

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Enel Colombia S.A. E.S.P.
Colombia
Parque Solar La Loma
Informe - Auditoría Curva de
capacidad acuerdo CNO 1833



CÓDIGO DE PROYECTO	EE-2021-055
CÓDIGO DE INFORME	EE-EN-2024-0447
REVISIÓN	C

14 jun. 24



Este documento **EE-EN-2024-0447-RC** fue preparado para Enel Colombia S.A. E.S.P. por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman
Sub-Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo
Sub-Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
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 63 páginas y ha sido guardado por última vez el 14/06/2024 por Augusto Depetris; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	05/06/2024	Para presentar	JM/DM	AdP	PR
B	12/06/2024	Observaciones Enel	AdP	CC	PR
C	14/06/2024	Comentarios Enel	AdP	CC	PR

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



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
	1.1 Definiciones	5
2	INFORMACIÓN DE LA CENTRAL	6
	2.1 Curva de capacidad P-Q Propuesta	7
3	MEDICIONES	9
	3.1 Equipo de medición	9
4	CÁLCULO DE ERRORES	10
	4.1 Multimedidor Elspec	10
	4.2 Multimedidor Metrel	11
	4.3 Multimedidor Janitza Schneider Electric	13
5	DESARROLLO DEL ENSAYO	15
	5.1 Procedimiento de ensayos	15
	5.2 Resultados Obtenidos	15
	5.2.1 Modo de control de tensión	16
	5.2.2 Modo de control de potencia reactiva	17
	5.1.3. Modo de control de factor de potencia	18
	5.3 Curva de capacidad efectiva	19
	5.3.1 Puntos alcanzados durante la auditoría	19
	5.3.2 Puntos auditados con registros históricos	20
	5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento	22
	5.4.1 Detalle de la región de absorción	22
	5.4.2 Detalle de la región de inyección	24
	5.5 Curva de capacidad definitiva	26
6	REGISTRO DE ENSAYOS	28
	6.1 Tendencias – Punto 1 (7.5 MW, -7.5 MVar)	28
	6.1.1 Control de Tensión	28
	6.1.2 Control de Potencia Reactiva	29
	6.1.3 Control de Factor de Potencia	29
	6.1.4 Verificación limitación en mínimo técnico	30
	6.2 Tendencias – Punto 2 (15.0 MW, -15.0 MVar)	31
	6.2.1 Control de Tensión	31
	6.2.2 Control de Potencia Reactiva	31
	6.2.3 Control de Factor de Potencia	32
	6.3 Tendencias – Punto 3 (30.0 MW, -49.5 MVar)	33
	6.3.1 Control de Tensión	33
	6.3.2 Control de Potencia Reactiva	33
	6.3.3 Control de Factor de Potencia	34
	6.4 Tendencias – Punto 4 (75.0 MW, -49.5 MVar)	35
	6.4.1 Control de Tensión	35
	6.4.2 Control de Potencia Reactiva	35
	6.4.3 Control de Factor de Potencia	36
	6.5 Tendencias – Punto 7 (7.5 MW, 7.5 MVar)	37
	6.5.1 Control de Tensión	37
	6.5.2 Control de Potencia Reactiva	37
	6.5.3 Control de Factor de Potencia	38
	6.5.4 Verificación limitación en mínimo técnico	39
	6.6 Tendencias – Punto 8 (15.0 MW, 15.0 MVar)	40
	6.6.1 Control de Tensión	40
	6.6.2 Control de Potencia Reactiva	40
	6.6.3 Control de Factor de Potencia	41
	6.7 Tendencias – Punto 9 (30.0 MW, 49.5 MVar)	42
	6.7.1 Control de Tensión	42



6.7.2	Control de Potencia Reactiva.....	42
6.7.3	Control de Factor de Potencia.....	43
6.8	Tendencias – Punto 10 (75.0 MW, 49.5 MVar)	44
6.8.1	Control de Tensión.....	44
6.8.2	Control de Potencia Reactiva.....	44
6.8.3	Control de Factor de Potencia.....	45
6.9	Tendencias –Punto 13 Adicional (PBUS > 90 % Pnom)	46
6.9.1	Control de Tensión.....	46
6.9.2	Control de Potencia Reactiva.....	46
6.9.3	Control de Factor de Potencia.....	47
6.10	Tendencias –Punto 14 Adicional (PBUS > 90 % Pnom)	48
6.10.1	Control de Tensión.....	48
6.10.2	Control de Potencia Reactiva.....	48
6.10.3	Control de Factor de Potencia.....	49
7	REGISTROS HISTÓRICOS	50
7.1	Tendencias – Punto 5 (142.5 MW, -49.5 MVar)	50
7.1.1	Control de Tensión.....	50
7.2	Tendencias – Punto 6 (150.0 MW, -34.2 MVar)	51
7.2.1	Control de Tensión.....	51
7.3	Tendencias – Punto 11 (142.5 MW, 49.5 MVar)	51
7.3.1	Control de Tensión.....	52
7.4	Tendencias – Punto 12 (150.0 MW, 34.2 MVar)	53
7.4.1	Control de Tensión.....	53
8	CONCLUSIONES	54
8.	ANEXOS	55
8.1.	Procedimiento de ensayos.....	55
8.1.1.	Verificación de la Curva en la Región de absorción de potencia reactiva	55
8.1.2.	Verificación de la Curva en la Región de entrega de potencia reactiva	57
8.2.	Certificados de calibración	59
8.2.1.	Multimedidor BlackBox	59
8.1.1.	Multimedidor Metrel.....	60
8.1.1.	Multimedidor Schneider Electric.....	61



1 INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta los resultados obtenidos en la auditoría de verificación de la curva de capacidad realizada en el Parque Solar La Loma. Dichas pruebas fueron realizadas los días 12 de marzo de 2024 y 7, 28 y 31 de mayo de 2024, por la empresa auditora ESTUDIOS ELÉCTRICOS, complementados con registros históricos del 11 de mayo, siguiendo los lineamientos establecidos en el acuerdo CNO 1833. Con el objetivo de verificar el cumplimiento de la regulación vigente en donde se establece que las plantas solares fotovoltaicas y eólicas deben tener la capacidad de controlar la tensión en forma continua en el rango operativo normal del punto de conexión, por medio de la entrega o absorción de potencia reactiva de acuerdo con su curva de carga PQ declarada y según las consignas de operación definidas por el CND. Es claro que su obligación es entregar o absorber reactivos de acuerdo con su curva declarada en el punto de conexión y el control de tensión dependerá de la interacción sistémica de todos los elementos de control y los recursos de generación, transporte y cargas que tengan incidencia en dicho punto, así como de las consignas de operación que defina el CND.

La auditoría se realizó en el punto de interconexión ubicado en la subestación La Loma en 110 kV. El auditor responsable es el Ing. Claudio Celman.

1.1 Definiciones

Término	Descripción
POI	Punto de Interconexión
PBUS	Potencia eléctrica (activa) en POI
QBUS	Potencia reactiva en POI
UBUS	Tensión en POI
FREC	Frecuencia
Vctrl	Tensión (Modo de control)
Qctrl	Potencia Reactiva (Modo de control)
PFctrl	Factor de Potencia (Modo de control)

Tabla 1.1 – Tabla de nomenclaturas



2 INFORMACIÓN DE LA CENTRAL

El Parque Solar La Loma, propiedad de Enel Colombia S.A. E.S.P., se encuentra ubicado en el municipio de El Paso, departamento de Cesar, Colombia y posee un total de 407316 módulos fotovoltaicos de 460 Wp, teniendo una potencia instalada en DC de 187.36 MW con una capacidad efectiva neta de 150 MW.

El parque dispone de 172 inversores fotovoltaicos Santerno SUNWAY TG1800 1500V TE - 680, de 942 kVA @45°C de capacidad. La red colectora del parque está compuesta por once alimentadores en 33 kV que coleccion la potencia generada por los inversores del parque. Cada unidad de conversión posee dos inversores y estos se conectan a un transformador de bloque tridevanado de 3.8 MVA, 0.68/33 kV que interconecta la salida en BT de dos inversores con la red de MT. Cabe destacar que el parque no hace uso de almacenamiento de energía a partir de baterías y tampoco requiere de compensación de potencia reactiva adicional para cumplir con la curva de carga.

Los datos de la central ensayada son los siguientes:

Parque Solar La Loma

Potencia Pico	187.36	MWp
Potencia en el POI	150.0	MW
Mínimo técnico	7.5	MW
Rango	142.5	MW
Inversores	172 inversores de 942 kVA cada uno	-

Tabla 2.1 – Datos de la central



2.1 Curva de capacidad P-Q Propuesta

En la Figura 2.1 y la Tabla 2.2 se presentan los puntos PQ a ser auditados en el punto de conexión, los cuales fueron acordados entre Enel Colombia S.A. E.S.P. y el CND, según el artículo 5 del Acuerdo CNO 1833.

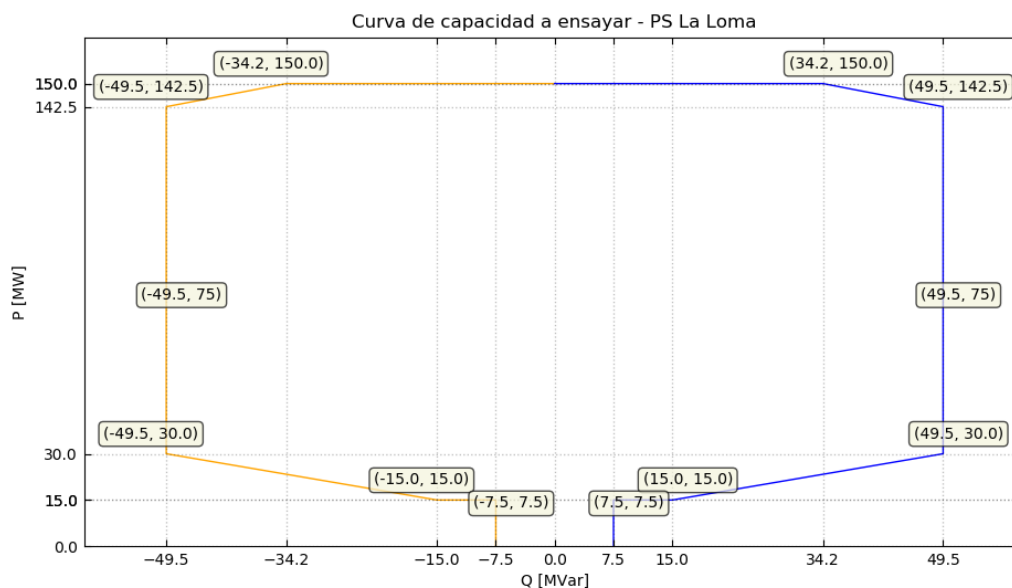


Figura 2.1 – Curva de Capacidad a auditar – PS La Loma

La planta define utilizar la curva PQ en el punto de conexión considerando el ajuste de potencia reactiva en función de la tensión según lo establecido en el Acuerdo CNO 1546, como se muestra en la Figura 2.2.

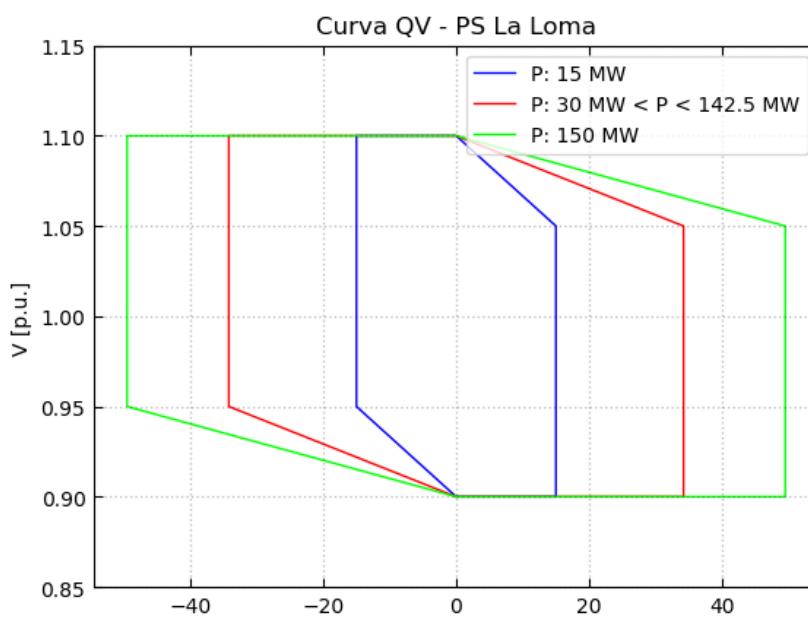


Figura 2.2 – Curva Q-V – Acuerdo 1546



Puntos Objetivos	Región	Potencia Activa POI [MW]	Potencia Reactiva POI [MVar]
1	Absorción	7,50	-7,50
2	Absorción	15,00	-15,00
3	Absorción	30,00	-49,50
4	Absorción	75,00	-49,50
5	Absorción	142,50	-49,50
6	Absorción	150,00	-34,20
7	Inyección	7,50	7,50
8	Inyección	15,00	15,00
9	Inyección	30,00	49,50
10	Inyección	75,00	49,50
11	Inyección	142,50	49,5
12	Inyección	150,00	34,20

Tabla 2.2. – Puntos PQ acordados con el CND a ser auditados



3 MEDICIONES

3.1 Equipo de medición

Para las mediciones realizadas se emplearon los equipos listados en la Tabla 3.1.

Equipo	Marca	Modelo	Número de Serie	Clase
Multimedidor	Elspec	G4500 BlackBox	00-60-35-38-11-F4	±0.2% Potencia Activa ±2% Potencia Reactiva
Multimedidor	Metrel	Power Master	21201095	±0.2% Potencia Activa ±0.2% Potencia Reactiva
Multimedidor	Schneider Electric	Power Logic ION 8650	MW-2103A422-02	±0.2% Potencia Activa ±2% Potencia Reactiva
CT's	Elementos de Planta			0.2%
PT's	Elementos de planta			0.2%

Tabla 3.1 – Equipos de medición utilizados

Para las mediciones realizadas se utilizaron los puntos de conexión detallados en la Tabla 3.2

Mediciones	Escala	Equipo utilizado
Tensiones en el Punto de conexión SE La Loma 110 kV	$115/\sqrt{3} : 0.115/\sqrt{3}$ kV	Multimedidor BlackBox / Metrel / Schneider Electric
Corrientes en el Punto de conexión SE La Loma 110 kV	800:1 A	Multimedidor BlackBox / Metrel / Schneider Electric

Tabla 3.2 – Puntos de Conexión



4 CÁLCULO DE ERRORES

Los siguientes son los datos de los equipos intervinientes en la cadena de medición:

- CT: clase 0.2, relación 800 : 1 A
- PT: clase 0.2, relación $115/\sqrt{3}$: $0.115/\sqrt{3}$ kV.
- Multimedidor BlackBox: Incertidumbre intrínseca de 0.2 para potencia activa y 2 para potencia reactiva.
- Multimedidor METREL: Incertidumbre intrínseca de 0.2 para potencia activa y 2 para potencia reactiva.
- Multimedidor Schneider: Incertidumbre intrínseca de 0.2 para potencia activa y 2 para potencia reactiva.

Nota: Los valores de incertidumbre del medidor fueron obtenidos del manual del fabricante.

Siguiendo los lineamientos de la guía GUM, el error relativo de la medición puede calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores relativos:

$$E_r = \sqrt{\sum E_{ri}^2}$$

Donde E_{ri} es cada uno de los errores relativos que afectan la medición realizada.

La clase de los instrumentos es el error absoluto referido a fondo de escala. Si se considera al error relativo de cada instrumento como su clase se lleva a cabo una aproximación conservadora.

4.1 Multimedidor Elspec

- Potencia activa

$$E_{r_{medidor}} = 0.2\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{0.2^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 0.26 \%$$



Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.0026 \times 800 \text{ A} \times 115000 \text{ V} = 0.41 \text{ MW}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia activa por los instrumentos.

- Potencia reactiva

$$E_{r_{medidor}} = 2\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{2^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 2.0067 \%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.02 \times 400 \text{ A} \times 230000 \text{ V} = 3.19 \text{ MVar}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia reactiva por los instrumentos.

4.2 Multimedidor Metrel

- Potencia activa

$$E_{r_{medidor}} = 0.2\%$$

$$E_{r_{transductor}} = 0.5\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$



$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{0.2^2 + 0.5^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 0.563\%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.00563 \times 800 \text{ A} \times 115000 \text{ V} = 0.896 \text{ MW}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia activa por los instrumentos.

- Potencia reactiva

$$E_{r_{medidor}} = 2\%$$

$$E_{r_{transductor}} = 0.5\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{0.2^2 + 0.5^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 0.563\%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.00563 \times 800 \text{ A} \times 115000 \text{ V} = 0.896 \text{ MVar}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia reactiva por los instrumentos.



4.3 Multimedidor Janitza Schneider Electric

- Potencia activa

$$E_{r_{medidor}} = 0.2\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{0.2^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 0.26 \%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.0026 \times 800 \text{ A} \times 115000 \text{ V} = 0.41 \text{ MW}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia activa por los instrumentos.

- Potencia reactiva

$$E_{r_{medidor}} = 2\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.1155\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{2^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 2.0067 \%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.02 \times 400 \text{ A} \times 230000 \text{ V} = 3.19 \text{ MVar}$$



De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia reactiva por los instrumentos.



5 DESARROLLO DEL ENSAYO

5.1 Procedimiento de ensayos

- Se realiza una reunión inicial en la cual se revisan los puntos PQ comprometidos.
- Se efectúa el conexionado del equipo de adquisición en el punto donde es declarada la curva de capacidad de la central (Punto de Conexión en S/E La Loma 110 kV).
- Para evaluar cada uno de los puntos comprometidos, se utiliza el procedimiento detallado en el Acuerdo CNO 1833.

5.2 Resultados Obtenidos

Las Tabla 5.2, Tabla 5.3 y Tabla 5.4 resumen las condiciones y resultados de los registros utilizados para la auditoría de potencia reactiva en los tres modos de control. La Tabla 5.1 presenta un resumen de los equipos utilizados en los diferentes días de ensayo. Cabe destacar que, debido a la disponibilidad de recurso primario, no fue posible alcanzar los puntos de 95% y 100% de la potencia nominal en presencia del auditor (puntos 5, 11, 6 y 12, respectivamente). Por ello, siguiendo los lineamientos del numeral 6 del acuerdo CNO 1833, se reportan puntos a una potencia superior al 90% de la potencia nominal (puntos 13 y 14). Los puntos objetivo restantes se auditaron mediante registros históricos en el modo de control operativo de la central, en este caso tensión con estatismo.

Fecha	Puntos	Multimedidor
12 de marzo de 2024	2, 3, 4, 8, 9, 10	BlackBox G4500
07 de mayo de 2024	1, 7	Metrel
11 de mayo de 2024	5, 6, 11, 12	Schneider Electric
28 de mayo de 2024	13, 14	Schneider Electric
31 de mayo de 2024	Limitación mínimo técnico	Schneider Electric

Tabla 5.1 – Detalle equipos multimedidores utilizados.

Los resultados preliminares para los diferentes días de auditoría fueron presentados en los anexos:

- Anexo2_Acuerdo_1833_12_03_2024.xlsx
- Anexo2_Acuerdo_1833_07_05_2024
- Anexo_2_Acuerdo_1833_28_05_2024.xlsx



5.2.1 Modo de control de tensión

Punto	Fecha Hora	P objetivo [MW]	Q objetivo @1pu [MVar]	Q objetivo @Vensayo [MVar]	P medido [MW]	Q medido [MVar]	Tensión [kV]	Tensión [p.u]	Causa de limitación	Cumple
1	7 may 09:29 a.m.	7,5	-7,5	-7,5	7,473	-7,496	116,172	1,056	Límite planta	SI
2	12 mar 09:06 a.m.	15	-15	-15	14,785	-15,049	117,941	1,072	Límite planta	SI
3	12 mar 03:46 p.m.	30	-49,5	-49,5	29,697	-50,796	114,988	1,045	Límite planta	SI
4	12 mar 08:06 a.m.	75	-49,5	-49,5	74,677	-50,988	115,183	1,047	Límite planta	SI
5 ¹	-	142,5	-49,5	-49,5	-	-	-	-	-	-
6 ¹	-	150	-34,2	-34,2	-	-	-	-	-	-
7	7 may 09:58 a.m.	7,5	7,5	7,5	7,519	7,497	116,799	1,062	Límite planta	SI
8	12 mar 10:47 a.m.	15	15	15	14,94	15,094	111,975	1,018	Límite planta	SI
9	12 mar 10:13 a.m.	30	49,5	49,5	29,976	50,678	111,083	1,01	Límite planta	SI
10	12 mar 11:33 a.m.	75	49,5	49,5	74,863	49,884	113,906	1,036	Límite planta	SI
11 ¹	-	142,5	49,5	17,82	-	-	-	-	-	-
12 ¹	-	150	34,2	13,68	-	-	-	-	-	-
13 ²	28 may 11:43 a.m.	137	-49,5	-49,5	137,44	-49,508	116,61	1,06	Límite planta	SI
14 ²	28 may 12:11 p.m.	135	49,5	49,5	135,057	49,526	114,065	1,037	Límite planta	SI

Tabla 5.2 – Tabla de resultados modo control de Tensión.

¹ Punto auditado a partir de registros históricos como lo permite el acuerdo para los puntos de carga máxima, dado que no fue posible realizarlo durante las pruebas en campo por falta de recurso primario.

² Punto adicional auditado a un despacho mayor al 90% de la potencia nominal de la planta.



5.2.2 Modo de control de potencia reactiva

Punto	Fecha Hora	P objetivo [MW]	Q objetivo @1pu [MVar]	Q objetivo @Vensayo [MVar]	P medido [MW]	Q medido [MVar]	Tensión [kV]	Tensión [p.u]	Causa de limitación	Cumple
1	7 may 09:36 a.m.	7,5	-7,5	-7,5	7,465	-7,477	116,236	1,057	Límite planta	SI
2	12 mar 09:11 a.m.	15	-15	-15	14,796	-15,137	117,835	1,071	Límite planta	SI
3	12 mar 03:54 p.m.	30	-49,5	-49,5	29,69	-50,789	114,964	1,045	Límite planta	SI
4	12 mar 08:15 a.m.	75	-49,5	-49,5	74,685	-50,438	115,76	1,052	Límite planta	SI
5 ¹	-	142,5	-49,5	-	-	-	-	-	-	N/A
6 ¹	-	150	-34,2	-	-	-	-	-	-	N/A
7	7 may 10:04 a.m.	7,5	7,5	7,5	7,52	7,497	116,728	1,061	Límite planta	SI
8	12 mar 10:53 a.m.	15	15	15	14,933	15,05	112,089	1,019	Límite planta	SI
9	12 mar 11:21 a.m.	30	49,5	49,5	29,951	49,644	113,868	1,035	Límite planta	SI
10	12 mar 11:40 a.m.	75	49,5	49,5	74,876	49,901	113,891	1,035	Límite planta	SI
11 ¹	-	142,5	49,5	-	-	-	-	-	-	N/A
12 ¹	-	150	34,2	-	-	-	-	-	-	N/A
13 ²	28 may 11:45 a.m.	137	-49,5	-49,5	136,785	-49,532	116,611	1,06	Límite planta	SI
14 ²	28 may 12:15 p.m.	137	49,5	49,5	137,144	49,521	113,793	1,034	Límite planta	SI

Tabla 5.3 – Tabla de resultados modo control de Potencia Reactiva.

¹ Punto auditado a partir de registros históricos como lo permite el acuerdo para los puntos de carga máxima, dado que no fue posible realizarlo durante las pruebas en campo por falta de recurso primario.

² Punto adicional auditado a un despacho mayor al 90% de la potencia nominal de la planta.



5.1.3. Modo de control de factor de potencia

Punto	Fecha Hora	P objetivo [MW]	Q objetivo @1pu [MVar]	Q objetivo @Vensayo [MVar]	P medido [MW]	Q medido [MVar]	Tensión [kV]	Tensión [p.u]	Causa de limitación	Cumple
1	7 may 09:40 a.m.	7,5	-7,5	-7,5	7,467	-7,468	116,246	1,057	Límite planta	SI
2	12 mar 09:16 a.m.	15	-15	-15	14,794	-15,229	117,78	1,071	Límite planta	SI
3	12 mar 04:00 p.m.	30	-49,5	-49,5	29,701	-50,395	115,098	1,046	Límite planta	SI
4	12 mar 08:28 a.m.	75	-49,5	-49,5	74,677	-50,389	115,855	1,053	Límite planta	SI
5 ¹	-	142,5	-49,5	-	-	-	-	-	-	N/A
6 ¹	-	150	-34,2	-	-	-	-	-	-	N/A
7	7 may 10:12 a.m.	7,5	7,5	7,5	7,522	7,498	116,568	1,06	Límite planta	SI
8	12 mar 10:56 a.m.	15	15	15	14,936	15,146	112,106	1,019	Límite planta	SI
9	12 mar 11:24 a.m.	30	49,5	49,5	29,955	50,235	113,912	1,036	Límite planta	SI
10	12 mar 11:38 a.m.	75	49,5	49,5	74,869	49,905	113,906	1,036	Límite planta	SI
11 ¹	-	142,5	49,5	-	-	-	-	-	-	N/A
12 ¹	-	150	34,2	-	-	-	-	-	-	N/A
13 ²	28 may 11:52 a.m.	137	-49,5	-49,5	136,99	-49,526	116,593	1,06	Límite planta	SI
14 ²	28 may 12:14 p.m.	138	49,5	49,5	138,306	49,54	114,073	1,037	Límite planta	SI

Tabla 5.4 – Tabla de resultados modo control de Factor de Potencia.

¹ Punto auditado a partir de registros históricos como lo permite el acuerdo para los puntos de carga máxima, dado que no fue posible realizarlo durante las pruebas en campo por falta de recurso primario.

² Punto adicional auditado a un despacho mayor al 90% de la potencia nominal de la planta.



5.3 Curva de capacidad efectiva

5.3.1 Puntos alcanzados durante la auditoría

Teniendo en cuenta los puntos medidos para cada uno de los controles con su incertidumbre asociada y la envolvente de tolerancia de la curva objetivo, se traza la curva capacidad efectiva y se presenta en las Figura 5.1 Figura 5.2 y Figura 5.3.

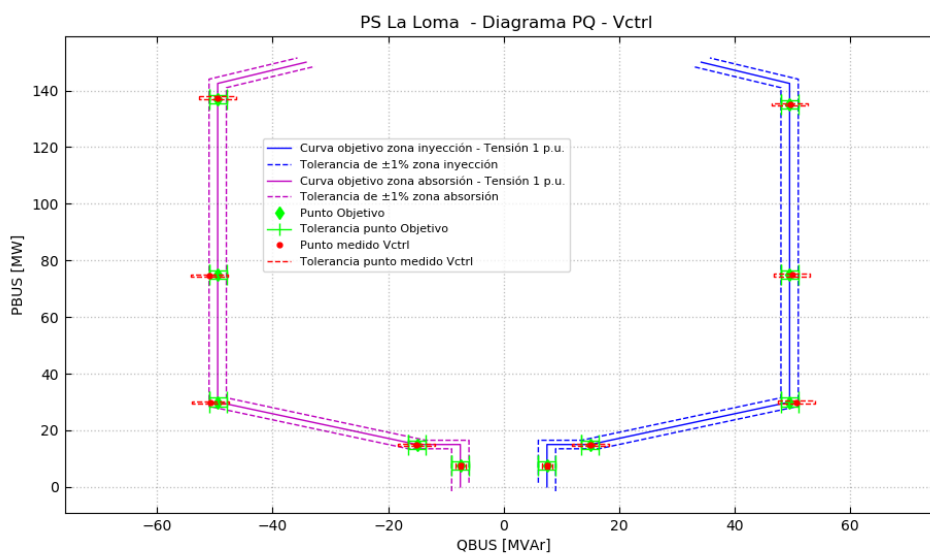


Figura 5.1 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control tensión

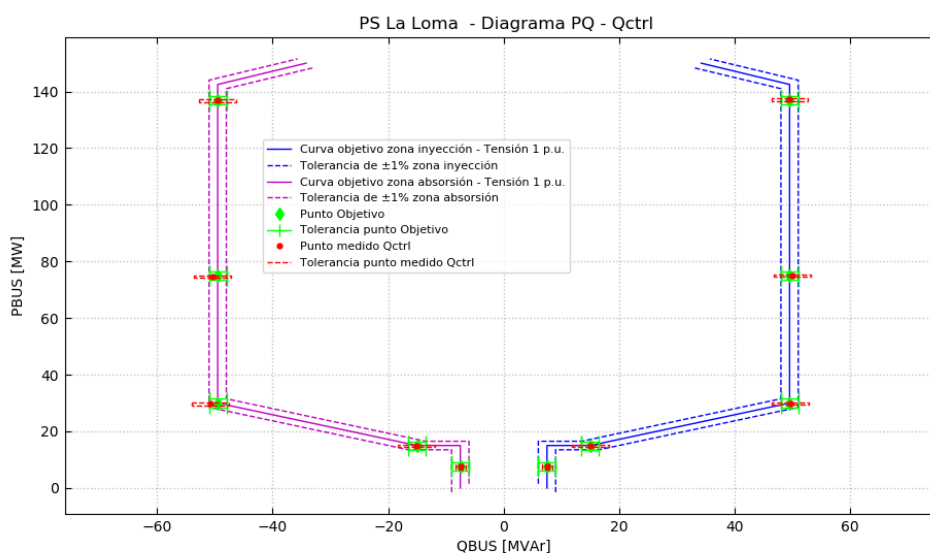


Figura 5.2 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

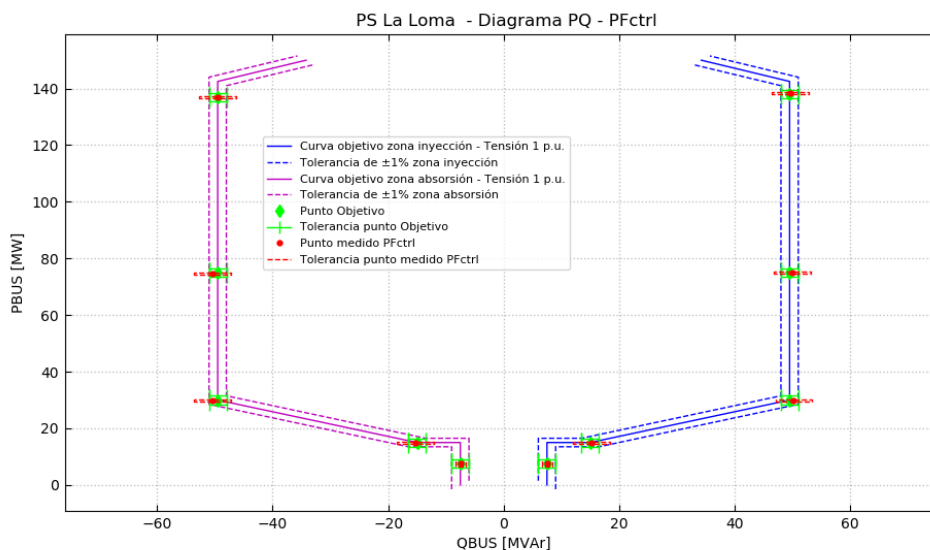


Figura 5.3 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

5.3.2 Puntos auditados con registros históricos

Dado que en el momento de la auditoría no fue posible alcanzar los puntos 142.5 MW / ± 49.5 MVar y 150.0 MW / ± 34.2 MVar por falta de recurso primario, estos puntos son auditados por medio de registros históricos. Los resultados se resumen en la Tabla 5.5 presentados en la Figura 5.4.

Punto	Fecha Hora	P objetivo [MW]	Q objetivo @1pu [MVar]	Q objetivo @Vensayo [MVar]	P medido [MW]	Q medido [MVar]	Tensión [kV]	Tensión [p.u]	Causa de limitación	Cumple
5 ¹	11 may 11:58 a.m.	142,5	-49,5	-49,5	143,045	-49,628	115,782	1,053	Límite planta	SI
6 ¹	11 may 01:19 p.m.	150	-34,2	-34,2	149,783	-34,398	116,506	1,059	Límite planta	SI
11 ¹	11 may 01:35 p.m.	142,5	49,5	17,82	142,302	18,234	119,03	1,082	Límite planta	SI
12 ¹	11 may 01:29 p.m.	150	34,2	13,68	149,444	13,801	118,829	1,08	Límite planta	SI

Tabla 5.5 – Tabla de resultados de registros históricos modo control de Tensión.

¹ Punto auditado a partir de registros históricos en el modo de operación de la planta durante su operación tal como lo permite el acuerdo para los puntos de carga máxima, dado que no fue posible realizarlo durante las pruebas en campo por falta de recurso primario.

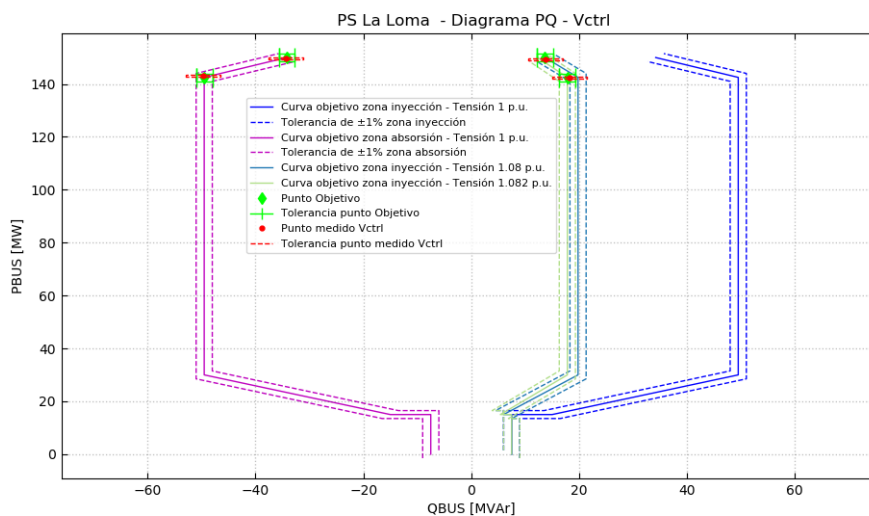


Figura 5.4 – Vista general de la curva de capacidad con registros históricos

Considerando que la planta se acoge a la curva QV establecida en el acuerdo CNO 1546, se aplica la corrección correspondiente por tensión para cada punto operativo.



5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento

5.4.1 Detalle de la región de absorción

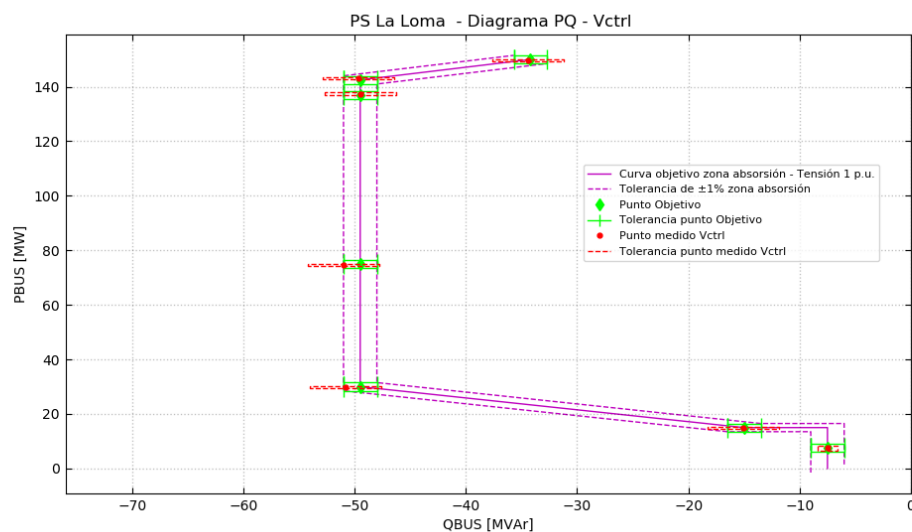


Figura 5.5 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control tensión

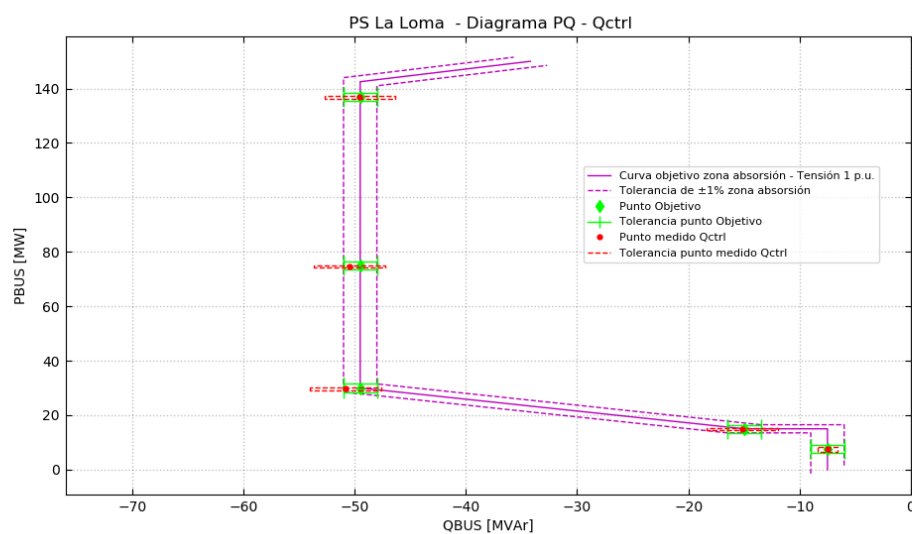


Figura 5.6 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

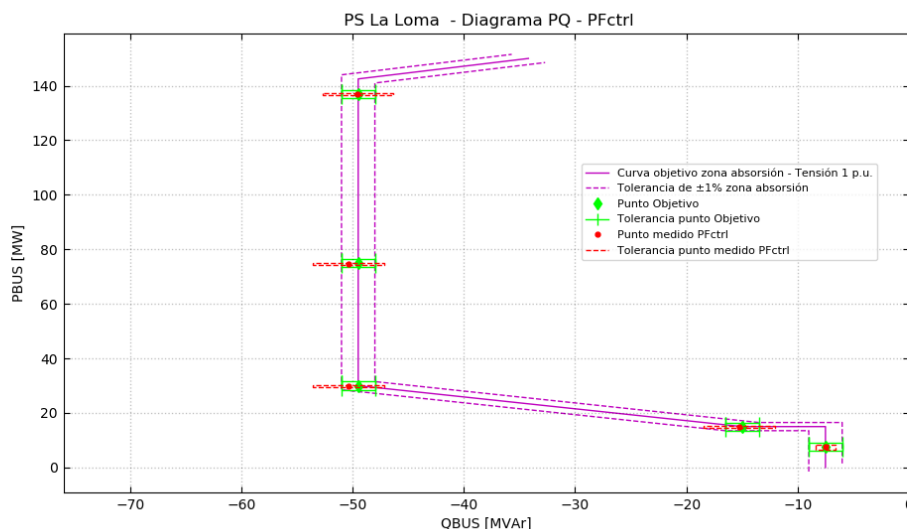


Figura 5.7 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

Para todos los puntos ensayados en los diferentes modos de control, así como para los puntos obtenidos por medio de registros históricos se incluye su entorno de error correspondiente según el multimetro utilizado (línea de trazos rojo), adicionalmente, los puntos objetivos asociados incluyen su tolerancia (color verde). De acuerdo con lo establecido en los acuerdos CNO 1833 y CNO 1546, y considerando que para la aprobación de los puntos auditados a partir de registros históricos solo es necesario alcanzarlos para el modo de control operativo de la planta, todos los puntos en la zona de **absorción** se declaran **conformes**.

Notar que a los puntos objetivo se les ha indicado una tolerancia del $\pm 1\%$ establecido por el Acuerdo CNO 1833.



5.4.2 Detalle de la región de inyección

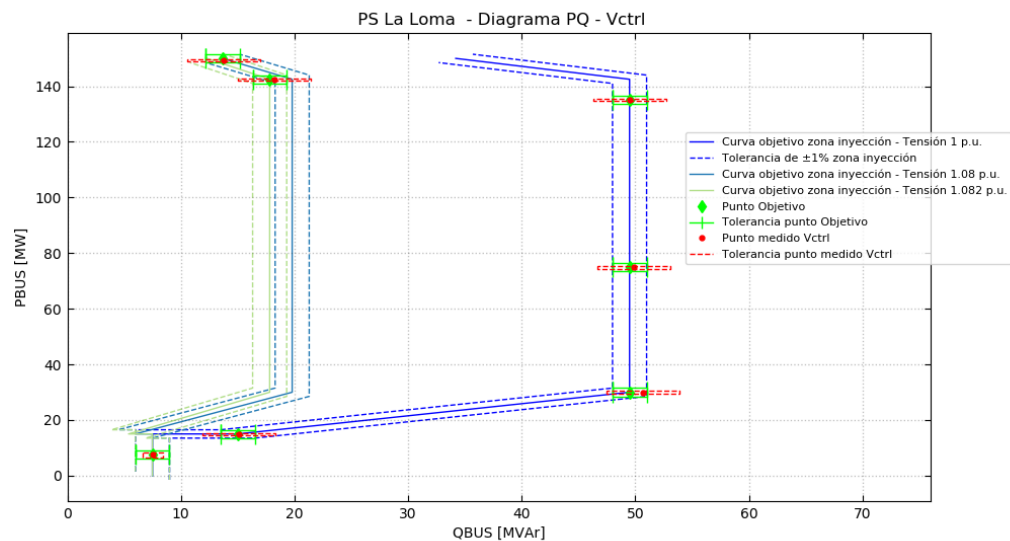


Figura 5.8. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control tensión

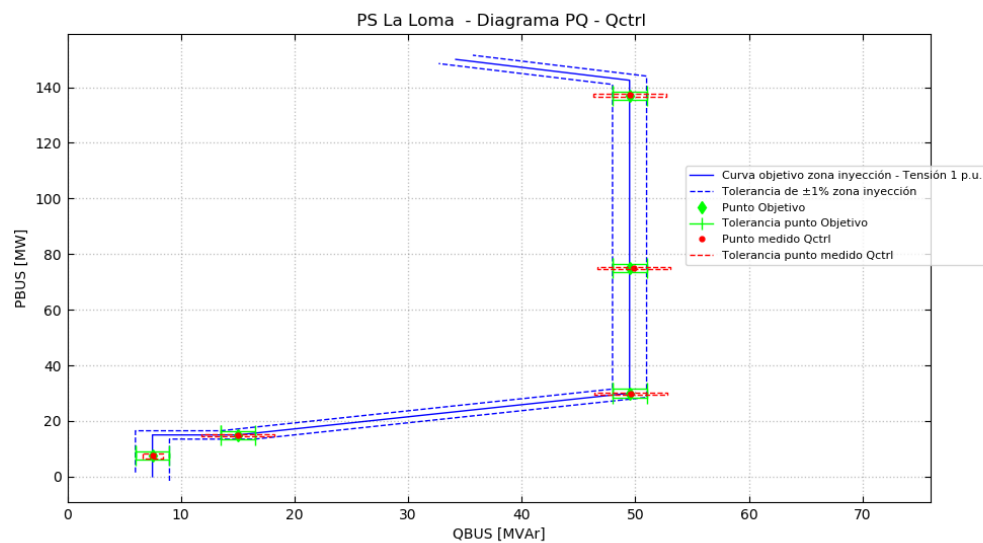


Figura 5.9. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

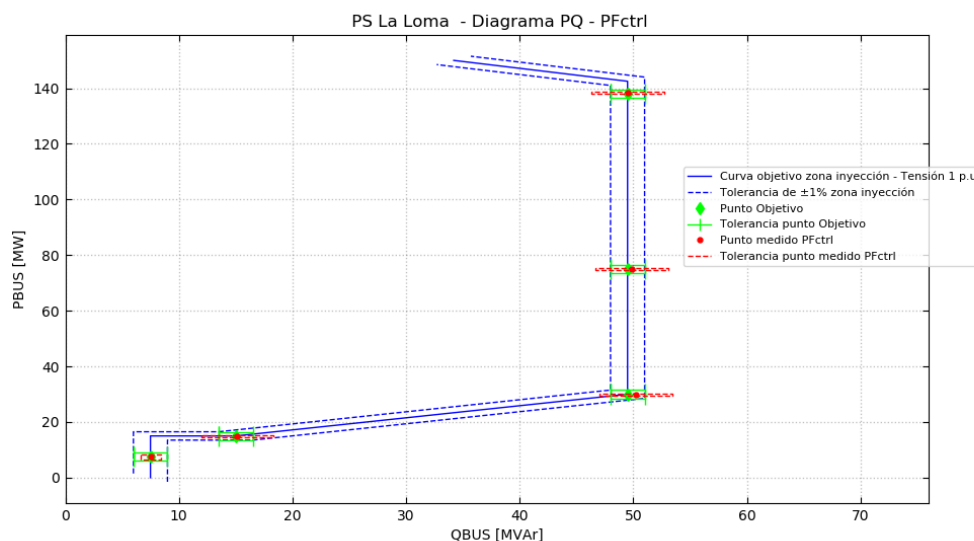


Figura 5.10. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

Para todos los puntos ensayados en los diferentes modos de control, así como para los puntos obtenidos por medio de registros históricos se incluye su entorno de error correspondiente según el multimetro utilizado (línea de trazos rojo), adicionalmente, los puntos objetivos asociados incluyen su tolerancia (color verde). De acuerdo con lo establecido en los acuerdos CNO 1833 y CNO 1546, y considerando que para la aprobación de los puntos auditados a partir de registros históricos solo es necesario alcanzarlos para el modo de control operativo de la planta, todos los puntos en la zona de **inyección** se declaran conformes.

Notar que a los puntos objetivo se les ha indicado una tolerancia del $\pm 1\%$ establecido por el Acuerdo CNO 1833.



5.5 Curva de capacidad definitiva

Finalmente, los puntos objetivo que definen la curva son:

Punto Objetivo	Potencia Activa POI [MW]	Potencia Reactiva POI [MVAR]	Sección
1	7,50	-7,50	6.1
2	15,00	-15,00	6.2
3	30,00	-49,50	6.3
4	75,00	-49,50	6.4
5	142,50	-49,50	7.1
6	150,00	-34,20	7.2
7	7,50	7,50	6.5
8	15,00	15,00	6.6
9	30,00	49,50	6.7
10	75,00	49,50	6.8
11	142,50	49,5	7.3
12	150,00	34,20	7.4

Tabla 5.6 – Puntos PQ definitivos

Cabe mencionar que la curva de capacidad es la misma para el rango de tensiones comprendido entre 0.95 p.u. y 1.05 p.u. Para tensiones comprendidas entre 0.9 p.u. y 0.95 p.u., y entre 1.05 p.u. y 1.1 p.u. se ajusta la potencia reactiva en función de la tensión, según lo establecido en el Acuerdo CNO 1546.

A continuación, se presenta la ecuación que describe la familia de curvas de capacidad en función de la tensión, y se muestran algunas de las curvas de esta familia en la Figura 5.11.

$$Q(V) = \begin{cases} Q_{1.0 \text{ p.u.}} * (20 * V - 18), & \text{si } V < 0.95 \\ Q_{1.0 \text{ p.u.}}, & \text{si } 0.95 < V < 1.05 \\ Q_{1.0 \text{ p.u.}} * (-20 * V + 22), & \text{si } V > 1.05 \end{cases}$$

Donde $Q_{1.0 \text{ p.u.}}$ debe estar en MVar y V debe estar en p.u.

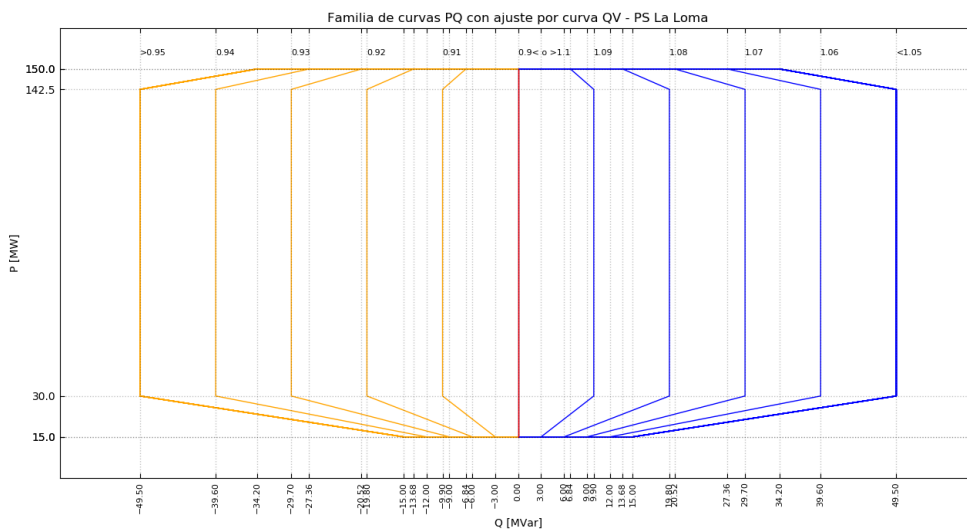


Figura 5.11 – Familia de curvas PQ con ajuste de curva QV – PS La Loma



6 REGISTRO DE ENSAYOS

En el presente capítulo se presentan las tendencias registradas en el transcurso de las pruebas realizadas. De las mismas se obtuvieron los valores detallados en las Tabla 5.2, Tabla 5.3 y Tabla 5.4.

6.1 Tendencias – Punto 1 (7.5 MW, -7.5 MVar)

6.1.1 Control de Tensión

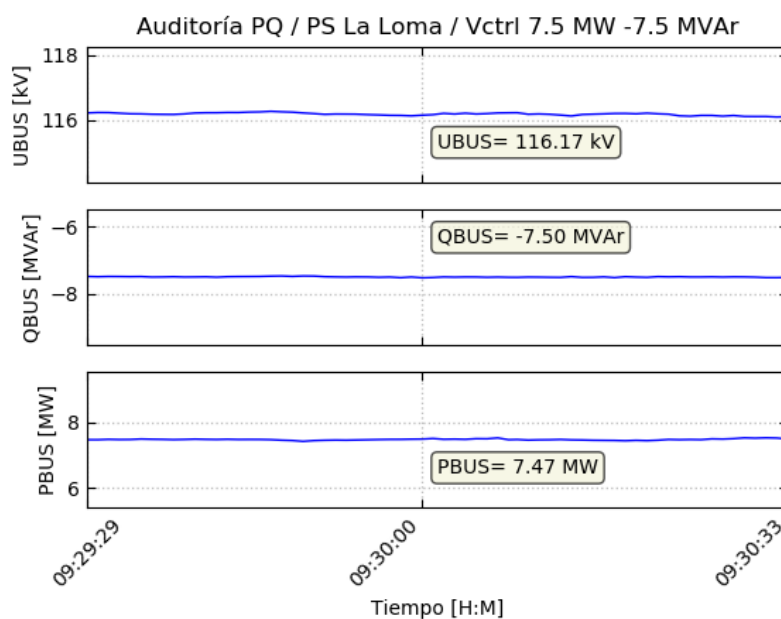


Figura 6.1 – Registro Control de Tensión



6.1.2 Control de Potencia Reactiva

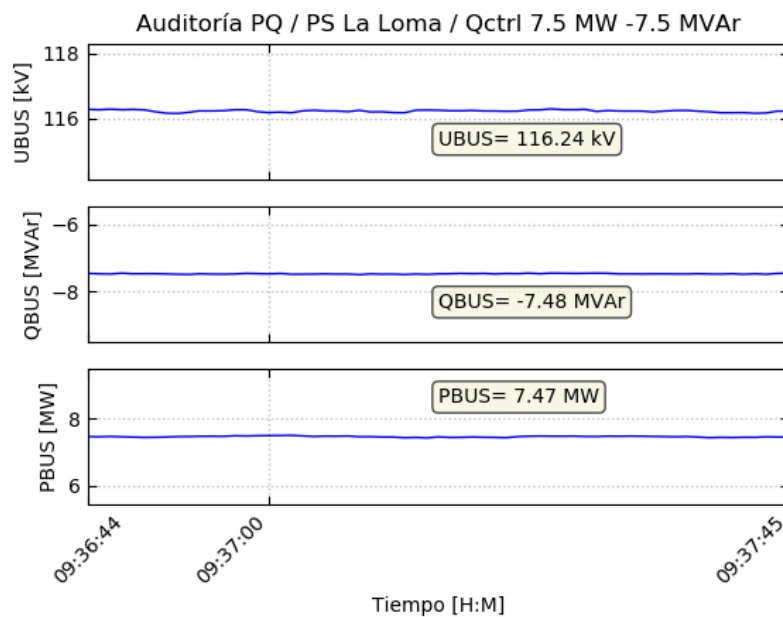


Figura 6.2 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.1.3 Control de Factor de Potencia

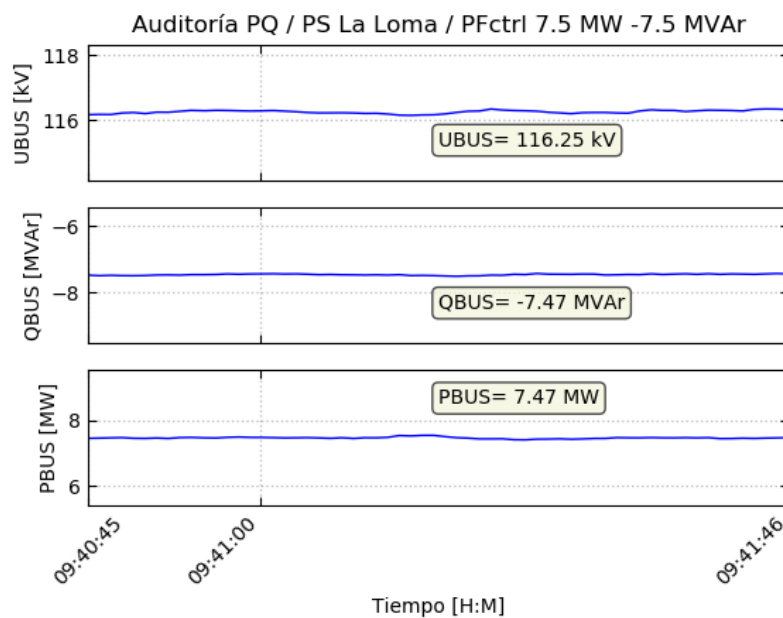


Figura 6.3 – Registro Control de Factor de Potencia



6.1.4 Verificación limitación en mínimo técnico

Considerando que el mínimo técnico del Parque Solar La Loma es inferior al 10% de la potencia nominal de la planta, se realiza un escalón en el modo de control de potencia reactiva para evaluar la limitación en una potencia reactiva menor o igual al 5%. En la Figura 6.4 se presenta el resultado de este ensayo: el trazo rojo indica la referencia de potencia reactiva aplicada, mientras que el trazo verde muestra el límite máximo establecido por la resolución CREG 060 para potencias inferiores al 10% de la potencia nominal.

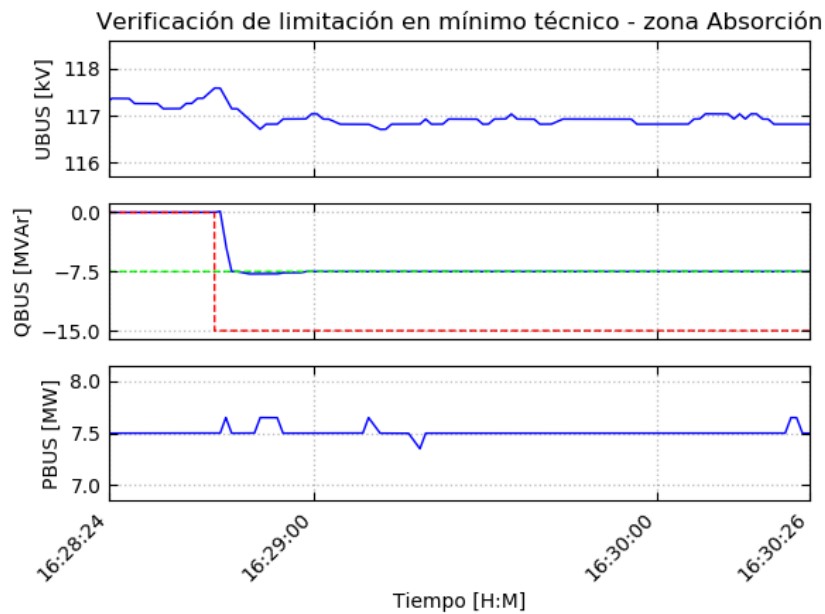


Figura 6.4 – Verificación limitación en el modo de control de potencia reactiva



6.2 Tendencias – Punto 2 (15.0 MW, -15.0 MVar)

6.2.1 Control de Tensión

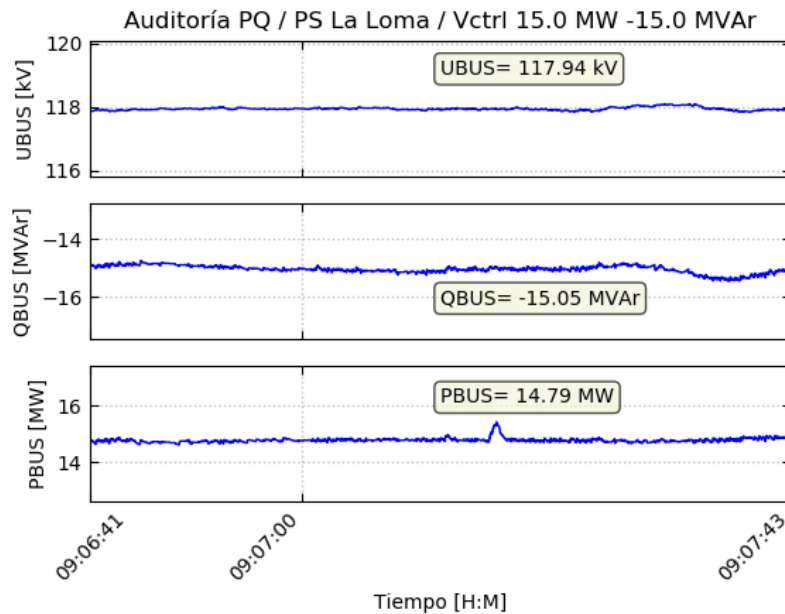


Figura 6.5 – Registro Control de Tensión

6.2.2 Control de Potencia Reactiva

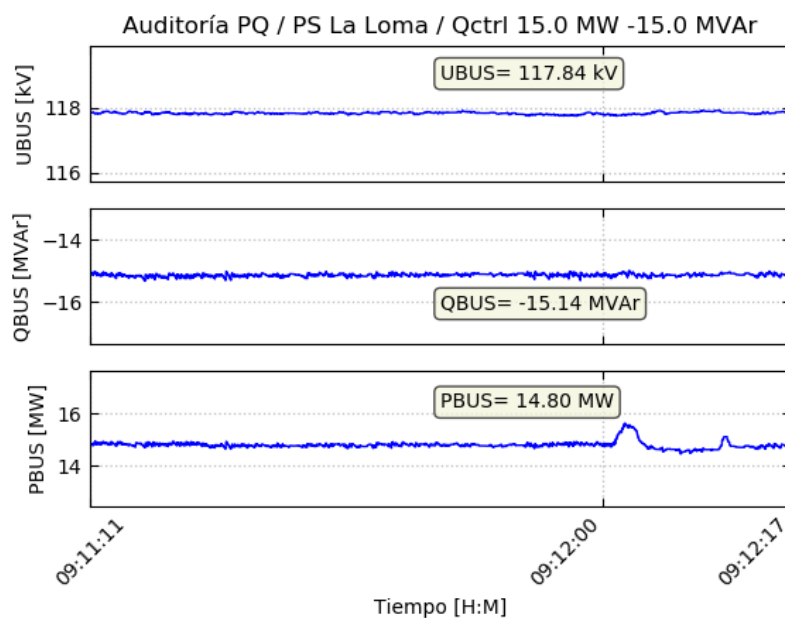


Figura 6.6 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.2.3 Control de Factor de Potencia

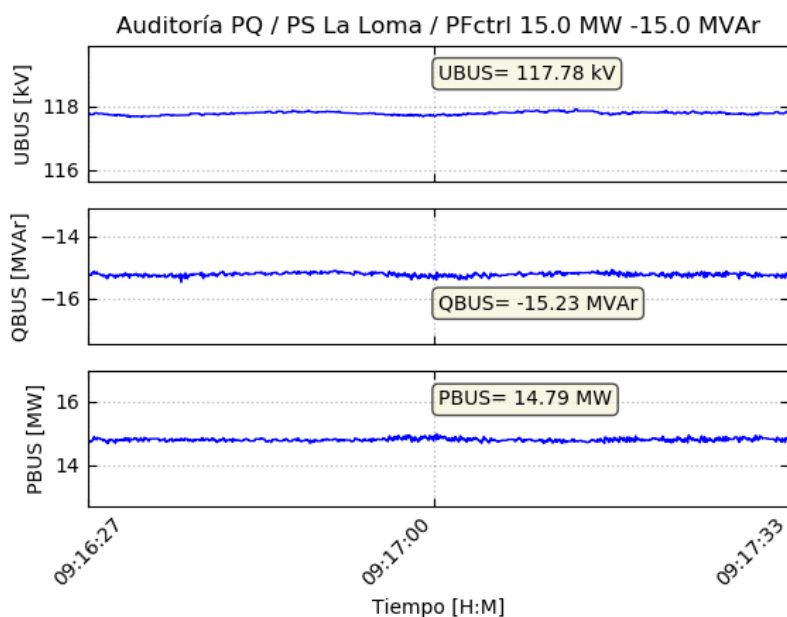


Figura 6.7 – Registro Control de Factor de Potencia



6.3 Tendencias – Punto 3 (30.0 MW, -49.5 MVar)

6.3.1 Control de Tensión

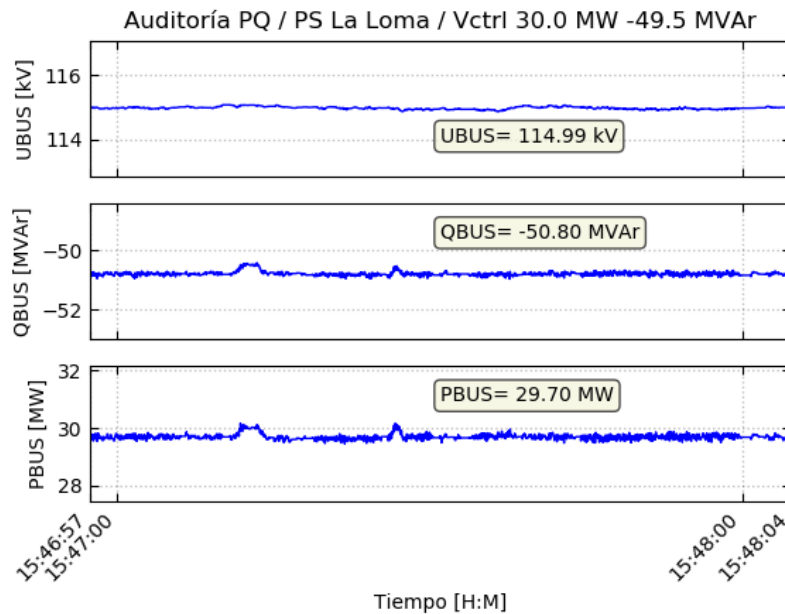


Figura 6.8 – Registro Control de Tensión

6.3.2 Control de Potencia Reactiva

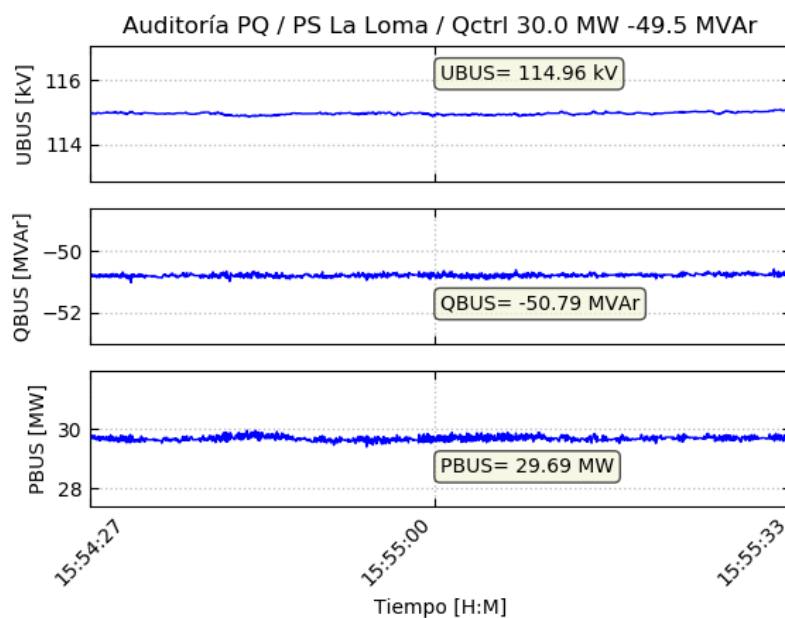


Figura 6.9 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.3.3 Control de Factor de Potencia

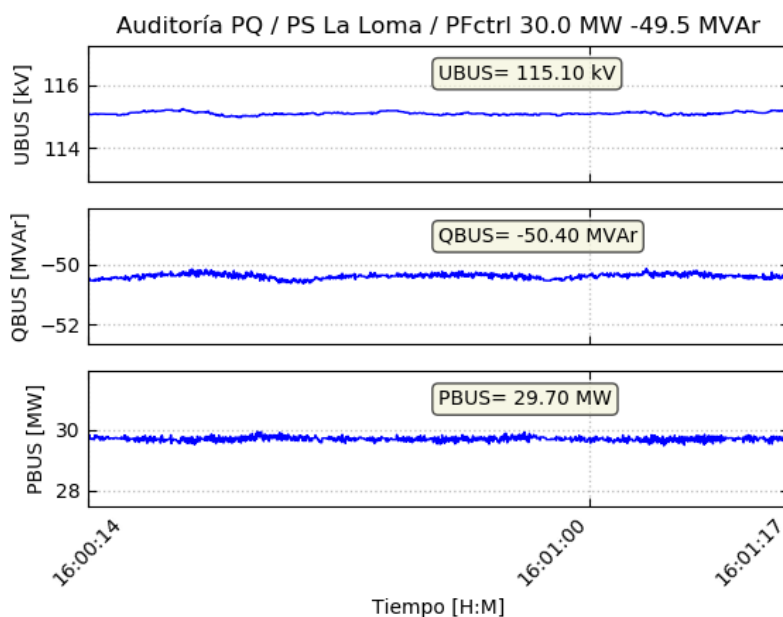


Figura 6.10 – Registro Control de Factor de Potencia



6.4 Tendencias – Punto 4 (75.0 MW, -49.5 MVar)

6.4.1 Control de Tensión

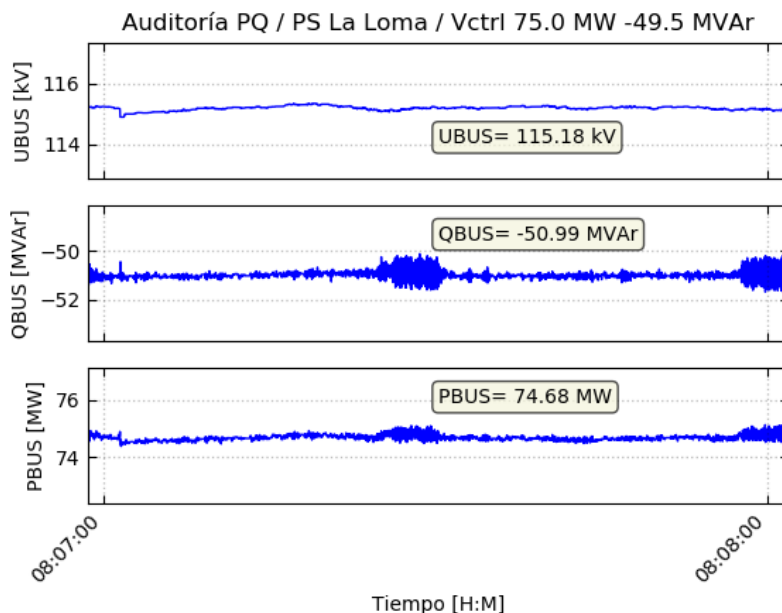


Figura 6.11 – Registro Control de Tensión

6.4.2 Control de Potencia Reactiva

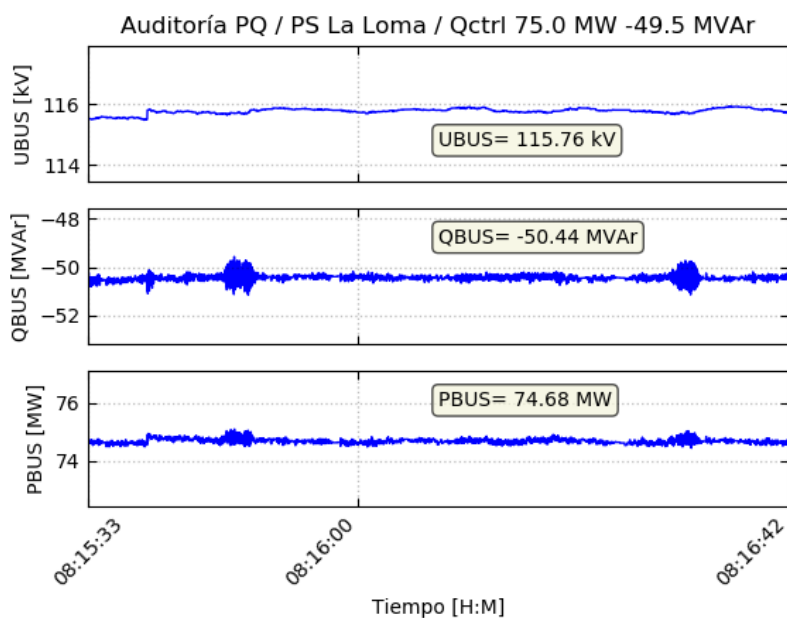


Figura 6.12 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.4.3 Control de Factor de Potencia

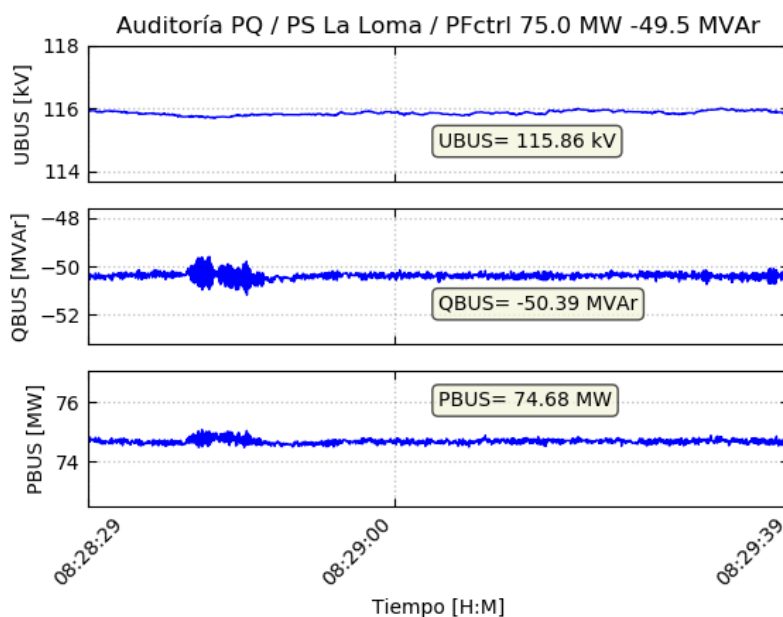


Figura 6.13 – Registro Control de Factor de Potencia



6.5 Tendencias – Punto 7 (7.5 MW, 7.5 MVar)

6.5.1 Control de Tensión

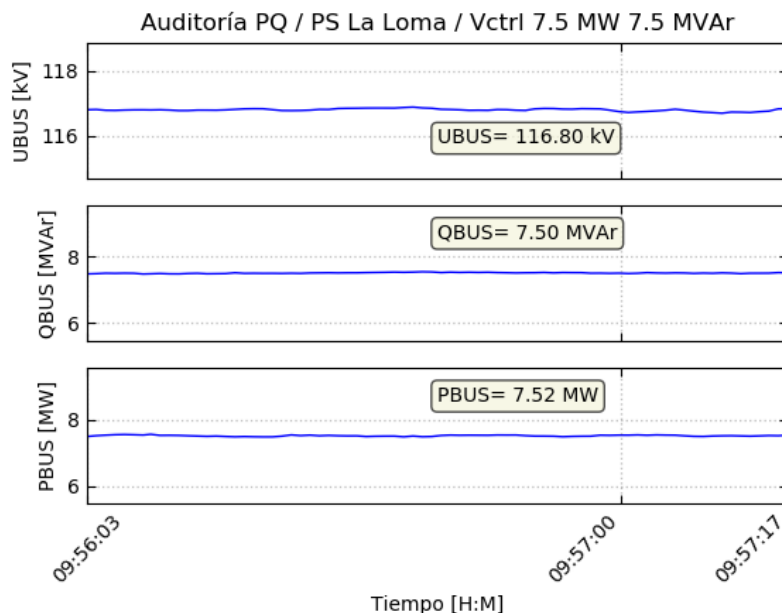


Figura 6.14 – Registro Control de Tensión

6.5.2 Control de Potencia Reactiva

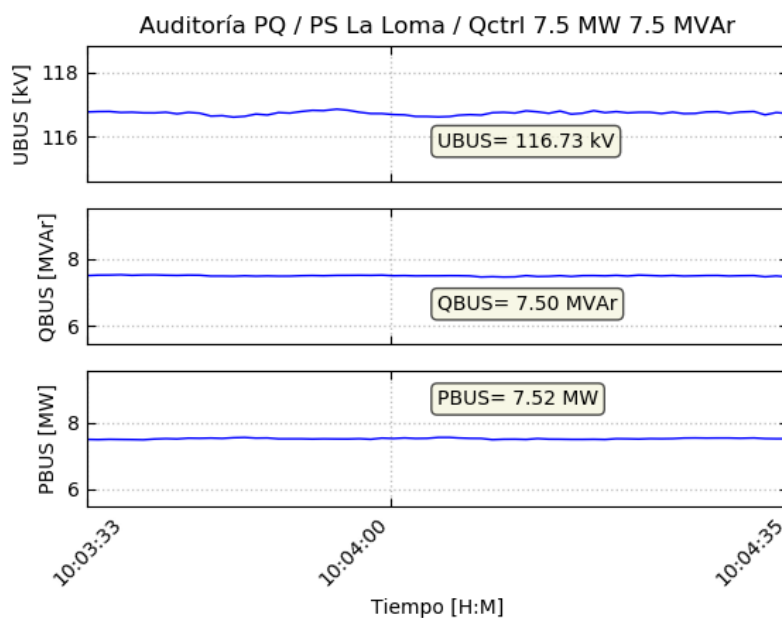


Figura 6.15 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.5.3 Control de Factor de Potencia

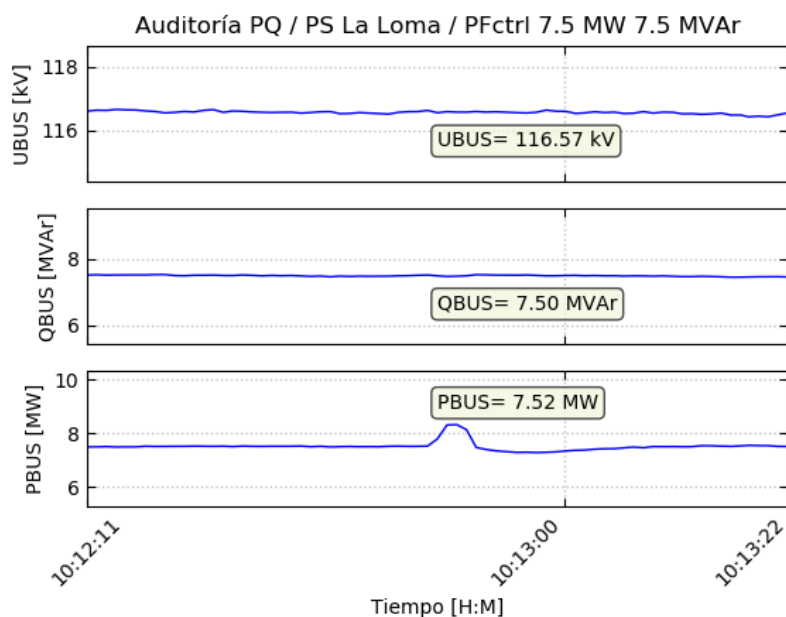


Figura 6.16 – Registro Control de Factor de Potencia



6.5.4 Verificación limitación en mínimo técnico

Considerando que el mínimo técnico del Parque Solar La Loma es inferior al 10% de la potencia nominal de la planta, se realiza un escalón en el modo de control de potencia reactiva para evaluar la limitación en una potencia reactiva menor o igual al 5%. En la Figura 6.4 se presenta el resultado de este ensayo: el trazo rojo indica la referencia de potencia reactiva aplicada, mientras que el trazo verde muestra el límite máximo establecido por la resolución CREG 060 para potencias inferiores al 10% de la potencia nominal.

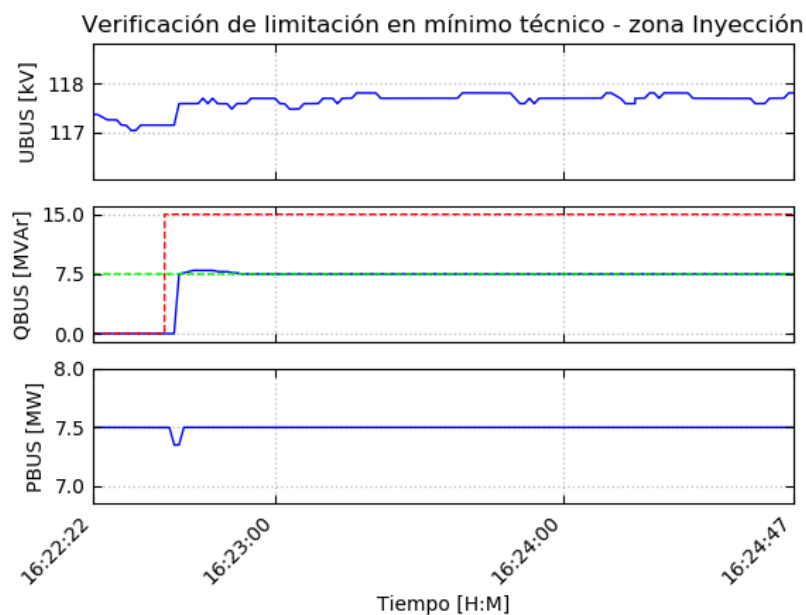


Figura 6.17 – Verificación limitación en el modo de control de potencia reactiva



6.6 Tendencias – Punto 8 (15.0 MW, 15.0 MVar)

6.6.1 Control de Tensión

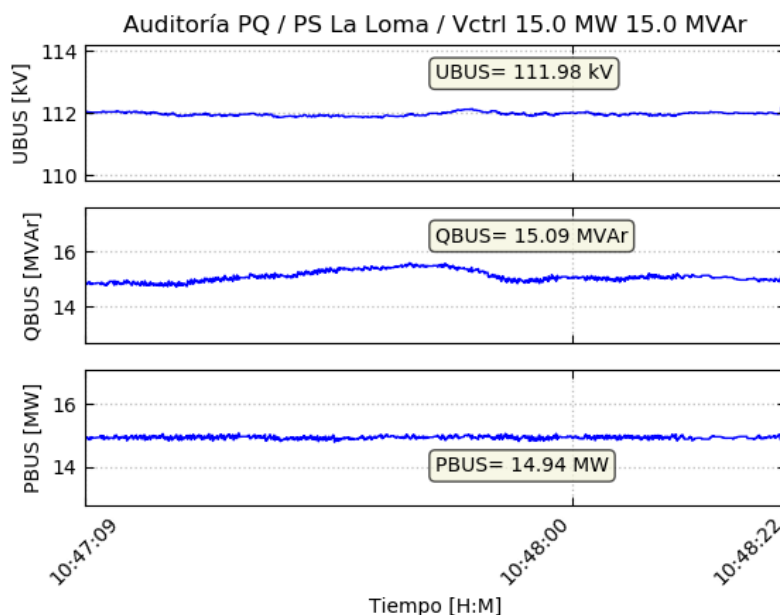


Figura 6.18 – Registro Control de Tensión

6.6.2 Control de Potencia Reactiva

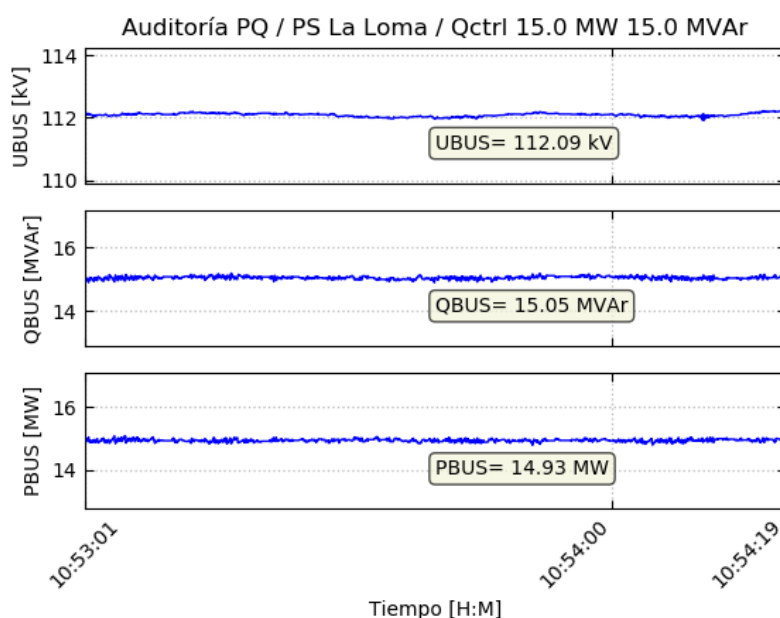


Figura 6.19 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.6.3 Control de Factor de Potencia

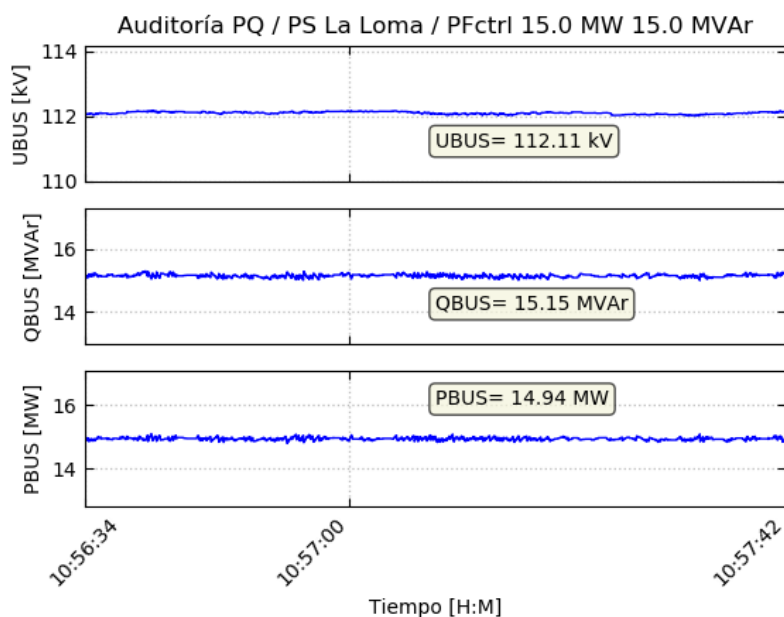


Figura 6.20 – Registro Control de Factor de Potencia



6.7 Tendencias – Punto 9 (30.0 MW, 49.5 MVar)

6.7.1 Control de Tensión

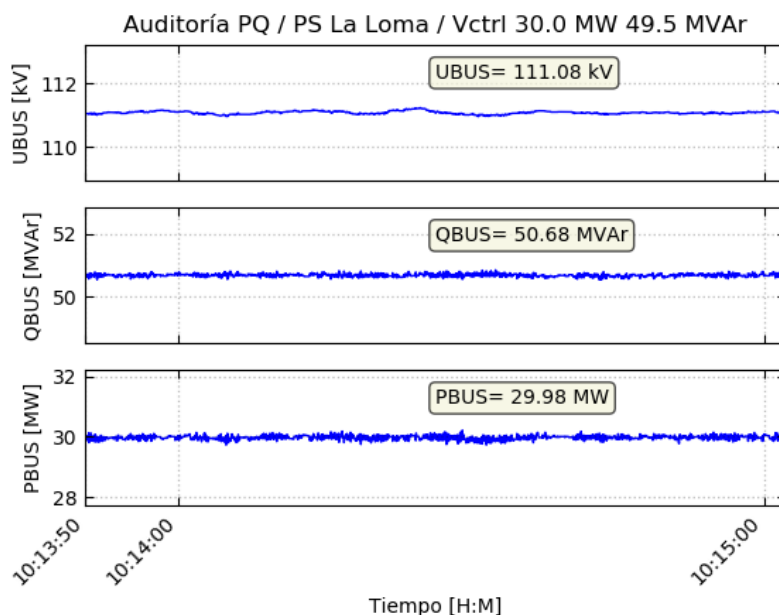


Figura 6.21 – Registro Control de Tensión

6.7.2 Control de Potencia Reactiva

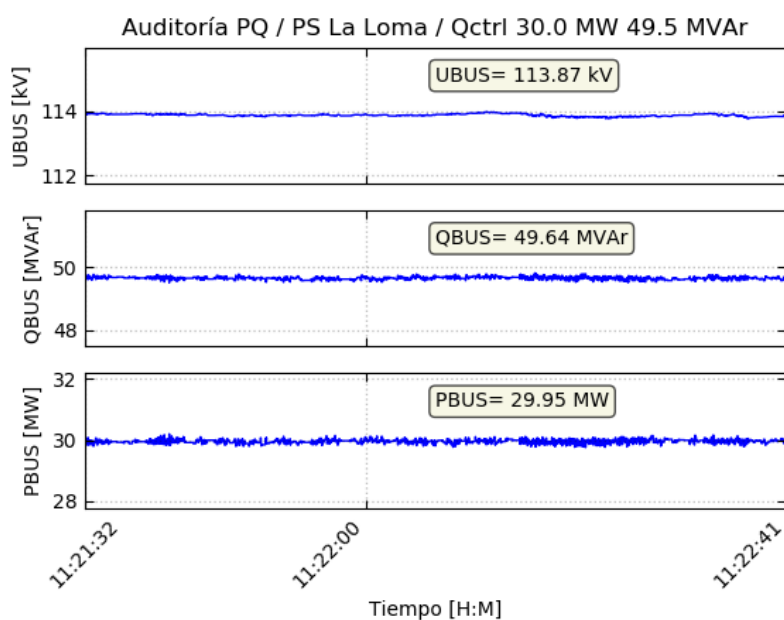


Figura 6.22 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.7.3 Control de Factor de Potencia

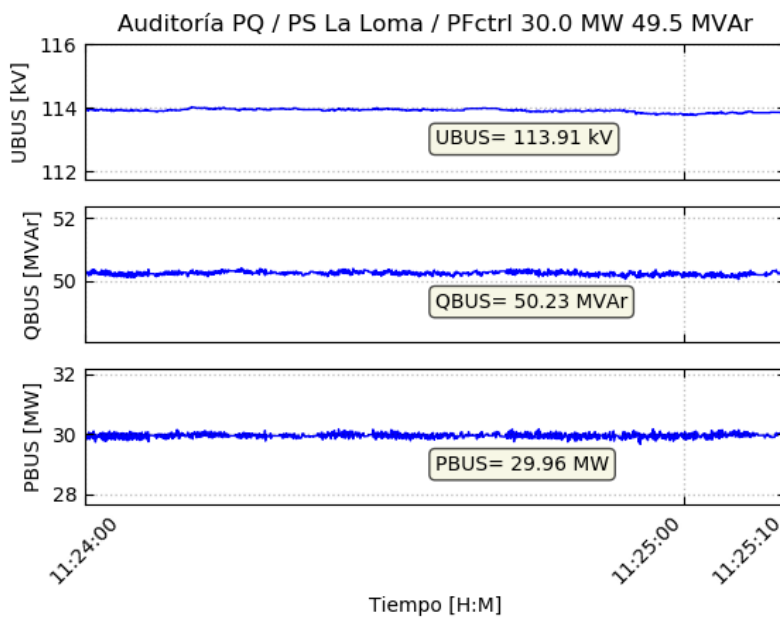


Figura 6.23 – Registro Control de Factor de Potencia



6.8 Tendencias – Punto 10 (75.0 MW, 49.5 MVar)

6.8.1 Control de Tensión

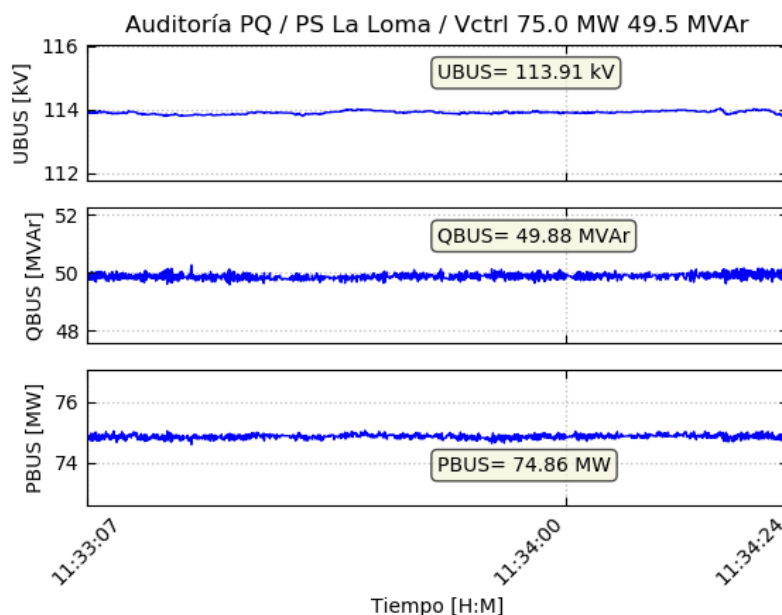


Figura 6.24 – Registro Control de Tensión

6.8.2 Control de Potencia Reactiva

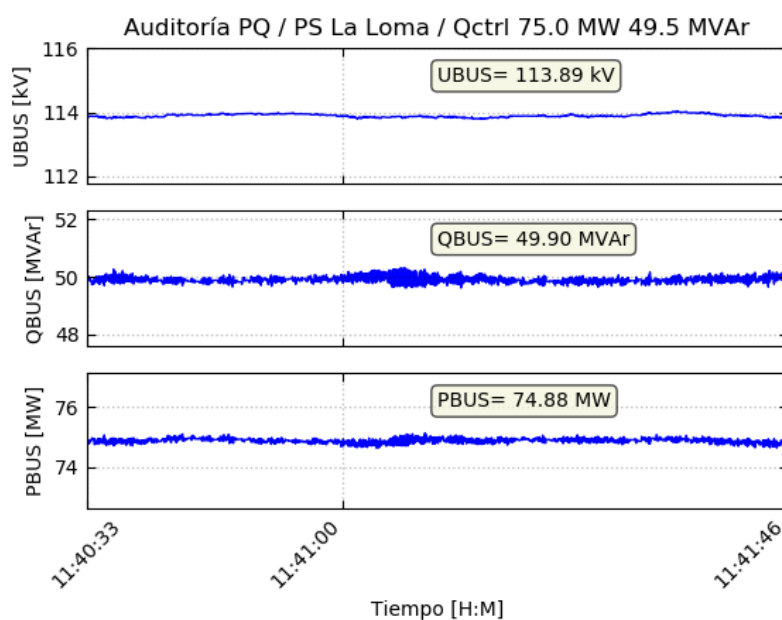


Figura 6.25 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.8.3 Control de Factor de Potencia

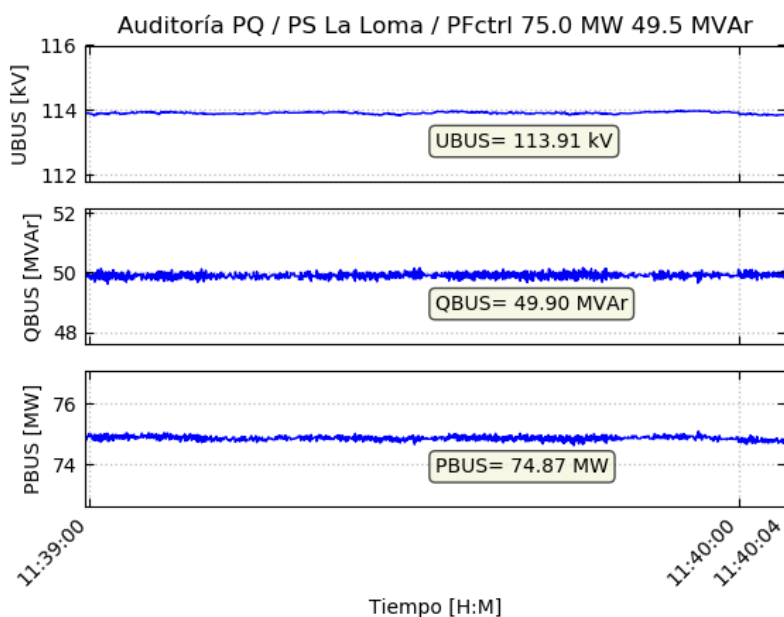


Figura 6.26 – Registro Control de Factor de Potencia



6.9 Tendencias –Punto 13 Adicional (PBUS > 90 % Pnom)

6.9.1 Control de Tensión

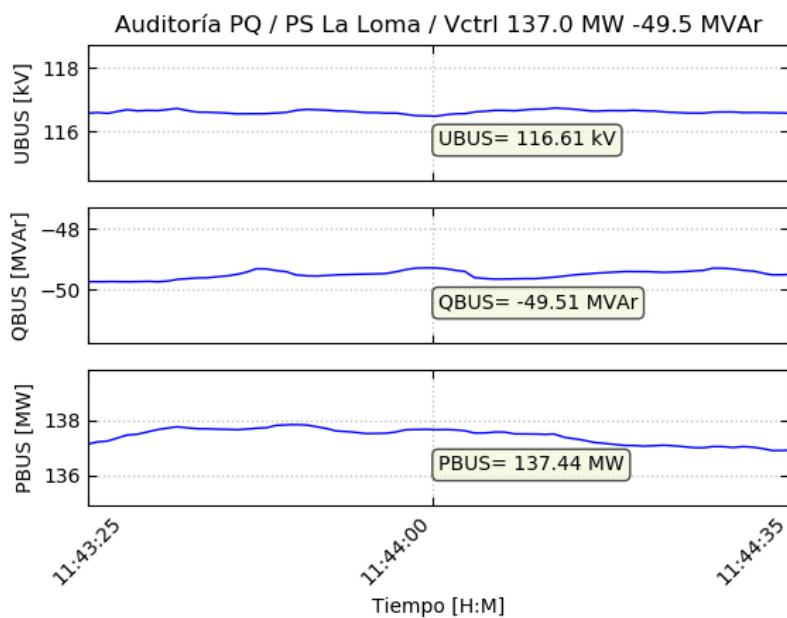


Figura 6.27 – Registro Control de Tensión

6.9.2 Control de Potencia Reactiva

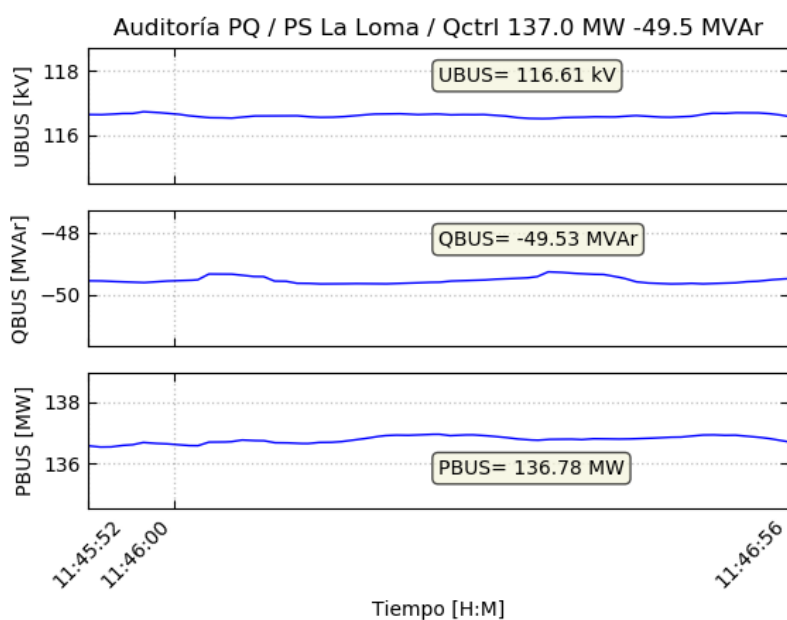


Figura 6.28 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.9.3 Control de Factor de Potencia

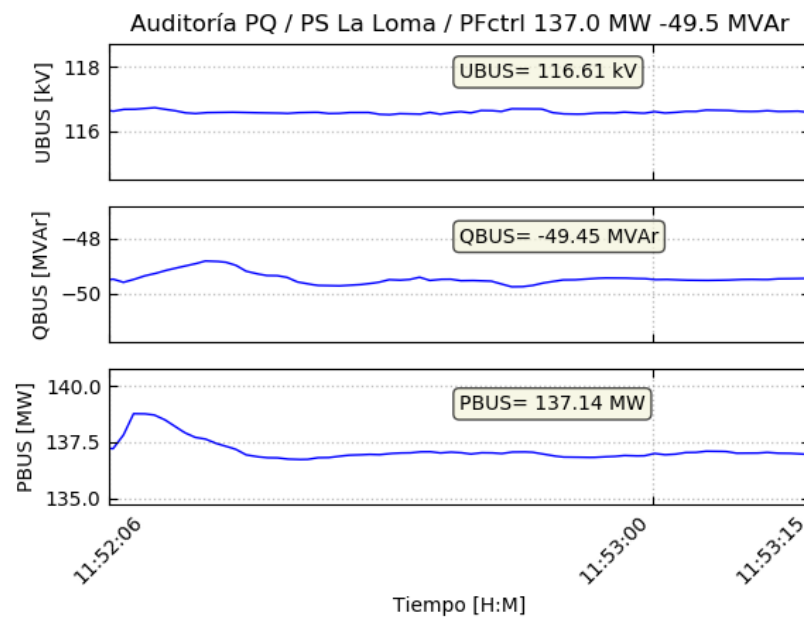


Figura 6.29 – Registro Control de Factor de Potencia



6.10 Tendencias – Punto 14 Adicional (PBUS > 90 % Pnom)

6.10.1 Control de Tensión

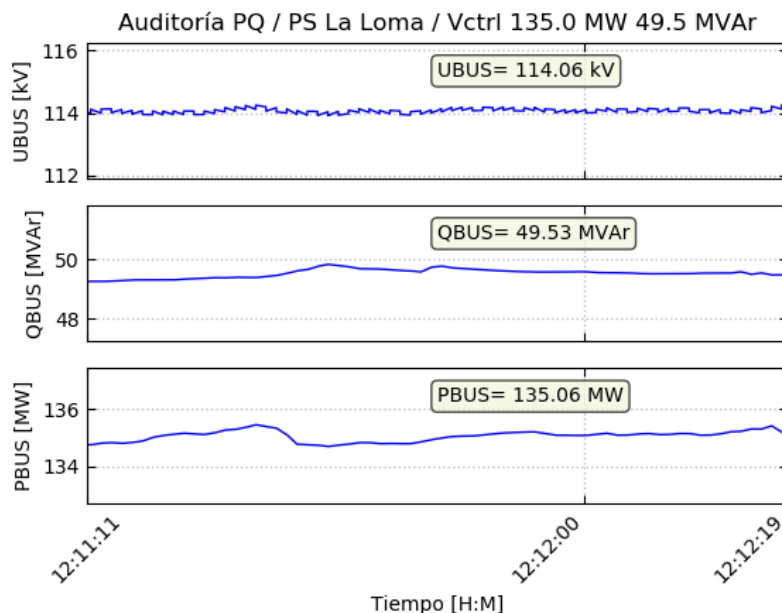


Figura 6.30 – Registro Control de Tensión

6.10.2 Control de Potencia Reactiva

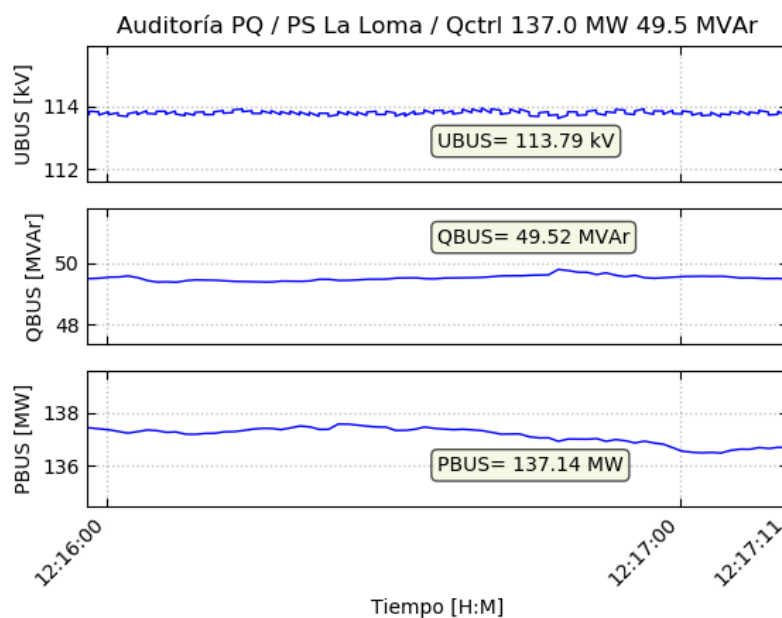


Figura 6.31 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.10.3 Control de Factor de Potencia

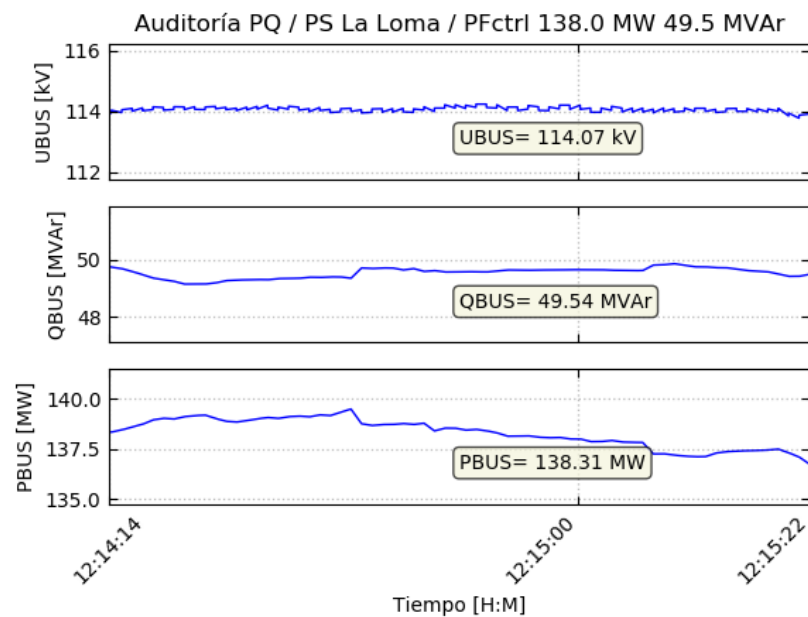


Figura 6.32 – Registro Control de Factor de Potencia



7 REGISTROS HISTÓRICOS

7.1 Tendencias – Punto 5 (142.5 MW, -49.5 MVar)

Este punto fue auditado por a partir de registros históricos operativos proporcionados por el agente.

7.1.1 Control de Tensión

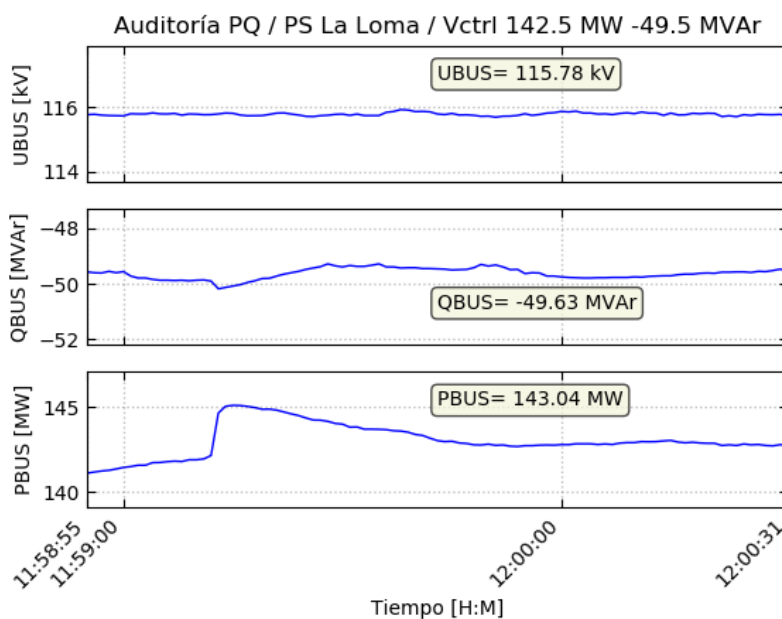


Figura 7.1 – Registro Control de Tensión



7.2 Tendencias – Punto 6 (150.0 MW, -34.2 MVar)

Este punto fue auditado por a partir de registros históricos operativos proporcionados por el agente.

7.2.1 Control de Tensión

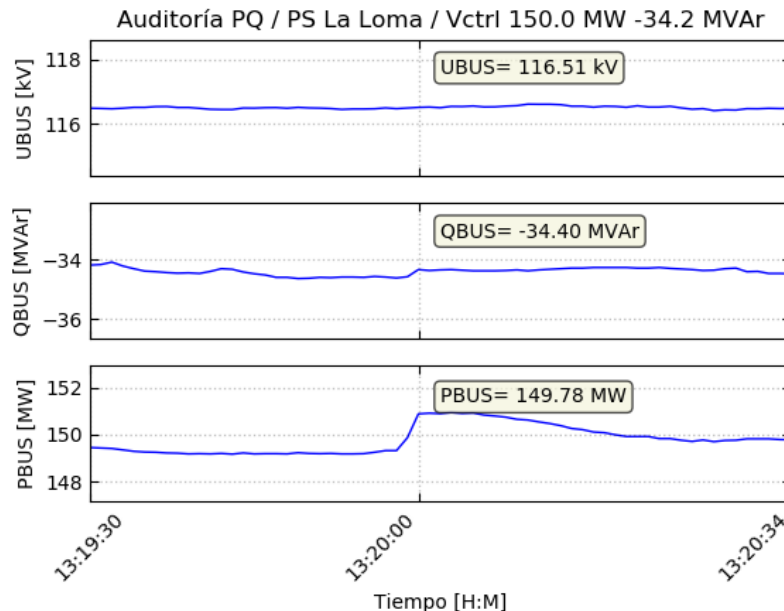


Figura 7.2 – Registro Control de Tensión

7.3 Tendencias – Punto 11 (142.5 MW, 49.5 MVar)

Considerando que la planta se acoge a la curva QV establecida en el acuerdo CNO 1546, se aplica la corrección correspondiente por tensión. Por lo tanto, el nuevo punto objetivo de inyección de potencia reactiva es 17.82 MVar según la familia de curvas presentada en el capítulo 5.3.

Este punto fue auditado por a partir de registros históricos operativos proporcionados por el agente.



7.3.1 Control de Tensión

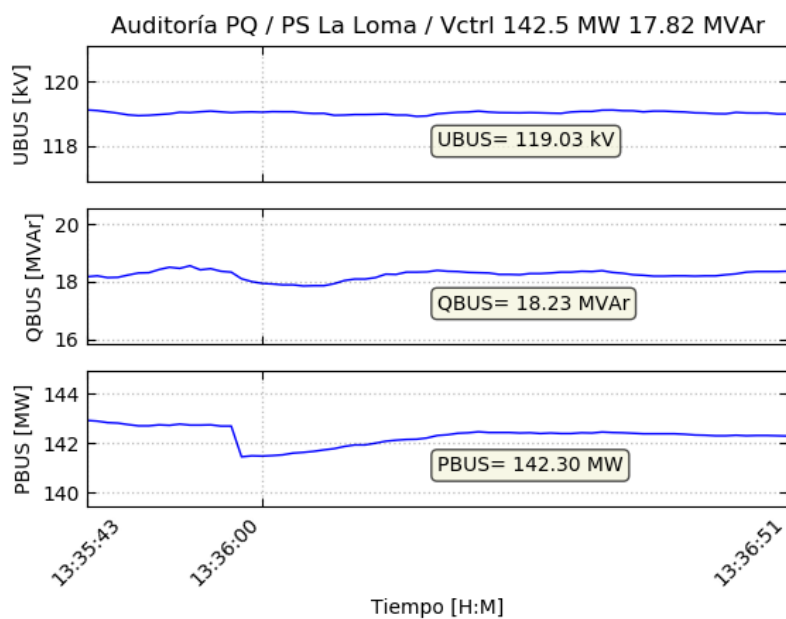


Figura 7.3 – Registro Control de Tensión



7.4 Tendencias – Punto 12 (150.0 MW, 34.2 MVar)

Considerando que la planta se acoge a la curva QV establecida en el acuerdo CNO 1546, se aplica la corrección correspondiente por tensión. Por lo tanto, el nuevo punto objetivo de inyección de potencia reactiva es 13.68 MVar según la familia de curvas presentada en el capítulo 5.3.

Este punto fue auditado por a partir de registros históricos operativos proporcionados por el agente.

7.4.1 Control de Tensión

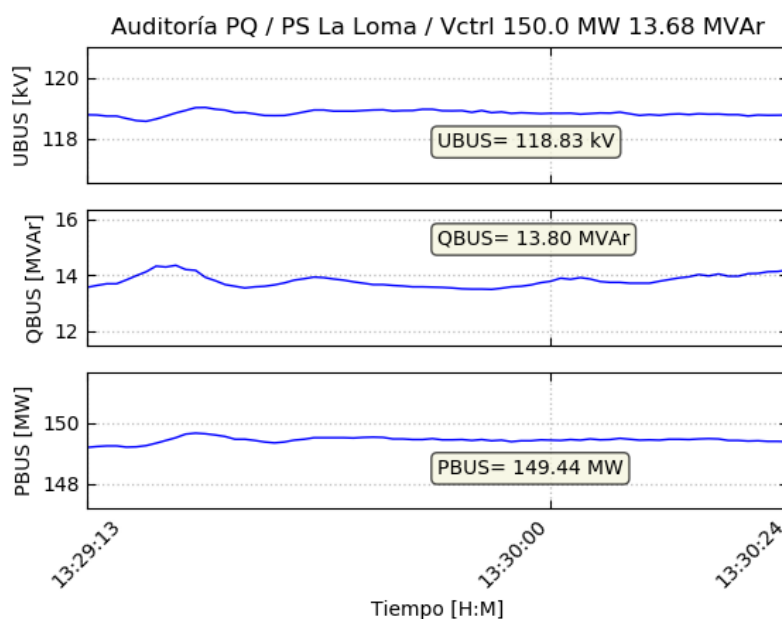


Figura 7.4 – Registro Control de Tensión



8 CONCLUSIONES

El Parque Solar La Loma ha sido sometido a una Auditoría de Pruebas de Potencia Reactiva. La misma ha sido llevada a cabo bajo los lineamientos establecidos en el Acuerdo CNO 1833. Como resultado se obtiene que la central CUMPLE con las consideraciones planteadas en el presente informe.

En función de lo realizado puede concluirse que:

- Los catorce (14) puntos de la curva PQ auditados fueron probados y se declaran CONFORMES.
- Se presentan registros auditados en planta hasta una potencia activa de 137 MW, es decir, una potencia mayor al 90% y se complementa con registros remitidos por el cliente en operación normal al 95% y 100% de la potencia activa nominal de la planta.
- Se presentan los valores de limitación de potencia reactiva del parque mediante un escalón del 10% de la potencia activa nominal en la referencia del control de potencia reactiva, declarándose el valor de ± 7.5 MVar como límite de potencia reactiva entregada para potencias menores al 10% de la potencia nominal de la planta.
- Se realizaron maniobras operativas para alcanzar los puntos definidos con el CND.
- Durante las pruebas no se presentaron alarmas relacionadas con la planta, sus límites o temperaturas máximas.

En el presente documento han sido expuestos los resultados de las pruebas realizadas. Con base en estos resultados y en la auditoría realizada, se determina que el Parque Solar La Loma:

CUMPLE CON LA CURVA DE CAPACIDAD DECLARADA

Nombre de la Empresa: ESTUDIOS ELÉCTRICOS SA

Nombre del Auditor: Ing. Claudio Celman

Fecha: 05/06/2024

Firma del Auditor:



8. ANEXOS

8.1. Procedimiento de ensayos

8.1.1. Verificación de la Curva en la Región de absorción de potencia reactiva

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento, el cual aplica tanto para las pruebas auditadas en campo, como para las pruebas validadas por el auditor a través de registros.

1. Coordinar con el centro de control del CND el inicio de la prueba, el cual, a su vez, coordinará las consignas operativas requeridas antes y durante la prueba. Estas consignas pueden incluir consideraciones de topología y despacho particulares para los recursos de generación con el fin de evaluar la curva de cada planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica. La planta se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.
2. Asegúrese que la planta esté en modo de control automático de tensión con estatismo. En caso de que el CND o el agente identifiquen la necesidad de realizar las pruebas iniciando en un modo de control diferente al de tensión, previa revisión conjunta y evaluación de la posibilidad de las condiciones del sistema por parte del CND, se podrá realizar la prueba considerando una alternativa diferente.
3. Durante la realización de esta prueba el agente generador registrará las potencias activa, reactiva y la tensión en el punto donde se esté verificando el cumplimiento de la curva de carga según lo definido en el Artículo 4 del Acuerdo CNO 1833, con una resolución mínima de un dato por segundo utilizando un registrador con certificado de calibración vigente.
4. La realización de esta prueba requiere que la planta controle la variable que corresponda, según el modo de control que aplique, a un valor definido por el CND según las condiciones del sistema. Para lograr este valor, se pueden utilizar otras unidades de la zona de influencia, igualmente puede hacerse uso de equipos de compensación de reactivos o cambiadores de tomas de transformadores, en cuyo caso el CND coordinará las acciones necesarias para lograr el objetivo, sin violar los límites establecidos en tensiones o cargabilidad de elementos del sistema.
5. Si agotadas las consignas, la planta no puede llegar al límite esperado de absorción de reactiva por condiciones del sistema, este punto será declarado como Conforme y se consignará esta situación en el informe de resultados de la prueba.



6. Después de obtenido el valor de potencia reactiva máxima a la potencia activa seleccionada, la planta debe ser mantenida en este punto de operación mínimo durante 1 minuto para el registro de las variables de la prueba.
7. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en el modo de control de tensión, se deberá realizar la misma verificación de la curva de carga en la potencia activa definida, cambiando el modo de control a potencia reactiva y factor de potencia, tomando los registros definidos en el paso 3 por un tiempo mínimo de 1 minuto adicional para cada uno de los modos restantes. Previo al cambio del modo de control, se debe procurar que la consigna de la nueva variable a controlar sea igual o muy cercana a su medida en tiempo real, de forma que, al realizar el cambio del modo de control, se minimicen los cambios en el punto de operación. Según el caso la variable a controlar puede ser factor de potencia, potencia reactiva o tensión.
8. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en todos los modos de control, se debe realizar el mismo procedimiento anterior para los otros puntos acordados entre el CND y el agente, teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.
9. En caso de que el mínimo técnico de la planta sea inferior al 10 % de la $P_{nominal}$, se deberá realizar una prueba en el mínimo técnico en modo control potencia reactiva considerando como referencia un valor de potencia reactiva del 10 % Q/P_n . Se deberá graficar la potencia reactiva en el punto de conexión y demostrar que esta es limitada a un valor igual o inferior a $5\%Q/P_n$ manteniendo condiciones de estabilidad. El valor en el que se limite la potencia reactiva será el valor a declarar para la potencia reactiva en el mínimo técnico de la planta.



8.1.2. Verificación de la Curva en la Región de entrega de potencia reactiva

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe seguir el siguiente procedimiento, el cual aplica tanto para las pruebas auditadas en campo, como para las pruebas validadas por el auditor a través de registros.

1. Coordinar con el centro de control del CND el inicio de la prueba, el cual, a su vez, coordinará las consignas operativas requeridas antes y durante la prueba. Estas consignas pueden incluir consideraciones de topología y despacho particulares para los recursos de generación con el fin de evaluar la curva de cada planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica. La planta se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.
2. Asegúrese que la planta esté en modo de control automático de tensión con estatismo. En caso de que el CND o el agente identifiquen la necesidad de realizar las pruebas iniciando en un modo de control diferente al de tensión, previa revisión conjunta y evaluación de la posibilidad de las condiciones del sistema por parte del CND, se podrá realizar la prueba considerando una alternativa diferente.
3. Durante la realización de esta prueba el agente generador registrará las potencias activa, reactiva y la tensión en el punto donde se esté verificando el cumplimiento de la curva de carga según lo definido en el Artículo 4 del Acuerdo CNO 1833, con una resolución mínima de un dato por segundo utilizando un registrador con certificado de calibración vigente.
4. La realización de esta prueba requiere que la planta controle la variable que corresponda, según el modo de control que aplique, a un valor definido por el CND según las condiciones del sistema. Para lograr este valor, se pueden utilizar otras unidades de la zona de influencia, igualmente puede hacerse uso de equipos de compensación de reactivos o cambiadores de tomas de transformadores, en cuyo caso el CND coordinará las acciones necesarias para lograr el objetivo, sin violar los límites establecidos en tensiones o cargabilidad de elementos del sistema.
5. Si agotadas las consignas, la planta no puede llegar al límite esperado de entrega de reactiva por condiciones del sistema, este punto será declarado como Conforme y se consignará esta situación en el informe de resultados de la prueba.
6. Después de obtenido el valor de potencia reactiva máxima a la potencia activa seleccionada, la planta debe ser mantenida en este punto de operación mínimo durante 1 minutos para el registro de las variables de la prueba.



7. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en el modo de control de tensión, se deberá realizar la misma verificación de la curva de carga en la potencia activa definida, cambiando el modo de control a potencia reactiva y factor de potencia, tomando los registros definidos en el paso 3 por un tiempo mínimo de 1 minuto adicional para cada uno de los modos restantes. Previo al cambio del modo de control, se debe procurar que la consigna de la nueva variable a controlar sea igual o muy cercana a su medida en tiempo real, de forma que, al realizar el cambio del modo de control, se minimicen los cambios en el punto de operación. Según el caso la variable a controlar puede ser factor de potencia, potencia reactiva o tensión.
8. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en todos los modos de control, se debe realizar el mismo procedimiento anterior para los otros puntos acordados entre el CND y el agente, teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.
9. En caso de que el mínimo técnico de la planta sea inferior al 10 % de la $P_{nominal}$, se deberá realizar una prueba en el mínimo técnico en modo control potencia reactiva considerando como referencia un valor de potencia reactiva del 10 % Q/P_n . Se deberá graficar la potencia reactiva en el punto de conexión y demostrar que esta es limitada a un valor igual o inferior a 5% Q/P_n manteniendo condiciones de estabilidad. El valor en el que se limite la potencia reactiva será el valor a declarar para la potencia reactiva en el mínimo técnico de la planta.



8.2. Certificados de calibración

8.2.1. Multimedidor BlackBox

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
 ESTUDIOS ELECTRICOS			
Estudios Electricos declara que el instrumento:			
Instrumento	Número de serie	Última calibración	
BLACK BOX G4500	00-60-35-38-11-F4	27/7/2023	
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.			
Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Ultima calibración	Proxima calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256 Plus	RC744S	28/3/2023	28/3/2024

Fecha de evaluación: 27/7/2023
Certificado número: EE-CI-2023-0974

Nombre Inspector: Leiss, Jorge
Firma:



Power System Studies & Power Plant Field Testing and
Electrical Commissioning

Figura 8.1. – Certificado de calibración BlackBox G4500



8.1.1. Multimedidor Metrel



Certificado de Calibración
CIDET
LABORATORIO DE METROLOGÍA
Cll 84 sur 40-61 Sabaneta Antioquia Colombia
Teléfono (604) 4441211

ISO/IEC 17025:2017
17-LAC-003

UNIDAD BAJO PRUEBA	METREL MI 2892	CALIBRADO EN :	2023-12-05
DESCRIPCIÓN:	POWER MASTER	TEMPERATURA:	20,86 °C
NÚMERO SERIAL:	21201095	HUMEDAD:	55,10 % HR
CERTIFICADO #:	31336M01	PROCEDIMIENTO:	Variables Electricas
LUGAR DE CALIBRACIÓN	Cll 84 sur 40-61 Sabaneta Antioquia Colombia	ESTADO:	FOUND-LEFT
		APROBADO POR:	

CLIENTE:	TECNOMEDIDA SAS
NÚMERO TELEFÓNICO :	601 287 08 95
DIRECCIÓN:	Bogota - Colombia Carrera 67 # 167-61 Colinas Office Park. Ofc.613
NIT:	900863954
RECIBIDO EN:	2023-11-30
ORDEN DE COMPRA:	31336M_2023

Esta calibración es trazable al SI por medio de Laboratorios de calibración acreditados por organismos de acreditación firmantes de Acuerdos de Reconocimiento Mutuo Multilaterales, (MRA) con ILAC (Acuerdo de la cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios) o IAAC (Cooperación Inter Americana de Acreditación).

La incertidumbre fue calculada de acuerdo con el método descrito en la ISO/IEC Guide 98-3:2008 - Uncertainty of measurement (GUM).

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura k=2 y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

Las desviaciones de los resultados pueden ser expresadas con unidades, Valor Medido Promedio (Vm) - Valor Nominal (Vn) o como una proporción del valor nominal ((Vm-Vn)/Vn), expresado sin unidades con un multiplicador escalar tal como (0.01) %, o como una relación de las unidades (mV/V, mV/V, etc.).

Aquellos valores fuera del alcance de acreditación están indicados por '* * *'.
Este certificado aplica solamente al ítem identificado y no debe ser reproducido en parte, sin la aprobación específica de CIDET.

No se hacen declaraciones de cumplimiento con especificaciones o relacionadas en este certificado.

Esta calibración cumple con los requerimientos de ISO/IEC 17025:2017, CIDET no se hace responsable de la información suministrada por el cliente.
La autenticidad de este certificado de calibración, puede ser verificada a través de nuestra línea de transparencia 01 8000 423 835 o al correo electrónico lineatransparencia@cidet.org.co

Notas:

Serie #	Descripción	Fecha de Cal	Próxima Fecha
00816	FLUKE 1620A TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL	2021-09-24	2023-12-21
1470004	FLUKE 5520A CALIBRADOR MULTIPROPOSITO	2022-05-25	2025-05-24
20080692	FLUKE 5500A/COIL BOBINA DE CORRIENTE DE 50 VUELTAS	2023-03-02	2024-03-01

Figura 8.2. – Certificado de calibración Metrel Power Master



8.1.1. Multimedidor Schneider Electric

Elgama Sistemas de Colombia S.A.S. ElgSis S.A.S.

Calle 161 A No. 19 A - 43 Barrio Orquídeas
Tel: (57+1) 672 4804
Bogotá, D.C. - Colombia
e-mail: info@elgsis.com.co
Web: www.elgsis.com.co



NIT. 830.508.419-5



ISO/IEC 17025:2017
10-LAB-047



ISO/IEC 17025:2017
10-LAC-047

CERTIFICADO DE ENSAYOS Y CALIBRACIÓN

211006-39355

MP-F-19 R11-2012

Instrumento: Medidor Electrónico **Tipo:** ION8650 **Tensión nominal:** 120 V
Numero de serie: MW-2103A422-02 **Fabricante:** Schneider **Frecuencia:** 60,0Hz
Corriente Nominal (básica): 1 A **Corriente Máxima (Im):** 10 A **Fases/Hilos:** 3 fases, 4 hilos
Constante Activa: 10000 imp/kWh **Constante Reactiva:** 10000 imp/kvarh **Año fabricación:** 2021
Clase de Activa: 0,2 S **Clase de Reactiva:** 2 **Solicitud:** SS 21-397
Solicitante: SOLLIVAN SMART SOLUTIONS S A S **Dirección:** Av. Calle 26 # 102 20, Buro 26, Piso 3, Bogotá D.C.
Fecha de Calibración: 2021-10-06 **Humedad Relativa [%]:** 48 **Temperatura [°C]:** 22
Fecha Recepción ítem: 2021-10-06 **Lugar Calibración:** Elgama Sistemas de Colombia S.A.S- Calle 161 A # 19A-43, Bogotá D.C.

Trazabilidad e Incertidumbre: El equipo Patrón Trifásico PTS400.3-120A (patrón de referencia PRS400.3) con certificado de calibración INM No. 2603. El Termo Hygrometro Marca GOVEE, modelo H5075, número de serie GVH5075_C818, certificado de calibración en temperatura y en Humedad Relativa L17603-21 del 2021/03/12. La incertidumbre reportada se ha determinado multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cubrimiento k reportado, con el cual se logra un nivel de confianza del 95.45% para una distribución normal.

Método de Calibración: La calibración se realizó siguiendo los lineamientos dados por la Norma Técnica Colombiana 4856 Verificación inicial y posterior de medidores de energía eléctrica quinta actualización. Versión 2018-10-17. El método empleado es de comparación mediante la conexión del medidor objeto de prueba y patrón de referencia a la misma fuente de energía, suministrando simultáneamente la misma energía a ambos equipos. El error se determina por comparación de los impulsos por segundo emitidos por el medidor objeto de prueba y el patrón de referencia, los cuales son directamente proporcionales a la energía suministrada y leídos por el patrón de referencia. Se aplicaron señales de Tensión y de Corriente Senoidales, las pruebas realizadas son las siguientes:

Magnitud	Nombre de la prueba										Norma		Numeral			
Energía Activa y Reactiva	Ensayo de Exactitud (Calibración)										NTC 4856 (2018-10-17)		4.4.2.2			
	Ensayo de Funcionamiento Sin Carga												4.4.5.2.1			
	Ensayo de Arranque												4.4.4.1			
	Ensayo de Verificación de la constante												4.4.3.2			
PUNTO DE CARGA											k	U [%]	Resultado			
Tensión % Un			Corriente % In ó Ib.			FP	[Hz]	Limite [%]	Error [%]	DES [%]				u comb [%]		
R	S	T	R	S	T											
Ensayo de Exactitud (Calibración) / Activa Importada																
100	100	100	5,0	5,0	5,0	1,0	60	0,25	0,061	0,002	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	100,0	100,0	1,0	60	0,25	0,043	0,001	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	0,0	0,0	1,0	60	0,35	0,043	0,001	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	0,0	100,0	0,0	1,0	60	0,35	0,024	0,003	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	0,0	0,0	100,0	1,0	60	0,35	0,046	0,004	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	100,0	100,0	0,5i	60	0,40	0,114	0,021	0,022	2,000	0,045	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	100,0	100,0	0,8c	60	0,40	-0,019	0,073	0,027	2,002	0,053	Conforme-CEEX		
100	100	100	100lm	100lm	100lm	1,0	60	0,25	0,051	0,017	0,021	2,000	0,043	Conforme-CEEX		
Ensayo de Funcionamiento Sin Carga																
115	115	115	0	0	0	1	60	Pulsos		Resultado:		Conforme-CEFC				
Ensayo de Arranque																
100	100	100	0,10	0,10	0,10	1	60	Pulsos		Resultado:		Conforme-CEAR				
Ensayo de Verificación de la constante (% Imax)																
100	100	100	100	100	100	1	60	Pulsos		Resultado:		Conforme-CEVC				
Lectura Inicial [kWh]:			0,000			Lectura Final [kWh]:			1,001							
Ensayo de Exactitud (Calibración) / Reactiva Importada																
100	100	100	5,0	5,0	5,0	1,0	60	3,00	0,054	0,000	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	100,0	100,0	1,0	60	2,50	0,040	0,001	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	0,0	0,0	1,0	60	3,50	0,036	0,003	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	0,0	100,0	0,0	1,0	60	3,50	0,012	0,003	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	0,0	0,0	100,0	1,0	60	3,50	0,033	0,003	0,021	2,000	0,041	Conforme-CEEX		
100	100	100	100,0	100,0	100,0	0,5i	60	3,00	-0,020	0,003	0,013	2,000	0,027	Conforme-CEEX		
100	100	100	100lm	100lm	100lm	1,0	60	2,50	0,044	0,016	0,021	2,000	0,043	Conforme-CEEX		
Ensayo de Funcionamiento Sin Carga																
115	115	115	0	0	0	1	60	Pulsos		Resultado:		Conforme-CEFC				
Ensayo de Arranque																
100	100	100	0,30	0,30	0,30	1	60	Pulsos		Resultado:		Conforme-CEAR				
Ensayo de Verificación de la constante (% Imax)																
100	100	100	100	100	100	1	60	Pulsos		Resultado:		Conforme-CEVC				
Lectura Inicial [kvarh]:			0,000			Lectura Final [kvarh]:			0,101							

Hoja 1 de 2

Página 1 de 2

Figura 8.3. – Certificado de calibración ION8650



Elgama Sistemas de Colombia S.A.S.
ElgSis S.A.S.

Calle 161 A No. 19 A - 43 Barrio Orquídeas
Tel: (57+1) 672 4804
Bogotá, D.C. - Colombia
e-mail: info@elgsis.com.co
Web: www.elgsis.com.co



NIT. 830.508.419-5



ISO/IEC 17025:2017
10-LAB-047



ISO/IEC 17025:2017
10-LAC-047

CERTIFICADO DE ENSAYOS Y CALIBRACIÓN

211006-39355

MP-F-19 R11-2012

PUNTO DE CARGA							FP	[Hz]	Límite [± %]	Error [%]	DESV [%]	μ comb [%]	k	U [%]	Resultado	
Tensión % Un			Corriente % In ó Ib.													
R	S	T	R	S	T											
Ensayo de Exactitud (Calibración) / Activa Exportada																
100	100	100	5,0	5,0	5,0	1,0	60	0,25	0,060	0,000	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	100,0	100,0	1,0	60	0,25	0,047	0,010	0,021	2,000	0,042		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	0,0	0,0	1,0	60	0,35	0,039	0,003	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	0,0	100,0	0,0	1,0	60	0,35	0,017	0,001	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	0,0	0,0	100,0	1,0	60	0,35	0,041	0,003	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	100,0	100,0	0,5i	60	0,40	0,099	0,005	0,021	2,000	0,043		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	100,0	100,0	0,8c	60	0,40	-0,056	0,115	0,039	2,002	0,077		Conforme-CEEX	
100	100	100	100lm	100lm	100lm	1,0	60	0,25	0,051	0,002	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
Ensayo de Funcionamiento Sin Carga								Pulsos	Resultado:				Conforme-CEFC			
115	115	115	0	0	0	2	60	1								
Ensayo de Arranque								Pulsos	Resultado:				Conforme-CEAR			
100	100	100	0,10	0,10	0,10	1	60	2								
Ensayo de Verificación de la constante (% Imax)																
100	100	100	100	100	100	1	60					Resultado:				Conforme-CEVC
Lectura Inicial [kWh]:			0,000			Lectura Final [kWh]:			1,001							
Ensayo de Exactitud (Calibración) / Reactiva Exportada																
100	100	100	5,0	5,0	5,0	1,0	60	3,00	0,048	0,002	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	100,0	100,0	1,0	60	2,50	0,036	0,010	0,021	2,000	0,042		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	0,0	0,0	1,0	60	3,50	0,032	0,004	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	0,0	100,0	0,0	1,0	60	3,50	0,013	0,004	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
100	100	100	0,0	0,0	100,0	1,0	60	3,50	0,030	0,007	0,021	2,000	0,042		Conforme-CEEX	
100	100	100	100,0	100,0	100,0	0,5i	60	3,00	-0,019	0,003	0,013	2,000	0,027		Conforme-CEEX	
100	100	100	100lm	100lm	100lm	1,0	60	2,50	0,031	0,001	0,021	2,000	0,041		Conforme-CEEX	
Ensayo de Funcionamiento Sin Carga								Pulsos	Resultado:				Conforme-CEFC			
115	115	115	0	0	0	1	60	1								
Ensayo de Arranque								Pulsos	Resultado:				Conforme-CEAR			
100	100	100	0,30	0,30	0,30	1	60	2								
Ensayo de Verificación de la constante (% Imax)																
100	100	100	100	100	100	1	60					Resultado:				Conforme-CEVC
Lectura Inicial [kvarh]:			0,000			Lectura Final [kvarh]:			0,101							

Se instala Estampilla ES9

Fecha de emisión: 2021-10-07

211006-39355

y sello de seguridad

Nombre: Omar Gerardo Bohórquez Ramos
Cargo: Jefe de Laboratorio
Código: JL-OB01

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y al ítem descrito en el presente sometido a calibración y/o ensayo. El laboratorio de metrología que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente excepto cuando se hayan obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

Hoja 2 de 2

Fin del Certificado

Página 2 de 2

Figura 8.4. – Certificado de calibración ION8650



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.