



---

# **INFORME DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS DE CONTROL TERCARIO DE FRECUENCIA**

Informe Técnico

Preparado para:



Febrero - 2022

A 0691 | R 1154-21

# Tabla de Contenidos

<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>6</b>
<b>REGISTRO DE COMUNICACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>SECCIÓN PRINCIPAL.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Descripción de las instalaciones.....	8
<b>2. PRINCIPALES COMPONENTES DE LA CENTRAL.....</b>	<b>11</b>
2.1. Circuito hidráulico.....	11
2.2. Características de las turbinas.....	12
2.3. Características de las unidades generadoras.....	14
2.4. Transformador de potencia.....	14
2.5. Regulador de tensión.....	15
2.6. Regulador de velocidad.....	16
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....</b>	<b>17</b>
3.1. Control terciario de frecuencia en giro.....	17
3.2. Control terciario de frecuencia en frío.....	18
<b>4. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>18</b>
4.1. Control terciario de frecuencia en giro.....	18
4.1.1 Ajuste del limitador de potencia activa en 2%/s.....	18
4.1.2 Ajuste del limitador de potencia activa en 1%/s.....	21
4.1.3 Ajuste del limitador de potencia activa en 0.5%/s.....	24
4.2. Control terciario de frecuencia en frío.....	27
4.2.1 Arranque en frío de la unidad U1.....	27
4.2.2 Arranque en frío de la unidad U2.....	31
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>36</b>
<b>1. INFORMACIÓN TÉCNICA.....</b>	<b>36</b>
1.1. Generador.....	36
1.2. Regulador de tensión.....	39

1.3.	Limitador de subexcitación .....	40
1.4.	Limitador de sobre excitación .....	41
1.5.	Control de $\cos \Phi$ .....	42
1.6.	Transformadores de unidad .....	43
1.7.	Ajuste de protecciones .....	45
<b>2.</b>	<b>PARÁMETROS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.....</b>	<b>47</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Características técnicas de las turbinas. ....	13
Tabla 2. Tabla de parámetros de los generadores. ....	14
Tabla 3. Características del transformador de potencia U1 y U2. ....	14
Tabla 4. Eventos durante el proceso de arranque de U1. ....	29
Tabla 5. Tiempos asociados al proceso de arranque de U1. ....	29
Tabla 6. Eventos durante el proceso de arranque de U2. ....	33
Tabla 7. Tiempos asociados al proceso de arranque de U2. ....	33
Tabla 8. Placa característica del transformador de unidad del generador U1. ....	43
Tabla 9. Placa característica del transformador de unidad del generador U2. ....	44
Tabla 10. Protección tensión U1 y U2. ....	45
Tabla 11. Ajuste de protección de sobrecorriente U1 y U2. ....	45
Tabla 12. Ajuste de protecciones de sobrefrecuencia U1 y U2. ....	46
Tabla 13. Ajuste de protecciones de subfrecuencia U1 y U2. ....	46
Gráfico 1. Vista aérea de CH Mampil. ....	8
Gráfico 2. Esquema del aprovechamiento Duqueco. ....	9
Gráfico 3. Diagrama unilineal de la interconexión de la CH Mampil con el sistema eléctrico. ....	10
Gráfico 4. Cámara de carga de la CH Mampil. ....	11
Gráfico 5. Vista de una parte de la tubería forzada de la CH Mampil. ....	12
Gráfico 6. Esquema de la conducción forzada de la CH Mampil. ....	12
Gráfico 7. Corte longitudinal de una de las turbinas de Mampil. ....	13
Gráfico 8. Diagrama en bloques del regulador de tensión U1 y U2. ....	15
Gráfico 9. Diagrama en bloques del regulador de velocidad. ....	16
Gráfico 10. Gradiente de incremento/reducción de carga para ajuste de 2%/s_U1. ....	19
Gráfico 11. Gradiente de incremento/reducción de carga para ajuste de 2%/s_U2. ....	20
Gráfico 12. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 1%/s_U1. ....	22
Gráfico 13. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 1%/s_U2. ....	23
Gráfico 14. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 0.5%/s_U1. ....	25
Gráfico 15. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 0.5%/s_U2. ....	26

Gráfico 16. Arranque en frío de U1.....	28
Gráfico 17. Evolución temporal en mínimo técnico – U1.....	31
Gráfico 18. Arranque en frío de U2.....	33
Gráfico 19. Evolución temporal en mínimo técnico – U2.....	35
Gráfico 20. Parámetros eléctricos del generador U1 y U2. ....	36
Gráfico 21. Curva de capacidad de la unidad U1. ....	38
Gráfico 22. Curva de capacidad de la unidad U2. ....	38
Gráfico 23. Tabla de parámetros del regulador de tensión de U1 y U2. ....	39
Gráfico 24. Diagrama en bloques del AVR – PowerFactory. ....	39
Gráfico 25. Tabla de parámetros del limitador UEL U1 y U2.....	40
Gráfico 26. Diagrama en bloques del Limitador UEL – PowerFactory.....	40
Gráfico 27. Tabla de parámetros del limitador OEL U1 y U2. ....	41
Gráfico 28. Diagrama en bloques del limitador de OEL – PowerFactory. ....	41
Gráfico 29. Tabla de parámetros del modelo del control de Cos $\Phi$ U1 y U2.....	42
Gráfico 30. Diagrama en bloques del control de Cos $\Phi$ – PowerFactory.....	42
Gráfico 31. Tabla resumen de los parámetros de partida y detención. ....	47

## Abreviaturas y acrónimos

CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
CNE	Comisión Nacional de Energía
CDC	Centro de despacho del coordinador
ERNC	Energía Renovables No Convencional
NTSyCS	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
PE	Parque Eólico
PSFV	Parque solar fotovoltaico
SE	Subestación eléctrica
AT	Alta tensión
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
ONAN	Oil Natural Air Natural
ONAF	Oil Natural Air Forced
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
RCB	Regulador Bajo Carga
PMU	Power Management Unit

## Registro de comunicaciones

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

<b>N°</b>	<b>Fecha</b> dd/mm/año	<b>Preparó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Observaciones</b>
0	23/02/22	FG	FM	FM	Emisión Original

## Sección principal

### 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes

En el siguiente informe se documentan los ensayos de campo realizados en la central hidroeléctrica (CH) Mampil durante los días 18 y 20 de enero de 2022 en relación con el proceso de verificación de la prestación de servicios complementarios de control terciario de frecuencia en giro y en frío.

De esta manera, se han obtenido registros que muestran la respuesta de los sistemas de control del parque según los requerimientos en el Anexo Técnico: Verificación De Instalaciones Para La Prestación SSCC de la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC) vigente, y en la Guía de Verificación de Servicios Complementarios de Control de Frecuencia.

#### 1.2. Descripción de las instalaciones

La CH Mampil se encuentra situada en la comuna de Santa Bárbara, región del Bio Bio (VIII región de Chile), formando parte del aprovechamiento hidroeléctrico del río Duqueco. Se trata de una central fluyente, o de pasada, que opera en serie hidráulica con la central hidroeléctrica Peuchén, situada aguas arriba.

Adicionalmente al caudal turbinado por Peuchén, la central de Mampil posee una barrera de derivación y captación del río Duqueco, denominada El trintre, que le permite realizar una operación independiente a Peuchén y captar la totalidad del caudal de diseño de la central. Los caudales generados son devueltos al río a través del contraembalse de Rucacura, que tiene como finalidad restituir el régimen natural del río.



**Gráfico 1. Vista aérea de CH Mampil.**



En el siguiente gráfico se muestra un esquema del aprovechamiento hidroeléctrico en el río Duqueco de las centrales Mampil y Peuchén:



**Gráfico 2. Esquema del aprovechamiento Duqueco.**

La CH Mampil cuenta con dos unidades generadoras (U1 y U2) Siemens idénticas de 29 MVA cada una. Las turbinas son tipo FRANCIS de eje vertical Marca Andritz al igual que el regulador de velocidad.

El punto de conexión de dicha central es en la Subestación de 220 kV denominada Central Mampil, ubicado en la localidad de Santa Bárbara, Chile. Esta Subestación se interconecta en Tap Off a la línea de 220 kV Rucue – Peuchén.

En el siguiente gráfico se muestra un diagrama unilineal de la conexión de la central con el sistema eléctrico y en el mismo se señalan los puntos de conexión del equipo registrador para la realización del ensayo en ambas unidades

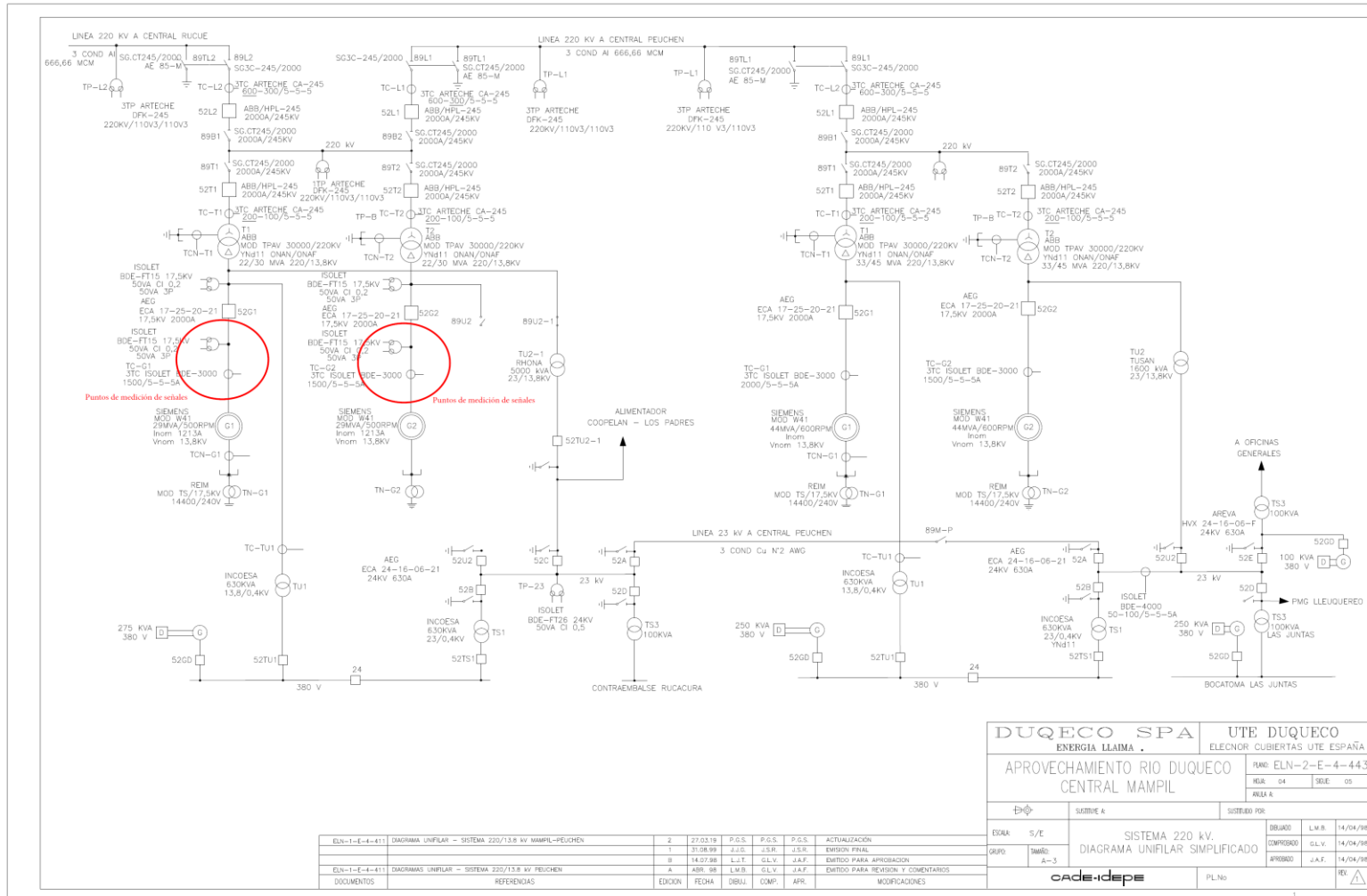


Gráfico 3. Diagrama unilineal de la interconexión de la CH Mampil con el sistema eléctrico.

## 2. Principales componentes de la central

### 2.1. Circuito hidráulico

El aprovechamiento hidroeléctrico Mampil recoge el caudal turbinado por la central de Peuchén y el proveniente de la bocatoma de Trintre, siendo conducidos ambos por un canal trapezoidal de 12260 metros de longitud hasta una cámara de carga que alimenta una conducción forzada, dividida en 5 tramos rectos de pendientes diferentes y un pantalón de derivación a los dos grupos de la central:

- **Tramo 1:** Aéreo, de 65.91 metros de longitud, 3500 mm de diámetro interior y 10 mm de espesor de chapa; desde la cámara de carga hasta el machón de anclaje V1.
- **Tramo 2:** Aéreo, de 162.06 metros de longitud, 3500 mm de diámetro interior y 10 – 12 mm de espesores de chapa, desde el machón de anclaje V1 hasta el V2.
- **Tramo 3:** Aéreo, de 339.42 metros de longitud, 3500 mm de diámetro interior y 12 – 14 mm de espesores de chapa, desde el machón de anclaje V2 hasta el V3.
- **Tramo 4:** Aéreo, de 91.52 metros de longitud, 3500 de diámetro interior y 14 – 20 mm de espesores de chapa, desde el machón de anclaje V3 hasta el V4.
- **Tramo 5:** Enterrado, de 30.38 metros de longitud y 18 – 20 mm de espesor de chapa, desde el machón de anclaje V4 hasta el pantalón de derivación a cada uno de los dos grupos Francis vertical de la central.
- **Tramo 6:** Pantalón de derivación, de 3500 mm a 2000 mm, para cada grupo.

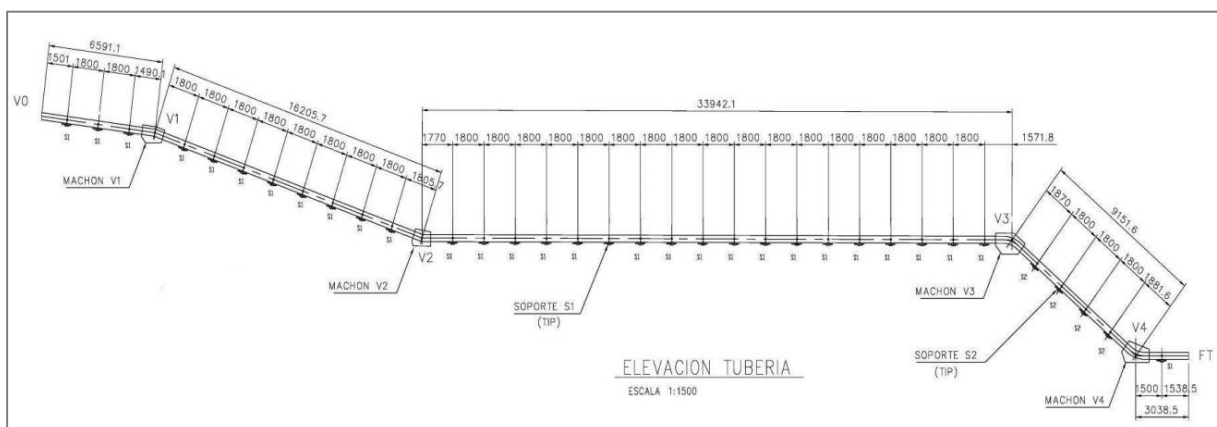


**Gráfico 4. Cámara de carga de la CH Mampil.**





**Gráfico 5. Vista de una parte de la tubería forzada de la CH Mampil.**

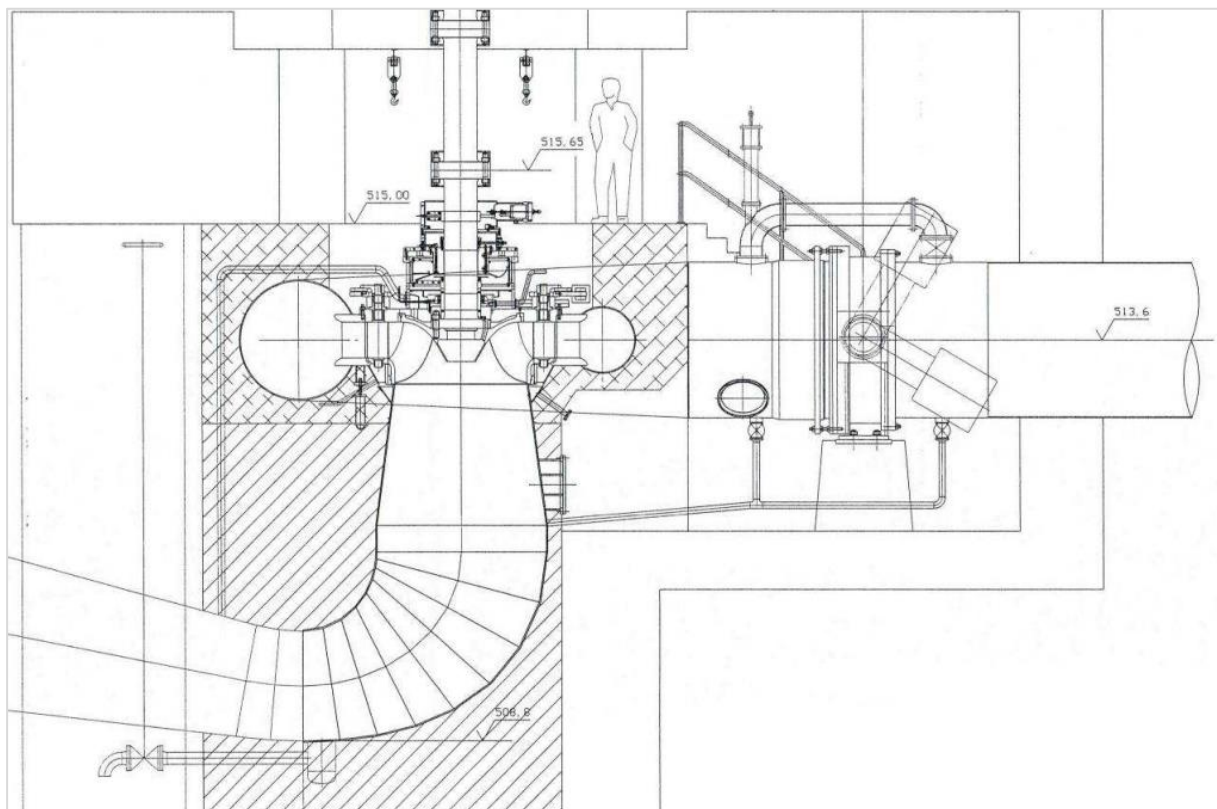


## 2.2. Características de las turbinas

La CH Mampil tiene instaladas dos turbinas Francis de eje vertical, fabricadas por SULZER España, con los siguientes datos nominales de diseño:

**Tabla 1. Características técnicas de las turbinas.**

<b>Salto Bruto</b>	124.12 m
<b>Salto Neto Nominal</b>	117.5 m
<b>Caudal nominal</b>	22.5 m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup>
<b>Potencia máxima en el eje</b>	24.57 MW
<b>Velocidad de rotación</b>	500 rpm
<b>Velocidad de embalamiento</b>	950 rpm
<b>Maquina N°</b>	12.517 (U1) y 12.518 (U2)



**Gráfico 7. Corte longitudinal de una de las turbinas de Mampil.**

### 2.3. Características de las unidades generadoras

Los generadores, fabricados por SIEMENS, tienen las siguientes características:

**Tabla 2. Tabla de parámetros de los generadores.**

<b>Sn</b>	29 MVA
<b>Un</b>	13.8 kV
<b>Fpn</b>	0.85
<b>Pmax</b>	27.5 MW
<b>Pmin</b>	8 MW
<b>Ifn</b>	12.72 A
<b>Xd</b>	1.02
<b>Xq</b>	0.68

En el Anexo 1, se muestra la curva de capacidad de las unidades:

### 2.4. Transformador de bloque

Las principales características se muestran a continuación:

**Tabla 3. Características del transformador de bloque U1 y U2.**

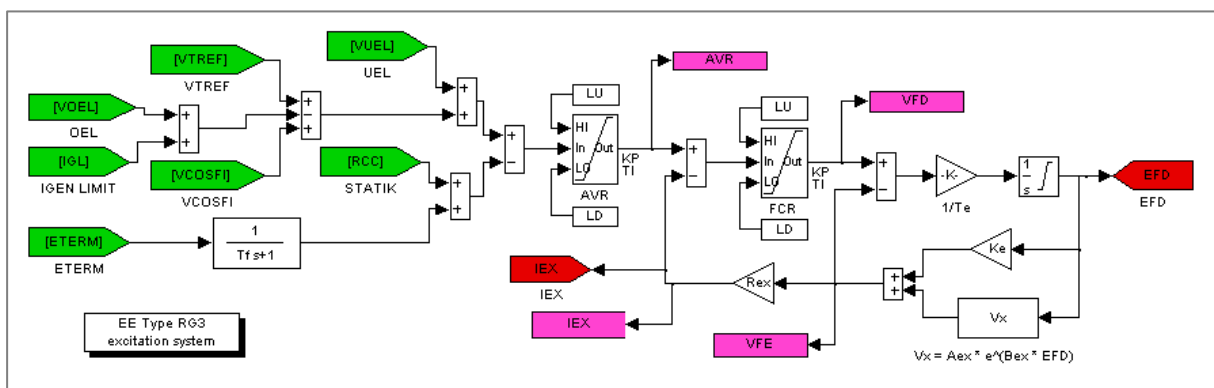
<b>Marca</b>	ABB
<b>Tensión Primaria</b>	220 kV
<b>Tensión secundaria</b>	13.8 kV
<b>Potencia</b>	22 – 30 MVA (ONAN – ONAFF)
<b>Grupo de conexión</b>	YnD11
<b>Conmutador</b>	5 ± 5% (en pasos de 2.5 %)

En el Anexo 1 del documento, se muestra la placa característica de los transformadores de la unidad U1 y U2.

## 2.5. Regulador de tensión

El sistema de excitación de ambas unidades es un "RG3-D" de Siemens. El mismo es de tipo brushless, con puente transistorizado que puede generar tensiones positivas o negativas sobre el campo de la excitatriz principal que alimenta. El sistema de excitación es auto-excitado, dado que la energía para el convertidor es obtenida de los bornes de salida del generador. El sistema de regulación de tensión "AVR" es electrónico, del tipo digital. El regulador automático de tensión AVR cuenta con las funciones de limitación de sub y sobre-excitación, control de tensión y control de coseno  $\phi$ . Siendo este último el modo de operación utilizado normalmente en ambas unidades.

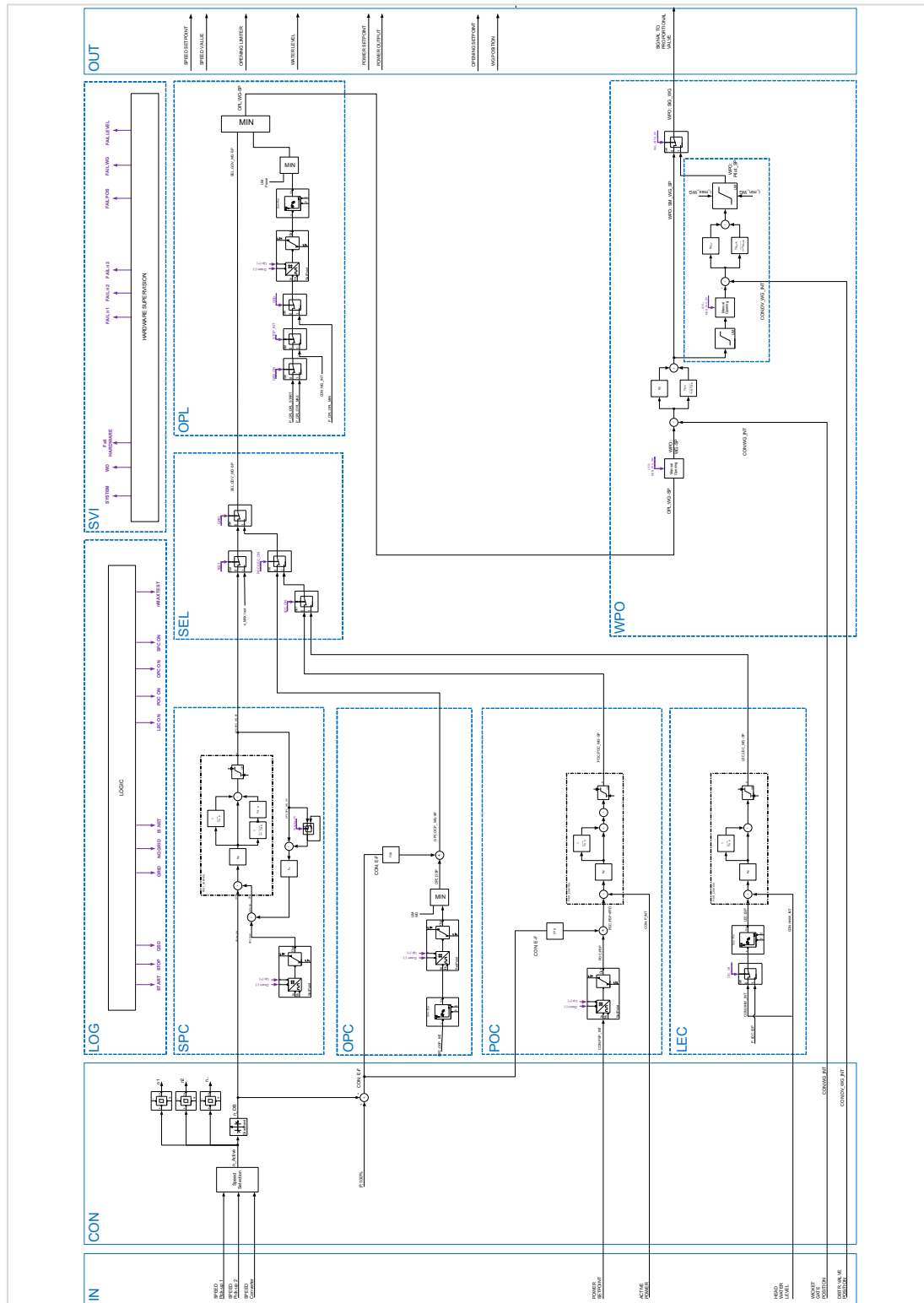
En el siguiente gráfico se muestra el diagrama en bloques del regulador de tensión:



**Gráfico 8. Diagrama en bloques del regulador de tensión U1 y U2.**

## 2.6. Regulador de velocidad

El control de velocidad de ambas unidades se realiza mediante un regulador de velocidad digital programado por ANDRITZ con comando sobre el sistema de regulación hidráulica.



**Gráfico 9. Diagrama en bloques del regulador de velocidad.**



Las funciones del regulador de velocidad se detallan a continuación:

- Operación en control de velocidad (SPC): El regulador opera en Control de Velocidad cuando el generador está girando en vacío es decir con el interruptor de unidad Abierto. En este modo de control es posible modificar la consigna de velocidad a través de los pulsos de subir / bajar velocidad a voluntad del operador durante la sincronización. Una vez que se cierra el interruptor el regulador pasa automáticamente a control de potencia. Si hay variaciones fuertes de la frecuencia el regulador detecta esta condición cambiando el modo de control a RED AISLADA controlando la frecuencia del sistema. La condición de operación en RED AISLADA es abandonada cuando se pulsa el reset, siempre y cuando la frecuencia esté dentro de la banda permitida.
- Operación en control de potencia activa (POC): En este modo de operación el lazo de control de potencia activa compara el valor de potencia consignado por el operador con el valor con el valor de potencia activa medido y envía una señal de control hacia el lazo de control de apertura del distribuidor.
- Operación en control de nivel de compuerta (LEC): El operador conmuta a él desde el control de posición del distribuidor. En este modo se controla el nivel de la cámara de carga modificando la posición del distribuidor a través de un corrector P+I. En este modo de control la potencia activa del generador variará en función del caudal proveniente de la bocatoma.
- Operación en control de apertura del distribuidor (OPC): Este lazo de control se encarga de regular la apertura de la servoválvula del distribuidor y puede ser accionado en forma manual con una consigna de apertura determinada.

El modo de control configurado por defecto es el de control de potencia activa.

### **3. Descripción de los ensayos**

#### **3.1. Control terciario de frecuencia en giro**

Se realizaron ensayos para verificar la respuesta del control de potencia activa de la planta. Desde el SCADA se cambió la consigna de potencia activa en el sistema de control para evaluar tanto la rampa de bajada como la rampa de subida de potencia de la central, desde potencia máxima hasta el mínimo técnico.

Cabe aclarar, que desde el sistema SCADA de la planta no es posible variar las tasas de toma y reducción de carga. Las mismas fueron modificadas por el especialista del regulador de velocidad (ANDRITZ) tomando acción directa sobre la configuración del PLC del regulador a partir del limitador de potencia activa.

Se ensayaron 3 setpoints de este limitador: 2 %/s (configuración original), 1%/s y 0.5%/s. A partir de esto se determinó la pendiente de reducción y toma de carga y se verificó que la respuesta sea estable.

Luego de finalizadas las pruebas se configuró nuevamente el limitador en su valor original (2%/s).

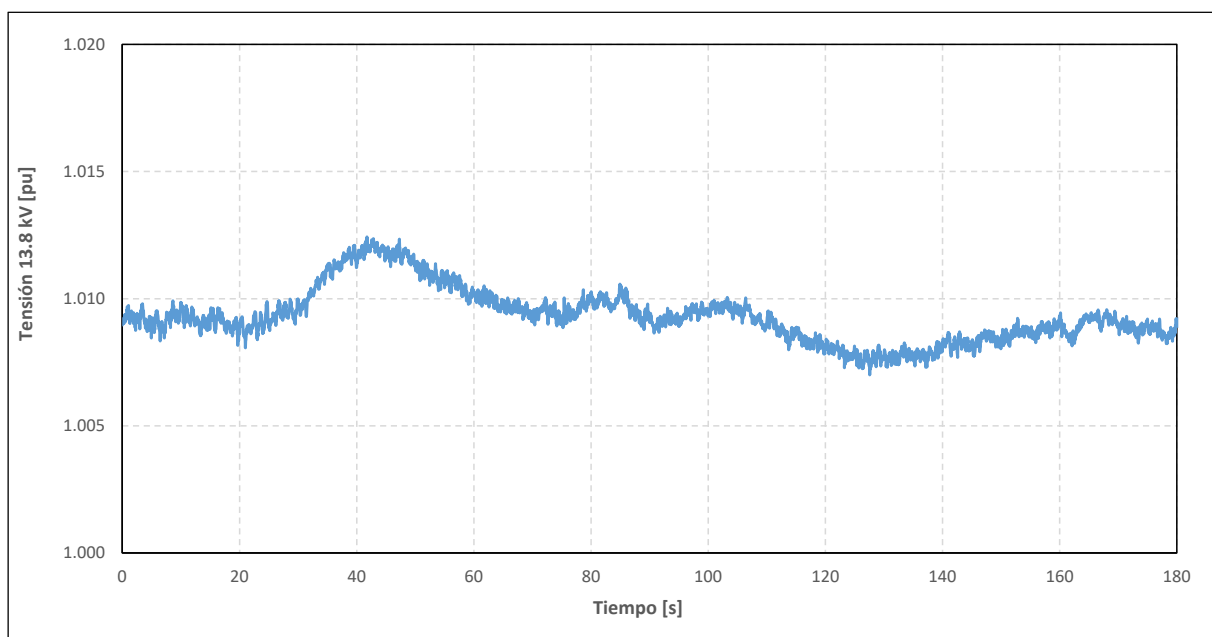
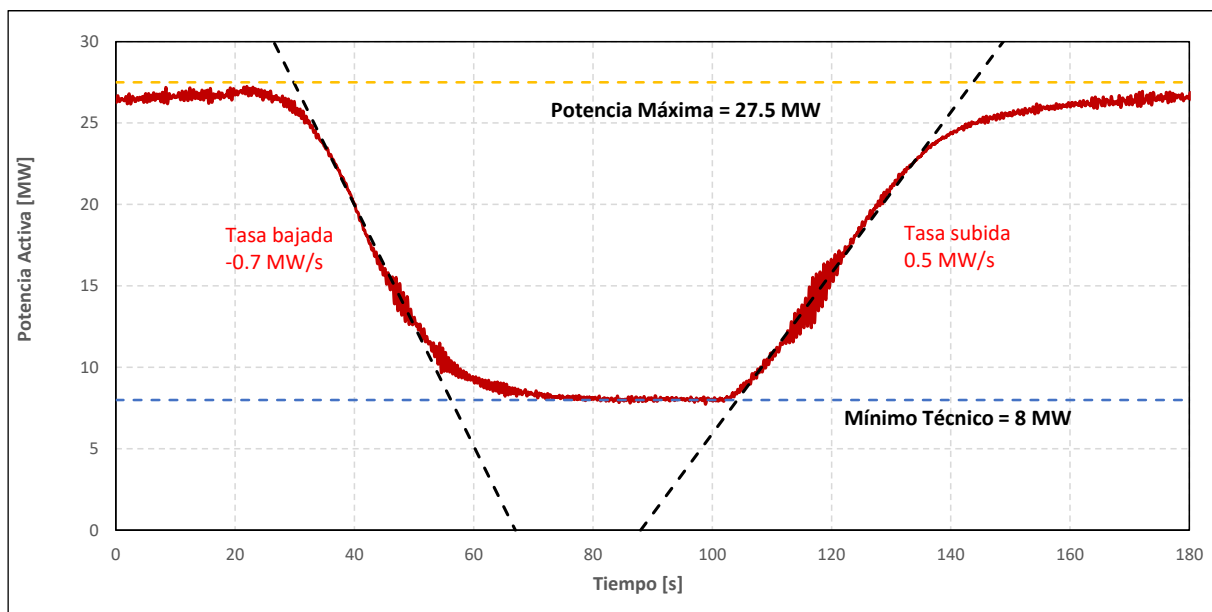
### 3.2. Control terciario de frecuencia en frío

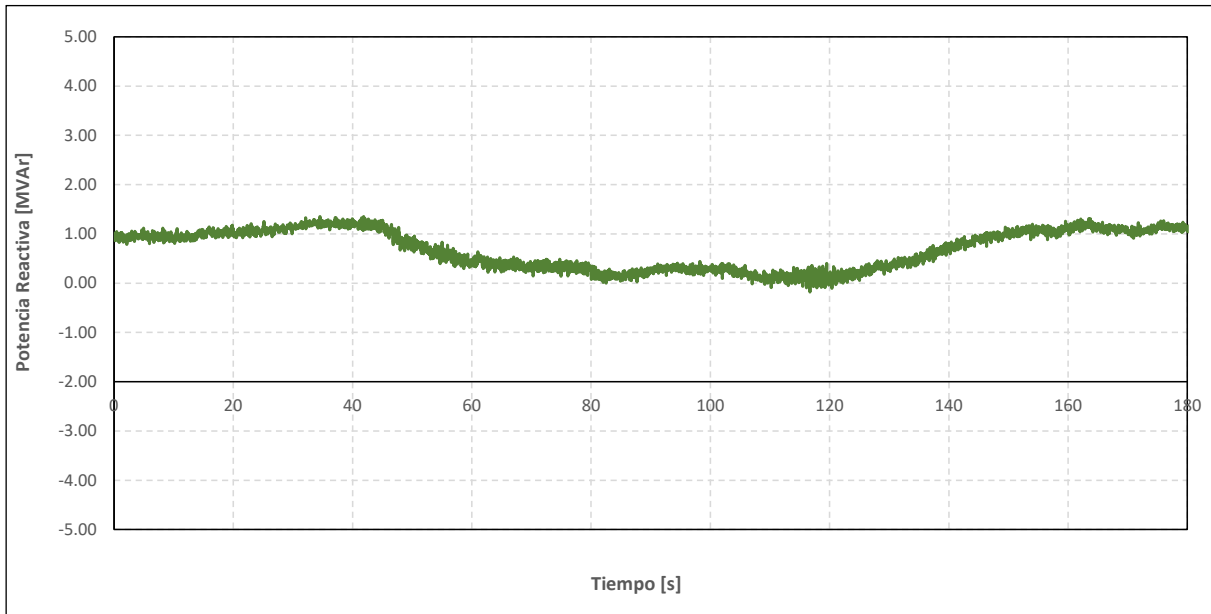
Se realizaron ensayos para verificar la respuesta de la central ante el arranque en frío de sus unidades. Con la unidad en estado de apagado, se le dio la orden de partida hasta mínimo técnico, para luego permanecer en esta condición por 60 minutos. Se midieron los tiempos involucrados en este proceso de partida para ambas unidades.

## 4. Resultados obtenidos

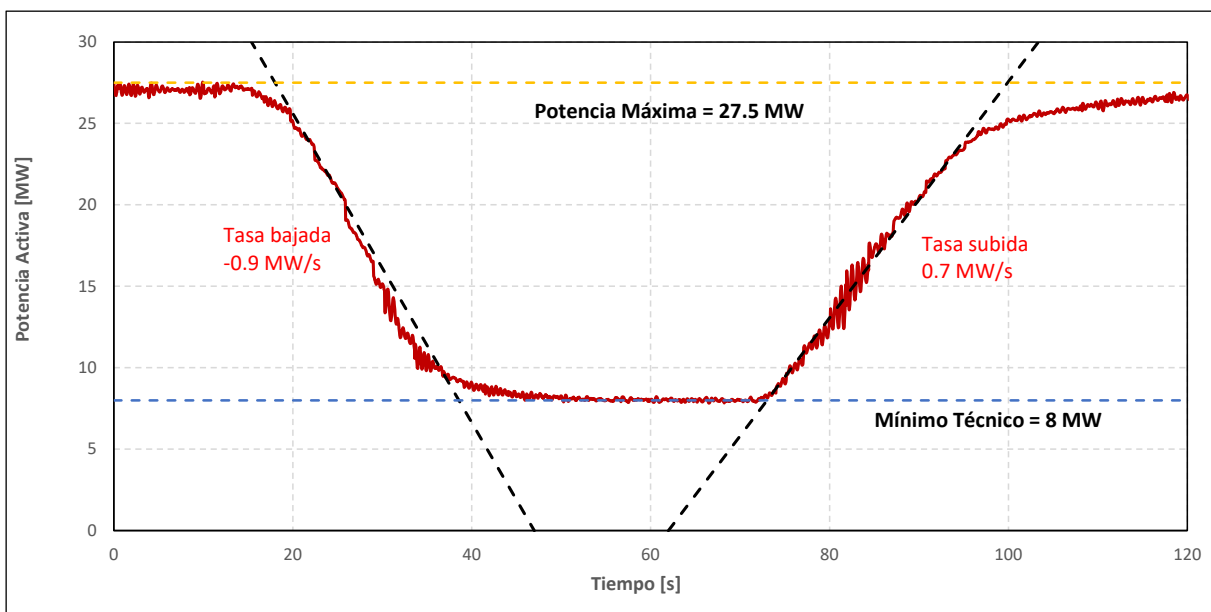
### 4.1. Control terciario de frecuencia en giro

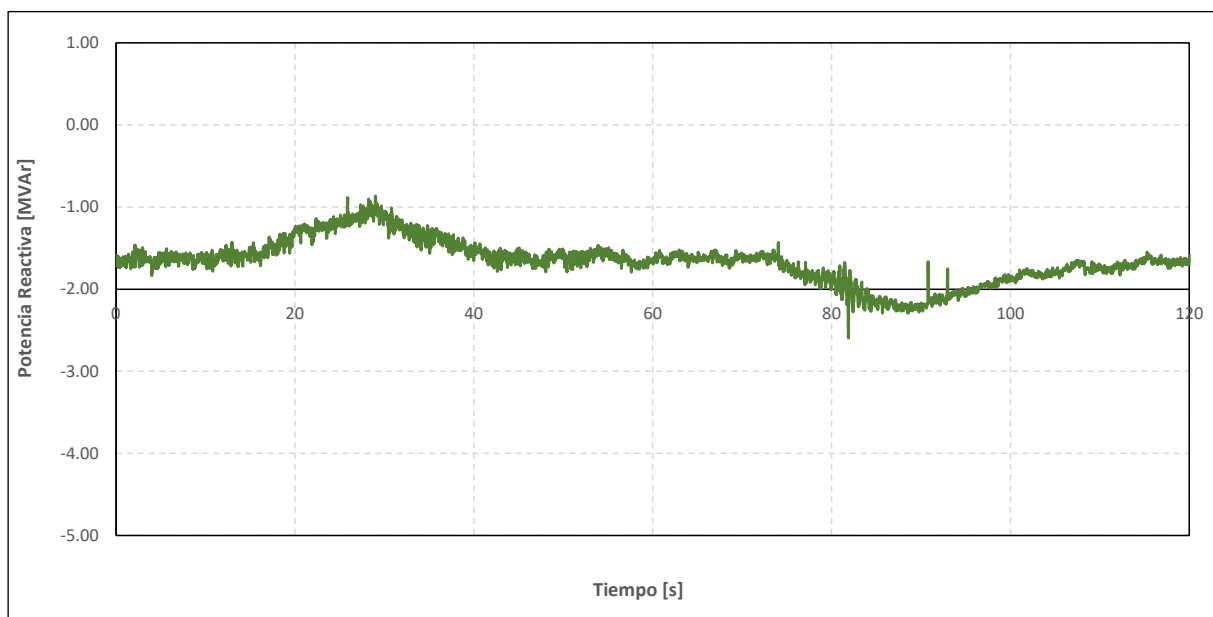
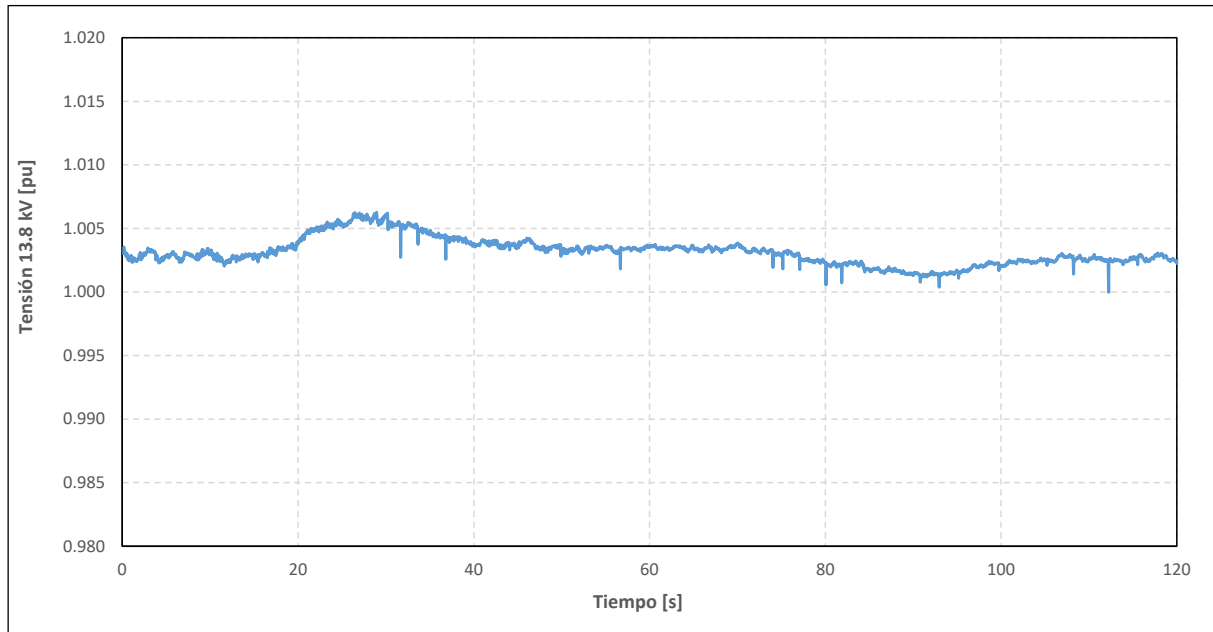
#### 4.1.1 Ajuste del limitador de potencia activa en 2%/s





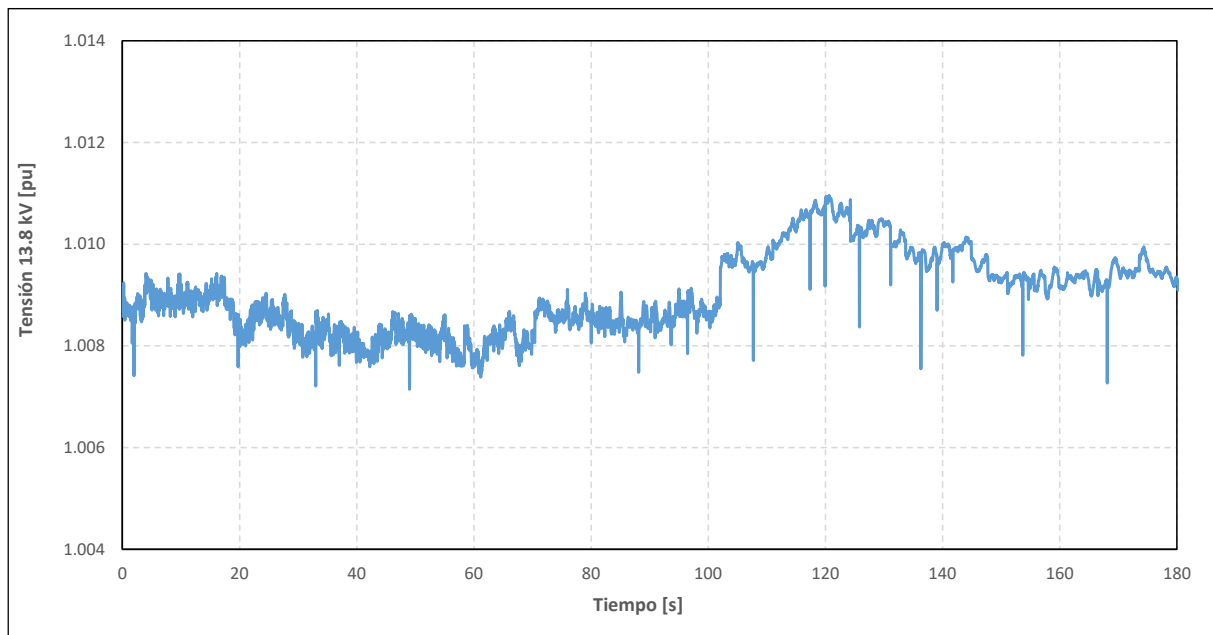
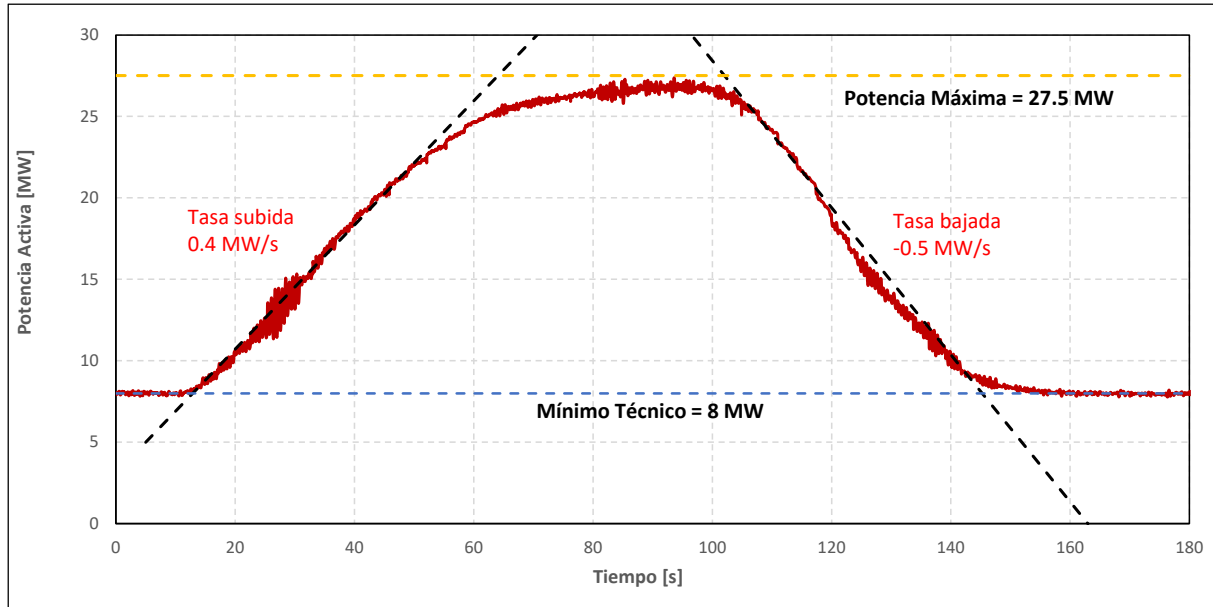
**Gráfico 10. Gradiente de incremento/reducción de carga para ajuste de 2%/s\_U1.**

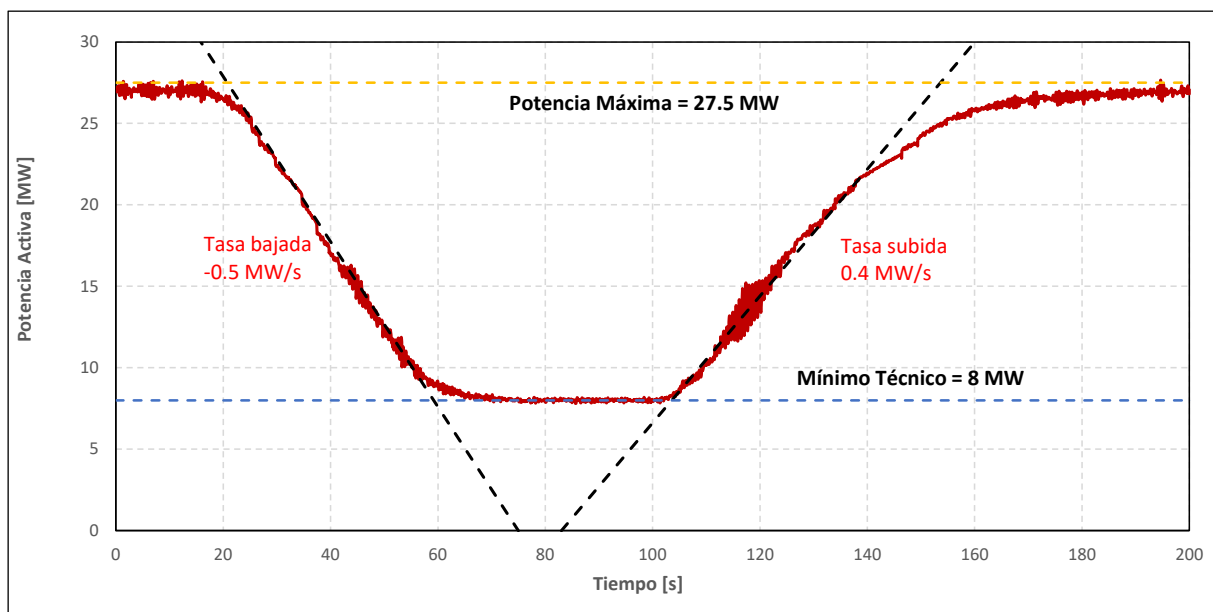
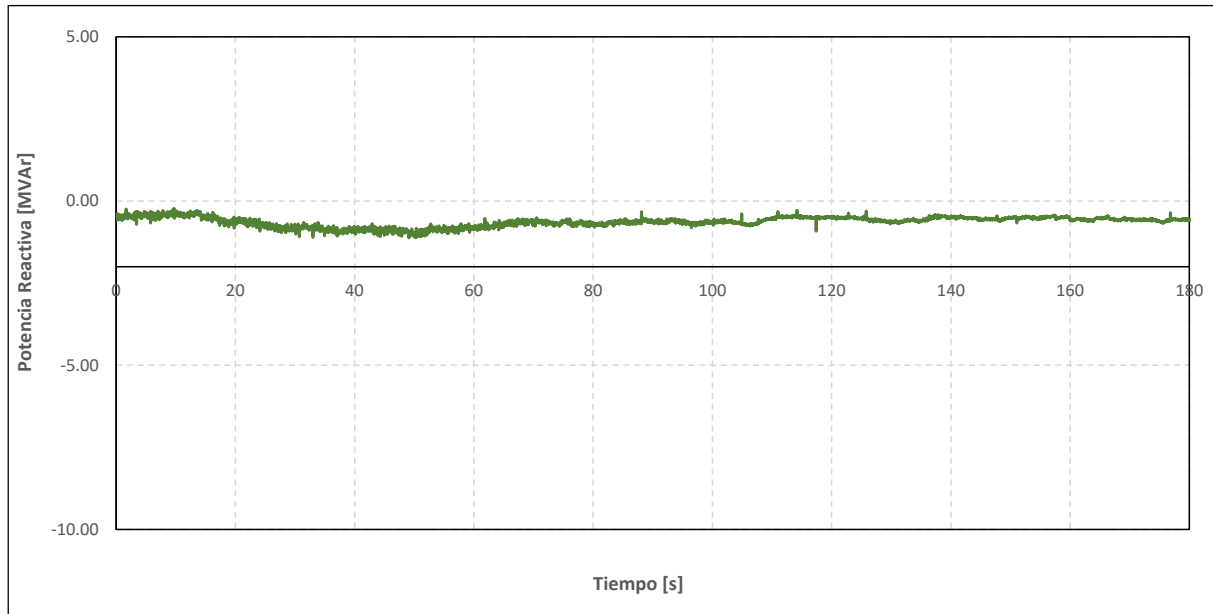


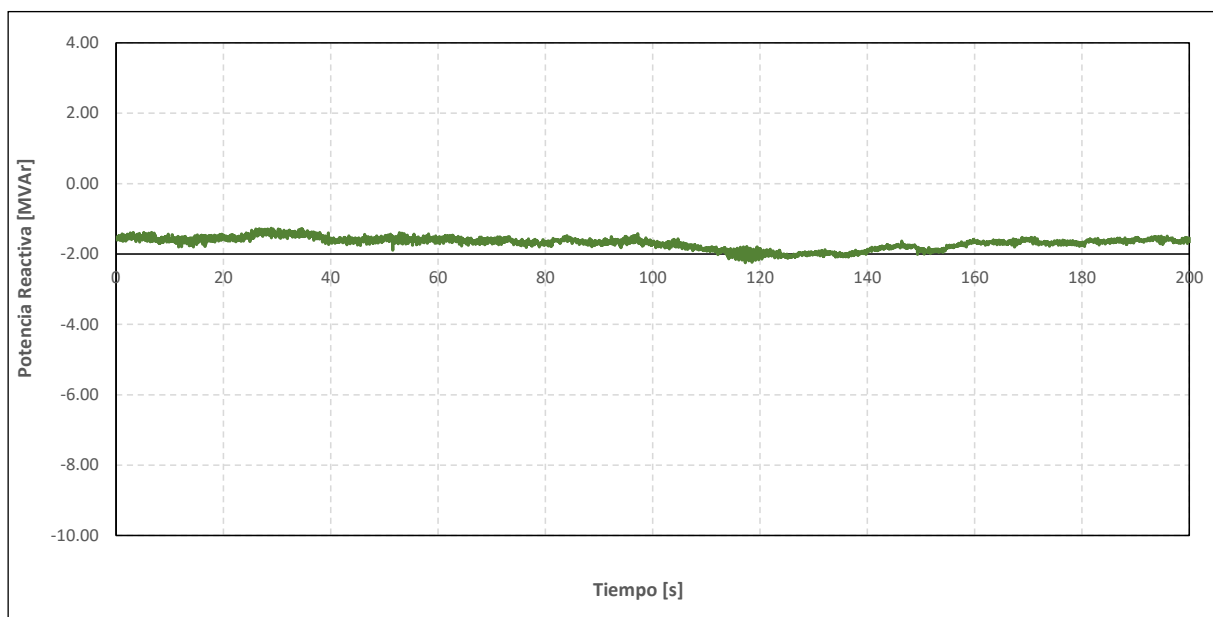
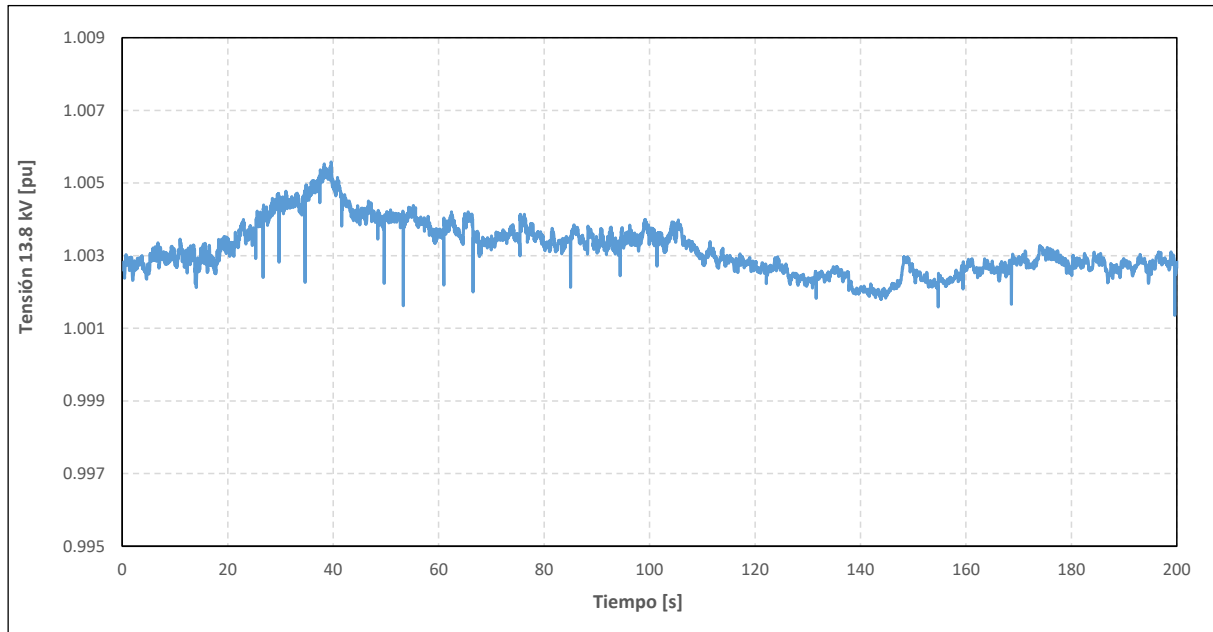


**Gráfico 11. Gradiente de incremento/reducción de carga para ajuste de 2%/s\_U2.**

#### 4.1.2 Ajuste del limitador de potencia activa en 1%/s

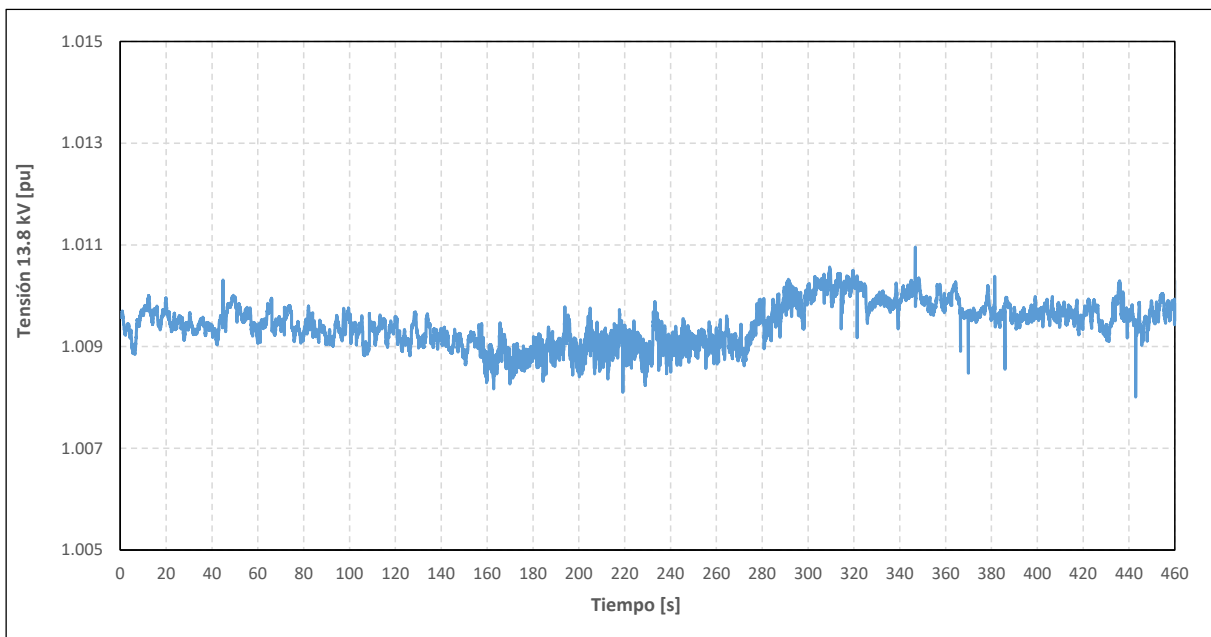
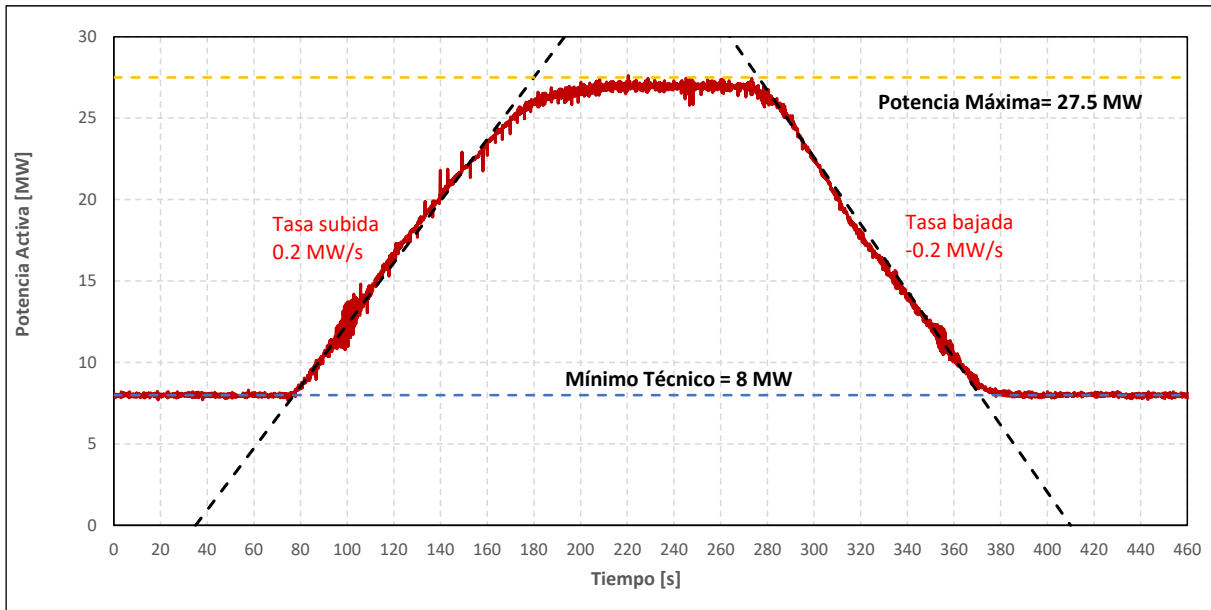




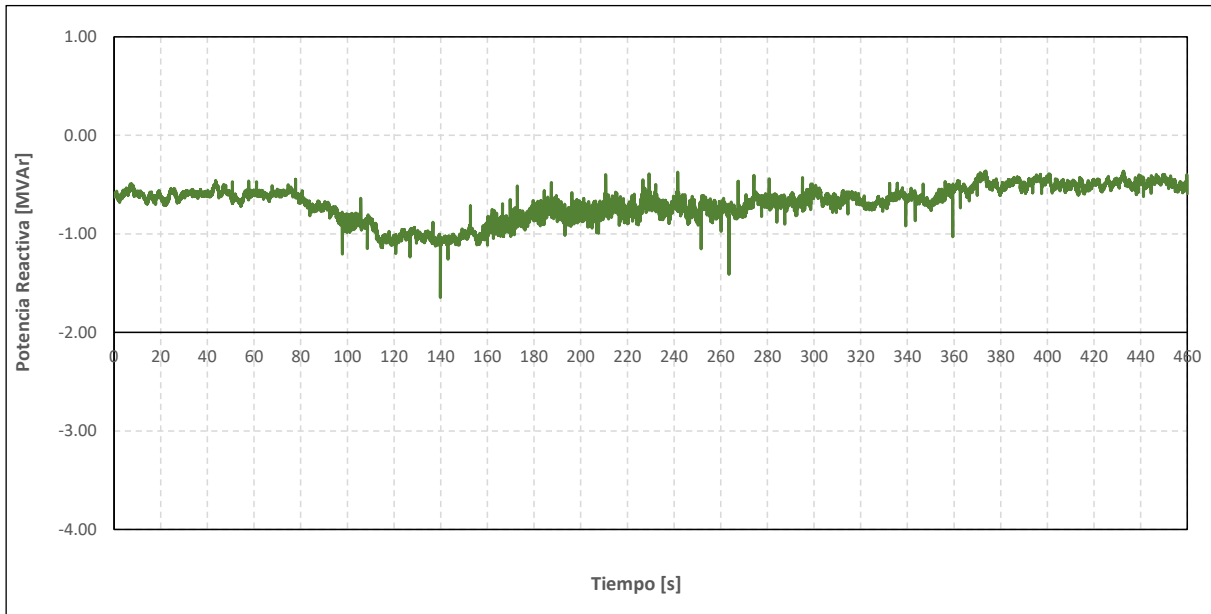


**Gráfico 13. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 1%/s\_U2.**

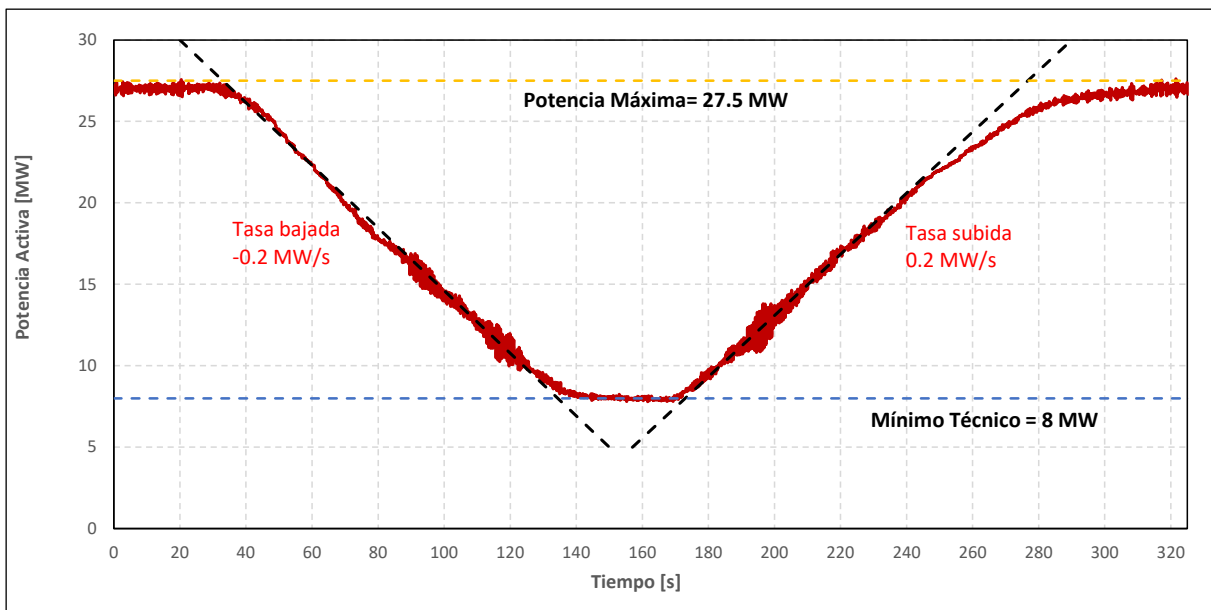
#### 4.1.3 Ajuste del limitador de potencia activa en 0.5%/s

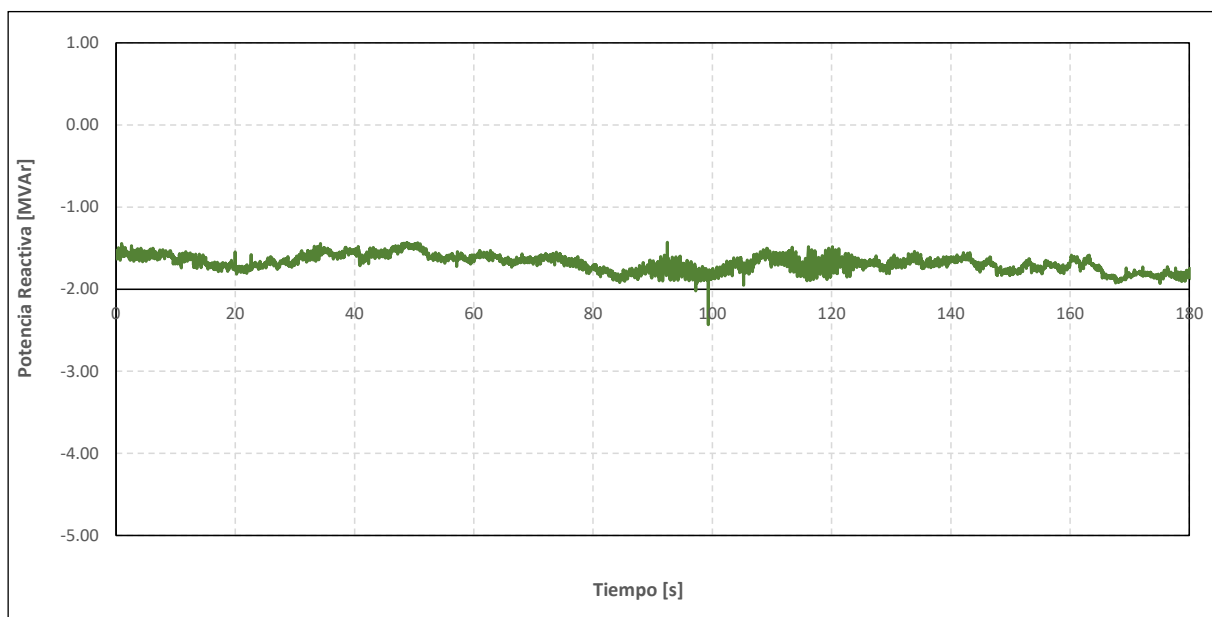
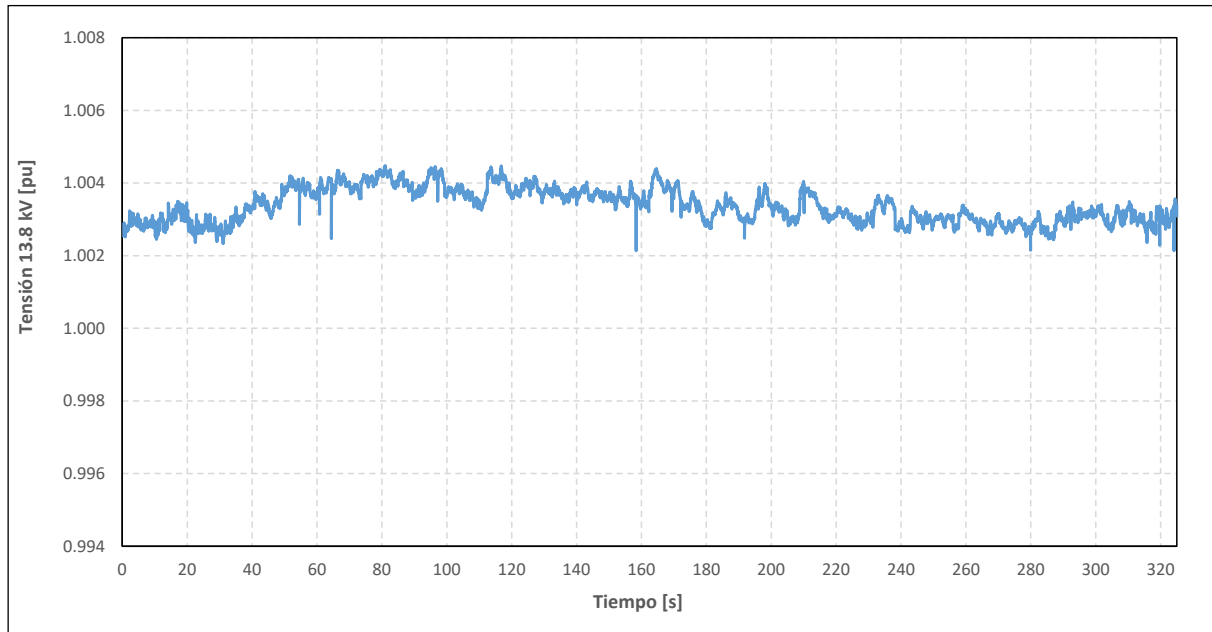






**Gráfico 14. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 0.5%/s\_U1.**



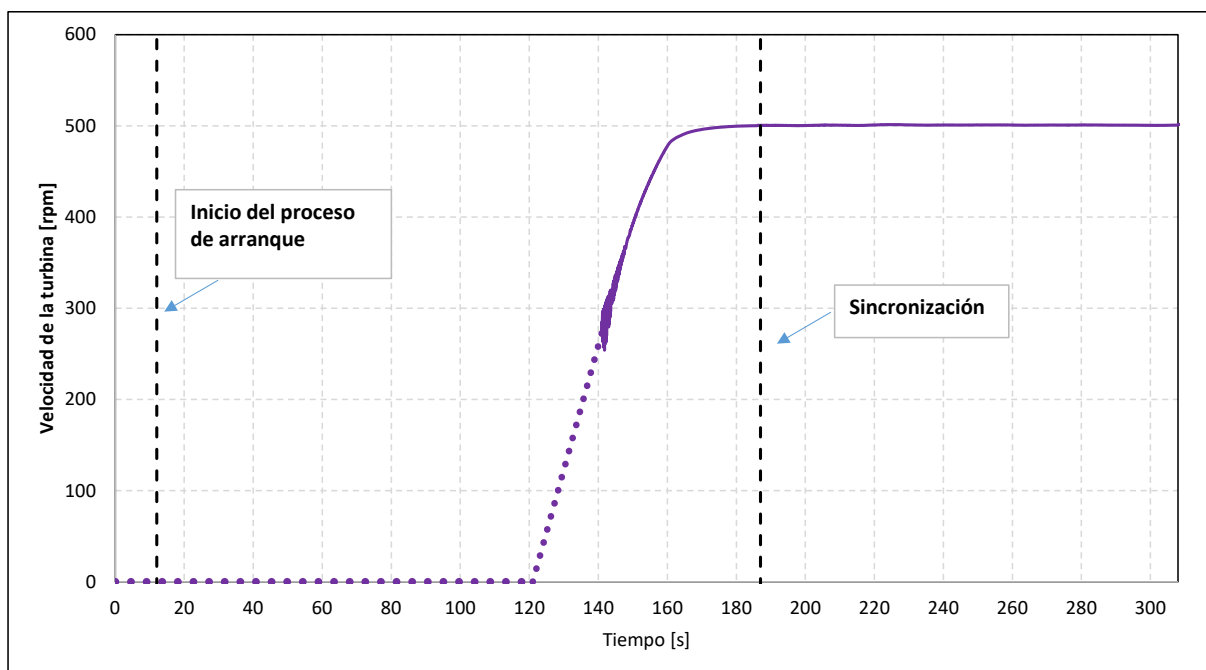
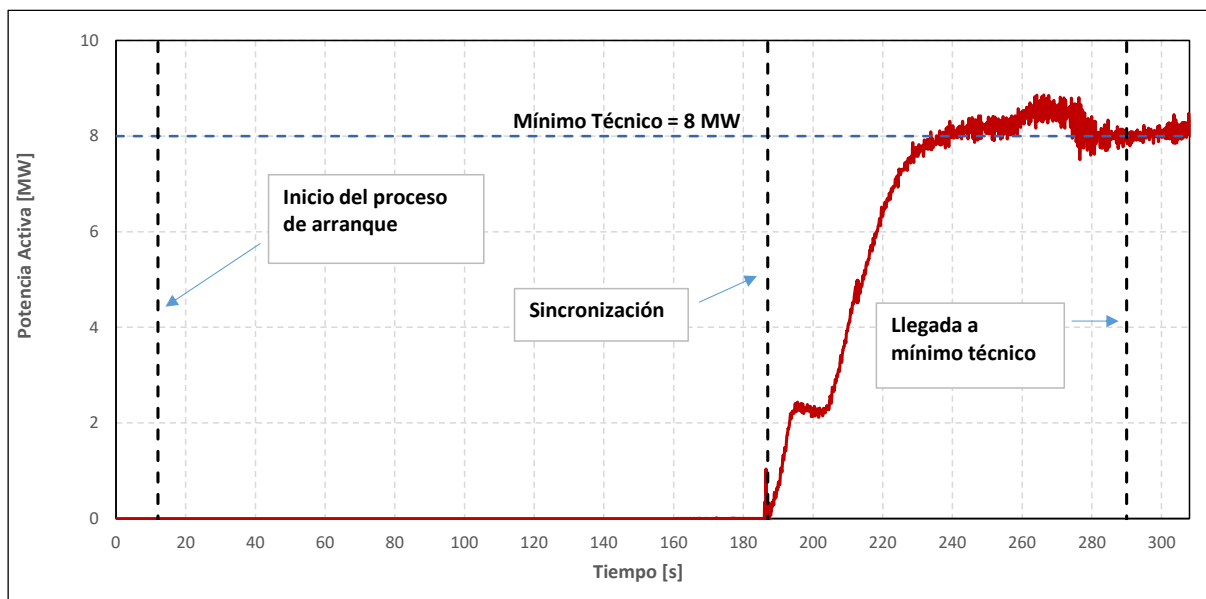


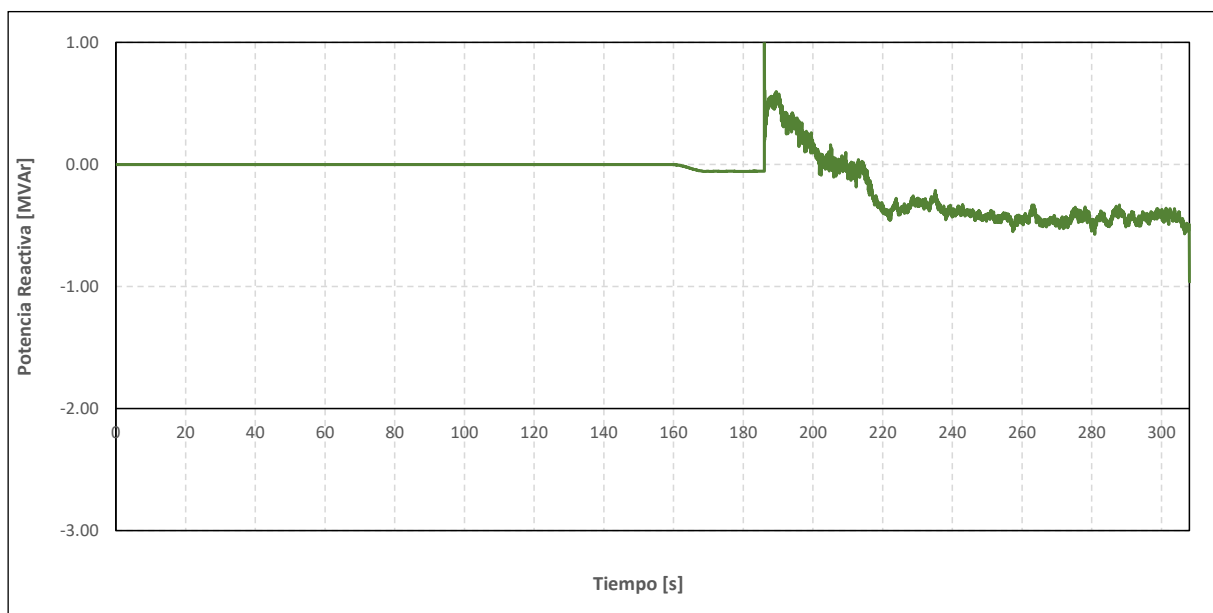
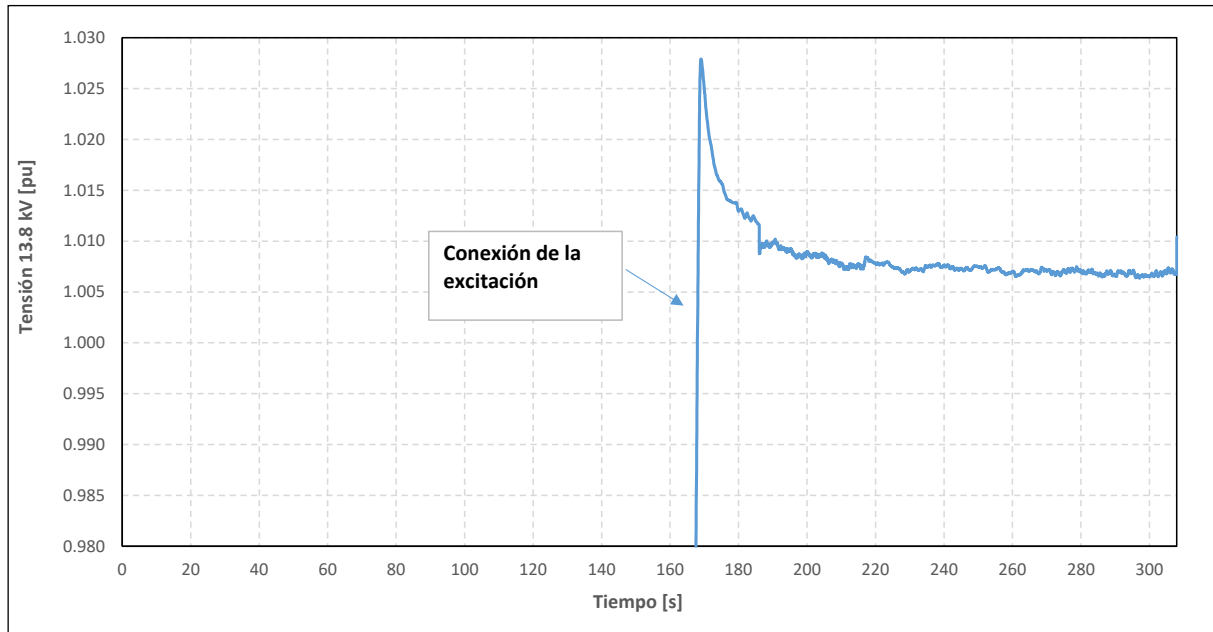
**Gráfico 15. Gradiente de incremento / reducción de carga para ajuste de 0.5%/s\_U2.**

## 4.2. Control terciario de frecuencia en frío

Se registró el arranque de las U1 y U2 desde el estado de apagado y hasta alcanzar el mínimo técnico, luego de lo cual, se mantuvo esta condición por un tiempo aproximado de 60 minutos como indica la guía de verificación de dicho servicio complementario. En los siguientes gráficos se muestran los resultados obtenidos.

### 4.2.1 Arranque en frío de la unidad U1





**Gráfico 16. Arranque en frío de U1.**

Los eventos y los tiempos asociados al proceso de arranque se muestran en las siguientes tablas:

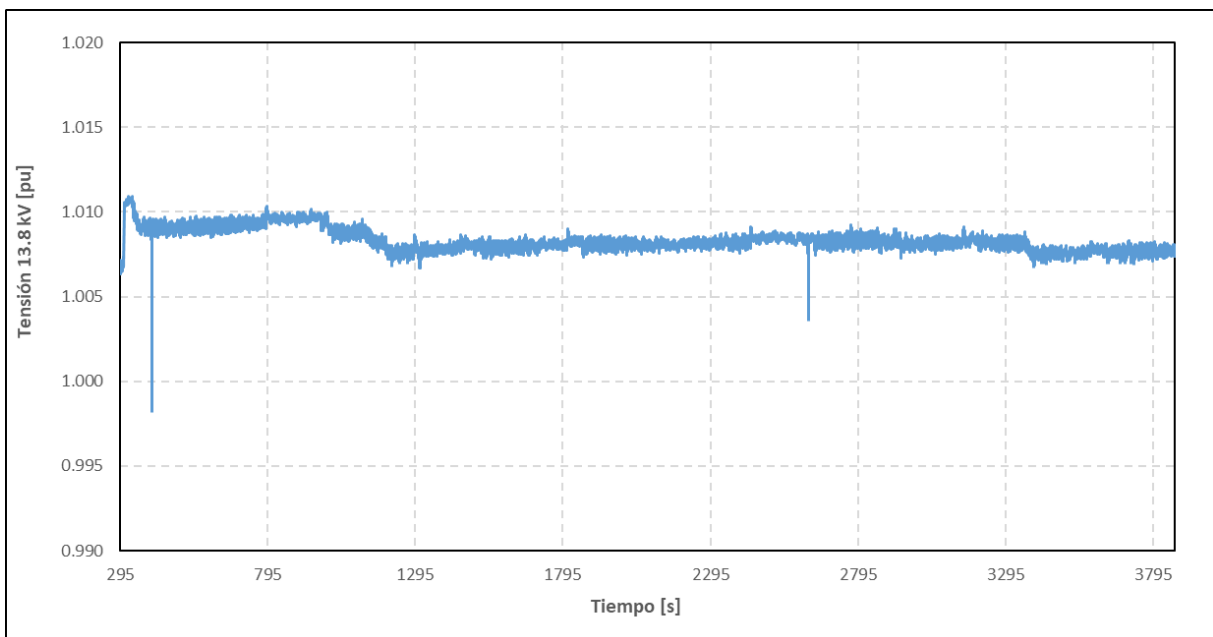
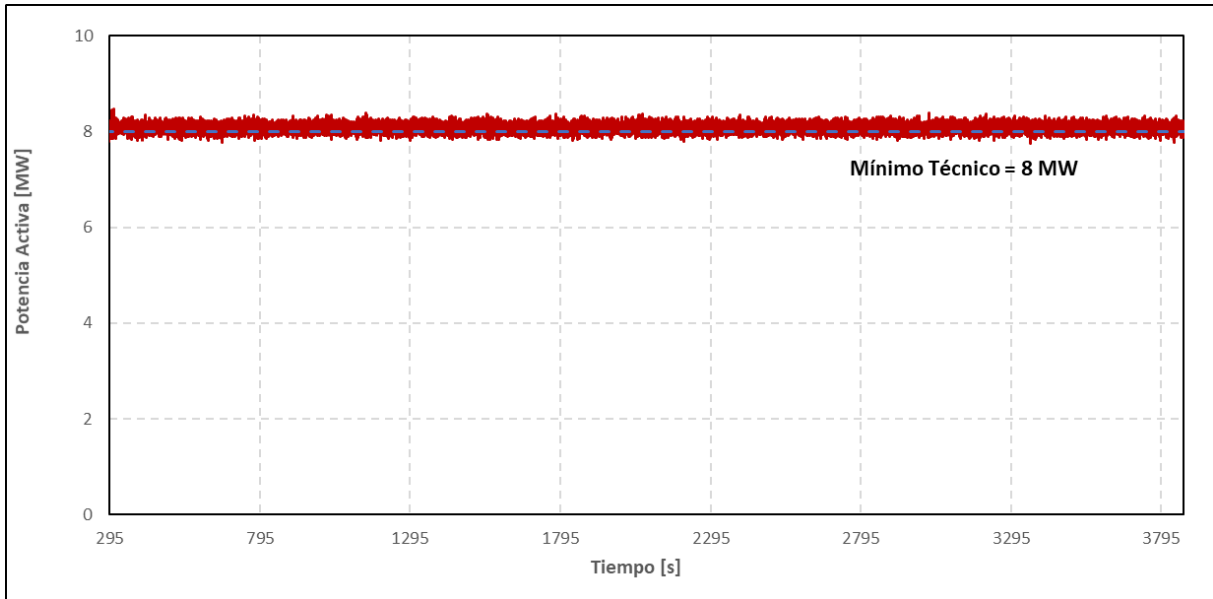
**Tabla 4. Eventos durante el proceso de arranque de U1.**

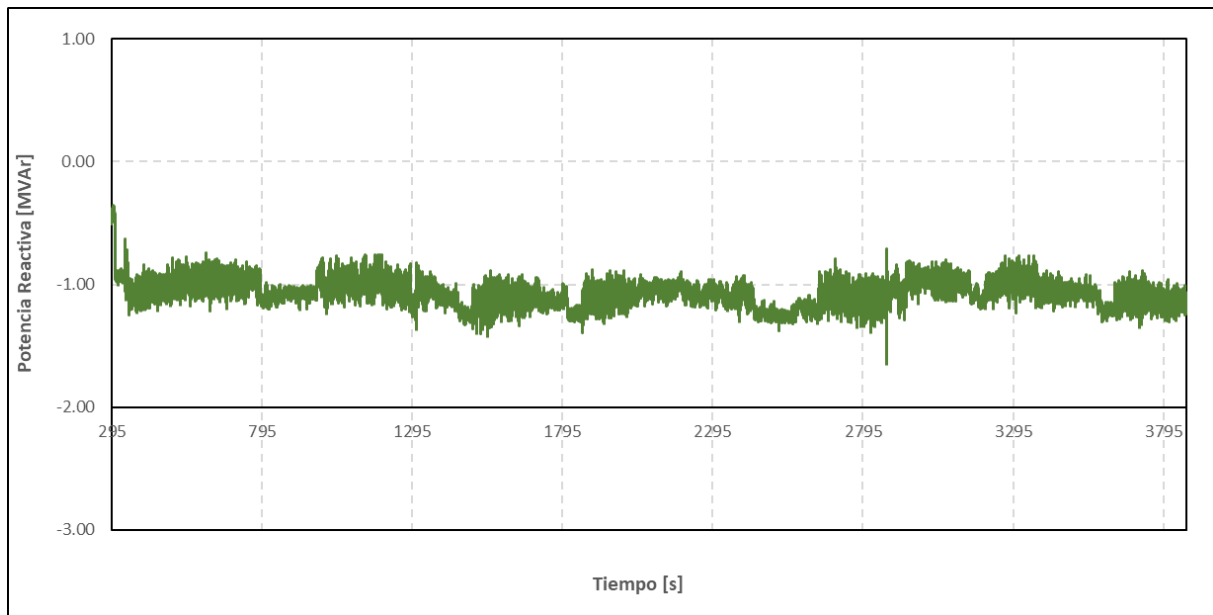
<b>Evento</b>	<b>Hora [hh:mm:ss]</b>	<b>*time [s]</b>
<b>Inicio del proceso de arranque</b>	12:58:26	12.04
<b>Conexión excitación</b>	01:00:30	135.52
<b>Unidad Sincronizada</b>	01:01:21	187.00
<b>Llegada a mínimo técnico</b>	01:03:04	290.00

**Tabla 5. Tiempos asociados al proceso de arranque de U1.**

<b>Tiempos de retardo</b>	<b>Duración [hh:mm:ss]</b>
<b>Desde arranque hasta sincronización</b>	00:02:55
<b>Desde la sincronización hasta mínimo técnico</b>	00:01:43
<b>Desde arranque hasta mínimo técnico</b>	00:04:38

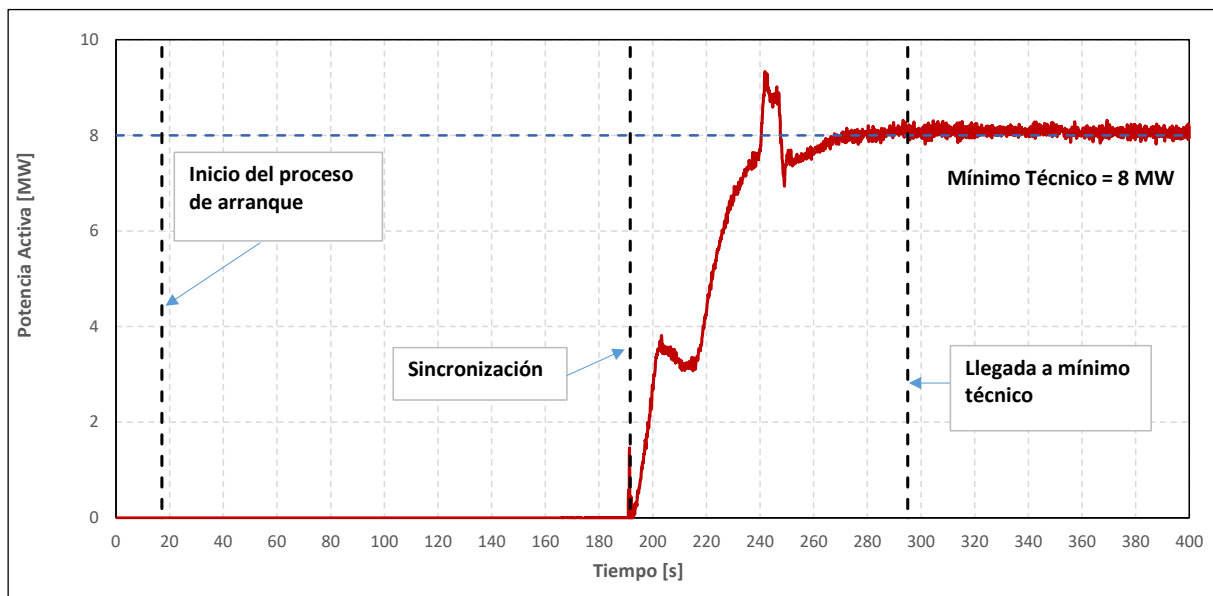
Luego del arranque y llegada a mínimo técnico se mantuvo esta condición operativa durante 60 minutos. La evolución temporal de las variables de interés es mostrada en los siguientes gráficos.

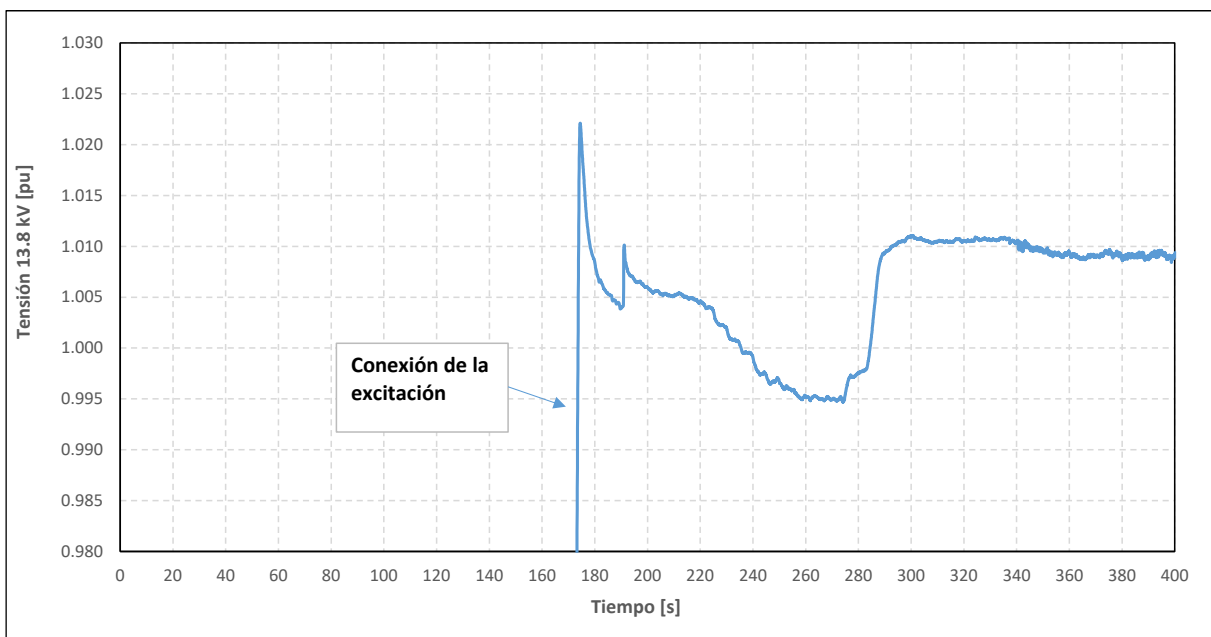
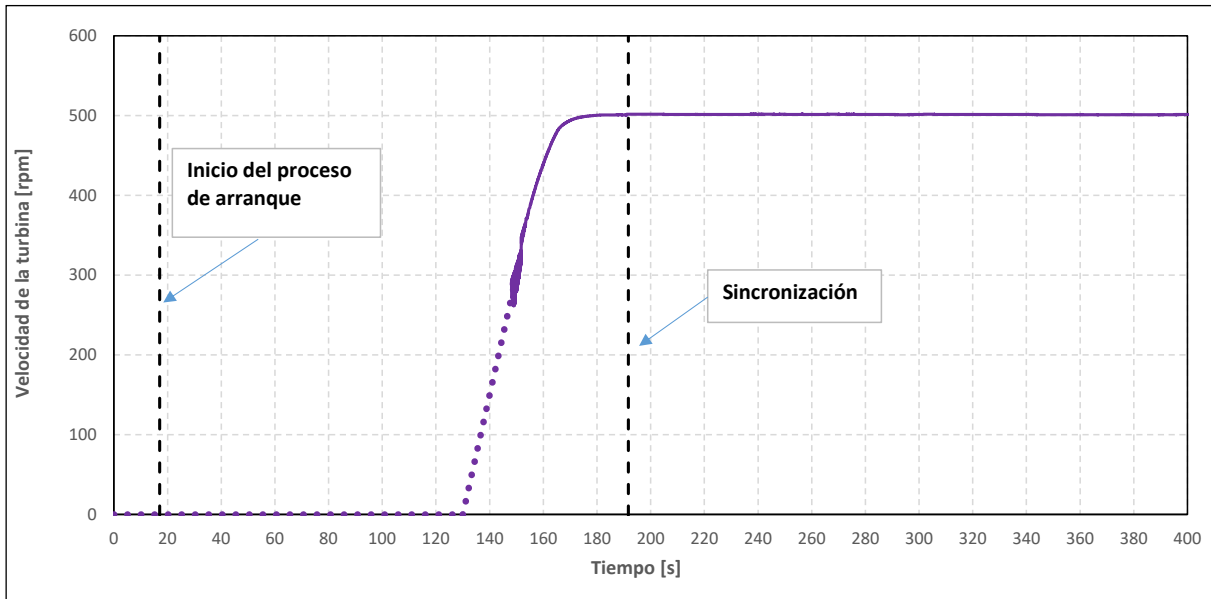




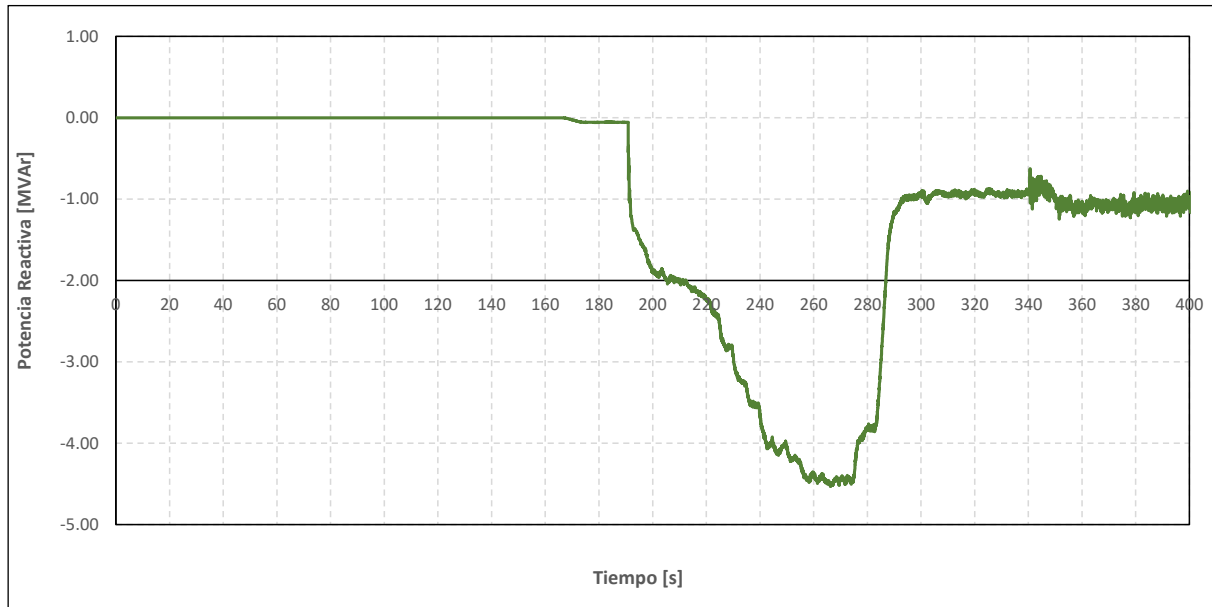
**Gráfico 17. Evolución temporal en mínimo técnico – U1.**

#### 4.2.2 Arranque en frío de la unidad U2









**Gráfico 18. Arranque en frío de U2.**

Los eventos y los tiempos asociados al proceso de arranque se muestran en las siguientes tablas:

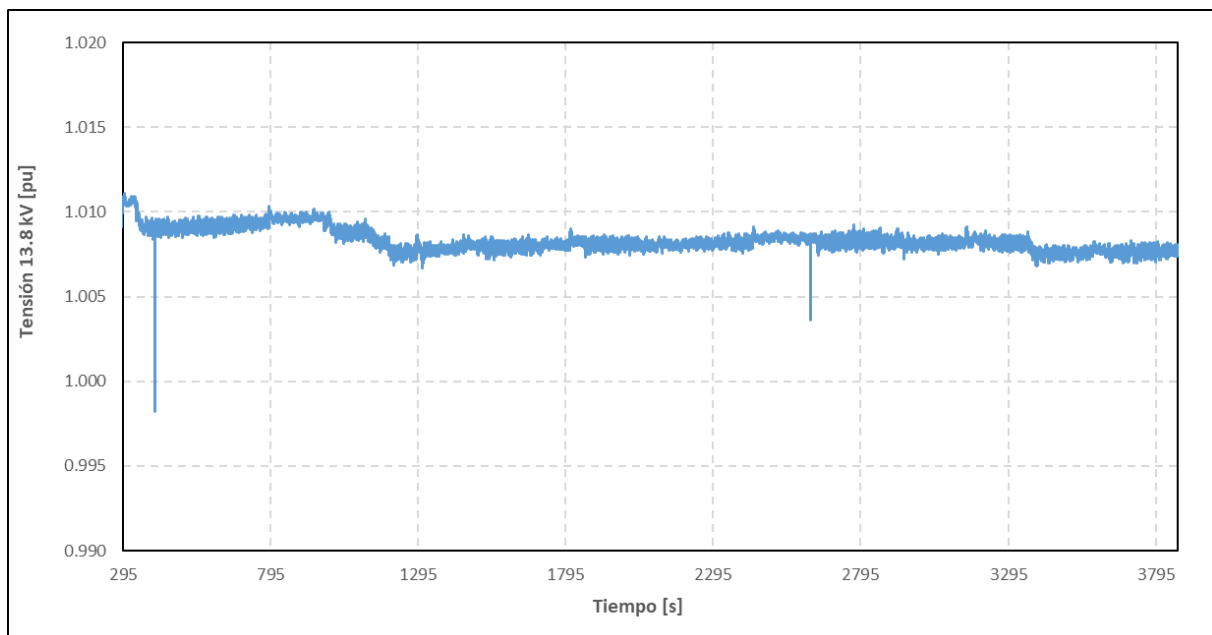
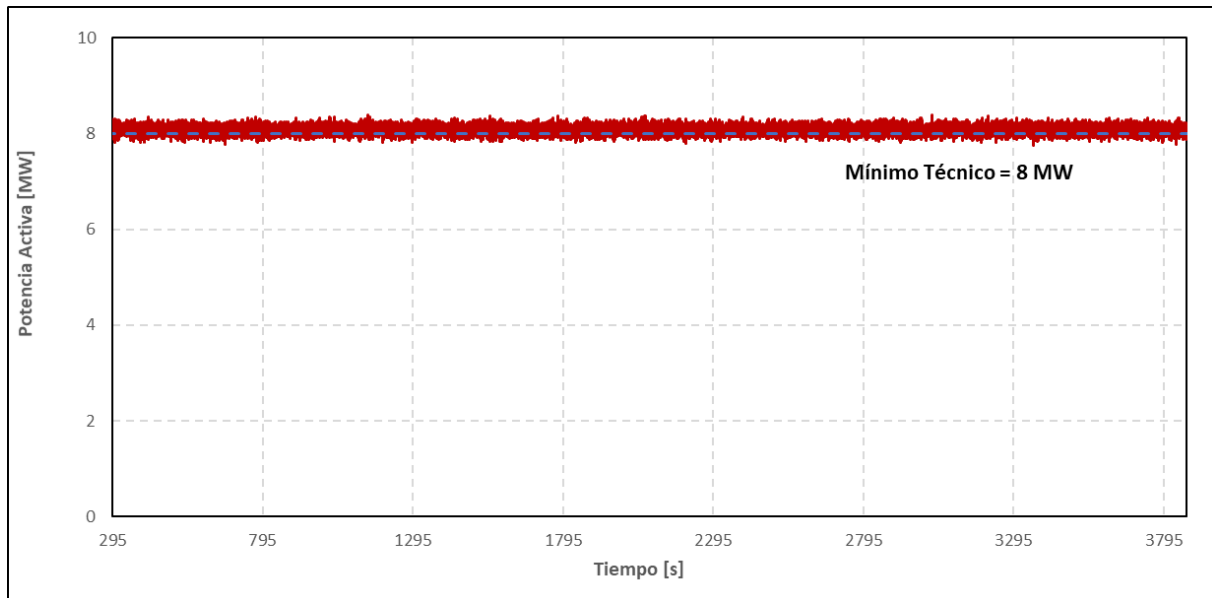
**Tabla 6. Eventos durante el proceso de arranque de U2.**

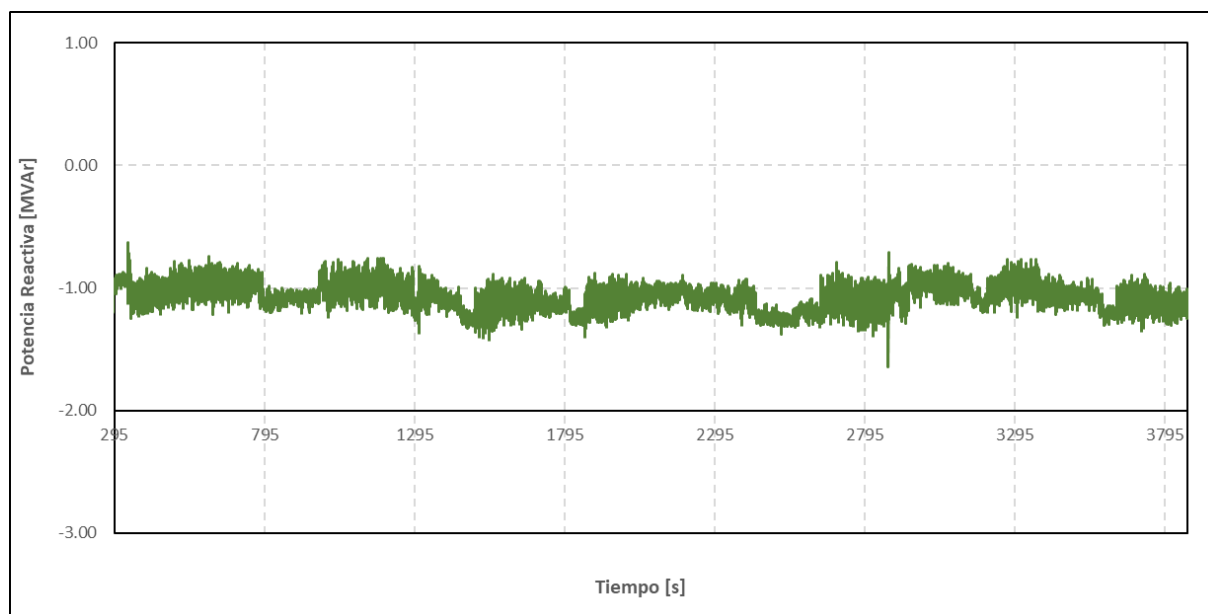
<b>Evento</b>	<b>Hora [hh:mm:ss]</b>	<b>*time [s]</b>
<b>Inicio del proceso de arranque</b>	01:38:43	17.08
<b>Conexión excitación</b>	01:40:41	135.52
<b>Unidad Sincronizada</b>	01:41:38	191.68
<b>Llegada a mínimo técnico</b>	01:43:22	295.0

**Tabla 7. Tiempos asociados al proceso de arranque de U2.**

<b>Tiempos de retardo</b>	<b>Duración [hh:mm:ss]</b>
<b>Desde arranque hasta sincronización</b>	00:02:56
<b>Desde la sincronización hasta mínimo técnico</b>	00:01:43
<b>Desde arranque hasta mínimo técnico</b>	00:04:39

Luego del arranque y llegada a mínimo técnico se mantuvo esta condición operativa durante 60 minutos. La evolución temporal de las variables de interés es mostrada en los siguientes gráficos.





**Gráfico 19. Evolución temporal en mínimo técnico – U2.**

## 5. Conclusiones

En relación a los ensayos realizados en campo descritos en el siguiente informe, se concluye que el resultado de las pruebas realizadas fue satisfactorio. Los ensayos llevados a cabo fueron ejecutados de acuerdo al protocolo confeccionado y a los requerimientos de la Norma Técnica.

- Se probaron distintas pendientes de toma y reducción de carga tomando acción sobre el limitador del control de potencia activa. El control de potencia respondió de forma adecuada y estable.
- Se probó el arranque en frío de las unidades desde el estado de apagado hasta llegar a mínimo técnico, conservando esta condición por 60 minutos.
- Se verificó la capacidad de las unidades de sincronizar desde el estado de apagado y alcanzar si estado de mínimo técnico en un tiempo inferior a 15 minutos permanecer en esta condición operativa por 60 minutos.
- Se verificó que el retardo desde la orden de partida y la sincronización de las unidades es inferior a 5 minutos.
- De lo anterior se verifica que la CH Mampil es apta para prestar servicios de control terciario de frecuencia en giro y en frío.

## ANEXO 1

### 1. Información técnica

#### 1.1. Generador

<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>	<b>U1 y U2</b>	<b>Unidad</b>
Sn	Potencia aparente nominal	29	MVA
Un	Tensión nominal	13.8	kV
fp	Factor de potencia	0.85	---
Xd	Reactancia sincrónica eje directo	1.02	pu
Xq	Reactancia sincrónica eje cuadratura	0.68	pu
X'd	Reactancia transitoria eje directo	0.36	pu
X'q	Reactancia transitoria eje cuadratura	-	pu
X''d	Reactancia subtransitoria eje directo	0.29	pu
X''q	Reactancia subtransitoria eje cuadratura	0.29	pu
T'do	Constante de tiempo transitoria de circuito abierto eje directo	8.99	s
T'qo	Constante de tiempo transitoria de circuito abierto eje cuadratura	-	s
T''do	Constante de tiempo subtransitoria de circuito abierto eje directo	0.024	s
T''qo	Constante de tiempo subtransitoria de circuito abierto eje cuadratura	0.046	s
X2	Reactancia inversa	0.29	pu
X0	Reactancia homopolar	0.10	pu
Xl	Reactancia de dispersión	0.14	pu
S1.0	Factor de saturación para 1 pu	0.158	pu
S1.2	Factor de saturación para 1.2 pu	0.409	pu
H	Constante de inercia (Turbina + Generador)	2.9	s

**Gráfico 20. Parámetros eléctricos del generador U1 y U2.**

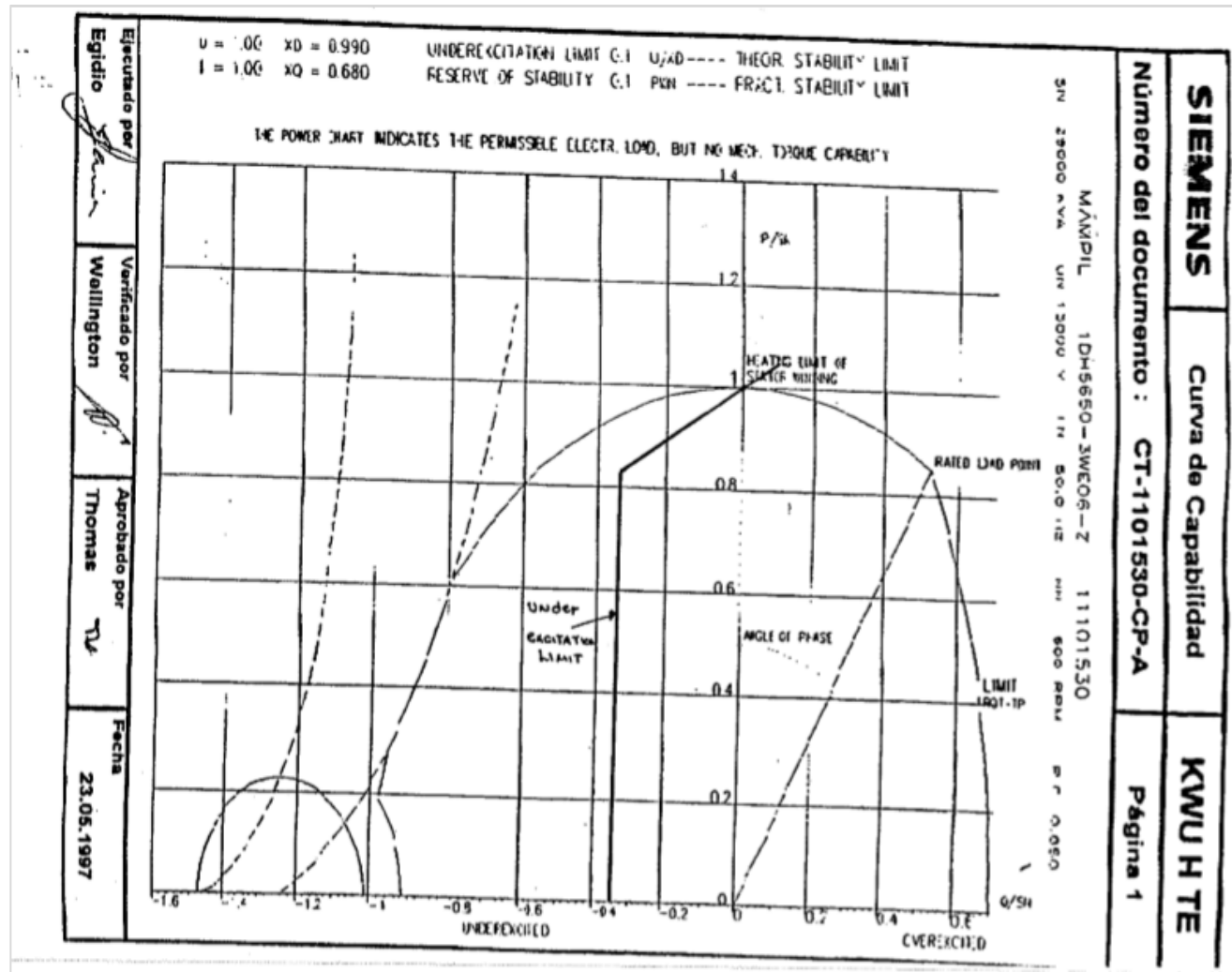


Gráfico 21. Curva de capacidad de la unidad U1.

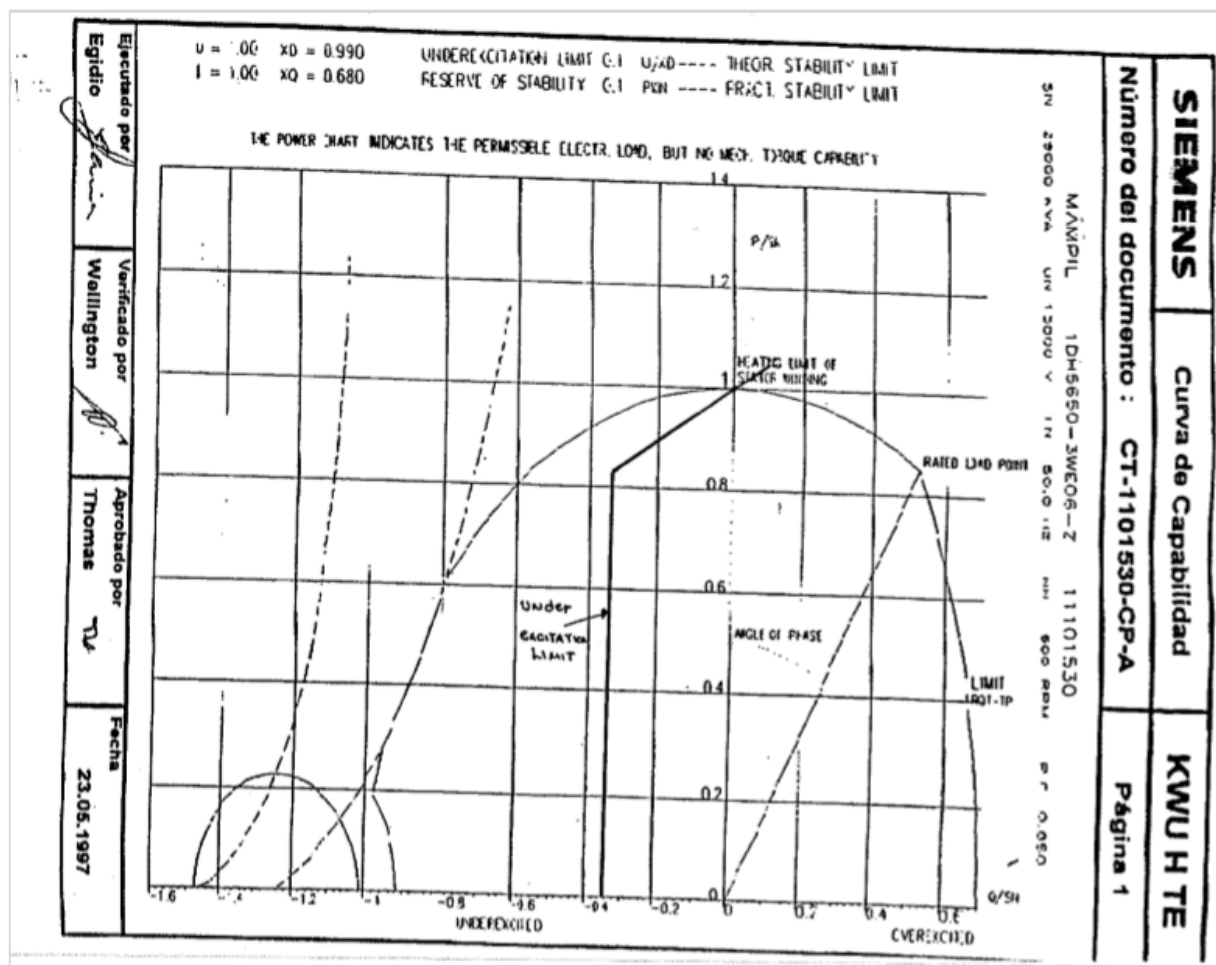
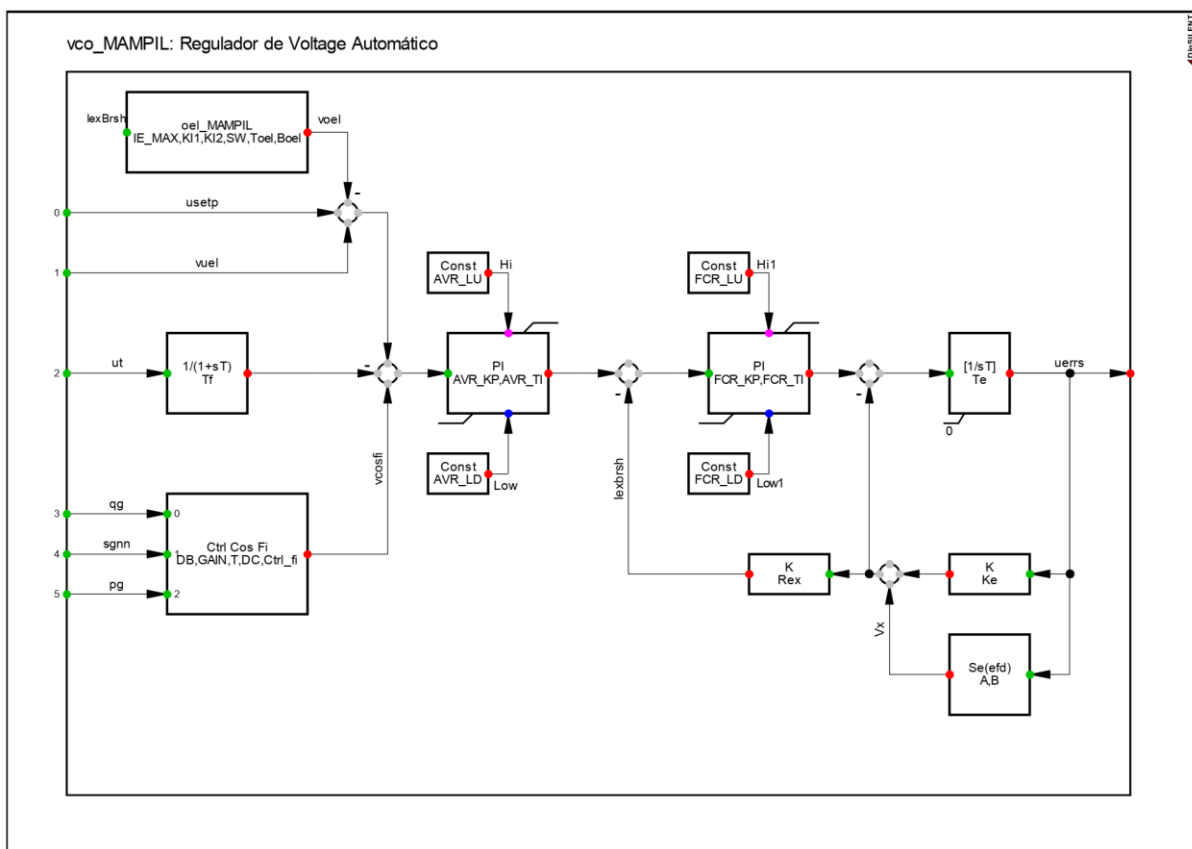


Gráfico 22. Curva de capacidad de la unidad U2.

## 1.2. Regulador de tensión

TAG	Descripción	U1	U2	Unidad
Tf	Constante de tiempo filtro ETERM	0.050	0.050	s
AVR_KP	Constante proporcional del AVR	7.245	6.887	pu
AVR_TI	Constante de tiempo del AVR	0.347	0.261	s
AVR_LU	Límite superior del AVR	2.88/4.1	1.63/3.98 <sup>1</sup>	pu
AVR_LD	Límite inferior del AVR	-2.137	-1.215	pu
FCR_KP	Constante proporcional del FCR	1.518	1.717	pu
FCR_TI	Constante de tiempo del FCR	0.345	0.296	s
FCR_LU	Límite superior del FCR	4.1008	3.980	pu
FCR_LD	Límite inferior del FCR	-4.1008	-3.980	pu
Rex	Resistencia de la excitatriz	1.0	1.0	pu
Te	Constante de tiempo de la excitatriz	1.5	1.5	s
Ke	Ganancia excitatriz	1.0	1.0	pu
A	Parámetro de saturación excitatriz	5.15e-6	5.15e-6	pu
B	Parámetro de saturación excitatriz	4.128	4.128	pu

**Gráfico 23. Tabla de parámetros del regulador de tensión de U1 y U2.**

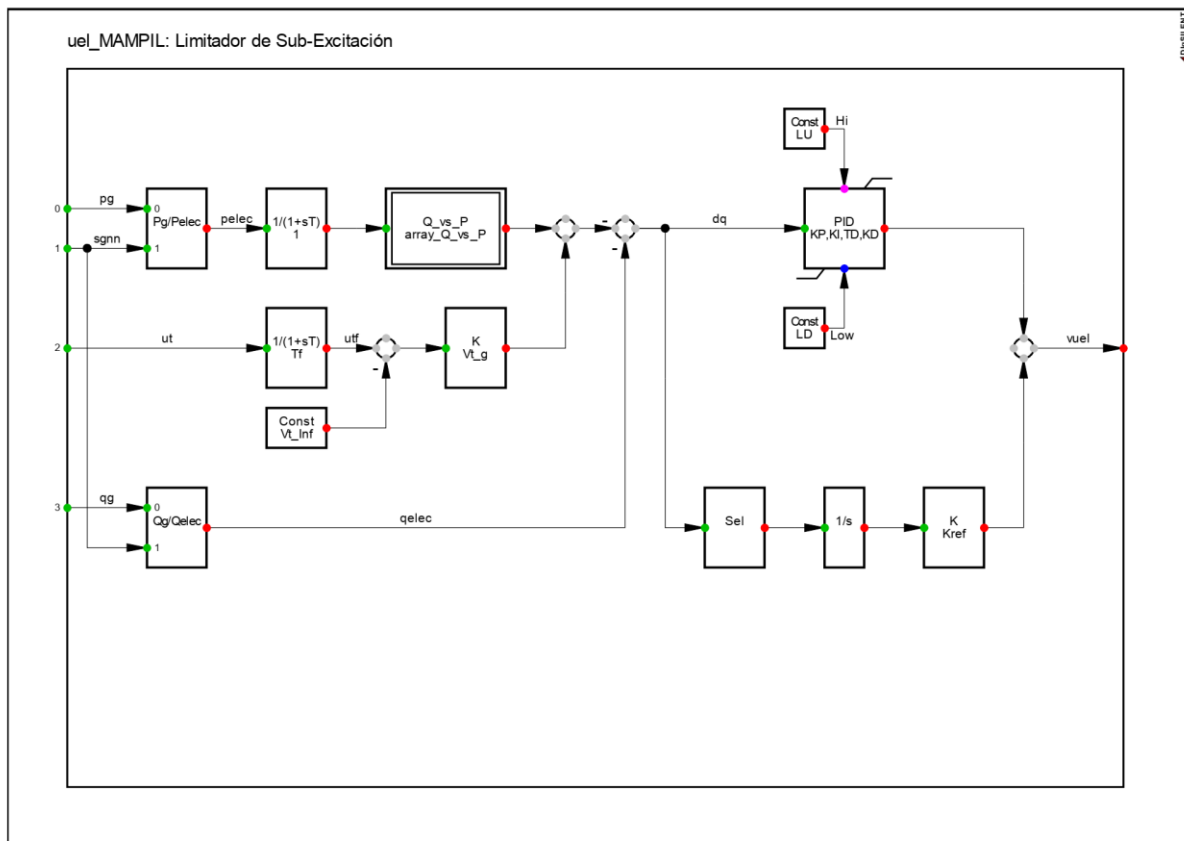


**Gráfico 24. Diagrama en bloques del AVR – PowerFactory.**

### 1.3. Limitador de subexcitación

TAG	Descripción	U1	U2	Unidad
Tf	Constante de tiempo filtro Vt (tensión del generador)		3	s
Vt_Inf	Influencia de Vt		1	pu
Vt_g	Ganancia de Vt		0.5	pu
KP	Constante proporcional del UEL		3	pu
KI	Constante de tiempo integral del UEL		3.6	s
KD	Ganancia derivativa del UEL		0.4	pu
TD	Constante de tiempo derivativa del UEL		0.15	s
LU	Límite superior del UEL		Inf	pu
LD	Límite inferior del UEL		0	pu
Kref	Ganancia del ajuste de referencia	1/250	1/250	pu
P	Tabla de limitación eje P	[0.00 0.827 1.0]		pu
Q	Tabla de limitación eje Q	[0.345 0.345 0.00]		pu

**Gráfico 25. Tabla de parámetros del limitador UEL U1 y U2.**



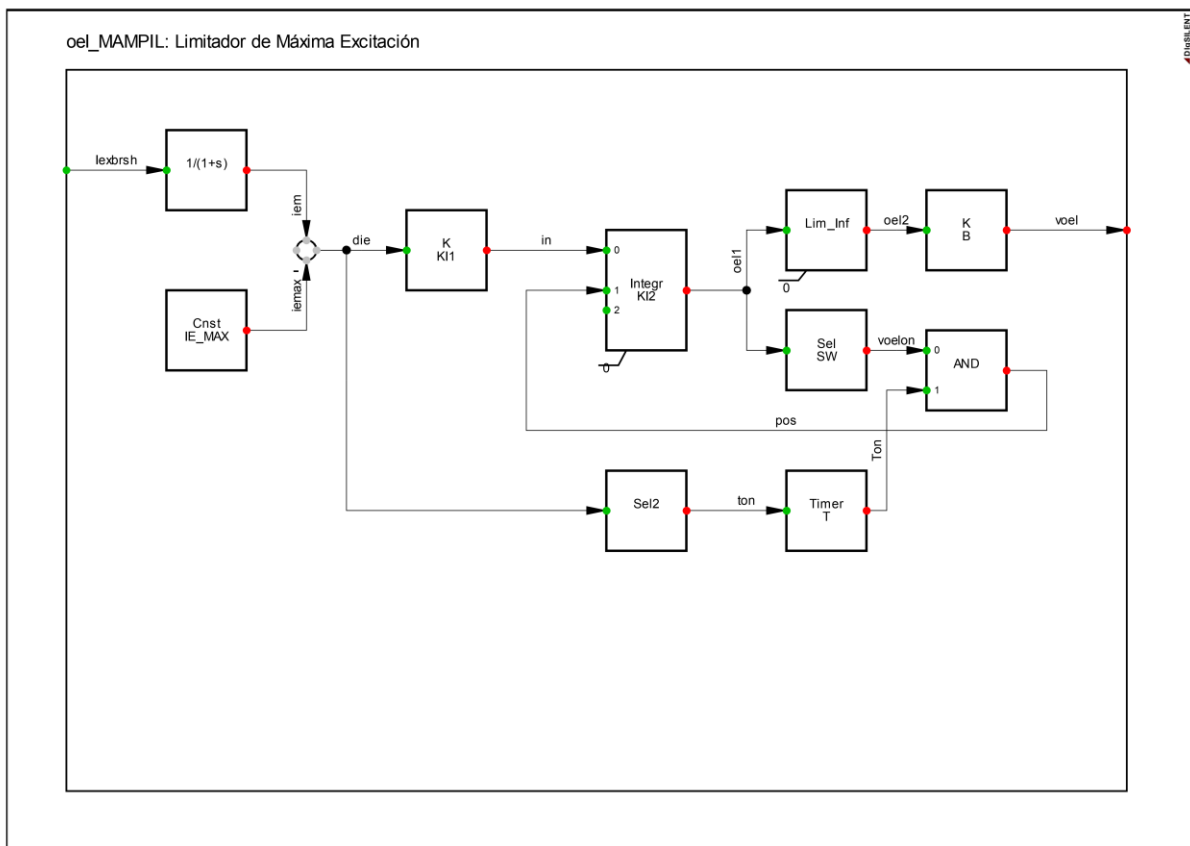
**Gráfico 26. Diagrama en bloques del Limitador UEL – PowerFactory.**



### 1.4. Limitador de sobre excitación

<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>	<b>U1</b>	<b>U2</b>	<b>Unidad</b>
IE MAX	Corriente de excitación máxima (Excitatriz)	3.775	3.87	pu
KI1	Contante integradora 1	31.5		pu
KI2	Contante integradora 2	0		pu
SW	Histéresis	0.015		pu
T	Tiempo del Timer	10		s
B	Ganancia	$0.5 \times 10^{-3}$		pu

**Gráfico 27. Tabla de parámetros del limitador OEL U1 y U2.**

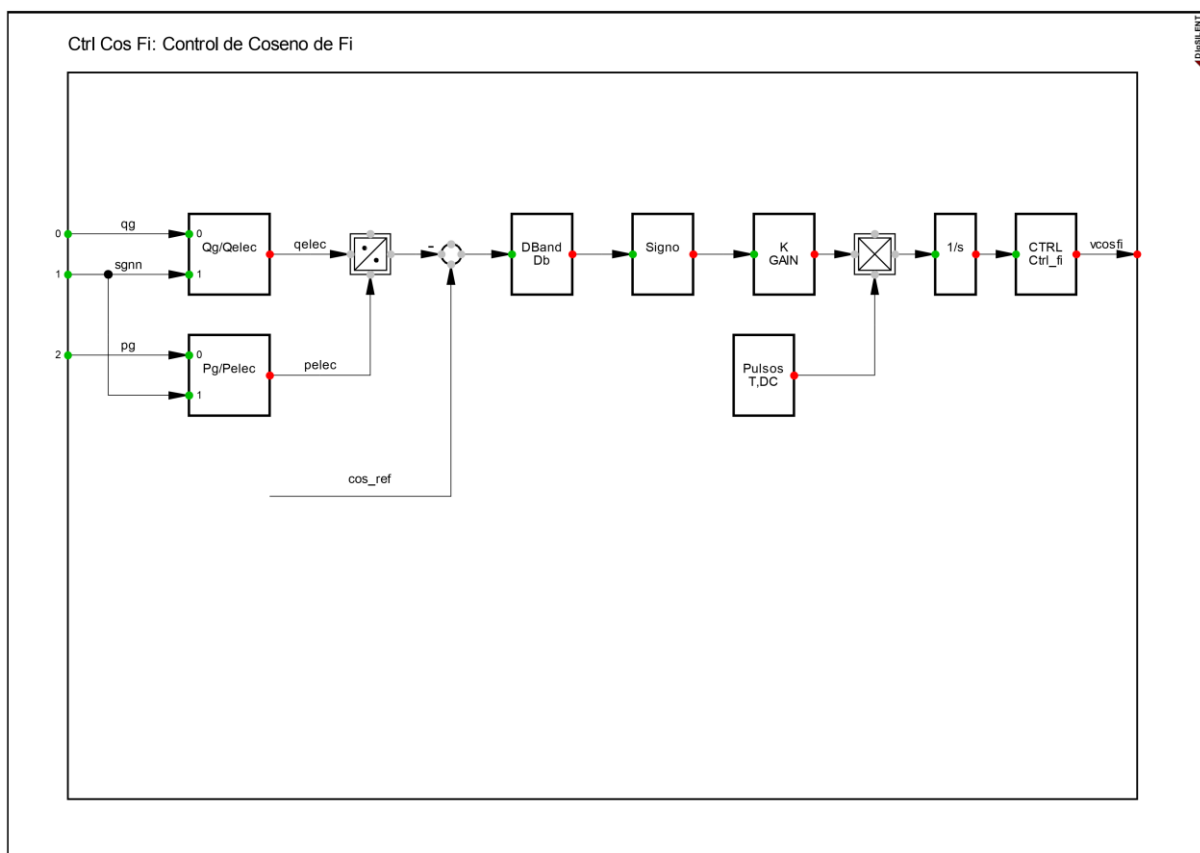


**Gráfico 28. Diagrama en bloques del limitador de OEL – PowerFactory.**

### 1.5. Control de $\cos \Phi$

<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>	<b>U1 y U2</b>	<b>Unidad</b>
DB	Banda Muerta	0.01	pu
GAIN	Ganancia del Controlador	1/13.8	pu
T	Período del generador de pulsos	2.4	s
DC	Porcentaje activo del ciclo	0.833	%

**Gráfico 29. Tabla de parámetros del modelo del control de  $\cos \Phi$  U1 y U2.**



**Gráfico 30. Diagrama en bloques del control de  $\cos \Phi$  – PowerFactory.**

### 1.6. Transformadores de unidad

En los siguientes gráficos se muestra la placa característica de los transformadores de unidad de los generadores:

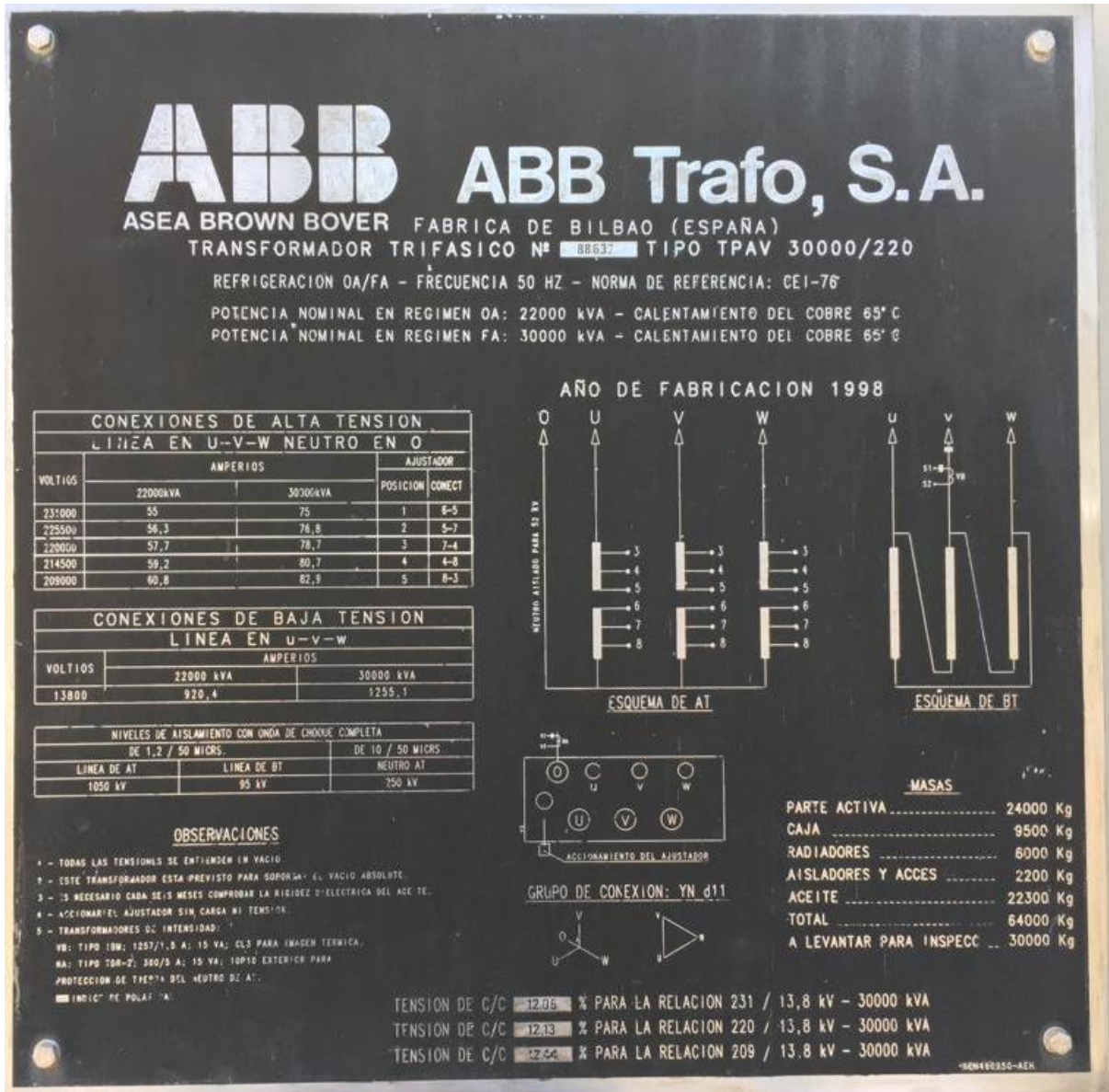


Tabla 8. Placa característica del transformador de unidad del generador U1.

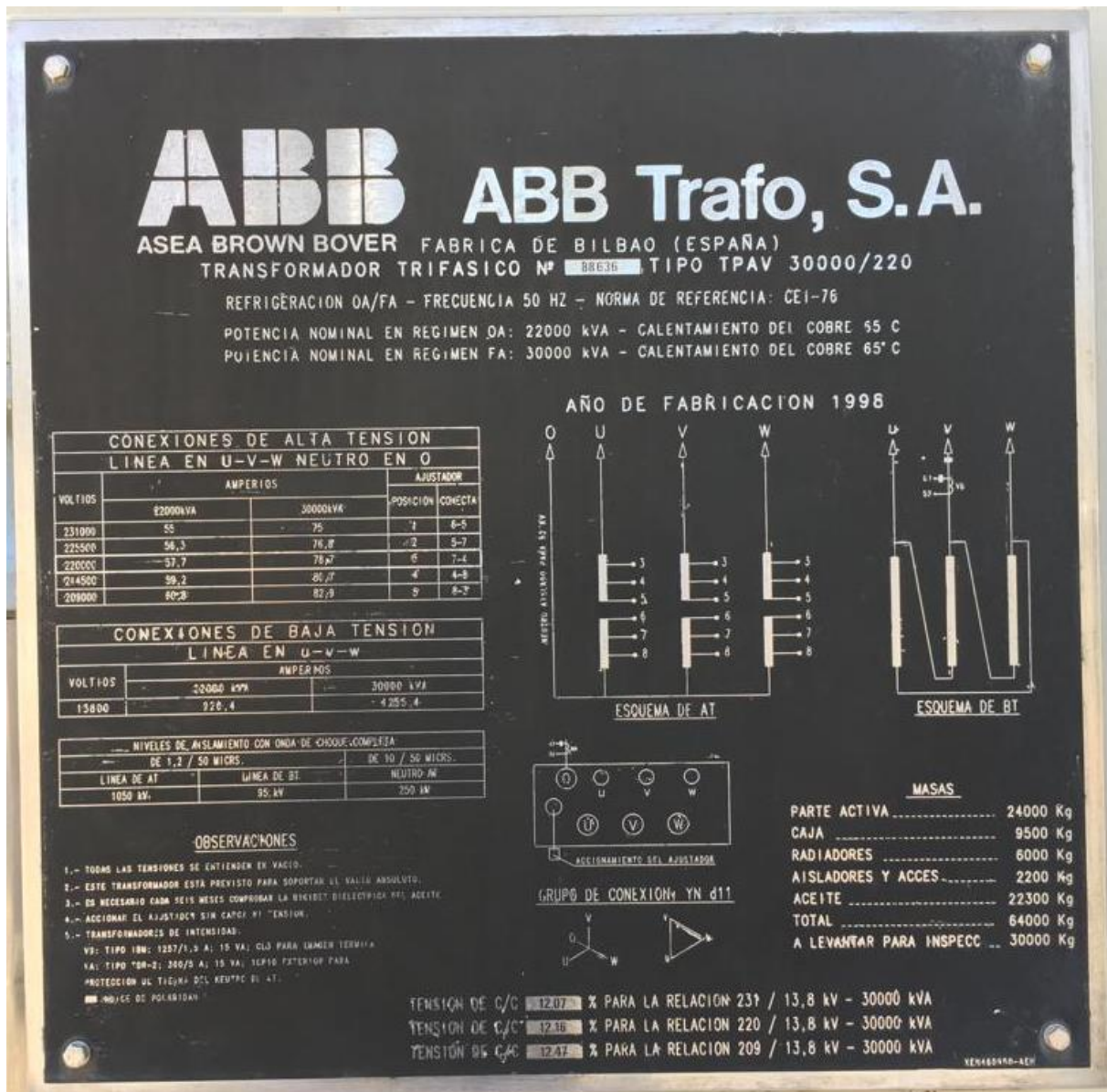


Tabla 9. Placa característica del transformador de unidad del generador U2.

### 1.7. Ajuste de protecciones

En las siguientes tablas se muestra el ajuste de protecciones de las unidades U1 y U2.

**Tabla 10. Protección tensión U1 y U2.**

<b>Sobretensión</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Umbral</b>	<b>Un</b>
<b>V&gt;</b>	1.1	pu
<b>T1</b>	1	s
<b>V&gt;&gt;</b>	1.15	pu
<b>T2</b>	1	s
<b>Subtensión</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Umbral</b>	<b>Un</b>
<b>V&lt;</b>	0.85	pu
<b>t</b>	0.03	s

**Tabla 11. Ajuste de protección de sobrecorriente U1 y U2.**

<b>Sobrecorriente (Extremadamente inversa)</b>	
<b>I&gt;</b>	1
<b>Índice</b>	2

**Tabla 12. Ajuste de protecciones de sobrefrecuencia U1 y U2.**

<b>Sobrefrecuencia</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Umbral</b>	<b>Un</b>	<b>Tipo de acción</b>
<b>F&gt;</b>	50.5	Hz	Alarma
<b>T</b>	2.5	s	
<b>F1&gt;</b>	51.5	Hz	Disparo
<b>T1</b>	2	s	
<b>F2&gt;</b>	51.5	Hz	
<b>T2</b>	2.2	s	

**Tabla 13. Ajuste de protecciones de subfrecuencia U1 y U2.**

<b>Subfrecuencia</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Umbral</b>	<b>Un</b>	<b>Tipo de acción</b>
<b>F&lt;</b>	49	Hz	Alarma
<b>T</b>	2.5	s	
<b>F1&lt;</b>	48	Hz	Disparo
<b>T1</b>	7	s	
<b>F2&lt;</b>	48	Hz	
<b>T2</b>	7.5	s	

## 2. Parámetros de partida y detención

En la siguiente tabla se resumen los parámetros de partida y detención presentados al coordinador el 15/01/2018 en el “Informe Técnico de parámetros para procesos de Partida y Detención de las centrales Hidroeléctricas Peuchén-Mampil”.

Items	Información C.H Mampil	I	II	III	IV	V
a	Cantidad y tipo de combustible utilizado en el proceso de partida.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
b	Energía eléctrica consumida durante el proceso de partida. (kW)	3,88	0,18	0,55	*	*
c	Tiempo requerido para el proceso de partida. (mm:ss)	3:30	0:10	0:30	*	*
d	Cantidad y tipo de combustible utilizado en el proceso de detención.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
e	Energía eléctrica consumida durante el proceso de detención. (kW)	*	*	*	0,74	4,25
f	Tiempo requerido para el proceso de detención. (mm:ss)	*	*	*	0:40	3:50
g	Tiempo mínimo de operación antes de poder detenerse, una vez concluido un proceso de partida.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- I. Desde el inicio del proceso de partida hasta la sincronización.  
 II. Desde la sincronización hasta alcanzar la operación a mínimo técnico.  
 III. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a potencia nominal.  
 IV. Desde la operación a potencia nominal hasta la desconexión.  
 V. Desde la desconexión de la unidad hasta el termino del proceso de detención.

**Gráfico 31. Tabla resumen de los parámetros de partida y detención.**