potencia activa (Pmin)

<b>Maniobra/Evento</b>	<b>Descripción</b>
1	Se da la orden de arranque
2	Unidad se sincroniza al SEN y comienza a tomar carga hasta mínimo técnico
3	Se alcanza el despacho de mínimo técnico 28 MW y se mantiene durante 60 minutos
4	Se cumplen los 60 minutos en mínimo técnico

Tabla 6.4 – Secuencia de maniobras y eventos





### 6.2.1 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en frío

En la Tabla 6.5 se resumen los tiempos medidos para la secuencia de eventos de CTFf para la unidad 1 de la Central Hidroeléctrica La Confluencia, mientras que en la Tabla 6.6 se compara dichos tiempos con los estipulados en la normativa para el control terciario de frecuencia reserva en frío.

<i>Maniobra/Evento</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tiempo del evento [min]</i>
1	Se da la orden de arranque	2
2	Sincronización	9.26
3	Se alcanza Pmin	11.15
4	Se cumple 60 min en Pmin	73.15

Tabla 6.5 – Resumen de tiempos de la secuencia de eventos de CTF en frío

<i>Unidad</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Tiempo Medido [min]</i>	<i>Requerimiento Normativo [min]</i>
HLC U1	Sincronización ( $t_2-t_1$ )	7.26	< 5
	Se alcanza Pmin ( $t_3-t_1$ )	9.15	< 15
	60 min en Pmin ( $t_4-t_1$ )	71.15	> 60

Tabla 6.6 – Evaluación de los tiempos medidos para CTF en frío

Cabe mencionar que la unidad 1 de la Central Hidroeléctrica La Confluencia no cumple con el tiempo mínimo de sincronización. Por otro lado, el tiempo que tarda la unidad para alcanzar el mínimo técnico cumple con el tiempo mínimo estipulado en la NT SSCC. Además, la unidad no presenta problemas para mantener dicho despacho durante 60 minutos.



## 7 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

La **Unidad 1** de la **Central Hidroeléctrica La Confluencia** ha sido sometida al proceso de verificación para la prestación de Servicios Complementarios. El mismo ha sido llevado a cabo bajo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica de Servicios Complementarios y el Anexo Técnico, “*Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC*” vigente.

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

- La respuesta dinámica del regulador de tensión de la unidad es rápida y estable, cumpliendo con los parámetros de performance exigidos por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
- Se logra comprobar un correcto ajuste en el lazo de control del regulador de tensión. A través de cambios en la tensión de referencia se comprueba que actúan adecuadamente los diferentes limitadores.
- Se realizó un informe de determinación de curvas PQ máxima teórica para cada uno de los niveles de tensión, el cual es entregado en el documento “**EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1**”.
- Se logra comprobar que la central puede operar en forma segura y estable en los extremos de las zonas de operación definidas por las curvas PQ teóricas presentadas en el capítulo 5, salvo para los valores de tensión de 0.90 p.u. y 1.10 p.u., los cuales no se lograron verificar debido a encontrarse fuera del rango de operación de los SS/AA. Además, de encontrarse el limitador de consigna de tensión del AVR en 1.05 p.u. Sin embargo, para los puntos verificados, no se observan restricciones y se comprueba que la unidad puede operar estables en tales niveles de potencia reactiva.
- No se evidencia restricción por parte de la unidad para operar dentro de las curvas PQ teóricas, exceptuando las curvas de operación para los niveles de tensión 0.9 p.u. y 1.1 p.u., ya que la operación de las unidades se ve restringida por el nivel de



tensión en los SS/AA<sup>10</sup> entre 0.95 p.u. y 1.05 p.u. Además, el AVR de la unidad cuenta con un limitador de consigna de tensión que no permite aumentar la tensión sobre 1.05 p.u.

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

- En cuanto al CTFg, los movimientos de carga se realizan siguiendo en buena medida el gradiente configurado.
- El tiempo de activación del CTFg 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 unidad.
- Adicionalmente, se deduce, que la central podrá entregar hasta la totalidad de su rango operativo como reserva para **Control Terciario de Frecuencia reserva en giro**.
- En cuanto al CTFf, el proceso de arranque se realiza desde la consola del operador y es la forma de operación normal de la unidad. Se logra una partida estable de la unidad.
- Si bien el tiempo de sincronización no cumple con el tiempo mínimo establecido en la normativa, el tiempo que tarda la unidad en alcanzar el mínimo técnico si cumple con la normativa de manera holgada.
- No se presentan inconvenientes al mantener la operación en el mínimo técnico en un tiempo prolongado.
- Adicionalmente, se deduce, que la central podrá entregar hasta la totalidad de su rango operativo como reserva para **Control Terciario de Frecuencia reserva en frío** considerando que el tiempo extra de sincronización es compensado con el rápido aumento de carga a mínimo técnico.

---

<sup>10</sup> Para mayor detalle referirse al informe técnico “EE-EN-2021-2259-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_CH\_La\_Confluencia\_U1”.



## 8 ANEXOS

### 8.1 Verificación de curvas de capacidad en diferentes niveles de tensión

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

- Tensión de terminales (señal ETERM)
- Potencia reactiva de terminales (señal QELEC)
- Potencia activa de terminales (señal PELEC)
- Tensión de campo del generador (señal EFD)
- Corriente de campo del generador (señal IFD)

#### 8.1.1 Verificación curva PQ @ 0.95 p.u.

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

##### 1. Punto P1\_CT-Q1

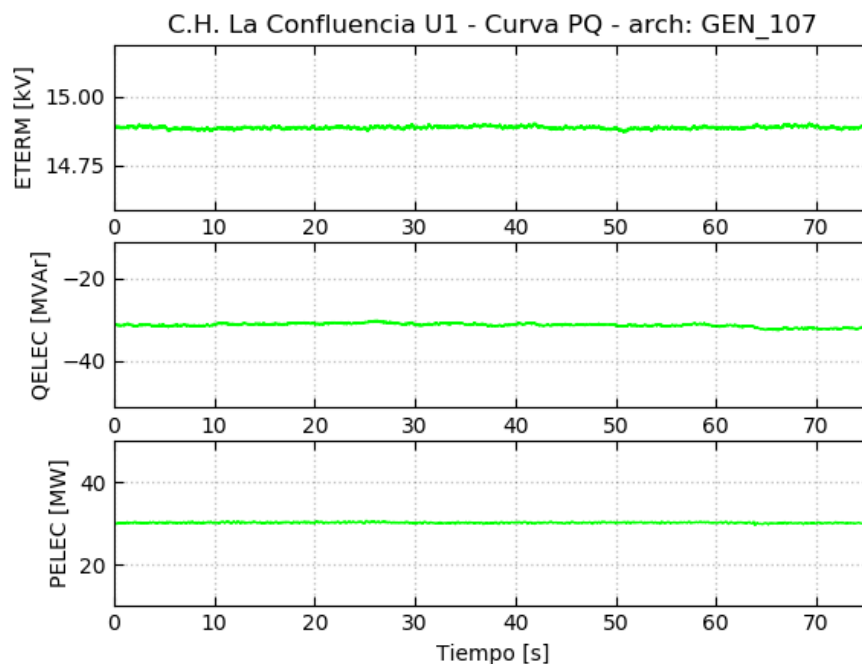


Figura 8.1: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

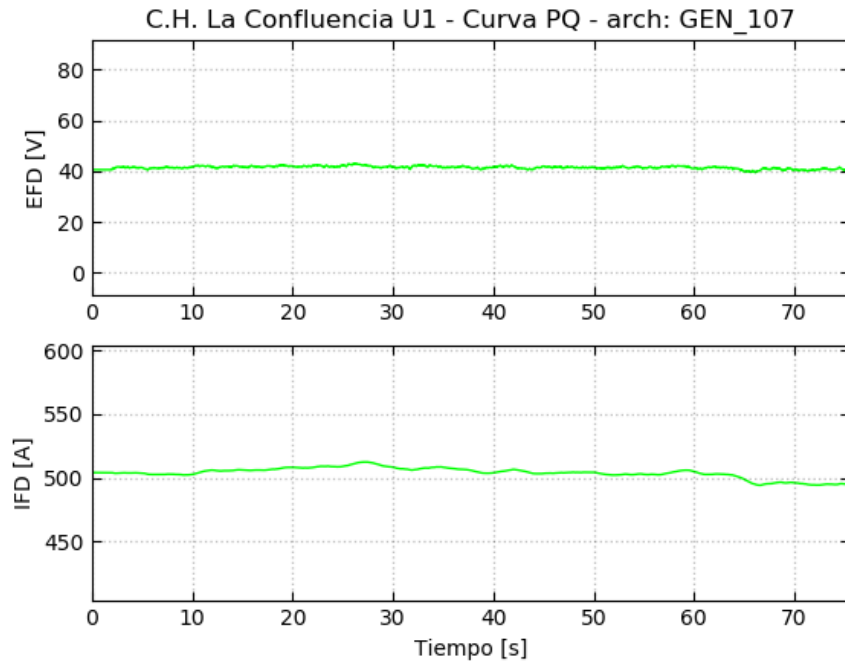


Figura 8.2: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 2. Punto P2\_CT-Q2

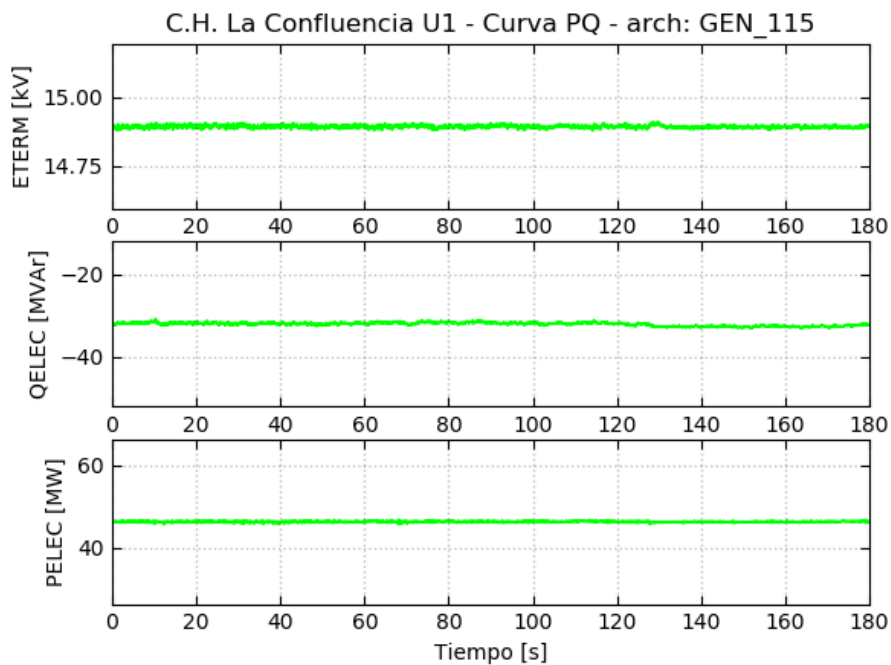


Figura 8.3: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

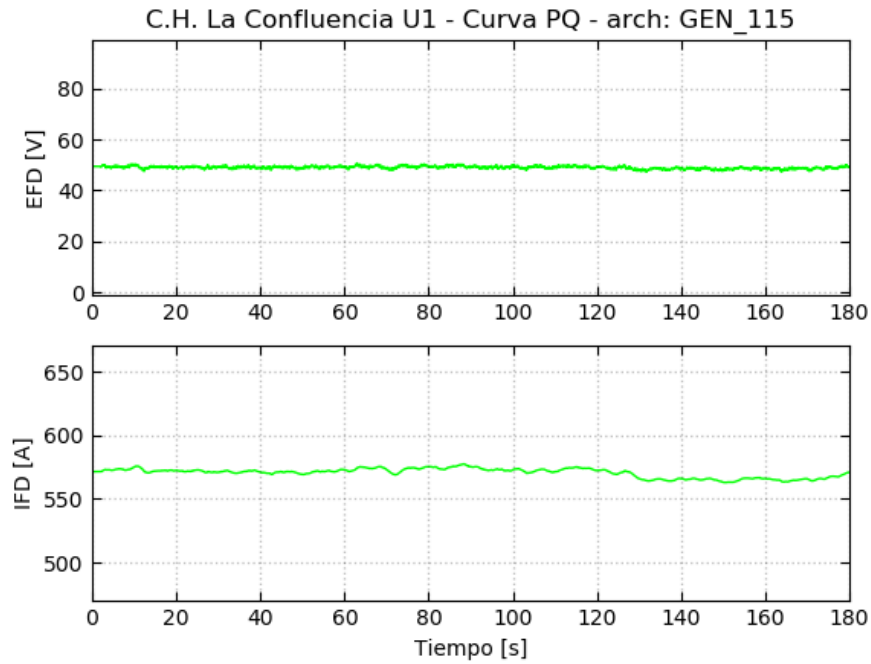


Figura 8.4: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

### 3. Punto P4\_CT-Q3

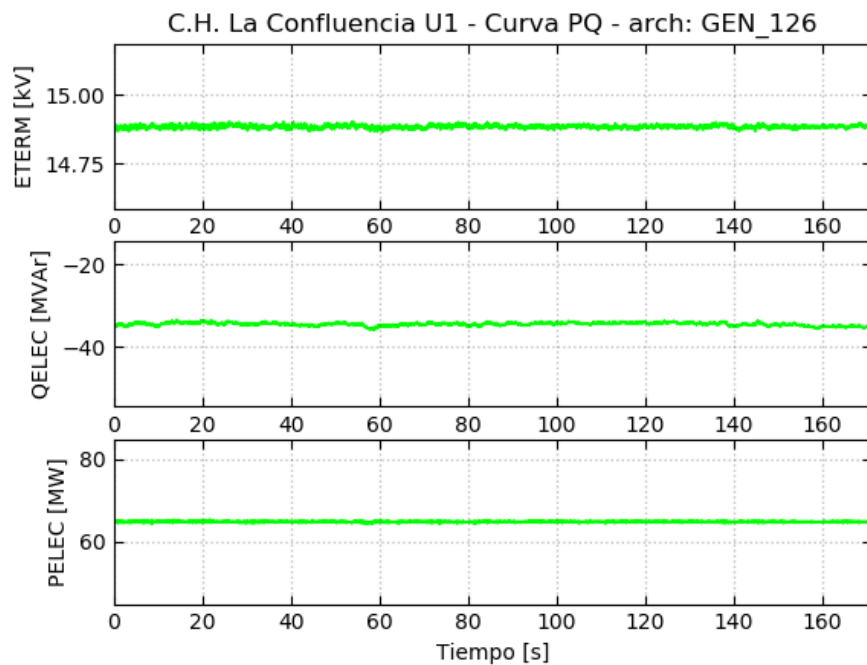


Figura 8.5: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

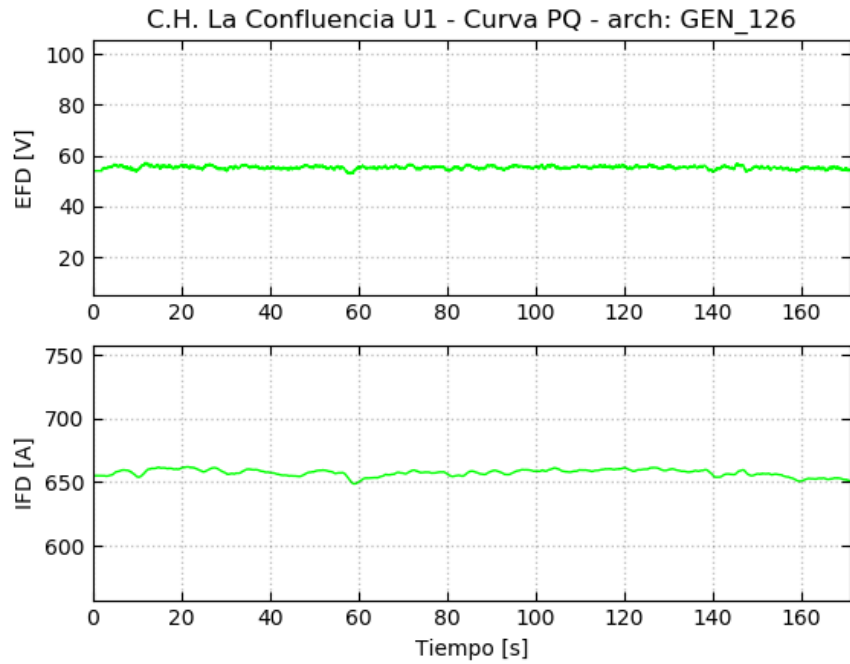


Figura 8.6: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

#### 4. Punto P5\_CT-Q5

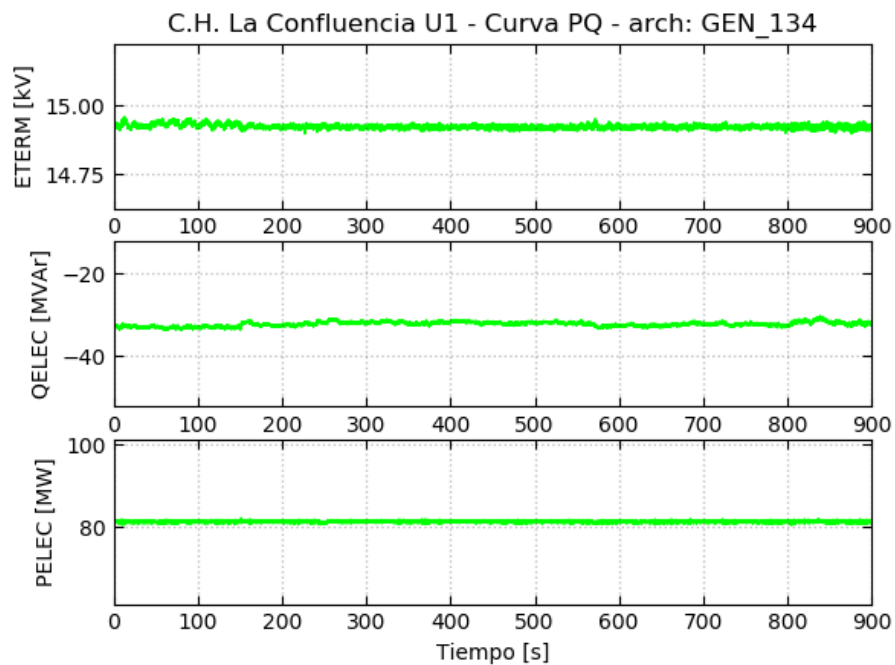


Figura 8.7: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

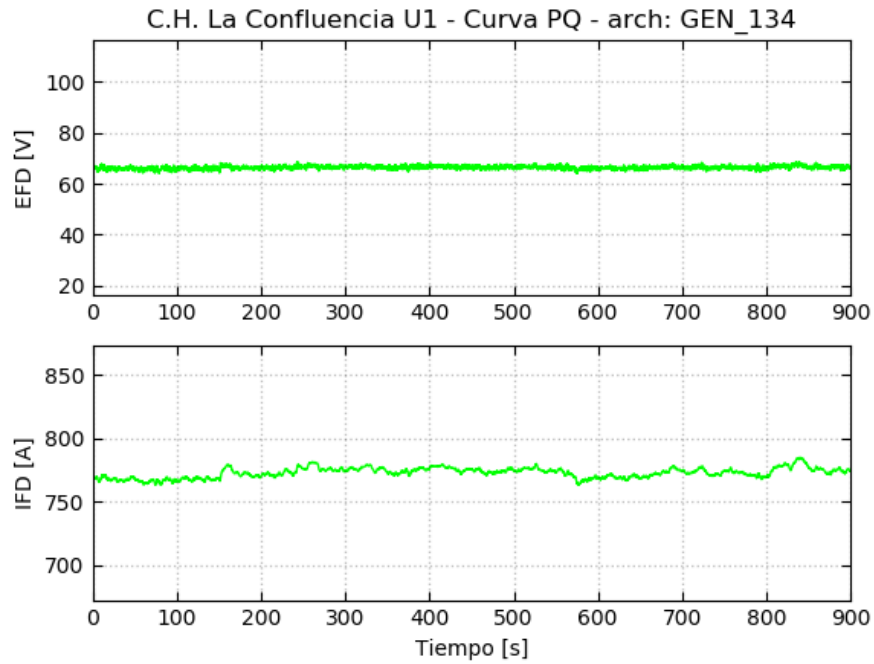


Figura 8.8: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 5. Punto P4\_CT-Q6

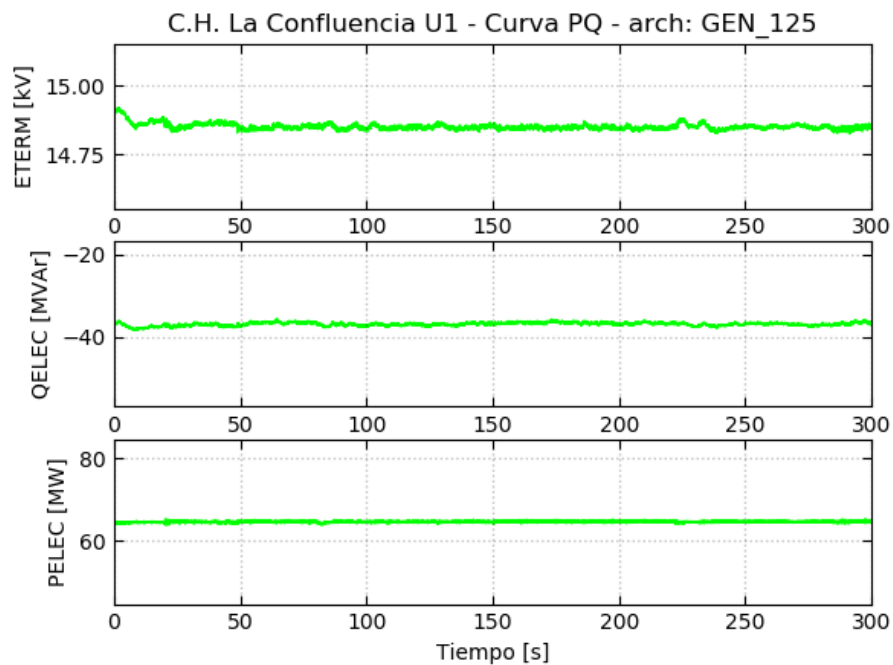


Figura 8.9: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador



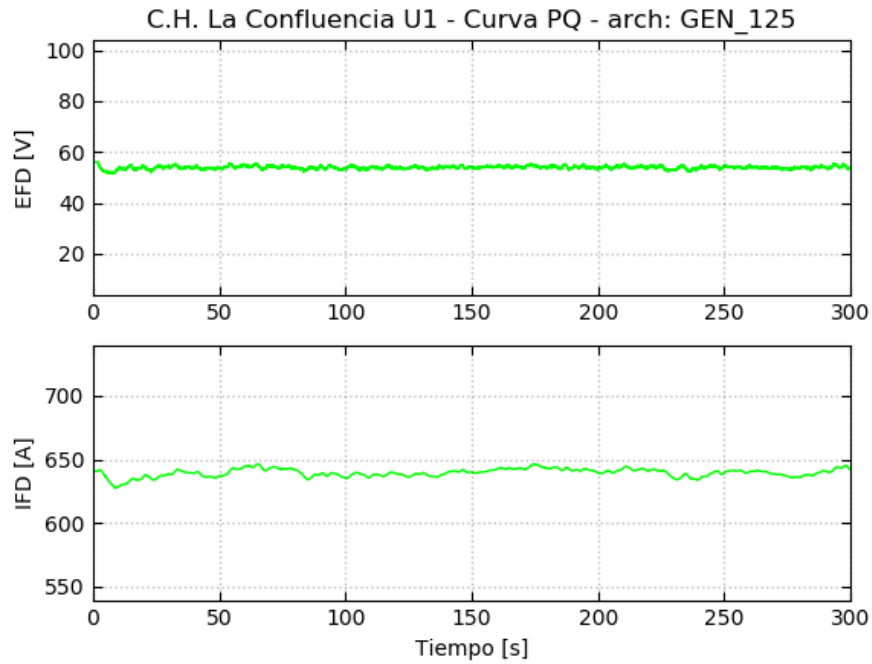


Figura 8.10: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 6. Punto P2\_CT-Q7

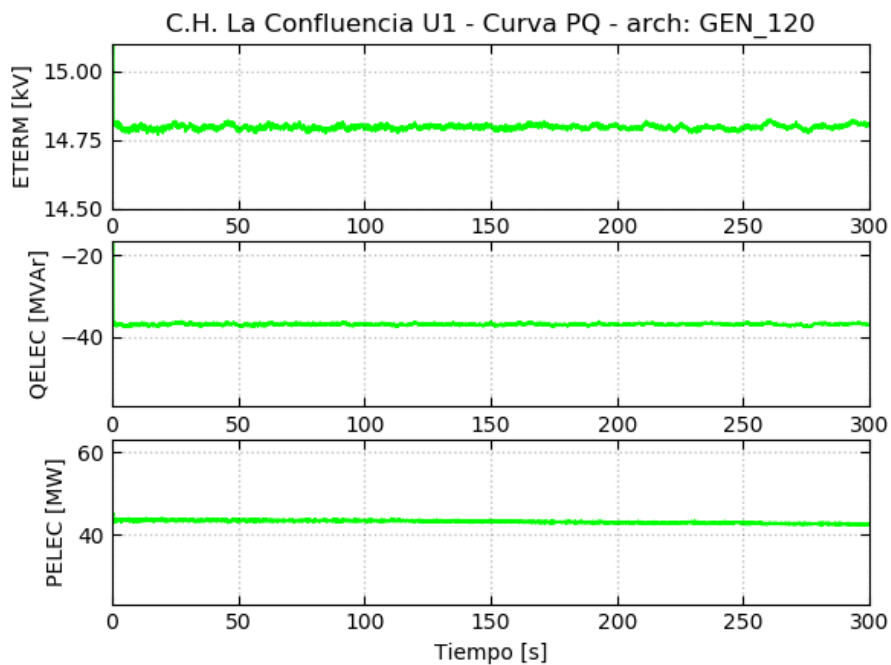


Figura 8.11: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

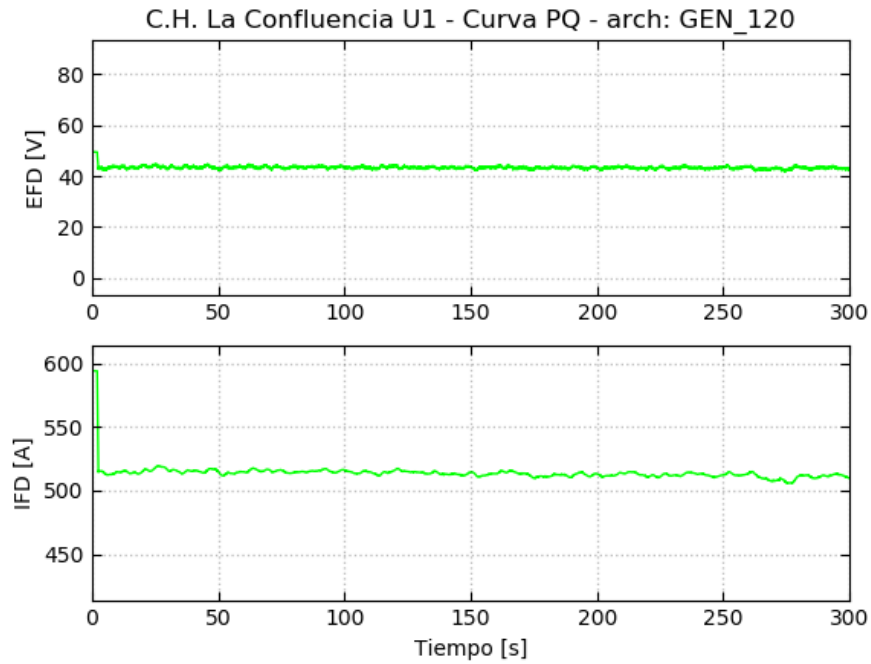


Figura 8.12: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 7. Punto P1\_CT-Q8

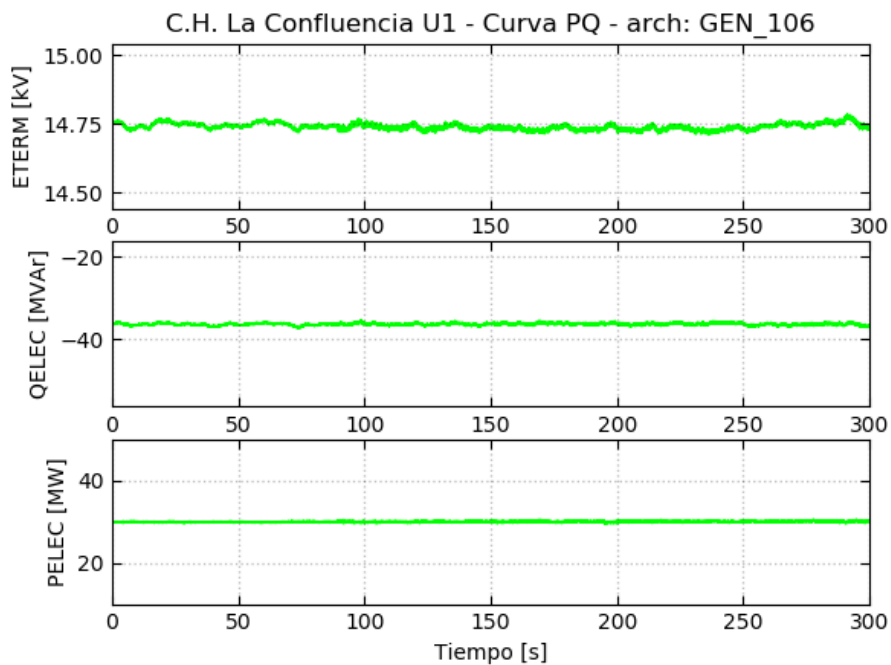


Figura 8.13: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

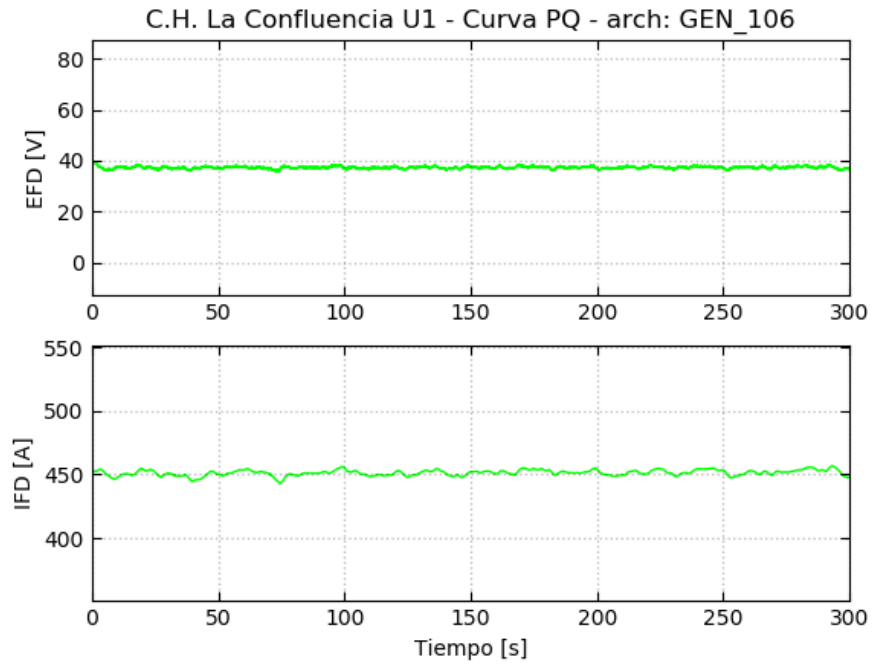


Figura 8.14: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



### 8.1.2 Verificación curva PQ @ 1.00 p.u.

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

#### 1. Punto P1\_CT-Q1

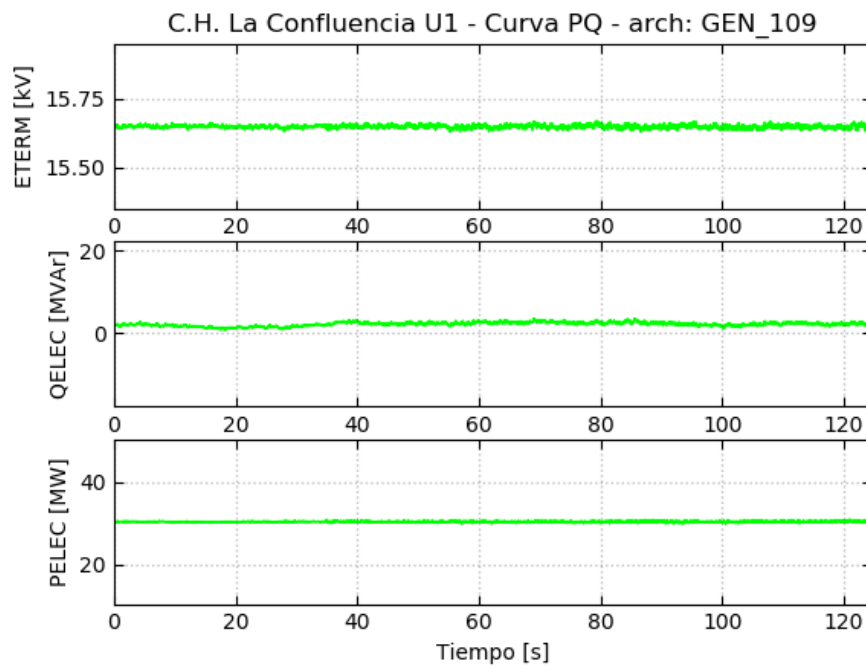


Figura 8.15: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

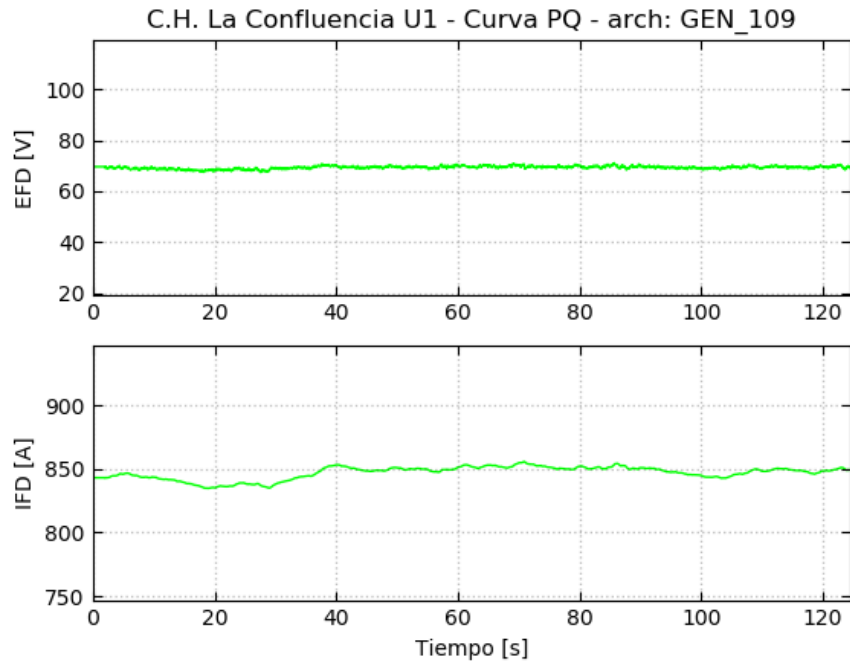


Figura 8.16: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 2. Punto P2\_CT-Q2

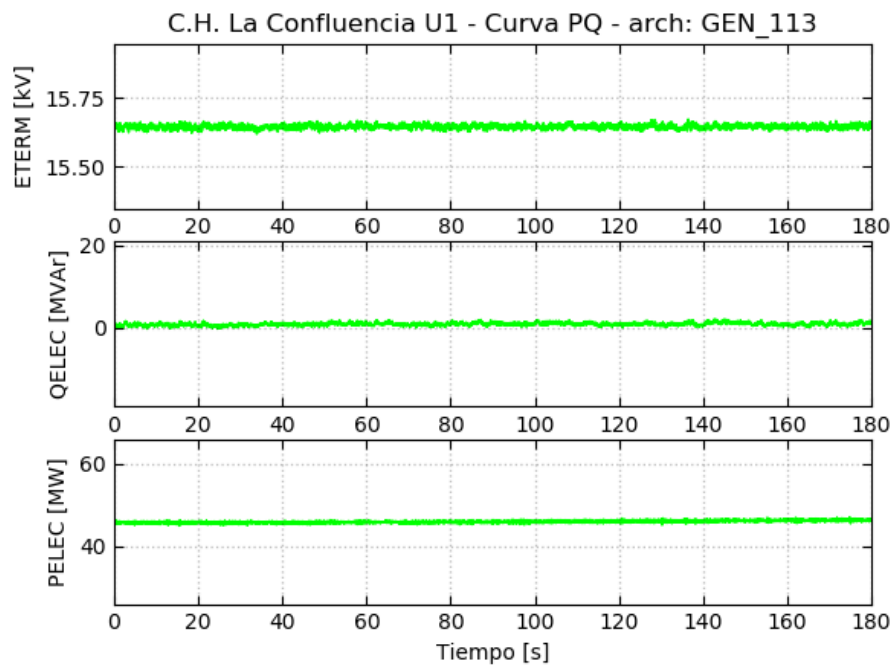


Figura 8.17: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

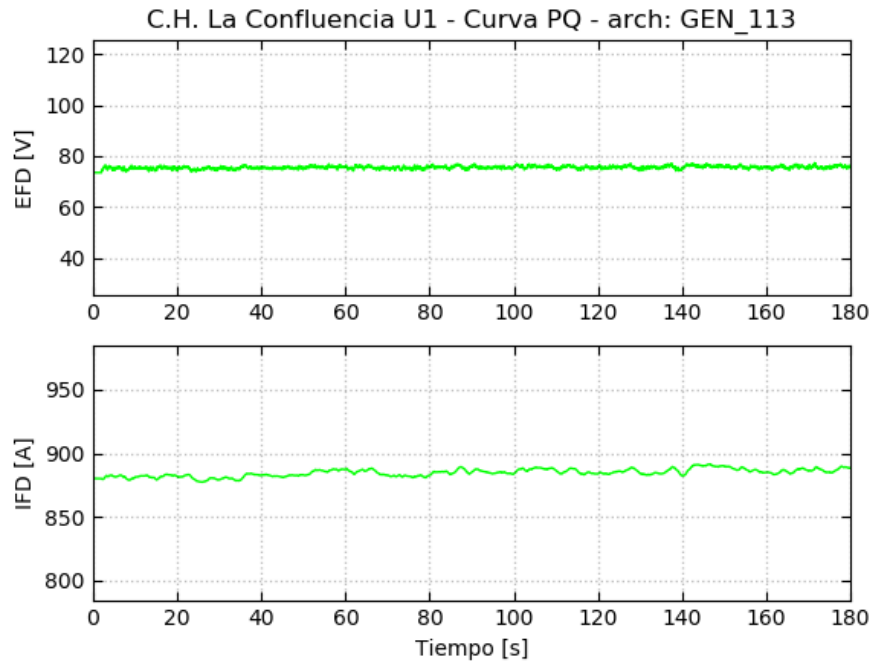


Figura 8.18: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

### 3. Punto P4\_CT-Q3

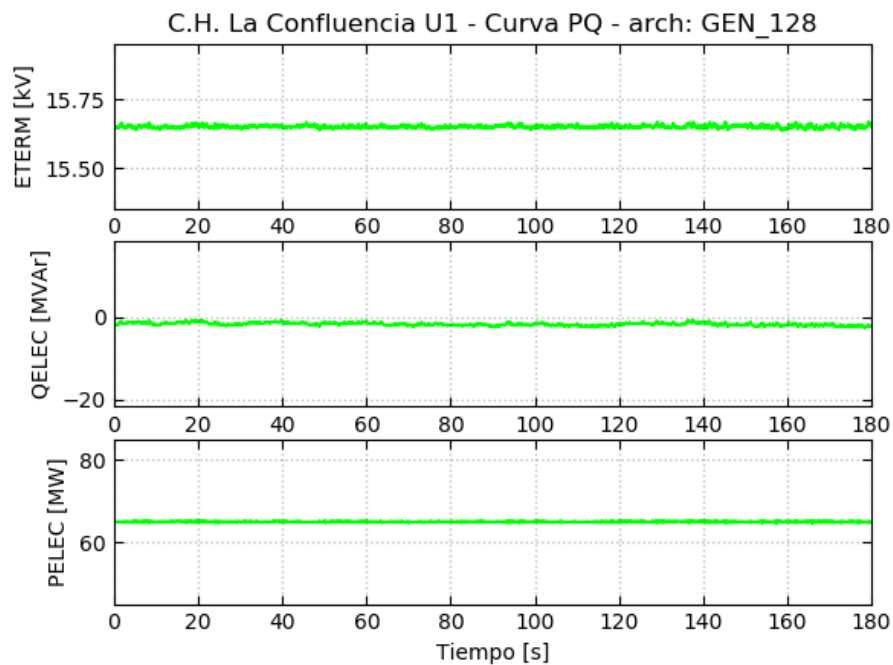


Figura 8.19: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

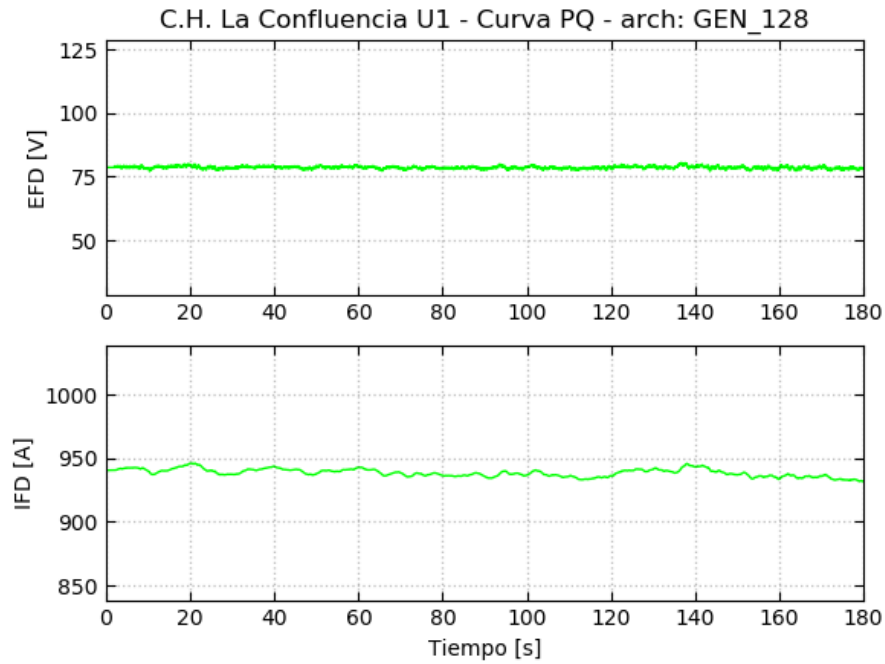


Figura 8.20: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

#### 4. Punto P5\_CT-Q4

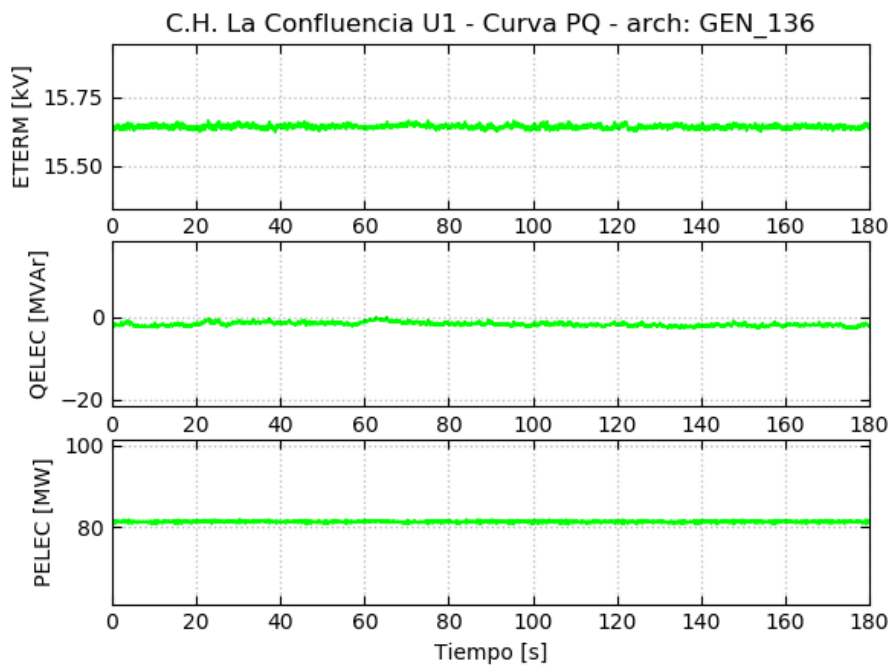


Figura 8.21: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

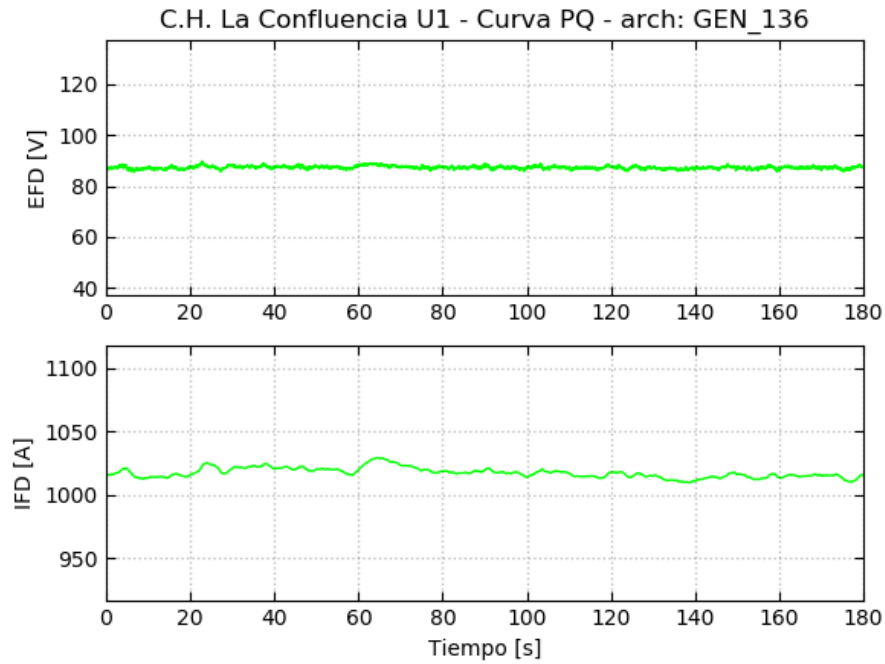


Figura 8.22: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 5. Punto P5\_CT-Q5

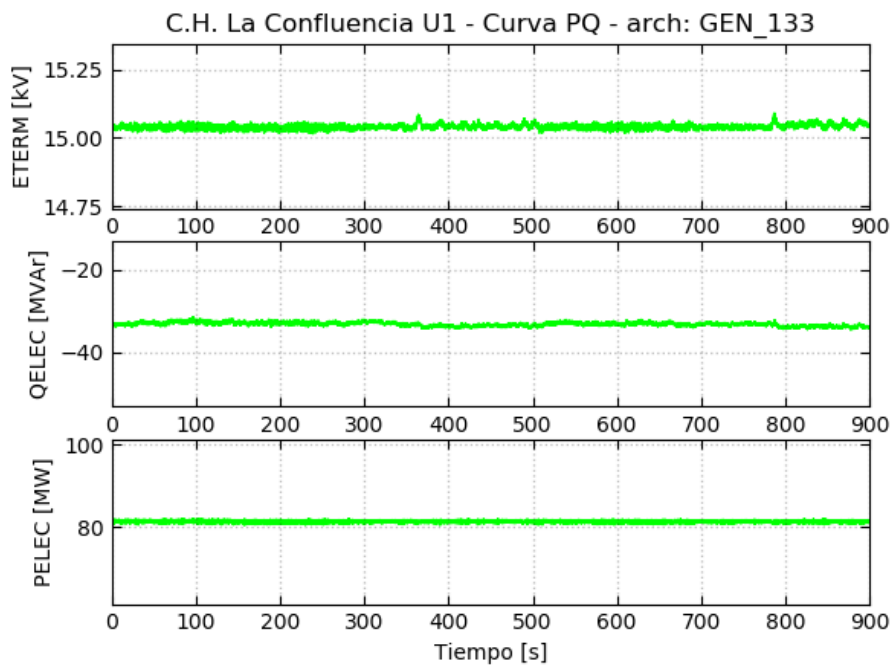


Figura 8.23: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador



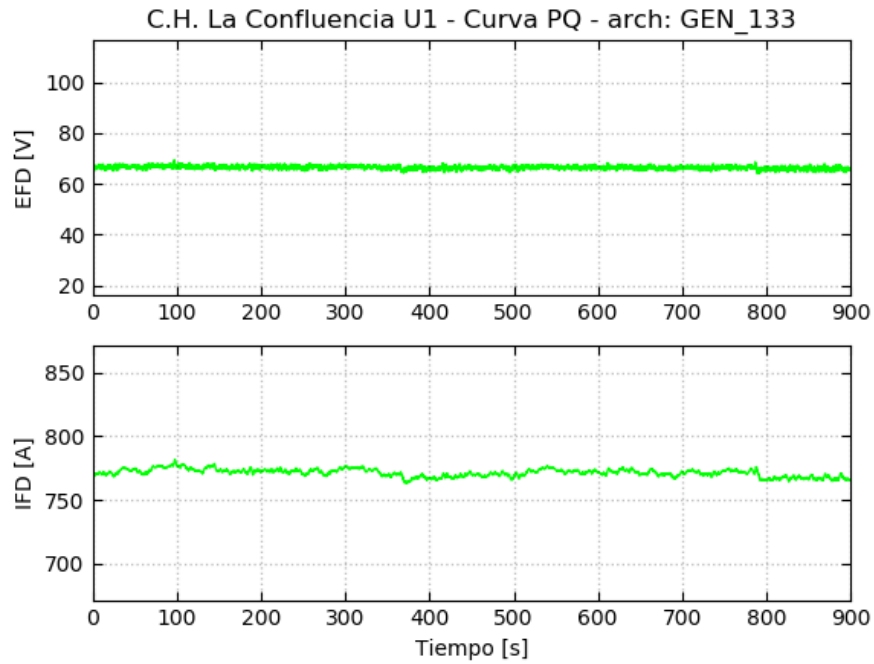


Figura 8.24: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 6. Punto P4\_CT-Q6

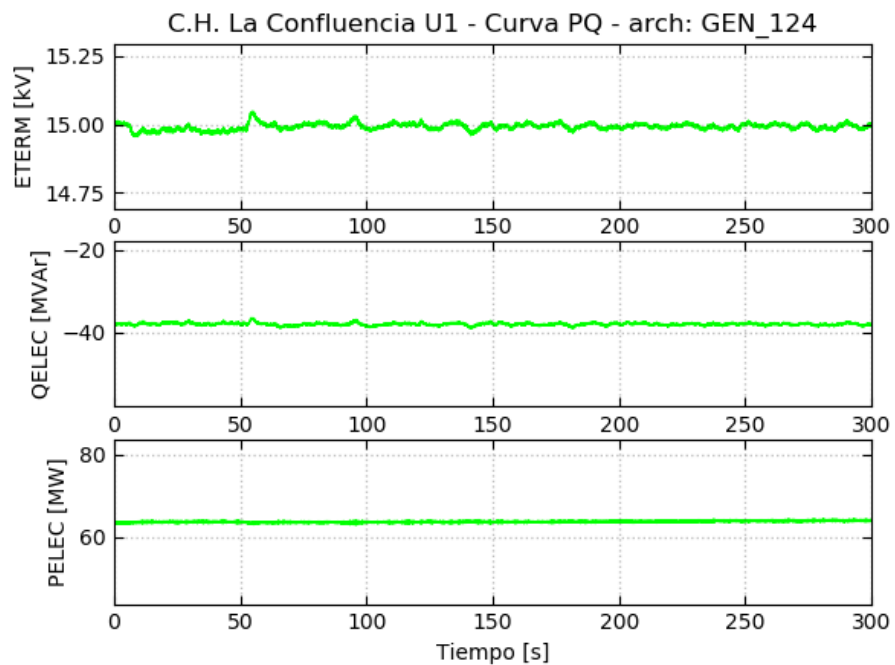


Figura 8.25: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

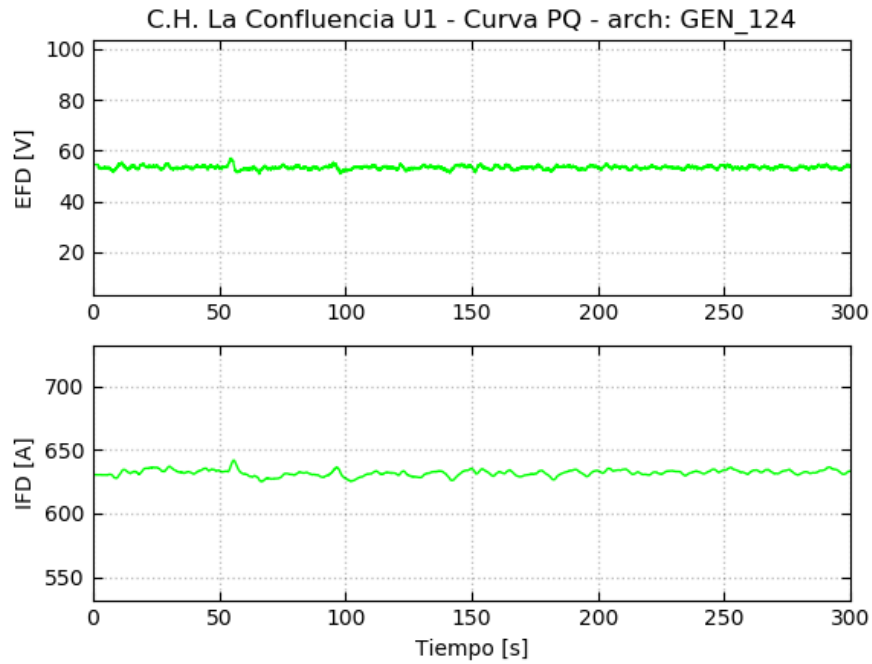


Figura 8.26: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 7. Punto P2\_CT-Q7

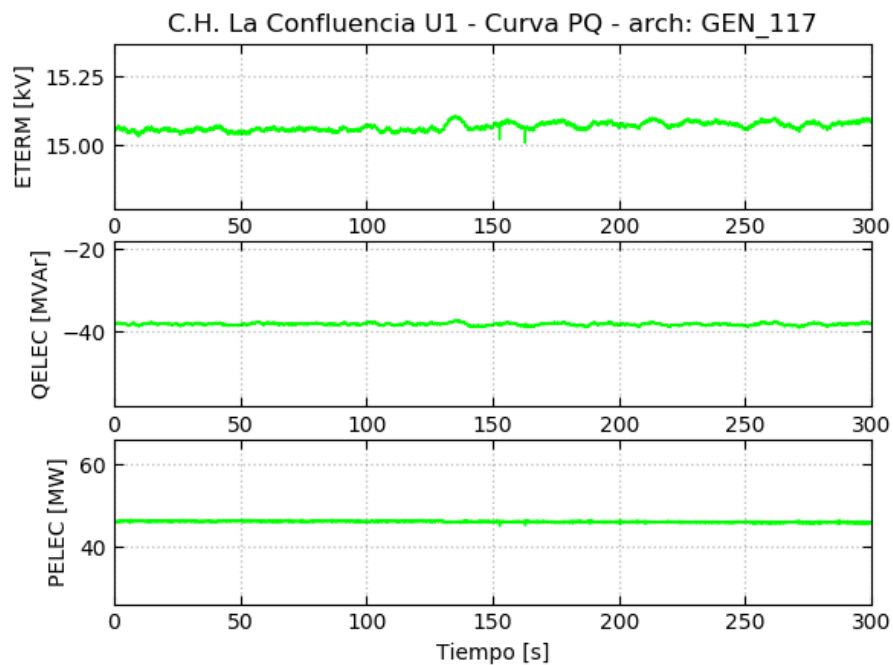


Figura 8.27: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

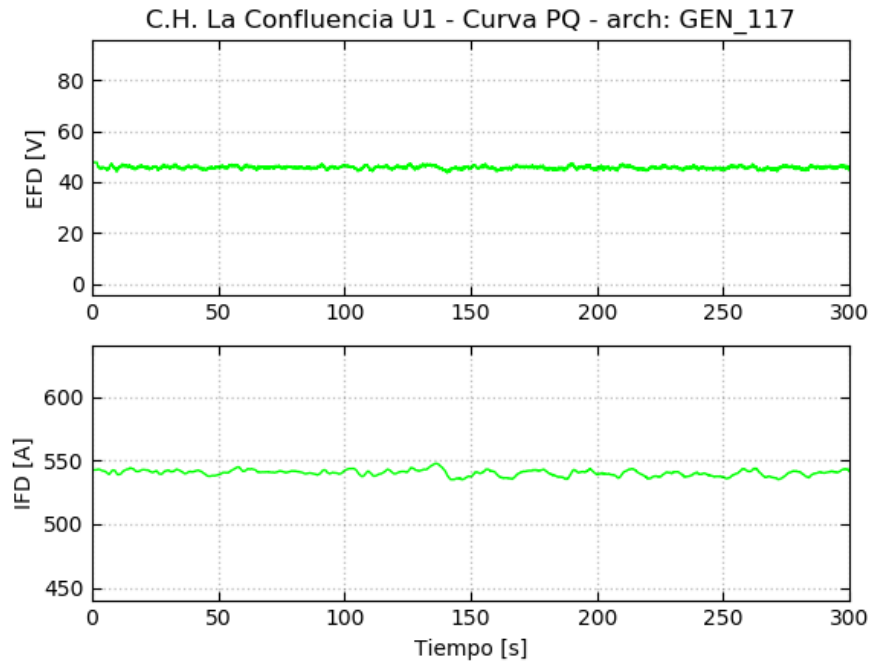


Figura 8.28: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 8. Punto P1\_CT-Q8

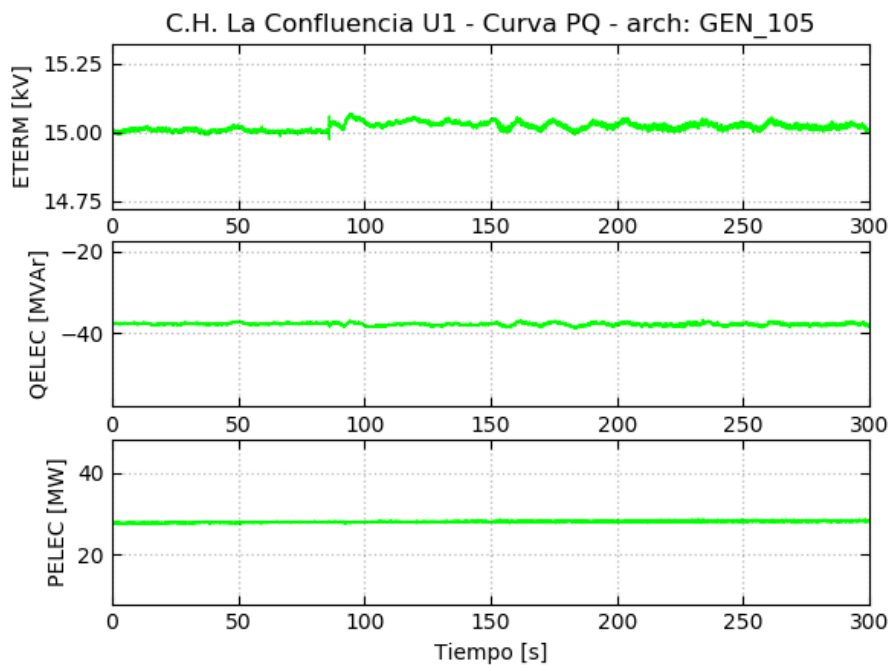


Figura 8.29: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

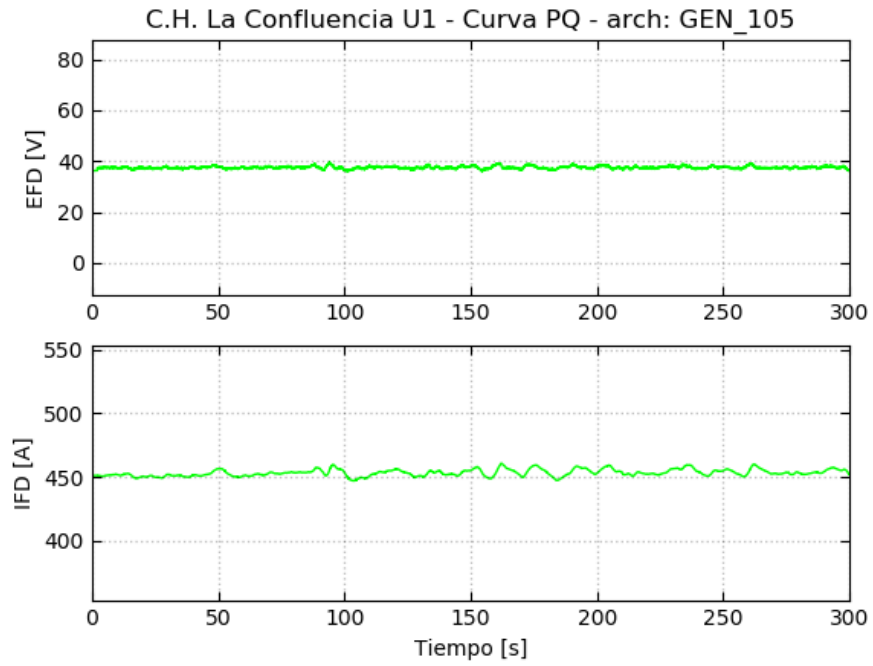


Figura 8.30: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



### 8.1.3 Verificación curva PQ @ 1.05 p.u.

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

#### 1. Punto P1\_CT-Q1

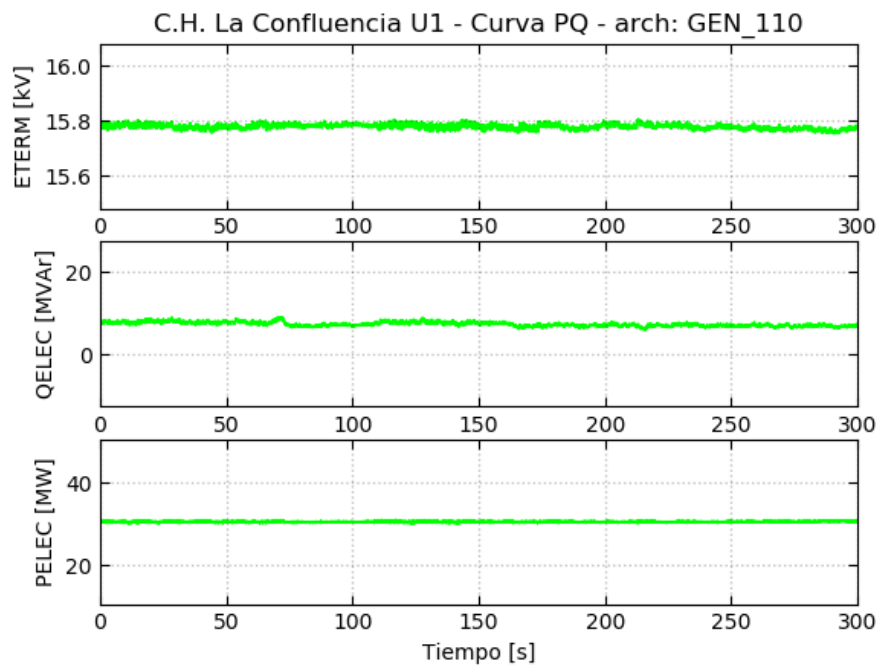


Figura 8.31: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

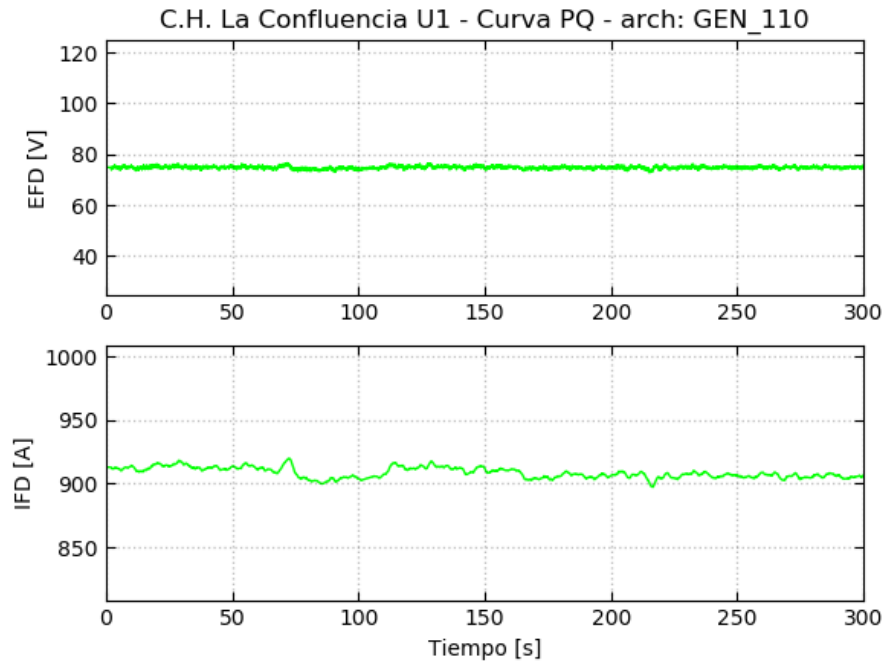


Figura 8.32: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 2. Punto P2\_CT-Q2

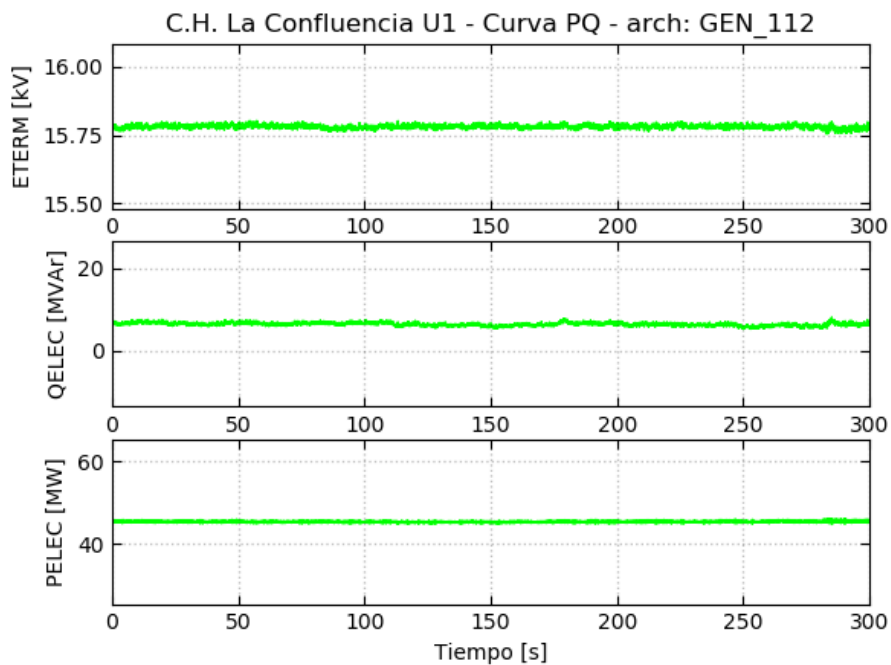


Figura 8.33: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

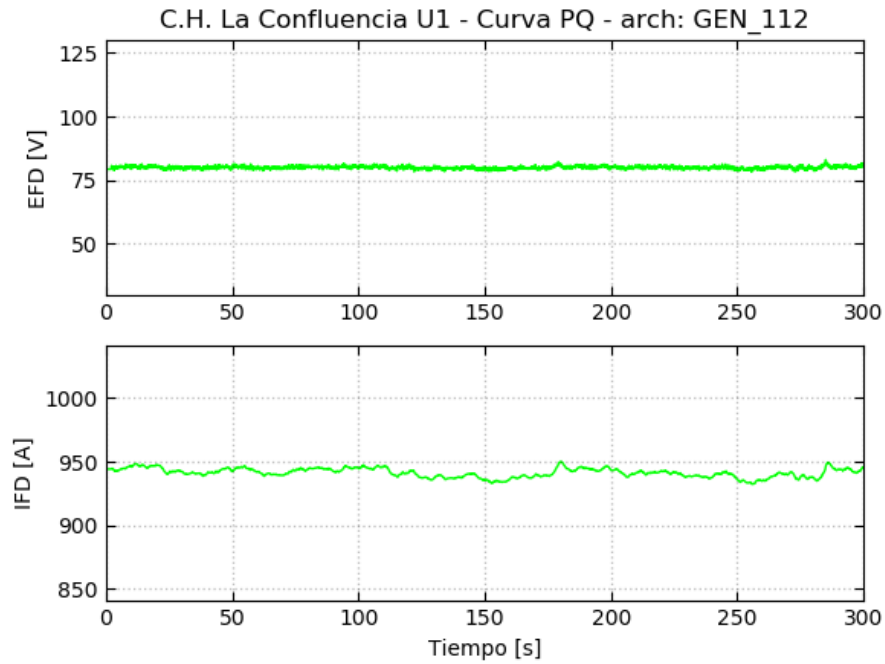


Figura 8.34: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

### 3. Punto P4\_CT-Q3

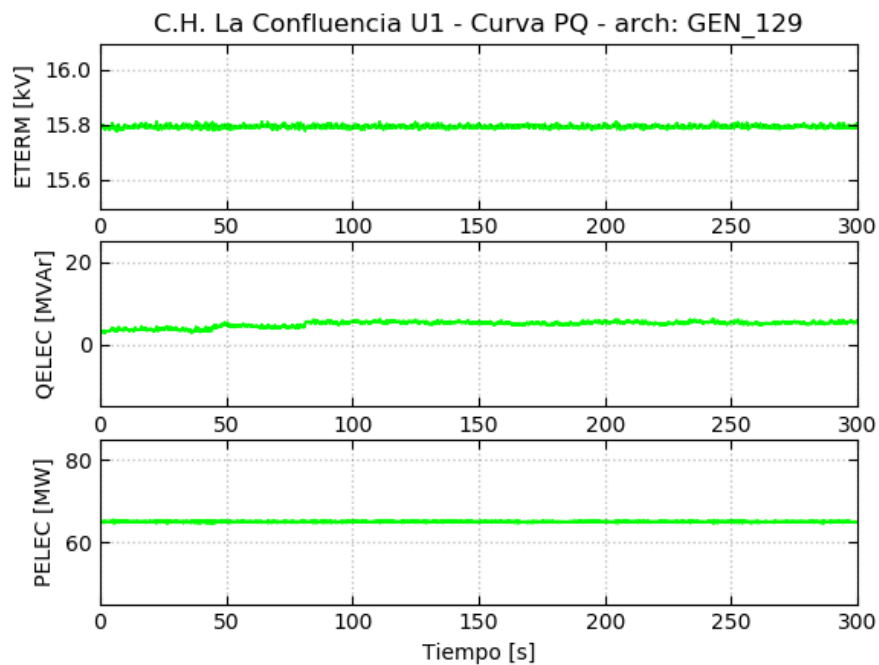


Figura 8.35: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

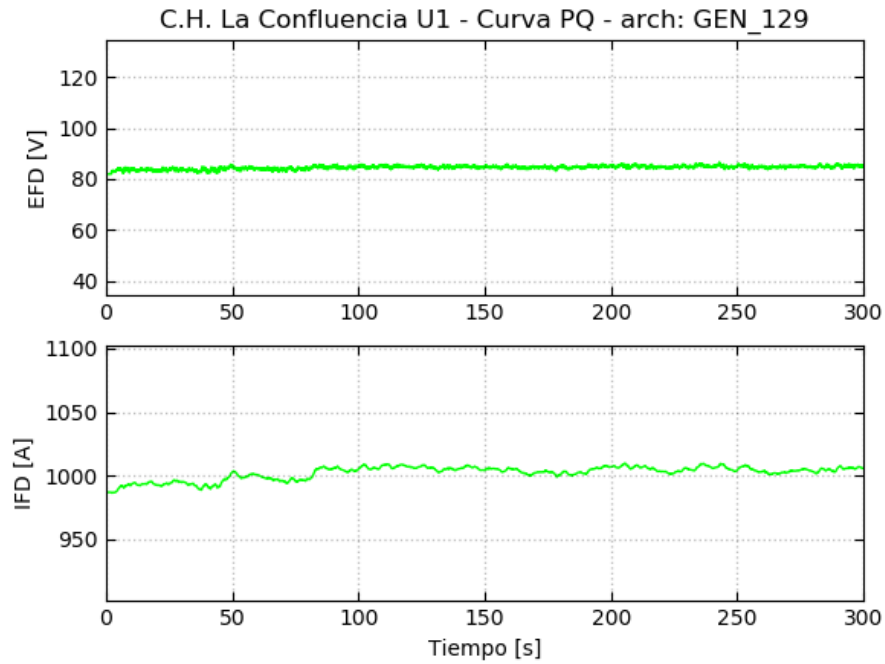


Figura 8.36: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

#### 4. Punto P5\_CT-Q4

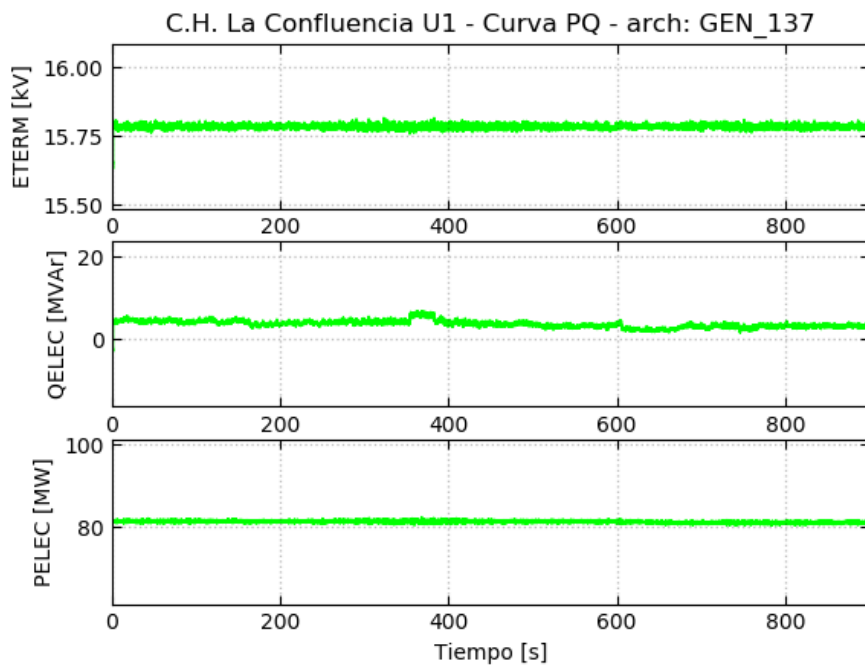


Figura 8.37: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador



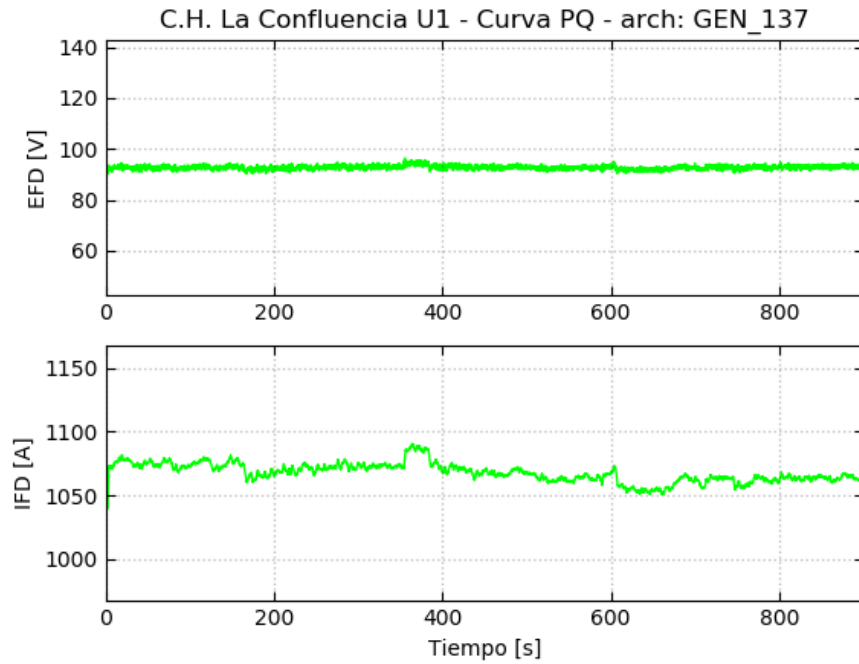


Figura 8.38: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 5. Punto P5\_CT-Q5

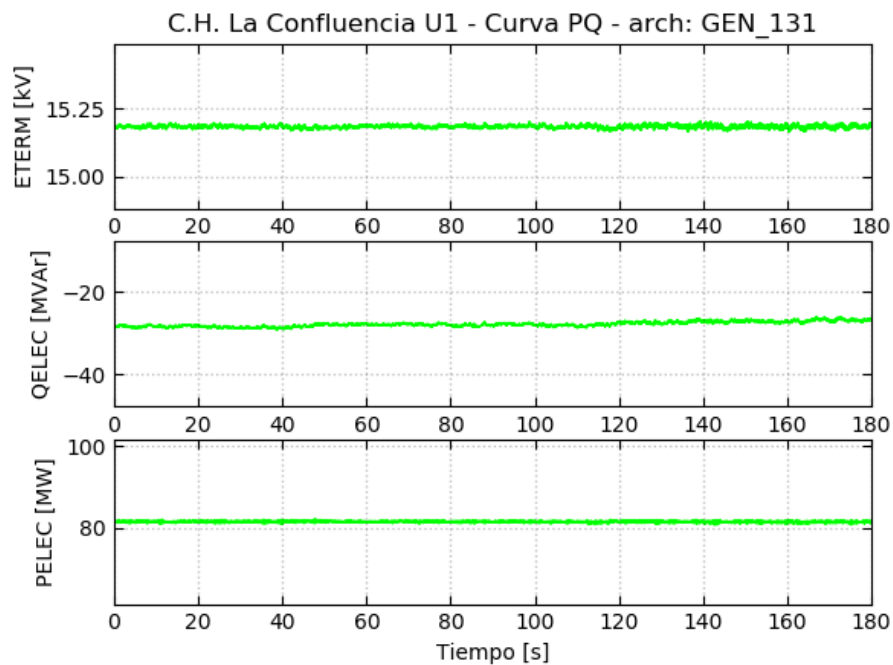


Figura 8.39: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

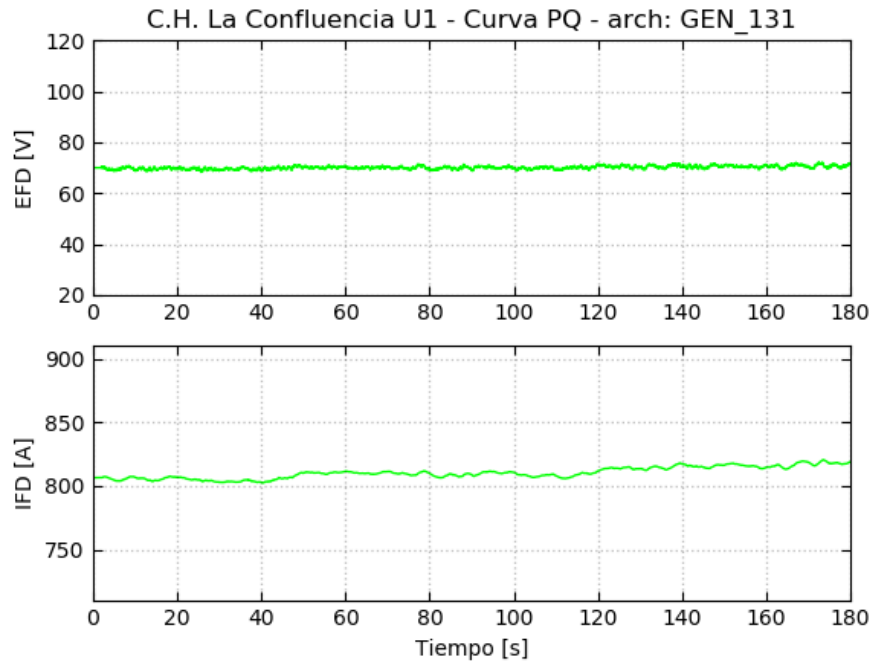


Figura 8.40: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 6. Punto P4\_CT-Q6

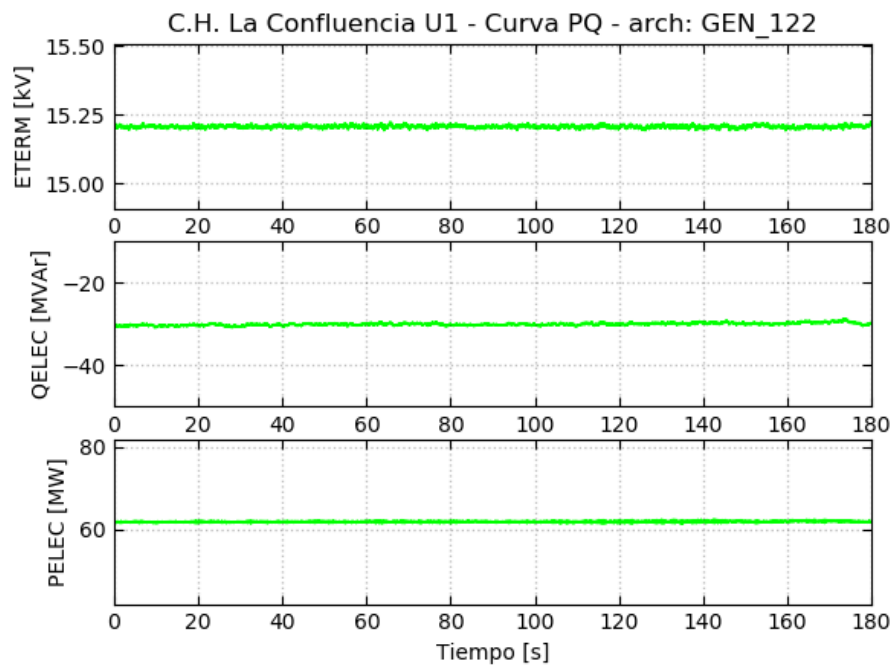


Figura 8.41: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

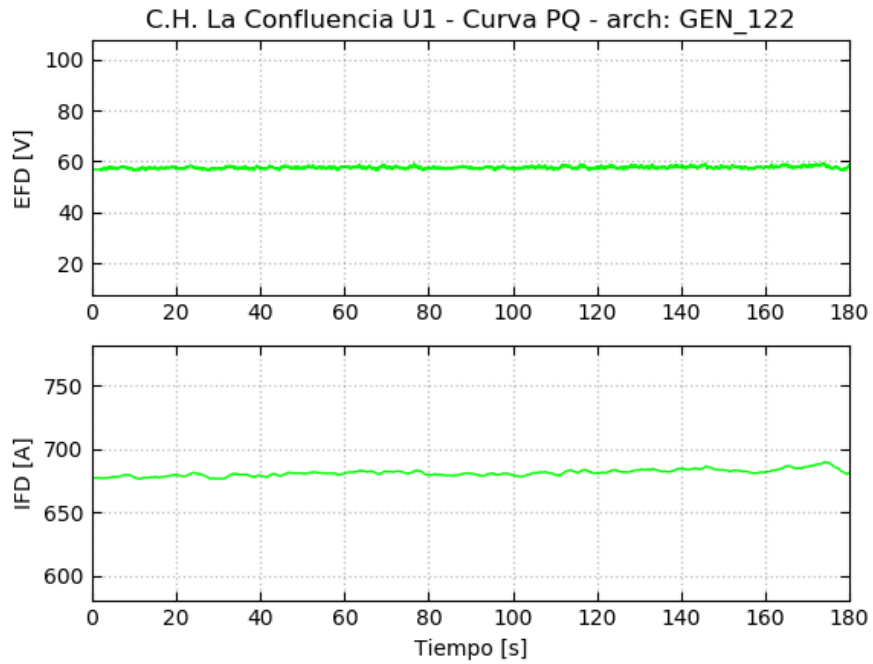


Figura 8.42: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 7. Punto P2\_CT-Q7

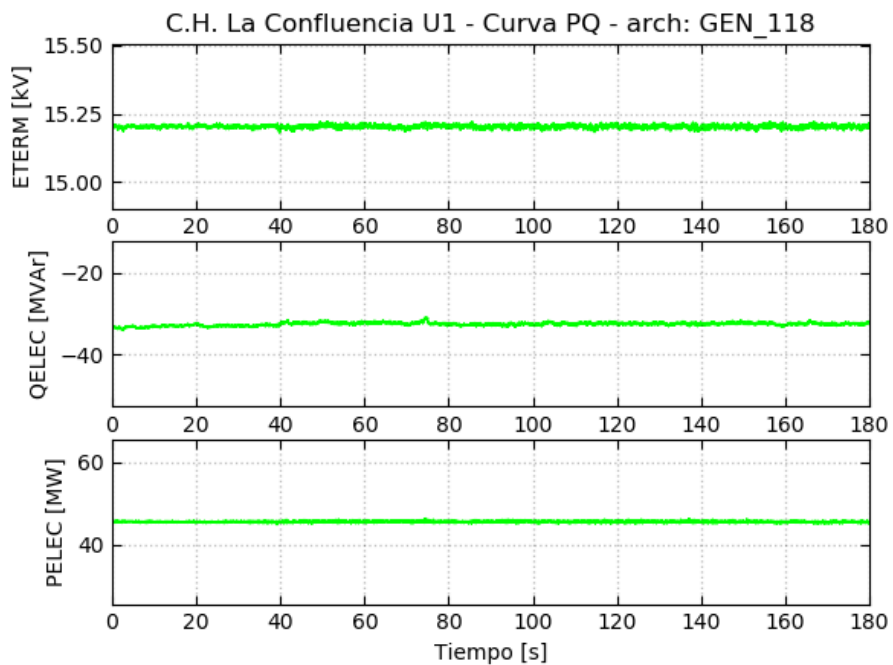


Figura 8.43: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

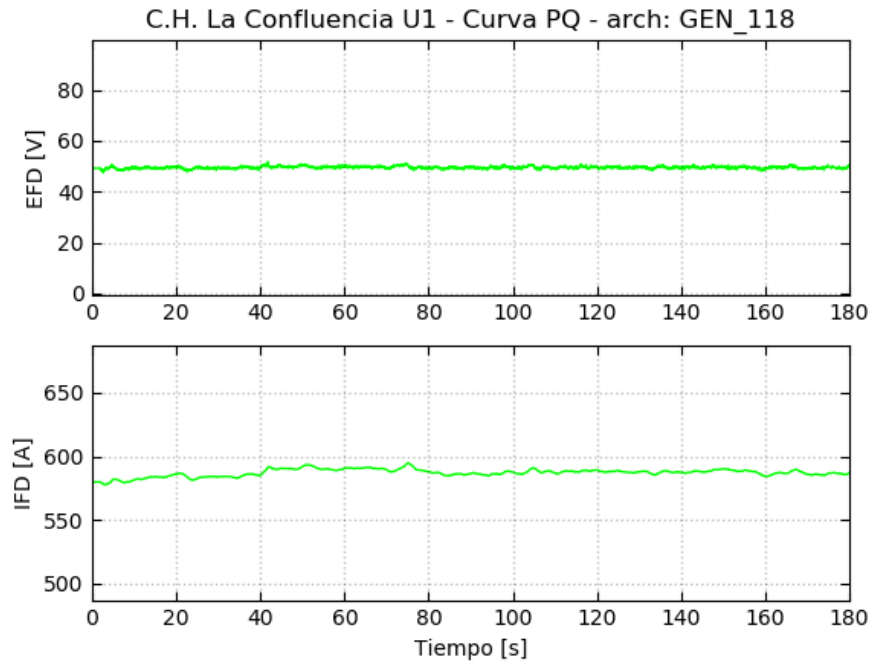


Figura 8.44: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador

## 8. Punto P1\_CT-Q8

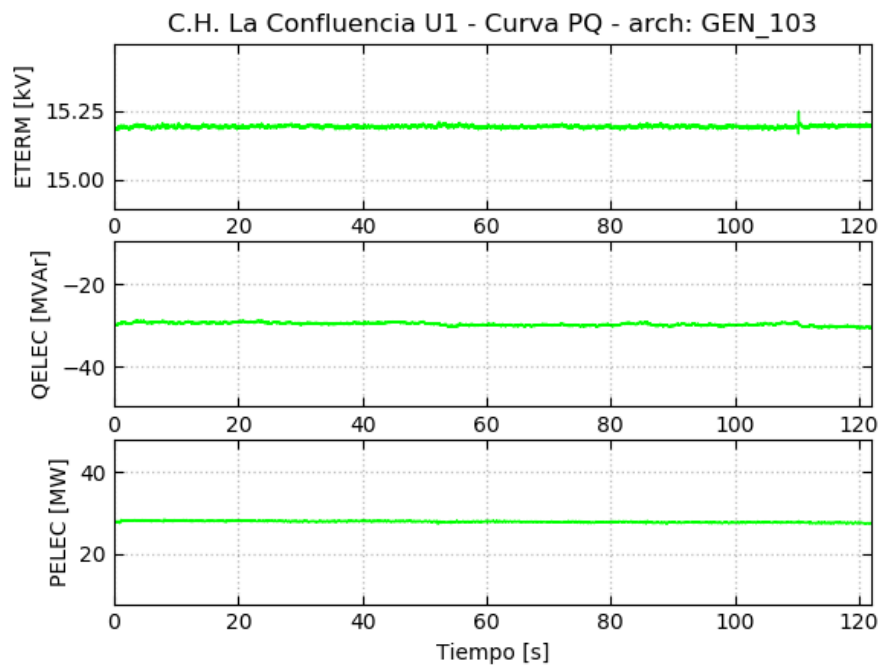


Figura 8.45: Verificación de curva PQ – Señales en terminales del generador

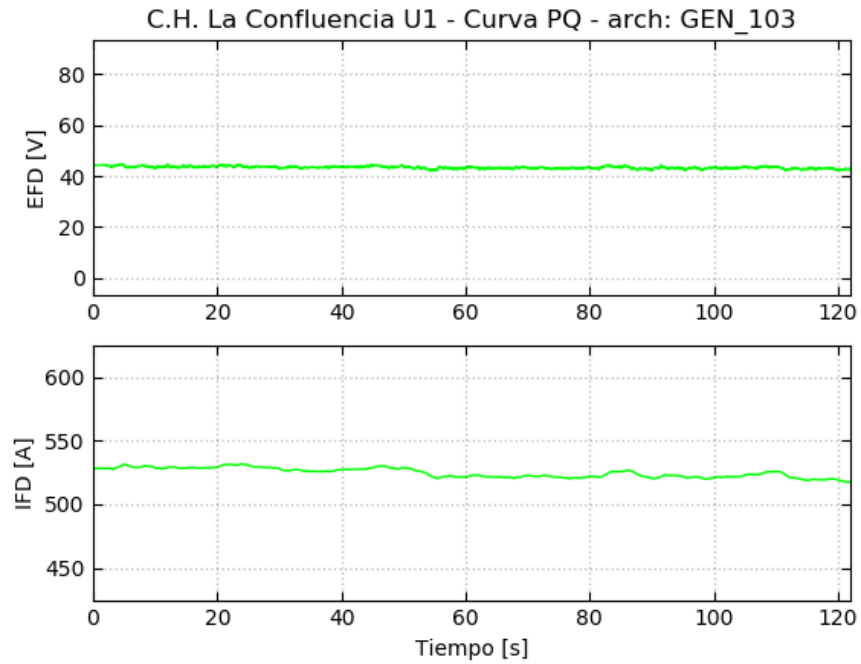


Figura 8.46: Verificación de curva PQ – Señales de campo del generador



## 8.2 Placa del generador

<b>VOITH</b>		Voith Hydro	
<b>GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNADA</b>			
Tipo: 1DH6151-3WE06-Z		Forma constructiva: IM8425 (W41)	
Nr. de fabricación: SP.07.003087.01		Local de fabricación: Fab. Jaraguá - S.P.	
Potencia nominal:	95800 kVA	Temperaturas máximas:	
Tensión nominal:	15000 V	- Devanado del estator:	122 °C
Corriente nominal:	3687 A	- Devanado del rotor:	130 °C
Factor de potencia nominal:	0,85	- Aire de refrigeración:	40 °C
Frecuencia nominal:	50 Hz	- Agua de refrigeración:	25 °C
Velocidad nominal:	500 rpm	Tensión nominal de excitación:	V
Velocidad de embalamiento:	850 rpm	Corriente nominal de excitación:	A
Momento de inercia:	170 tm <sup>2</sup>	Clase de temperatura de la aislación:	
Conexión del devanado del estator:	Y	- Devanado del estator:	F
Nº de fases:	3	- Devanado del rotor:	F
Nº de polos:	12		
ANSI, IEC, VDE			
<b>TURBINA FRANCIS</b>			
Nr. de fabricación: 19570		Año de fabricación: 2010	
Salto nominal:	335,1 m	Salto máximo:	346,0 m
Caudal nominal:	26,25 m <sup>3</sup> /s	Elevación - tubería de distribución:	1091,3 m
Potencia nominal:	81614 kW	Potencia máxima:	82677 kW
Sentido de rotación : Horario - visto desde arriba			
Industria Brasileña		CNPJ 03.400.080/0001-60	

Figura 8.47: Placa del generador





### 8.3 Placa del sistema de excitación

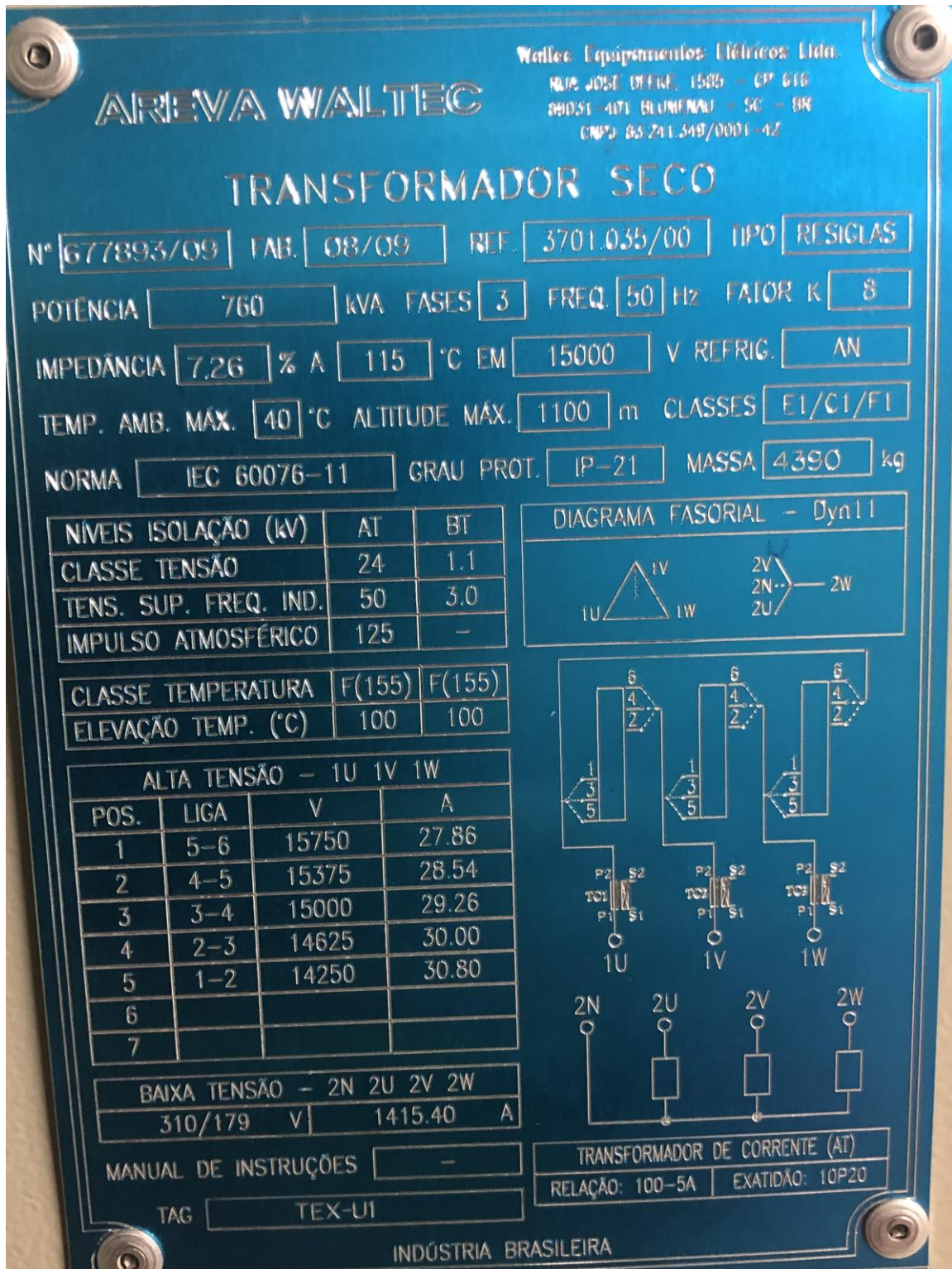


Figura 8.48: Placa del transformador de excitación

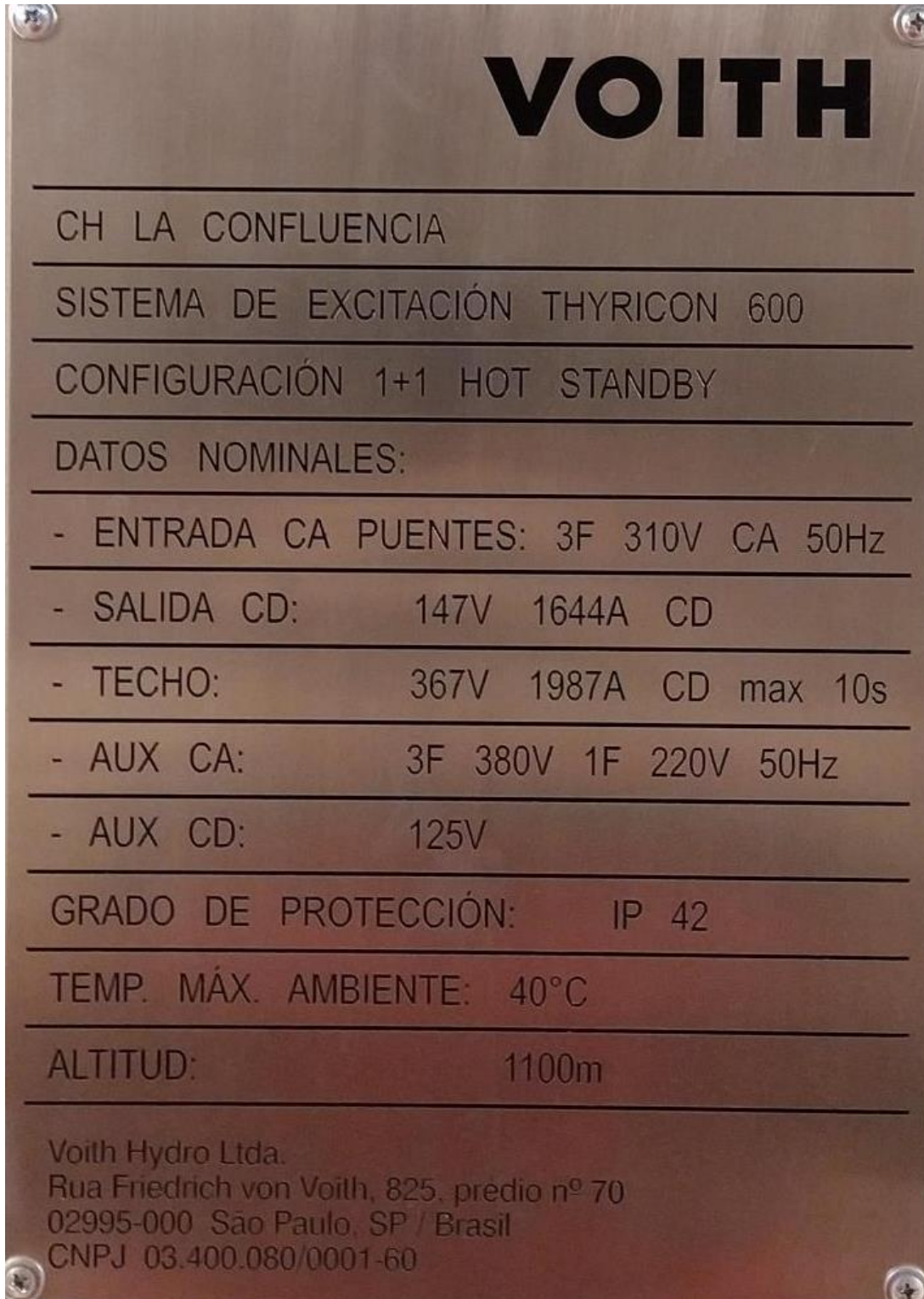


Figura 8.49: Placa del sistema de excitación





## 8.4 Datos característicos de la turbina

3.1 Especificaciones de la máquina	
3.1.1 Datos clave	
Designación	Valor
Código	La Confluencia
Turbina Voith Hydro No.	19570 / 19571
WOS No.	845259 / 845260
Cantidad de máquinas	2
Tipo de máquina	Turbina Francis con eje vertical
Año de construcción	2009
1 / 1	
<p>Author: VHP-hes2-vp/ym/ 4276 Reviewer: VHP-hes2-vp/jg 5619</p> <p>Tabla 3-1 - Datos clave</p>	
3.1.2 Datos de proyecto	
Designación	Valor
Altura neta nominal	335,1 mca
Altura neta maxima	346,0 mca
Altura neta minima	329,3 mca
Caudal	26,25 m <sup>3</sup> /s
Potencia nominal	81,6 MW
Eficiencia nominal	94,9 %
1 / 2	
<p>LOON_TN11_0000_O&amp;M_Operation_Manual_item03.doc Project: La Confluencia</p> <p>13.11.2009</p>	

Figura 8.50: Datos nominales de la turbina



## 8.5 Curva de capacidad del generador

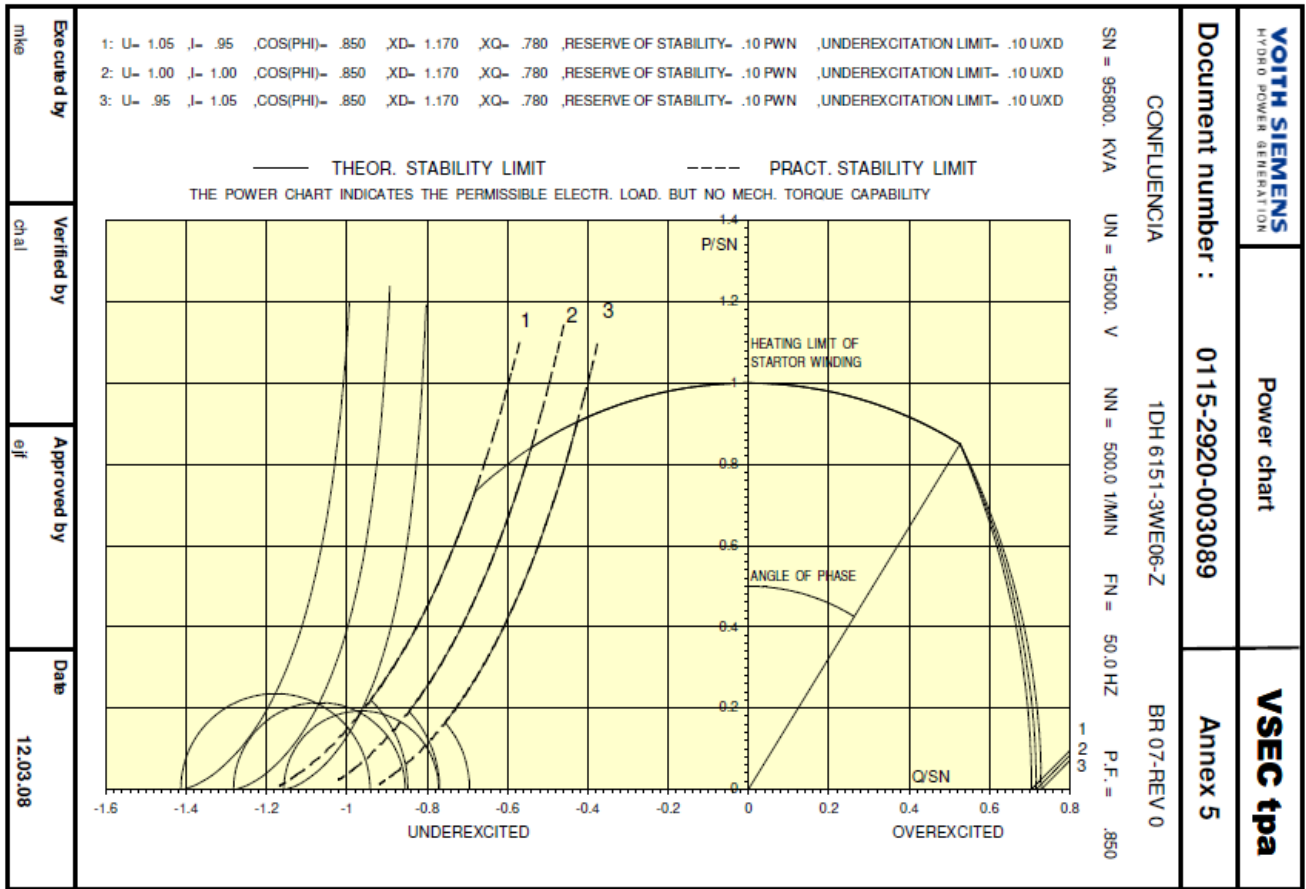


Figura 8.51: Curva PQ del generador según fabricante



## 8.6 Curva de saturación del generador

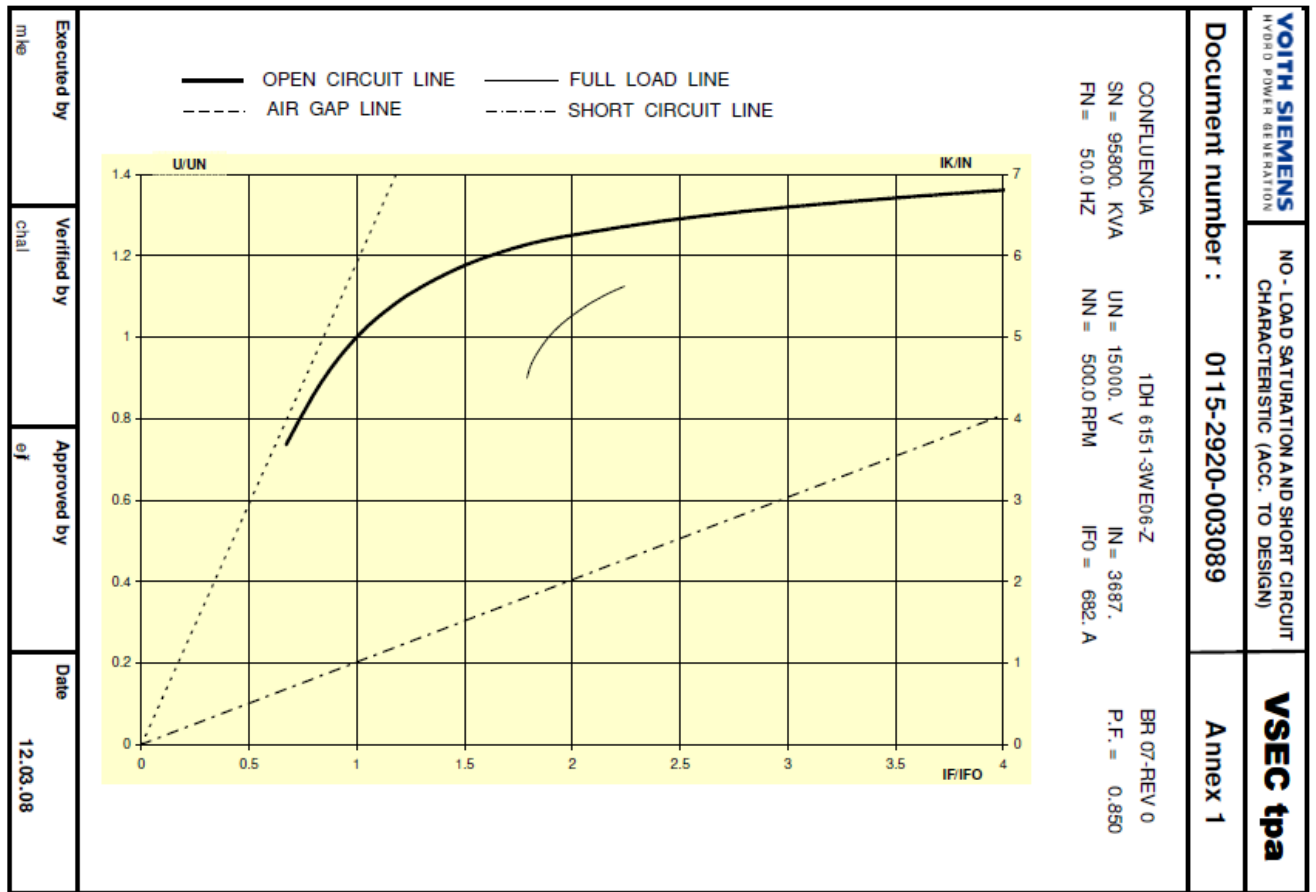


Figura 8.52: Curvas de saturación del generador según fabricante



## 8.7 Máxima y mínima tasa de toma y bajada de carga

+16.0	Curve_YA5	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 5 %
+20.0	Curve_YA6	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 6 %
+24.0	Curve_YA7	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 7 %
+28.0	Curve_YA8	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 8 %
+32.0	Curve_YA9	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 9 %
+36.0	Curve_YA10	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 10 %
+40.0	Curve_YA11	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 11 %
=44.0		END_STRUCT		
+240.0	Opening5	STRUCT		
+0.0	Curve_YA1	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 1 %
+4.0	Curve_YA2	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 2 %
+8.0	Curve_YA3	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 3 %
+12.0	Curve_YA4	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 4 %
+16.0	Curve_YA5	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 5 %
+20.0	Curve_YA6	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 6 %
+24.0	Curve_YA7	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 7 %
+28.0	Curve_YA8	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 8 %
+32.0	Curve_YA9	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 9 %
+36.0	Curve_YA10	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 10 %
+40.0	Curve_YA11	REAL	2.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 11 %
=44.0		END_STRUCT		
=284.0		END_STRUCT		
+1252.0	PowerSetpointRamp	STRUCT		
+0.0	Lower_Range_Val	REAL	2.000000e+002	PowerCtrlSetp.Ramp Min Val %
+4.0	Upper_Range_Val	REAL	2.000000e+002	PowerCtrlSetp.Ramp Max Val %
+8.0	Ramp_Rate_1	REAL	1.000000e+002	PowerCtrlSetp. Ramp Rate %/s
+12.0	Ramp_Rate_2	REAL	0.000000e+000	not used
=16.0		END_STRUCT		
+1268.0	PowerSetpointStartValue	STRUCT		
+0.0	PowerSetpointStartValue	REAL	2.000000e+002	PowerSetp. Startvalue %
=4.0		END_STRUCT		
+1272.0	PowerPIDAdaptBp	STRUCT		
+0.0	Bp_Adapt	REAL	1.000000e+001	Power PID Adapt Par Bp
=4.0		END_STRUCT		

Figura 8.53: Máxima tasa de toma y bajada

+20.0	Curve_YA6	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 6 %
+24.0	Curve_YA7	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 7 %
+28.0	Curve_YA8	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 8 %
+32.0	Curve_YA9	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 9 %
+36.0	Curve_YA10	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 10 %
+40.0	Curve_YA11	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 4 pt 11 %
=44.0		END_STRUCT		
+240.0	Opening5	STRUCT		
+0.0	Curve_YA1	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 1 %
+4.0	Curve_YA2	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 2 %
+8.0	Curve_YA3	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 3 %
+12.0	Curve_YA4	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 4 %
+16.0	Curve_YA5	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 5 %
+20.0	Curve_YA6	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 6 %
+24.0	Curve_YA7	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 7 %
+28.0	Curve_YA8	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 8 %
+32.0	Curve_YA9	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 9 %
+36.0	Curve_YA10	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 10 %
+40.0	Curve_YA11	REAL	-1.000000e+002	Pow.Pilot Open Cu 5 pt 11 %
=44.0		END_STRUCT		
=284.0		END_STRUCT		
+1252.0	PowerSetpointRamp	STRUCT		
+0.0	Lower_Range_Val	REAL	-5.000000e+001	PowerCtrlSetp.Ramp Min Val %
+4.0	Upper_Range_Val	REAL	-5.000000e+001	PowerCtrlSetp.Ramp Max Val %
+8.0	Ramp_Rate_1	REAL	0.000000e+000	PowerCtrlSetp. Ramp Rate %/s
+12.0	Ramp_Rate_2	REAL	0.000000e+000	not used
=16.0		END_STRUCT		
+1268.0	PowerSetpointStartValue	STRUCT		
+0.0	PowerSetpointStartValue	REAL	-1.000000e+002	PowerSetp. Startvalue %
=4.0		END_STRUCT		
+1272.0	PowerPIDAdaptBp	STRUCT		
+0.0	Bp_Adapt	REAL	0.000000e+000	Power PID Adapt Par Bp
=4.0		END_STRUCT		
+1276.0	PowerPIDAdapt_No_Point	STRUCT		

Figura 8.54: Mínima tasa de toma y bajada



## 8.8 Protecciones de generador

PROT_VOLT						
Impedance Protection						
UnderExcitation(PDIS,40)						
LEXPDIS: 1						
Ibase	3687,0		A	0,1	99999,9	
Ubase	15,0		kV	0,1	9999,9	
InvertCTcurr	No					
MeasureMode	PosSeq					
Setting groups						
Operation	On	Off				
OperationZ1	On	On				
XoffsetZ1	-50,00	-10,00	%	-1000,00	1000,00	
Z1diameter	120,00	100,00	%	0,01	3000,00	
tZ1	1,00	0,01	s	0,00	6000,00	
OperationZ2	On	On				
XoffsetZ2	-50,00	-10,00	%	-1000,00	1000,00	
Z2diameter	150,00	200,00	%	0,01	3000,00	
tZ2	3,00	1,00	s	0,00	6000,00	
DirSuperv	Off	Off				
XoffsetDirLine	0,00	0,00	%	-1000,00	3000,00	
DirAngle	-13,0	-13,0	Deg	-180,0	180,0	

Figura 8.55: Protección de pérdida de excitación

Voltage protection						
Overexcitation(PVPH,24)						
OEXPVPH: 1						
MeasuredI	PosSeq					
MeasuredU	PosSeq					
Setting groups						
Operation	On	Off				
Ibase	3687	3000	A	1	99999	
Ubase	15,00	400,00	kV	0,05	2000,00	
V/Hz>>	140,0	140,0	%UB/f	100,0	200,0	
V/Hz>	115,0	110,0	%UB/f	100,0	180,0	
XLeak	0,246	0,000	ohm	0,000	200,000	
TrPulse	0,100	0,100	s	0,000	60,000	
tMin	7,000	7,000	s	0,000	60,000	
tMax	1800,00	1800,00	s	0,00	9000,00	
tCooling	1200,00	1200,00	s	0,10	9000,00	
CurveType	IEEE	IEEE				
kForIEEE	1	1		1	60	
t1Tailor	7200,00	7200,00	s	0,00	9000,00	
t2Tailor	3600,00	3600,00	s	0,00	9000,00	
t3Tailor	1800,00	1800,00	s	0,00	9000,00	
t4Tailor	900,00	900,00	s	0,00	9000,00	
t5Tailor	450,00	450,00	s	0,00	9000,00	
t6Tailor	225,00	225,00	s	0,00	9000,00	
AlarmLevel	100,0	100,0	%	50,0	120,0	
tAlarm	5,00	5,00	s	0,00	9000,00	

Figura 8.56: Protección de sobreflujo



OverVoltage2Step(PTOV,59)						
OV2PTOV: 1						
General						
ConnType	PhN DFT					
Setting groups						
Operation	On	Off				
UBase	15,00	400,00	kV	0,05	2000,00	
Step 1						
Setting groups						
OperationStep1	On	On				
Characterist1	Definite time	Definite time				
OpMode1	1 out of 3	1 out of 3				
U1>	115	120	%UB	1	200	
t1	5,00	5,00	s	0,00	6000,00	
tReset1	0,025	0,025	s	0,000	60,000	
t1Min	5,000	5,000	s	0,000	60,000	
ResetTypeCrv1	Instantaneous	Instantaneous				
tlReset1	0,025	0,025	s	0,000	60,000	
k1	0,05	0,05		0,05	1,10	
ACrv1	1,000	1,000		0,005	200,000	
BCrv1	1,00	1,00		0,50	100,00	
CCrv1	0,0	0,0		0,0	1,0	
DCrv1	0,000	0,000		0,000	60,000	
PCrv1	1,000	1,000		0,000	3,000	
CrvSat1	0	0	%	0	100	
HystAbs1	0,5	0,5	%UB	0,0	100,0	
Step 2						
Setting groups						
OperationStep2	On	On				
Characterist2	Definite time	Definite time				
OpMode2	1 out of 3	1 out of 3				
U2>	130	150	%UB	1	200	
t2	1,000	5,000	s	0,000	60,000	
tReset2	0,025	0,025	s	0,000	60,000	
t2Min	5,000	5,000	s	0,000	60,000	
ResetTypeCrv2	Instantaneous	Instantaneous				
tlReset2	0,025	0,025	s	0,000	60,000	
k2	0,05	0,05		0,05	1,10	
ACrv2	1,000	1,000		0,005	200,000	
BCrv2	1,00	1,00		0,50	100,00	
CCrv2	0,0	0,0		0,0	1,0	
DCrv2	0,000	0,000		0,000	60,000	
PCrv2	1,000	1,000		0,000	3,000	
CrvSat2	0	0	%	0	100	
HystAbs2	0,5	0,5	%UB	0,0	100,0	

Figura 8.57: Protección de sobretensión



OverFrequency(PTOF,81)					
SAPTOF: 1					
Setting Group1					
Operation	On				
UBase	15.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	51.01	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
Setting Group2					
Operation	Off				
UBase	400.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	51.20	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
SAPTOF: 2					
Setting Group1					
Operation	On				
UBase	15.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	51.51	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
Setting Group2					
Operation	Off				
UBase	400.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	51.20	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
SAPTOF: 3					
Setting Group1					
Operation	On				
UBase	15.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	52.01	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	15.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
Setting Group2					
Operation	Off				
UBase	400.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	51.20	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	

Figura 8.58: Protección de sobrefrecuencia



UnderFrequency(PTUF,81)					
SAPTUF: 1					
Setting Group1					
Operation	On				
UBase	15.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	49.00	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyRestore	0.000	s	0.000	60.000	
RestoreFreq	50.10	Hz	45.00	65.00	
TimerOperation	Definite timer				
UNom	100	%UB	50	150	
UMin	90	%UB	50	150	
Exponent	1.0		0.0	5.0	
tMax	1.000	s	0.010	60.000	
tMin	1.000	s	0.010	60.000	
Setting Group2					
Operation	Off				
UBase	400.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	48.80	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.200	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyRestore	0.000	s	0.000	60.000	
RestoreFreq	50.10	Hz	45.00	65.00	
TimerOperation	Definite timer				
UNom	100	%UB	50	150	
UMin	90	%UB	50	150	
Exponent	1.0		0.0	5.0	
tMax	1.000	s	0.010	60.000	
tMin	1.000	s	0.010	60.000	
SAPTUF: 2					
Setting Group1					
Operation	On				
UBase	15.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	48.00	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyRestore	0.000	s	0.000	60.000	
RestoreFreq	50.10	Hz	45.00	65.00	
TimerOperation	Definite timer				
UNom	100	%UB	50	150	
UMin	90	%UB	50	150	
Exponent	1.0		0.0	5.0	
tMax	1.000	s	0.010	60.000	
tMin	1.000	s	0.010	60.000	
Setting Group2					

Figura 8.59: Protección de subfrecuencia (1 de 2)





Operation	Off				
UBase	400.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	48.80	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.200	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyRestore	0.000	s	0.000	60.000	
RestoreFreq	50.10	Hz	45.00	65.00	
TimerOperation	Definite timer				
UNom	100	%UB	50	150	
UMin	90	%UB	50	150	
Exponent	1.0		0.0	5.0	
tMax	1.000	s	0.010	60.000	
tMin	1.000	s	0.010	60.000	
SAPTUF: 3					
Setting Group1					
Operation	On				
UBase	15.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	47.50	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	60	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	5.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyRestore	0.000	s	0.000	60.000	
RestoreFreq	50.10	Hz	45.00	65.00	
TimerOperation	Definite timer				
UNom	100	%UB	50	150	
UMin	90	%UB	50	150	
Exponent	1.0		0.0	5.0	
tMax	1.000	s	0.010	60.000	
tMin	1.000	s	0.010	60.000	
Setting Group2					
Operation	Off				
UBase	400.00	kV	0.05	2000.00	
StartFrequency	48.80	Hz	35.00	75.00	
IntBlockLevel	50	%UB	0	100	
TimeDlyOperate	0.200	s	0.000	60.000	
TimeDlyReset	0.000	s	0.000	60.000	
TimeDlyRestore	0.000	s	0.000	60.000	
RestoreFreq	50.10	Hz	45.00	65.00	
TimerOperation	Definite timer				
UNom	100	%UB	50	150	
UMin	90	%UB	50	150	
Exponent	1.0		0.0	5.0	
tMax	1.000	s	0.010	60.000	
tMin	1.000	s	0.010	60.000	

Figura 8.60: Protección de subfrecuencia (2 de 2)



### 8.9 Diagrama de bloques del regulador de tensión

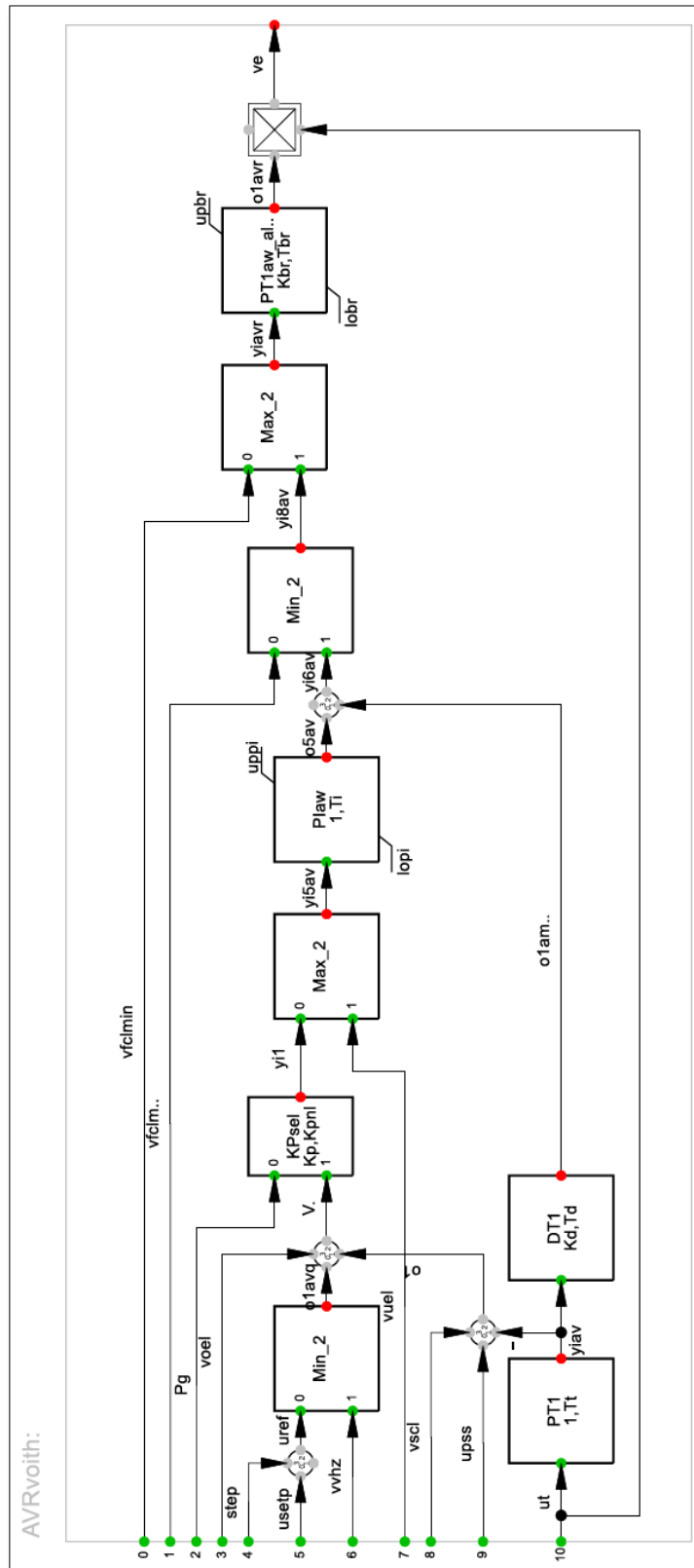


Figura 8.61: Diagrama de bloques AVR

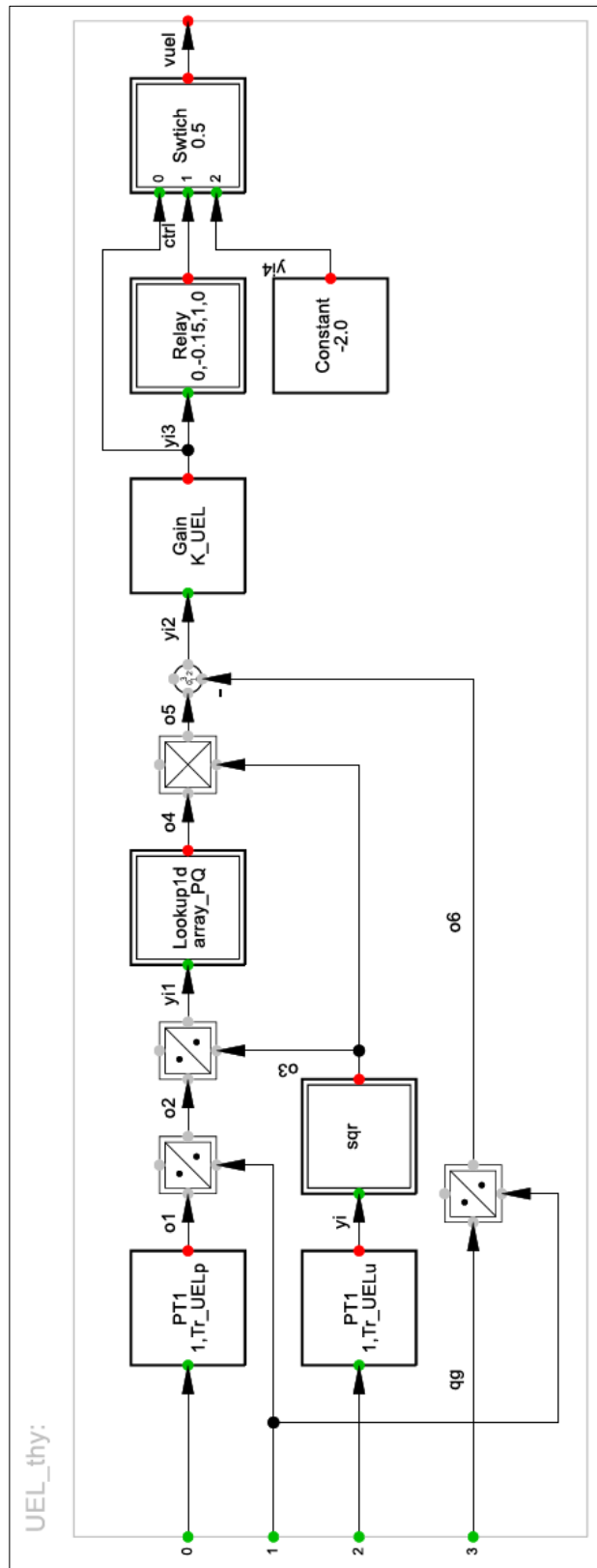


Figura 8.62: Diagrama de bloques limitador UEL

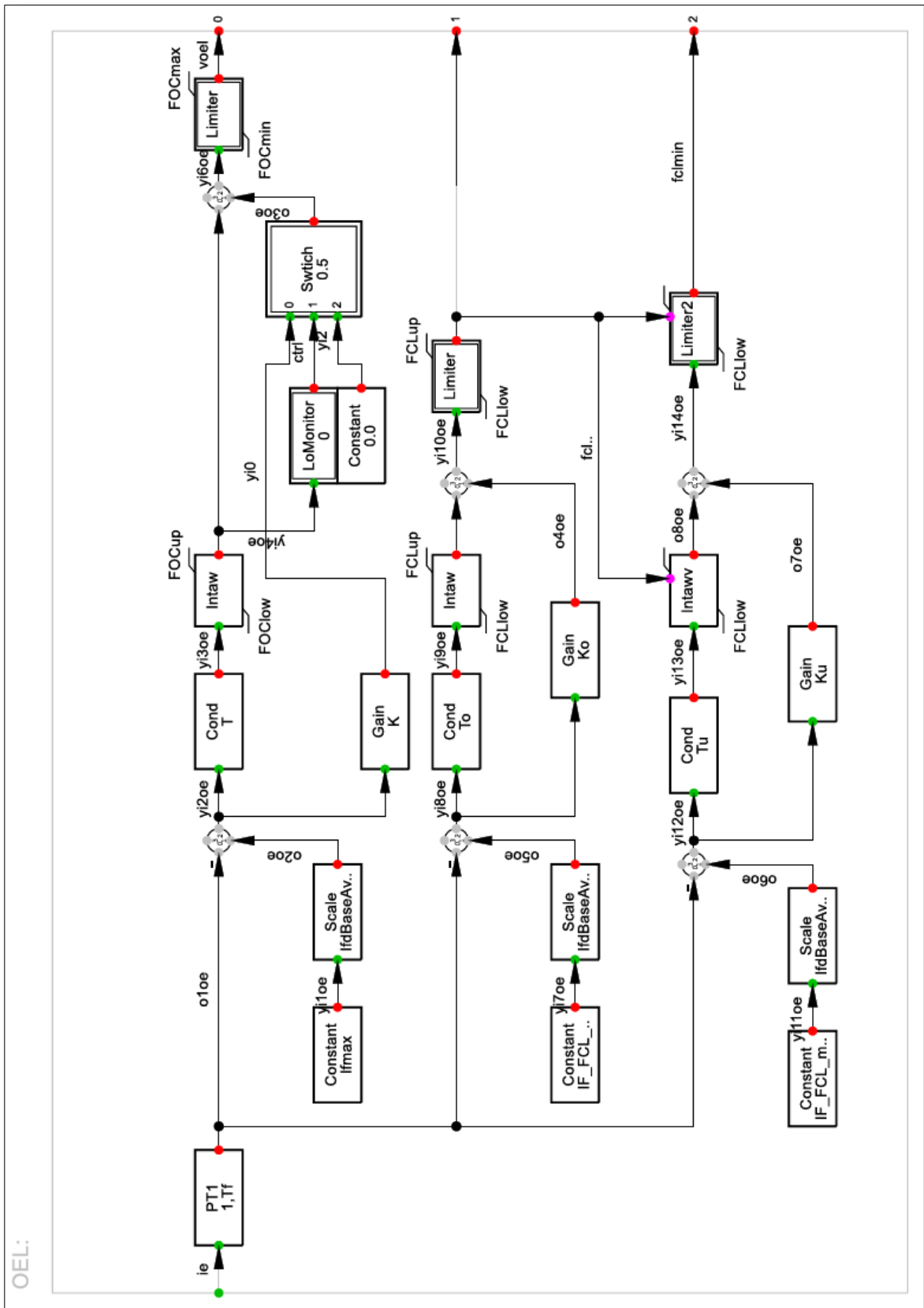


Figura 8.63: Diagrama de bloques limitador OEL/MEL

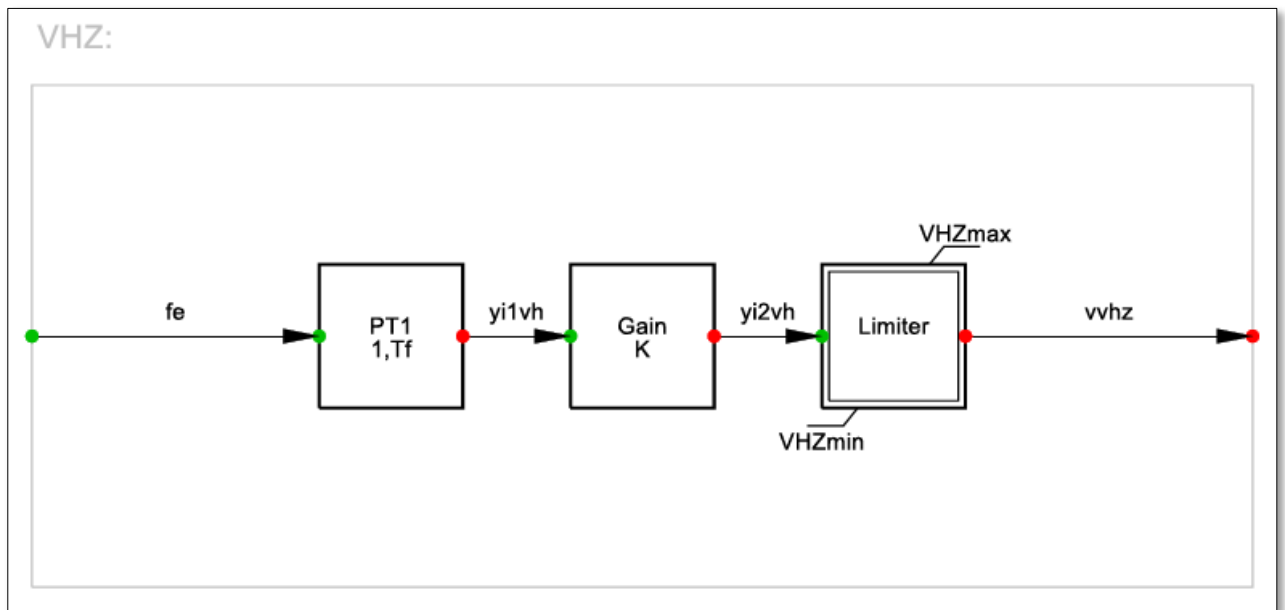


Figura 8.64: Diagrama de bloques limitador V/Hz

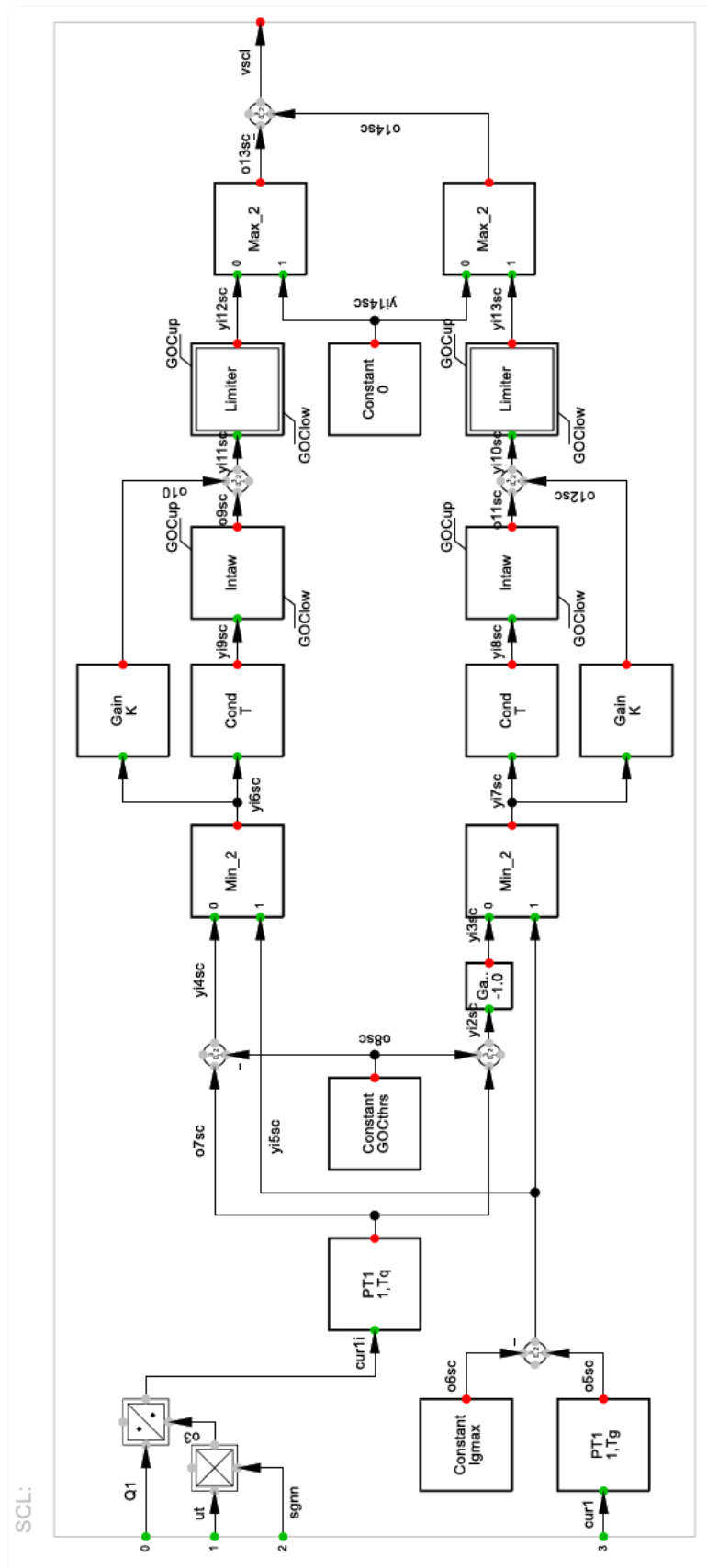


Figura 8.65: Diagrama de bloques limitador SCL



## 8.10 Criterio de ajuste de limitadores según el fabricante

### 6.2.4 V/Hz - Limitador Voltio / Hertz

El limitador Volts/Hertz es usado para evitar sobrecalentamiento de la máquina síncrona y de los transformadores conectados a ella debido al exceso de flujo magnético causado por operación en subtensión, subfrecuencia o ambos. Esto es hecho a través de la reducción de la máxima referencia de tensión del generador. En la frecuencia nominal, el limitador V/Hz no tiene efecto.

Figura 8.66: Limitador V/Hz

### 6.2.2 FOC - Limitador de sobrecorriente de campo

El limitador de sobrecorriente de campo o de sobreexcitación es usado primariamente para evitar el sobrecalentamiento en el devanado de campo de la máquina síncrona.

1: U= 1.00 ,I= 1.00 ,COS(PHI)= .950 ,XD= 1.050 ,XQ= .690 ,RESERVE OF STABILITY= .10 PWN ,UNDEREXCITATION LIMIT= .10 U/XD  
2: U= .95 ,I= 1.05 ,COS(PHI)= .950 ,XD= 1.050 ,XQ= .690 ,RESERVE OF STABILITY= .10 PWN ,UNDEREXCITATION LIMIT= .10 U/XD  
3: U= 1.05 ,I= .95 ,COS(PHI)= .950 ,XD= 1.050 ,XQ= .690 ,RESERVE OF STABILITY= .10 PWN ,UNDEREXCITATION LIMIT= .10 U/XD

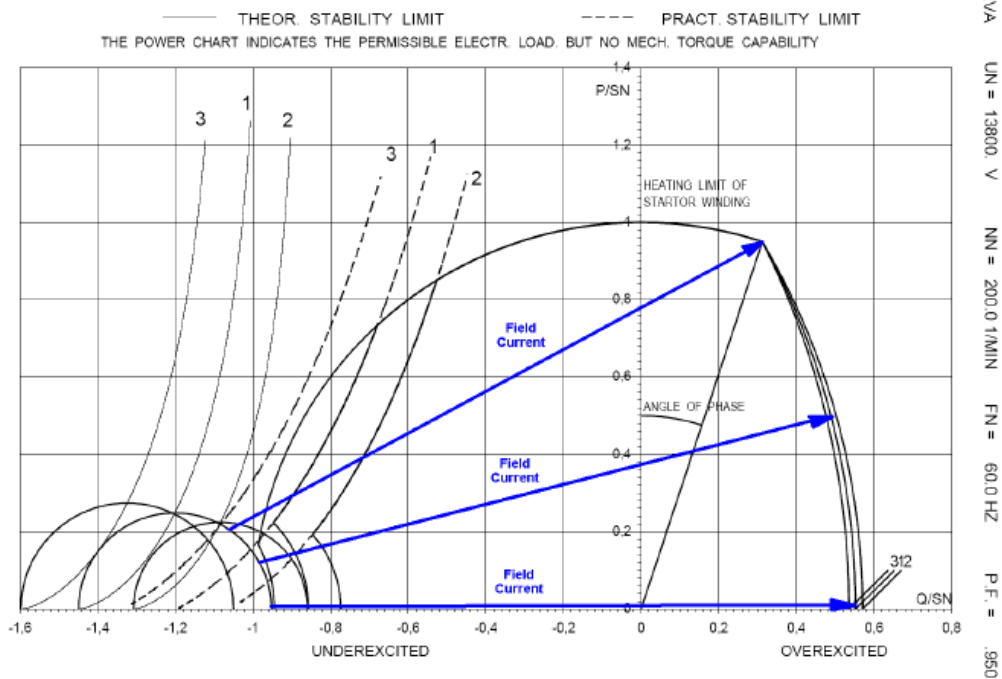


Figura 6.2: Corriente de campo en la curva de capacidad

La corriente de campo puede ser representada en la curva de capacidad de acuerdo con la Figura 6.2. Forzando la disminución en el nivel de la corriente de campo, el Thyristor™ puede forzar la potencia reactiva suministrada por la unidad a disminuir, trayendo el generador hacia dentro de los límites de operación.

La sobrecarga permitida en el devanado es inversamente proporcional al tiempo, así el limitador permite una sobrecarga limitada del generador, la cual es necesaria para la estabilidad del sistema eléctrico. El limitador de sobrecorriente de campo tiene un atraso en

Figura 8.67: Limitador OEL 1/2



su acción, como mostrado en la Figura 6.3, donde el límite máximo de corriente de campo está configurado para 1,1 p.u. con diferentes tiempos de atraso.

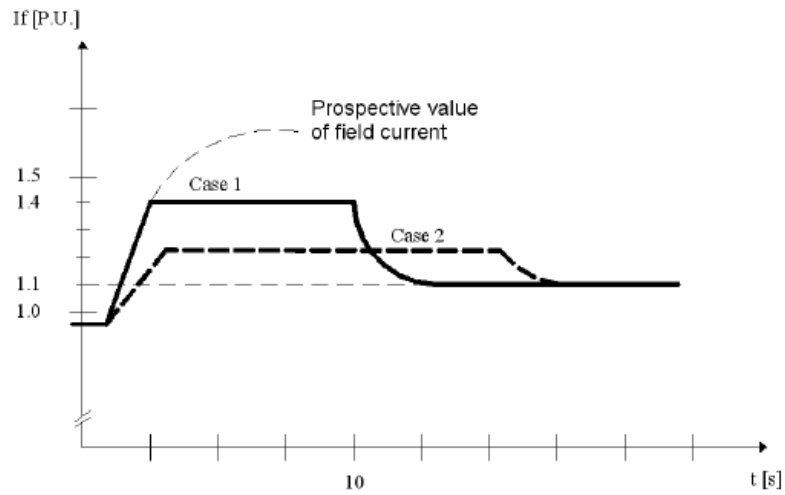


Figura 6.3: Dos caso de actuación del FOC

### 6.2.3 FCL - Limitador rápido de la corriente de campo

El limitador rápido de corriente de campo actúa para mantener la corriente de campo abajo de un valor predeterminado. El FCL no tiene tiempo de atraso. Las configuraciones estándares del FCL son 140 - 200 % de la corriente de campo nominal permitiendo alcanzar la condición de techo sin calentar el bobinado de campo. En el caso 1 de la Figura 6.3, es el FCL que limita la corriente de campo a 1,4 p.u.

Figura 8.68: Limitador OEL 2/2





**VOITH**

Voith Hydro

CH La Confluencia	
<b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b> Descripción Técnica	2GE01-0000-00471796
	Revision - 02

### 6.2.1 UExc – Limitador de subexcitación

El limitador de subexcitación evita condiciones de operación que podrían causar sobrecalentamiento del estator o inestabilidad y pérdida de sincronismo.

La acción del UExc es determinada por regiones definidas en la curva de capacidad de la máquina sincrónica. La región límite es programada en el controlador del Thyristor™ y coordinada con el límite de la función de protección de pérdida de excitación.

La curva para el UExc puede ser definida con hasta 5 puntos diferentes. Cuando la potencia reactiva está fuera de esa curva, el UExc aumenta la referencia del AVR aumentando así la potencia reactiva, de modo que el punto de operación retorne al lado positivo del limitador.

La siguiente figura ilustra la curva de capacidad para un generador sincrónico y las configuraciones para el UExc coordinadas con las configuraciones de la protección de pérdida de excitación.

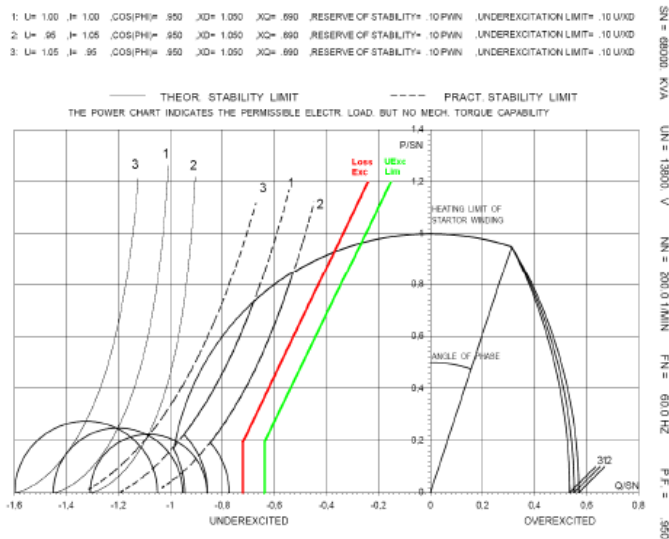


Figura 6.1: Configuraciones para el limitador UExc (verde) y la protección de pérdida de excitación (rojo)

La función de protección de pérdida de excitación es ajustada para dar trip en la unidad si llega al límite práctico de estabilidad. El limitador de subexcitación es ajustado de forma que, en condiciones normales, la unidad no llegue al límite de trip de la protección de pérdida de excitación.

Figura 8.69: Limitador UEL



### 6.2.5 GOC - Limitador de sobrecorriente del generador

El limitador de sobrecorriente del generador es utilizado para evitar el sobrecalentamiento del estator debido al aumento de la corriente del generador. El GOC detecta la sobrecorriente y la compara con la corriente reactiva para determinar como el regulador de tensión debe actuar. Un tiempo de atraso permite pequeñas sobrecorrientes aumentando la estabilidad de la red. La corriente del generador es limitada a un valor máximo indiferente al punto de operación del generador. Eso es ilustrado por la curva A-B como muestra la figura a continuación.

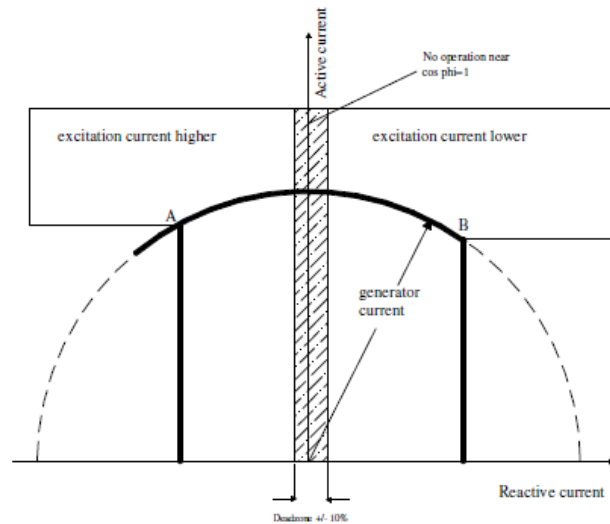


Figura 6.5: Limitador GOC

Una sobrecorriente capacitiva en el estator resulta en el aumento de la corriente de excitación y una sobrecorriente inductiva resulta en la disminución de la corriente de excitación.

El área sombreada en la figura indica un área en la cual el sistema de excitación es incapaz de influenciar la corriente del generador pues hay poca potencia reactiva fluyendo de o para el generador. El GOC es deshabilitado en esta región para evitar oscilación entre operación sobre y subexcitada. Si el punto de operación está en esta área y la corriente del generador aún es muy alta, la corriente activa debe ser disminuida por el regulador de velocidad.

Figura 8.70: Limitador SCL



## 8.11 Ajuste de limitadores

Grupo	Parámetro [unidad]	Valor
UExc Limitador [pu, Sn]	GOC - Salida - Lim. Inf.	-0,100
820	UExc - Habilitar limitador	1
	UExc - N	2
	UExc - Kp	0,600
	UExc - Q0	-0,400

Logon Escala Analóg. Nuevo PLC 1 Escribir 1 0

Figura 8.71: Ajuste limitador UEL (1/3)

Grupo	Parámetro [unidad]	Valor
UExc Limitador [pu, Sn]	UExc - P0	0,000
836	UExc - Q1	-0,400
	UExc - P1	0,700
	UExc - Q2	0,000
	UExc - P2	2,000

Logon Escala Analóg. Nuevo PLC 1 Escribir -0,400 0,000 -1,000

Figura 8.72: Ajuste limitador UEL (2/3)

Grupo	Parámetro [unidad]	Valor
Pte1. If part	UExc - P5	2,000
890	PSS2B - Habilitar	0
	PSS2B - Gen. Seno p/ avance atrasc	0
	PSS2B - Gen. Seno p/ Frecuencia	0
	PSS2B - Gen. Seno p/ potencia	0

Logon Escala Analóg. Nuevo PLC 1 Escribir 1 0

Figura 8.73: Ajuste limitador UEL (3/3)



Lista de Parámetros			PLC1
Grupo			° = °C
GOC Limitador [pu, Ign]			
	Parámetro [unid]		Valor
	GOC - Kp		0,000
786	GOC - Ti [s]		20,000
	GOC - Iq treshold		0,100
	GOC - Ig max. lim.		1,100
	GOC - Salida - Lim. Sup.		0,200
Nuevo			
Logon	Escala Analóg.	PLC 1 Escribir	20,000 100,000 0,100

Figura 8.74: Ajuste limitador SCL

Lista de Parámetros			PLC1
Grupo			° = °C
FCL Limitador [pu, Ifn]			
	Parámetro [unid]		Valor
	FCL - Salida - Lim. Superior		1,000
698	FCL - Salida - Lim. Inferior		-0,866
	FOC - Habilitar limitador		1
	FOC - Kp		0,050
	FOC - Ti [s]		5,000
Nuevo			
Logon	Escala Analóg.	PLC 1 Escribir	-0,866 -0,500 -1,000

Figura 8.75: Ajuste limitador OEL (1/4)

Lista de Parámetros			PLC1
Grupo			° = °C
FOC Limitador [pu, Ifn]			
	Parámetro [unid]		Valor
	FOC - If max. lim		1,100
744	FOC - Integrador - Lim. sup.		0,600
	FOC - Integrador - Lim. inf.		-0,200
	FOC - Salida - Lim. Inf.		-0,200
	GOC - Habilitar limitador		1
Nuevo			
Logon	Escala Analóg.	PLC 1 Escribir	0,600 2,000 0,000

Figura 8.76: Ajuste limitador OEL (2/4)





Lista de Parámetros		PLC1
Grupo		
FCL Limitador [pu, Ifn]		
Parámetro [unidad]		Valor
	Cos ref. - velocidad rampa seguidor	0,030
640	FCL - Habilitar limitador	1
	FCL Max. - Lim. Carga	1,400
	FCL Max. - Lim. Vacío	0,624
	FCL Max. - Kp Carga	8,000
Nuevo		1
PLC 1 Escribir		0
Logon	Escala Analóg.	

Figura 8.77: Ajuste limitador OEL (3/4)

Lista de Parámetros		PLC1
Grupo		
FCL Limitador [pu, Ifn]		
Parámetro [unidad]		Valor
	FCL Max. - Ti [s] Carga	1,000
658	FCL Max. - Kp Vacío	15,000
	FCL Max. - Ti [s] Vacío	0,500
	FCL Min. - Lim. Carga	0,300
	FCL Min. - Lim. Vacío	0,050
Nuevo		40,000
PLC 1 Escribir		0,100
Logon	Escala Analóg.	

Figura 8.78: Ajuste limitador OEL (4/4)

Lista de Parámetros		PLC1
Grupo		
AVR Compensador		
Parámetro [unidad]		Valor
	AVR Compensador - Reactivo	0,000
418	AVR Compensador - Frecuencia	0,000
	V/Hz - Habilitar limitador	1
	V/Hz - Versión 2 Seleccionar	0
	V/Hz - Versión 2 Kp	1,000
Nuevo		0,200
PLC 1 Escribir		-0,200
Logon	Escala Analóg.	

Figura 8.79: Ajuste limitador VHz (1/2)



Grupo	Parámetro [unidad]	Valor
FCR Loop	V/Hz - Versión 2 Ti [s]	1,000
460,0	FCR - Kp	6,000
	FCR - Ti [s]	3,000
	FCR ref. - Nivel inicial	0,279
	FCR ref. - Nivel freno el.	0,300

Nuevo  
PLC 1  
Escribir  
6,000  
40,000  
0,100

Figura 8.80: Ajuste limitador VHz (2/2)



## 8.12 Diagrama unilineal de la central

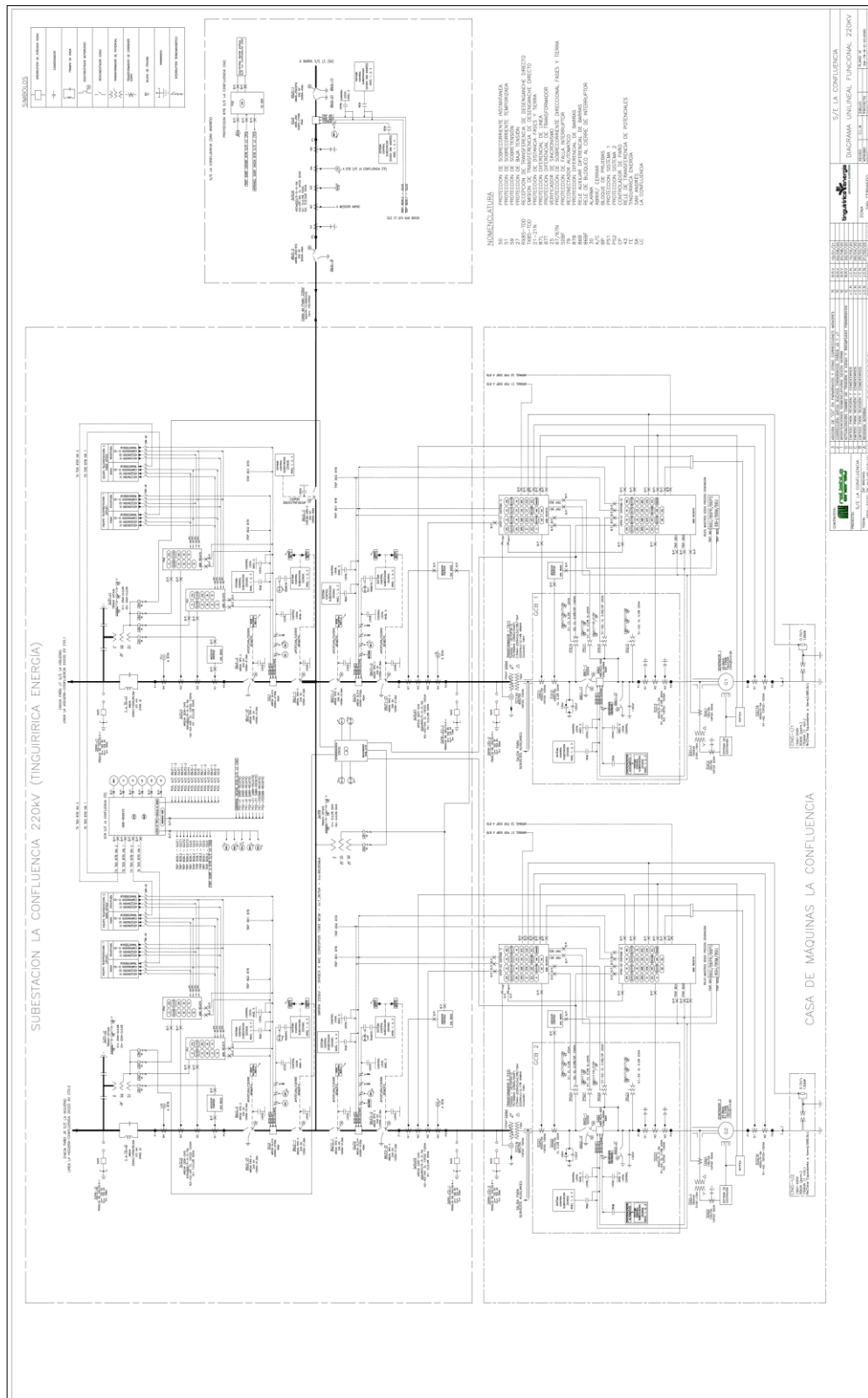


Figura 8.81: Diagrama unilineal – CH La Confluencia



### 8.13 Placa del transformador elevador

TOSHIBA		TRANSFORMADOR																																																																																																																						
TOSHIBA T&D DO BRASIL LTDA RODOVIA FERNÃO DIAS, 3045 CONTAGEM - M.G.																																																																																																																								
CAPACIDAD	75000/96000 kVA	NORMA	IEC 60076/2000																																																																																																																					
FASES	3	FRECUENCIA	50 Hz																																																																																																																					
TIPO	HC/OPTR-D	Nº DE SERIE	A08025																																																																																																																					
REFRIGERACIÓN	ONAN/ONAF	ELEVACIÓN DE TEMPERATURA :																																																																																																																						
		ARROLAMIENTOS	65 °C																																																																																																																					
		ACEITE	60 °C																																																																																																																					
IMPEDANCIA DEL CORTOCIRCUITO A 75°C, BASE DE	96000 kVA	CON	220000/15000 V																																																																																																																					
		CON	154000/15000 V																																																																																																																					
			12.14 %																																																																																																																					
			21.28 %																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NIVELES DE AISLACIÓN (kV)</th> <th>AT</th> <th>AT-N</th> <th>BT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV EFICAZ)</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>INDUCIDA CORTA DURACIÓN - ACSD (kV EFICAZ)</td> <td>395</td> <td>131.7</td> <td>31.1</td> </tr> <tr> <td>INDUCIDA LARGA DURACIÓN - ACLD (kV EFICAZ)</td> <td>240.5/212.2</td> <td>-</td> <td>28.4</td> </tr> <tr> <td>IMPULSO ATMOSFÉRICO (kV CRESTA)</td> <td>950</td> <td>125</td> <td>125</td> </tr> </tbody> </table>				NIVELES DE AISLACIÓN (kV)	AT	AT-N	BT	FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV EFICAZ)	50	50	50	INDUCIDA CORTA DURACIÓN - ACSD (kV EFICAZ)	395	131.7	31.1	INDUCIDA LARGA DURACIÓN - ACLD (kV EFICAZ)	240.5/212.2	-	28.4	IMPULSO ATMOSFÉRICO (kV CRESTA)	950	125	125																																																																																																	
NIVELES DE AISLACIÓN (kV)	AT	AT-N	BT																																																																																																																					
FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV EFICAZ)	50	50	50																																																																																																																					
INDUCIDA CORTA DURACIÓN - ACSD (kV EFICAZ)	395	131.7	31.1																																																																																																																					
INDUCIDA LARGA DURACIÓN - ACLD (kV EFICAZ)	240.5/212.2	-	28.4																																																																																																																					
IMPULSO ATMOSFÉRICO (kV CRESTA)	950	125	125																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">VOLTAJES DE AT</th> </tr> <tr> <th colspan="10">TERMINALES HO - H1 - H2 - H3</th> </tr> <tr> <th colspan="6">PAINEL DE CONEXIÓN</th> <th colspan="4">CAMBIADOR</th> </tr> <tr> <th colspan="3">220kV</th> <th colspan="3">154kV</th> <th colspan="4"></th> </tr> <tr> <th colspan="3">X1-23 / X2-19 / X3-21</th> <th colspan="3">X1-24 / X2-20 / X3-22</th> <th colspan="4"></th> </tr> <tr> <th rowspan="2">VOLTAJE (V)</th> <th colspan="2">CORRIENTE (A)</th> <th rowspan="2">VOLTAJE (V)</th> <th colspan="2">CORRIENTE (A)</th> <th rowspan="2">POS.</th> <th colspan="3">CONEXIONES</th> </tr> <tr> <th>75000kVA</th> <th>96000kVA</th> <th>75000kVA</th> <th>96000kVA</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>231000</td> <td>187</td> <td>240</td> <td>161700</td> <td>268</td> <td>343</td> <td>1</td> <td>3 - 4</td> <td>9 - 10</td> <td>15 - 16</td> </tr> <tr> <td>225500</td> <td>192</td> <td>246</td> <td>157850</td> <td>274</td> <td>351</td> <td>2</td> <td>2 - 4</td> <td>8 - 10</td> <td>14 - 16</td> </tr> <tr> <td>220000</td> <td>197</td> <td>252</td> <td>154000</td> <td>281</td> <td>360</td> <td>3</td> <td>2 - 5</td> <td>8 - 11</td> <td>14 - 17</td> </tr> <tr> <td>214500</td> <td>202</td> <td>258</td> <td>150150</td> <td>288</td> <td>369</td> <td>4</td> <td>1 - 5</td> <td>7 - 11</td> <td>13 - 17</td> </tr> <tr> <td>209000</td> <td>207</td> <td>265</td> <td>146300</td> <td>296</td> <td>379</td> <td>5</td> <td>1 - 6</td> <td>7 - 12</td> <td>13 - 18</td> </tr> </tbody> </table>				VOLTAJES DE AT										TERMINALES HO - H1 - H2 - H3										PAINEL DE CONEXIÓN						CAMBIADOR				220kV			154kV							X1-23 / X2-19 / X3-21			X1-24 / X2-20 / X3-22							VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)		VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)		POS.	CONEXIONES			75000kVA	96000kVA	75000kVA	96000kVA				231000	187	240	161700	268	343	1	3 - 4	9 - 10	15 - 16	225500	192	246	157850	274	351	2	2 - 4	8 - 10	14 - 16	220000	197	252	154000	281	360	3	2 - 5	8 - 11	14 - 17	214500	202	258	150150	288	369	4	1 - 5	7 - 11	13 - 17	209000	207	265	146300	296	379	5	1 - 6	7 - 12	13 - 18
VOLTAJES DE AT																																																																																																																								
TERMINALES HO - H1 - H2 - H3																																																																																																																								
PAINEL DE CONEXIÓN						CAMBIADOR																																																																																																																		
220kV			154kV																																																																																																																					
X1-23 / X2-19 / X3-21			X1-24 / X2-20 / X3-22																																																																																																																					
VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)		VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)		POS.	CONEXIONES																																																																																																																	
	75000kVA	96000kVA		75000kVA	96000kVA																																																																																																																			
231000	187	240	161700	268	343	1	3 - 4	9 - 10	15 - 16																																																																																																															
225500	192	246	157850	274	351	2	2 - 4	8 - 10	14 - 16																																																																																																															
220000	197	252	154000	281	360	3	2 - 5	8 - 11	14 - 17																																																																																																															
214500	202	258	150150	288	369	4	1 - 5	7 - 11	13 - 17																																																																																																															
209000	207	265	146300	296	379	5	1 - 6	7 - 12	13 - 18																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">VOLTAJE DE BT</th> <th colspan="2">CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MÁXIMA (A)</th> </tr> <tr> <th colspan="3">TERMINALES X1 - X2 - X3</th> <th>AT</th> <th>BT</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">VOLTAJE (V)</th> <th colspan="2">CORRIENTE (A)</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>75000kVA</th> <th>96000kVA</th> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15000</td> <td>2887</td> <td>3695</td> <td>SIMÉTRICA (DURACIÓN : t=2s)</td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>ASIMÉTRICA</td> <td>5350</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>30800</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>78400</td> </tr> </tbody> </table>				VOLTAJE DE BT			CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MÁXIMA (A)		TERMINALES X1 - X2 - X3			AT	BT	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)				75000kVA	96000kVA			15000	2887	3695	SIMÉTRICA (DURACIÓN : t=2s)	2100				ASIMÉTRICA	5350					30800					78400																																																																														
VOLTAJE DE BT			CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MÁXIMA (A)																																																																																																																					
TERMINALES X1 - X2 - X3			AT	BT																																																																																																																				
VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)																																																																																																																							
	75000kVA	96000kVA																																																																																																																						
15000	2887	3695	SIMÉTRICA (DURACIÓN : t=2s)	2100																																																																																																																				
			ASIMÉTRICA	5350																																																																																																																				
				30800																																																																																																																				
				78400																																																																																																																				

Figura 8.82: Placa del transformador elevador (1/2)



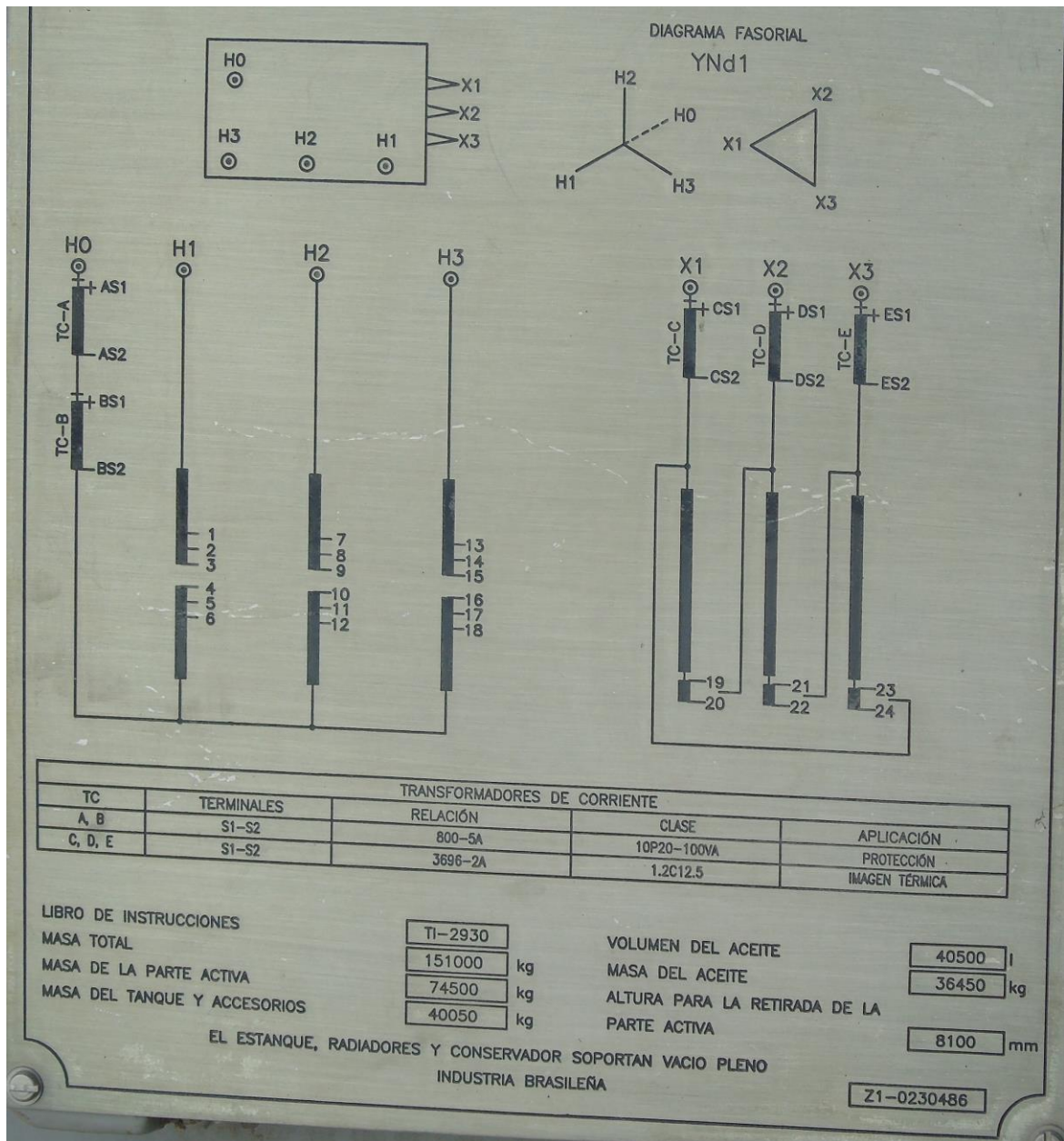


Figura 8.83: Placa del transformador elevador (2/2)



8.14 Placa del transformador de servicios auxiliares

**WEG** WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A.  
TRANSFORMADORES  
ITAJAÍ-SC CNPJ 07.175.725/0004-02

**DRY-TYPE TRANSFORMER**

N° **1006042411** YEAR **2009** TYPE **11227688**

POWER **1500** kVA COOLING AN STANDARD NBR 10295/1988

FREQUENCY **50** Hz IMPEDANCE AT 115°C 15,0KV **5.15** %

CLASS **F 155** °C AVERAGE TEMPERATURE RISE **105** °C

INSULATION LEVELS (kv)	HV	LV
LOW FREQUENCY VOLTAGE	50	10
BASIC LIGHTNING IMPULSE	125	-

CONNECTION SYMBOL

TOTAL MASS **6300** kg

DEGREE OF PROTECTION **IP 23**

ENVIRONMENTAL-CLIMATIC-FIRE **E2-C1-F1**

Dyn1

HIGH VOLTAGE			
TERMINALS H1 H2 H3			
POS	CONNECTING	V	A
1	a b / e f	15750	55,0
2	a b / f g	15375	56,3
3	b c / f g	15000	57,7
4	b c / g h	14625	59,2
5	c d / g h	14250	60,8

LOW VOLTAGE

TERMINALS X0-X1 X2 X3			
400 / 231 V		2166 A	
TAG	TSU1		

CURRENT TRANSFORMER

CT	ACCURACY	RATIO	T. F.	APPLICATION
1	10B200	1500-5	1,2	PROTECTION

MADE IN BRAZIL

Figura 8.84: Placa del transformador de servicios auxiliares de 0.4 kV



## 8.15 Valores de mínimo técnico certificados por el CEN

**Tabla 1: Parámetro de mínimo técnico Unidades de Central Hidroeléctrica La Confluencia**

Central	Unidad	Mínimo Técnico [MW]
La Confluencia	La Confluencia 1	28,00
La Confluencia	La Confluencia 2	28,00

*Tabla 8.1: Mínimo técnico contemplado por el CEN*





## 8.16 Archivos adjuntos entregados

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

- Registros de ensayos: “**EE-EN-2022-0315-RA\_CH\_La\_Confluencia\_U1\_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 U1 – Control de Tensión	
Nombre	Descripción
U1_FSNL_006	Performance
U1_FSNL_015	Techos
U1_FSNL_017	V/Hz
U1_GEN_015	UEL P5
U1_GEN_007	UEL P3
U1_GEN_005	UEL P1
U1_GEN_016	OEL P5
U1_GEN_011	OEL P3
U1_GEN_001	OEL P1

Tabla 8.2 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión

Ensayos U1 – Curva PQ – 0.95 p.u.	
Nombre	Descripción
U1_GEN_134	P5 Q5
U1_GEN_126	P4 Q3
U1_GEN_125	P4 Q6
U1_GEN_115	P2 Q2
U1_GEN_120	P2 Q7
U1_GEN_107	P1 Q1
U1_GEN_106	P1 Q8

Tabla 8.3 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 0.95 p.u.



Ensayos U1 – Curva PQ – 1.00 p.u.	
Nombre	Descripción
U1_GEN_136	P5 Q4
U1_GEN_133	P5 Q5
U1_GEN_128	P4 Q3
U1_GEN_124	P4 Q6
U1_GEN_113	P2 Q2
U1_GEN_117	P2 Q7
U1_GEN_109	P1 Q1
U1_GEN_105	P1 Q8

Tabla 8.4 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 1.00 p.u.

Ensayos U1 – Curva PQ – 1.05 p.u.	
Nombre	Descripción
U1_GEN_137	P5 Q4
U1_GEN_131	P5 Q5
U1_GEN_129	P4 Q3
U1_GEN_122	P4 Q6
U1_GEN_112	P2 Q2
U1_GEN_118	P2 Q7
U1_GEN_110	P1 Q1
U1_GEN_103	P1 Q8

Tabla 8.5 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 1.05 p.u.

Ensayos U1 – CTF	
Nombre	Descripción
U1_GOV_001	Bajada de Máximo a MT – Tasa -18 MW/min
U1_GOV_002	Bajada de Máximo a MT – Tasa -6 MW/min
U1_GOV_003	Bajada de Máximo a MT – Tasa -42 MW/min
U1_GOV_001	Subida de MT a Máximo – Tasa 18 MW/min
U1_GOV_002	Subida de MT a Máximo – Tasa 6 MW/min
U1_GOV_003	Subida de MT a Máximo – Tasa 42 MW/min
U1_GOV_103	CTF en frío

Tabla 8.6 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia



## 8.17 Acta de pruebas



### ACTA DE PRUEBAS

Fecha	16/02/2022	Empresa	Tinguiririca Energía
ID Proyecto	EE-2021-142	Ubicación	San Fernando, Región Libertador Bernardo O'Higgins
Denominación Planta	Central Hidroeléctrica La Confluencia U1		
Servicios por verificar	Servicios Complementarios: - Control de tensión (CT) - Control terciario de frecuencia en giro (CTFg) - Control terciario de frecuencia en frío (CTGf)		

#### Datos de la instalación

Potencia aparente nominal [MVA]	95.8	Tipo de central	Hidroeléctrica de pasada
Tensión en POI nominal [kV]	15	Cantidad de unidades	2
Potencia activa máxima [MW]	81.6	Transformador elevador	15/220 kV
Potencia activa mínima [MW]	28	-	-

#### Responsables durante las pruebas

Coordinado	Cristopher López	Representante Tinguiririca Energía en las pruebas
	Claudio Celman	Líder
Equipo Experto Técnico	Iñaki Cubillos	Ingeniero de ensayos
	Fernando Montecinos	Ingeniero de ensayos

#### Datos de las pruebas

Estado previo de la planta	Detenida
Inicio del período de pruebas	14/02/2022
Fin del período de pruebas	16/02/2022
Protocolo aplicable	EE-EN-2022-0036-RB_Procedimiento_Ensayos_SSCC_CH_La_Confluencia_U1
Posición de TAP trafo elevador	TAP 3 (cambiador en vacío, por ende, posición fija)


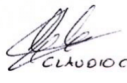
<b>Firmas</b> Aclaración/Empresa	 Christopher López Representante del Coordinado	 CLAUDIO CELMAN Representante del Experto Técnico
-------------------------------------	--	--

Figura 8.85: Acta de Pruebas SSCC La Confluencia U1 (1 de 5)



**ESTUDIOS ELECTRICOS**   
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

**Resumen de pruebas**

**SC Control de Tensión:**

Se realizan pruebas en vacío en la unidad 1:

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

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

- Pruebas del limitador Sobreexcitación (OEL) en 3 estados de carga.
- Pruebas del limitador Subexcitación (UEL/MEL) en 3 estados de carga.

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

- Puntos Curva PQ operable en 4 estados de carga.

**SC Control de Frecuencia:**

Se realizan pruebas de Control Terciario de Frecuencia en giro en la unidad 1:

- Toma de carga con tasa de toma de carga igual a 18MW/min.
- Toma de carga con tasa de toma de carga igual a 6MW/min.
- Toma de carga con tasa de toma de carga igual a 42MW/min.
- Bajada de carga con tasa de bajada de carga igual a -18MW/min
- Bajada de carga con tasa de bajada de carga igual a -6MW/min.
- Bajada de carga con tasa de bajada de carga igual a -42MW/min

Se realizan pruebas de Control Terciario de Frecuencia en frío en la unidad 1:

- Encendido de la unidad 1 y sincronización al sistema.
- Toma de carga hasta Mínimo Técnico y mantener dicho despacho por 1 hora.

<p><b>Firmas</b> Aclaración/Empresa</p>	<p>Cristopher López Representante del Coordinado</p>	<p>CLAUDIO CELMAN Representante del Experto Técnico</p>
---	--	---

*Figura 8.86: Acta de Pruebas SSCC La Confluencia U1 (2 de 5)*



**ESTUDIOS ELECTRICOS**   
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

**Observaciones/Desvíos del protocolo**

**SC Control de Tensión:**

Pruebas en vacío:

Limitador de sobreflujo (V/Hz): Par dar cumplimiento con la NTSyCS Artículo 3-11 inciso a) "Las unidades generadoras deberán ser a los menos capaces de operar establemente en forma permanente en el rango de frecuencia 49,0 - 51,0 [Hz], para tensiones comprendidas entre 0,95 y 1,05 por unidad de la tensión nominal, medido en los terminales de la unidad generadora en el caso de unidades sincrónicas o en su Punto de Conexión en el caso de parques, a cualquier nivel de potencia". Fue necesario ajustar la ganancia del limitador de sobreflujo de 1.05 a 1.071.

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 la barra S/E Tinguiririca 154 kV. El centro de despacho logró hacer pequeños cambios de tensión en la barra, por lo que en ocasiones no se logró las condiciones de ensayo solicitadas. El procedimiento consideraba lograr mover la tensión en barra entre 0.93 pu y 1.07 pu de tensión en barra, sin embargo, las fluctuaciones fueron entre 1.03 pu y 1.05 pu de tensión como máximo. Debido a esto, no se logró medir todos los puntos en las condiciones exigidas en la Guía de Verificación.

**Unidad 1:**

Curva PQ en 0.95 pu:

Subexcitación					
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVAR]	Tensión en bornes [pu]	Tensión en Barra 220 kV [pu]	Actuación Límite UEL/MEL
P1=28.0	30.0	-36.4	0.98	1.03	Si
P2=45.9	43.2	-36.8	0.99	1.03	Si
P4=63.7	64.7	-36.8	0.99	1.04	Si
P5=81.6	81.2	-32.3	0.99	1.04	Si

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

Sobreexcitación					
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVAR]	Tensión en bornes [pu]	Tensión en Barra 220 kV [pu]	Actuación Límite OEL
P1=28.0	30	-32.1	0.99	1.03	No
P2=45.9	46.3	-31.8	0.99	1.03	No
P4=63.7	64.7	-34.8	0.99	1.03	No
P5=81.6	-	-	-	-	-

Limitación: No se alcanza el punto objetivo ya que al subir tensión se alcanza el siguiente nivel de tensión objetivo.



<b>Firmas</b> Aclaración/Empresa	 Christopher López Representante del Coordinado	 CLAUDIO CELMAN Representante del Experto Técnico
-------------------------------------	--	--

Figura 8.87: Acta de Pruebas SSSC La Confluencia U1 (3 de 5)





**ESTUDIOS ELECTRICOS**   
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Curva PQ en 1.00 pu:

Subexcitación					
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVAR]	Tensión en bornes [pu]	Tensión en Barra 220 kV [pu]	Actuación Límite UEL/MEL
P1=28.0	28.1	-37.8	1.00	1.04	Si
P2=45.9	46.1	-38.2	1.00	1.05	Si
P4=63.7	63.7	-38.0	1.00	1.05	Si
P5=81.6	81.4	-33.3	1.00	1.05	Si

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

Sobrexitación					
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVAR]	Tensión en bornes [pu]	Tensión en Barra 220 kV [pu]	Actuación Límite OEL
P1=28.0	30.4	2.2	1.04	1.04	No
P2=45.9	45.9	0.9	1.04	1.04	No
P4=63.7	64.9	-1.7	1.04	1.04	No
P5=81.6	81.4	-1.7	1.04	1.04	No

Limitación: No se alcanza el punto objetivo ya que al subir tensión se alcanza el siguiente nivel de tensión objetivo.

Curva PQ en 1.05 pu:

Subexcitación					
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVAR]	Tensión en bornes [pu]	Tensión en Barra 220 kV [pu]	Actuación Límite UEL/MEL
P1=28.0	27.9	-29.7	1.01	1.03	No
P2=45.9	45.5	-32.6	1.01	1.03	No
P4=63.7	61.9	-30.1	1.01	1.04	No
P5=81.6	81.6	-27.8	1.01	1.04	No

Limitación: No se alcanza el punto objetivo ya que al bajar tensión se alcanza el siguiente nivel de tensión objetivo.

Sobrexitación					
Estado de carga [MW]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVAR]	Tensión en bornes [pu]	Tensión en Barra 220 kV [pu]	Actuación Límite OEL
P1=28.0	30.5	7.4	1.05	1.05	No
P2=45.9	45.4	6.4	1.05	1.05	No
P4=63.7	65.0	5.0	1.05	1.05	No
P5=81.6	81.3	3.6	1.05	1.05	No

Limitación: Actuación del límite de máxima consigna de tensión del AVR (1.05 p.u.).



<b>Firmas</b> Aclaración/Empresa	 Christopher López Representante del Coordinado	 CLAUDIO CELMAN Representante del Experto Técnico
-------------------------------------	--	--

Figura 8.88: Acta de Pruebas SSSC La Confluencia U1 (4 de 5)



**ESTUDIOS ELECTRICOS**   
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

**SC Control de Frecuencia:**

Control Terciario de Frecuencia en giro:

- Sin desvíos

Control Terciario de Frecuencia en frío:

- Sin desvíos



<p><b>Firmas</b> Aclaración/Empresa</p>	 <p>Cristopher López Representante del Coordinado</p>	 <p>CLAUDIO CELMAN Representante del Experto Técnico</p>
---	--	---

Figura 8.89: Acta de Pruebas SSCC La Confluencia U1 (5 de 5)



## 8.18 Certificado de calibración de equipamiento utilizado

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

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

Nombre Inspector: Leiss, Jorge

Firma:



Power System Studies & Power Plant Field Testing and  
Electrical Commissioning

Figura 8.90: Certificado de calibración de equipo de medición



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.