

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Enel Colombia S.A. E.S.P.
Colombia
Parque Fotovoltaico Guayepo
Informe - Auditoría Curva de
capacidad acuerdo CNO 1869



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2021-055
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-1677
REVISIÓN B

24 oct. 24



Este documento **EE-EN-2024-1677-RB** 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 14/11/2024 por Gerardo Guzmán; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	24.10.2024	Para presentar.	GG	CC	PR
B	14.11.2024	Comentarios XM	GG	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.....	10
	3.1 Equipo de medición	10
4	CÁLCULO DE ERRORES.....	11
	4.1 Analizador de redes Elspec Pure.....	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
	5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento.....	19
	5.4.1 Detalle de la región de absorción.....	19
	5.4.2 Detalle de la región de inyección.....	21
	5.5 Curva de capacidad definitiva	23
6	REGISTRO DE ENSAYOS.....	25
	6.1 Tendencias – Punto 1 (5.00 MW, -18.50 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 (37.00 MW, -37.00 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 (74.00 MW, -122.10 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 4 (185.00 MW, -122.10 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 5 (351.50 MW, -122.10 MVar)	33
6.5.1	Control de Tensión	33
6.6	Tendencias – Punto 7 (5.00 MW, 18.50 MVar)	34
6.6.1	Control de Tensión	34
6.6.2	Control de Potencia Reactiva	35
6.6.3	Control de Factor de Potencia.....	35
6.7	Tendencias – Punto 8 (37.00 MW, 37.00 MVar).....	36
6.7.1	Control de Tensión	36
6.7.2	Control de Potencia Reactiva	37
6.7.3	Control de Factor de Potencia.....	37
6.8	Tendencias – Punto 9 (74.00 MW, 122.10 MVar)	38
6.8.1	Control de Tensión	38
6.8.2	Control de Potencia Reactiva	39
6.8.3	Control de Factor de Potencia.....	39
6.9	Tendencias – Punto 10 (185.00 MW, 122.10 MVar)	40
6.9.1	Control de Tensión	40
6.9.2	Control de Potencia Reactiva	41
6.9.3	Control de Factor de Potencia.....	41
6.10	Tendencias – Punto 11 (351.50 MW, 122.10 MVar) 42	
6.10.1	Control de Tensión	42
6.10.2	Control de Potencia Reactiva	43
6.10.3	Control de Factor de Potencia.....	43
6.11	Tendencias – Punto 13 (334.00 MW, -122.10 MVar) 44	
6.11.1	Control de Tensión	44
6.11.2	Control de Potencia Reactiva	44
6.11.3	Control de Factor de Potencia.....	45
6.12	Tendencias – Punto 14 (334.00 MW, 122.10 MVar) 46	



	6.12.1 Control de Tensión	46
	6.12.2 Control de Potencia Reactiva	47
	6.12.3 Control de Factor de Potencia	47
7	VERIFICACIÓN LIMITACIÓN EN MÍNIMO TÉCNICO	48
8	SIMULACIONES	50
	8.1 Simulación – Punto 5 (351.50 MW, -122.10 MVar)	52
	8.1.1 Control de Potencia Reactiva	52
	8.1.2 Control de Factor de Potencia	52
	8.2 Simulación – Punto 6 (370.00 MW, -84.36 MVar)	53
	8.2.1 Control de Tensión	53
	8.2.2 Control de Potencia Reactiva	53
	8.2.3 Control de Factor de Potencia	54
	8.3 Simulación – Punto 12 (370.00 MW, 84.36 MVar)	55
	8.3.1 Control de Tensión	55
	8.3.2 Control de Potencia Reactiva	55
	8.3.3 Control de Factor de Potencia	56
9	CONCLUSIONES	57
8.	ANEXOS	58
	8.1. Procedimiento de ensayos	58
	8.1.1. Verificación de la Curva en la Región de absorción de potencia reactiva	58
	8.1.2. Verificación de la Curva en la Región de entrega de potencia reactiva	60
	8.2. Certificados de calibración	62
	8.2.1. Analizador de redes Elspec Pure	62



1 INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta los resultados obtenidos en la auditoría de verificación de la curva de capacidad realizada en el Parque Fotovoltaico Guayepo. Dichas pruebas fueron realizadas los días 4, 5 y 6 de octubre de 2024, por la empresa auditora ESTUDIOS ELÉCTRICOS, 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 Sabanalarga en 500 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 Fotovoltaico Guayepo, propiedad de Enel Colombia S.A. E.S.P., se encuentra ubicado en el municipio de Ponedera, departamento del Atlántico, Colombia y posee una potencia instalada en DC (de sus siglas en inglés 'Direct Current') de 412.5 MW con una capacidad efectiva neta de 370 MW.

El parque dispone de 132 inversores fotovoltaicos Sungrow MV Turnkey Station de capacidad. Los inversores están conectados a unidades transformadoras, cada una equipada con un transformador de bloque tridevanado de 6.25 MVA de capacidad nominal y con relación de transformación 0.6/0.6/33 kV que interconecta la salida en baja tensión de dos inversores con la red de media tensión. La red colectora del parque está compuesta por veintitrés alimentadores en 33 kV que colectan la potencia generada por los inversores del parque. El parque se conecta al sistema mediante la subestación Sabanalarga 500kV.

Los datos de la central ensayada son los siguientes:

Parque Fotovoltaico Guayepo		
Potencia Pico	412.90	MWp
Potencia en el POI	370.00	MW
Mínimo técnico	5.00	MW
Rango	365.00	MW
Inversores	Sungrow MV Turnkey Station	-

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 1869.

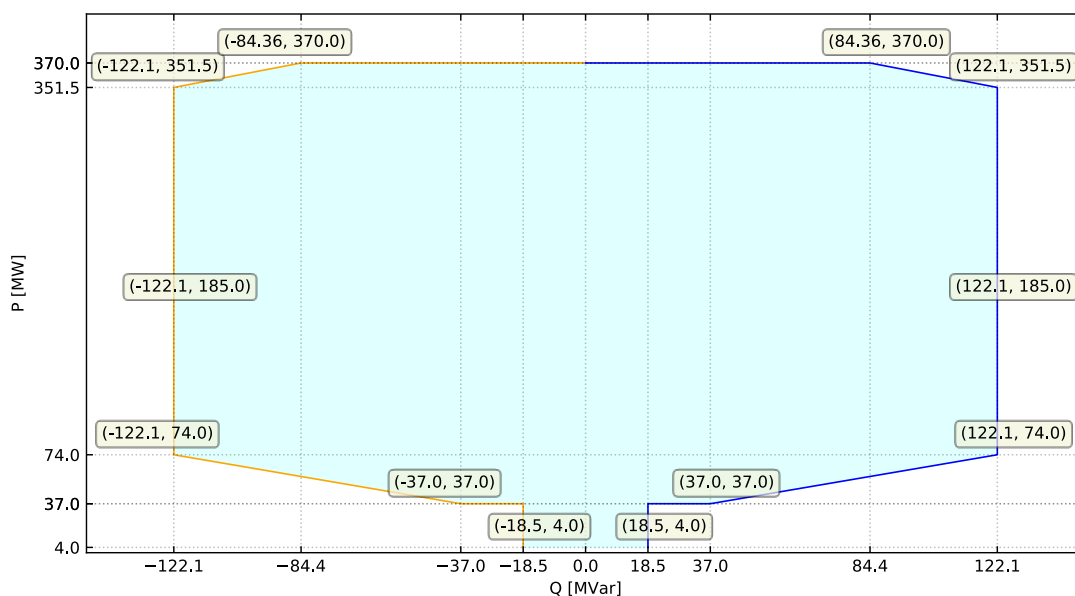


Figura 2.1 – Curva de Capacidad a auditar – PF Guayepo

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.

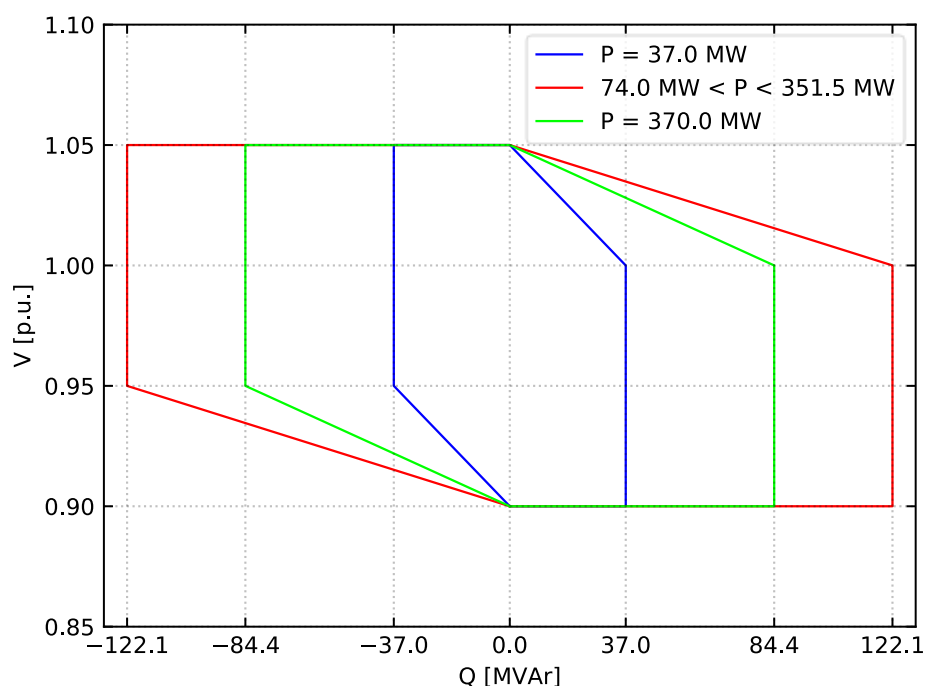


Figura 2.2 – Curva Q-V – Acuerdo 1546



Puntos Objetivos	Región	Potencia Activa POI [MW]	Potencia Reactiva POI [MVar]
1	Absorción	4.00	-18.50
2	Absorción	37.00	-37.00
3	Absorción	74.00	-122.10
4	Absorción	185.00	-122.10
5	Absorción	351.50	-122.10
6	Absorción	370.00	-84.36
7	Inyección	4.00	18.50
8	Inyección	37.00	37.00
9	Inyección	74.00	122.10
10	Inyección	185.00	122.10
11	Inyección	351.50	122.10
12	Inyección	370.00	84.36

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
Analizador de redes	Elspec	Pure	00.60.35.2A.A3.6B	±0.2% Potencia Activa ±2% Potencia Reactiva
CT's	Elementos de Planta			0.2S
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 Sabanalarga 500 kV	$500/\sqrt{3} : 0.110/\sqrt{3}$ kV	Analizador de redes Elspec Pure
Corrientes en el Punto de conexión SE Sabanalarga 500 kV	625:1 A	Analizador de redes Elspec Pure

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 0.2S, relación 625 : 1 A
- PT: clase 0.2, relación $500/\sqrt{3}$: $0.110/\sqrt{3}$ kV.
- Analizador de redes Elspec Pure: 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 Analizador de redes Elspec Pure

- 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:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.0026 \times 625 \text{ A} \times 500000 \text{ V} = 1.407 \text{ MW}$$



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:

$$E_r = \sqrt{2^2 + 0.1155^2 + 0.1155^2} = 2.01 \%$$

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:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 2.01 \times 625 \text{ A} \times 500000 \text{ V} = 5.413 \text{ MVar}$$

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 la verificación del equipo de adquisición en el punto donde es declarada la curva de capacidad de la central (Punto de Conexión en S/E Sabanalarga 500 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 5.1, Tabla 5.2 y Tabla 5.3 resumen las condiciones y resultados de los registros utilizados para la auditoría de potencia reactiva en los tres modos de control. Cabe destacar que, debido a la disponibilidad de recurso primario, no fue posible alcanzar los puntos de 95% de la potencia nominal en los modos de control de potencia reactiva y factor de potencia en el lado de absorción y los puntos del 100% de la potencia nominal en los tres modos de control en presencia del auditor (puntos 5, 6, 11 y 12 de la sección 2.1). Durante los intentos realizados se alcanzaron puntos superiores al 90% de la potencia nominal.

Debido a que a la fecha de emisión del presente informe no se cuenta con registros operativos de los puntos por encima del 90%, en la sección 8 se incluye la ficha técnica con la curva de capacidad proporcionada por el fabricante de los inversores junto con simulaciones que demuestran que la planta alcanza dichos puntos dando cumplimiento al caso 3 requerido en el anexo 1 del acuerdo CNO 1869 para considerar como exitosas las pruebas.

Durante las pruebas se detectó un comportamiento intermitente de encendido y apagado en los inversores al operar en el mínimo técnico de 4 MW. Según la recomendación del fabricante, se efectuaron pruebas de sensibilidad para identificar la potencia mínima en la que la planta pueda funcionar de forma estable con el 100% de los inversores en operación. Los resultados indican que el valor óptimo para asegurar la estabilidad es de 5 MW, siendo este el mínimo técnico a declarar como definitivo.

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

- Anexo2_acuerdo_1869_Guayepo.xlsx
- anexo2_acuerdo_1869_Guayepo_1.xlsx
- anexo2_acuerdo_1869_Guayepo_2.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	4 oct 04:52 p.m.	5.00	-18.50	-18.50	4.96	-18.40	504.312	1.009	Límite planta	SI
2	4 oct 03:39 p.m.	37.00	-37.00	-37.00	37.39	-37.93	502.836	1.006	Límite planta	SI
3	4 oct 08:29 a.m.	74.00	-122.10	-122.10	74.28	-122.13	500.102	1.000	Límite planta	SI
4	4 oct 08:04 a.m.	185.00	-122.10	-122.10	185.61	-122.14	500.114	1.000	Límite planta	SI
5	4 oct 02:08 p.m.	351.00	-122.10	-122.10	347.68	-122.11	497.045	0.994	Límite planta	SI
6 ¹	-	370.00	-84.36	-	-	-	-	-	-	-
7	4 oct 04:35 p.m.	5.00	18.50	14.43	5.02	13.43	505.316	1.011	Límite planta	SI
8	4 oct 03:21 p.m.	37.00	37.00	29.60	37.66	29.48	505.088	1.010	Límite planta	SI
9	4 oct 03:55 p.m.	74.00	122.10	85.47	74.41	85.13	507.591	1.015	Límite planta	SI
10	5 oct 11:11 a.m.	185.00	122.10	83.03	184.64	85.02	508.083	1.016	Límite planta	SI
11	5 oct 11:41 a.m.	351.50	122.10	83.03	349.55	87.61	507.781	1.016	Límite planta	SI
12 ¹	-	370.00	-	-	-	-	-	-	-	-
13 ²	4 oct 10:16 a.m.	334.00	-122.10	-122.10	336.63	-122.12	498.186	0.996	Límite planta	SI
14 ²	4 oct 11:03 a.m.	334.00	122.10	87.91	333.73	90.19	506.962	1.014	Límite planta	SI

Tabla 5.1 – Tabla de resultados modo control de Tensión.

¹ Punto demostrado mediante simulación con el modelo preliminar.

² Punto auditado por encima del 90%.



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	4 oct 04:56 p.m.	5.00	-18.50	-18.50	5.00	-18.43	504.480	1.009	Límite planta	SI
2	4 oct 03:42 p.m.	37.00	-37.00	-37.00	37.41	-37.96	502.882	1.006	Límite planta	SI
3	4 oct 08:32 a.m.	74.00	-122.10	-122.10	74.36	-122.19	499.921	1.000	Límite planta	SI
4	4 oct 08:09 a.m.	185.00	-122.10	-122.10	185.60	-122.17	500.097	1.000	Límite planta	SI
5 ¹	-	351.50	-122.10	-	-	-	-	-	-	-
6 ¹	-	370.00	-84.36	-	-	-	-	-	-	-
7	4 oct 04:38 p.m.	5.00	18.50	14.43	5.00	14.33	505.352	1.011	Límite planta	SI
8	4 oct 03:24 p.m.	37.00	37.00	29.60	37.52	29.68	504.939	1.010	Límite planta	SI
9	4 oct 03:58 p.m.	74.00	122.10	83.03	74.12	84.99	507.818	1.016	Límite planta	SI
10	5 oct 11:14 a.m.	185.00	122.10	83.03	184.86	84.10	507.986	1.016	Límite planta	SI
11	5 oct 11:44 a.m.	351.50	122.10	85.47	350.26	85.40	507.641	1.015	Límite planta	SI
12 ¹	-	370.00	84.36	-	-	-	-	-	-	-
13 ²	4 oct 10:19 a.m.	334.00	-122.10	-122.10	337.10	-122.23	498.172	0.996	Límite planta	SI
14 ²	4 oct 11:07 a.m.	334.00	122.10	90.35	333.74	89.69	506.651	1.013	Límite planta	SI

Tabla 5.2 – Tabla de resultados modo control de Potencia Reactiva.

¹ Punto demostrado mediante simulación con el modelo preliminar.

² Punto auditado por encima del 90%.



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	4 oct 04:59 p.m.	5.00	-18.50	-18.50	5.01	-18.43	504.538	1.009	Límite planta	SI
2	4 oct 03:44 p.m.	37.00	-37.00	-37.00	37.43	-37.88	502.886	1.006	Límite planta	SI
3	4 oct 08:38 a.m.	74.00	-122.10	-122.10	74.36	-122.18	499.597	0.999	Límite planta	SI
4	4 oct 08:13 a.m.	185.00	-122.10	-122.10	185.63	-122.16	500.175	1.000	Límite planta	SI
5 ¹	-	351.50	-122.10	-	-	-	-	-	-	-
6 ¹	-	370.00	-84.36	-	-	-	-	-	-	-
7	4 oct 04:43 p.m.	5.00	18.50	14.43	4.97	14.26	505.476	1.011	Límite planta	SI
8	4 oct 03:27 p.m.	37.00	37.00	29.60	37.59	29.73	505.151	1.010	Límite planta	SI
9	4 oct 04:01 p.m.	74.00	122.10	83.03	74.13	84.99	507.888	1.016	Límite planta	SI
10	5 oct 11:17 a.m.	185.00	122.10	83.03	184.65	84.38	507.954	1.016	Límite planta	SI
11	5 oct 11:50 a.m.	351.50	122.10	83.03	349.84	85.44	507.89	1.016	Límite planta	SI
12 ¹	-	370.00	84.36	-	-	-	-	-	-	-
13 ²	4 oct 10:22 a.m.	334.00	-122.10	-122.10	336.58	-122.13	498.242	0.996	Límite planta	SI
14 ²	4 oct 11:10 a.m.	334.00	122.10	87.91	333.70	90.13	506.790	1.014	Límite planta	SI

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

¹ Punto demostrado mediante simulación con el modelo preliminar.

² Punto auditado por encima del 90%.



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.

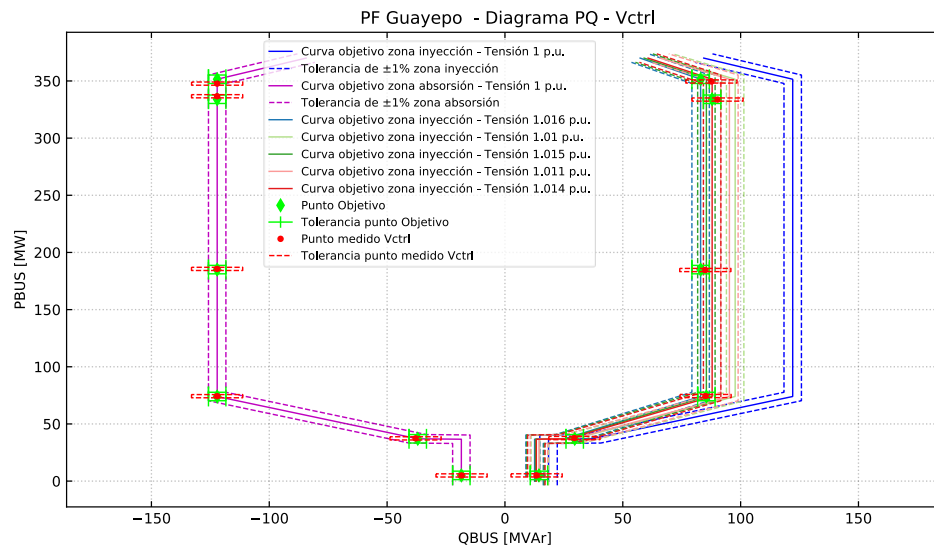


Figura 5.1 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control tensión

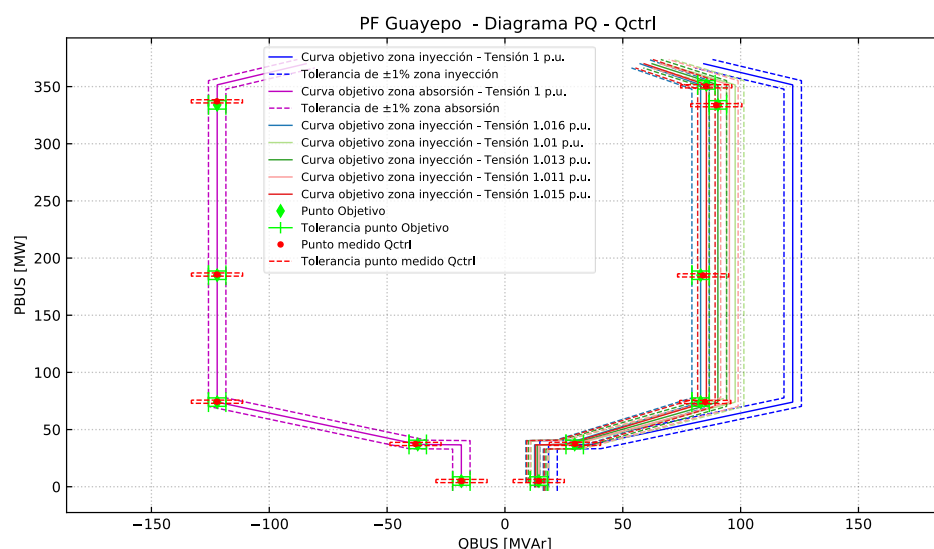


Figura 5.2 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

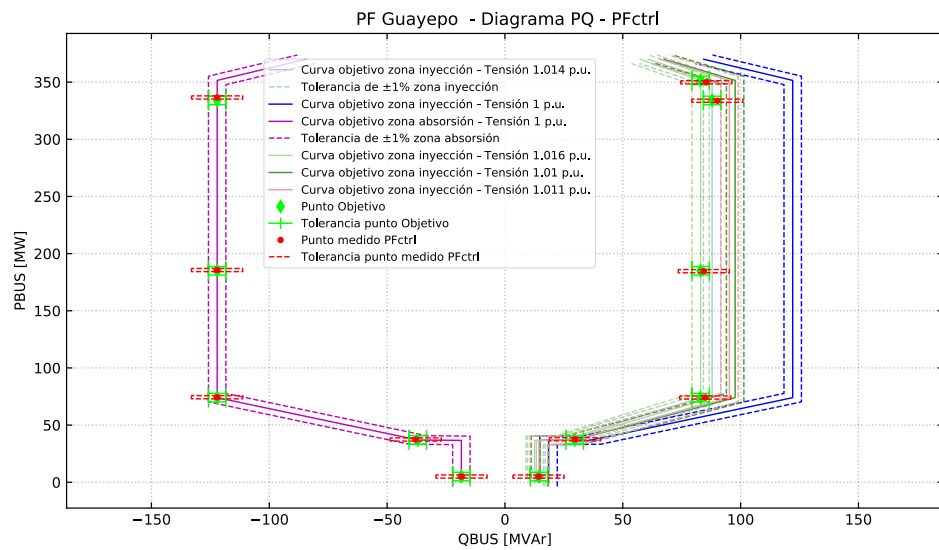


Figura 5.3 – Vista general de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia



5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento

5.4.1 Detalle de la región de absorción

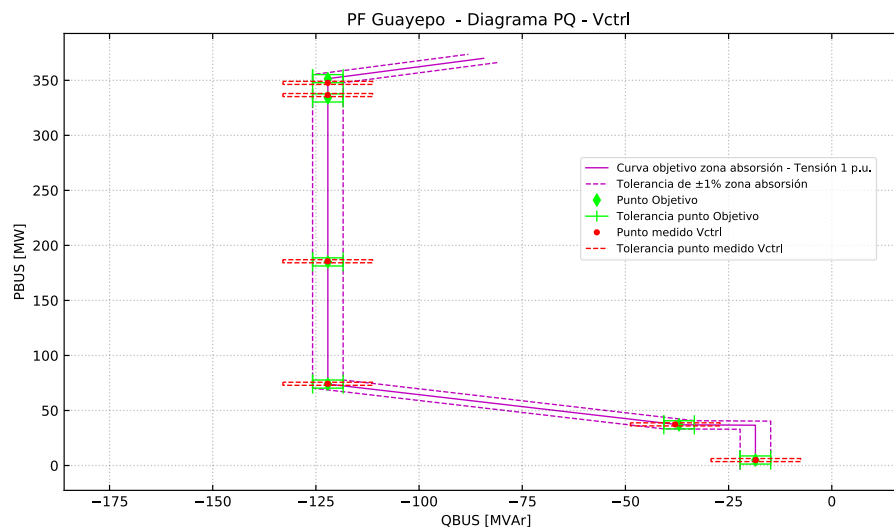


Figura 5.4 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control tensión

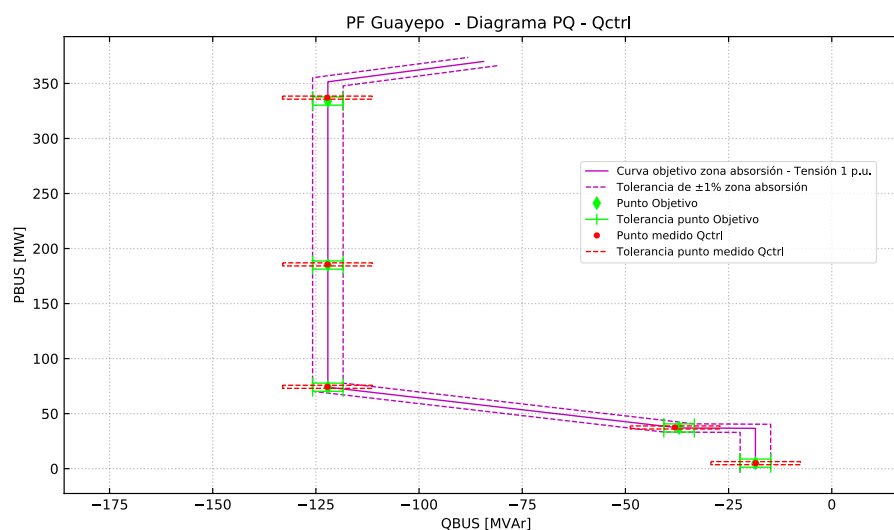


Figura 5.5 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

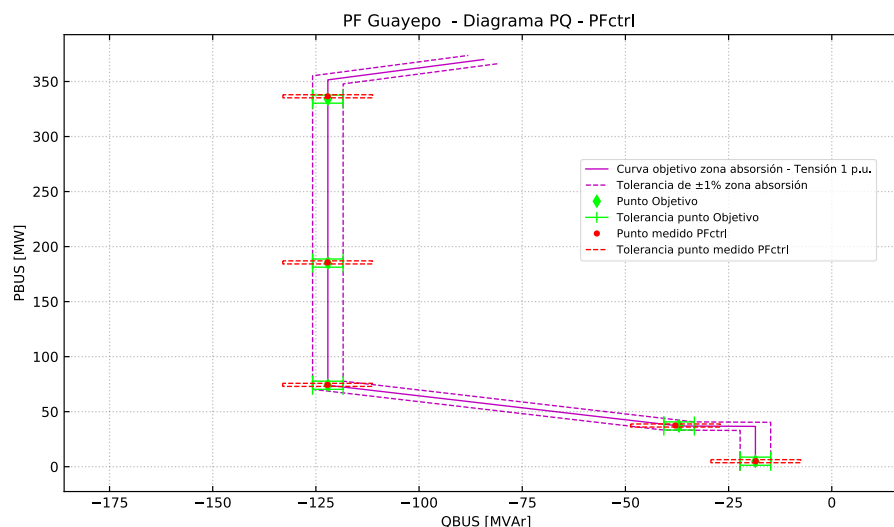


Figura 5.6 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

Para todos los puntos ensayados en los diferentes modos de control se incluye su entorno de error correspondiente según el analizador de redes 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 todos los puntos auditados 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

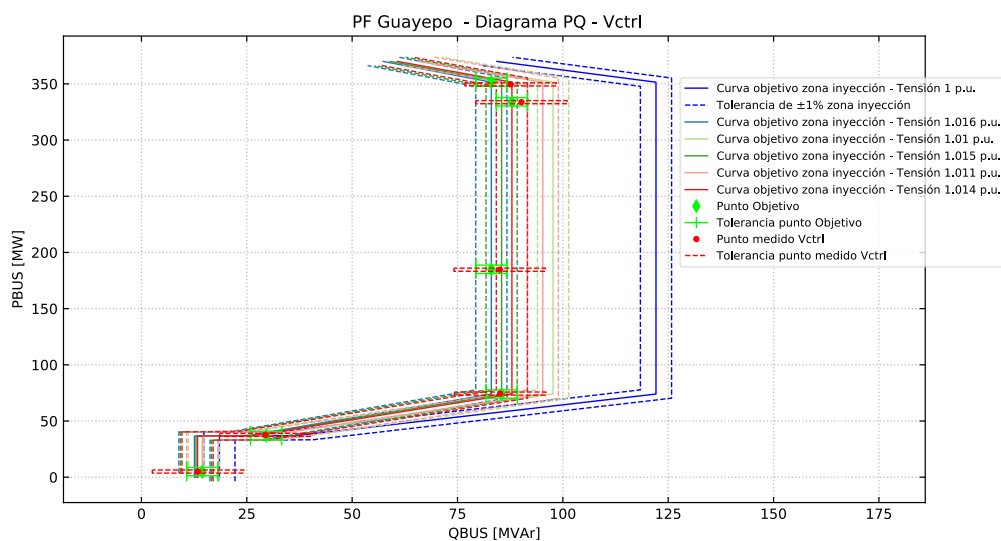


Figura 5.7. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control tensión

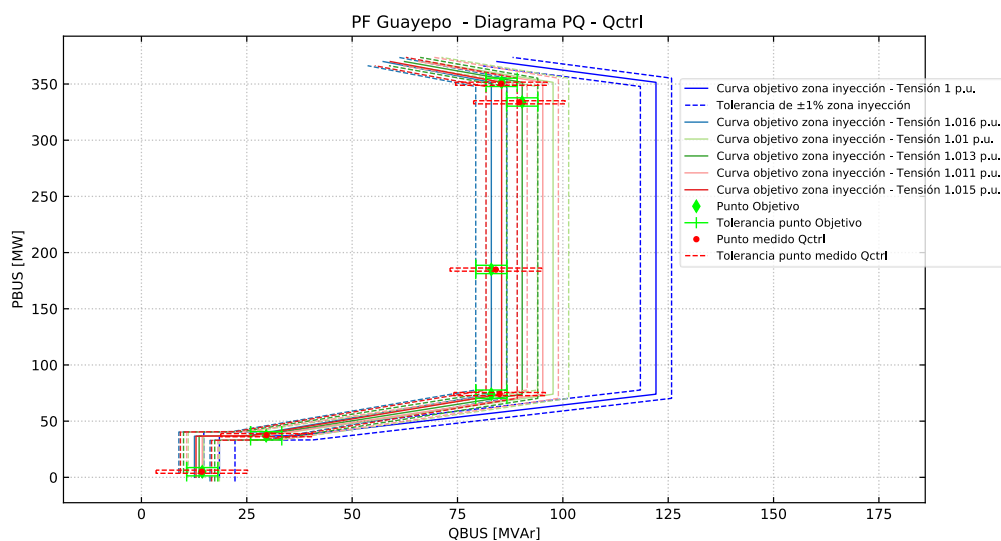


Figura 5.8. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control potencia reactiva

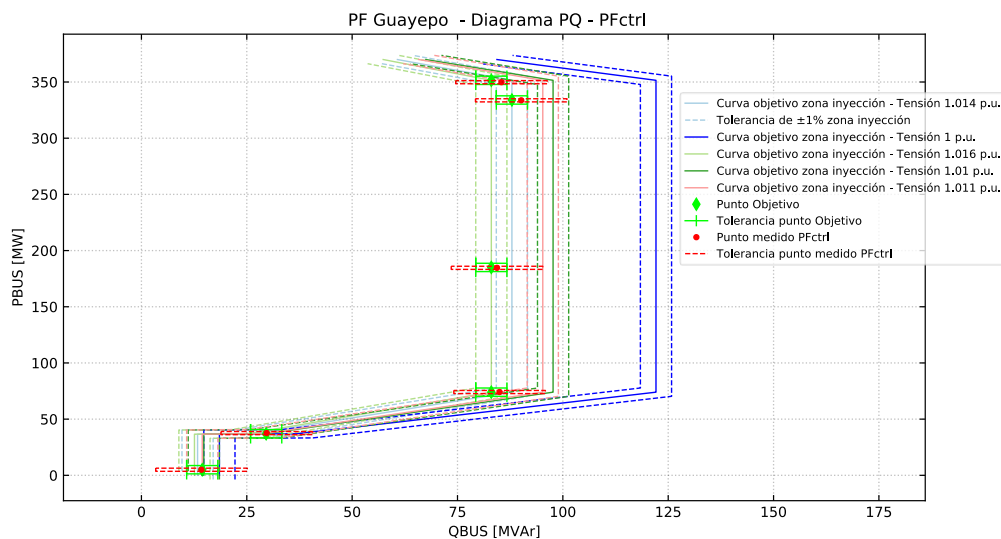


Figura 5.9. – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada control factor de potencia

Para todos los puntos ensayados en los diferentes modos de control se incluye su entorno de error correspondiente según el analizador de redes 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 todos los puntos auditados 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	5.00 ¹	-18.50	6.1
2	37.00	-37.00	6.2
3	74.00	-122.10	6.3
4	185.00	-122.10	6.4
5	351.50	-122.10	6.5
6	370.00	-84.36	8.1
7	5.00 ¹	18.50	6.6
8	37.00	37.00	6.7
9	74.00	122.10	6.8
10	185.00	122.10	6.9
11	351.50	122.10	6.10
12	370.00	84.36	8.3

Tabla 5.4 – 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 1.00 p.u. Para tensiones comprendidas entre 0.9 p.u. y 0.95 p.u., y entre 1.00 p.u. y 1.05 p.u. se ajusta la potencia reactiva en función de la tensión, según lo establecido en el Acuerdo CNO 1546.

¹ Nuevo valor de mínimo técnico declarado según sección 5.2.



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 5.10.

$$Q(V) = \begin{cases} Q_{1.0 \text{ p.u.}} * (20 * V - 18), & \text{si } V < 0.95 \\ Q_{1.0 \text{ p.u.}}, & \text{si } 0.95 < V < 1.00 \\ Q_{1.0 \text{ p.u.}} * (-20 * V + 21), & \text{si } V > 1.00 \end{cases}$$

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

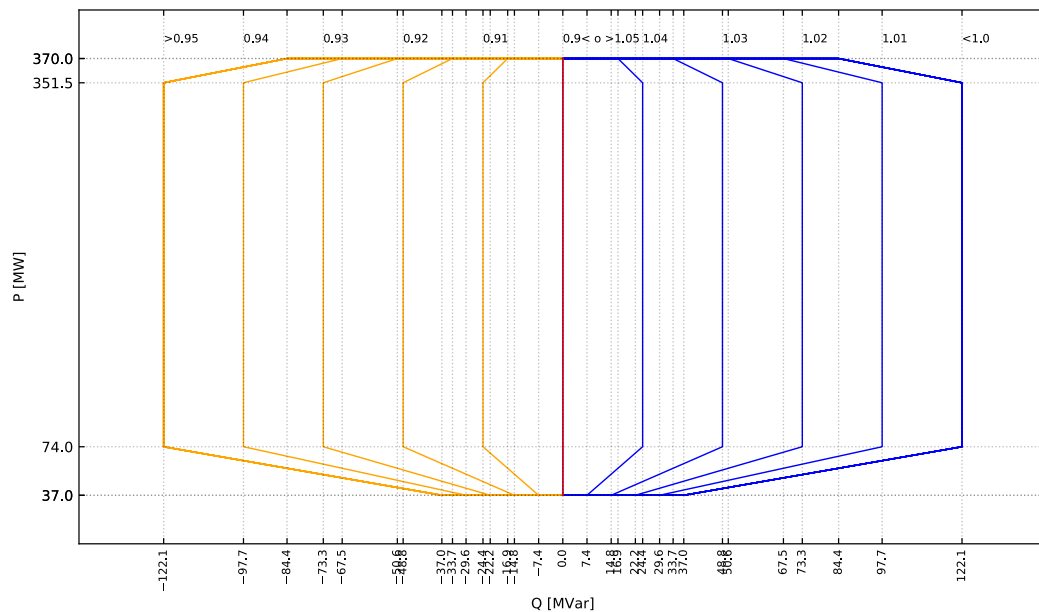


Figura 5.10 – Familia de curvas PQ con ajuste de curva QV – PF Guayepo



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 5.1, Tabla 5.2 y Tabla 5.3.

6.1 Tendencias – Punto 1 (5.00 MW, -18.50 MVar)

6.1.1 Control de Tensión

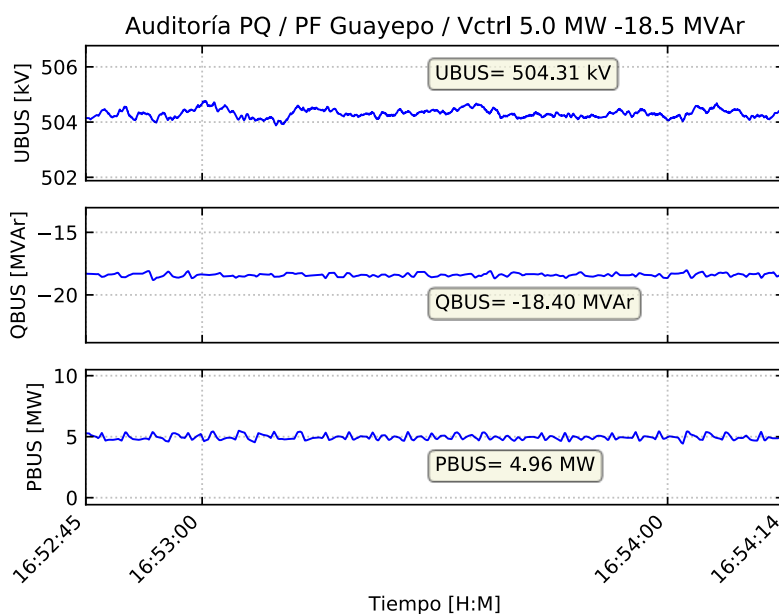


Figura 6.1 – Registro Control de Tensión



6.1.2 Control de Potencia Reactiva

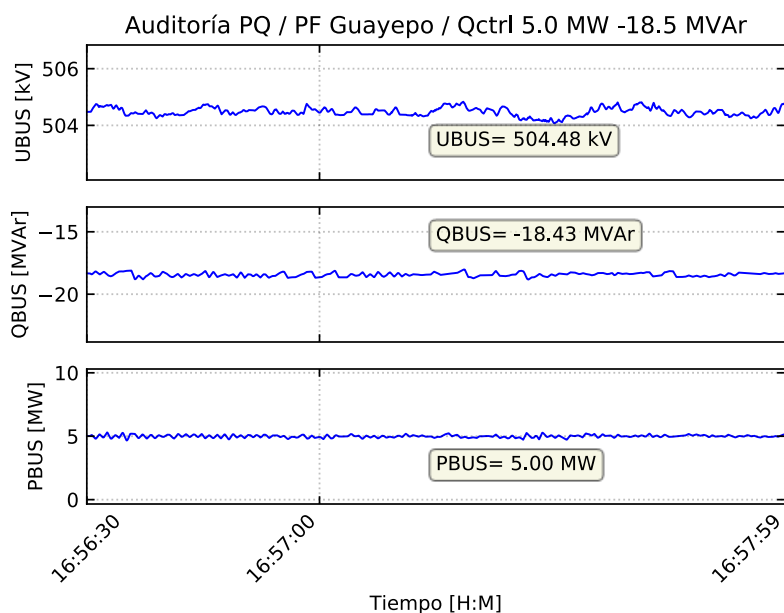


Figura 6.2 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.1.3 Control de Factor de Potencia

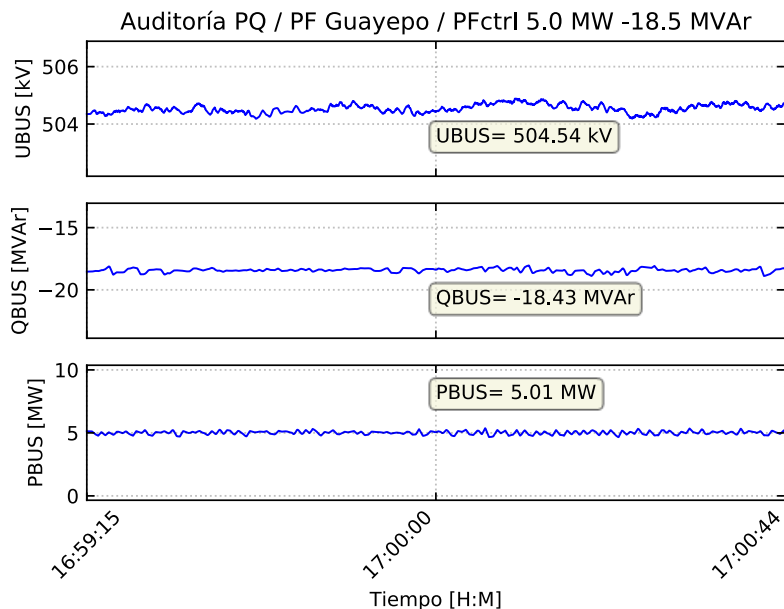


Figura 6.3 – Registro Control de Factor de Potencia



6.2 Tendencias – Punto 2 (37.00 MW, -37.00 MVar)

6.2.1 Control de Tensión

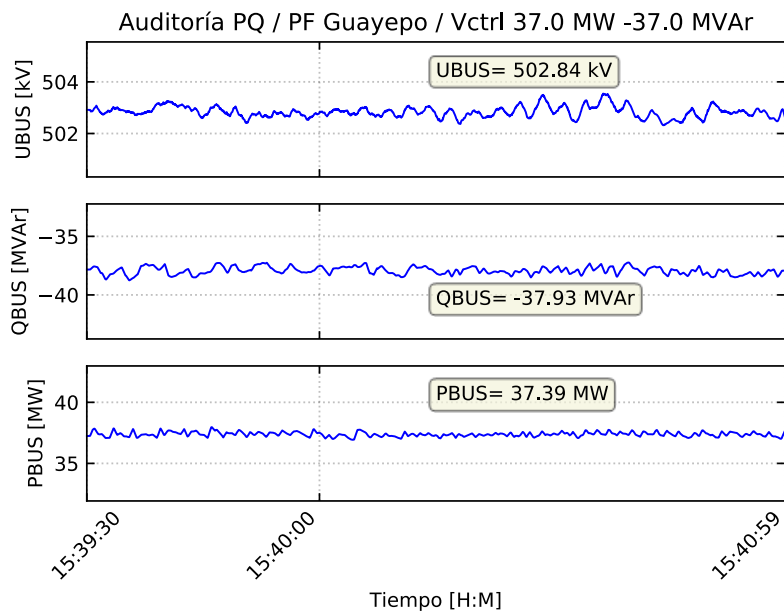


Figura 6.4 – Registro Control de Tensión

6.2.2 Control de Potencia Reactiva

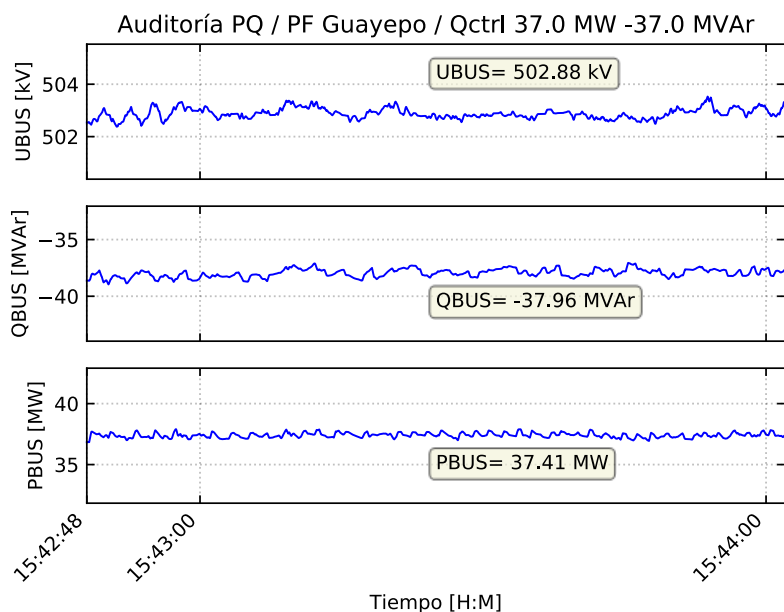


Figura 6.5 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.2.3 Control de Factor de Potencia

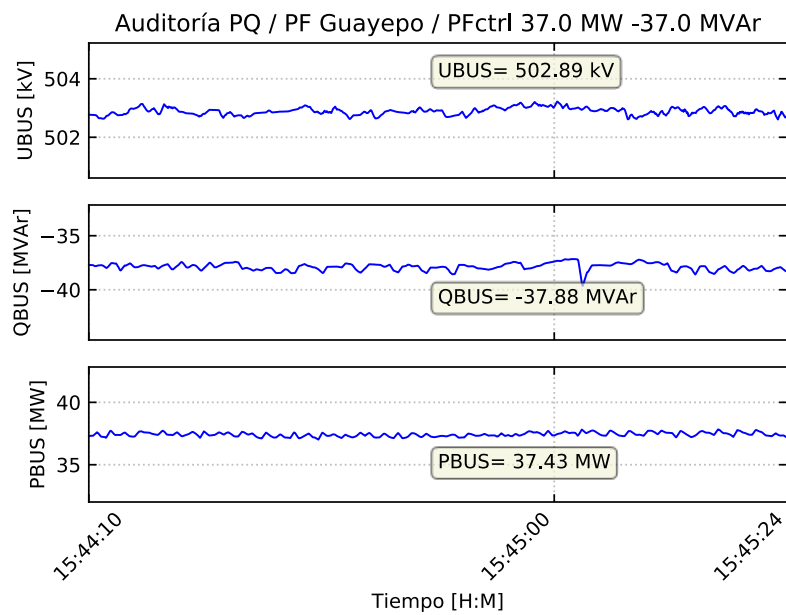


Figura 6.6 – Registro Control de Factor de Potencia



6.3 Tendencias – Punto 3 (74.00 MW, -122.10 MVar)

6.3.1 Control de Tensión

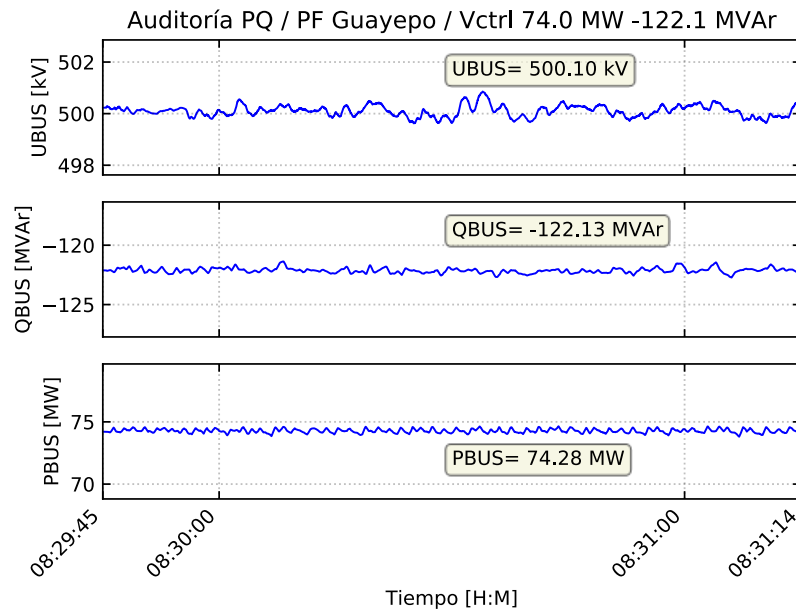


Figura 6.7 – Registro Control de Tensión

6.3.2 Control de Potencia Reactiva

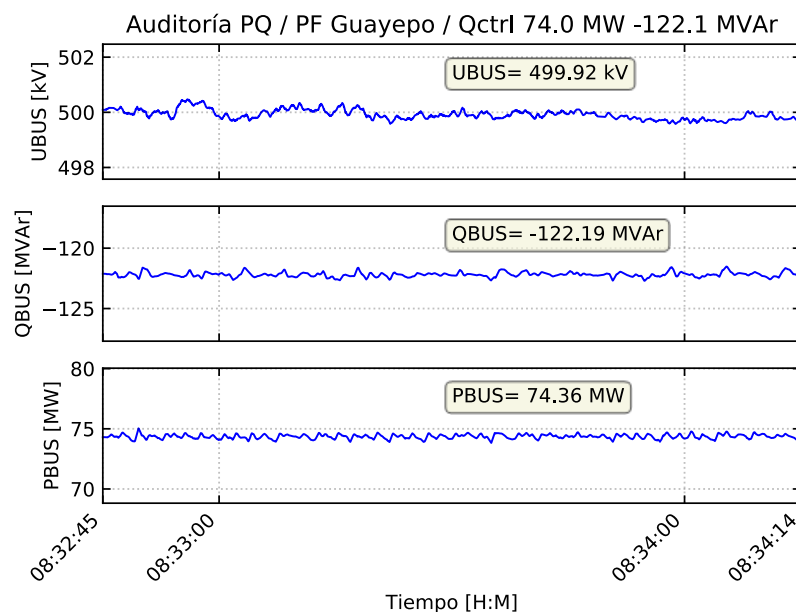


Figura 6.8 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.3.3 Control de Factor de Potencia

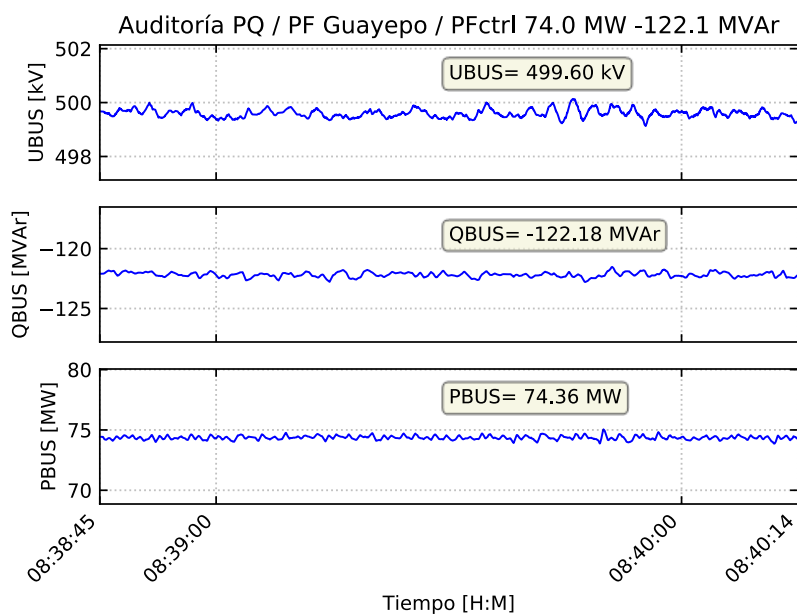


Figura 6.9 – Registro Control de Factor de Potencia



6.4 Tendencias – Punto 4 (185.00 MW, -122.10 MVar)

6.4.1 Control de Tensión

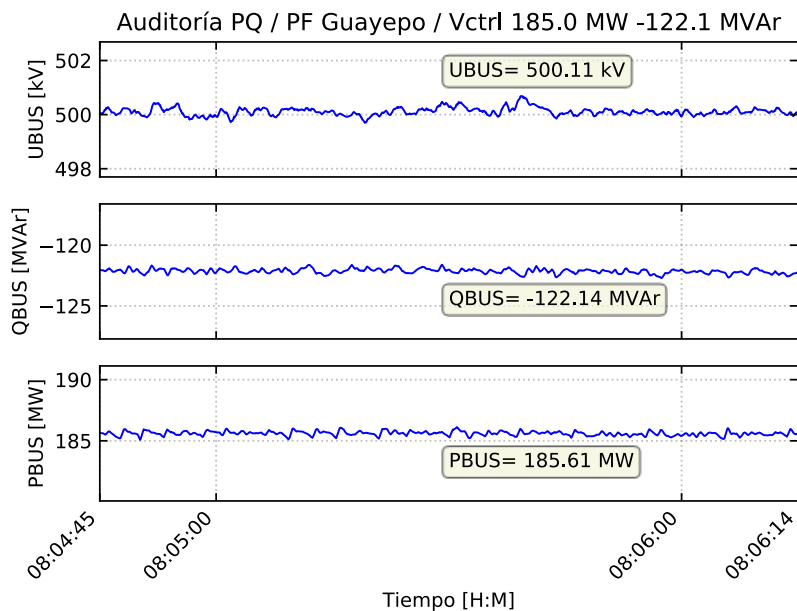


Figura 6.10 – Registro Control de Tensión

6.4.2 Control de Potencia Reactiva

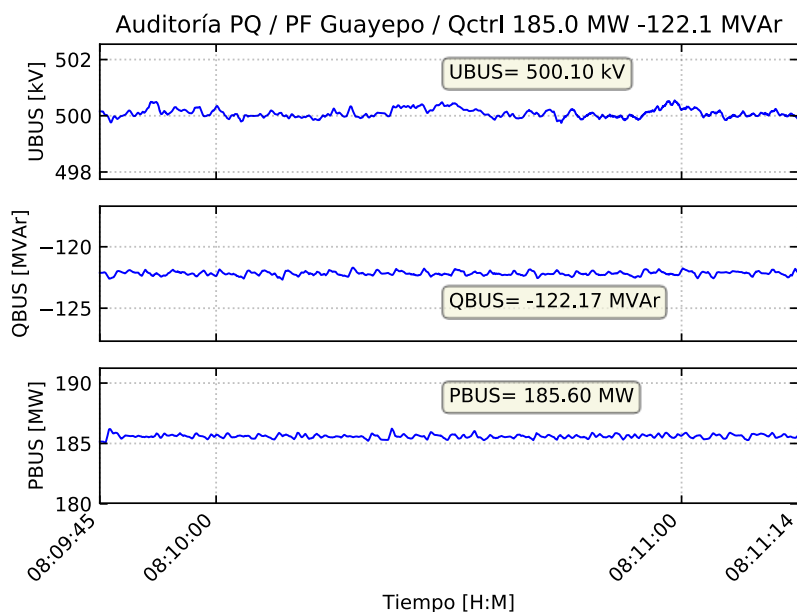


Figura 6.11 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.4.3 Control de Factor de Potencia

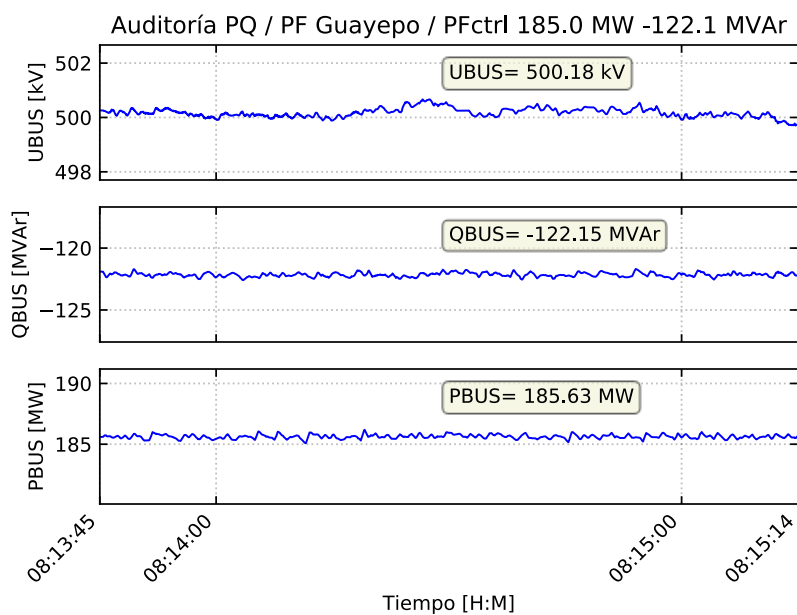


Figura 6.12 – Registro Control de Factor de Potencia



6.5 Tendencias – Punto 5 (351.50 MW, -122.10 MVar)

6.5.1 Control de Tensión

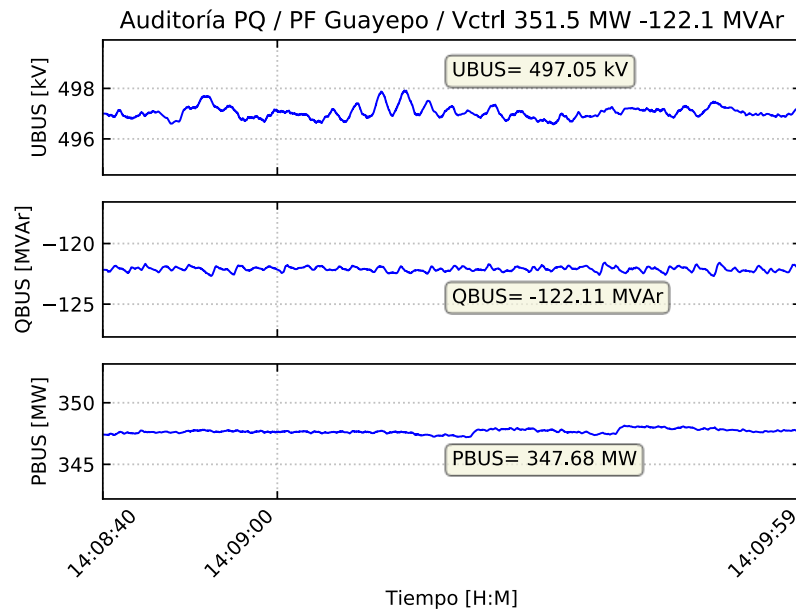


Figura 6.13 – Registro Control de Tensión

Nota: los modos de control de potencia reactiva y factor de potencia para este punto se presentan en simulación en la sección 8.1.



6.6 Tendencias – Punto 7 (5.00 MW, 18.50 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 14.43 MVar según la familia de curvas presentada en la sección 5.5.

6.6.1 Control de Tensión

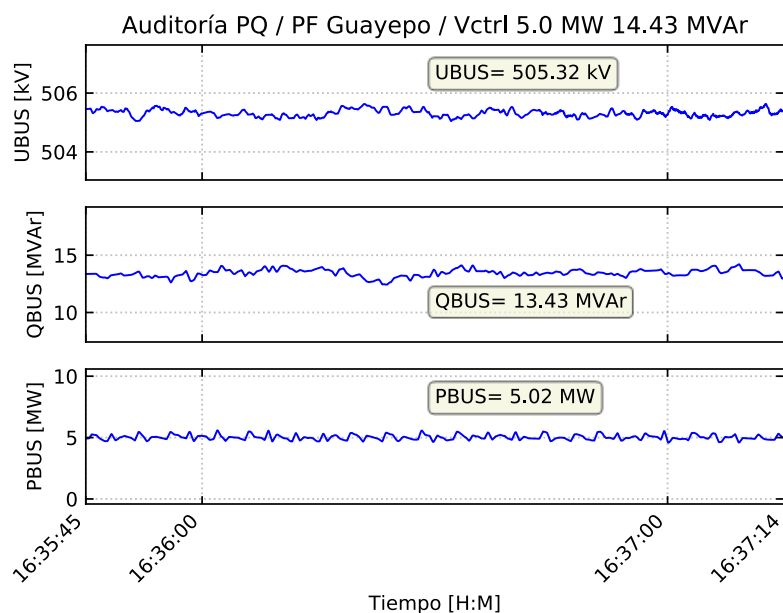


Figura 6.14 – Registro Control de Tensión



6.6.2 Control de Potencia Reactiva

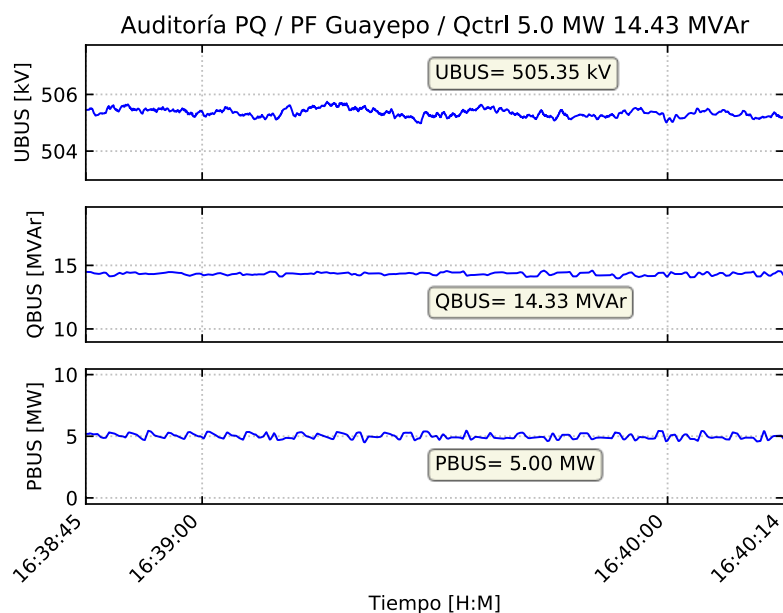


Figura 6.15 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.6.3 Control de Factor de Potencia

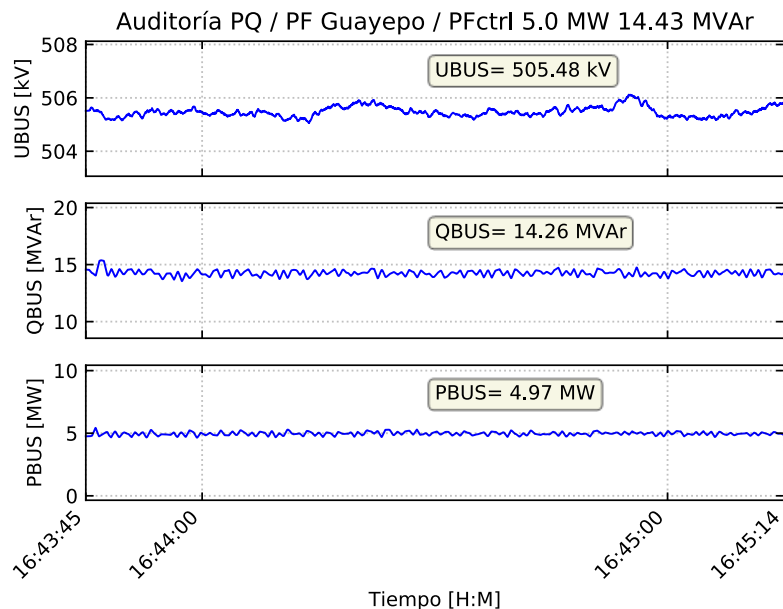


Figura 6.16 – Registro Control de Factor de Potencia



6.7 Tendencias – Punto 8 (37.00 MW, 37.00 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 29.60 MVar según la familia de curvas presentada en la sección 5.5.

6.7.1 Control de Tensión

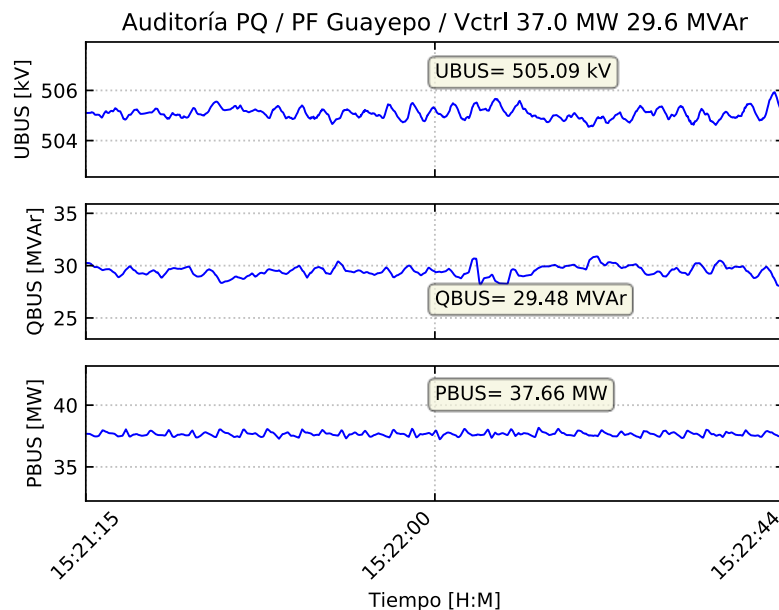


Figura 6.17 – Registro Control de Tensión



6.7.2 Control de Potencia Reactiva

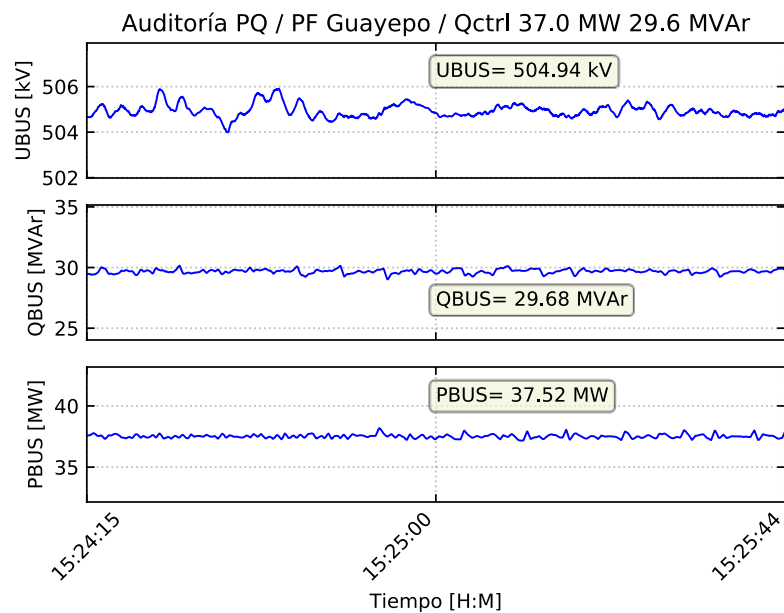


Figura 6.18 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.7.3 Control de Factor de Potencia

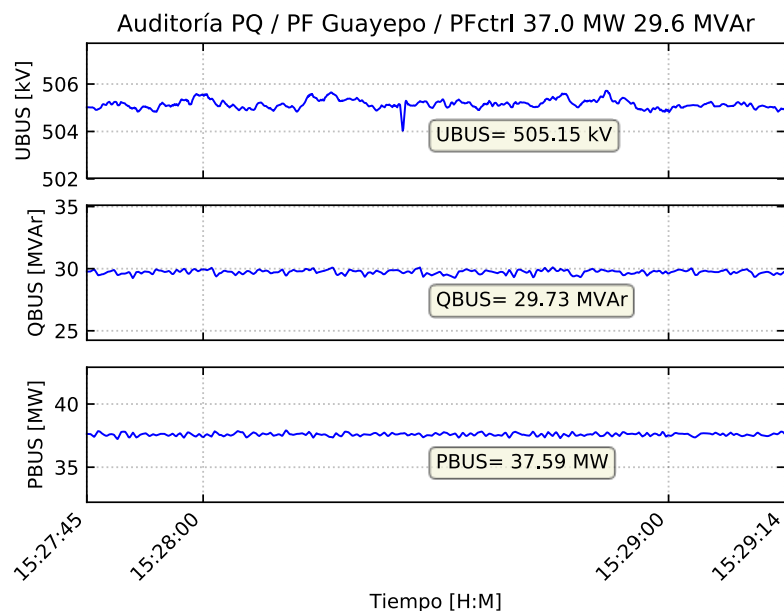


Figura 6.19 – Registro Control de Factor de Potencia



6.8 Tendencias – Punto 9 (74.00 MW, 122.10 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 85.47 MVar según la familia de curvas presentada en la sección 5.5.

6.8.1 Control de Tensión

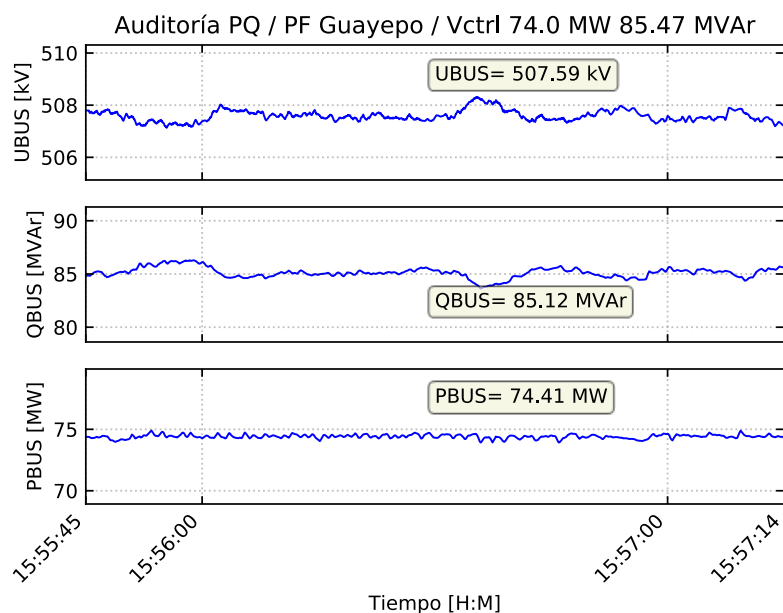


Figura 6.20 – Registro Control de Tensión



6.8.2 Control de Potencia Reactiva

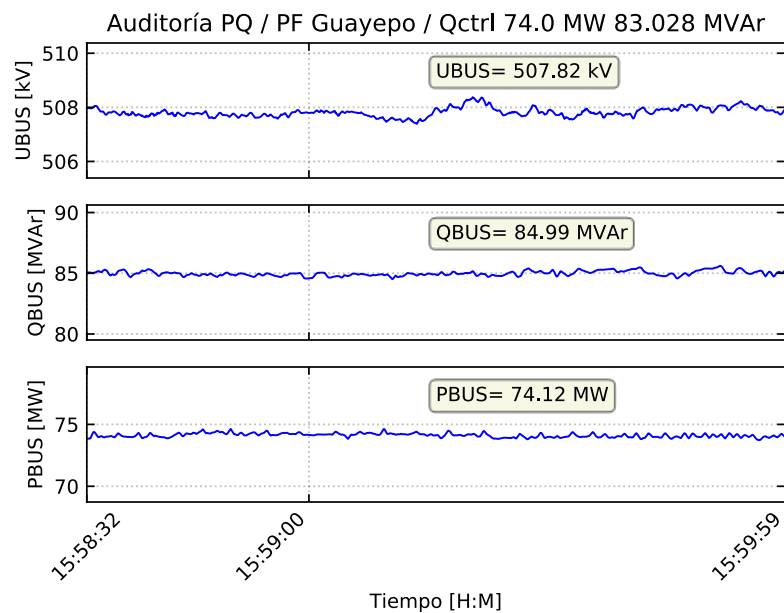


Figura 6.21 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.8.3 Control de Factor de Potencia

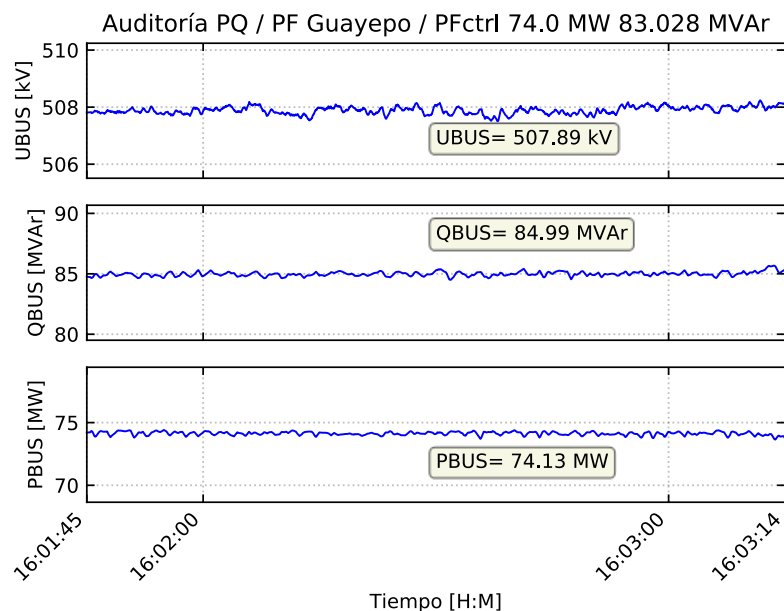


Figura 6.22 – Registro Control de Factor de Potencia



6.9 Tendencias – Punto 10 (185.00 MW, 122.10 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 83.03 MVar según la familia de curvas presentada en la sección 5.5.

6.9.1 Control de Tensión

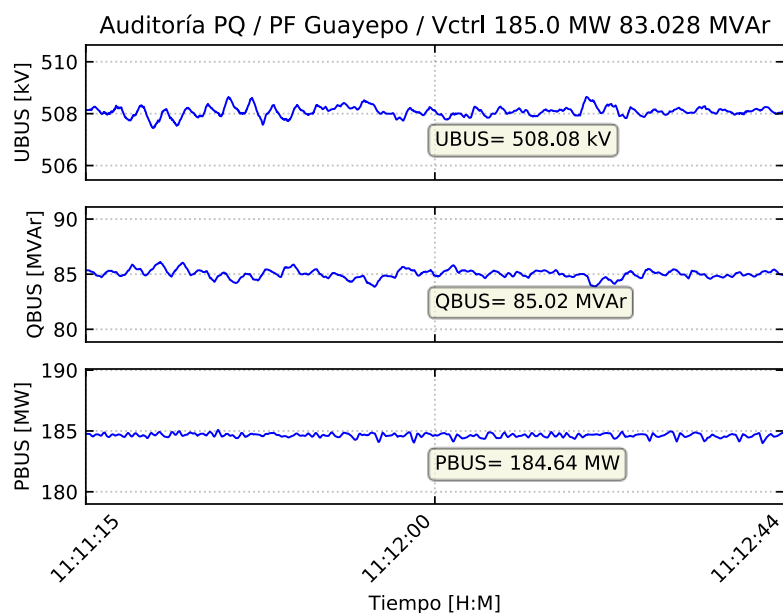


Figura 6.23 – Registro Control de Tensión



6.9.2 Control de Potencia Reactiva

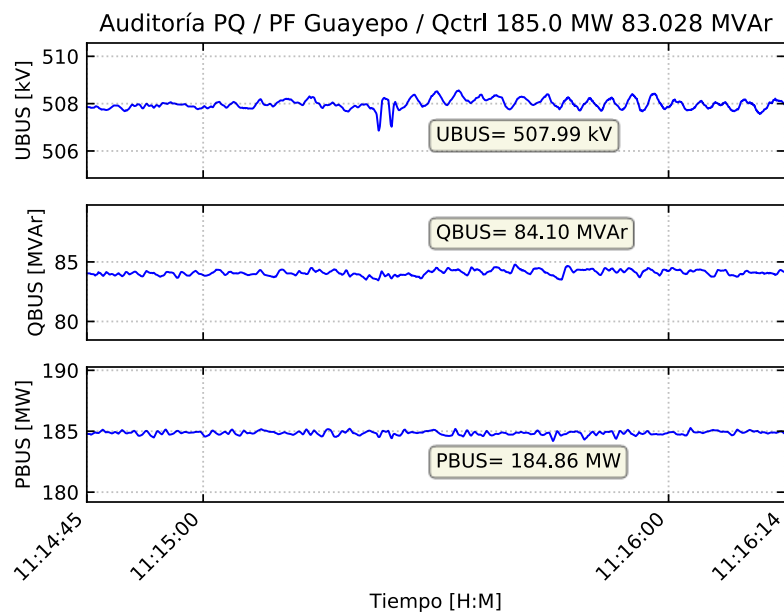


Figura 6.24 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.9.3 Control de Factor de Potencia

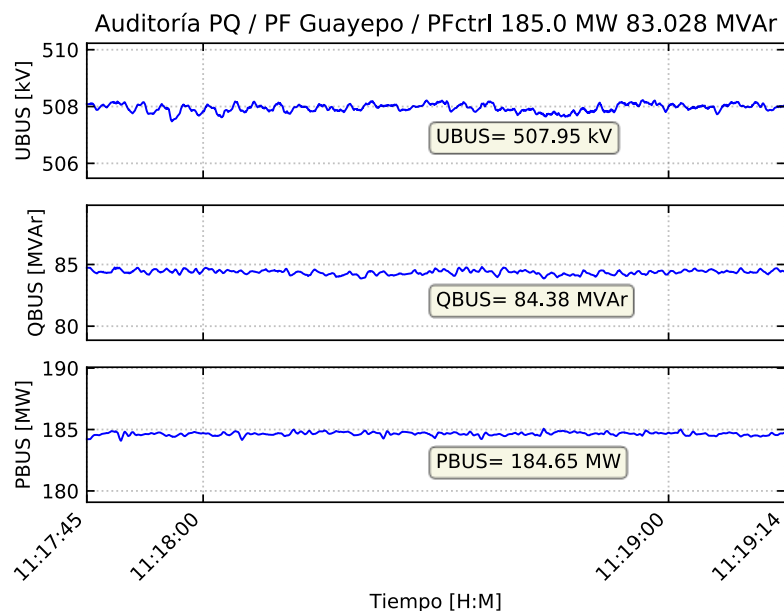


Figura 6.25 – Registro Control de Factor de Potencia



6.10 Tendencias – Punto 11 (351.50 MW, 122.10 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 83.03 MVar según la familia de curvas presentada en la sección 5.5.

6.10.1 Control de Tensión

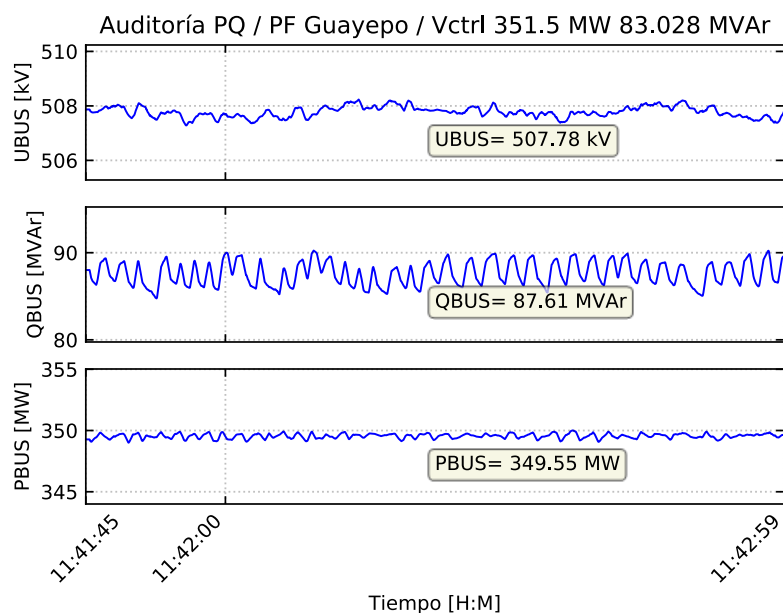


Figura 6.26 – Registro Control de Tensión



6.10.2 Control de Potencia Reactiva

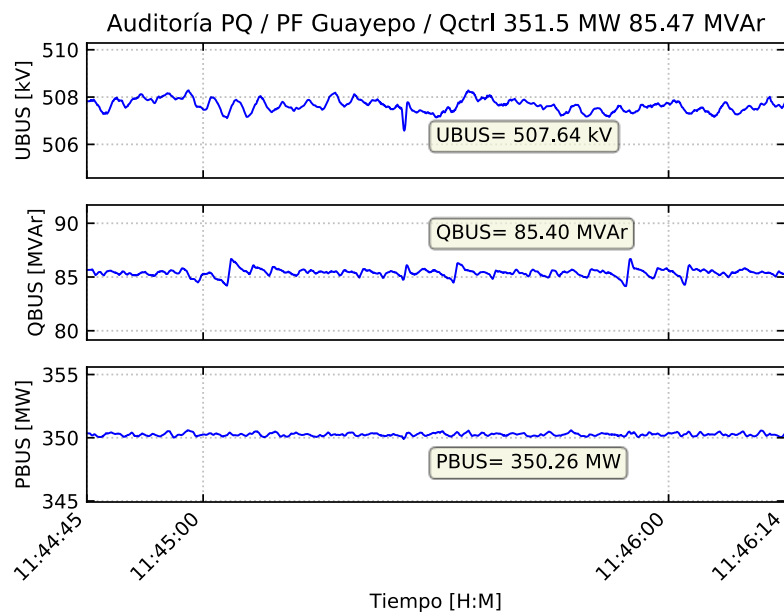


Figura 6.27 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.10.3 Control de Factor de Potencia

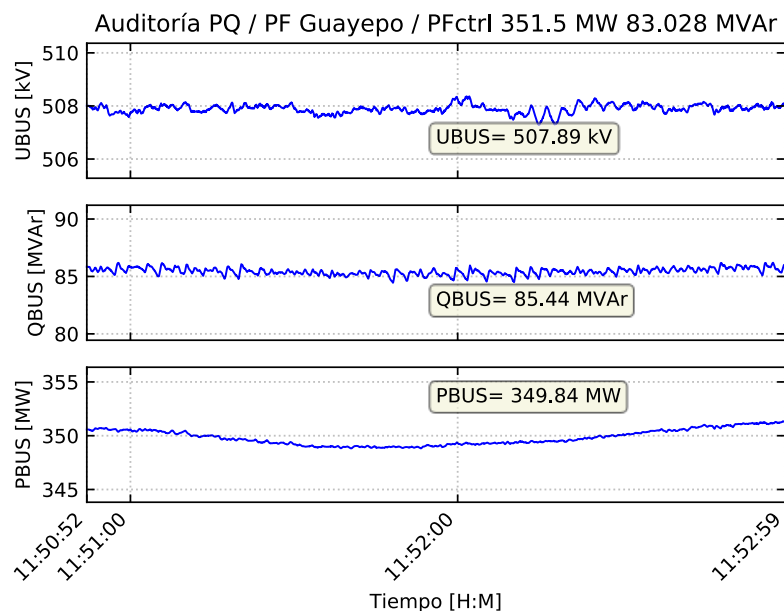


Figura 6.28 – Registro Control de Factor de Potencia



6.11 Tendencias – Punto 13 (334.00 MW, -122.10 MVar)

6.11.1 Control de Tensión

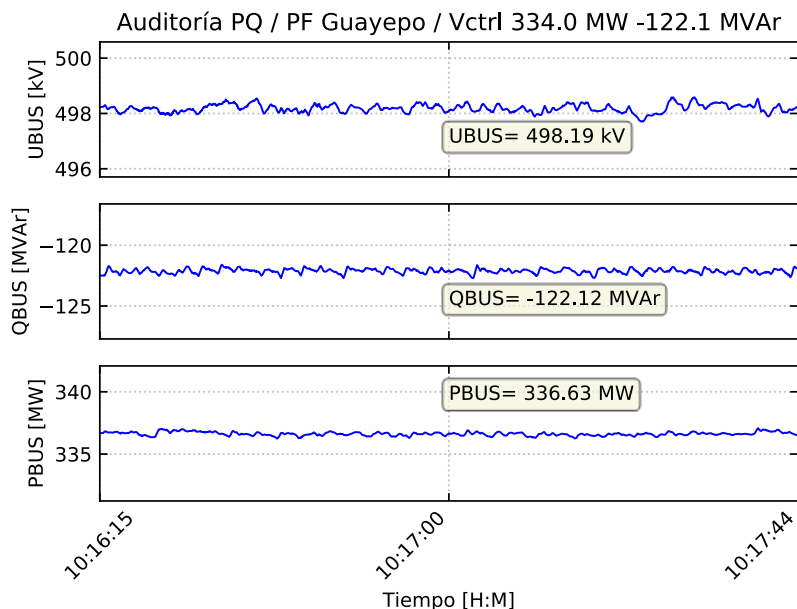


Figura 6.29 – Registro Control de Tensión

6.11.2 Control de Potencia Reactiva

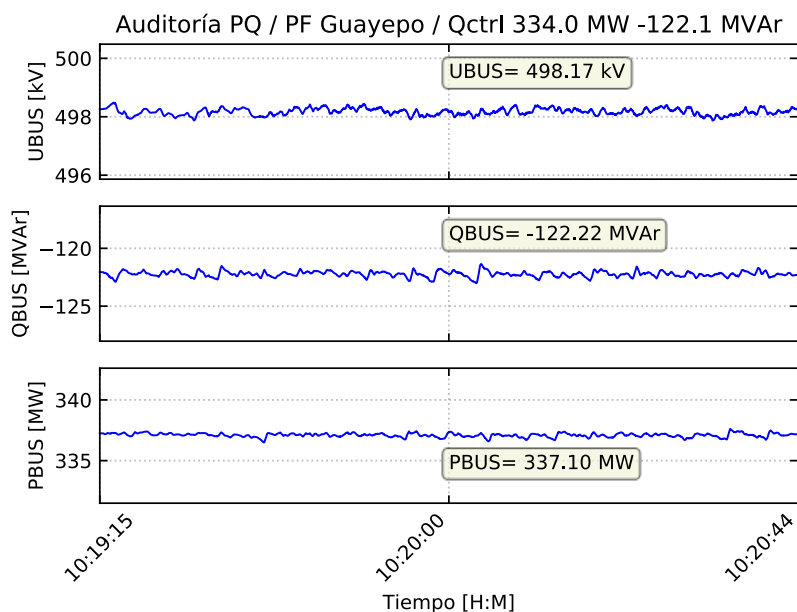


Figura 6.30 – Registro Control de Potencia Reactiva



6.11.3 Control de Factor de Potencia

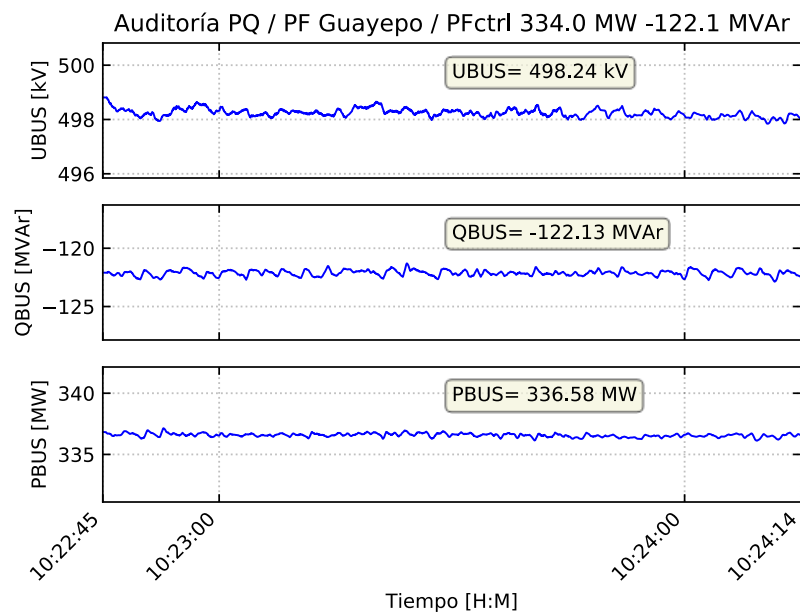


Figura 6.31 – Registro Control de Factor de Potencia



6.12 Tendencias – Punto 14 (334.00 MW, 122.10 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 87.91 MVar según la familia de curvas presentada en la sección 5.5.

6.12.1 Control de Tensión

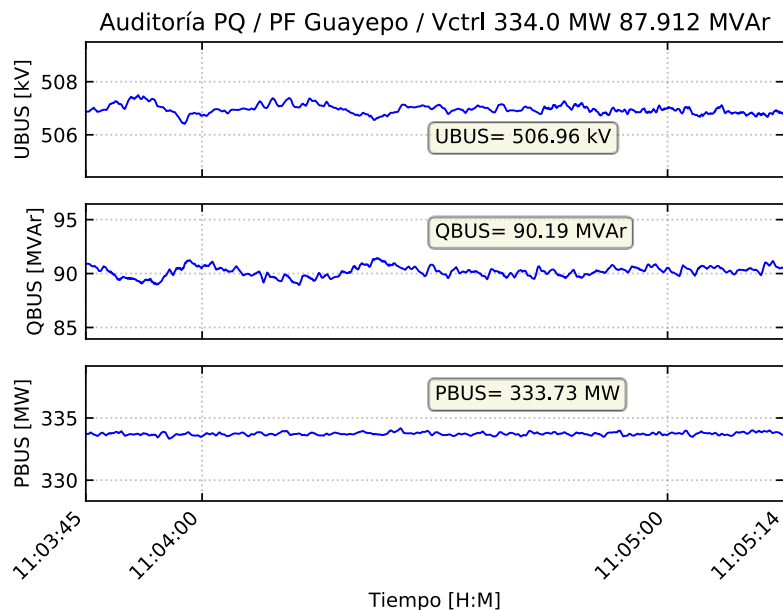


Figura 6.32 – Registro Control de Tensión



6.12.2 Control de Potencia Reactiva

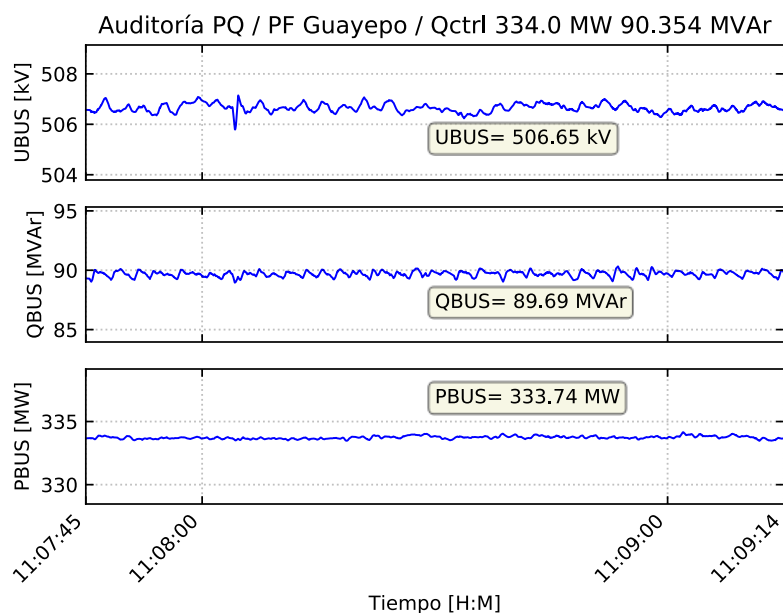


Figura 6.33 – Registro Control de Potencia Reactiva

6.12.3 Control de Factor de Potencia

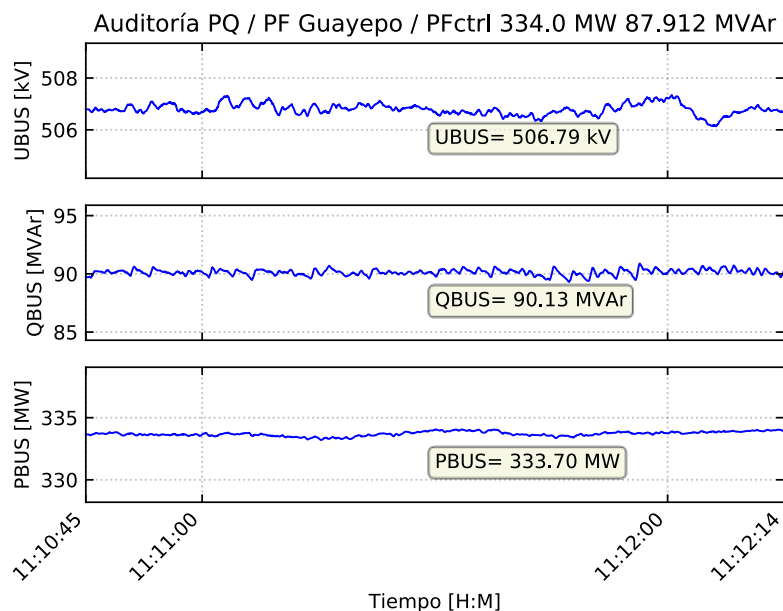


Figura 6.34 – Registro Control de Factor de Potencia



7 VERIFICACIÓN LIMITACIÓN EN MÍNIMO TÉCNICO

Considerando que el mínimo técnico del Parque Fotovoltaico Guayepo 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 7.1 y la Figura 7.2 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

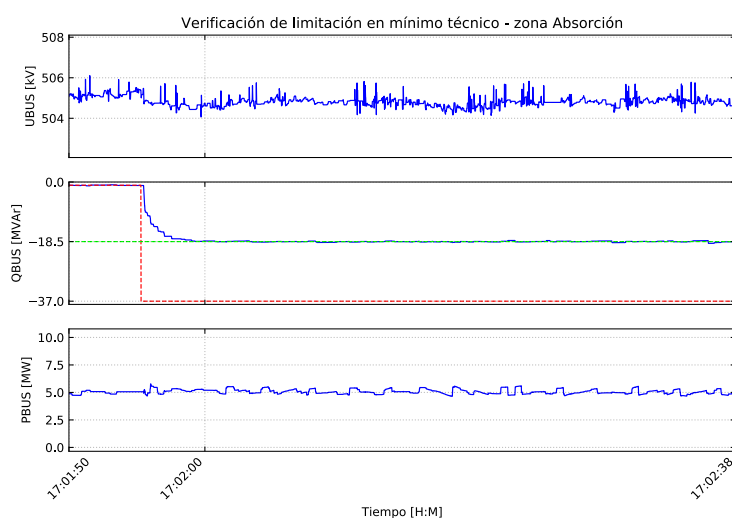


Figura 7.1 – Verificación limitación en el modo de control de potencia reactiva lado absorción

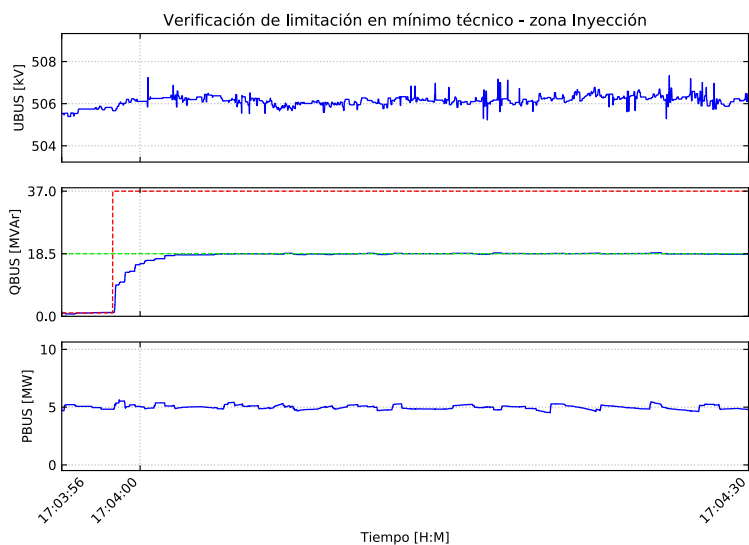


Figura 7.2 – Verificación limitación en el modo de control de potencia reactiva lado inyección



8 SIMULACIONES

Utilizando el modelo preliminar presentado en el informe "EE-EN-2022-0784-RJ_Informe_Modelo_PF_Guayepo.pdf" se realizan simulaciones para demostrar que la planta alcanza los puntos 5, 6 y 12 indicados en la sección 2.1. En las simulaciones se tiene en cuenta la curva de capacidad de los inversores indicada por el fabricante en el documento anexo "TI_20201023_SG3400HV-30 and SG3125HV-30 Series P-Q Diagram_V40.pdf" mostrada en la Figura 8.1. En la Figura 8.2 y Figura 8.3 se muestra, con una cruz verde, el despacho resultante en los inversores dentro de su respectiva curva de capacidad para los puntos simulados.

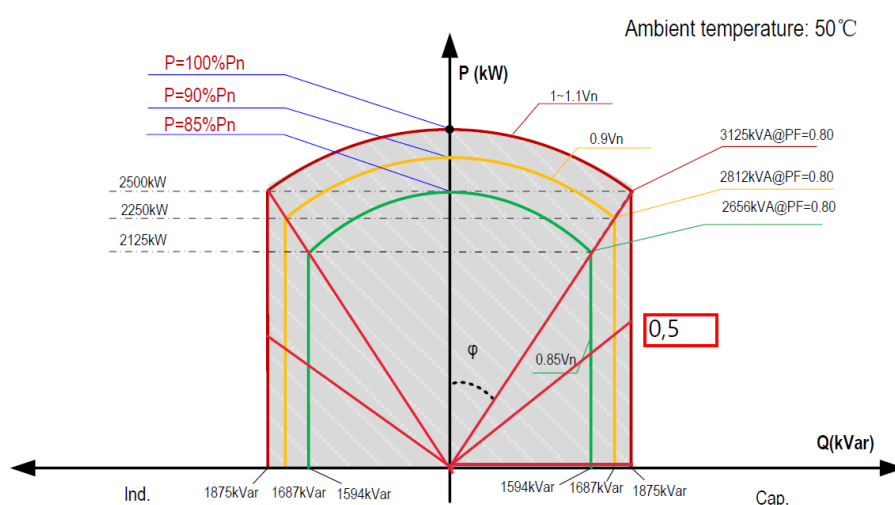


Figura 8.1 – Curva de capacidad P-Q inversor

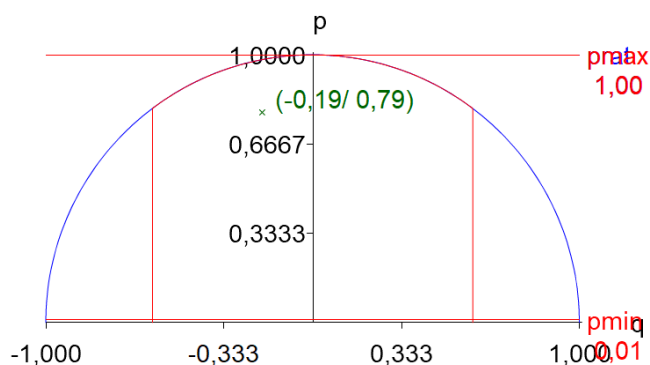


Figura 8.2 – Despacho inversores con $P = 351.5 \text{ MW}$ $U = 1.0 \text{ p.u.}$ en POI (Punto: 5)

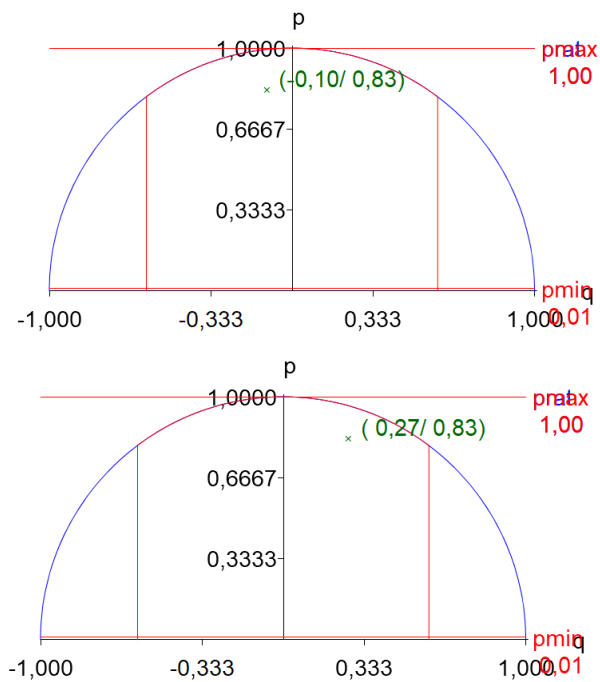


Figura 8.3 – Despacho inversores con $P = 370 \text{ MW}$ $U = 1.0 \text{ p.u.}$ en POI (Punto: 6 y 12)



8.1 Simulación – Punto 5 (351.50 MW, -122.10 MVar)

Se demuestra que la planta alcanza este punto mediante simulación en el modelo preliminar.

8.1.1 Control de Potencia Reactiva

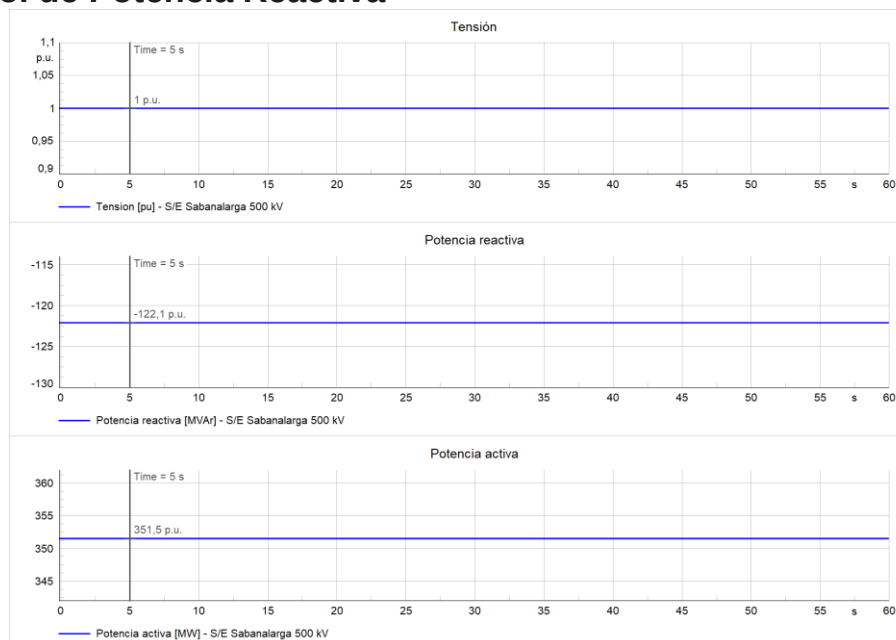


Figura 8.4 – Registro Control de Potencia Reactiva

8.1.2 Control de Factor de Potencia

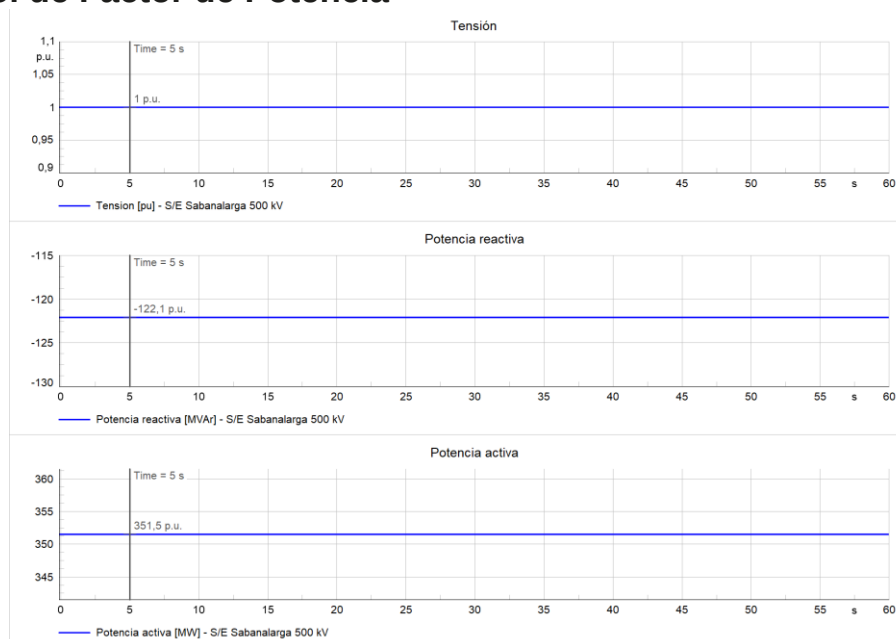


Figura 8.5 – Registro Control de Factor de Potencia



8.2 Simulación – Punto 6 (370.00 MW, -84.36 MVar)

Se demuestra que la planta alcanza este punto mediante simulación en el modelo preliminar.

8.2.1 Control de Tensión

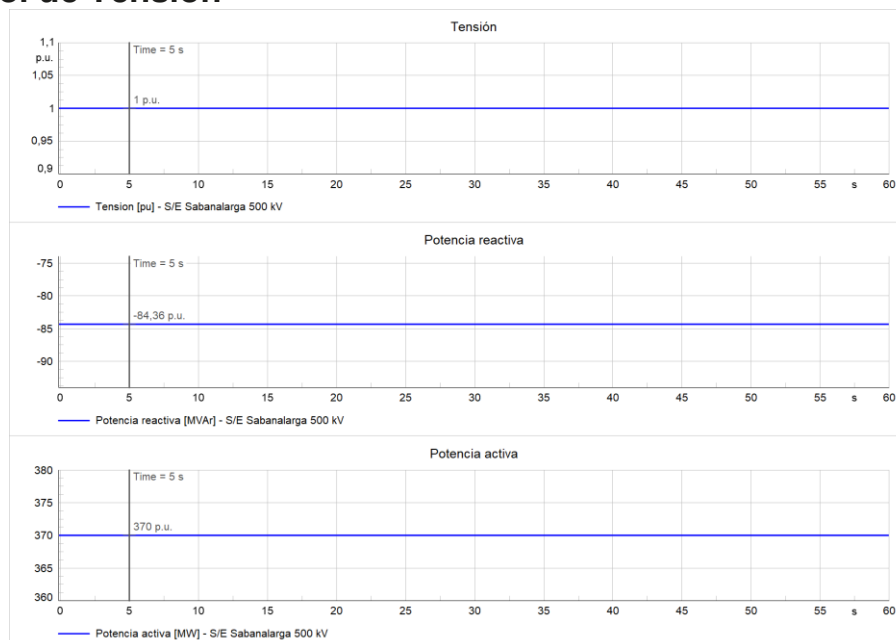


Figura 8.6 – Registro Control de Tensión

8.2.2 Control de Potencia Reactiva

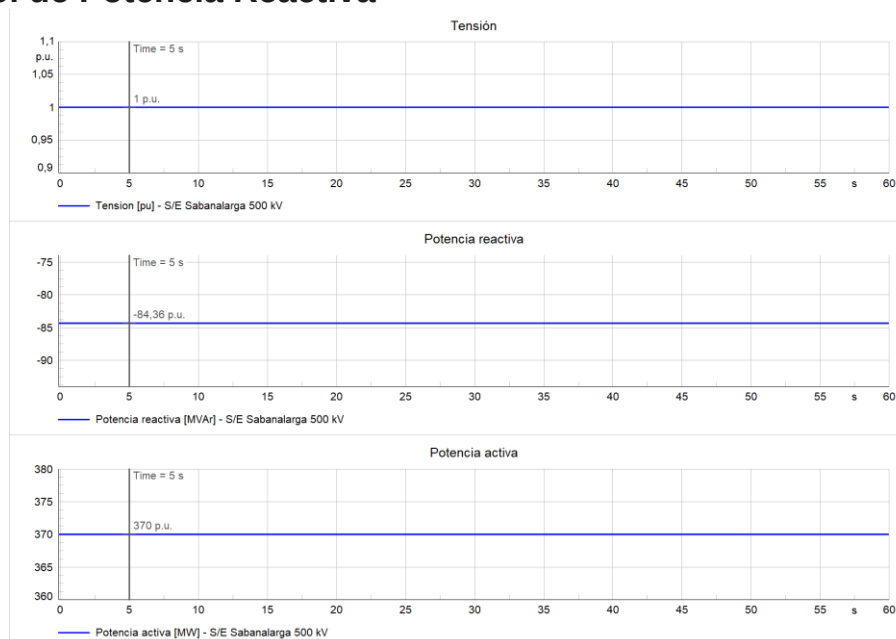


Figura 8.7 – Registro Control de Potencia Reactiva



8.2.3 Control de Factor de Potencia

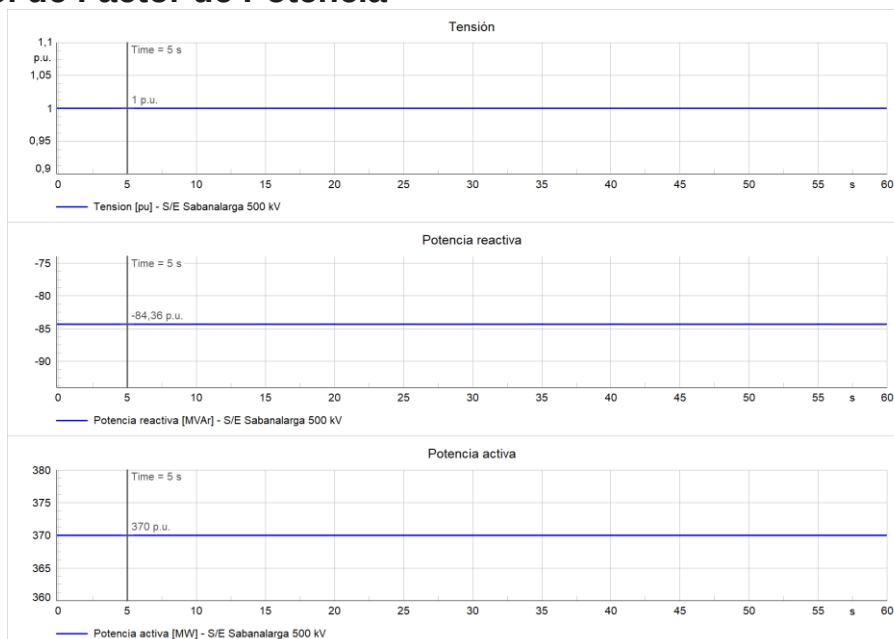


Figura 8.8 – Registro Control de Factor de Potencia



8.3 Simulación – Punto 12 (370.00 MW, 84.36 MVar)

Se demuestra que la planta alcanza este punto mediante simulación en el modelo preliminar.

8.3.1 Control de Tensión

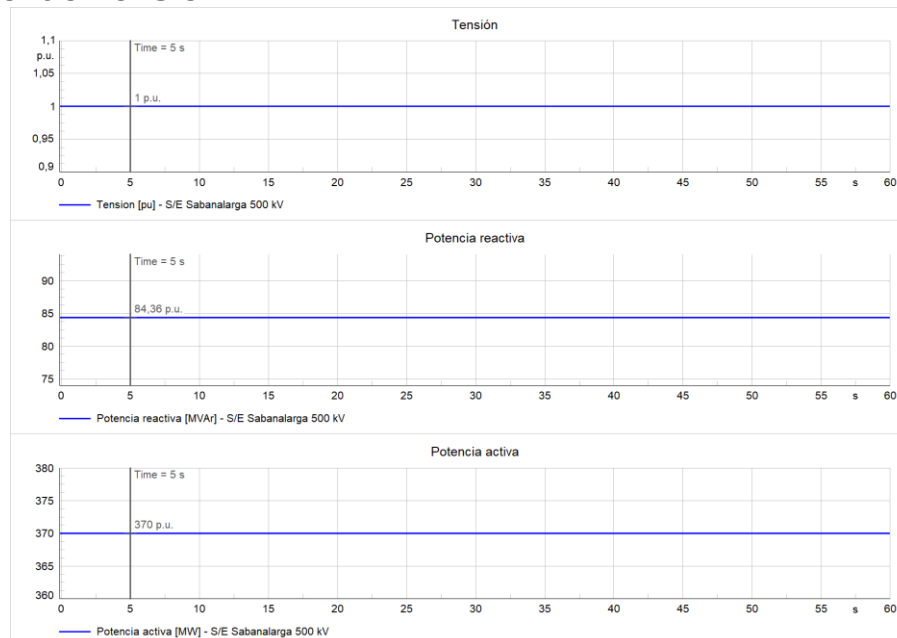


Figura 8.9 – Registro Control de Tensión

8.3.2 Control de Potencia Reactiva

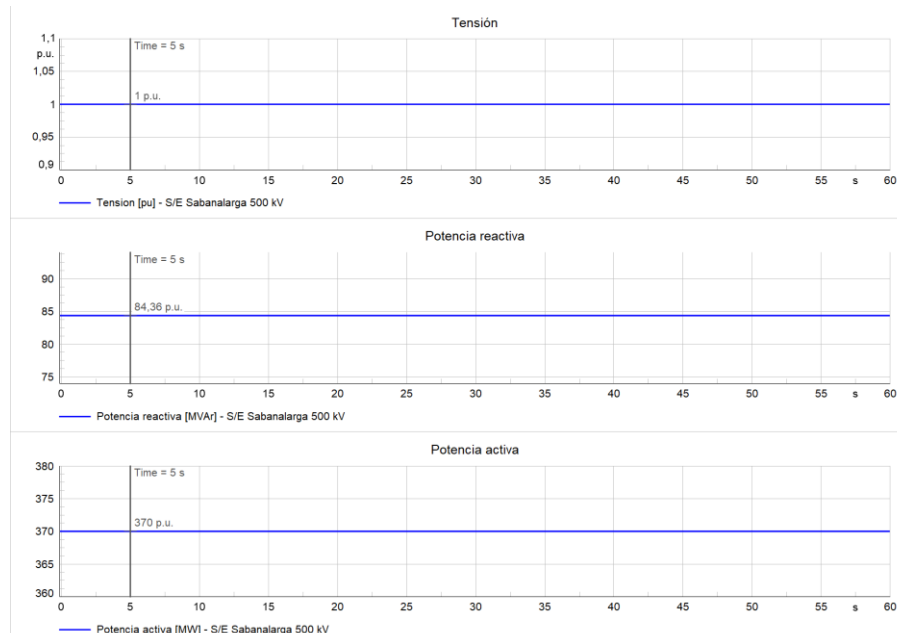


Figura 8.10 – Registro Control de Potencia Reactiva



8.3.3 Control de Factor de Potencia

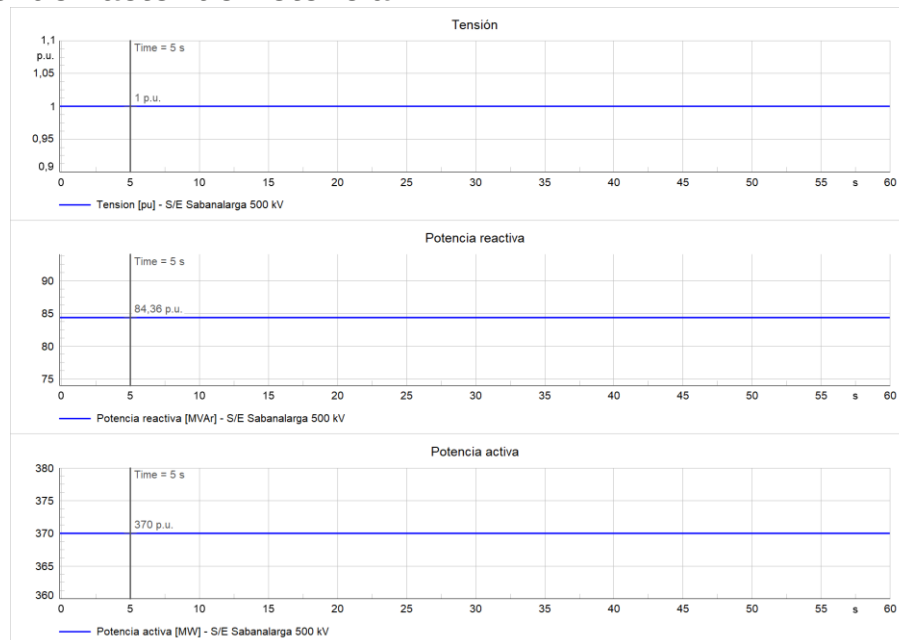


Figura 8.11 – Registro Control de Factor de Potencia



9 CONCLUSIONES

El Parque Fotovoltaico Guayepo 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 doce (12) puntos de la curva PQ auditados fueron probados y se declaran CONFORMES.
- Se demuestra mediante simulación que la planta puede alcanzar los puntos por encima del 90 % de la potencia activa nominal. El agente realizará entrega de tendencias donde se muestre que la planta alcanza dichos puntos en un plazo no mayor a 12 meses a partir de la fecha de prueba exitosa.
- 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 ± 18.5 MVar como límite de potencia reactiva entregada para potencias menores al 10% de la potencial 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 Fotovoltaico Guayepo:

CUMPLE CON LA CURVA DE CAPACIDAD DECLARADA

Nombre de la Empresa: ESTUDIOS ELÉCTRICOS SA

Nombre del Auditor: Ing. Claudio Celman

Fecha: 17/10/2024

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 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.



8.2. Certificados de calibración

8.2.1. Analizador de redes Elspec Pure

 **Elspec Calibration Lab**
Tel: +972-4-6061100 • Fax: +972-4-6061128 | Tzvaïm Industrial Park, P.O.B. 900
www.elspec-ltd.com • info@elspec-ltd.com | Beit She'an, Israel 1171602

Calibration Report

General information

Certificate No.	0060352AA36B_20240417090712
Date of issue	17-Apr-2024
Calibration date	17-Apr-2024
Calibration due date	17-Apr-2027
Client	

UUT information

Manufacture	Elspec
Product type	Pure
FW version	1.1.1.2
Serial number	00.60.35.2A.A3.6B

 Operator: Roe Hazan	 Reviewer: Yevgeny Strezh
--	--

1 of 14

Certificate No. 0060352AA36B_20240417090712

Figura 8.1. – Certificado de calibración Elspec Pure



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.