

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

Enel Green Power  
Chile  
BESS Don Humberto  
Informe Final - Control de Tensión



**CÓDIGO DE PROYECTO** EE-2023-186  
**CÓDIGO DE INFORME** EE-EN-2024-1866  
**REVISIÓN** B

**4 dic. 24**



Este documento **EE-EN-2024-1866-RB** fue preparado para Enel Green Power por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

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

**Ing. Andrés Capalbo**  
Sub-Gerente Dpto. Ensayos  
[andres.capalbo@estudios-electricos.com](mailto:andres.capalbo@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 90 páginas y ha sido guardado por última vez el 04/12/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
<b>A</b>	03.12.2024	Para presentar	PG	CiC	AC
<b>B</b>	04.12.2024	Correcciones según observaciones ENEL	CiC	AC	PR

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 Descripción de los participantes .....	7
	2.2 Nomenclatura.....	7
<b>3</b>	<b>REQUERIMIENTO NORMATIVO .....</b>	<b>8</b>
	3.1 Control de tensión .....	8
	3.1.1 Definición.....	8
	3.1.2 Requerimientos asociados a la prestación .....	8
<b>4</b>	<b>CONTEXTO DE LOS ENSAYOS.....</b>	<b>10</b>
	4.1 Procedimiento de pruebas.....	10
	4.2 Instrumental utilizado para la adquisición de datos.....	10
	4.2.1 Mediciones a nivel inversor .....	11
	4.2.2 Mediciones a nivel planta .....	12
	4.3 Registro de señales con equipos de planta.....	13
	4.4 Metodología general de los ensayos .....	13
<b>5</b>	<b>VERIFICACIÓN DEL CONTROL DE TENSIÓN / POTENCIA REACTIVA DEL BESS.....</b>	<b>14</b>
	5.1 Ensayos a nivel inversor .....	14
	5.1.1 Respuesta dinámica del control local de potencia reactiva .....	15
	5.2 Ensayos a nivel planta.....	22
	5.2.1 Respuesta dinámica del control de potencia reactiva .....	24
	5.2.2 Respuesta dinámica del control de factor de potencia .....	30
	5.2.3 Respuesta dinámica del control de tensión Q(V) .....	35
	5.3 Análisis.....	41
	5.3.1 Pruebas a nivel inversor.....	41
	5.3.2 Pruebas a nivel planta.....	41
<b>6</b>	<b>VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO.....</b>	<b>42</b>
	6.1 Puntos operativos alcanzados.....	43
	6.1.1 Análisis .....	49
	6.2 Curvas de capacidad .....	51



6.2.1	Diagrama PQ de la central .....	52
6.2.2	Resumen de valores a informar .....	55
6.2.3	Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 0.95 pu - Generación .....	56
6.2.4	Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 0.95 pu - Consumo.....	56
6.2.5	Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.00 pu – Generación .....	57
6.2.6	Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.00 pu - Consumo.....	57
6.2.7	Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.05 pu - Generación .....	58
6.2.8	Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.05 pu - Consumo.....	58
<b>7</b>	<b>ANALISIS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>
8.1	Verificación de curvas de capacidad en diferentes niveles de tensión .....	60
8.1.1	Verificación curva PQ @ 0.95 p.u. ....	60
8.1.2	Verificación curva PQ @ 1.05 p.u. ....	65
8.1.3	Verificación curva PQ @ 0.95 p.u. data cliente .....	69
8.1.4	Verificación curva PQ @ 1.05 p.u. data cliente .....	73
8.2	Antecedentes del inversor .....	77
8.3	Protección de los inversores .....	77
8.4	Antecedentes del transformador principal .....	78
8.5	Antecedentes de los transformadores de bloque.....	79
8.6	Diagrama Unilineal .....	80
8.7	Archivos adjuntos entregados .....	81
8.8	Acta de pruebas SSSC .....	84
8.9	Certificado de calibración del equipamiento utilizado.....	87



# 1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento resume los resultados del proceso de Verificación de Servicios Complementarios (SSCC) de **Control de Tensión** del **BESS Don Humberto**, Número Único de Proyecto (NUP) 4084.

El informe muestra los ensayos y análisis realizados con el objeto de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la Norma Técnica de Servicios Complementarios vigente, siguiendo los lineamientos estipulados en las "Guías de Verificación de Servicios Complementarios" expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN).

Los ensayos se realizan siguiendo el procedimiento elaborado por Estudios Eléctricos S.A. según el documento *"EE-EN-2024-1199-RA\_Procedimiento\_Ensayos\_SSCC\_BESS\_Don\_Humberto"* aprobado por el CEN.

La verificación del SSCC de CT se complementa con el informe de curvas PQ teóricas máximas del parque emitido en la etapa de análisis preliminar previo al desarrollo del procedimiento de ensayos, según el documento *"EE-EN-2024-1188-RB\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto"*.

**Se verifica el correcto desempeño dinámico de la instalación para la prestación del Servicio Complementario de Control de tensión.**

**Se verifican correctamente los valores máximos de inyección y absorción de reactivos de la instalación en todo el rango de potencia activa, tanto para condición de carga como descarga del BESS. Sin embargo, hubo restricciones del sistema de transmisión para modificar la tensión del punto de interconexión.**



## 2 INTRODUCCIÓN

El BESS Don Humberto, ubicado en la comuna de Tiltill, región Metropolitana, se compone de veintitrés (23) contenedores de baterías de la marca Wärtsilä, modelo GridSolv Quantum. A su vez, se compone de veintitrés (23) inversores marca SMA, modelo 3800 UP de 660 V de tensión de operación y potencia nominal de 3.8 MVA cada uno.

Si bien la instalación totaliza 87.4 MVA de potencia aparente instalada, los contenedores de baterías suman 67.05 MW de potencia activa. Se considera un ciclo de descarga de 2 horas, es decir, la capacidad de energía instalada es de 134.1 MWh.

La red colectora de media tensión del BESS se compone de 3 circuitos (FB1, FB2 y FB3), en dos de ellos se interconectan 8 inversores y el restante cuenta con 7 equipos. Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV en la S/E Don Humberto, donde se eleva la tensión a 110 kV y se interconecta al sistema a través de una línea de transmisión hacia S/E Punta Peuco 110 kV.

El parque cuenta con un control conjunto de planta marca Wärtsilä. Este módulo permite al parque operar con los modos de control de potencia reactiva, factor de potencia, tensión Q(V) y potencia activa (incluyendo la regulación primaria de frecuencia) en su punto de inyección en la barra de 33 kV.

Las mediciones se realizan a nivel de punto de interconexión de la instalación correspondiente al lado de alta tensión (110 kV) del transformador principal de la instalación y durante los ensayos el Parque Fotovoltaico Don Humberto se mantiene fuera de servicio.



## 2.1 Descripción de los participantes

Empresa	Personal	Cargo
Estudios Eléctricos	Cesar Colignon	Equipo Experto Técnico
Enel Green power	Mauricio Segovia	Commissining Manager
Wärtsilä	Jayvelis Tovar	System Engineer

Tabla 2.1 – Personal Participante

Las pruebas se llevaron a cabo entre los días 11 y 13 de noviembre de 2024.

## 2.2 Nomenclatura

Tag	Descripción
<b>ETERM</b>	Tensión en bornes del inversor
<b>PELEC/QELEC</b>	Potencia eléctrica activa/reactiva en bornes del inversor
<b>UBUS</b>	Tensión en el punto de interconexión
<b>PBUS/QBUS</b>	Potencia eléctrica activa/reactiva en el punto de interconexión
<b>FREC</b>	Frecuencia eléctrica
<b>POI</b>	Punto de interconexión (de sus siglas en inglés "Point Of Interconnection")
<b>AT/MT/BT</b>	Nivel de alta tensión (110 kV) / media tensión (33 kV) / baja tensión (0.66 kV)
<b>CEN</b>	Coordinador Eléctrico Nacional
<b>EE</b>	Estudios Eléctricos
<b>CT</b>	Control de tensión
<b>TC</b>	Transformador de corriente
<b>TP</b>	Transformador de potencial
<b>Pmax</b>	Potencia activa neta máxima en el POI
<b>Pmin</b>	Potencia activa neta correspondiente al mínimo técnico en el POI
<b>P1inv(+)/(-)</b>	Despacho del inversor al $\pm 10\%$ de la potencia máxima disponible a la hora de los ensayos
<b>P2inv(+)/(-)</b>	Despacho del inversor al $\pm 50\%$ de la potencia máxima disponible a la hora de los ensayos
<b>P3inv(+)/(-)</b>	Despacho del inversor al $\pm 90\%$ de la potencia máxima disponible a la hora de los ensayos
<b>P1PPC</b>	Despacho del BESS a 0.0 MW
<b>P2PPC- Consumo/Generación</b>	Despacho del BESS al $\pm 33\%$ zona de consumo/generación
<b>P3PPC- Consumo/Generación</b>	Despacho del BESS al $\pm 50\%$ zona de consumo/generación
<b>P4PPC- Consumo/Generación</b>	Despacho del BESS al $\pm 66\%$ zona de consumo/generación
<b>P5PPC- Consumo/Generación</b>	Despacho del BESS al $\pm 100\%$ zona de consumo/generación
<b>NT SSCC</b>	Norma Técnica de Servicios Complementarios
<b>NTS&amp;CS</b>	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio

Tabla 2.2 - Nomenclatura empleada



## 3 REQUERIMIENTO NORMATIVO

### 3.1 Control de tensión

El objetivo de esta sección es citar los requerimientos mínimos que debe cumplir cada una de las instalaciones interconectadas al SEN para verificar las capacidades de prestar el servicio de control de tensión según la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC), y el Anexo Técnico "Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC".

#### 3.1.1 Definición

Este servicio corresponde a acciones de control que permiten mantener la tensión de operación de las barras del sistema eléctrico en una banda predeterminada, dentro de los niveles admisibles establecidos en la normativa vigente. La naturaleza de la prestación de este servicio se considera local.

#### 3.1.2 Requerimientos asociados a la prestación

Dependiendo de la naturaleza del equipamiento/unidad que preste este servicio complementario se distinguen diferentes tipos de requerimientos:

##### a) Parques eólicos y fotovoltaicos

- **Control estático:** Esta prestación corresponde a la entrega de una cantidad fija de potencia reactiva, de acuerdo con una consigna previamente establecida por el Centro de Despacho y Control, y dentro de las capacidades establecidas por la curva PQ de cada instalación. En los casos que esta acción sea requerida en ausencia del recurso primario, el costo asociado al consumo de energía incurrido será compensado en el proceso de remuneraciones de los SSCC.
- **Control dinámico:** Esta prestación corresponde a la actuación del regulador de tensión de un parque eólico o solar sobre sus equipos de generación o sobre equipos de suministro de potencia reactiva, para contribuir a mantener la tensión de operación en los niveles admisibles establecidos en la NTSyCS, tanto en régimen permanente como ante contingencias, de acuerdo con la consigna de tensión previamente establecida por el Coordinador y conforme a lo establecido en los artículos 3-8 y 3-9 de la NTSyCS vigente. Este tipo de control se diferenciará en uno de tipo rápido y otro lento, diferenciándose en cuanto a su tiempo de respuesta, que en el primer caso no podrá ser superior a 1 segundo, mientras que para el lento no podrá exceder los 20 segundos. Será el Coordinador por medio del quién definirá si se requiere que alguna instalación preste este tipo de servicio. En los casos que esta acción sea requerida en ausencia del recurso primario, el costo asociado al consumo de energía incurrido será compensado en el proceso de remuneraciones de los SSCC.





Los parques eólicos/fotovoltaicos deberán operar de forma estable y permanente, entregando o absorbiendo reactivos, de acuerdo con los límites establecidos en sus diagramas PQ, considerando las exigencias descritas en la NTSyCS. En el caso de los parques eólicos y fotovoltaicos, esto podrá ser realizado mediante un control por consigna de tensión sobre la barra de inyección al Sistema.

Los parques eólicos y fotovoltaicos de potencia nominal total igual o mayor a 50 [MW] deberán tener un sistema de control que permita recibir una señal proveniente de un control conjunto de potencia reactiva/tensión, cuya función sea controlar la tensión en barras de alta tensión del parque a un valor ajustado por el operador, según el artículo 3-13 de la NTSyCS.

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

**Para efectos del presente informe se toman en consideración los requisitos asociados a parques eólicos y fotovoltaicos para su aplicación en la tecnología BESS.**



## 4 CONTEXTO DE LOS ENSAYOS

### 4.1 Procedimiento de pruebas

El procedimiento implementado se diseñó en base al análisis de las características y capacidades del BESS Don Humberto detallado en el informe de curvas PQ teórico máximo del parque según el documento ***“EE-EN-2024-1188-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto”***.

El procedimiento de pruebas se informa en el documento técnico ***“EE-EN-2024-1199-RB\_Procedimiento\_Ensayos\_SSCC\_BESS\_Don\_Humberto”***.

Ambos documentos fueron elaborados por Estudios Eléctricos S.A. y aprobados por el Coordinador Eléctrico Nacional. En dichos documentos se analiza la factibilidad de alcanzar los puntos de máxima inyección y absorción de potencia reactiva del BESS y se define el plan de trabajo.

Las pruebas realizadas en el **BESS Don Humberto** se llevaron a cabo de acuerdo con el procedimiento ya mencionado. Algunas de las pruebas realizadas sufrieron variaciones en terreno. Dichas variaciones con respecto al procedimiento se detallan en la sección correspondiente a cada prueba.

### 4.2 Instrumental utilizado para la adquisición de datos

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo de adquisición de datos (propiedad de EE) y un analizador de red. Sus principales características se presentan en la Tabla 4.1.

Denominación	Marca / Modelo	N° serie	Certificado de calibración
Adquisidor de datos	EE / Adq Medium 8CH	EE-EQ-2015-0794	Ver Anexo 8.9
Analizador de calidad de energía	BlackBox	4201-5361	Ver Anexo 8.9

Tabla 4.1 – Característica de los equipos de adquisición

Las variables registradas a nivel inversor con el instrumental primario son:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Frecuencia
- Tensión de terminales
- Corriente de terminales



En tanto, las variables registradas a nivel de POI con el instrumental primario son:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Frecuencia
- Tensión
- Corriente

#### 4.2.1 Mediciones a nivel inversor

En la Figura 4.1 se presenta el diagrama unilineal a nivel inversor. Se enmarca en el recuadro **rojo** la salida del inversor en corriente alterna, desde donde se han tomado las medidas para las pruebas de validación a nivel de inversor.

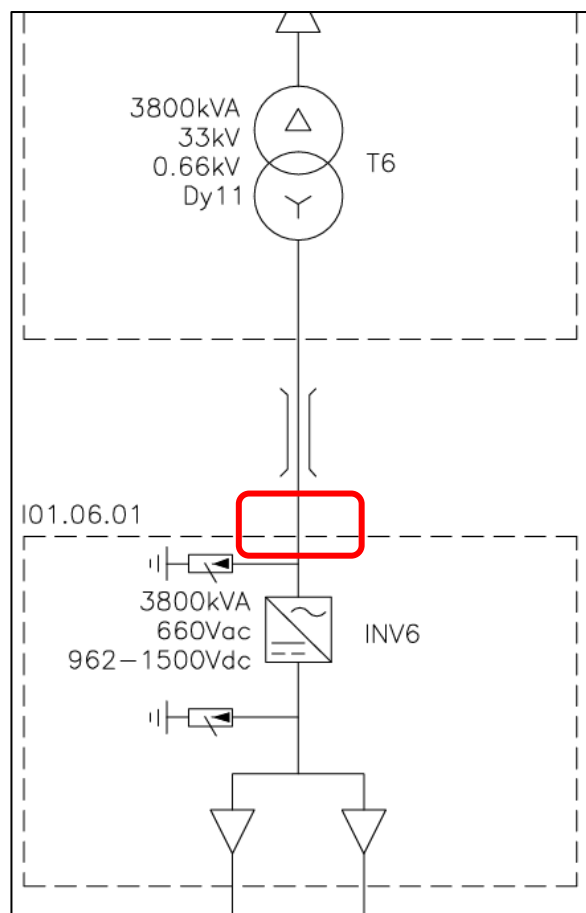
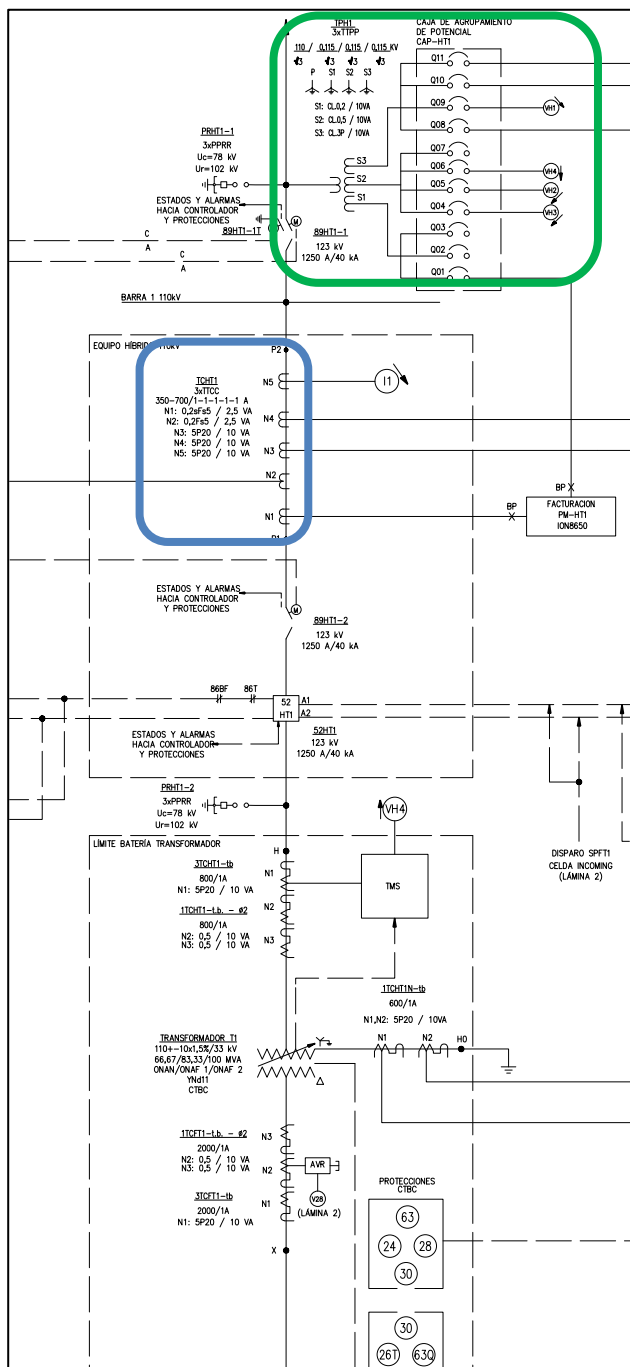


Figura 4.1 – Circuito esquemático para mediciones a nivel inversor

#### 4.2.2 Mediciones a nivel planta

En la Figura 4.2 se muestra una sección del plano de la S/E Don Humberto. El recuadro **azul** muestra el transformador de corriente y el recuadro **verde** muestra el transformador de tensión del paño HT1, correspondiente al devanado de 110 kV del transformador principal de la instalación.



*Figura 4.2 – Punto de conexión a nivel planta*



### 4.3 Registro de señales con equipos de planta

Adicionalmente, se registran señales de interés con el sistema de adquisición de planta, el cual posee una tasa de muestreo de 1 minuto. Los registros son exportados en formato .csv. Se consideran señales de respaldo a nivel de inversor y POI, además del registro de estado de carga durante las pruebas.

Las variables complementarias registradas a nivel de inversor son:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Estado de carga de contenedor de baterías de inversor

En tanto, las variables complementarias a nivel de planta son:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Estado de carga medio del BESS

### 4.4 Metodología general de los ensayos

Para realizar los ensayos correspondientes al control de tensión a nivel inversor, se realizan escalones en la referencia del lazo de control que implementa el control local de los inversores. Los ensayos se realizaron a pie de los inversores con apoyo del personal del fabricante del equipo.

Para realizar los ensayos correspondientes al control de tensión a nivel BESS completo, se realizan escalones en la referencia de los lazos de control que implementa el controlador de planta (PPC) del BESS.

En el contexto de la verificación del SSCC de CT los modos de control evaluados son:

- A nivel inversor:
  - Control de potencia reactiva
- A nivel PPC:
  - Control de potencia reactiva
  - Control de factor de potencia
  - Control de tensión Q(V)



## 5 VERIFICACIÓN DEL CONTROL DE TENSIÓN / POTENCIA REACTIVA DEL BESS

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

### 5.1 Ensayos a nivel inversor

Estos ensayos se realizan sobre ambos inversores INV02 (unidad cercana) y INV15 (unidad lejana). Los despachos de potencia activa ensayados fueron determinados en base a una potencia nominal de 2.915 MW que corresponde a la potencia media instalada en cada inversor.

Los ensayos consisten en pruebas dinámicas de respuesta al escalón en el modo de control de potencia reactiva por medio del controlador local de los inversores. La Tabla 5.1 resume los ensayos realizados para cada despacho de potencia activa de los inversores.

Despachos de Potencia Activa	Valor [MW]	Modos de control <sup>1</sup>
P3inv(+)	2.7	Q
P2inv(+)	1.4	Q
P1inv(+)	0.3	Q
P1inv(-)	-0.3	Q
P2inv(-)	-1.4	Q
P3inv(-)	-2.7	Q

Tabla 5.1 – Despachos de potencia activa de los inversores – Zona generación y consumo

<sup>1</sup> Los modos de control de tensión (V) y factor de potencia (PF), no se encuentran habilitados en los inversores.



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

Con el inversor operando en control local de potencia reactiva, se aplican cambios de tipo escalón, en la referencia correspondiente, de amplitud superior al  $\pm 10\%$  de su potencia nominal.

Las maniobras se realizan mediante el control local de los inversores y consiste en un cambio de referencia de  $\pm 0.5$  MVar con una duración de al menos 30 segundos, tal que se permite el establecimiento de las principales magnitudes en bornes del inversor.

Se aprecia una respuesta estable en todos los despachos de potencia activa ensayados.

#### Inversor INV02 – Despacho $P1_{INV}(-)$

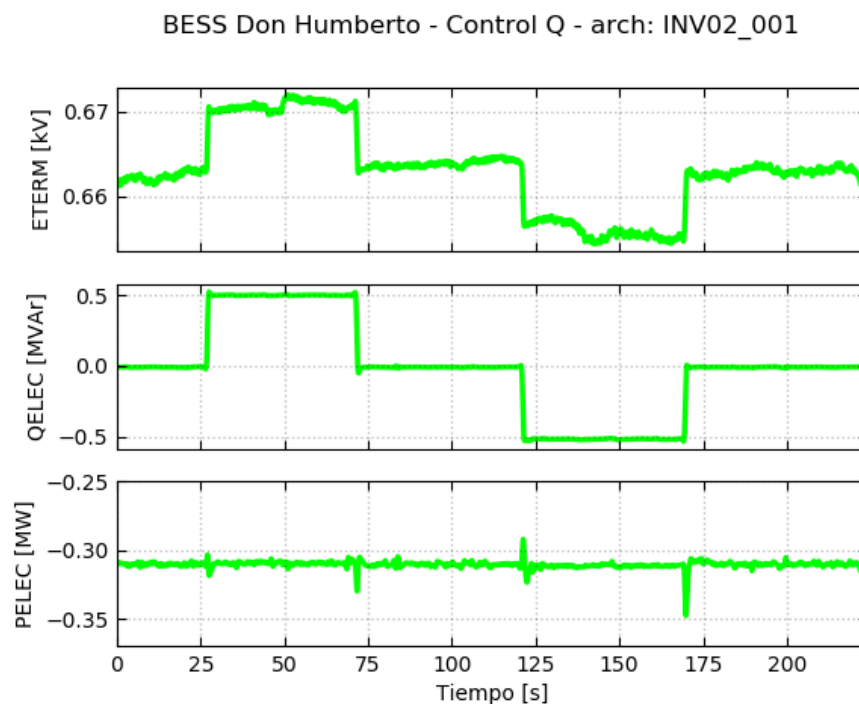


Figura 5.1 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar



### Inversor INV02 – Despacho $P2_{INV}(-)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV02\_002

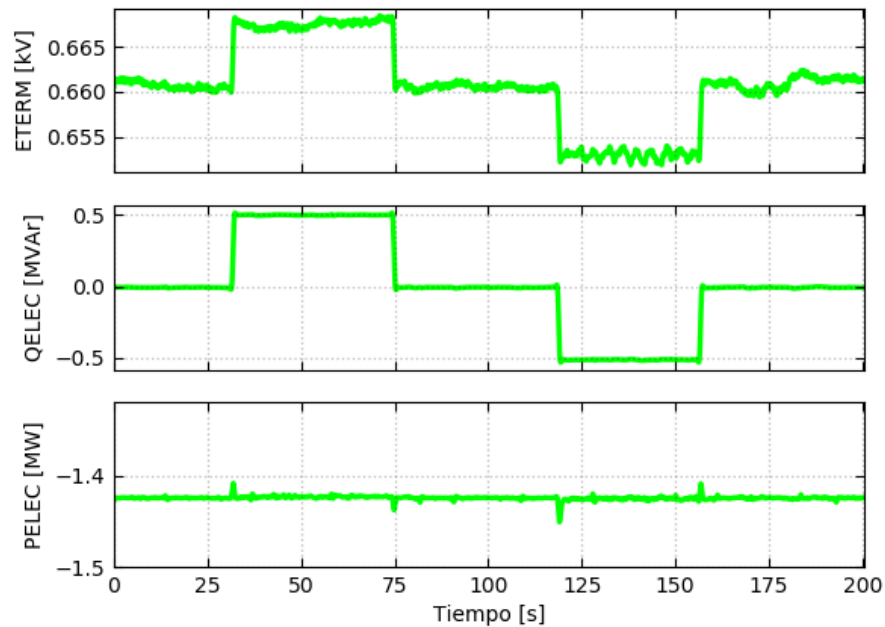


Figura 5.2 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar

### Inversor INV02 – Despacho $P3_{INV}(-)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV02\_003

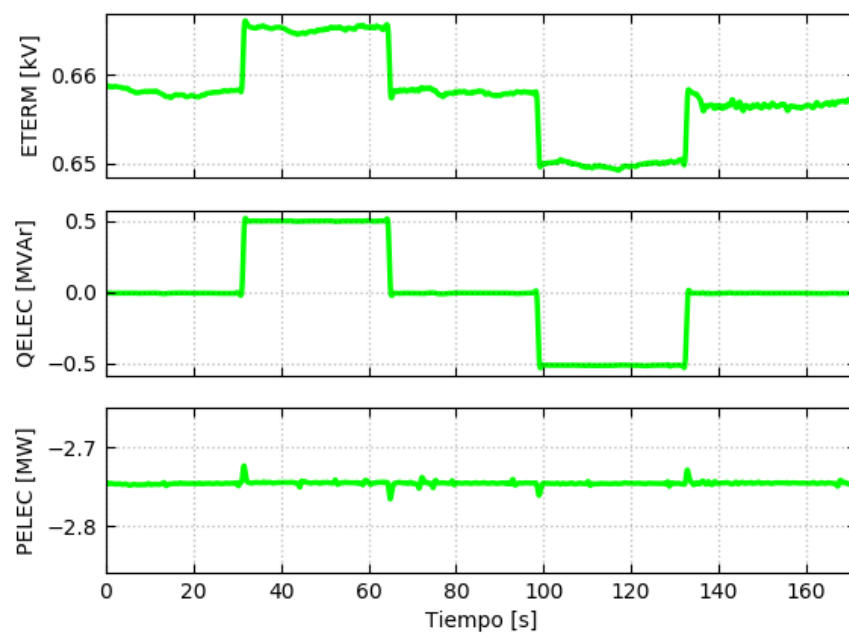


Figura 5.3 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar





### Inversor INV02 – Despacho P1<sub>INV</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV02\_004

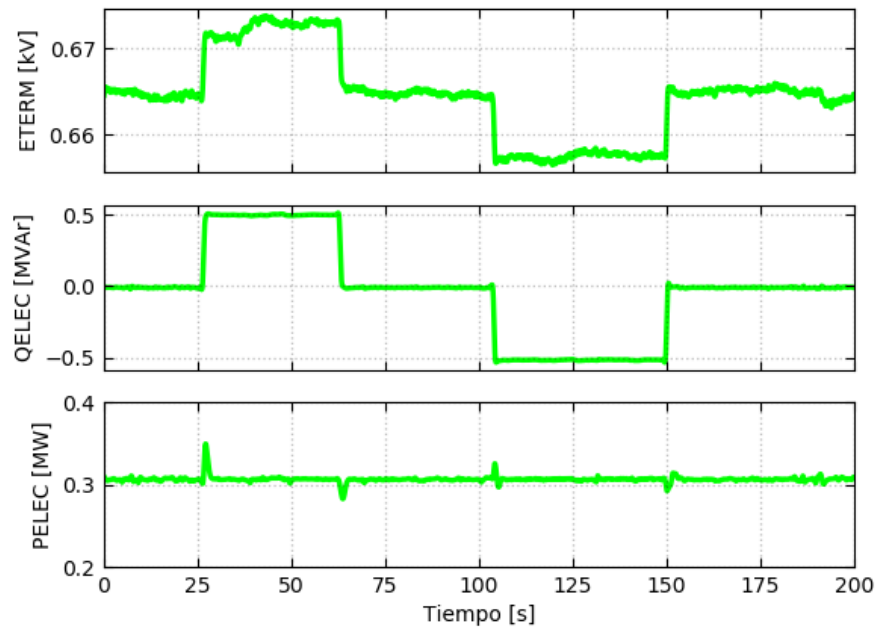


Figura 5.4 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar

### Inversor INV02 – Despacho P2<sub>INV</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV02\_005

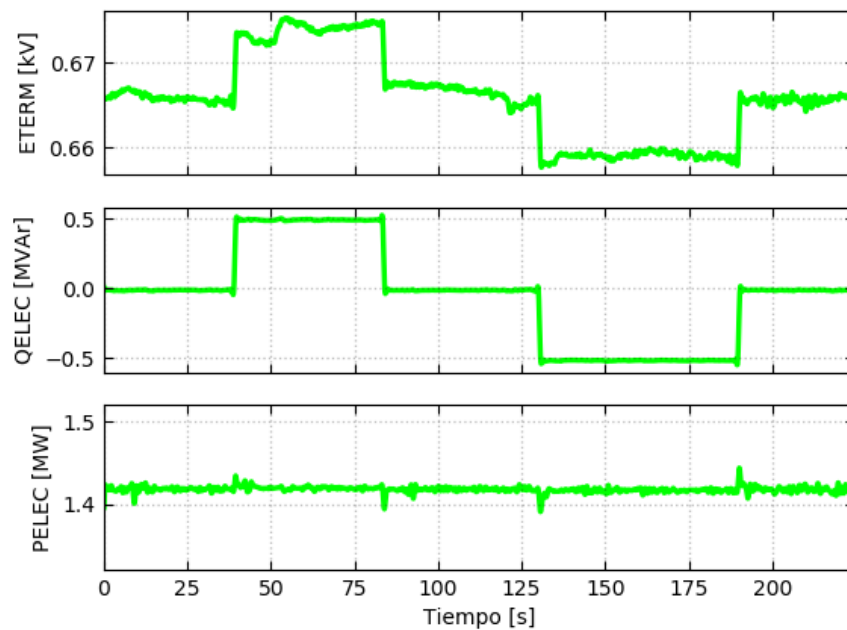


Figura 5.5 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar



### Inversor INV02 – Despacho $P3_{INV}(+)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV02\_006

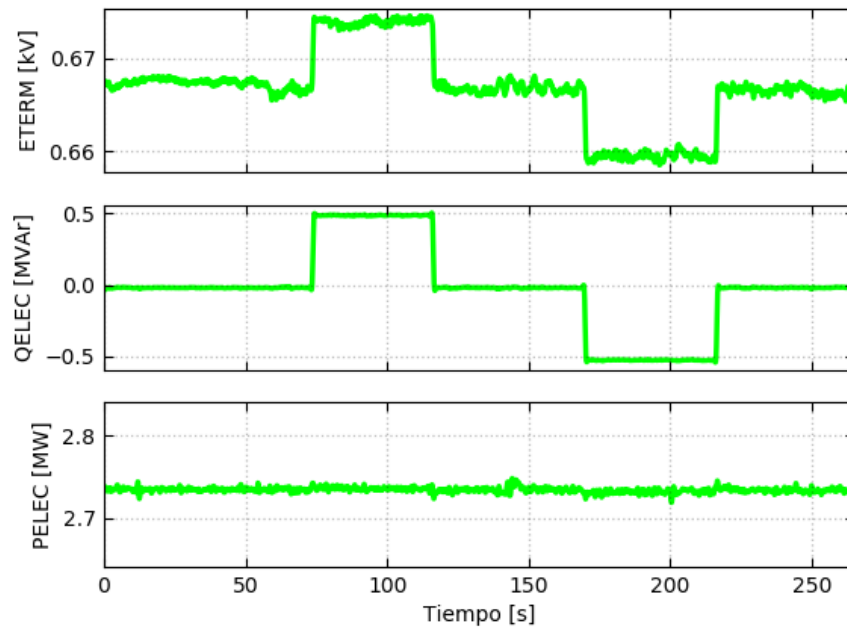


Figura 5.6 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar

### Inversor INV15 – Despacho $P1_{INV}(-)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV15\_001

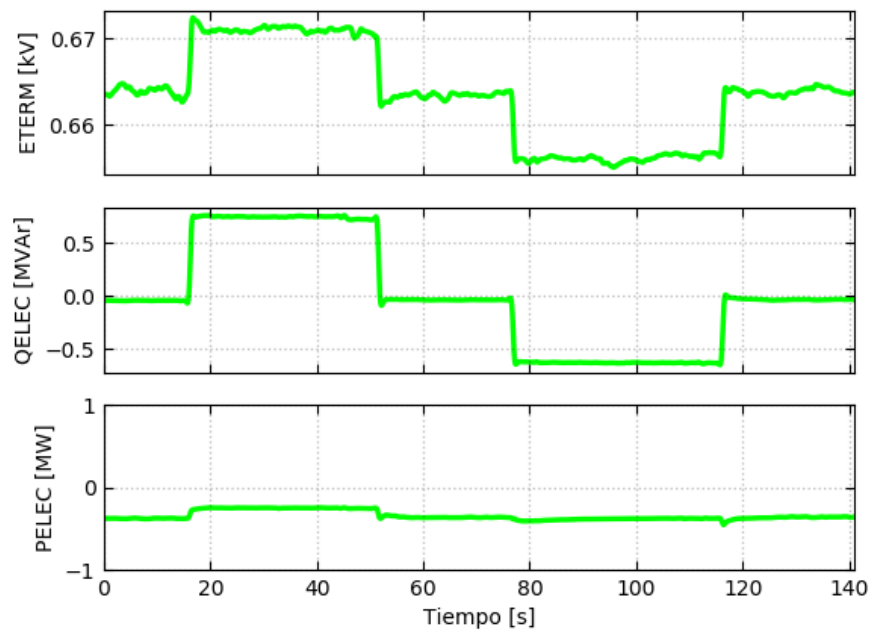


Figura 5.7 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar



### Inversor INV15 – Despacho $P2_{INV}(-)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV15\_002

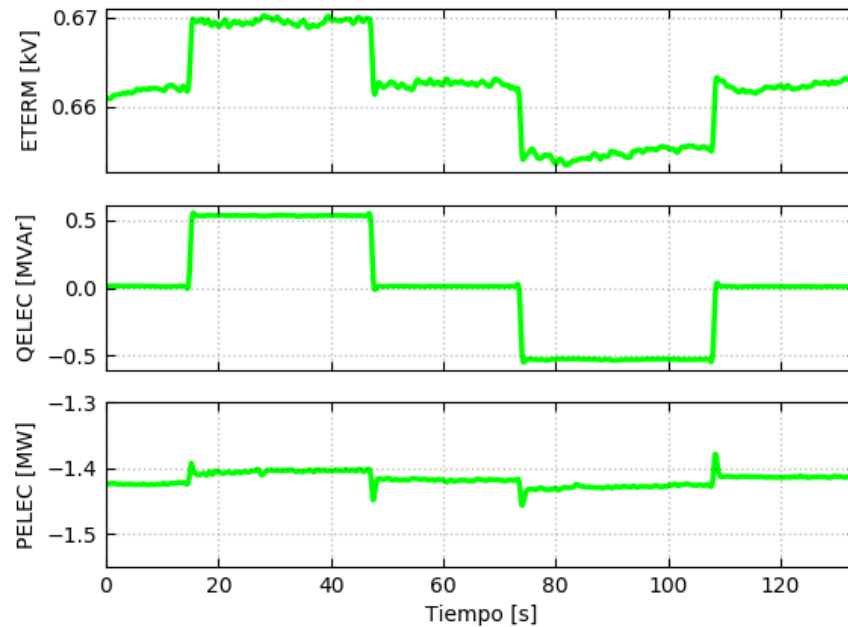


Figura 5.8 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar

### Inversor INV15 – Despacho $P3_{INV}(-)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV15\_003

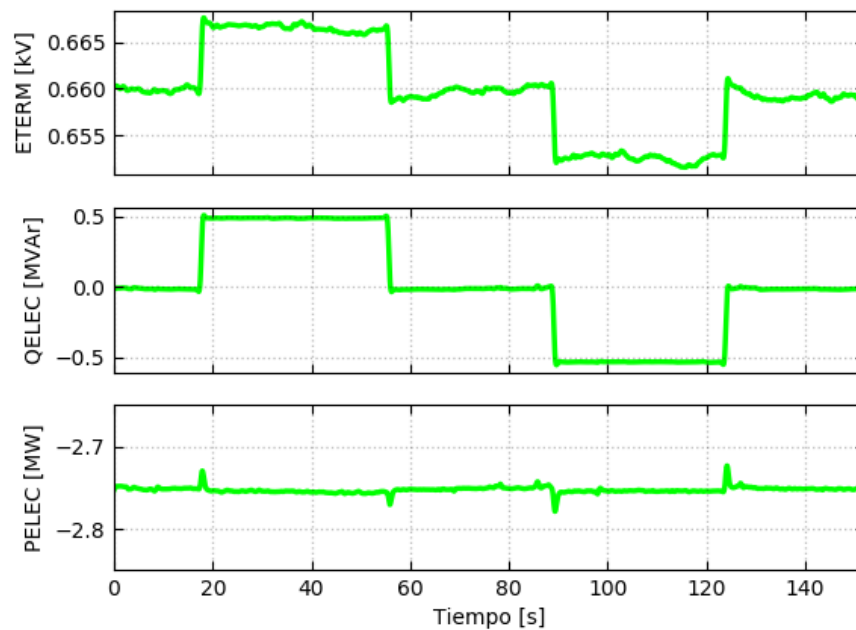


Figura 5.9 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar



### Inversor INV15 – Despacho $P1_{INV}(+)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV15\_004

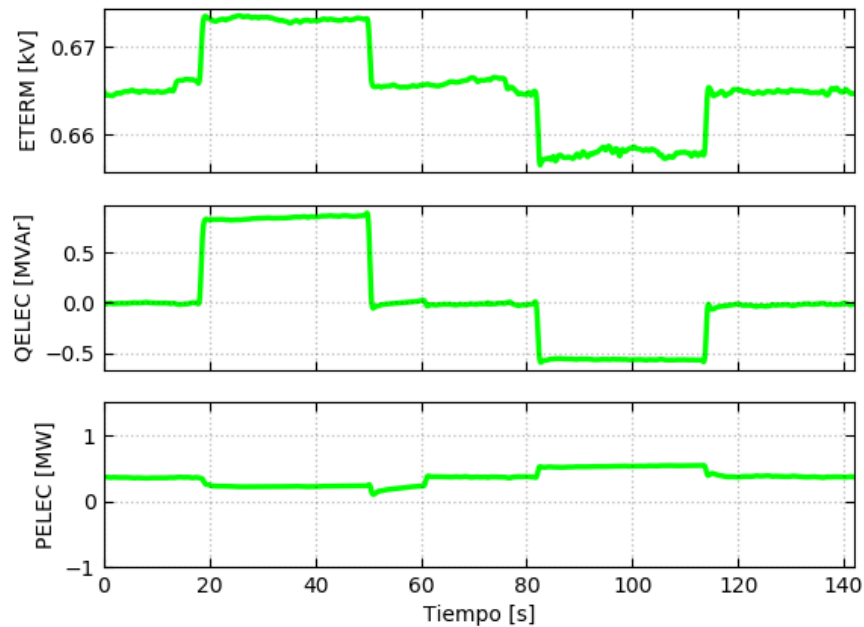


Figura 5.10 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar

### Inversor INV15 – Despacho $P2_{INV}(+)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV15\_005

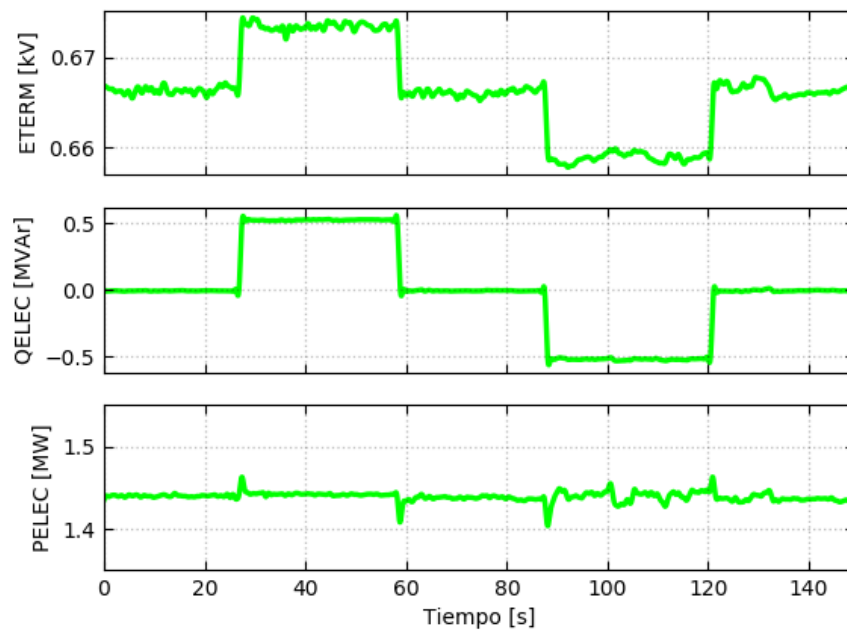


Figura 5.11 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar



### Inversor INV15 – Despacho P3<sub>INV</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control Q - arch: INV15\_006

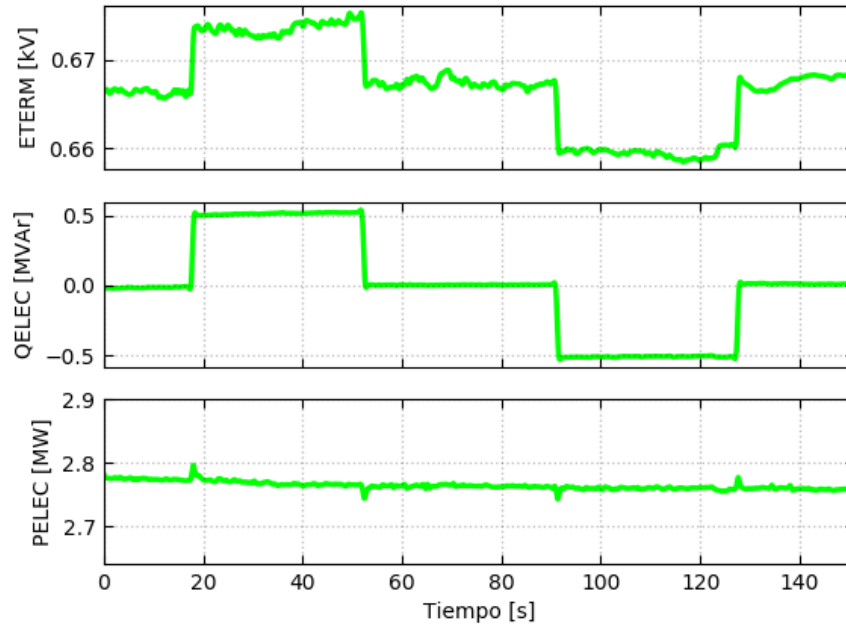


Figura 5.12 – Controlador local de los inversores – Step  $Q = \pm 0.5$  MVar



## 5.2 Ensayos a nivel planta

Los despachos de potencia activa se determinan en base al mínimo técnico y a la potencia máxima del BESS. Los despachos resultantes y los ensayos realizados se presentan en la Tabla 5.2.

Despachos de Potencia Activa	Valor [MW]	Modo de control <sup>2</sup>
P5 <sub>ppc</sub> (+)	60.0	Q, PF, QV
P3 <sub>ppc</sub> (+)	30.0	Q, PF, QV
P1 <sub>ppc</sub>	0.0	Q, QV
P3 <sub>ppc</sub> (-)	-30.0	Q, PF, QV
P5 <sub>ppc</sub> (-)	-60.0	Q, PF, QV

Tabla 5.2 – Despachos de potencia activa del BESS – Ensayos dinámicos a nivel planta

Cabe mencionar que los puntos de medición de tensión y corriente fueron tomados desde el medidor Schneider ION 8650 correspondiente a la celda HT1 (nivel de tensión de 110 kV), tal como se señala en el recuadro **naranja** de la Figura 5.13. Por otra parte, la medición del 'Virtual Power Meter' que comanda al BESS corresponde a una medición virtual que considera los paños asociados a los alimentadores del BESS (nivel de tensión de 33 kV), tal como se señala en el recuadro **rojo** de la Figura 5.13.

Por lo tanto, los valores consignados por el operador se reflejan en el punto de medición del medidor virtual del BESS en la barra de 33 kV.

<sup>2</sup> Se destaca que modo de control de factor de potencia (PF) no es posible si se tiene un despacho de P=0.0 MW

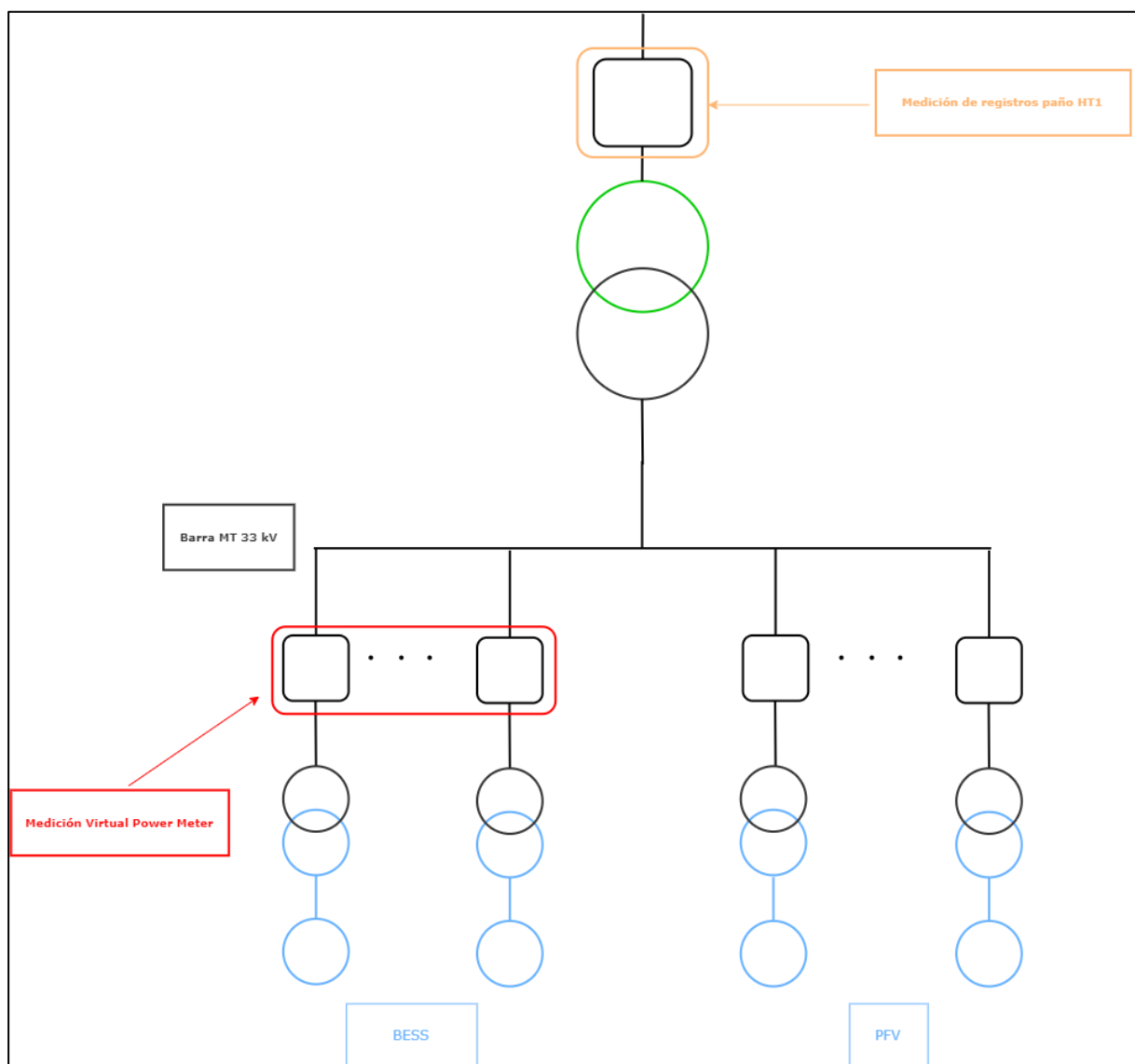


Figura 5.13 – Punto de medición de VPM y medición de registros



### 5.2.1 Respuesta dinámica del control de potencia reactiva

Se aplican cambios de tipo escalón en la referencia correspondiente de amplitud  $\pm 10\%$  de la potencia nominal<sup>3</sup> del parque, cuya duración es tal que permite el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

El BESS presenta una respuesta estable en su modo de control de potencia reactiva.

#### **BESS – Despacho P1<sub>ppc</sub>**

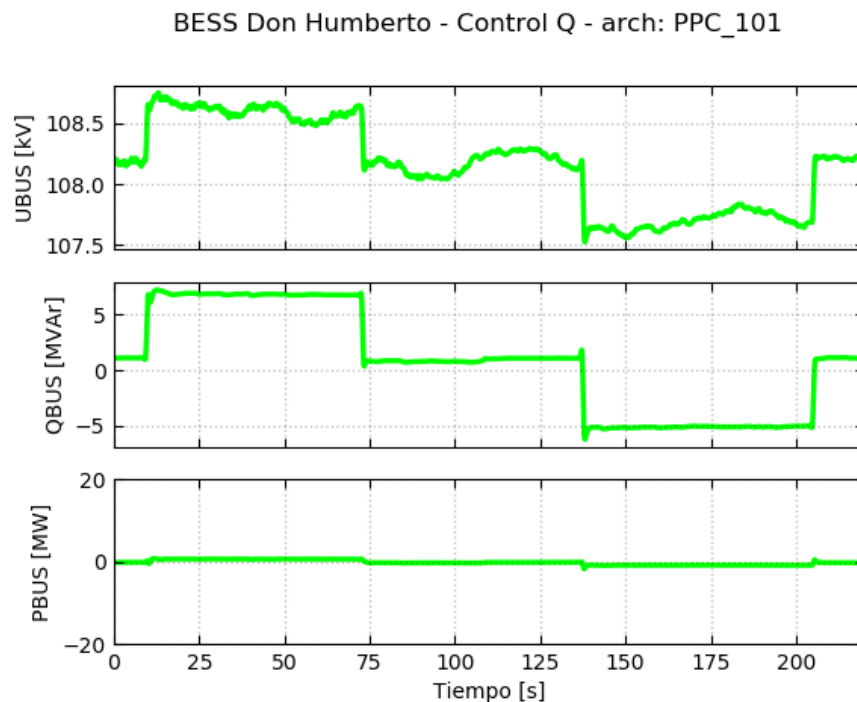


Figura 5.14 – Control de potencia reactiva – Step  $Q = \pm 6.0$  MVar

<sup>3</sup> La potencia nominal del parque se considera igual a 60.0 MVA.



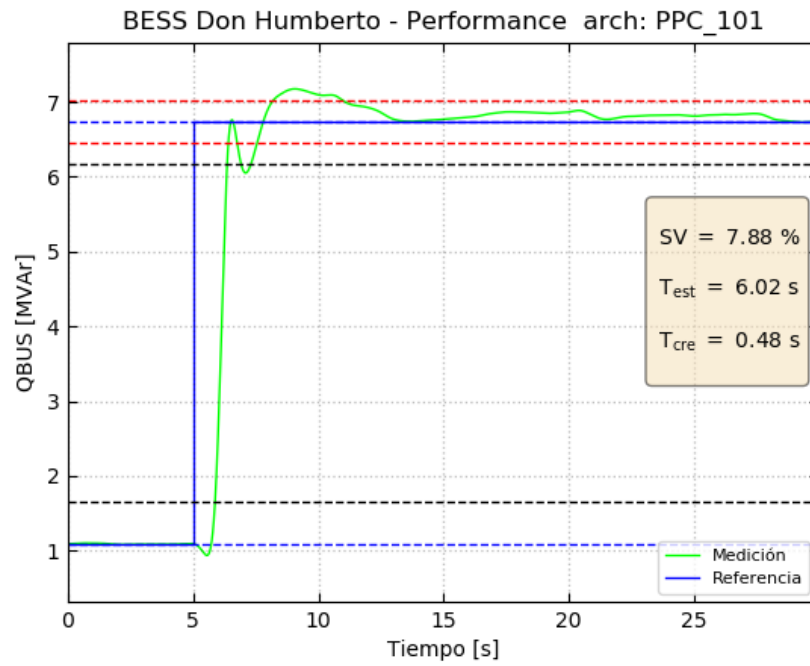


Figura 5.15 – Control de potencia reactiva – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P3<sub>PPC</sub>(-)

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PPC\_102

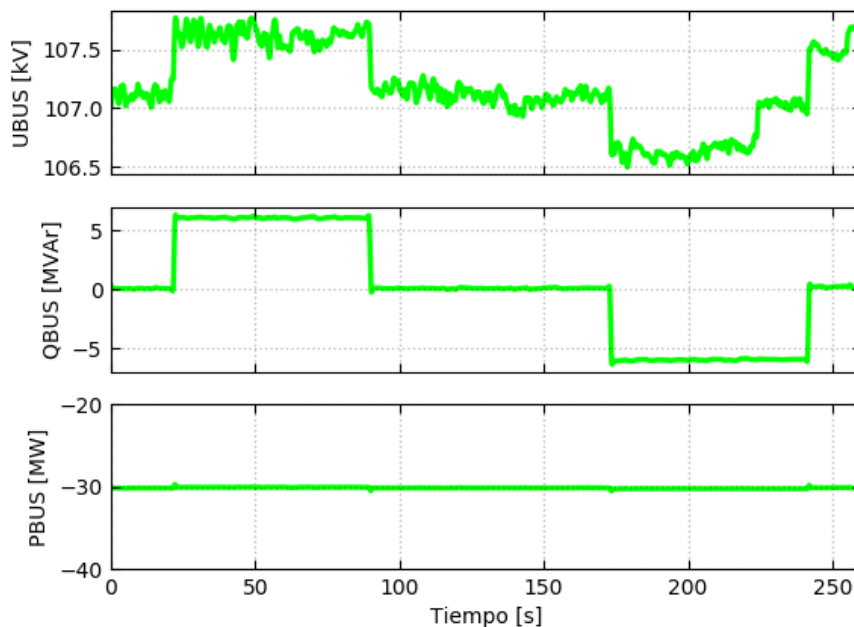


Figura 5.16 – Control de potencia reactiva – Step  $Q = \pm 6.0$  MVar

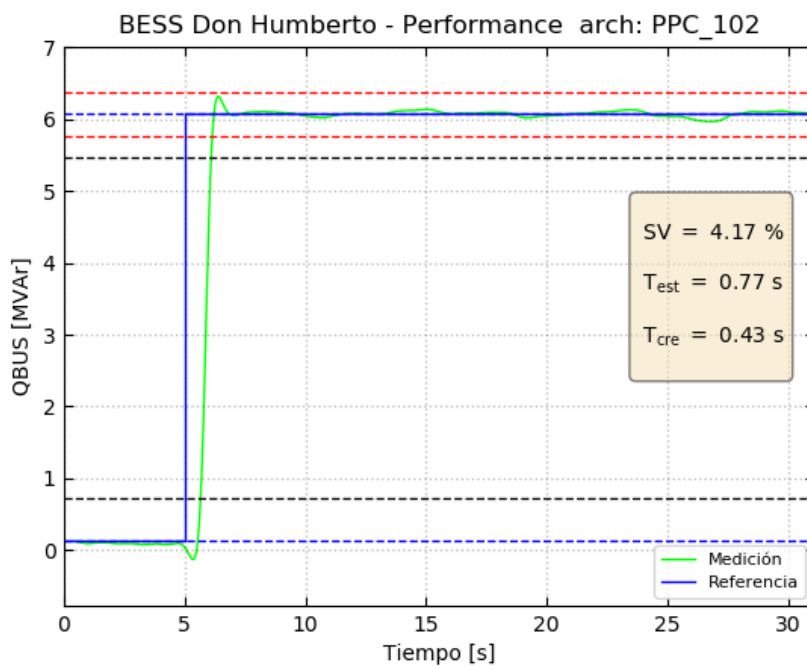


Figura 5.17 – Control de potencia reactiva – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P5<sub>PPC</sub>(-)

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PPC\_103

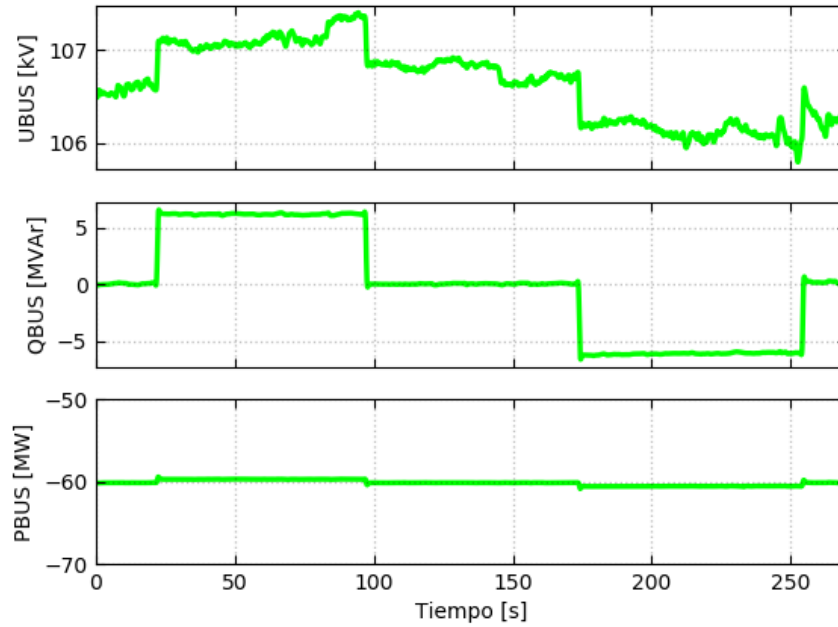


Figura 5.18 – Control de potencia reactiva – Step  $Q = \pm 6.0$  MVar

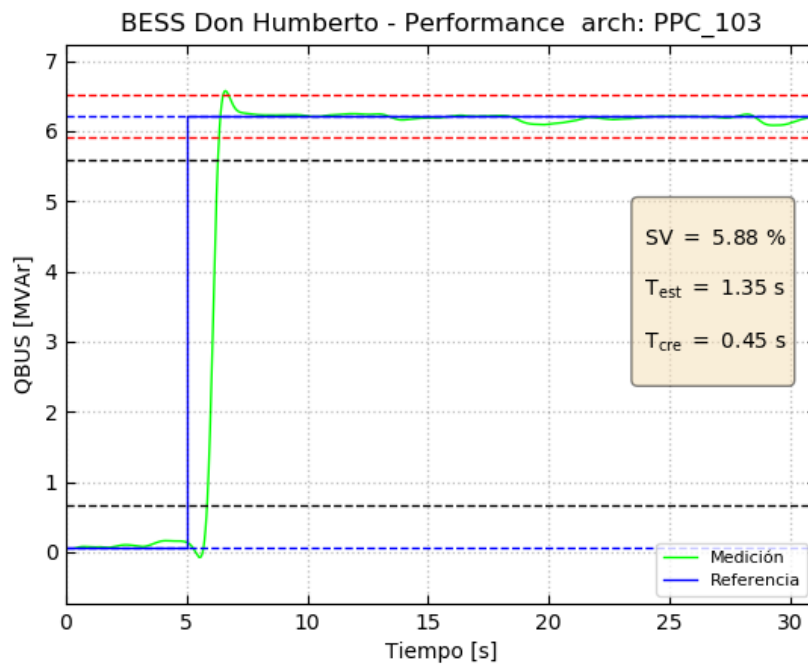


Figura 5.19 – Control de potencia reactiva – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho $P_{3PPC}(+)$

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PPC\_104

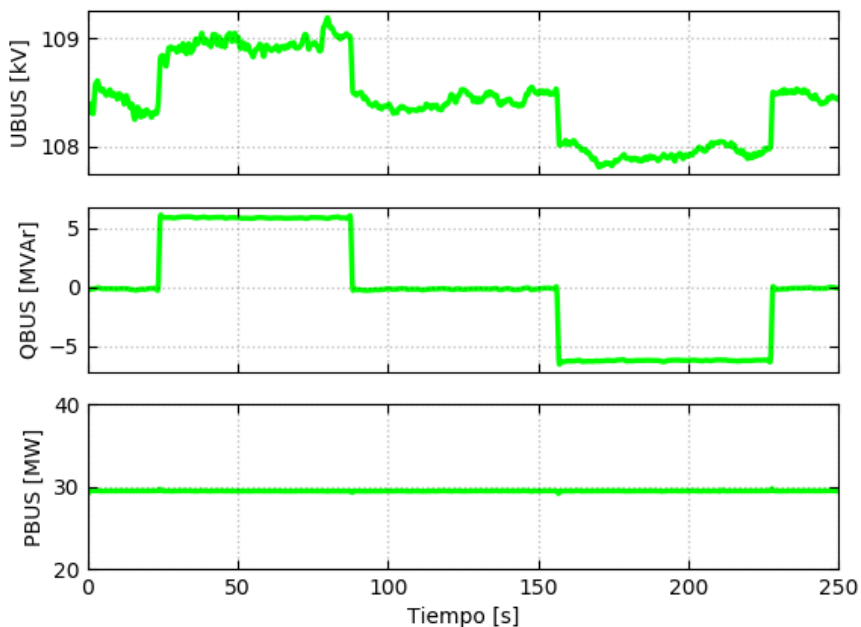


Figura 5.20 – Control de potencia reactiva – Step  $Q = \pm 0.6$  MVar

BESS Don Humberto - Performance arch: PPC\_104

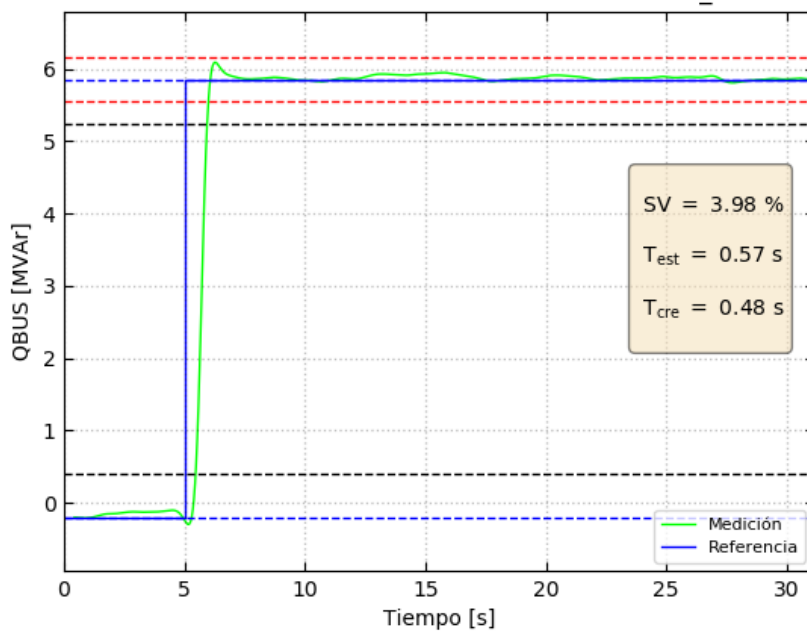


Figura 5.21 – Control de potencia reactiva – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P5<sub>PPC</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PPC\_105

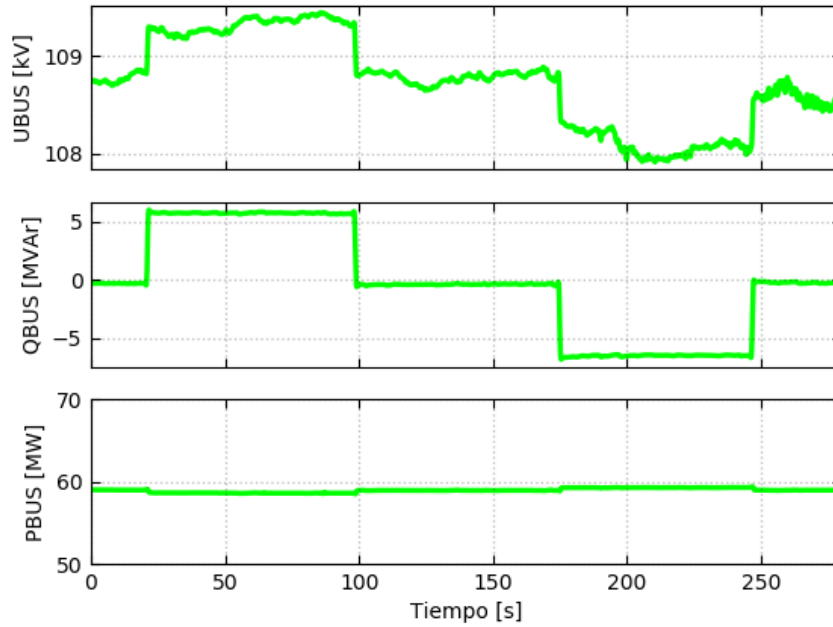


Figura 5.22 – Controlador BESS – Control de potencia reactiva – Step  $Q = \pm 6.0$  MVar

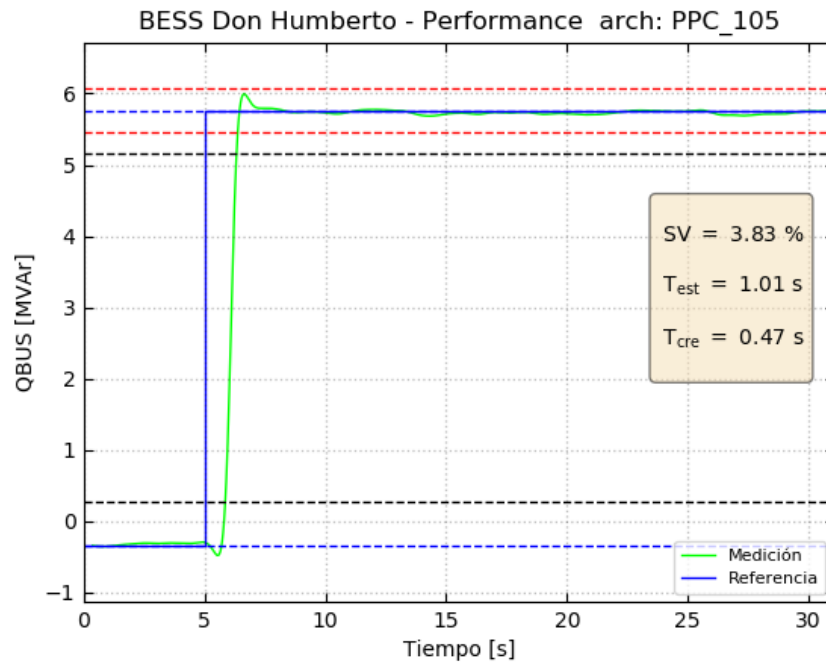


Figura 5.23 – Control BESS – Modo Q – Determinación de parámetros de performance



### 5.2.2 Respuesta dinámica del control de factor de potencia

Se aplican cambios de tipo escalón en la referencia de factor de potencia, tal que se genere un cambio en la potencia reactiva de aproximadamente  $\pm 10\%$  de la potencia nominal del parque, cuya duración es tal que permite el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

El BESS presenta una respuesta estable en su modo de control de factor de potencia.

#### BESS – Despacho $P_{3PPC}(-)$

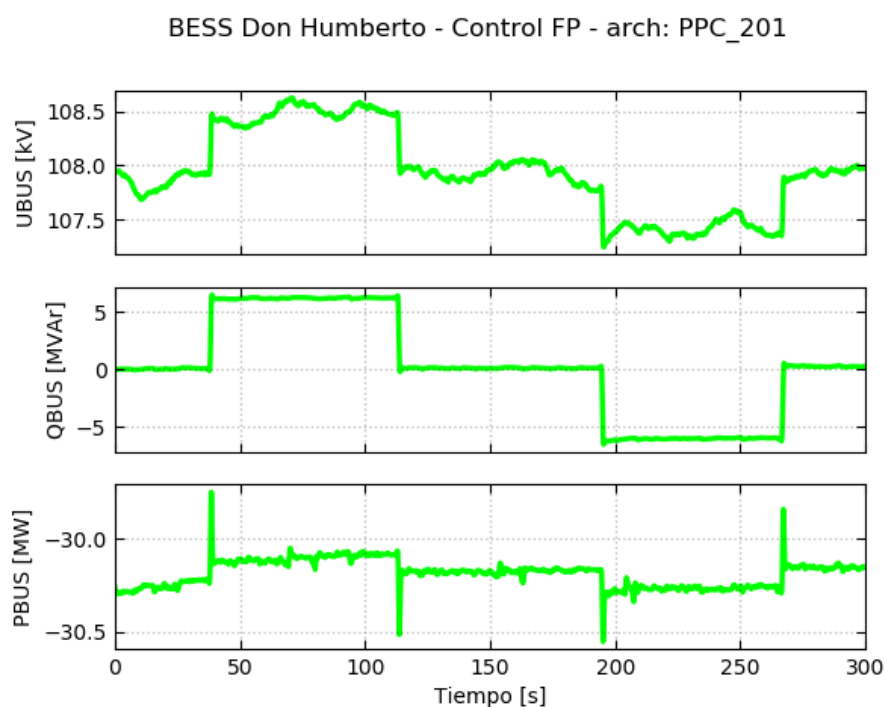


Figura 5.24 – Control de factor de potencia – Step  $FP = \pm 0.98$

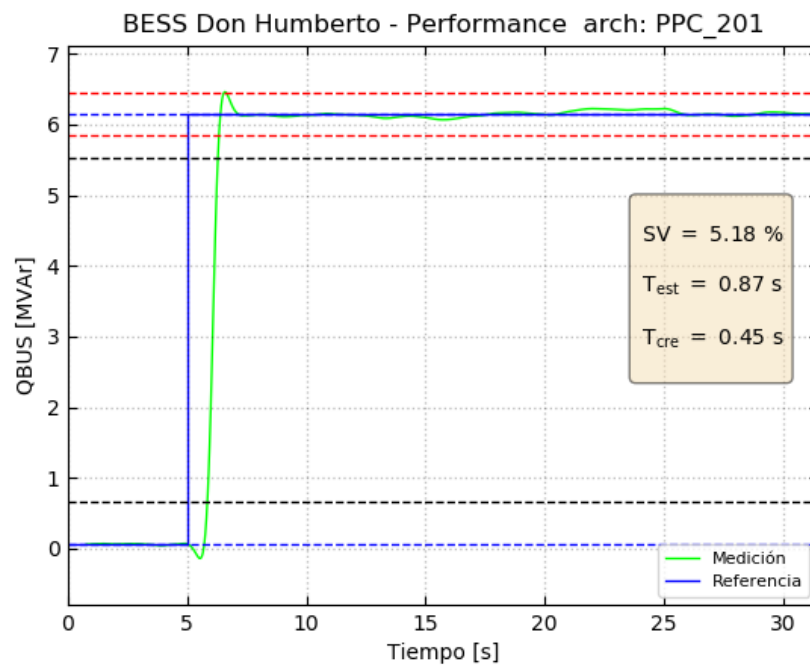


Figura 5.25 – Control de factor de potencia – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P5<sub>PPC</sub>(-)

BESS Don Humberto - Control FP - arch: PPC\_202

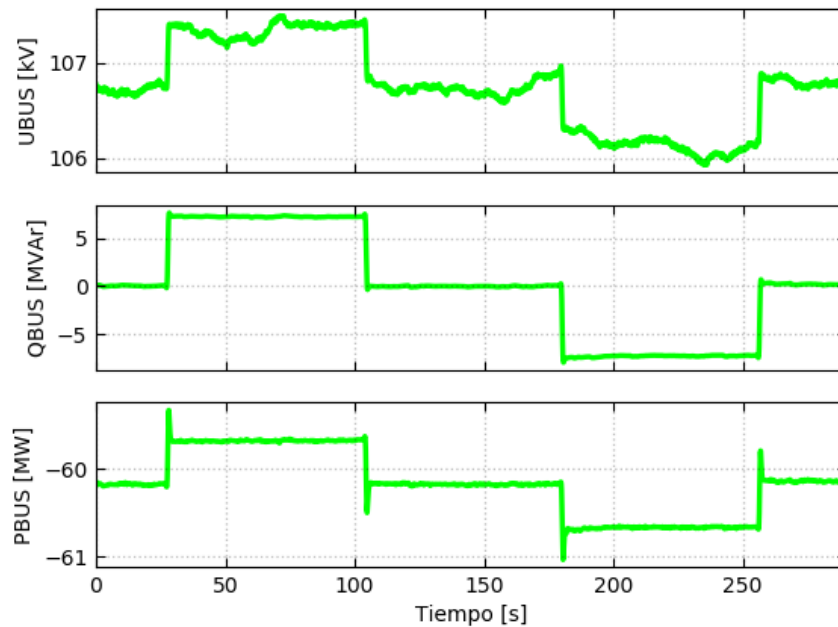


Figura 5.26 – Control de factor de potencia – Step FP =  $\pm 0.993$

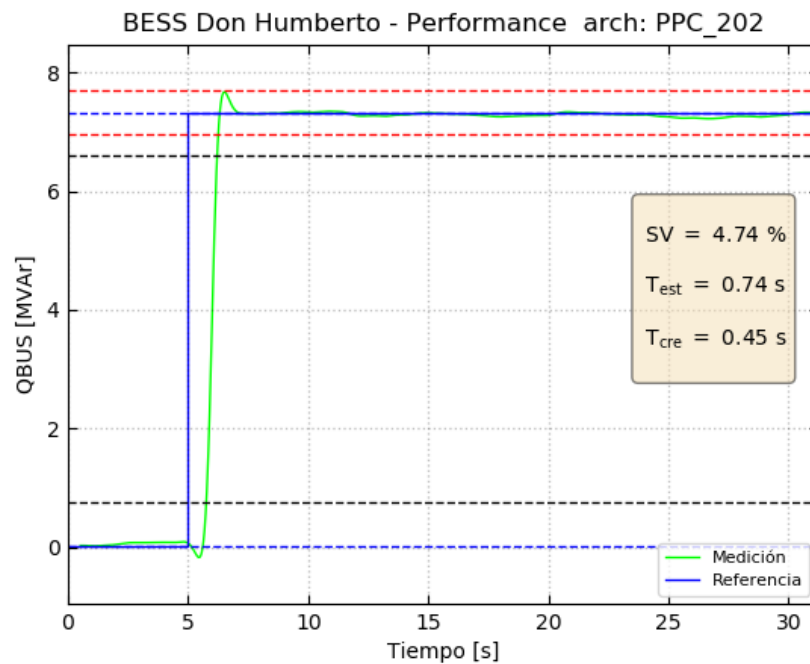


Figura 5.27 – Control de factor de potencia – Determinación de parámetros de performance





## BESS – Despacho P3<sub>PPC</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control FP - arch: PPC\_203

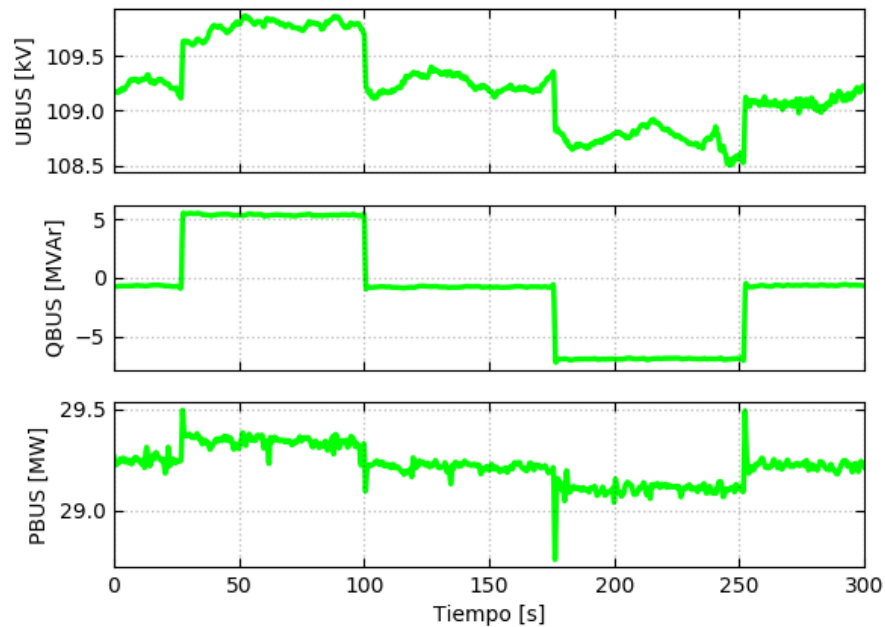


Figura 5.28 – Control de factor de potencia – Step FP =  $\pm 0.98$

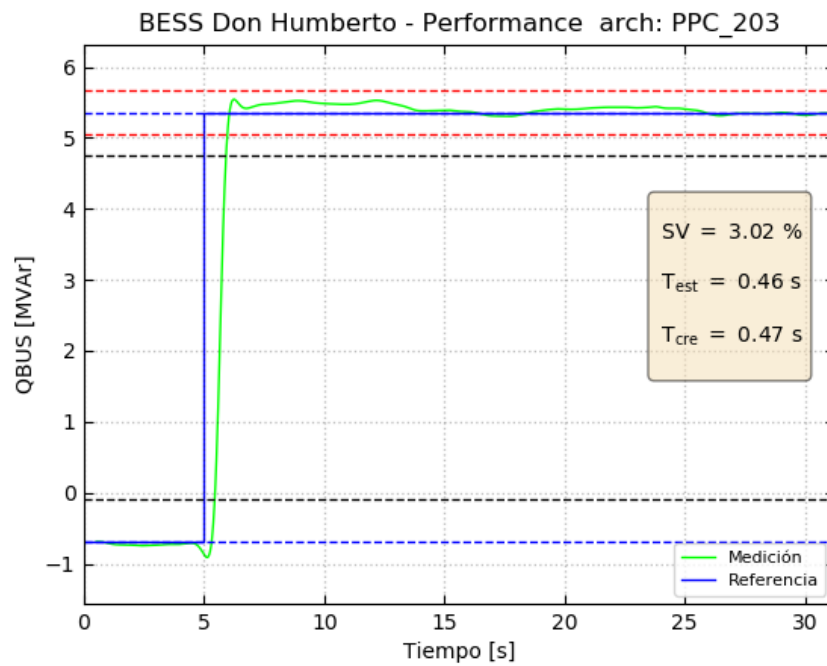


Figura 5.29 – Control de factor de potencia – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P5<sub>PPC</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control FP - arch: PPC\_204

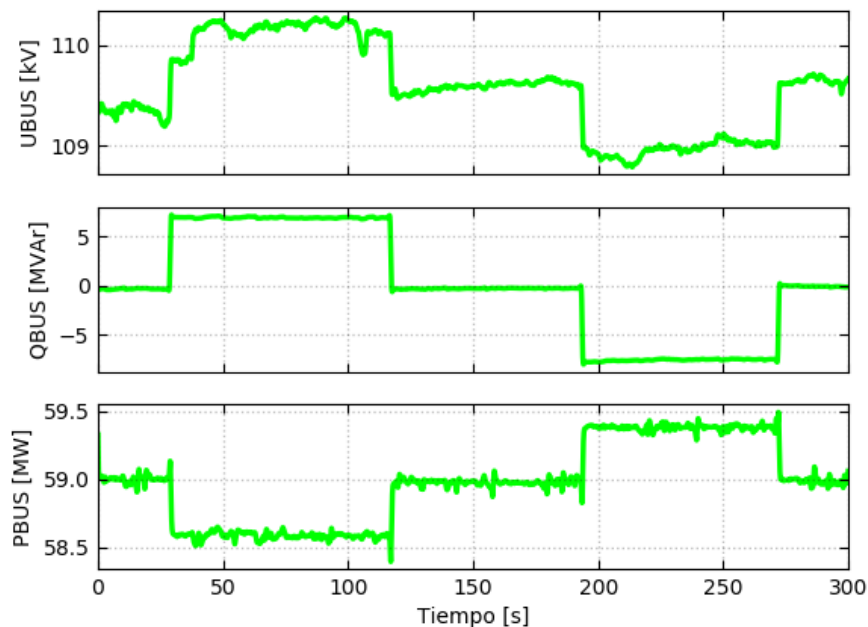


Figura 5.30 – Control de factor de potencia – Step FP =  $\pm 0.993$

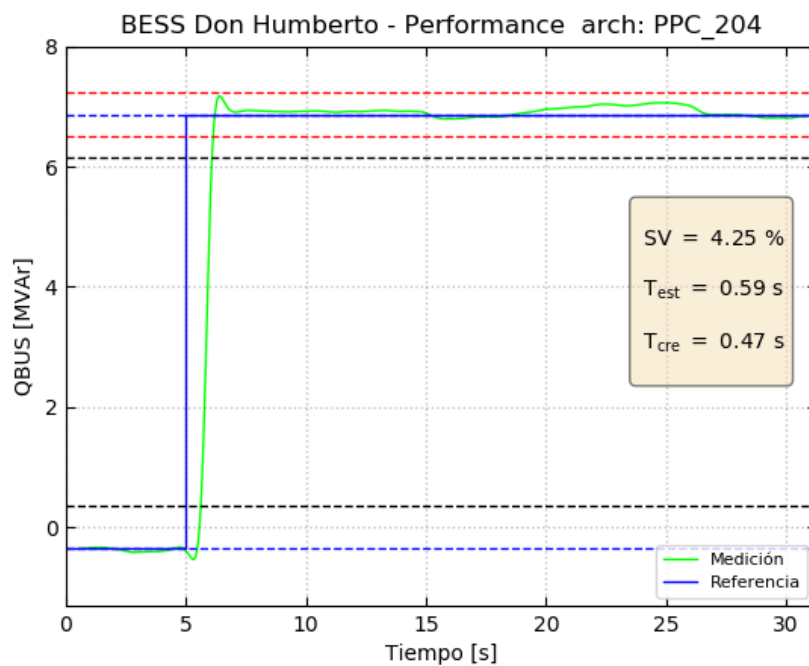


Figura 5.31 – Control de factor de potencia – Determinación de parámetros de performance



### 5.2.3 Respuesta dinámica del control de tensión Q(V)

Se aplican cambios de tipo escalón en la referencia de tensión de al menos una amplitud de  $\pm 0.8$  kV, tal que se genere una variación de al menos  $\pm 10\%$  en la potencia reactiva del parque, cuya duración es tal que permite el establecimiento de las principales magnitudes en el POI.

La configuración del modo de control de tensión Q(V), considera un estadismo de 4% tomando como valores base una tensión nominal de 33 kV y una potencia reactiva de 22.0 MVar.

El BESS presenta una respuesta estable en su modo de control de tensión Q(V).

#### BESS – Despacho P1<sub>PPC</sub>

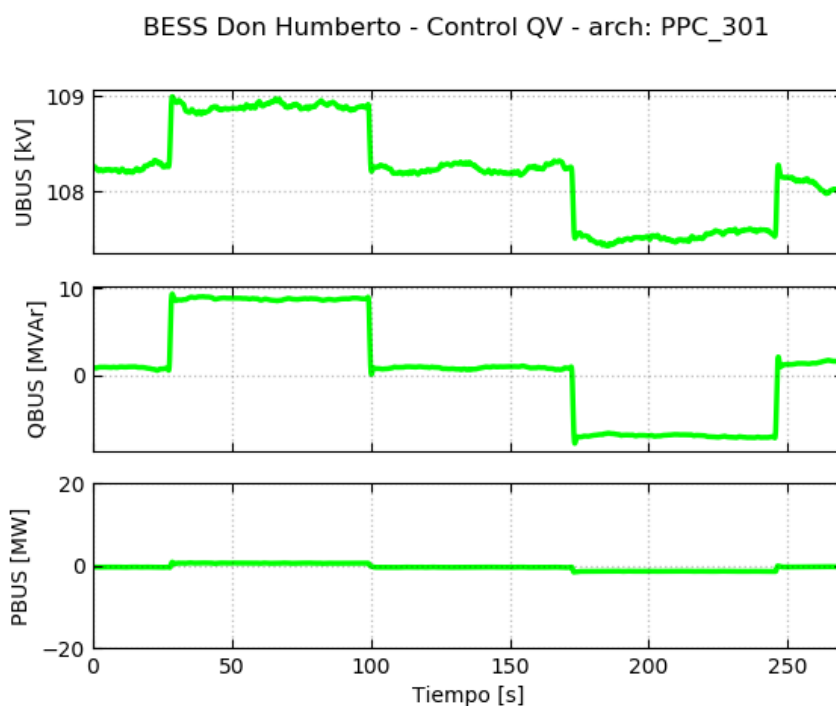


Figura 5.32 – Control de tensión Q(V) – Step  $V = \pm 1.0$  kV

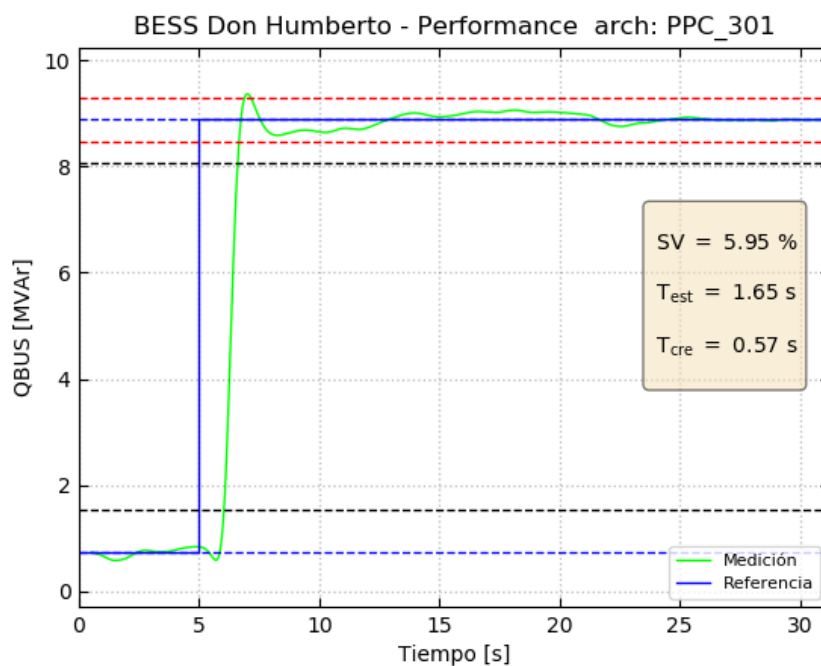


Figura 5.33 – Control de tensión Q(V) – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P3<sub>PPC</sub>(-)

BESS Don Humberto - Control QV - arch: PPC\_302

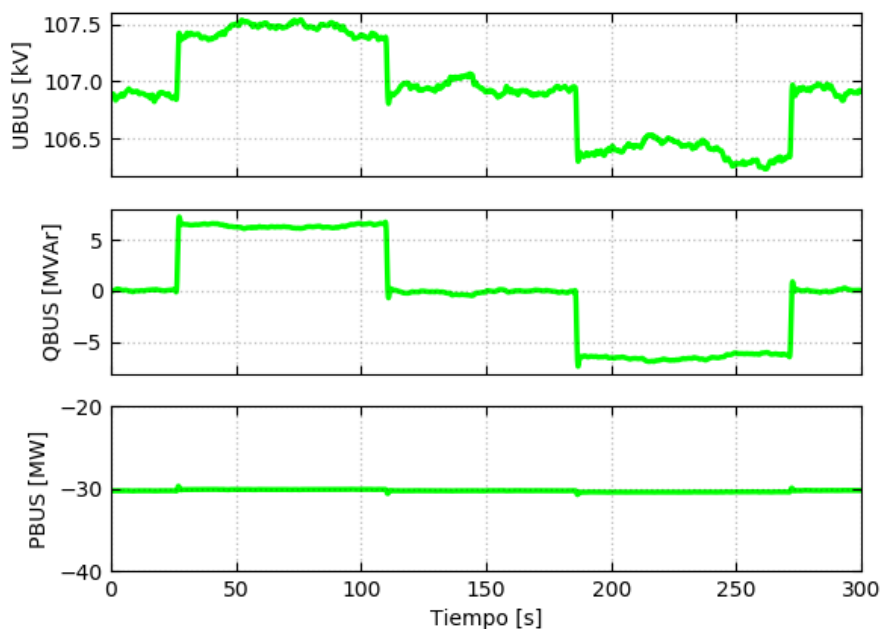


Figura 5.34 – Control de tensión Q(V) – Step  $V = \pm 0.8$  kV

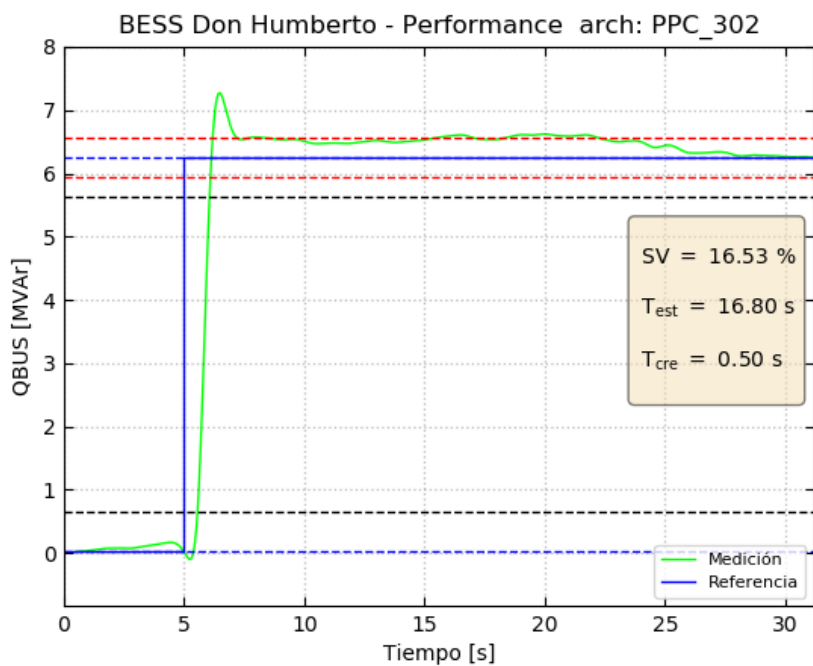


Figura 5.35 – Control de tensión Q(V) – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P5<sub>PPC</sub>(-)

BESS Don Humberto - Control QV - arch: PPC\_303

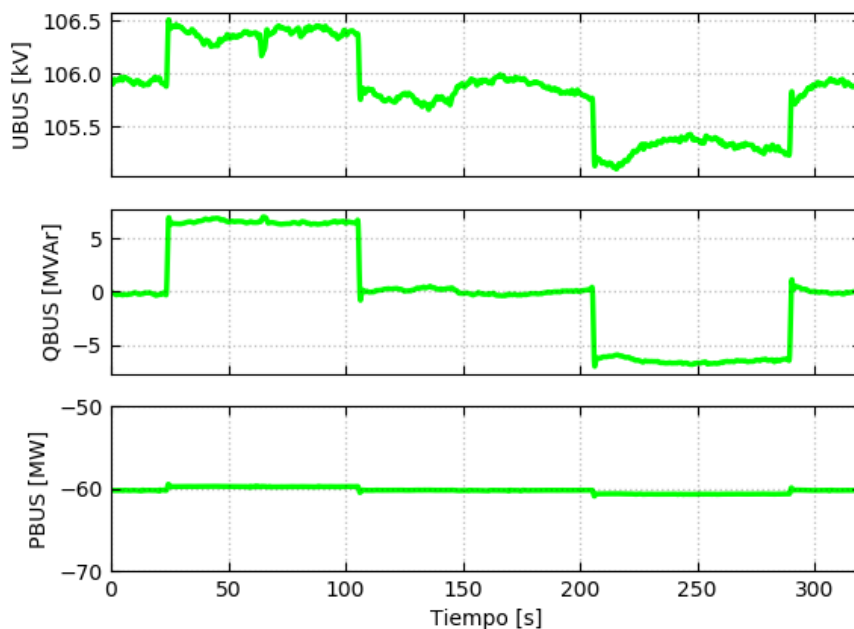


Figura 5.36 – Control de tensión Q(V) – Step  $V = \pm 0.8$  kV

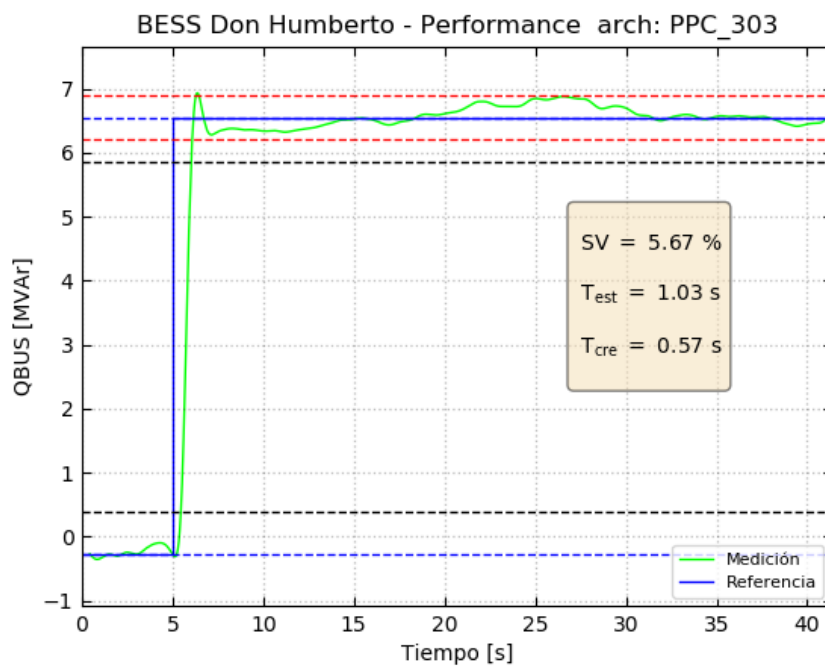


Figura 5.37 – Control de tensión Q(V) – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P3<sub>PPC</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control QV - arch: PPC\_304

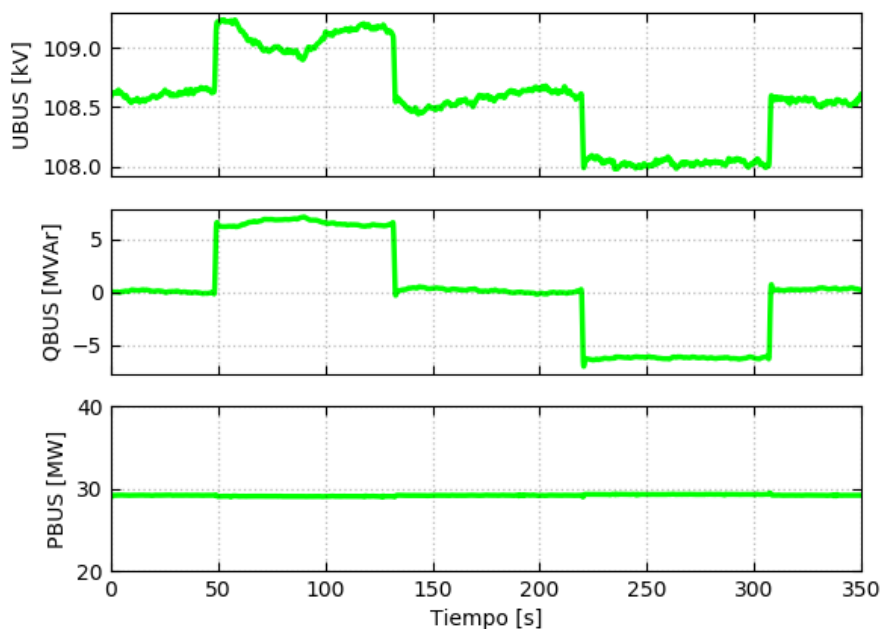


Figura 5.38 – Control de tensión Q(V) – Step  $V = \pm 0.8$  kV

BESS Don Humberto - Performance arch: PPC\_304

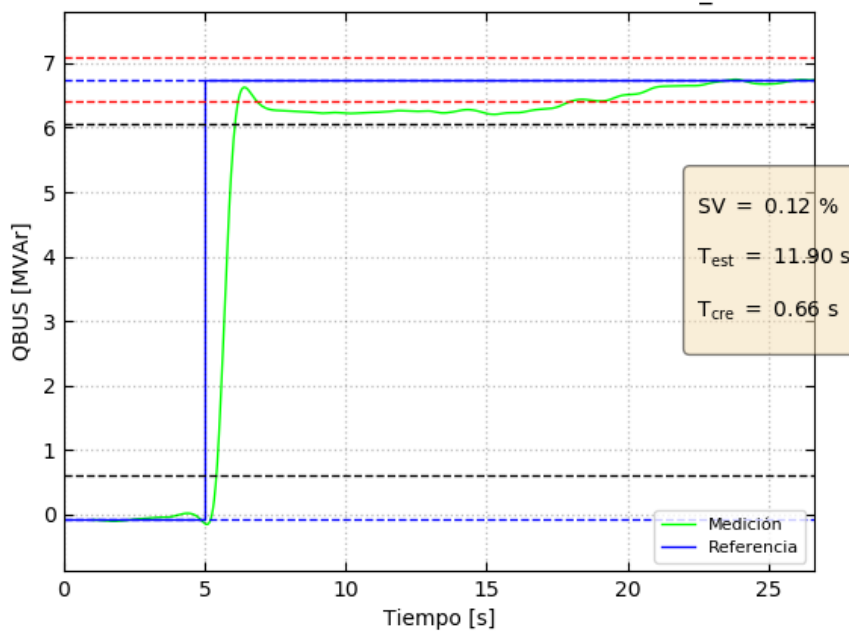


Figura 5.39 – Control de tensión Q(V) – Determinación de parámetros de performance



## BESS – Despacho P5<sub>PPC</sub>(+)

BESS Don Humberto - Control QV - arch: PPC\_305

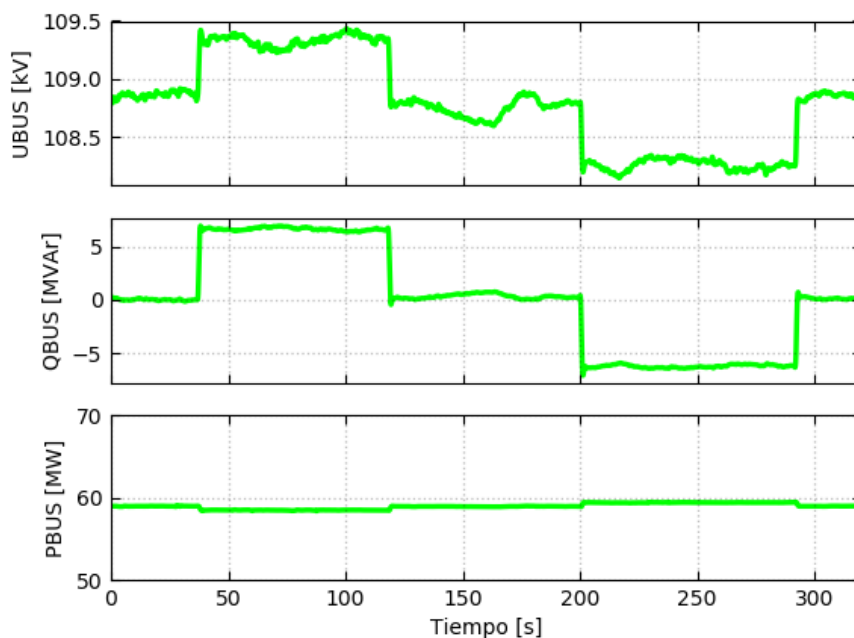


Figura 5.40 – Control de tensión Q(V) – Step  $V = \pm 0.8$  kV

BESS Don Humberto - Performance arch: PPC\_305

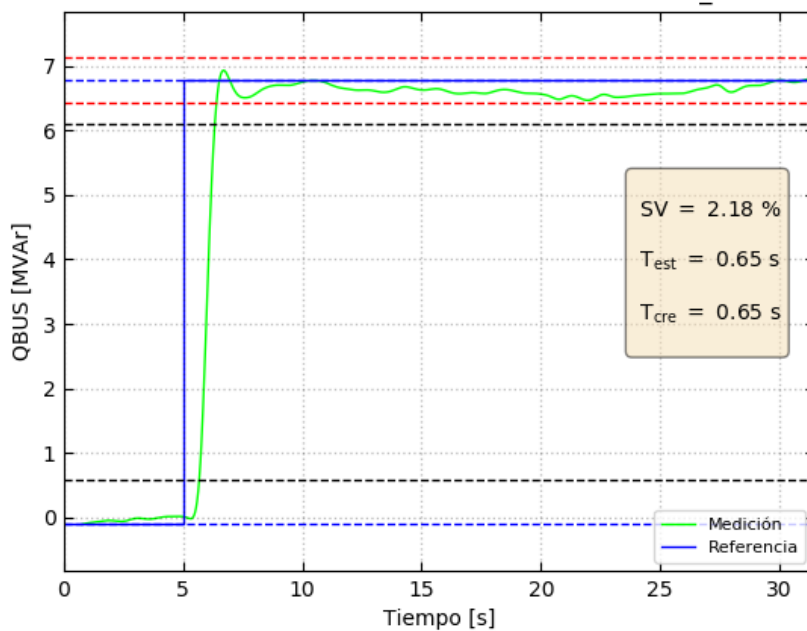


Figura 5.41 – Control de tensión Q(V) – Determinación de parámetros de performance





## **5.3 Análisis**

Se presenta, a modo de resumen, un análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas dinámicas llevadas a cabo en los elementos incorporados al control de tensión/potencia reactiva del BESS y de los inversores de la planta.

### **5.3.1 Pruebas a nivel inversor**

A partir de las pruebas dinámicas a nivel inversor (ver apartado 5.1), se observa que la respuesta temporal del lazo de regulación de potencia reactiva tiene una respuesta estable y adecuada respetando las consignas impuestas. Adicionalmente, el modo de control cuenta con una acción integral en su lazo principal, por lo cual, el error estacionario resulta nulo.

### **5.3.2 Pruebas a nivel planta**

A partir de las pruebas dinámicas al PPC (ver apartado 5.2), se observa que la respuesta de potencia reactiva es estable y adecuada respetando las consignas en sus distintos modos de control. Todos los modos de control cuentan con una acción integral en sus lazos principales, por lo cual, el error estacionario resulta nulo.



## 6 VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA PQ TEÓRICO MÁXIMO

En esta sección se presentan los ensayos realizados con el objetivo de comparar la capacidad real del BESS con la informada en el documento técnico ***“EE-EN-2024-1188-RB\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto”*** donde se han desarrollado las curvas de capacidad PQ teóricas máximas.

Los ensayos se realizan con el BESS sincronizado al SEN y en siete despachos de potencia activa entre el máximo consumo y máxima generación. La potencia máxima disponible durante los ensayos del diagrama PQ resultó ser de  $\pm 60.00$  MW.

Las mediciones de tensión y corriente fueron tomadas desde el medidor Schneider ION 8650 correspondiente a la celda HT1 (ver recuadro **naranja** de la Figura 5.13). Por otra parte, la medición del ‘Virtual Power Meter’ que comanda al BESS corresponde a una medición virtual que considera los paños asociados a los alimentadores del BES (ver recuadro **rojo** de la Figura 5.13).

Los ensayos consisten en pruebas estáticas, donde se intenta consignar la tensión objetivo en el punto de interconexión del BESS mediante la colaboración del CEN, para ajustar la tensión en la barra S/E Punta Peuco 110 kV de manera tal de lograr ajustar la inyección/absorción de potencia reactiva del BESS, en concordancia con lo presentado en el procedimiento de ensayos: ***“EE-EN-2024-1199-RB\_Procedimiento\_Ensayos\_SSCC\_BESS\_Don\_Humberto”***.

Durante el desarrollo de las pruebas no fue posible por parte del despacho, ajustar la tensión en el punto de interconexión de la instalación.



## 6.1 Puntos operativos alcanzados

Para los puntos objetivos alcanzados (P, Q, V) se han registrado las principales magnitudes durante al menos 15 minutos para el estado de carga P5<sub>PPC</sub> y al menos 5 minutos para los demás estados de carga, esto con el fin de comprobar la estabilidad en cada uno.

Con el objetivo de identificar cada punto operativo a alcanzar en cada nivel de tensión, se utiliza la nomenclatura y correlación presentada en la Tabla 6.1, la cual surge de la interpretación de la Figura 6.1.

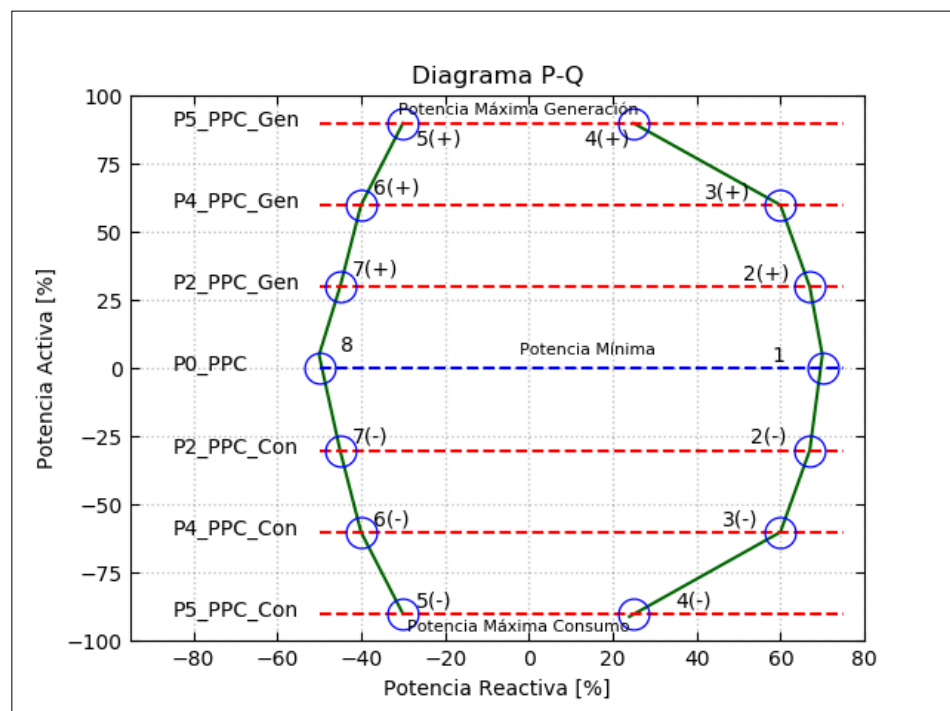


Figura 6.1 – Puntos PQ referenciales a verificar en régimen estacionario para los 5 niveles de tensión



Despachos de Potencia Activa	Valor [MW]
P5 <sub>PPC</sub> -Generación	60.0
P3 <sub>PPC</sub> -Generación	40.0
P1 <sub>PPC</sub> -Generación	20.0
P0 <sub>PPC</sub>	0.0
P1 <sub>PPC</sub> -Consumo	-20.0
P3 <sub>PPC</sub> -Consumo	-40.0
P5 <sub>PPC</sub> -Consumo	-60.0

Tabla 6.1 - Distribución de los puntos a verificar según el despacho de potencia activa

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

- Anexo 8.1.1: Verificación curva PQ @ 0.95 pu.
- Anexo 8.1.2: Verificación curva PQ @ 1.05 pu.

De forma complementaria se presentan las mediciones realizadas en el punto de control del BESS en la barra de 33 kV, las variables son presentadas en los siguientes anexos:

- Anexo 8.1.3: Verificación curva PQ @ 0.95 pu. (Medición VPM)
- Anexo 8.1.4: Verificación curva PQ @ 1.05 pu. (Medición VPM)

A modo de resumen, en la Tabla 6.2 y Tabla 6.3 se presenta un detalle donde se contrastan los puntos operativos objetivo (P, Q, V) con los puntos alcanzados durante los ensayos.

Cabe mencionar que en el procedimiento de ensayos se anticipó que los niveles de tensión 0.9 p.u. y 1.1 p.u., no serían alcanzados debido a que exceden los límites de tensión de servicio para el Estado Normal del Sistema.

Durante los ensayos se logra verificar la inyección de reactivos en una tensión aproximada de 1.03pu, que permite evaluar los niveles 1.00pu y 1.05pu de tensión. En tanto, para la condición de absorción de reactivos se verifica en una tensión aproximada de 0.93pu, que permite evaluar el nivel de tensión de 0.95 de tensión.



Subexcitación								
Objetivo			Alcanzado			Origen de la limitación	Resultado prueba	Valida Curva PQ
UBUS [p.u.]	PBUS [MW]	QBUS [MVar]	UBUS [p.u.]	PBUS [MW]	QBUS [MVar]			
0.90	60.0	-37.6	-	-	-	Descartado por exceder el nivel de tensión normal del Sistema.	No Alcanzable	N/A
	40.0	-33.63	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	-30.77	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	-29.0	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-20.0	-28.31	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	-28.69	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	60.0	-37.07	-	-	-		No Alcanzable	N/A
0.95	60.0	-62.84	0.93	60.04	-31.59	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
	40.0	-58.94	0.94	40.11	-55.31	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
	20.0	-56.1	0.94	19.95	-59.23		Alcanzado bajando la tensión a 0.94 pu	SI (QOBJ @0.94pu /20.0MW=-59.23 MVar)
	0.0	-54.29	0.93	0.10	-54.46		Alcanzado bajando la tensión a 0.93 pu	SI (QOBJ @0.93pu/0.0MW=-54.46 MVar)
	-20.0	-53.51	0.93	-20.03	-55.09		Alcanzado bajando la tensión a 0.93 pu	SI (QOBJ @0.93pu /-20.0MW=-55.09 MVar)
	-40.0	-53.73	0.93	-41.04	-55.9		Alcanzado bajando la tensión a 0.93 pu	SI (QOBJ @0.93pu /-40.0MW=-55.9 MVar)
	60.0	-54.92	0.93	-60.04	-31.59	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
1.00	60.0	-68.65	-	-	-	Comentario <sup>4</sup>	No Alcanzable	N/A
	40.0	-80.37	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	-76.87	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	-75.71	-	-	-		No Alcanzable	N/A

<sup>4</sup> No se alcanza el punto objetivo aun cuando se han ultimado todas las instancias posibles. Se pidió colaboración al centro de despacho, este no pudo seguir ajustando la tensión de la barra por condiciones desfavorables del Sistema.



	-20.0	-76.85	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	-80.33	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-60.0	-74.16	-	-	-		No Alcanzable	N/A
1.05	60.0	-74.58	-	-	-	Comentario <sup>5</sup>	No Alcanzable	N/A
	40.0	-78.41	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	-75.39	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	-74.39	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-20.0	-75.37	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	-78.37	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	60.0	-75.32	-	-	-		No Alcanzable	N/A
1.10	60.0	-79.27	-	-	-	Descartado por exceder el nivel de tensión normal del Sistema.	No Alcanzable	N/A
	40.0	-76.88	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	-74.24	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	-73.36	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-20.0	-74.22	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	-76.84	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	60.0	-79.8	-	-	-		No Alcanzable	N/A

Tabla 6.2 – Resumen de puntos operativos alcanzados – Zona de subexcitación

Sobrexcitación								
Objetivo			Alcanzado			Origen de la limitación	Resultado prueba	Valida Curva PQ
UBUS [p.u.]	PBUS [MW]	QBUS [MVar]	UBUS [p.u.]	PBUS [MW]	QBUS [MVar]			
0.90	60.0	47.85	-	-	-	Descartado por exceder el nivel de tensión normal del Sistema.	No Alcanzable	N/A
	40.0	51.8	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	54.15	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	54.93	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-20.0	54.16	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	51.82	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-60.0	48.01	-	-	-		No Alcanzable	N/A
0.95	60.0	48.98	-	-	-	Comentario <sup>6</sup>	No Alcanzable	N/A
	40.0	52.6	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	54.75	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	55.46	-	-	-		No Alcanzable	N/A

<sup>5</sup> No se alcanza el punto objetivo aun cuando se han ultimado todas las instancias posibles. Se pidió colaboración al centro de despacho, este no pudo seguir ajustando la tensión de la barra por condiciones desfavorables del Sistema.

<sup>6</sup> No se alcanza el punto objetivo aun cuando se han ultimado todas las instancias posibles. Se pidió colaboración al centro de despacho, este no pudo seguir ajustando la tensión de la barra por condiciones desfavorables del Sistema.



	-20.0	54.76	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	52.62	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-60.0	49.15	-	-	-		No Alcanzable	N/A
1.00	60.0	49.97	1.03	59.93	14.1	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
	40.0	53.28	1.03	40.37	43.14	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
	20.0	55.26	1.03	20.28	46.28		No Alcanzado	N/A
	0.0	55.92	1.03	0.0	47.9		No Alcanzado	N/A
	-20.0	55.27	1.03	-19.8	47.2		No Alcanzado	N/A
	-40.0	53.31	1.03	-39.71	45.02		No Alcanzado	N/A
	-60.0	50.14	1.03	-59.76	22.11	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
1.05	60.0	45.35	1.03	59.93	14.1	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
	40.0	48.08	1.03	40.37	43.14	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
	20.0	50.13	1.03	20.28	46.28		No Alcanzado	N/A
	0.0	51.5	1.03	0.0	47.9		No Alcanzado	N/A
	-20.0	52.21	1.03	-19.8	47.2		No Alcanzado	N/A
	-40.0	52.25	1.03	-39.71	45.02		No Alcanzado	N/A
	-60.0	50.98	1.03	-59.76	22.11	Limitación de consigna en punto de control VPM de 65 MVA	No Alcanzado	N/A
1.10	60.0	20.38	-	-	-	Descartado por exceder el nivel de tensión normal del Sistema.	No Alcanzable	N/A
	40.0	23.08	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	20.0	25.13	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	0.0	26.54	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-20.0	27.31	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-40.0	27.45	-	-	-		No Alcanzable	N/A
	-60.0	26.98	-	-	-		No Alcanzable	N/A

Tabla 6.3 - Resumen de puntos operativos alcanzados – Zona de sobrexcitación



Donde:

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

Es importante notar que los puntos mencionados como “**No alcanzable**” responden exclusivamente a restricciones operativas del sistema de transmisión y no están asociados a limitaciones técnicas asociadas a equipamientos del BESS.





### 6.1.1 Análisis

A partir de la Tabla 6.2 y Tabla 6.3 se observa que existen puntos objetivos que no son alcanzados de acuerdo con las exigencias de la guía de verificación, debido a que no se puede llevar la tensión del sistema por fuera del rango de operación normal.

Se aclara que el BESS cuenta con una limitación de potencia aparente de 65 MVA en su punto de control, correspondiente al flujo de potencia máximo asociado a los circuitos colectores del BESS.

Las pruebas fueron llevadas a cabo por medio de cambios en la consigna de potencia reactiva del BESS, verificando en cada estado de carga, todos los niveles de tensión que permitieran los inversores, pudiendo validar únicamente los casos para una tensión de 0.95 p.u. y 1.05 p.u. Esto debido principalmente a condiciones desfavorables del Sistema que, aun cuando despacho intentó mejorar las condiciones, no se obtuvo buenos resultados. En la Tabla 6.4 y Tabla 6.5 se muestra un resumen de los puntos operativos.

Despacho potencia activa	Subexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P5 <sub>PPC</sub> -Generación = 60.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P3 <sub>PPC</sub> -Generación = 40.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P1 <sub>PPC</sub> -Generación = 20.0 [MW]	No alcanzable	Alcanzado bajando la tensión (0.94 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P0 <sub>PPC</sub> = 0.0 [MW]	No alcanzable	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P1 <sub>PPC</sub> -Consumo = -20.0 [MW]	No alcanzable	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P3 <sub>PPC</sub> -Consumo = -40.0 [MW]	No alcanzable	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P5 <sub>PPC</sub> -Consumo = -60.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable

Tabla 6.4 - Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de subexcitación



Despacho potencia activa	Sobreexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P5 <sub>PPC</sub> -Generación = 60.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable
P3 <sub>PPC</sub> -Generación = 40.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable
P1 <sub>PPC</sub> -Generación = 20.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable
P0 <sub>PPC</sub> = 0.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable
P1 <sub>PPC</sub> -Consumo = -20.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable
P3 <sub>PPC</sub> -Consumo = -40.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable
P5 <sub>PPC</sub> -Consumo = -60.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzado	No alcanzado	No alcanzable

Tabla 6.5 - Resumen de condición final de cada punto operativo – Zona de sobreexcitación



## 6.2 Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad del parque han sido calculadas en el informe PQ teórico máximo ***“EE-EN-2024-1188-RB\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto”***.

A continuación, se presentan las curvas de capacidad definidas para cada nivel de tensión operable en el BESS Don Humberto

Se muestran las siguientes curvas:

- Potencia reactiva máxima inyectada (trazo violeta segmentado).
- Potencia reactiva máxima absorbida (trazo rojo segmentado).
- Potencia máxima de generación (trazo negro continuo).
- Potencia máxima de consumo (trazo naranja continuo).
- Curva PQ normativa para centrales renovables según NTS&CS (trazo azul continuo).

Además, se muestra una tabla resumen de los valores de curva PQ alcanzados en el formato de archivo Excel requerido por el CEN:



## 6.2.1 Diagrama PQ de la central

Tensión en POI 0.95 pu

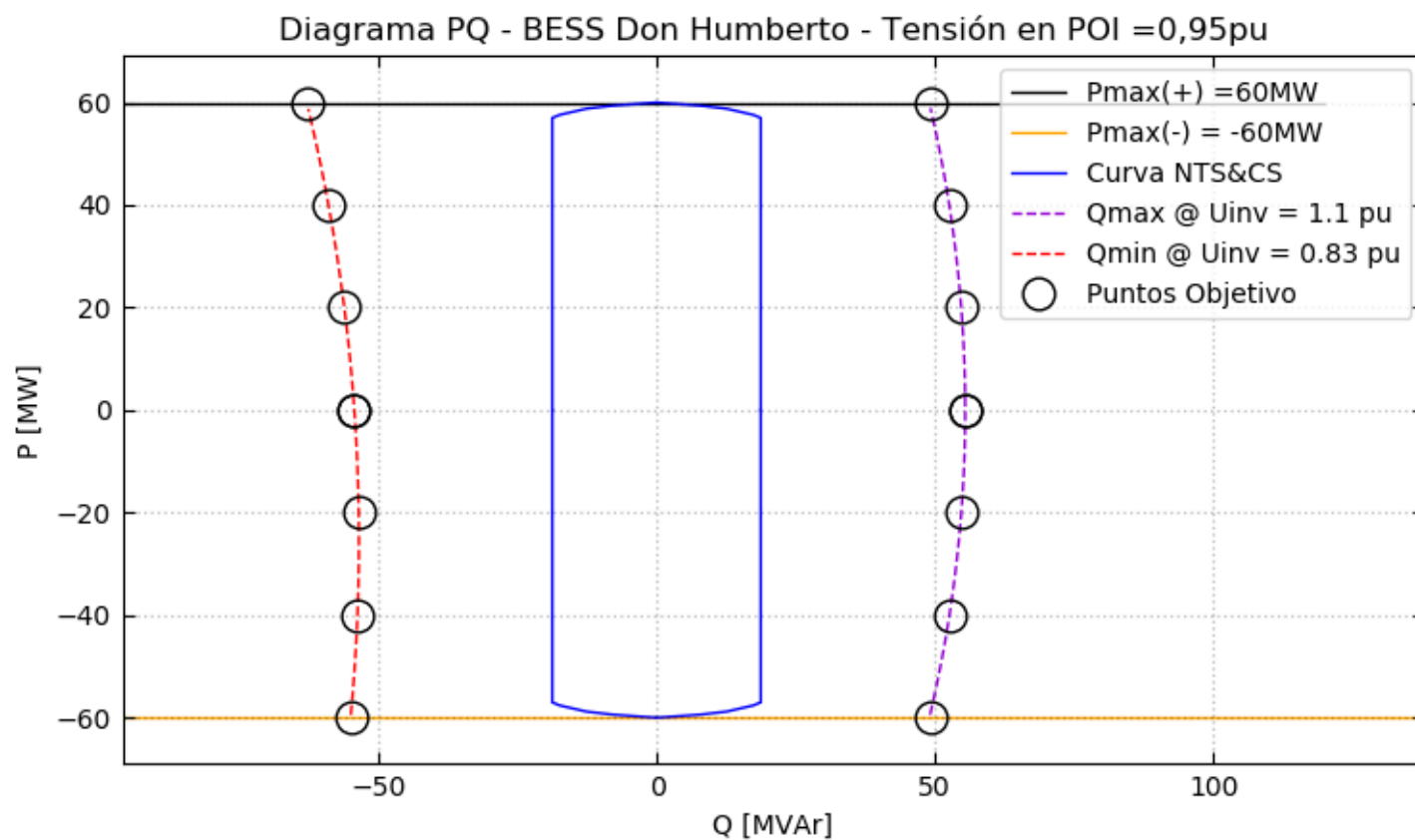


Figura 6.2 – Diagrama PQ teórico – Tensión en POI = 0.95 p.u.



## Tensión en POI 1.0 pu

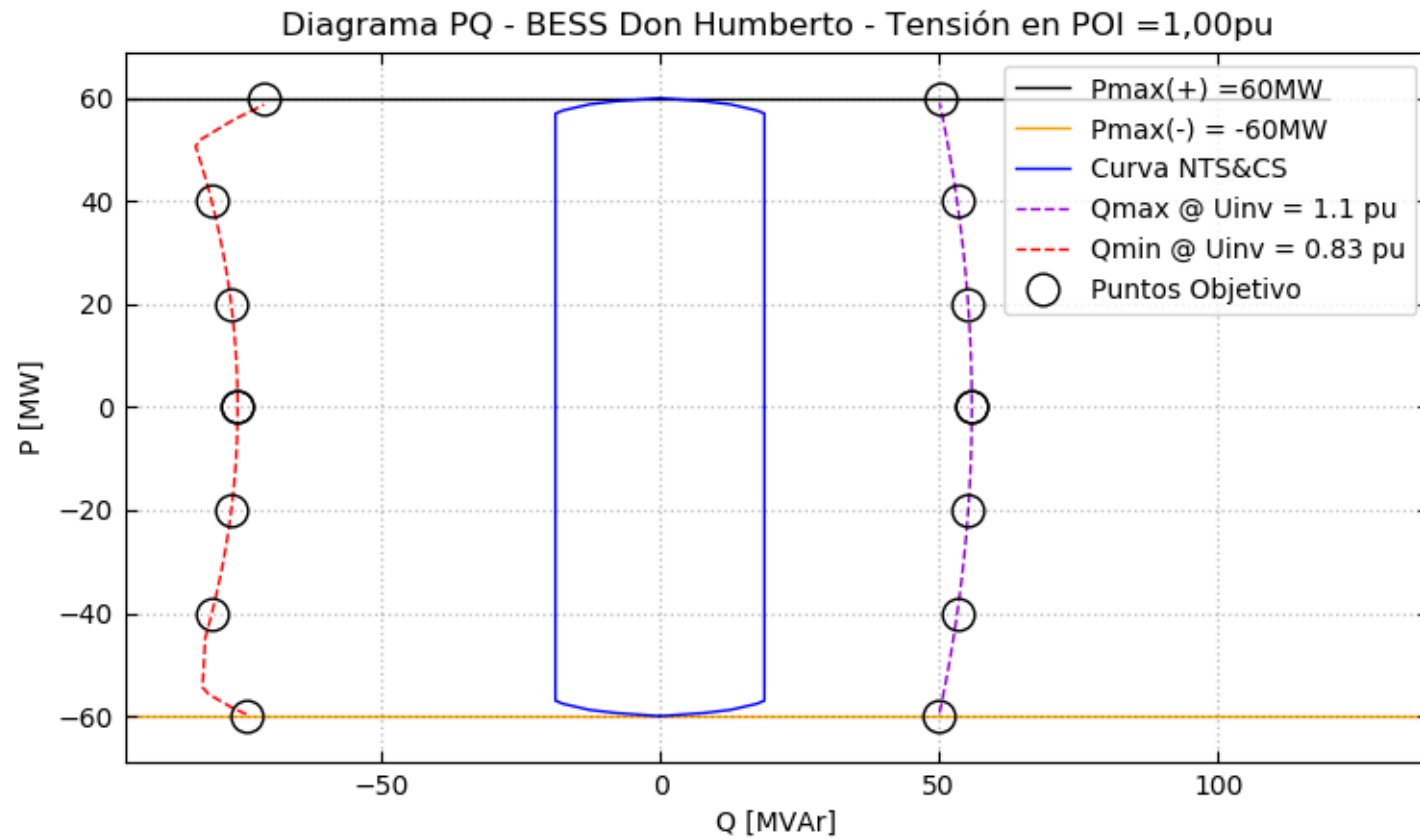


Figura 6.3 – Diagrama PQ teórico – Tensión en POI = 1.00 p.u.



## Tensión en POI 1.05 pu

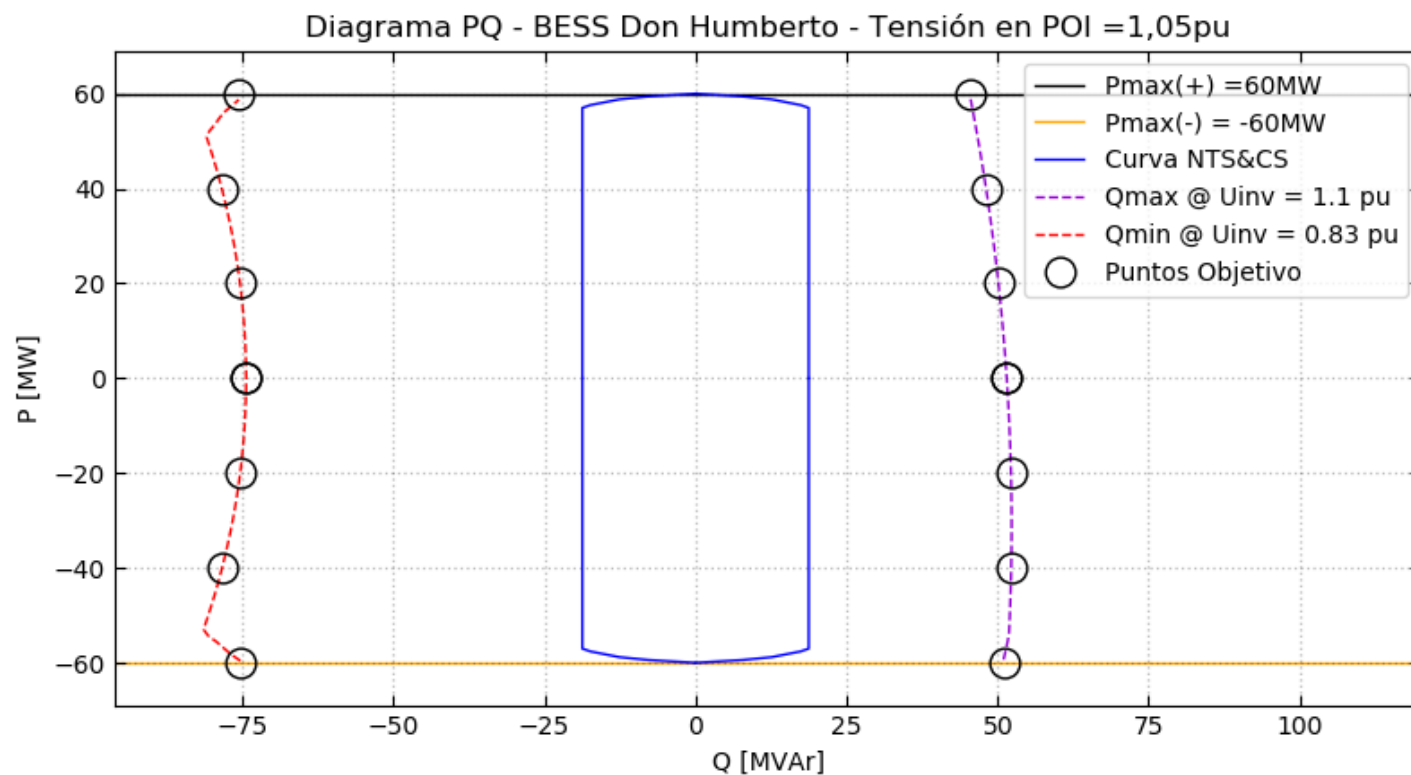


Figura 6.4 – Diagrama PQ teórico – Tensión en POI = 1.05 p.u.



## 6.2.2 Resumen de valores a informar

A continuación, se muestran las tablas de resumen de los valores PQ ensayados para todos los niveles de tensión en el formato requerido por el CEN ("Guía de Verificación Control de Tensión" – Anexo B – Junio 2020) para presentar en la planilla adjunta **"EE-EN-2024-1866-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto\_Zona\_Consumo.xlsx"** y **"EE-EN-2024-1866-RA\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto\_Zona\_Generacion.xlsx"**.

SSCC		Control de Tensión				
Categoría		Control de Tensión				
Subcategoría		Control de Tensión				
Modo(s) de Control		Potencia Reactiva, Factor de Potencia, Tensión Q(V)				
Central	Tensión [p.u]	Potencia Reactiva [MVar]				
	Potencia [MW]	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1
BESS Don Humberto	-60.0 (Zona Consumo)	No Operable	-31.59	-	-	No Operable
	-40.0 (Zona Consumo)		-55.9	-	-	
	-20.0 (Zona Consumo)		-55.09	-	-	
	0.0		-54.46	-	-	
	20.0 (Zona Generación)		-59.23	-	-	
	40.0 (Zona Generación)		-55.31	-	-	
	60.0 (Zona Generación)		-31.59	-	-	
	60.0 (Zona Generación)	No Operable	-	-	14.1	No Operable
	40.0 (Zona Generación)		-	-	43.14	
	20.0 (Zona Generación)		-	-	46.28	
	0.0		-	-	47.9	
	-20.0 (Zona Consumo)		-	-	47.2	
	-40.0 (Zona Consumo)		-	-	45.02	
	-60.0 (Zona Consumo)		-	-	22.11	

Tabla 6.6 – Resumen de valores curvas PQ



### 6.2.3 Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 0.95 pu - Generación

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVar]	Vbarra MT [kV]	Vbarra MT [pu]	Error en Q [%]	Origen de la Limitación
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]						
1	-	-	-	0.0	55.46	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	20.0	54.75	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	40.0	52.6	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	60.0	48.98	-	-	-	-	-	
5	13-nov	11:00	11:05	60.0	-62.84	60.04	-31.59	102.3	0.93	49.72	Limitación de 65 MVA en punto de control de 33 kV
6	12-nov	18:30	18:35	40.0	-58.94	40.11	-55.31	103.4	0.94	6.16	
7	12-nov	18:00	18:06	20.0	-56.1	19.95	-59.23	102.3	0.93	-5.58	
8	12-nov	16:02	16:08	0.0	-54.29	0.10	-54.46	102.3	0.93	-0.31	

Tabla 6.7 – Resumen de valores curvas PQ con tensión en POI de 0.95 pu – Generación

### 6.2.4 Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 0.95 pu - Consumo

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVar]	Vbarra MT [kV]	Vbarra MT [pu]	Error en Q [%]	Origen de la Limitación
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]						
1	-	-	-	0.0	55.46	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-20.0	54.76	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-40.0	52.62	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-60.0	49.15	-	-	-	-	-	
5	13-nov	10:15	10:20	-60.0	-54.92	-60.04	-31.59	102.3	0.93	49.72	Limitación de 65 MVA en punto de control de 33 kV
6	12-nov	17:15	17:21	-40.0	-53.73	-41.04	-55.9	102.3	0.93	-4.04	
7	12-nov	16:30	16:35	-20.0	-53.51	-20.03	-55.09	102.3	0.93	-0.4	
8	12-nov	15:56	16:02	0.0	-54.29	0.1	-54.46	102.3	0.93	-0.31	

Tabla 6.8 – Resumen de valores curvas PQ con tensión en POI de 0.95 pu – Consumo





### 6.2.5 Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.00 pu – Generación

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVar]	Vbarra MT [kV]	Vbarra MT [pu]	Error en Q [%]	Origen de la Limitación
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]						
1	12-nov	16:17	16:22	0.0	51.5	0.0	47.9	113.3	1.03	7.0	Limitación de 65 MVA en punto de control de 33 kV
2	12-nov	18:08	18:13	20.0	50.13	20.28	46.28	113.3	1.03	7.68	
3	12-nov	18:36	19:41	40.0	48.08	40.37	43.14	113.3	1.03	10.27	
4	13-nov	11:06	11:11	60.0	45.35	59.93	14.1	113.3	1.03	68.91	
5	-	-	-	60.0	-74.58	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	40.0	-78.41	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	20.0	-75.39	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	0.0	-74.39	-	-	-	-	-	

Tabla 6.9 – Resumen de valores curvas PQ con tensión en POI de 1.00 pu - Generación

### 6.2.6 Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.00 pu - Consumo

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVar]	Vbarra MT [kV]	Vbarra MT [pu]	Error en Q [%]	Origen de la Limitación
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]						
1	12-nov	16:10	16:15	0.0	51.5	0.0	47.9	113.3	1.03	7.0	Limitación de 65 MVA en punto de control de 33 kV
2	12-nov	16:37	16:42	-20.0	52.21	-19.8	47.2	113.3	1.03	9.6	
3	12-nov	17:23	17:28	-40.0	52.25	-39.71	45.02	113.3	1.03	13.84	
4	13-nov	10:22	10:28	-60.0	50.98	-59.76	22.11	113.3	1.03	65.12	
5	-	-	-	-60.0	-75.32	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-40.0	-78.37	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-20.0	-75.37	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	0.0	-74.39	-	-	-	-	-	

Tabla 6.10 – Resumen de valores curvas PQ con tensión en POI de 1.00pu - Consumo



### 6.2.7 Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.05 pu - Generación

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVar]	Vbarra MT [kV]	Vbarra MT [pu]	Error en Q [%]	Origen de la Limitación
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]						
1	12-nov	16:17	16:22	0.0	51.5	0.0	47.9	113.3	1.03	7.0	Limitación de 65 MVA en punto de control de 33 kV
2	12-nov	18:08	18:13	20.0	50.13	20.28	46.28	113.3	1.03	7.68	
3	12-nov	18:36	19:41	40.0	48.08	40.37	43.14	113.3	1.03	10.27	
4	13-nov	11:06	11:11	60.0	45.35	59.93	14.1	113.3	1.03	68.91	
5	-	-	-	60.0	-74.58	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	40.0	-78.41	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	20.0	-75.39	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	0.0	-74.39	-	-	-	-	-	

Tabla 6.11 – Resumen de valores curvas PQ con tensión en POI de 1.05 pu - Generación

### 6.2.8 Ensayos de Curva PQ para tensión en POI 1.05 pu - Consumo

Puntos	Fecha	Periodo de Evaluación		Puntos Teóricos		P de ensayo P[MW]	Q obtenida Q [MVar]	Vbarra MT [kV]	Vbarra MT [pu]	Error en Q [%]	Origen de la Limitación
		HH:MM (inicio)	HH:MM (fin)	P[MW]	Q [MVar]						
1	12-nov	16:10	16:15	0.0	51.5	0.0	47.9	113.3	1.03	7.0	Limitación de 65 MVA en punto de control de 33 kV
2	12-nov	16:37	16:42	-20.0	52.21	-19.8	47.2	113.3	1.03	9.6	
3	12-nov	17:23	17:28	-40.0	52.25	-39.71	45.02	113.3	1.03	13.84	
4	13-nov	10:22	10:28	-60.0	50.98	-59.76	22.11	113.3	1.03	65.12	
5	-	-	-	-60.0	-75.32	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-40.0	-78.37	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-20.0	-75.37	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	0.0	-74.39	-	-	-	-	-	

Tabla 6.12 – Resumen de valores curvas PQ con tensión en POI de 1.05pu - Consumo



## 7 ANALISIS Y CONCLUSIONES

El **BESS Don Humberto** ha sido sometido al proceso de verificación para la prestación de Servicios Complementarios. El mismo ha sido llevado a cabo bajo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica de Servicios Complementarios y el Anexo Técnico, *"Verificación de Instalaciones para la Prestación de SCCC"* vigente.

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

- Mediante ensayos de respuesta al escalón se comprueba el correcto desempeño dinámico del control local de los inversores en su modo de control de potencia reactiva. La respuesta registrada es estable y el error en estado estacionario es nulo.
- Mediante ensayos de respuesta al escalón se comprueba el correcto desempeño dinámico del controlador de planta en sus modos de control de potencia reactiva, factor de potencia y tensión Q(V). La respuesta registrada es estable y el error en estado estacionario es nulo.
- Se realiza la verificación de máxima inyección y absorción de potencia reactiva del BESS en todo el rango de potencia activa, considerando tanto la condición de carga como descarga de las baterías. Se toma como referencia el informe de determinación de curvas PQ máxima teórica: ***"EE-EN-2024-1099-RB\_Diagrama\_PQ\_Teórico\_Máximo\_BESS\_Don\_Humberto"***.
- Debido a restricciones del despacho no fue posible operar en los cinco niveles de tensión en el punto de interconexión de la instalación. Sin embargo, no se evidencian restricciones por parte del BESS para operar dentro de las curvas de operación definidas en el capítulo 6.



## 8 ANEXOS

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

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

- Tensión en POI (señal UBUS).
- Potencia reactiva en POI (señal QBUS).
- Potencia activa en POI (señal PBUS).

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

A continuación, se presentan las mediciones realizadas para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la central correspondiente a 0.95 p.u.



## Punto P0-Q8

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_002

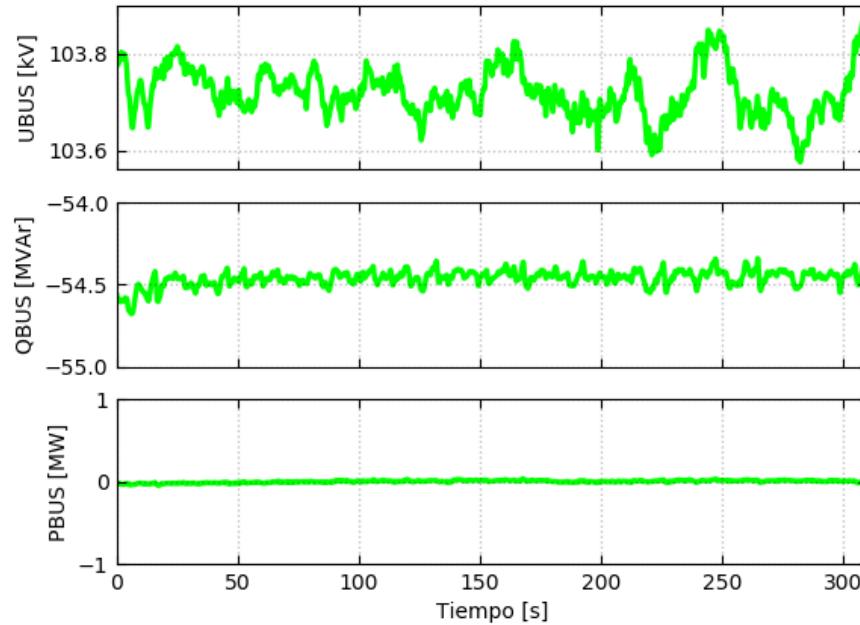


Figura 8.1 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI

## Punto P2-Q7\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_102

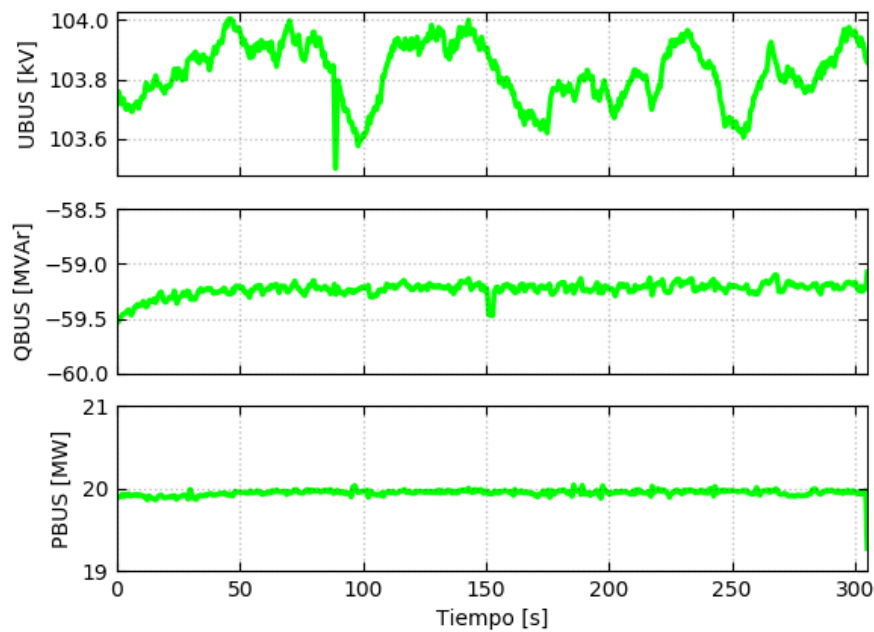


Figura 8.2 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



## Punto P4-Q6\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_104

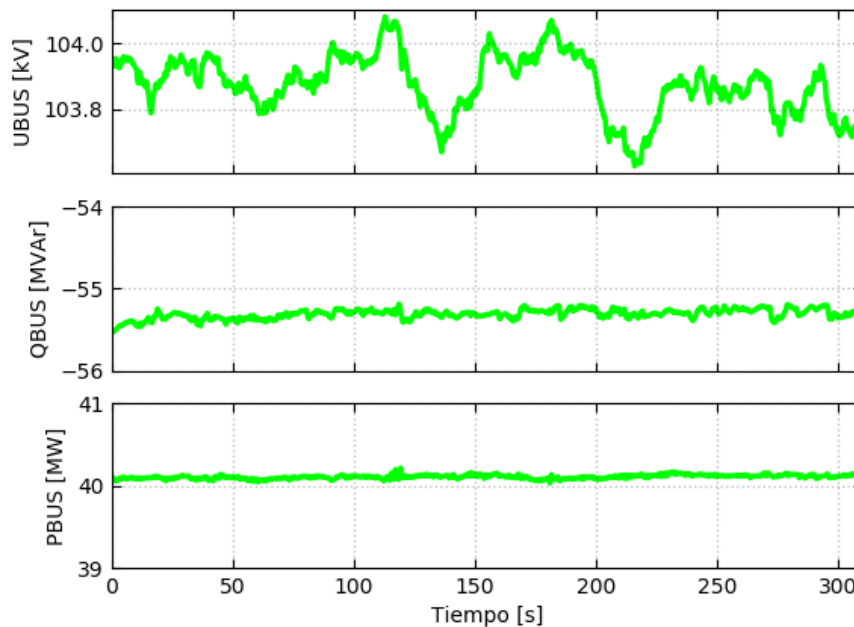


Figura 8.3 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI

## Punto P5-Q5\_Generación

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PQ\_106

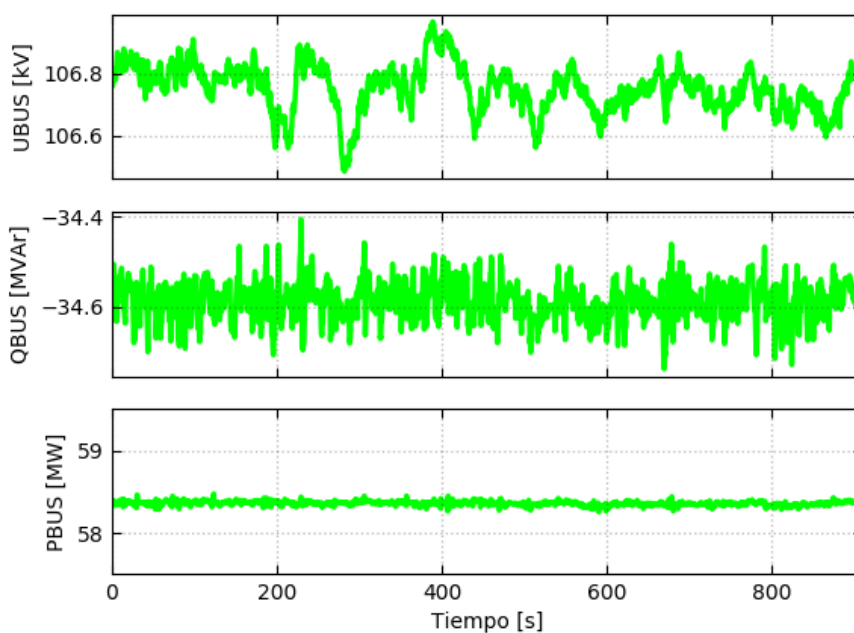


Figura 8.4 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



## Punto P2-Q7\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_004

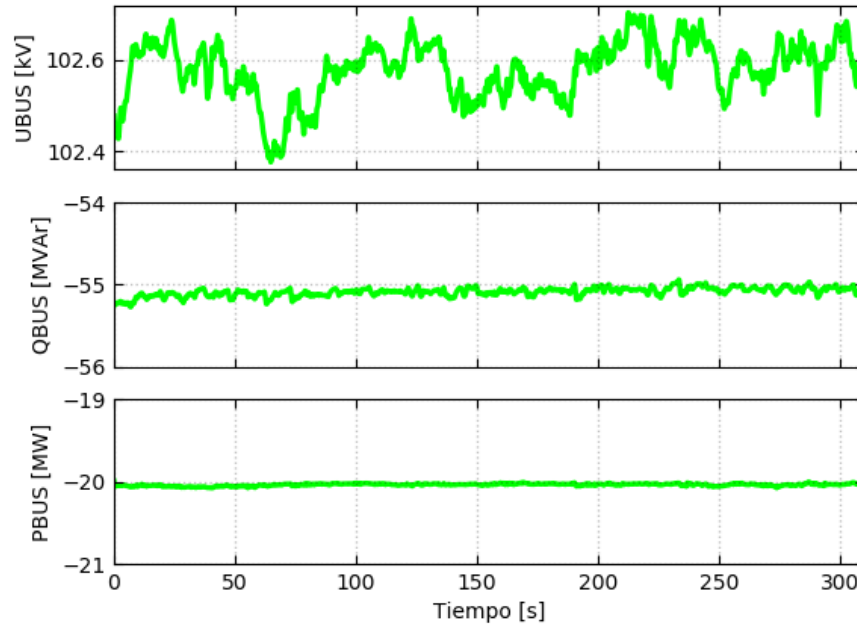


Figura 8.5 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI

## Punto P4-Q6\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_006

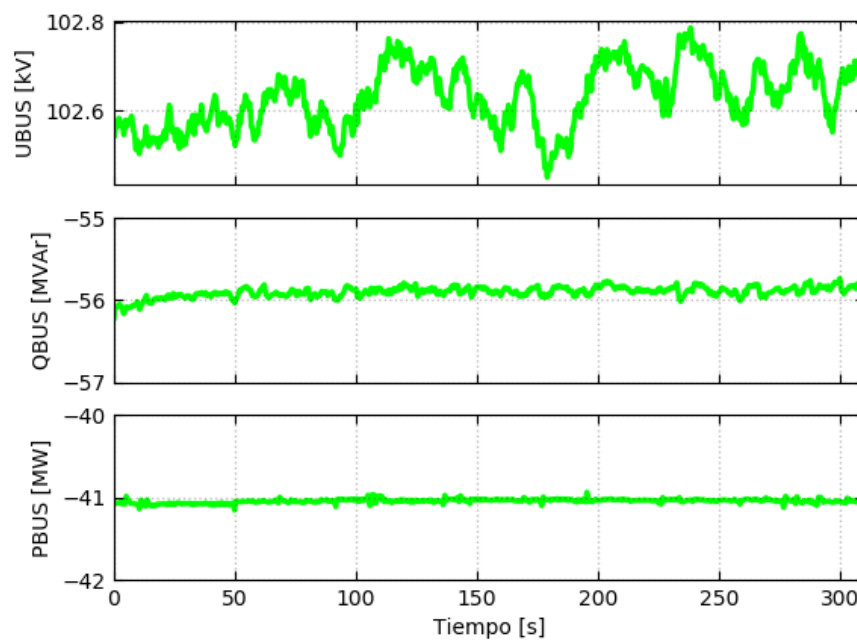


Figura 8.6 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



## Punto P5-Q5\_Consumo

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PQ\_008

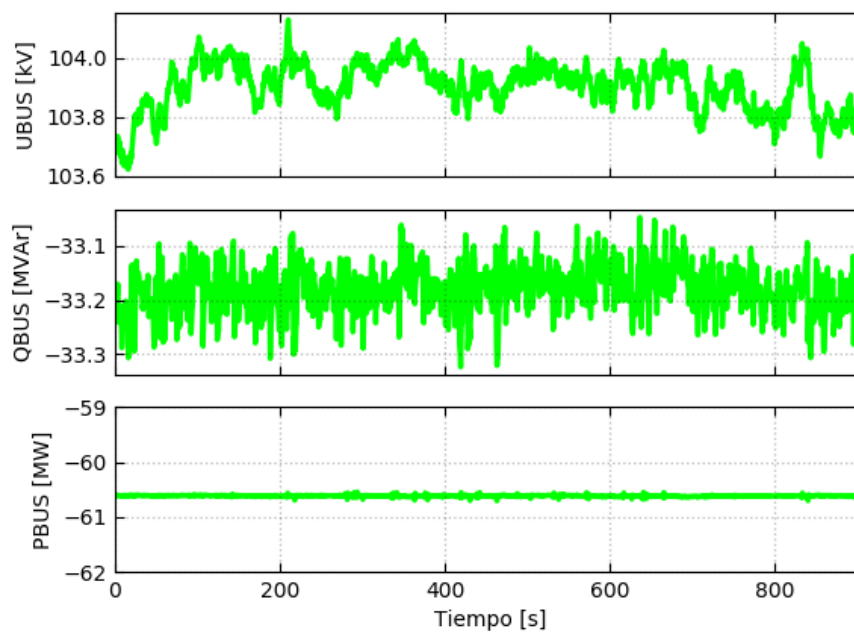


Figura 8.7 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI





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

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

#### Punto P0-Q1\_Generación

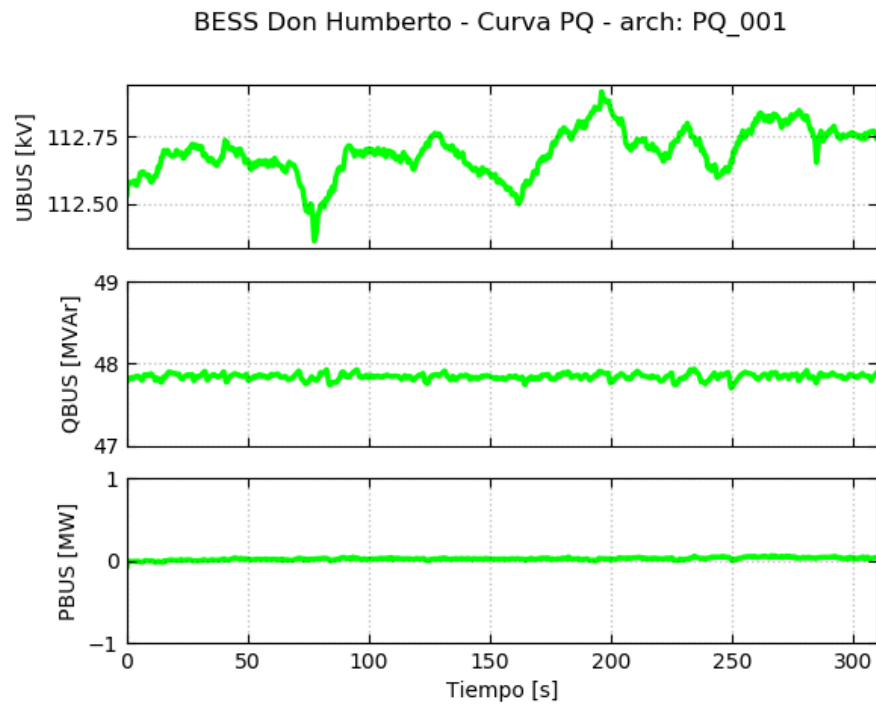


Figura 8.8 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



## Punto P2-Q2\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_101

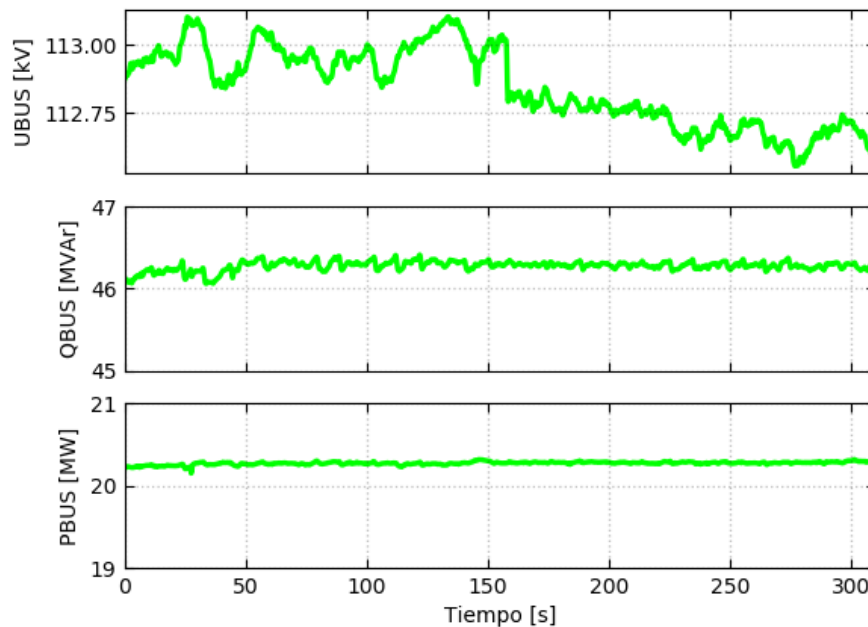


Figura 8.9 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI

## Punto P4-Q3\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_103

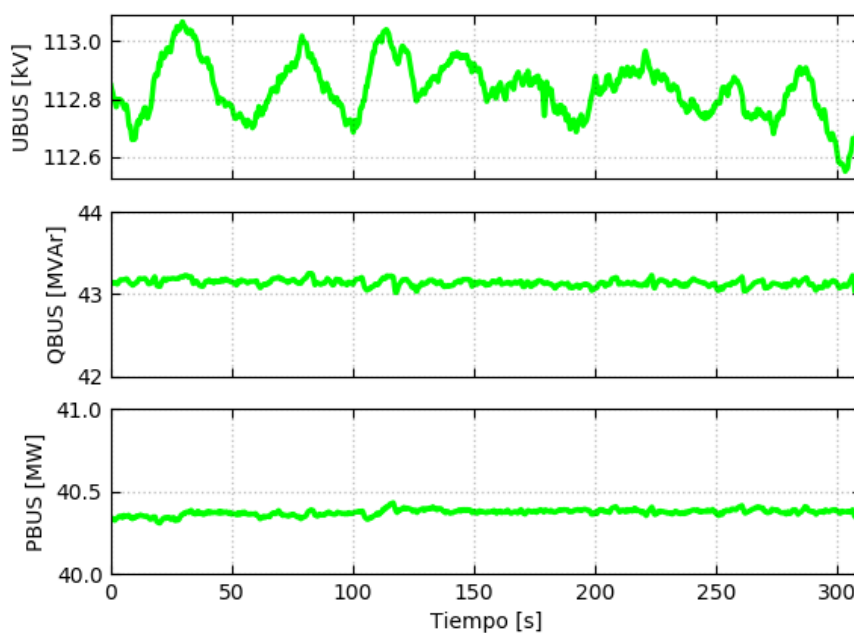


Figura 8.10 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



## Punto P5-Q4\_Generación

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PQ\_105

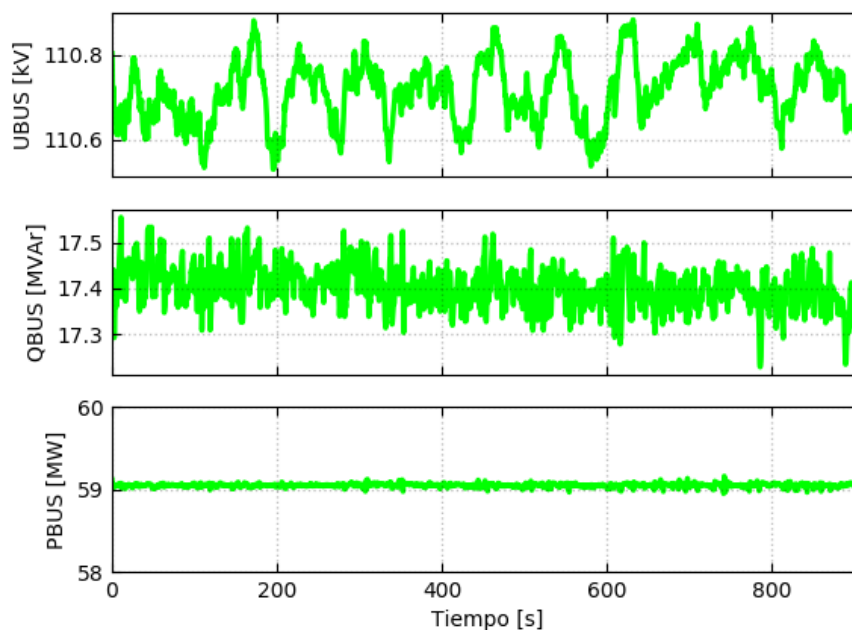


Figura 8.11 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI

## Punto P2-Q2\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_003

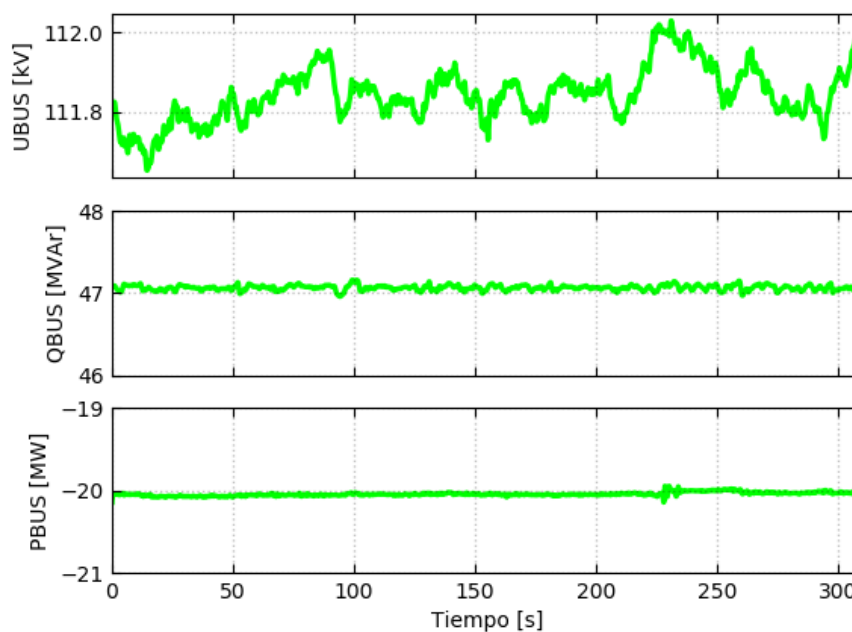


Figura 8.12 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



## Punto P4-Q3\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ - arch: PQ\_005

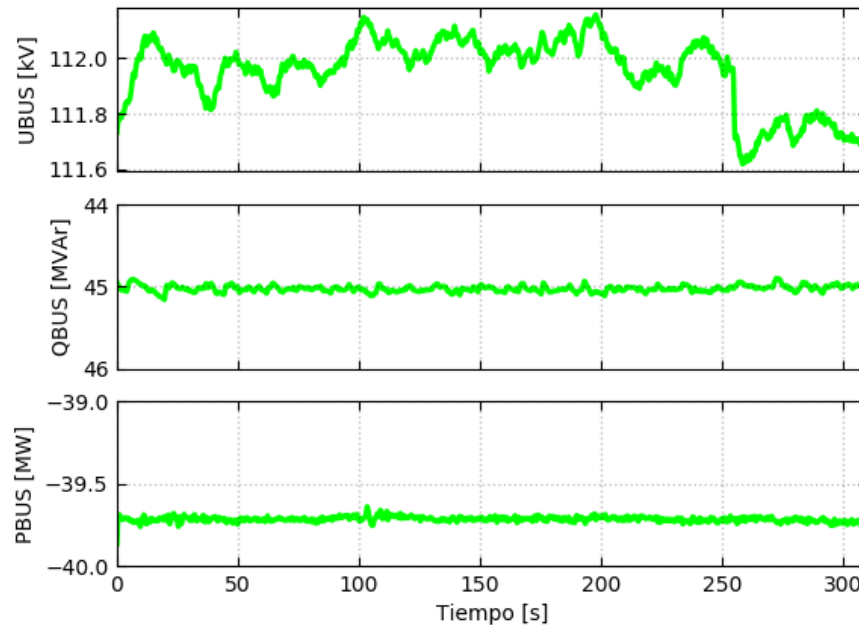


Figura 8.13 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI

## Punto P5-Q4\_Consumo

BESS Don Humberto - Control Q - arch: PQ\_007

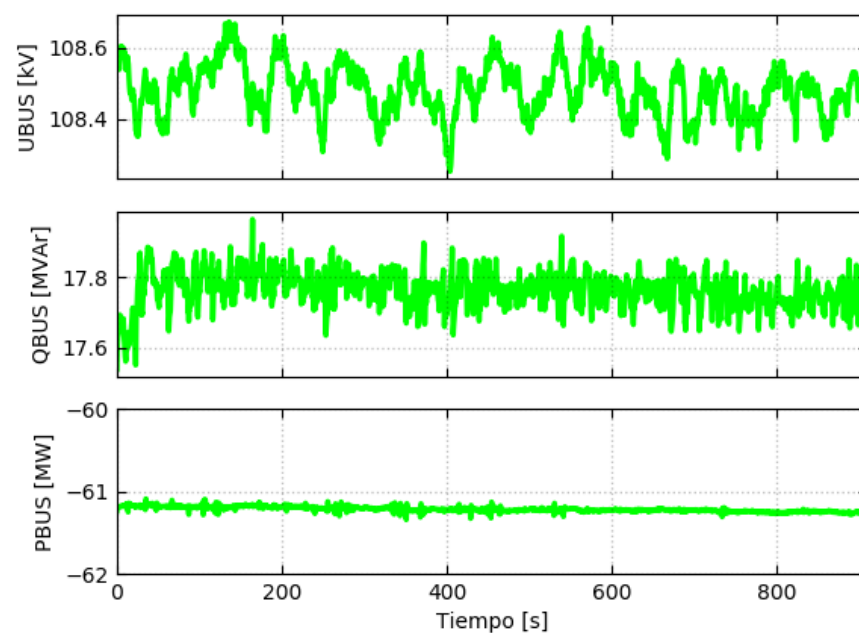


Figura 8.14 – Verificación de curva PQ – Señales en terminales en POI



### 8.1.3 Verificación curva PQ @ 0.95 p.u. data cliente

A continuación, se presentan las mediciones realizadas por el equipo del cliente para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la central correspondiente a 0.95 p.u.

#### Punto P0-Q8

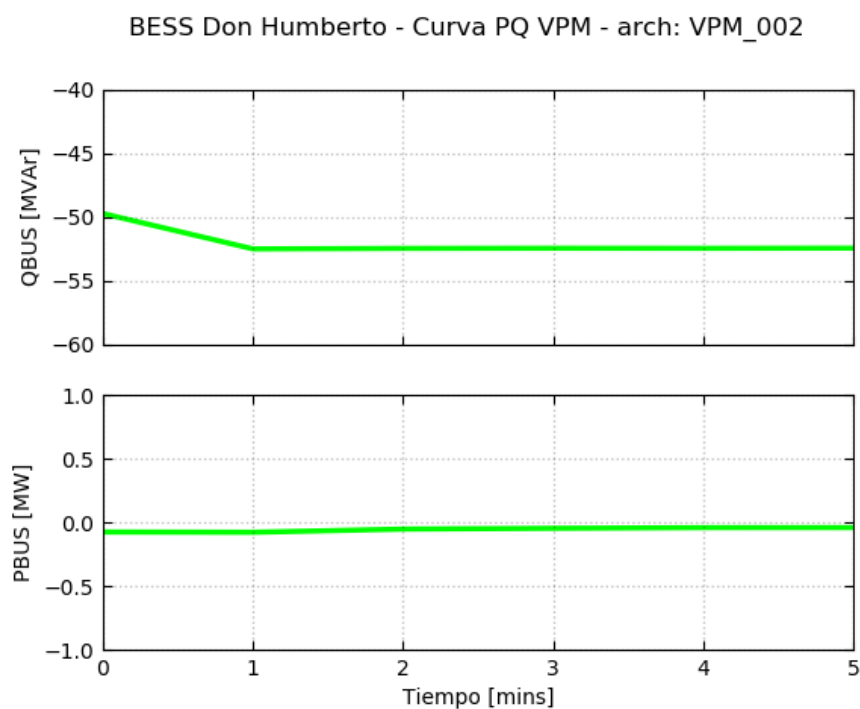


Figura 8.15 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV



## Punto P2-Q7\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_102

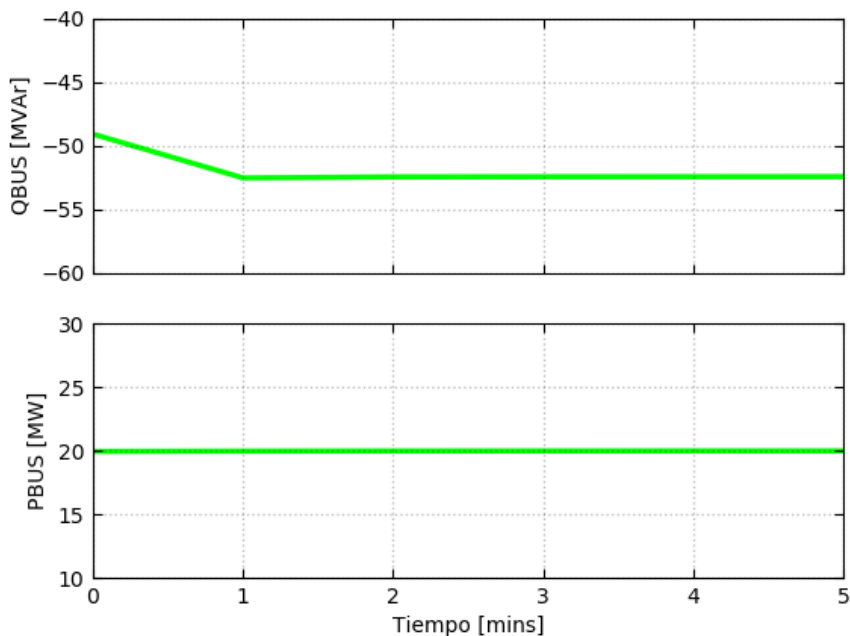


Figura 8.16 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## Punto P4-Q6\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_104

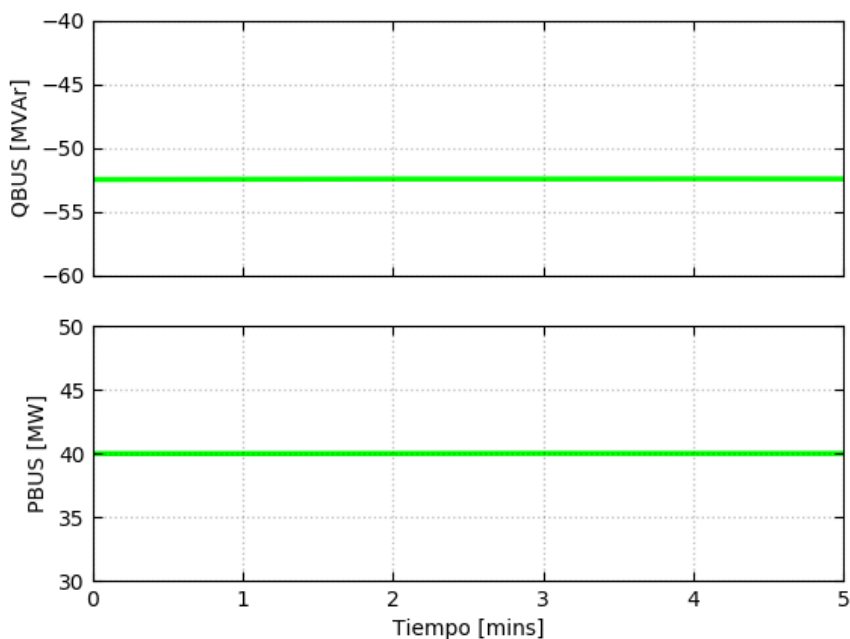


Figura 8.17 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV



## Punto P5-Q5\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_106

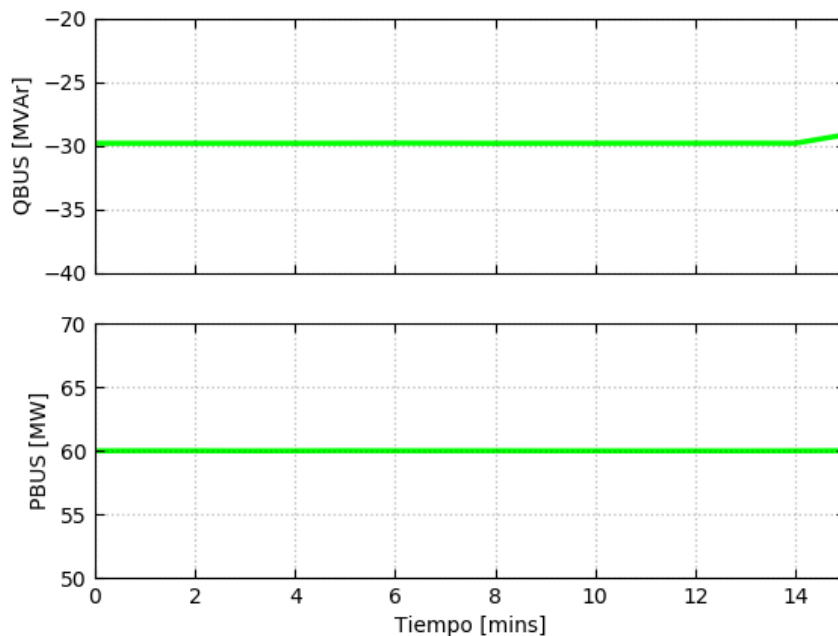


Figura 8.18 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## Punto P2-Q7\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_004

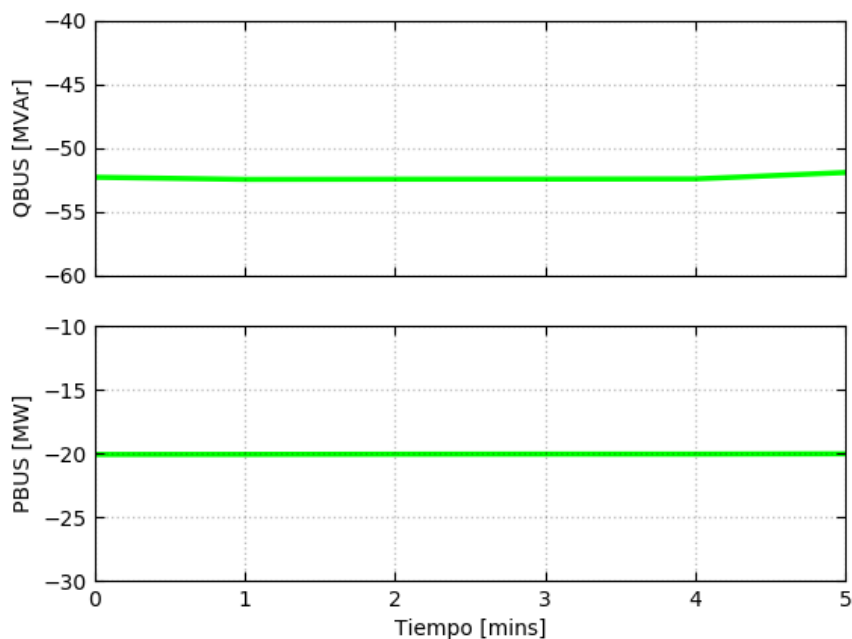


Figura 8.19 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV



## Punto P4-Q6\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_006

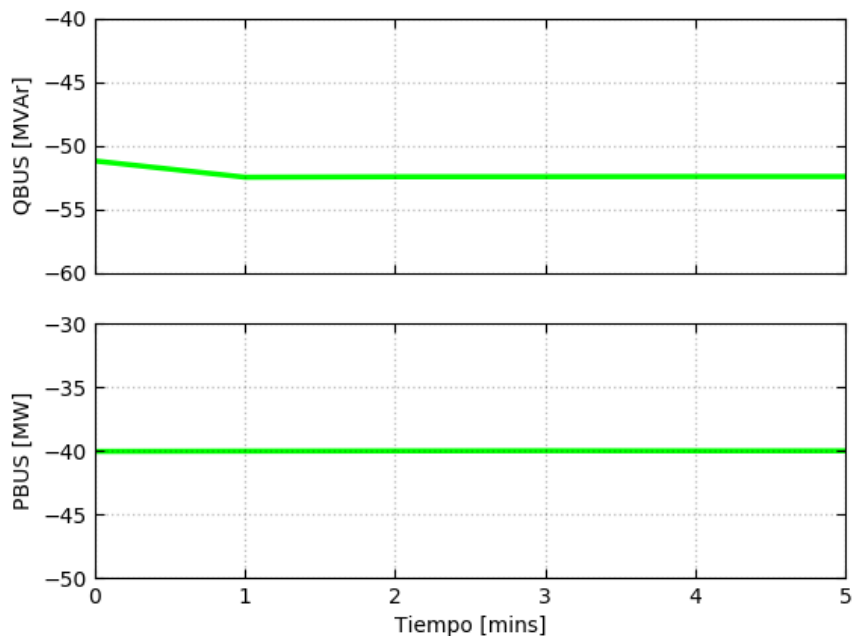


Figura 8.20 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## Punto P5-Q5\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_008

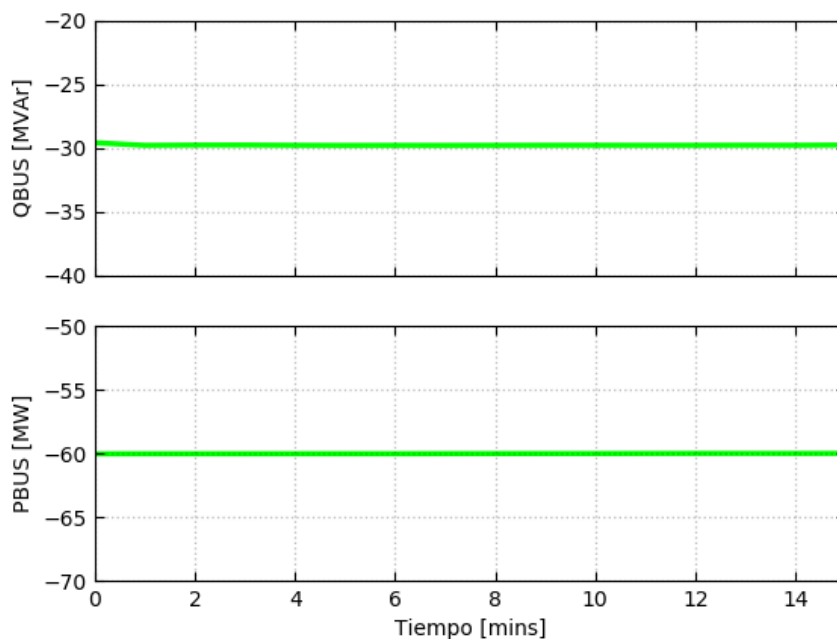


Figura 8.21 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV





#### 8.1.4 Verificación curva PQ @ 1.05 p.u. data cliente

A continuación, se presentan las mediciones realizadas por el equipo de medición del cliente para los distintos puntos de despacho de potencia activa recorriendo la curva de capacidad de la central correspondiente a 1.05 p.u.

##### Punto P0-Q1\_Generación

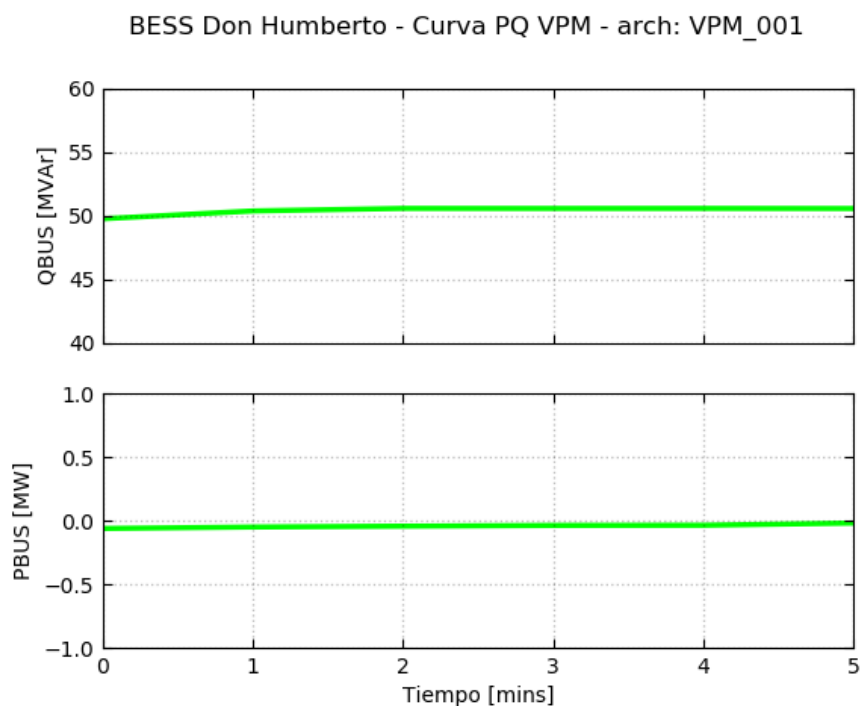


Figura 8.22 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV



## Punto P2-Q2\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_101

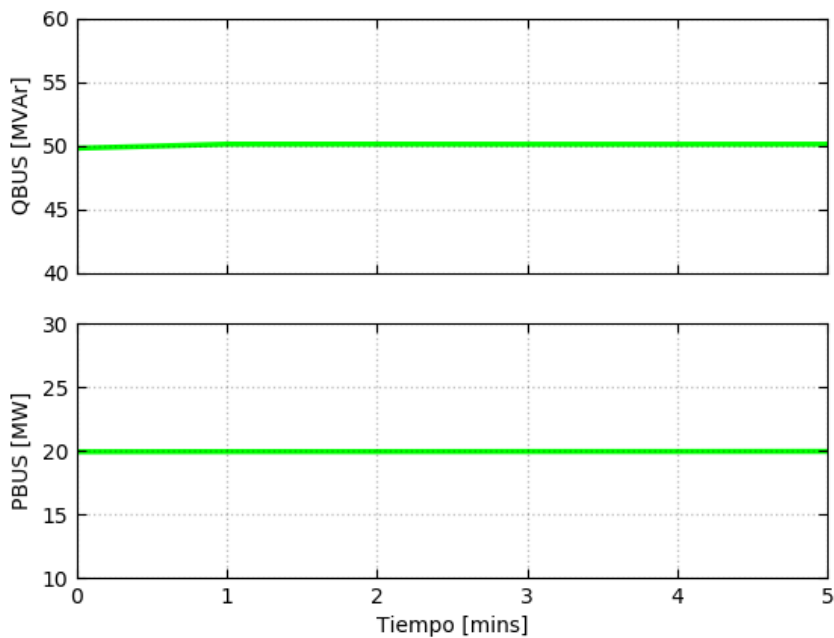


Figura 8.23 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## Punto P4-Q3\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_103

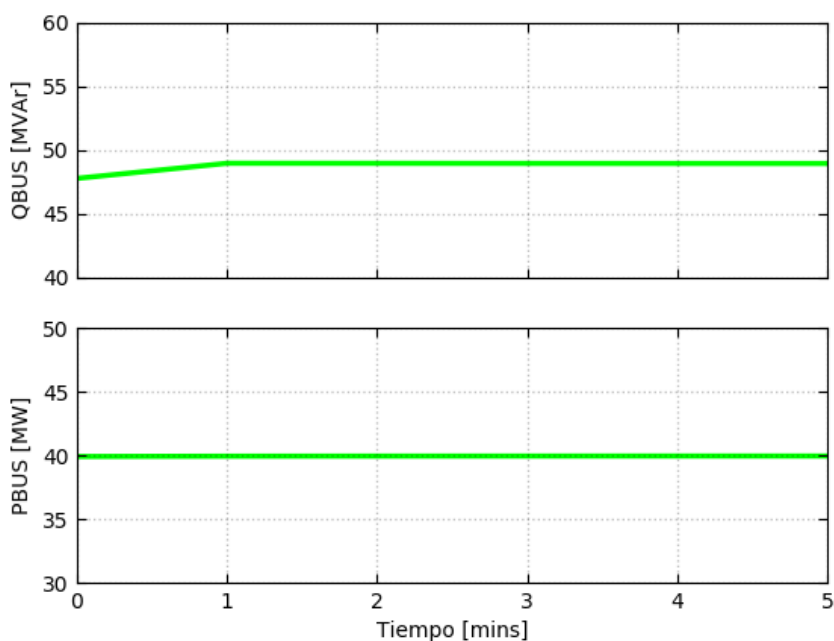


Figura 8.24 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV



## Punto P5-Q4\_Generación

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_105

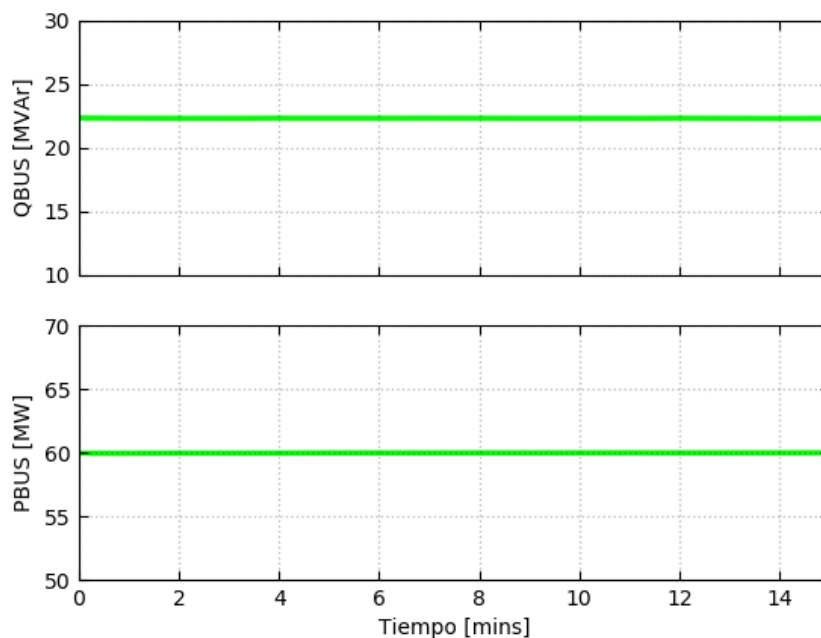


Figura 8.25 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## Punto P2-Q2\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_003

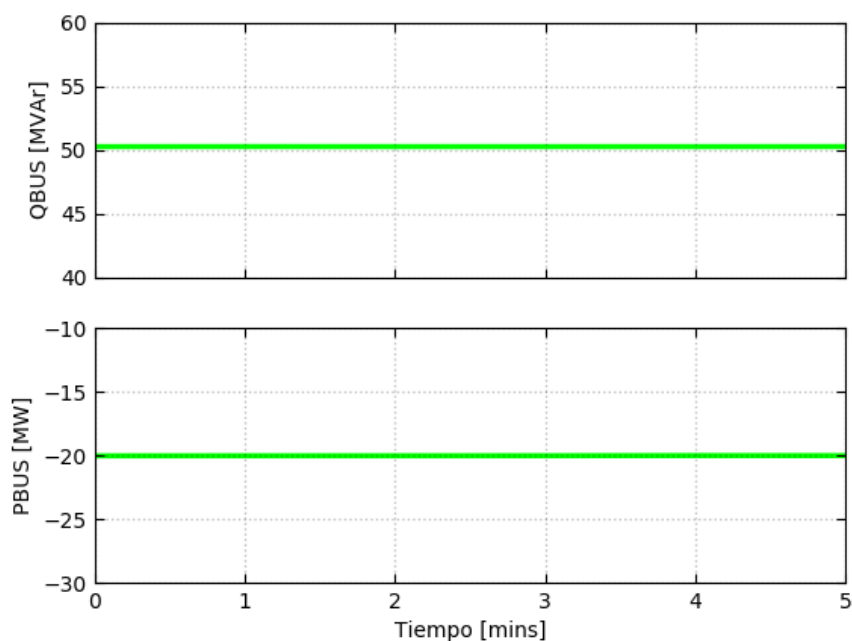


Figura 8.26 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV



## Punto P4-Q3\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_005

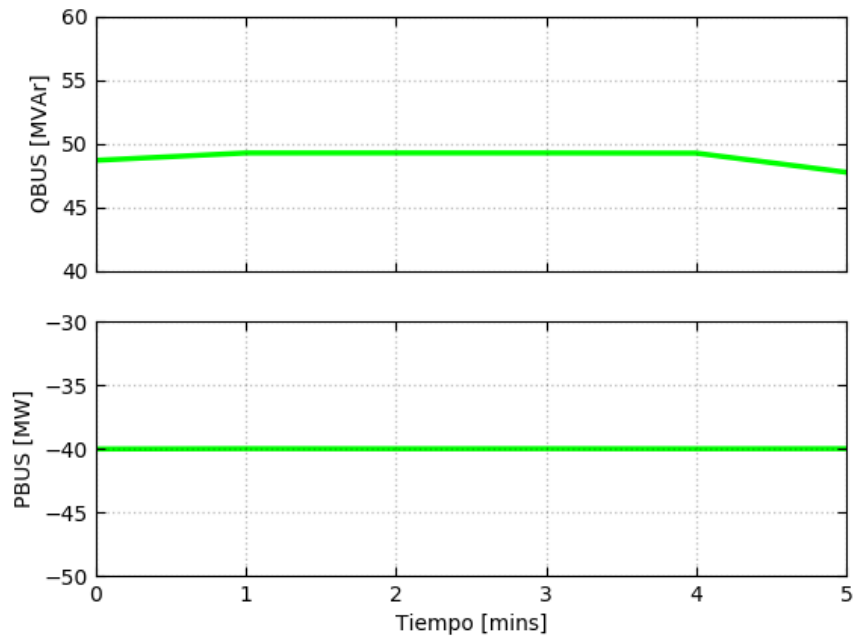


Figura 8.27 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## Punto P5-Q4\_Consumo

BESS Don Humberto - Curva PQ VPM - arch: VPM\_007

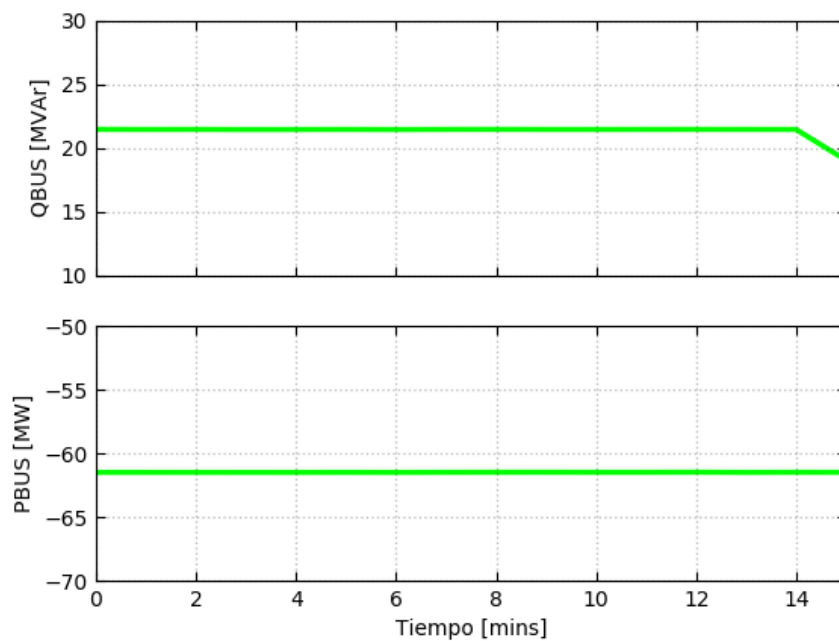


Figura 8.28 – Verificación de curva PQ – Señales del Virtual Power Meter – 33 kV

## 8.2 Antecedentes del inversor

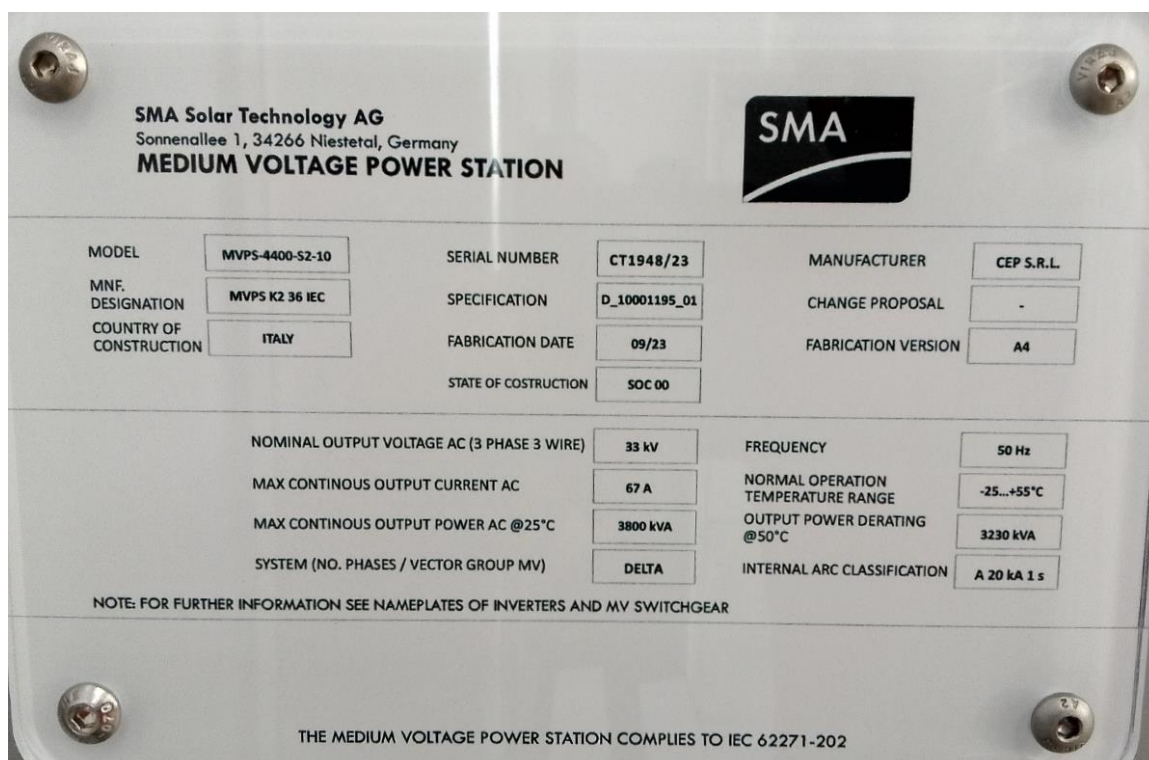


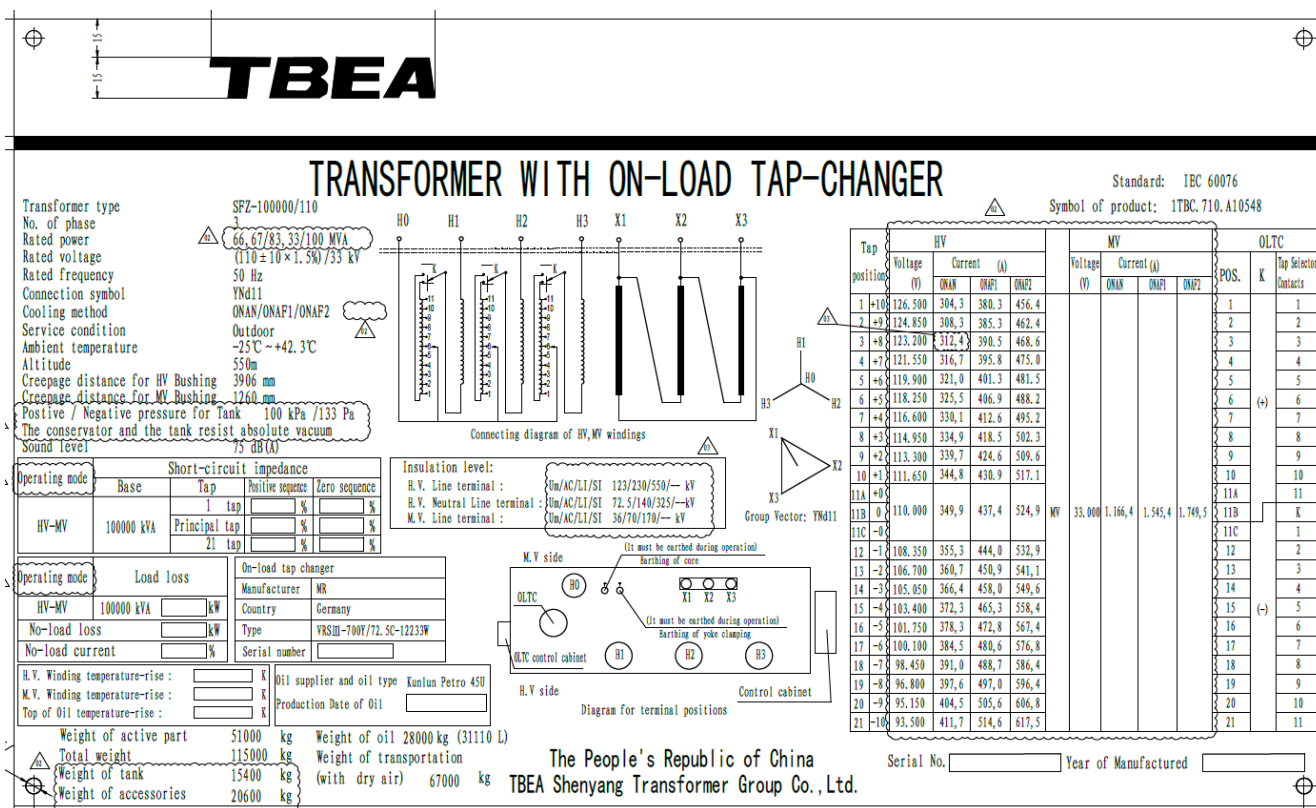
Figura 8.29 – Placa del módulo inversor

## 8.3 Protección de los inversores

	Parameter
VtripEnable Voltage protection off/on [[0/1]]	1,
UV_ON Undervoltage stage ON [p.u.]	0,8
OV_ON Overvoltage stage ON [p.u.]	1,1
Ulow Minimum voltage for frequency protection [p.u.]	0,92
Tfblock Frequency protection blocking time after UVRT [s]	0,15
UF_ON Underfrequency stage ON [Hz]	49,
OF_ON Overfrequency stage ON [Hz]	51,
FtripEnable Frequency protection off/on [[0/1]]	1,
Fnom Nominal frequency [Hz]	1,
TfMA Time interval of moving average window [s]	0,1
Tmax Maximum simulation time step [s]	0,1

Figura 8.30 – Protecciones de sobretensión y frecuencia de los inversores

## 8.4 Antecedentes del transformador principal



*Figura 8.31 – Placa del transformador principal*



## 8.5 Antecedentes de los transformadores de bloque

WESTRAFO S.R.L.  
Via della Meccanica 4, 36100 Vicenza, ITALY  
THREE PHASE LIQUID IMMERSED TRANSFORMER

CE UK CA SMA

SERIAL NUMBER	08938	MODEL	TRA190000555	FABRICATION DATE	10/2023
SPECIFICATION	D_10005012_01	INSTRUCTION BOOK	Ed. 2019 - Rev.01	STANDARD	IEC 60076-1

RATED POWER @ 50°C	3230 kVA	POWER @ 25°C	3800 kVA	VECTOR GROUP	Dy11
RATED HIGH VOLTAGE	33000 V	RATED LOW VOLTAGE	660 V	OPERATION	Step-up
AC / BIL (HV)	70 / 170 kV	AC / BIL (LV)	10 / 30 kV	NUMBER OF PHASES	3
COOLING CLASS	KNAN	LIQUID TYPE	FR3	RATED FREQUENCY	50 Hz
LOAD LOSSES	30122 W	NO LOAD LOSSES	2903 W	TEMP. RISE OIL/WDG	70 / 75 °C
WINDING MATERIAL (HV/LV)	AL / AL	CORE MATERIAL	CRGO		
PEI	%	kPEI	%		
MAX SHORT CIRCUIT CURRENT	18 kA	IMPEDANCE @ 3230 kVA	6.79 %		

TAP POS.	5	4	3	2	1
RATED VOLTAGE	31350	32175	33000	33825	34650
RATED CURRENT	59.5	58	56.5	55.1	53.8

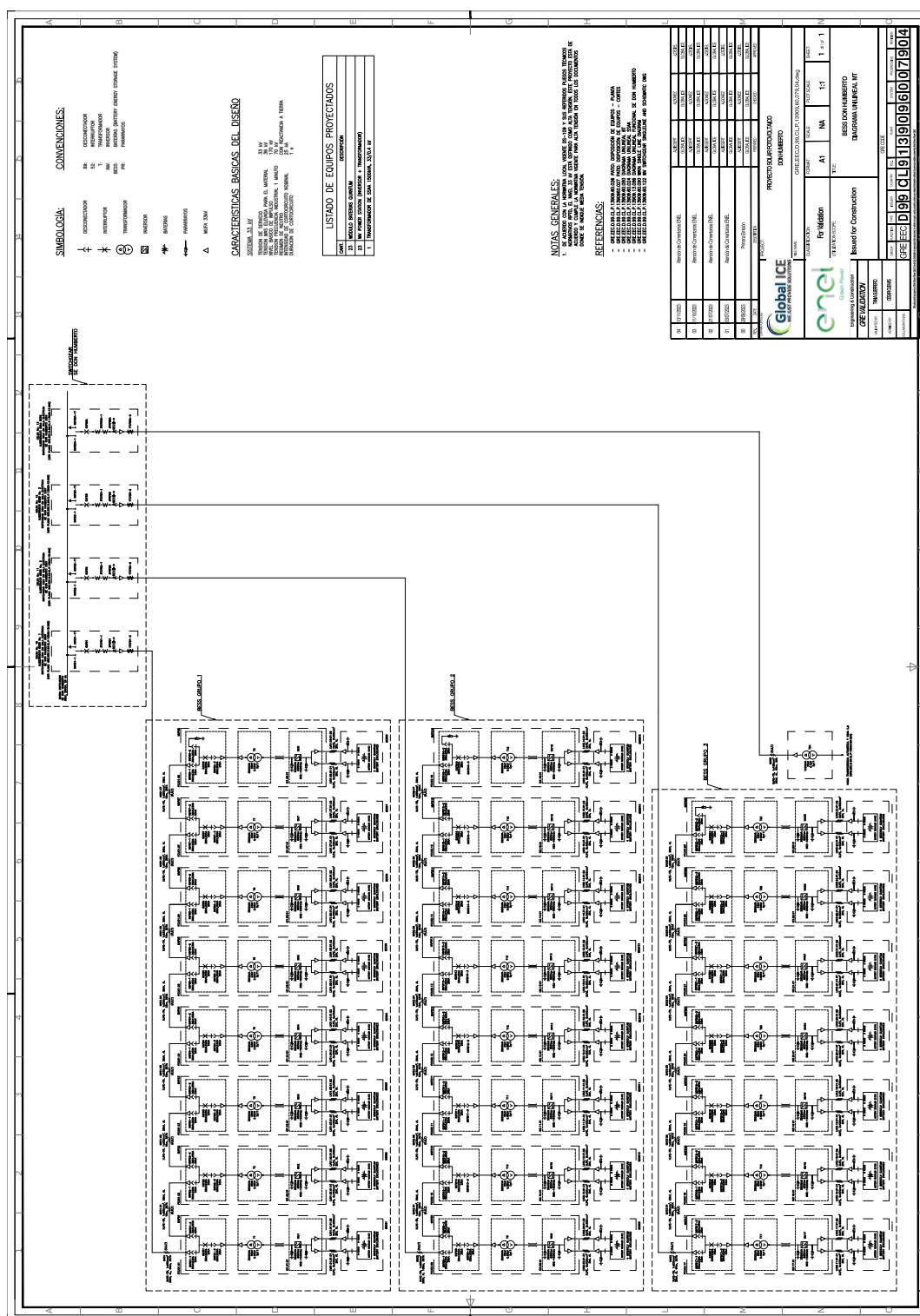
1V 1U 1W 2V 2U 2W

OPERATING PRESSURE MIN	-10 kPa	AND MAX	27 kPa	WINDING MASS (MV/LV)	430 / 310 kg	AMBIENT TEMP.	-25°C / +50°C
LIQUID PRESSURE PROTECTION SETTING			40 kPa	CORE MATERIAL MASS	2280 kg	LOAD PROFILE	12 h
LEVEL OF PCB (AT TIME OF MANUFACTURING)			<1 ppm	ACTIVE PART MASS	3570 kg	SHIELD WINDING	YES
LIQUID TEMP. PROTECTION SETTING			120 °C	LIQUID VOL AND MASS	1500 l / 1380 kg		
					6190 kg		

Figura 8.32 – Placa del transformador de bloque



## 8.6 Diagrama Unilineal



*Figura 8.33 – Unilineal de planta*





## 8.7 Archivos adjuntos entregados

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

- Registros de ensayos: **"EE-EN-2024-1866-RB\_BESS\_Don\_Humberto\_Registros.zip"**

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato ".csv". Para correlacionar el nombre del archivo con la figura se debe considerar las siguientes tablas:

Ensayos – Inversor cercano INV02	
Nombre	Descripción
INV02_001	Control Q - Baja – Consumo
INV02_002	Control Q - Media – Consumo
INV02_003	Control Q - Alta – Consumo
INV02_004	Control Q - Baja – Generación
INV02_005	Control Q - Media – Generación
INV02_006	Control Q - Alta – Generación

Tabla 8.1 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión en el inversor cercano

Ensayos – Inversor lejano INV15	
Nombre	Descripción
INV15_001	Control Q - Baja – Consumo
INV15_002	Control Q - Media – Consumo
INV15_003	Control Q - Alta – Consumo
INV15_004	Control Q - Baja – Generación
INV15_005	Control Q - Media – Generación
INV15_006	Control Q - Alta – Generación

Tabla 8.2 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión en el inversor lejano



Ensayos PPC – Control de tensión	
Nombre	Descripción
PPC_101	Control Q – Potencia cero
PPC_102	Control Q – Media - Consumo
PPC_103	Control Q – Alta - Consumo
PPC_104	Control Q – Media – Generación
PPC_105	Control Q – Alta – Generación
PPC_201	Control PF – Media - Consumo
PPC_202	Control PF – Alta – Consumo
PPC_203	Control PF – Media – Generación
PPC_204	Control PF – Alta - Generación
PPC_301	Control QV – Potencia cero
PPC_302	Control QV – Media - Consumo
PPC_303	Control QV – Alta - Consumo
PPC_304	Control QV – Media – Generación
PPC_305	Control QV – Media - Generación

Tabla 8.3 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión en BESS completo

Ensayos - Curva PQ – 0.95 p.u. – Registro POI	
Nombre	Descripción
PQ_002	P0-Q8 – Potencia cero
PQ_102	P2-Q7 – Generación
PQ_104	P4-Q6 – Generación
PQ_106	P5-Q5 – Generación
PQ_004	P2-Q7 – Consumo
PQ_006	P4-Q6 – Consumo
PQ_008	P5-Q5 – Consumo

Tabla 8.4 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 0.95 pu



Ensayos - Curva PQ – 1.05 p.u. – Registro POI	
Nombre	Descripción
PQ_001	P0-Q1 – Potencia cero
PQ_101	P2-Q2 – Generación
PQ_103	P4-Q3 – Generación
PQ_105	P5-Q4 – Generación
PQ_003	P2-Q2 – Consumo
PQ_005	P4-Q3 – Consumo
PQ_007	P5-Q4 – Consumo

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

Ensayos - Curva PQ – 0.95 p.u. – Registro VPM	
Nombre	Descripción
VPM_002	P0-Q8 – Potencia cero
VPM_102	P2-Q7 – Generación
VPM_104	P4-Q6 – Generación
VPM_106	P5-Q5 – Generación
VPM_004	P2-Q7 – Consumo
VPM_006	P4-Q6 – Consumo
VPM_008	P5-Q5 – Consumo

Tabla 8.6 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 0.95 pu

Ensayos - Curva PQ – 1.05 p.u. – Registro VPM	
Nombre	Descripción
VPM_001	P0-Q1 – Potencia cero
VPM_101	P2-Q2 – Generación
VPM_103	P4-Q3 – Generación
VPM_105	P5-Q4 – Generación
VPM_003	P2-Q2 – Consumo
VPM_005	P4-Q3 – Consumo
VPM_007	P5-Q4 – Consumo

Tabla 8.7 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control de tensión – Curva PQ a 1.05 pu



## 8.8 Acta de pruebas SSCC


<b>ESTUDIOS ELECTRICOS</b>			
<b>ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS</b>			
<b>ACTA DE PRUEBAS</b>			
Fecha	13/11/2024	Empresa	ENEL GREEN POWER
ID Proyecto	EE-2023-186	Ubicación	Tiltil, Región Metropolitana
Denominación Planta	BESS Don Humberto		
Servicios por verificar	Servicios Complementarios: - Control de Tensión (CT)		
<b>Datos de la instalación</b>			
Potencia aparente nominal [MVA]	87.4 MVA	Tipo de central	BESS
Tensión en POI [kV]	33 kV	Cantidad de inversores	23
Potencia activa máxima [MW]	60 MW	Transformador elevador bajo carga	33/110 kV
Potencia activa mínima [MW]	-60 MW		
<b>Responsables durante las pruebas</b>			
Coordinado	Mauricio Segovia	Representante EGP en las pruebas	
Estudios Eléctricos	César Collignon	Equipo experto técnico	
<b>Datos de las pruebas</b>			
Estado previo de la planta	En servicio y SOC 50%		
Inicio del período de pruebas	11/11/2024		
Fin del período de pruebas	13/11/2024		
Protocolo aplicable	EE-EN-2024-1199-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_BESS_Don_Humberto		
Firmas Aclaración/Empresa	 Coordinado	 Experto Técnico	

Figura 8.34 – Acta de Pruebas SSCC (1 de 3)



<b>ESTUDIOS ELECTRICOS</b> <b>ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS</b>		
<b><u>Resumen de pruebas</u></b>		
<b>SC Control de Tensión:</b>		
Se realizan pruebas dinámicas en los sistemas de control, tanto a nivel inversor como BESS completo:		
<ul style="list-style-type: none"><li>- Pruebas de control de potencia reactiva en inversor cercano y lejano.</li><li>- Pruebas de control de potencia reactiva, factor de potencia y tensión a nivel de PPC.</li></ul>		
Se realizan pruebas estáticas con el BESS conectado a la red:		
<ul style="list-style-type: none"><li>- Puntos Curva PQ operables en 7 estados de carga (0.0 MW, 3 de generación y 3 de consumo).</li></ul>		
<b><u>Observaciones/Desvíos del protocolo</u></b>		
<b>SC Control de Tensión:</b>		
<u>Pruebas dinámicas a nivel inversor:</u> Sin desvíos		
<u>Curva PQ:</u>		
De acuerdo con el procedimiento, se intentan probar los distintos niveles de tensión en POI para cada uno de los estados de carga planteados. Se logra ensayar únicamente un solo nivel de tensión en función de si era una condición de absorción o inyección de reactivos.		
Se logra verificar la inyección de reactivos en una tensión aproximada de 1.03pu, que permite evaluar los niveles 1.0pu y 1.05pu de tensión. En tanto, para la condición de absorción de reactivos se verifica en una tensión aproximada de 0.93pu, que permite evaluar los niveles de tensión de 0.9pu y 0.95 de tensión.		
<b>Firmas</b> Aclaración/Empresa	<div style="text-align: center; font-size: small;">Practical Design Suite Contracting Manager Enel Green Power <b>Coordinado</b></div>	<div style="text-align: center; font-size: small;">CÉSAR COLIGNON <b>Experto Técnico</b></div>

Figura 8.35 – Acta de Pruebas SSCC (2 de 3)



## ESTUDIOS ELECTRICOS

### ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Se presentan a continuación, dos tablas resumen con los puntos de absorción e inyección de lo realmente alcanzado en planta.

Despacho potencia activa	Subexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P59PC-Generación = 60.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable
P39PC-Generación = 40.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable
P19PC-Generación = 20.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable
P09PC = 0.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable
P19PC-Consumo = -20.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable
P39PC-Consumo = -40.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable
P59PC-Consumo = -60.0 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.03 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.03 pu)	No alcanzable


Despacho potencia activa	Sobrexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P59PC-Generación = 60.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P39PC-Generación = 40.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P19PC-Generación = 20.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P09PC = 0.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P19PC-Consumo = -20.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P39PC-Consumo = -40.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable
P59PC-Consumo = -60.0 [MW]	Alcanzado subiendo la tensión (0.93 pu)	Alcanzado bajando la tensión (0.93 pu)	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable

Firmas Aclaración/Empresa		CÉSAR COLIGNON
	Coordinado	Experto Técnico

Figura 8.36 – Acta de Pruebas SSCC (3 de 3)



## 8.9 Certificado de calibración del equipamiento utilizado



**CERTIFICADO DE CALIBRACION**  
ESTUDIOS\_001\_BLACKBOX G4500

DATOS GENERALES							
<b>Cliente</b>	ESTUDIOS ELECTRICOS CHILE S.A.			<b>Fecha de certificación</b>	24 de junio de 2024		
<b>Dirección</b>	Manquehue norte #160, Las Condes			<b>Fecha próxima certificación</b>	24 de junio de 2025		
<b>Contacto</b>	Jorge Leiss			<b>Temperatura y Humedad</b>	21 ± 2 °C --- 38 ± 10 %		
<b>Email</b>	jorge.leiss@estudios-electricos.com						

**IDENTIFICACIÓN DEL ELEMENTO**

Tipo	Marca	Modelo	Numero Serie
Analizador de red	BLACKBOX	G4500	00-60-35-2D-E8-4F

**INSTRUMENTOS UTILIZADOS**

Instrumento	Marca	Modelo	Numero Serie
Multimetro	RSPRO	RSDM-9061	344B033G2
SHUNT	Sin Marca	400A/50mV	5558581

**Medida de tensión alterna (V)**

Escala	RSDM-9061	G4500	G4500	G4500	Error	Incertidumbre	Observaciones
VAC	VAC	VAC	VAC	VAC	Absoluto	Expandida K=2	
20	20,001	20,000	20,000	20,000	-0,001	0,0007	-----
40	40,003	40,002	40,002	40,002	-0,001	0,0007	-----
60	60,002	60,000	60,000	60,000	-0,002	0,0013	-----
80	80,002	80,000	80,000	80,000	-0,002	0,0013	-----
100	100,003	100,001	100,001	100,001	-0,002	0,0013	-----

**Medida de corriente alterna**

Escala	RSDM-9061	G4500	G4500	G4500	Error	Incertidumbre	Observaciones
IAC	IAC	IAC	IAC	IAC	Absoluto	Expandida K=2	
20	20,158	20,152	20,153	20,155	-0,006	0,0042	-----
50	50,362	50,357	50,359	50,340	-0,005	0,0035	-----
80	80,145	80,131	80,133	80,137	-0,0014	0,0099	-----

Figura 8.37 – Certificado de calibración analizador de energía





#### NOTAS

1. El instrumento muestra estabilidad en todas sus mediciones
2. Los instrumentos utilizados se encuentran calibrados y con trazabilidad bajo norma NCH-ISO 17025
3. Los resultados de la calibración están relacionados con el ítem calibrado, referidos al momento y condiciones en las cuales fueron realizadas las mediciones
4. La Incertidumbre expandida ha sido estimada multiplicando la incertidumbre estándar por un factor de cobertura aproximadamente  $k=2$ . El valor del mensurando se encuentra dentro del intervalo indicado de valores con una probabilidad del 95%

# DLT

Junio de 2024

**ESTUDIOS\_001\_BLACKBOX G4500**

(Próxima certificación, junio de 2025)

Figura 8.38 – Certificado de calibración analizador de energía





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
 <b>ESTUDIOS ELÉCTRICOS</b>			
Estudios Eléctricos declara que el instrumento: Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso.			
Instrumento	Número de serie:	Última Calibración	
Adquisidor Médium 8CH	EE-EQ-2015-0794	9/04/2024	
Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Última calibración	Proxima calibración
OMICRON CMC 256-6	HH594R	4/3/2024	4/3/2025
Fecha de evaluación: 9/4/2024 Certificado número:EE-CI-2024-0409		Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: 	
Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning			

Figura 8.39 – Certificado de calibración adquisidor de datos



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.