



---

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

Informe Técnico

Preparado para:



Febrero - 2023

A 0657 | R 1126-21

# Tabla de Contenidos

<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>7</b>
<b>REGISTRO DE COMUNICACIONES.....</b>	<b>8</b>
<b>SECCIÓN PRINCIPAL.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. Antecedentes.....	9
1.2. Descripción del parque eólico.....	9
<b>2. PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PLANTA.....</b>	<b>15</b>
2.1. Control de planta.....	15
2.2. Características del aerogenerador AW3000.....	17
2.3. Transformador de bloque del aerogenerador.....	19
2.4. Transformador de potencia de la subestación.....	20
2.5. Banco de compensación.....	21
2.6. Red Colectora.....	21
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....</b>	<b>22</b>
3.1. Ensayos a nivel planta.....	22
3.1.1 Verificación de la curva PQ teórica.....	22
3.1.2 Ensayos del control de potencia reactiva / tensión.....	33
3.2. Ensayos a nivel aerogenerador.....	46
3.2.1 Aerogenerador más cercano (A3.1).....	46
3.2.2 Aerogenerador más lejano (A3.6).....	49
<b>4. VERIFICACIÓN DE AJUSTES DE PROTECCIONES.....</b>	<b>53</b>
4.1. Ajuste de protecciones de los aerogeneradores.....	53
4.2. Ajuste de protecciones de la subestación.....	55
<b>5. RESPUESTA DINÁMICA FRENTE A FALLAS EN LA RED.....</b>	<b>56</b>
5.1. Inyección de corriente reactiva.....	56
5.2. LVRT.....	60
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>61</b>

<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>62</b>
<b>1. INFORMACIÓN TÉCNICA DEL EQUIPAMIENTO .....</b>	<b>62</b>
1.1. Descripción de los modos de control de planta habilitados .....	62
1.2. Información técnica del transformador de potencia de la SE .....	64
1.3. Información técnica del transformador de bloque de los aerogeneradores.....	65
1.4. Capturas del SCADA de planta .....	66
1.4.1 Control de potencia reactiva.....	66
1.4.2 Control de tensión .....	66
1.4.3 Control de potencia activa.....	66
1.4.4 Control de frecuencia .....	67
<b>2. CURVA PQ COMPLETA DEL PE TOLPAN SUR.....</b>	<b>68</b>
<b>3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>4. DATOS DEL EQUIPAMIENTO REGISTRADOR.....</b>	<b>70</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Datos nominales de la turbina AW3000. ....	17
Tabla 2. Datos técnicos del transformador de bloque del aerogenerador. ....	19
Tabla 3. Datos técnicos del transformador de potencia de la SE Tolpan Sur. ....	20
Tabla 4. Características del banco de compensación.....	21
Tabla 5. Características eléctricas del sistema colector de MT. ....	21
Tabla 6. Ajuste de protecciones de frecuencia del aerogenerador.....	54
Tabla 7. Ajuste de protecciones de la subestación.....	55
Tabla 8. Cálculo del factor k en cada uno de los huecos simulados.....	59
Tabla 9. Valores nominales del PE Tolpan Sur – Curva PQ.....	68
Tabla 10. Curva PQ Completa del PE Tolpan Sur. ....	68
Tabla 11. Descripción de los registros empleados en los ensayos de SSCC CT. ....	69
Tabla 12. Componentes del equipo registrador. ....	70
Gráfico 1. Diagrama unilineal de la SE Tolpan Sur 220 kV.....	10
Gráfico 2. Diagrama unilineal de la SE Tolpan Sur 33 kV.....	11
Gráfico 3. Diagrama unilineal de MT – Circuitos 1 y 2.....	12
Gráfico 4. Diagrama unilineal de MT – Circuitos 3 y 4.....	13
Gráfico 5. Diagrama unilineal de MT – Circuito 5.....	14
Gráfico 6. Diagrama en bloques general de los modos de control de potencia reactiva..	15
Gráfico 7. Diagrama en bloques del control de tensión. ....	16
Gráfico 8. Diagrama en bloques del control de factor de potencia. ....	16
Gráfico 9. Diagrama en bloques del control de potencia reactiva.....	16
Gráfico 10. Esquema de la turbina AW3000. ....	17
Gráfico 11. Curva PQ del aerogenerador. ....	18
Gráfico 12. Curva V-Q del aerogenerador. ....	18
Gráfico 13. Curva P-Q registrada en el punto de conexión del PE. ....	23
Gráfico 14. Relevamiento de la curva PQ – Punto 1. Variables temporales. ....	24
Gráfico 15. Relevamiento de la curva PQ – Punto 2. Variables temporales. ....	25
Gráfico 16. Relevamiento de la curva PQ – Punto 3. Variables temporales. ....	26
Gráfico 17. Relevamiento de la curva PQ – Punto 4. Variables temporales. ....	27
Gráfico 18. Relevamiento de la curva PQ – Punto 5. Variables temporales. ....	28

Gráfico 19. Relevamiento de la curva PQ – Punto 6. Variables temporales. ....	29
Gráfico 20. Relevamiento de la curva PQ – Punto 7. Variables temporales. ....	30
Gráfico 21. Relevamiento de la curva PQ – Punto 8. Variables temporales. ....	31
Gráfico 22. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Variables temporales. ....	33
Gráfico 23. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Parámetros de desempeño. ....	34
Gráfico 24. Control de potencia reactiva. Media Carga. Variables temporales. ....	34
Gráfico 25. Control de potencia reactiva. Media Carga. Parámetros de desempeño. ....	35
Gráfico 26. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Variables temporales. ....	35
Gráfico 27. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Parámetros de desempeño. ....	36
Gráfico 28. Control de tensión. Alta Carga. Variables temporales. ....	37
Gráfico 29. Control de tensión. Alta Carga. Parámetros de desempeño medidos sobre la potencia reactiva. ....	37
Gráfico 30. Control de tensión AC con droop. Verificación del aporte de Q para el escalón aplicado. ....	37
Gráfico 31. Control de tensión. Media Carga. Variables temporales. ....	38
Gráfico 32. Control de tensión. Media Carga. Parámetros de desempeño medidos sobre la potencia reactiva. ....	39
Gráfico 33. Control de tensión MC con droop. Verificación del aporte de Q para el escalón aplicado. ....	39
Gráfico 34. Control de tensión. Baja Carga. Variables temporales. ....	40
Gráfico 35. Control de tensión. Baja Carga. Parámetros de desempeño medidos sobre la potencia reactiva. ....	40
Gráfico 36. Control de tensión BC con droop. Verificación del aporte de Q para el escalón aplicado. ....	40
Gráfico 37. Control de factor de potencia. Alta Carga. Variables temporales. ....	41
Gráfico 38. Control de factor de potencia. Alta Carga. Parámetros de desempeño. ....	42
Gráfico 39. Control de factor de potencia. Alta Carga. Curva PQ. ....	42
Gráfico 40. Control de factor de potencia. Media Carga. Variables temporales. ....	43
Gráfico 41. Control de factor de potencia. Media Carga. Parámetros de desempeño. ....	43
Gráfico 42. Control de factor de potencia. Media Carga. Curva PQ. ....	44
Gráfico 43. Control de factor de potencia. Baja Carga. Variables temporales. ....	45
Gráfico 44. Control de factor de potencia. Baja Carga. Parámetros de desempeño. ....	45
Gráfico 45. Control de factor de potencia. Baja Carga. Curva PQ. ....	45
Gráfico 46. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Variables temporales. ....	46

Gráfico 47. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Parámetros de desempeño. ....	47
Gráfico 48. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Variables temporales. ....	47
Gráfico 49. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Parámetros de desempeño. ....	48
Gráfico 50. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Variables temporales. ....	48
Gráfico 51. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Parámetros de desempeño. ....	49
Gráfico 52. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Variables temporales. ....	50
Gráfico 53. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Parámetros de desempeño. ....	50
Gráfico 54. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Variables temporales. ....	51
Gráfico 55. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Parámetros de desempeño. ....	51
Gráfico 56. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Variables temporales. ....	52
Gráfico 57. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Parámetros de desempeño. ....	52
Gráfico 58. Ajuste de protecciones de LVRT y HVRT del Aerogenerador. ....	53
Gráfico 59. Ajuste de protecciones de tensión del aerogenerador. ....	54
Gráfico 60. Inyección de corriente reactiva durante huecos y sobretensiones. ....	57
Gráfico 61. Parametrización de los aportes de corriente reactiva durante huecos de tensión y sobre tensiones del convertidor del aerogenerador AW3000. ....	57
Gráfico 62. Tensión y aporte de corriente reactiva durante la simulación de hueco al 54%. ....	58
Gráfico 63. Tensión y aporte de corriente reactiva durante la simulación de hueco al 65%. ....	58
Gráfico 64. Tensión y aporte de corriente reactiva durante la simulación de hueco al 75%. ....	59
Gráfico 65. Respuesta ante un hueco de tensión normalizado. ....	60
Gráfico 66. Notas de los modos de control del PE Tolpan Sur. ....	63
Gráfico 67. Información técnica del transformador de potencia de la SE Tolpan Sur. ....	64
Gráfico 68. Información técnica del transformador de máquina. ....	65
Gráfico 69. Configuración del control de potencia reactiva. ....	66

Gráfico 70. Configuración del control de tensión. ....	66
Gráfico 71. Configuración del control de potencia activa. ....	66
Gráfico 72. Configuración del control de frecuencia. ....	67
Gráfico 73. Curva PQ Completa del PE Tolpan Sur. ....	68
Gráfico 74. Representación esquemática simplificada de la conexión del equipamiento. ....	71

## 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

## Registro de comunicaciones

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

<b>N°</b>	<b>Fecha</b> dd/mm/año	<b>Preparó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Observaciones</b>
1	27/01/2023	FG	FM	FM	Emisión Original
2	15/02/2023	FG	FM	FM	Correcciones menores en función de los comentarios de ACCIONA



## Sección principal

### 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes

En el siguiente informe se documentan los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Tolpan Sur durante el día 05 de Diciembre del 2022, en relación con el proceso de verificación de la prestación de servicios complementarios de control de tensión.

De esta manera, se han obtenido registros que muestran la respuesta de los sistemas de control del parque según los requerimientos 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.

#### 1.2. Descripción del parque eólico

El PE Tolpan Sur, se encuentra ubicado en en la región IX de la Araucanía, comuna de Renaico. El mismo está constituido por 28 aerogeneradores marca Acciona Wind Power, modelo AW3000/116 (3 MW), totalizando una potencia instalada de 84 MW. La tecnología de estos aerogeneradores es del tipo generador asincrónico doblemente alimentado.

El PE Tolpán Sur cuenta con una subestación en 220 kV, en la que existe un transformador elevador de capacidad 150 MVA y 220/33 kV. El punto de conexión del PE es mediante la barra de 220 kV de la SE Tolpan Sur. La conexión al sistema eléctrico se realiza mediante una línea aérea 220 kV (doble circuito) de 33.08 km de distancia, seguida de un tramo soterrado de 0.17 km que conecta con el patio de mufas de la SE Mulchen 220 kV.

La red colectora interna del parque consta de cinco circuitos en 33 kV que colectan la energía generada. Cada aerogenerador posee un transformador de bloque 33/12 kV de 3.4 MVA que conecta la salida del aerogenerador (12 kV) con la red de 33 kV. Así mismo, el parque cuenta con un banco de capacitores de 8 MVAR de dos pasos (2 x 4 MVAR) conectado a la barra de MT de la subestación Tolpán Sur, dónde conectan todos los circuitos de la red interna del parque.

En el Gráfico 1 y el Gráfico 2 se muestra un diagrama unilineal de la SE Tolpan Sur en 220 kV y en 33 kV respectivamente, en el Gráfico 3, Gráfico 4, y el Gráfico 5 se muestra un diagrama unilineal de la red colectora del parque.











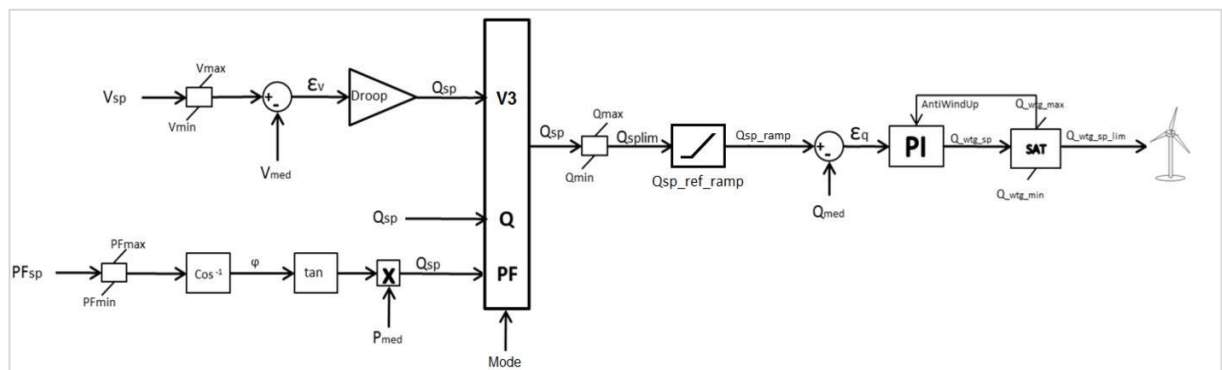
## 2. Principales componentes de la planta

### 2.1. 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 PE Tolpan Sur, la pendiente estaba configurada en 10 %/min, tanto para la toma de carga como para la reducción de generación.
  - 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.
- Funciones de control de potencia reactiva:

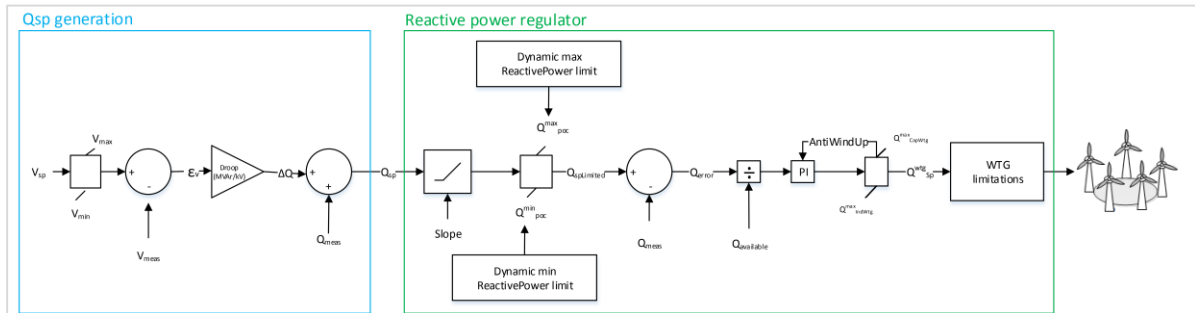
En el siguiente gráfico se muestra el diagrama en bloques general correspondiente a los modos de control de potencia reactiva:



**Gráfico 6. Diagrama en bloques general de los modos de control de potencia reactiva.**

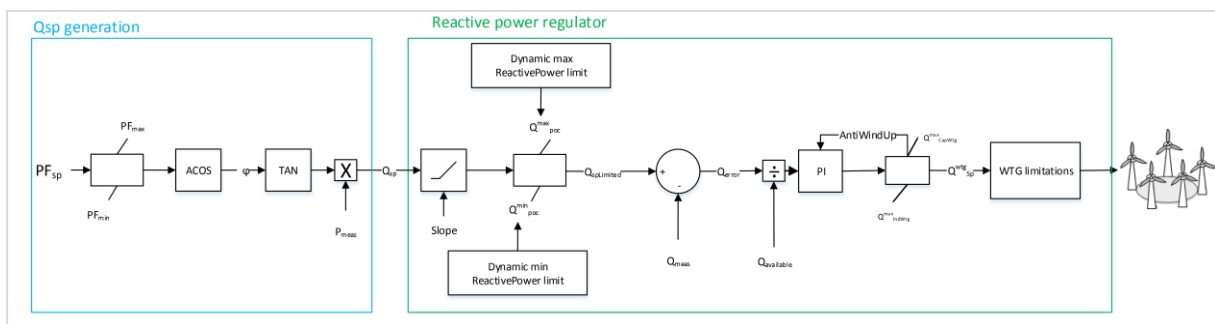
A continuación, se describen los tres modos de operación disponibles. Cabe destacar, que estos modos son excluyentes entre sí, de modo que solo puede estar activo un modo de control.

- Control de tensión: Permite definir un valor de consigna de tensión en el punto de conexión del PE. En el caso particular del PE Tolpan Sur, el control habilitado es de tipo proporcional con realimentación de potencia reactiva  $\Delta Q = f(V_{meas})$ . A continuación, se muestra el diagrama en bloques de este tipo de control:



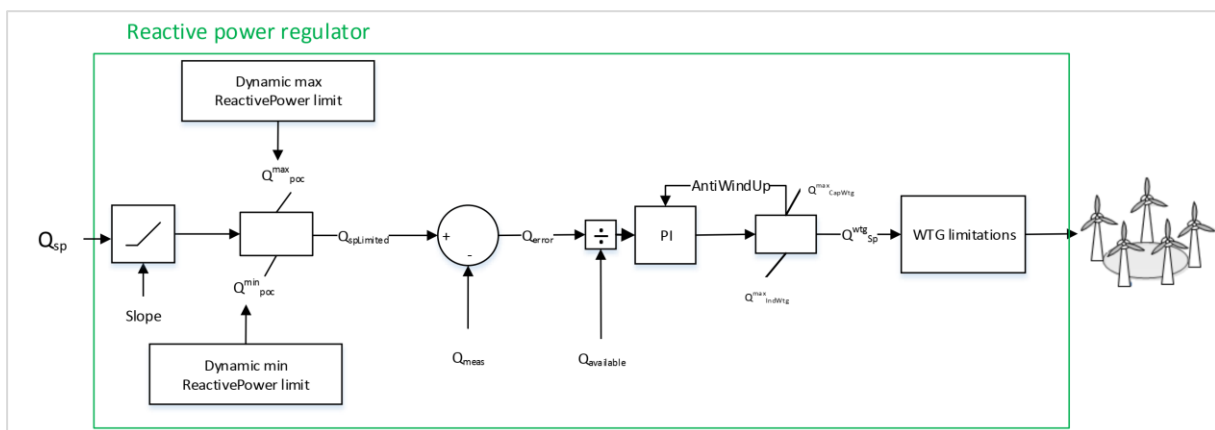
**Gráfico 7. Diagrama en bloques del control de tensión.**

- 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. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de este tipo de control:



**Gráfico 8. Diagrama en bloques del control de factor de potencia.**

- 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 (Qsp) es distribuida entre todos los aerogeneradores.



**Gráfico 9. Diagrama en bloques del control de potencia reactiva.**

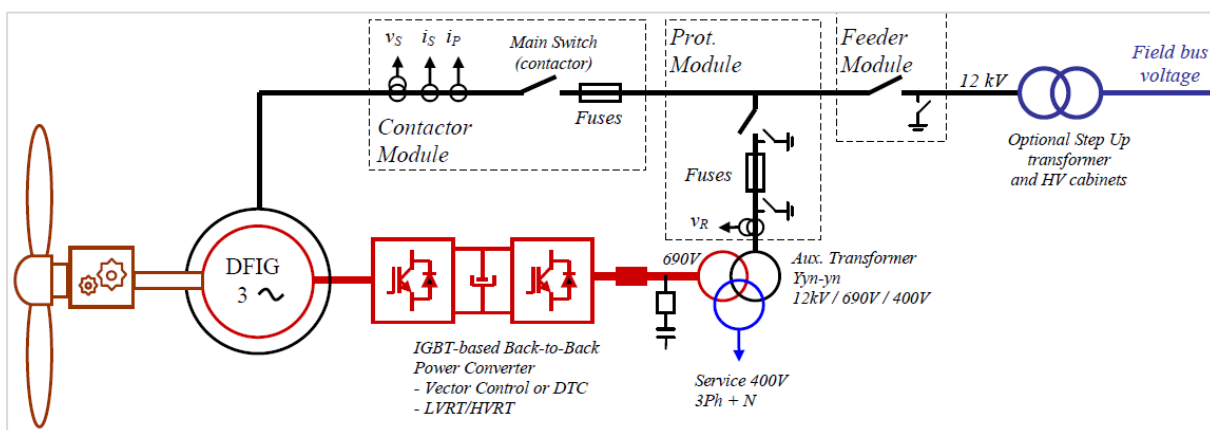


- Operación del parque en ausencia de recurso primario: El PE Tolpan Sur no es capaz de entregar potencia reactiva en ausencia de recurso primario.

En la sección 1.1 del Anexo de este informe se muestra una captura de la configuración actual de cada uno de los controles del parque.

## 2.2. Características del aerogenerador AW3000

El modelo de aerogenerador que compone el parque es un AW3000, del fabricante Nordex-Acciona Windpower. Es un aerogenerador Tipo 3 o DFIG (del inglés "Doubly-Fed Induction Generator"), con una potencia nominal de 3 MW, una tensión (de línea) nominal de estator de 12 kV y la potencia de generación (activa y reactiva) controla mediante las corrientes rotóricas. Estas corrientes son producto de un convertidor electrónico de conmutación forzada con transistores IGBT. El equipo de potencia se alimenta en 690 kV y los servicios auxiliares en 400 V, mediante un transformador 12/0.69/0.4 kV.



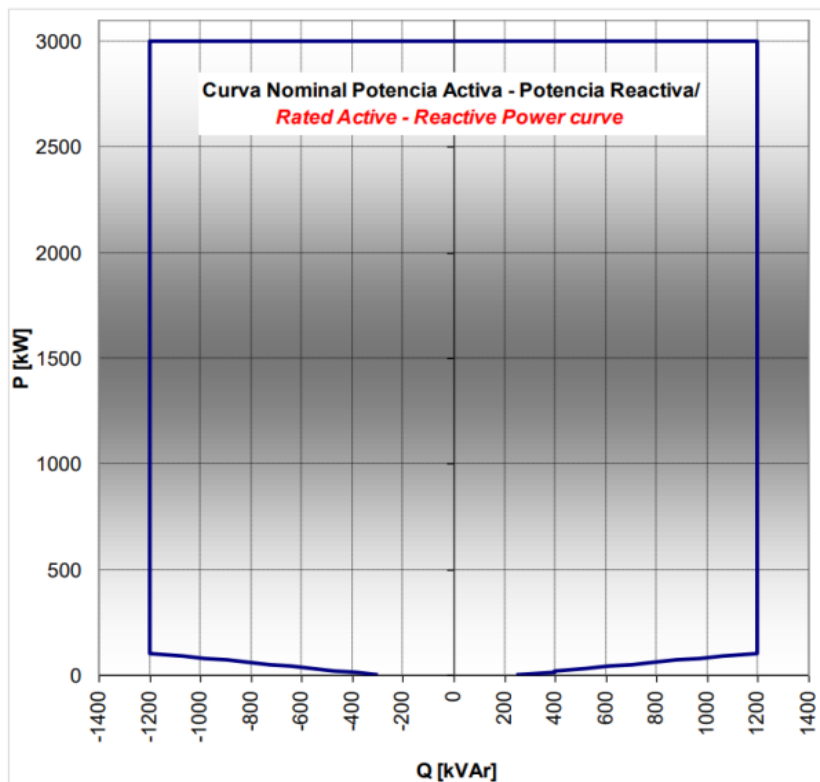
**Gráfico 10. Esquema de la turbina AW3000.**

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones del modelo de la turbina AW3000:

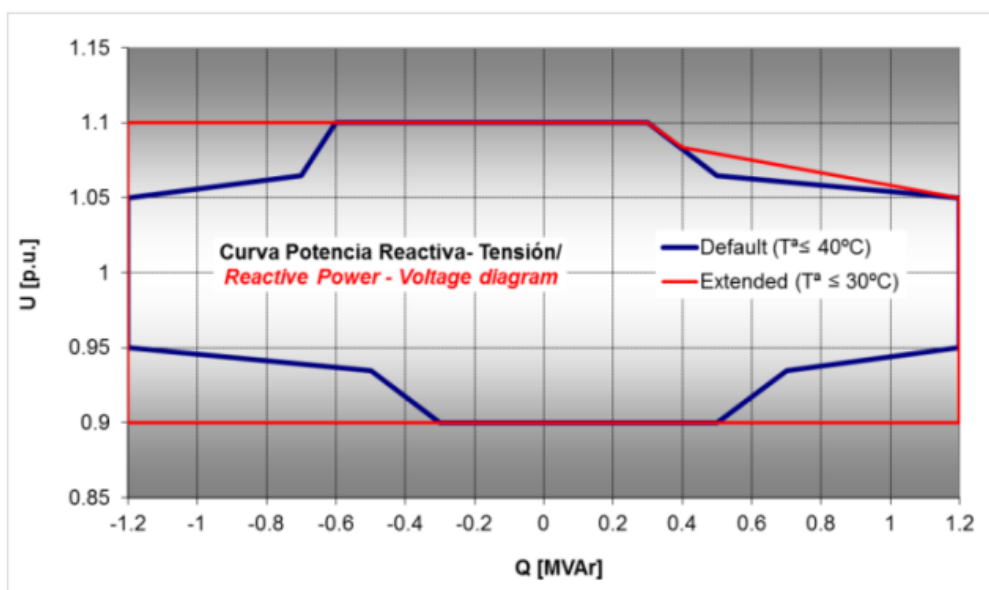
**Tabla 1. Datos nominales de la turbina AW3000.**

CARACTERÍSTICA	VALOR NOMINAL
Tensión de línea	12 kV
Frecuencia de Red	50 Hz
Potencia Activa	3000 kW
Potencia Reactiva	± 1200 kVAr

En el Gráfico 11 se muestra la curva PQ del aerogenerador AW3000/116. Por otro lado, en el Gráfico 12 se muestra la dependencia entre la potencia reactiva que puede entregar o absorber el aerogenerador, con la tensión en bornes de este.



**Gráfico 11. Curva PQ del aerogenerador.**



**Gráfico 12. Curva V-Q del aerogenerador.**

### 2.3. Transformador de bloque del aerogenerador

En la siguiente tabla se muestran los datos de placa del transformador de bloque del aerogenerador AW3000:

**Tabla 2. Datos técnicos del transformador de bloque del aerogenerador.**

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potencia Nominal	3.4 MVA
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión Nominal de AT	33 kV
Tensión Nominal de BT	12 kV
Grupo de Conexión	Dyn11
Impedancia de cortocircuito	6 %
Pérdidas en el Cobre	24 kW
Impedancia de Secuencia Cero	6 %
Pérdidas de Vacío	3,5 kW
Corriente de Excitación	0,2 %
Posiciones de TAP	5

#### 2.4. Transformador de potencia de la subestación

En la siguiente tabla se muestran los datos extraídos de la placa del transformador de potencia de la SE Tolpan Sur. El mismo posee conmutación automática bajo carga.

**Tabla 3. Datos técnicos del transformador de potencia de la SE Tolpan Sur.**

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potencia Nominal	215 MVA
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión Nominal de AT	220 kV
Tensión Nominal de BT	33 kV
Grupo de Conexión	YNd11
Impedancia de cortocircuito	11,6 %
Pérdidas en el Cobre	423,9 kW
Impedancia de Secuencia Cero	11,53 %
Pérdidas de Vacío	90 kW
Impedancia @ TAP mínimo	11,97 %
Impedancia @ TAP máximo	12,47 %
Corriente de Excitación	0,088 %
Posiciones de TAP	23

## 2.5. Banco de compensación

El PE Tolpan Sur dispone de un banco de compensación de 8 MVar cuyas características más relevantes se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Características del banco de compensación.**

TIPO	BANCO DE CAPACITORES
POTENCIA TOTAL	8 MVar
MODELO	CAA
TENSIÓN NOMINAL	33 kV
FRECUENCIA NOMINAL	50 Hz
NUMERO DE PASOS	2
POTENCIA INDIVIDUAL POR CADA PASO	4 MVar
TIPO DE CONEXIÓN	FLOTADA YY

Este banco está integrado al sistema de control del PE con una lógica de conexión y desconexión en función de la potencia generada. Se emplea para cubrir la máxima inyección de potencia reactiva en la zona de alta generación (zona superior capacitiva de la curva de capacidad).

## 2.6. Red Colectora

El PE Tolpan Sur cuenta con 5 alimentadores en MT, que colectan la energía generada por los aerogeneradores:

- Circuito 1: Aerogeneradores A1.1, A1.2, A1.3 y A1.4.
- Circuito 2: Aerogeneradores A2.1, A2.2, A2.3 y A2.4.
- Circuito 3: Aerogeneradores A3.1, A3.2, A3.3, A3.4, A3.5 y A3.6.
- Circuito 4: Aerogeneradores A4.1, A4.2, A4.3, A4.4, A4.5, A4.6, A4.7 y A4.8.
- Circuito 5: Aerogeneradores A5.1, A5.2, A5.3, A5.4, A5.5 y A5.6.

**Tabla 5. Características eléctricas del sistema colector de MT.**

Terminal i	Terminal J	L [km]	R1 [Ω]	X1 [Ω]	B1 [μS]	R0 [Ω]	X0 [Ω]	B0 [μS]
A1.1 33kV	A1.2 33kV	2.75	0.3438	0.3245	210.8009	3.4375	0.1898	210.8009
A1.2 33kV	A1.3 33kV	0.377	0.0471	0.0445	28.8989	0.4712	0.026	28.8989
A1.3 33kV	A1.4 33kV	0.331	0.0414	0.0391	25.3728	0.4137	0.0228	25.3728
A2.1 33kV	A2.2 33kV	0.303	0.0379	0.0358	23.2264	0.3787	0.0209	23.2264
A2.2 33kV	A2.3 33kV	2.71	0.3388	0.3198	207.7347	3.3875	0.187	207.7347
A2.3 33kV	A2.4 33kV	0.921	0.1151	0.1087	70.5991	1.1513	0.0635	70.5991
A3.1 33kV	A3.2 33kV	0.391	0.0489	0.0461	29.9721	0.4888	0.027	29.9721
A3.1 33kV	A3.3 33kV	0.388	0.0485	0.0458	29.7421	0.485	0.0268	29.7421

A3.3 33kV	A3.4 33kV	0.397	0.0496	0.0468	30.432	0.4963	0.0274	30.432
A3.4 33kV	A3.5 33kV	0.399	0.0499	0.0471	30.5853	0.4987	0.0275	30.5853
A3.5 33kV	A3.6 33kV	0.443	0.0554	0.0523	33.9581	0.5537	0.0306	33.9581
A4.1 33kV	A4.2 33kV	0.358	0.0448	0.0422	27.4424	0.4475	0.0247	27.4424
A4.1 33kV	A4.5 33kV	0.406	0.0507	0.0479	31.1219	0.5075	0.028	31.1219
A4.2 33kV	A4.3 33kV	0.263	0.0329	0.031	20.1602	0.3288	0.0181	20.1602
A4.3 33kV	A4.4 33kV	0.582	0.0728	0.0687	44.6131	0.7275	0.0402	44.6131
A4.5 33kV	A4.6 33kV	0.38	0.0475	0.0448	29.1288	0.475	0.0262	29.1288
A4.6 33kV	A4.7 33kV	0.813	0.1016	0.0959	62.3204	1.0163	0.0561	62.3204
A4.7 33kV	A4.8 33kV	0.657	0.0821	0.0775	50.3622	0.8213	0.0453	50.3622
A5.1 33kV	A5.2 33kV	0.966	0.0584	0.1024	94.9886	1.1399	0.056	94.9886
A5.2 33kV	A5.3 33kV	0.317	0.0396	0.0374	24.2996	0.3963	0.0219	24.2996
A5.3 33kV	A5.4 33kV	0.965	0.1206	0.1139	73.9719	1.2062	0.0666	73.9719
A5.4 33kV	A5.5 33kV	0.695	0.0869	0.082	53.2751	0.8687	0.048	53.2751
A5.5 33kV	A5.6 33kV	0.985	0.1231	0.1162	75.505	1.2313	0.068	75.505
Tolpán Sur 33kV	A1.1 33kV	0.48	0.06	0.0566	36.7943	0.6	0.0331	36.7943
A2.1 33kV	Tolpán Sur 33kV	3.778	0.4723	0.4458	289.6021	4.7225	0.2607	289.6021
A3.1 33kV	Tolpán Sur 33kV	5.006	0.3029	0.5306	492.2492	5.9071	0.2903	492.2492
Tolpán Sur 33kV	A4.1 33kV	1.445	0.0678	0.1474	156.6163	1.6906	0.0795	156.6163
A5.1 33kV	Tolpán Sur 33kV	3.128	0.1892	0.3316	307.582	3.691	0.1814	307.582

### 3. 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. Con este objetivo, 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 Tolpan Sur).

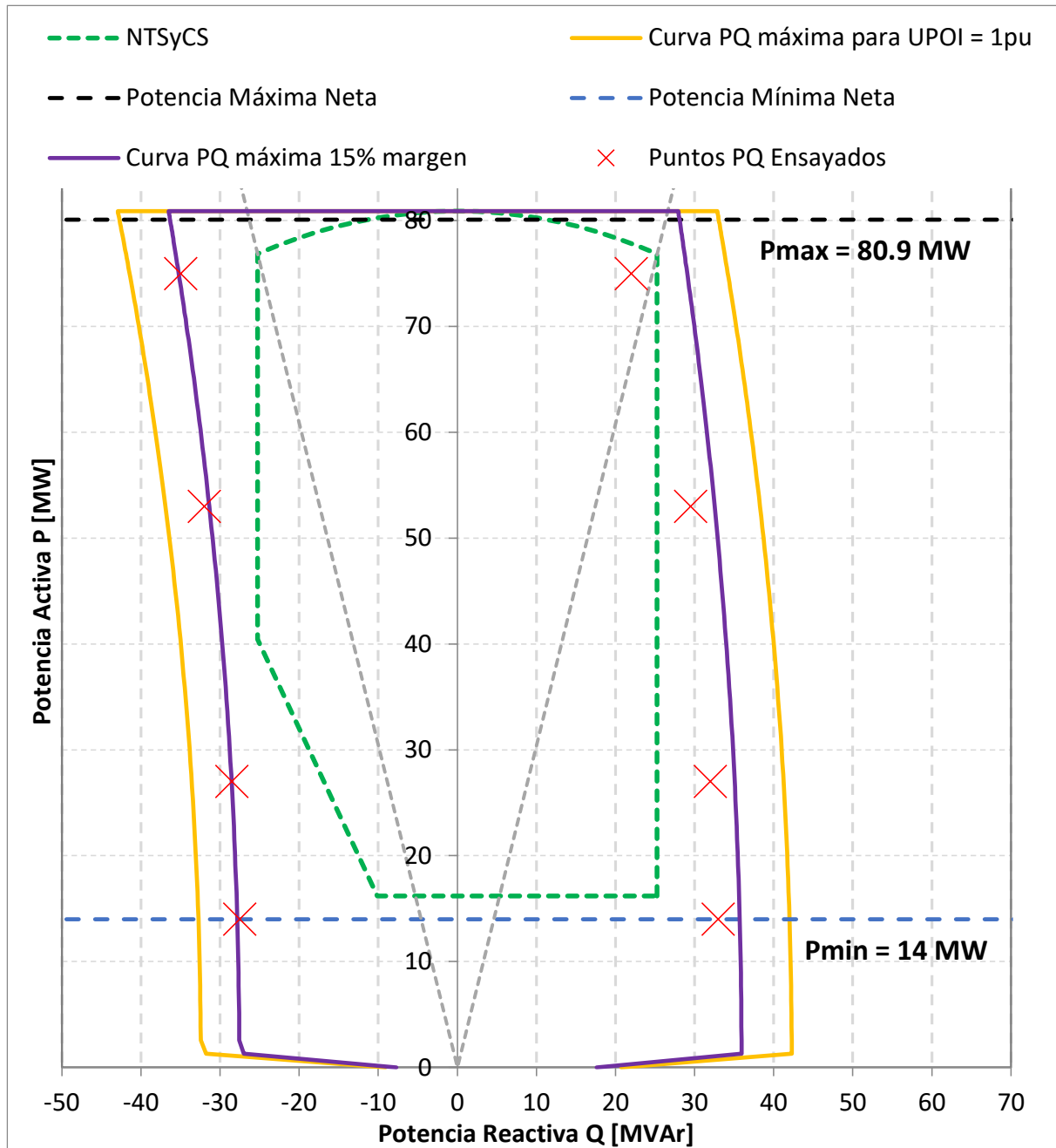
Para los ensayos a nivel aerogenerador, debido a la imposibilidad de realizar los ensayos a pie de máquina, se conectó el equipamiento en la barra de MT del transformador de potencia de la SE Tolpan sur. Se realizaron los ensayos sobre el aerogenerador A6.3 (aerogenerador más lejano) y el aerogenerador A3.1 (aerogenerador más cercano) vinculados al alimentador 3, con el resto de los aerogeneradores de ese circuito en pausa ( $P = 0$  MW).

#### 3.1. Ensayos a nivel planta

##### 3.1.1 Verificación de la curva PQ teórica

El objetivo de este ensayo es el de modificar el punto de operación del parque eólico de manera de verificar el cumplimiento de la capacidad de absorción e inyección de potencia reactiva para distintos estados de carga en régimen permanente en el punto de conexión de 220 kV. Se relevaron 8 puntos extremos de la curva PQ teórica (puntos 1 a 8). Dentro de los 8 puntos relevados se consideraron los correspondientes a potencia máxima disponible ( $>80$  % de  $P_n$ ) y mínimo técnico (se emplea un valor de 14 MW para el PE Tolpan Sur).

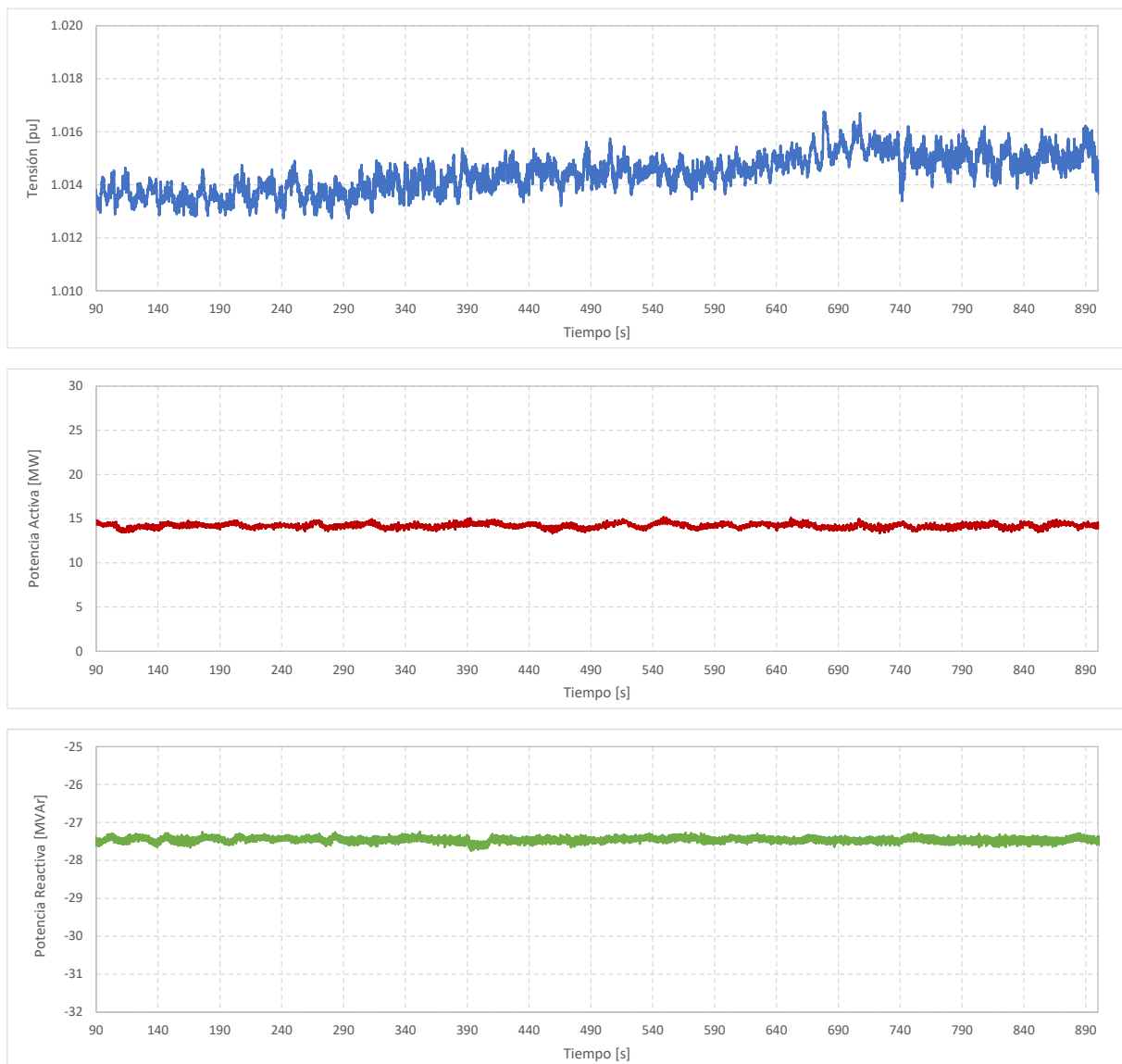
A continuación, se muestran los resultados obtenidos:



**Gráfico 13. Curva P-Q registrada en el punto de conexión del PE.**

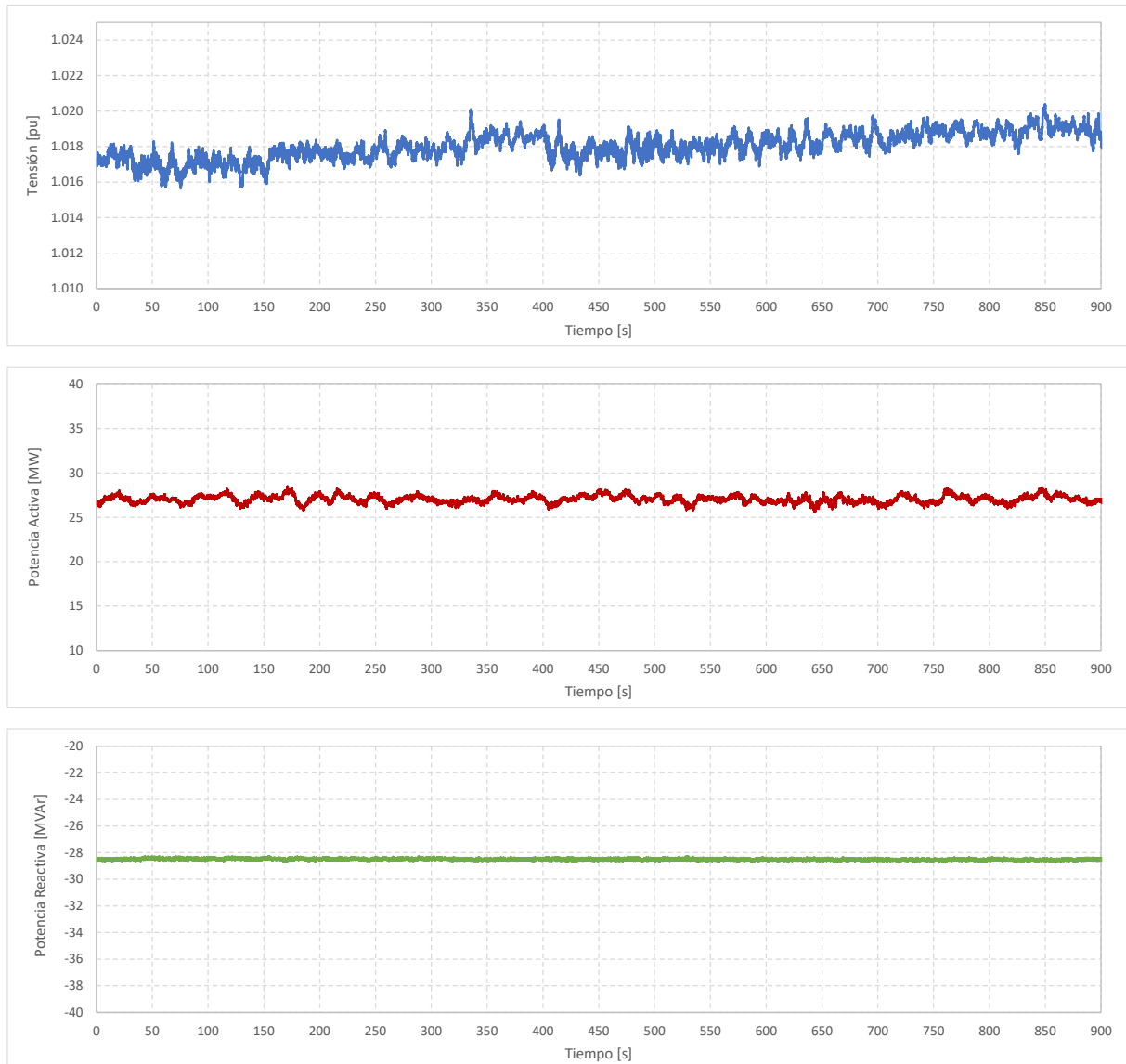
Cabe destacar que la curva PQ teórica máxima (destacada en naranja en el Gráfico 13) se obtuvo para una tensión de 1 pu en el punto de conexión del parque. Para resguardar la integridad de las instalaciones, se consideraron los límites de corriente de la red colectora, los transformadores de unidad y el transformador de potencia (carga máxima del 100 %). Además, se consideraron límites en la tensión en bornes de los aerogeneradores en un valor máximo de 1.05 pu y un valor mínimo de 0.95 pu (respecto a la tensión MT Ac de 12

kV). De forma complementaria a lo anterior, se considera un margen de seguridad para evitar inestabilidad en la operación del 15 % en el lado inductivo y 15 % en el lado capacitivo de la curva PQ. De lo anterior la curva PQ teórica objetivo quedó definida por el trazo morado del Gráfico 13 y los puntos operativos alcanzados en el ensayo son los marcados con una (X). En los siguientes gráficos se muestra la evolución temporal de las variables de interés para cada uno de los puntos consignados.

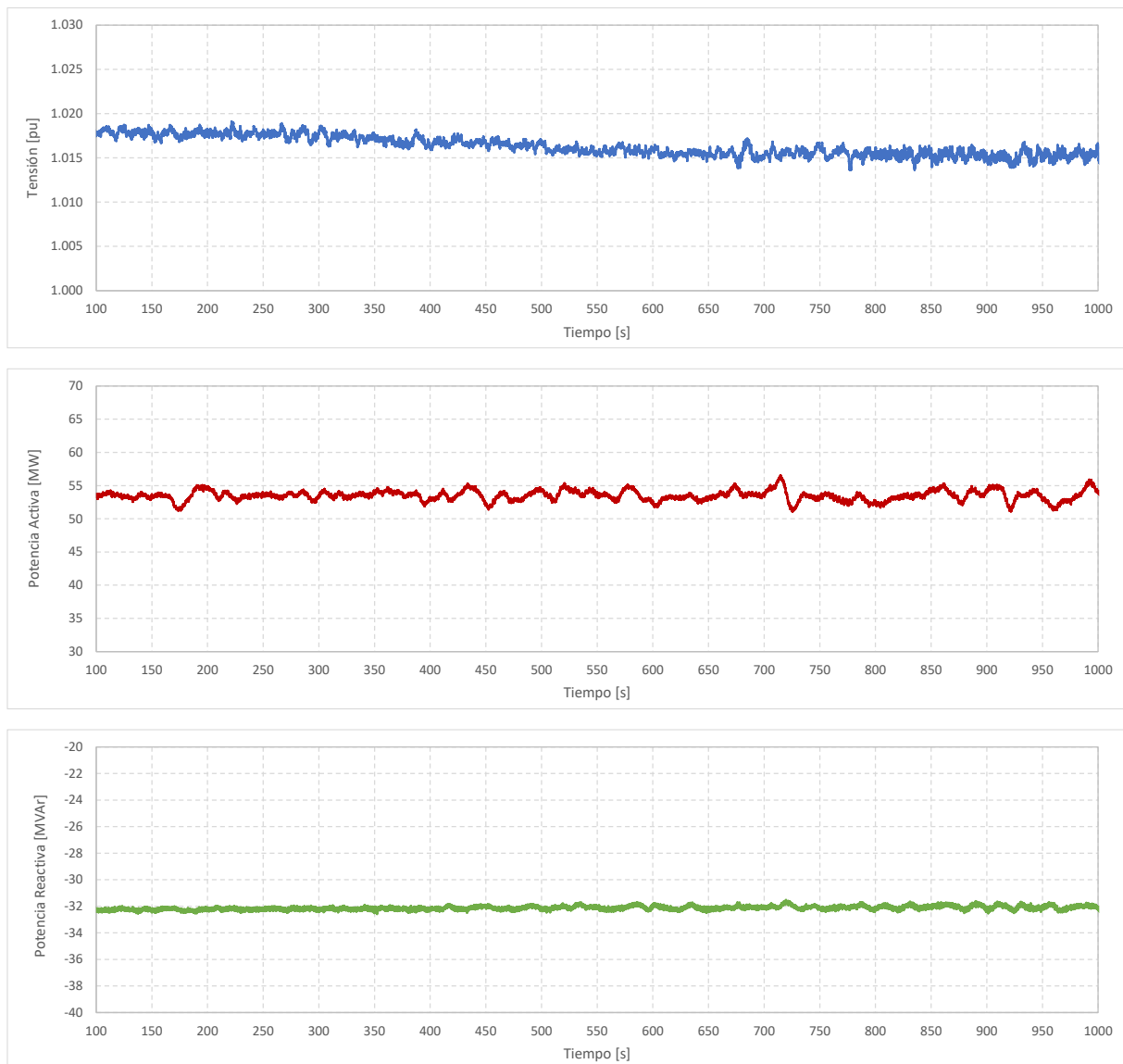


**Gráfico 14. Relevamiento de la curva PQ – Punto 1. Variables temporales.**

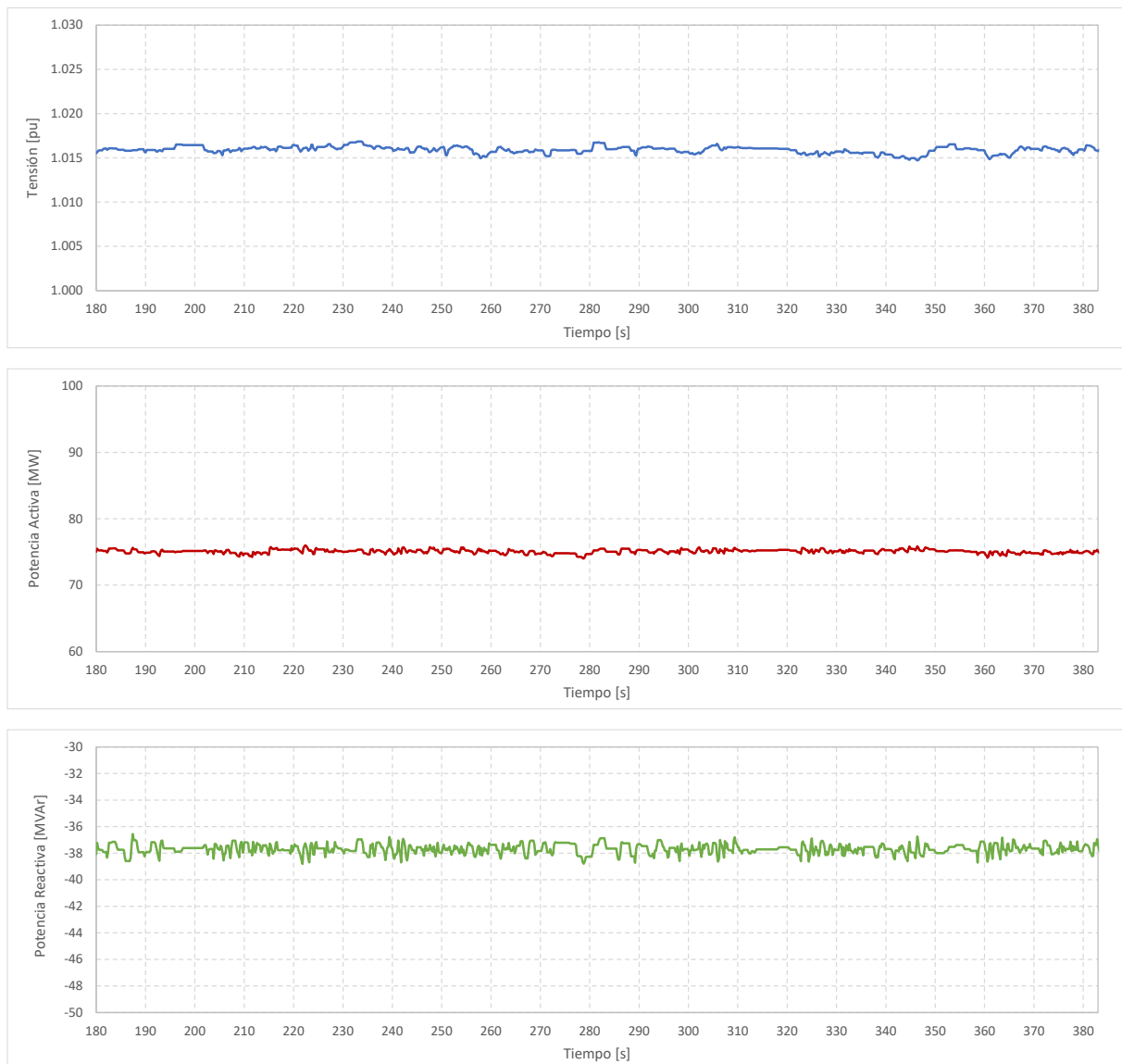




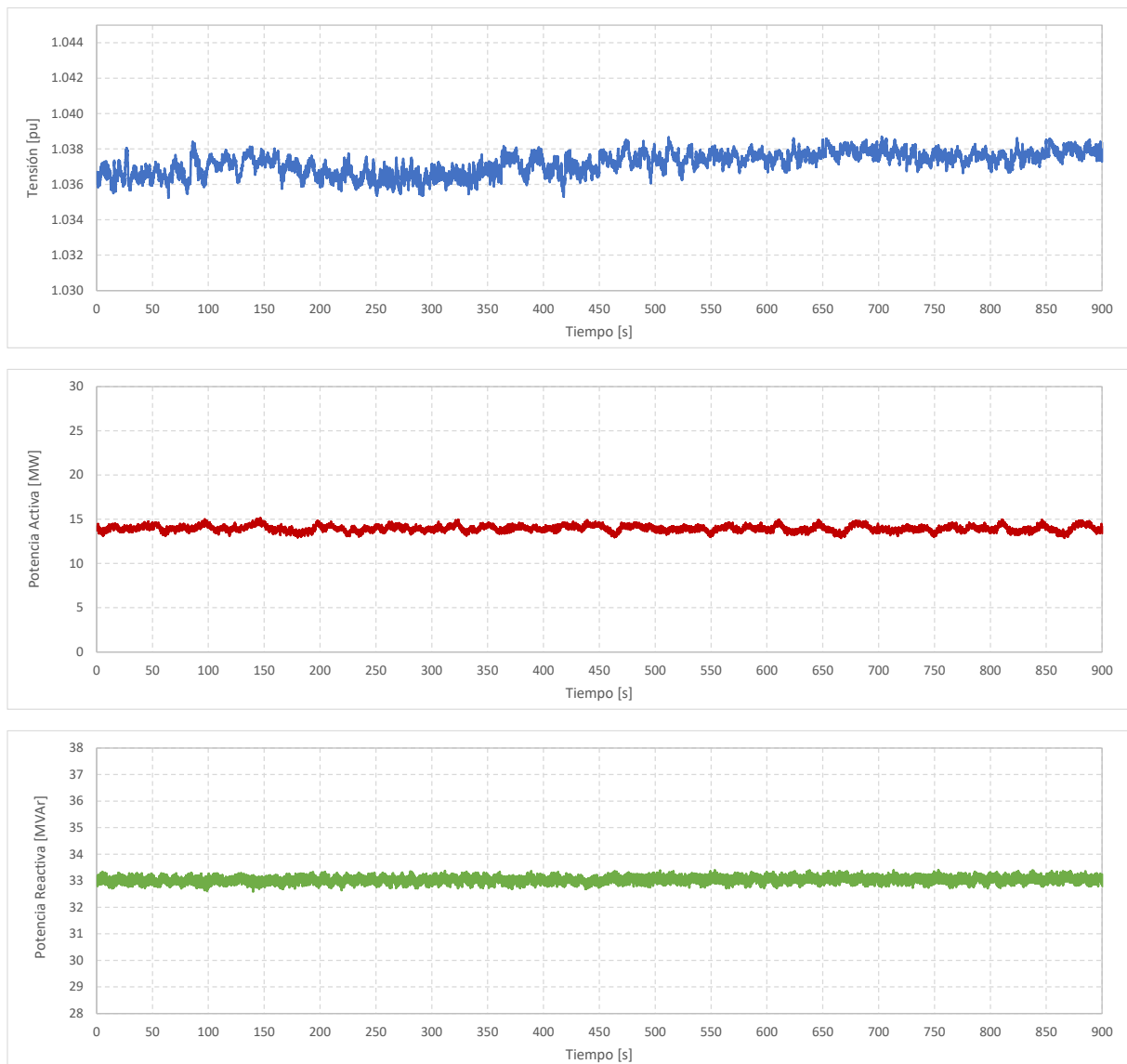
**Gráfico 15. Relevamiento de la curva PQ – Punto 2. Variables temporales.**



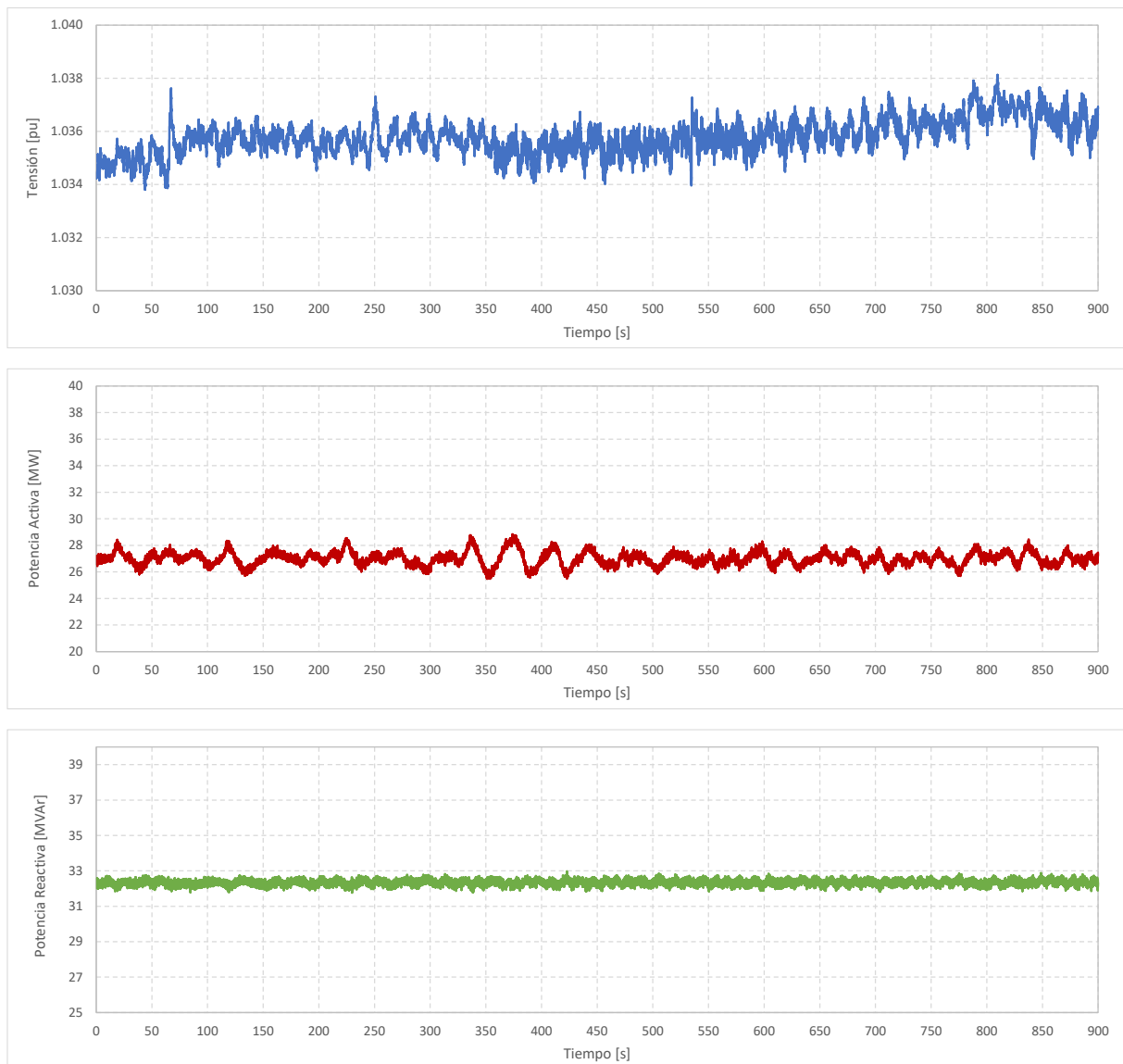
**Gráfico 16. Relevamiento de la curva PQ – Punto 3. Variables temporales.**



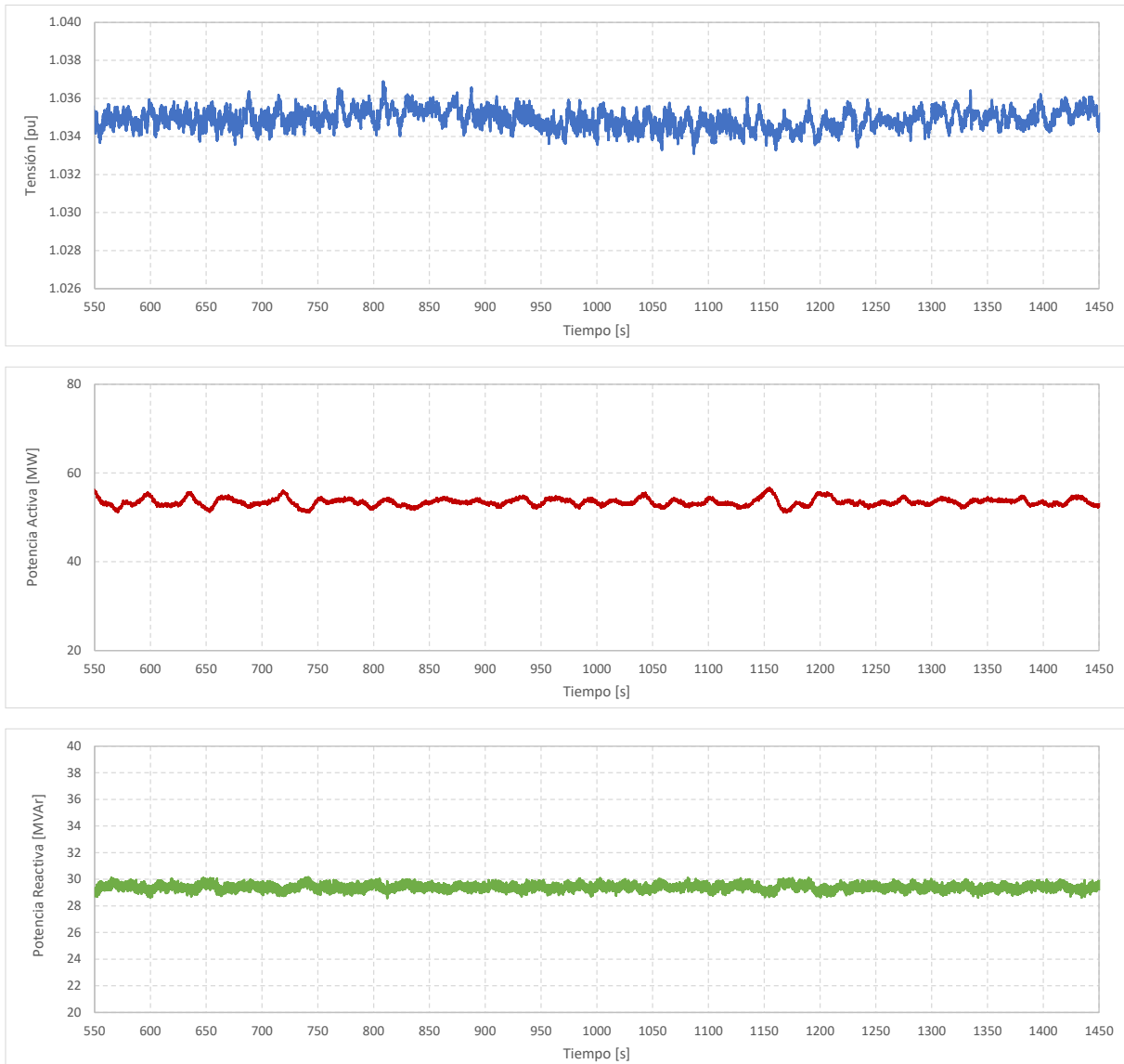
**Gráfico 17. Relevamiento de la curva PQ – Punto 4. Variables temporales.**



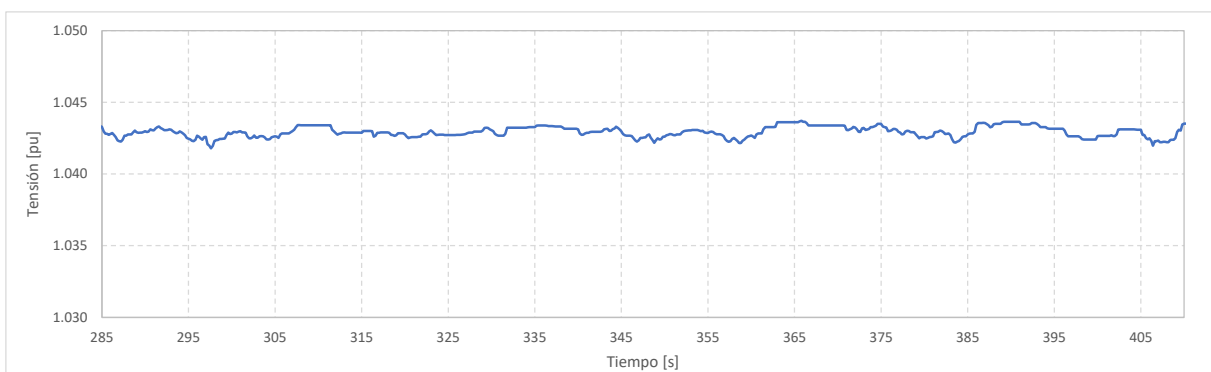
**Gráfico 18. Relevamiento de la curva PQ – Punto 5. Variables temporales.**

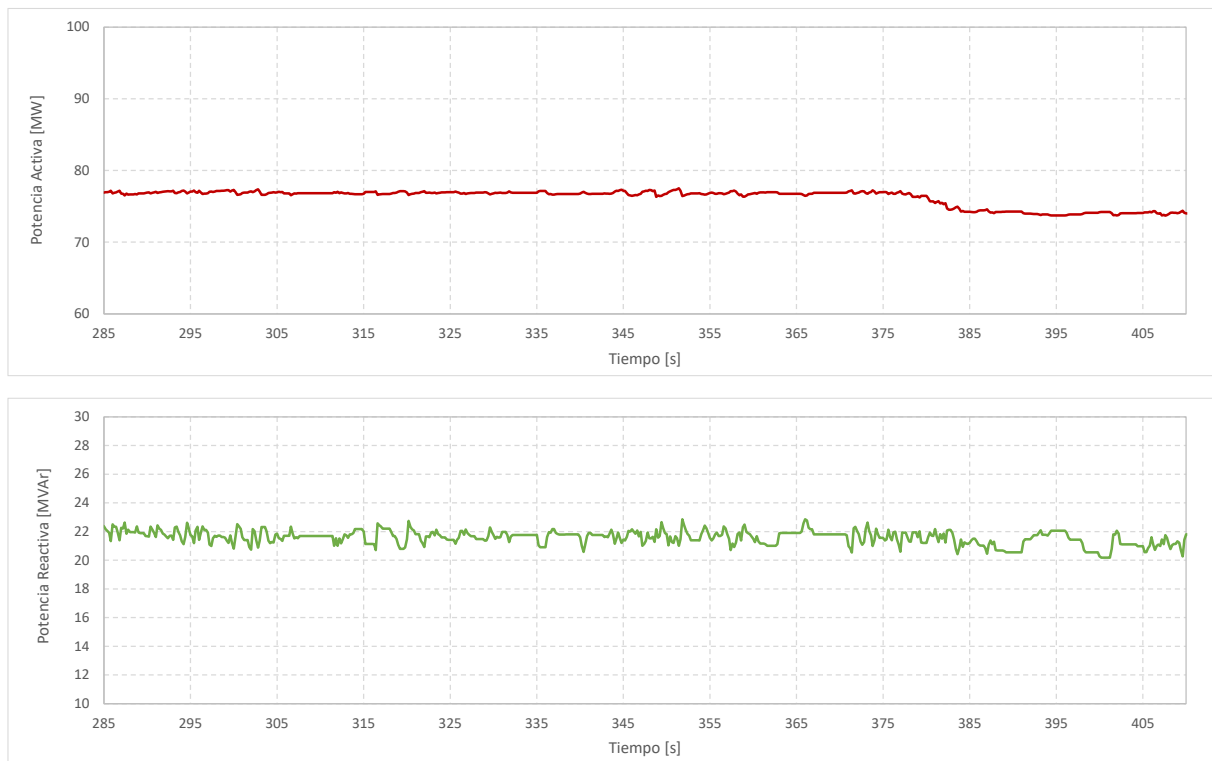


**Gráfico 19. Relevamiento de la curva PQ – Punto 6. Variables temporales.**



**Gráfico 20. Relevamiento de la curva PQ – Punto 7. Variables temporales.**





**Gráfico 21. Relevamiento de la curva PQ – Punto 8. Variables temporales.**

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

Punto	P [MW]	Q teórico [MVar]	Q alcanzado [MVar]	U Alcanzada [pu]	Observaciones
1	14	-27.5	-27.5	1.014	Cumple con la curva PQ Teórica máxima
2	27	-28.5	-28.5	1.018	Cumple con la curva PQ Teórica máxima
3	53	-31.5	-32.0	1.015	Cumple con la curva PQ Teórica máxima
4	75	-35.0	-35.0	1.015	Cumple con la curva PQ Teórica máxima
5	14	36.0	33.0	1.037	*no se alcanzó el punto objetivo
6	27	35.0	32.0	1.036	*no se alcanzó el punto objetivo
7	53	33.0	29.5	1.035	*no se alcanzó el punto objetivo
8	75	29.0	22.0	1.043	*no se alcanzó el punto objetivo

Es de hacer notar que los puntos 1 y 5 se realizaron a un nivel de potencia activa de 14 MW y no al valor de mínimo técnico informado de la central (0 MW de potencia neta) debido a que, por debajo de 14 MW, debido a la lógica del PPC, muchos aerogeneradores entran en modo pausa lo cual hace que la potencia reactiva que puede inyectar la central disminuya significativamente, no pudiendo aportar el máximo. De lo anterior se tomaron

los puntos mínimos sobre una potencia de 14 MW.

En cuanto a la potencia máxima (puntos 4 y 8), estos se tomaron a la máxima potencia disponible de la central al momento de realizar el ensayo la cual fue de 75 MW (89 % de la potencia instalada en la planta).

Se nota que sobre el lado capacitivo (Puntos 5, 6, 7 y 8), no se alcanzó el valor de consigna debido a que al momento de realizar los ensayos dos aerogeneradores se encontraban con tareas de mantenimiento por lo que habían sido excluidos del sistema de control. Si bien no se alcanzaron los puntos objetivo para el lado capacitivo, de los ensayos se pudo comprobar que la evolución de las variables es estable.

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 PE Tolpan Sur.

Sin perjuicio de lo anterior, la curva PQ final para todos los niveles de tensión se completó, entonces, mediante simulación en PowerFactory utilizando el modelo desarrollado de la planta. El mismo se adjunta en el Anexo 1.

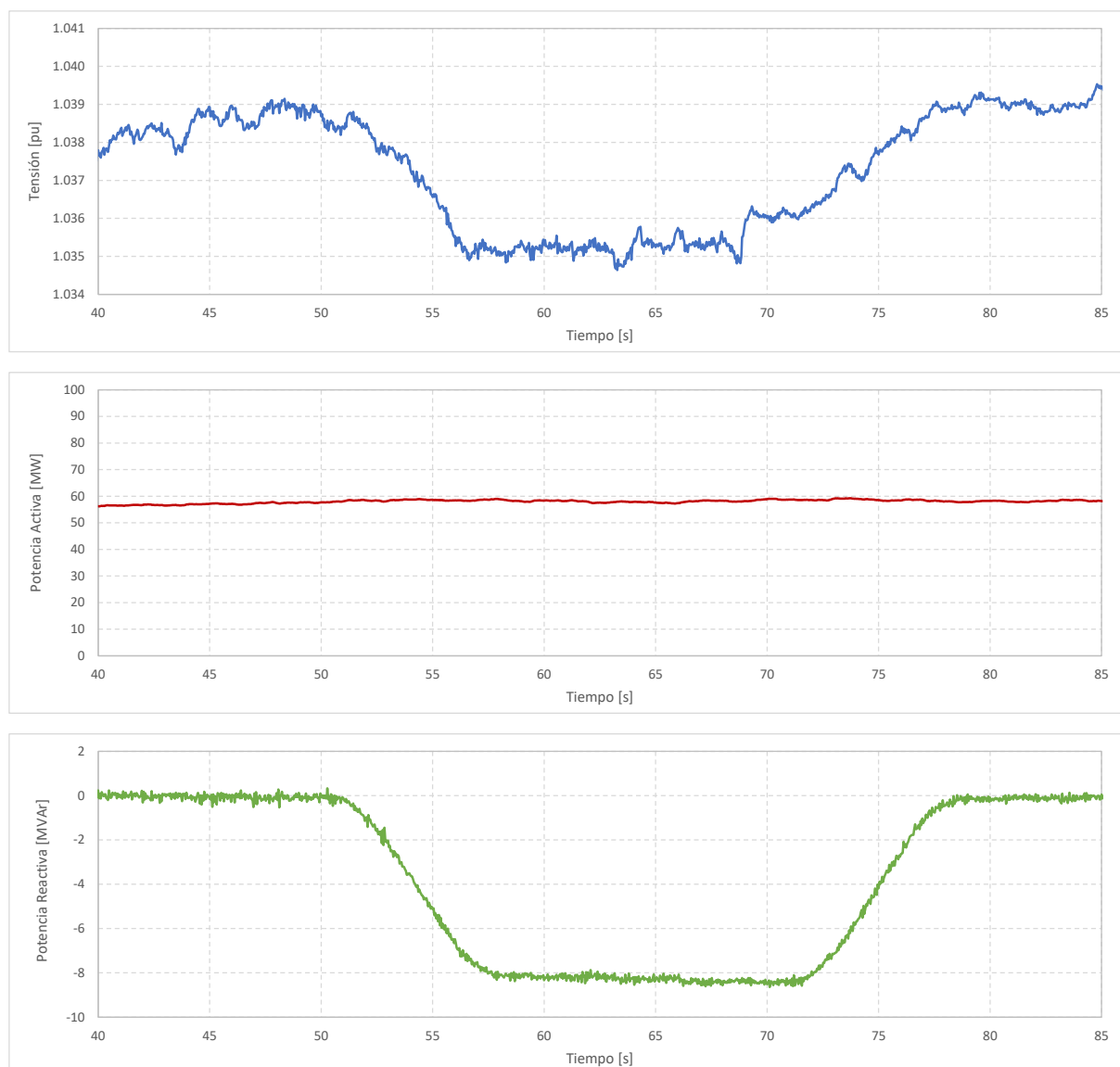


### 3.1.2 Ensayos del control de potencia reactiva / tensión

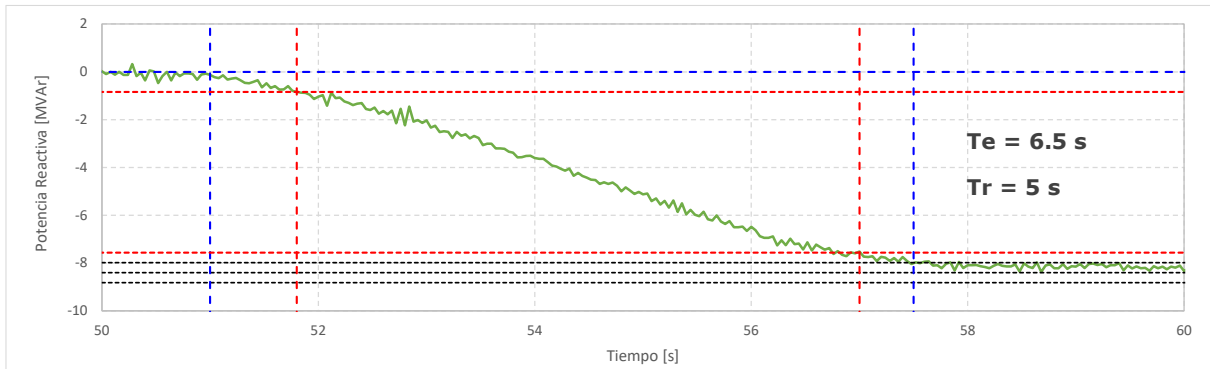
Se realizaron ensayos para la verificación del desempeño del modelo de control de tensión y su sistema de regulación de potencia reactiva, para distintas condiciones de generación de potencia activa, considerando niveles de baja (0-10% P<sub>n</sub>), media (50% P<sub>n</sub>) y alta (90-100% P<sub>n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

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

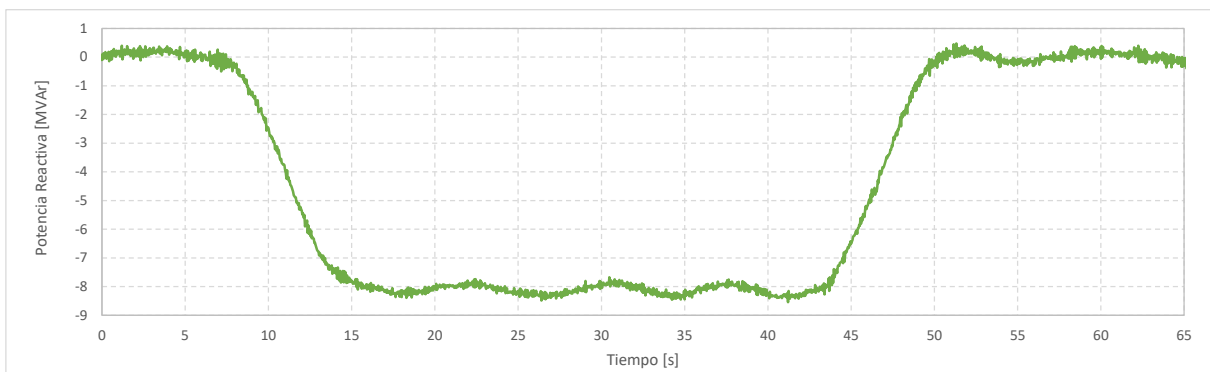
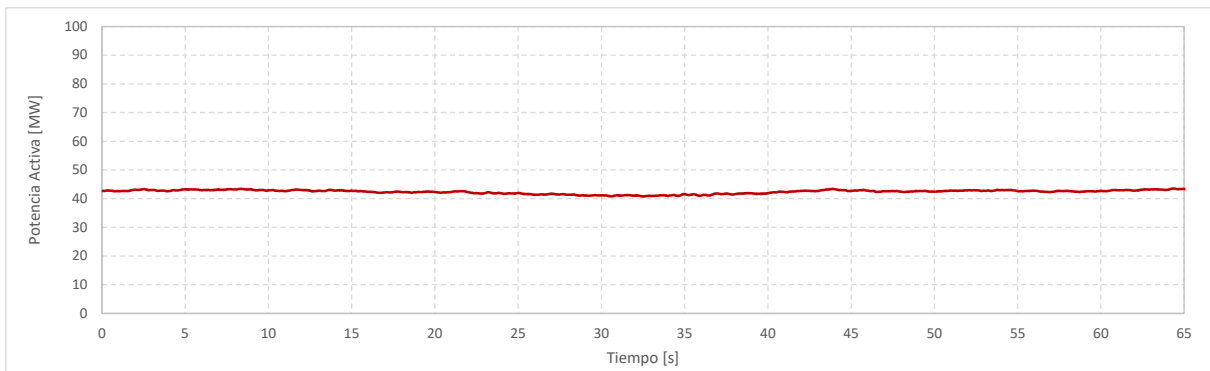
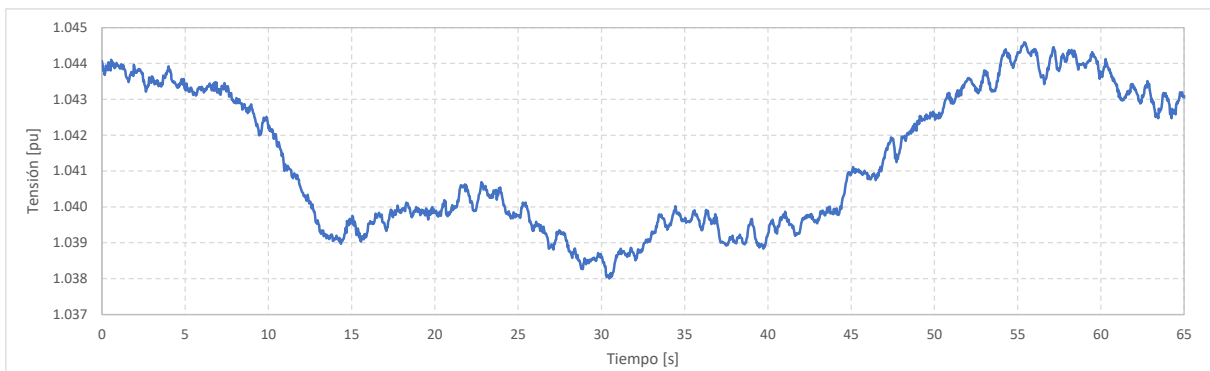
Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de potencia reactiva del control de planta en escalones de -8.4 MVar. Los resultados se muestran a continuación.



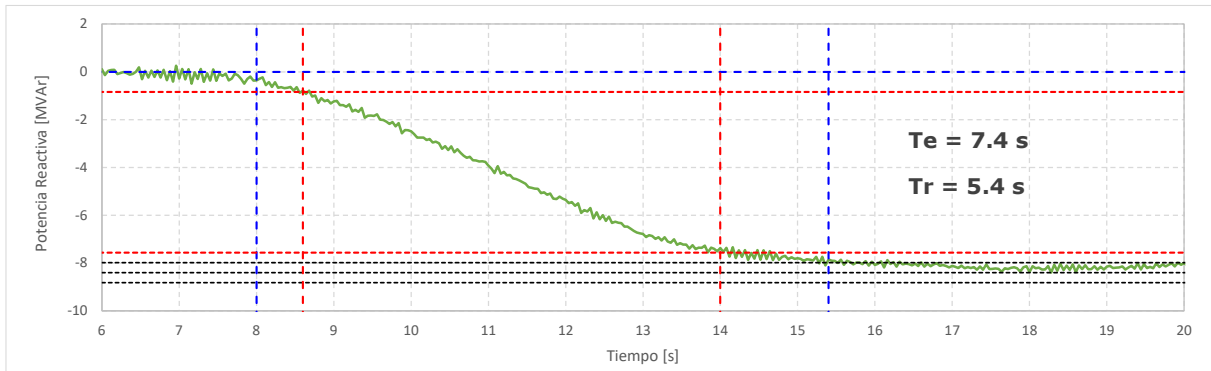
**Gráfico 22. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Variables temporales.**



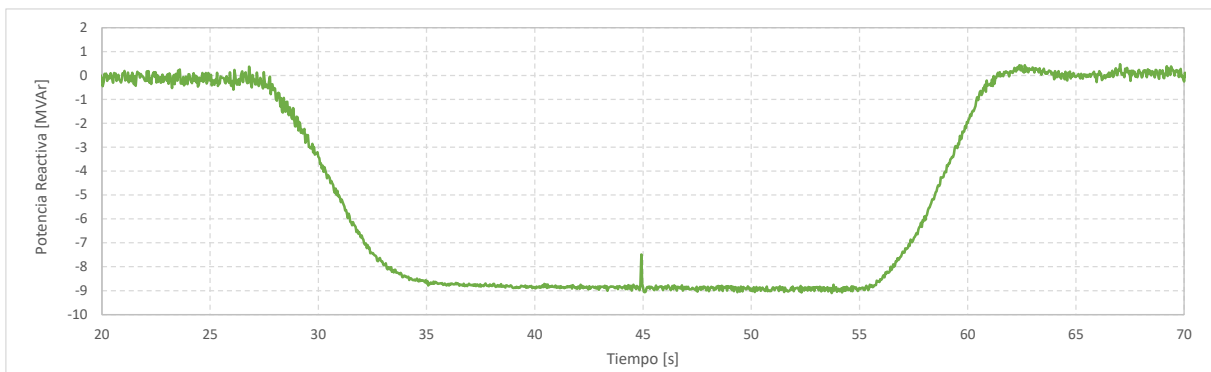
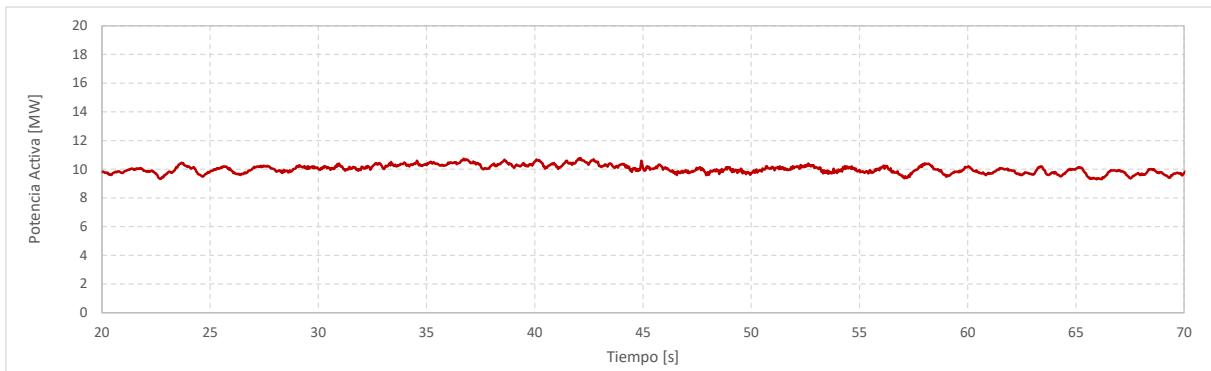
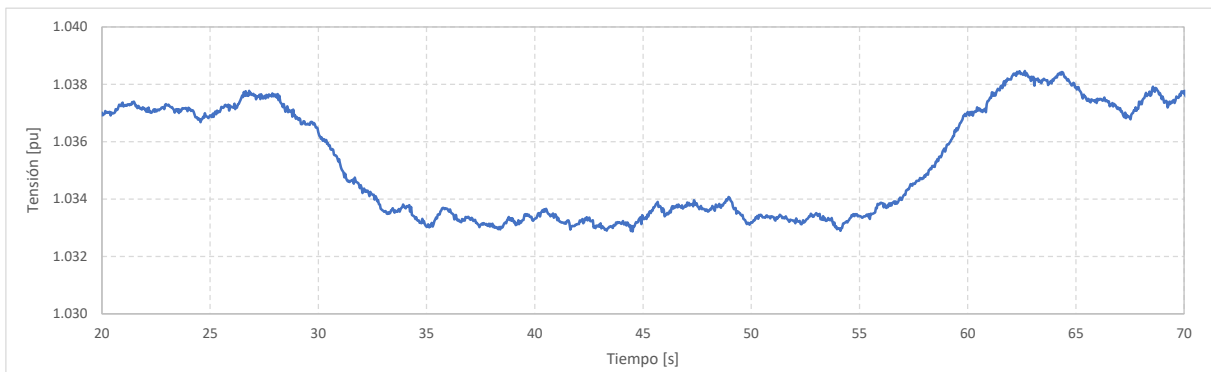
**Gráfico 23. Control de potencia reactiva. Alta Carga. Parámetros de desempeño.**



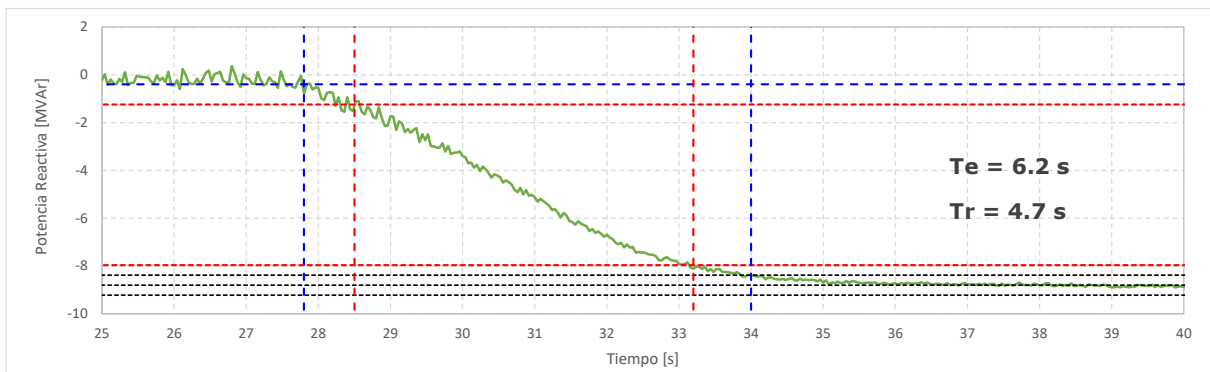
**Gráfico 24. Control de potencia reactiva. Media Carga. Variables temporales.**



**Gráfico 25. Control de potencia reactiva. Media Carga. Parámetros de desempeño.**



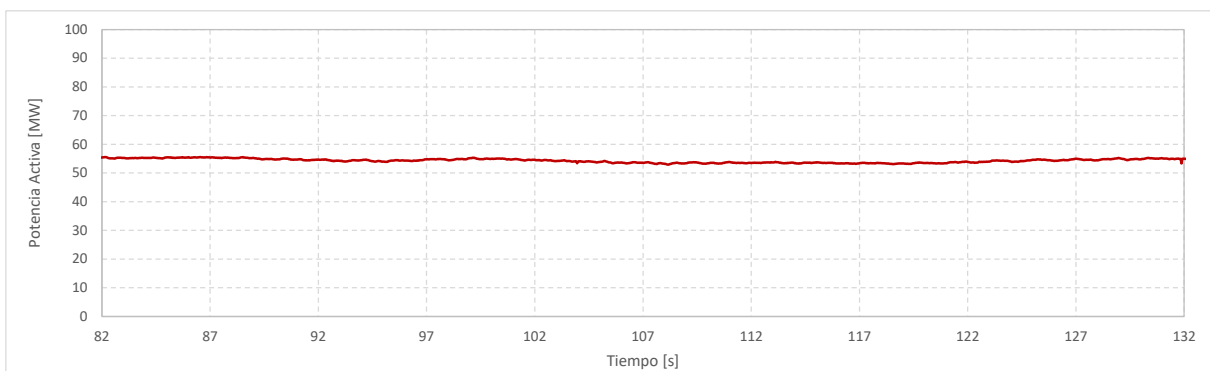
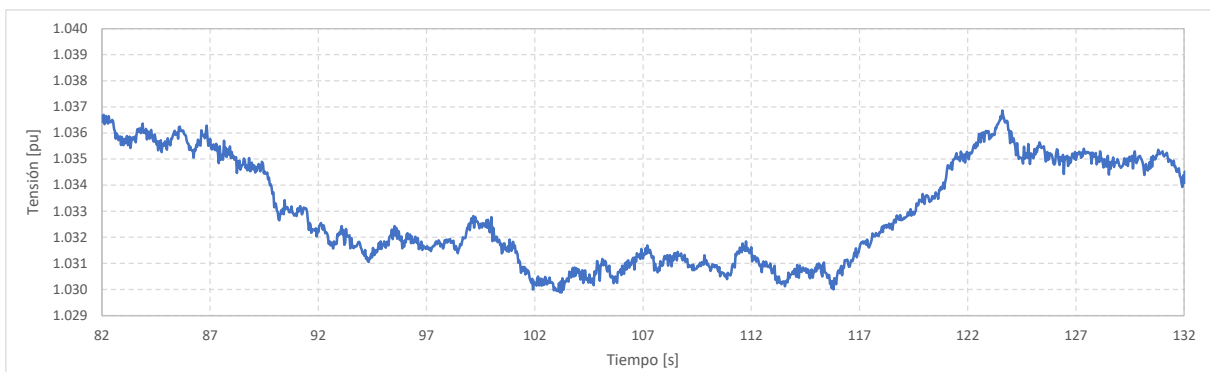
**Gráfico 26. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Variables temporales.**



**Gráfico 27. Control de potencia reactiva. Baja Carga. Parámetros de desempeño.**

*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 -3 %. Los resultados se muestran a continuación.



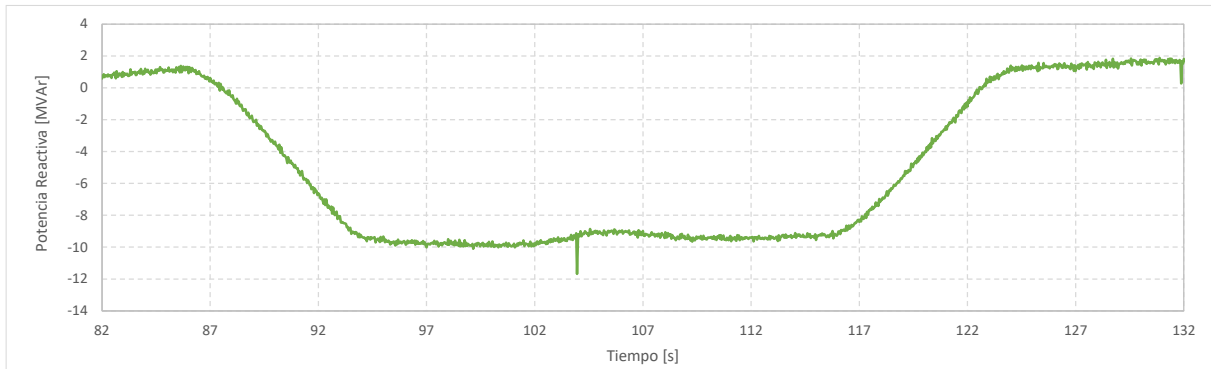


Gráfico 28. Control de tensión. Alta Carga. Variables temporales.

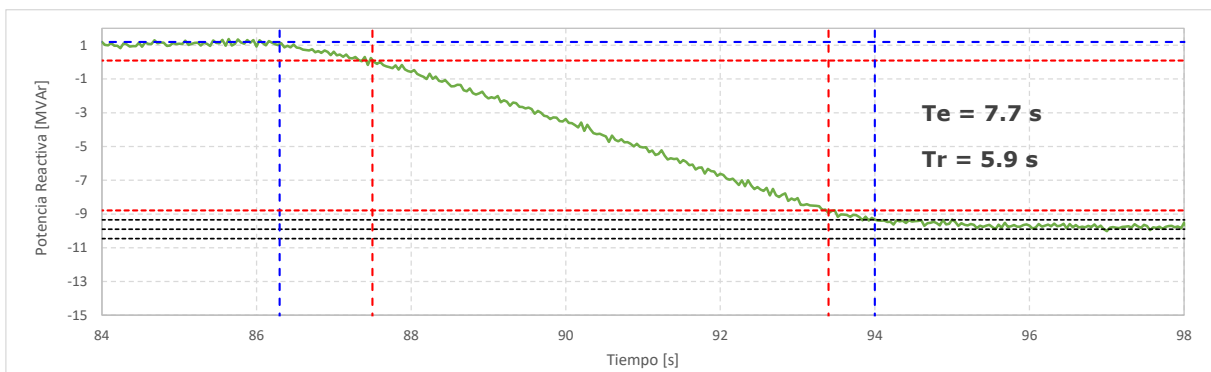


Gráfico 29. Control de tensión. Alta Carga. Parámetros de desempeño medidos sobre la potencia reactiva.

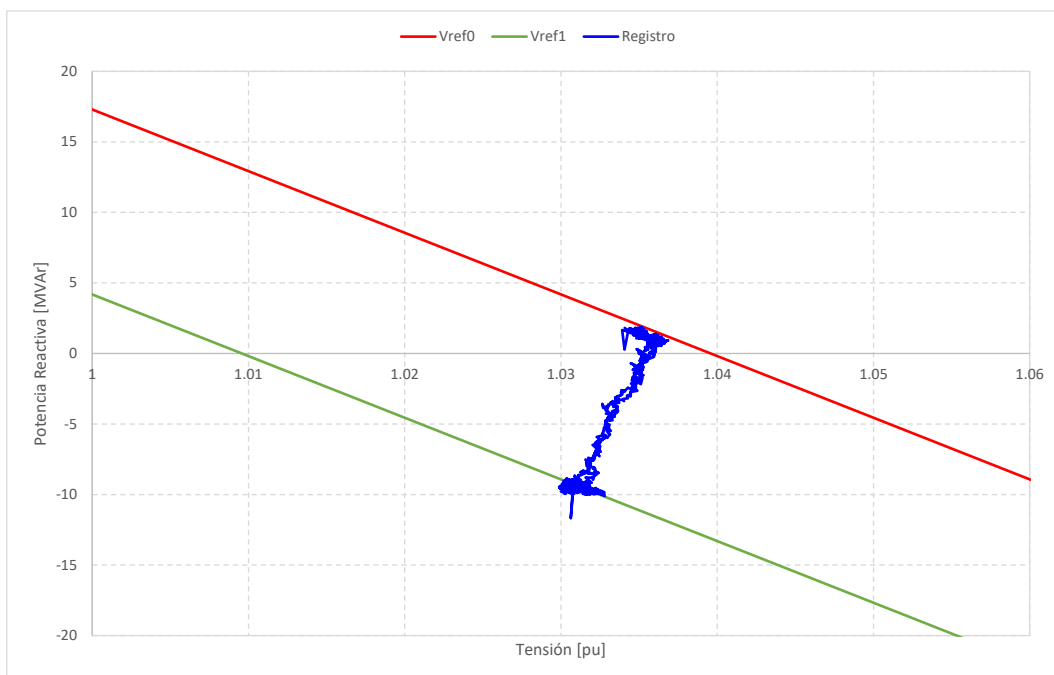
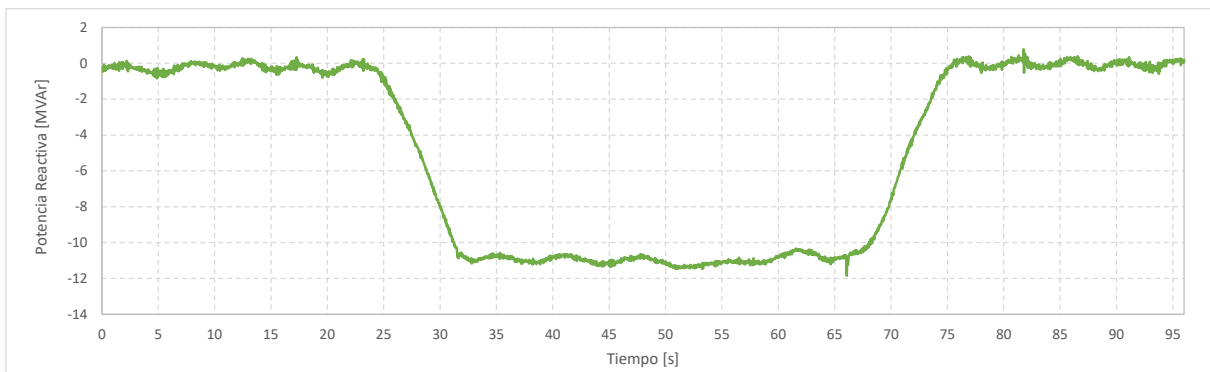
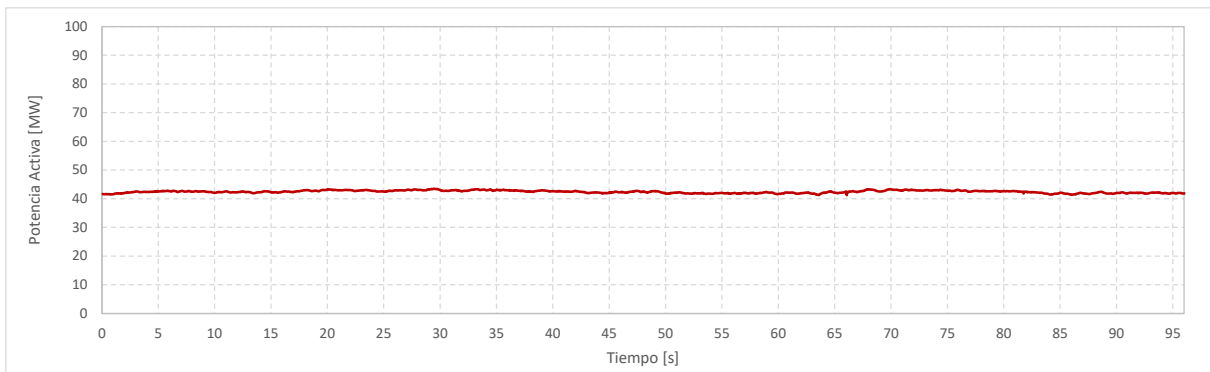
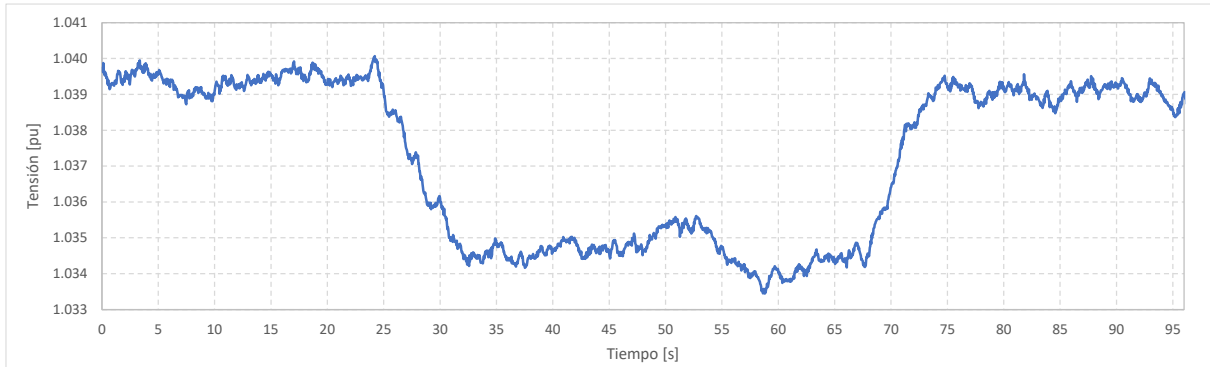
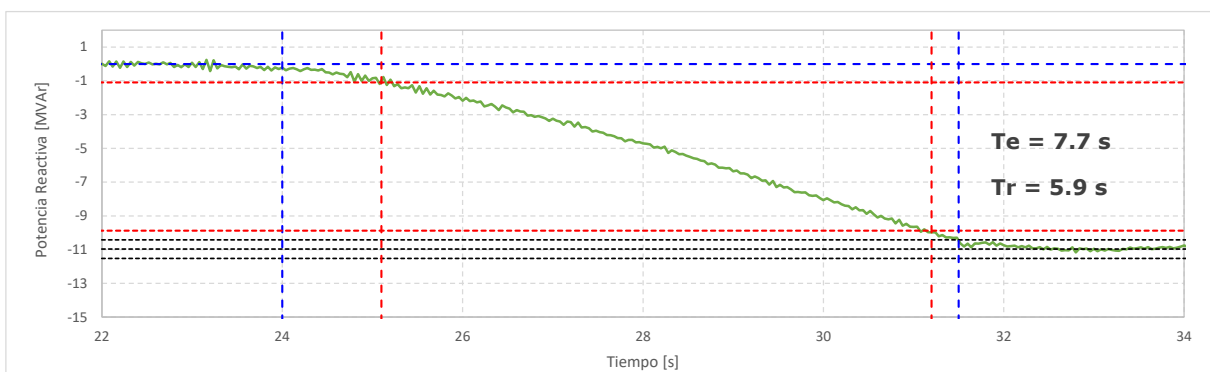


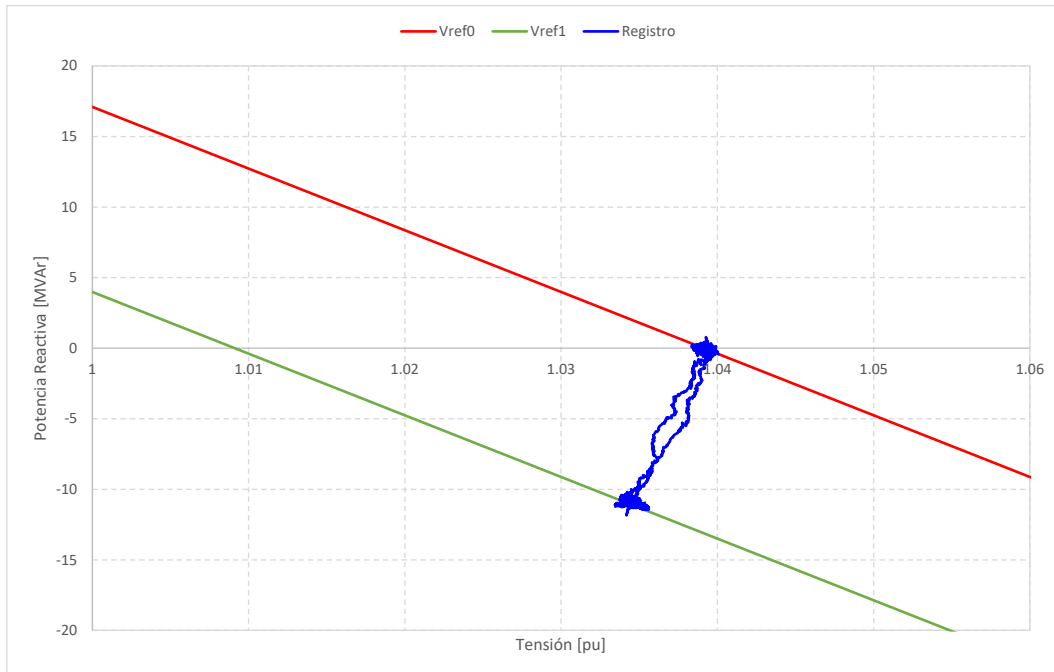
Gráfico 30. Control de tensión AC con droop. Verificación del aporte de Q para el escalón aplicado.



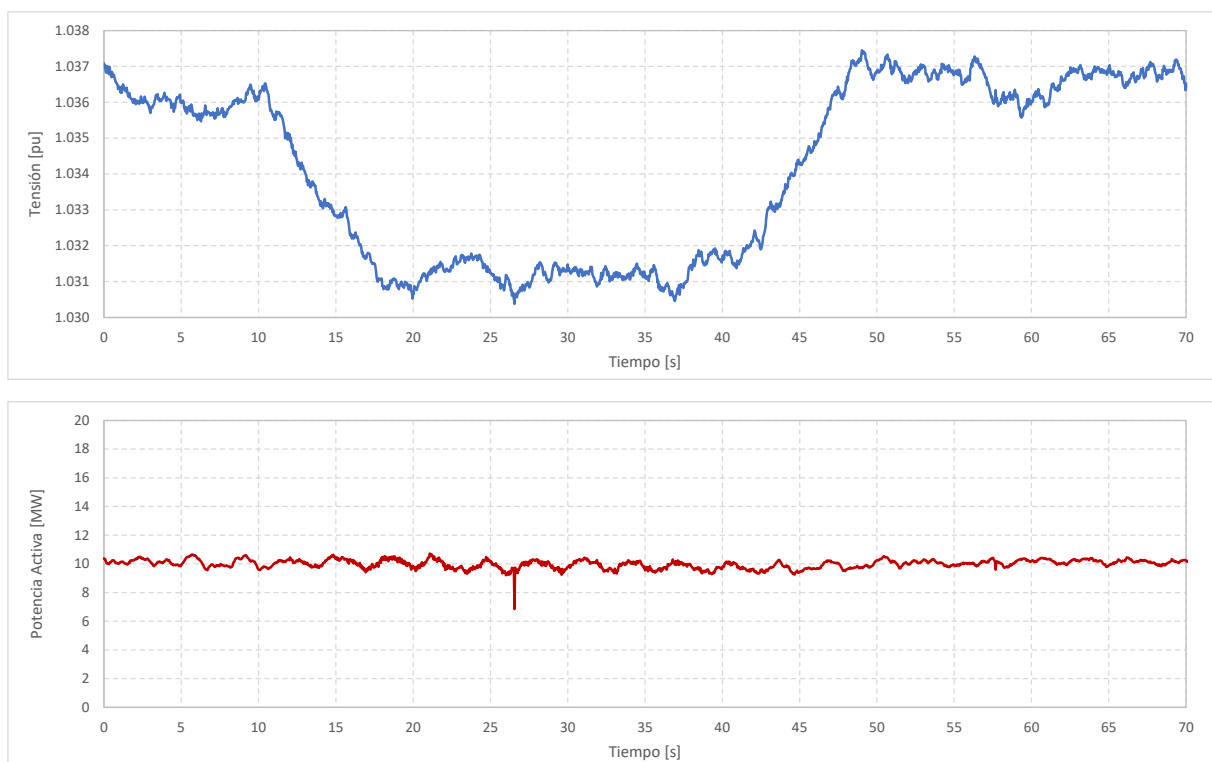
**Gráfico 31. Control de tensión. Media Carga. Variables temporales.**

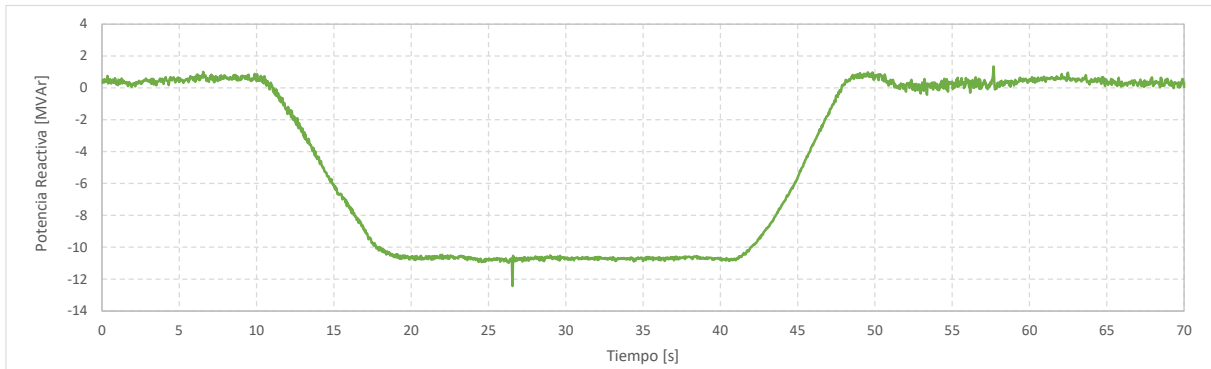


**Gráfico 32. Control de tensión. Media Carga. Parámetros de desempeño medidos sobre la potencia reactiva.**

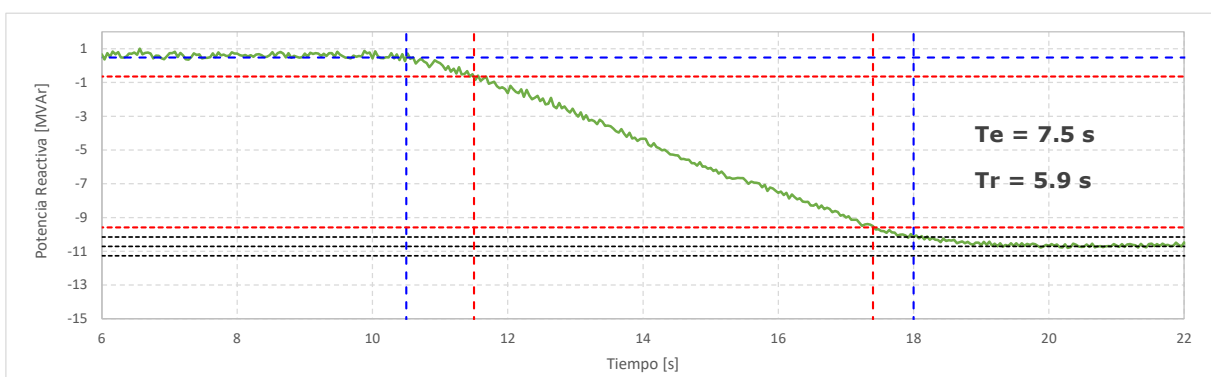


**Gráfico 33. Control de tensión MC con droop. Verificación del aporte de Q para el escalón aplicado.**

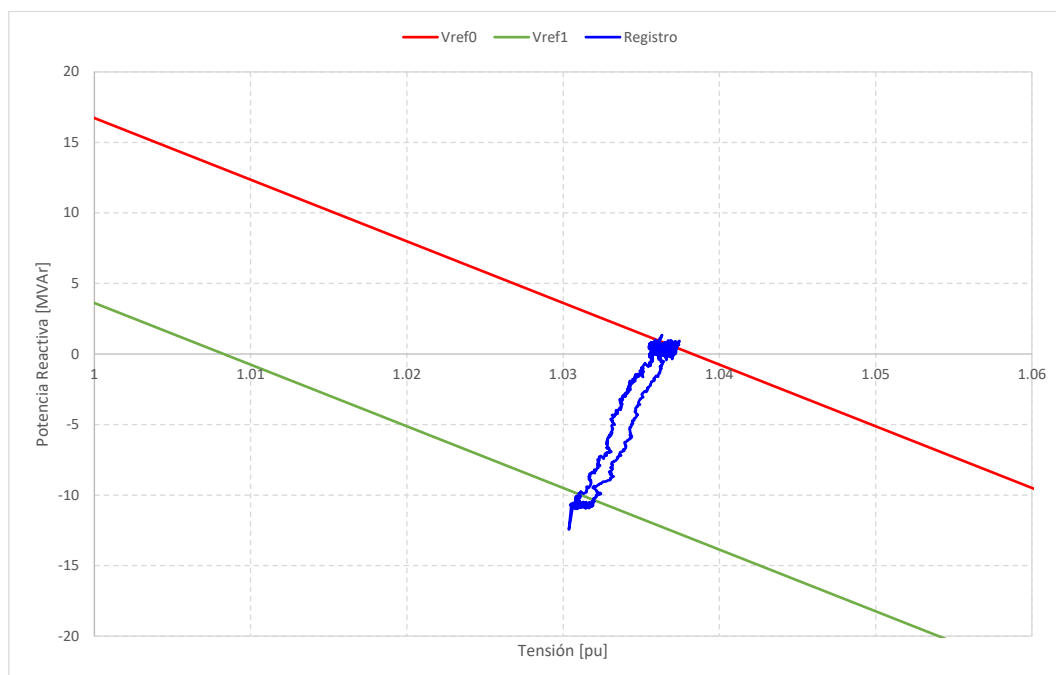




**Gráfico 34. Control de tensión. Baja Carga. Variables temporales.**



**Gráfico 35. Control de tensión. Baja Carga. Parámetros de desempeño medidos sobre la potencia reactiva.**



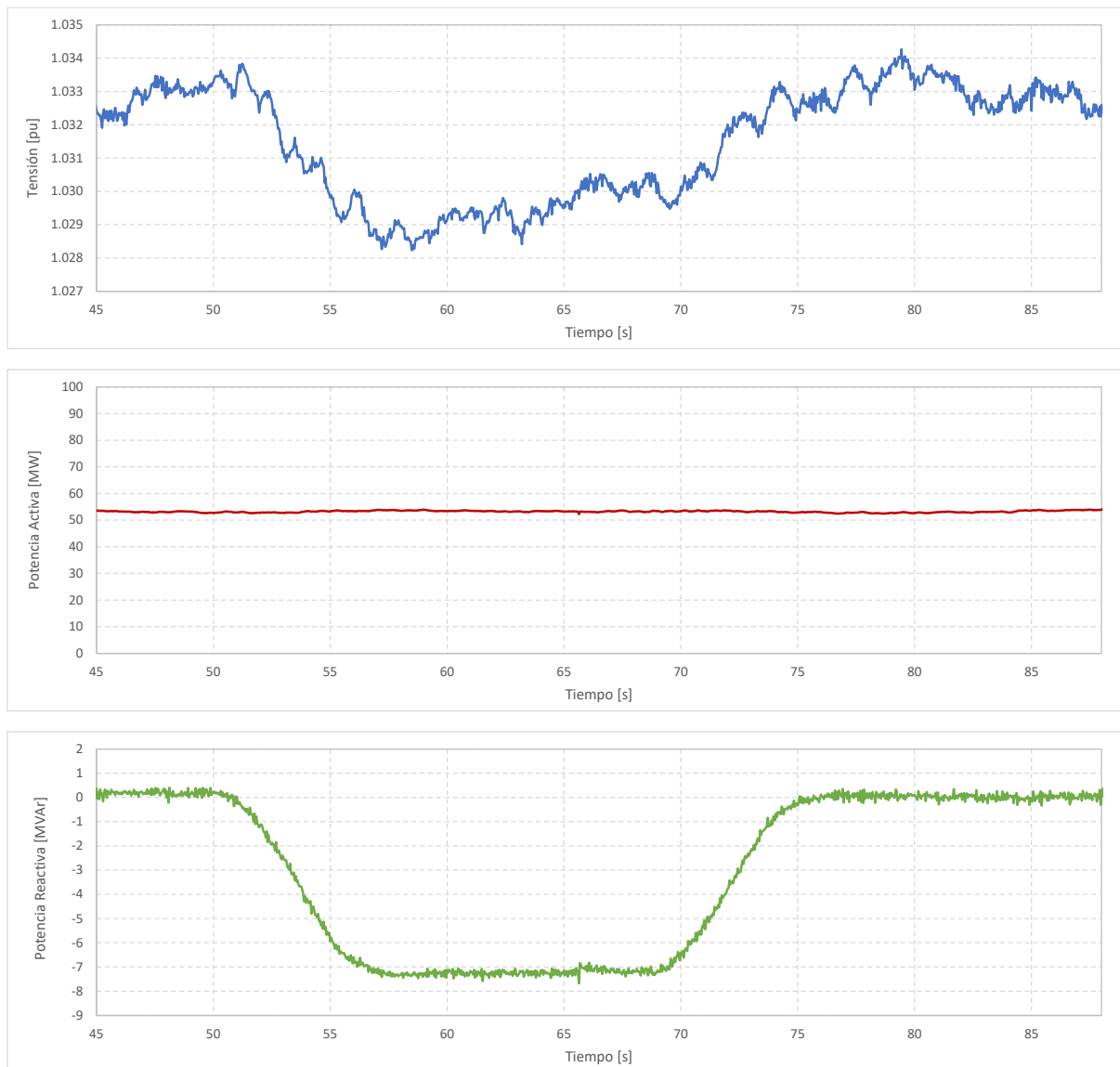
**Gráfico 36. Control de tensión BC con droop. Verificación del aporte de Q para el escalón aplicado**



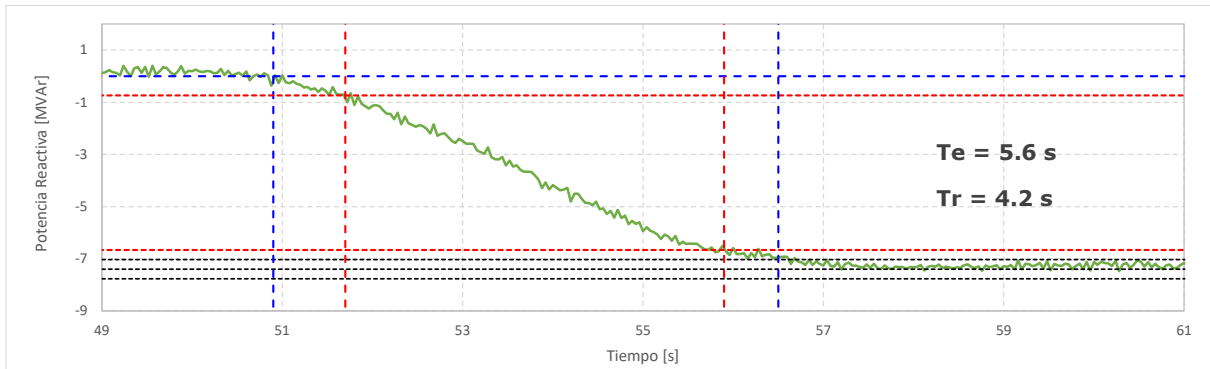
En el Gráfico 30, Gráfico 33 y Gráfico 36 se verifica el correcto aporte de potencia reactiva para el control VQ (control de tensión con droop).

*a.2) Control de factor de potencia (control  $\Phi$ )*

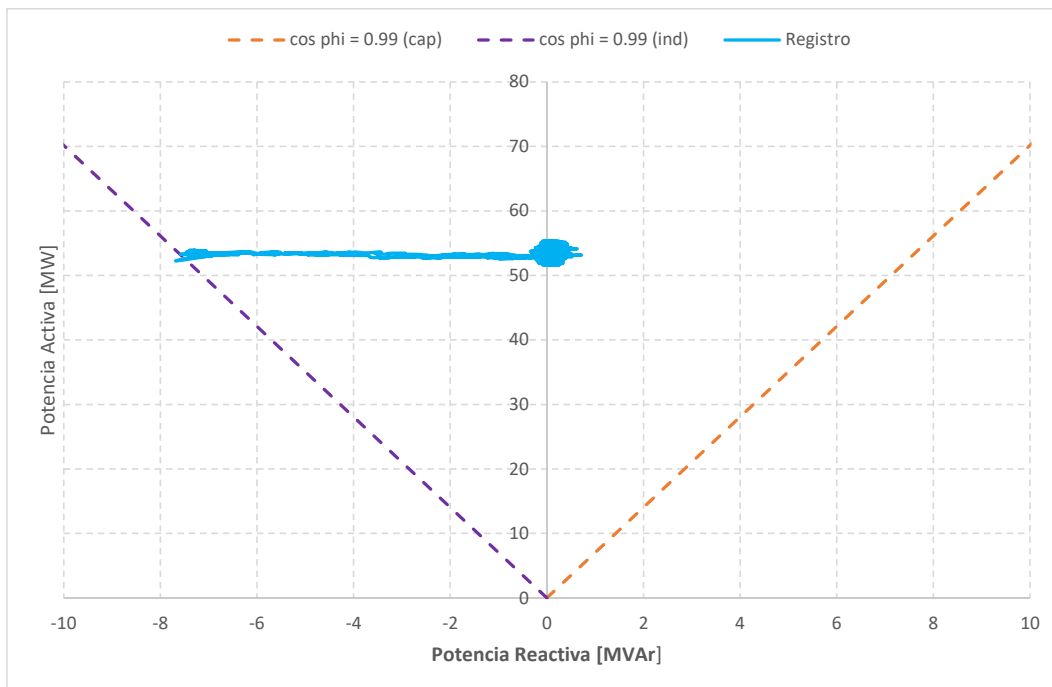
Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de factor de potencia del control de planta desde el valor ajustado previamente en 1 en escalones de -0.99 (alta carga), -0.98 (media carga) y -0.73 (baja carga). Los resultados se muestran a continuación.



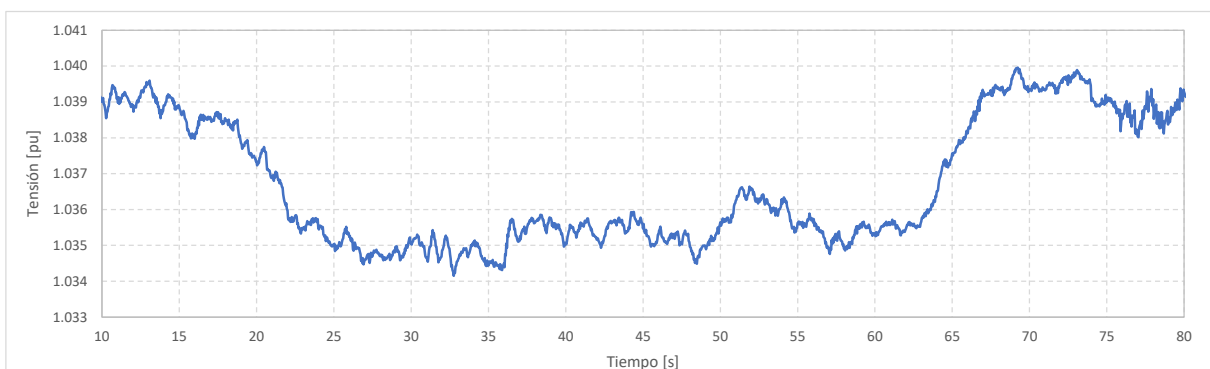
**Gráfico 37. Control de factor de potencia. Alta Carga. Variables temporales.**

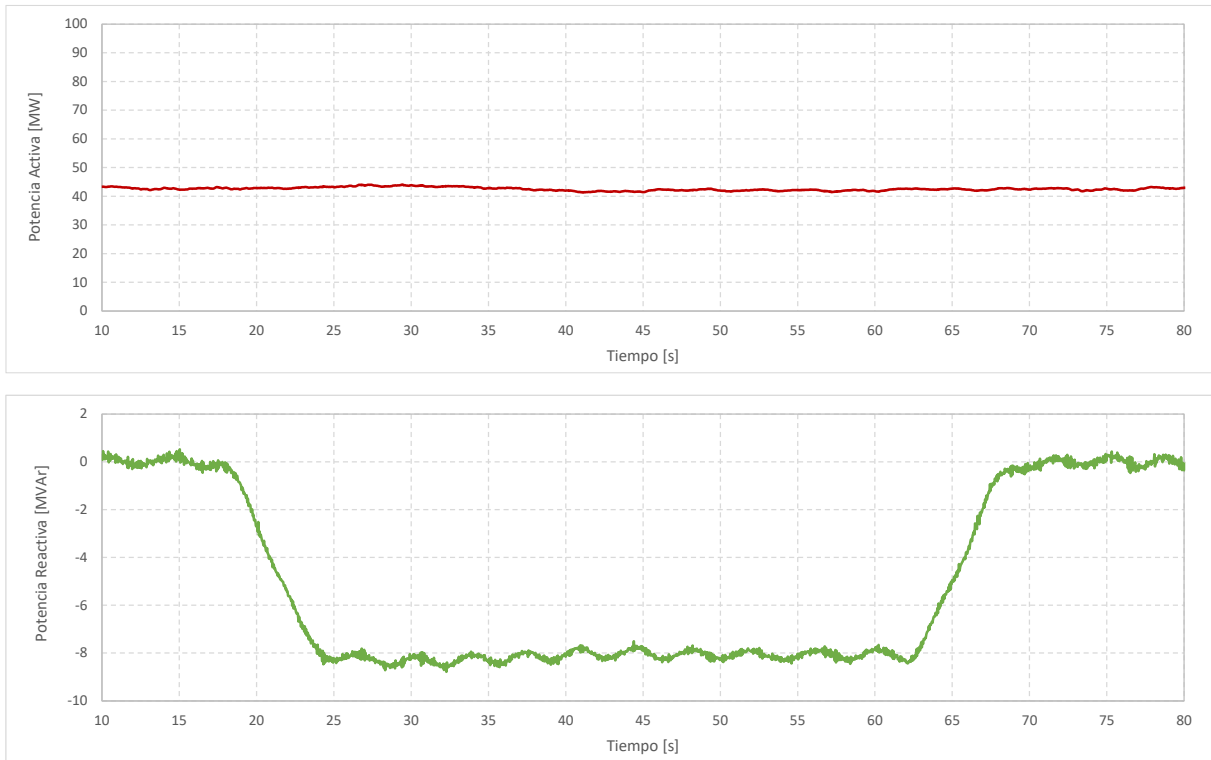


**Gráfico 38. Control de factor de potencia. Alta Carga. Parámetros de desempeño.**

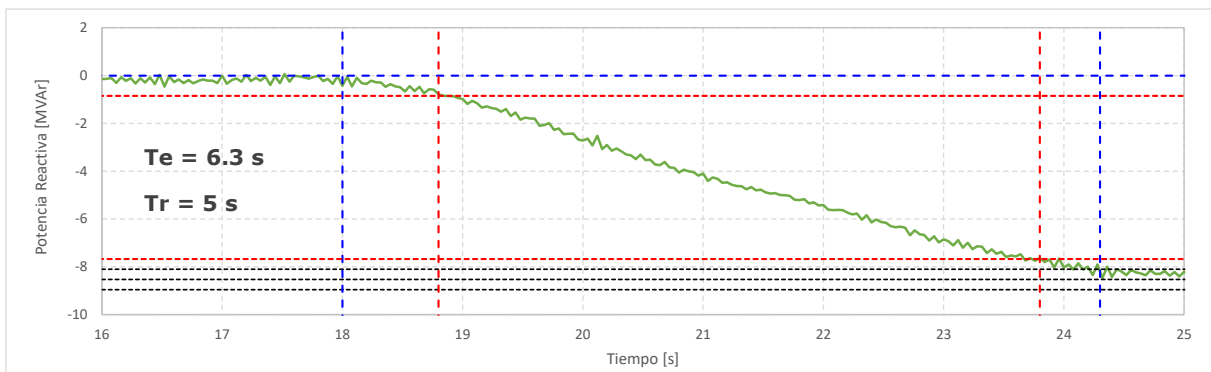


**Gráfico 39. Control de factor de potencia. Alta Carga. Curva PQ.**

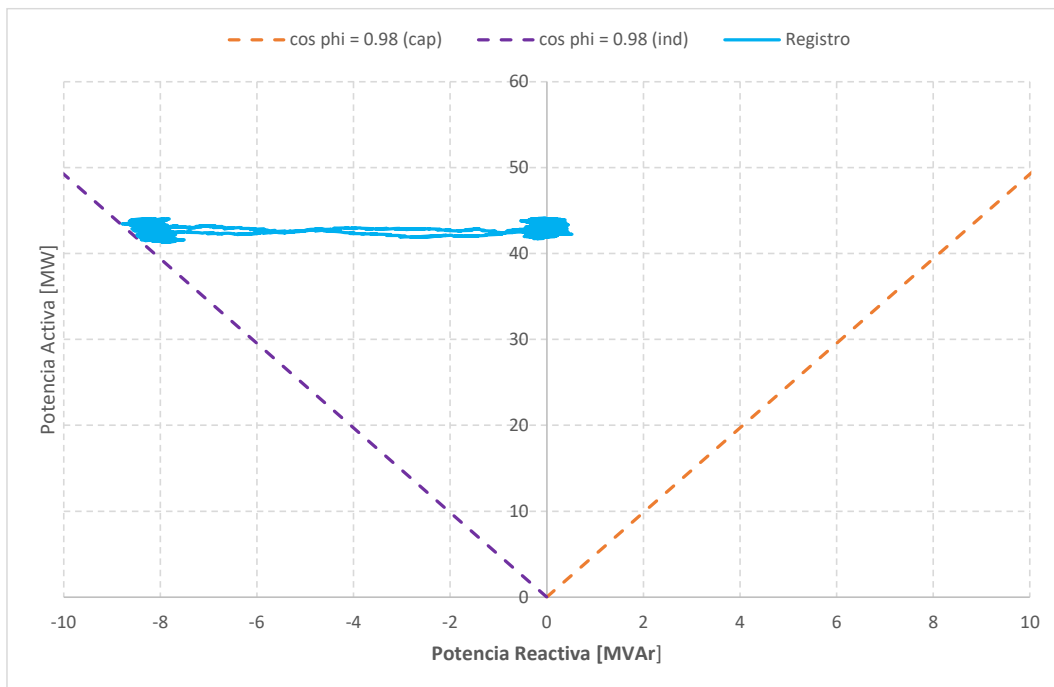




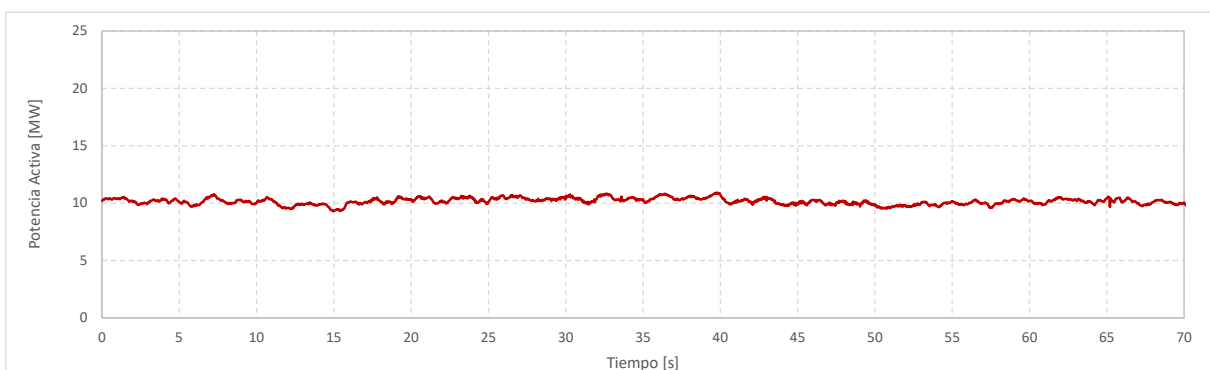
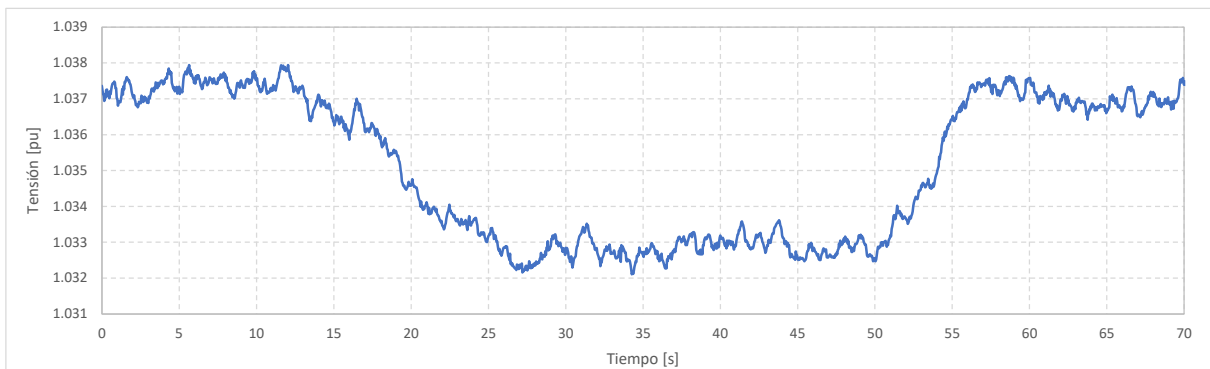
**Gráfico 40. Control de factor de potencia. Media Carga. Variables temporales.**

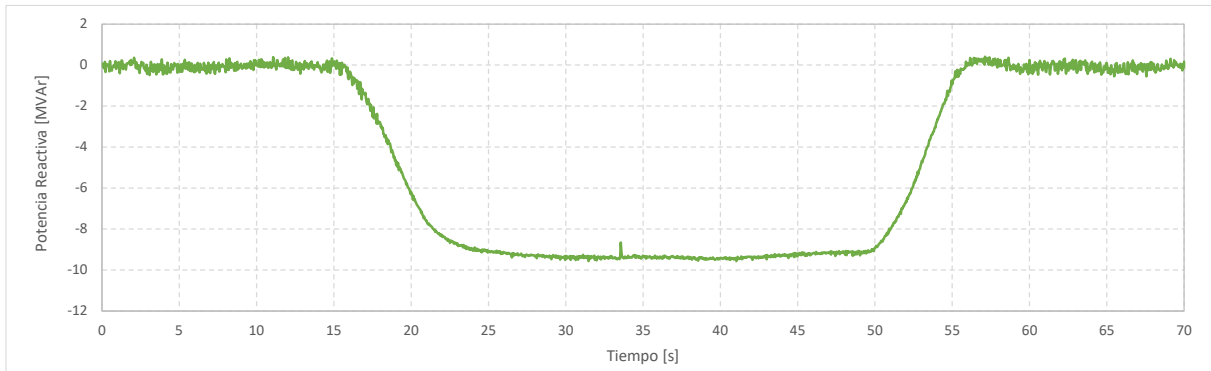


**Gráfico 41. Control de factor de potencia. Media Carga. Parámetros de desempeño.**

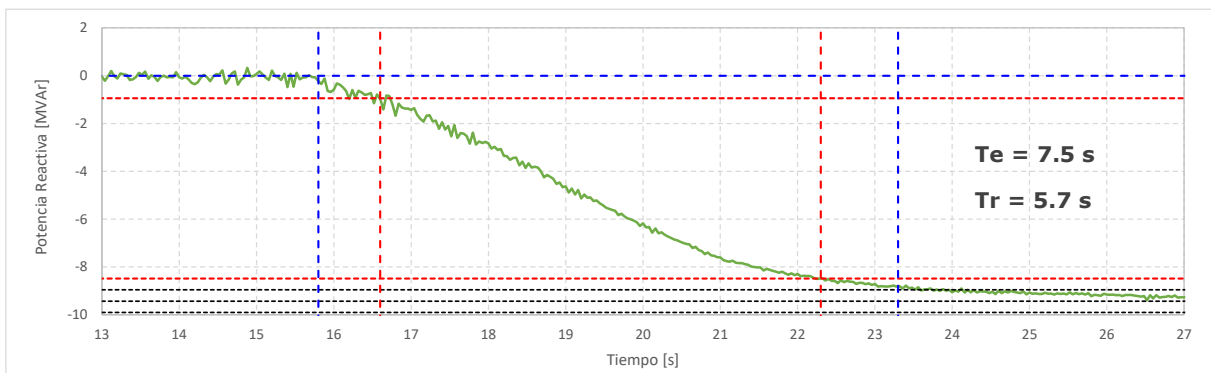


**Gráfico 42. Control de factor de potencia. Media Carga. Curva PQ.**

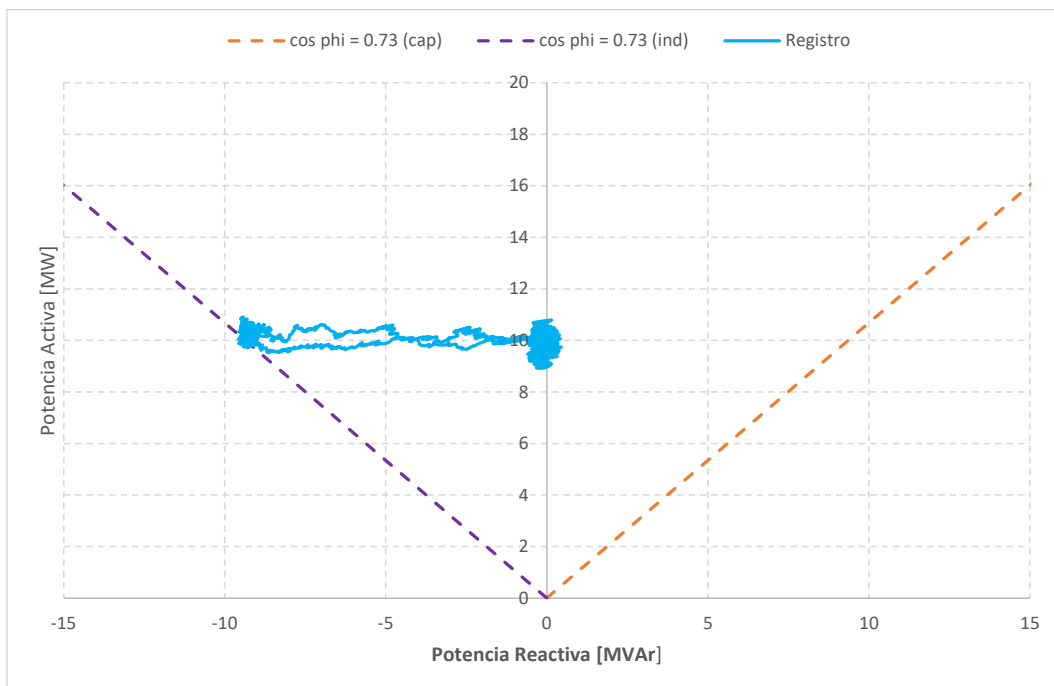




**Gráfico 43. Control de factor de potencia. Baja Carga. Variables temporales.**



**Gráfico 44. Control de factor de potencia. Baja Carga. Parámetros de desempeño.**



**Gráfico 45. Control de factor de potencia. Baja Carga. Curva PQ.**

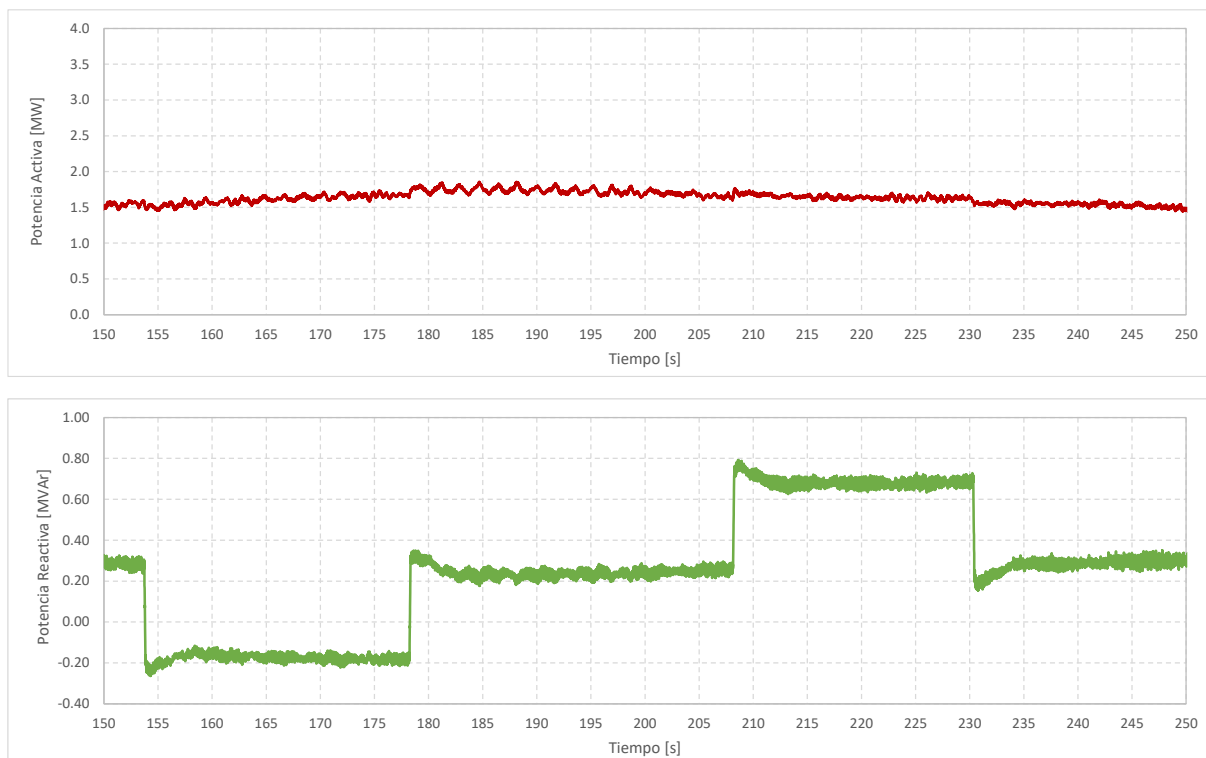
### 3.2. Ensayos a nivel aerogenerador

Se realizaron ensayos al control de potencia reactiva sobre los aerogeneradores A3.1 (aerogenerador más cercano) y A3.6 (aerogenerador más lejano) vinculados al circuito colector N°3. Los modos de control de tensión y factor de potencia no están habilitados y por lo tanto no fueron ensayados.

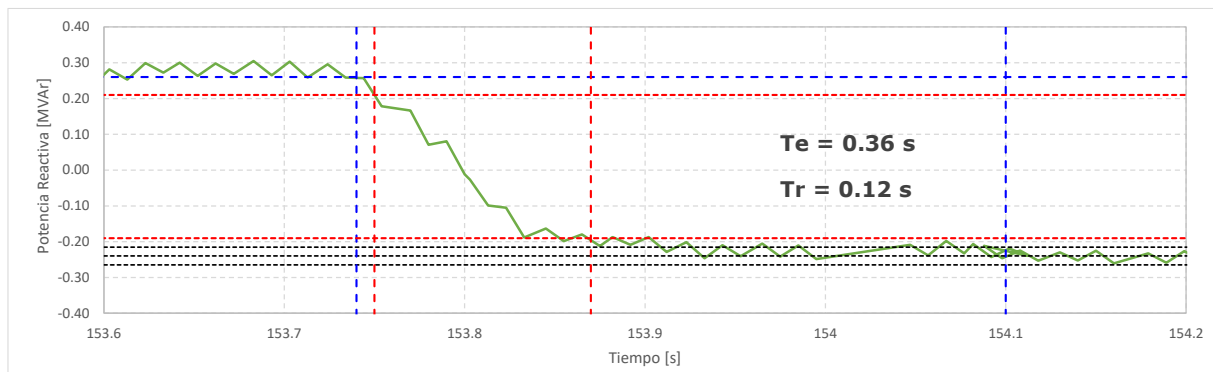
#### 3.2.1 Aerogenerador más cercano (A3.1)

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

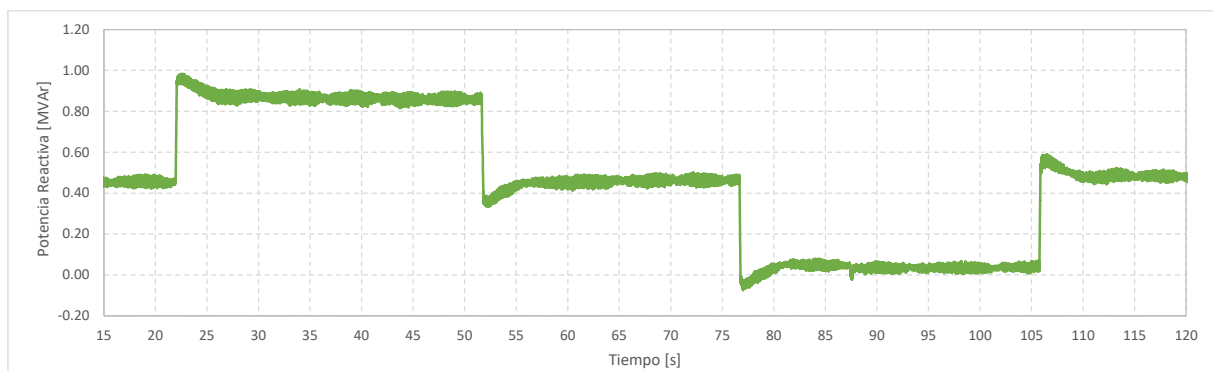
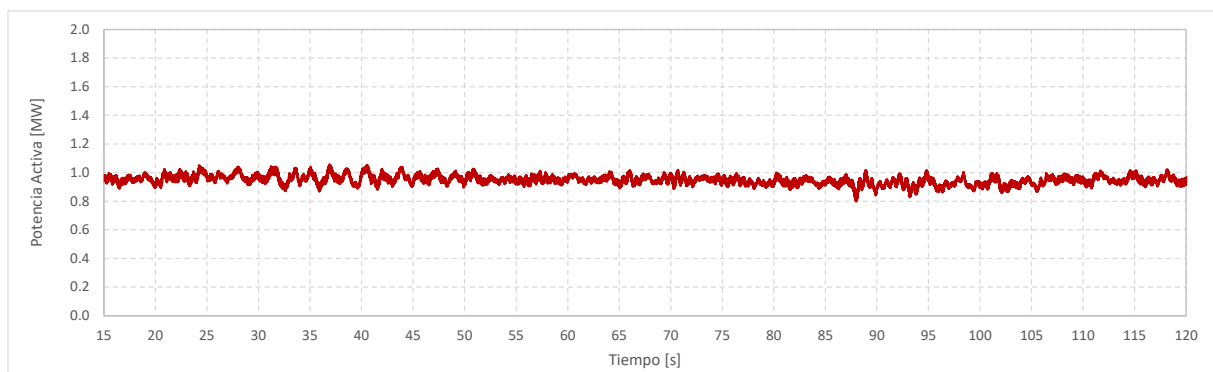
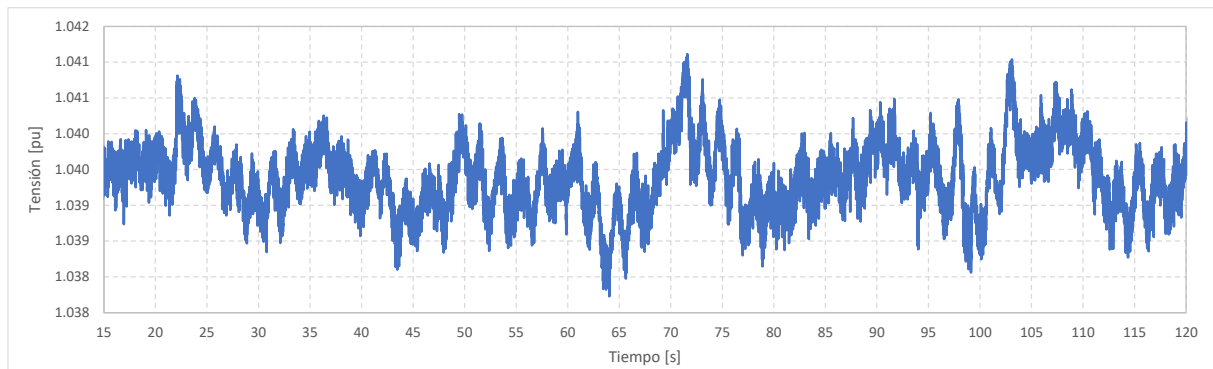
Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de potencia reactiva del aerogenerador en pasos de  $\pm 0.5$  MVar para alta, media y baja carga. Los resultados se muestran a continuación.



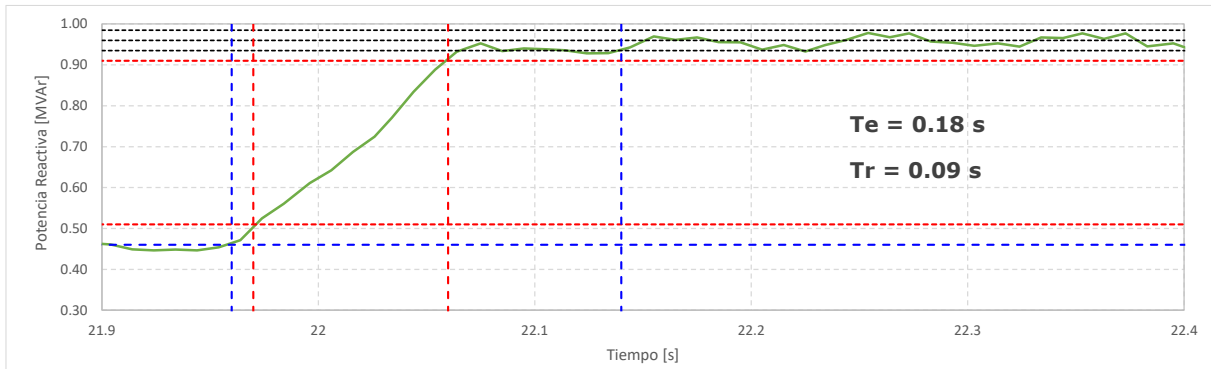
**Gráfico 46. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga.  
Variables temporales.**



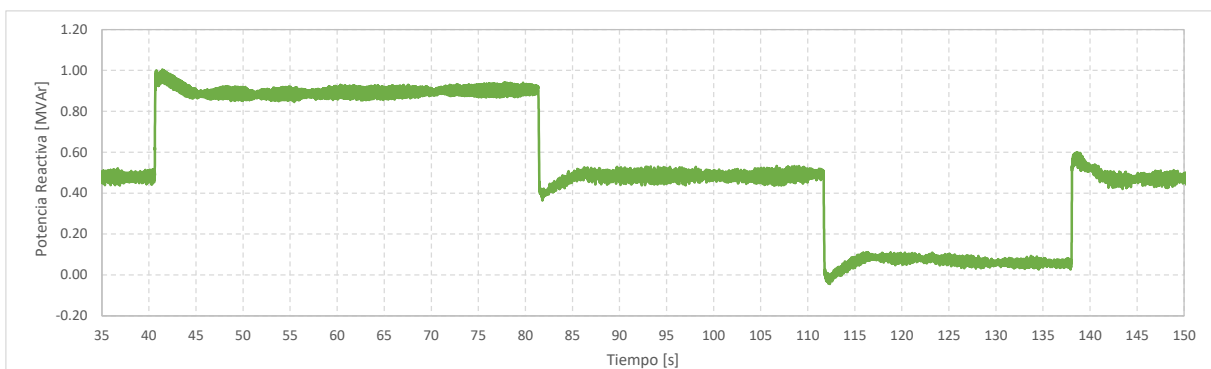
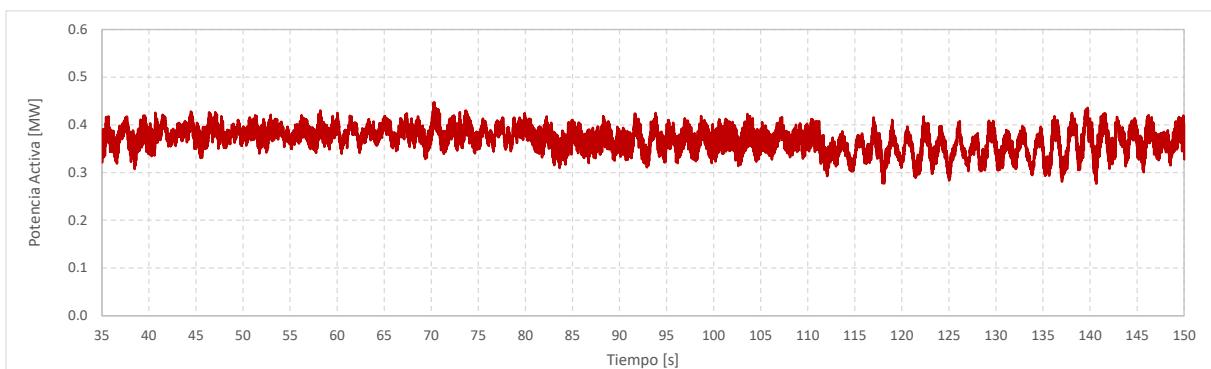
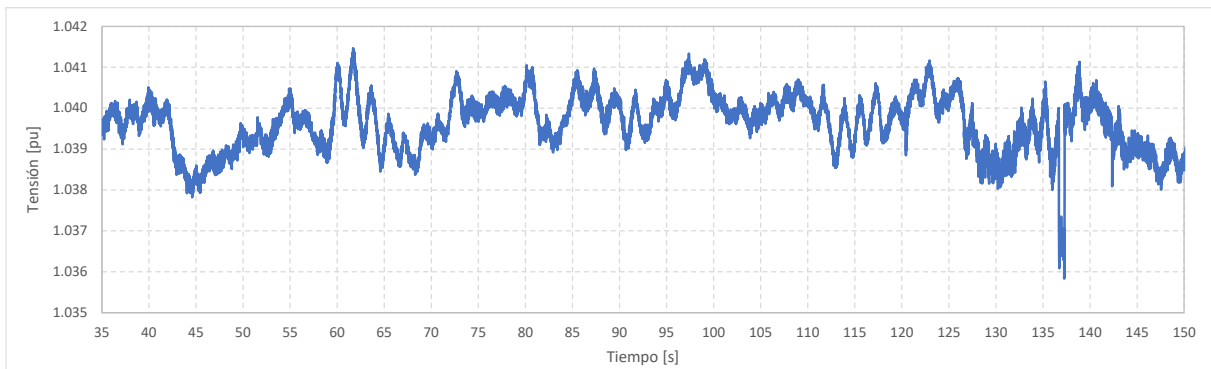
**Gráfico 47. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Parámetros de desempeño.**



**Gráfico 48. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Variables temporales.**

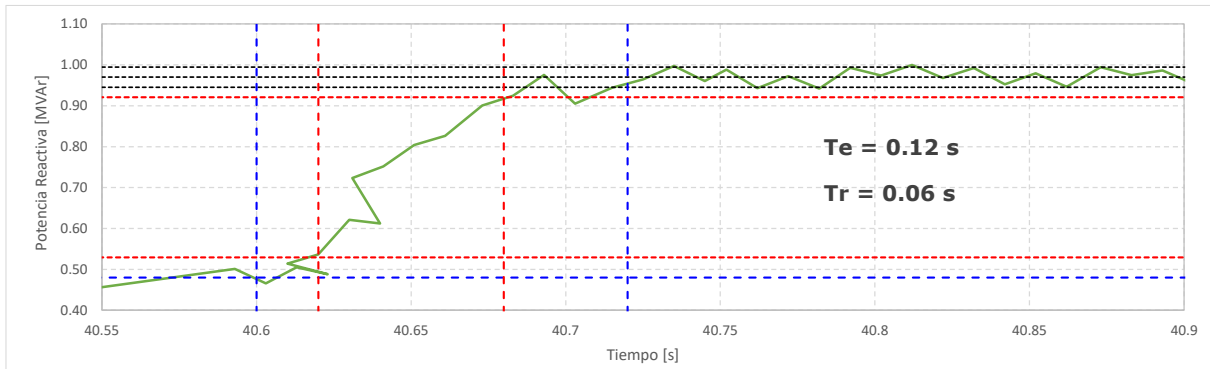


**Gráfico 49. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Parámetros de desempeño.**



**Gráfico 50. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Variables temporales.**



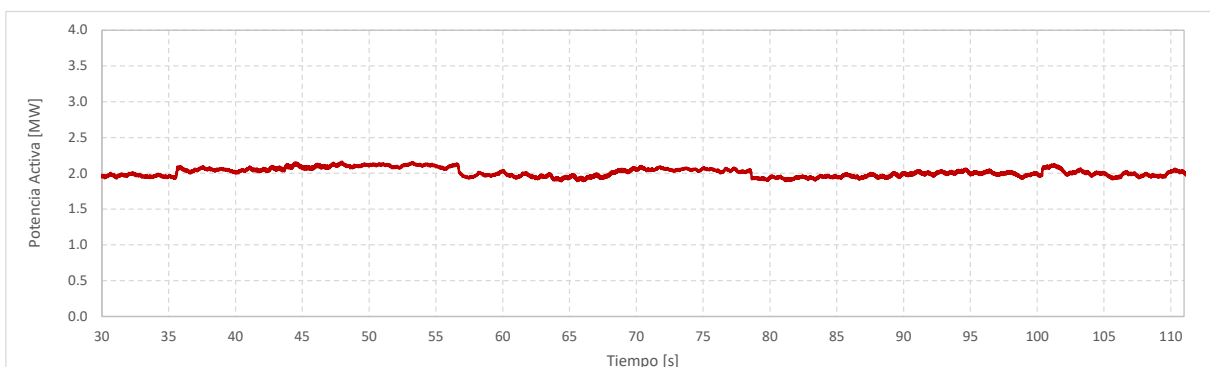
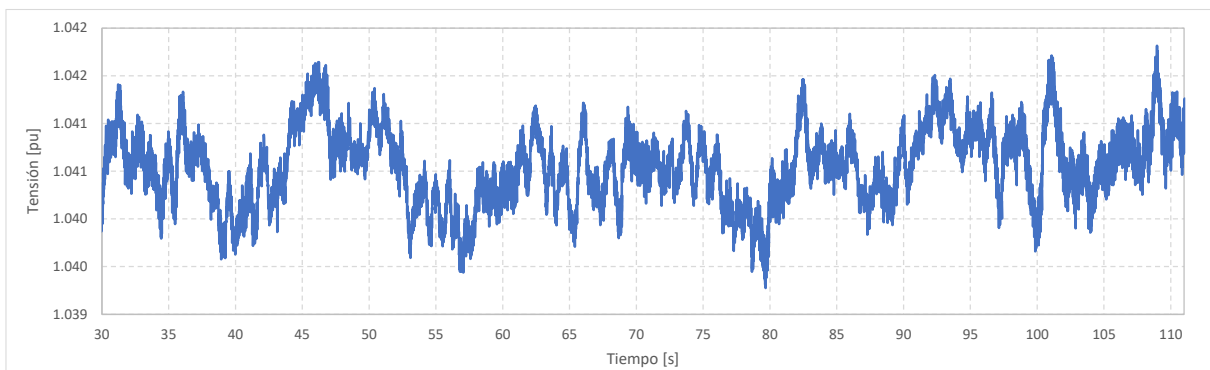


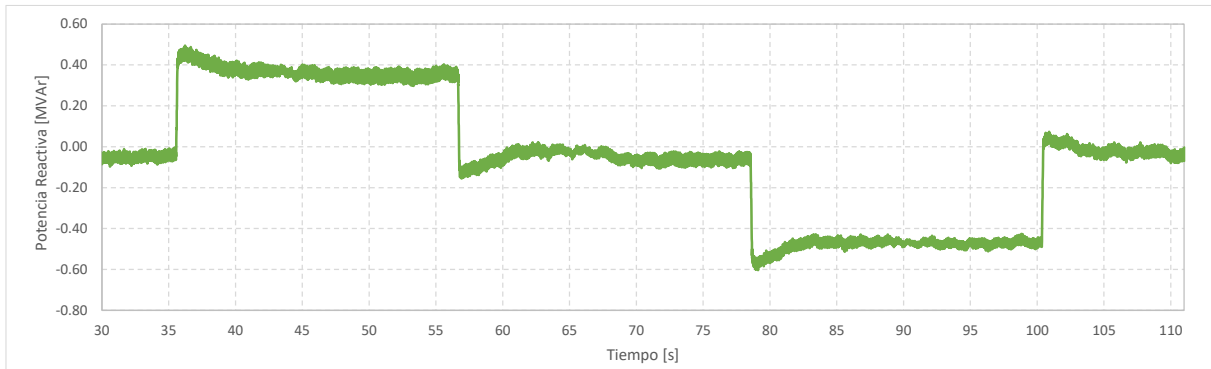
**Gráfico 51. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Parámetros de desempeño.**

### 3.2.2 Aerogenerador más lejano (A3.6)

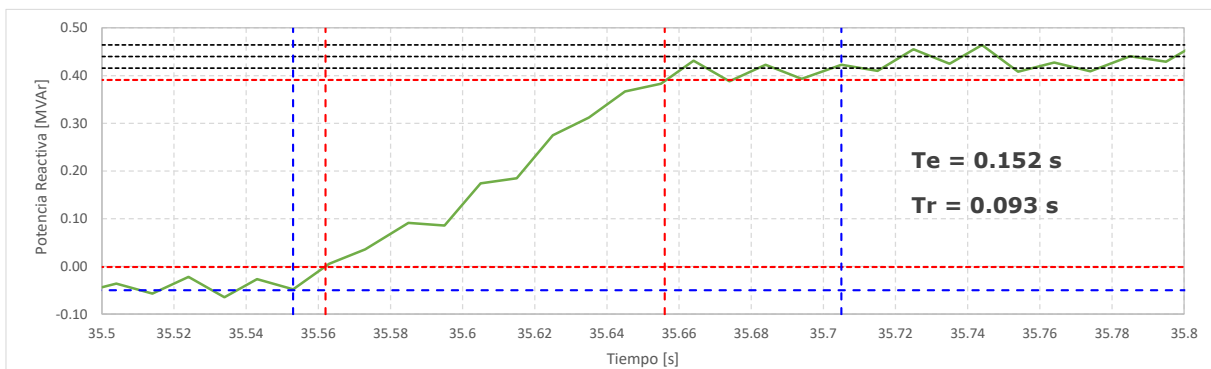
#### a.1) Control de potencia reactiva (Control Q)

Para la realización de esta prueba, se varió la consigna de potencia reactiva del aerogenerador en pasos de  $\pm 0.5$  MVAR para alta, media y baja carga. Los resultados se muestran a continuación.

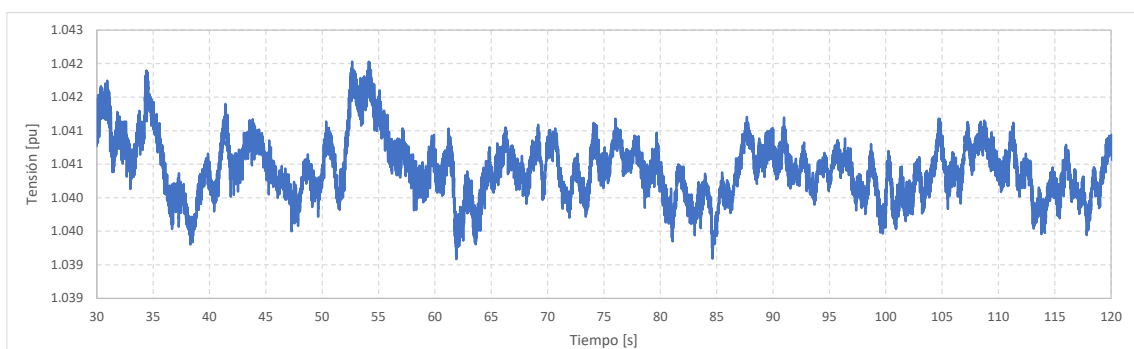


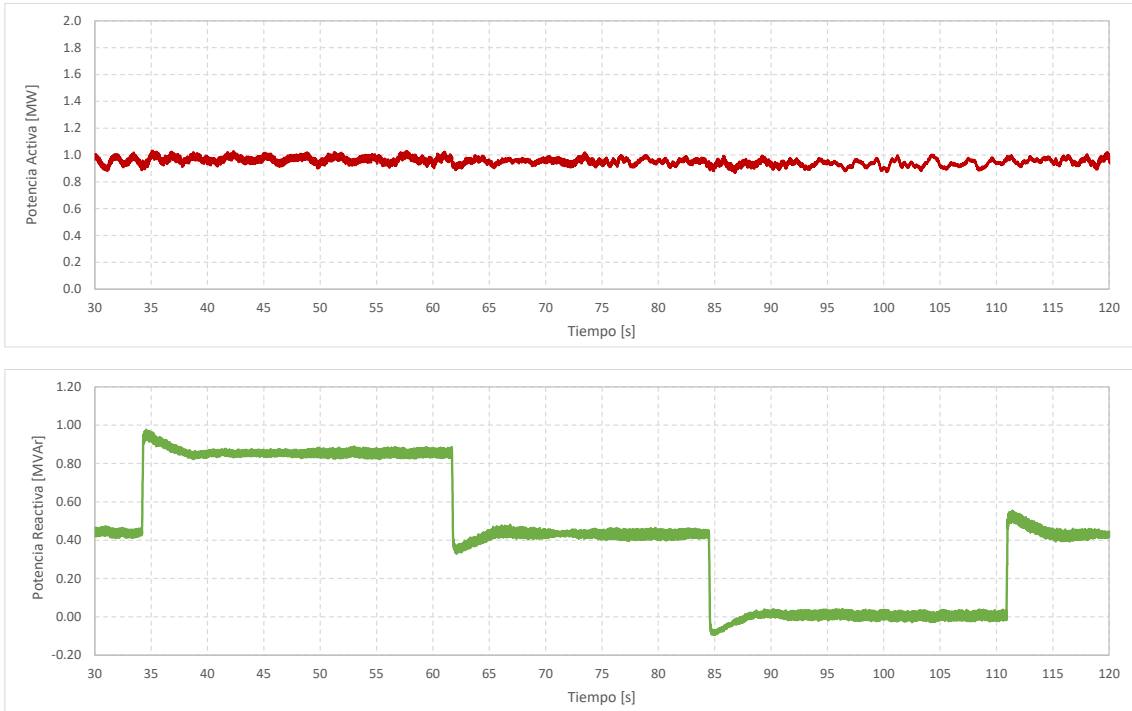


**Gráfico 52. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Variables temporales.**

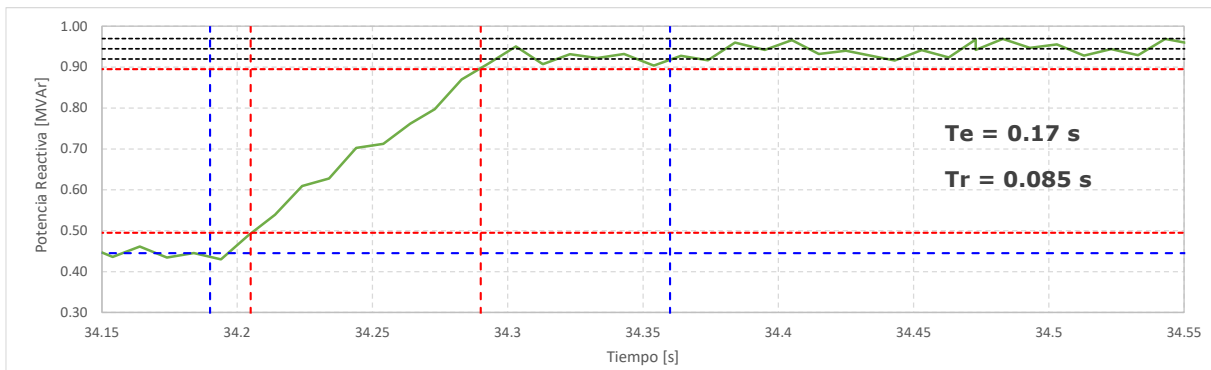


**Gráfico 53. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Alta Carga. Parámetros de desempeño.**

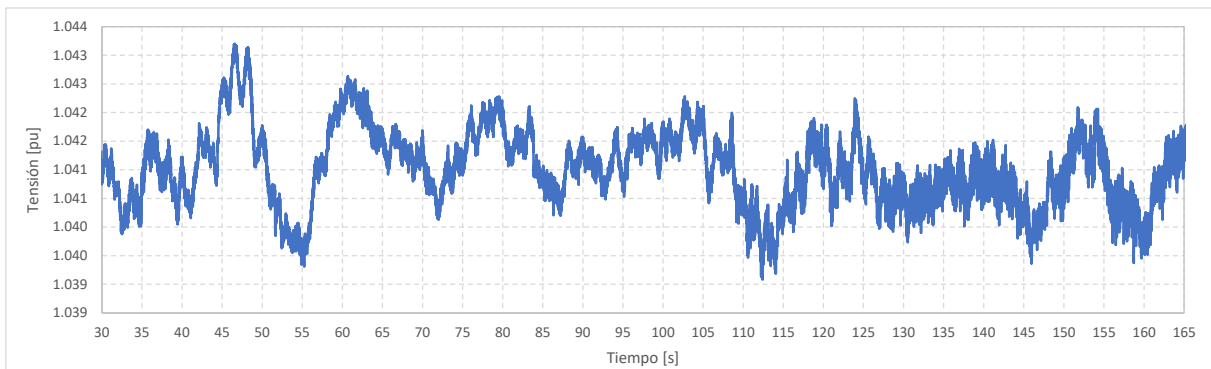


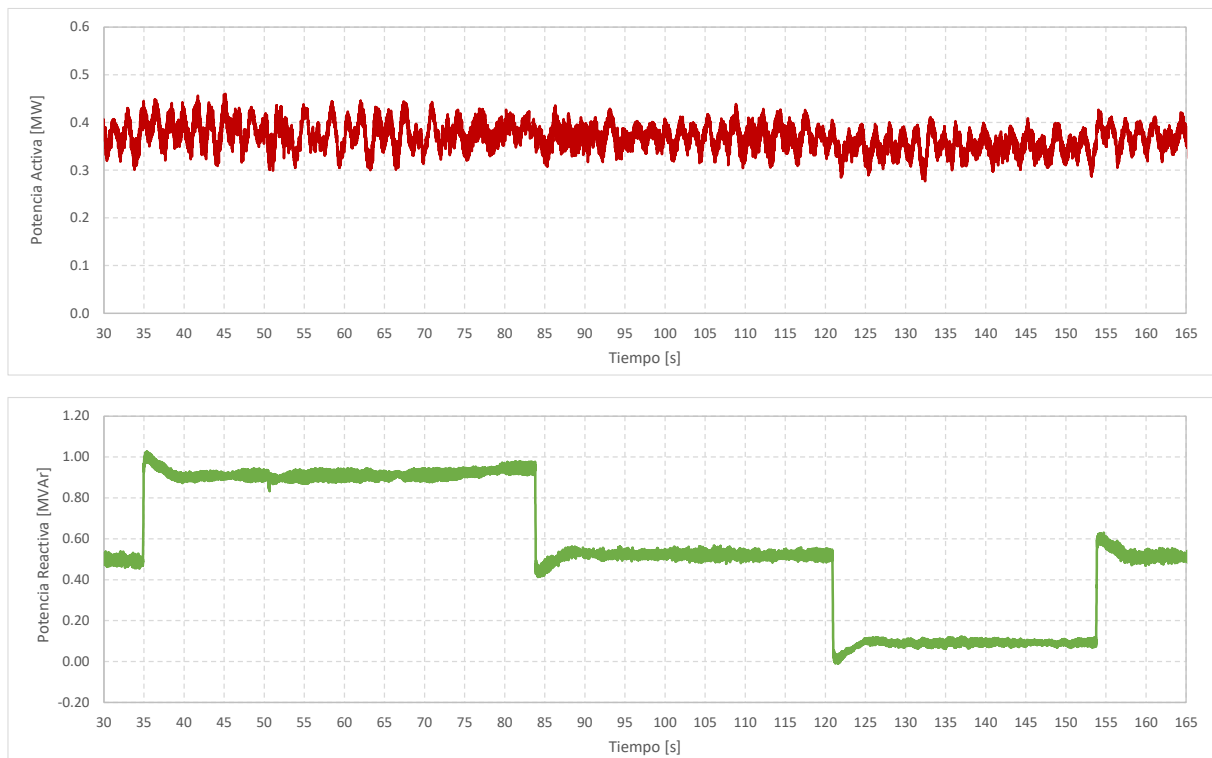


**Gráfico 54. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Variables temporales.**

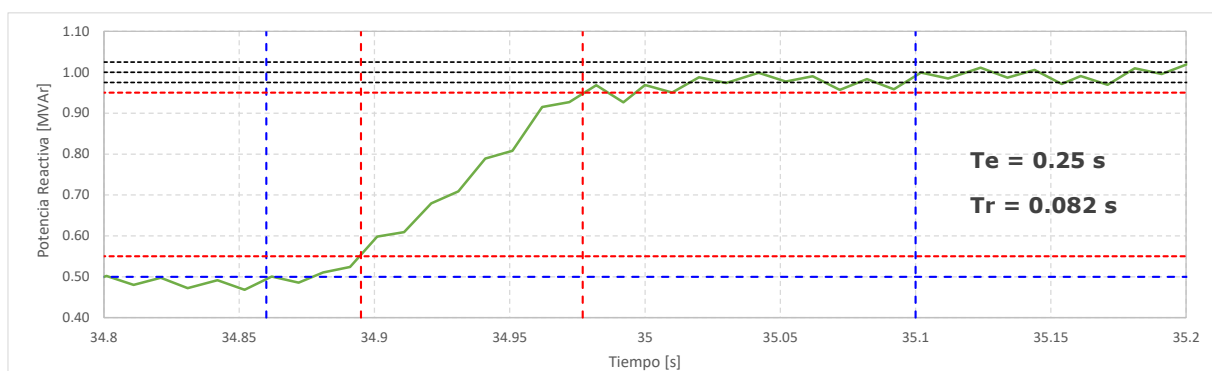


**Gráfico 55. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Media Carga. Parámetros de desempeño.**





**Gráfico 56. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Variables temporales.**

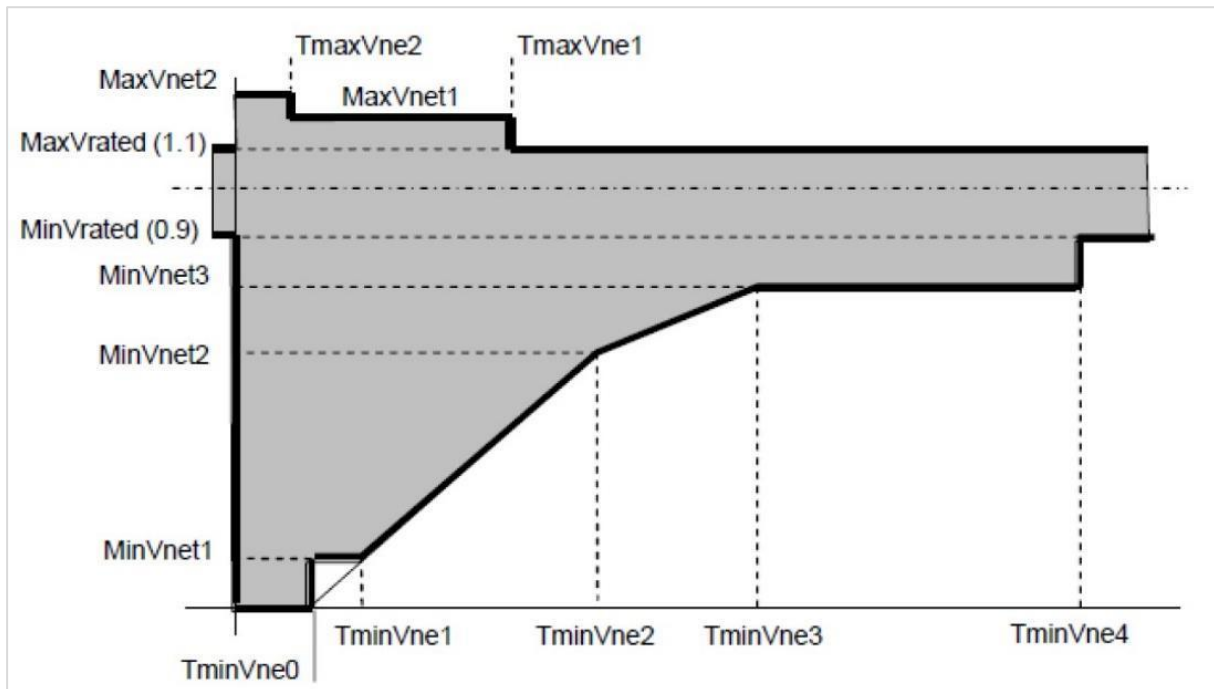


**Gráfico 57. Control de potencia reactiva a nivel aerogenerador. Baja Carga. Parámetros de desempeño.**

## 4. Verificación de ajustes de protecciones

### 4.1. Ajuste de protecciones de los aerogeneradores

El artículo 3-7 de la NTCyS determina el perfil LVRT bajo el cual las unidades generadoras deben permanecer conectadas al sistema. El perfil LVRT que puede soportar el convertidor del AW3000 se puede configurar acorde al Gráfico 58. Con el fin de cumplir con la NTCyS, la curva presentada en el Gráfico 58 se parametriza acorde al Gráfico 59.



**Gráfico 58. Ajuste de protecciones de LVRT y HVRT del Aerogenerador.**

Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet01	1.2	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet02	1.15	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet03	1.15	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet04	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet05	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet06	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet07	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet08	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet09	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMaxVNet10	1.1	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet01	0	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet02	0.2	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet03	0.8	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet04	0.8	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet05	0.9	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet06	0.9	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet07	0.9	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet08	0.9	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet09	0.9	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitMinVNet10	0.9	p.u.
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet01	1.5	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet02	1.5	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet03	5	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet04	5	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet05	15	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet06	15	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet07	15	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet08	15	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet09	15	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMaxVNet10	15	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet01	1.6	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet02	1.6	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet03	3.5	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet04	60	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet05	60	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet06	185	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet07	185	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet08	185	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet09	185	s
Grid.GridCode.Limits.Voltage.LimitTimeMinVNet10	185	s

**Gráfico 59. Ajuste de protecciones de tensión del aerogenerador.**

En la Tabla 6 se muestra el ajuste correspondiente a las protecciones de sub/sobrefrecuencia.

**Tabla 6. Ajuste de protecciones de frecuencia del aerogenerador.**

DESCRIPCIÓN	VALOR
La frecuencia es superior al 104% del valor nominal durante 0.5 s	52Hz
La frecuencia es inferior al 94% del valor nominal durante 0.5 s	47Hz

## 4.2. Ajuste de protecciones de la subestación

En la Tabla 7 se muestra el ajuste de protecciones de la SE Tolpan Sur:

**Tabla 7. Ajuste de protecciones de la subestación.**

Ajuste de las protecciones de subtensión						
N	Área	Elemento	Paso	Umbral activación (% $U_n$ )	Tiempo de retardo (s)	Característica de tiempo
1.a	Subestación / Alta tensión	Relé 1 SCHNEIDER P643 SISTEMA 1 TRANSFORAMDOR	1	80%	2	Retardo Fijo
			2	N/A	N/A	N/A
		Relé 2 SCHNEIDER P143 SISTEMA 2 TRANSFORAMDOR	1	80%	2	Retardo Fijo
			2	N/A	N/A	N/A

Ajuste de las protecciones de sobretensión						
N	Área	Elemento	Paso	Umbral activación (% $U_n$ )	Tiempo de retardo (s)	Característica de tiempo
1.b	Subestación / Alta tensión	Relé 1 SCHNEIDER P643 SISTEMA 1 TRANSFORAMDOR	1	115%	3	Retardo Fijo
			2	135%	100m	Retardo Fijo
		Relé 2 SCHNEIDER P143 SISTEMA 2 TRANSFORAMDOR	1	120%	3	Retardo Fijo
			2	N/A	N/A	N/A

Ajuste de las protecciones de subtensión						
N	Área	Elemento	Paso	Umbral activación (% $U_n$ )	Tiempo de retardo (s)	Característica de tiempo
1.d	Subestación / Media tensión	Relé 1 ALIMENTADOR 1	1	80%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 2 ALIMENTADOR 2	1	80%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 3 ALIMENTADOR 3	1	80%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 4 ALIMENTADOR 4	1	80%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 5 ALIMENTADOR 5	1	80%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 5 ALIMENTADOR FT1	1	N/A	N/A	N/A
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A

Ajuste de las protecciones de Sobretensión						
N	Área	Elemento	Paso	Umbral activación (% $U_n$ ó pu)	Tiempo de retardo (s)	Característica de tiempo
1.d	Subestación / Media tensión	Relé 1 ALIMENTADOR 1	1	120%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 2 ALIMENTADOR 2	1	120%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 3 ALIMENTADOR 3	1	120%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 4 ALIMENTADOR 4	1	120%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 5 ALIMENTADOR 5	1	120%	2	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 5 ALIMENTADOR FT1	1	120%	2	N/A
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A
		Relé 5 ALIMENTADOR BBCC	1	120%	1,5	Retardo Fijo
		SCHNEIDER P143	2	N/A	N/A	N/A

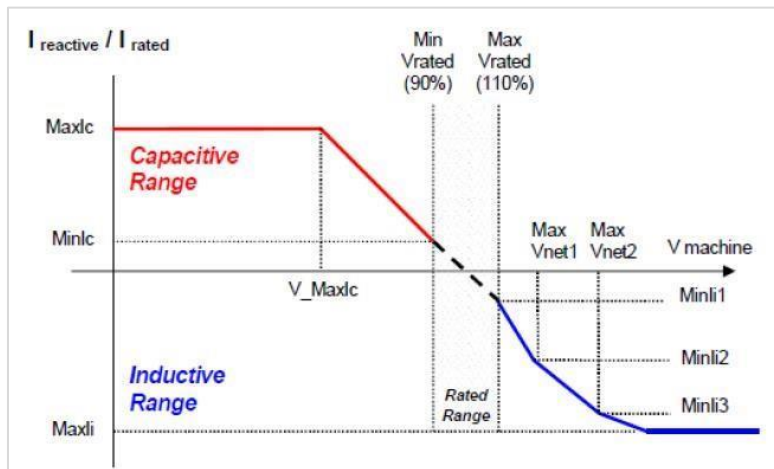
## 5. Respuesta dinámica frente a fallas en la red

En las siguientes secciones se presentan los principales resultados obtenidos de la verificación de la respuesta dinámica del PE Tolpan Sur frente a fallas de la red, los cuales fueron extraídos del informe de validación de modelos dinámicos del PE Tolpan sur realizado el 16/09/2020 [3], en línea con lo establecido en la guía de verificación de servicios complementarios de control de tensión vigente.

### 5.1. Inyección de corriente reactiva

Acorde a la NTSyCS, el convertidor del AW3000 inyecta corriente reactiva durante huecos de tensión. Esta inyección de corriente viene definida por el factor K, que determina la cantidad de corriente a inyectar por cada 1% de caída de tensión en terminales del aerogenerador, y se produce cuando la tensión en terminales sale de la banda muerta predefinida, en este caso por debajo de 0,9 pu o por encima de 1,1 pu. La relación entre la corriente inyectada y la tensión en terminales del generador viene dada por el Gráfico 60, donde la pendiente de la curva equivale al factor K.





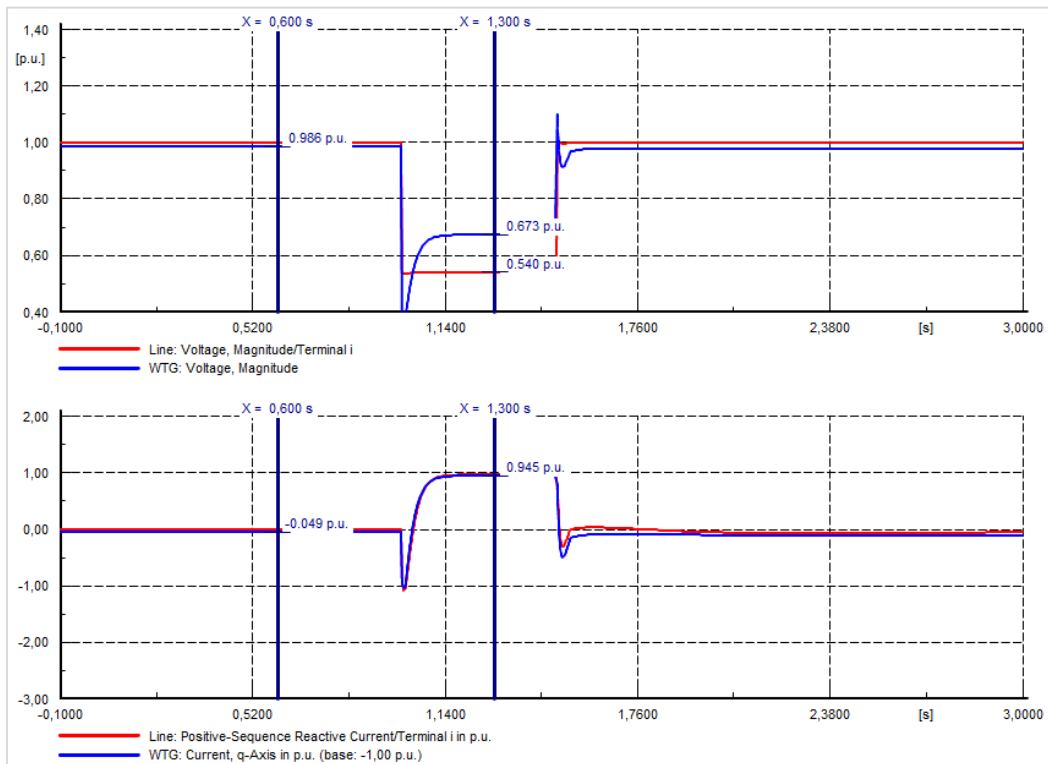
**Gráfico 60. Inyección de corriente reactiva durante huecos y sobretensiones.**

El Gráfico 61 muestra el ajuste de los parámetros presentados en el Gráfico 60.

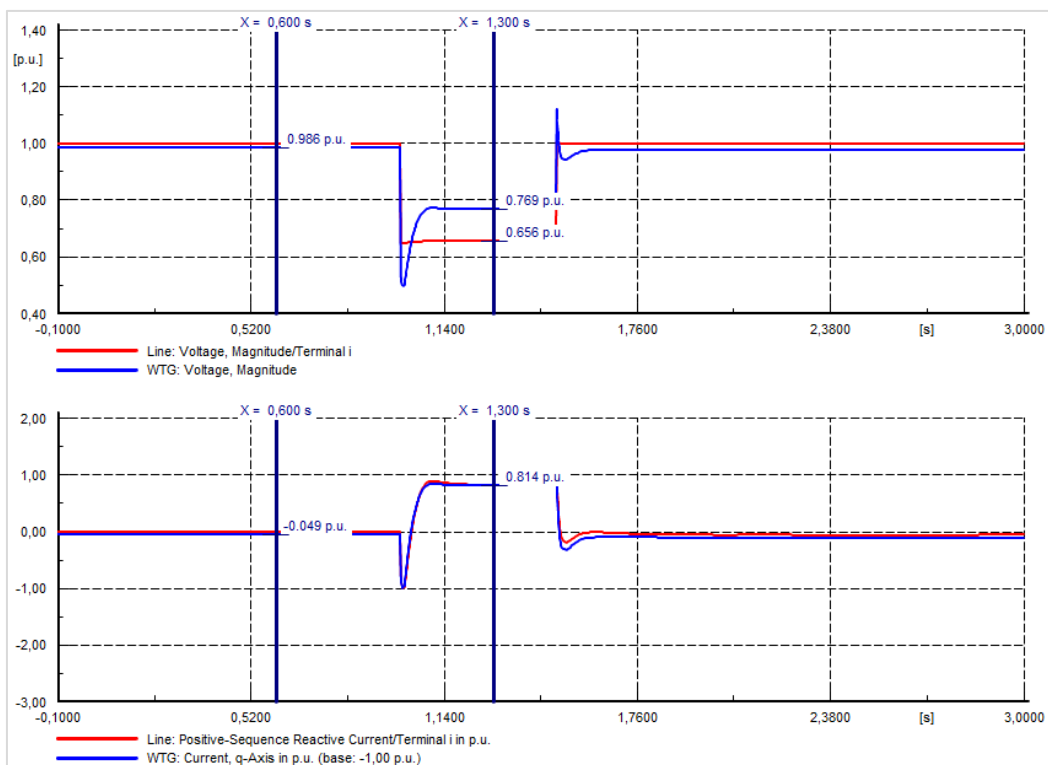
Grid.GridCode.VIrCurve.LimitDeadBandHVRT	1.1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LimitDeadBandLVRT	0.9	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LimitINdhAsym	1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LimitINdhSym	1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LimitMaxSpNdh	2	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRT1	1.1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRT2	1.15	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRT3	1.25	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRT4	1.25	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRTSp1	-0.4	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRTSp2	-0.6	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRTSp3	-1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointHVRTSp4	-1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRT1	0.9	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRT2	0.85	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRT3	0.75	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRT4	0	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRTSp1	0.4	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRTSp2	0.6	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRTSp3	1	p.u.
Grid.GridCode.VIrCurve.LookUpTable.PointLVRTSp4	1	p.u.

**Gráfico 61. Parametrización de los aportes de corriente reactiva durante huecos de tensión y sobre tensiones del convertidor del aerogenerador AW3000.**

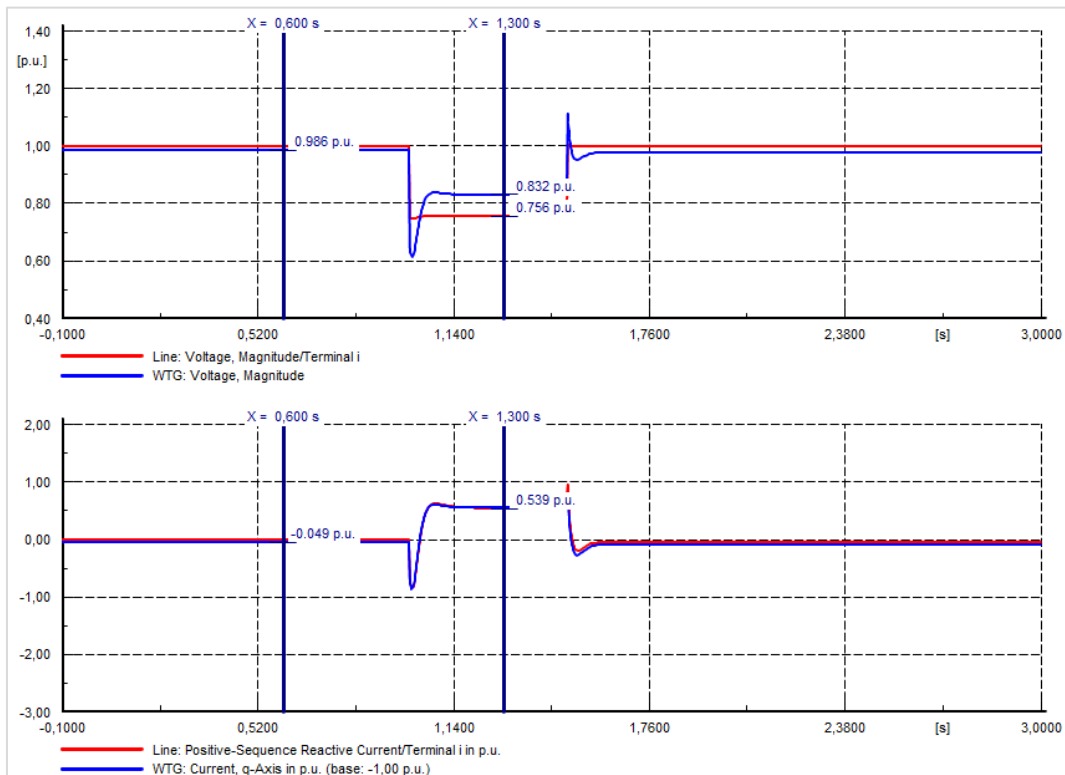
De acuerdo a la NTSyCS, el factor K se ha configurado con el fin de inyectar un 2% de corriente reactiva en POC por cada 1% de caída de tensión, ambos medidos en POC respecto a los valores previos a la falta. Esto se consigue ajustando el factor K de los aerogeneradores ( $K_{qv}$ ) a 4. En el Gráfico 62, Gráfico 63 y Gráfico 63 se muestra el aporte de corriente reactiva ante huecos de distinta profundidad. La profundidad de los huecos se ajusta intencionalmente entre 0,5 pu y 0,9 pu, con el fin de demostrar cumplimiento en la parte lineal de la curva. Las líneas de color azul muestran las variables eléctricas medidas en terminales del aerogenerador agregado, mientras que las líneas de color rojo muestran lo propio en POC.



**Gráfico 62. Tensión y aporte de corriente reactiva durante la simulación de hueco al 54%.**



**Gráfico 63. Tensión y aporte de corriente reactiva durante la simulación de hueco al 65%.**



**Gráfico 64. Tensión y aporte de corriente reactiva durante la simulación de hueco al 75%.**

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos, evaluando el factor K en POC en cada uno de los huecos simulados. Cabe mencionar que el cálculo del factor K se realiza acorde a la siguiente fórmula:

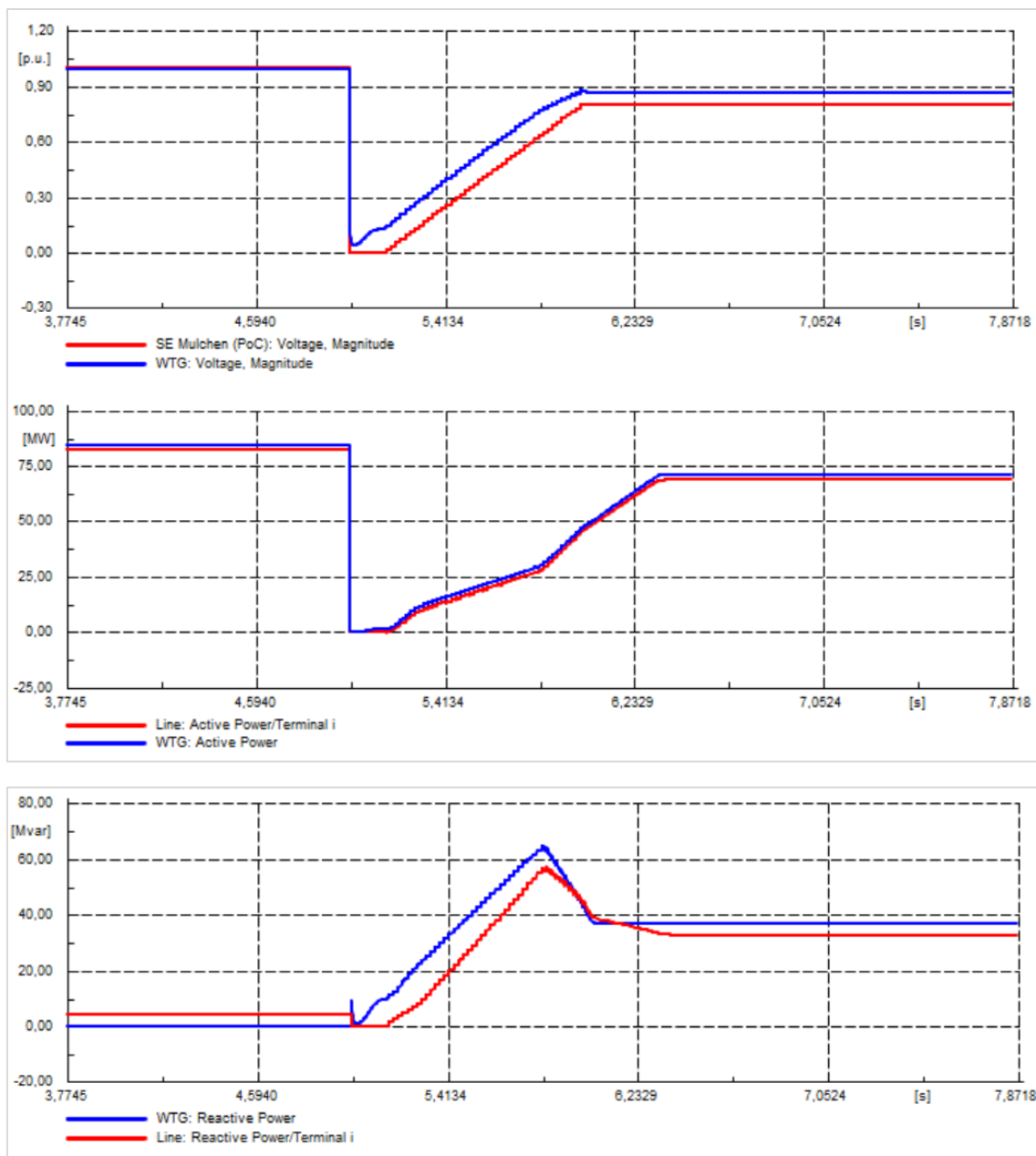
$$k = \frac{|\Delta I_q|}{|\Delta V|}$$

**Tabla 8. Cálculo del factor k en cada uno de los huecos simulados.**

HUECO EN POC	CÁLCULO FACTOR K
0,540 pu	$\frac{ 0,945 - 0 }{ 1 - 0,540 } = 2,0$
0,656 pu	$\frac{ 0,814 - 0 }{ 1 - 0,656 } = 2,2$
0,756 pu	$\frac{ 0,539 - 0 }{ 1 - 0,756 } = 2,2$

## 5.2. LVRT

A continuación, se aplica el perfil LVRT de la NTCyS con el fin de verificar que el modelo cumple con el artículo 3-7. El Gráfico 65 muestra los resultados de la simulación. Las líneas de color azul muestran las variables eléctricas medidas en terminales del aerogenerador, mientras que las líneas de color rojo muestran lo propio en POC.



**Gráfico 65. Respuesta ante un hueco de tensión normalizado.**

Se puede observar que el aerogenerador permanece conectado en todo momento, por lo que se puede concluir que las protecciones están configuradas acorde a lo exigido por el artículo 3-7.

## 6. 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 los requerimientos de la Norma Técnica y la guía de verificación 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.

De lo anterior el PE Tolpan Sur es apto para prestar servicios de control de tensión.

## 7. Referencias

[1] Informe de determinación de mínimo técnico en unidades generadoras, central eólica Tolpan Sur, 10/09/2020.

[2] Informe de Potencia Máxima en unidades generadoras, central eólica Tolpan Sur, 10/09/2020.

[3] Validación de modelo dinámico, Parque Eólico Tolpan Sur, 16/09/2020

[4] Hoja de datos de aerogenerador marca Acciona Wind Power, modelo AW3000/116.

[5] Documentos Generales: DG200661. Control de tensión/potencia reactiva/factor de potencia (plataforma AW3000)

# ANEXO 1

## 1. Información técnica del equipamiento

### 1.1. Descripción de los modos de control de planta habilitados

#### 5.4 Control de tensión proporcional con realimentación de potencia reactiva $\Delta Q = f(V_{meas})$ (V4) / 5.4 Proportional voltage control with reactive power feedback $\Delta Q = f(V_{meas})$ (V4)

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este control. The following figure explains this control flowchart.

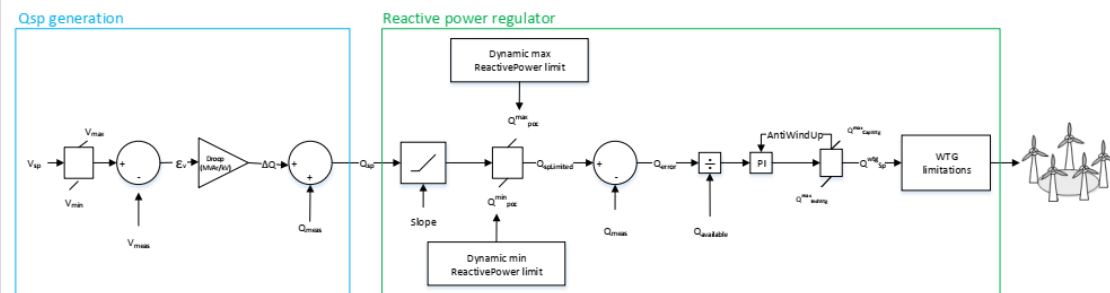


Fig 5 - Control de tensión proporcional con realimentación de potencia reactiva (V4) / Proportional voltage control with reactive power feedback (V4)

La consigna de tensión es definida por el usuario en la variable de entrada  $V_{sp}$ . Esta consigna de tensión es primero limitada entre los valores  $V_{max}$  y  $V_{min}$  también definidos por el usuario. Una vez limitada la consigna de tensión, se le resta la tensión medida en el PPC  $V_{meas}$  para calcular el error de tensión  $\epsilon V$ .

El error de tensión  $\epsilon V$  se multiplica por la constante proporcional droop definida por el usuario, para directamente calcular la consigna de potencia reactiva para el parque  $Q_{sp}$ . Por último, a la consigna calculada se le suma la potencia reactiva medida en el PPC  $Q_{meas}$ . La consigna final  $Q_{sp}$  es enviada al lazo de control de potencia reactiva, que se detallará en el punto 5.6. De esta forma, el control proporcional de tensión pasa a relacionar el incremento de potencia reactiva  $\Delta Q$  frente a la desviación de la tensión.

El droop y la rampa inicial podrán ser configurados desde el AW3000 SCADA.

The voltage setpoint is defined by the user in the input variable  $V_{sp}$ . This voltage setpoint is firstly limited between the values  $V_{max}$  and  $V_{min}$  also defined by the user. Once the voltage setpoint is limited, the voltage measurement at the PPC  $V_{meas}$  is subtracted to the setpoint in order to calculate the voltage error  $\epsilon V$ .

The voltage error  $\epsilon V$  is firstly multiplied by the proportional constant droop, defined by the user, to directly calculate the reactive power setpoint for the wind power plant  $Q_{sp}$ . Finally, the reactive power measured at the PPC  $Q_{meas}$  is added to the setpoint. The final setpoint  $Q_{sp}$  is sent to the reactive power control loop that will be explained in detail in section 5.6. In this way, the proportional voltage control relates the increase of reactive power  $\Delta Q$  to the voltage deviation.

The droop parameter and the initial ramp can be configured via AW3000 SCADA.

### 5.5 Control de factor de potencia

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este control.

### 5.5 Power factor control

The following figure explains this control flowchart.

Qsp generation

Reactive power regulator

Fig 6 - Control de factor de potencia / Power factor voltage control

La consigna de factor de potencia es definida por el usuario en la variable de entrada  $PF_{sp}$ . Esta consigna de factor de potencia es primero limitada entre  $PF_{max}$  (valor capacitivo) y  $PF_{min}$  (valor inductivo), también definidos por el usuario. Una vez limitada la consigna de factor de potencia, se calcula el ángulo  $\phi$  y posteriormente su tangente. Por último se multiplica la tangente de  $\phi$  por la potencia medida en el PPC  $P_{meas}$  para dar como resultado la consigna de potencia reactiva del parque  $Q_{sp}$  enviada al lazo de control de potencia reactiva, que se detallará en el punto 5.6. La rampa aplicada a la consigna de potencia reactiva será configurable a través del AW3000 SCADA.

The power factor setpoint is defined by the user in the input variable  $PF_{sp}$ . This power factor setpoint is firstly limited between the values  $PF_{max}$  (capacitive value) and  $PF_{min}$  (inductive value), also defined by the user. Once the power factor setpoint is limited, the  $\phi$  angle is calculated and lately its tangent. Finally, the tangent of  $\phi$  angle is multiplied by the active power measurement at the PPC  $P_{meas}$  resulting in the reactive power setpoint for the wind plant  $Q_{sp}$  that is sent to the reactive power loop that will be explained in detail in section 5.6. The ramp applied to the reactive power setpoint will be configurable through the AW3000 SCADA.

### 5.6 Control de potencia reactiva

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este control.

### 5.6 Reactive power control

The following figure explains this control flowchart.

Reactive power regulator

Fig 7 - Control de potencia reactiva / Reactive power voltage control

La consigna de potencia reactiva  $Q_{sp}$  puede ser definida directamente por el usuario o puede provenir de los controles V2, V3, V4, Q o PF. Esta consigna es primero limitada entre los valores  $Q_{poc}^{max}$  y  $Q_{poc}^{min}$ , que se calculan dinámicamente en función de los niveles de tensión, limitaciones propias de código de red, etc. A continuación se le resta la potencia reactiva medida en el PPC  $Q_{meas}$  para calcular el error de potencia reactiva  $Q_{error}$ . El error de potencia reactiva  $\epsilon Q$  se envía al controlador proporcional-integral, definido por los parámetros  $K_p$  y  $K_i$ , que calcula la consigna de potencia reactiva a cada aerogenerador. Posteriormente la consigna se limita a los valores máximos de consigna admitidos por los aerogeneradores y definidos mediante los parámetros  $Q_{CapWTg}^{max}$  y  $Q_{IndWTg}^{max}$ . Cuando la consigna alcance estos valores límite se activará la función anti-windup en el regulador PI.

This reactive power setpoint  $Q_{sp}$  can be defined directly by the user or can come from the control modes V2, V3, V4, Q or PF. This setpoint is firstly limited between the values  $Q_{max}$  and  $Q_{min}$ , dynamically calculated based on voltage measurements, grid code limitations, etc. The next step is to subtract the reactive power measurement at the PPC  $Q_{meas}$  to the  $Q_{SpLimit}$  in order to calculate the reactive power error  $Q_{error}$ . The reactive power error  $\epsilon Q$  is sent to the proportional-integral regulator, defined by the  $K_p$  and  $K_i$  parameters, that calculates the reactive power setpoint for each windturbine. After that the reactive power setpoint is limited by the maximum setpoints values admitted by the windturbines. Those limits are defined by the parameters  $Q_{CapWTg}^{max}$  and  $Q_{IndWTg}^{max}$ . If the setpoint reaches these limit values the anti-windup function will be activated in the PI regulator.

**Gráfico 66. Notas de los modos de control del PE Tolpan Sur.**

## 1.2. Información técnica del transformador de potencia de la SE

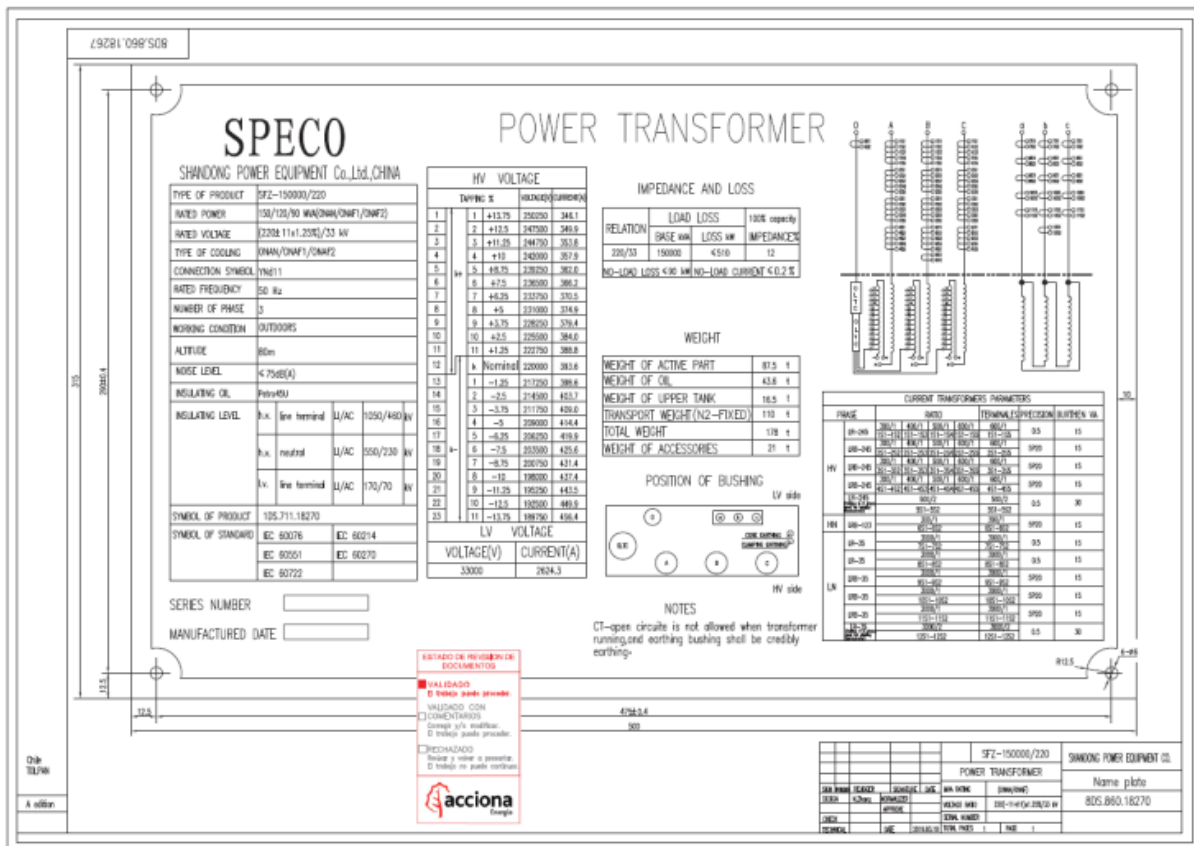



Gráfico 67. Información técnica del transformador de potencia de la SE Tolpan Sur.



### 1.3. Información técnica del transformador de bloque de los aerogeneradores

<b>Technical specification</b> <b>VEARW633</b>		 <b>SBG</b> Your dedicated partner of the SGB-SMIT Group	
Datum: 16.11.2018		Seite 1 von 2	
<b>Description</b> Three-phase- Oil transformer acc. to IEC 60076 hermetic sealed, designed for ambient temperature of -25 °C up to 50 °C and max. altitude for installation of 1.000 m , suitable for indoor installation with copper windings Routine test acc. to IEC 60076 In compliance with the specification "AW3000 12-30/33/34,5 Transformer" Doc: PdCF0346 Rev. G			
<b>Techn. parameters</b>			
Type:	DNT 3400 H/30	Cooling method:	KNAN
Nominal Capacity:	3.400 kVA	Operating Mode:	continuous
Nominal Voltage:	33.000 V / 12.000 V	Frequency:	50,00 Hz
Nominal Current HV:	59,5 A	Type:	LT
Nominal Current LV:	164 A	Insulation Class:	120
Tappings HV:	±2x2,5 %	Duration of short-circuit: 2 s	
AC HV / LV:	70,0 kV / 38,0 kV	Coolant:	Midel eN
BIL HV / LV:	170 kV / 95 kV	Excess temp. of winding:	65 K
Insulated for:	36,0 kV / 17,5 kV	Excess temp. of oil:	80 K
Degree of protection transform:	IP54	Excess tem hot spot:	80 K
Degree of protection bushings:	IP54/IP54		
Vectorgroup:	Dyn 11		
Neutral point:	L.V. leaded through, 100% max. permissible load		
<b>Losses</b>			
No-load losses:	3.500 W	Tolerance:	15,0 %
impedance losses at 75°:	24.000 W	Tolerance:	15,0 %
Total Losses:	27.500 W	Tolerance:	10,0 %
Impedance voltage at 75°:	6,00 %	Tolerance:	5,0 %
Sound power:	81 dB		
	Impedance losses at 85°C: 24.900 W, Tolerance: 15%		
	Impedance voltage at 85°: 6%		
<b>Marking</b>			
Language:	engspa		
<b>Equipment</b>			
Temperature:	1 pc. screw-in resistance thermometer PT-100/ 3-channel-technique without monitor		
Pressure:	pressure relief device Maier, type G1A-0,3 bar with cap 1 pc. pressure switch, type Qualitrol 148 with 2 contact		
Gas:	1 pc. hermetic-protection-device, type Qualitrol series 049 Junction box on the lid for protection devices		
<b>Bushings</b>			
H.V.:	plug-in bushing type Elastimold M 400 T1/J, (36kV, 400A), type B		
L.V.:	plug-in bushing type Elastimold K 180 AR-2/J, (24kV, 250A) Cable clamp system		
<b>Chassis</b>			
	without roller Center-to-center distance longitudinal 820 mm ; Center-to-center distance transverse 1.070 mm		
<b>Corrosion protection</b>			
Kind of corrosion protection:	coating acc to DIN EN 12944 C3		
Coat thickness:	140 µm		
Covering coat:	RAL 7033		

**Gráfico 68. Información técnica del transformador de máquina.**

## 1.4. Capturas del SCADA de planta

### 1.4.1 Control de potencia reactiva

Q Gradient				ON	OFF
	LOCAL	REMOTO	AUX	ESTADO	
Origen SP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ramp Sub	<input type="text" value="97,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="97,00"/>	MVar/min
Ramp Baj	<input type="text" value="97,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="97,00"/>	MVar/min

**Gráfico 69. Configuración del control de potencia reactiva.**

### 1.4.2 Control de tensión

V				ON	OFF
	LOCAL	REMOTO	AUX	ESTADO	
Origen SP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Estado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
V SP	<input type="text" value="234,22"/>	<input type="text" value="230,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="234,22"/>	kV
V Droop	<input type="text" value="1,90"/>			<input type="text" value="1,90"/>	MVar/kV
V DeadB	<input type="text" value="0,00"/>			<input type="text" value="0,0000"/>	pu

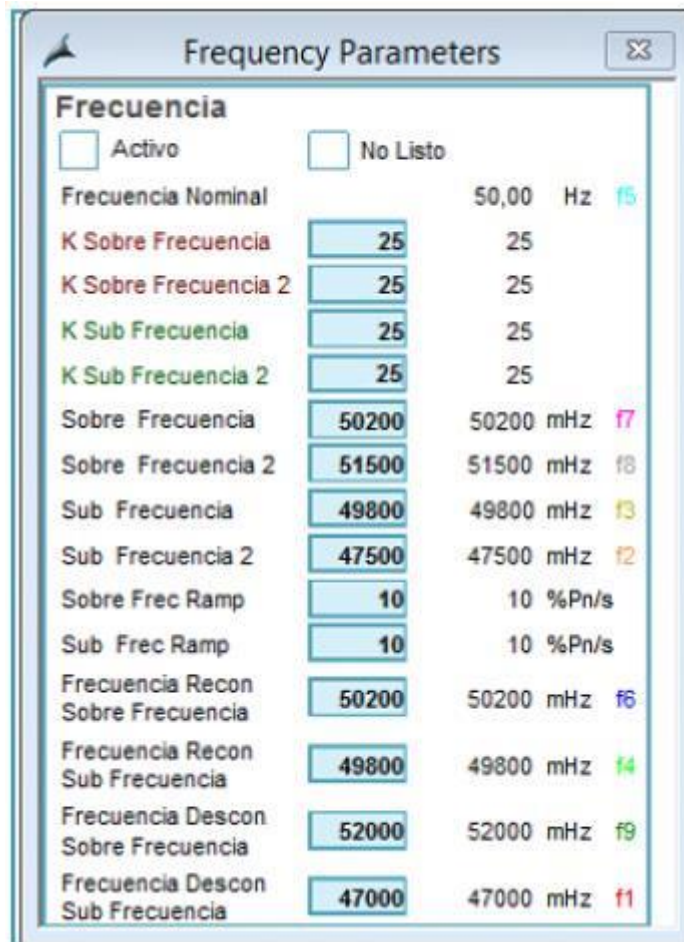
**Gráfico 70. Configuración del control de tensión.**

### 1.4.3 Control de potencia activa

P Gradient				ON	OFF
	LOCAL	REMOTO	AUX	ESTADO	
Origen SP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ramp Sub	<input type="text" value="8,4"/>	<input type="text" value="8,4"/>	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="8,4"/>	MW/min
Ramp Baja	<input type="text" value="8,4"/>	<input type="text" value="8,4"/>	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="8,4"/>	MW/min

**Gráfico 71. Configuración del control de potencia activa.**

#### 1.4.4 Control de frecuencia



Parameter	Value	Unit	Label
Frecuencia Nominal	50,00	Hz	f5
K Sobre Frecuencia	25	25	
K Sobre Frecuencia 2	25	25	
K Sub Frecuencia	25	25	
K Sub Frecuencia 2	25	25	
Sobre Frecuencia	50200	50200 mHz	f7
Sobre Frecuencia 2	51500	51500 mHz	f8
Sub Frecuencia	49800	49800 mHz	f3
Sub Frecuencia 2	47500	47500 mHz	f2
Sobre Frec Ramp	10	10 %Pn/s	
Sub Frec Ramp	10	10 %Pn/s	
Frecuencia Recon Sobre Frecuencia	50200	50200 mHz	f6
Frecuencia Recon Sub Frecuencia	49800	49800 mHz	f4
Frecuencia Descon Sobre Frecuencia	52000	52000 mHz	f9
Frecuencia Descon Sub Frecuencia	47000	47000 mHz	f1

**Gráfico 72. Configuración del control de frecuencia.**

## 2. Curva PQ completa del PE Tolpan Sur

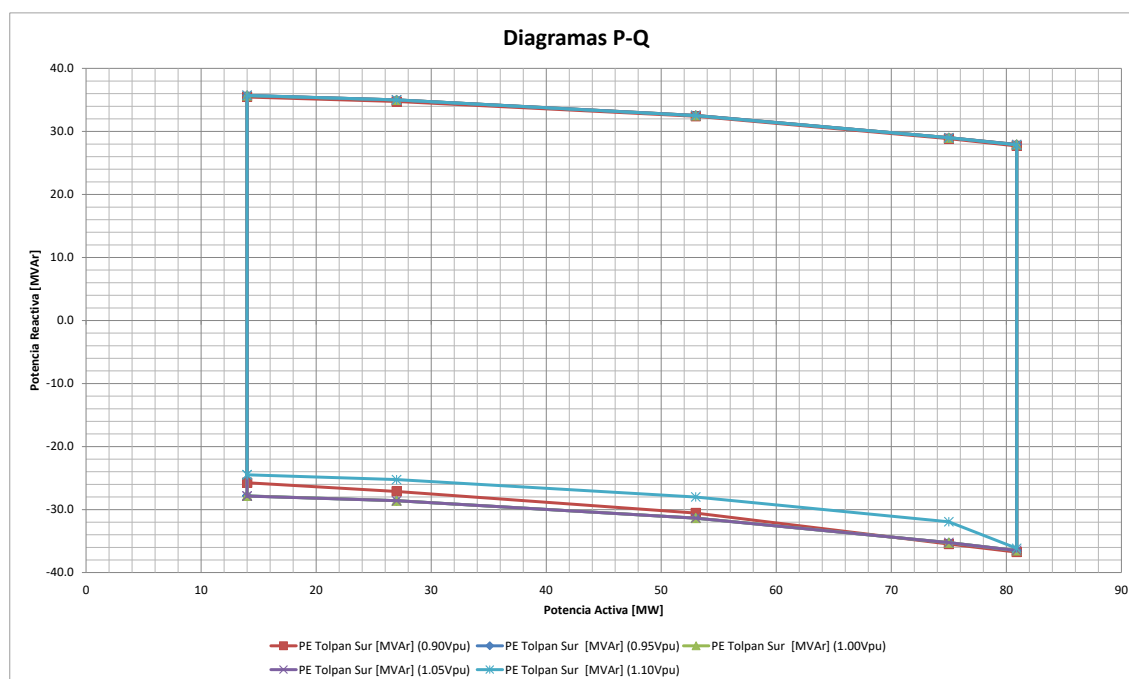
A continuación, se presenta la curva de capacidad de la central para cada nivel de tensión requerido en la guía de verificación, respetando el margen de seguridad (15%) informado por la central y tomando el mínimo valor de potencia sobre el cual se tiene control de potencia reactiva en 14 MW (\*).

**Tabla 9. Valores nominales del PE Tolpan Sur – Curva PQ.**

Nombre Central	PE Tolpan Sur
Unidad	1
Potencia Mínima Aprobada [MW]	0.00
Potencia Mínima [MW] (*)	14.00
Potencia Máxima [MW]	80.90
Tensión Nominal [kV]	220

**Tabla 10. Curva PQ Completa del PE Tolpan Sur.**

Potencia [MW]	Tensión [pu]	14	27	53	75	81	81	75	53	27	14
PE Tolpan Sur [MVar]	0.90	-25.8	-27.1	-30.6	-35.5	-36.8	27.7	28.9	32.4	34.8	35.5
PE Tolpan Sur [MVar]	0.95	-27.8	-28.6	-31.4	-35.3	-36.5	27.9	29.0	32.5	35.0	35.7
PE Tolpan Sur [MVar]	1.00	-27.8	-28.6	-31.4	-35.3	-36.5	27.9	29.0	32.5	35.0	35.7
PE Tolpan Sur [MVar]	1.05	-27.9	-28.6	-31.4	-35.2	-36.5	27.9	29.0	32.5	35.0	35.7
PE Tolpan Sur [MVar]	1.10	-24.5	-25.2	-28.0	-31.9	-36.2	27.9	29.0	32.5	35.0	35.7



**Gráfico 73. Curva PQ Completa del PE Tolpan Sur.**

### 3. Archivos adjuntos entregados

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

- Registro de ensayos: Registros\_PE Tolpan Sur\_SSCC\_CT.rar

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato “.csv”. Para correlacionar el nombre del archivo con la figura se debe considerar la siguiente tabla:

**Tabla 11. Descripción de los registros empleados en los ensayos de SSCC CT.**

<b>Registros CT</b>	<b>Descripción</b>
PQ_PTO1_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 1
PQ_PTO2_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 2
PQ_PTO3_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 3
PQ_PTO4_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 4
PQ_PTO5_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 5
PQ_PTO6_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 6
PQ_PTO7_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 7
PQ_PTO8_1	Relevamiento curva PQ teórica máxima. Punto 8
CONTROL_FP_AC_2	Ensayo de control de factor de potencia Alta Carga
CONTROL_FP_MC_1	Ensayo de control de factor de potencia Media Carga
CONTROL_FP_BC_1	Ensayo de control de factor de potencia Baja Carga
CONTROL_Q_AC_1	Ensayo de control de potencia reactiva Alta Carga
CONTROL_Q_MC_3	Ensayo de control de potencia reactiva Media Carga
CONTROL_Q_BC_1	Ensayo de control de potencia reactiva Baja Carga
CONTROL_V_AC_1	Ensayo de control de tensión Alta Carga
CONTROL_V_MC_1	Ensayo de control de tensión Media Carga
CONTROL_V_BC_2	Ensayo de control de tensión Baja Carga
CONTROL_Q_AC_2_A3.1	Escalón de potencia reactiva Aerogenerador A3.1 Alta Carga
CONTROL_Q_MC_1_A3.1	Escalón de potencia reactiva Aerogenerador A3.1 Media Carga
CONTROL_Q_BC_1_A3.1	Escalón de potencia reactiva Aerogenerador A3.1 Baja Carga
CONTROL_Q_AC_3_A3.6	Escalón de potencia reactiva Aerogenerador A3.6 Alta Carga
CONTROL_Q_MC_1_A3.6	Escalón de potencia reactiva Aerogenerador A3.6 Media Carga
CONTROL_Q_BC_2_A3.6	Escalón de potencia reactiva Aerogenerador A3.6 Baja Carga

## 4. Datos del equipamiento registrador

La adquisición y procesamiento de datos durante los ensayos antes descritos se realiza mediante la utilización de un equipo desarrollado específicamente para tal fin. El equipo de adquisición de datos está compuesto por los componentes indicados en la Tabla 12.

**Tabla 12. Componentes del equipo registrador.**

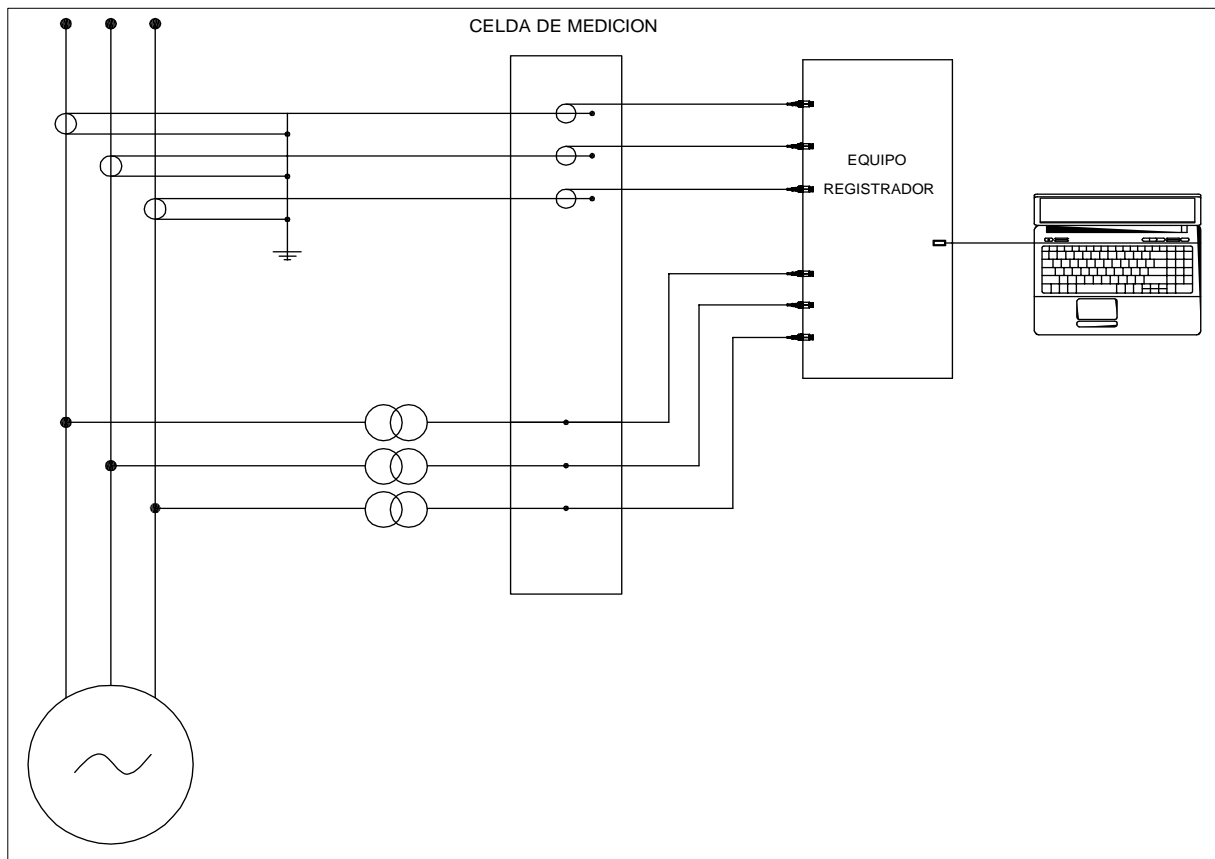
<b>Chasis</b>			
<b>Marca</b>	National Instruments		
<b>Modelo</b>	cDAQ-9174		
<b>N° de Serie</b>	1707723		
<b>Descripción</b>	Porta-módulos (hasta 4 slots)		
<b>Módulos de medición</b>			
<b>Unidad</b>	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3
<b>Marca</b>	National Instruments		
<b>Modelo</b>	NI 9225	NI 9215	NI 9215
<b>N° de Serie</b>	1FEFB0B	1FD98D4	1FD98C9
<b>Descripción</b>	3 entradas analógicas de tensión 300 Vrms	4 entradas analógicas de tensión $\pm 10$ V	4 entradas analógicas de tensión $\pm 10$ V
<b>Clase</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Resolución</b>	24 bits	16 bits	16 bits
<b>Muestreo</b>	10.000 muestras/s	10.000 muestras/s	10.000 muestras/s
<b>Valores RMS</b>	100 puntos/s	100 puntos/s	100 puntos/s

El equipo registrador cuenta con verificación y calibración anual.

Las señales registradas se procesan en tiempo real para obtener las variables eléctricas de interés (tensión, corriente, potencias activa y reactiva, frecuencia, ángulos de desfase, etc), así como también la evolución temporal (trending) de las mismas. El procesamiento de los datos registrados será realizado utilizando el software personalizado, el cual fue desarrollado bajo la plataforma de programación LabVIEW, asociado al equipamiento de adquisición de National Instruments.



### Conexión del equipamiento:

La medición de tensión se realiza en el secundario de los transformadores de Tensión (TV) mediante conexión directa a borneras. La medición de corriente se realiza mediante pinzas amperométricas, las cuales no interrumpen el circuito de corriente de los secundarios de los transformadores de intensidad (TI). La potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y frecuencia son sintetizadas por software a partir de las mediciones de tensión y corriente. A continuación, se muestra un gráfico esquemático del equipo:



**Gráfico 74. Representación esquemática simplificada de la conexión del equipamiento.**

## Certificado de calibración

28/9/21 17:59		Certificate of Calibration		
<b>Certificate of Calibration</b>				
<b>Certificate Number:</b>	6894465	<b>Date Printed:</b>	28-SEP-2021	
<b>Serial Number:</b>	1FEFB0B	<b>Part Number:</b>	198862C-01L	
<b>Description:</b>	MODULE ASSY,NI 9225,3-PHASE +/-300V ANALOG INPUT MODULE			
<b>Calibration Date:</b>	17-SEP-2021	<b>Recommended Calibration Interval:</b>	12 Months	
<b>Calibration Due Date*:</b>	-			
<b>Temperature:</b>	21.66 °C	<b>Humidity:</b>	52.83% RH	
<b>Standards Used</b>				
<b>Manufacturer</b>	<b>Model</b>	<b>Tracking Number</b>	<b>Calibration Date</b>	<b>Calibration Due Date</b>
KEITHLEY	2410	10506	12-JUL-2021	12-NOV-2022
VAISALA	HMT331	7886	19-JAN-2021	19-JAN-2022
National Instruments	PXI-4070	24107	26-APR-2021	26-APR-2022
National Instruments	PXI-4071	24488	10-NOV-2020	10-NOV-2021
National Instruments	PXI-4110	6059	22-FEB-2021	22-FEB-2022
National Instruments	PXI-4110	23082	02-SEP-2021	02-NOV-2022
National Instruments	PXI-4461	23320	05-MAY-2021	05-MAY-2022
National Instruments	PXI-6653	23080	07-JUL-2021	07-JUL-2022
<b>Calibration Due Date Calculator</b>				
*For new products, the calibration interval begins when the customer receives the product. You can use the following table to calculate the calibration due date for your product.				
<b>Calibration Details</b>	<b>Example</b>	<b>Actual</b>		
Calibration Date	28-JAN-2020	17-SEP-2021		
Product Received Date	14-APR-2020			
Customer Calibration Interval	12 Months			
Calibration Due Date	14-APR-2021			
For most products, you can store the calibration due date in the product's EEPROM, either programmatically or using Measurement & Automation Explorer (NI MAX).				
National Instruments certifies that at the time of test, the above product was calibrated in accordance with applicable National Instruments procedures. These procedures are designed to ensure that the product listed above meets or exceeds National Instruments specifications.				
We further certify that the environment in which this product was calibrated is maintained within the operating specifications of the instrument(s) and standards. The measurement standards used during calibration are traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST) and/or other International Measurement Institutes (NMI's) that are signatories of the International Committee of Weights and Measure (CIPM) Mutual Recognition Agreement (MRA).				
The information shown on this certificate applies only to the instrument identified above and this certificate may not be reproduced, except in full, without the prior written consent of National Instruments.				
For questions or comments, please contact NI Technical Support at <a href="http://ni.com/support">ni.com/support</a>				
 <b>Cheryl Tulkoff</b> Director of Corporate Quality				
National Instruments Corporation 11500 N. Mopac Expressway Austin, TX 78759-3504 USA Tel: (800) 531-5066				
				
<a href="https://sine.ni.com/apps/utf8/nical.main?action=cert&amp;serial_number=1FEFB0B">https://sine.ni.com/apps/utf8/nical.main?action=cert&amp;serial_number=1FEFB0B</a>				1/1



## Certificate of Calibration

<b>Certificate Number:</b>	6857137	<b>Date Printed:</b>	28-SEP-2021
<b>Serial Number:</b>	1FD98D4	<b>Part Number:</b>	198860C-01L
<b>Description:</b>	MODULE ASSY,NI 9215,4-CHANNEL SSH ANALOG INPUT		
<b>Calibration Date:</b>	16-AUG-2021	<b>Recommended Calibration Interval:</b>	12 Months
<b>Calibration Due Date*:</b>	-		
<b>Temperature:</b>	23.45 °C	<b>Humidity:</b>	56.94% RH

### Standards Used

Manufacturer	Model	Tracking Number	Calibration Date	Calibration Due Date
VAISALA	HMT331	7886	19-JAN-2021	19-JAN-2022
NATIONAL INSTRUMENTS	PXI 4110	1857	01-OCT-2020	01-OCT-2021
NATIONAL INSTRUMENTS	PXI-4070	7044	19-APR-2021	19-APR-2022
NATIONAL INSTRUMENTS	PXI-6120	6546	16-APR-2021	16-APR-2022

### Calibration Due Date Calculator

\*For new products, the calibration interval begins when the customer receives the product. You can use the following table to calculate the calibration due date for your product.

Calibration Details	Example	Actual
Calibration Date	28-JAN-2020	16-AUG-2021
Product Received Date	14-APR-2020	
Customer Calibration Interval	12 Months	
Calibration Due Date	14-APR-2021	

For most products, you can store the calibration due date in the product's EEPROM, either programmatically or using Measurement & Automation Explorer (NI MAX).

National Instruments certifies that at the time of test, the above product was calibrated in accordance with applicable National Instruments procedures. These procedures are designed to ensure that the product listed above meets or exceeds National Instruments specifications.

We further certify that the environment in which this product was calibrated is maintained within the operating specifications of the instrument(s) and standards. The measurement standards used during calibration are traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST) and/or other International Measurement Institutes (NMI's) that are signatories of the International Committee of Weights and Measure (CIPM) Mutual Recognition Agreement (MRA).

The information shown on this certificate applies only to the instrument identified above and this certificate may not be reproduced, except in full, without the prior written consent of National Instruments.

For questions or comments, please contact NI Technical Support at [ni.com/support](http://ni.com/support)



**Cheryl Tulkoff**  
Director of Corporate Quality

National Instruments Corporation  
11500 N. Mopac Expressway  
Austin, TX 78759-3504  
USA  
Tel: (800) 531-5066



## Certificate of Calibration

<b>Certificate Number:</b>	6857092	<b>Date Printed:</b>	28-SEP-2021
<b>Serial Number:</b>	1FD98C9	<b>Part Number:</b>	198860C-01L
<b>Description:</b>	MODULE ASSY,NI 9215,4-CHANNEL SSH ANALOG INPUT		
<b>Calibration Date:</b>	16-AUG-2021	<b>Recommended Calibration Interval:</b>	12 Months
<b>Calibration Due Date*:</b>	-		
<b>Temperature:</b>	23.41 °C	<b>Humidity:</b>	58.43% RH

### Standards Used

Manufacturer	Model	Tracking Number	Calibration Date	Calibration Due Date
VAISALA	HMT331	7886	19-JAN-2021	19-JAN-2022
NATIONAL INSTRUMENTS	PXI 4110	1857	01-OCT-2020	01-OCT-2021
NATIONAL INSTRUMENTS	PXI-4070	7044	19-APR-2021	19-APR-2022
NATIONAL INSTRUMENTS	PXI-6120	6546	16-APR-2021	16-APR-2022

### Calibration Due Date Calculator

\*For new products, the calibration interval begins when the customer receives the product. You can use the following table to calculate the calibration due date for your product.

Calibration Details	Example	Actual
Calibration Date	28-JAN-2020	16-AUG-2021
Product Received Date	14-APR-2020	
Customer Calibration Interval	12 Months	
Calibration Due Date	14-APR-2021	

For most products, you can store the calibration due date in the product's EEPROM, either programmatically or using Measurement & Automation Explorer (NI MAX).

National Instruments certifies that at the time of test, the above product was calibrated in accordance with applicable National Instruments procedures. These procedures are designed to ensure that the product listed above meets or exceeds National Instruments specifications.

We further certify that the environment in which this product was calibrated is maintained within the operating specifications of the instrument(s) and standards. The measurement standards used during calibration are traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST) and/or other International Measurement Institutes (NMI's) that are signatories of the International Committee of Weights and Measure (CIPM) Mutual Recognition Agreement (MRA).

The information shown on this certificate applies only to the instrument identified above and this certificate may not be reproduced, except in full, without the prior written consent of National Instruments.

For questions or comments, please contact NI Technical Support at [ni.com/support](http://ni.com/support)

**Cheryl Tulkoff**  
Director of Corporate Quality

National Instruments Corporation  
11500 N. Mopac Expressway  
Austin, TX 78759-3504  
USA  
Tel: (800) 531-5066

