



INFORME DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS DE CONTROL DE TENSIÓN

PSFV Tamarico

Informe Técnico

Preparado para:

**Tamarico Solar
Dos SpA**

Noviembre - 2024

A 1086 | R 1120-24

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	2
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS	3
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	6
REGISTRO DE COMUNICACIONES	7
SECCIÓN PRINCIPAL	8
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Marco normativo	8
1.2. Descripción general de la planta.....	9
1.3. Principales componentes de la planta.....	14
2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	19
2.1. Ensayos a nivel planta	19
2.2. Ensayos a nivel inversor.....	42
3. CONCLUSIONES	50
ANEXO	51
1. DIAGRAMAS DEL CONTROL DE PLANTA	51
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES	52
3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS	54

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Datos de cables de la red colectora.....	17
Tabla 2. Datos técnicos de los transformadores de bloque de dos arrollamientos.	18
Tabla 3. Datos técnicos de los transformadores de bloque de tres arrollamientos.....	18
Tabla 4. Datos técnicos del transformador de potencia.	19
Tabla 5. Datos técnicos del reactor Zig - Zag.	19
Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Tamarico.	10
Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Tamarico 1 – parte 1.	11
Gráfico 3. Esquema unilineal de la SE Tamarico 1 – parte 2.	12
Gráfico 4. Diagrama unilineal del sistema colector del PSFV Tamarico	13
Gráfico 5. Características técnicas de los paneles solares.....	15
Gráfico 6. Características generales de los inversores.....	16
Gráfico 7. Curva de capacidad del inversor Power Electronics, modelo FS4200K HEMK GEN3.	17
Gráfico 8. Curva PQ máxima del PSFV Tamarico.	20
Gráfico 9. Curva P-Q registrada en el punto de conexión del PE.....	21
Gráfico 10. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 1.	22
Gráfico 11. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 2	22
Gráfico 12. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 3.	23
Gráfico 13. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 4	24
Gráfico 14. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 5.	25
Gráfico 15. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 6.	25
Gráfico 16. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 7.	26
Gráfico 17. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 8.	27
Gráfico 18. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Variables temporales.	29

Gráfico 19. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.....	29
Gráfico 20. Control de potencia reactiva. Media Carga. Variables temporales.	30
Gráfico 21. Control de potencia reactiva. Media Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.....	31
Gráfico 22. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Variables temporales.	32
Gráfico 23. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.....	32
Gráfico 24. Control de tensión. Alta Carga. Variables temporales.	33
Gráfico 25. Control de tensión. Alta Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento medidos sobre la potencia reactiva.	34
Gráfico 26. Control de tensión. Media Carga. Variables temporales.	35
Gráfico 27. Control de tensión. Media Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento medidos sobre la potencia reactiva.	35
Gráfico 28. Control de tensión. Baja Carga. Variables temporales.	36
Gráfico 29. Control de tensión. Baja Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento medidos sobre la potencia reactiva.	37
Gráfico 30. Control de factor de potencia. Alta Carga. Variables temporales.	38
Gráfico 31. Control de factor de potencia. Alta Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.....	39
Gráfico 32. Control de factor de potencia. Alta Carga. Variables temporales.	40
Gráfico 33. Control de factor de potencia. Media Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.....	40
Gráfico 34. Control de factor de potencia. Baja Carga. Variables temporales.	41
Gráfico 35. Control de factor de potencia. Baja Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.....	42
Gráfico 36. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga.....	43
Gráfico 37. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento	43
Gráfico 38. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga.	44
Gráfico 39. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.	44
Gráfico 40. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga.	45
Gráfico 41. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.	45
Gráfico 42. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga.....	46
Gráfico 43. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.	47
Gráfico 44. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga.	48

Gráfico 45. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.	48
Gráfico 46. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Variables temporales.	49
Gráfico 47. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.	49
Gráfico 48. Skids de inversores centrales PSFV Tamarico.....	52
Gráfico 49. Curva PQ del inversor.	54

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CEN: Coordinador Eléctrico Nacional

CNE: Comisión Nacional de Energía

CDC: Centro de despacho del coordinador

ERNC: Energía Renovables No Convencional

NTSyCS: Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio

PE: Parque Eólico

PSFV: Parque solar fotovoltaico

SE: Subestación eléctrica

AT: Alta tensión

MT: Media tensión

BT: Baja tensión

ONAN: Oil Natural Air Natural

ONAF: Oil Natural Air Forced

SEN: Sistema Eléctrico Nacional

RCB: Regulador Bajo Carga

PMU: Power Management Unit

CPF: Control primario de frecuencia

CT: Control de tensión

CTF: Control Terciario de frecuencia

PA: Partida Autónoma

REGISTRO DE COMUNICACIONES

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

N°	Fecha dd/mm/año	Preparó	Revisó	Aprobó	Observaciones
1	27/11/2024	MF	FG	FM	Emisión inicial

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente informe se describen los resultados obtenidos en los ensayos de verificación del servicio complementario de control de tensión realizados en el parque fotovoltaico Tamarico durante los días 13, 14 y 15 de noviembre, con el objetivo de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la norma técnica de servicios complementarios vigente.

Las verificaciones anteriormente señaladas se realizan siguiendo los lineamientos estipulados en las "Guía de Verificación Servicios Complementarios Control de Tensión" expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional.

1.1. Marco normativo

Los ensayos que se detallan a continuación siguen los requerimientos establecidos en el Anexo Técnico: Verificación De Instalaciones Para La Prestación SSCC de la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC) vigente, y en la Guía de Verificación de Servicios Complementarios de Control de Tensión, a los fines de verificar la prestación del recurso técnico de instalaciones para la prestación del Servicio Complementario de Control de Tensión (CT).

En particular, los sistemas de control de las plantas se deben ensayar para cumplir con los requerimientos establecidos a continuación.

ANEXO TÉCNICO: VERIFICACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA PRESTACIÓN SSCC, TÍTULO XI. VERIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS DEL SC DE CONTROL DE TENSIÓN

Los titulares o solicitantes del Proceso de Verificación deben entregar al Coordinador información técnica asociada a la cuantificación de recursos técnicos asociados a los SSCC de Control de Frecuencia y Control de Tensión que se indican en los Artículos 14 y 15 del Anexo Técnico.

En líneas generales se deben realizar ensayos y/o mediciones a efectos de demostrar que:

- La instalación cumple con los tiempos establecidos en la Resolución SSCC.
- El controlador de Tensión cumple con las exigencias mínimas de desempeño estático y dinámico definidos en el Artículo 3-8 y 3-9 de la NTSyCS.

Complementario a lo anterior, mediante mediciones en terreno, se deberá verificar el desempeño del controlador frente a pequeñas perturbaciones en la consigna de tensión:

- La respuesta de los elementos incorporados al control de tensión/potencia reactiva del parque (controlador y sus limitadores).
- Las protecciones permiten operar el parque dentro de los límites de operación en sobretensión y subtensión establecidos para el Sistema Eléctrico Nacional en el Capítulo 5 de la NTSyCS.
- La respuesta del parque ante variaciones rápidas de la tensión, frente a fallas en la red de transmisión, cumple con las exigencias mínimas establecidas en el Artículo 3-8 de la NTSyCS.
- El diseño de las instalaciones de los parques eólicos o solar fotovoltaicos asegure

que pueden operar en forma permanente entregando o absorbiendo reactivos en el Punto de Conexión al Sistema de Transmisión, siempre que el controlador o el recurso primario así lo permita, para tensiones en el rango de Estado Normal, en las zonas definidas en el Artículo 3-9 de la NTSyCS.

- Verificación de la curva P-Q del parque en el punto de interconexión del ST según lo indicado en el artículo 3-9 de la NTSyCS y lo requerido en el Informe de SSCC.

De los requerimientos normativos anteriores, en las siguientes secciones se indican los ensayos realizados y se presentan los resultados obtenidos por parte del experto técnico, en conjunto con la empresa solicitante, que permiten verificar la capacidad de entregar el SC de CT por parte del PSFV Tamarico.

1.2. Descripción general de la planta

El PSFV Tamarico está situado en la comuna de Vallenar, región de Atacama, Chile. Esta central basada en tecnología solar fotovoltaica cuenta con una potencia comprometida de 144,7 MW en el punto de conexión, y una potencia instalada de 159,6 MVA para temperaturas de hasta 40°C.

La planta cuenta con los siguientes elementos instalados: 291.144 unidades de módulos fotovoltaicos marca Jinko con potencias de 560 Wp, 565 Wp y 570 Wp y con una capacidad acumulada de 164,73 MWdc (en STC); 38 inversores Power Electronics de 4.200 kVA; 16 centros de transformación de 8.400 kVA, en los cuales se conectan dos inversores y 6 centros de transformación de 4.200 kVA en los cuales se conecta un inversor. Estos centros de transformación elevan la tensión e inyectan la potencia hacia el sistema colector, el cual está conformado por 8 cables acometen a una barra de 33 kV. Luego, la potencia erogada por el parque solar se evacua mediante dos cables de 50 m de longitud, los cuales conectan la barra del sistema colector junto con la SE Tamarico 1. Posteriormente, se eleva la tensión mediante un transformador de relación 220/33 kV y potencia 110 MVA/150 MVA/180 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2).

El punto de interconexión (POI) donde se comercializa la energía producida por el parque solar está situado eléctricamente en la barra de 220 kV de la SE Tamarico 1. Esta última, se conecta con la SE Verbenas mediante una línea de 220 kV con una longitud de 13.38 km. Adicionalmente, el punto de control por medio del Power Plant Controller (PPC) corresponde con el punto de interconexión del parque.

En el Gráfico 1 se muestra una imagen de la ubicación geográfica del parque. Luego, en el Gráfico 2 y el Gráfico 3 se observa el diagrama unilíneal de la SE Tamarico 1, en el Gráfico 4 se muestra el sistema colector del parque.



Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Tamarico.

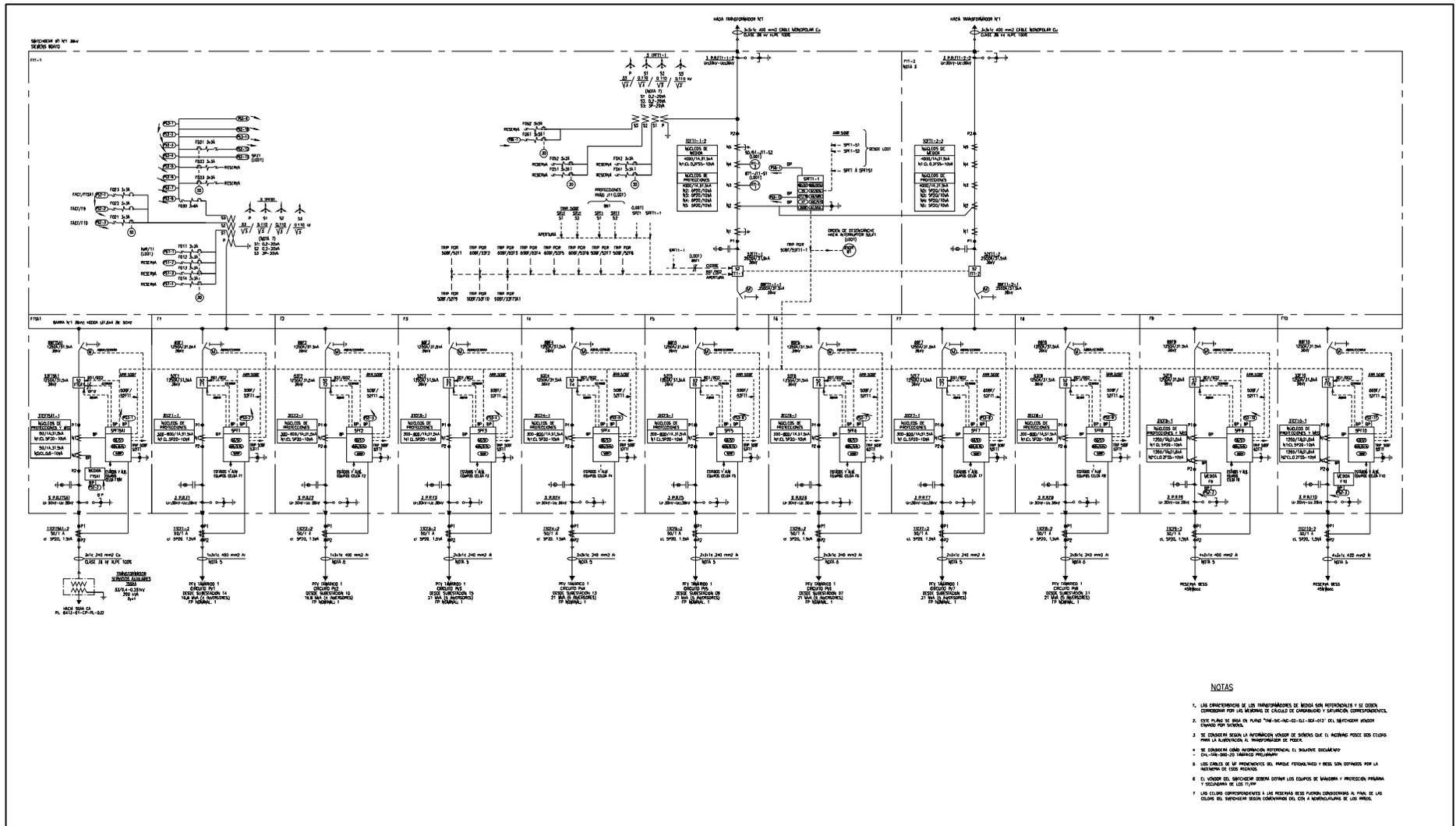


Gráfico 3. Esquema unilineal de la SE Tamarico 1 – parte 2.

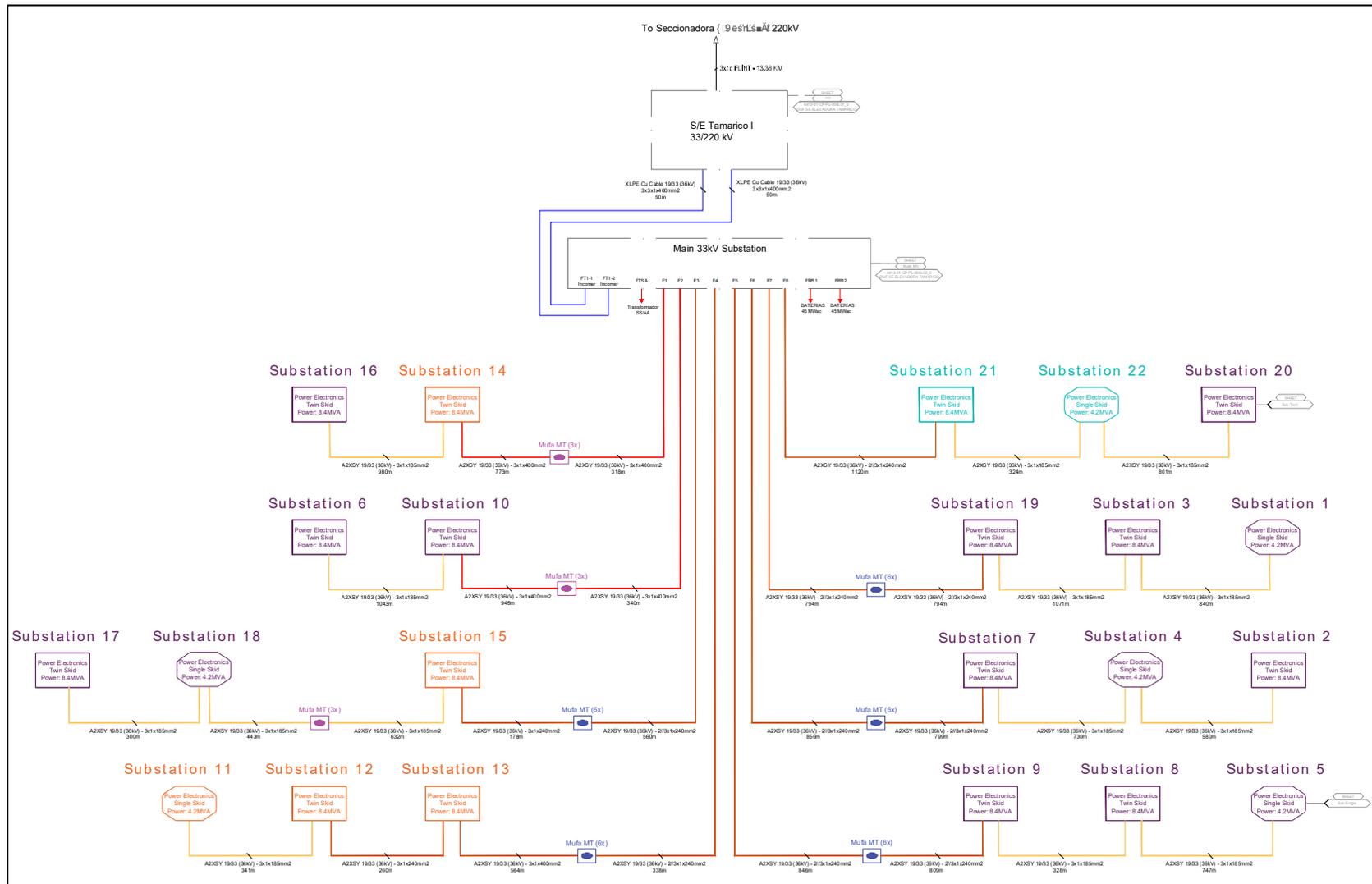


Gráfico 4. Diagrama unilineal del sistema colector del PSFV Tamarico

1.3. Principales componentes de la planta

1.3.1 Control de planta

El control de planta posee las siguientes funcionalidades:

- Funciones de control de potencia activa:
 - Control de potencia activa: Regula la potencia activa del parque para alcanzar una consigna definida, siempre y cuando la potencia disponible esté por encima de la misma. Cuando la limitación de rampa está activa, tanto la rampa subida como de bajada quedan definidas por una pendiente determinada. En el caso particular del PSFV Tamarico, la pendiente estaba configurada en 28,94 MW/s tanto para la toma de carga como para la reducción de generación, que corresponden a un valor de 20 %/min (respecto a la potencia nominal de 144,7 MW).
 - Control de frecuencia: Esta función contempla la respuesta de la potencia activa en función a las fluctuaciones de frecuencia respecto a la nominal (50 Hz). La respuesta del parque estará dada por una curva de potencia / frecuencia que posee una pendiente y una banda muerta. El estatismo del control de frecuencia se encuentra configurado en 8% y la banda muerta en ± 25 mHz.

- Funciones de control de potencia reactiva:

A continuación, se describen los tres modos de operación disponibles. Cabe destacar, que estos modos son incompatibles entre sí, de modo que solo puede estar activo un modo de control.

- Control de tensión: Permite definir un valor de consigna de tensión, controlando la inyección de potencia reactiva según una recta VQ predefinida (estatismo V/Q).
- Control de factor de potencia: Permite definir un valor de consigna de factor de potencia en el punto de conexión, controlando la inyección de potencia reactiva para mantenerlo constante
- Control de potencia reactiva: Permite definir un valor de consigna de potencia reactiva en el punto de conexión, de forma directa o a partir de los lazos de control de tensión o factor de potencia. La consigna de potencia reactiva (Q_{sp}) es distribuida entre todos los aerogeneradores.
- Operación del parque en ausencia de recurso primario: Ante la falta de recurso primario el PSFV Tamarico entra en modo noche, en el cual esta funciona como STATCOM, permitiendo la inyección/absorción de potencia reactiva.

1.3.2 Paneles solares

Los paneles solares del PSFV Tamarico son de marca Jinko Solar y sus principales características se muestran a continuación:

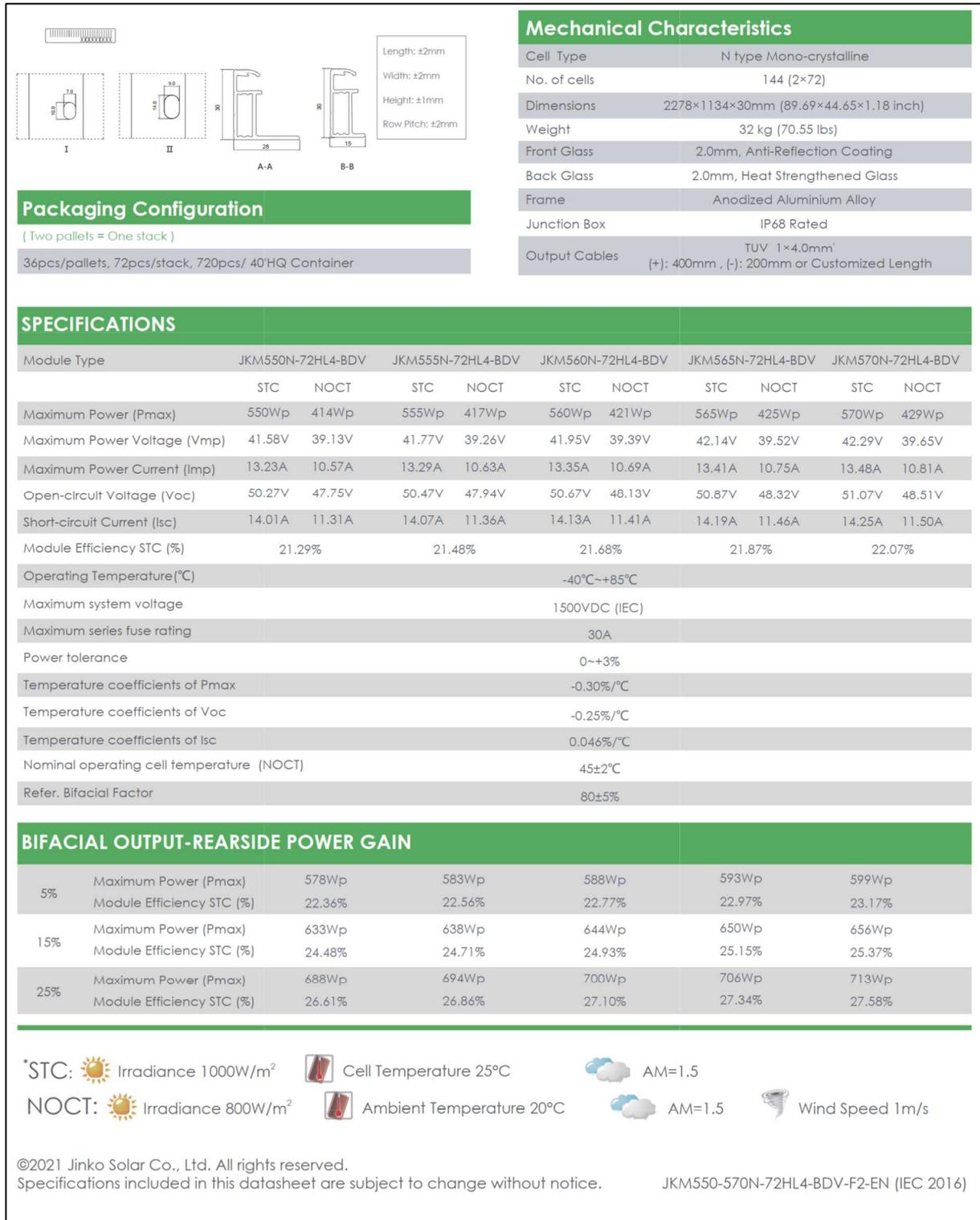


Gráfico 5. Características técnicas de los paneles solares.

1.3.3 Inversores

El parque solar fotovoltaico Tamarico cuenta con 38 inversores marca Power Electronics modelo HEMK GEN 3 660 V – FS4200K, cuyas características técnicas se muestran en la siguiente figura:



TECHNICAL CHARACTERISTICS

HEMK GEN 3 660V

REFERENCE	FS4200K
OUTPUT	
AC Output Power(kVA/kW) @40°C ^[1]	4200
AC Output Power(kVA/kW) @50°C ^[1]	3900
Max. AC Output Current (A) @40°C	3674
Operating Grid Voltage(VAC) ^[2]	660V ±10%
Operating Grid Frequency(Hz)	50Hz/60Hz
Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519
Power Factor (cosine phi) ^[3]	0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive power injection at night
INPUT	
MPPT @full power (VDC)	934V-1500V
Maximum DC voltage	1500V
Number of PV inputs ^[2]	Up to 40
Max. DC continuous current (A) ^[4]	4590
Max. DC short circuit current (A) ^[4]	6940
EFFICIENCY & AUXILIARY SUPPLY	
Efficiency (Max) (η)	98.90% (preliminary)
Euroeta (η)	98.65% (preliminary)
Max. Power Consumption (kVA)	10
CABINET	
Dimensions [WxDxH] (ft)	11.8 x 6.5 x 7.2
Dimensions [WxDxH] (m)	3.6 x 2.0 x 2.2
Weight (lb)	12677
Weight (kg)	5750
Type of ventilation	Forced air cooling
ENVIRONMENT	
Degree of protection	NEMA 3R - IP55
Permissible Ambient Temperature	-35°C to +60°C / >50°C Active Power derating
Relative Humidity	4% to 100% non condensing
Max. Altitude (above sea level)	2000m; >2000m power derating (Max. 4000m)
Noise level ^[5]	< 79 dBA
CONTROL INTERFACE	
Communication protocol	Modbus TCP
Plant Controller Communication	Optional
Keyed ON/OFF switch	Standard
PROTECTIONS	
Ground Fault Protection	GFDI and Isolation monitoring device
General AC Protection	Circuit Breaker
General DC Protection	Fuses
Overvoltage Protection	AC, DC Inverter and auxiliary supply type 2
CERTIFICATIONS	
Safety	UL1741, CSA 22.2 No.107.1-16, UL62109-1, IEC62109-1, IEC62109-2
Compliance	NEC 2017 / IEC
Utility interconnect	IEEE 1547.1-2005 / UL1741SA-Feb. 2018 / IEC62116:2014

[1] Values at 1.00·Vac nom and cos φ= 1.
Consult Power Electronics for derating curves.

[2] Consult Power Electronics for other configurations.

[3] Consult P-Q charts available: $Q(kVAr)=\sqrt{(S(kVA))^2-P(kW)^2}$.

[4] Consult Power Electronics for Freemaq DC/DC connection configurations.

[5] Readings taken 1 meter from the back of the unit.

Gráfico 6. Características generales de los inversores.

En el siguiente gráfico se muestra la curva PQ del inversor Power Electronics, modelo FS4200K HEMK GEN3.

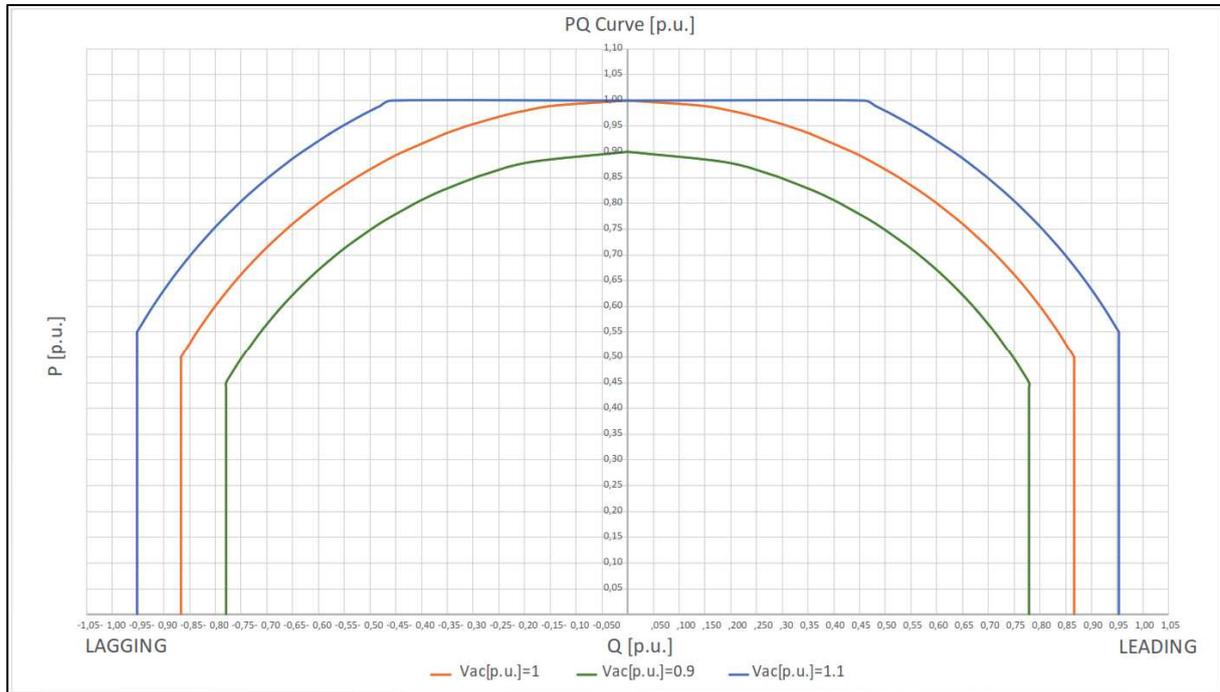


Gráfico 7. Curva de capacidad del inversor Power Electronics, modelo FS4200K HEMK GEN3.

1.3.4 Red colectora

En la siguiente tabla, se muestran los parámetros de los cables utilizados para construir el sistema colector.

Tabla 1. Datos de cables de la red colectora.

Sección [mm ²]	X1 [Ω/km]	R1 [Ω/km]	B [μs/km]	X0 [Ω/km]	R0 [Ω/km]	Corriente nominal [kA]
400	0,1136	0,1109	73,490	0,1997	0,6099	0,470
240	0,1173	0,1259	70,070	0,2096	0,6377	0,367
185	0,1220	0,1698	62,380	0,2884	0,7841	0,317

1.3.5 Transformador de bloque

La instalación cuenta con 16 transformadores elevadores de tres arrollamientos, con una potencia de 8,4 MVA, en los cuales se conectan 2 inversores (un inversor en cada arrollamiento secundario del transformador) y 6 transformadores de dos arrollamientos con una potencia de 4,2 MVA. Estos transformadores elevan la tensión e inyectan la potencia generada de los inversores hacia la red colectora de media tensión. Los datos técnicos se detallan a continuación:

Tabla 2. Datos técnicos de los transformadores de bloque de dos arrollamientos.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal lado HV	4,2 MVA
Potencia Nominal lado MV	4,2
Refrigeración	ONAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	34,5 kV
Tensión nominal lado MV	0,66 kV
Tipo de conexión	Dy11
Impedancia de corto circuito	8,5%
Perdidas en carga (HV-MV)	33,5 kW
Pérdidas de vacío	3,55 kW
Posiciones de Tap (sin carga)	±2x2,5%

Tabla 3. Datos técnicos de los transformadores de bloque de tres arrollamientos.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal lado HV	8,4 MVA
Potencia Nominal lado MV	4,2
Potencia Nominal lado LV	4,2
Refrigeración	ONAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado MV	0,66 kV
Tensión nominal lado LV	0,66 kV
Tipo de conexión	Dy11y11
Impedancia de corto circuito (HV-MV)	8%
Impedancia de corto circuito (MV-LV)	8%
Impedancia de corto circuito (LV-HV)	8 %
Perdidas en carga (HV-MV)	27,0 kW
Perdidas en carga (MV-LV)	0 kW
Perdidas en carga (LV-HV)	27,0 kW
Pérdidas de vacío	7,2 kW
Posiciones de Tap	±2x2,5%

1.3.6 Transformador de potencia

Las características más importantes del transformador de potencia se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4. Datos técnicos del transformador de potencia.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	110/150/180 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF1/ONAF2
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	33 kV
Tipo de conexión	Ynd1
Impedancia de corto circuito	12,56% (base 180 MVA)
Perdidas en carga	535,546 kW
Pérdidas de vacío	38,934 kW
Posiciones de Tap (bajo carga)	±10 x 1,5%

1.3.7 Reactor zigzag

El PSFV Tamarico, cuenta con un reactor de Zig-Zag con la finalidad de limitar el valor de la corriente ante un cortocircuito a tierra. Las características principales del mismo se muestran a continuación:

Tabla 5. Datos técnicos del reactor Zig - Zag.

Parámetro	Valor
Tensión nominal	33 kV
Impedancia de secuencia cero	116 Ω
Corriente nominal (3*I0)	0,5 kA
Resistencia de puesta a tierra	38,1 Ω

2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Se realizaron ensayos para verificar la respuesta de todos los modos del control de planta (PPC) y también de los aerogeneradores. En este sentido, la medición para los ensayos a nivel planta se efectuó en el punto de conexión del parque (en la barra de 220 kV de la SE Tamarico).

Por otro lado, ante la imposibilidad de realizar mediciones a pie del inversor, al momento de realizar los ensayos a nivel unidad, se efectuaron las mediciones en el mismo punto que a nivel planta. Para que sea esto posible, se pausaron todos aquellos inversores que no participen de la prueba. Estos ensayos se realizaron sobre el inversor INV02 (inversor más lejano) y el inversor INV025 (inversor más cercano).

2.1. Ensayos a nivel planta

2.1.1 Verificación de la curva PQ teórica

El objetivo de este ensayo es el de modificar el punto de operación del parque fotovoltaico de manera de verificar el cumplimiento de la capacidad de absorción e inyección de potencia activa/reactiva en régimen permanente en el punto de conexión de 220 kV. Para determinar los puntos de la curva PQ máxima teórica, se utilizó el correspondiente modelo homologado en el software Power Factory, despachando el parque en distintos puntos

operativos.

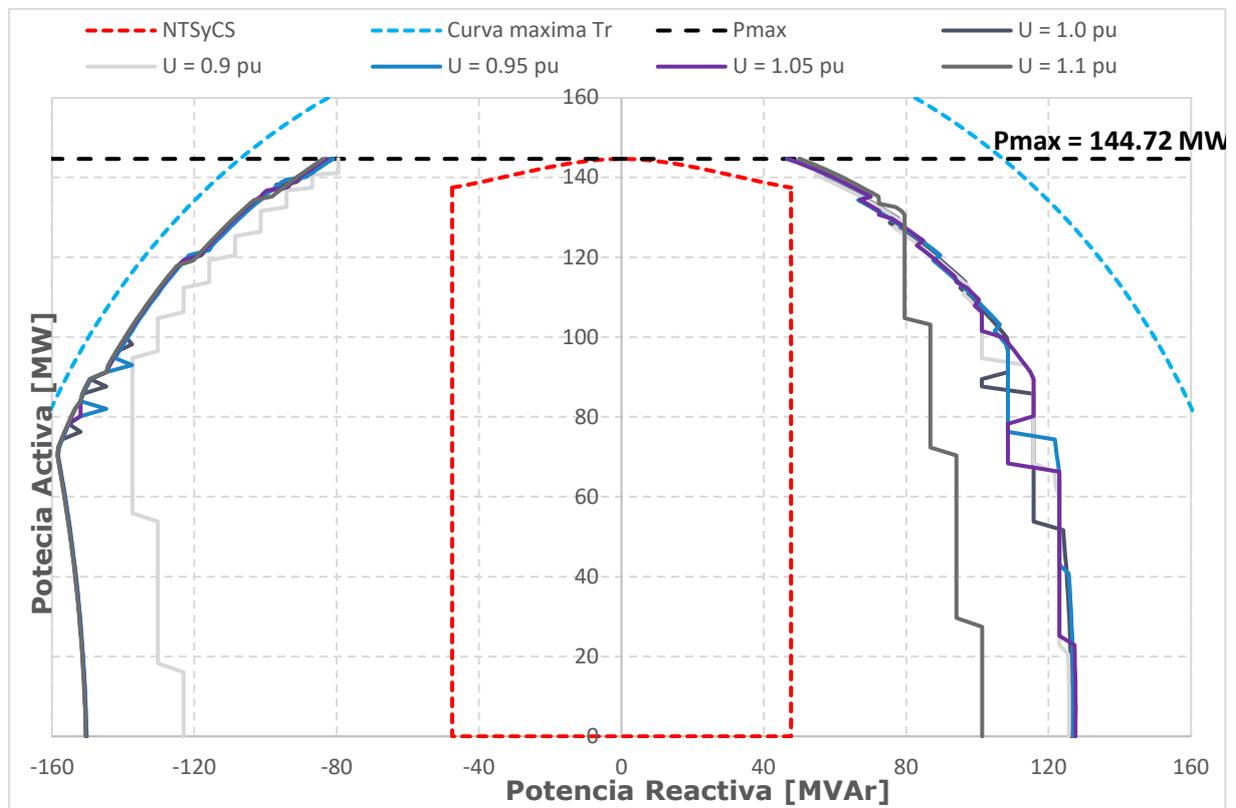


Gráfico 8. Curva PQ máxima del PSFV Tamarico.

En función de los datos obtenidos a partir de simulación, se determinaron 8 puntos externos para despachar el parque.

A continuación, se muestra el relevamiento de los 8 puntos extremos de la curva PQ teórica (puntos 1 a 8), junto con la curva máxima teórica en el POI considerando tensión de 1 pu.

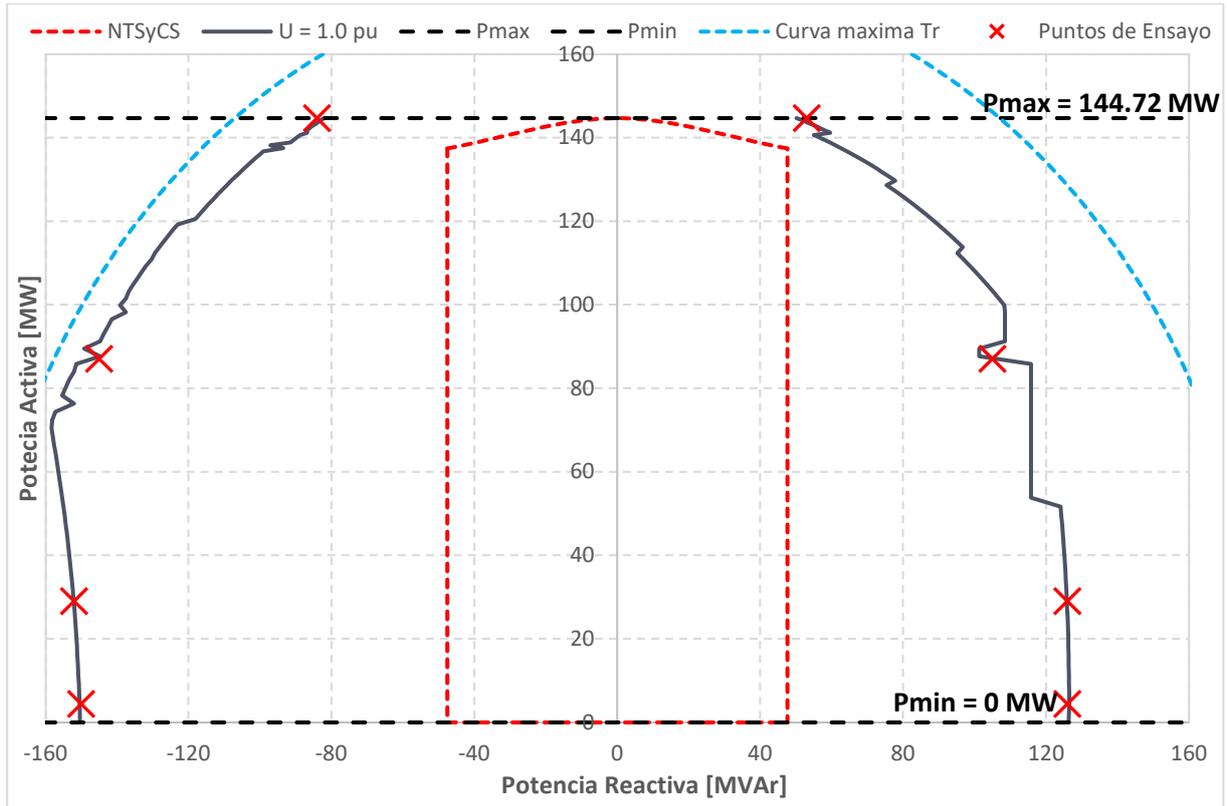
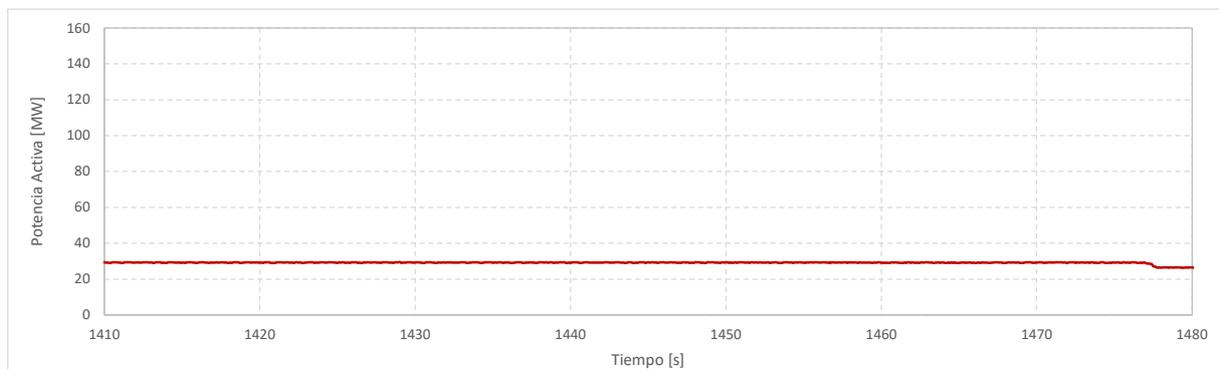
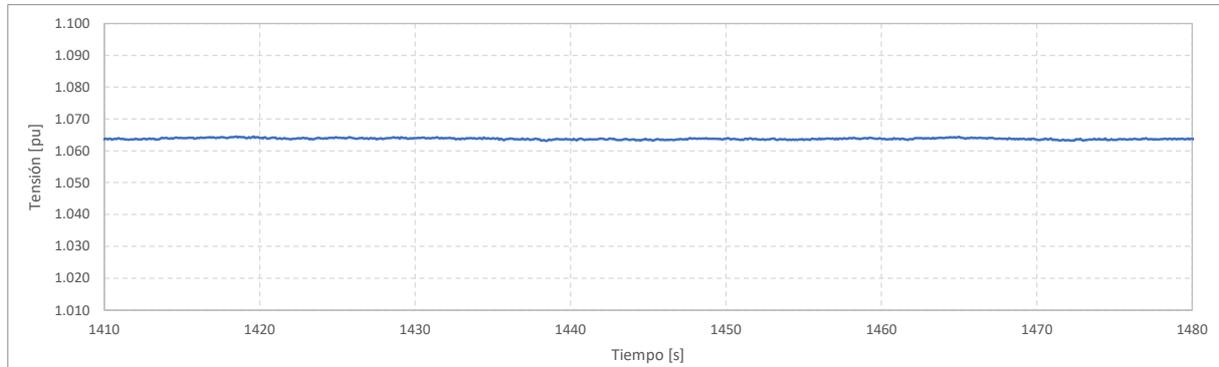


Gráfico 9. Curva P-Q registrada en el punto de conexión del PE.



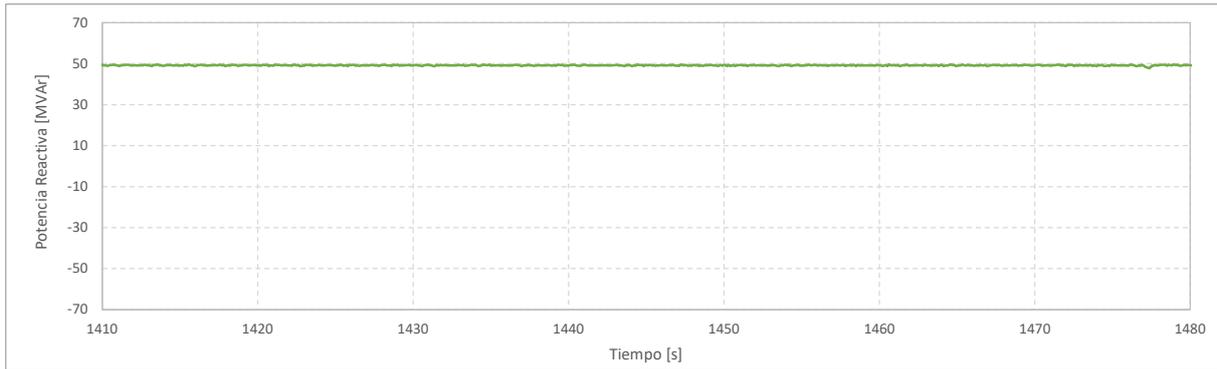


Gráfico 10. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 1.

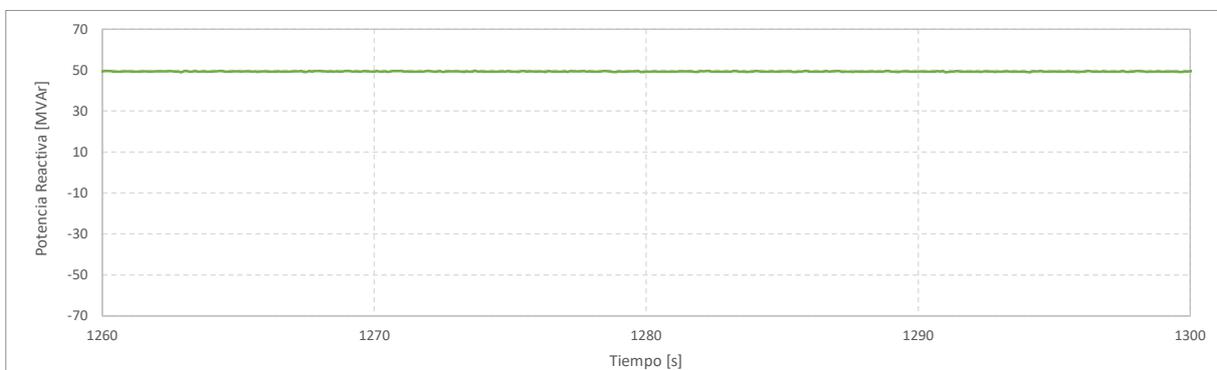
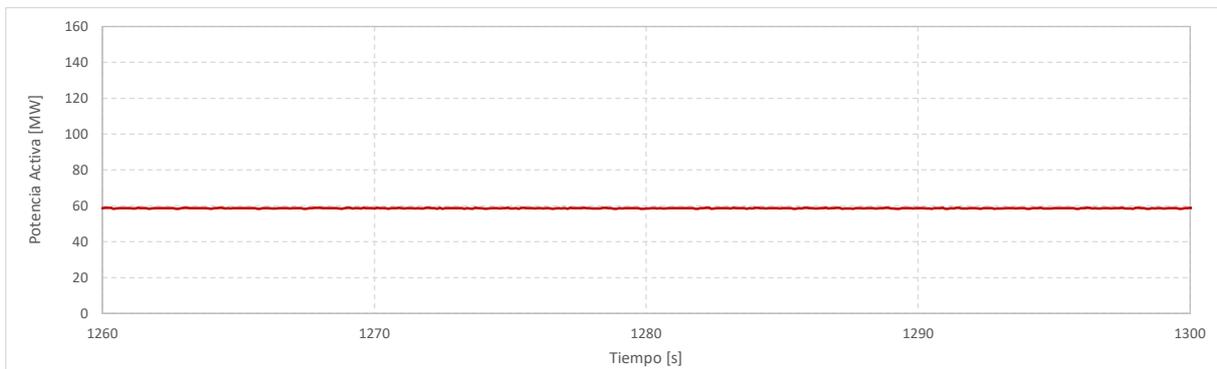
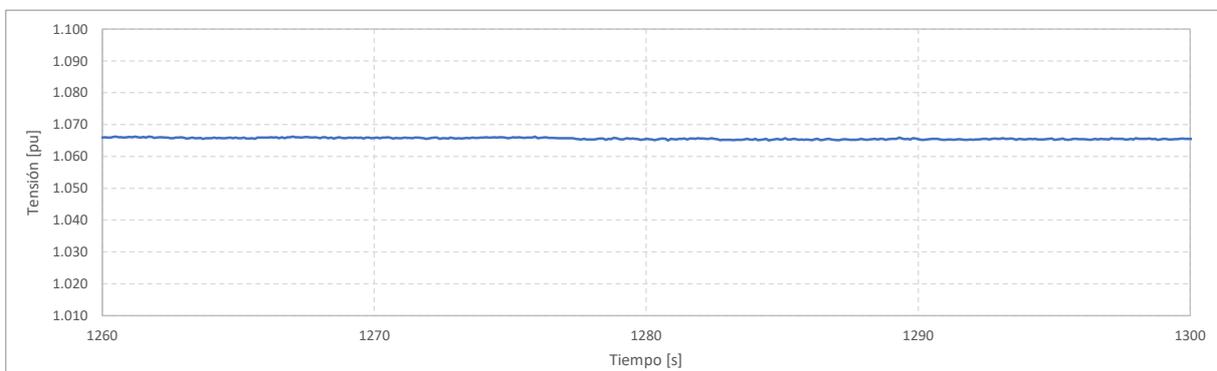


Gráfico 11. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 2

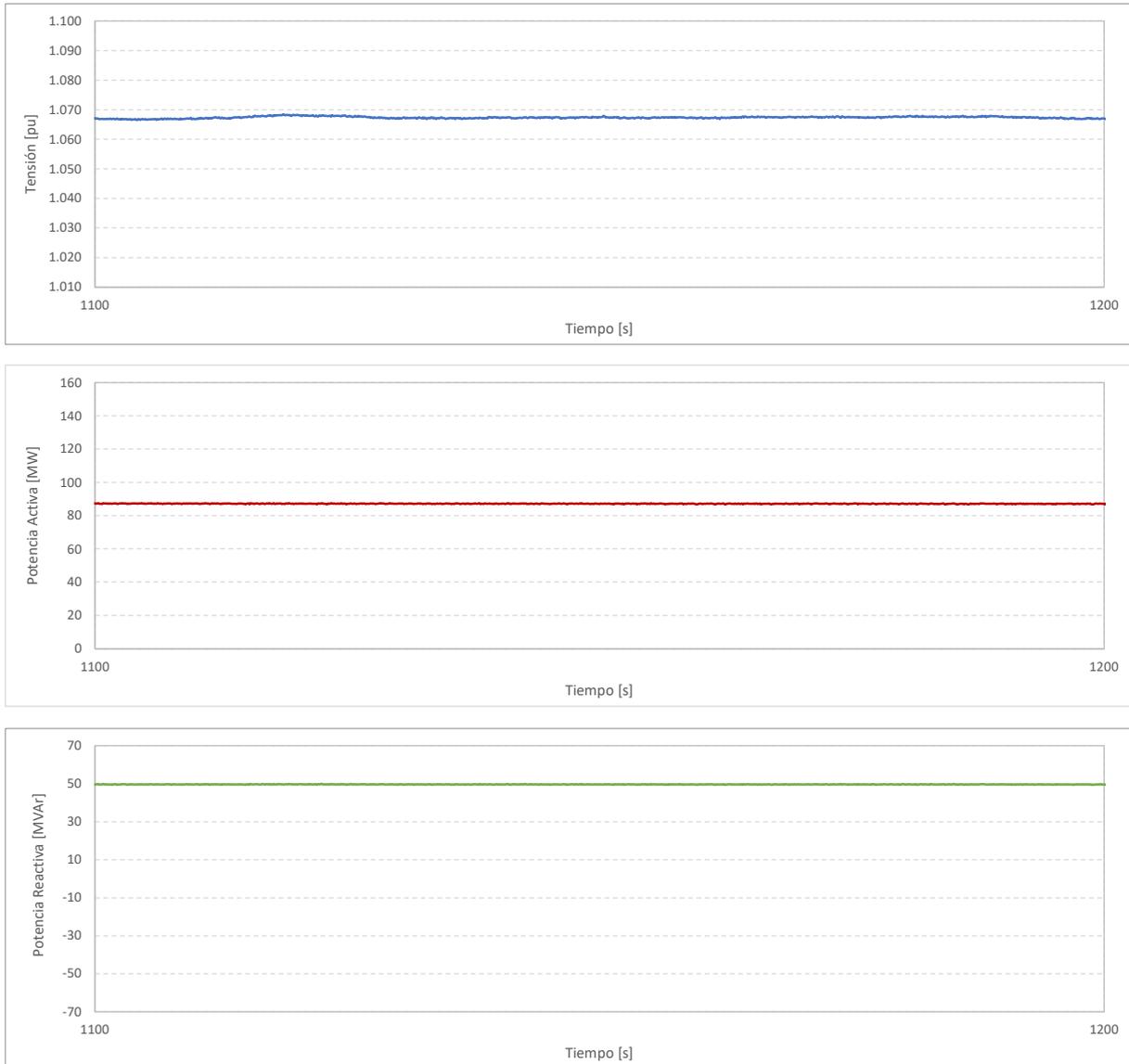
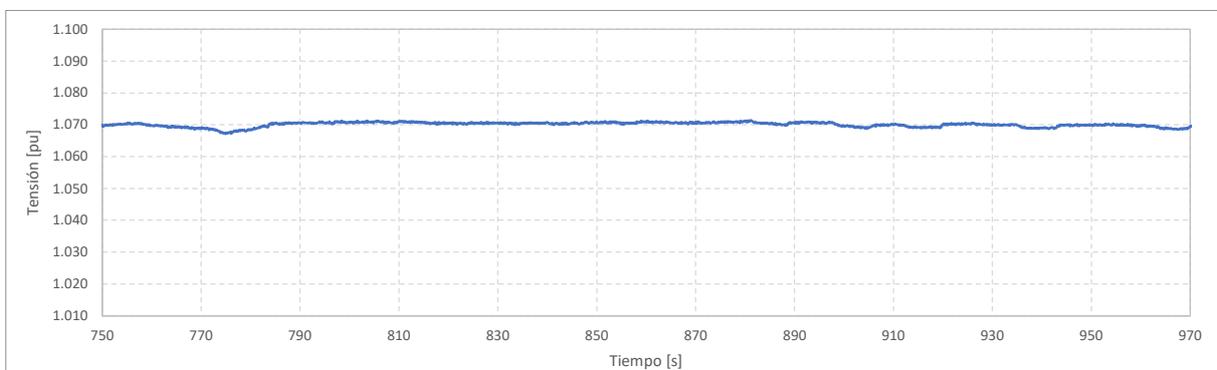


Gráfico 12. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 3.



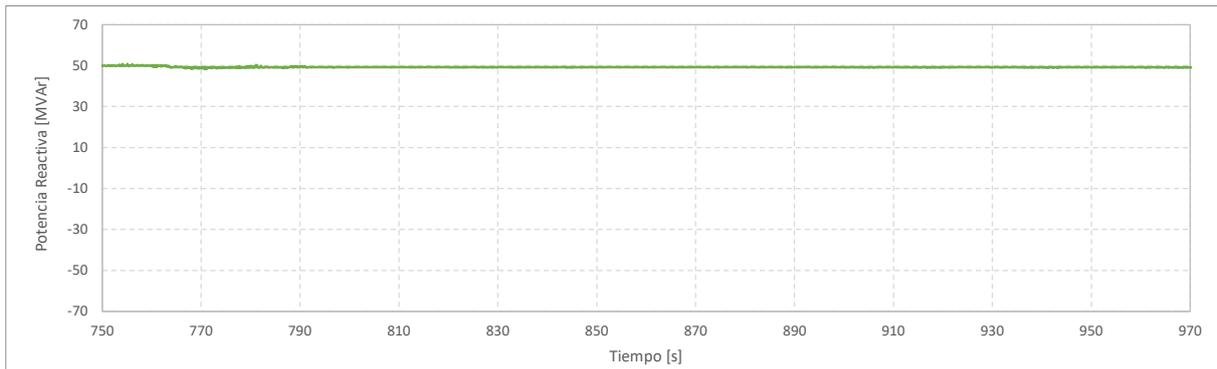
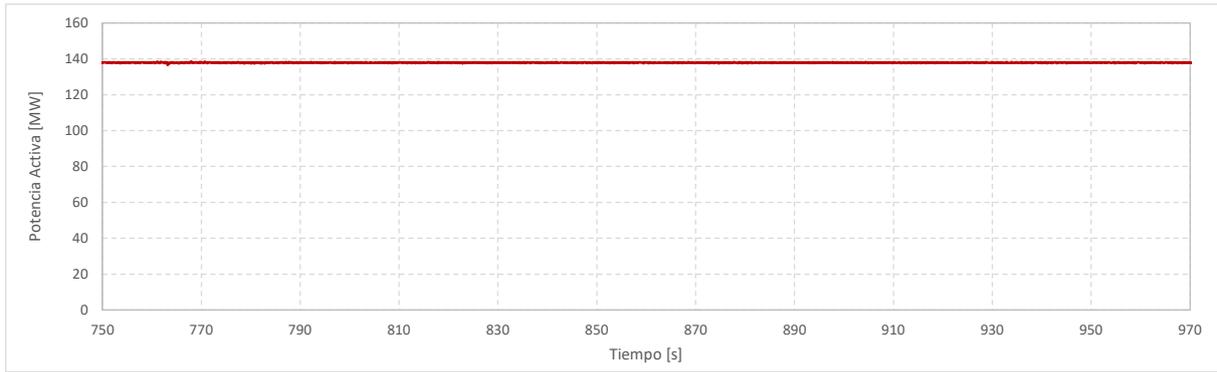
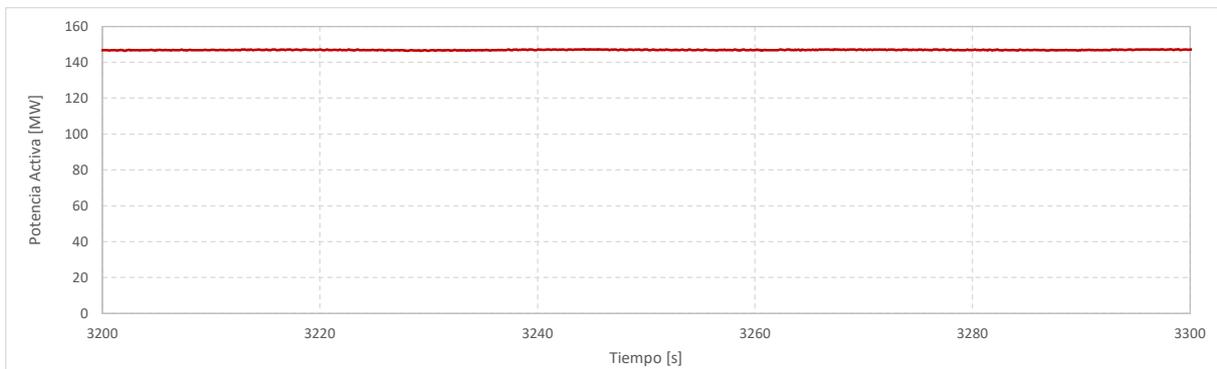
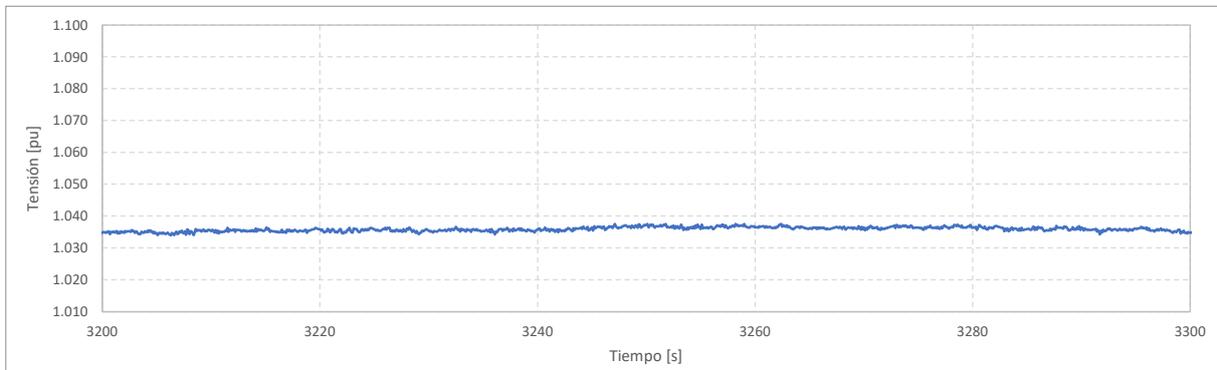


Gráfico 13. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 4



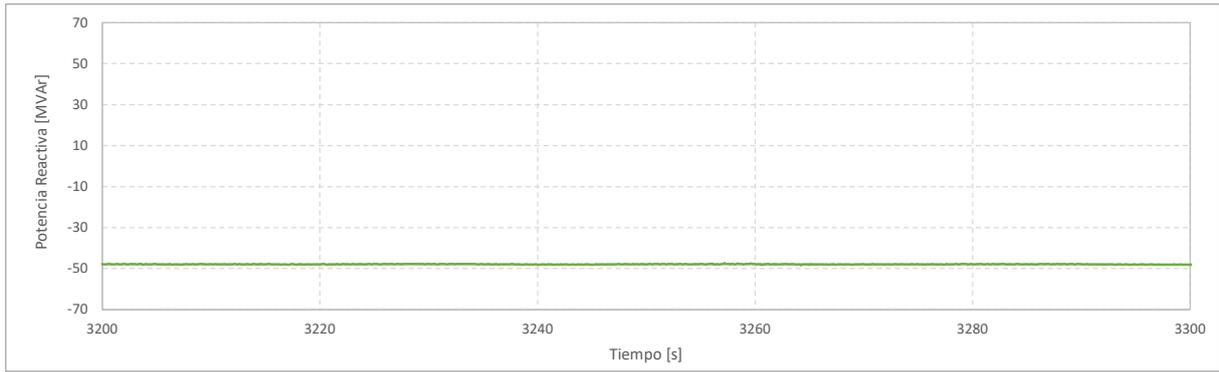


Gráfico 14. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 5.

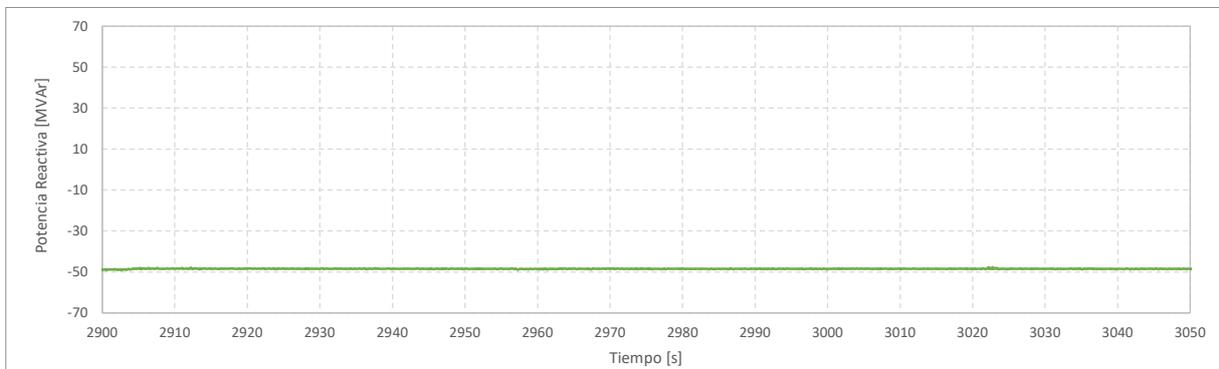
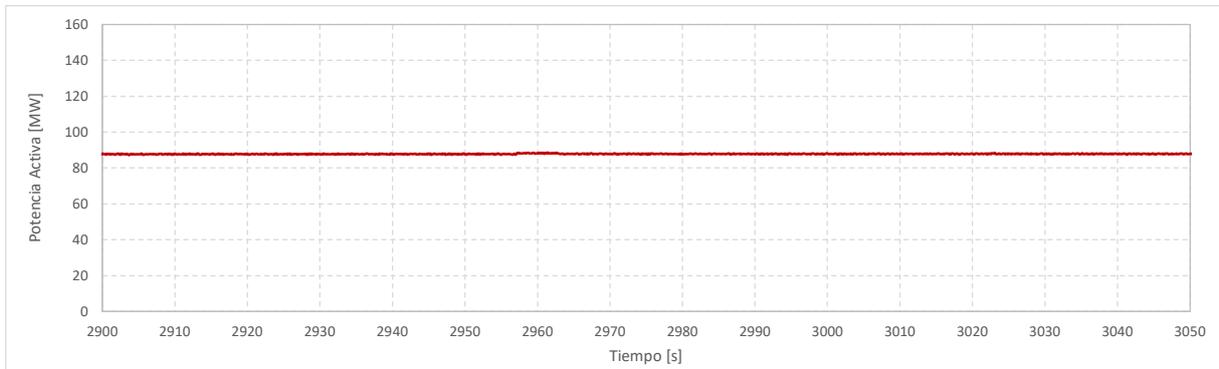
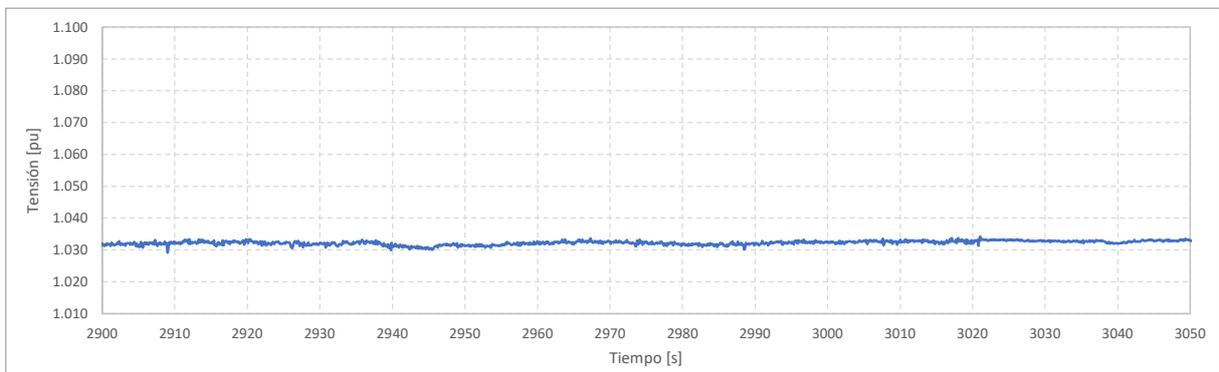


Gráfico 15. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 6.

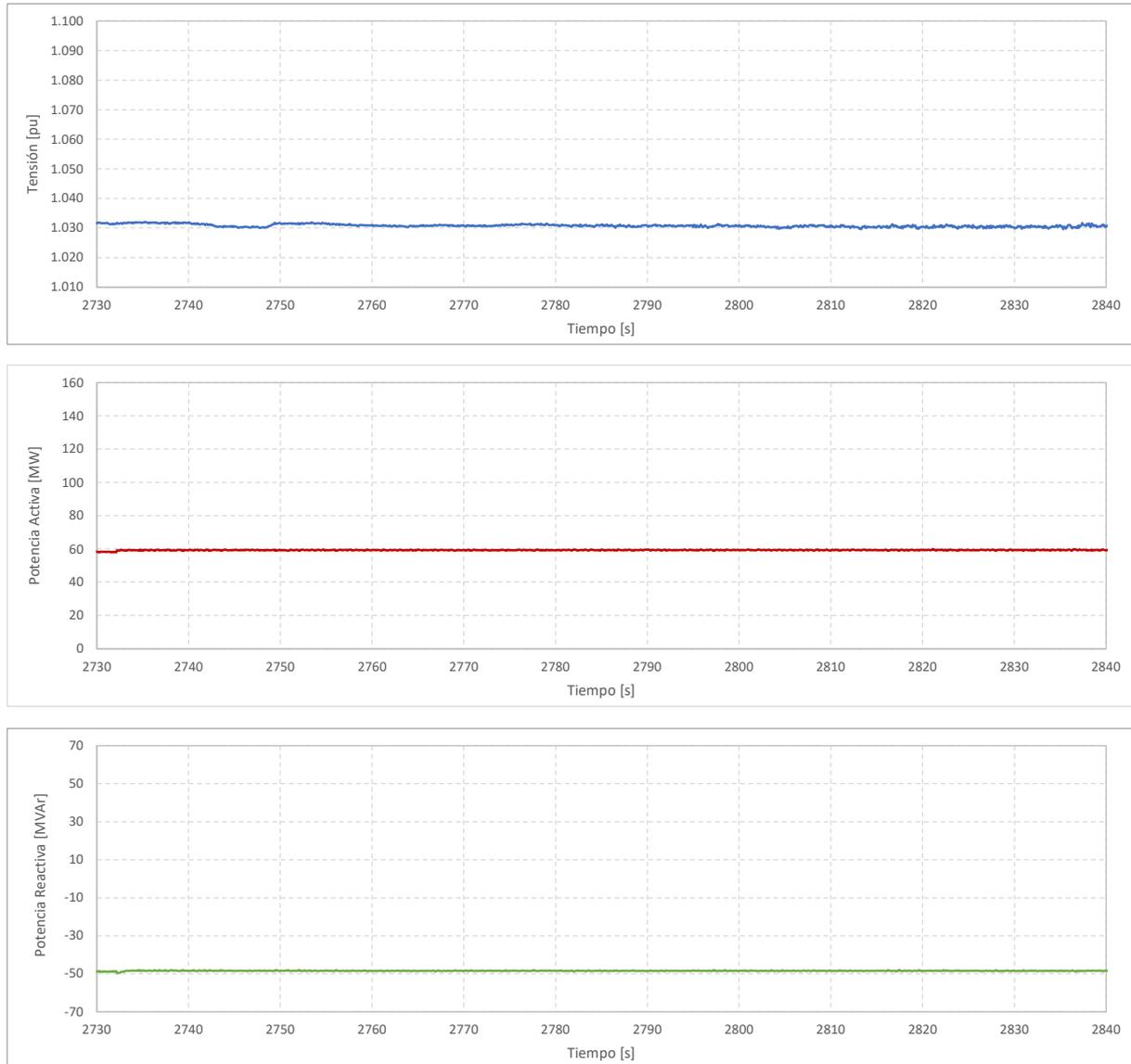
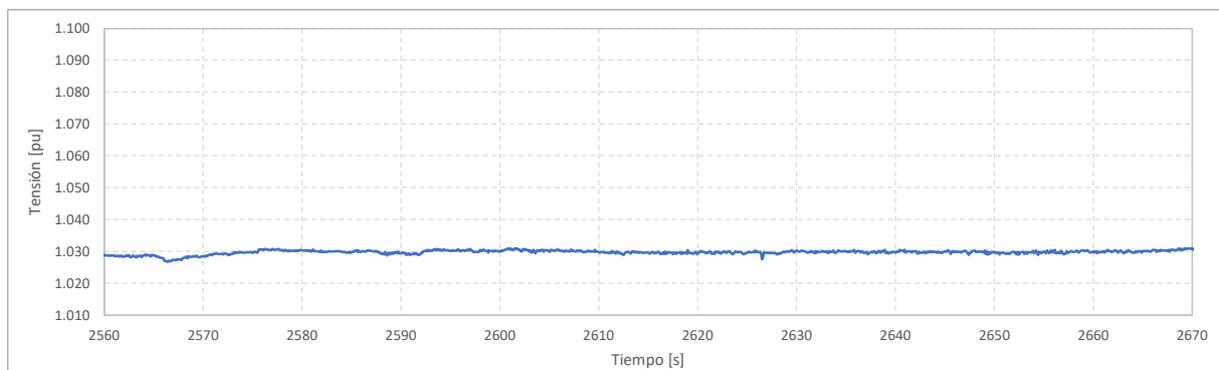


Gráfico 16. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 7.



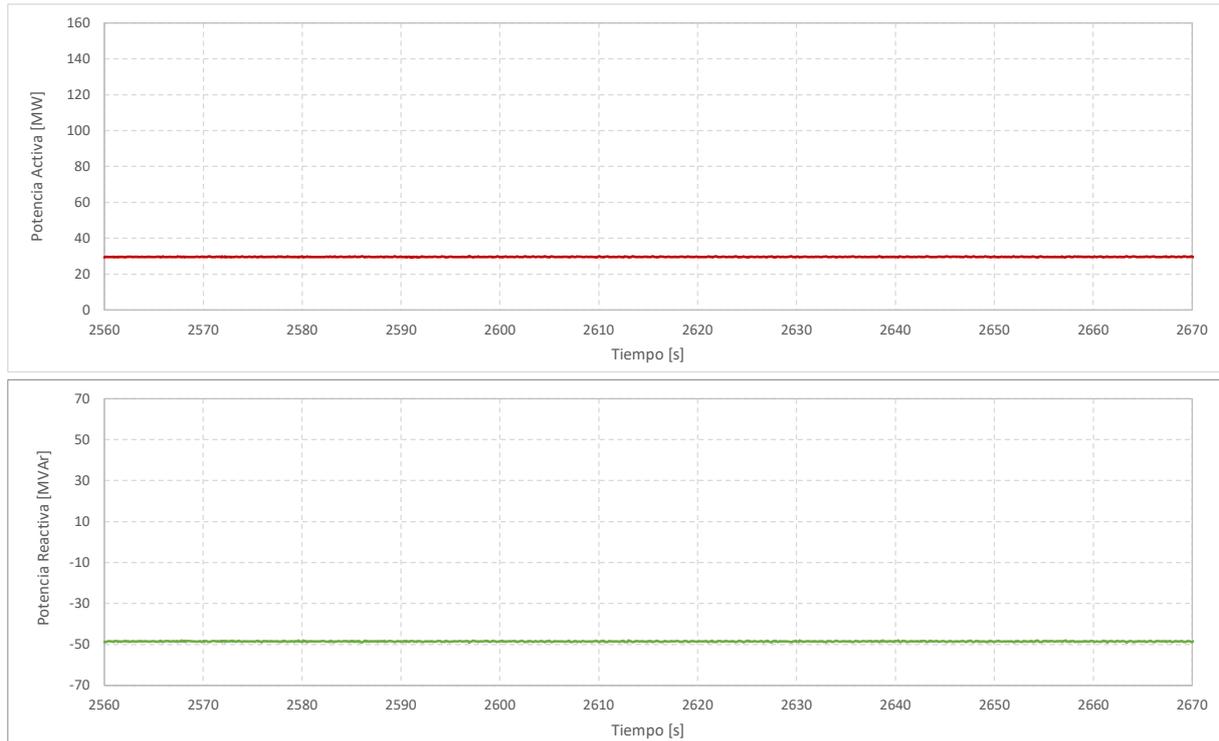


Gráfico 17. Evolución temporal de las variables eléctricas. Relevamiento de la curva PQ – Punto 8.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los puntos extremos obtenidos:

Punto	V [pu]	P [MW]	Q teórico [MVar]	Q alcanzado [MVar]	Observaciones
1	1,064	29	126	50	Limitado por configuración del PPC
2	1,066	60	116	50	Limitado por configuración del PPC
3	1,067	87	101	50	Limitado por configuración del PPC
4	1,07	140	60	50	Limitado por configuración del PPC
5	1,035	140	-90	-50	Limitado por configuración del PPC
6	1,032	87	-145	-50	Limitado por configuración del PPC
7	1,031	60	-155	-50	Limitado por configuración del PPC
8	1,03	29	-152	-50	Limitado por configuración del PPC

Nota: En todos los puntos relevados, se solicitó al centro de despacho de carga (CDC) variar la tensión en el punto de conexión a los valores indicados en la "Guía-de-Verificación-Control-de-Tensión" (0.9, 0.95, 1, 1.05, 1.1 pu). Desde el CDC no pudo variarse la tensión

en el punto de conexión, por falta de capacidad en centrales cercanas. De acuerdo con lo anterior, el registro de tensión refleja la tensión presente en la red para cada punto de operación, el cual varía principalmente en función de la inyección / absorción de potencia reactiva del PSFV Tamarico.

Por otro lado, si bien no se llegó a los valores de reactivos máximos simulados, se pudo comprobar el cumplimiento de la curva PQ en el POI en función de lo solicitado por la NTSyCS.

2.1.2 Ensayos del control de potencia reactiva / tensión

Se realizaron ensayos para la verificación del desempeño del modelo de control de tensión y su sistema de regulación de potencia reactiva, para distintas condiciones de generación de potencia activa, considerando niveles de baja (0-10% Pn), media (50% Pn) y alta (90-100% Pn) carga. Ninguno de los controles ensayados presenta error de estado estacionario, ni sobre oscilación.

a.1) Control de potencia reactiva (control Q)

Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de potencia reactiva del control de planta en escalones de ± 15 MVAR. Los resultados se muestran a continuación.



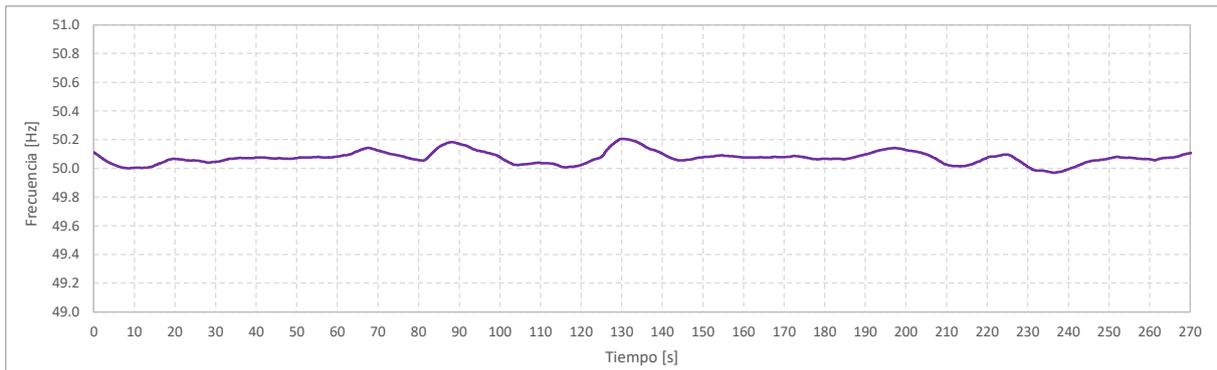


Gráfico 18. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Variables temporales.

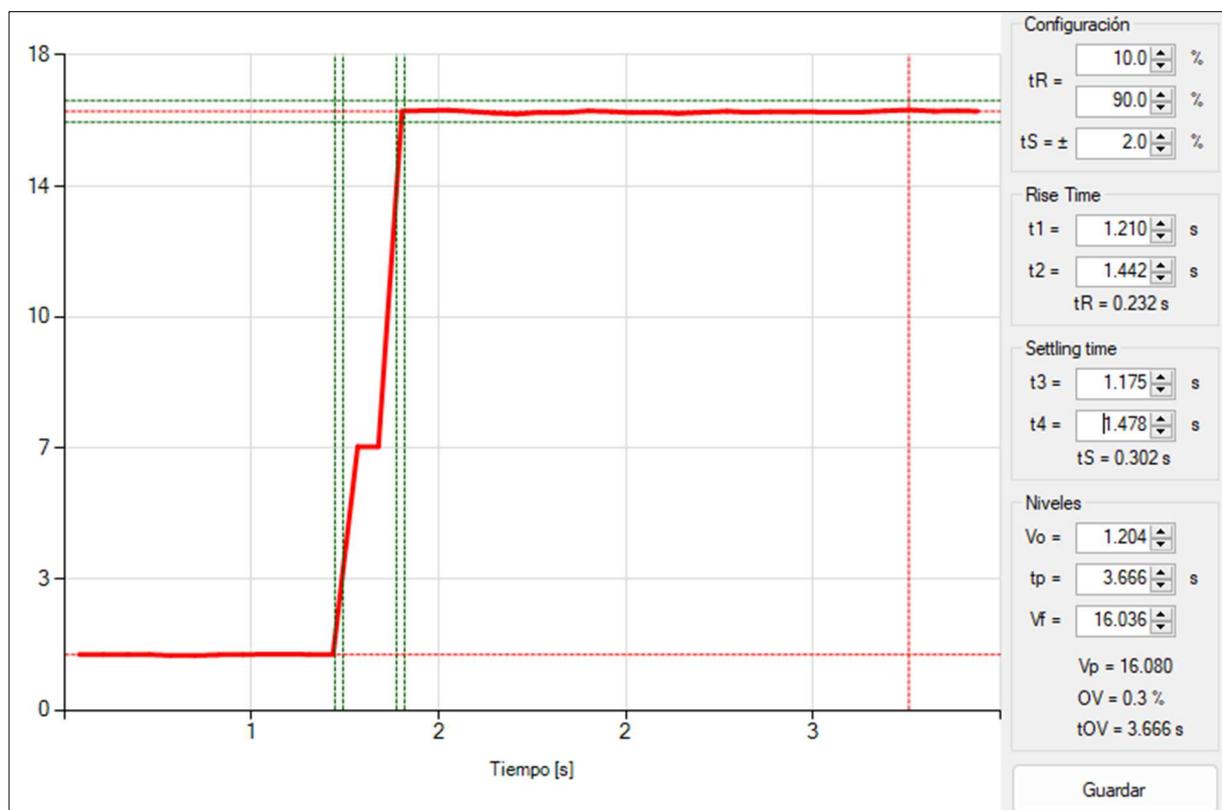


Gráfico 19. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.

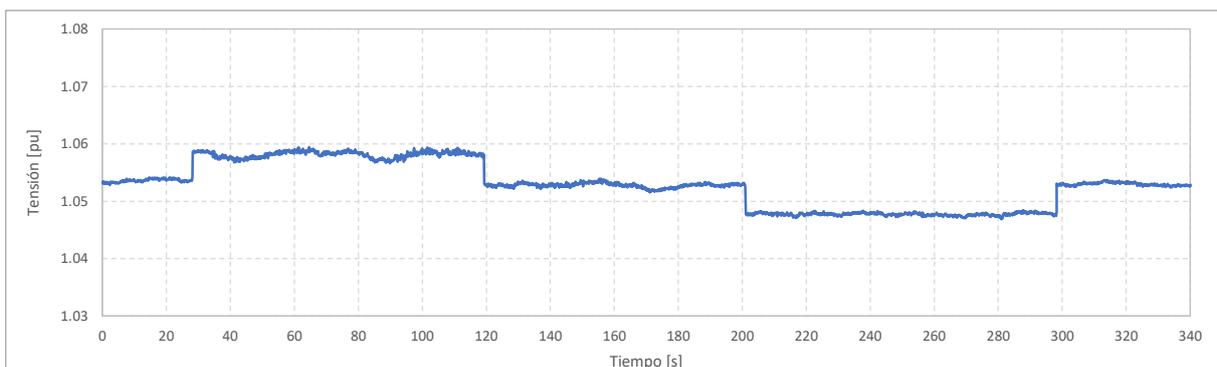




Gráfico 20. Control de potencia reactiva. Media Carga. Variables temporales.

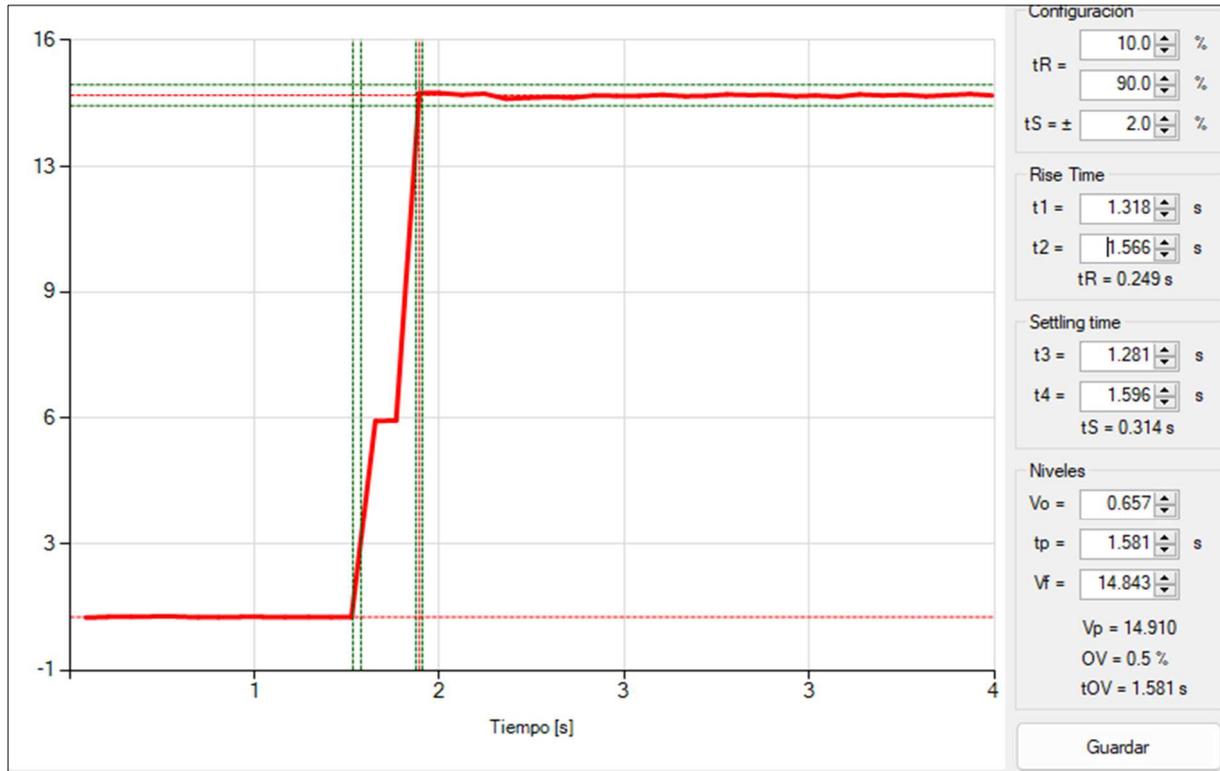
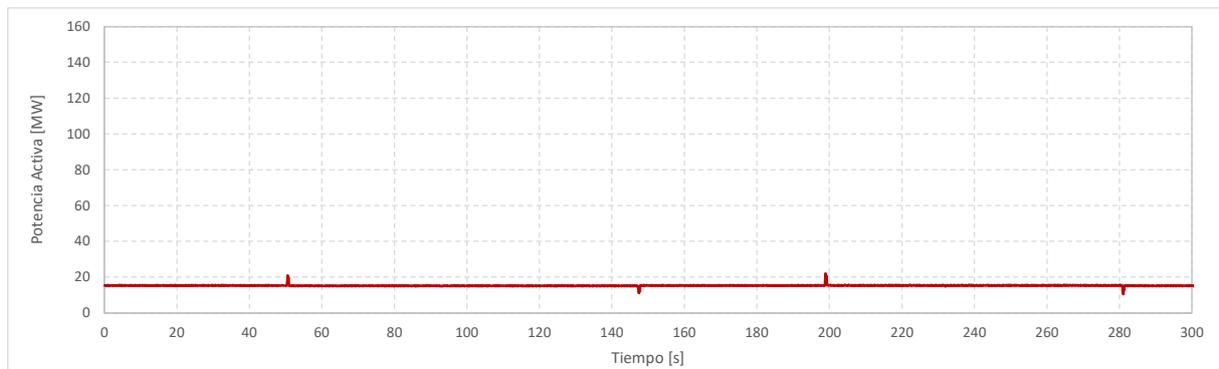
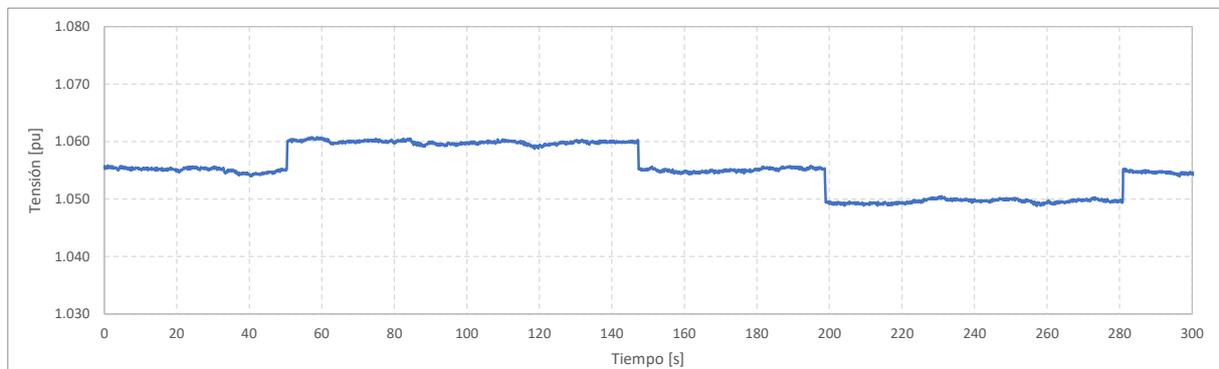


Gráfico 21. Control de potencia reactiva. Media Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.



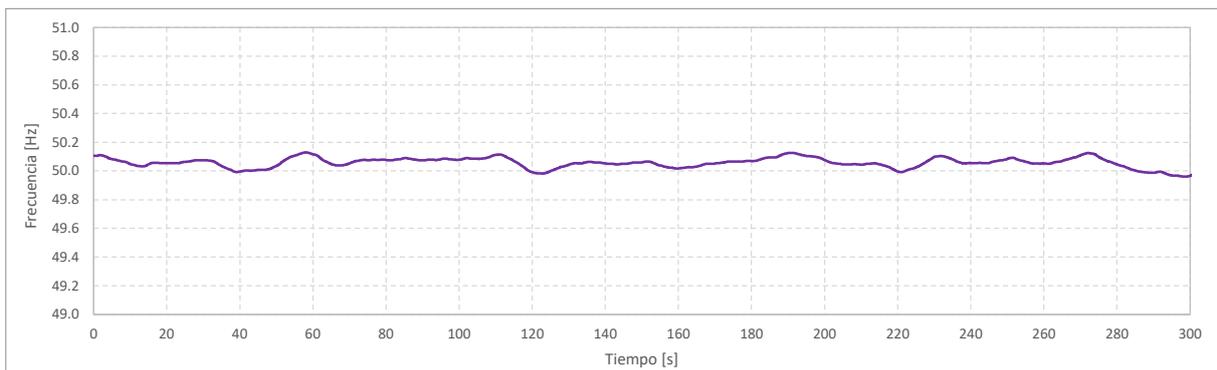
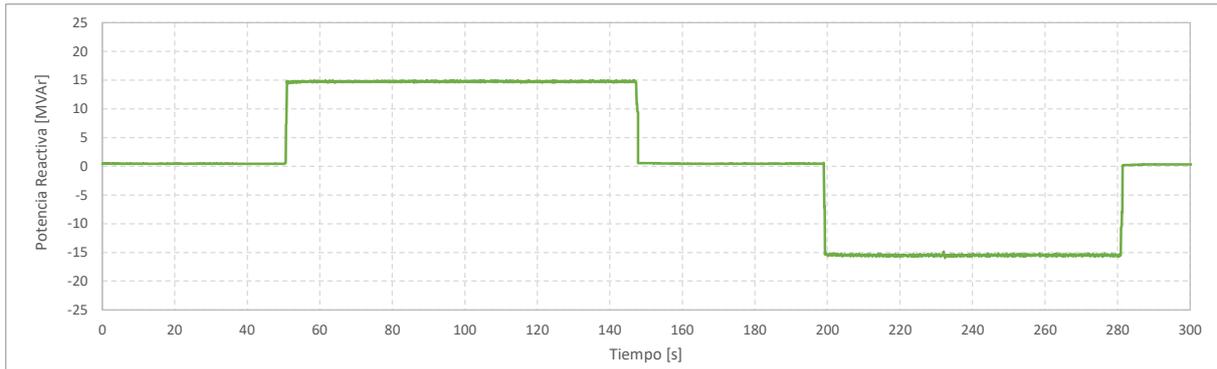


Gráfico 22. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Variables temporales.

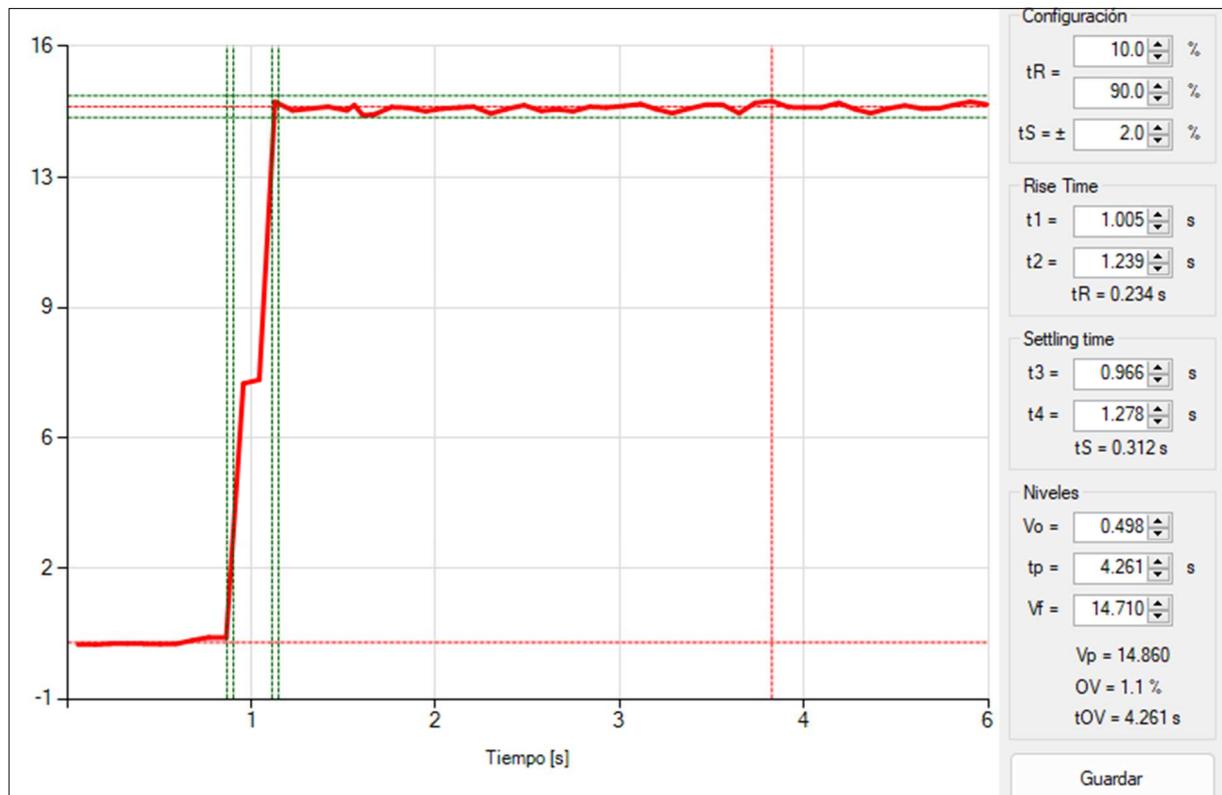


Gráfico 23. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.

a.1) Control de tensión (control VQ)

Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de tensión del control de planta en pasos de $\pm 3\%$. Los resultados se muestran a continuación.

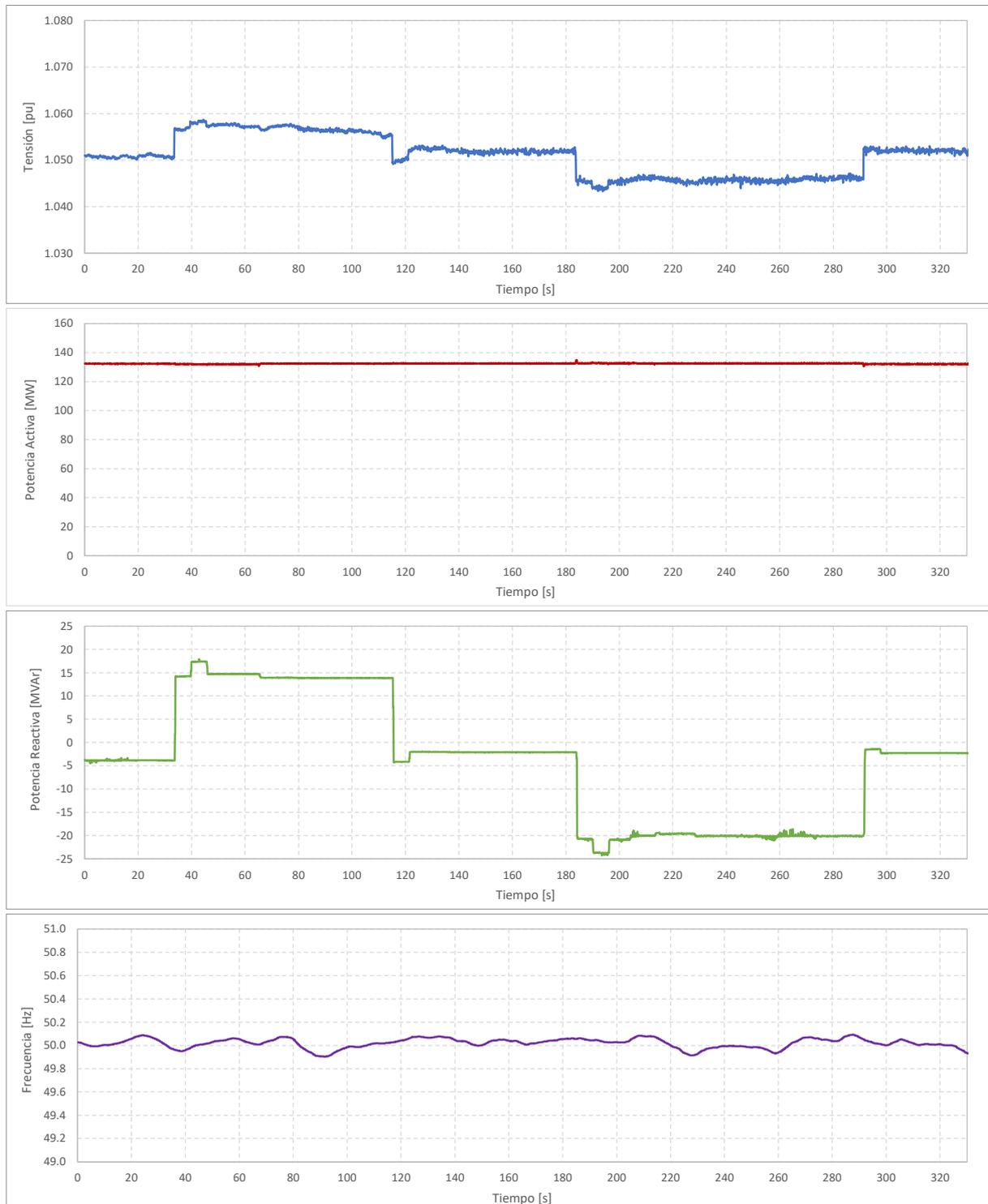


Gráfico 24. Control de tensión. Alta Carga. Variables temporales.

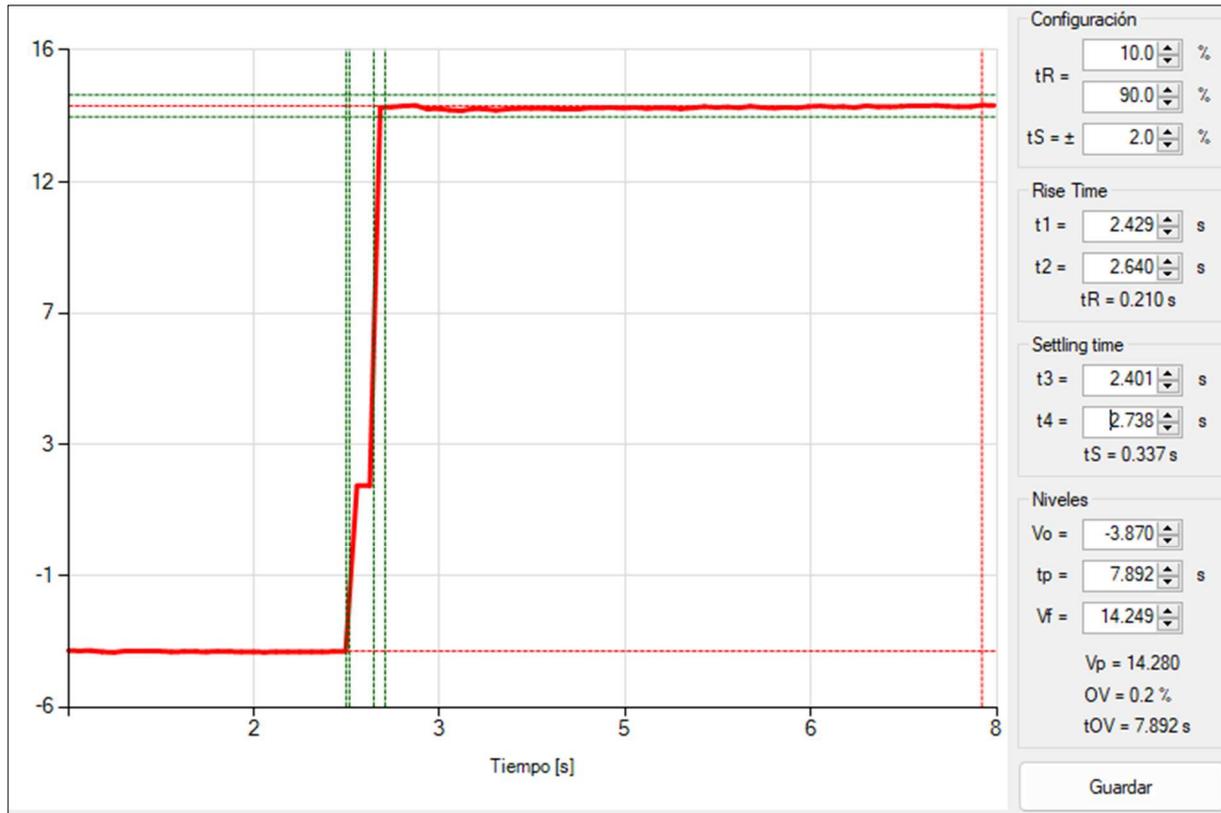
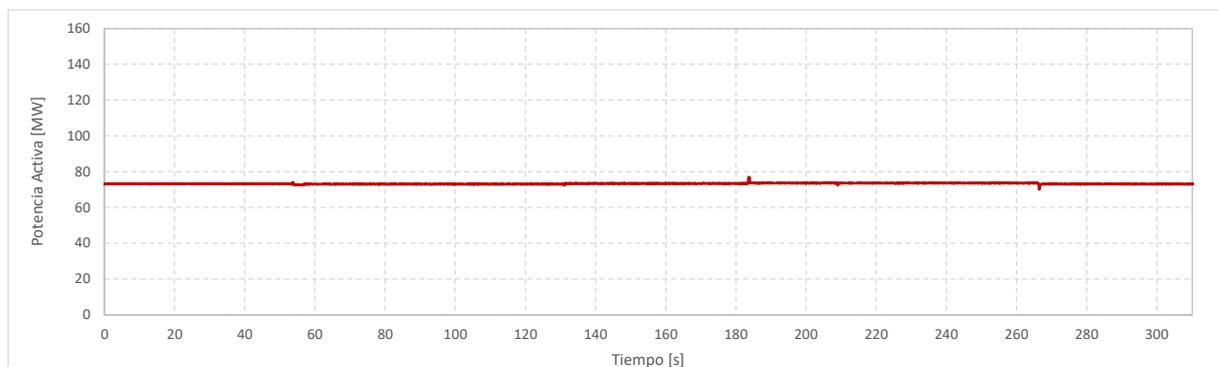
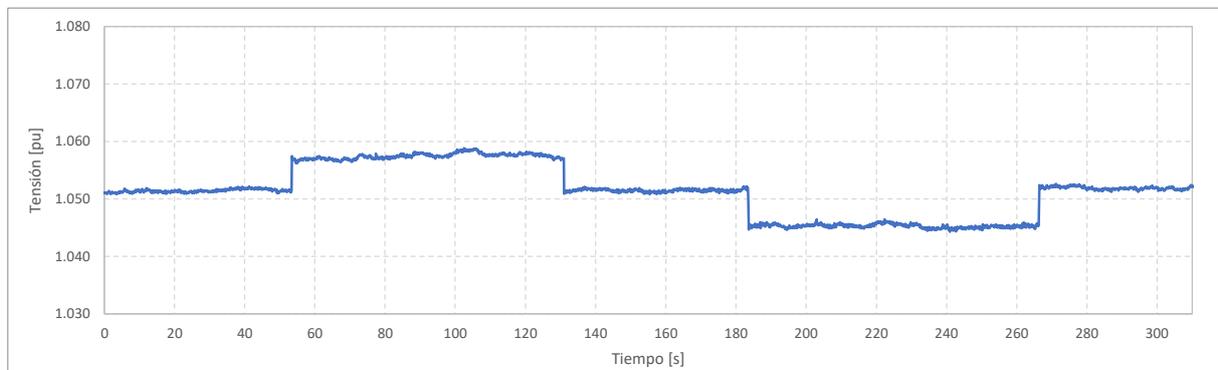


Gráfico 25. Control de tensión. Alta Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento medidos sobre la potencia reactiva.



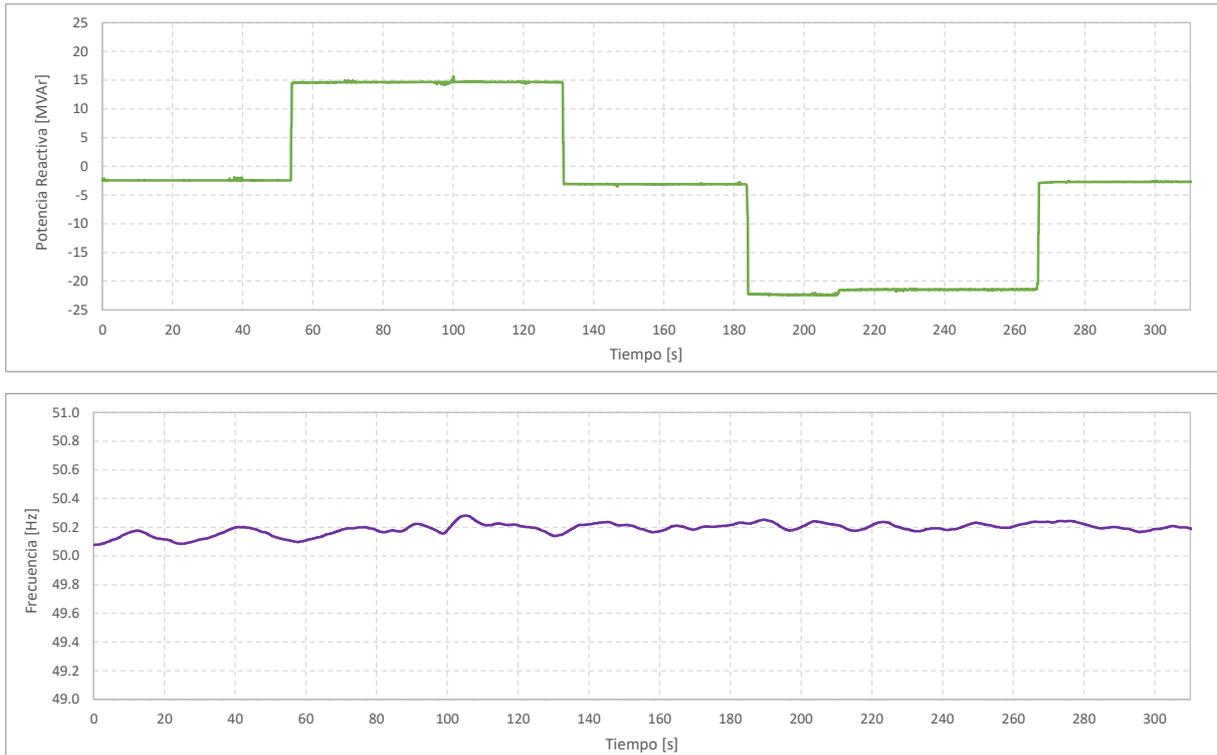


Gráfico 26. Control de tensión. Media Carga. Variables temporales.

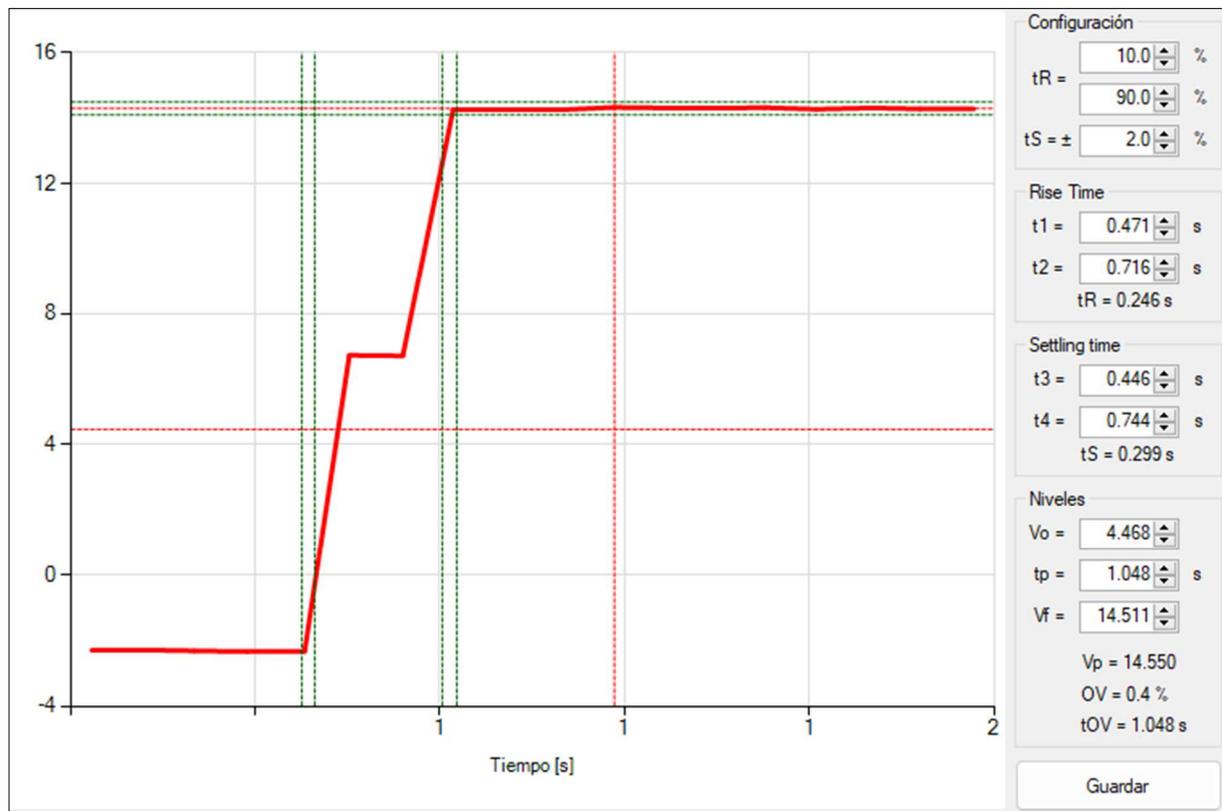


Gráfico 27. Control de tensión. Media Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento medidos sobre la potencia reactiva.



Gráfico 28. Control de tensión. Baja Carga. Variables temporales.

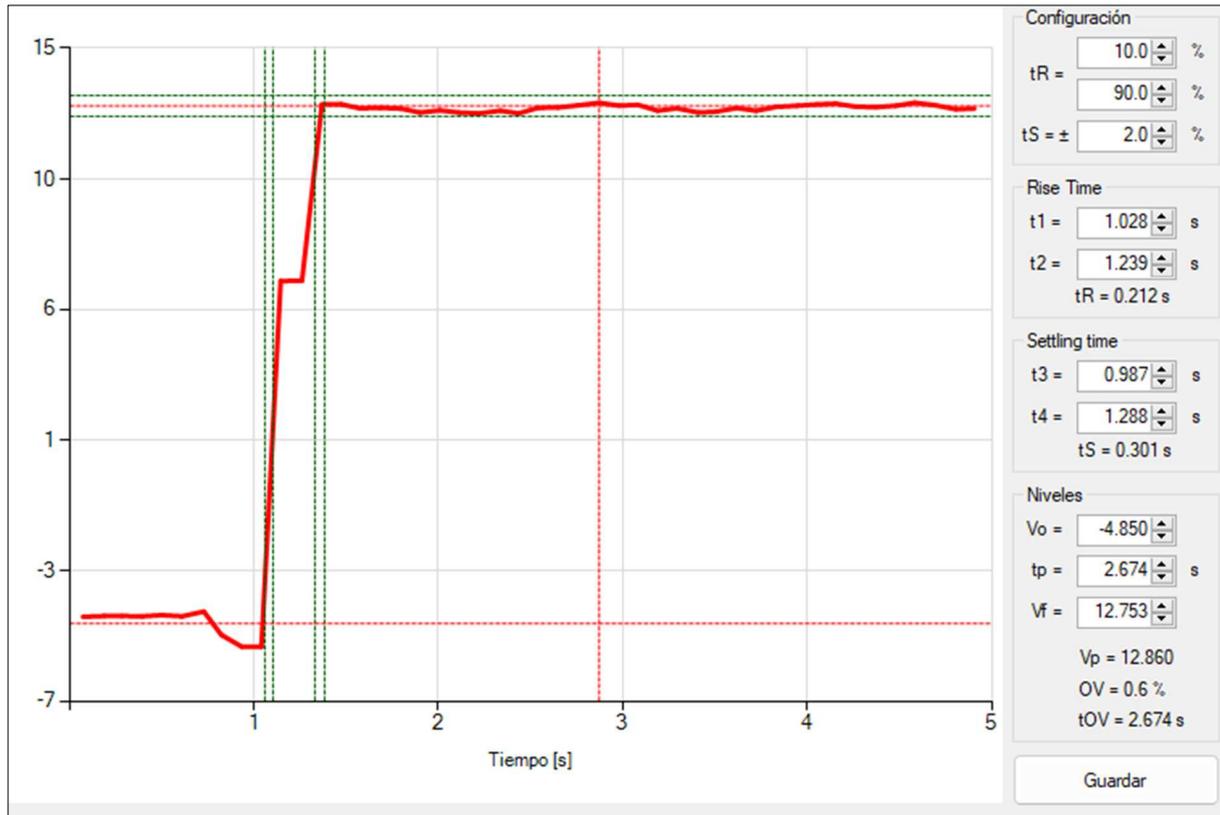


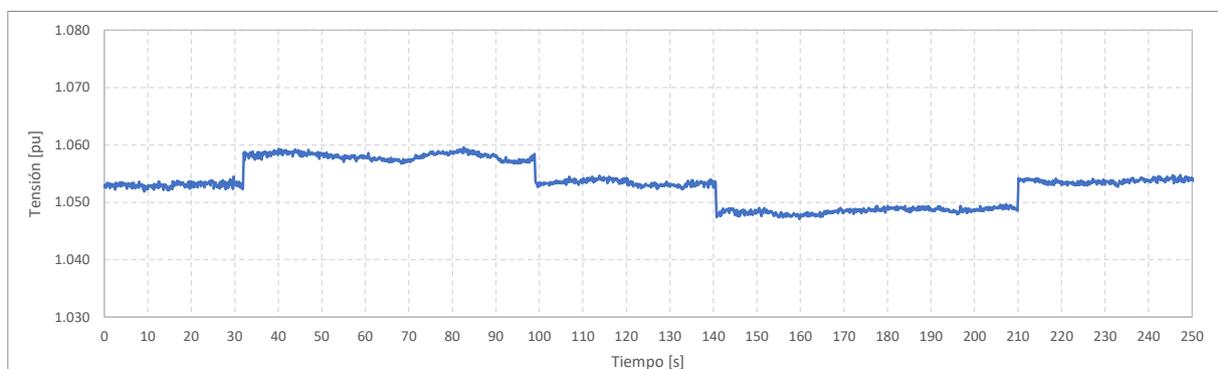
Gráfico 29. Control de tensión. Baja Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento medidos sobre la potencia reactiva.

a.2) Control de factor de potencia (control Φ)

Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de factor de potencia del control de planta de modo que, en función del despacho de potencia activa, varíe la potencia reactiva en torno a ± 15 MVar.

Para baja carga se tendría que haber hecho un cambio de factor de potencia en $\pm 0,7$ para obtener una variación de la potencia reactiva de ± 15 MVar, pero debido a que este control tiene una limitación en cuanto al setpoint de FP en $\pm 0,95$, la variación de reactivo fue menor.

Los resultados se muestran a continuación.



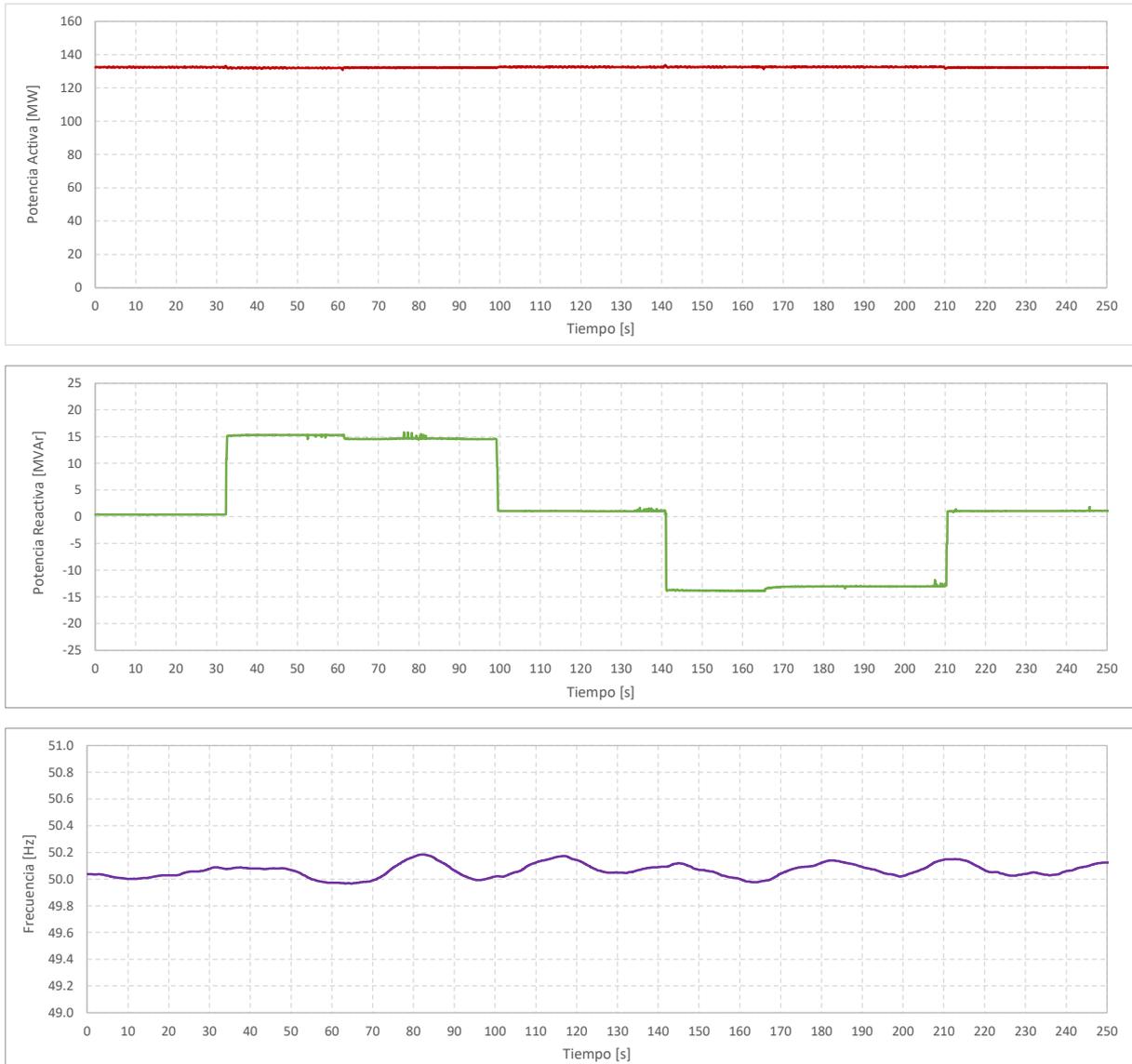


Gráfico 30. Control de factor de potencia. Alta Carga. Variables temporales.

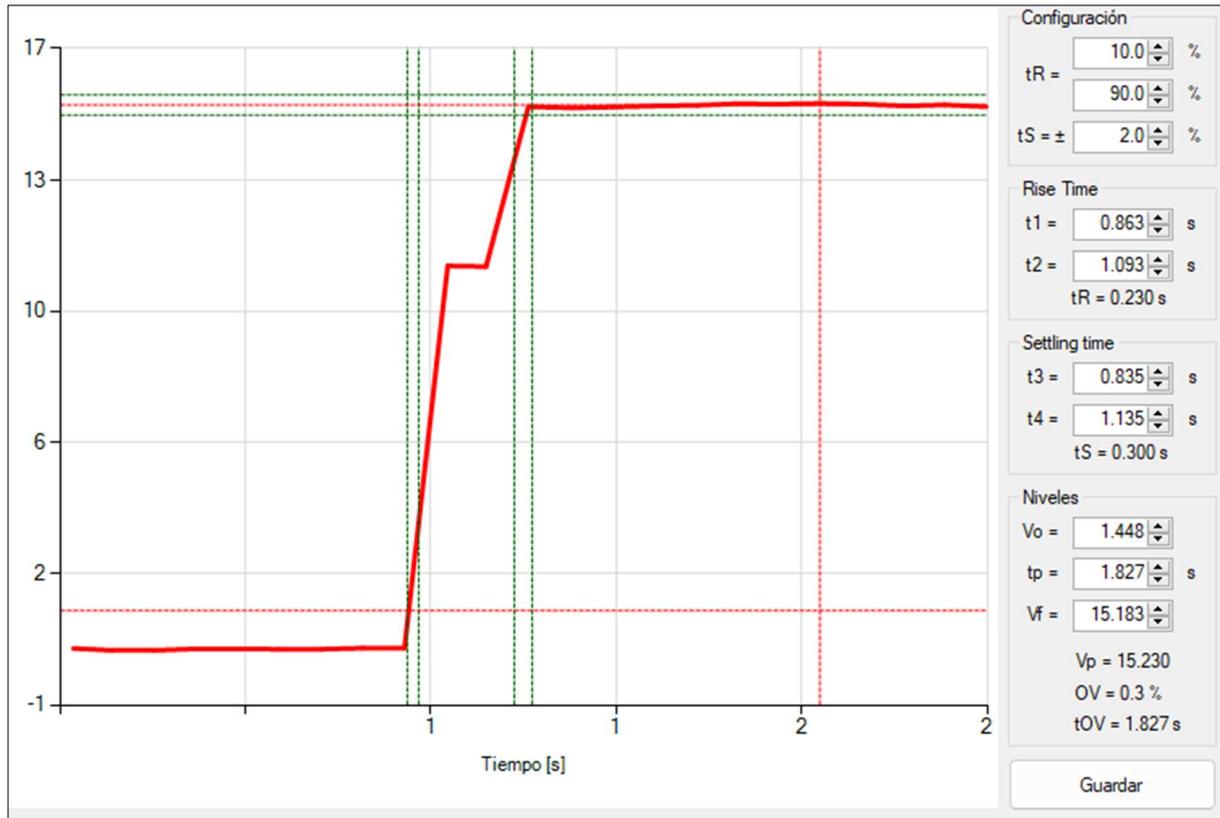
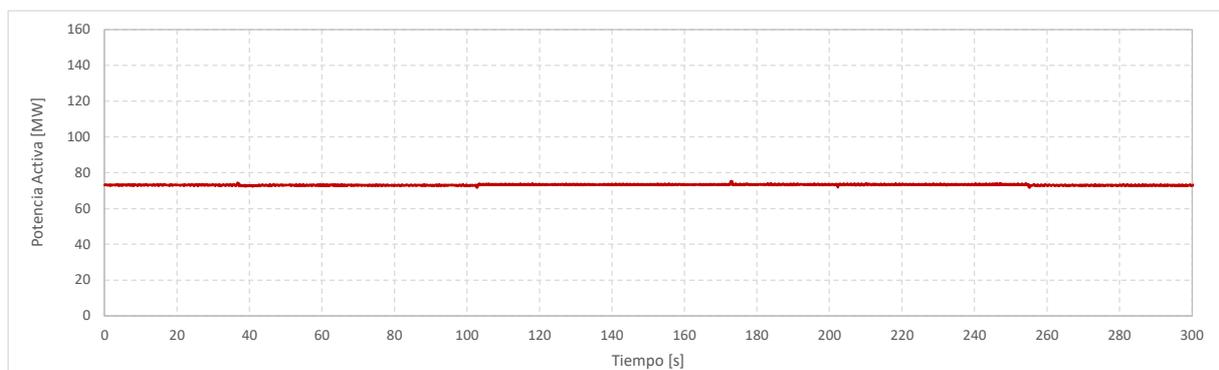
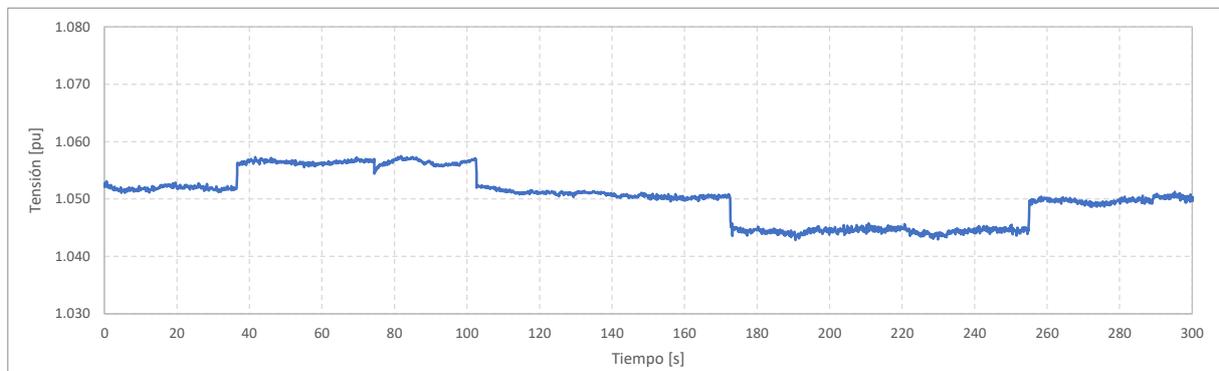


Gráfico 31. Control de factor de potencia. Alta Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.



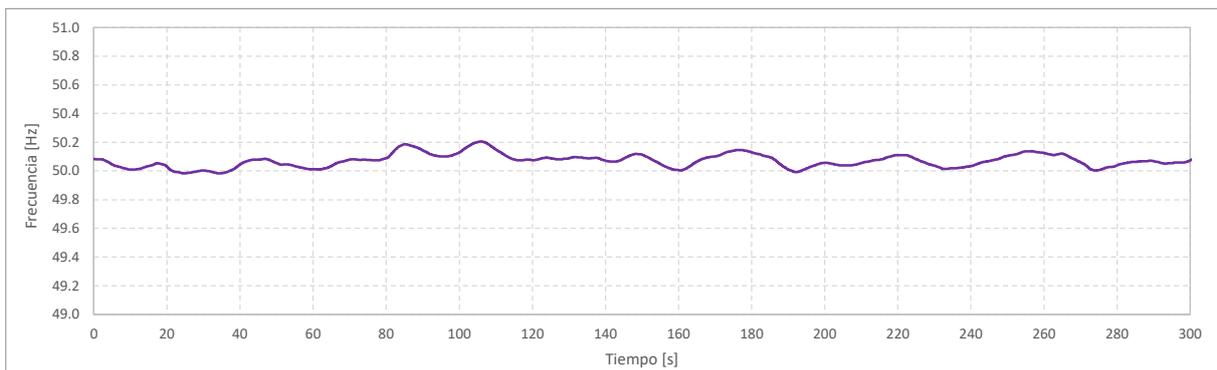
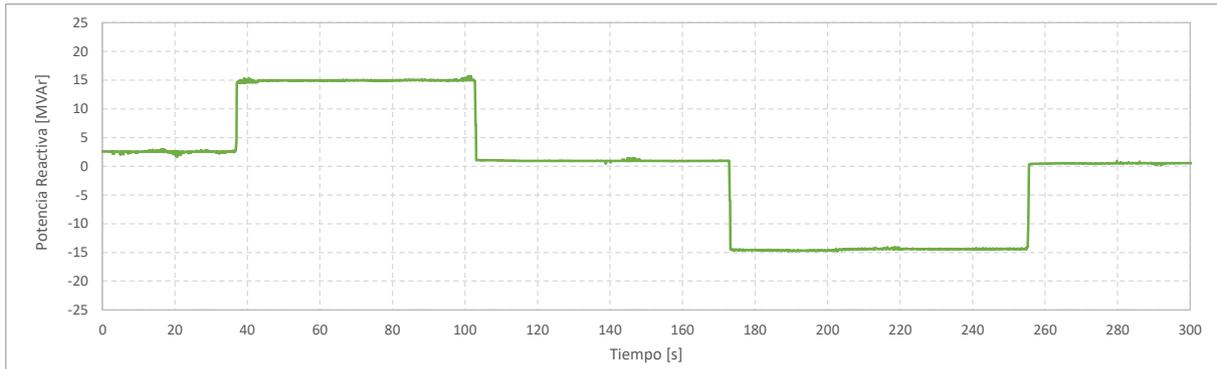


Gráfico 32. Control de factor de potencia. Alta Carga. Variables temporales.

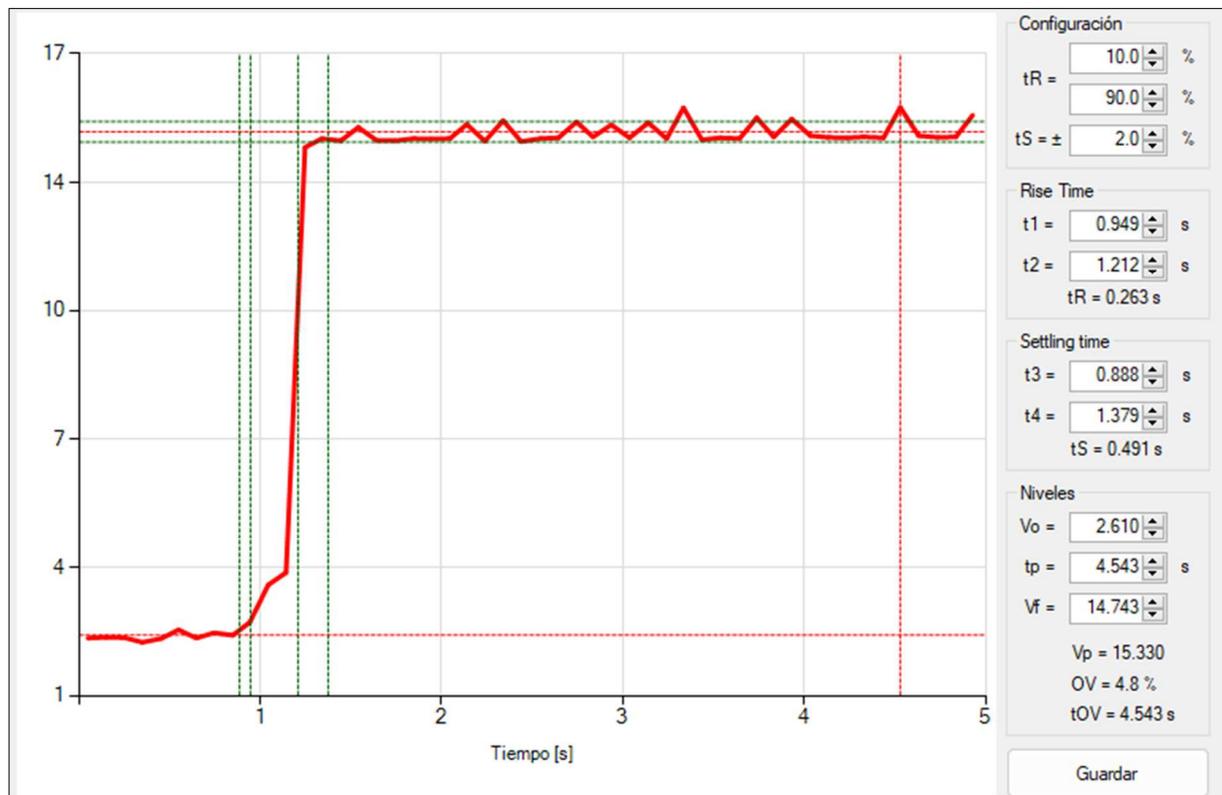


Gráfico 33. Control de factor de potencia. Media Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento.

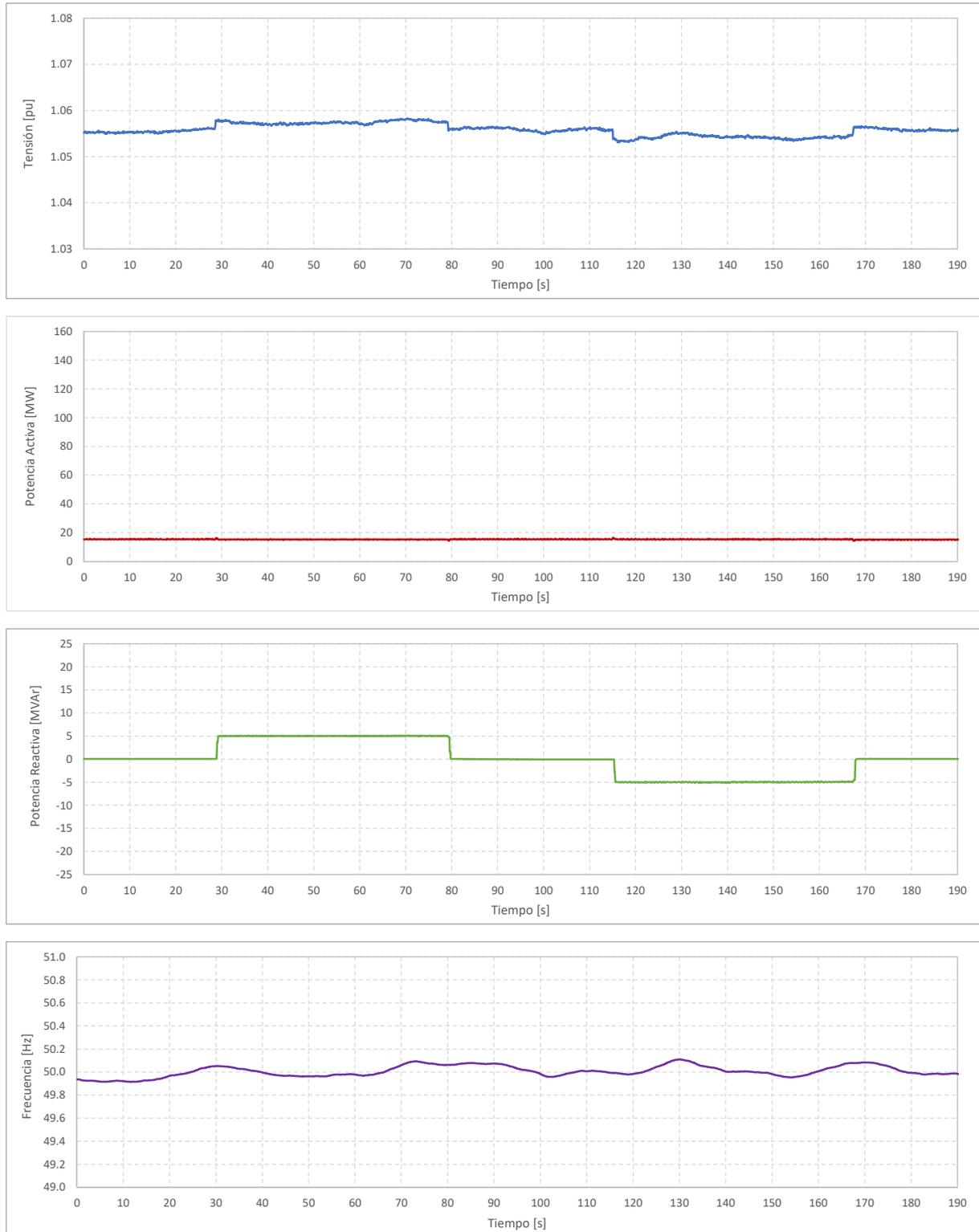


Gráfico 34. Control de factor de potencia. Baja Carga. Variables temporales.

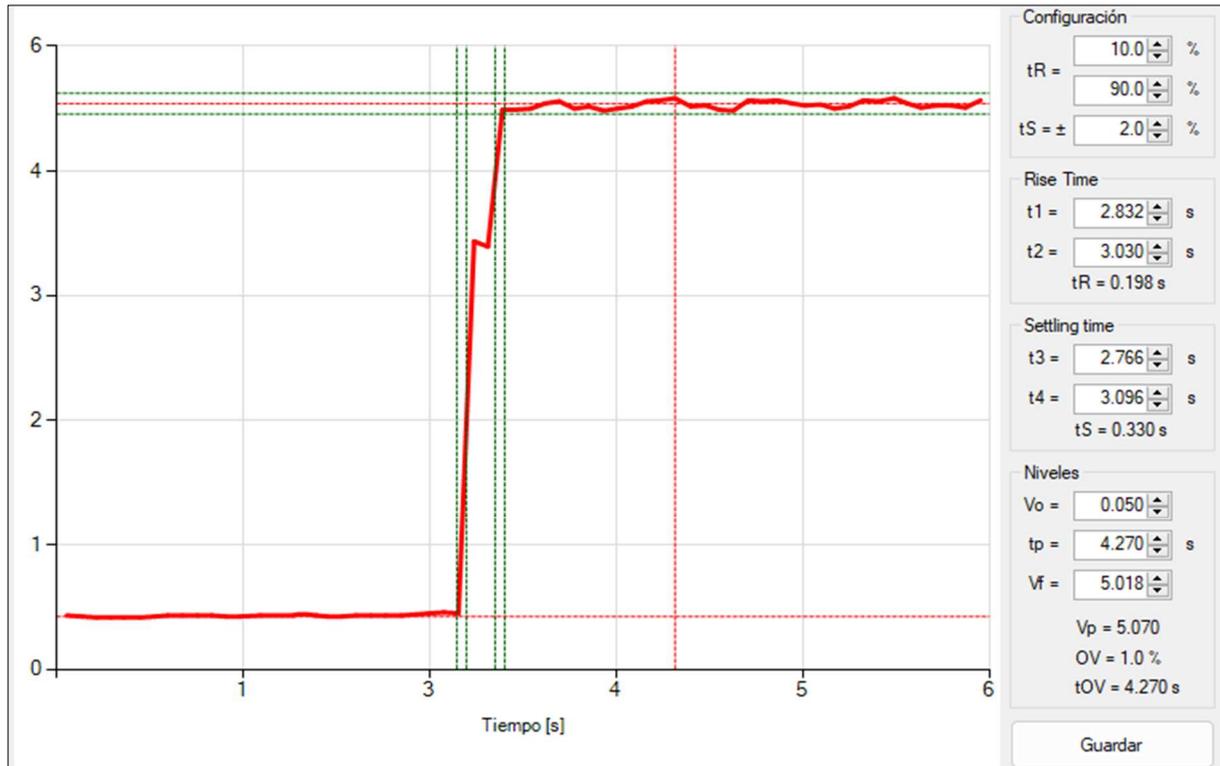


Gráfico 35. Control de factor de potencia. Baja Carga. Tiempos de establecimiento y crecimiento

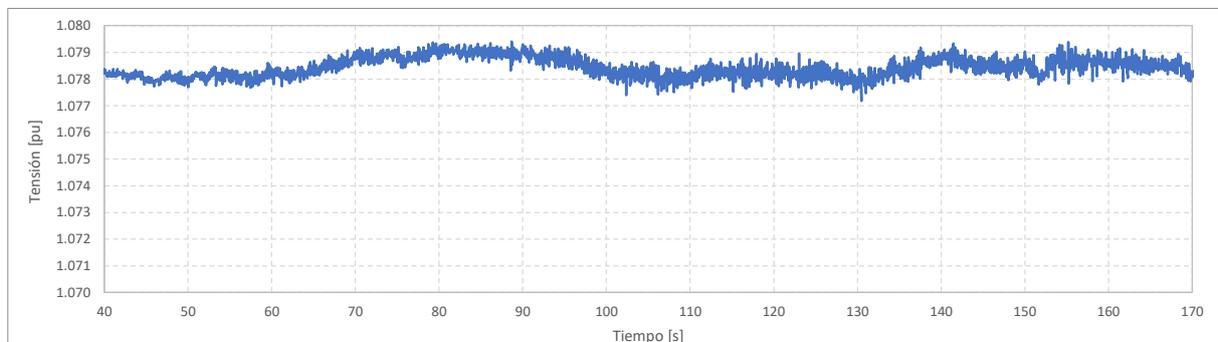
2.2. Ensayos a nivel inversor

Se realizaron ensayos al control de potencia activa y reactiva sobre los inversores INV25 (inversor más cercano) y INV02 (aerogenerador más lejano). Los modos de control de tensión y factor de potencia no están habilitados y por lo tanto no fueron ensayados.

2.2.1 Inversor más cercano (INV25)

a.1) Control de potencia reactiva (Control Q)

Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de potencia reactiva del aerogenerador en pasos de $\pm 0,42$ MVar para alta, media y baja carga. Los resultados se muestran a continuación.



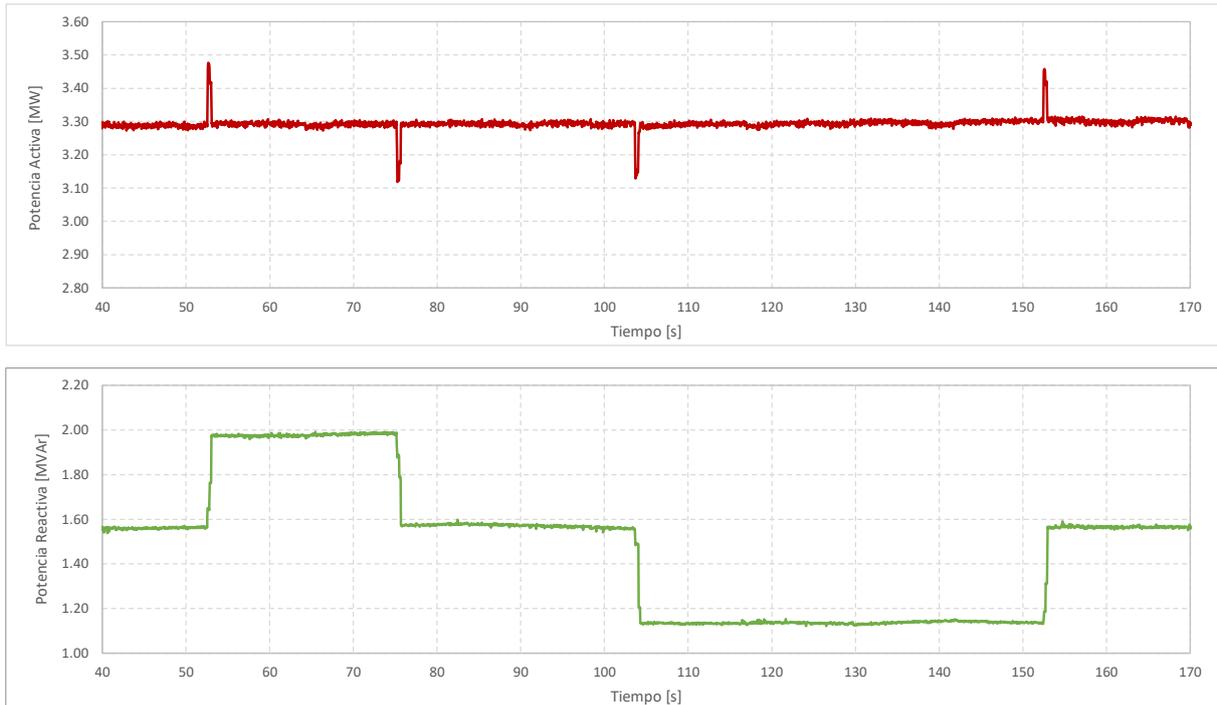


Gráfico 36. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga.

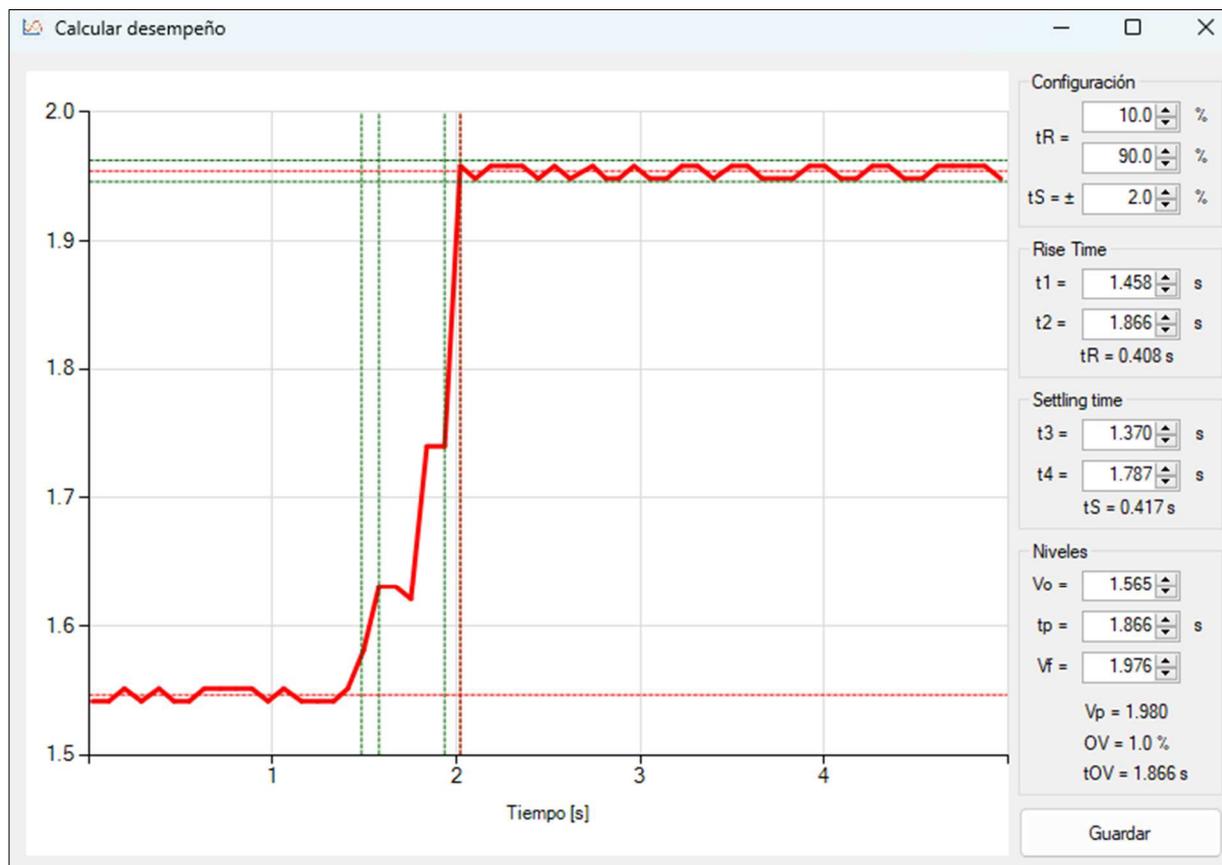


Gráfico 37. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento

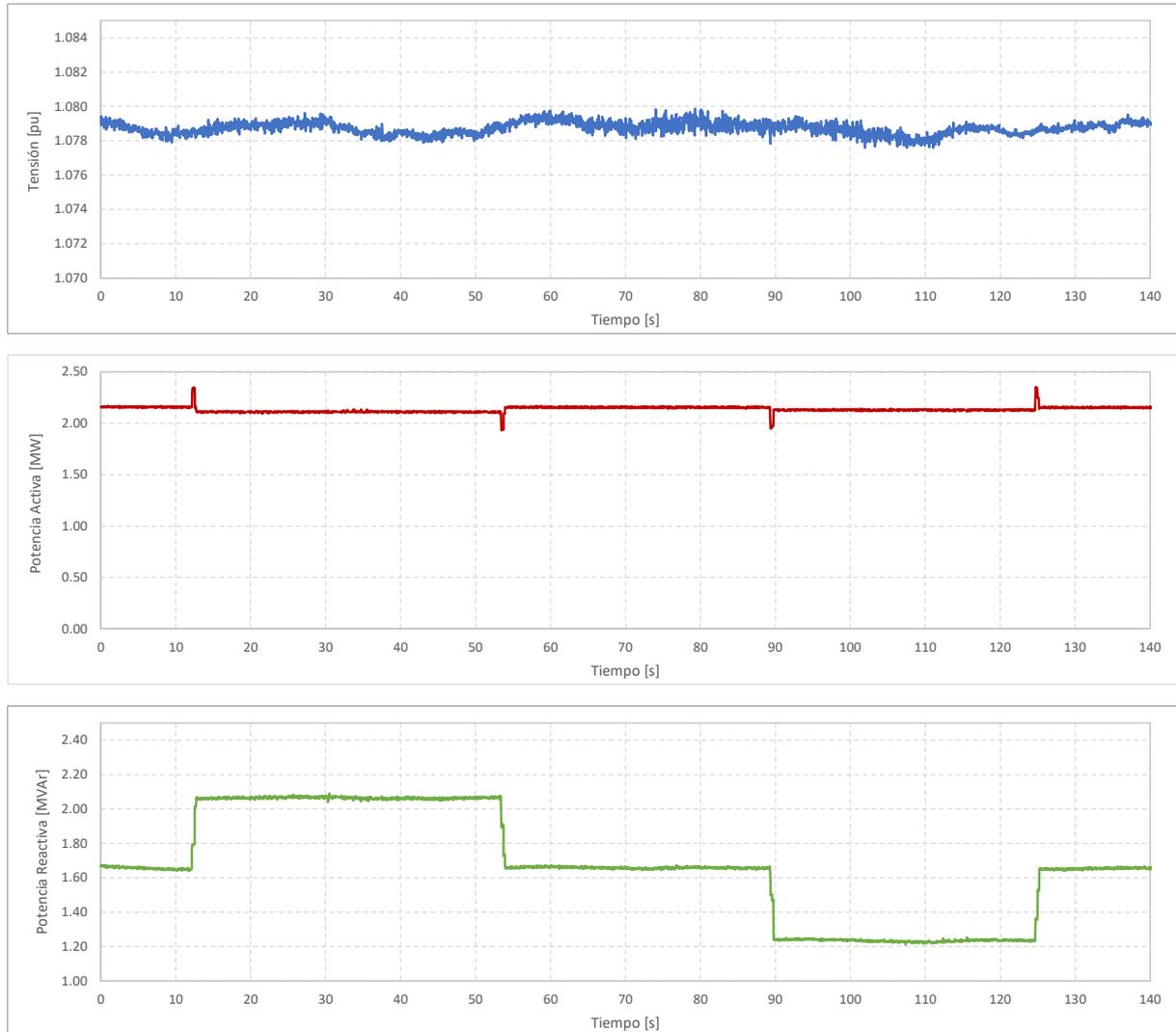


Gráfico 38. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga.

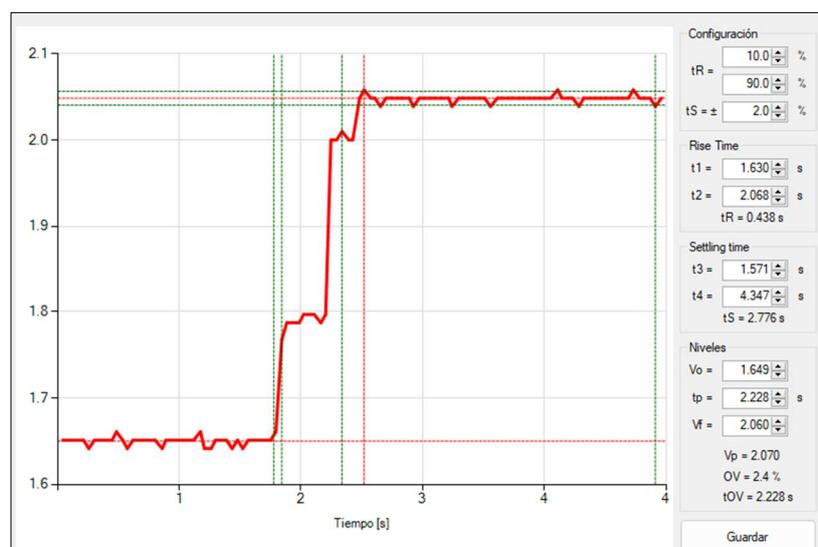


Gráfico 39. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.

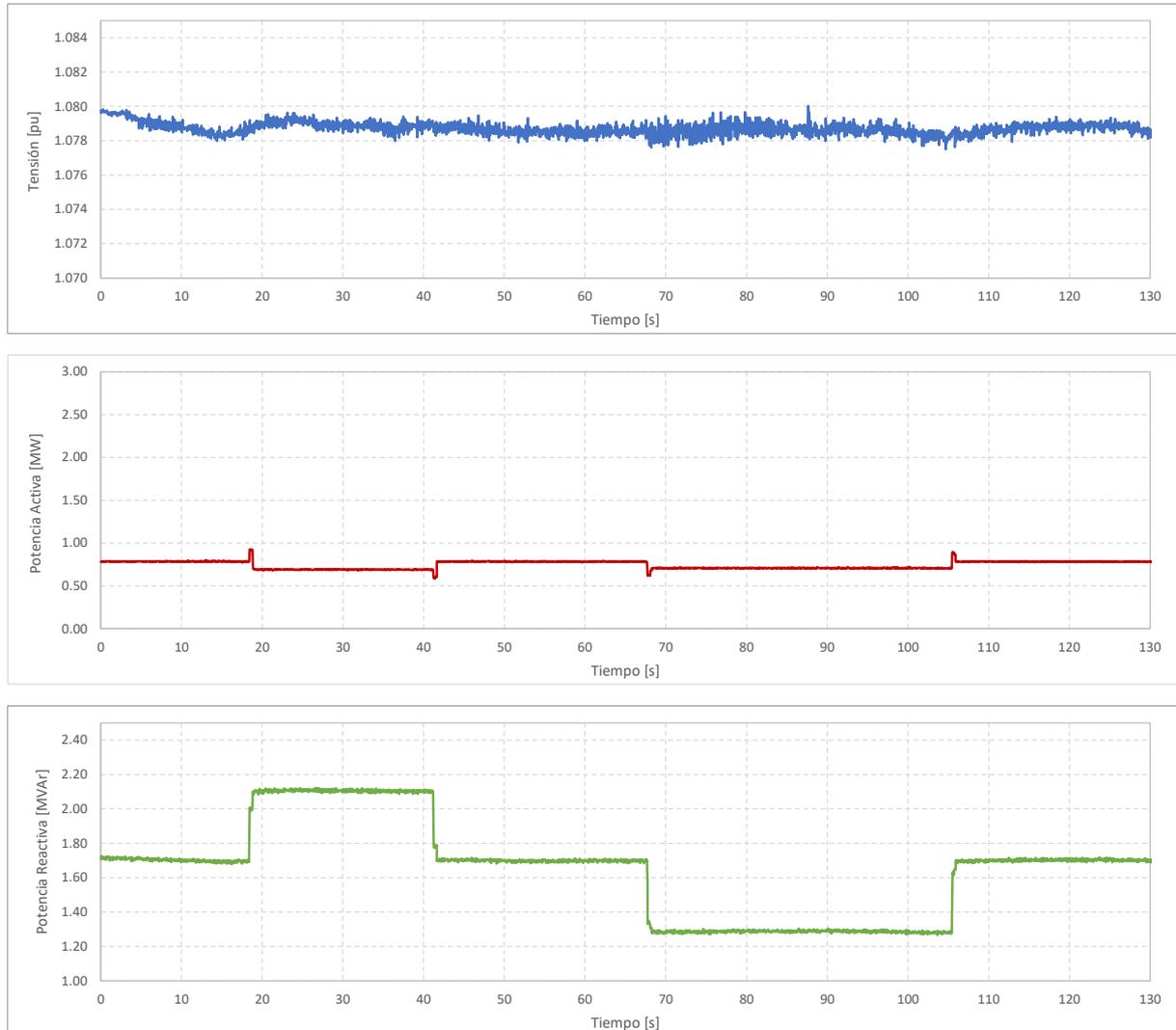


Gráfico 40. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga.

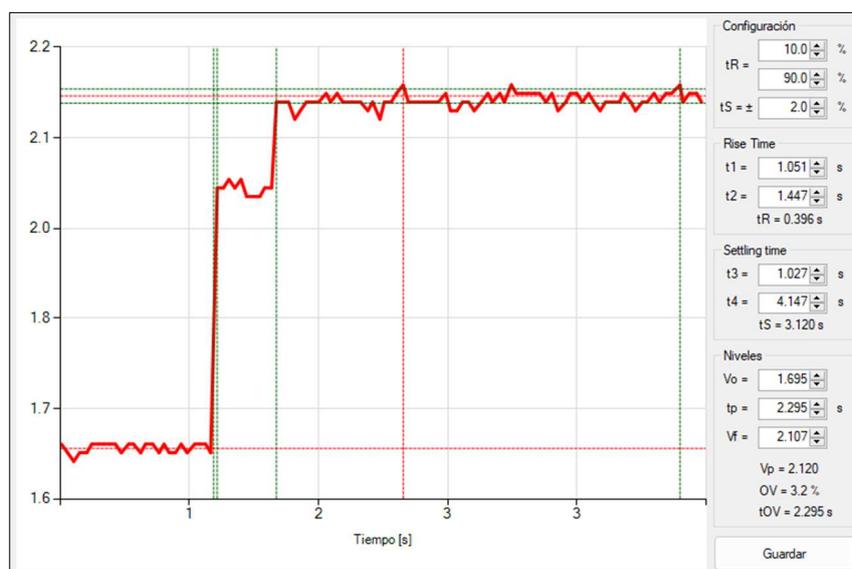


Gráfico 41. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.

2.2.2 Inversor más lejano (INV02)

a.1) Control de potencia reactiva (Control Q)

Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de potencia reactiva del aerogenerador en pasos de $\pm 0,42$ MVar para alta, media y baja carga. Los resultados se muestran a continuación.

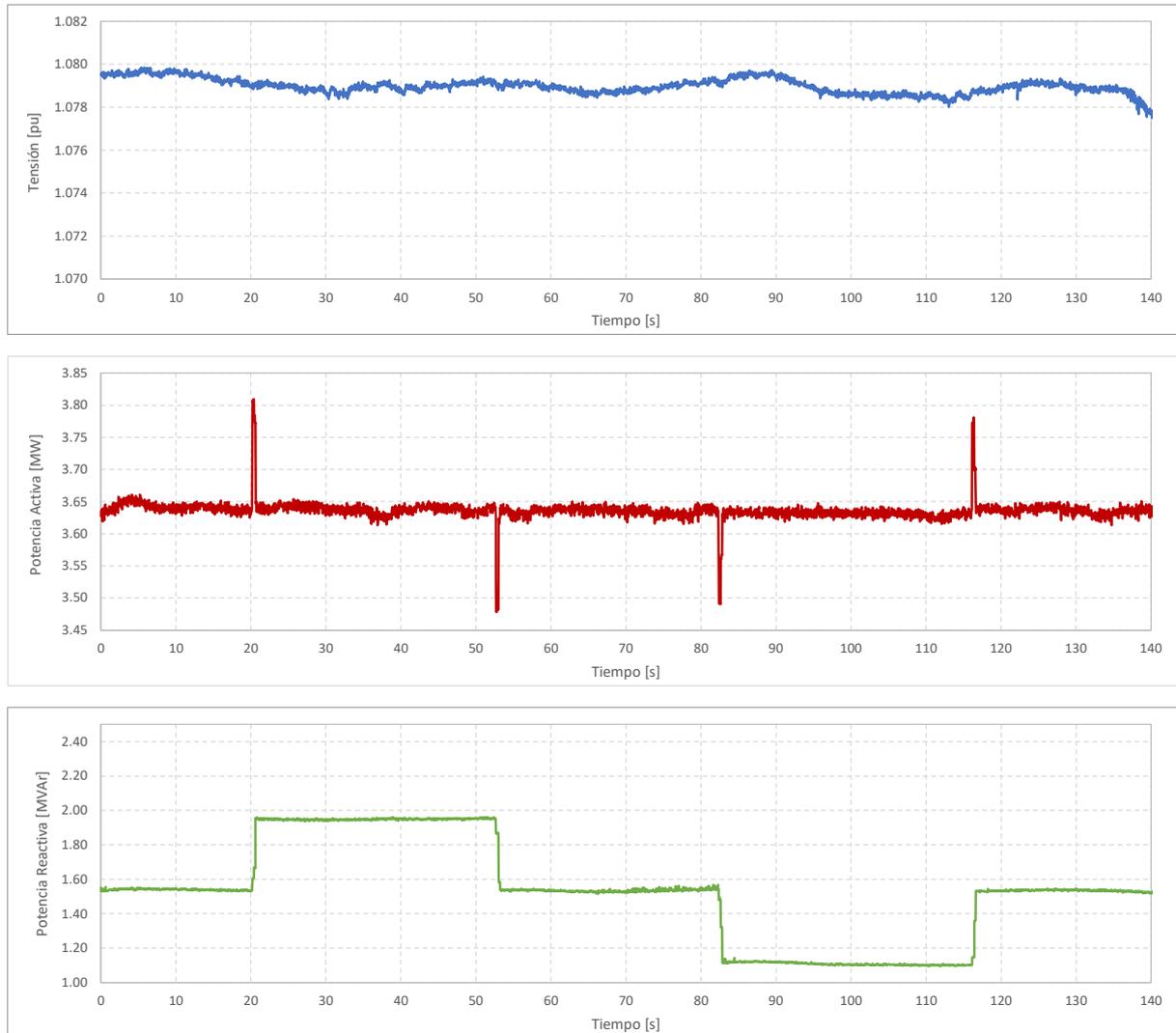


Gráfico 42. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga.

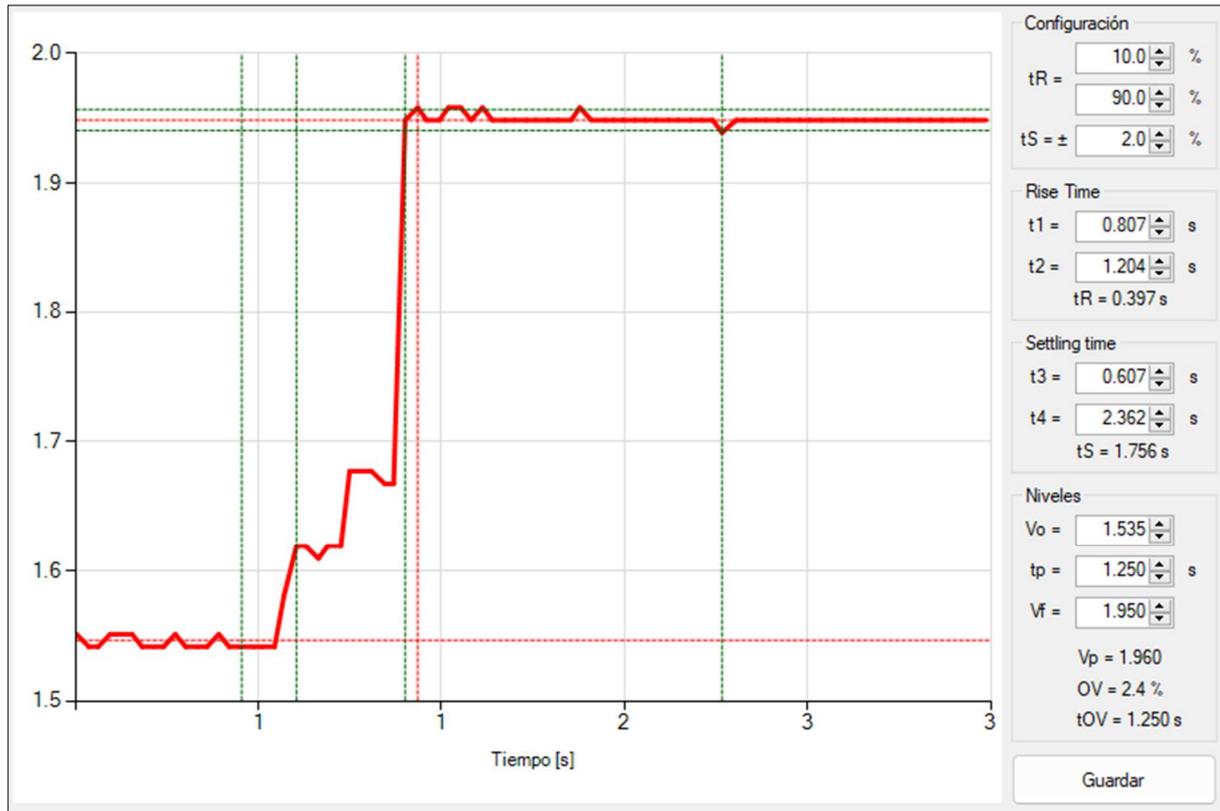
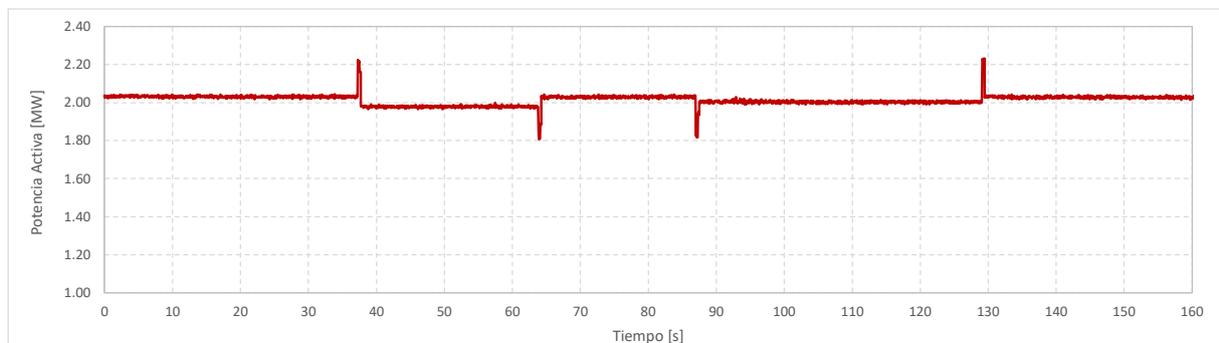
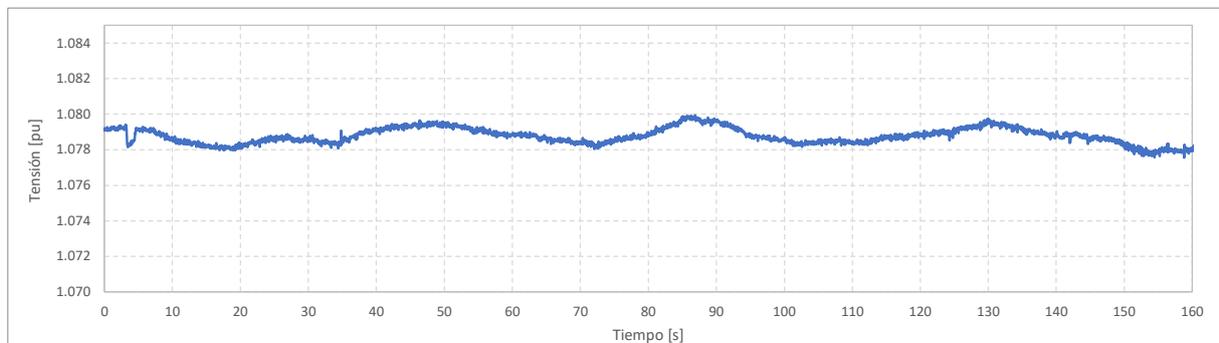


Gráfico 43. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.



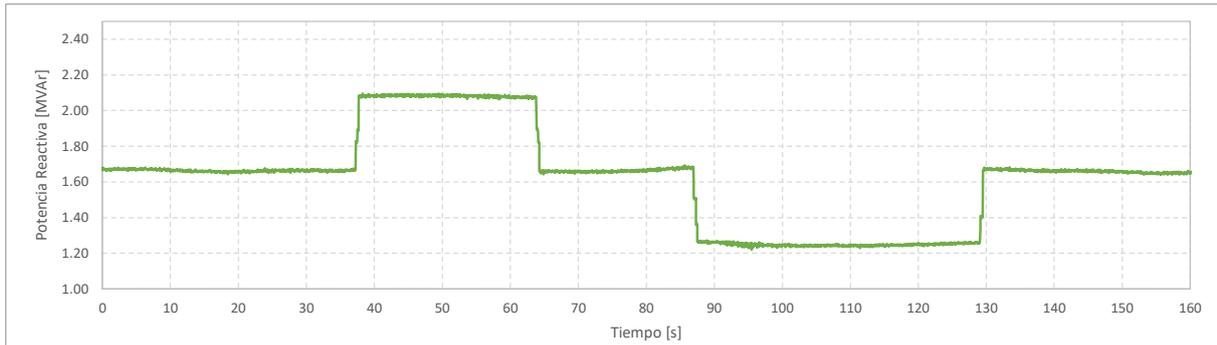


Gráfico 44. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga.

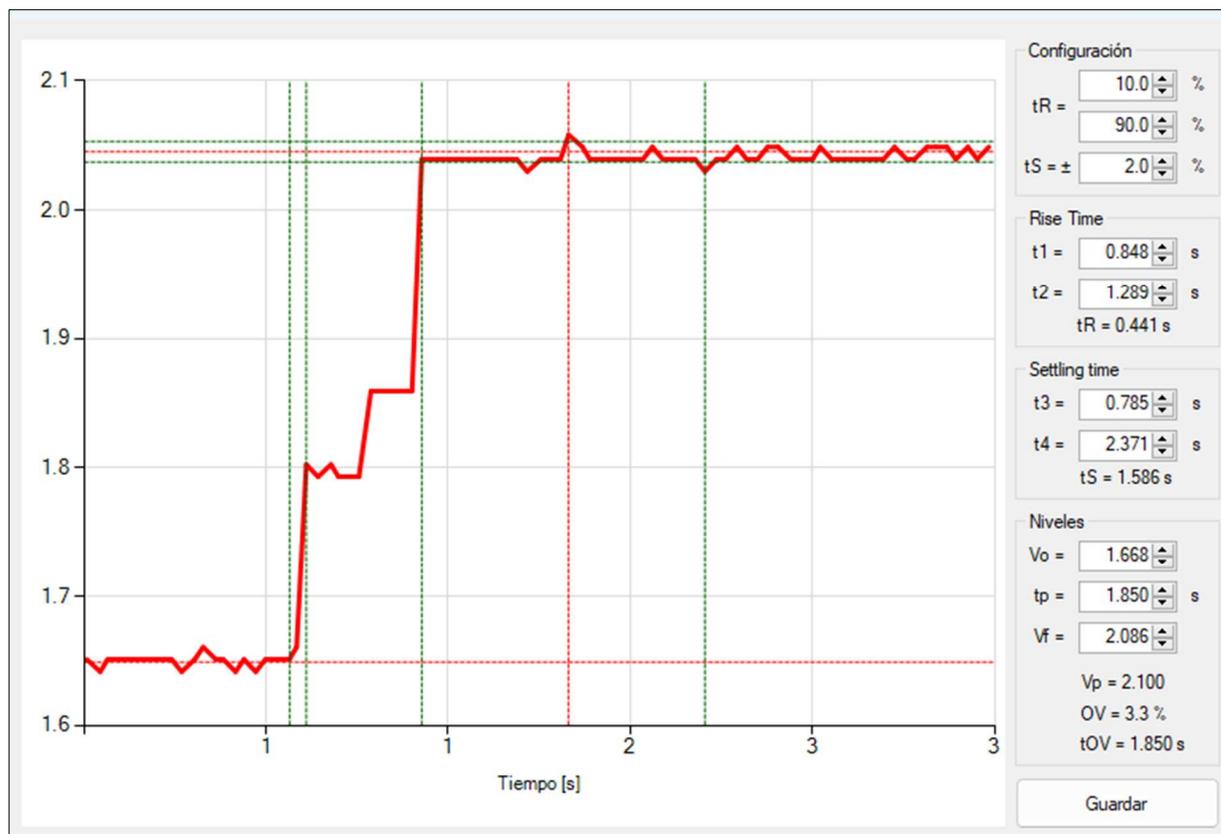
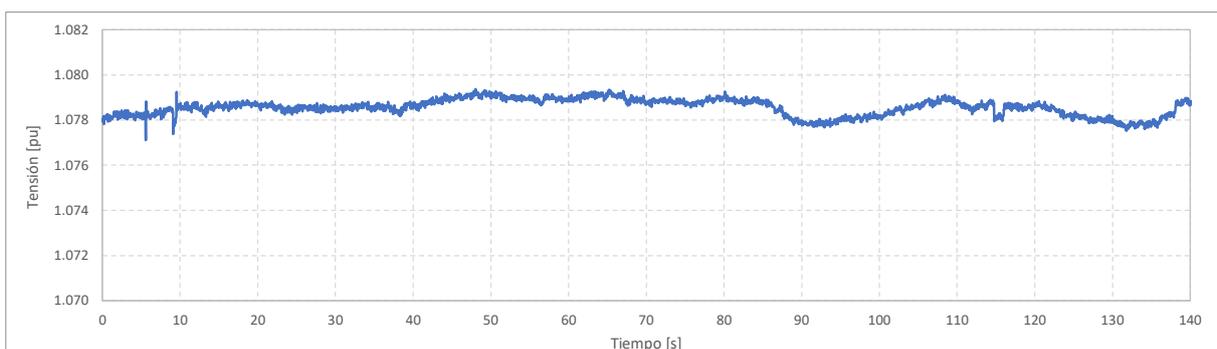


Gráfico 45. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.



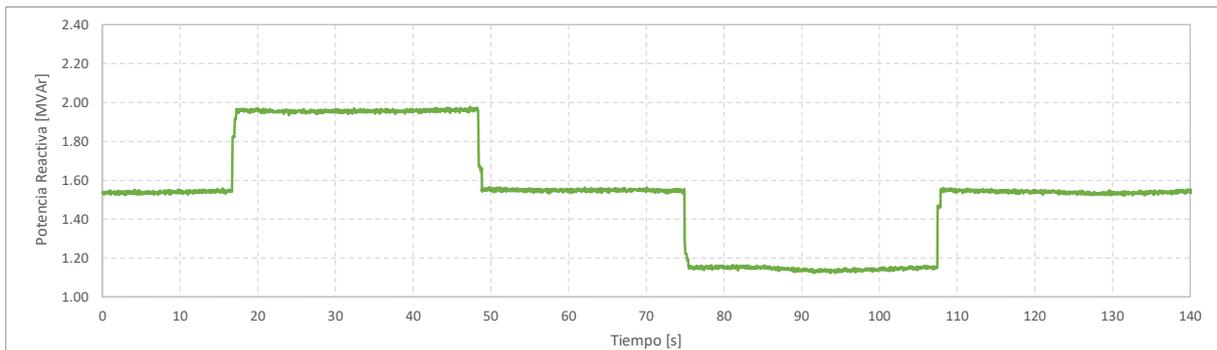
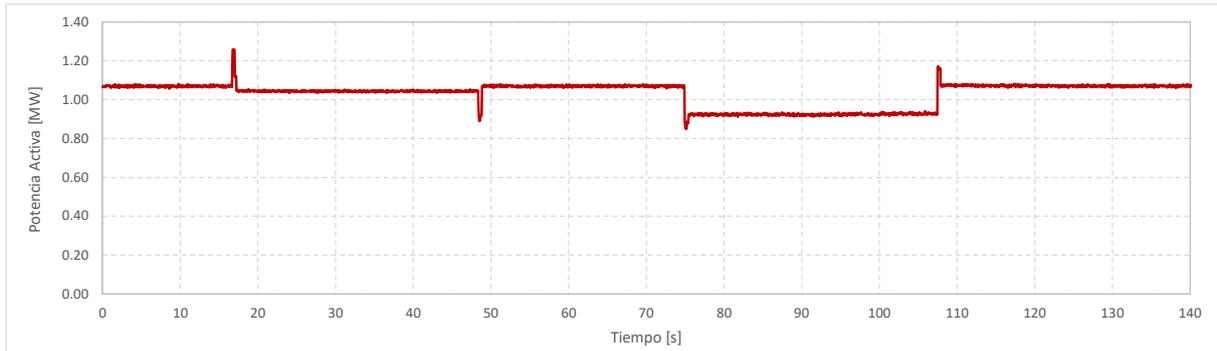


Gráfico 46. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Variables temporales.

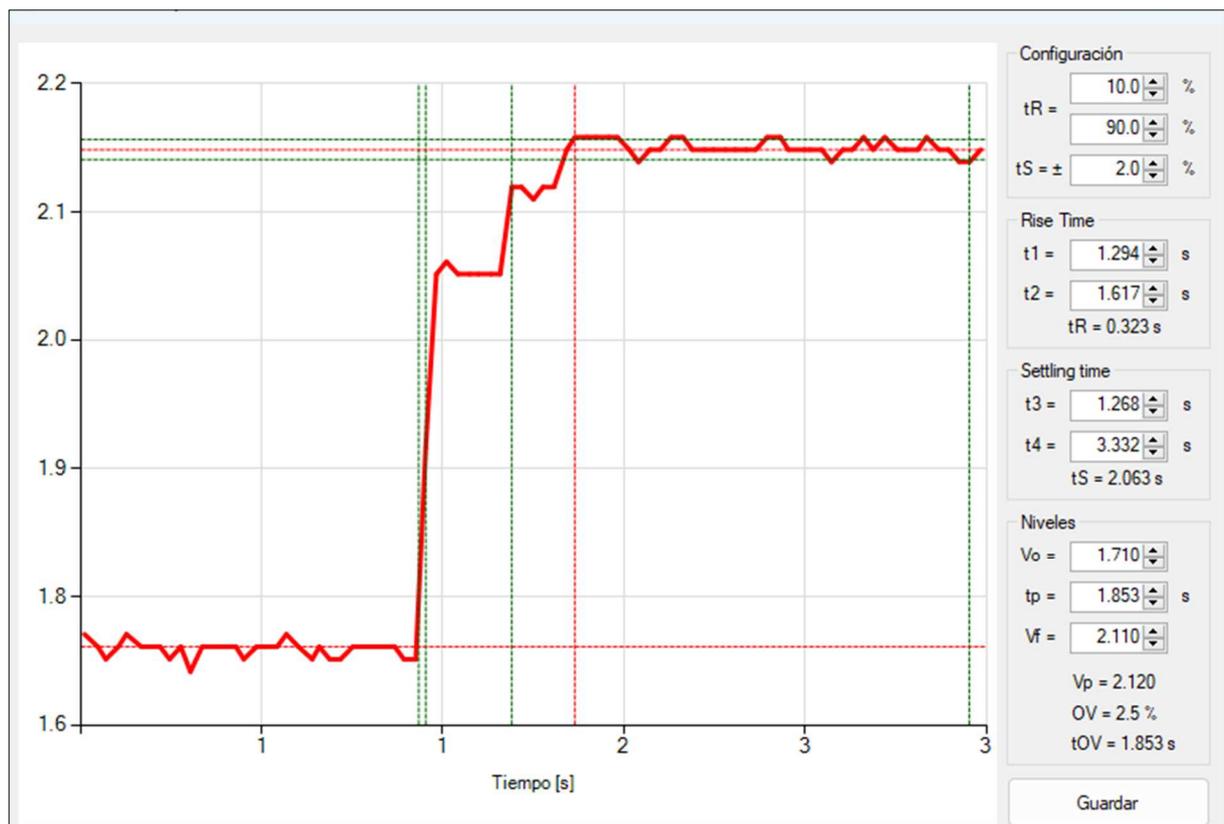


Gráfico 47. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Tiempo de establecimiento y crecimiento.

3. CONCLUSIONES

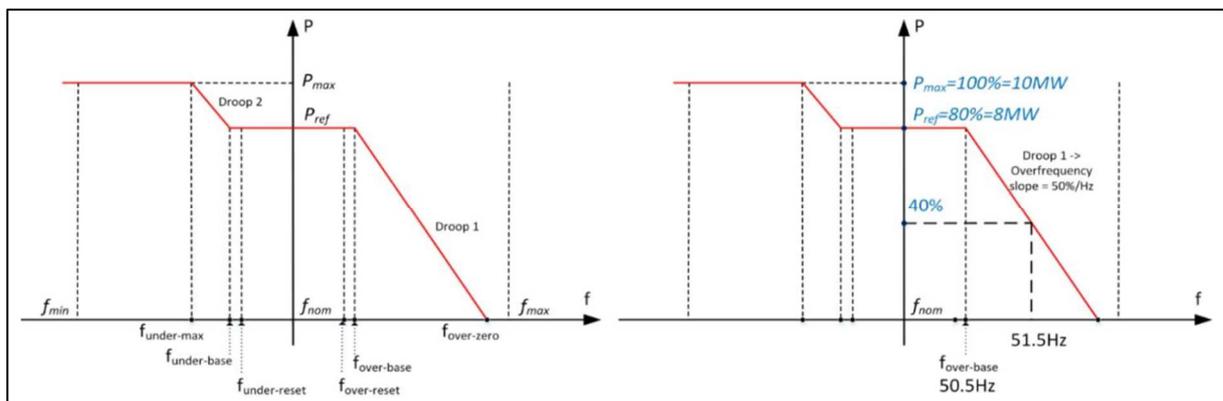
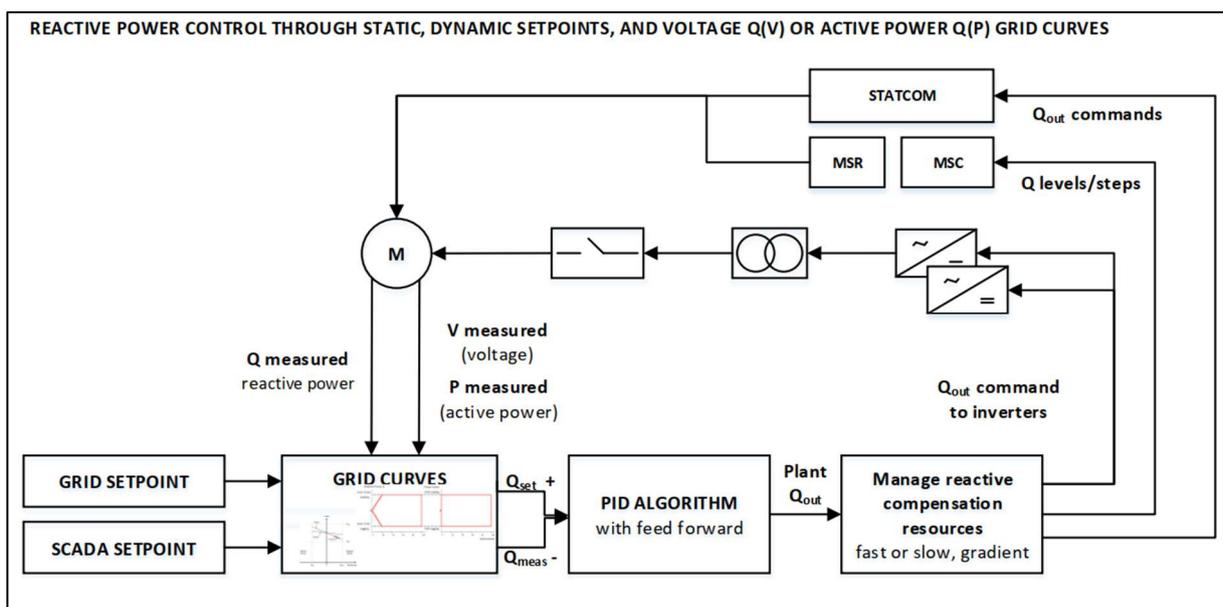
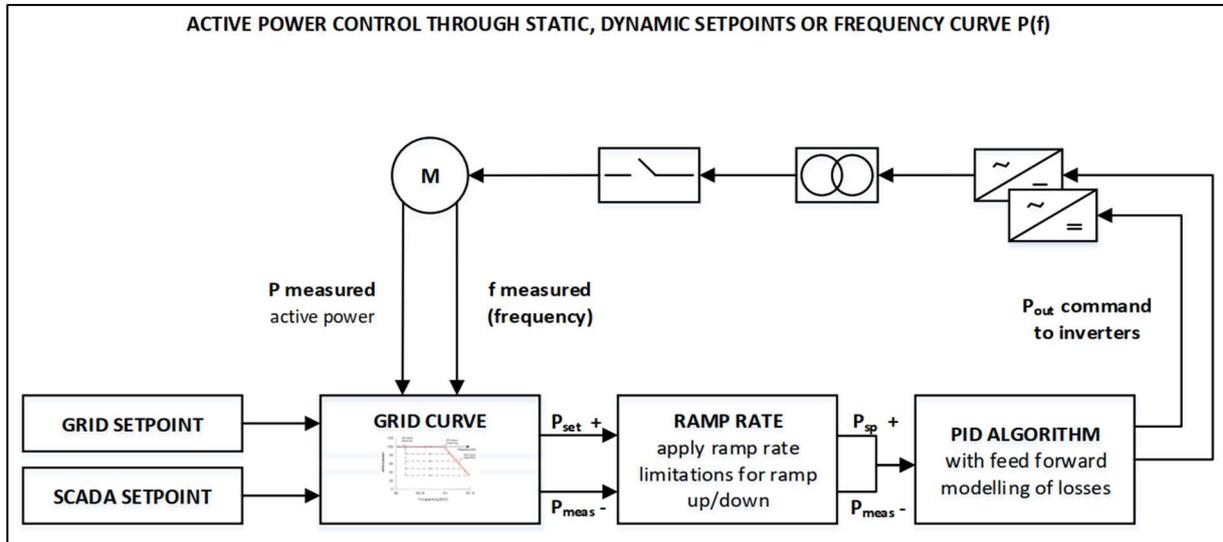
En relación a los ensayos realizados en campo y descritos en el presente informe, se concluye que el resultado de las pruebas realizadas fue satisfactorio. Los ensayos llevados a cabo fueron ejecutados de acuerdo con el protocolo confeccionado y a los requerimientos de la Norma Técnica y la guía de prestación de servicios complementarios de control de tensión.

- Se exploraron distintos puntos de la curva PQ teórica máxima.
- Se probó el correcto desempeño del control de planta en lo referido a la respuesta del control de potencia reactiva / tensión para distintos estados de carga, con un resultado satisfactorio para los distintos estados ensayados.
- Se probó el correcto desempeño del control del inversor más cercano y del más lejano, en lo referido a la respuesta del control de potencia reactiva para distintos estados de carga, con un resultado satisfactorio para los distintos estados ensayados.

De lo anterior el PSFV Tamarico es apto para prestar servicios de control de tensión.

ANEXO

1. DIAGRAMAS DEL CONTROL DE PLANTA



2. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

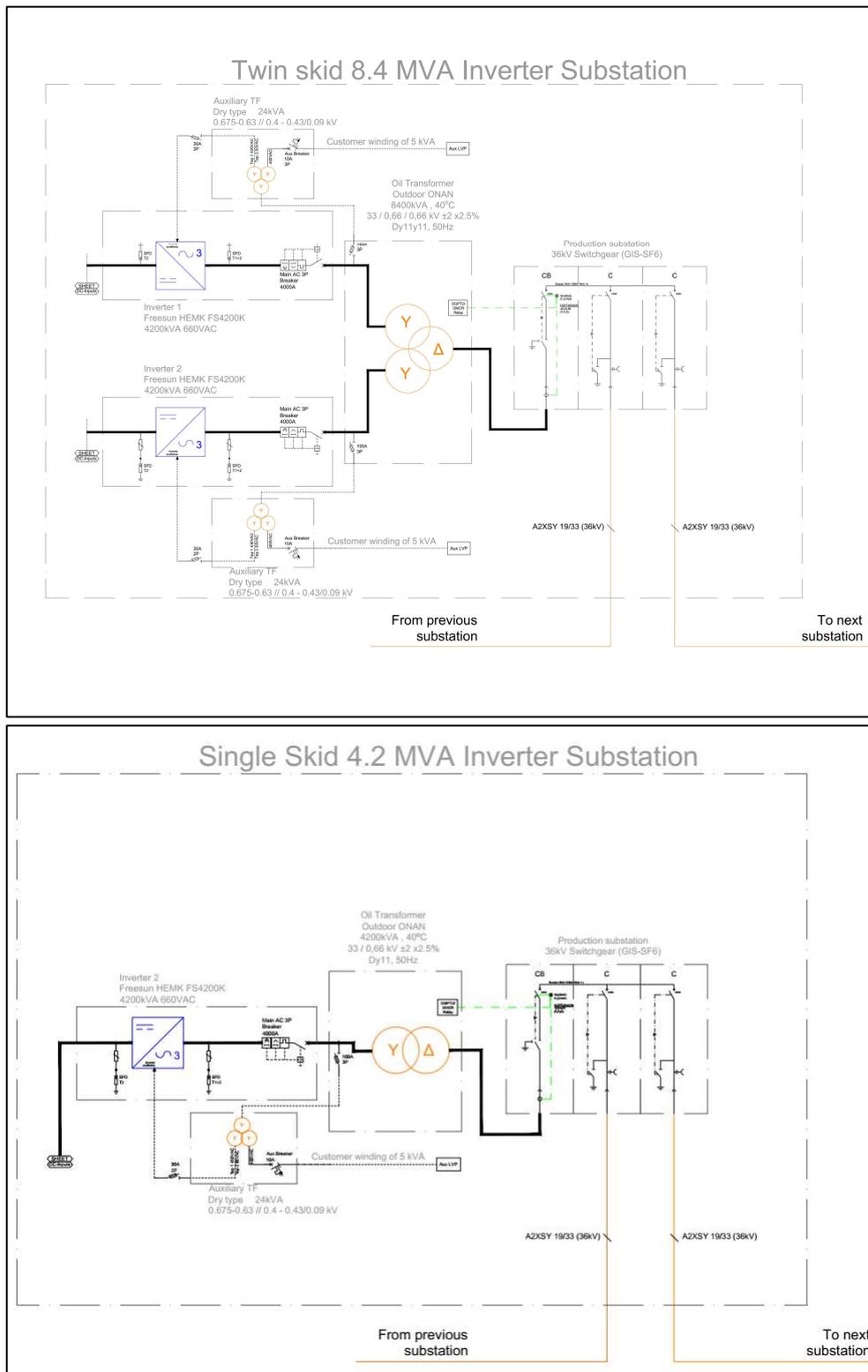


Gráfico 48. Skids de inversores centrales PSFV Tamarico.

Rated Voltage	[kV]	0.660
Type of Compensation	[]	PV inverter Power Electronics HEMK GEN3 FS4200K
Number of units	[]	38
Total apparent power (inductive/capacitive)	[MVA]	4.2 MVA @ 1 p.u. @40°C
Total reactive power (inductive/capacitive)	[MVAR]	+/-3.6373 MVAR @ 1 p.u. @40°C
Number of steps (inductive/capacitive)	[]	Fine tuning
Size of steps (inductive/capacitive)	[Mvar/step]	N/A
Reactive power capability curve		Complete
Nominal MPPT Window	Vdc	934-1500

Transformador	
N° de devanados	2
Frecuencia	50 [Hz]
Voltaje primario nominal	33 [kV]
Voltaje secundario nominal	0,66 [kV]
Grupo vectorial	Dyn11
Potencia ONAN	4200 kVA
Impedancia sec (+) base 4,2 MVA	9,03%
Impedancia sec (0) base 4,2 MVA	7,67%

Transformador		
N° de devanados	3	
Frecuencia	50 [Hz]	
Voltaje primario nominal	33 [kV]	
Voltaje secundario 1 nominal	0,66 [kV]	
Voltaje secundario 2 nominal	0,66 [kV]	
Grupo vectorial	Dy11y11	
Potencia ONAN	8400 kVA	
Impedancia sec (+)	HV-MV base 4,2 MVA	7,31%
	MV-LV base 4,2 MVA	12,66%
	LV-HV base 4,2 MVA	7,65%
Impedancia sec (0) *	HV-MV base 4,2 MVA	6,21%
	MV-LV base 4,2 MVA	10,761%
	LV-HV base 4,2 MVA	6,50%

Transformador zig-zag	
Tensión nominal	33, [kV]
Impedancia de secuencia cero	116 [ohms]
Corriente nominal (3xI0)	0,5 [kA]
Resistencia de puesta a tierra	38,1 [Ω]

Transformador	
N° de devanados	2
Frecuencia	50 [Hz]
Voltaje primario nominal	220 [kV]
Voltaje secundario nominal	33 [kV]
Grupo vectorial	YNd1
Potencia ONAN/ONAF1/ONAF2	110/150/180 MVA
Impedancia sec (+)	12,56 % (base 180MVA)
Impedancia sec (0)	11,47 %(base 180MVA)

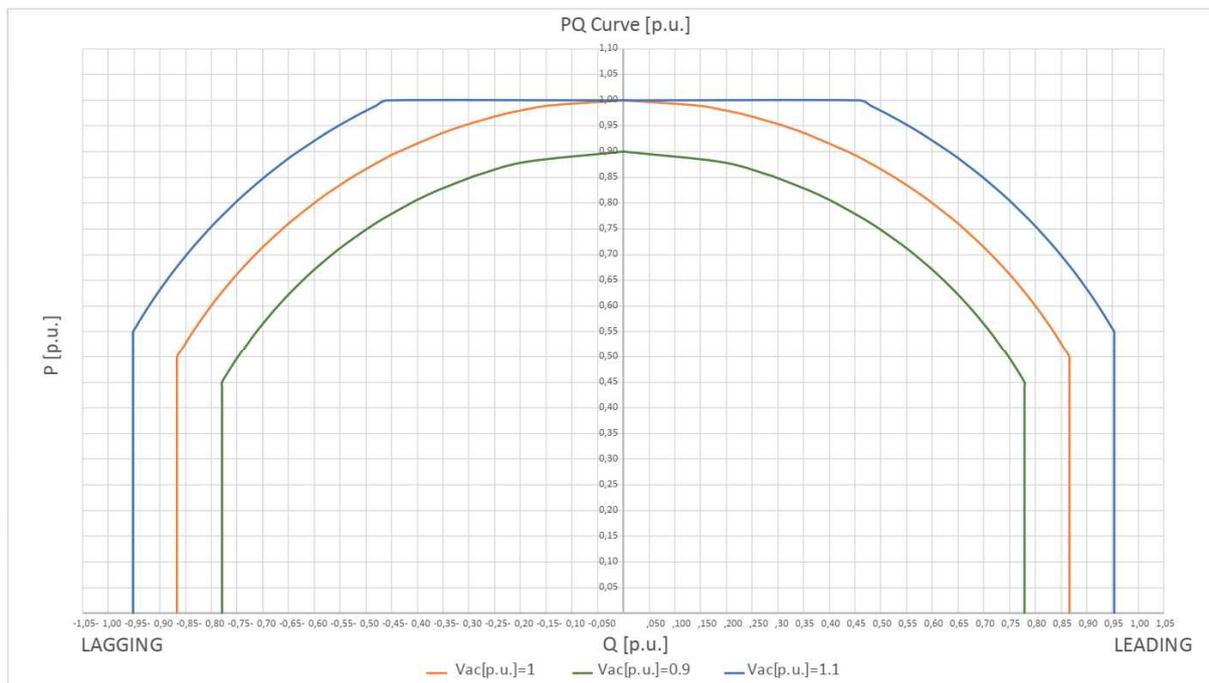


Gráfico 49. Curva PQ del inversor.

3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS

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

- Registro de ensayos: Registros_PSFV_Tamarico_SSCC_CT.rar

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato “.csv”.