

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Canadian Solar
Colombia
Parque Solar Caracolí
Informe - Auditoría Curva de
capacidad acuerdo CNO 1869



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-046
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-1484
REVISIÓN B

3 oct. 24



Este documento **EE-EN-2024-1484-RB** fue preparado para Canadian Solar 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 52 páginas y ha sido guardado por última vez el 03/10/2024 por Dagoberto Martínez; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	26/09/2024	Para presentar	DM	AdP	PR
B	3.10.2024	Comentarios CanadianSolar	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.....	6
	1.1 Definiciones	6
2	INFORMACIÓN DE LA CENTRAL	7
	2.1 Curva de capacidad P-Q Propuesta.....	8
3	MEDICIONES.....	9
	3.1 Equipo de medición	9
4	CÁLCULO DE ERRORES.....	10
	4.1 Multimedidor Elspec	10
	4.2 Multimedidor Schneider Electric.....	11
5	DESARROLLO DEL ENSAYO.....	13
	5.1 Procedimiento de ensayos	13
	5.2 Resultados Obtenidos	13
	5.2.1 Modo de control de tensión	14
	5.2.2 Modo de control de potencia reactiva.....	15
	5.1.3. Modo de control de factor de potencia.....	16
	5.3 Curva de capacidad efectiva.....	17
	5.3.1 Puntos alcanzados durante la auditoría	17
	5.3.2 Puntos auditados con registros históricos	18
	5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento.....	20
	5.4.1 Detalle de la región de absorción.....	20
	5.4.2 Detalle de la región de inyección.....	22
	5.5 Curva de capacidad definitiva	24
6	REGISTRO DE ENSAYOS.....	25
	6.1 Tendencias – Punto 1 (5.0 MW, -5.0 MVar)	25
	6.1.1 Control de Tensión	25
	6.1.2 Control de Potencia Reactiva	26
	6.1.3 Control de Factor de Potencia.....	26
	6.2 Tendencias – Punto 2 (10.0 MW, -16.5 MVar)	27
	6.2.1 Control de Tensión	27
	6.2.2 Control de Potencia Reactiva	27
	6.2.3 Control de Factor de Potencia.....	28
	6.3 Tendencias – Punto 3 (30.0 MW, -16.5 MVar)	29
	6.3.1 Control de Tensión	29
	6.3.2 Control de Potencia Reactiva	29



6.3.3	Control de Factor de Potencia.....	30
6.4	Tendencias – Punto 5 (50.0 MW, -11.4 MVar)	31
6.4.1	Control de Tensión	31
6.4.2	Control de Potencia Reactiva	31
6.4.3	Control de Factor de Potencia.....	32
6.5	Tendencias – Punto 6 (5.0 MW, 5.0 MVar).....	33
6.5.1	Control de Tensión	33
6.5.2	Control de Potencia Reactiva	33
6.5.3	Control de Factor de Potencia.....	34
6.6	Tendencias – Punto 7 (10.0 MW, 16.5 MVar).....	35
6.6.1	Control de Tensión	35
6.6.2	Control de Potencia Reactiva	35
6.6.3	Control de Factor de Potencia.....	36
6.7	Tendencias – Punto 8 (30 MW, 16.5 MVar).....	37
6.7.1	Control de Tensión	37
6.7.2	Control de Potencia Reactiva	37
6.7.3	Control de Factor de Potencia.....	38
6.8	Tendencias –Punto 11 Adicional (PBUS > 90 % Pnom).....	39
6.8.1	Control de Tensión	39
6.8.2	Control de Potencia Reactiva	39
6.8.3	Control de Factor de Potencia.....	40
7	REGISTROS HISTÓRICOS	41
7.1	Tendencias – Punto 4 (47.5 MW, -16.5 MVar)	41
7.1.1	Control de Tensión	41
7.2	Tendencias – Punto 9 (47.5 MW, 16.5 MVar).....	42
7.2.1	Control de Tensión	42
7.3	Tendencias – Punto 10 (50.0 MW, 11.4 MVar)	43
7.3.1	Control de Tensión	43
8	CONCLUSIONES.....	44
8.	ANEXOS	45
8.1.	Procedimiento de ensayos	45
8.1.1.	Verificación de la Curva en la Región de absorción de potencia reactiva.....	45
8.1.2.	Verificación de la Curva en la Región de entrega de potencia reactiva.....	47



8.2. Certificados de calibración.....	49
8.2.1. Multimedidor BlackBox	49
8.1.1. Multimedidor Schneider Electric	50



1 INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta los resultados obtenidos en la auditoría de verificación de la curva de capacidad realizada en el Parque Solar Caracolí. Dichas pruebas fueron realizadas los días 16, 18 y 20 de septiembre de 2024, por la empresa auditora ESTUDIOS ELÉCTRICOS, complementados con registros históricos del 9 de septiembre, siguiendo los lineamientos establecidos en el acuerdo CNO 1869. 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 Caracolí 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 Caracolí, propiedad de Canadian Solar, se ubica en el municipio de Soledad, departamento del Atlántico, Colombia. El parque cuenta con un total de 4224 módulos fotovoltaicos de 650 Wp, 55776 módulos de 655 Wp, y 25440 módulos de 660 Wp, lo que le otorga una potencia instalada en corriente directa (DC) de 56.07 MW, con una capacidad efectiva neta de 50 MW.

El parque dispone de 17 inversores fotovoltaicos SUNGROW SG3125HV-MV-30, con una capacidad de 3437 kVA a 45°C. La red colectora del parque se compone de tres alimentadores a 34.5 kV, que agrupan la potencia generada por los inversores. El parque cuenta con 8 centros de transformación, cada uno con dos inversores conectados a un transformador de bloque de tres devanados de 6.87 MVA, y un centro de transformación adicional que conecta un único inversor a través de un transformador de 3.43 MVA.

Es importante destacar que el parque no cuenta con sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías, ni requiere compensación de potencia reactiva adicional para cumplir con la curva de carga.

Los datos de la central ensayada son los siguientes:

Parque Solar Caracolí		
Potencia Pico	56.07	MWp
Potencia en el POI	50.0	MW
Mínimo técnico	5.0	MW
Rango	45.0	MW
Inversores	17 inversores de 3437 kVA	-

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 Canadian Solar y el CND, según el artículo 5 del Acuerdo CNO 1869.

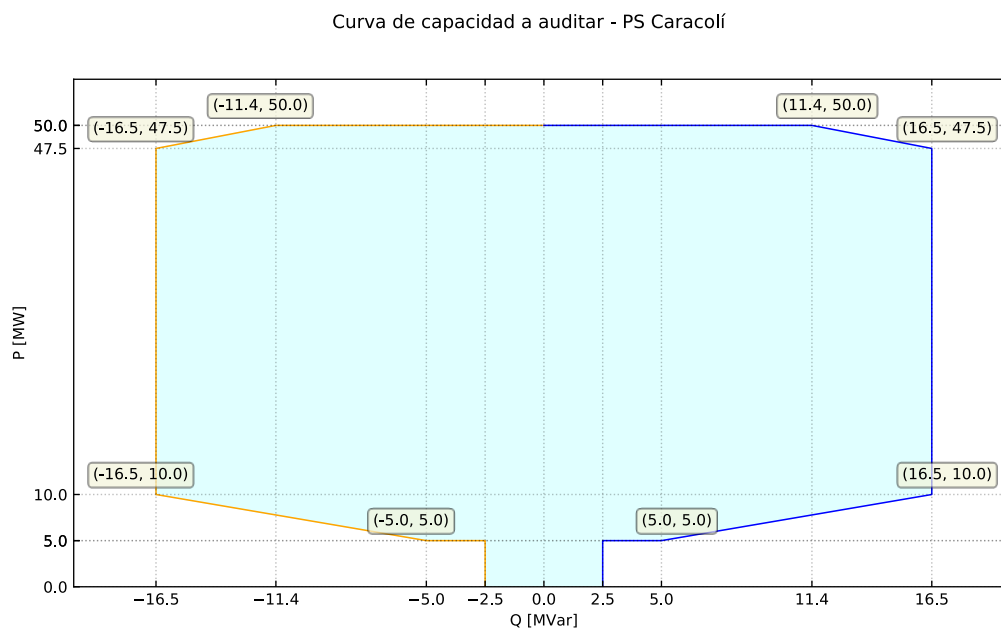


Figura 2.1 – Curva de Capacidad a auditar – PS Caracolí

Puntos Objetivos	Región	Potencia Activa POI [MW]	Potencia Reactiva POI [MVar]
1	Absorción	5	-5
2	Absorción	10	-16.5
3	Absorción	30	-16.5
4	Absorción	47.5	-16.5
5	Absorción	50	-11.4
6	Absorción	5	5
7	Inyección	10	16.5
8	Inyección	30	16.5
9	Inyección	47.5	16.5
10	Inyección	50	11.4

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	Schneider Electric	Power Logic ION 8650	MW-2210A129-02	±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 Caracolí 110 kV	$110/\sqrt{3} : 0.110/\sqrt{3}$ kV	Multimedidor BlackBox / Schneider Electric
Corrientes en el Punto de conexión SE Caracolí 110 kV	800:1 A	Multimedidor BlackBox / 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 $110/\sqrt{3}$: $0.110/\sqrt{3}$ kV.
- Multimetro BlackBox: Incertidumbre intrínseca de 0.2 para potencia activa y 2 para potencia reactiva.
- Multimetro 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 Multimetro 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:



$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.0026 \times 800 \text{ A} \times 110000 \text{ V} = 0.39 \text{ MW}$$

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:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.02 \times 800 \text{ A} \times 110000 \text{ V} = 3.06 \text{ MVar}$$

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

4.2 Multimedidor 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:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.0026 \times 800 \text{ A} \times 110000 \text{ V} = 0.39 \text{ MW}$$

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:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.02 \times 800 \text{ A} \times 110000 \text{ V} = 3.06 \text{ MVar}$$

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 Caracolí 110 kV).
- Para evaluar cada uno de los puntos comprometidos, se utiliza el procedimiento detallado en el Acuerdo CNO 1869.

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% de la potencia nominal en presencia del auditor (puntos 4, 9). Por ello, siguiendo los lineamientos del numeral 6 del acuerdo CNO 1869, se reportan puntos a una potencia superior al 90% de la potencia nominal (punto 11). Los puntos objetivo restantes se auditaron mediante registros históricos en el modo de control operativo de la central, en este caso tensión con estatismo. Adicionalmente, debido a que durante el desarrollo de la auditoría el punto de entrega de potencia reactiva al 100% de la potencia nominal (punto 10) fue alcanzado únicamente en el modo de control de tensión por disponibilidad de recurso, se auditará este acudiendo a la figura de registro histórico.

Fecha	Puntos	Multimedidor
9 de septiembre de 2024	4, 9	Schneider Electric
16 de septiembre de 2024	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10	BlackBox G4500
18 de septiembre de 2024	11	BlackBox G4500

Tabla 5.1 – Detalle equipos multimedidores utilizados.

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

- anexo2_acuerdo_1869_16_09_2024_PV_Caracolí.xlsx
- anexo2_acuerdo_1869_18_09_2024_PV_Caracolí.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	16 sep 04:01 p.m.	5	-5	-5	4.91	-4.922	111.941	1.018	Límite planta	SI
2	16 sep 03:00 p.m.	10	-16.5	-16.5	9.896	-16.28	111.398	1.013	Límite planta	SI
3	16 sep 02:41 p.m.	30	-16.5	-16.5	29.684	-16.251	111.404	1.013	Límite planta	SI
4 ¹	-	47.5	-16.5	-16.5	-	-	-	-	-	-
5	16 sep 11:58 a.m.	50	-11.4	-11.4	49.647	-11.145	112.051	1.019	Límite planta	SI
6	16 sep 03:51 p.m.	5	5	5	4.916	4.922	112.071	1.019	Límite planta	SI
7	16 sep 03:38 p.m.	10	16.5	16.5	9.854	16.3	112.36	1.021	Límite planta	SI
8	16 sep 03:19 p.m.	30	16.5	16.5	29.62	16.368	112.362	1.021	Límite planta	SI
9 ¹	-	47.5	16.5	16.5	-	-	-	-	-	-
10 ²	-	50	11.4	11.4	-	-	-	-	-	-
11 ³	18 sep 10:10 a.m.	46.2	16.5	16.5	46.172	16.199	114.123	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 Se acude a figura de auditoria bajo registros históricos debido a que, durante el desarrollo de las pruebas con auditor en campo, se logra auditar únicamente en control de tensión por falta de recurso primario.

³ 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	16 sep 04:04 p.m.	5	-5	-5	4.921	-4.916	111.974	1.018	Límite planta	SI
2	16 sep 03:04 p.m.	10	-16.5	-16.5	9.891	-16.281	111.411	1.013	Límite planta	SI
3	16 sep 02:44 p.m.	30	-16.5	-16.5	29.681	-16.252	111.403	1.013	Límite planta	SI
4 ¹	-	47.5	-16.5	-16.5	-	-	-	-	-	-
5	16 sep 12:00 p.m.	50	-11.4	-11.4	49.454	-11.147	112.07	1.019	Límite planta	SI
6	16 sep 03:54 p.m.	5	5	5	4.91	4.929	112.131	1.019	Límite planta	SI
7	16 sep 03:41 p.m.	10	16.5	16.5	9.847	16.304	112.295	1.021	Límite planta	SI
8	16 sep 03:23 p.m.	30	16.5	16.5	29.619	16.371	112.391	1.022	Límite planta	SI
9 ¹	-	47.5	16.5	16.5	-	-	-	-	-	-
10 ²	-	50	11.4	11.4	-	-	-	-	-	-
11 ³	18 sep 10:11 a.m.	46.2	16.5	16.5	46.272	16.2	114.087	1.037	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 Se acude a figura de auditoria bajo registros históricos debido a que, durante el desarrollo de las pruebas con auditor en campo, se logra auditar únicamente en control de tensión por falta de recurso primario.

³ 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	16 sep 04:07 p.m.	5	-5	-5	4.917	-4.91	111.951	1.018	Límite planta	SI
2	16 sep 03:10 p.m.	10	-16.5	-16.5	9.89	-16.28	111.438	1.013	Límite planta	SI
3	16 sep 02:46 p.m.	30	-16.5	-16.5	29.684	-16.257	111.41	1.013	Límite planta	SI
4 ¹	-	47.5	-16.5	-16.5	-	-	-	-	-	-
5	16 sep 12:09 p.m.	50	-11.4	-11.4	49.565	-11.171	112.153	1.02	Límite planta	SI
6	16 sep 03:56 p.m.	5	5	5	4.917	4.926	112.213	1.02	Límite planta	SI
7	16 sep 03:43 p.m.	10	16.5	16.5	9.85	16.308	112.307	1.021	Límite planta	SI
8	16 sep 03:30 p.m.	30	16.5	16.5	30.062	16.563	112.332	1.021	Límite planta	SI
9 ¹	-	47.5	16.5	16.5	-	-	-	-	-	-
10 ²	-	50	11.4	11.4	-	-	-	-	-	-
11 ³	18 sep 10:12 a.m.	46.2	16.5	16.5	46.252	16.199	114.079	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 Se acude a figura de auditoria bajo registros históricos debido a que, durante el desarrollo de las pruebas con auditor en campo, se logra auditar únicamente en control de tensión por falta de recurso primario.

³ 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.

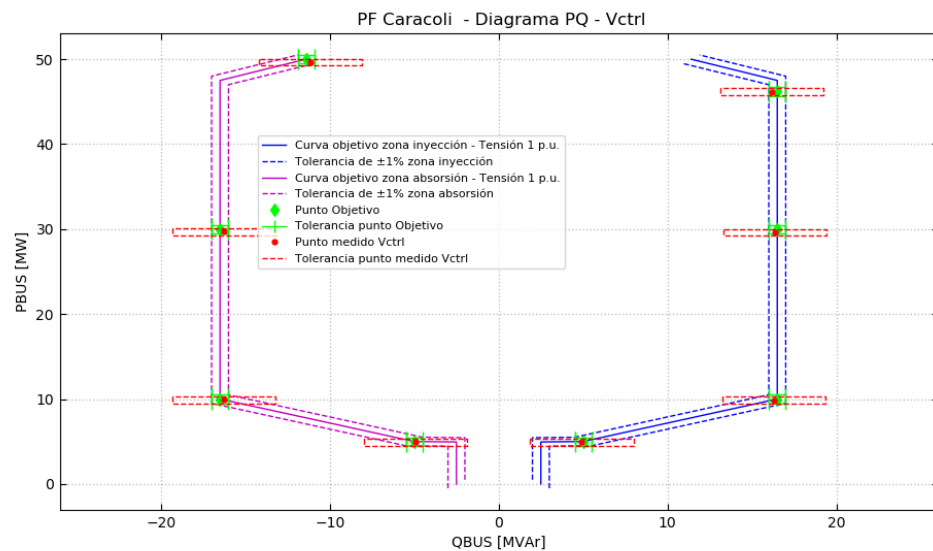


Figura 5.1 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control tensión

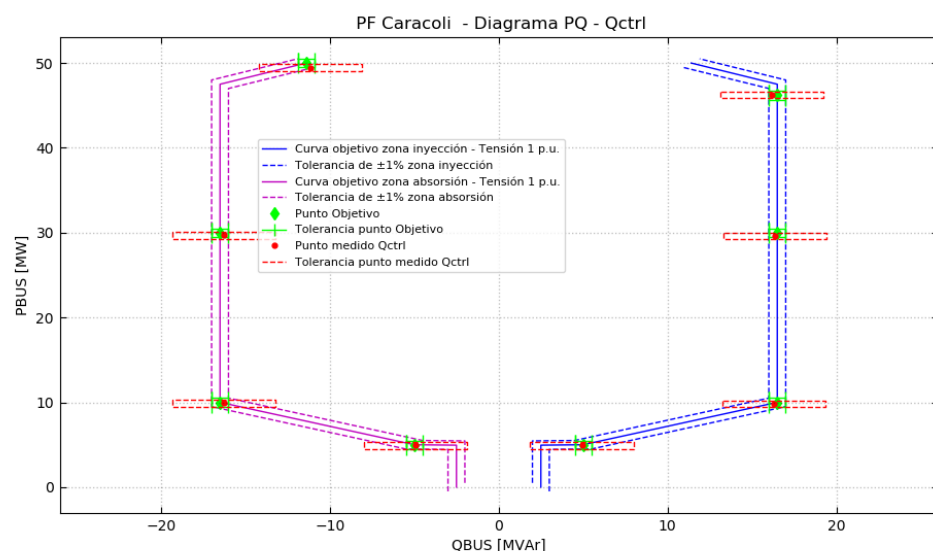


Figura 5.2 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

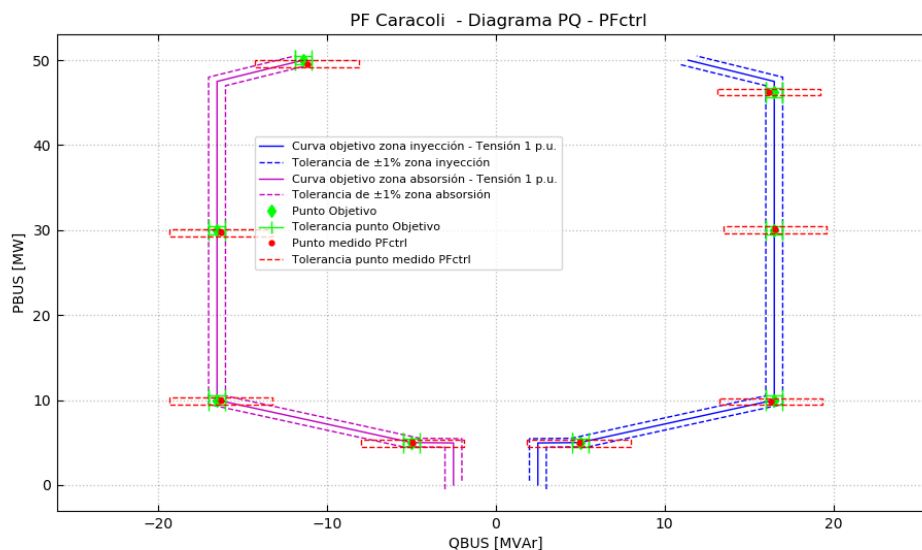


Figura 5.3 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

5.3.2 Puntos auditados con registros históricos

Dado que en el momento de la auditoría no fue posible alcanzar los puntos 49.5 MW / ± 16.5 MVar y 50.0 MW / +11.4 MVar en modos de control de potencia reactiva y factor de potencia, 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
4 ¹	9 sep 11:52 a.m.	47.5	-16.5	-16.5	47.599	-16.646	113.39	1.031	Límite planta	SI
9 ¹	9 sep 12:01 p.m.	47.5	16.5	16.5	47.504	16.679	113.49	1.032	Límite planta	SI
10 ²	16 sep 12:15 p.m.	50	11.4	11.4	49.636	11.398	112.662	1.024	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.

² Se acude a figura de auditoria bajo registros históricos debido a que, durante el desarrollo de las pruebas con auditor en campo, se logra auditar únicamente en control de tensión por falta de recurso primario.

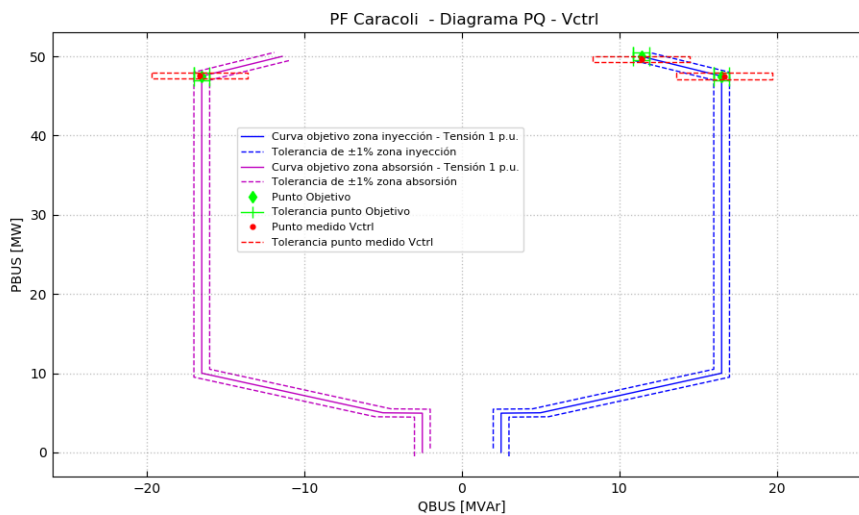


Figura 5.4 – Vista general de la curva de capacidad con registros históricos



5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento

5.4.1 Detalle de la región de absorción

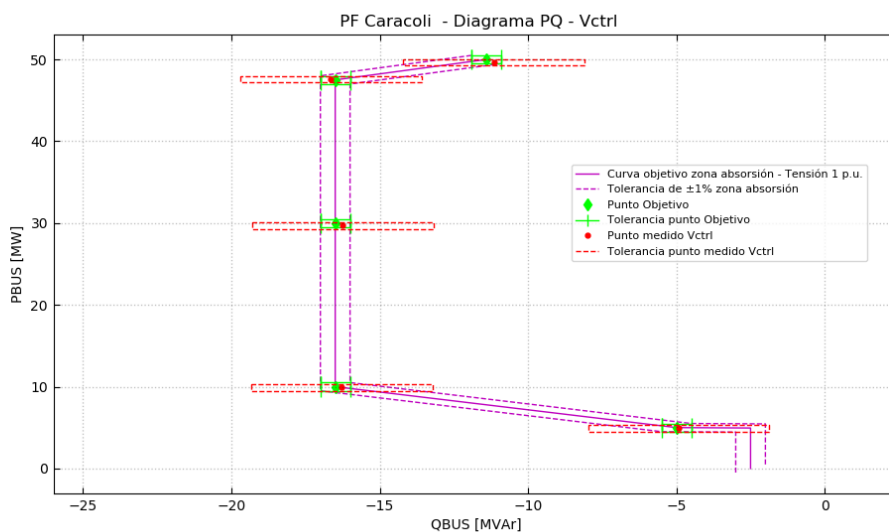


Figura 5.5 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control tensión

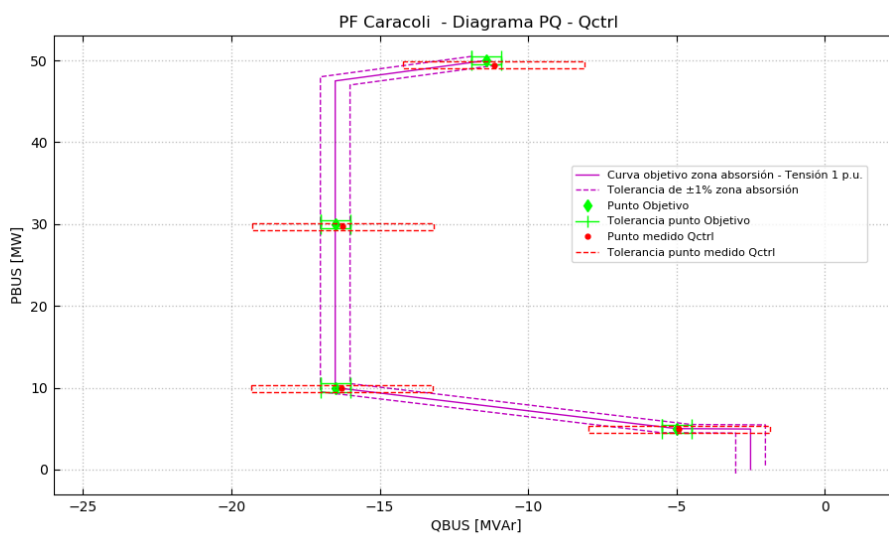


Figura 5.6 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

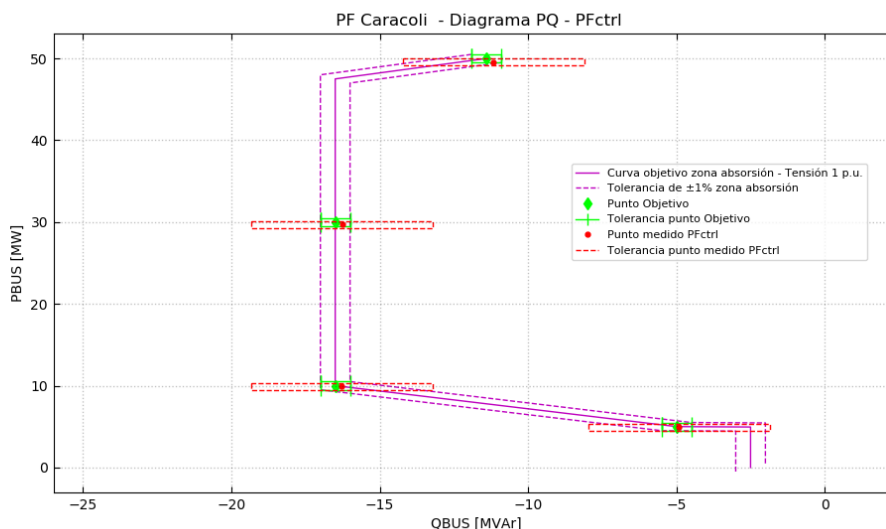


Figura 5.7 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

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 1869 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 1869.



5.4.2 Detalle de la región de inyección

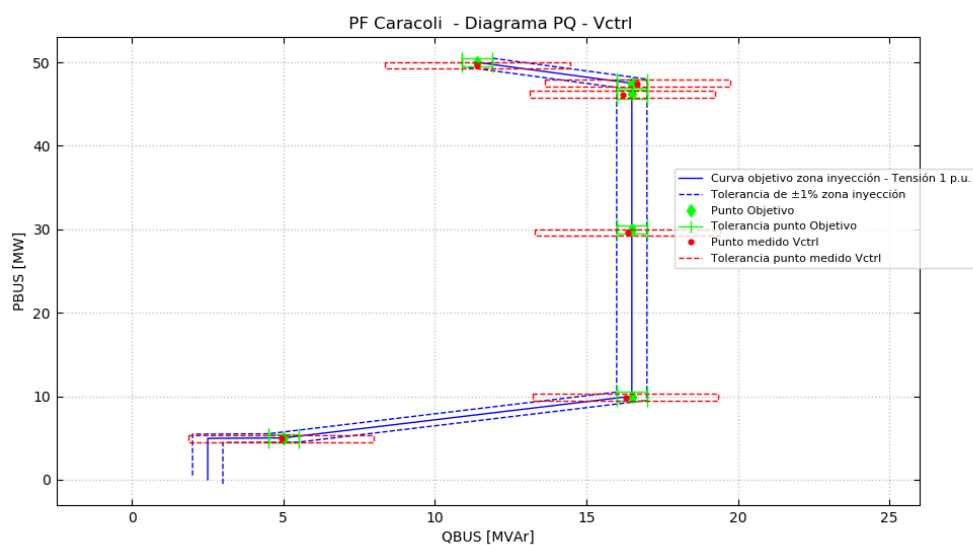


Figura 5.8. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control tensión

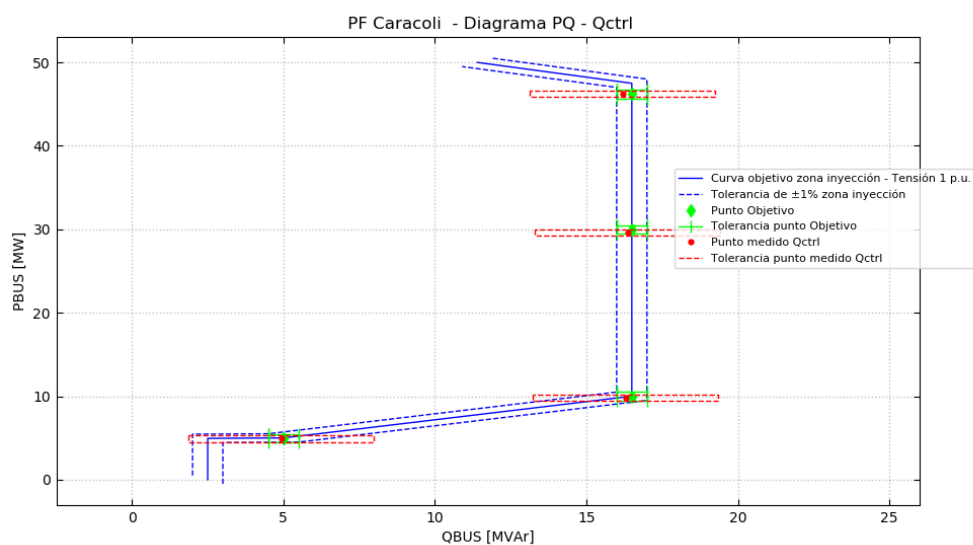


Figura 5.9. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

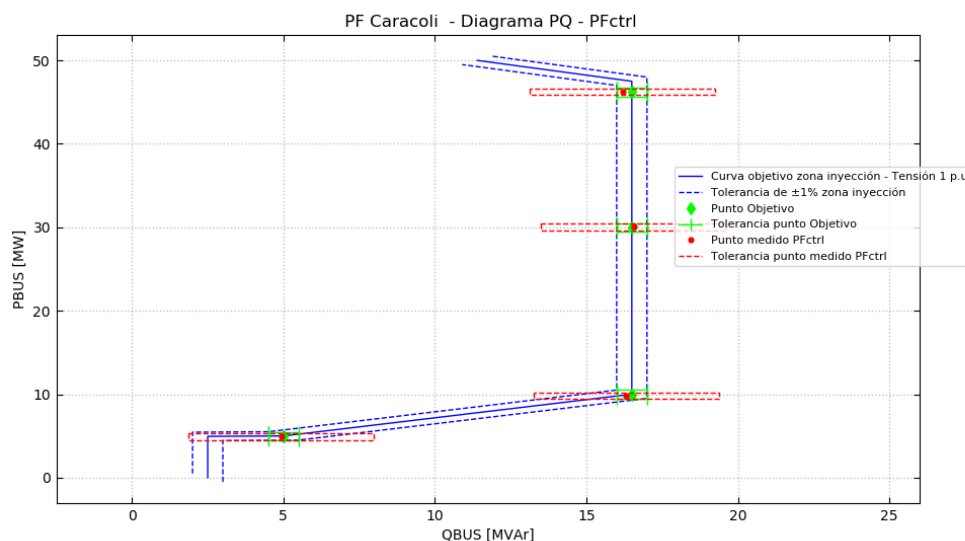


Figura 5.10. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

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 1869 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 1869.



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	5	-5	6.1
2	10	-16.5	6.2
3	30	-16.5	6.3
4	47.5	-16.5	7.1
5	50	-11.4	6.4
6	5	5	6.5
7	10	16.5	6.6
8	30	16.5	6.7
9	47.5	16.5	7.2
10	50	11.4	7.3
11	46.2	16.5	6.8

Tabla 5.6 – Puntos PQ definitivos

Cabe mencionar que la curva de capacidad es la misma para el rango de tensiones comprendido entre 0.9 p.u. y 1.1 p.u.



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 (5.0 MW, -5.0 MVar)

6.1.1 Control de Tensión

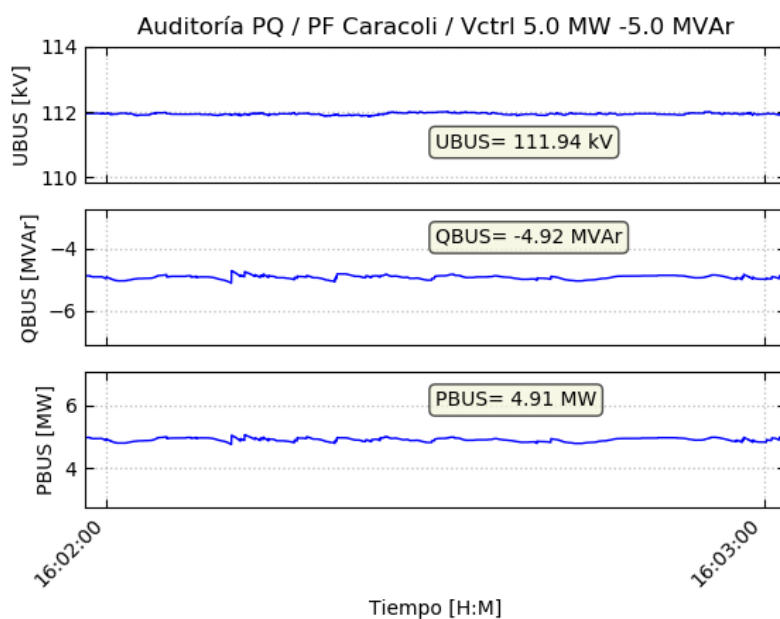


Figura 6.1 – Registro Control de Tensión



6.1.2 Control de Potencia Reactiva

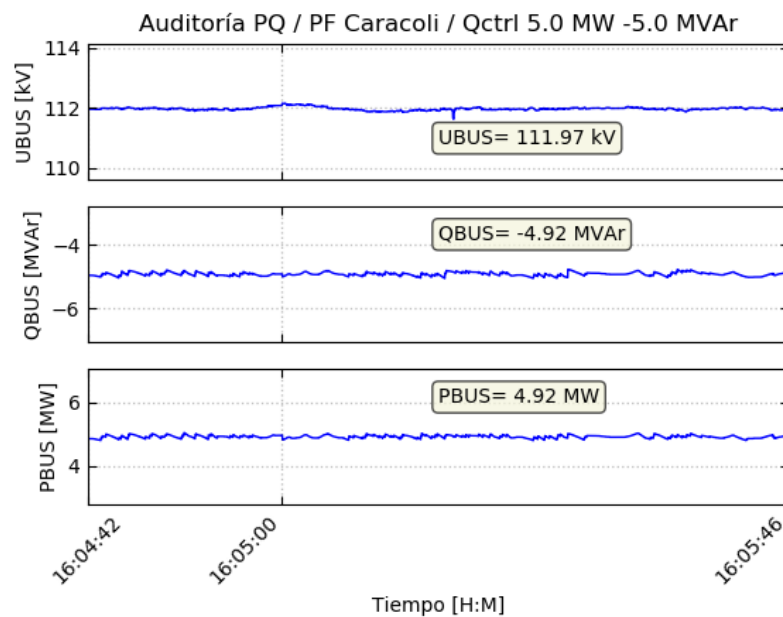


Figura 6.2 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.1.3 Control de Factor de Potencia

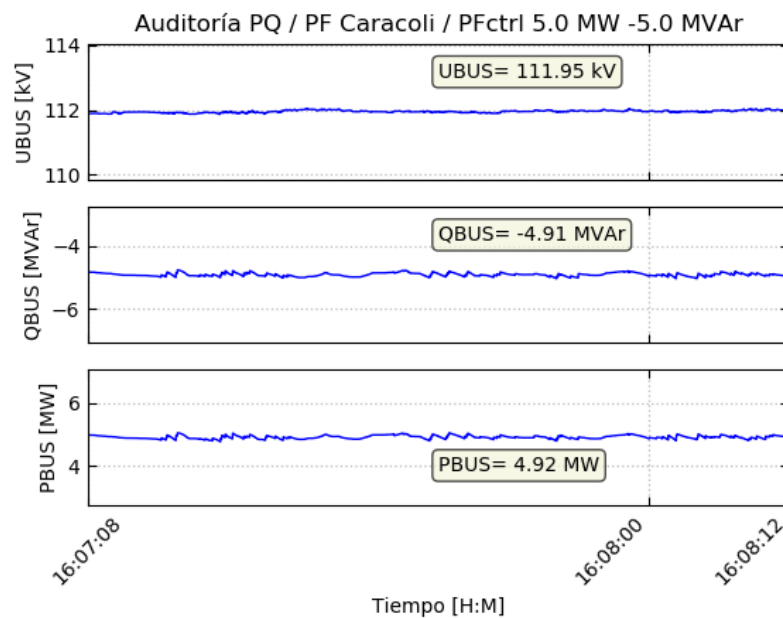


Figura 6.3 – Registro Control de Factor de Potencia



6.2 Tendencias – Punto 2 (10.0 MW, -16.5 MVar)

6.2.1 Control de Tensión

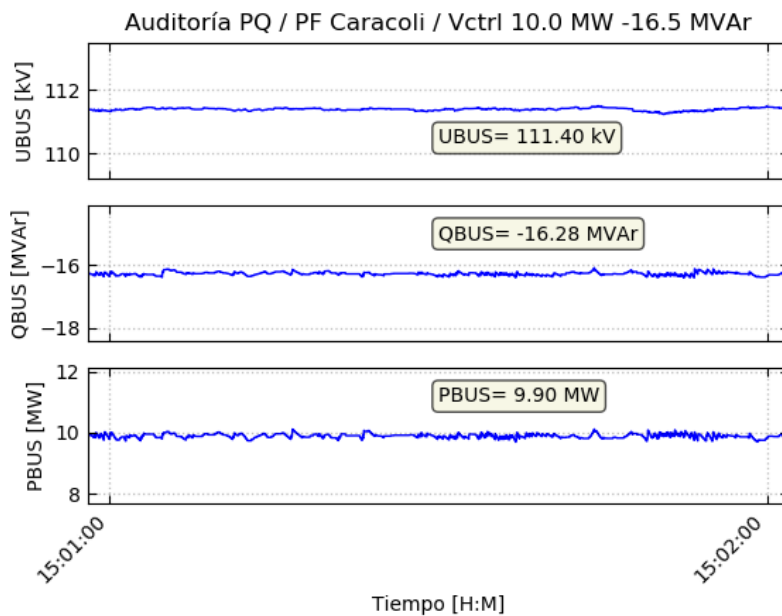


Figura 6.4 – Registro Control de Tensión

6.2.2 Control de Potencia Reactiva

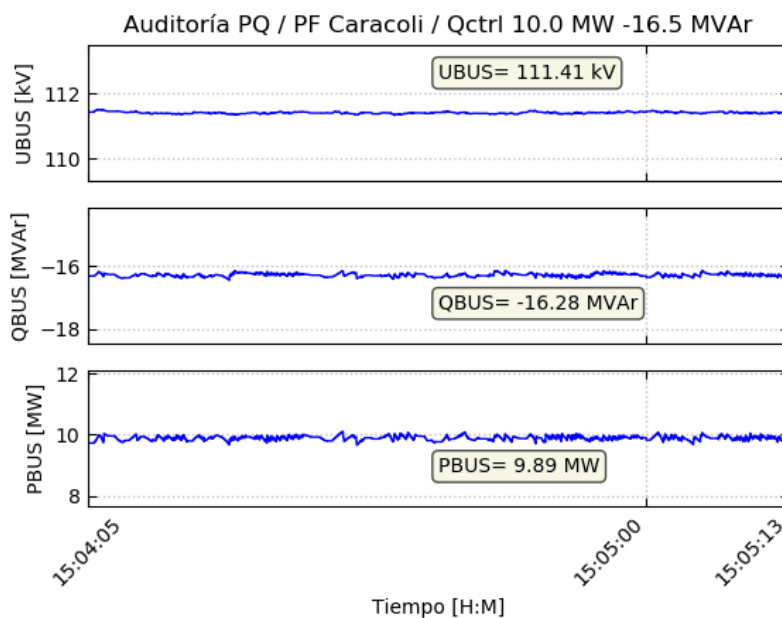


Figura 6.5 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.2.3 Control de Factor de Potencia

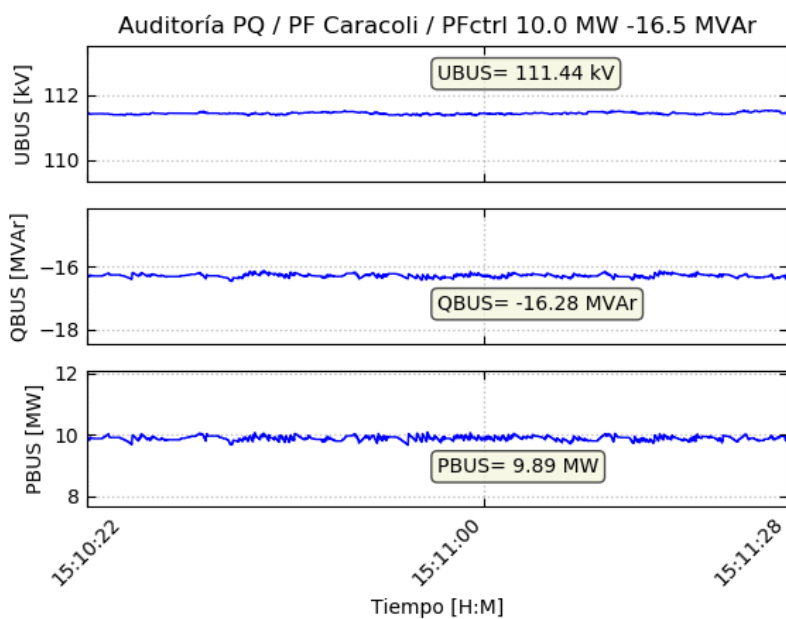


Figura 6.6 – Registro Control de Factor de Potencia



6.3 Tendencias – Punto 3 (30.0 MW, -16.5 MVar)

6.3.1 Control de Tensión

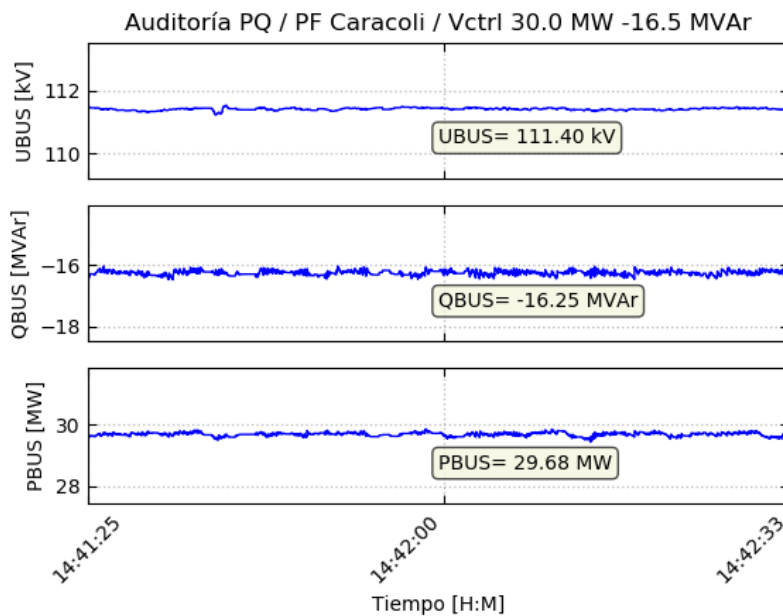


Figura 6.7 – Registro Control de Tensión

6.3.2 Control de Potencia Reactiva

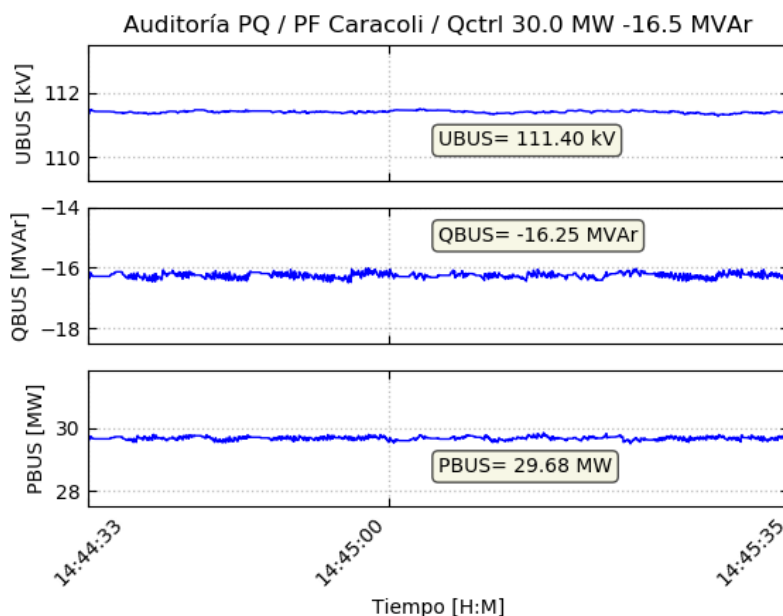


Figura 6.8 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.3.3 Control de Factor de Potencia

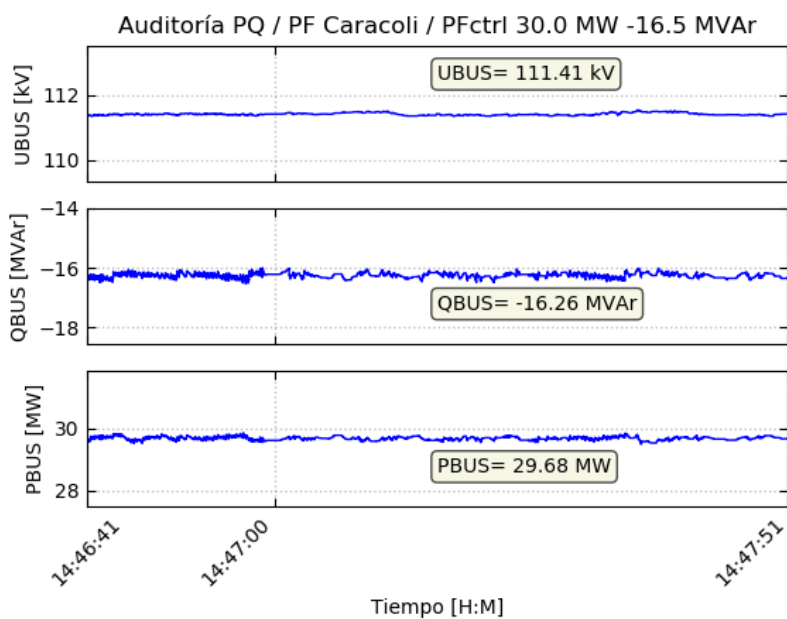


Figura 6.9 – Registro Control de Factor de Potencia



6.4 Tendencias – Punto 5 (50.0 MW, -11.4 MVar)

6.4.1 Control de Tensión

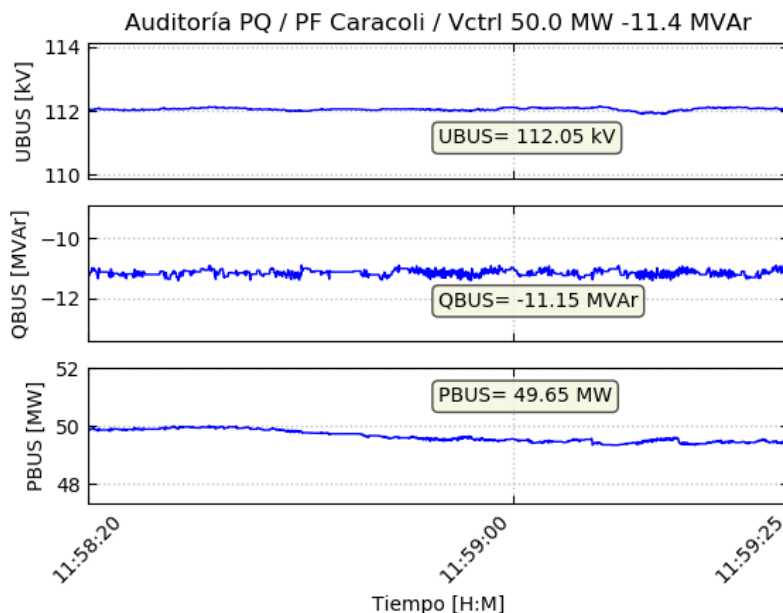


Figura 6.10 – Registro Control de Tensión

6.4.2 Control de Potencia Reactiva

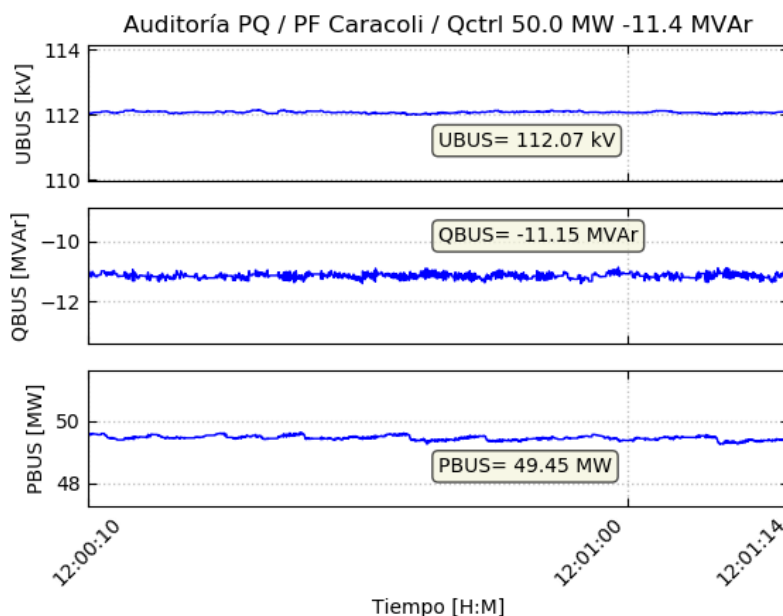


Figura 6.11 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.4.3 Control de Factor de Potencia

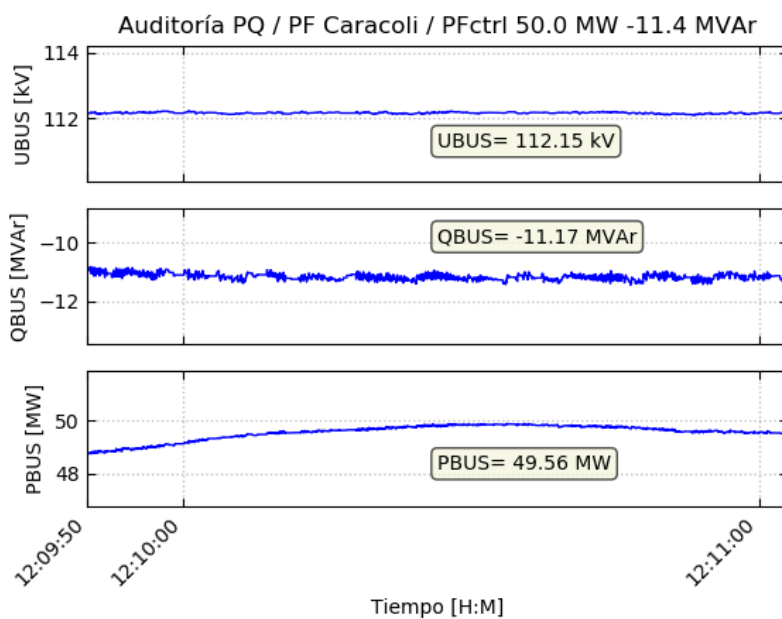


Figura 6.12 – Registro Control de Factor de Potencia



6.5 Tendencias – Punto 6 (5.0 MW, 5.0 MVar)

6.5.1 Control de Tensión

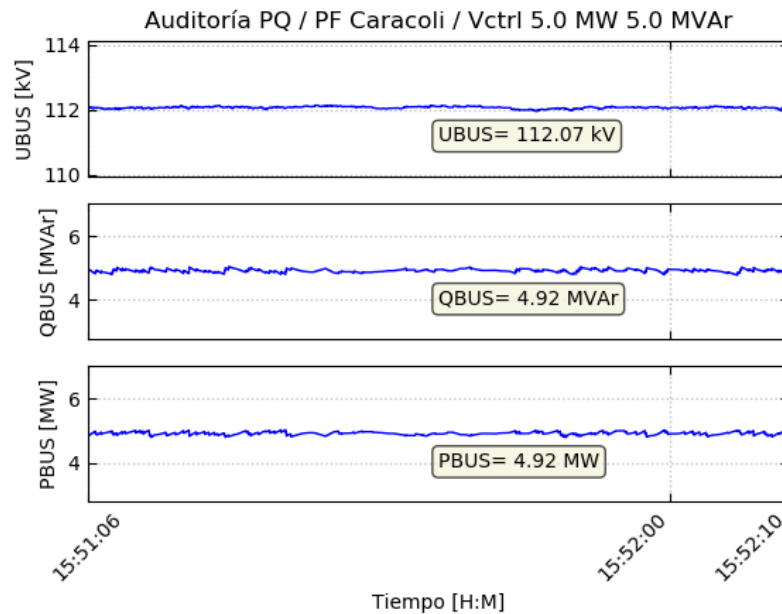


Figura 6.13 – Registro Control de Tensión

6.5.2 Control de Potencia Reactiva

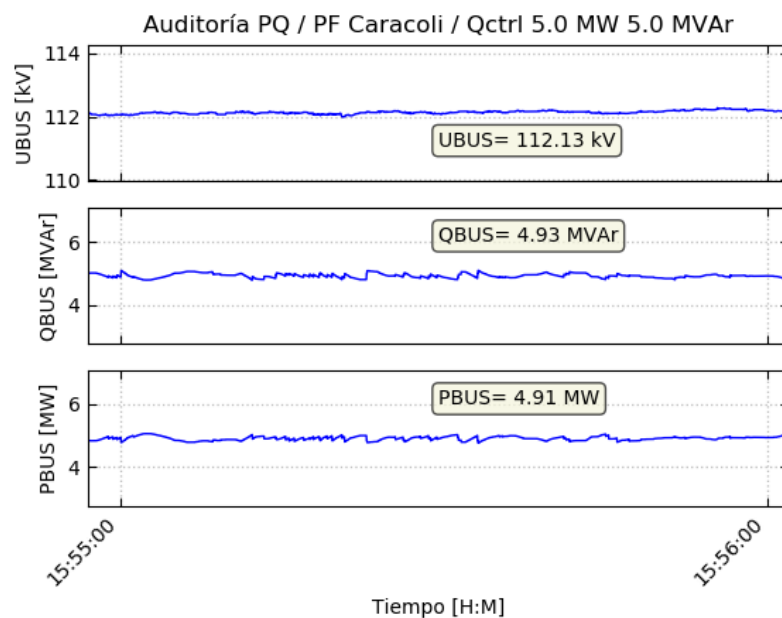


Figura 6.14 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.5.3 Control de Factor de Potencia

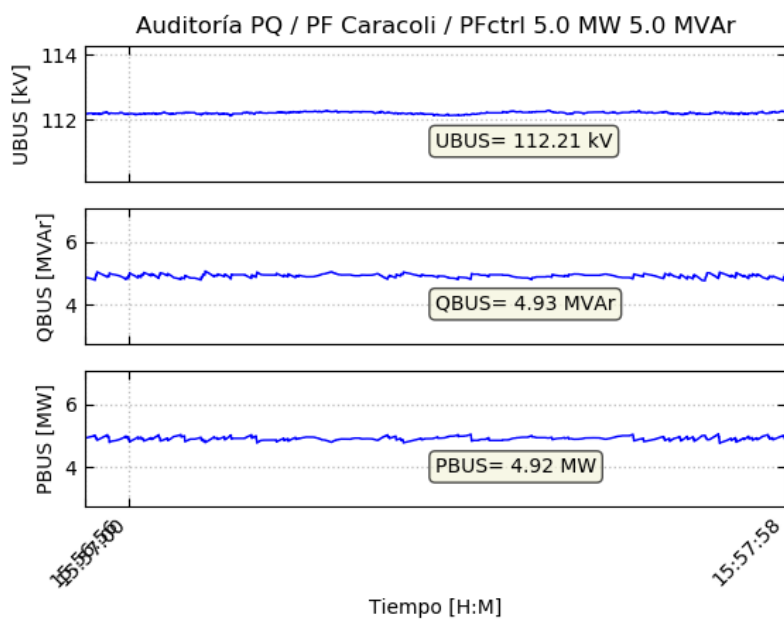


Figura 6.15 – Registro Control de Factor de Potencia



6.6 Tendencias – Punto 7 (10.0 MW, 16.5 MVar)

6.6.1 Control de Tensión

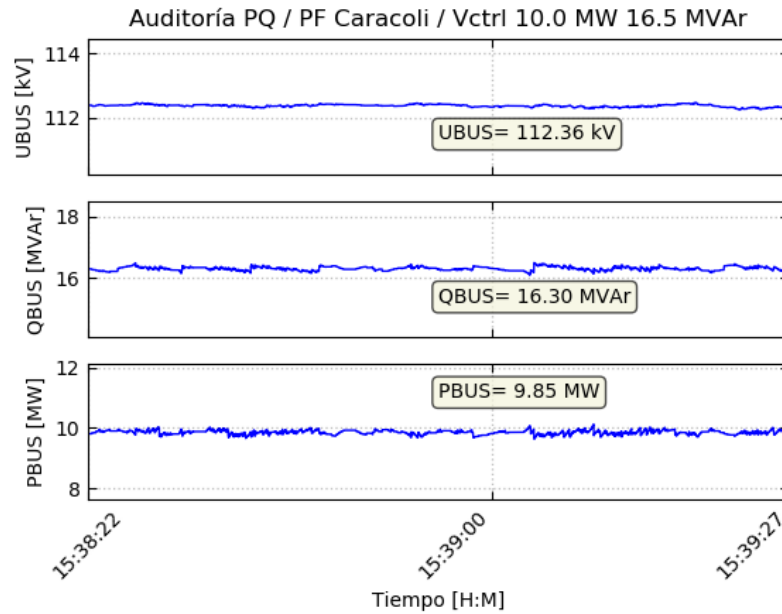


Figura 6.16 – Registro Control de Tensión

6.6.2 Control de Potencia Reactiva

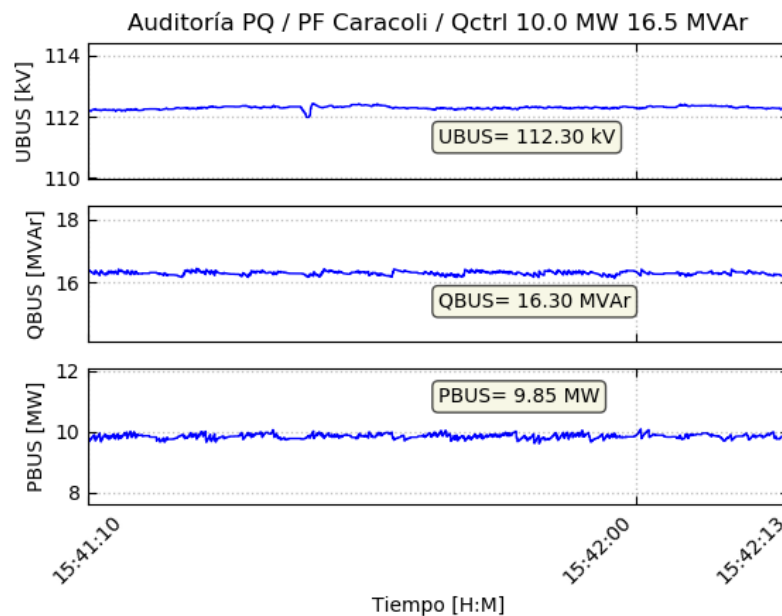


Figura 6.17 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.6.3 Control de Factor de Potencia

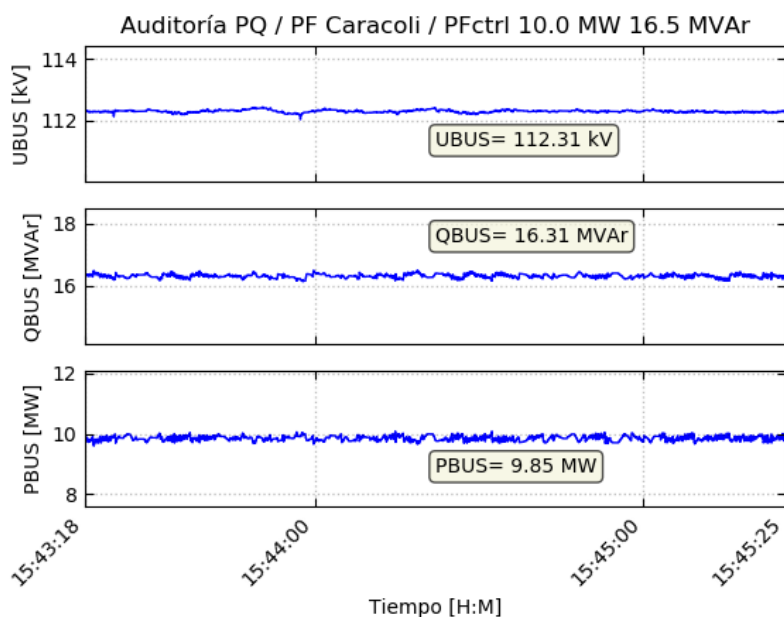


Figura 6.18 – Registro Control de Factor de Potencia



6.7 Tendencias – Punto 8 (30 MW, 16.5 MVar)

6.7.1 Control de Tensión

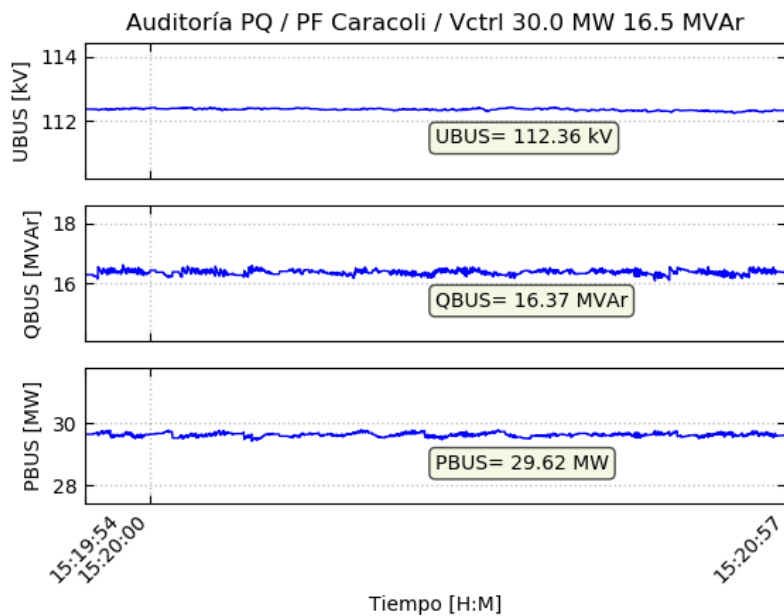


Figura 6.19 – Registro Control de Tensión

6.7.2 Control de Potencia Reactiva

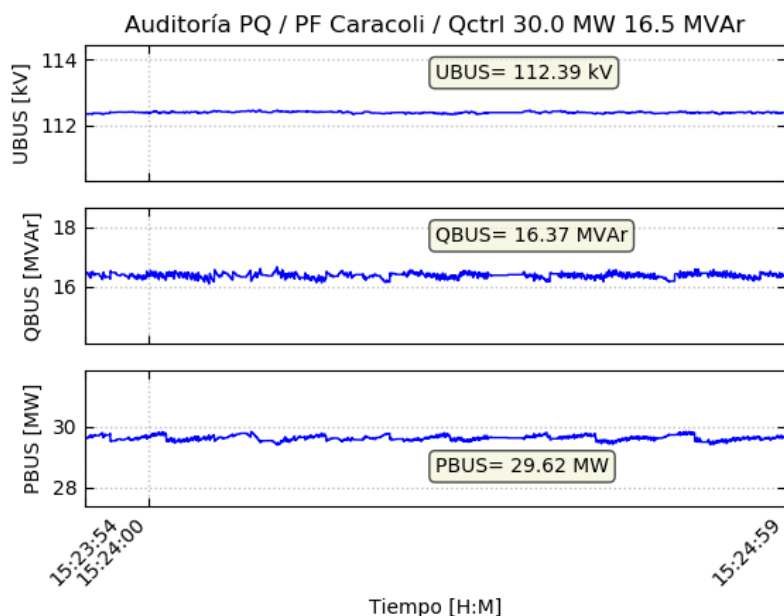


Figura 6.20 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.7.3 Control de Factor de Potencia

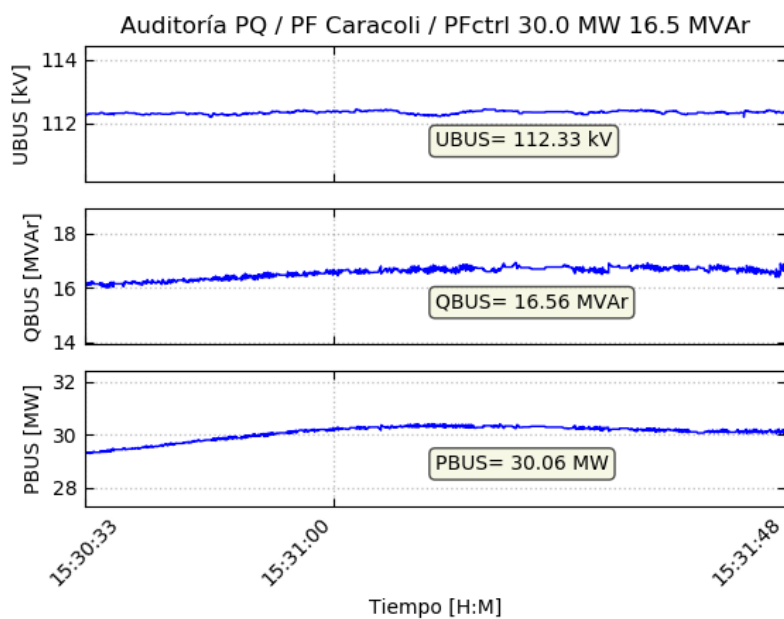


Figura 6.21 – Registro Control de Factor de Potencia



6.8 Tendencias –Punto 11 Adicional (PBUS > 90 % Pnom)

6.8.1 Control de Tensión

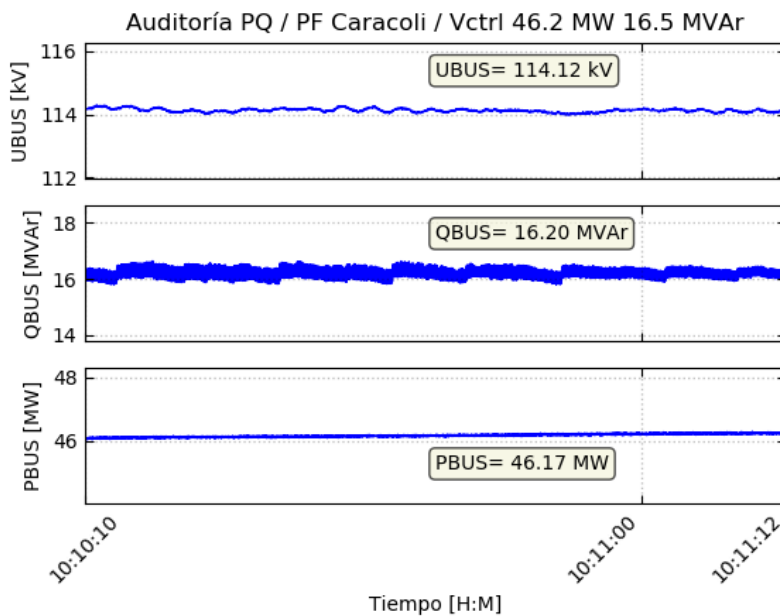


Figura 6.22 – Registro Control de Tensión

6.8.2 Control de Potencia Reactiva

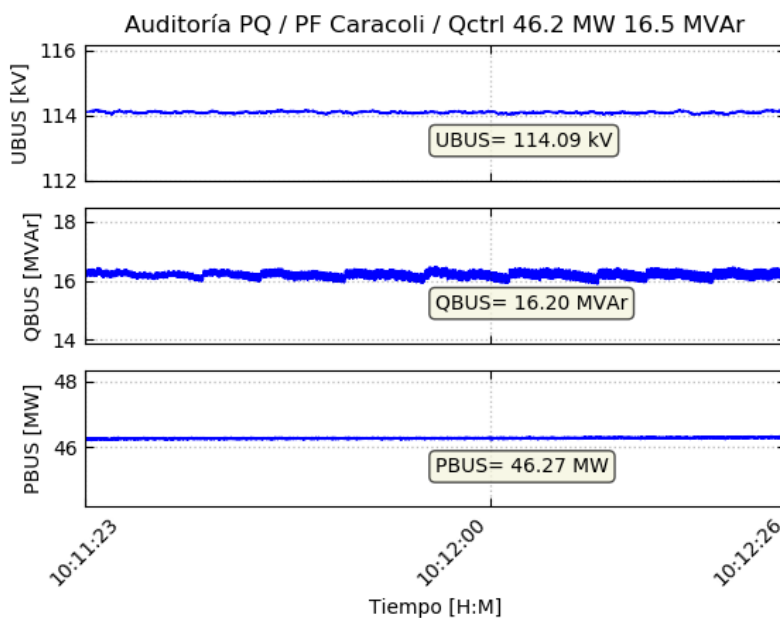


Figura 6.23 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.8.3 Control de Factor de Potencia

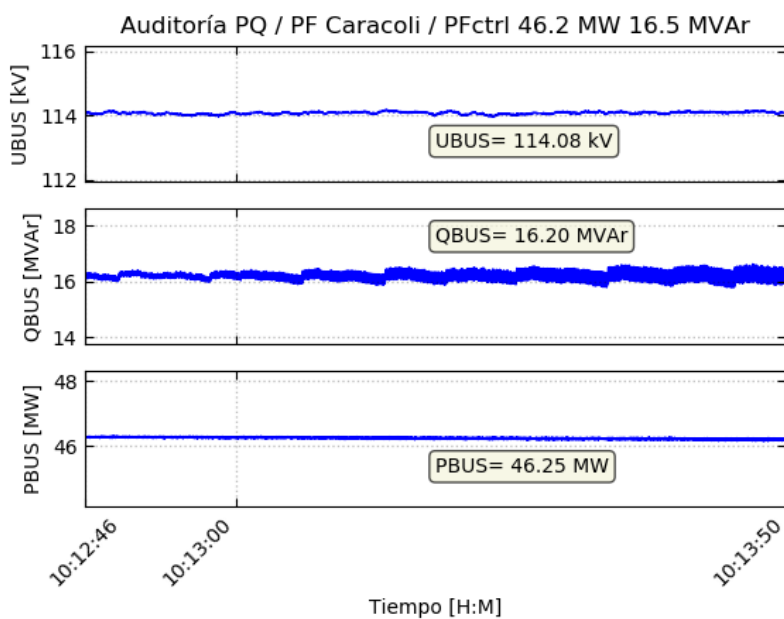


Figura 6.24 – Registro Control de Factor de Potencia



7 REGISTROS HISTÓRICOS

7.1 Tendencias – Punto 4 (47.5 MW, -16.5 MVar)

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

7.1.1 Control de Tensión

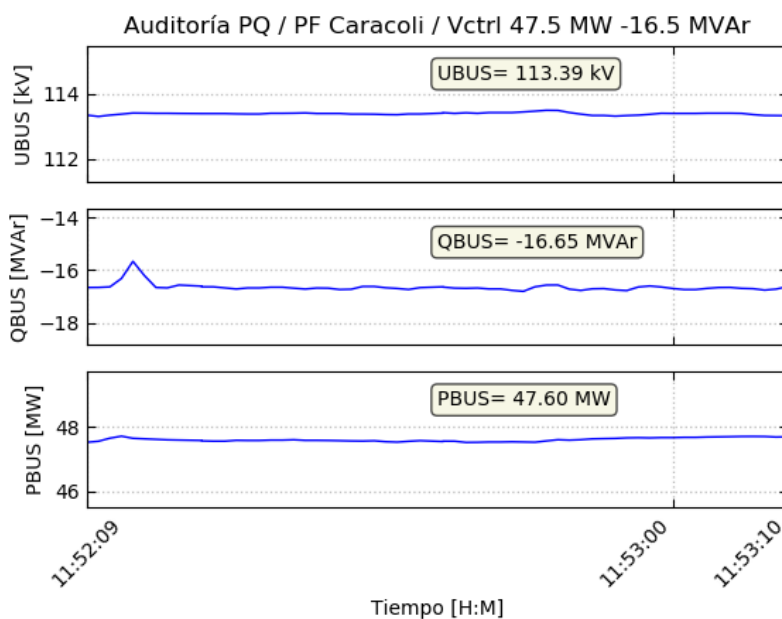


Figura 7.1 – Registro Control de Tensión



7.2 Tendencias – Punto 9 (47.5 MW, 16.5 MVar)

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

7.2.1 Control de Tensión

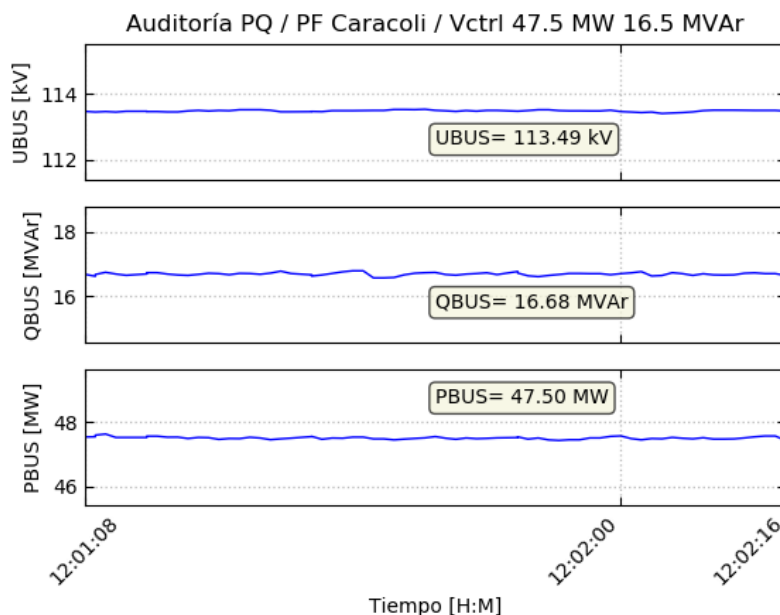


Figura 7.2 – Registro Control de Tensión



7.3 Tendencias – Punto 10 (50.0 MW, 11.4 MVar)

Se acude a figura de auditoria bajo registros históricos debido a que, durante el desarrollo de las pruebas con auditor en campo, se logra auditar únicamente en control de tensión por falta de recurso primario.

7.3.1 Control de Tensión

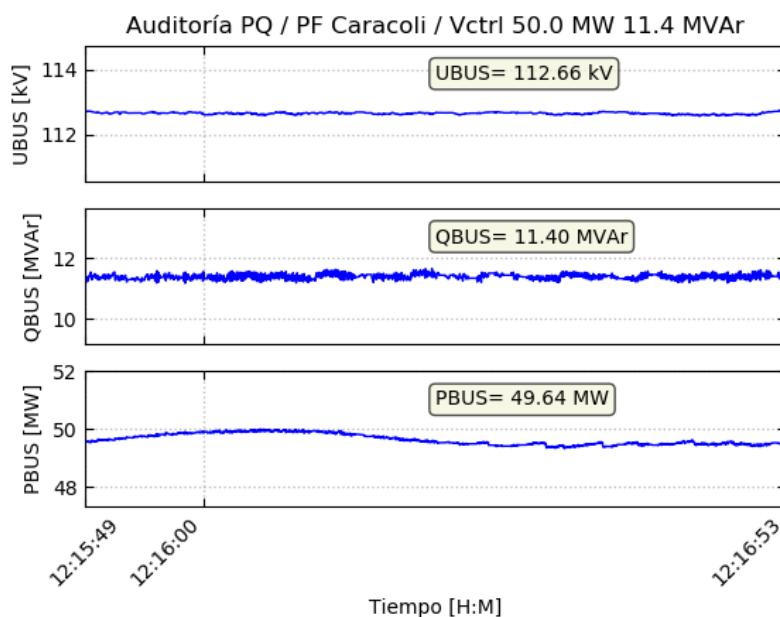


Figura 7.3 – Registro Control de Tensión



8 CONCLUSIONES

El Parque Solar Caracolí 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 1869. 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 diez (10) puntos de la curva PQ auditados fueron probados y se declaran CONFORMES.
- Se presentan registros auditados en planta hasta una potencia activa de 50 MW, es decir 100% de la potencia nominal, para el caso de absorción y hasta una potencia activa de 46.2 MW, es decir 92 % de la potencia nominal, para el caso inyección. Se complementa con registros históricos remitidos por el cliente en operación normal para los puntos del 95% de la potencia activa nominal de la planta y para el punto del 100% de la potencia activa en el caso de inyección.
- 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 Caracolí:

CUMPLE CON LA CURVA DE CAPACIDAD DECLARADA

Nombre de la Empresa: ESTUDIOS ELÉCTRICOS SA

Nombre del Auditor: Ing. Claudio Celman

Fecha: 26/09/2024

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 1869, 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 1869, 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 Schneider Electric

PowerLogic™

70052-0225-12

Certificate of Compliance and Calibration			
Schneider Electric certifies that the PowerLogic™ product listed below meets the published specifications and has been calibrated and tested using equipment and standards traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) in the US or the National Research Council of Canada (NRC).			
Model	Part #	Serial #	Calibration Date
ION8650	M8650C4C0H6E1A0A	MW-2210A129-02	08-Oct-2022
AUTOMATED TESTING	• Power supply levels tested and adjusted on variable power supply units • Communications verified • Unit ID and serial number programmed • Voltage and current inputs calibrated • Aux I/O calibrated and tested (if applicable) • Required software options programmed • Calibration constants saved to external file (if applicable)		
FINAL TESTING AND INSPECTION	• Serial number verified • Firmware version verified • LCD/Keypad functionality checked (if applicable) • Memory checked • Calibration verified • Software options downloaded and verified (if applicable) • Applicable counters and registers cleared • Dielectric Withstand Test Passed		
TEST EQUIPMENT USED TO CALIBRATE METER (If Applicable)	Model	Serial #	Test Equipment Calibration Due Date
	Radian RD-33-231	300788	22-May-2023
 Alexander Stoettner Quality Manager			

Quality System
Certified to ISO 9001



PowerLogic is a trademark of Schneider Electric.

Figura 8.2. – Certificado de calibración ION8650



PowerLogic™

70052-0224-05

Certificate of Compliance and Verification

Model ION8650
Part # M8650C4C0H6E1A0A
Serial # MW-2210A129-02

The following data contains the energy test results verifying the accuracy of the above meter at the time this test was performed.

The meter has been factory tested in accordance with **Schneider Electric's** verification procedures on equipment that is traceable to either **N.I.S.T.** (US) or **N.R.C.** (Canadian) standards.

Accuracy Data

Step	acc	volt_a	volt_b	volt_c	pab	pac	amp_a	amp_b	amp_c	ph_a	ph_b	ph_c
1	100.011	120.00	120.00	120.00	120	240	0.010	0.010	0.010	0	120	240
2	100.017	120.00	120.00	120.00	120	240	0.020	0.020	0.020	0	120	240
3	99.999	120.00	120.00	120.00	120	240	0.250	0.250	0.250	0	120	240
4	99.991	120.00	120.00	120.00	120	240	0.250	0.250	0.250	60	180	300
5	100.002	120.00	120.00	120.00	120	240	1.000	1.000	1.000	0	120	240
6	100.012	120.00	120.00	120.00	120	240	1.000	1.000	1.000	60	180	300
7	100.002	120.00	120.00	120.00	120	240	2.500	2.500	2.500	0	120	240
8	100.012	120.00	120.00	120.00	120	240	2.500	2.500	2.500	60	180	300
9	100.003	120.00	120.00	120.00	120	240	5.000	5.000	5.000	0	120	240
10	100.025	120.00	120.00	120.00	120	240	5.000	5.000	5.000	60	180	300
11	100.019	120.00	120.00	120.00	120	240	10.000	10.000	10.000	60	180	300
12	100.004	120.00	120.00	120.00	120	240	10.000	10.000	10.000	0	120	240
13	99.995	120.00	120.00	120.00	120	240	15.000	15.000	15.000	60	180	300
14	99.988	120.00	120.00	120.00	120	240	20.000	20.000	20.000	60	180	300

Quality System
Certified to ISO 9001



PowerLogic is a trademark of Schneider Electric.

Figura 8.3. – Certificado de calibración ION8650



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.