

**Empresa**  
**País**  
**Proyecto**  
**Descripción**

Sonneditx  
Chile  
Parque Fotovoltaico Meseta de los  
Andes  
Procedimiento de ensayos - Control  
de Tensión



<b>CÓDIGO DE PROYECTO</b>	EE-2024-193
<b>CÓDIGO DE INFORME</b>	EE-EN-2025-1252
<b>REVISIÓN</b>	B

**13 ago. 25**



Este documento **EE-EN-2025-1252-RB** fue preparado para **Sonnedix** por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

**Ing. Andrés Capalbo**  
Sub-Gerente Dpto. Ensayos  
[andres.capalbo@estudios-electricos.com](mailto:andres.capalbo@estudios-electricos.com)

**Ing. Claudio Celman**  
Sub-Gerente Dpto. Ensayos  
[claudio.celman@estudios-electricos.com](mailto:claudio.celman@estudios-electricos.com)

**Ing. Pablo Rifrani**  
Gerente Dpto. Ensayos  
[pablo.rifrani@estudios-electricos.com](mailto:pablo.rifrani@estudios-electricos.com)

Informe realizado en colaboración con todas las empresas del grupo: **Estudios Eléctricos S.A., Estudios Eléctricos Chile, Estudios Eléctricos Colombia y Electrical Studies Corp.**

Este documento contiene 57 páginas y ha sido guardado por última vez el 13/08/2025 por Nicolás Silva; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
<b>A</b>	23.06.2025	Para presentar	JP	NS	AC
<b>B</b>	13.08.2025	Incorpora procedimiento de pruebas Qnight.	NS	GE	AC

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



## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Introducción</b>	<b>6</b>
2.1	Metodología general	7
2.2	Observaciones generales	8
2.3	Normativa considerada	8
2.4	Nomenclatura	9
<b>3</b>	<b>Preparación de los ensayos</b>	<b>10</b>
3.1	Reuniones de coordinación en planta	10
3.2	Ajustes de protecciones	10
3.3	Adquisición de datos	11
3.3.1	Mediciones a nivel inversor	11
3.3.2	Mediciones a nivel planta	12
3.4	Cableado y puntos de conexión	13
3.4.1	Mediciones a nivel inversor	14
3.4.2	Mediciones a nivel planta	16
3.5	Registro de señales con equipo en planta	17
3.6	Metodología general de los ensayos	17
3.7	Personal de apoyo durante los ensayos	18
<b>4</b>	<b>Respuesta del control de tensión / potencia reactiva del parque</b>	<b>19</b>
4.1	Ensayos a nivel inversor	19
4.1.1	Respuesta dinámica del control local de potencia reactiva	20
4.2	Ensayos a nivel planta	20
4.2.1	Respuesta dinámica del control de potencia reactiva del PPC	21
4.2.2	Respuesta dinámica del control de factor de potencia del PPC	22
4.2.3	Respuesta dinámica del control de tensión del PPC	22
4.3	Control de potencia reactiva en ausencia del recurso primario (Qnight)	23
4.3.1	Respuesta dinámica del control de potencia reactiva del parque	23
4.3.2	Respuesta dinámica del control de tensión del PPC	23
4.3.3	Verificación de máxima absorción/inyección de potencia reactiva	24
<b>5</b>	<b>Ensayos de verificación del diagrama PQ teórico máximo</b>	<b>25</b>
5.1	Límites del diagrama PQ	26



5.1.1	Limite por Mínimo Técnico .....	26
5.1.2	Límite por Potencia Máxima .....	26
5.1.3	Límite de potencia aparente del inversor .....	26
5.1.4	Límite de potencia aparente del transformador principal .....	27
5.1.5	Rango operativo de tensión de los inversores .....	27
5.1.6	Rango operativo de tensión de la red de media .....	27
5.2	Análisis preliminar .....	28
5.3	Puntos de operación por Diagrama PQ .....	29
5.3.1	Tensión en POI = 0.90 p.u. ....	30
5.3.2	Tensión en POI = 0.95 p.u. ....	31
5.3.3	Tensión en POI = 1.0 p.u. ....	32
5.3.4	Tensión en POI = 1.05 p.u. ....	33
5.3.5	Tensión en POI = 1.10 p.u. ....	34
<b>6</b>	<b>Cronograma .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>37</b>
7.1	Antecedentes del PPC .....	37
7.2	Curva de capacidad del inversor .....	42
7.3	Mínimo Técnico del parque .....	42
7.4	Potencia Máxima del parque .....	42
7.5	Características del inversor .....	43
7.6	Protecciones del inversor .....	44
7.7	Transformador principal .....	45
7.8	Transformador de bloque .....	46
7.9	Transformador de servicios auxiliares .....	47
7.10	Unilineal general de la planta .....	48
7.11	Rango de tensión de operación en red de media tensión .....	50
7.12	Diagrama PQ a nivel inversor .....	53
7.13	Acta de pruebas .....	56



# 1 Resumen ejecutivo

El presente documento describe el conjunto de ensayos a realizar en el Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes necesarios para cumplir con los requerimientos del Proceso de Verificación de instalaciones para la prestación de Servicios Complementarios.

En particular se abordan los ensayos de verificación del servicio de **Control de Tensión** siguiendo los lineamientos estipulados en la *"Guía de Verificación de Servicios Complementarios"* publicada por el Coordinador Eléctrico Nacional.

Se incluye un cronograma de trabajos indicando las tareas a realizar en los días previstos en planta.

El personal de Estudios Eléctricos presente en sitio llevará adelante las pruebas con el objetivo de realizar todos los ensayos y relevar toda la información necesaria para demostrar la capacidad de la planta de prestar el servicio complementario de Control de Tensión. Por lo tanto, queda a su consideración la modificación del cronograma de trabajo, metodología de ensayos y señales a intervenir, según lo requieran las características de la planta o condiciones de ensayo.



## 2 Introducción

El Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes, ubicado en la comuna de Los Andes, región de Valparaíso, se compone de 42 inversores, Power Electronics modelo FS3510K de 3.63 MVA de potencia nominal cada uno, totalizando una potencia instalada de 152.46 MW.

El parque está constituido por cuarenta y dos centros de transformación, cada uno cuenta con un transformador de bloque con 2 devanados de relación 0.66 kV / 33 kV ( $\pm 2 \times 2.5\%$ ) de 3.63 MVA y 1 inversor Power Electronics de 3.63 MVA de capacidad nominal cada uno. La red colectora está compuesta por 7 circuitos alimentadores en 33 kV, los cuales cuentan con 6 centros de transformación cada uno.

La barra principal de 33 kV cuenta con un transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV ( $\pm 11 \times 1.25\%$ ) de 70/93/117 (ONAN/ONAF1/ONAF2) de potencia aparente nominal que permite la inyección de potencia en la barra de 220 kV de la S/E Meseta de los Andes, el cual corresponde al punto de interconexión del parque.

El parque cuenta con un control conjunto que permite al parque operar con los modos de control de potencia reactiva, factor de potencia, control de tensión y potencia activa.

Se incluye un cronograma de trabajos indicando las tareas a realizar en los días previstos en planta.



## 2.1 Metodología general

Los ensayos consisten principalmente en perturbaciones del tipo escalón en las referencias de los distintos lazos de control de los inversores y del PPC.

Estudios Eléctricos dispondrá de un adquisidor de datos para poder registrar las distintas señales eléctricas necesarias, y será responsable de la adquisición de datos y de liderar las distintas pruebas en coordinación con el personal de planta.

Personal de planta será el encargado de supervisar la configuración y operación del parque y de realizar las conexiones necesarias para obtener las distintas señales eléctricas a registrar.

En el presente documento se listan las pruebas propuestas. Durante los ensayos y de acuerdo con los resultados obtenidos, el personal de Estudios Eléctricos podría proponer ensayos complementarios, variar la amplitud de los escalones y/o cambiar el modo de control. Estos cambios, si es que los hubiera, serán acordados con el personal de planta.

En los siguientes capítulos se describe:

- La preparación previa a los ensayos, capítulo 3.
- Los ensayos dinámicos por realizar tanto a nivel inversor como nivel planta, capítulo 4.
- Los ensayos de determinación de curva de capacidad del parque, capítulo 5.
- El cronograma de trabajo, capítulo 6.
- Anexos, capítulo 7.



## 2.2 Observaciones generales

- Puede requerirse repetir un ensayo o variar la amplitud del escalón especificado, posterior a la evaluación del registro obtenido, así como incluir señales adicionales en caso de estar disponibles.
- Los registros concernientes al PPC se realizarán con una tasa de muestreo igual o superior a 100 muestras por segundo.
- Podrán obtenerse los registros, durante los ensayos, directamente del sistema de control de planta siempre y cuando la tasa de muestreo sea similar a la anteriormente especificada y el tiempo máximo de almacenamiento sea suficiente para poder observar la dinámica completa de la respuesta.

## 2.3 Normativa considerada

Para la elaboración del presente documento se han considerado los siguientes documentos normativos:

- Norma Técnica de Servicios Complementarios – Versión de diciembre de 2019
- Guía de Verificación de Servicios Complementarios: Control de Tensión – Versión de febrero de 2025





## 2.4 Nomenclatura

Tag	Descripción
UBUS	Tensión en el punto de interconexión
PBUS	Potencia eléctrica activa en el punto de interconexión
QBUS	Potencia eléctrica reactiva en el punto de interconexión
POI	Punto de interconexión (de sus siglas en inglés "Point Of Interconnection")
SS/AA	Servicios Auxiliares
PPC	Control conjunto de planta (de sus siglas en inglés "Power Plant Controller")
AT	Nivel de alta tensión (220 kV)
MT	Nivel de media tensión (33 kV)
BT	Nivel de baja tensión (0.66 Kv)
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
EE	Estudios Eléctricos
CT	Control de tensión
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
NT SSCC	Norma Técnica de Servicios Complementarios
Pmax	Potencia activa neta máxima en el POI disponible a la hora de los ensayos (148.9 MW)
Pmin	Potencia activa neta correspondiente al mínimo técnico en el POI (2.52 MW)
P1inv	Despacho del inversor al 10% de la potencia máxima disponible a la hora de los ensayos
P2inv	Despacho del inversor al 50% de la potencia máxima disponible a la hora de los ensayos
P3inv	Despacho del inversor al 90% de la potencia máxima disponible a la hora de los ensayos
P1 <sub>PPC</sub>	Despacho del parque a mínimo técnico (Pmin)
P2 <sub>PPC</sub>	Despacho del parque a $(P_{max} + 2 \cdot P_{min}) / 3$
P3 <sub>PPC</sub>	Despacho del parque a $(P_{max} + P_{min}) / 2$
P4 <sub>PPC</sub>	Despacho del parque a $(2 \cdot P_{max} + P_{min}) / 3$
P5 <sub>PPC</sub>	Despacho del parque a potencia máxima (Pmax)

Tabla 2.1 - Nomenclatura empleada



## 3 Preparación de los ensayos

### 3.1 Reuniones de coordinación en planta

Las siguientes actividades están planeadas para realizarse durante el primer día en planta: inducción de seguridad, reunión de inicio de tareas, revisión del cronograma y procedimiento de ensayo, inspección visual de los equipos a ensayar y puntos de conexión de equipos, preparación del conexionado necesario.

### 3.2 Ajustes de protecciones

Según la documentación recibida, los inversores cuentan con un módulo de protección, donde las principales funciones junto a sus ajustes se muestran en la Tabla 3.1.

Función	Parámetro	Valor
Sobretensión	Pickup	1.15 p.u.
	Delay	1.0 s
	Pickup	1.2 p.u.
	Delay	0.1 s
Subtensión	Pickup	0.9 p.u.
	Delay	10.0 s
	Pickup	0.85 p.u.
	Delay	1.5 s
Sobrefrecuencia	Pickup	51.5 Hz
	Delay	0.1 s
Subfrecuencia	Pickup	47.5 Hz
	Delay	0.1 s

Tabla 3.1 - Protecciones de los inversores



## 3.3 Adquisición de datos

### 3.3.1 Mediciones a nivel inversor

EE dispondrá de un equipo de adquisición de datos (propiedad de EE) para realizar los ensayos e indicará al personal del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes la manera correcta de instalarlo.



*Figura 3.1 - Equipo de adquisición de datos de estudios eléctricos*

El sistema de adquisición de datos de Estudios Eléctricos se muestra en la Figura 3.1. El equipo, totalmente desarrollado por el departamento de I+D de Estudios Eléctricos, posee 16 canales de entradas analógicas con una frecuencia de muestreo que puede ser ajustada hasta un máximo de 10 kHz. El rango de tensión de entrada es de  $\pm 10$  V.

Todos los canales de entrada están aislados por medio de optoacopladores analógicos, permitiendo mediciones flotantes. Su sencilla interfaz gráfica (GUI) permite adaptar fácilmente distintas escalas, así como también realizar cálculos indirectos a partir de distintas mediciones.

Para visualizar la forma de conexionado a los TCs y TP, referirse al ejemplo genérico mostrado en la Figura 3.2.

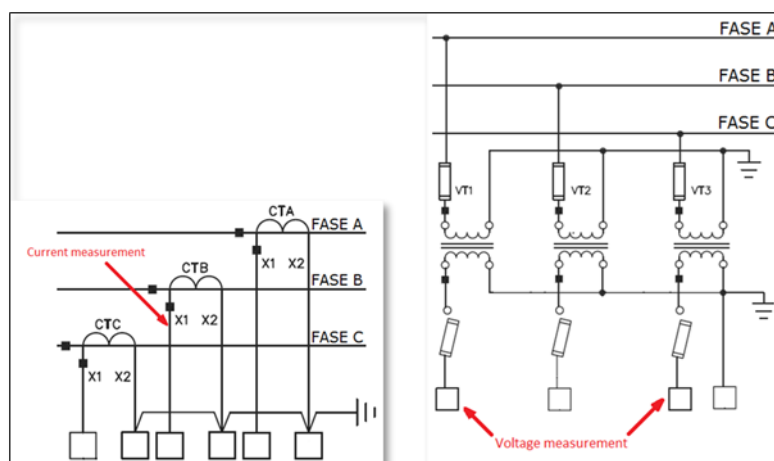


Figura 3.2 - Conexión típica de TCs y TPs

### 3.3.2 Mediciones a nivel planta

EE dispondrá de un medidor de calidad de energía (propiedad de EE) para realizar los ensayos a nivel planta. Para ello, personal de EE indicará al personal de la central la manera correcta de instalarlo en el Punto de Conexión al Sistema (POI), para lo cual será necesario medir tres tensiones y tres corrientes sobre los secundarios de los transformadores de medición instalados en este punto.

El equipo de adquisición es un medidor de calidad de energía marca Janitza, de la serie UMG. Una fotografía del equipo se presenta en la Figura 3.3.



Figura 3.3 - Fotografía del Janitza UMG510

Para la medición de las variables eléctricas, se conectan a sus terminales correspondientes un juego de tres tensiones (fases A, B y C) y neutro, junto con un juego de tres corrientes (fases A, B y C) y sus respectivos retornos. Los juegos de tensiones y corrientes serán tomados de los secundarios de los transformadores de medición TP y TC ubicados en el punto de interconexión. Lo anterior se ilustra en la Figura 3.4.

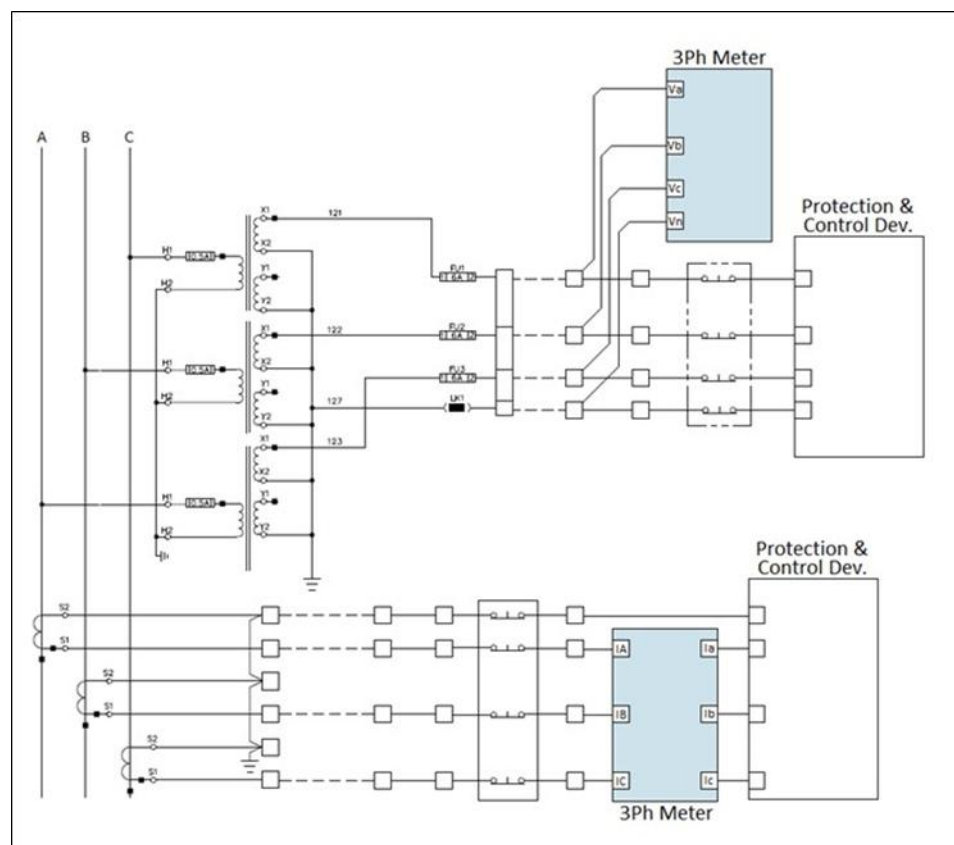


Figura 3.4 - Esquema referencial de conexión para medición de variables en el punto de interconexión

El medidor de calidad de energía se alimenta con una fuente de tensión de tipo switching de 220 V. Por lo tanto, un tomacorriente desde una barra segura deberá estar disponible en las cercanías de la ubicación del medidor.

### 3.4 Cableado y puntos de conexión

El conexionado y la verificación de las señales correspondientes tiene una duración aproximada de **1 hora**.

El conexionado debe ser realizado antes de comenzar los ensayos, mientras que la desconexión se realizará una vez finalizados los mismos. Se podrán realizar conexiones de señales con el parque en servicio, en caso de existir borneras seccionables para las mediciones de corriente y puntos de conexión accesibles de forma segura para la tensión.



### 3.4.1 Mediciones a nivel inversor

La Figura 3.5 se muestra un circuito esquemático del inversor. Se enmarca en un recuadro rojo la salida del inversor en corriente alterna, desde donde se tomarán las medidas para las pruebas de validación a nivel de inversor. Las mediciones se realizarán en los inversores correspondientes al más cercano y lejano eléctricamente a la S/E Meseta de los Andes.

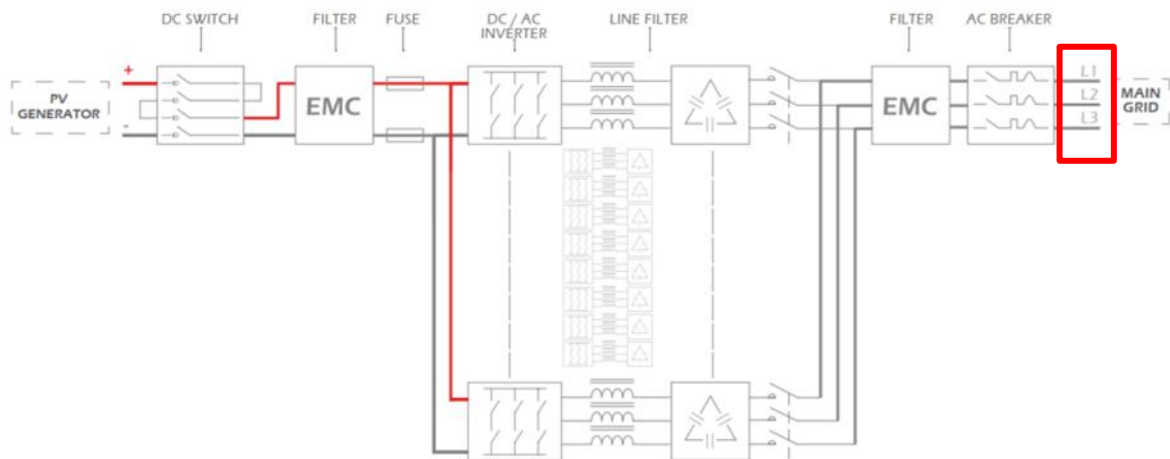


Figura 3.5 – Puntos de conexión a nivel inversor

La medición a nivel inversor se realizará en los bornes del lado AC de este. En la Figura 3.6 se presenta el diagrama unilineal de parte de la barra principal de 33 kV en donde acometen los circuitos colectores del parque.

Para el conexionado del inversor más cercano se conectará en la subestación n°21 (marcado en el recuadro rojo) y para el caso del inversor más lejano se conectará en la subestación N°02 (marcado en el recuadro verde).

Se destaca que, para las pruebas de los inversores cercano y lejano, los demás inversores de ese circuito se dejarán fuera de servicio.

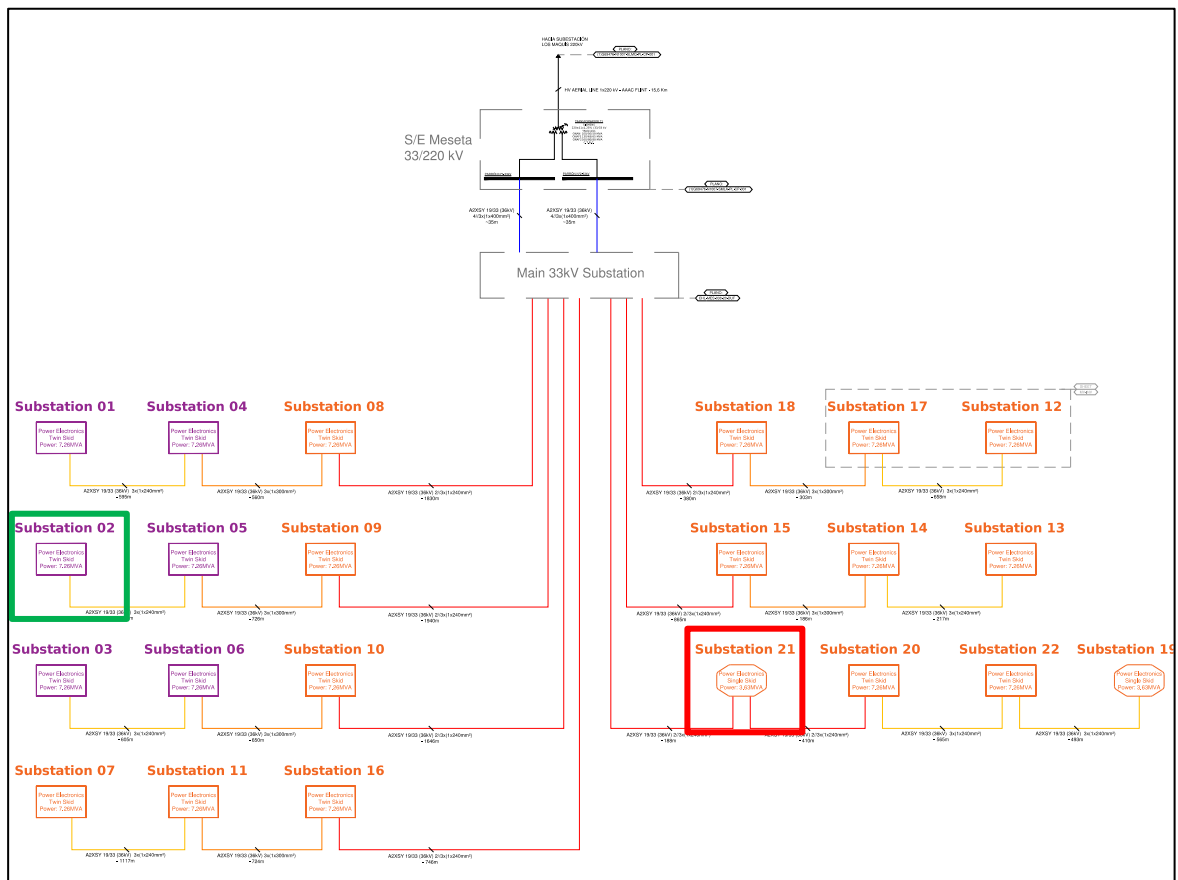


Figura 3.6 – Diagrama unilineal en 33 kV



### 3.4.2 Mediciones a nivel planta

La medición a nivel planta, se realizará directamente en los secundarios del transformador de corriente y de tensión, en el lado de alta tensión del transformador de poder, correspondiente al punto de interconexión del parque.

En la Figura 3.7 se presentan los transformadores de medición en los recuadros rojos.

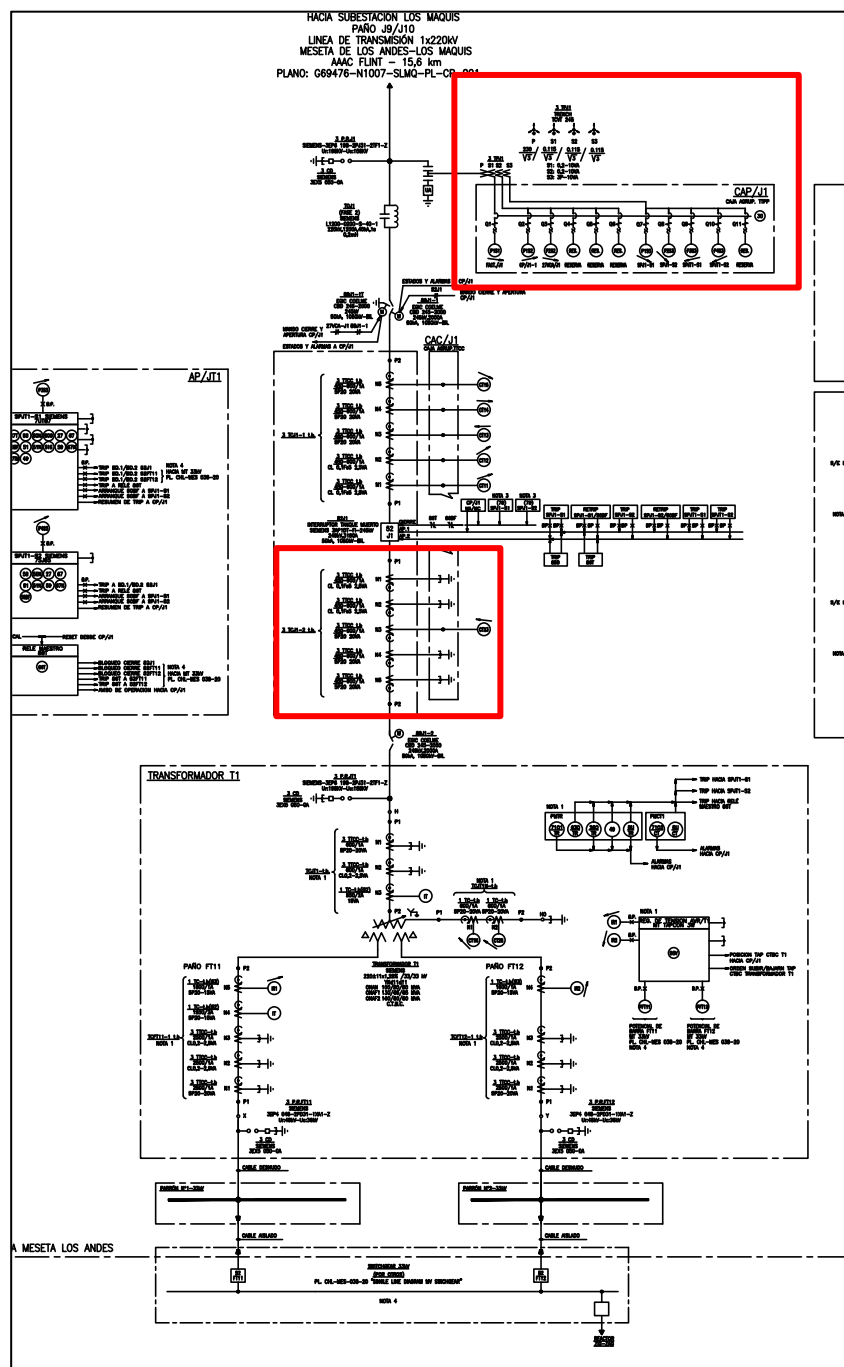


Figura 3.7 - Puntos de conexión a nivel planta





### 3.5 Registro de señales con equipo en planta

Se deberá coordinar con personal de planta la adquisición de señales de interés a partir del sistema SCADA del control de planta.

Las señales de interés a registrar son:

1. Potencia activa en el POI.
2. Tensión en el POI.
3. Corriente en el POI.
4. Frecuencia eléctrica.
5. Tensión del lado de alta del transformador step-up.
6. Tensión del lado de baja del transformador SS/AA (solo si aplica).
7. Potencia activa del lado de baja del transformador SS/AA (solo si aplica).
8. Potencia reactiva del lado de baja del transformador SS/AA (solo si aplica).
9. Tensión del lado de baja de los transformadores SS/AA (solo si aplica).
10. Posición de tap de los transformadores step-up.
11. Irradiancia y temperatura ambiente/paneles.

Las señales deberán ser registradas y exportadas en formato \*.csv o \*.xls. Se requiere de configuración del sistema SCADA que permita la máxima tasa de muestreo posible.

### 3.6 Metodología general de los ensayos

Para realizar los ensayos descritos en el presente protocolo se requerirá realizar escalones en las referencias de los distintos lazos de control que implementa tanto el control local de los inversores como el módulo de regulación del parque. Las perturbaciones por aplicar deberán cumplir con las siguientes condiciones:

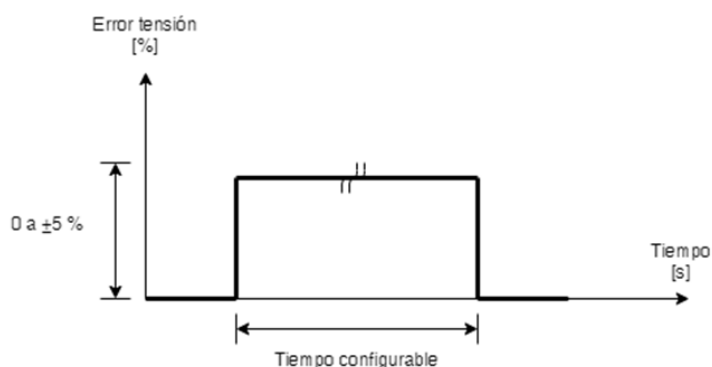


Figura 3.8 - Características del escalón de tensión a aplicar

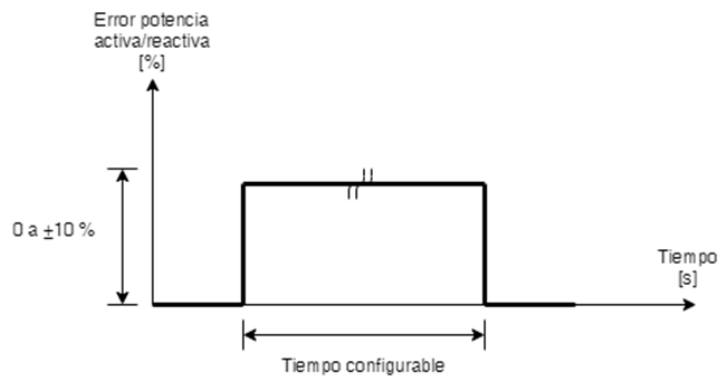


Figura 3.9 - Características del escalón de potencia reactiva a aplicar

### 3.7 Personal de apoyo durante los ensayos

Durante los ensayos será necesario el siguiente personal de apoyo:

- **Operaciones:** Será necesaria la presencia de personal de operaciones con conocimiento de los ensayos a realizar durante todo el desarrollo de pruebas.
- **Control:** Será necesario el soporte de personal del inversor y PPC capaz de acceder y manipular el software del control local y del control conjunto de planta.
- **Electricista:** Será necesaria la presencia de un electricista a fin de realizar el conexionado de las instalaciones.



## 4 Respuesta del control de tensión / potencia reactiva del parque

En esta sección se indican los ensayos para evaluar la respuesta de los elementos incorporados al control de Tensión/Potencia Reactiva del parque y de los inversores.

### 4.1 Ensayos a nivel inversor

Desarrollo:

1. Instalación del equipamiento de medición.
2. Verificación de señales.
3. Pruebas a distintos despachos, con la siguiente composición:

Despacho de Potencia Activa [MW]	Pruebas inversor
$P1_{inv} = 0.363 \text{ MW}$	Q
$P2_{inv} = 1.815 \text{ MW}$	Q
$P3_{inv} = 3.267 \text{ MW}$	Q

Tabla 4.1 - Distribución de las pruebas según el despacho del inversor

En las siguientes subsecciones se describen las pruebas que se pretende realizar sobre los distintos lazos de control de potencia reactiva de los inversores. Para las mismas se registrarán, al menos, las siguientes señales:

1. Tensión en bornes del transformador de bloque del inversor.
2. Corriente en bornes del transformador de bloque del inversor.
3. Potencia activa y reactiva del transformador de bloque del inversor.
4. Frecuencia eléctrica.
5. Tensión en el POI.
6. Potencia reactiva en el POI.
7. Potencia activa en el POI.



#### 4.1.1 Respuesta dinámica del control local de potencia reactiva

Con el inversor operando en control local de potencia reactiva, se aplicará un escalón en la referencia correspondiente de amplitud  $\pm 10\%$  de su potencia nominal, cuya duración será de 30 segundos o más, para permitir el establecimiento de las principales magnitudes en bornes del inversor.

Despacho de Potencia Activa	Despacho inicial de Potencia Reactiva [MVar]	Variación en QELEC [%]	Duración Escalón [s]
P1 <sub>inv</sub>	0	$\pm 10$	> 30
P2 <sub>inv</sub>	0	$\pm 10$	> 30
P3 <sub>inv</sub>	0	$\pm 10$	> 30

Tabla 4.2 - Ensayos control local de potencia reactiva

**Nota:** Si por cualquier razón durante la ejecución de los ensayos el especialista de Estudios Eléctricos considera necesario realizar algún escalón adicional el mismo será incorporado en el momento al plan de pruebas y ejecutado.

## 4.2 Ensayos a nivel planta

Desarrollo:

1. Verificaciones de señales.
2. Pruebas a distintos despachos, con la siguiente composición:

Despacho de Potencia Activa	Valor [MW]	Pruebas PPC
P1 <sub>PPC</sub>	2.52	V, Q, $\cos(\varphi)$
P3 <sub>PPC</sub>	75.71	V, Q, $\cos(\varphi)$
P5 <sub>PPC</sub>	148.90	V, Q, $\cos(\varphi)$

Tabla 4.3 - Distribución de las pruebas según el despacho del parque



En las siguientes subsecciones se describen las pruebas que se pretende realizar sobre los distintos lazos de control de tensión/potencia reactiva del parque. Para las mismas se registrarán, al menos, las siguientes señales:

1. Tensión en el POI.
2. Corriente en el POI.
3. Potencia reactiva en el POI.
4. Potencia activa en el POI.
5. Frecuencia eléctrica.
6. Pulso aplicado (de ser posible).

#### 4.2.1 Respuesta dinámica del control de potencia reactiva del PPC

Con el PPC operando en control de potencia reactiva, se aplicará un escalón en la referencia correspondiente de amplitud  $\pm 10\%$  de la potencia nominal del parque, cuya duración será de 30 segundos o más, para permitir el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

Despacho de Potencia Activa [MW]	Despacho inicial de Potencia Reactiva [MVar]	Escalón [%]	Duración Escalón [s]
P1 <sub>PPC</sub>	0	$\pm 10\%$	> 30
P3 <sub>PPC</sub>	0		> 30
P5 <sub>PPC</sub>	0		> 30

Tabla 4.4 - Ensayos control de potencia reactiva del PPC

**Nota:** Si por cualquier razón durante la ejecución de los ensayos el especialista de Estudios Eléctricos considera necesario realizar algún escalón adicional el mismo será incorporado en el momento al plan de pruebas y ejecutado.



#### 4.2.2 Respuesta dinámica del control de factor de potencia del PPC

Con el PPC operando en control de factor de potencia, se aplicará un escalón en la referencia correspondiente de amplitud tal que genere una variación de  $\pm 10\%$  en la potencia reactiva respecto de la nominal del parque, cuya duración será de 30 segundos o más, para permitir el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

Despacho de Potencia Activa [MW]	Despacho inicial de Potencia Reactiva [MVar]	Variación en QBUS [%]	Duración Escalón [s]
P1 <sub>PPC</sub>	0	$\pm 10\%$	> 30
P3 <sub>PPC</sub>	0		> 30
P5 <sub>PPC</sub>	0		> 30

Tabla 4.5 - Ensayos control de factor de potencia del PPC

#### 4.2.3 Respuesta dinámica del control de tensión del PPC

Con el PPC operando en control de tensión, se aplicará un escalón en la referencia correspondiente de amplitud  $\pm 3\%$  de la tensión nominal (AT), cuya duración será de 30 segundos o más, para permitir el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

Despacho de Potencia Activa [MW]	Despacho inicial de Potencia Reactiva [MVar]	Variación en UBUS [%]	Duración Escalón [s]
P1 <sub>PPC</sub>	0	$\pm 3\%$	> 30
P3 <sub>PPC</sub>	0		> 30
P5 <sub>PPC</sub>	0		> 30

Tabla 4.6 - Ensayos control de tensión del PPC



## 4.3 Control de potencia reactiva en ausencia del recurso primario (Qnight)

De acuerdo con la información proporcionada por el fabricante y pruebas en sitio llevadas a cabo por personal de Sonnedix, el Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes posee la capacidad de realizar control de tensión o potencia reactiva en ausencia de recurso primario (Qnight). El presente capítulo describe los ensayos a realizar sobre el control de reactivos y tensión del parque en ausencia de recurso primario.

### 4.3.1 Respuesta dinámica del control de potencia reactiva del parque

Con el PPC operando en control de potencia reactiva, se aplicará un escalón en la referencia correspondiente de amplitud  $\pm 10\%$  de la potencia nominal del parque, cuya duración será de 30 segundos o más, para permitir el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

Despacho de Potencia Activa	Despacho inicial de Potencia Reactiva [MVar]	Escalón en QBUS [%]	Duración Escalón [s]
P0 <sub>PPC</sub>	0	$\pm 10\%$	> 30

Tabla 4.7 – Ensayos control de potencia reactiva del PPC

### 4.3.2 Respuesta dinámica del control de tensión del PPC

Con el PPC operando en control de tensión, se aplicará un escalón en la referencia correspondiente de amplitud  $\pm 3\%$  de la tensión nominal (AT), cuya duración será de 30 segundos o más, para permitir el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

Despacho de Potencia Activa	Despacho inicial de Potencia Reactiva [MVar]	Variación en UBUS [%]	Duración Escalón [s]
P0 <sub>PPC</sub>	0	$\pm 3\%$	> 30

Tabla 4.8 - Ensayos control de tensión del PPC



### 4.3.3 Verificación de máxima absorción/inyección de potencia reactiva

Para la verificación máxima absorción/inyección de potencia reactiva en ausencia de recurso primario, se toma como referencia los valores determinados en el diagrama PQ teórico máximo en la condición de mínimo despacho de potencia activa ( $P_{1ppc} = 2.52$  [MW]).

Se presenta a continuación el resumen de valores a verificar.

Nivel de tensión [p.u.]	Sobreexcitación		Subexcitación	
	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador
0.90	-89.23	1	125.79	8
0.95	-142.35	1	125.25	14
1.00	-147.44	1	126.19	16
1.05	-142.90	8	125.89	20
1.10	-143.28	12	116.74	23

Tabla 4.9 – Verificación de límites de potencia reactiva en ausencia de recurso primario





## 5 Ensayos de verificación del diagrama PQ teórico máximo

Estos ensayos tienen como finalidad comparar la Curva PQ real del parque con la curva de capacidad teórica máxima, sobre la cual se han calculado los puntos objetivos.

Los ensayos se realizarán con el parque sincronizado al SEN y en cuatro despachos de potencia activa entre el mínimo técnico ( $P_{1PPC}$ ) y la potencia máxima ( $P_{5PPC}$ ), para cada uno de los siguientes niveles de tensión en el punto de interconexión: 0.9 p.u., 0.95 p.u., 1.00 p.u., 1.05 p.u., 1.10 p.u., totalizando 40 mediciones.

Para comprobar la estabilidad en cada punto, se deberán registrar (según lo acordado con el Coordinador) al menos 15 minutos en el estado de alta carga y al menos 5 minutos en el resto de los estados de carga.

Para estas pruebas se tiene el siguiente plan de trabajo general:

1. Verificaciones de señales.
2. Pruebas a distintos despachos de potencia y a distintos niveles de tensión:

Despacho de Potencia Activa	Despacho de Potencia Reactiva
$P_{1PPC} = 2.52 \text{ MW}$	Q1, Q8
$P_{2PPC} = 51.31 \text{ MW}$	Q2, Q7
$P_{4PPC} = 100.10 \text{ MW}$	Q3, Q6
$P_{5PPC} = 148.9 \text{ MW}$	Q4, Q5

Tabla 5.1 - Distribución de los puntos a verificar según el despacho de potencia activa

Donde los puntos correspondientes a los despachos de potencia reactiva indican los valores máximos y mínimos para cada nivel de carga y particularizada para cada nivel de tensión según se describe en los capítulos siguientes.

En caso de no ser posible ensayar todos los niveles de tensión requeridos entre 0,9 y 1,1 pu en el punto de conexión de la central, se incorporará en el informe una metodología que permitirá extrapolar los valores de la curva PQ en dichos rangos. Esta metodología estará basada en los resultados obtenidos durante los ensayos efectivos y se incluirá en el informe final. Si durante la ejecución de las pruebas se identifican nuevas limitaciones técnicas, estas serán debidamente documentadas.



Para estas pruebas se registrarán, al menos, las siguientes señales:

1. Tensión en el POI.
2. Corriente en el POI.
3. Potencia reactiva en el POI.
4. Potencia activa en el POI.
5. Frecuencia eléctrica.

## 5.1 Límites del diagrama PQ

A continuación, se presentan los límites contemplados para la determinación del diagrama PQ teórico máximo del parque.

### 5.1.1 Limite por Mínimo Técnico

En la Tabla 5.2 se presenta el límite por mínimo técnico de operación del del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. Ver **anexo 7.3**.

Central	Mínimo Técnico [MW]
PFV Meseta de los Andes	2.52

Tabla 5.2 – Límite por mínimo técnico del PFV Meseta de los Andes

### 5.1.2 Límite por Potencia Máxima

En la Tabla 5.3 se presenta el límite por potencia máxima del del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. Ver **anexo 7.4**.

Central	Potencia Máxima [MW]
PFV Meseta de los Andes	148.9

Tabla 5.3 – Límite por potencia máxima del PFV Meseta de los Andes

### 5.1.3 Límite de potencia aparente del inversor

En la Tabla 5.4 se presenta la potencia aparente nominal del inversor del del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. Ver **anexo 7.5**.

Central	Potencia Aparente [MVA]
PFV Meseta de los Andes	3.63

Tabla 5.4 – Potencia aparente del inversor Power Electronics modelo FS3510K



#### 5.1.4 Límite de potencia aparente del transformador principal

En la Tabla 5.5 se presenta la potencia aparente nominal del transformador principal del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. Ver **anexo 7.7**.

Central	Potencia Aparente [MVA]
PFV Meseta de los Andes	160

Tabla 5.5 – Potencia aparente nominal del transformador principal

#### 5.1.5 Rango operativo de tensión de los inversores

En la Tabla 5.6 se presenta el rango operativo de tensión de los inversores del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. Teniendo en cuenta el rango operativo de los inversores se ha definido un margen de seguridad adicional de 3% para subtensión y -3% respecto del ajuste de las protecciones. Ver **anexo 7.6**.

Central	Tensión <sub>Mínima</sub> [p.u.]	Tensión <sub>Máxima</sub> [p.u.]
PFV Meseta de los Andes	0.93	1.12

Tabla 5.6 – Rango operativo de tensión del inversor

#### 5.1.6 Rango operativo de tensión de la red de media

En la Tabla 5.7 se presenta el rango operativo de tensión de la red de media tensión del del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. Como margen de seguridad, se adopta un rango de tensión de un  $\pm 10\%$ .

Central	Tensión <sub>Mínima</sub> [p.u.]	Tensión <sub>Máxima</sub> [p.u.]
PFV Meseta de los Andes	0.9	1.1

Tabla 5.7 – Rango operativo de tensión de la red de media



## 5.2 Análisis preliminar

El rango de operación de los inversores está definido según el ajuste de protecciones presentado en la **sección 3.2**. La máxima tensión en bornes del inversor alcanzable de forma segura será al menos 115% respecto de la nominal. Respecto a la protección de subtensión, la mínima tensión alcanzable será de 90% respecto de la nominal.

Para la obtención de las curvas teóricas, se define un margen de **seguridad** adicional: se considera una tensión mínima del 93% y una tensión máxima del 112% respecto de la tensión nominal del inversor. Este ajuste permite garantizar el cumplimiento de la entrega de potencia reactiva exigida en el artículo 3-9 de la NTSyCS, dentro de márgenes operativos seguros.

Por otra parte, se destaca que según al artículo 5-19 y artículo 5-23 de la NTSyCS, los rangos de operación de tensión para los Estados Normal y Estado de Alerta del Sistema son los mostrados en la Tabla 5.8

Nivel de Tensión	Estado Normal (Art. 5-19)	Estado Alerta (Art. 5-23)
Nivel de tensión $\geq 500$ kV	0.97 p.u. – 1.03 p.u.	0.95 p.u. – 1.05 p.u.
$200 \text{ kV} \leq \text{Nivel de tensión} < 500 \text{ kV}$	<b>0.95 p.u. – 1.05 p.u.</b>	0.93 p.u. – 1.07 p.u.
Nivel de tensión $< 200$ kV	0.93 p.u. – 1.07 p.u.	0.90 p.u. – 1.10 p.u.

Tabla 5.8 - Rangos de operación por nivel de tensión según NTSyCS



Respecto a la tensión de servicio de la barra S/E Meseta de los Andes 220 kV y sus respectivos rangos de operación, esta no se encuentra explícitamente indicada en el documento técnico **“Estudios de Tensiones de Servicio – Informe Final”** (marzo 2025) expedido por el CEN. Por lo tanto, se ha considerado como referencia la tensión de servicio de la barra más cercana incluida en dicho informe, correspondiente a la barra Los Maquis. Esta se define según lo mostrado en la siguiente tabla:

Nivel de Tensión	Tensión de Servicio (Vs) [kV]	Estado Normal		Estado Alerta	
		0.95 Vs	1.05 Vs	0.93 Vs	1.07 Vs
Los Maquis	223	211.9	234.2	207.4	238.6

Tabla 5.9 - Tensión de servicio y rangos de operación en Estado Normal y de Alerta

A través de simulaciones de flujo de potencia, se verificaron los puntos teóricos respetando las limitaciones indicadas en la sección 5.1. En el **anexo 7.11** se presenta el rango de operación de la red de media tensión durante el barrido de puntos de la curva de capacidad del parque, donde se ve que, para cada punto de operación evaluado, la tensión se mantiene dentro de los rangos establecidos.

Adicionalmente, en el **anexo 7.12** se presenta el diagrama PQ de los inversores durante el barrido de puntos, el cual permite verificar que no se supera la curva de capacidad reactiva informada por el fabricante (ver **anexo 7.2**). En los casos en que no se alcanza dicha curva nominal, esto se debe a que alguna de las limitaciones descritas en la **sección 5.1** fue alcanzada antes de lograr la máxima inyección o absorción de potencia reactiva del inversor.

### 5.3 Puntos de operación por Diagrama PQ

A continuación, se muestran los puntos objetivos a evaluar durante las pruebas en sitio para los 5 niveles de tensión.

Los casos en los que alcanzar los niveles de potencia reactiva requiera valores de tensión por sobre los 1.05 p.u., o debajo de 0.95 p.u. de la tensión de servicio, lo cual excedería el límite en Estado Normal del Sistema dado por la Tabla 5.8, no se ensayarán en caso de no existir autorización del CEN. Sin embargo, mientras la tensión se encuentre dentro de los niveles de Estado Normal para la tensión de servicio y dentro de la zona de operación del parque, se inyectará todo el reactivo posible según los puntos objetivos de las Curva PQ teóricas máximas.



A continuación, se grafica para cada nivel de tensión las Curvas PQ Teóricas máximas, sobre las cuales se indican los puntos objetivos y que niveles de tensión quedan excluidos de la posibilidad de verificación.

### 5.3.1 Tensión en POI = 0.90 p.u.

Este nivel de tensión podrá ser verificado siempre y cuando, para alcanzar los valores de reactivos indicados por el estudio de curva de PQ máxima teórica, no se requiera exceder las tensiones de operación normal de la barra del Sistema.

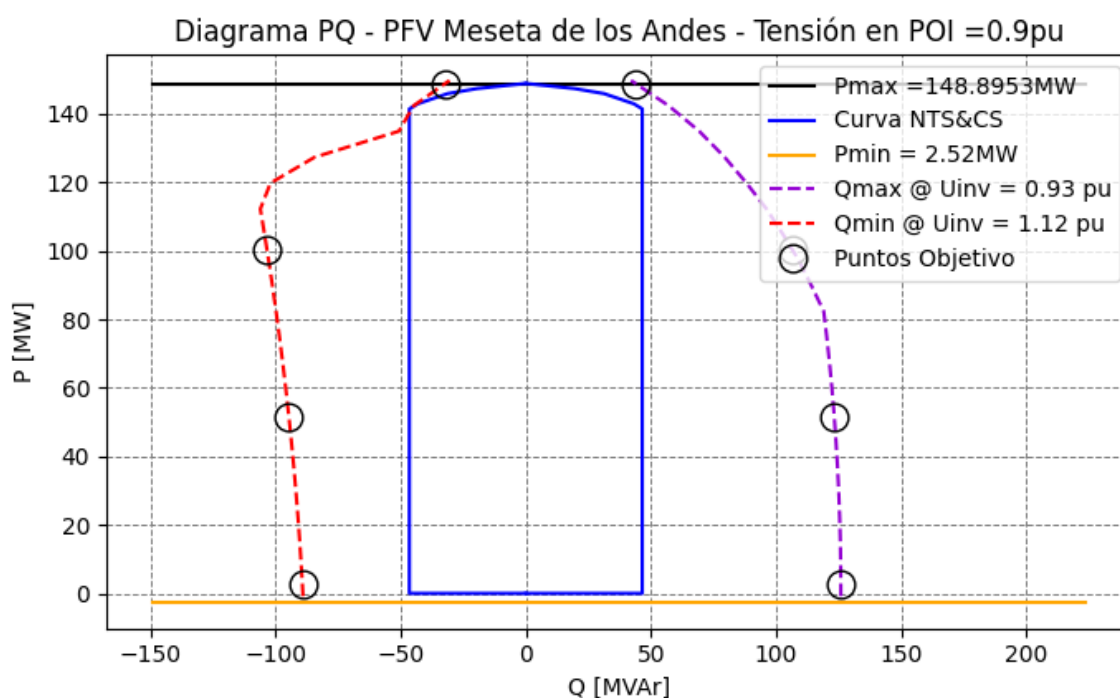


Figura 5.1 - Diagrama PQ Teórico Máximo – Tensión en POI 0.90 p.u.

Despacho potencia activa	Absorción		Inyección	
	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador
P1 <sub>PPC</sub> = 2.52 MW	-89.23	1	125.79	8
P2 <sub>PPC</sub> = 51.31 MW	-94.59	1	123.20	8
P4 <sub>PPC</sub> = 100.10 MW	-103.32	1	106.63	7
P5 <sub>PPC</sub> = 148.90 MW	-32.13	8	43.78	2

Tabla 5.10 - Punto objetivos - Tensión en POI 0.90 p.u.



### 5.3.2 Tensión en POI = 0.95 p.u.

Este nivel de tensión podrá ser verificado siempre y cuando, para alcanzar los valores de reactivos indicados por el estudio de curva de PQ máxima teórica, no se requiera exceder las tensiones de operación normal de la barra del Sistema.

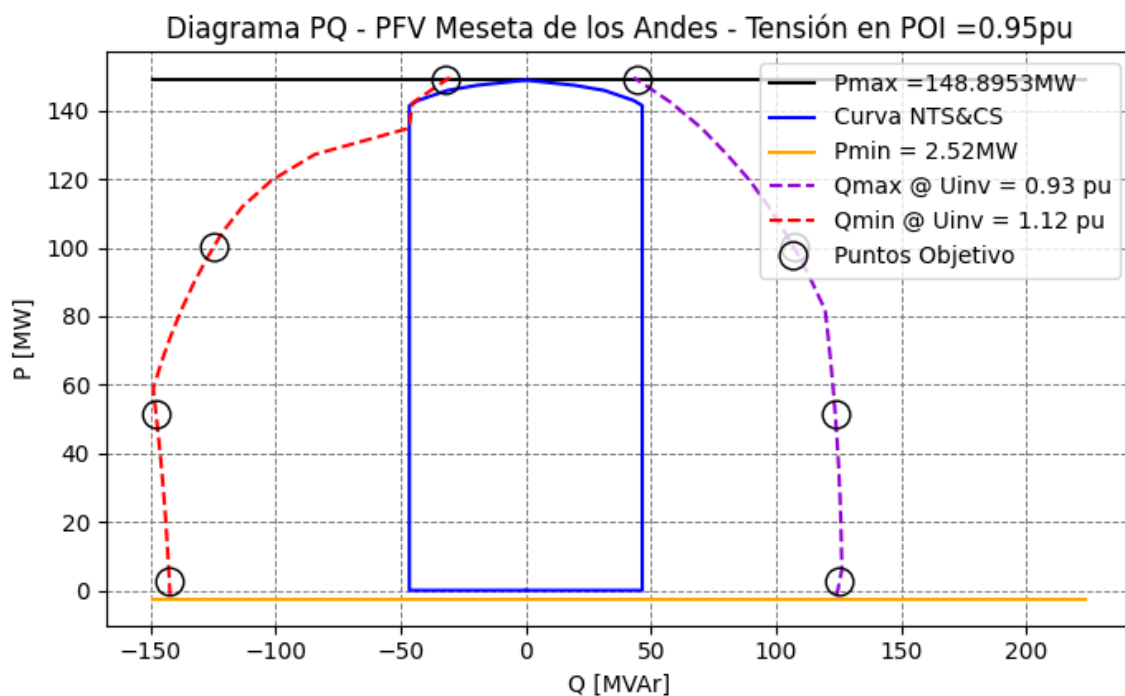


Figura 5.2 - Diagrama PQ Teórico Máximo – Tensión en POI 0.95 p.u.

Despacho potencia activa	Absorción		Inyección	
	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador
P1 <sub>PPC</sub> = 2.52 MW	-142.35	1	125.25	14
P2 <sub>PPC</sub> = 51.31 MW	-147.67	1	123.59	12
P4 <sub>PPC</sub> = 100.10 MW	-124.75	3	107.00	11
P5 <sub>PPC</sub> = 148.90 MW	-31.95	13	44.71	6

Tabla 5.11 - Punto objetivos - Tensión en POI 0.95 p.u.



### 5.3.3 Tensión en POI = 1.0 p.u.

Este nivel de tensión podrá ser verificado siempre y cuando, para alcanzar los valores de reactivos indicados por el estudio de curva de PQ máxima teórica, no se requiera exceder las tensiones de operación normal de la barra del Sistema.

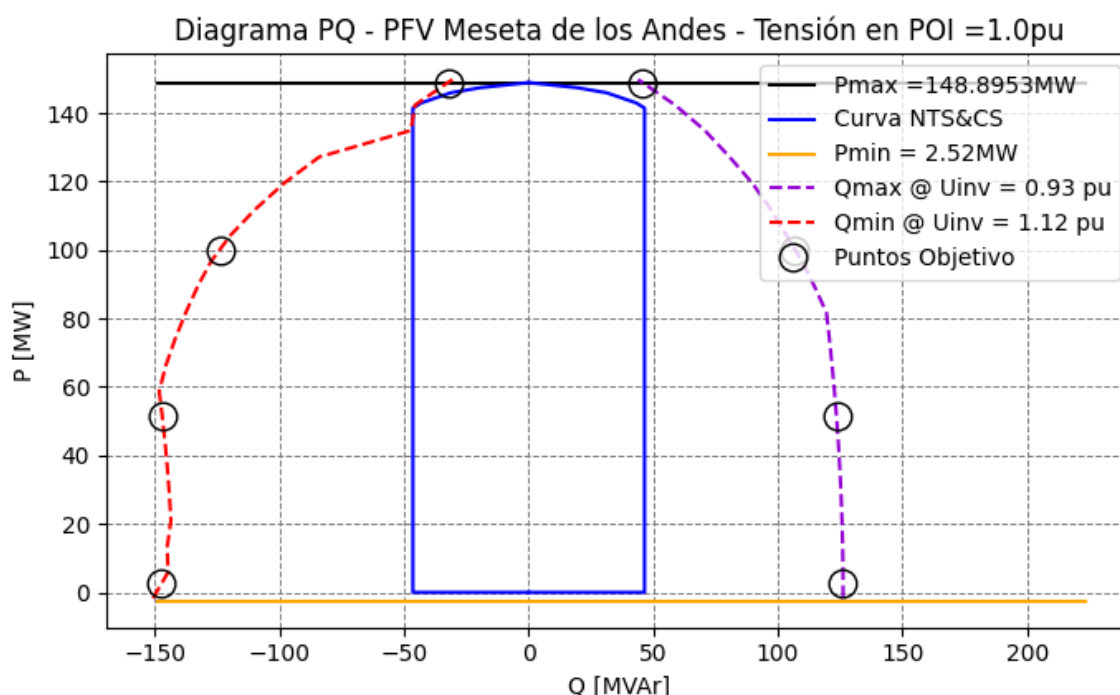


Figura 5.3 - Diagrama PQ Teórico Máximo - Tensión en POI 1.0 p.u.

Despacho potencia activa	Absorción		Inyección	
	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador
$P1_{PPC} = 2.52 \text{ MW}$	-147.44	1	126.19	16
$P2_{PPC} = 51.31 \text{ MW}$	-147.09	5	123.56	16
$P4_{PPC} = 100.10 \text{ MW}$	-124.01	8	106.95	16
$P5_{PPC} = 148.90 \text{ MW}$	-32.43	17	45.67	10

Tabla 5.12 - Punto objetivos - Tensión en POI 1.0 p.u.





### 5.3.4 Tensión en POI = 1.05 p.u.

Este nivel de tensión podrá ser verificado siempre y cuando, para alcanzar los valores de reactivos indicados por el estudio de curva de PQ máxima teórica, no se requiera exceder las tensiones de operación normal de la barra del Sistema.

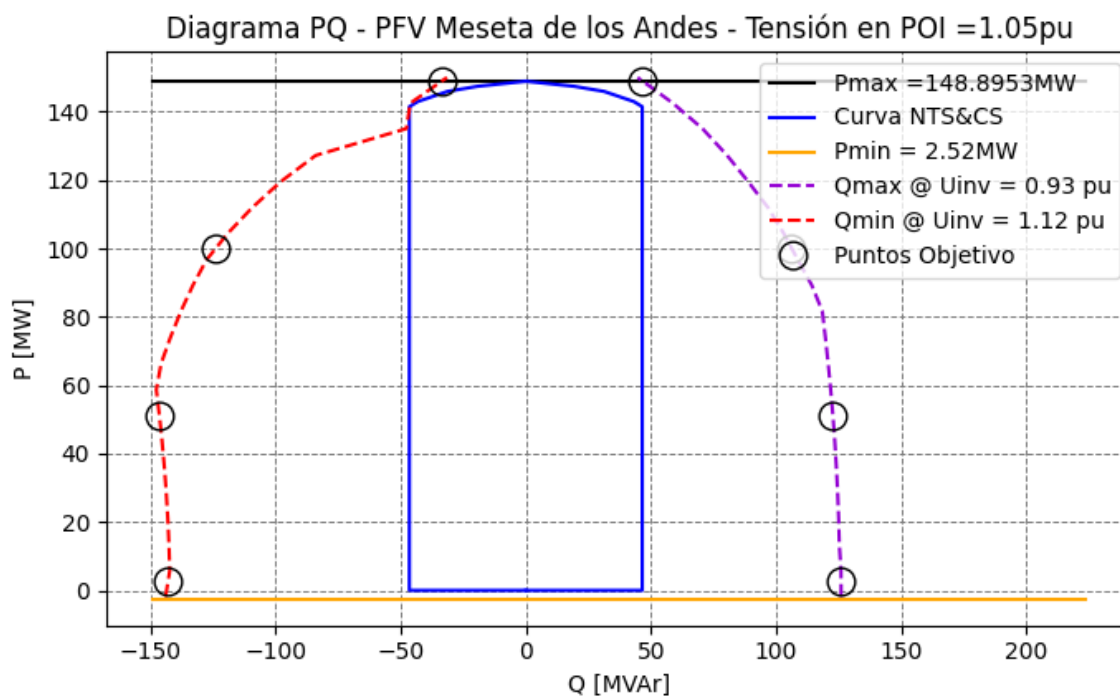


Figura 5.4 - Diagrama PQ Teórico Máximo – Tensión en POI 1.05 p.u.

Despacho potencia activa	Absorción		Inyección	
	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador
P1 <sub>PPC</sub> = 2.52 MW	-142.90	8	125.89	20
P2 <sub>PPC</sub> = 51.31 MW	-146.36	9	122.61	21
P4 <sub>PPC</sub> = 100.10 MW	-123.75	12	106.12	19
P5 <sub>PPC</sub> = 148.90 MW	-33.62	21	46.72	13

Tabla 5.13 - Punto objetivos - Tensión en POI 1.05 p.u.



### 5.3.5 Tensión en POI = 1.10 p.u.

Este nivel de tensión podrá ser verificado siempre y cuando, para alcanzar los valores de reactivos indicados por el estudio de curva de PQ máxima teórica, no se requiera exceder las tensiones de operación normal de la barra del Sistema.

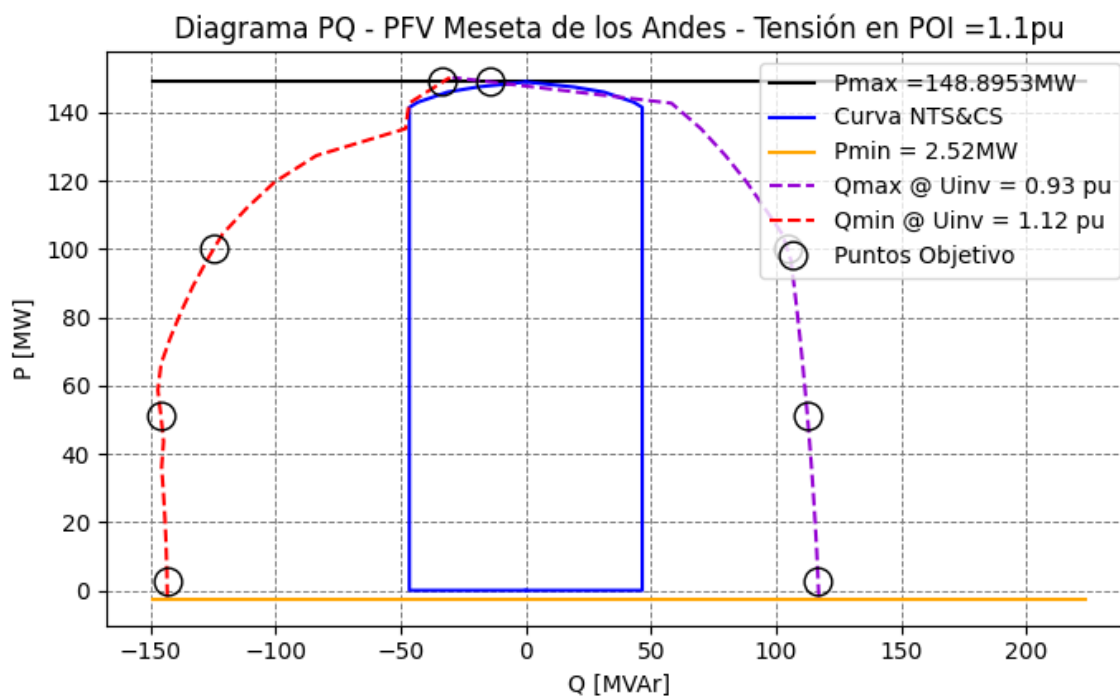


Figura 5.5 - Diagrama PQ Teórico Máximo – Tensión en POI 1.10 p.u.

Despacho potencia activa	Absorción		Inyección	
	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador	Potencia reactiva objetivo [MVar]	Posición de TAP Transformador elevador
P1 <sub>PPC</sub> = 2.52 MW	-143.28	12	116.74	23
P2 <sub>PPC</sub> = 51.31 MW	-145.76	13	112.43	23
P4 <sub>PPC</sub> = 100.10 MW	-124.57	15	104.33	23
P5 <sub>PPC</sub> = 148.90 MW	-33.14	23	-14.05	22

Tabla 5.14 - Punto objetivos - Tensión en POI 1.10 p.u.



## 6 Cronograma

A continuación, se presenta el cronograma de ensayos del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. El mismo contempla 2 días de trabajo.

Día 1 – Pruebas de SSCC Control de Tensión				
Hora	Potencia Activa	Potencia Reactiva	Descripción de las pruebas	Horas
08:00	-	-	Llegada a la central.	-
08:30	-	-	Reunión y coordinación de tareas.	0.5
09:30	-	-	Cableado, conexión de equipo y verificación de las señales.	1.0
10:30	P1 <sub>inv</sub>	±10%	Pruebas Inversor Cercano ▪ Ensayos Q	1.0
11:30	P2 <sub>inv</sub>	±10%	Pruebas Inversor Cercano ▪ Ensayos Q	1.0
12:30	P3 <sub>inv</sub>	±10%	Pruebas Inversor Cercano ▪ Ensayos Q	1.0
13:30	0	0	Desconexión/Conexión de adquisidor	0.5
14:00	P3 <sub>inv</sub>	±10%	Pruebas Inversor Lejano ▪ Ensayos Q	1.0
15:00	P2 <sub>inv</sub>	±10%	Pruebas Inversor Lejano ▪ Ensayos Q	1.0
16:00	P1 <sub>inv</sub>	±10%	Pruebas Inversor Lejano ▪ Ensayos Q	1.0
17:00	P1 <sub>inv</sub>	-	Desconexión de adquisidor	0.5
17:30	-	-	El parque queda disponible.	-

Tabla 6.1 - Cronograma tentativo de pruebas – Día 1



Día 2 – Pruebas de SSCC Control de Tensión				
Hora	Potencia Activa	Potencia Reactiva	Descripción de las pruebas	Horas
08:00	-	-	Llegada a la central.	-
08:30	P1 <sub>PPC</sub>	Q1, Q8	Pruebas PPC <ul style="list-style-type: none"><li>■ Ensayos V, Q, <math>\cos(\varphi)</math></li><li>■ Curva PQ</li></ul>	3.0
11:30	P2 <sub>PPC</sub>	Q2, Q7	Pruebas PPC <ul style="list-style-type: none"><li>■ Curva PQ</li></ul>	2.0
13:30	P3 <sub>PPC</sub>	$\pm 10\%$	Pruebas PPC <ul style="list-style-type: none"><li>■ Ensayos V, Q, <math>\cos(\rho)</math></li></ul>	1.0
14:30	P4 <sub>PPC</sub>	Q3, Q6	Pruebas PPC <ul style="list-style-type: none"><li>■ Curva PQ</li></ul>	2.0
16:30	P5 <sub>PPC</sub>	Q4, Q5	Pruebas PPC <ul style="list-style-type: none"><li>■ Ensayos V, Q, <math>\cos(\rho)</math></li><li>■ Curva PQ</li></ul>	3.0
19:30	P0 <sub>PPC</sub>	Q1, Q8	Pruebas PPC <ul style="list-style-type: none"><li>■ Ensayos Qnight</li></ul>	1.0
20:30	-	-	El parque queda disponible.	-

Tabla 6.2 - Cronograma tentativo de pruebas – Día 2



## 7 Anexos

### 7.1 Antecedentes del PPC

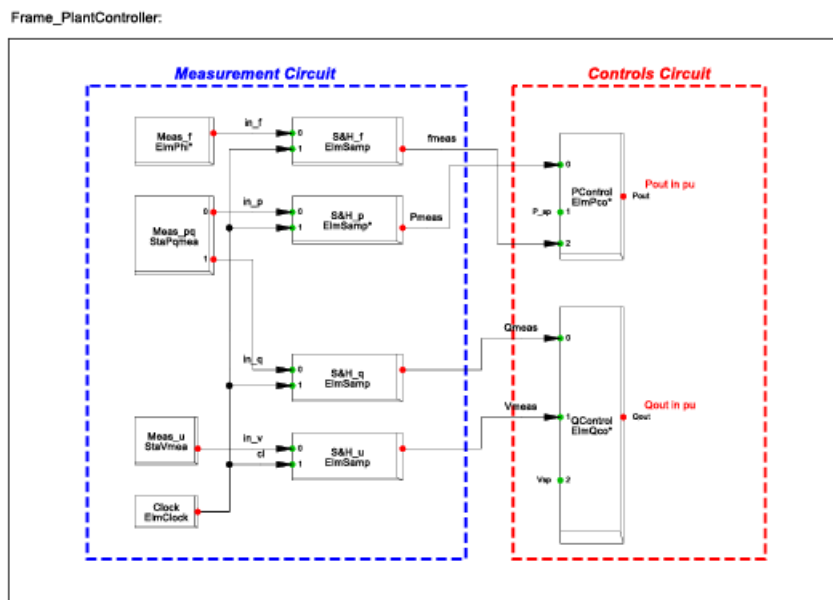


Figura 7.1 Diagrama de control del PPC Inaccess

### 3.1 Active Power, Absolute Control

For absolute active power control, the mode must be enabled on common model *PControl.ElmDsl* as shown in Figure 8 by setting parameter "**P\_en**" to "**1**" (Default for all P modes) and "**PRamp\_En**" to "**0**".

Parameter	Value
Tdel (Communication Delay) [s]	0.2
Kp (Proportional Gain)	0.01
Ki (Integral Gain)	0.2
Kd (Derivative Gain)	0.
Td (Derivative Time)	0.1
<b>P_en Active Power Control, 1=Enable) [0/1]</b>	<b>1.</b>
P_Slimit (Active Power rating of plant) [MW]	3.
f_en (Frequency Response, 1=Enable) [0/1]	1.
g_of Overfrequency power rate [% [0,55]]	55.
f_db Frequency deadband [Hz]	0.2
g_uf Underfrequency power rate [% [2,8]]	8.
RUset (Up Ramp Rate) [MW/min]	3.
RDset (Down Ramp Rate) [MW/min]	3.
<b>PRamp_En (Active Power Ramp Control, 1=Enable) [0/1]</b>	<b>0.</b>
Td_ramp (Ramp Rate Calculation Period)	0.024
P_min (Inverter/Turbine Pmin) [p.u]	0.
P_max (Inverter/Turbine Pmax) [p.u]	1.

Figure 8. Absolute Active Power mode settings

To change the P setpoint, a new parameter event should be simulated on the "**Psp**" parameter on the common model *PControl.ElmDsl* as shown in Figure 9. The new value should be entered in MW.

Figura 7.2 – Control Absoluto de Potencia Activa de PPC Inaccess

### 3.2 P (frequency) Response

The P(frequency) response is coded as per the requirements of the NTSyCS [1]. Figure 10 illustrates the application of the P(f) mode. The user must setup the following parameters in order to get the desired response;

**f\_en** = 1 to enable frequency control mode

**g\_of** = 0 or 55 (%) to calculate the generated power when in over frequency mode. % implies, % of P generated at start time of over frequency event/Hz (MW/Hz)

**g\_uf** = 2% to 8% to calculate the generated power when in under frequency mode. % implies, % of P\_Slimit/Hz (MW/Hz)

**f\_db** = 0.2Hz. Default to be set as per the NTSyCS (200mHz)



Parameter	Value
Tdel (Communication Delay) [s]	0.2
Kp (Proportional Gain)	0.01
Ki (Integral Gain)	0.2
Kd (Derivative Gain)	0.
Td (Derivative Time)	0.1
P_en Active Power Control, 1=Enable [0/1]	1.
P_Slimit (Active Power rating of plant) [MW]	3.
f_en (Frequency Response, 1=Enable) [0/1]	1.
g_of Overfrequency power rate [% [0,55]]	55.
f_db Frequency deadband [Hz]	0.2
g_uf Underfrequency power rate [% [2,8]]	8.
RUset (Up Ramp Rate) [MW/min]	3.
RDset (Down Ramp Rate) [MW/min]	3.
PRamp_En (Active Power Ramp Control, 1=Enable) [0/1]	0.
Td_ramp (Ramp Rate Calculation Period)	0.024
P_min (Inverter/Turbine Pmin) [p.u]	0.
P_max (Inverter/Turbine Pmax) [p.u]	1.

**Figure 10. Active Power mode settings for frequency response**

Below is a summary of the intended response of the PPC controller.

- Frequency between 49.8Hz and 50.2Hz, no change to active power setpoint.
- Frequency < 49.8Hz, adjust active power to increase P generated at a rate specified by g\_uf.
- Frequency 50.2 < f < 51.5, adjust active power to decrease P generated at a rate specified by g\_of.
- Frequency > 51.5Hz, adjust active power to maximum decreasable limit as specified by g\_of.

NOTE: no plant trip for frequencies > 52Hz is issued by the PPC and this must be handled by protection devices

*Figura 7.3 - Control Primario de Frecuencia de PPC Inaccess*



### 3.3 Active Power, Ramp Control

For ramp active power control, the mode must be enabled on common model *PControl.ElmDsl* as shown in **Figure 12** by setting parameter "**P\_en**" to "**1**" and "**PRamp\_En**" to "**1**", additionally the Up and Down ramp rates (MW/min) must be specified by setting parameter "**RUset**" and "**RDset**".

**NOTE:** The parameter **Td\_ramp** must be adjusted in conjunction with **Ki** order to achieve the desired ramp rates as specified.

Parameter	Value
Tdel (Communication Delay) [s]	0.2
Kp (Proportional Gain)	0.01
Ki (Integral Gain)	0.2
Kd (Derivative Gain)	0.
Td (Derivative Time)	0.1
P_en Active Power Control, 1=Enable [0/1]	1.
P_Slimit (Active Power rating of plant) [MW]	3.
f_en (Frequency Response, 1=Enable) [0/1]	1.
g_of Overfrequency power rate [% [0,55]]	55.
f_db Frequency deadband [Hz]	0.2
g_uf Underfrequency power rate [% [2,8]]	8.
RUset (Up Ramp Rate) [MW/min]	3.
RDset (Down Ramp Rate) [MW/min]	3.
PRamp_En (Active Power Ramp Control, 1=Enable) [0/1]	0.
Td_ramp (Ramp Rate Calculation Period)	0.024
P_min (Inverter/Turbine Pmin) [p.u]	0.
P_max (Inverter/Turbine Pmax) [p.u]	1.

**Figure 12. Ramp Active Power mode settings**

To change the P setpoint, a new parameter event should be simulated on the "**Psp**" parameter on the common model *PControl.ElmDsl* as shown in Figure 13. The new value should be entered in MW.

*Figura 7.4 – Control de rampa de potencia activa del PPC Inaccess*





### 3.4 Voltage(V) Control [Q(V) Control]

The V control mode is enabled in the common model *QControl.ElmDsl* as shown in Figure 14.

Figure 14. V control mode settings

To change the V setpoint, a new parameter event should be simulated on the "Vsp" parameter in the common model *QControl.ElmDsl* as shown in Figure 15. The new value should be entered in p.u.

Figure 15. V Control event, voltage setpoint parameter "Vsp"

For V control the user should also specify a droop setting value using parameter "**QV\_Droop**". Voltage droop "**QV\_droop**" must be specified as a p.u. value i.e. for a 5% droop, then the droop must be set to 0.05.

The voltage deadband, "**Vdb**", allows for small voltage changes without adjustment of reactive power. The deadband must be specified in p.u.

"**Vmin**" and "**Vmax**", limit the voltage setpoints issued by the controller

Figura 7.5 – Control de potencia reactiva/voltaje del PPC Inaccess



## 7.2 Curva de capacidad del inversor

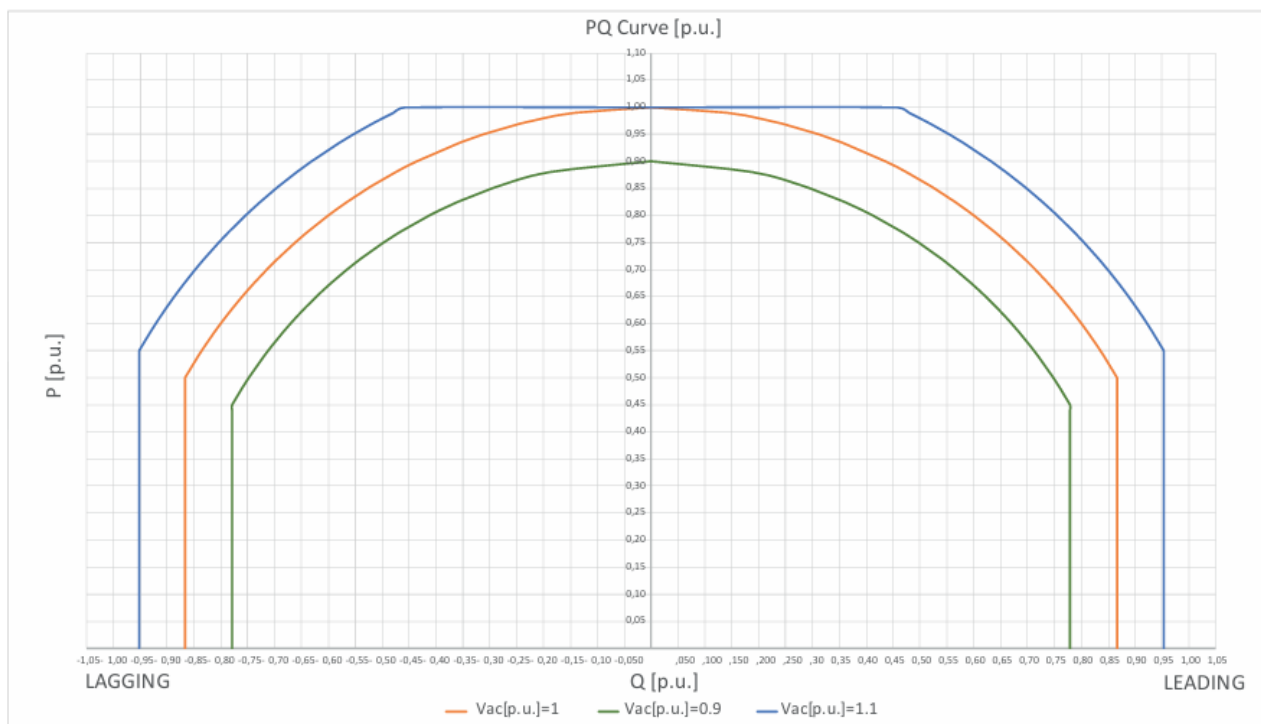


Figura 7.6 – Curva de capacidad del inversor

## 7.3 Mínimo Técnico del parque

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Meseta de los Andes	3.59	479.21	590.79	2.52

Figura 7.1 - Mínimo técnico obtenido del "Informe Mínimo Técnico Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes"

## 7.4 Potencia Máxima del parque

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Meseta de los Andes	152.46	479.21	3085.45	148.90

Figura 7.2 - Potencia Máxima obtenida del "Informe de Potencia Máxima Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes"



## 7.5 Características del inversor

### TECHNICAL CHARACTERISTICS

### HEMK 660V

		FRAME 1	FRAME 2
REFERENCE		FS2340K	FS3510K
OUTPUT	AC Output Power(kVA/kW) @50°C <sup>[1]</sup>	2340	3510
	AC Output Power(kVA/kW) @40°C <sup>[1]</sup>	2420	3630
	Max. AC Output Current (A) @40°C	2117	3175
	Operating Grid Voltage(VAC) <sup>[2]</sup>	660V ±10%	
	Operating Grid Frequency(Hz)	50Hz/60Hz	
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519	
	Power Factor (cosine phi) <sup>[3]</sup>	0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive Power injection at night	
INPUT	MPPT @full power (VDC) @35°C <sup>[4]</sup>	934V-1500V	
	MPPT @full power (VDC) @50°C <sup>[4]</sup>	934V-1310V	
	Maximum DC voltage	1500V	
	Number of PV inputs <sup>[5]</sup>	Up to 36	
	Number of Freemaq DC/DC inputs <sup>[6]</sup>	Up to 6	
	Max. DC continuous current (A) <sup>[7]</sup>	2645	3970
	Max. DC short circuit current (A) <sup>[8]</sup>	4000	6000
EFFICIENCY & AUXILIARY SUPPLY	Efficiency (Max) (η)	98.84%	98.90%
	Euroeta (η)	98.48%	98.65%
	Max. Power Consumption (KVA)	8	10
CABINET	Dimensions [WxDxH] (ft)	12 x 7 x 7	
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.7 x 2.2 x 2.2	
	Weight (lb)	12125	12577
	Weight (kg)	5500	5750
	Type of ventilation	Forced air cooling	
ENVIRONMENT	Degree of protection	NEMA 3R - IP55	
	Permissible Ambient Temperature	-35°C to +60°C / >50°C Active Power derating	
	Relative Humidity	4% to 100% non condensing	
	Max. Altitude (above sea level)	2000m; >2000m power derating (Max. 4000m)	
	Noise level <sup>[9]</sup>	< 79 dBA	
CONTROL INTERFACE	Communication protocol	Modbus TCP	
	Plant Controller Communication	Optional	
	Keyed ON/OFF switch	Standard	
PROTECTIONS	Ground Fault Protection	GFDI and Isolation monitoring device	
	General AC Protection	Circuit Breaker	
	General DC Protection	Fuses	
	Overvoltage Protection	AC, DC Inverter and auxiliary supply type 2	
CERTIFICATIONS	Safety	UL 1741, CSA 22.2 No.107.1-16, IEC62109-1, IEC62109-2	
	Compliance	NEC 2017 / IEC	
	Utility interconnect	EEE 1547.1-2005 / UL1741SA Feb. 2018 / IEC62116:2014	

Figura 7.7 - Características del inversor Power Electronics modelo FS3510K



## 7.6 Protecciones del inversor

	Parameter
fn Rated Frequency (50.0 to 60.0) [Hz]	50,
hf1 High Frequency Limit 1 (50.0 to 65.0) [Hz]	51,
T_hf1 Trip time hf1 (0.0 to 6550.0) [s]	1800,
hf2 High Frequency Limit 2 (50.0 to 65.0) [Hz]	51,5
T_hf2 Trip time hf2 (0.0 to 6550.0) [s]	0,1
hf3 High Frequency Limit 3 (50.0 to 65.0) [Hz]	51,5
T_hf3 Trip time hf3 (0.0 to 655.00) [s]	0,1
hf4 High Frequency Limit 4 (50.0 to 65.0) [Hz]	51,5
T_hf4 Trip time hf4 (0.0 to 65.500) [s]	0,1
hf5 High Frequency Limit 5 (50.0 to 65.0) [Hz]	51,5
T_hf5 Trip time hf5 (0.0 to 65.500) [s]	0,1
lf1 Low Frequency Limit 1 (45.0 to 60.0) [Hz]	48,5
T_lf1 Trip time lf1 (0.0 to 6550.0) [s]	1800,
lf2 Low Frequency Limit 2 (45.0 to 60.0) [Hz]	47,5
T_lf2 Trip time lf2 (0.0 to 6550.0) [s]	0,1
lf3 Low Frequency Limit 3 (45.0 to 60.0) [Hz]	47,5
T_lf3 Trip time lf3 (0.0 to 655.00) [s]	0,1
lf4 Low Frequency Limit 4 (45.0 to 60.0) [Hz]	47,5
T_lf4 Trip time lf4 (0.0 to 65.500) [s]	0,1
lf5 Low Frequency Limit 5 (45.0 to 60.0) [Hz]	47,5
T_lf5 Trip time lf5 (0.0 to 65.500) [s]	0,1
hv1 High Voltage Limit 1 (1.00 to 1.40) [pu]	1,12
T_hv1 Trip time hv1 (0.0 to 6550.0) [s]	3600,
hv2 High Voltage Limit 2 (1.00 to 1.40) [pu]	1,15
T_hv2 Trip time hv2 (0.0 to 655.00) [s]	1,
hv3 High Voltage Limit 3 (1.00 to 1.40) [pu]	1,2
T_hv3 Trip time hv3 (0.0 to 655.00) [s]	0,1
hv4 High Voltage Limit 4 (1.00 to 1.40) [pu]	1,2
T_hv4 Trip time hv4 (0.0 to 65.500) [s]	0,1
hv5 High Voltage Limit 5 (1.00 to 1.40) [pu]	1,2
T_hv5 Trip time hv5 (0.0 to 65.500) [s]	0,1
lv1 Low Voltage Limit 1 (0.00 to 1.00) [pu]	0,9
T_lv1 Trip time lv1 (0.0 to 6550.0) [s]	10,
lv2 Low Voltage Limit 2 (0.00 to 1.00) [pu]	0,85
T_lv2 Trip time lv2 (0.0 to 655.00) [s]	1,5
lv3 Low Voltage Limit 3 (0.00 to 1.00) [pu]	0,45
T_lv3 Trip time lv3 (0.0 to 655.00) [s]	0,5
lv4 Low Voltage Limit 4 (0.00 to 1.00) [pu]	0,45
T_lv4 Trip time lv4 (0.0 to 65.500) [s]	0,5
lv5 Low Voltage Limit 5 (0.00 to 1.00) [pu]	0,45
T_lv5 Trip time lv5 (0.0 to 65.500) [s]	0,5
HF_Protections =xxxxx(x=1: enabled; x=0: disabled)	1,
LF_Protections =xxxxx(x=1: enabled; x=0: disabled)	1,
HV_Protections =xxxxx(x=1: enabled; x=0: disabled)	1,
LV_Protections =xxxxx(x=1: enabled; x=0: disabled)	1,

Figura 7.3 – Ajuste de protecciones del inversor obtenido del “Informe de Validación de Modelos Dinámicos Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes”



## 7.7 Transformador principal

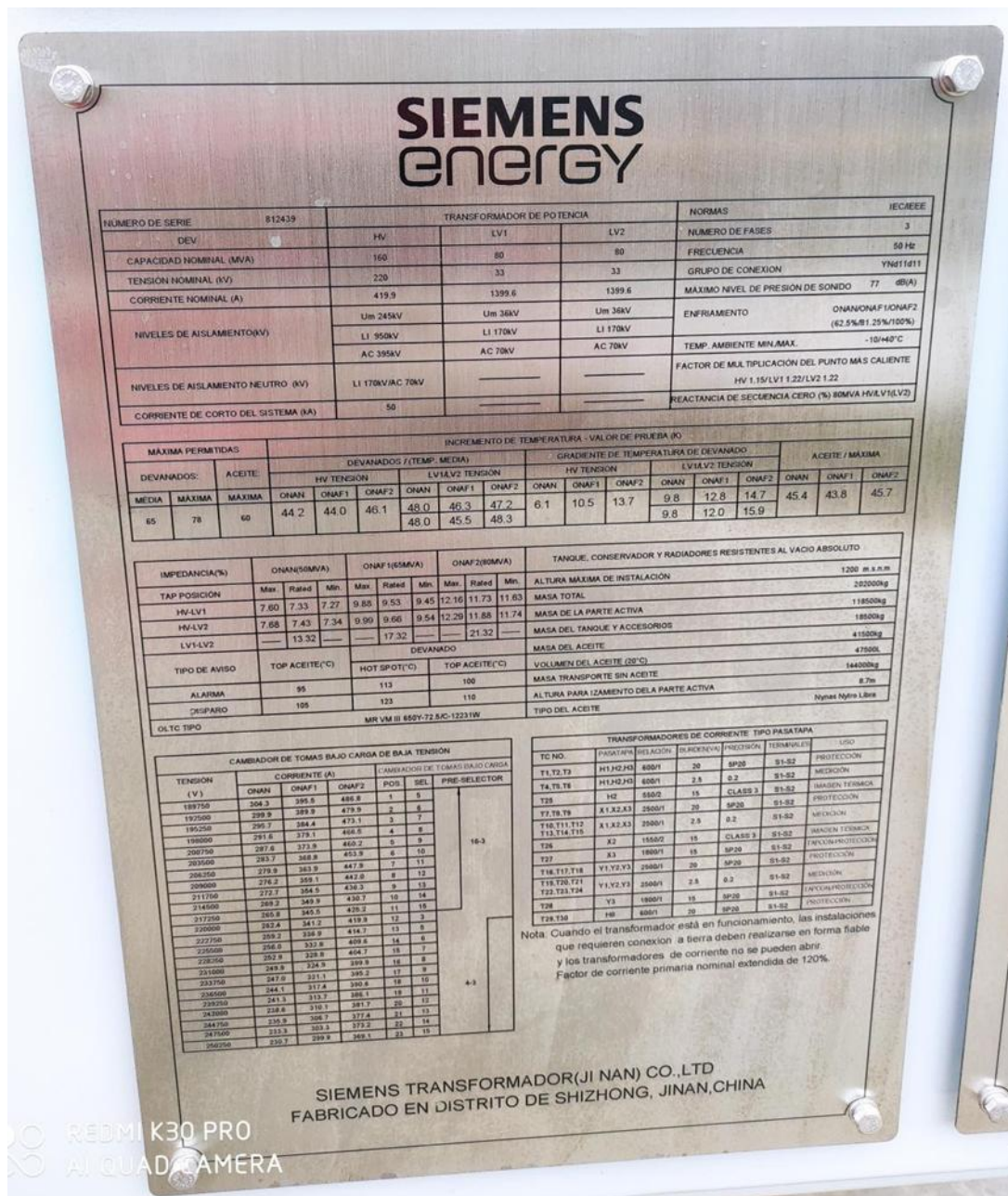


Figura 7.4 – Placa del transformador principal





## 7.8 Transformador de bloque

<b>ELTAS</b> Transformador Saşayı ve Ticarət A.Ş.		14.07.2021
<b>General Specifications</b>		
Transformer type		Oil immersed, Hermetically sealed
Installation		Outdoor
Applicable standards		IEC 60076-1
Rated power	(ONAN) kVA	3630
High voltage	V	33000
High voltage tapplings (no load)	%	± 2 x 2,5
Low voltage (no load)	V	660
High voltage insulation level	(U <sub>m</sub> / U <sub>AC</sub> / U <sub>LI</sub> ) kV	36 / 70 / 170
Low voltage insulation level	(U <sub>m</sub> / U <sub>AC</sub> / U <sub>LI</sub> ) kV	1,1 / 3 / --
Frequency	Hz	50
Vector group		Dy11
Number of phases		3
Max. ambient temperature	°C	40
Min. ambient temperature	°C	-10
Max. temperature rise (winding / oil)	K	65 / 60
Max. altitude above sea level	m	1200
Permissible short circuit duration	s	2
X/R ratio		8,7
Positive sequence impedance	%	7
Zero sequence impedance	%	6,3
<b>Guaranteed Values</b>		
Impedance voltage(75°C)	±10 % tolerance	% 7
No load losses	+15 % tolerans	W 3100
Load losses(75°C)	+15 % tolerans	W 30000
Efficiency	%	99,10
Inrush Current	pu	<5,5
<b>Structural Specifications</b>		
High voltage winding conductor material		Al
Low voltage winding conductor material		Al
Oil type		Inhibited Mineral Transformer Oil
Paintting Code		C3H RAL 7035
<b>Dimensions and Weight</b>		
Length / Width / Height	mm	2156 / 1705 / 1924
Total weight	kg	6880
Weight of active part	kg	3620
Weight of oil	kg	1360
Volume of oil	L	1689
<b>Connection Terminals</b>		
High voltage		Plug-in Bushings 36kV 400A x 3
Low voltage		Busbar Bushings 2000 A x 6
<b>Accessories</b>		
Hermetic Protection Relay (DMCR+PT100)	Terminal Box	
Pressure Relief Device	Earthed Screen Between LV & HV	
Off - circuit tap changer		
Lifting lugs		
Oil filling & drain valves		

Figura 7.8 – Placa transformador de bloque



## 7.9 Transformador de servicios auxiliares


<div><div> <b>SDI</b></div><div><b>HOJA DE DATOS</b> <b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GARANTIZADAS</b> <b>TRANSFORMADOR SSAA</b></div><div> </div></div>				
ITEMS	DESCRIPCIÓN	Unidad	ESPECIFICADO	OFRECIDO
2.01	Cantidad de Equipos	c/u	1	1
	Tipo Modelo		PAD MOUNTED	Tipo seco aislado en resina epoxi
	Potencia Nominal	kVA	250	250
	Relación de Transformación	kV	33/0.4	33/0.4
	N° de fases	-	3	3
	Cantidad de enrollados	-	2	2
	Conductor enrollados		COBRE	Aluminio
	Impedancia	%	6	6
	Polaridad		Sustractiva	N/A
	Cambiador de Derivaciones, Interno, Sin Carga		Manual $\pm 2 \times 2.5\%$	Manual $\pm 2 \times 2.5\%$
2.02	Grupo de Conexión		Dyn11	Dyn11
	Características Primario			
	Tensión Nominal	kV	33	33
	Conexiónado		DELTA	DELTA
	BIL	kV	170	170
	Bushing o bornes para conector tipo Bota/Clase de Aislación		Porcelana / 36 kV	Mufa terminal/36 kV
2.03	Distancia de Fuga	mm	Nivel "e", muy fuerte 53,7 mm/kV	N/A
	Características Secundario			
	Tensión Nominal	V	400/231	400/231
	Conexiónado		Estrella	Estrella
	BIL	kV	30	N/A
	Bushing o bornes para conector tipo Bota/Clase de Aislación		Porcelana / 1.2 kV	-/1.1 kV
2.04	Conexiónado a tierra		Sólidamente Aterrizado	Sólidamente Aterrizado
	Eficiencia			
	Corriente de Magnetización a 100% de la tensión Máxima	A	Por Fabricante	$\approx 0,075$ (HV side)
	Pérdidas en vacío a: 95% de la Tensión Primaria	kW	Por Fabricante	$\approx 0,75$
	Pérdidas en vacío a: 100% de la Tensión Primaria	kW	Por Fabricante	0.8
	Pérdidas en vacío a: 105% de la Tensión Primaria	kW	Por Fabricante	1.58
	Pérdidas en el Cobre a Potencia Nominal y Temp. 85°C	kW	Por Fabricante	3.91 (120°C)
	Pérdidas Totales	kW	Por Fabricante	4.71

Figura 7.9 – Antecedentes del transformador de SS/AA

## 7.10 Unilineal general de la planta

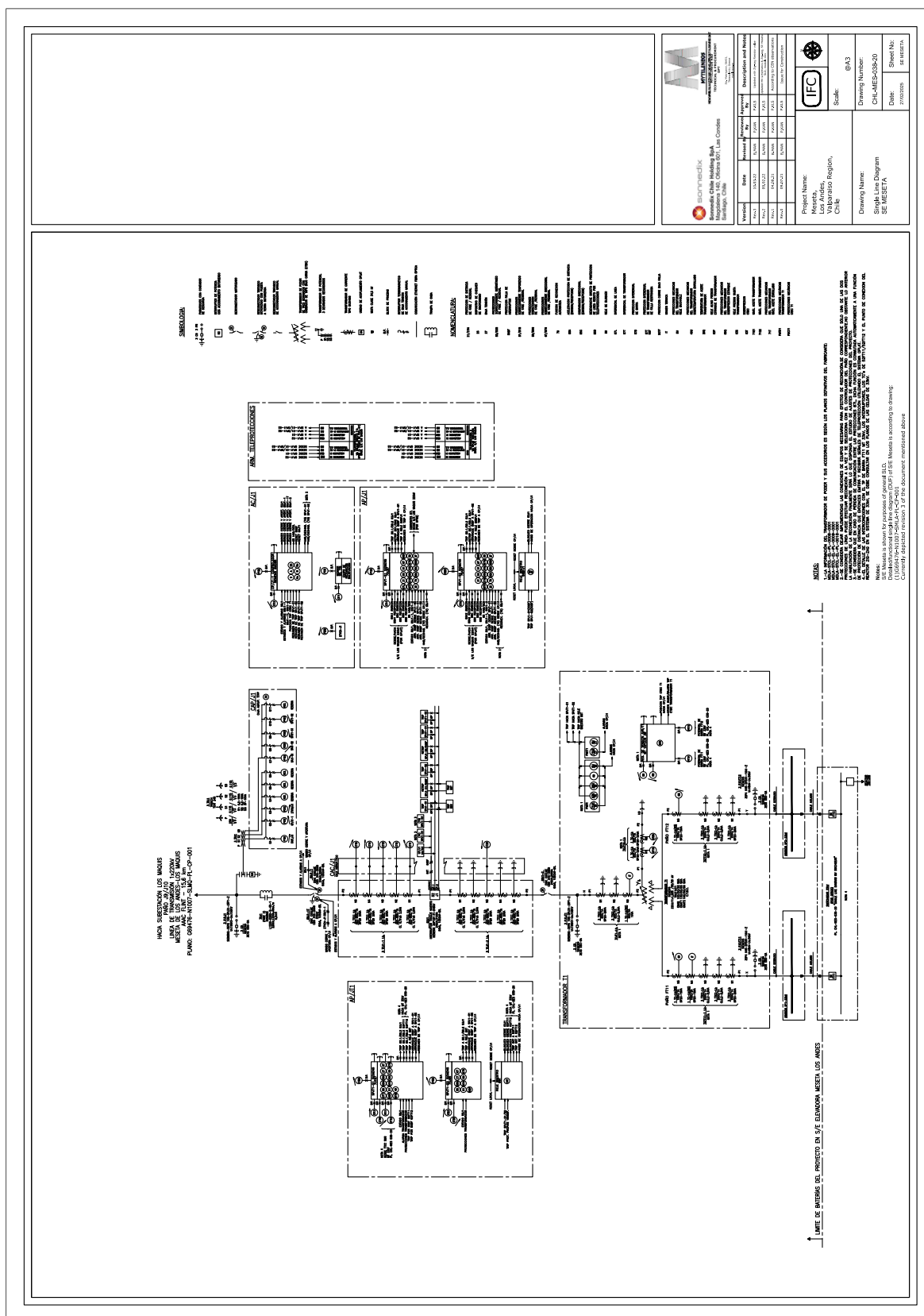


Figura 7.5 – Unilineal general de la planta (lado de 220 kV)



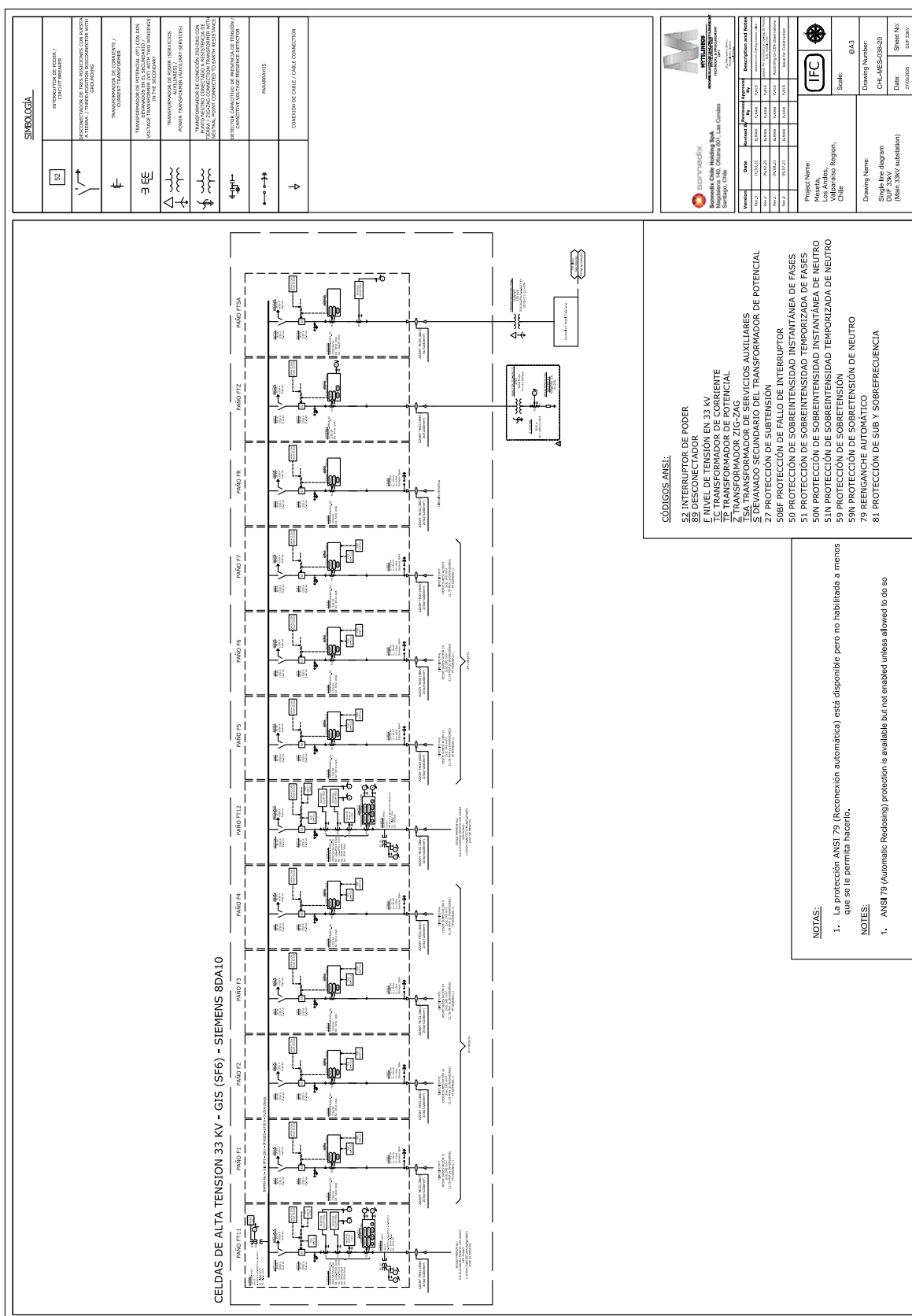


Figura 7.6 – Unilineal general de la planta (lado de 33 kV)



## 7.11 Rango de tensión de operación en red de media tensión

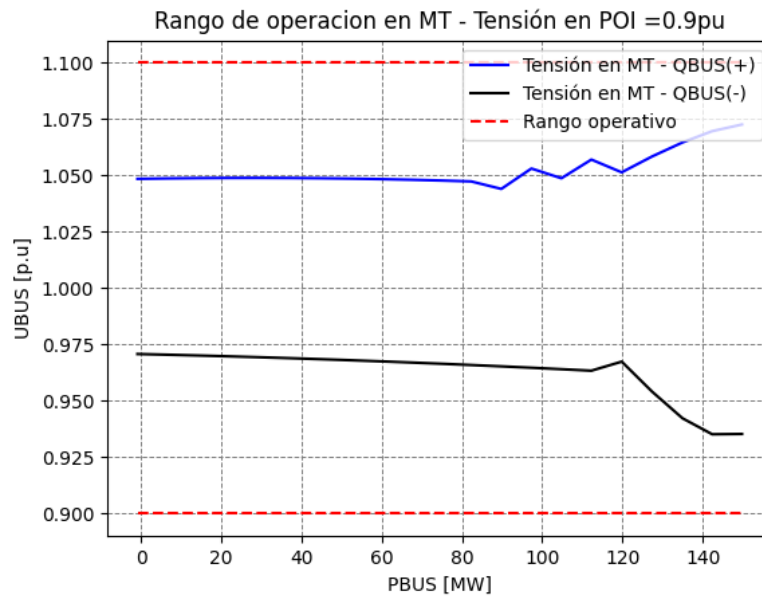


Figura 7.10 - Rango de operación en la red de media tensión – Tensión en POI = 0.9 p.u.

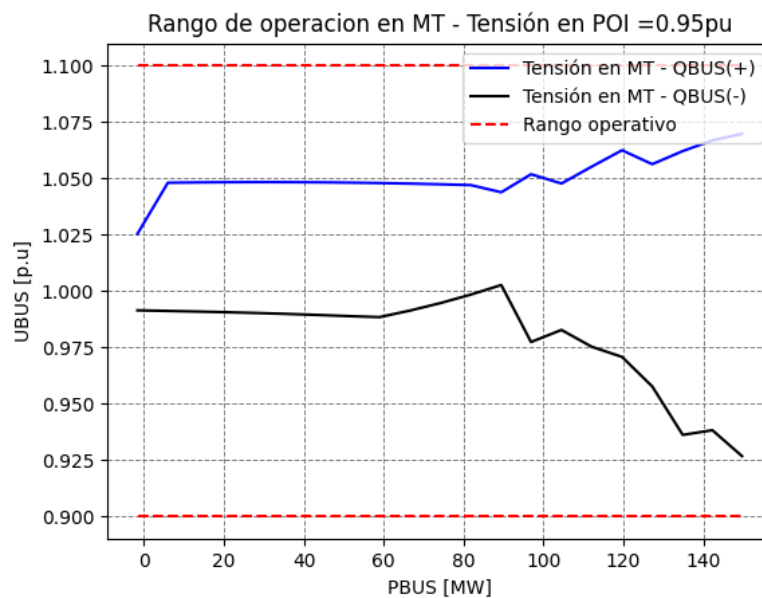


Figura 7.11 - Rango de operación en la red de media tensión – Tensión en POI = 0.95 p.u.

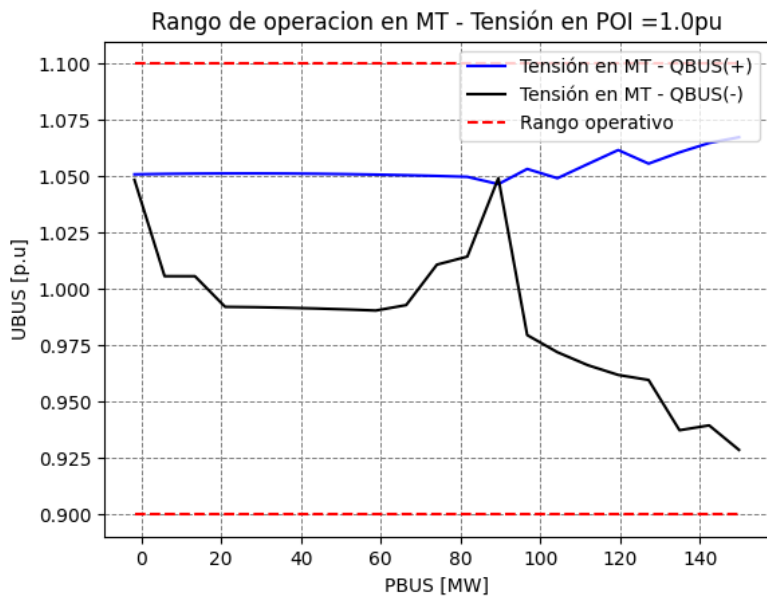


Figura 7.12 – Rango de operación en la red de media tensión – Tensión en POI = 1.0 p.u.

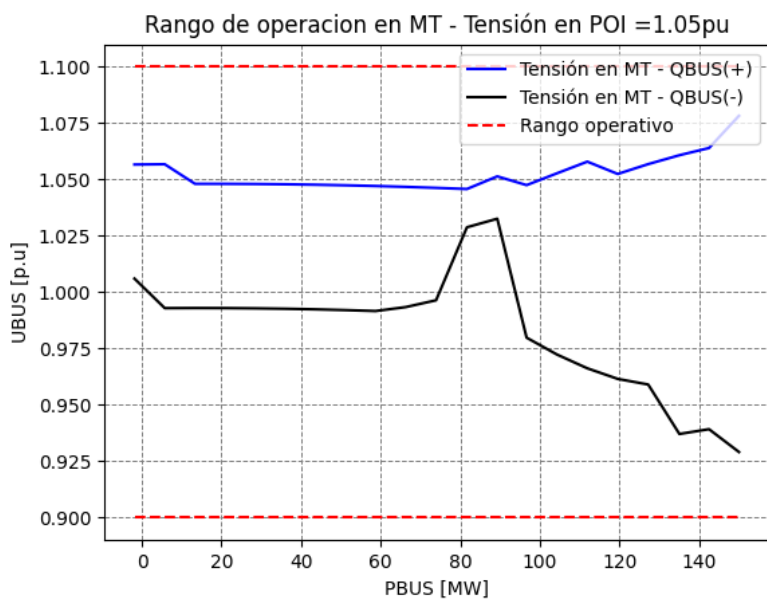


Figura 7.13 – Rango de operación en la red de media tensión – Tensión en POI = 1.05 p.u.

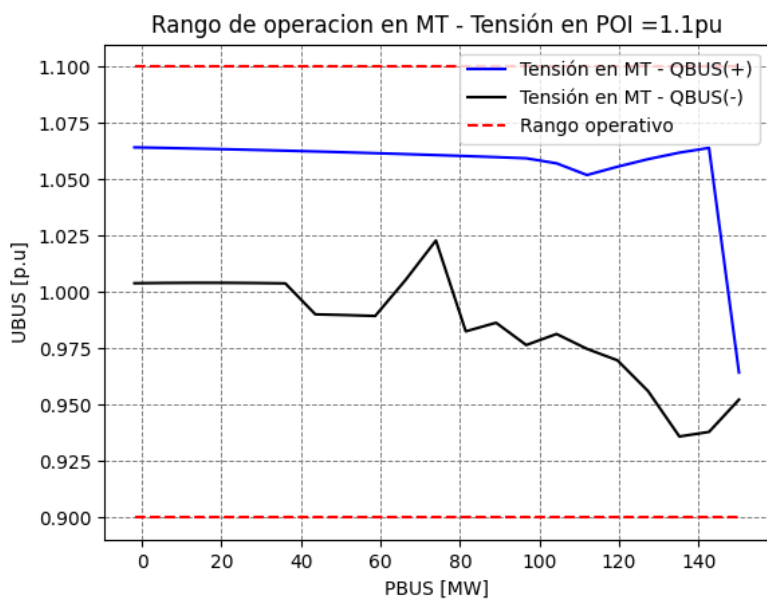


Figura 7.14 - Rango de operación en la red de media tensión – Tensión en POI = 1.1 p.u



## 7.12 Diagrama PQ a nivel inversor

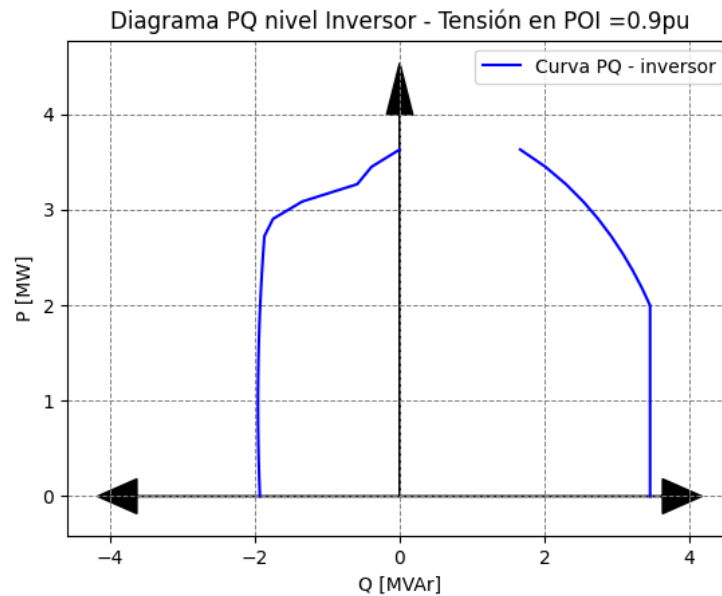


Figura 7.15 - Diagrama PQ a nivel inversor - Tensión en POI = 0.9 p.u.

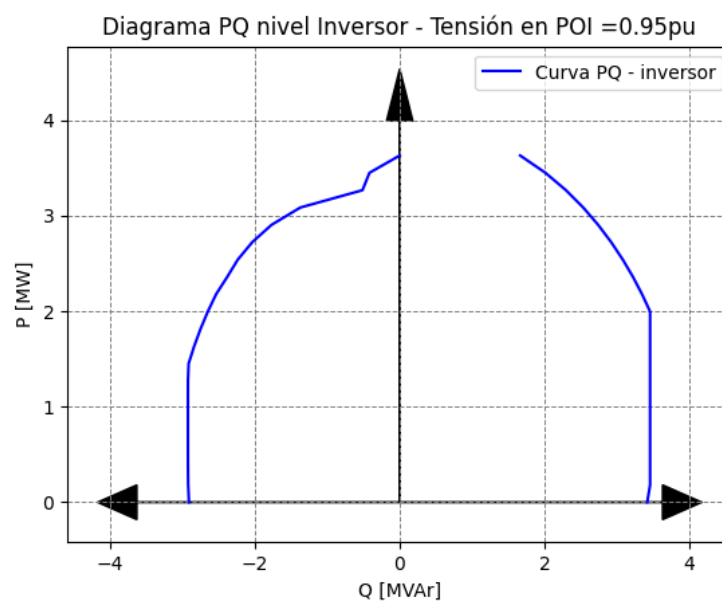


Figura 7.16 - Diagrama PQ a nivel inversor - Tensión en POI = 0.95 p.u.

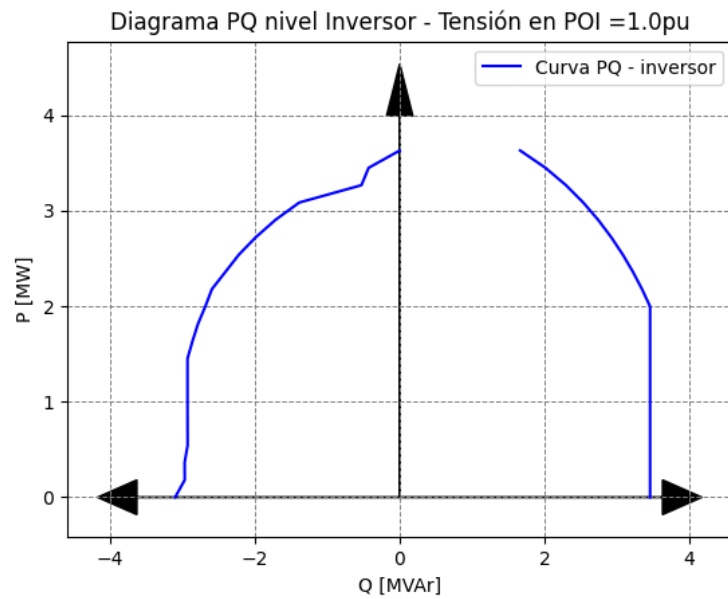


Figura 7.17 - Diagrama PQ a nivel inversor – Tensión en POI = 1.0 p.u.

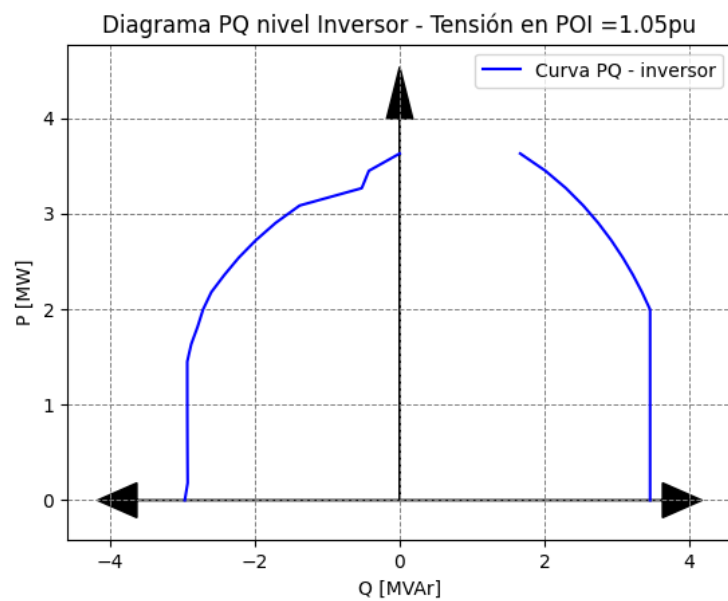


Figura 7.18 - Diagrama PQ a nivel inversor – Tensión en POI = 1.05 p.u.

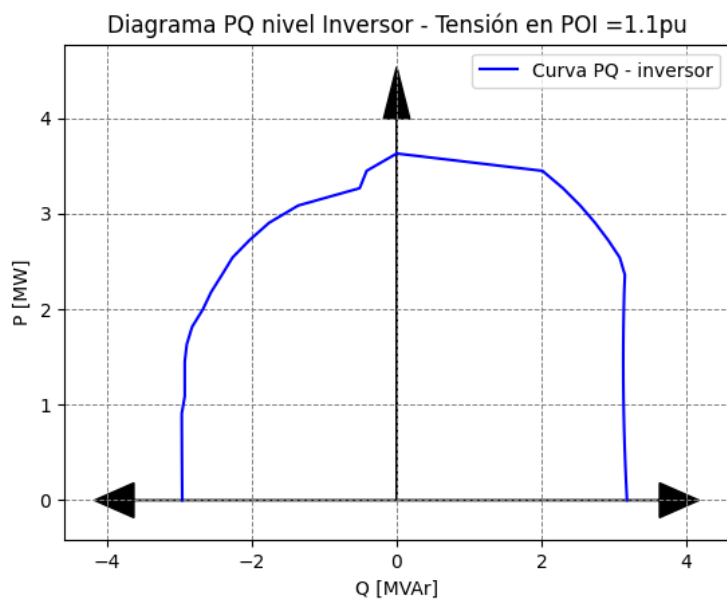


Figura 7.19 - Diagrama PQ a nivel inversor – Tensión en POI = 1.1 p.u.



7.13 Acta de pruebas

ESTUDIOS ELÉCTRICOS  
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Observaciones/Desvíos del protocolo

ESTUDIOS ELÉCTRICOS  
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

ACTA DE PRUEBAS

Fecha	Empresa
ID Proyecto	Ubicación
Denominación Planta	
Servicios por verificar	

Datos de la instalación

Potencia aparente nominal [MVA]	Tipo de central
Tensión en bornes nominal [kV]	Cantidad de unidades
Potencia activa máxima [MW]	Tipo de excitación
Potencia activa mínima [MW]	Transformador elevador bajo carga

Responsables durante las pruebas

Coordinado	Representante Coordinado
Equipo Experto Técnico	Experto Técnico
	Experto Técnico

Datos de las pruebas

Estado previo de la planta
Inicio del período de pruebas
Fin del período de pruebas
Protocolo aplicable
Posición de TAP <b>1250</b> elevador

Resumen de pruebas

Firmas Adaración/Empresa	Coordinado	Experto técnico
--------------------------	------------	-----------------

Figura 7.7 – Formato del acta de pruebas

P: EE-2024-193/I: EE-EN-2025-1252/R: B

56 / 57  
estudios-electricos.com





Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco