



INFORME DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS DE CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA PE TOLPÁN SUR

Informe Técnico

Preparado para:



Octubre - 2025

A 0917 | R 1007-23

Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS.....	2
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	4
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	7
REGISTRO DE COMUNICACIONES	8
SECCIÓN PRINCIPAL	9
1. INTRODUCCIÓN	9
2. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL.....	9
3. MARCO NORMATIVO	15
4. ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA	16
4.1. Participantes durante los ensayos de verificación.....	16
4.2. Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones de tipo escalón	16
4.3. Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales en la frecuencia de la red	27
4.4. Determinación del Estatismo Permanente	28
5. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CPF	29
5.1. Determinaciones a partir de los ensayos de tipo escalón	29
5.1.1 Verificación de los aportes de potencia activa.....	29
5.1.2 Cálculo de parámetros de desempeño	30
5.2. Determinaciones a partir de los registros de operación libre.....	37
5.3. Determinación del estatismo permanente	38
5.4. Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control	39
5.5. Resumen de resultados	40
6. CONCLUSIONES	42
ANEXO	43
1. INFORMACIÓN TÉCNICA	43
1.1. Características de los aerogeneradores	43
1.2. Datos técnicos del transformador de bloque.....	45
1.3. Datos técnicos del transformador principal	46
1.4. Datos técnicos del banco de compensación.....	46
1.5. Antecedentes de red colectora	47

2. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS	48
CHECKLIST DE PRUEBAS REALIZADAS.....	50
ACTA DE PRUEBAS.....	51

Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Despacho de potencia activa para los ensayos de CPF.....	16
Tabla 2. Aportes de potencia ante escalones de frecuencia para una banda muerta configurada en ± 25 mHz.	28
Tabla 3. Resumen de aportes $E = 2\%$, escalones de 200 mHz.....	29
Tabla 4. Resumen de aportes $E = 2\%$, escalones de 700 mHz.....	29
Tabla 5. Resumen de aportes $E = 4\%$, escalones de 200 mHz.....	29
Tabla 6. Resumen de aportes $E = 4\%$, escalones de 700 mHz.....	30
Tabla 7. Resumen de aportes $E = 7.69\%$, escalones de 200 mHz.	30
Tabla 8. Resumen de aportes $E = 7.69\%$, escalones de 700 mHz.	30
Tabla 9. Tiempos asociados para $E = 2\%$ y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.	31
Tabla 10. Parámetros de desempeño para $E = 2\%$ y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.	32
Tabla 11. Tiempos asociados para $E = 4\%$ y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.	32
Tabla 12. Parámetros de desempeño para $E = 4\%$ y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.	33
Tabla 13. Tiempos asociados para $E = 7.69\%$ y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.....	33
Tabla 14. Parámetros de desempeño para $E = 7.69\%$ y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.	34
Tabla 15. Tiempos asociados para $E = 2\%$ y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.....	34
Tabla 16. Parámetros de desempeño para $E = 2\%$ y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.	35
Tabla 17. Tiempos asociados para $E = 4\%$ y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.....	35
Tabla 18. Parámetros de desempeño para $E = 4\%$ y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.	36
Tabla 19. Tiempos asociados para $E = 7.69\%$ y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.	36
Tabla 20. Parámetros de desempeño para $E = 7.69\%$ y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.....	37
Tabla 21. Cálculo de estatismo permanente.	39
Tabla 22. Rango de ajuste de parámetros CPF.....	39
Tabla 23. Tabla de resultados CPF escalones ± 0.2 Hz.	40
Tabla 24. Tabla de resultados CPF escalones ± 0.7 Hz.	41
Tabla 25. Características eléctricas del sistema colector de MT.	47
Gráfico 1. Diagrama Unilineal de interconexión con el sistema.....	10

Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Tolpán Sur 33kV.	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. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =2%_DB = 25 mHz_ΔF = -200 mHz.	17
Gráfico 7. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =2%_DB = 25 mHz_ΔF = +200 mHz.	17
Gráfico 8. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =2%_DB = 25 mHz_ΔF = -700 mHz.	17
Gráfico 9. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =2%_DB = 25 mHz_ΔF = +700 mHz.	18
Gráfico 10. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =4%_DB = 25 mHz_ΔF = -200 mHz.	18
Gráfico 11. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	18
Gráfico 12. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	18
Gráfico 13. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	19
Gráfico 14. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	19
Gráfico 15. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	19
Gráfico 16. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	19
Gráfico 17. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	20
Gráfico 18. Respuesta CPF_42 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	20
Gráfico 19. Respuesta CPF_42 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	20
Gráfico 20. Respuesta CPF_42 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	20
Gráfico 21. Respuesta CPF_42 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	21
Gráfico 22. Respuesta CPF_56 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	21
Gráfico 23. Respuesta CPF_56 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	21
Gráfico 24. Respuesta CPF_56 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	21
Gráfico 25. Respuesta CPF_56 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	22
Gráfico 26. Respuesta CPF_70 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	22
Gráfico 27. Respuesta CPF_70 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	22
Gráfico 28. Respuesta CPF_70 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	22
Gráfico 29. Respuesta CPF_70 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	23
Gráfico 30. Respuesta CPF_70 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	23
Gráfico 31. Respuesta CPF_70 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	23
Gráfico 32. Respuesta CPF_70 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	23
Gráfico 33. Respuesta CPF_70 MW_ E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	24
Gráfico 34. Respuesta CPF_70 MW_ E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	24
Gráfico 35. Respuesta CPF_70 MW_ E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	24

Gráfico 36. Respuesta CPF_70 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	24
Gráfico 37. Respuesta CPF_70 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	25
Gráfico 38. Interfaz para el ingreso de parámetros de la central.	25
Gráfico 39. Cálculo de aporte PPC PE Tolpán Sur, estatismo 4.0%, P=42 MW y Δf =+700 mHz.....	26
Gráfico 40. Cálculo de aporte PPC PE Tolpán Sur, estatismo 4.0%, P=70 MW y Δf =-700 mHz.....	26
Gráfico 41. CPF_28.35 MW_E = 4%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.....	27
Gráfico 42. CPF_70 MW_E = 4%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.	27
Gráfico 43. Respuesta temporal para escalones de frecuencia con la banda muerta configurada en ± 25 mHz.	28
Gráfico 44. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.....	31
Gráfico 45. Parámetros de desempeño calculados para E = 4% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.....	32
Gráfico 46. Parámetros de desempeño calculados para E = 7.69% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.....	33
Gráfico 47. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.....	34
Gráfico 48. Parámetros de desempeño calculados para E = 4% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.	35
Gráfico 49. Parámetros de desempeño calculados para E = 7.69% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.....	36
Gráfico 50. Verificación de la BM y estatismo, P = 28.35 MW. Registro libre.....	37
Gráfico 51. Verificación de la BM y estatismo, P = 70 MW. Registro libre.	38
Gráfico 52. Esquema de la turbina AW3000.	43
Gráfico 53. Datos nominales del aerogenerador.....	43
Gráfico 54. Curva de capacidad de los aerogeneradores.	44
Gráfico 55. Curva V-Q de los aerogeneradores.	44
Gráfico 56. Hoja de datos de transformador de bloque.	45
Gráfico 57. Placa de datos del transformador principal.	46
Gráfico 58. Características del banco de condensadores.	46

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
0	23/10/2025	CC	FG	FM	Versión inicial del informe.
1	29/10/2025	CC	FG	FM	Atiende comentarios de Acciona.

Sección principal

1. Introducción

En el siguiente informe se describen los resultados obtenidos en los ensayos de verificación del servicio complementario de control primario de frecuencia realizados en el parque eólico Tolpán Sur durante el día 30 de septiembre, 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 Frecuencia" expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional.

2. Descripción de la central

El PE Tolpán Sur se encuentra ubicado 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 33/220 kV. El punto de conexión del PE es mediante la barra de 220 kV de la SE Tolpán 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 Mulchén 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 12/33 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, donde 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 Tolpán 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.

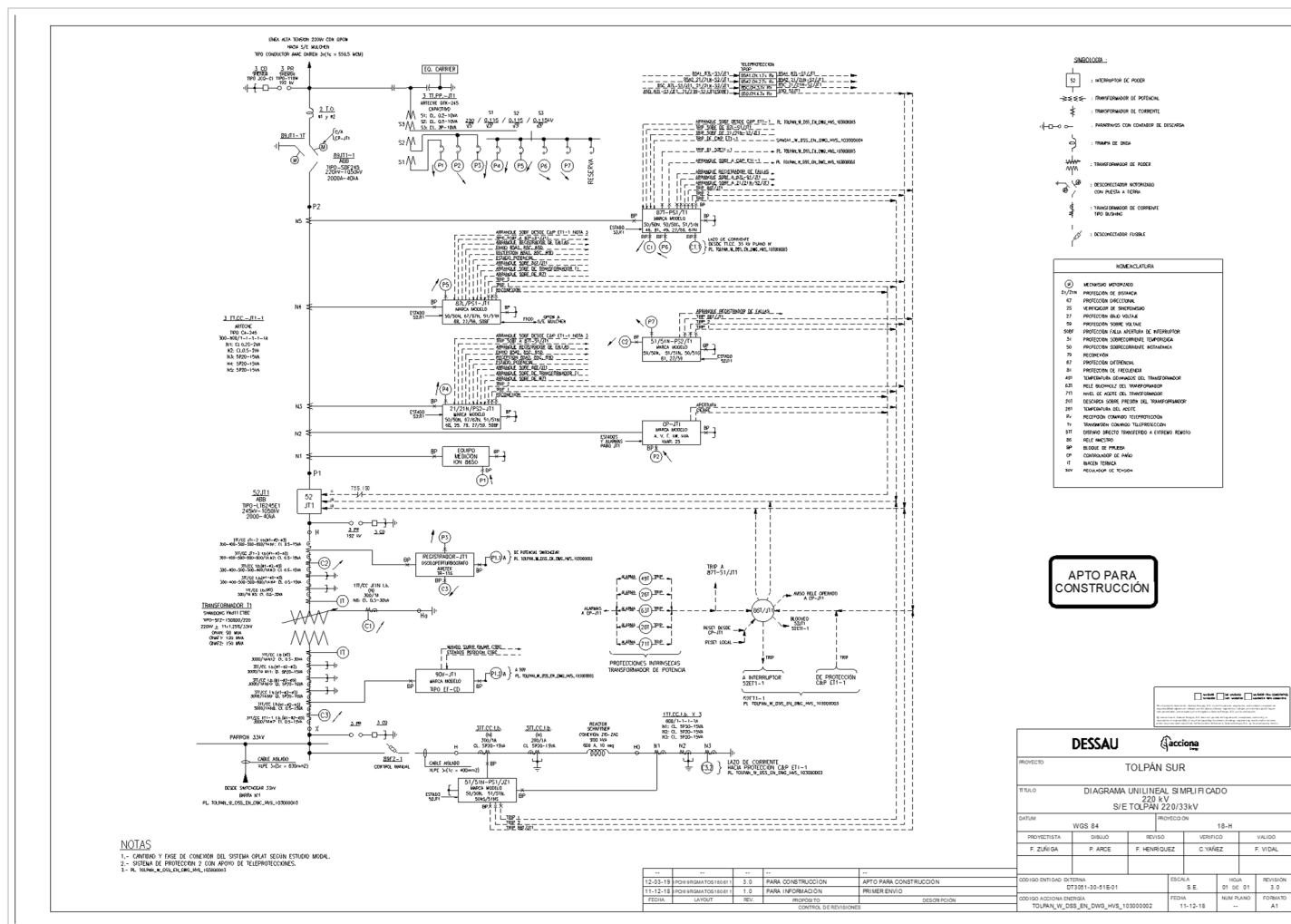


Gráfico 1. Diagrama Unilineal de interconexión con el sistema.

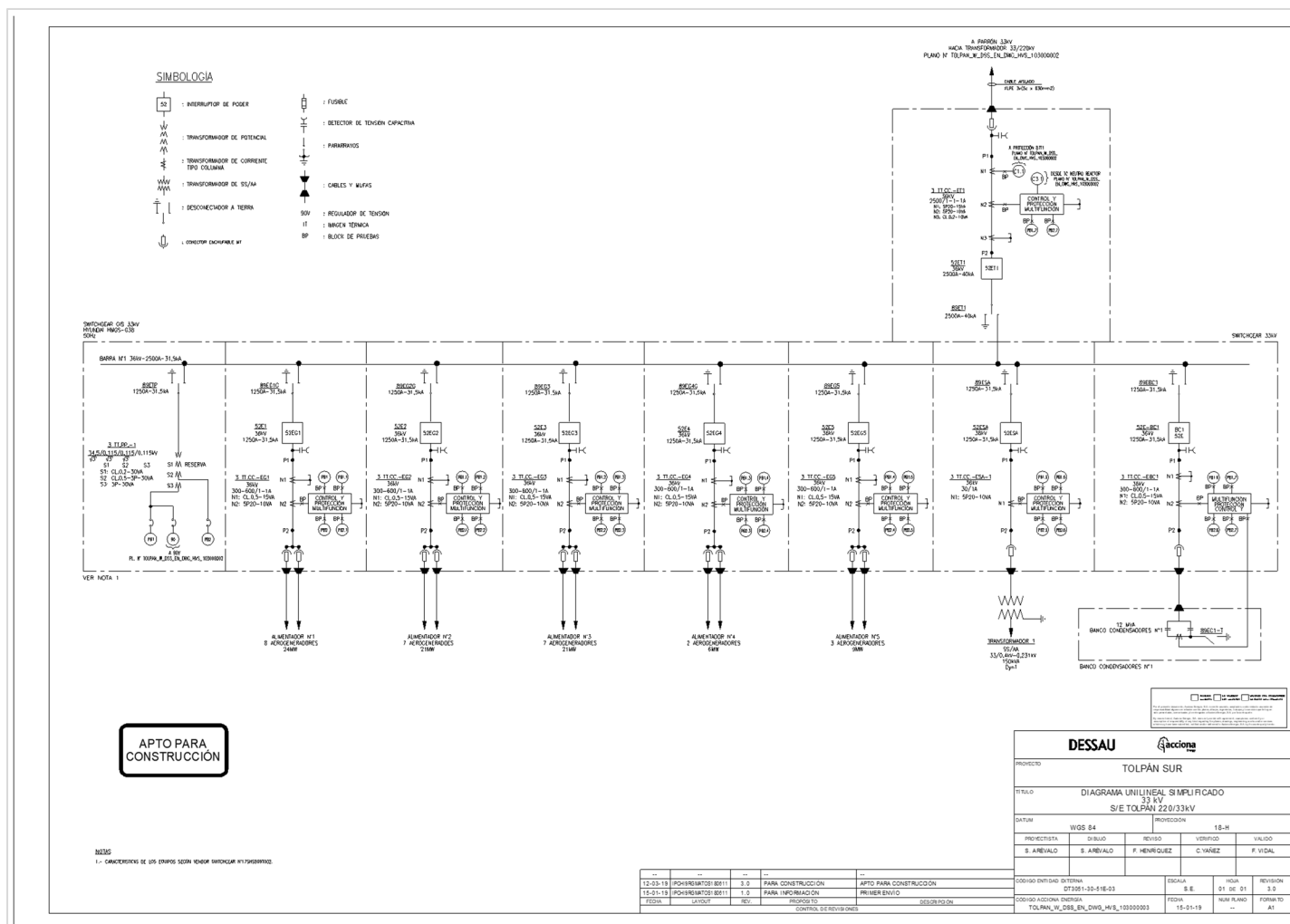


Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Tolpán Sur 33kV.

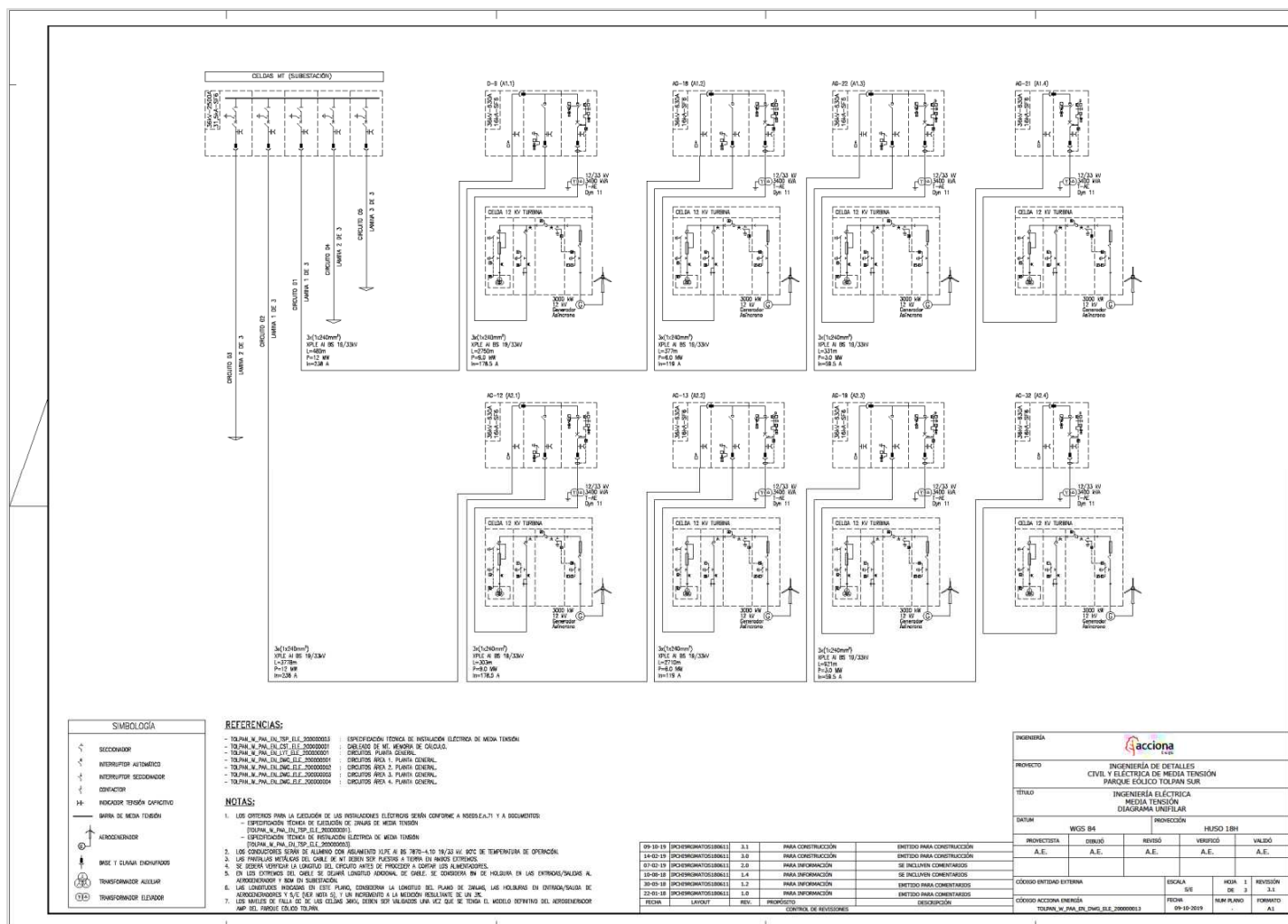
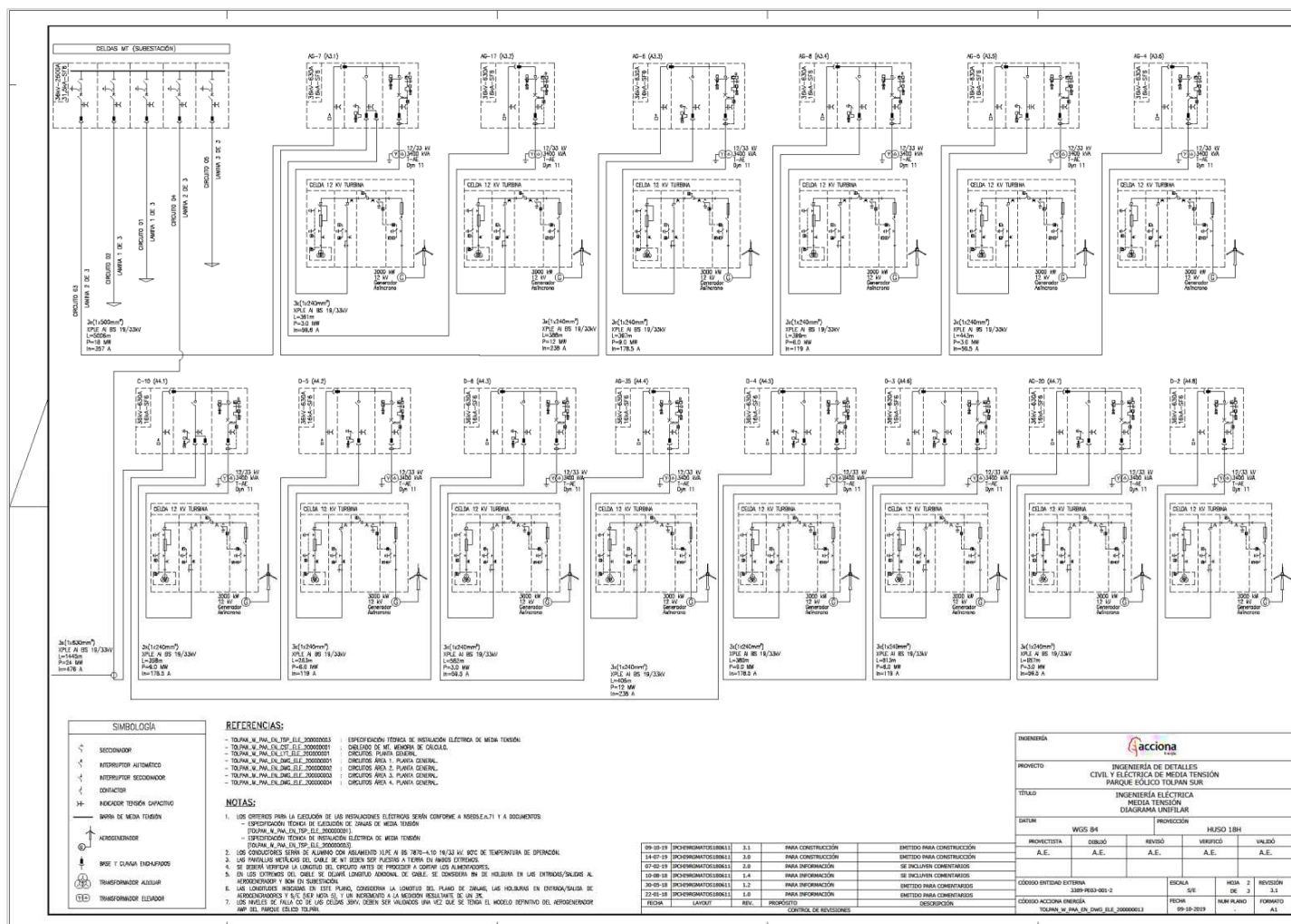


Gráfico 3. Diagrama unilineal de MT – Circuitos 1 y 2.



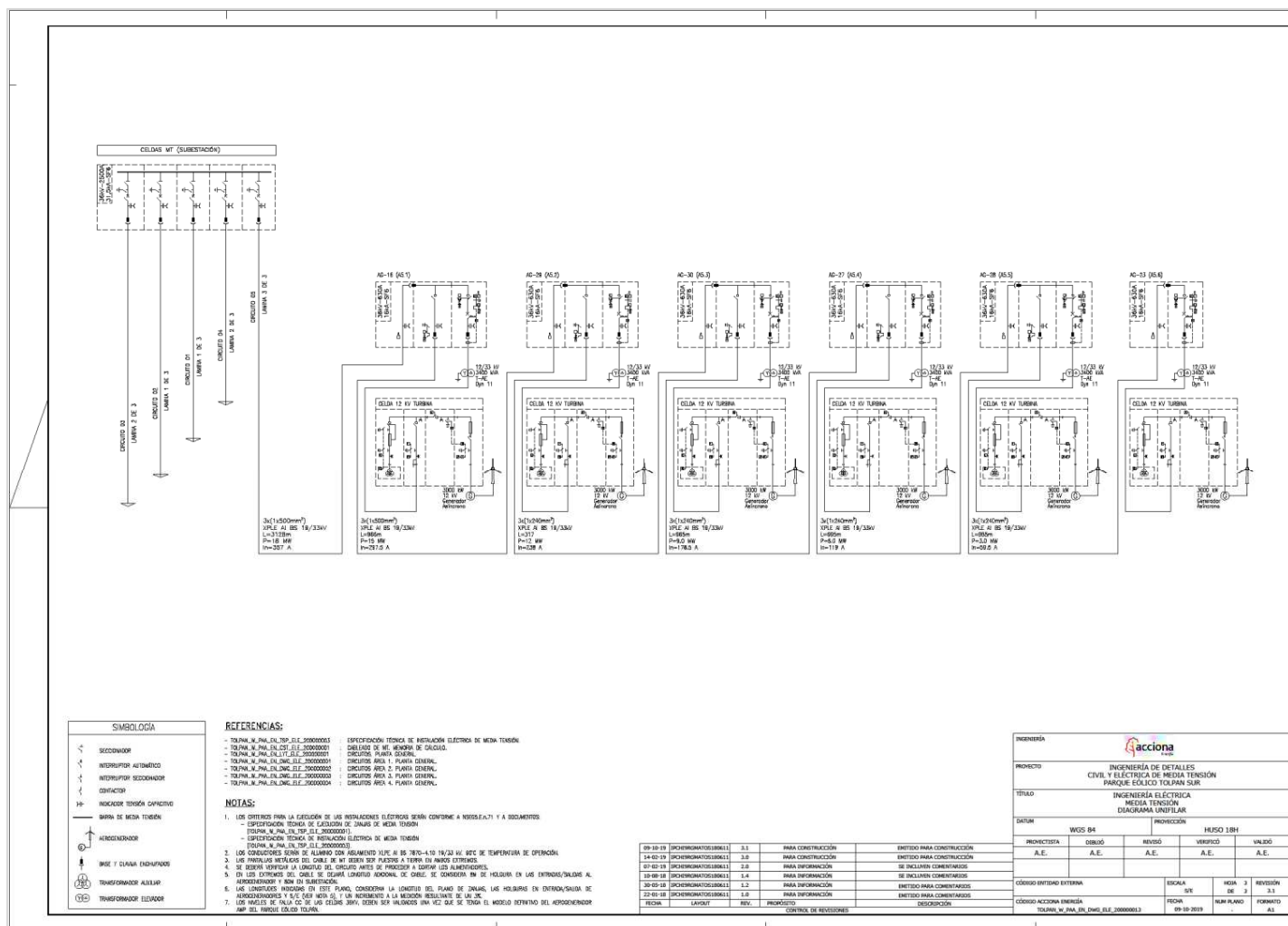


Gráfico 5. Diagrama unilineal de MT – Circuito 5.

3. 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 Frecuencia, a los fines de verificar la prestación del recurso técnico de instalaciones para la prestación del Servicio Complementario de Control Primario de frecuencia (CPF). En particular se revisan, los aspectos aplicables a parques fotovoltaicos, para el servicio complementario de control primario de frecuencia (CPF).

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 potencia/frecuencia cumple con las exigencias mínimas de desempeño estático y dinámico definidos en el Artículo 3-17 de la NTSyCS.
- La instalación dispone de los equipos para un adecuado monitoreo de la disponibilidad y desempeño del SC CPF, de acuerdo con lo indicado en los Artículos 4-17 y 4-27 de la NTSyCS.
- Verificar la respuesta del sistema de control potencia/frecuencia de la instalación.

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

- Medir el estatismo permanente del lazo automático de control potencia/frecuencia.
- Medir la mínima y máxima banda muerta del controlador potencia/frecuencia.
- Medir el tiempo de establecimiento del lazo de control de frecuencia frente a un pequeño escalón en la consigna de frecuencia.
- Verificar la capacidad de tomar o reducir carga, en forma automática ante distintas variaciones de frecuencia.

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 SSCC de CPF por parte del PE Tolpán Sur.

4. Ensayos de verificación del control primario de frecuencia

4.1. Participantes durante los ensayos de verificación

Los participantes durante los ensayos de verificación de control de frecuencia del PE Tolpán Sur se listan a continuación:

- **Luis Valenzuela Díaz:** Responsable de Instrumentación, Control y Protecciones, de parte del coordinado Acciona, se encargó de las coordinaciones y la supervisión de los ensayos.
- **Carlos Lange Verdugo:** Responsable de Instrumentación, Control y Protecciones de parte del coordinado Acciona, se encargó del ingreso de los distintos setpoints durante la prueba en función de la instrucción por parte del personal de la consultora GME y de las comunicaciones con el Centro de Despacho de Carga del Coordinador.
- **Benjamín Gálvez:** Junior Analyst, por el lado de la consultora GME, se encargó de la instrucción de los distintos setpoint y configuraciones necesarias para el desarrollo de los ensayos bajo la supervisión del Experto Técnico.
- **Francisco Guerra:** Power System Control Testing Leader, del lado de la consultora GME, en carácter de Experto técnico se encargó de la supervisión de los ensayos de verificación.

El objetivo de los ensayos es verificar la respuesta de la planta ante variaciones rápidas y pequeñas de la frecuencia y convalidar que el error de estado permanente esté dentro de los márgenes tolerados una vez alcanzada la nueva condición de equilibrio, conforme a las exigencias establecidas en el TITULO 3-3 de la NT SSCC.

Para la realización de estas pruebas, se trabajó con los siguientes despachos de potencia activa:

Tabla 1. Despacho de potencia activa para los ensayos de CPF.

Despacho	P [MW]
P1_CPF	28.35
P2_CPF	42
P3_CPF	56
P4_CPF	70

4.2. Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones de tipo escalón

A fin de verificar el cumplimiento de lo establecido por la Guía Técnica, se verifica la respuesta del PE Tolpán Sur ante variaciones rápidas de frecuencia.

Cada uno de los ensayos se compone de dos (2) escalones de frecuencia; escalones de signo positivo y negativo de 0.2 Hz y, por otro lado, escalones de signo positivo y negativo de 0.7 Hz.

Los ensayos se realizan en cada uno de los niveles de potencia especificados en la Tabla 1, con un estatismo mínimo según norma (2%), el estatismo configurado en su valor actual (4%), y el estatismo máximo según la normativa vigente (7.69%). Además, se ajustó la banda muerta a un valor de ± 25 mHz para el desarrollo de estas pruebas.

Los escalones de frecuencia se ingresaron en el sistema de control a partir de la habilitación del modo prueba, en el cual se introduce un error en la medición de frecuencia con lo cual se simulan los escalones requeridos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

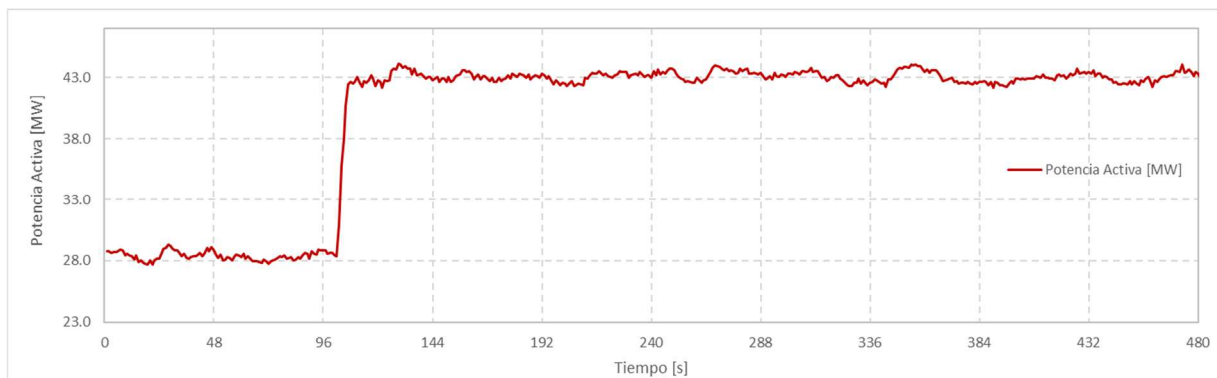


Gráfico 6. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ΔF = -200 mHz.

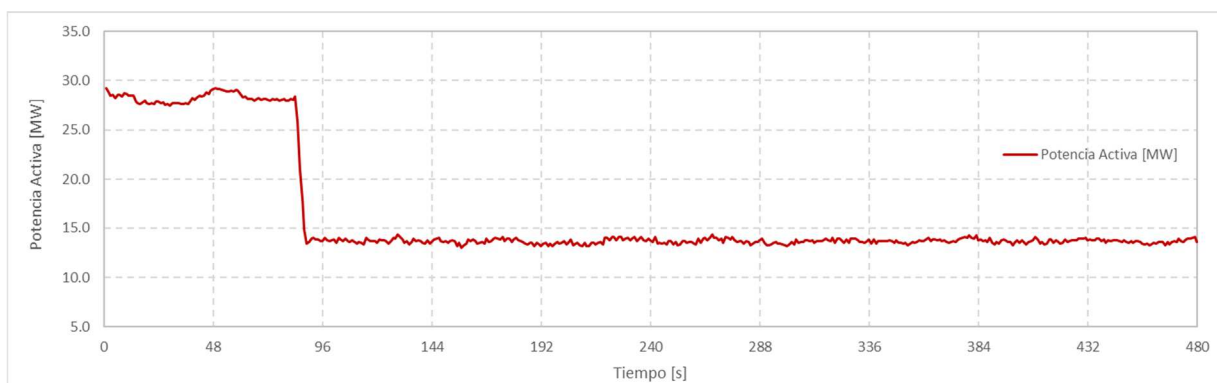


Gráfico 7. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ΔF = +200 mHz.

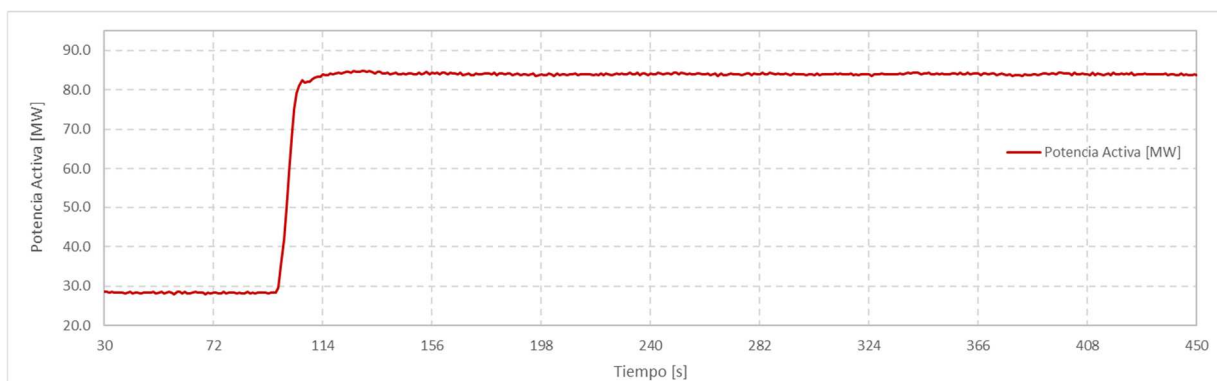


Gráfico 8. Respuesta CPF_28.35 MW_ E = 2%_DB = 25 mHz_ΔF = -700 mHz.

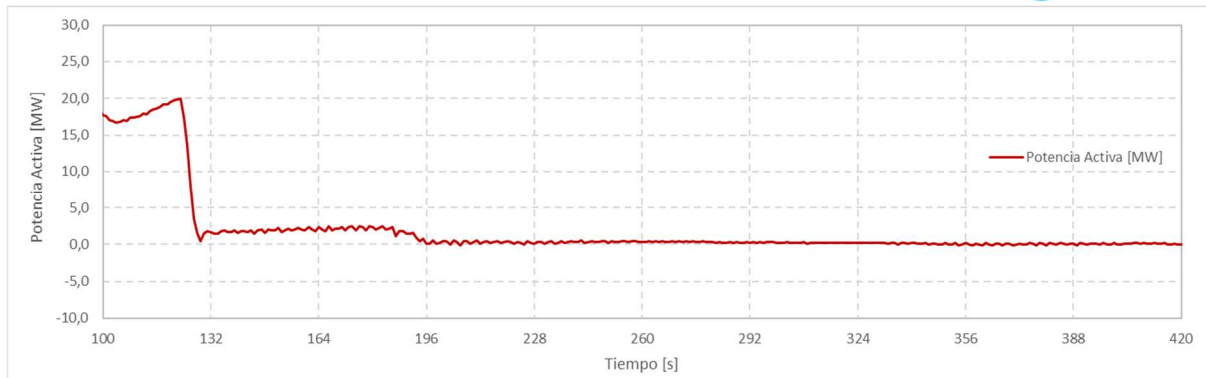


Gráfico 9. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =2%_DB = 25 mHz_ΔF = +700 mHz.

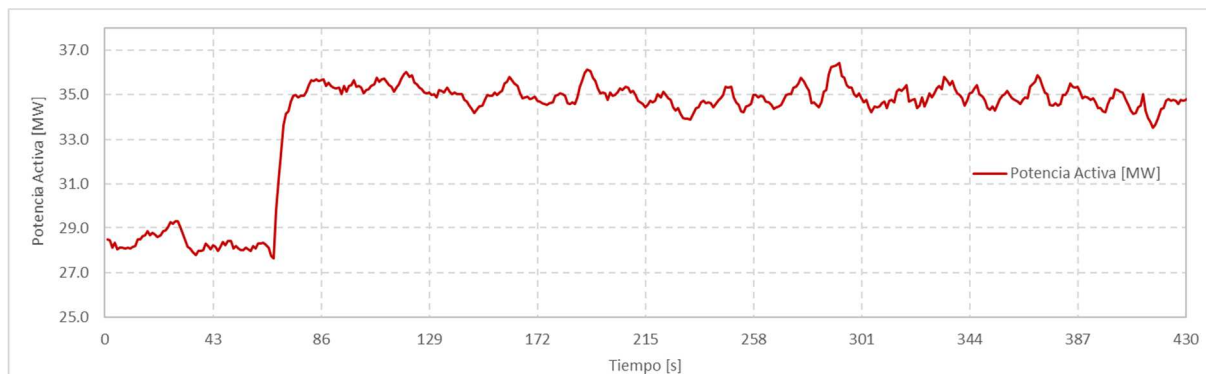


Gráfico 10. Respuesta CPF_28.35 MW_ E =4%_DB = 25 mHz_ΔF = -200 mHz.

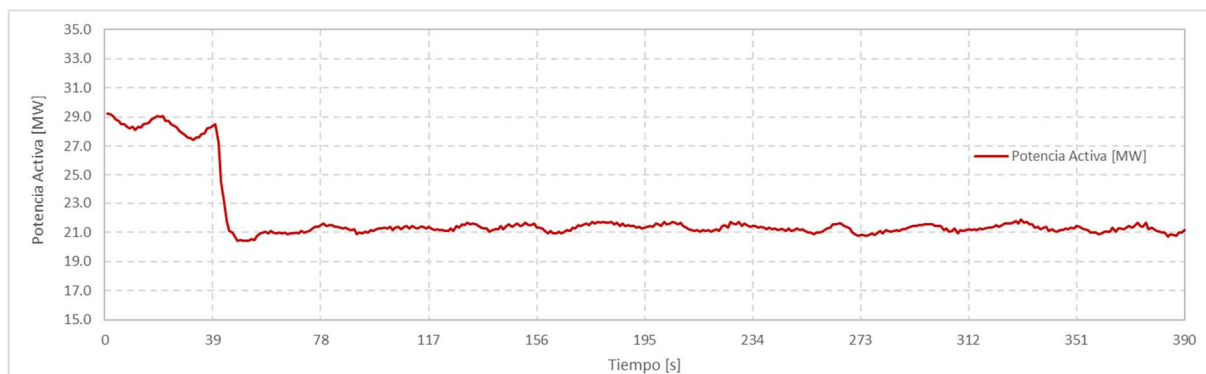


Gráfico 11. Respuesta CPF_28.35 MW_E =4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

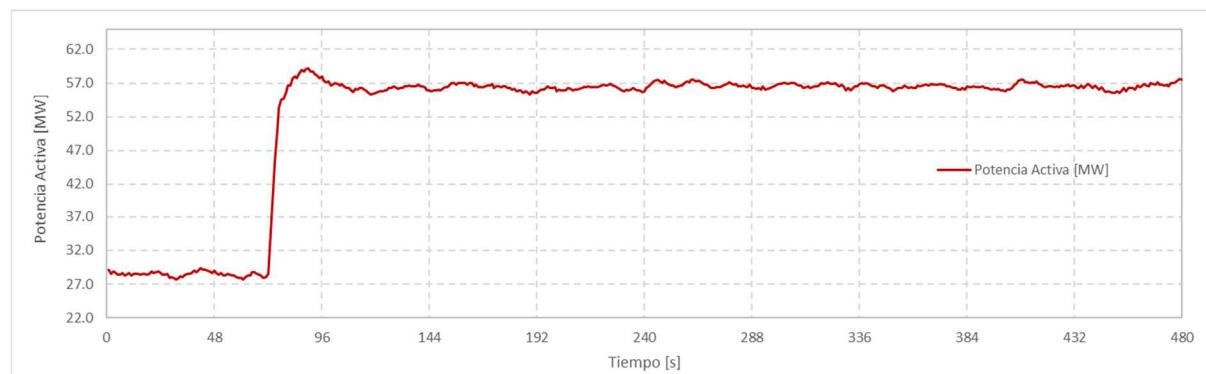


Gráfico 12. Respuesta CPF_28.35 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

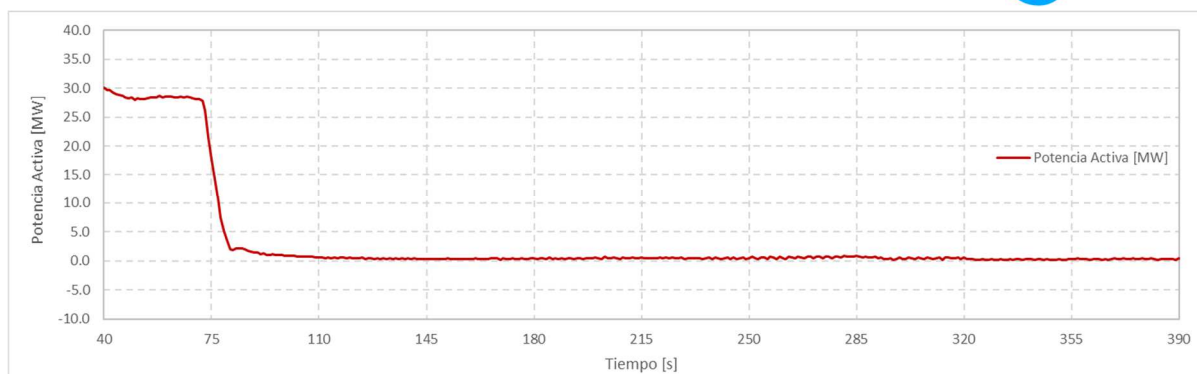


Gráfico 13. Respuesta CPF_28.35 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

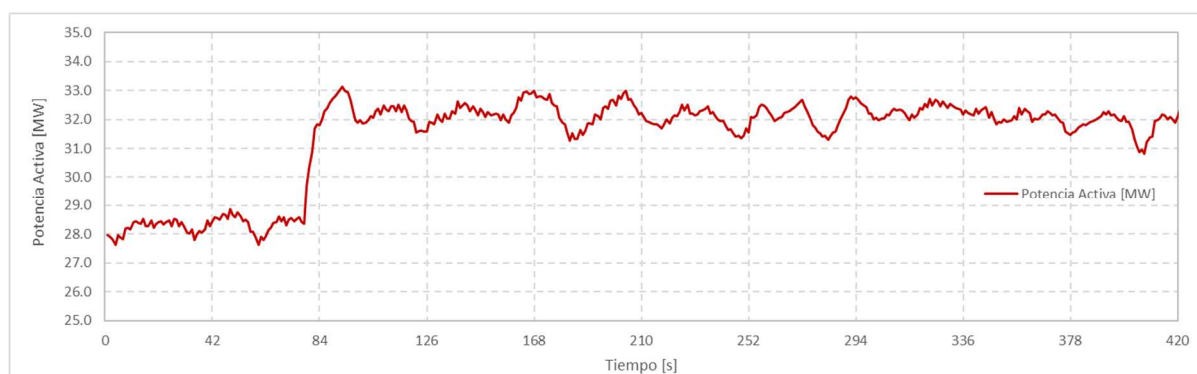


Gráfico 14. Respuesta CPF_28.35 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

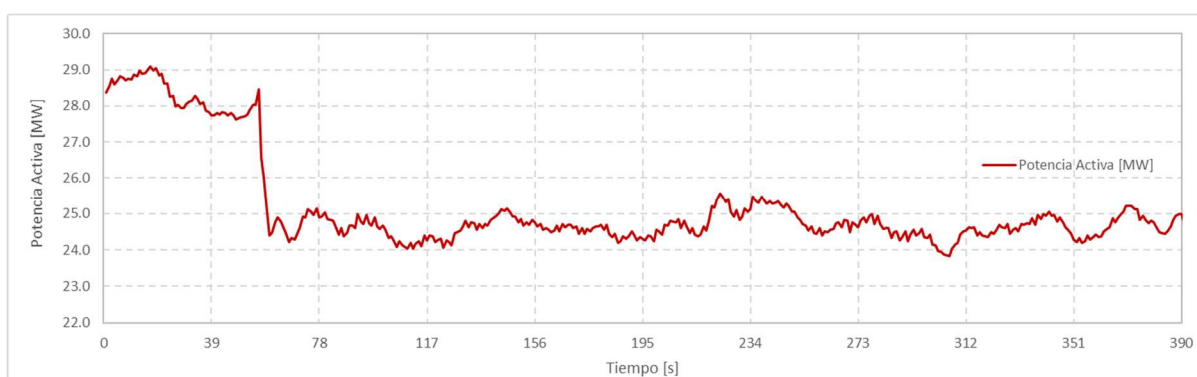


Gráfico 15. Respuesta CPF_28.35 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

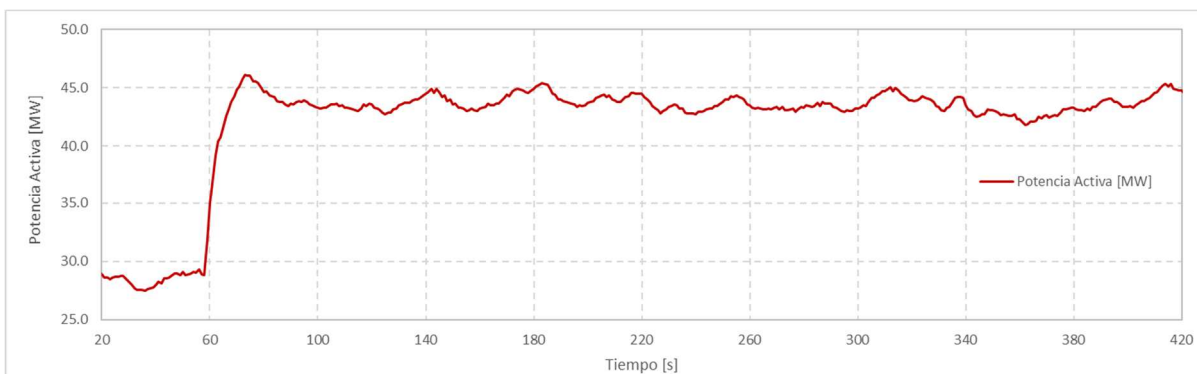


Gráfico 16. Respuesta CPF_28.35 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

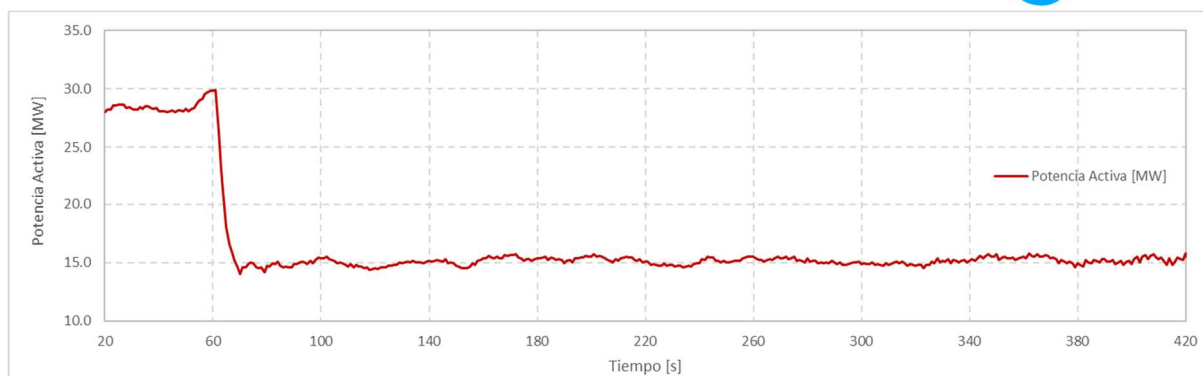


Gráfico 17. Respuesta CPF_28.35 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

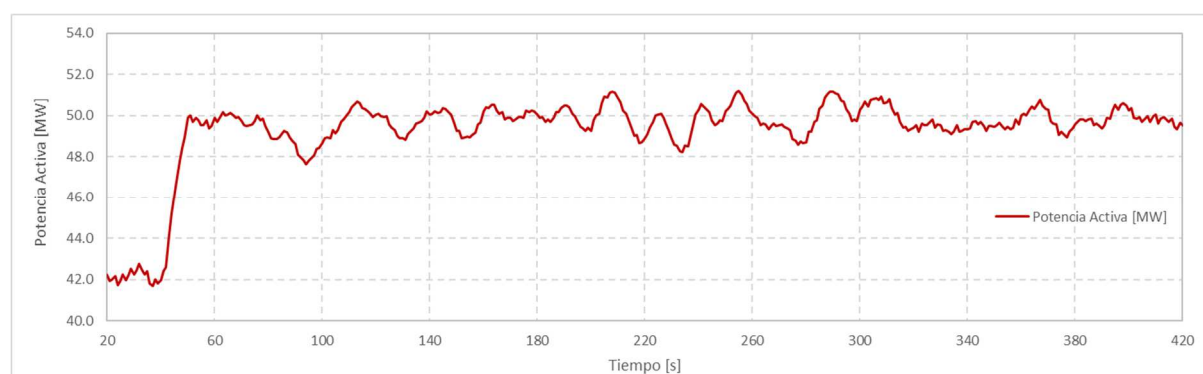


Gráfico 18. Respuesta CPF_42 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

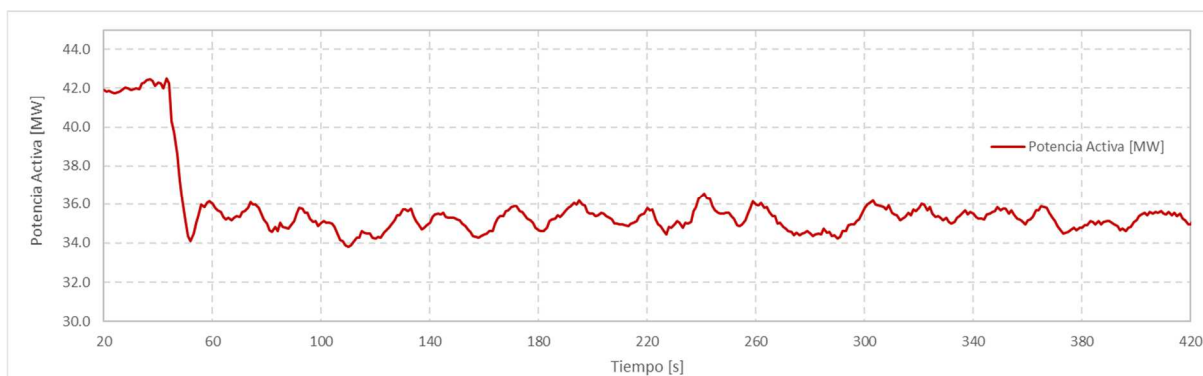


Gráfico 19. Respuesta CPF_42 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

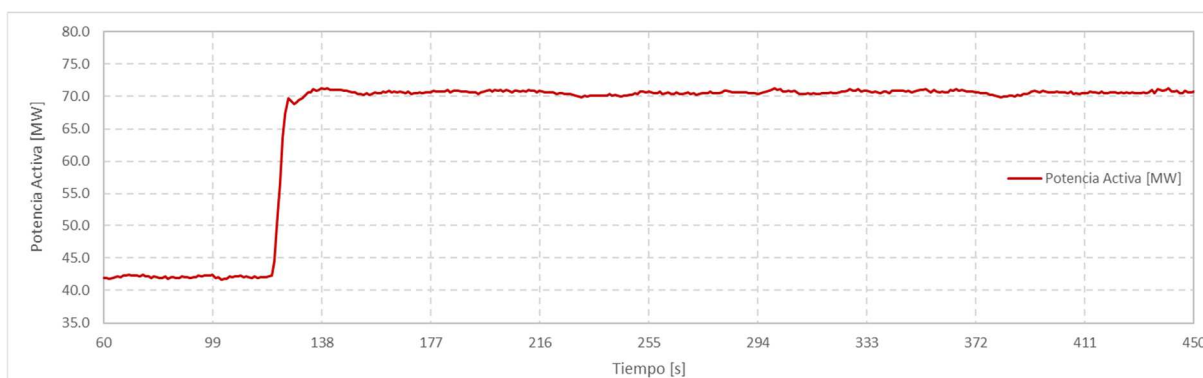
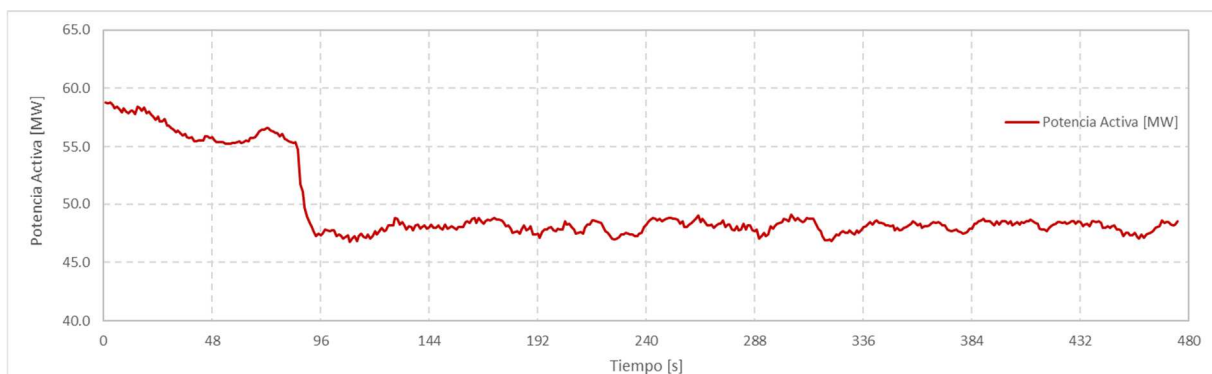
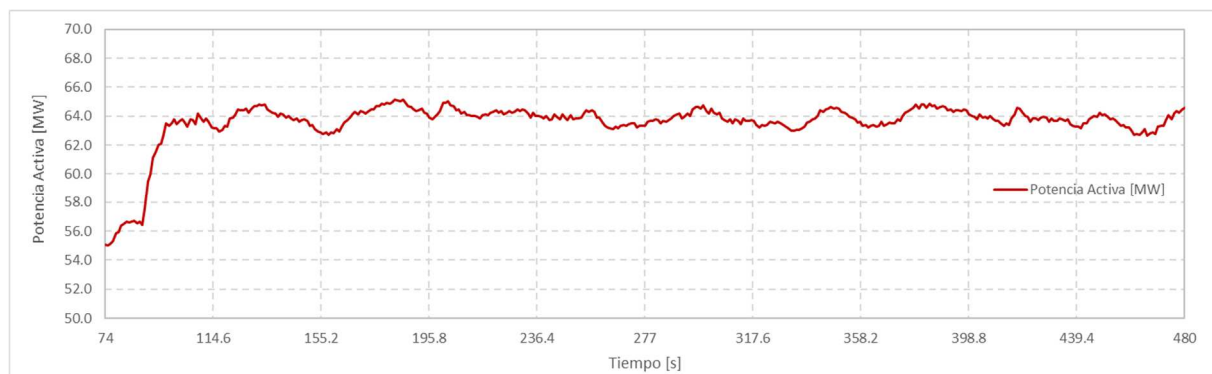
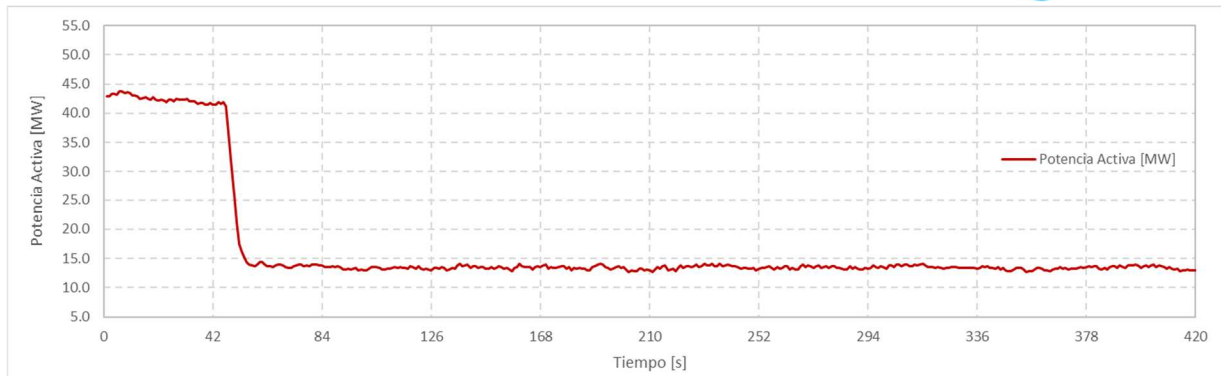


Gráfico 20. Respuesta CPF_42 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.



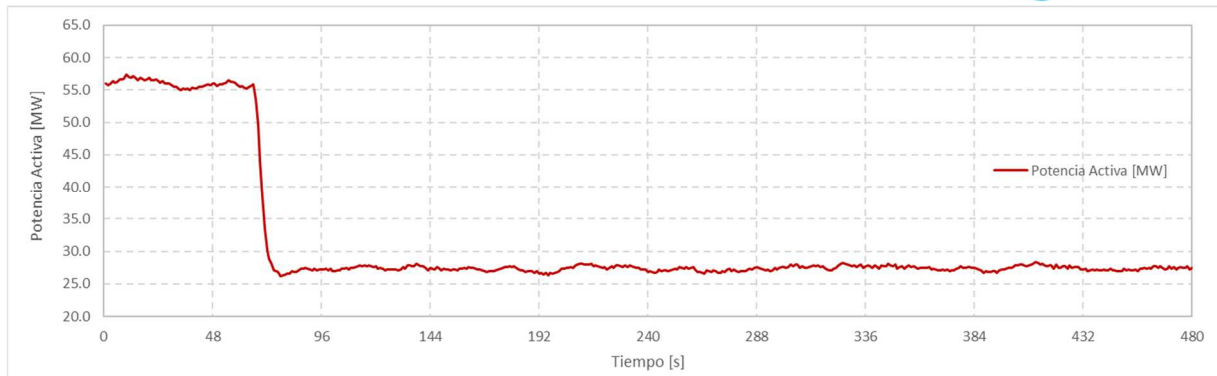


Gráfico 25. Respuesta CPF_56 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

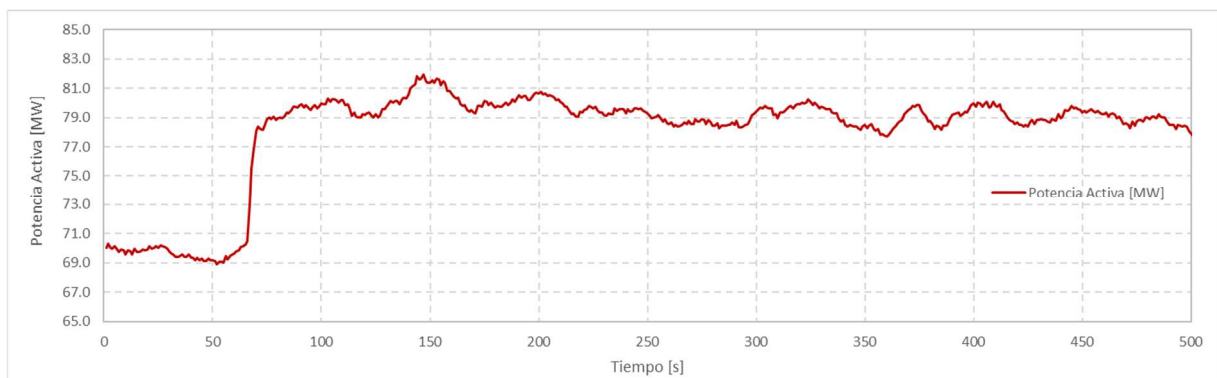


Gráfico 26. Respuesta CPF_70 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

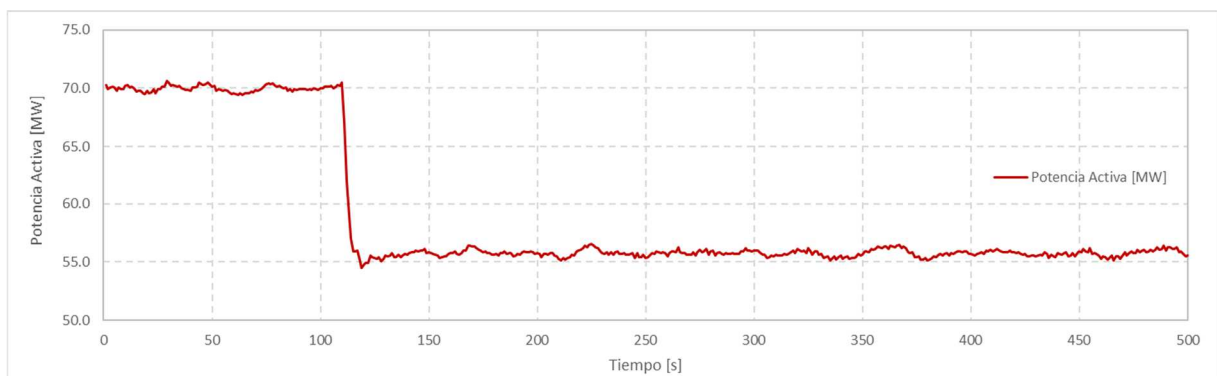


Gráfico 27. Respuesta CPF_70 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

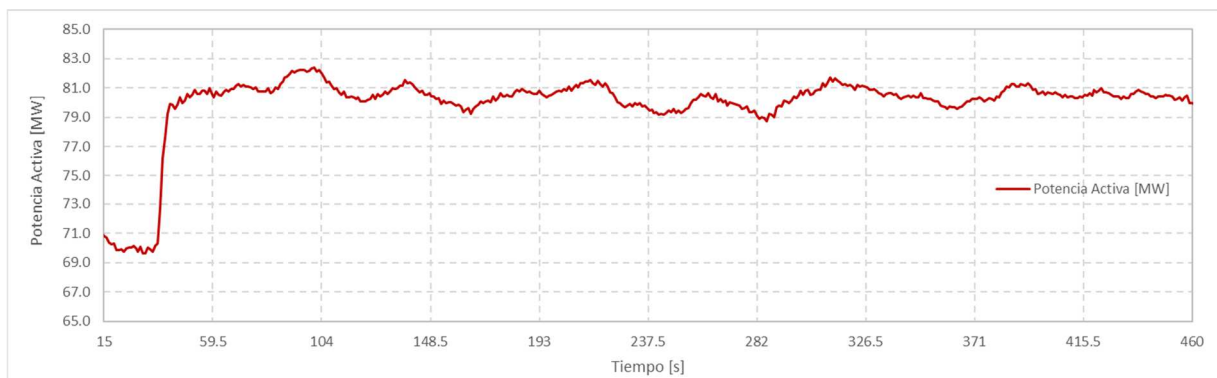


Gráfico 28. Respuesta CPF_70 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

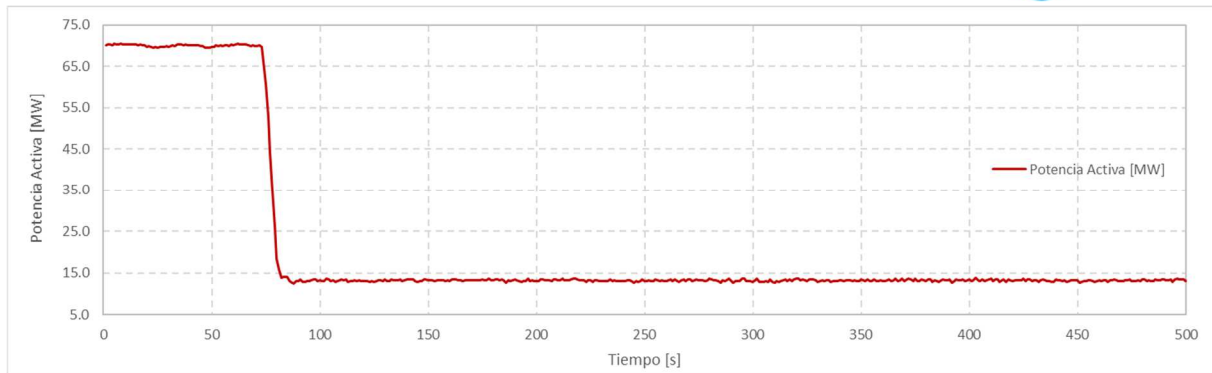


Gráfico 29. Respuesta CPF_70 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

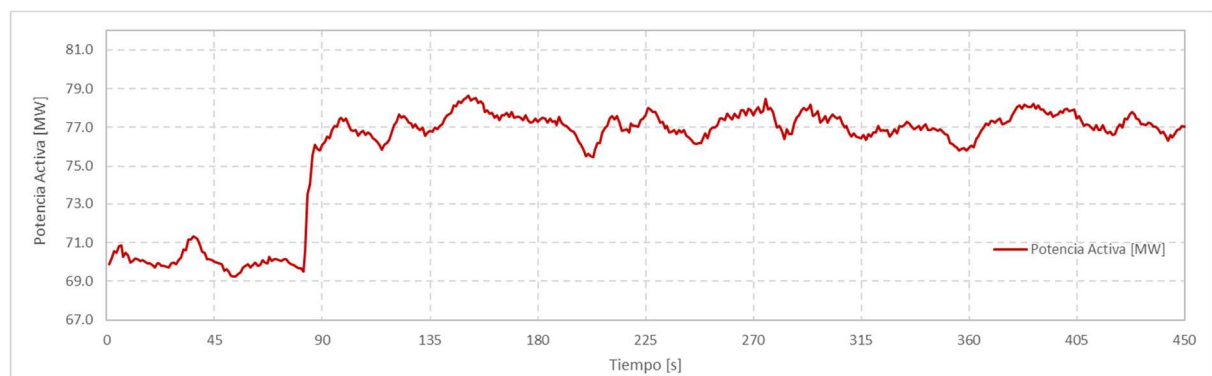


Gráfico 30. Respuesta CPF_70 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

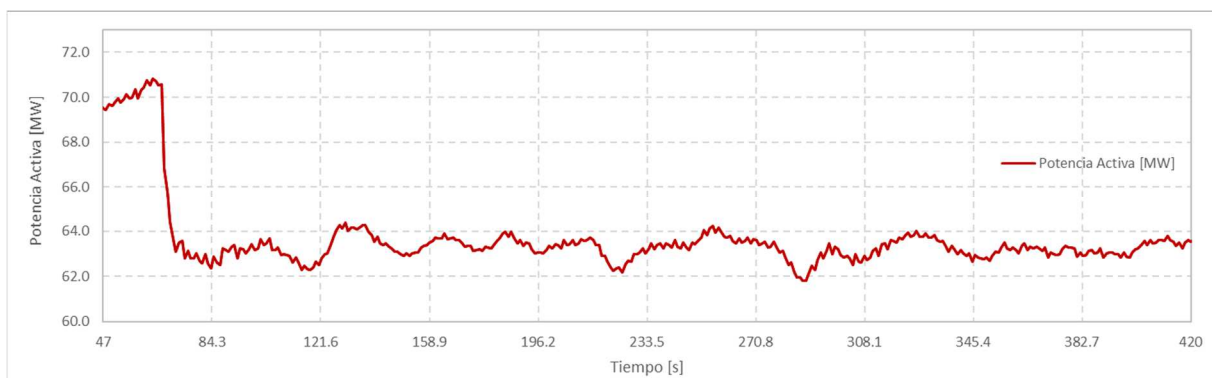


Gráfico 31. Respuesta CPF_70 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

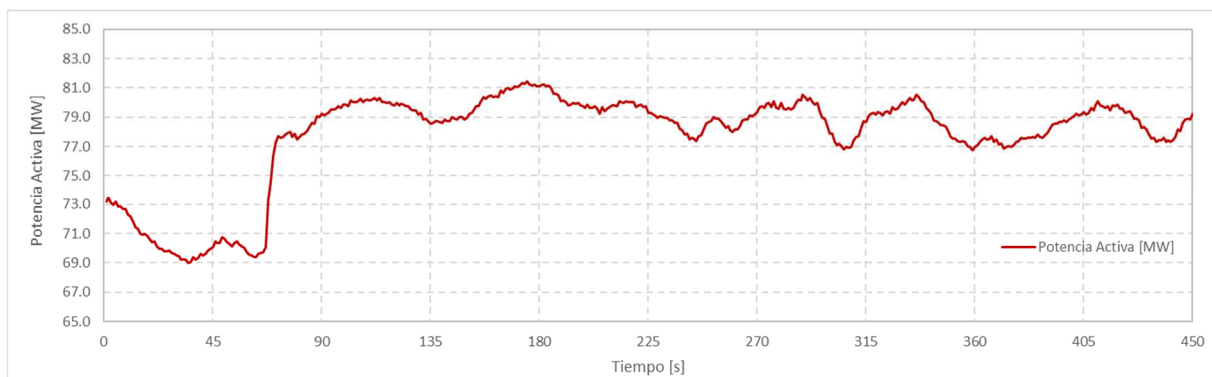


Gráfico 32. Respuesta CPF_70 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

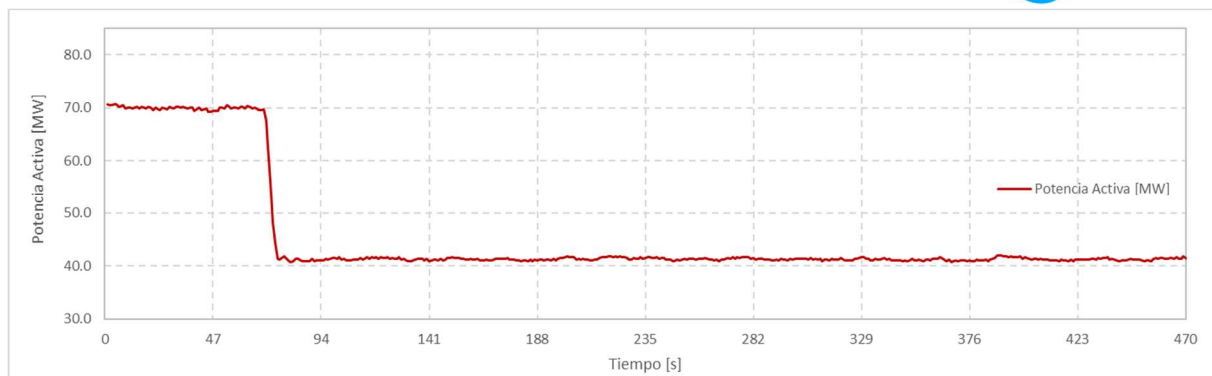


Gráfico 33. Respuesta CPF_70 MW_E = 4%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

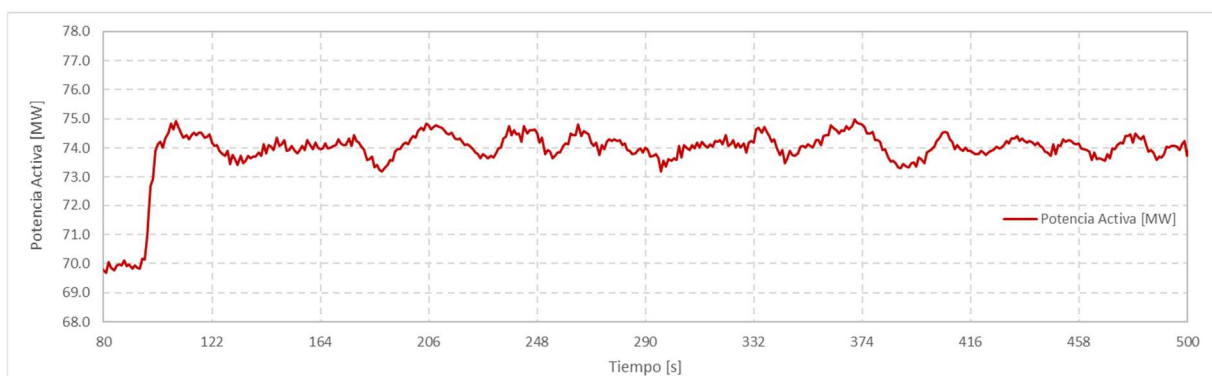


Gráfico 34. Respuesta CPF_70 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

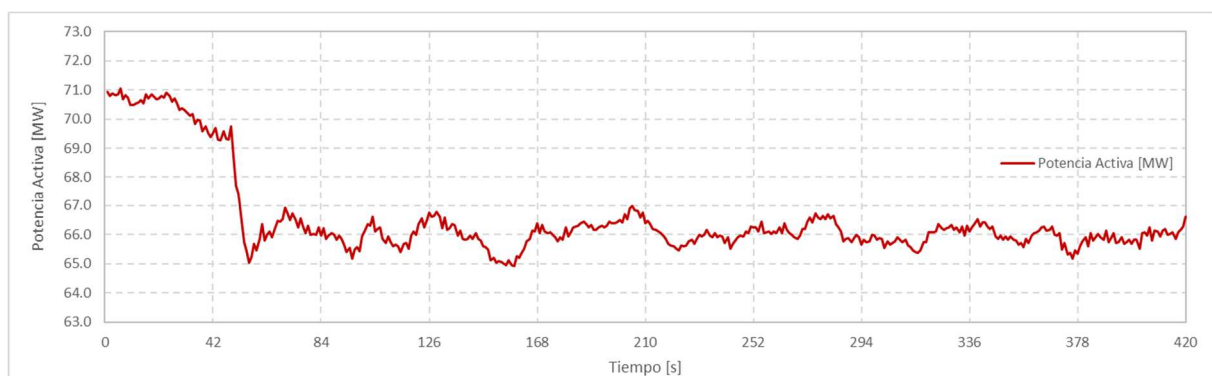


Gráfico 35. Respuesta CPF_70 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

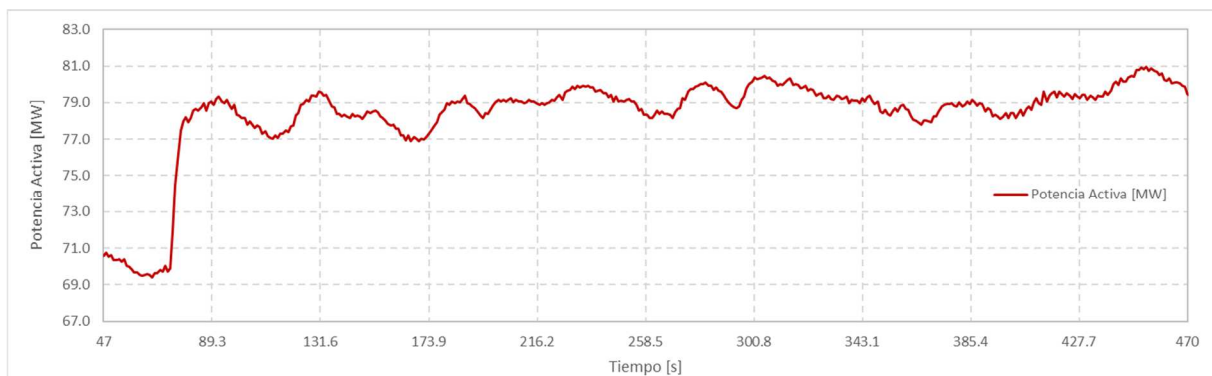


Gráfico 36. Respuesta CPF_70 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

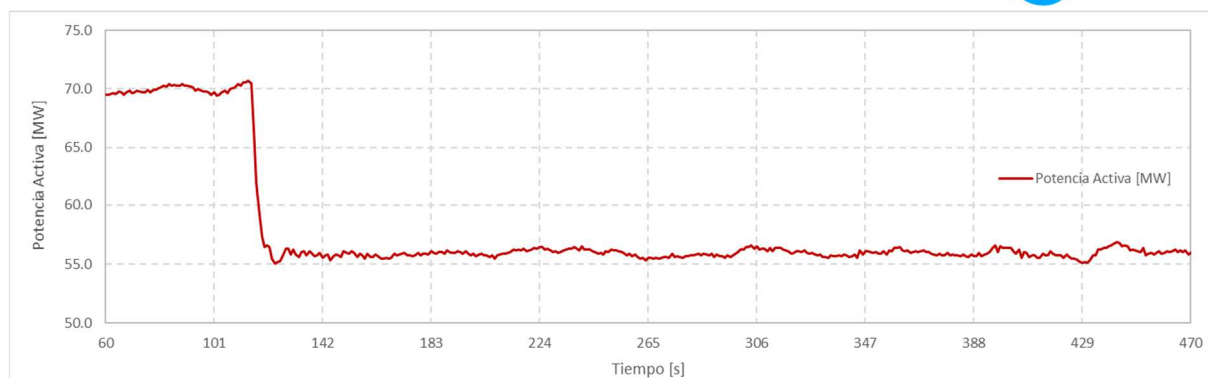


Gráfico 37. Respuesta CPF_70 MW_E = 7.69%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

De los gráficos anteriores se observa que la variación de potencia activa responde al estatismo configurado en cada caso. Se observa, además que en los 5 minutos de aplicación del escalón la potencia aportada se mantiene estable. Sin embargo, algunos de los escalones no cumplen con el estatismo configurado y no cuentan con estabilidad, esto se debe a la disponibilidad de recurso y el mínimo técnico de la central, se presenta en los gráfico, Gráfico 9, Gráfico 13, Gráfico 24, Gráfico 26, Gráfico 28, Gráfico 32 y Gráfico 36, por otro lado, la respuesta corresponde al signo correcto para estos escalones. Resulta importante mencionar que el sistema de control solo permite ingresar valores de K enteros, por lo cual, el estatismo utilizado corresponde a un K=13 (R=7.69%) para no superar el 8% establecido en la NTSyCS (ver Gráfico 38). Si bien la falta de recurso primario no permitió obtener la respuesta completa de los escalones de potencia activa, es importante mencionar que en los casos anteriores el PPC entrega como setpoint la potencia máxima disponible. Lo anterior se puede ver en el Gráfico 40.



Frecuencia		
<input type="checkbox"/> Activo	<input type="checkbox"/> No Listo	
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	50200	50200 mHz f6
Sobre Frecuencia	50200	50200 mHz f9
Sub Frecuencia	49800	49800 mHz f4
Frecuencia Descon	52000	52000 mHz f1
Sobre Frecuencia	52000	52000 mHz f1
Sub Frecuencia	47000	47000 mHz f1

Gráfico 38. Interfaz para el ingreso de parámetros de la central.

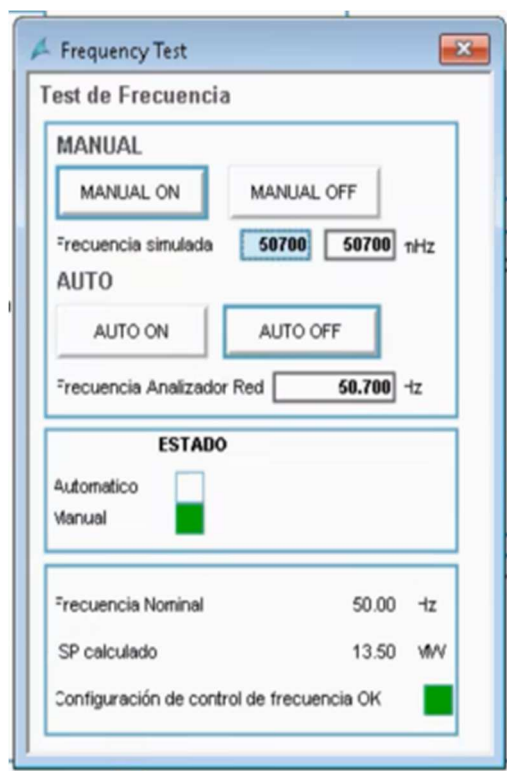


Gráfico 39. Cálculo de aporte PPC PE Tolpán Sur, estatismo 4.0%, P=42 MW y $\Delta f = +700$ mHz.

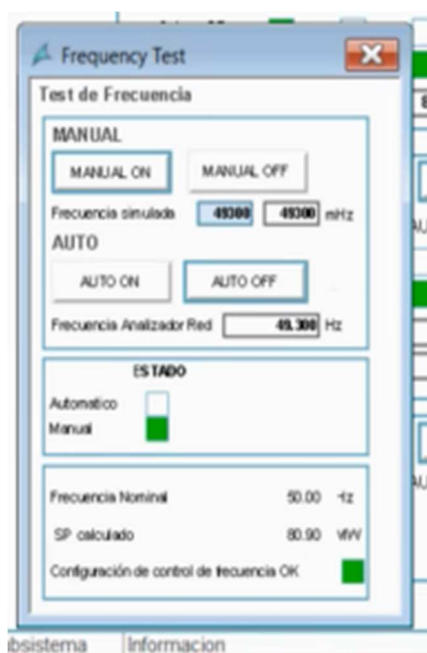


Gráfico 40. Cálculo de aporte PPC PE Tolpán Sur, estatismo 4.0%, P=70 MW y $\Delta f = -700$ mHz.

4.3. Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales en la frecuencia de la red

Operando el PE en los niveles P1_CPF y P4_CPF, mostrados en la Tabla 1, se realiza un registro de la respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales de la frecuencia de la red. Las pruebas consisten en registrar la evolución de la potencia activa en función de la frecuencia de la red durante un plazo de 20 minutos. Durante estas pruebas se considera la banda muerta ajustada a ± 25 mHz (línea roja segmentada) y el estatismo en su valor actual de 4%.

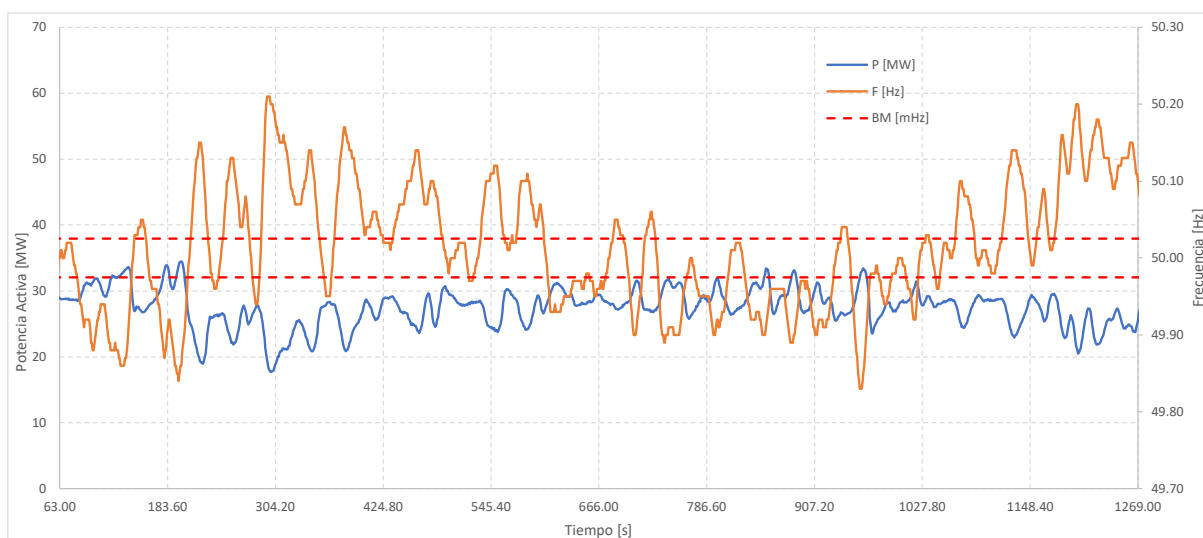


Gráfico 41. CPF_28.35 MW_E = 4%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.



Gráfico 42. CPF_70 MW_E = 4%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.

De los gráficos anteriores puede observarse que la respuesta es adecuada mostrándose el efecto espejo esperado entre la frecuencia y la potencia activa.

4.4. Determinación del Estatismo Permanente

En esta sección con la banda muerta configurada en 25 mHz, valor requerido por el CEN en esta ocasión, se aplican escalones de 49.975 Hz, 49.8 Hz, 50.0 Hz, 50.025 Hz, 50.2 Hz, 50.4 Hz, 50.0 Hz con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del estatismo configurado. A continuación, se muestra el resultado obtenido:

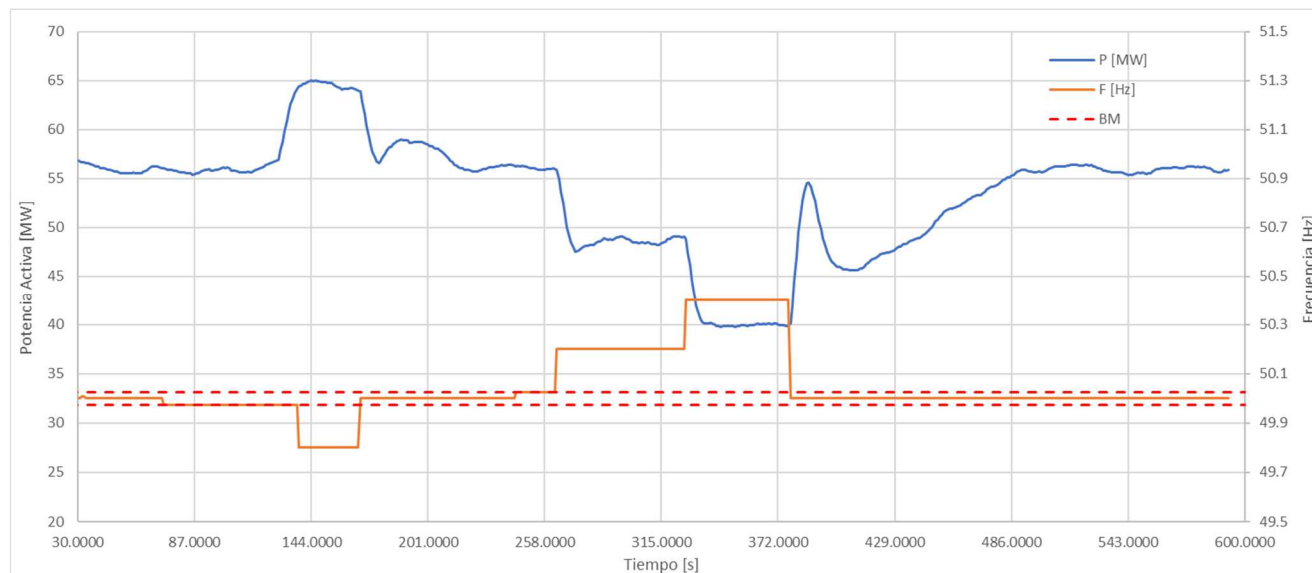


Gráfico 43. Respuesta temporal para escalones de frecuencia con la banda muerta configurada en ± 25 mHz.

En la siguiente tabla se muestran los aportes de potencia activa:

Tabla 2. Aportes de potencia ante escalones de frecuencia para una banda muerta configurada en ± 25 mHz.

t [s]	F [Hz]	P [MW]
0	50.00	55.4
28	49.975	55.9
94	49.800	64.4
124	50.000	56.4
200	50.025	56.8
220	50.200	48.5
283	50.400	40.3
334	50.000	55.9

Del ensayo se observa que para escalones dentro de la banda muerta la potencia se mantiene invariante y del mismo modo se observa la variación de la potencia activa para los escalones por fuera de la banda muerta y con esto se verifica la correcta operación de esta.

5. Análisis de los ensayos de verificación de CPF

En las siguientes secciones se evalúan distintos parámetros de performance del control primario de frecuencia en función de los ensayos de verificación del SSCC de CPF realizado.

5.1. Determinaciones a partir de los ensayos de tipo escalón

5.1.1 Verificación de los aportes de potencia activa

A partir de los ensayos de tipo escalón (ver sección 4.1), se calcula el aporte de potencia en cada caso y se los compara con el monto teórico calculado en función del despacho de potencia, el estatismo configurado y escalón de frecuencia aplicado. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resumen de aportes E = 2%, escalones de 200 mHz.

$\Delta F = - 0.2$ [Hz]						$\Delta F = + 0.2$ [Hz]				
Despacho inicial teórico [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]
70.00	14.70	69.98	9.00	7.36	8.32	-14.70	70.46	-14.30	-15.71	-14.51
28.35	14.70	28.39	14.74	14.19	14.47	-14.70	28.42	-14.65	-14.60	-14.65

Tabla 4. Resumen de aportes E = 2%, escalones de 700 mHz.

$\Delta F = - 0.7$ [Hz]						$\Delta F = + 0.7$ [Hz]				
Despacho inicial teórico [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]
70.00	56.70	70.10	10.50	9.74	10.51	-56.70	69.80	-56.80	-55.72	-56.44
28.35	56.70	28.46	55.65	53.99	55.53	-56.70	19.93	-28.35	-18.45	-20.12

De las tablas anteriores puede verificarse que en principio el aporte resultante coincide en gran medida con el teórico, sin contar los ensayos, en donde, la potencia de la central se ve limitada por la disponibilidad del recurso, verificando así el estatismo de 2% configurado.

Tabla 5. Resumen de aportes E = 4%, escalones de 200 mHz.

$\Delta F = - 0.2$ [Hz]						$\Delta F = + 0.2$ [Hz]				
Despacho inicial teórico [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]
70.00	7.35	69.52	7.09	7.36	8.43	-7.35	70.55	-6.70	-7.78	-7.25
56.00	7.35	56.45	7.90	7.07	7.23	-7.35	55.37	-8.10	-7.89	-7.08
42.00	7.35	41.80	7.90	7.11	7.11	-7.35	42.27	-6.80	-7.24	-7.06

28.35	7.35	27.74	6.55	7.31	7.18	-7.35	28.47	-7.05	-8.03	-7.10
--------------	------	-------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 6. Resumen de aportes E = 4%, escalones de 700 mHz.

$\Delta F = -0.7$ [Hz]						$\Delta F = +0.7$ [Hz]				
Despacho inicial teórico [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]
70.00	28.35	70.09	9.00	7.98	7.65	-28.35	69.78	-28.70	-28.39	-28.84
56.00	28.35	56.31	22.00	20.11	21.67	-28.35	55.82	-28.60	-28.88	-28.49
42.00	28.35	42.30	28.60	27.18	28.34	-28.35	41.86	-28.50	-27.99	-28.49
28.35	28.35	28.53	28.25	28.08	28.30	-28.35	27.88	-28.15	-26.02	-27.34

De las tablas anteriores puede verificarse que en principio el aporte resultante coincide en gran medida con el teórico, verificando así el estatismo de 4% configurado.

Tabla 7. Resumen de aportes E = 7.69%, escalones de 200 mHz.

$\Delta F = -0.2$ [Hz]						$\Delta F = +0.2$ [Hz]				
Despacho inicial teórico [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]
70.00	3.82	70.14	4.10	4.96	3.55	-3.82	68.71	-4.00	-2.84	-2.78
28.35	3.82	28.35	3.95	4.24	3.12	-3.82	28.15	-3.75	-3.50	-3.83

Tabla 8. Resumen de aportes E = 7.69%, escalones de 700 mHz.

$\Delta F = -0.7$ [Hz]						$\Delta F = +0.7$ [Hz]				
Despacho inicial teórico [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]	ΔP teórico Esperado [MW]	Despacho inicial real [MW]	ΔP real [MW]	ΔP 10 s [MW]	ΔP 5 min [MW]
70.00	14.74	70.21	9.00	7.08	8.12	-14.74	70.45	-14.10	-15.24	-14.67
28.35	14.74	28.91	15.55	14.22	13.70	-14.74	29.87	-13.15	-15.29	-14.51

De las tablas anteriores puede verificarse que en principio el aporte resultante coincide en gran medida con el teórico, verificando así el estatismo de 7.69% configurado.

5.1.2 Cálculo de parámetros de desempeño

A partir de los ensayos de escalón de la sección 4.1 se calculan a continuación los parámetros de desempeño de CPF a saber: Tiempo de inicio de activación (T_a), Tiempo total de activación (T_{ta}) y el tiempo de establecimiento (T_e).

El análisis se realiza para los escalones de ± 700 mHz y despacho P1_CTF y P4_CTF de la Tabla 1 con el estatismo configurado en 2%, 4% y 7.69%, y banda muerta configurada en

planta (25 mHz). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

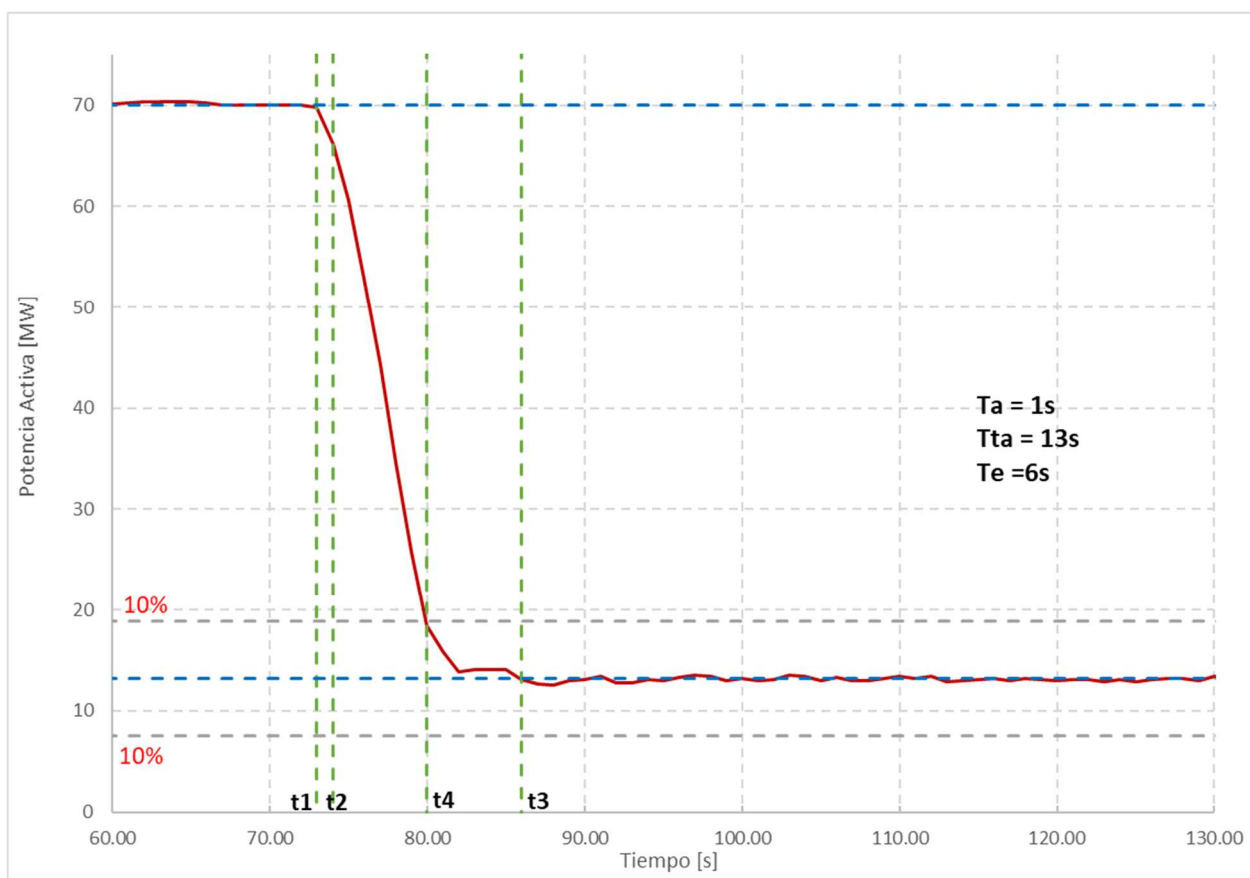


Gráfico 44. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

Tabla 9. Tiempos asociados para E = 2% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

t1 [s]	73.0	Envío de setpoint
t2 [s]	74.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	86.0	Llegada a setpoint
t4 [s]	80.0	Llegada a banda (10%)

Tabla 10. Parámetros de desempeño para E = 2% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

Parámetro	Valor Medido [s]	Tiempos máximos indicados en la Guía de verificación [s]	Verificación
Tiempo de inicio de activación (ta)	1.0	2	Cumple
Tiempo total de activación (Tta)	13.0	10	No Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	6.0	30	Cumple

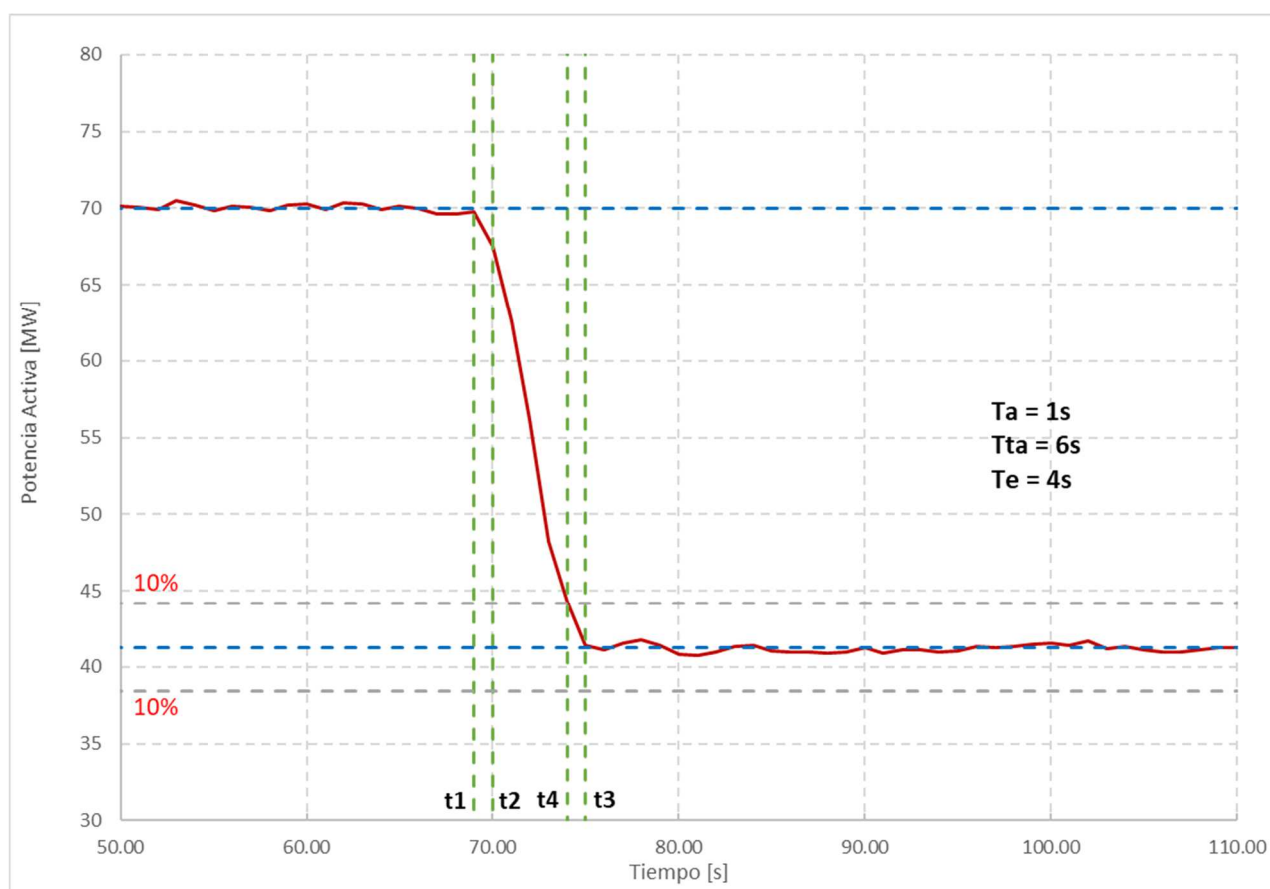


Gráfico 45. Parámetros de desempeño calculados para E = 4% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

Tabla 11. Tiempos asociados para E = 4% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

t1 [s]	69.0	Envío de setpoint
t2 [s]	70.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	75.0	Llegada a setpoint
t4 [s]	74.0	Llegada a banda (10%)

Tabla 12. Parámetros de desempeño para E = 4% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

Parámetro	Valor Medido [s]	Tiempos máximos indicados en la Guía de verificación [s]	Verificación
Tiempo de inicio de activación (ta)	1.0	2	Cumple
Tiempo total de activación (Tta)	6.0	10	Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	4.0	30	Cumple

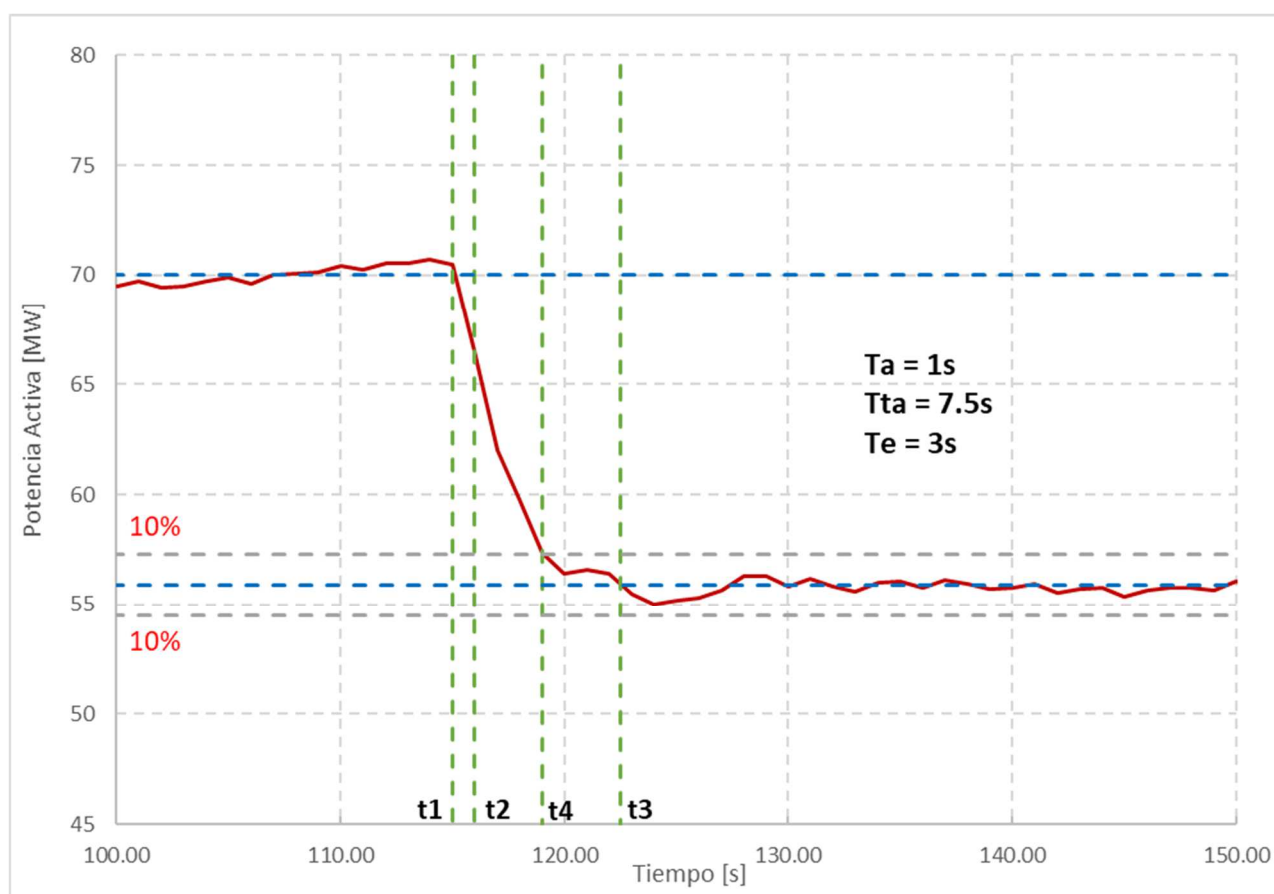


Gráfico 46. Parámetros de desempeño calculados para E = 7.69% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

Tabla 13. Tiempos asociados para E = 7.69% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

t1 [s]	115.0	Envío de setpoint
t2 [s]	116.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	122.5	Llegada a setpoint
t4 [s]	119.0	Llegada a banda (10%)

Tabla 14. Parámetros de desempeño para E = 7.69% y escalón de +700 mHz_70 MW_CPF.

Parámetro	Valor Medido [s]	Tiempos máximos indicados en la Guía de verificación [s]	Verificación
Tiempo de inicio de activación (ta)	1	2	Cumple
Tiempo total de activación (Tta)	7.5	10	Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	3	30	Cumple

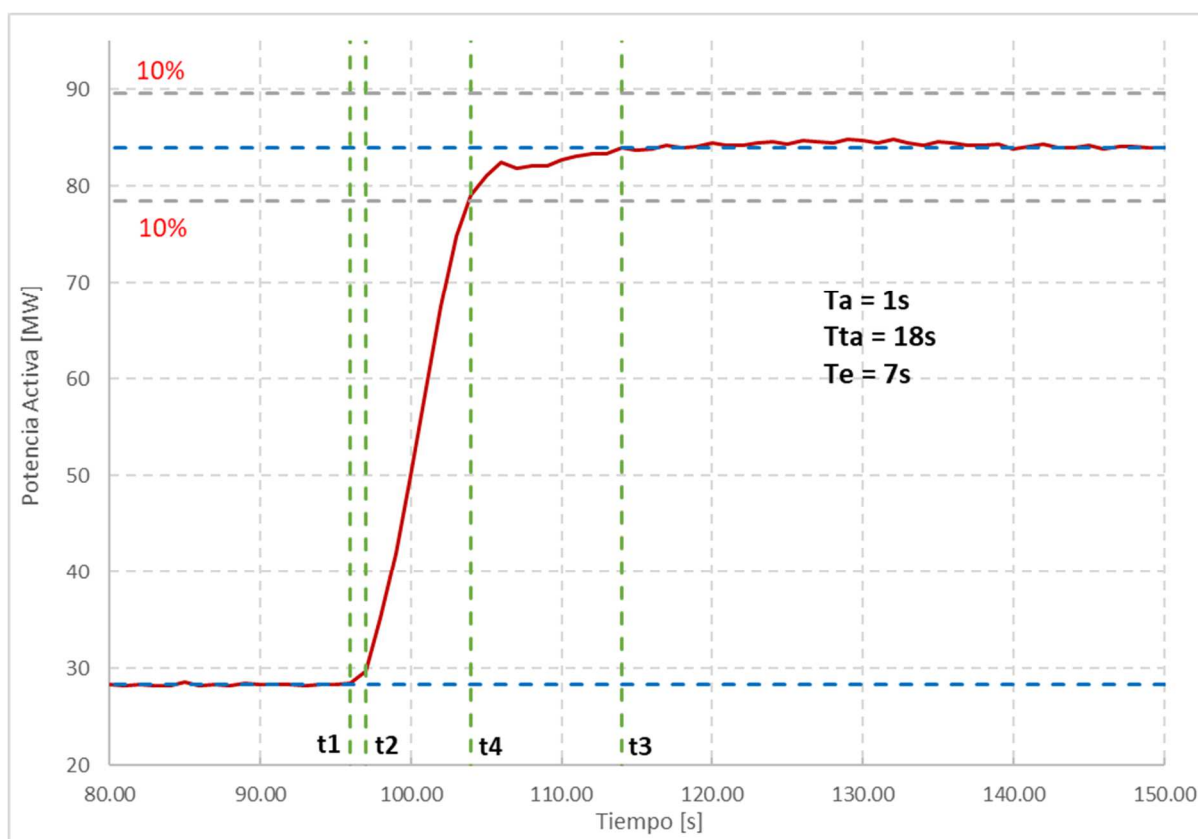


Gráfico 47. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

Tabla 15. Tiempos asociados para E = 2% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

t1 [s]	96.0	Envío de setpoint
t2 [s]	97.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	114.0	Llegada a setpoint
t4 [s]	104.0	Llegada a banda (10%)

Tabla 16. Parámetros de desempeño para E = 2% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

Parámetro	Valor Medido [s]	Tiempos máximos indicados en la Guía de verificación [s]	Verificación
Tiempo de inicio de activación (ta)	1.0	2	Cumple
Tiempo total de activación (Tta)	18.0	10	No Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	7.0	30	Cumple

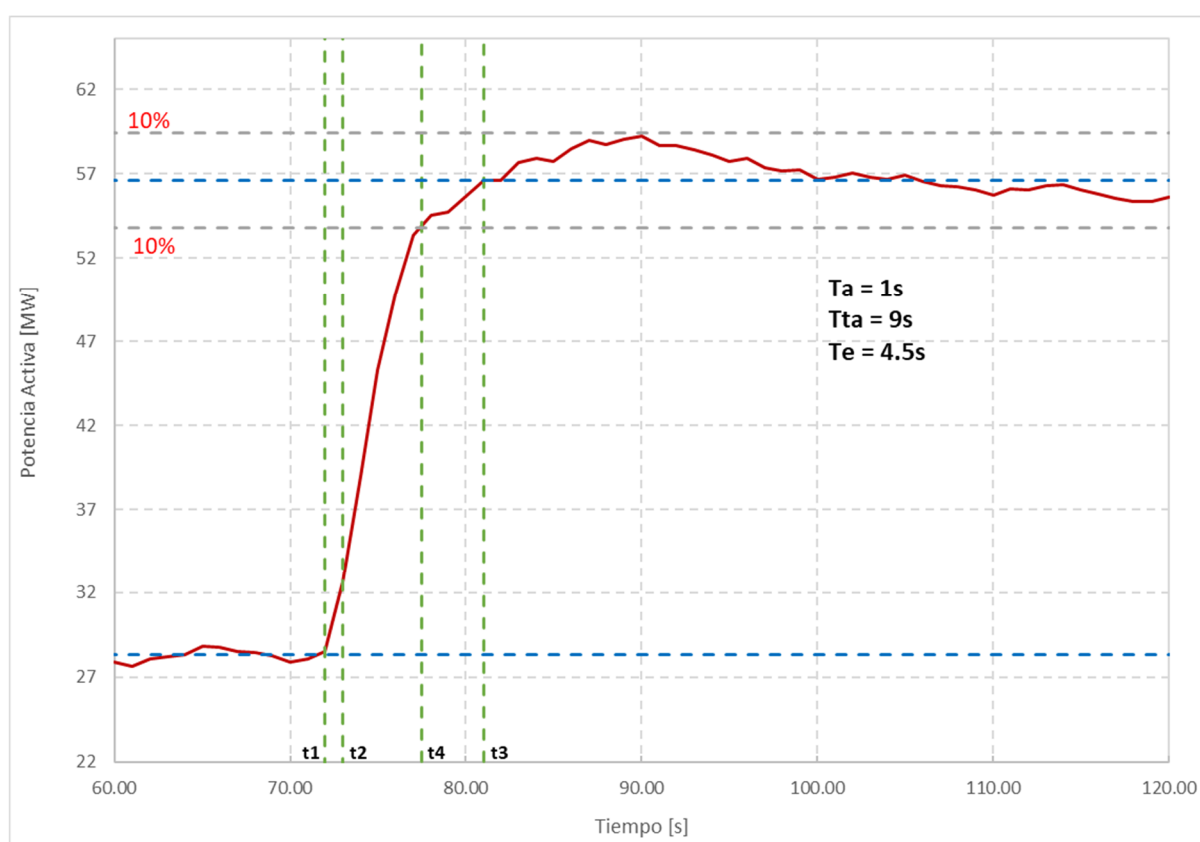


Gráfico 48. Parámetros de desempeño calculados para E = 4% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

Tabla 17. Tiempos asociados para E = 4% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

t1 [s]	72.0	Envío de setpoint
t2 [s]	73.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	81.0	Llegada a setpoint
t4 [s]	77.5	Llegada a banda (10%)

Tabla 18. Parámetros de desempeño para E = 4% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

Parámetro	Valor Medido [s]	Tiempos máximos indicados en la Guía de verificación [s]	Verificación
Tiempo de inicio de activación (ta)	1.0	2	Cumple
Tiempo total de activación (Tta)	9.0	10	Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	4.5	30	Cumple

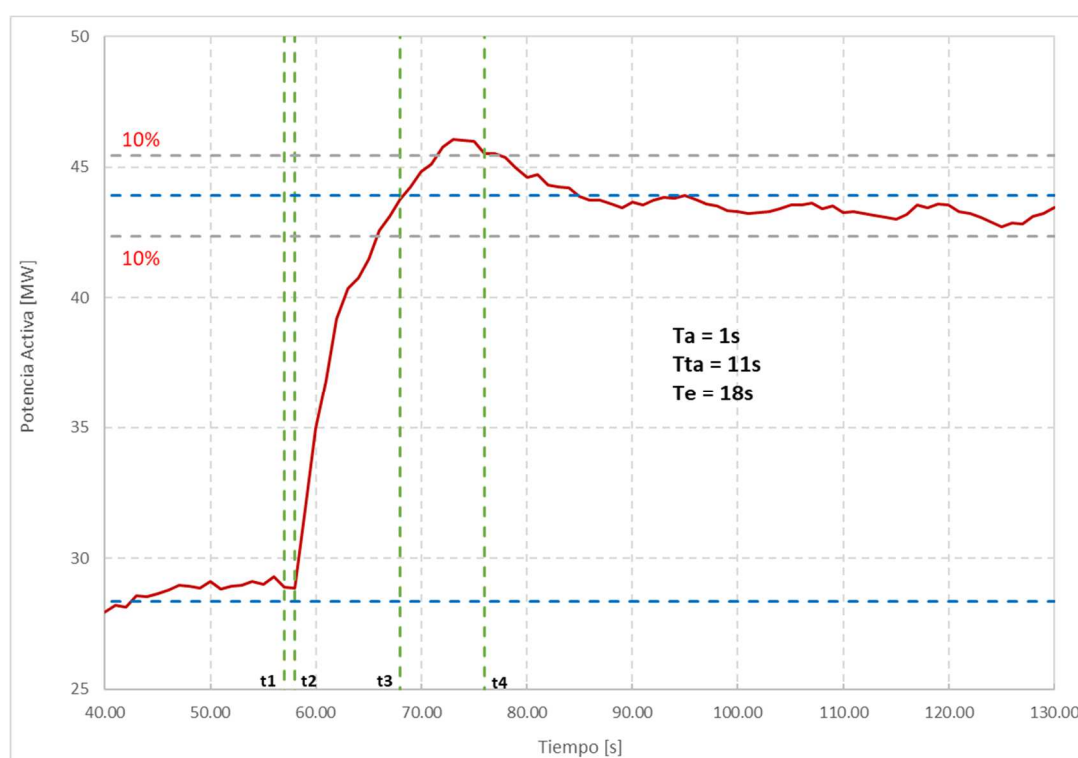


Gráfico 49. Parámetros de desempeño calculados para E = 7.69% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

Tabla 19. Tiempos asociados para E = 7.69% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

t1 [s]	57.0	Envío de setpoint
t2 [s]	58.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	68.0	Llegada a setpoint
t4 [s]	76.0	Llegada a banda (10%)

Tabla 20. Parámetros de desempeño para E = 7.69% y escalón de -700 mHz_28.35 MW_CPF.

Parámetro	Valor Medido [s]	Tiempos máximos indicados en la Guía de verificación [s]	Verificación
Tiempo de inicio de activación (ta)	1.0	2	Cumple
Tiempo total de activación (Tta)	11.0	10	No Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	18.0	30	Cumple

De los resultados obtenidos anteriormente se observa que los parámetros de desempeño obtenidos, en su mayoría, cumplen con la normativa.

5.2. Determinaciones a partir de los registros de operación libre

A partir de los registros de operación libre (sección 4.2) se verificó el estatismo y la banda muerta del control de potencia frecuencia. En los siguientes gráficos se muestra el resultado obtenido.

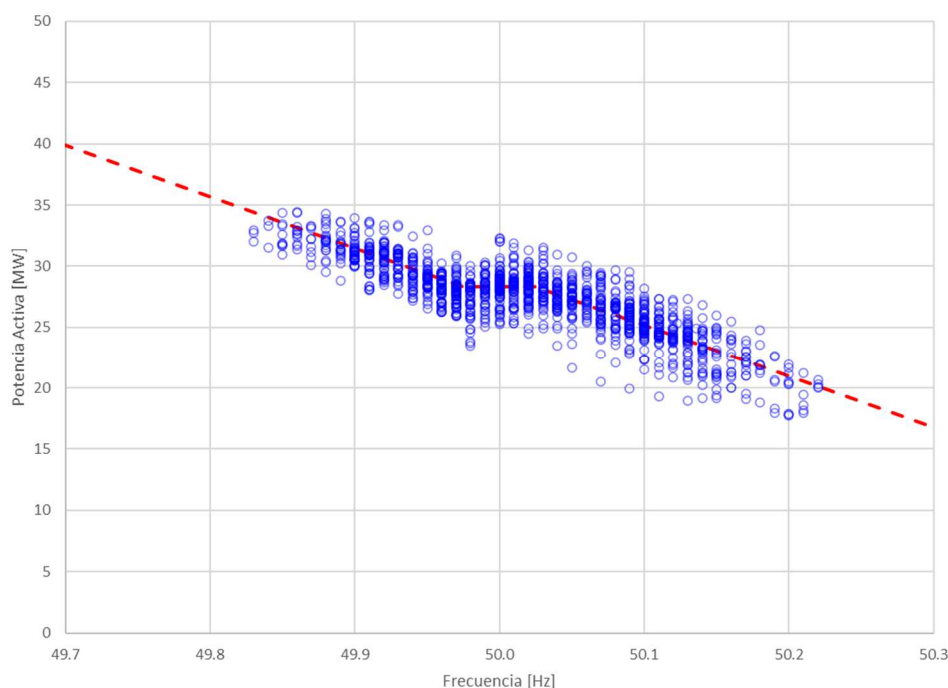


Gráfico 50. Verificación de la BM y estatismo, P = 28.35 MW. Registro libre.

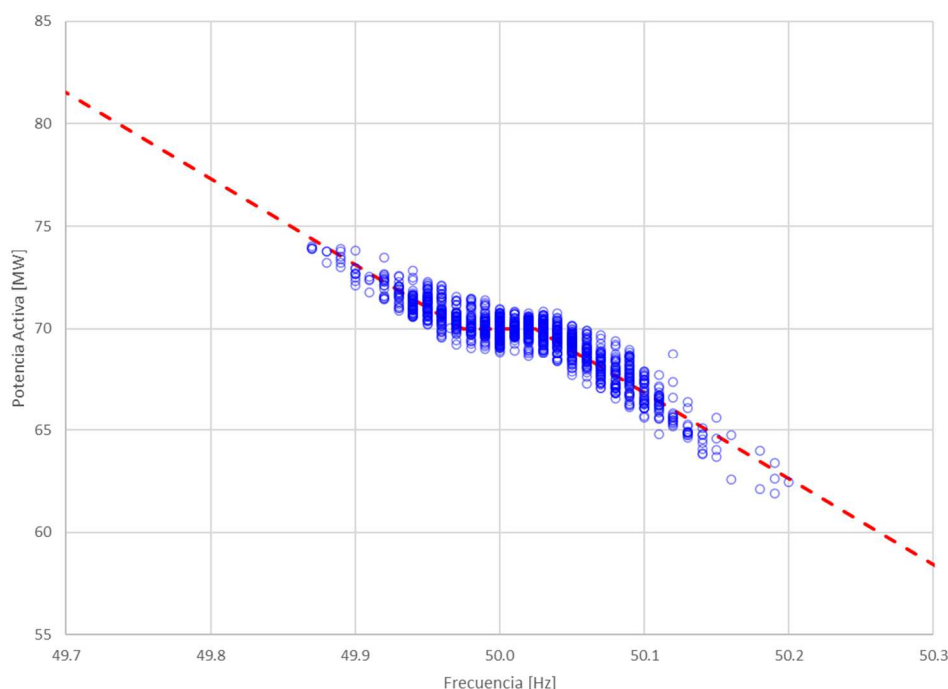


Gráfico 51. Verificación de la BM y estadismo, P = 70 MW. Registro libre.

En el Gráfico 50 y el Gráfico 51 se verifica el correcto cumplimiento del estadismo (4%) y la banda muerta (± 25 mHz) configurados.

5.3. Determinación del estadismo permanente

La guía de verificación de servicios complementarios define el estadismo permanente como la inversa de la ganancia de régimen permanente del lazo de control de frecuencia. La fórmula de estadismo adaptada para generación de tipo ENRC se muestra a continuación:

$$R [\%] = \frac{\frac{(\Delta f - BM)}{fn}}{\frac{\Delta P}{P_{base}}} \times 100\%$$

Donde:

- Δf : Escalón de frecuencia aplicado
- BM : Banda muerta de control de potencia/frecuencia configurada
- fn : Frecuencia nominal (50 Hz)
- ΔP : Variación de potencia activa
- P_{base} : Potencia base a partir del cual el sistema de control realiza el cálculo del aporte de potencia ante desviaciones de frecuencia, coincidente en este caso con la potencia nominal de la central ($P_{base} = 84$ MW).

En el caso de centrales basadas en electrónica de potencia, el control de potencia/frecuencia se realiza mediante el control de la electrónica de los inversores. Luego, el estadismo no depende de las características constructivas de los inversores, sino que depende de cómo está configurado el controlador (software) de la planta. En el caso

del PE Tolpán Sur el controlador no cuenta con un parámetro de estatismo característico “permanente”, si no que este es configurable en un rango. Para efectos de verificación de este ítem se procedió a verificar el estatismo configurado en la central (4%) a partir de los escalones de +200 mHz y +700 mHz ensayados en la sección 4.2 para despacho P1_CPF de la Tabla 1.

En función de dichos ensayos y aplicando la fórmula del estatismo descrita anteriormente en las siguientes tablas se muestra el resultado obtenido.

Tabla 21. Cálculo de estatismo permanente.

Escalón [Hz]	ΔP [MW]	Pbase [MW]	BM [Hz]	E [%] calculado	E [%] configurado	Estado
+0.2	-7.05	84	0.025	4.17	4.0	Cumple
+0.7	-28.15	84	0.025	4.03	4.0	Cumple

De la tabla anterior se observa que el estatismo obtenido coincide con el estatismo configurado.

5.4. Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control

Como pudo observarse de las pruebas de escalón realizadas, los escalones de ± 200 mHz y ± 700 mHz se pudieron aplicar sin inconvenientes para distintos despachos de potencia activa. Estos cambios se realizan inyectando un error de frecuencia en el sistema de control desde el sistema SCADA de la central. De igual manera el estatismo y la banda muerta pueden ser ajustados desde el sistema SCADA.

En la siguiente tabla se muestra el rango de ajuste de dichos parámetros.

Tabla 22. Rango de ajuste de parámetros CPF.

Parámetro	Ajuste Original	Rango de Ajuste
Estatismo	4%	2 a 7.69%
Banda Muerta	25 mHz	25 a 200 mHz

Los parámetros de estatismo y banda muerta fueron modificados por el operador con la central en pleno funcionamiento.

5.5. Resumen de resultados

Tabla 23. Tabla de resultados CPF escalones ± 0.2 Hz.

			SSCC	Control de Frecuencia
			Categoría	Control Primario de Frecuencia
			Subcategoría	CPF+ y CPF-
			Valor determinado	
			U1	
Estatismo permanente	Estatismo del lazo automático de control de velocidad (%)		4.0	
Estatismo global	Estatismo global (%)		4.0	
Estatismo al cual la unidad se encuentra ajustada normalmente (4.0%)	Escalón 0,2 Hz	Reserva comprometida (escalón 0,2Hz)	$\frac{0.2 \text{ Hz} - BM}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{PMax}{R\%}$	
		P1 (28.35MW)	Banda muerta [mHz]	25
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	4.5
			Tiempo total de activación CPF- [s]	8.0
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	13.5
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	353.0
			Reserva alcanzada [MW]	7.05
		P2 (42 MW)	Banda muerta [mHz]	25
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	8.0
			Tiempo total de activación CPF- [s]	13.0
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	248.0
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	271.0
			Reserva alcanzada [MW]	7.9
		P3 (56 MW)	Banda muerta [mHz]	25
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	10.0
			Tiempo total de activación CPF- [s]	22.0
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	6.5
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	116.0
			Reserva alcanzada [MW]	8.1
		P4 (70 MW)	Banda muerta [mHz]	25
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	9.0
			Tiempo total de activación CPF- [s]	13.0
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	225.0
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	309.0
			Reserva alcanzada [MW]	7.09

Tabla 24. Tabla de resultados CPF escalones ± 0.7 Hz.

				SSCC	Control de Frecuencia
				Categoría	Control Primario de Frecuencia
				Subcategoría	CPF+ y CPF-
				Valor determinado	
				U1	
Estatismo permanente		Estatismo del lazo automático de control de velocidad (%)		4.0	
Estatismo global		Estatismo global (%)		4.0	
Estatismo al cual la unidad se encuentra ajustada normalmente (4.0%)	Escalón 0,7 Hz	Reserva comprometida (escalón 0,2Hz)	$\text{Reserva Comprometida} = \frac{0.2 \text{ Hz} - BM}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{PMax}{R\%}$	28.35	
		P1 (28.35 MW)	Banda muerta [mHz]	25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0	
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	58	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	9.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	7.5	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	4.5	
			Reserva alcanzada [MW]	28.15	
		P2 (42 MW)	Banda muerta [mHz]	25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0	
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	18.0	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	13.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	6.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	4.0	
			Reserva alcanzada [MW]	28.5	
		P3 (56 MW)	Banda muerta [mHz]	25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0	
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	9.0	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	19.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	5.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	5.0	
			Reserva alcanzada [MW]	28.6	
		P4 (70 MW)	Banda muerta [mHz]	25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	1.0	
			Tiempo Activación CPF- [s]	1.0	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	6.0	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	23.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	4.0	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	322.0	
			Reserva alcanzada [MW]	28.7	

6. Conclusiones

- Se realizaron ensayos de verificación del servicio complementario de control primario de frecuencia sobre el PE Tolpán Sur, en función de los lineamientos de la guía de verificación de servicios complementarios de control de Frecuencia del coordinador eléctrico nacional.
- Se realizaron ensayos de escalones de frecuencia de ± 200 mHz y ± 700 mHz con los cuales se verificó por un lado el aporte máximo al CPF y los parámetros de desempeño asociados a la respuesta, además de la simetría de la respuesta obtenida para distintos despachos de potencia activa, tanto para el estatismo configurado como para el estatismo máximo posible de la central.
- Se verificó la simetría del aporte CPF y la estabilidad durante 10 s y 5 minutos del mismo.
- Se realizaron ensayos de respuesta libre con la finalidad de comprobar el aporte de CPF de la central para el máximo y mínimo despacho alcanzable, que el estatismo y la banda muerta calculados coincidan con los configurados y que el aporte tuviese el sentido correcto (efecto espejo entre la potencia activa y la frecuencia).
- Se realizó la evaluación del estatismo permanente con un resultado satisfactorio.

De los resultados obtenidos en el ensayo se concluye que el PE Tolpán Sur puede prestar los servicios complementarios de control primario de frecuencia, dentro de los límites informados, de forma estable y resguardando la seguridad de la instalación.

ANEXO

1. INFORMACIÓN TÉCNICA

1.1. Características de los aerogeneradores

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.

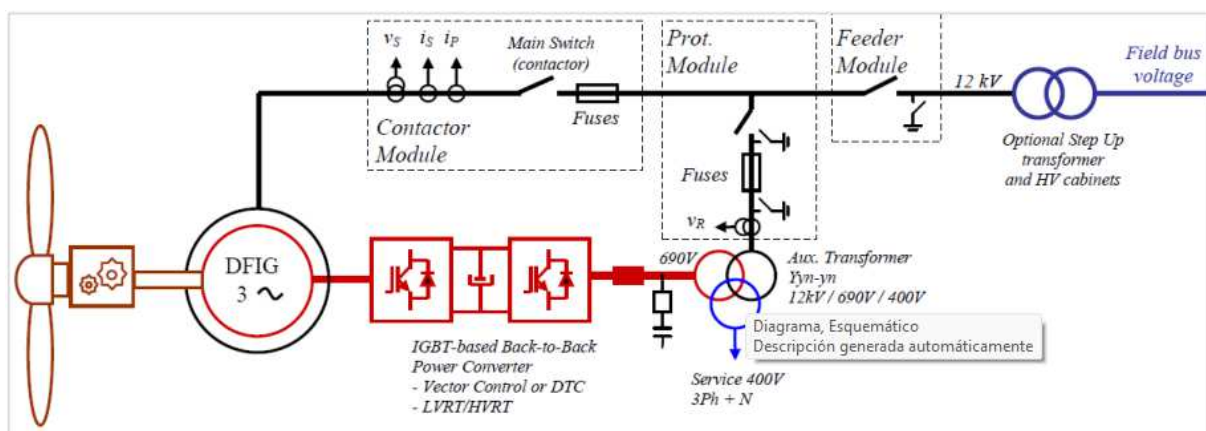


Gráfico 52. Esquema de la turbina AW3000.

Característica / Feature	Nominal / Rated
Tensión de línea / Line Voltage	12000 VAC
Frecuencia de red / Grid Frequency	50/60 Hz
Potencia activa / Active Power ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾	3000 kW
Potencia Reactiva / Reactive power ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾	1200 kVAr

Gráfico 53. Datos nominales del aerogenerador.

En el Gráfico 54 se muestra la curva PQ del aerogenerador AW3000/116. Por otro lado, en el Gráfico 55 se muestra la dependencia entre la potencia reactiva que puede entregar o absorber el aerogenerador, con la tensión en bornes de este.

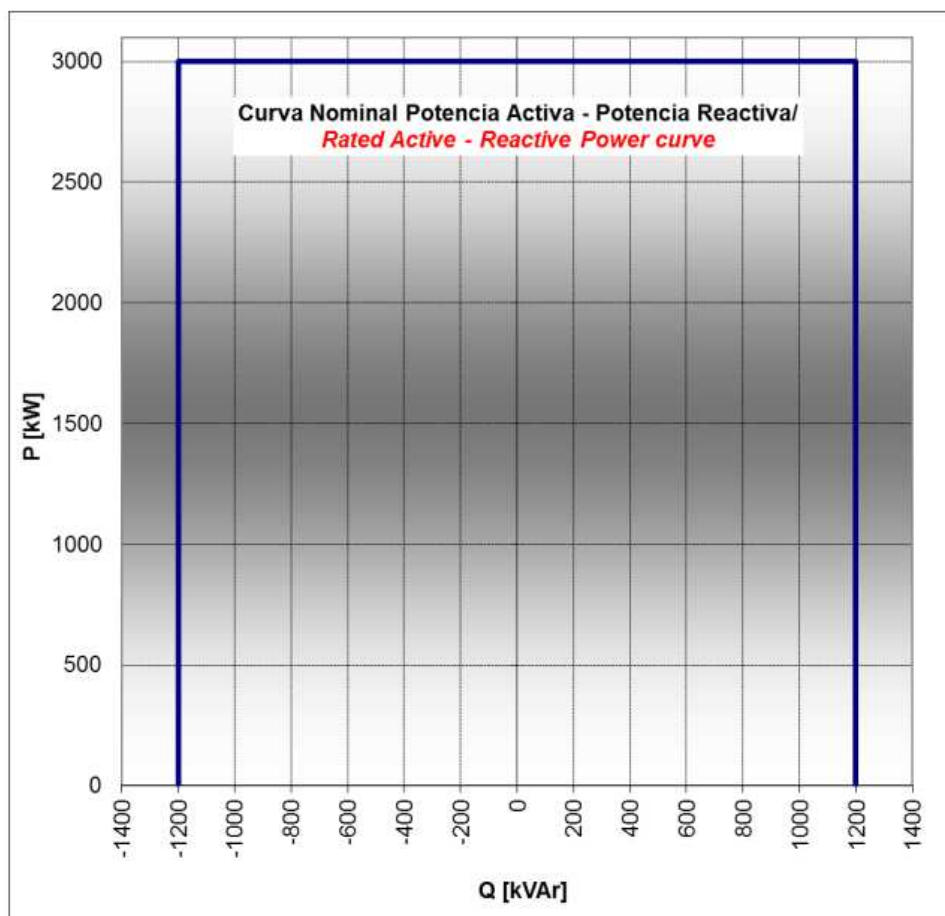


Gráfico 54. Curva de capacidad de los aerogeneradores.

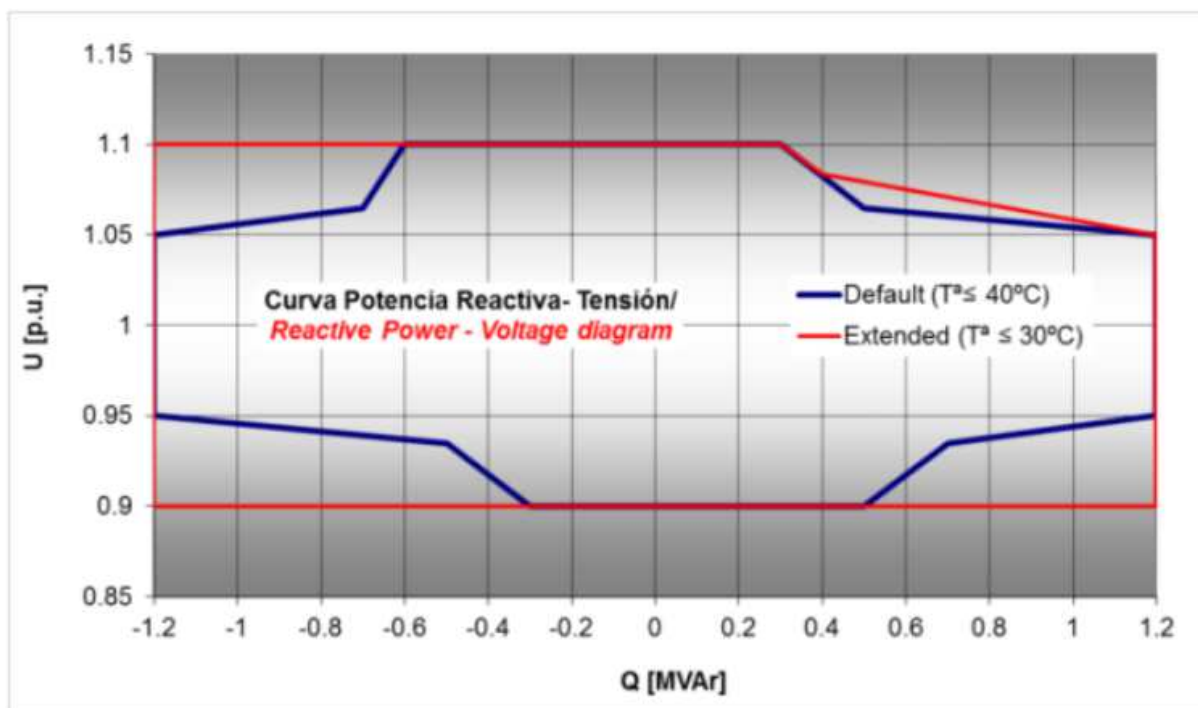


Gráfico 55. Curva V-Q de los aerogeneradores.

1.2. Datos técnicos del transformador de bloque

Technical specification VEARW633



Datum: 16.11.2018

Seite 1 von 2

Description

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: PolCF0346 Rev. G

Techn. parameters

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:	Minel eN
BIL HV / LV:	170 kV / 95 kV	Excess temp. of winding:	65 K
Insulated for:	38,0 kV / 17,5 kV	Excess temp. of oil:	80 K
Degree of protection transform:	IP54	Excess temp hot spot:	80 K
Degree of protection bushings:	IP54/IP54		
Vectorgroup:	Dyn 11		
Neutral point:	L.V. leaded through, 100% max. permissible load		

Losses

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: 24.000 W, Tolerance: 15%		
	Impedance voltage at 85°: 6%		

Marking

Language:	engspa
-----------	--------

Equipment

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

Bushings

H.V.:	plug-in bushing type Elastimold M 400 T1/J, (38kV, 400A), type B
L.V.:	plug-in bushing type Elastimold K 180 AR-2/J, (24kV, 250A) Cable clamp system

Chassis

	without roller
	Center-to-center distance longitudinal 820 mm ; Center-to-center distance transverse 1.070 mm

Corrosion protection

Kind of corrosion protection:	coating acc to DIN EN 12944 C3
Coat thickness:	140 µm
Covering coat:	RAL 7033

Gráfico 56. Hoja de datos de transformador de bloque.

1.5. Antecedentes de red colectora

El PE Tolpán Sur cuenta con 5 alimentadores en MT, que colectan la energía 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 25. 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

2. 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_CPF.rar

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



Protocolo de Ensayos de Verificación de SSCC

Control Primario de Frecuencia

PE TOLPÁN SUR	
Ubicación	Malleco, Araucania, Chile
Fecha	
Cliente	ACCIONA ENERGÍA
Proyecto	R 1007 - 23
Observaciones	

Las partes certifican con su firma que los ensayos fueron realizados conforme a lo especificado en el presente documento:



Por GME

Francisco
Guerra

Firma y Aclaración

Firma y Aclaración



Por ACCIONA ENERGÍA

Firma y Aclaración

Firma y Aclaración

CHECKLIST DE PRUEBAS REALIZADAS

Nº	Nombre	REALIZACION	OBSERVACIONES
2.1.1	Rango de ajuste del estatismo	Si	0-7.69%
2.1.2	Cambio de ajuste del estatismo	Si	Lo realiza el especialista del PPC
2.1.3	Determinación del estatismo permanente y global	Si	-
2.2.1	Rango de ajuste de la banda muerta	Si	25-200 mHz
2.2.2	Capacidad de variar el ajuste de la banda muerta con la unidad en servicio	Si	Lo realiza el especialista del PPC
2.2.3	Medición de la banda muerta	Si	-
2.3	Retardo inicial y tiempo de establecimiento	Si	-
3	Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga	Si	-

ACTA DE PRUEBAS

DATOS DE LA PLANTA ERNC A ENSAYAR Y TRANSFORMADOR			
Unidad generadora			
Marca WTG: Nordex-Acciona Windpower			
Modelo WTG: AW3000	Potencia Nominal: 3,0		MVA
Nº WTGs: 28	Tensión Nominal: 12		kV
Potencia Nominal WTG: 3,0 MW	Potencia contrato/declarada: 84		MW
Transformador Unidad			
Marca:	Grupo de conexión: Dyn11		
Potencia: 3,4 MVA	Tensión de cortocircuito: 6%		
Relación de transformación: 33/12 kV	Conmutador: $\pm 2 \times 2,5\%$ sin carga		
Transformador Principal			
Marca:	Grupo de conexión: YNd11		
Potencia: 150 MVA	Tensión de cortocircuito: 11,6%		
Relación de transformación: 220/33 kV	Conmutador: $\pm 11 \times 1,25\%$		
Protecciones			
Sobretensión:		Subtensión:	
> 1,20 pu	1,5 s	< 0,0 pu	1,6 s
> 1,15 Pu	5 s	< 0,2 pu	1,6 s
> 1,10 pu	15 s	< 0,8 pu	60 s
		< 0,9 pu	185 s
Sobrefrecuencia:		Subfrecuencia:	
> 52,0 Hz	0,5 s	< 47,0 Hz	0,5 s
Observaciones:			
-			

2 – ENSAYOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD / POTENCIA			
2.1.a – Ensayo en carga máxima – estatismo nominal			
Fecha y hora: 30/09/2025 18:46		Registro N°: - Graficos 4% 70MW +200mHz.csv - Graficos 4% 70MW +700mHz.csv - Graficos 4% 70MW -200mHz.csv - Graficos 4% 70MW -700mHz.csv	
Estatismo ajustado (E): 4 %		Escalón aplicado Δf: ±200 mHz ±700 mHz	
Potencia Activa (P): 70 MW		Banda Muerta: 25 mHz	
Observaciones: Se llega al máximo disponible según recurso disponible.			
2.1.b – Ensayo en carga máxima – estatismo mínimo			
Fecha y hora: 30/09/2025 19:55		Registro N°: - Graficos 2% 70MW +200mHz.csv - Graficos 2% 70MW +700mHz.csv - Graficos 2% 70MW -200mHz.csv - Graficos 2% 70MW -700mHz.csv	
Estatismo ajustado (E): 2 %		Escalón aplicado Δf: ±200 mHz ±700 mHz	
Potencia Activa (P): 70 MW		Banda Muerta: 25 mHz	
Observaciones: - Se llega al máximo disponible según recurso disponible.			
2.1.c – Ensayo en carga máxima – estatismo máximo			
Fecha y hora: 30/09/2025 20:37		Registro N°: - Graficos 7.69% 70MW +200mHz.csv - Graficos 7.69% 70MW +700mHz.csv - Graficos 7.69% 70MW -200mHz.csv - Graficos 7.69% 70MW -700mHz.csv	
Estatismo ajustado (E): 7.69 %		Escalón aplicado Δf: ±200 mHz ±700 mHz	
Potencia Activa (P): 70 MW		Banda Muerta: 25 mHz	

Observaciones: Se llega al máximo disponible según recurso disponible.	
2.1.d – Ensayo en carga media – estatismo nominal – P3_CPF	
Fecha y hora: 30/09/2025 11:45 30/09/2025 21:23(-700 mHz)	Registro N°: - Graficos 4% 56MW +200mHz.csv - Graficos 4% 56MW +700mHz.csv - Graficos 4% 56MW -200mHz.csv - Graficos 4% 56MW -700mHz.csv
Estatismo ajustado (E): 4 %	Escalón aplicado Δf : ± 200 mHz ± 700 mHz
Potencia Activa (P): 56 MW	Banda Muerta: 25 mHz
Observaciones: -	
2.1.e – Ensayo en carga media – estatismo nominal – P2_CPF	
Fecha y hora: 30/09/2025 10:58 30/09/2025 21:40 (-700 mHz)	Registro N°: - Graficos 4% 42MW +200mHz.csv - Graficos 4% 42MW +700mHz.csv - Graficos 4% 42MW -200mHz.csv - Graficos 4% 42MW -700mHz.csv
Estatismo ajustado (E): 4 %	Escalón aplicado Δn : ± 200 mHz ± 700 mHz
Potencia Activa (P): 42 MW	Banda Muerta: 25 mHz
Observaciones: -	
2.1.f – Ensayo en carga baja – estatismo nominal	
Fecha y hora: 30/09/2025 08:54 (+200mHz) 30/09/2025 09:38 (+700mHz) 30/09/2025 10:37 (-200mHz) 30/09/2025 12:28 (-700mHz)	Registro N°: - Graficos 4% 28.35MW +200mHz.csv - Graficos 4% 28.35MW +700mHz.csv - Graficos 4% 28.35MW -200mHz.csv - Graficos 4% 28.35MW -700mHz.csv

Estatismo ajustado (E): 4 %	Escalón aplicado Δn : ± 200 mHz ± 700 mHz
Potencia Activa (P): 28.35 MW	Banda Muerta: 25 mHz
Observaciones: -	
2.1.g – Ensayo en carga baja – estatismo mínimo	
Fecha y hora: 30/09/2025 12:40 30/09/2025 21:56(-700mHz)	Registro N°: - Graficos 2% 28.35MW +200mHz.csv - Graficos 2% 28.35MW +700mHz.csv - Graficos 2% 28.35MW -200mHz.csv - Graficos 2% 28.35MW -700mHz.csv
Estatismo ajustado (E): 2 %	Escalón aplicado Δf : ± 200 mHz ± 700 mHz
Potencia Activa (P): 28.35 MW	Banda Muerta: 25 mHz
Observaciones: Se llega al mínimo de potencia de la central (0 MW).	
2.1.h – Ensayo en carga baja – estatismo máximo	
Fecha y hora: 30/09/2025 09:54	Registro N°: - Graficos 7.69% 28.35MW +200mHz.csv - Graficos 7.69% 28.35MW +700mHz.csv - Graficos 7.69% 28.35MW -200mHz.csv - Graficos 7.69% 28.35MW -700mHz.csv
Estatismo ajustado (E): 8 %	Escalón aplicado Δn : ± 200 mHz ± 700 mHz
Potencia Activa (P): 28.35 MW	Banda Muerta: 25 mHz
Observaciones: -	
2.2.a – Ensayo de escalones de frecuencia	
Fecha y hora: 30/09/2025 21:13	Registro N°: - Escalones_PE_Tolpan_Sur.csv
Estatismo ajustado (E): 4 %	Banda Muerta: 25 mHz

Potencia Activa (P): 64.4/40.3 MW	
Observaciones: Droop = 4% - BM = 25 mHz - 50,00 Hz--> 49,975 Hz --> 49,80 Hz-->50,00 Hz-->50,025 Hz--> 50,20 Hz-->50,40 Hz-->50,00	
2.2.b – Operación de la unidad en control de frecuencia carga alta	
Fecha y hora: 30/09/2025 19:25	Registro N°: - Graficos Registro libre 4% 70MW .csv
Estatismo ajustado (E): 4 %	Banda muerta (BM): 25 mHz
Potencia Activa (P): 70 MW	
Observaciones: -	
2.2.b – Operación de la unidad en control de frecuencia carga baja	
Fecha y hora: 30/09/2025 9:16	Registro N°: - Graficos Registro libre 4% 28.35MW .csv
Estatismo ajustado (E): 4 %	Banda muerta (BM): 25 mHz
Potencia Activa (P): 28.35 MW	
Observaciones: -	
3 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga	
Fecha y hora: 11/01/2023 20:10 15/12/2022 15:42 -	Registro N°: - CTF_Pendiente_8.4MWmin -CTF_Pendiente_20MWmin -CTF_Pendiente_50MWmin
Observaciones: - Los resultados se muestran en el informe de CTF: A0657 – Acciona – PE Tolpán Sur- Informe de ensayos de SSCC CTF_v1	