



INFORME DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS DE CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA PSFV Willka

Informe Técnico

Preparado para:



Julio - 2025

A 1158 | R 1329-25

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	13
4. ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL CONTROL PRIMARIO DE FRECUENCIA	14
4.1. Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones de tipo escalón	14
4.2. Respuesta del control primario de frecuencia ante variaciones naturales en la frecuencia de la red	23
4.3. Determinación del Estatismo Permanente	24
5. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CPF	25
5.1. Determinaciones a partir de los ensayos de tipo escalón	25
5.1.1 Verificación de los aportes de potencia activa.....	25
5.1.2 Cálculo de parámetros de desempeño	27
5.2. Determinaciones a partir de los registros de operación libre.....	34
5.3. Determinación del estatismo permanente.....	35
5.4. Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control	36
5.5. Resumen de resultados	37
6. CONCLUSIONES	39
ANEXO	40
1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES.....	40
1.1. Datos de los paneles solares.....	40
1.2. Datos de los inversores	41
1.3. Transformador de unidades	42
1.4. Transformador principal	43
1.5. Cables de media tensión	44
1.6. Reactor zig-zag para neutro artificial.....	46

1.7. Línea de interconexión	46
2. VERIFICACIÓN DE AJUSTES.....	50
2.1. Lógicas de inyección de corriente y LVRT.....	50
2.2. Ajuste de protecciones.....	52
2.2.1 Protección de tensión.....	52
2.2.2 Protección de frecuencia.....	52
3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS	54

Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Despacho de potencia activa para los ensayos de CPF.....	14
Tabla 2. Aportes de potencia ante escalones de frecuencia para una banda muerta configurada en ± 25 mHz.	25
Tabla 3. Resumen de aportes $E = 5\%$, escalones de 200 mHz.....	25
Tabla 4. Resumen de aportes $E = 5\%$, escalones de 700 mHz.....	26
Tabla 5. Resumen de aportes $E = 2\%$, escalones de 200 mHz.....	26
Tabla 6. Resumen de aportes $E = 2\%$, escalones de 700 mHz.....	26
Tabla 7. Resumen de aportes $E = 8\%$, escalones de 200 mHz.....	26
Tabla 8. Resumen de aportes $E = 8\%$, escalones de 700 mHz.....	27
Tabla 9. Tiempos asociados para $E = 5\%$ y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	28
Tabla 10. Parámetros de desempeño para $E = 5\%$ y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	28
Tabla 11. Tiempos asociados para $E = 2\%$ y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	29
Tabla 12. Parámetros de desempeño para $E = 2\%$ y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	29
Tabla 13. Tiempos asociados para $E = 8\%$ y escalón de +200 mHz_71 MW_CPF.	30
Tabla 14. Parámetros de desempeño para $E = 8\%$ y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	30
Tabla 15. Tiempos asociados para $E = 5\%$ y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	31
Tabla 16. Parámetros de desempeño para $E = 5\%$ y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	31
Tabla 17. Tiempos asociados para $E = 2\%$ y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	32
Tabla 18. Parámetros de desempeño para $E = 2\%$ y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	32
Tabla 19. Tiempos asociados para $E = 8\%$ y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	33
Tabla 20. Parámetros de desempeño para $E = 8\%$ y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	33
Tabla 21. Cálculo de estatismo permanente.	36
Tabla 22. Rango de ajuste de parámetros CPF.....	36
Tabla 23. Tabla de resultados CPF escalones ± 0.2 Hz.	37
Tabla 24. Tabla de resultados CPF escalones ± 0.7 Hz.	38
Tabla 25. Especificación del transformador de potencia 220/33 kV de la SE Willka.	43
Tabla 26. Especificaciones de los tramos de cables del sistema colector.....	44
Tabla 27. Parámetros eléctricos de los cables del sistema colector.	45

Tabla 28. Colector equivalente del PSFV Willka.....	45
Tabla 29. Características técnicas principales del reactor de neutro.....	46
Tabla 30. Ajuste de protección de tensión.....	52
Tabla 31. Ajuste de protección de frecuencia.....	53
Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Willka	10
Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Willka.	11
Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector.	12
Gráfico 4. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.....	15
Gráfico 5. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.....	15
Gráfico 6. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.....	15
Gráfico 7. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.....	15
Gráfico 8. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.....	16
Gráfico 9. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.....	16
Gráfico 10. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	16
Gráfico 11. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.....	16
Gráfico 12. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	17
Gráfico 13. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.....	17
Gráfico 14. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	17
Gráfico 15. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.....	17
Gráfico 16. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	18
Gráfico 17. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	18
Gráfico 18. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	18
Gráfico 19. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.....	18
Gráfico 20. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	19
Gráfico 21. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	19
Gráfico 22. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	19
Gráfico 23. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.....	19
Gráfico 24. Respuesta CPF_71 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	20
Gráfico 25. Respuesta CPF_71 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.....	20
Gráfico 26. Respuesta CPF_71 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	20
Gráfico 27. Respuesta CPF_71 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.....	20
Gráfico 28. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.....	21
Gráfico 29. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.....	21

Gráfico 30. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.	21
Gráfico 31. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	21
Gráfico 32. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.	22
Gráfico 33. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.	22
Gráfico 34. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 20 mHz_ ΔF = -700 mHz.	22
Gráfico 35. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.	22
Gráfico 36. CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.	23
Gráfico 37. CPF_71 MW_E = 5%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.	24
Gráfico 38. Respuesta temporal para escalones de frecuencia con la banda muerta configurada en ± 25 mHz.	24
Gráfico 39. Parámetros de desempeño calculados para E = 5% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	28
Gráfico 40. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	29
Gráfico 41. Parámetros de desempeño calculados para E = 8% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.	30
Gráfico 42. Parámetros de desempeño calculados para E = 5% y escalón de -700 mHz_20 MW_CPF.	31
Gráfico 43. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	32
Gráfico 44. Parámetros de desempeño calculados para E = 8% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.	33
Gráfico 45. Verificación de la BM y estatismo, P = 29 MW. Registro libre.	34
Gráfico 46. Verificación de la BM y estatismo, P = 71 MW. Registro libre.	35
Gráfico 47. Características técnicas de los paneles solares.	40
Gráfico 48. Características generales de los inversores.	41
Gráfico 49. Curva de capacidad de los inversores.	42
Gráfico 50. Curva límite tensión-tiempo Power Electronics HEMK GEN 3.	50
Gráfico 51. Curvas límite tensión-tiempo norma NT en punto de conexión.	50
Gráfico 52. Inyección de corriente reactiva ante huecos de tensión. Power Electronics HEMK GEN 3.	51
Gráfico 53. Ajuste de protección de frecuencia.	53

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	08/07/2025	PB	FG	FM	Versión inicial

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 solar fotovoltaico Willka, durante los días 13 a 23 de mayo, 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 PSFV Willka se encuentra emplazado en la región de Arica y Parinacota en la zona norte de Chile. Está formado por 26 Inversores marca Power Electronics, modelo HEMK GEN 3 660 V – FS4200K de una capacidad nominal de 4.2 MVA cada uno, siendo la potencia instalada de 109,2 MVA (26x4,2 MVA). La Potencia Neta comprometida en el punto de conexión es de 98 MW.

Los 26 inversores se distribuyen en 15 centros de transformación de los cuales 11 contienen 2 inversores cada uno y el resto está formado por un inversor. La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector desarrollado en 33 kV formado por 5 circuitos que colectan la potencia de los 15 centros de transformación. Los centros de transformación formados por dos inversores se conectan a la red mediante transformadores de 3 arrollamientos de 33/0,66/0,66 kV de una potencia de 8,4/4,2/4,2 MVA. Los centros de transformación formados por un inversor se conectan a la red de media tensión mediante transformadores de dos arrollamientos de 33/0,66 kV y una potencia de 4,2 MVA.

En el Gráfico 1 se muestra la ubicación geográfica del parque, en el Gráfico 2 el esquema unilineal de la SE Willka y en el Gráfico 3 muestra un esquema unilineal del sistema colector en 33 kV.

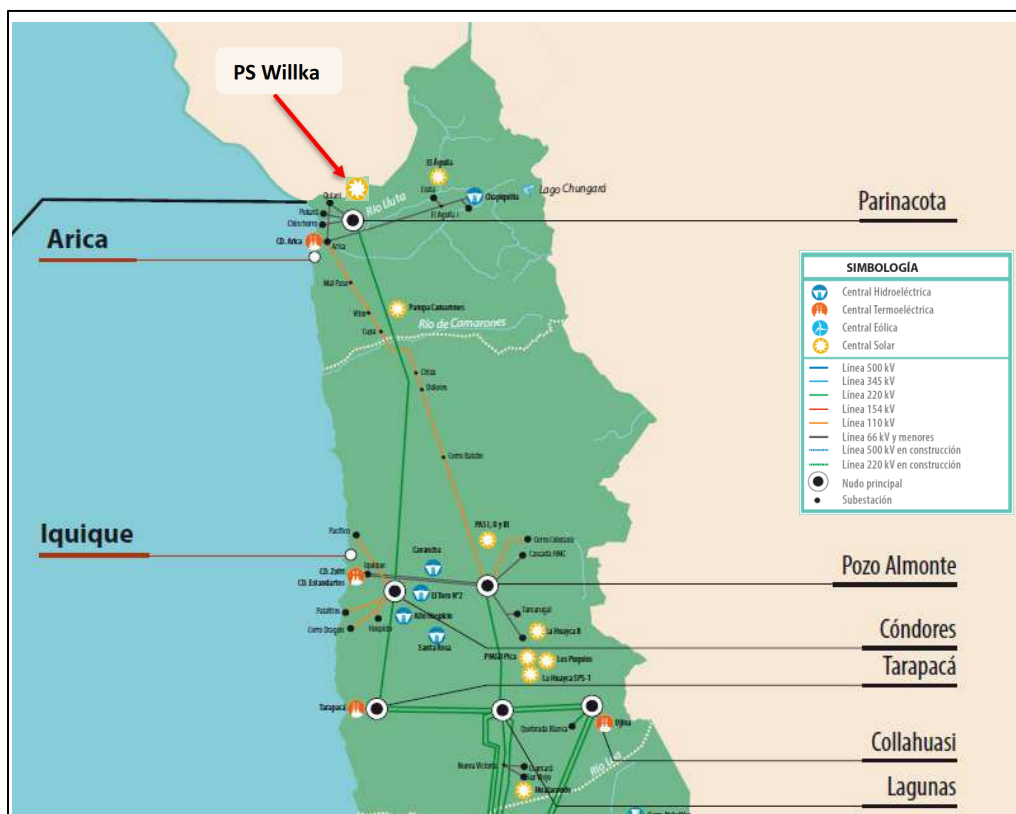


Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Willka

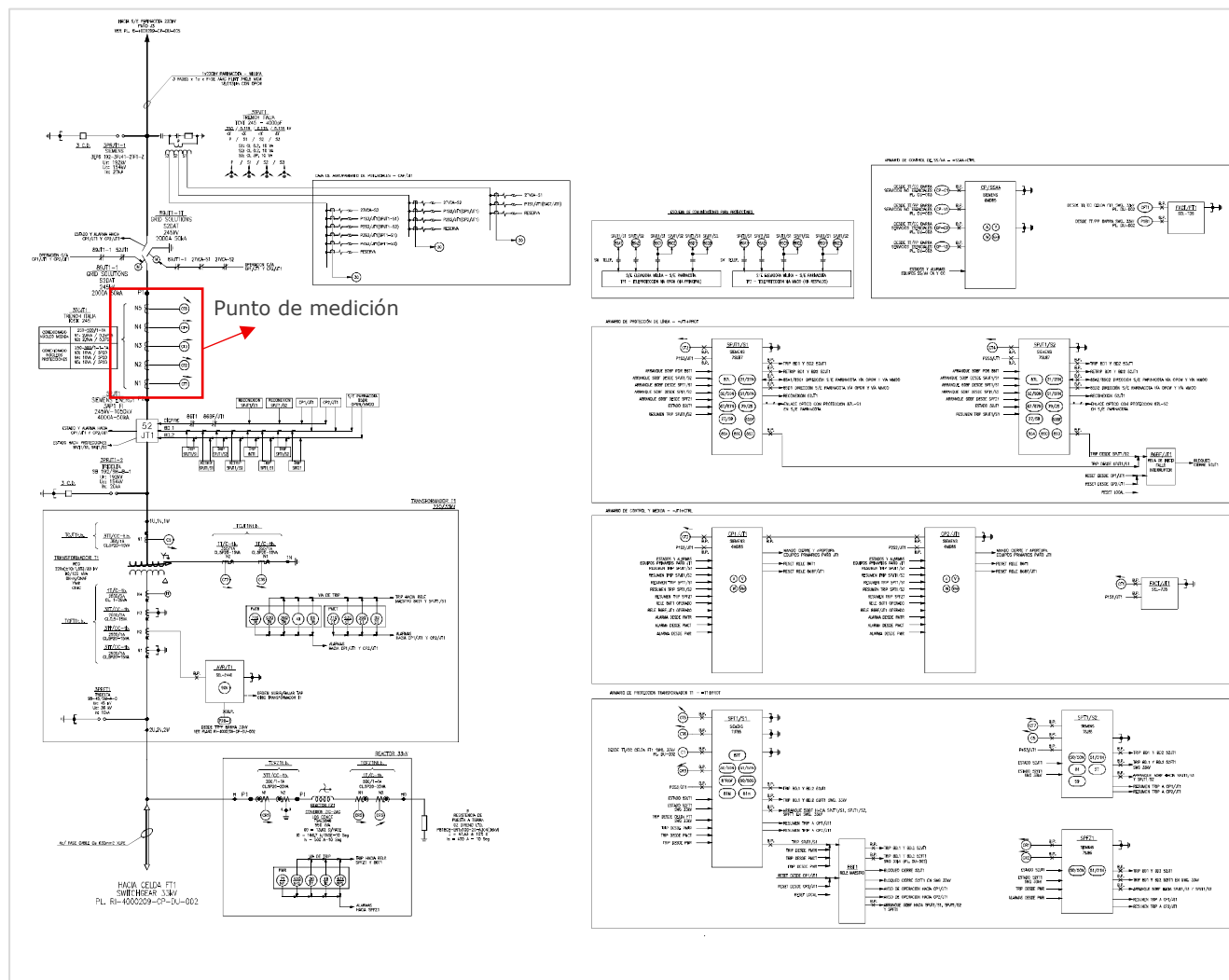


Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Willka.

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 PSFV Willka.

4. Ensayos de verificación del control primario de frecuencia

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	29
P2_CPF	40
P3_CPF	50
P4_CPF	71

4.1. 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 PSFV Willka 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 el estatismo configurado en su valor actual (5%), el estatismo mínimo configurable (2%) y el estatismo máximo configurable (8%). Además, se ajustó la banda muerta desde su valor actual (± 200 mHz) 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:

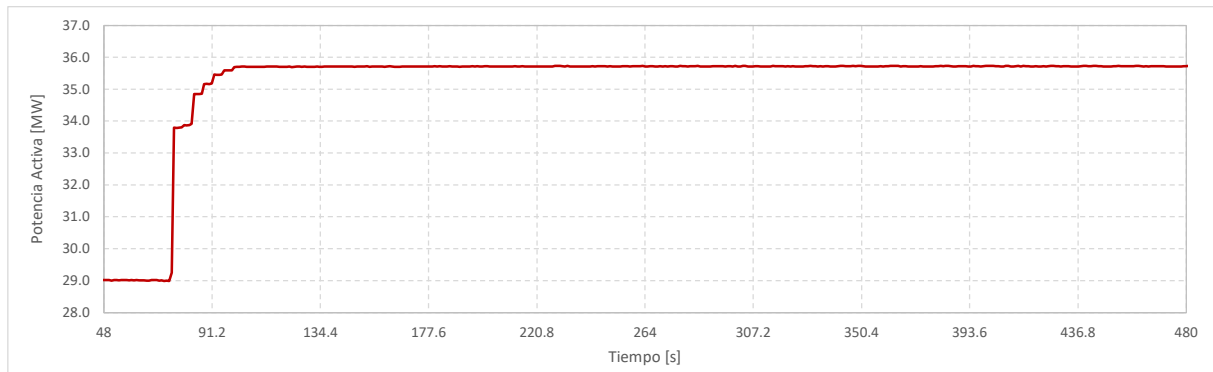


Gráfico 4. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ΔF = -200 mHz.

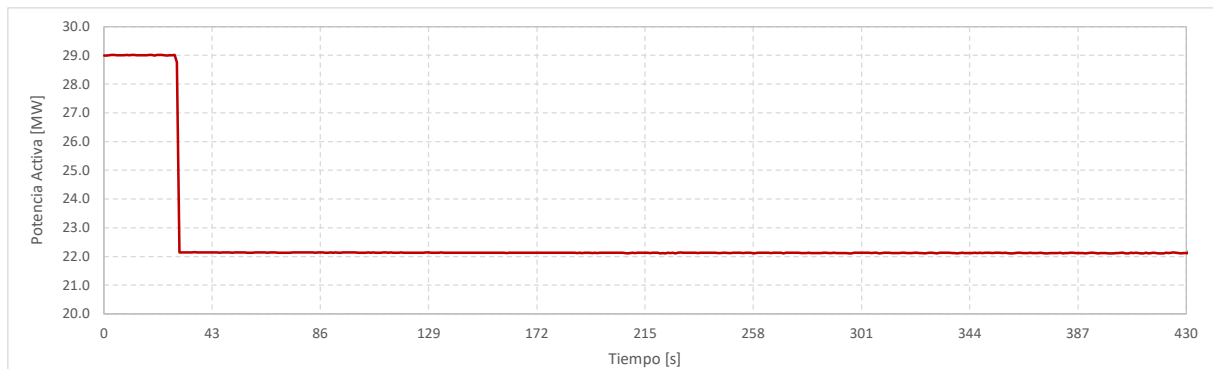


Gráfico 5. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ΔF = +200 mHz.

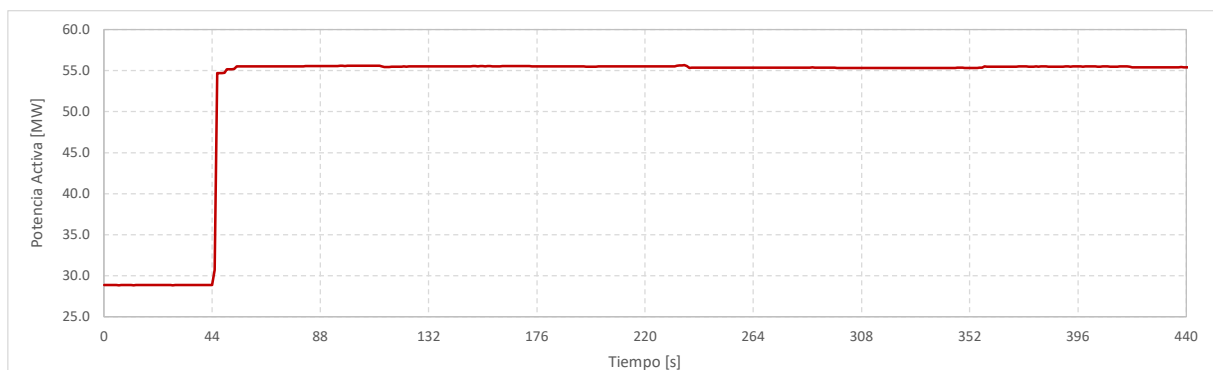


Gráfico 6. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ΔF = -700 mHz.

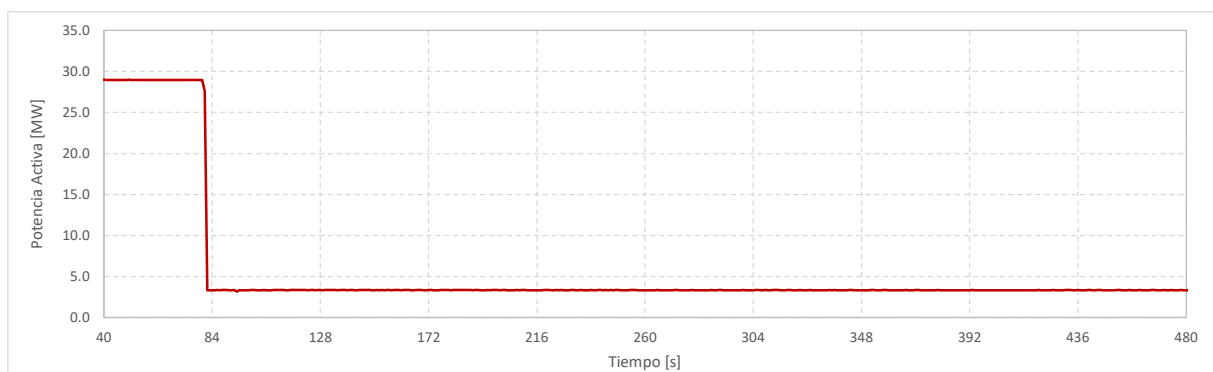


Gráfico 7. Respuesta CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ΔF = +700 mHz.

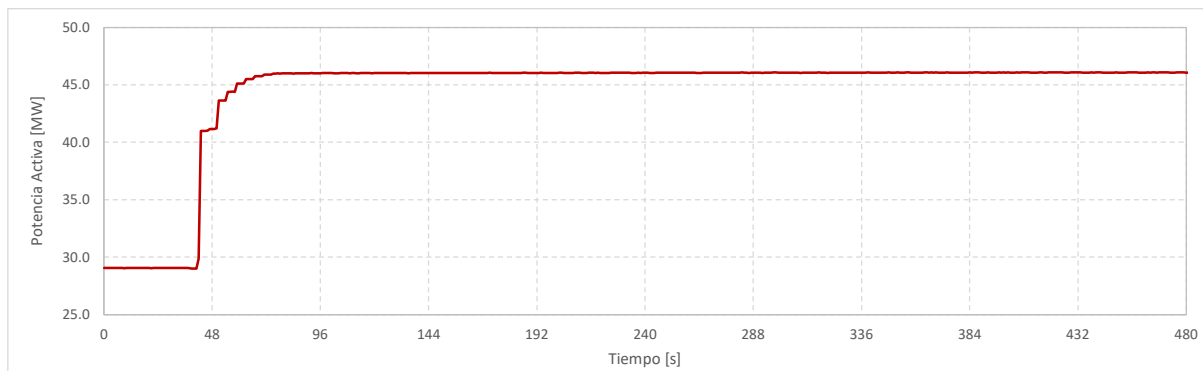


Gráfico 8. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

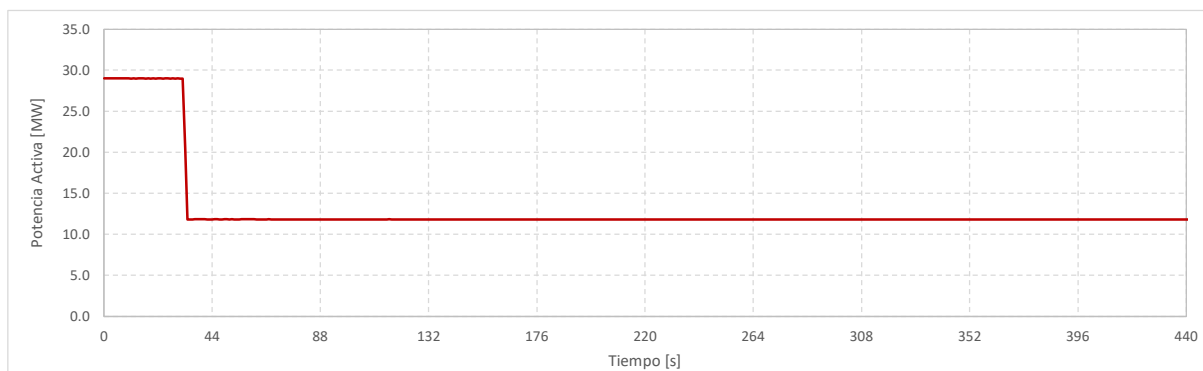


Gráfico 9. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

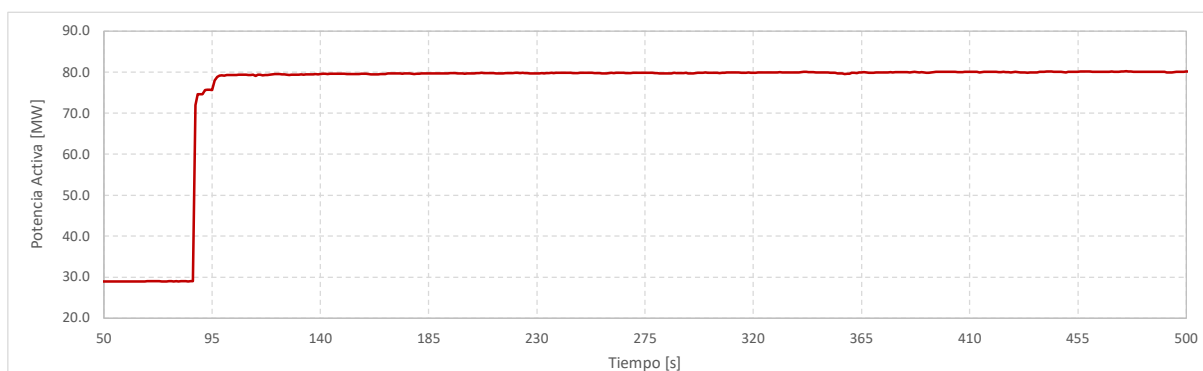


Gráfico 10. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

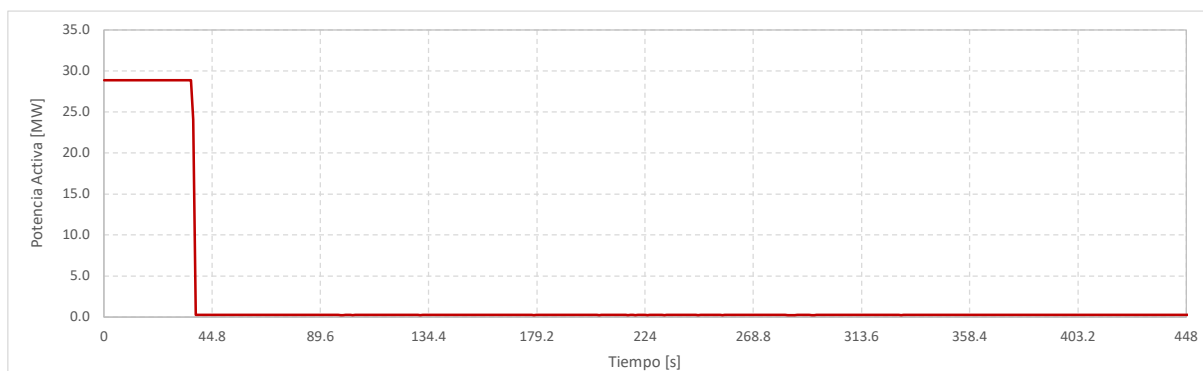


Gráfico 11. Respuesta CPF_29 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

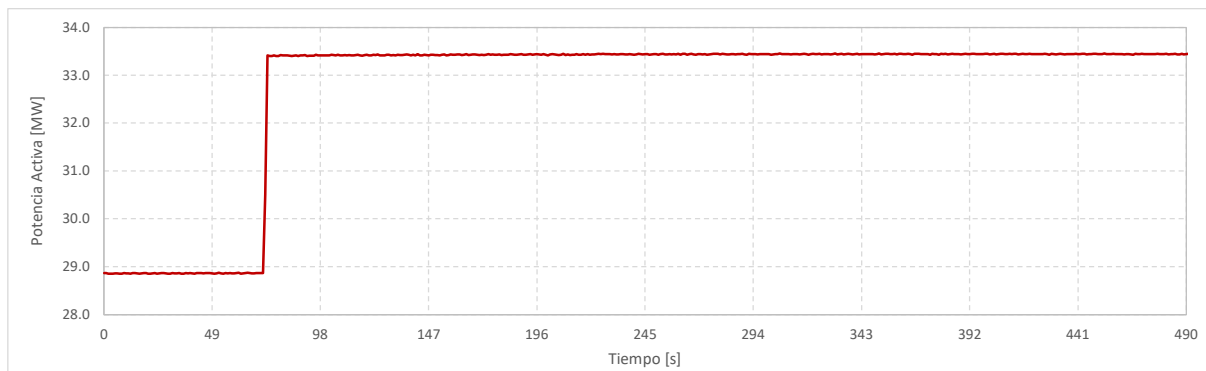


Gráfico 12. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

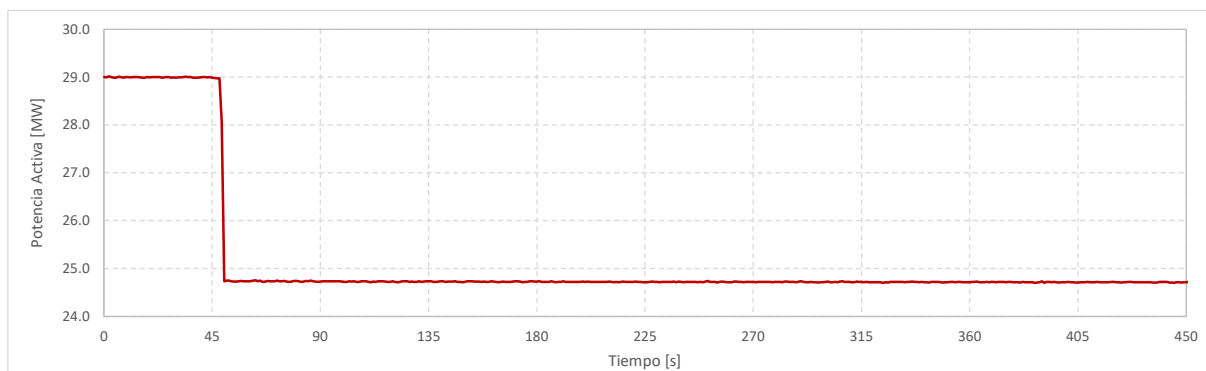


Gráfico 13. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

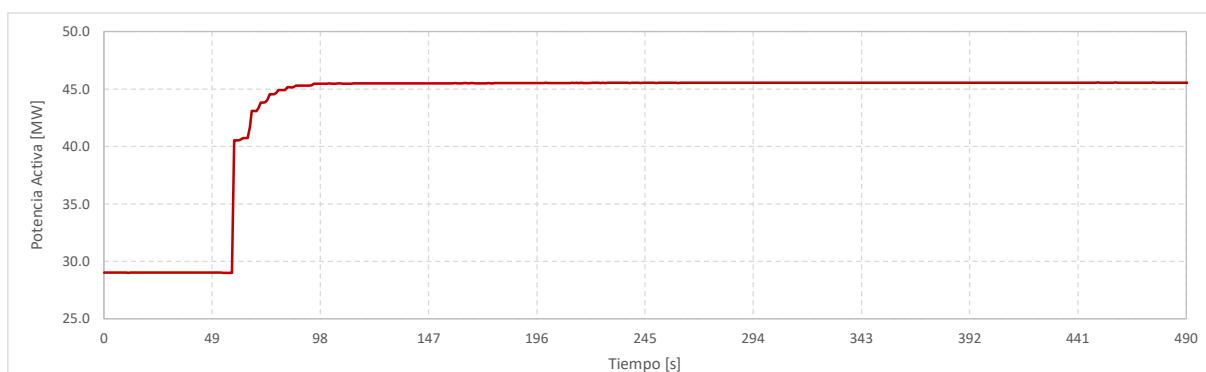


Gráfico 14. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

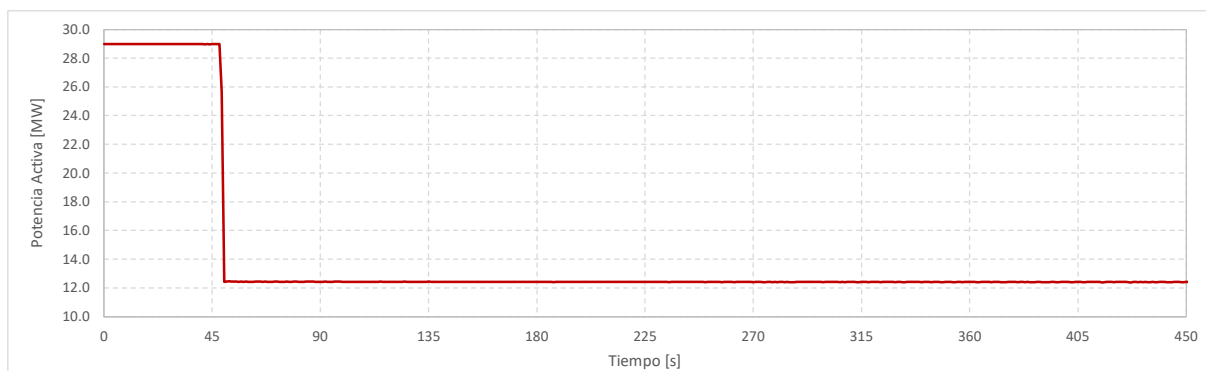


Gráfico 15. Respuesta CPF_29 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

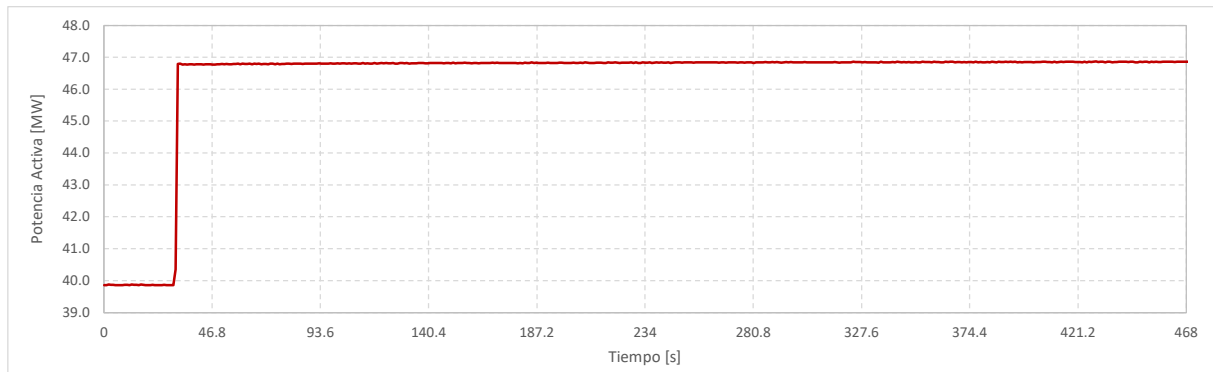


Gráfico 16. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ $\Delta F = -200$ mHz.

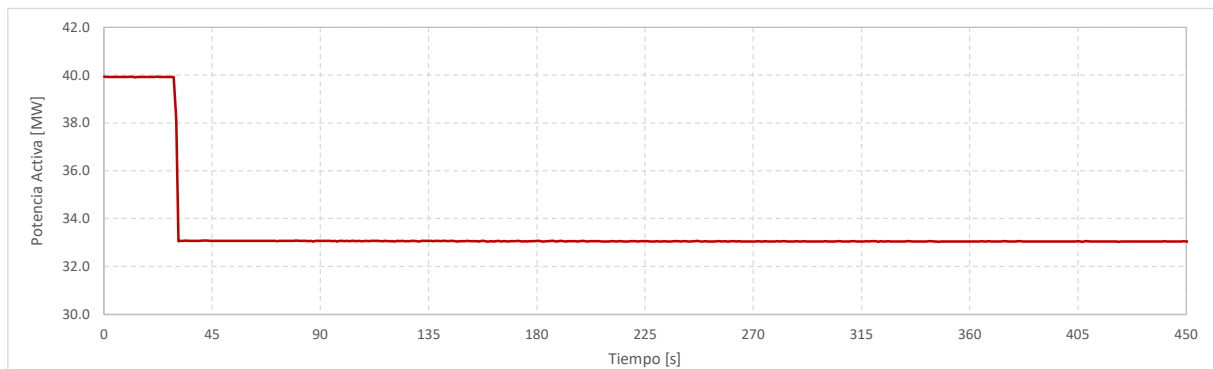


Gráfico 17. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ $\Delta F = +200$ mHz.

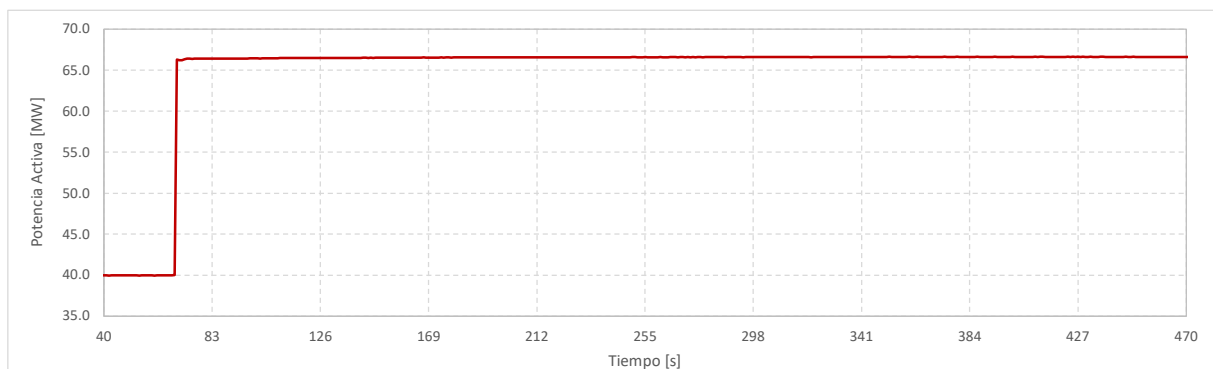


Gráfico 18. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ $\Delta F = -700$ mHz.

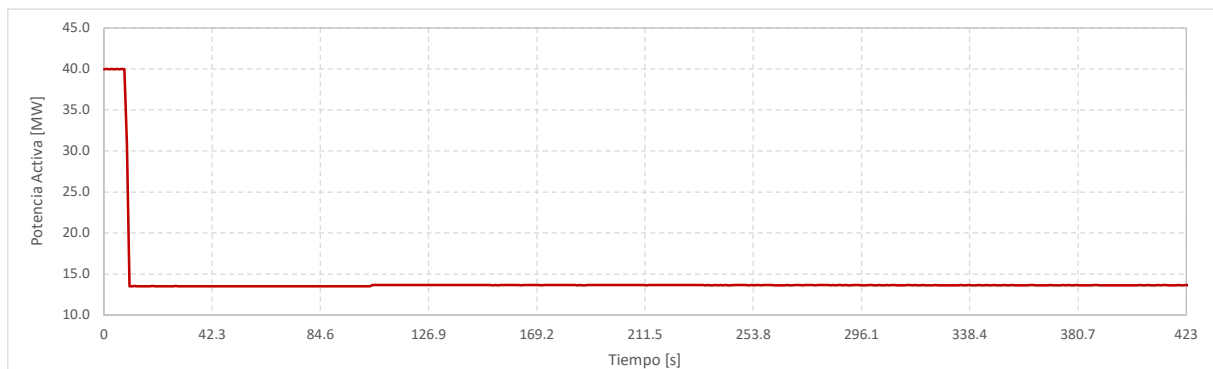


Gráfico 19. Respuesta CPF_40 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ $\Delta F = +700$ mHz.

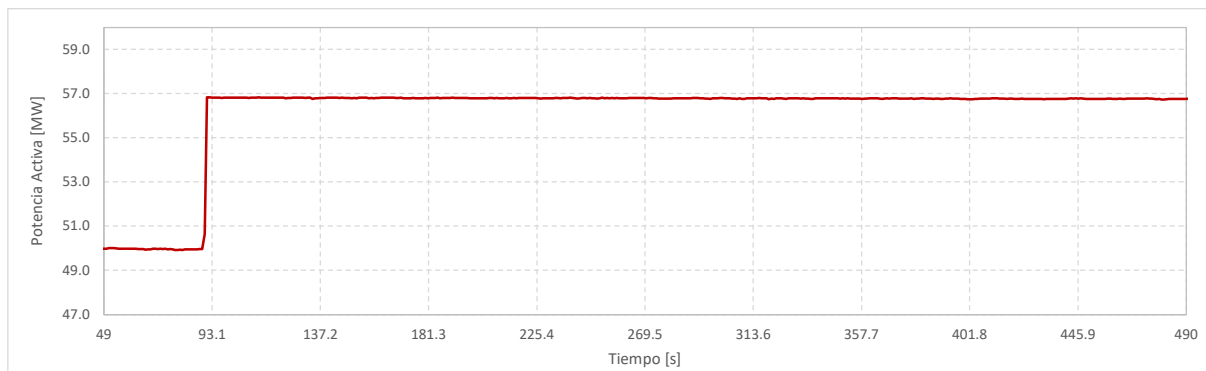


Gráfico 20. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

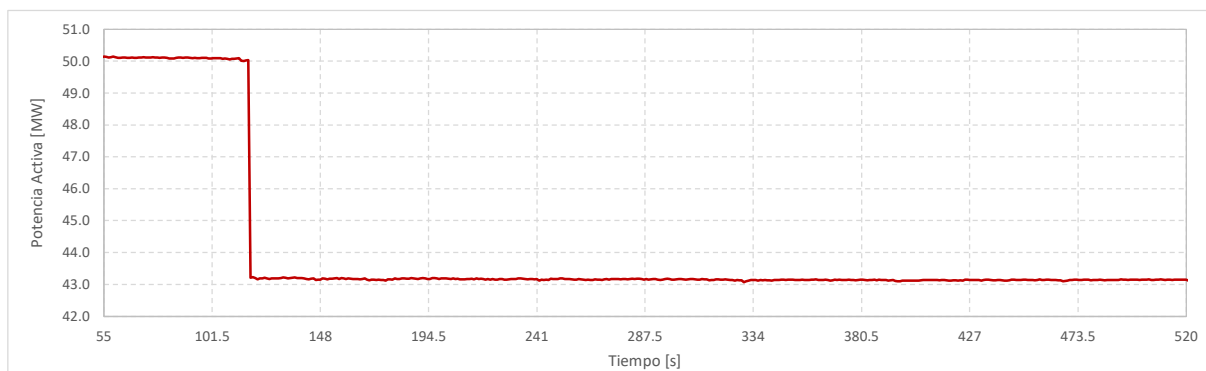


Gráfico 21. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

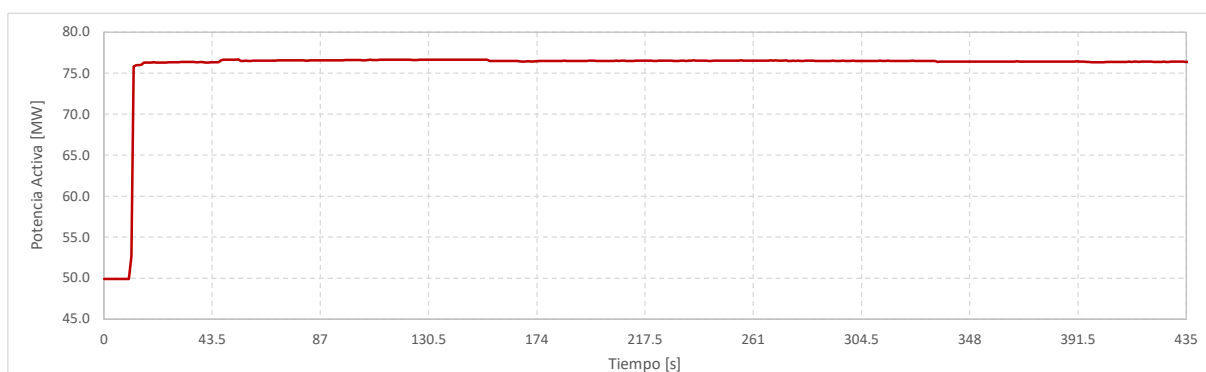


Gráfico 22. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

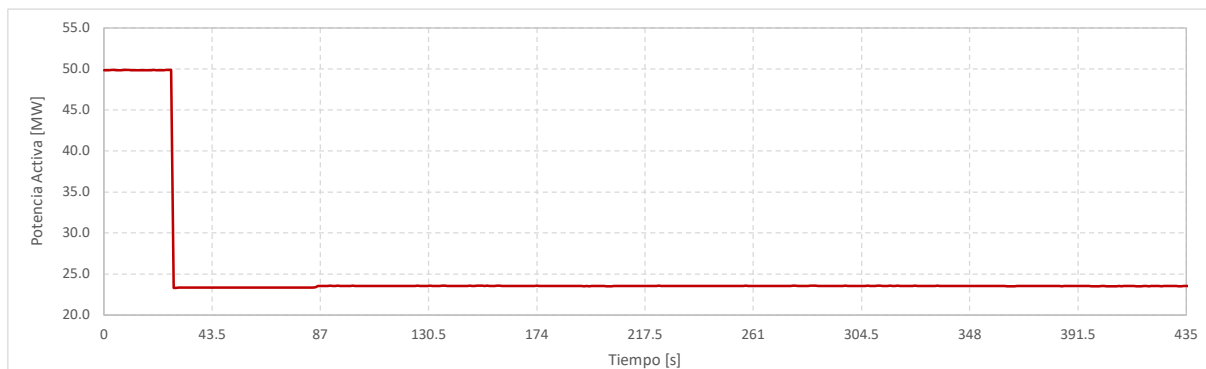
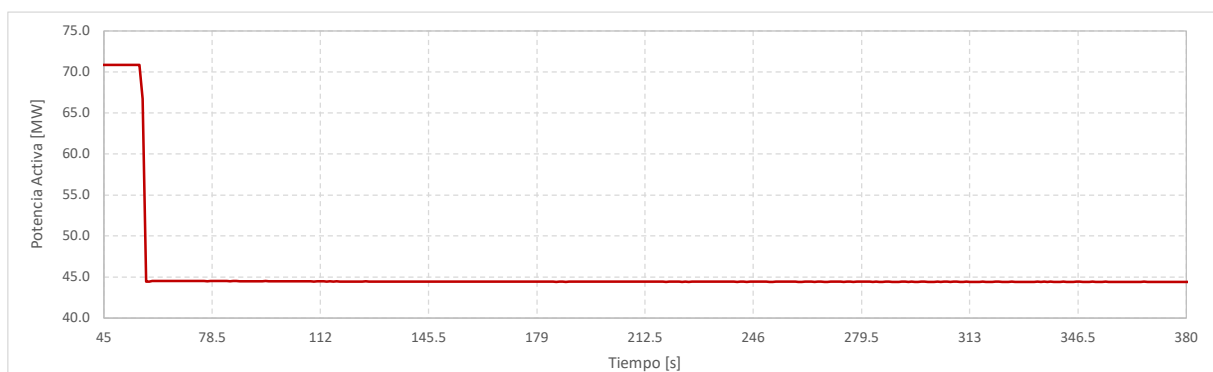
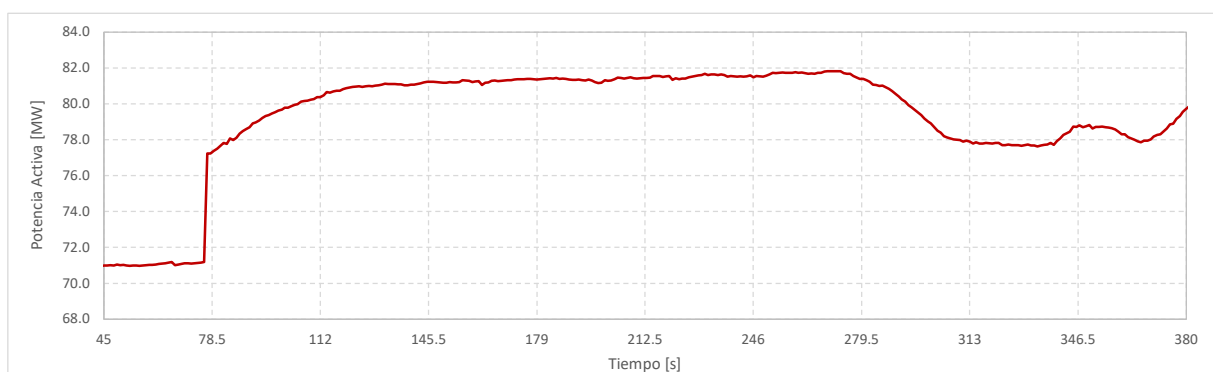
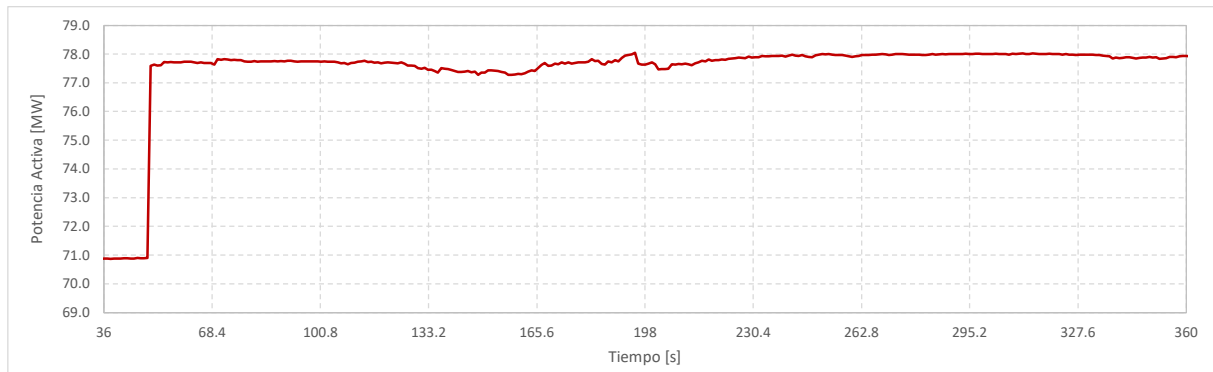


Gráfico 23. Respuesta CPF_50 MW_E = 5%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.



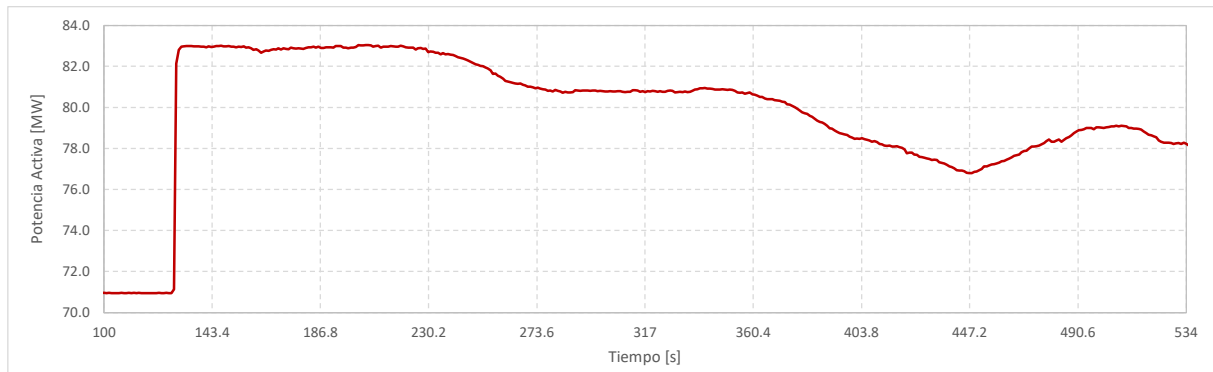


Gráfico 28. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

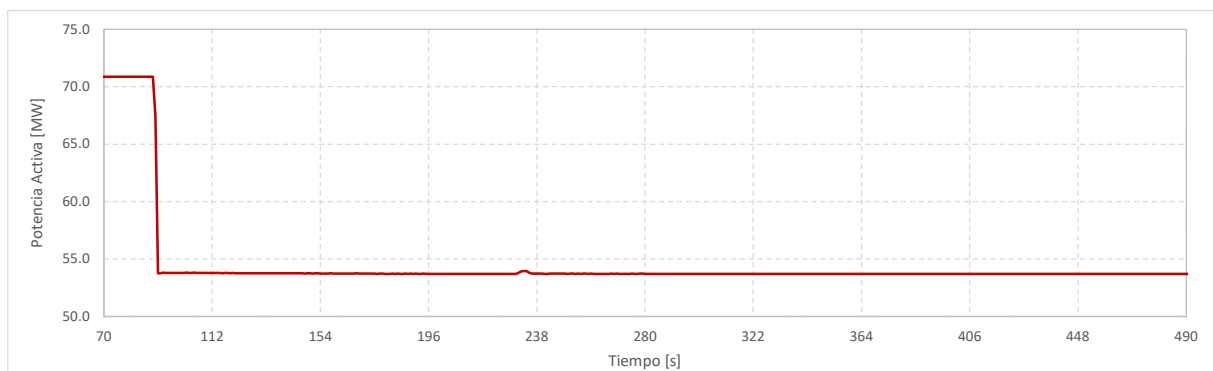


Gráfico 29. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.

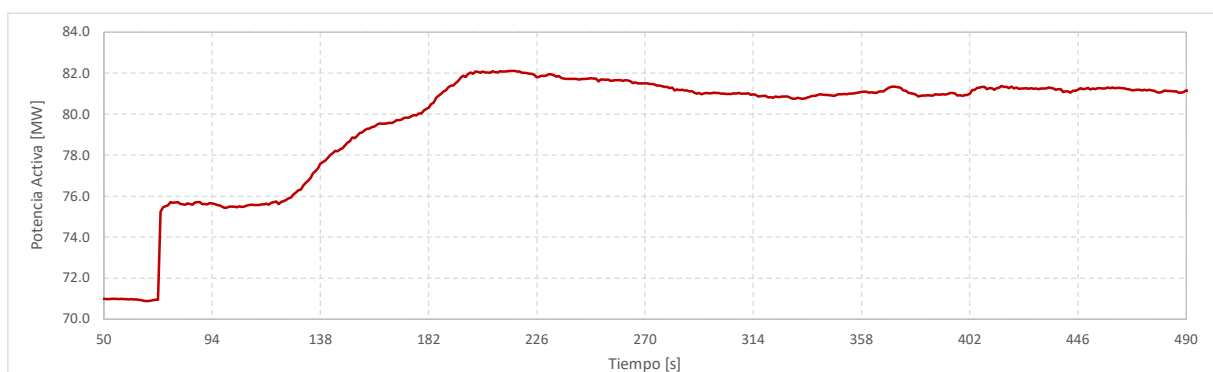


Gráfico 30. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = -700 mHz.

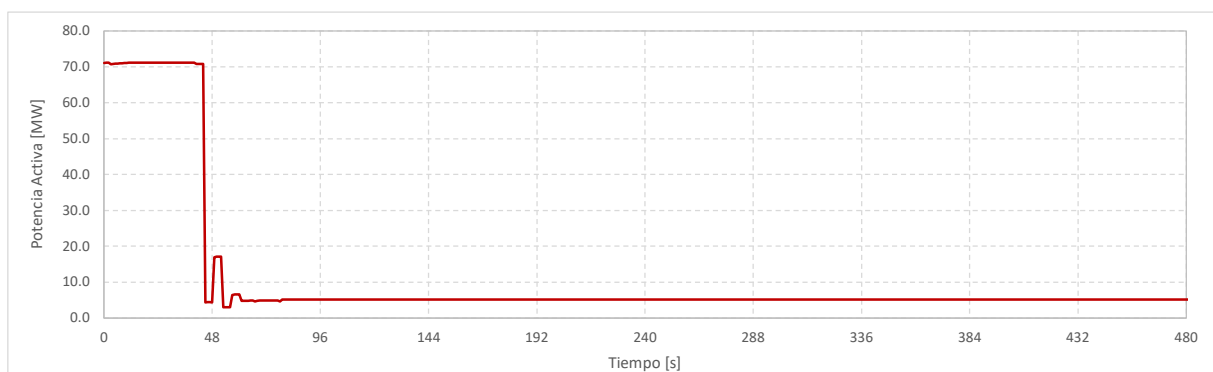


Gráfico 31. Respuesta CPF_71 MW_E = 2%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

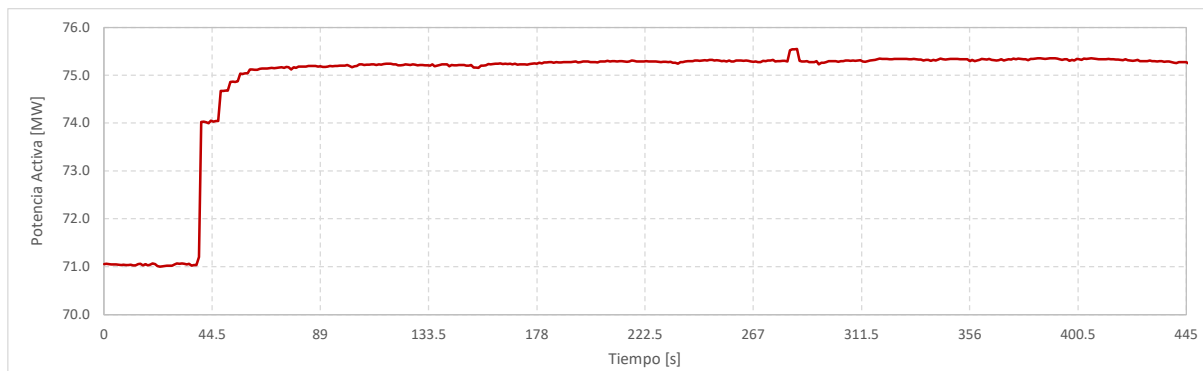


Gráfico 32. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = -200 mHz.

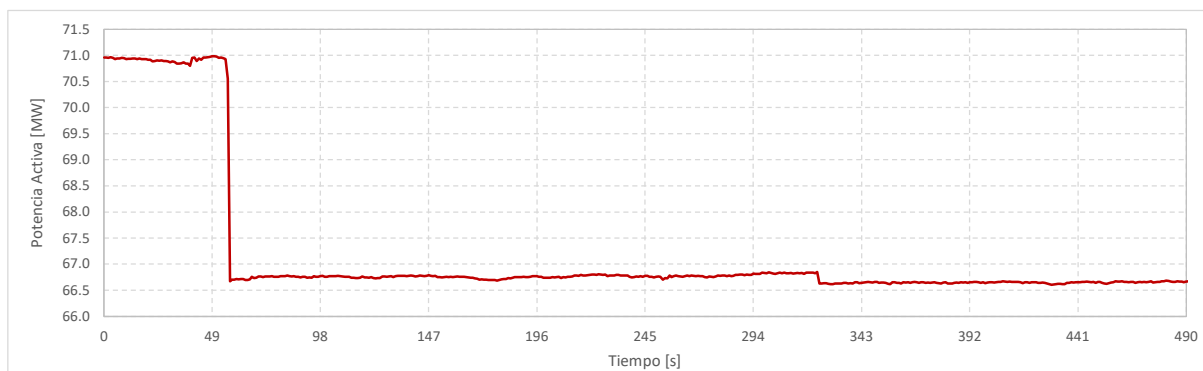


Gráfico 33. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +200 mHz.



Gráfico 34. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 20 mHz_ ΔF = -700 mHz.

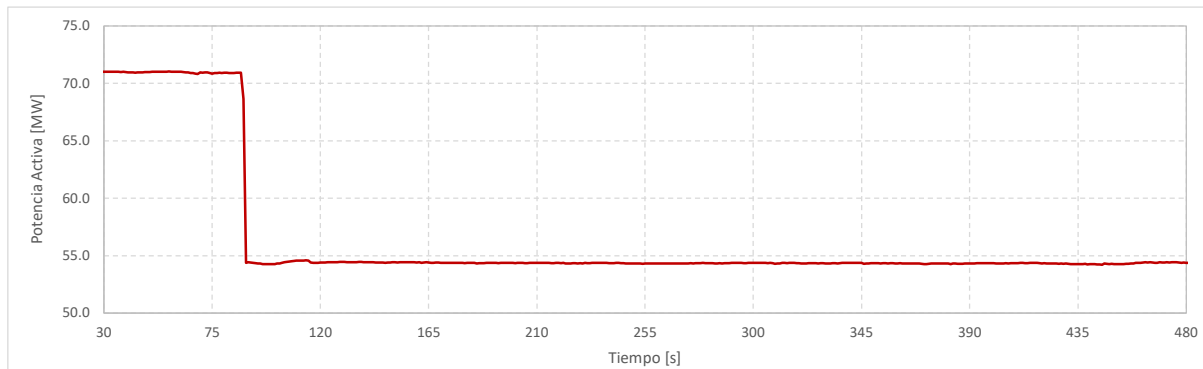


Gráfico 35. Respuesta CPF_71 MW_E = 8%_DB = 25 mHz_ ΔF = +700 mHz.

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 se presenta en los gráficos Gráfico 26, Gráfico 28, Gráfico 30 y Gráfico 34, por otro lado la respuesta corresponde al signo correcto para estos escalones.

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

Operando el PSFV 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 5%.

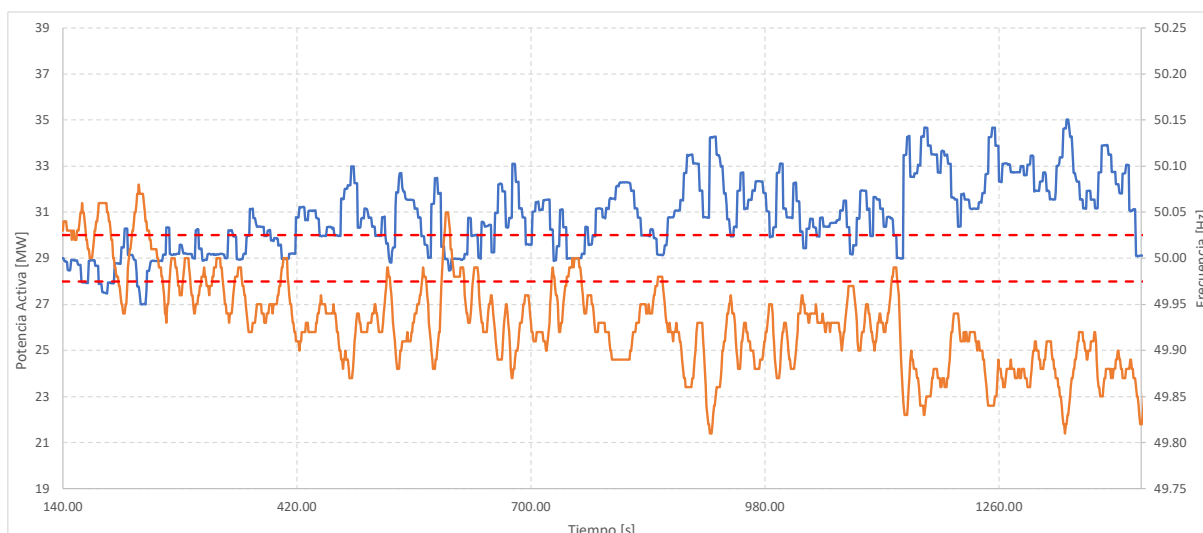


Gráfico 36. CPF_29 MW_E = 5%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.

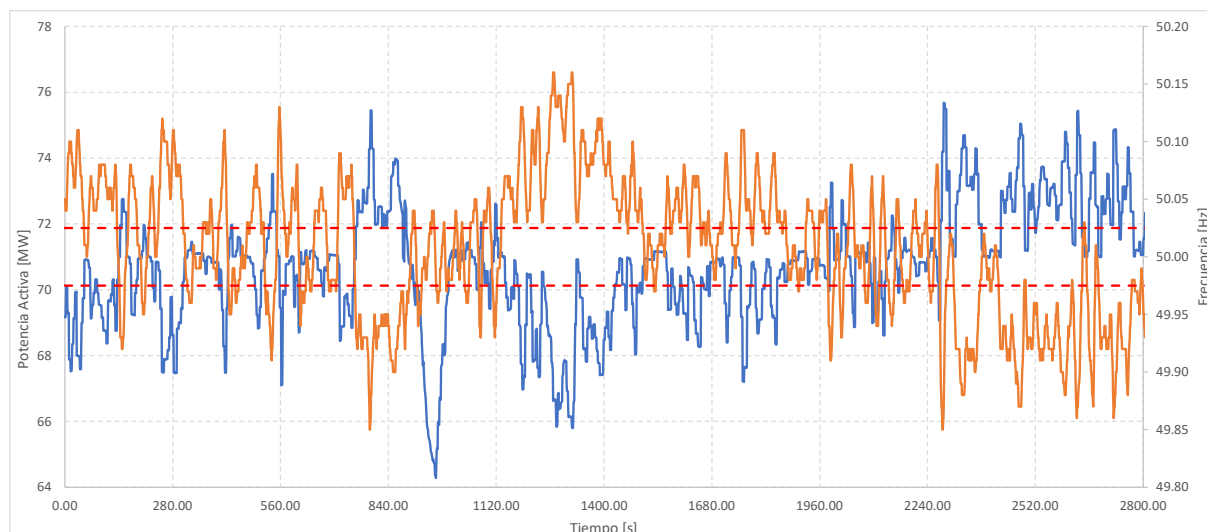


Gráfico 37. CPF_71 MW_E = 5%_DB = 25 mHz. Respuesta libre.

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

4.3. 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 Hz, 50.2 Hz, 50.4 Hz, 50.6 Hz, 50.8 Hz, 51 Hz, 51.2 Hz, 51.4 Hz, 50 Hz con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del estatismo configurado. A continuación, se muestra el resultado obtenido:

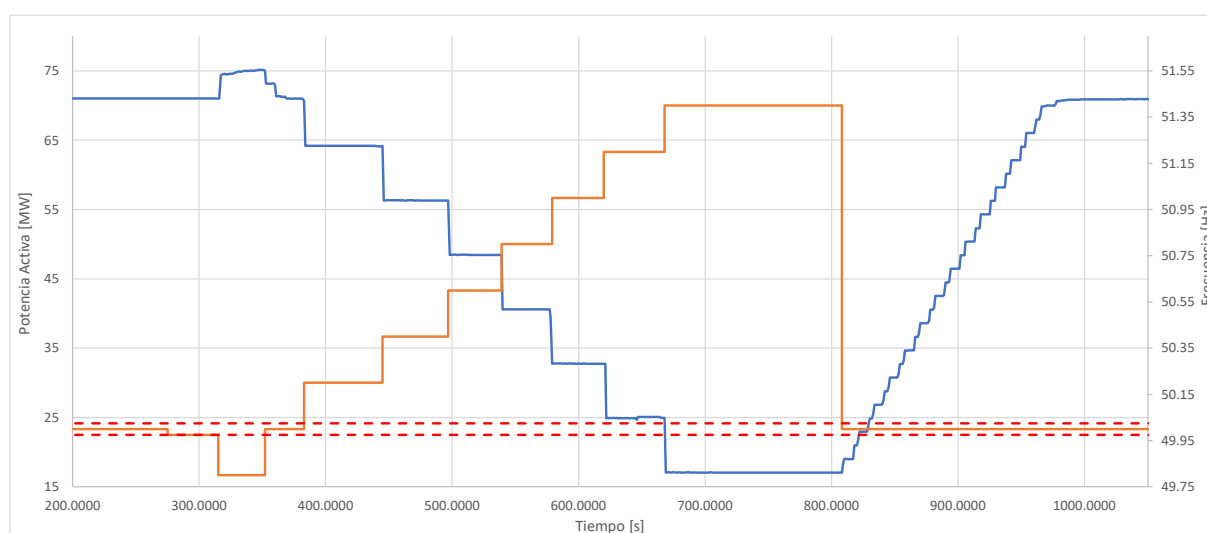


Gráfico 38. Respuesta temporal para escalones de frecuencia con la banda muerta configurada en ± 25 mHz.

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]
200	50.0	71.02
275	49.975	71.02
320	49.8	75.10
352	50	71.00
383	50.2	64.18
445	50.4	56.33
497	50.6	48.47
539	50.8	40.62
579	51	32.76
620	51.2	24.91
668	51.4	17.06
808	50	70.91

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 $E = 5\%$, 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]
71	6.86	70.90	6.73	6.71	7.03	-6.86	70.42	-6.86	-6.77	-6.97
50	6.86	49.95	6.86	6.85	6.81	-6.86	50.05	-6.86	-6.86	-6.9
40	6.86	39.86	6.92	6.93	7	-6.86	39.90	-6.86	-6.84	-6.84
29	6.86	29.00	6.70	5.84	6.7	-6.86	29.00	-6.86	-6.86	-6.86

Tabla 4. Resumen de aportes E = 5%, 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]
71	26.46	71.13	10.26	6.64	6.88	-26.46	70.86	-26.46	-26.35	-26.44
50	26.46	49.90	26.42	26.39	26.42	-26.46	49.90	-26.55	-26.55	-26.36
40	26.46	40.00	26.22	26.38	26.59	-26.46	40.00	-26.49	-26.48	-26.49
29	26.46	28.86	26.63	26.64	26.54	-26.46	29.00	-25.65	-25.64	-25.64

De las tablas anteriores puede verificarse que en principio el aporte resultante coincide en gran medida con el teórico, verificando así el estatismo de 5% configurado.

Tabla 5. 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]
71	17.15	70.95	12.03	12.04	7.2	-17.15	70.86	-17.16	-17.08	-17.17
29	17.15	29.00	17.04	12.22	17.07	-17.15	28.98	-17.19	-17.08	-17.17

Tabla 6. 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]
71	66.15	70.97	10.15	4.61	10.28	-66.15	70.86	-65.98	-65.98	-65.71
29	66.15	29.01	51.05	50.13	51.05	-66.15	28.85	-28.58	-28.58	-28.59

De las tablas anteriores puede verificarse que en principio el aporte resultante coincide en gran medida con el teórico, verificando así el estatismo de 2% configurado.

Tabla 7. Resumen de aportes E = 8%, 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]
71	4.29	71.03	4.24	3.65	4.24	-4.29	70.95	-4.17	-4.19	-4.27
29	4.29	28.86	4.58	4.55	4.57	-4.29	28.98	-4.24	-4.24	-4.27

Tabla 8. Resumen de aportes E = 8%, 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]
71	16.54	71.02	10.94	10.84	5.52	-16.54	70.93	-16.5	-16.39	-16.54
29	16.54	29.01	16.54	16.54	16.55	-16.54	28.98	-16.55	-16.56	-16.59

De las tablas anteriores puede verificarse que en principio el aporte resultante coincide en gran medida con el teórico, verificando así el estatismo de 8% configurado.

Como ya se mencionó antes algunos de los escalones no alcanzan el aporte correspondiente, esto se debe a el recurso disponible que en este caso limita el valor máximo de aporte disponible en cada una de estas instancias. Por otro lado, se puede observar que el aporte del escalón de +700 mHz a 2% de estatismo y 29 MW de carga no llega al aporte comprometido debido a que sería menor que cero en esa ocasión. Todos los escalones respetan el signo correspondiente a la variación de frecuencia inyectada.

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 5%, 2% y 8%, y banda muerta configurada en planta (25 mHz). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

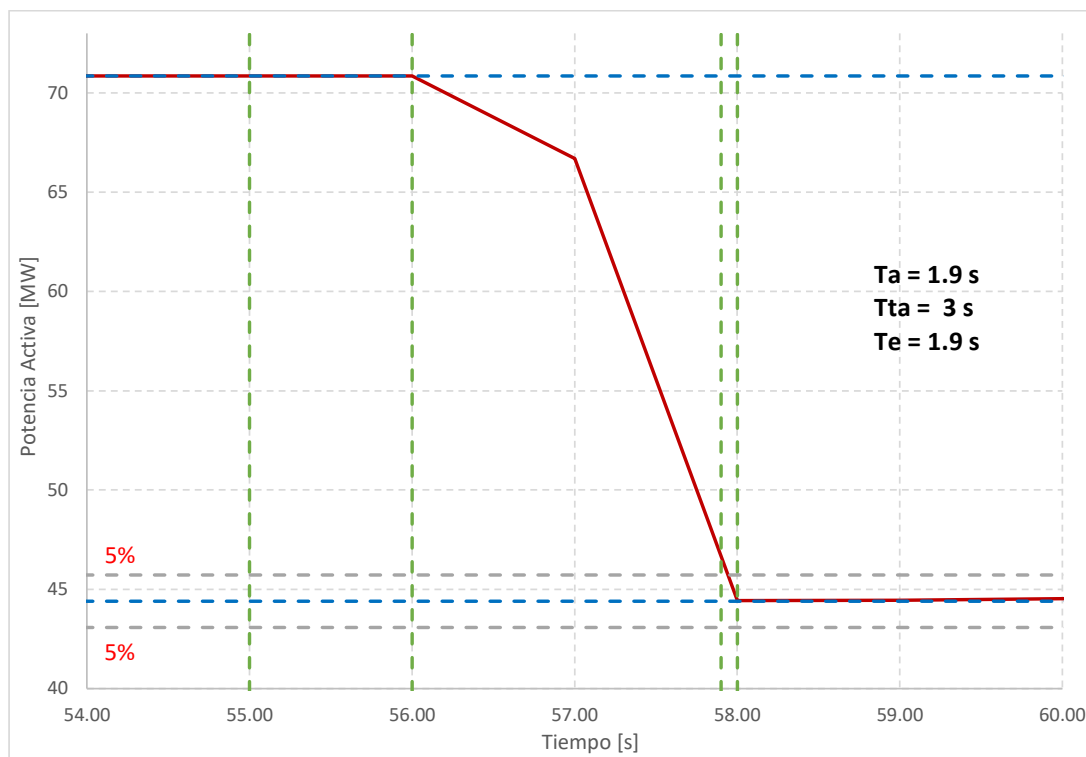


Gráfico 39. Parámetros de desempeño calculados para E = 5% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.

Tabla 9. Tiempos asociados para E = 5% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.

t1 [s]	55.0	Envío de setpoint
t2 [s]	56.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	57.9	Llegada a banda (5%)
t4 [s]	58.0	Llegada a setpoint

Tabla 10. Parámetros de desempeño para E = 5% y escalón de +700 mHz_71 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)	3	10	Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	1.9	30	Cumple

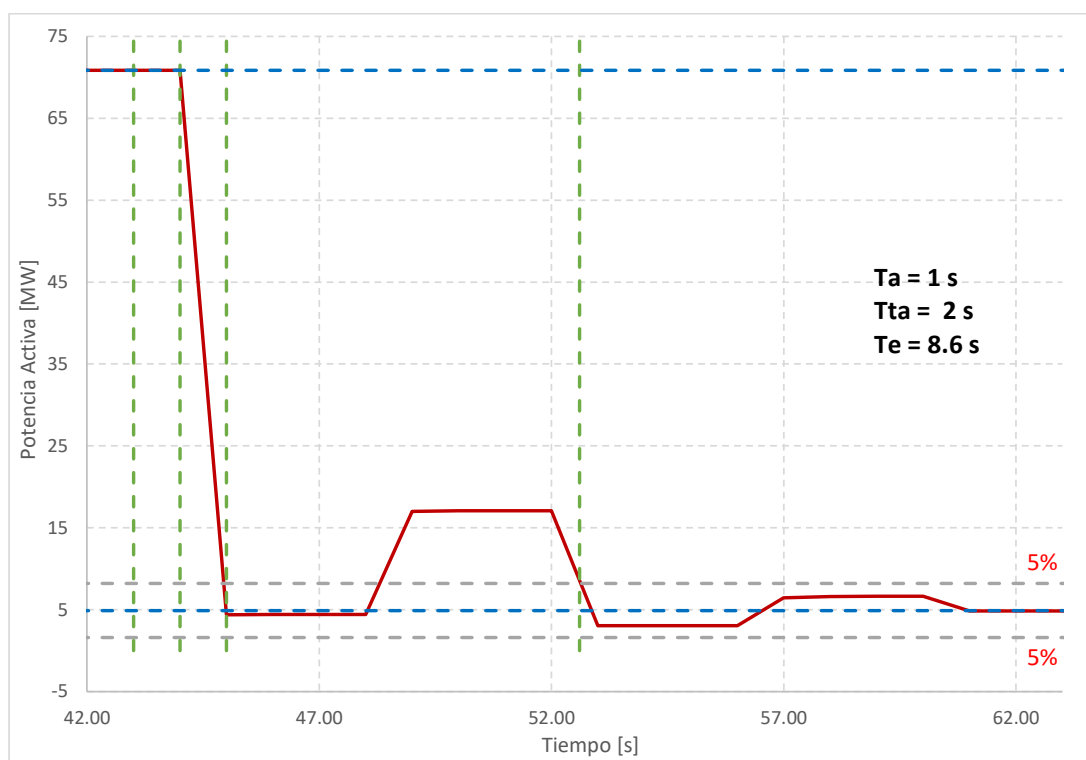


Gráfico 40. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.

Tabla 11. Tiempos asociados para E = 2% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.

t1 [s]	43.0	Envío de setpoint
t2 [s]	44.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	52.6	Llegada a banda (5%)
t4 [s]	45.0	Llegada a setpoint

Tabla 12. Parámetros de desempeño para E = 2% y escalón de +700 mHz_71 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)	2	10	Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	8.6	30	Cumple

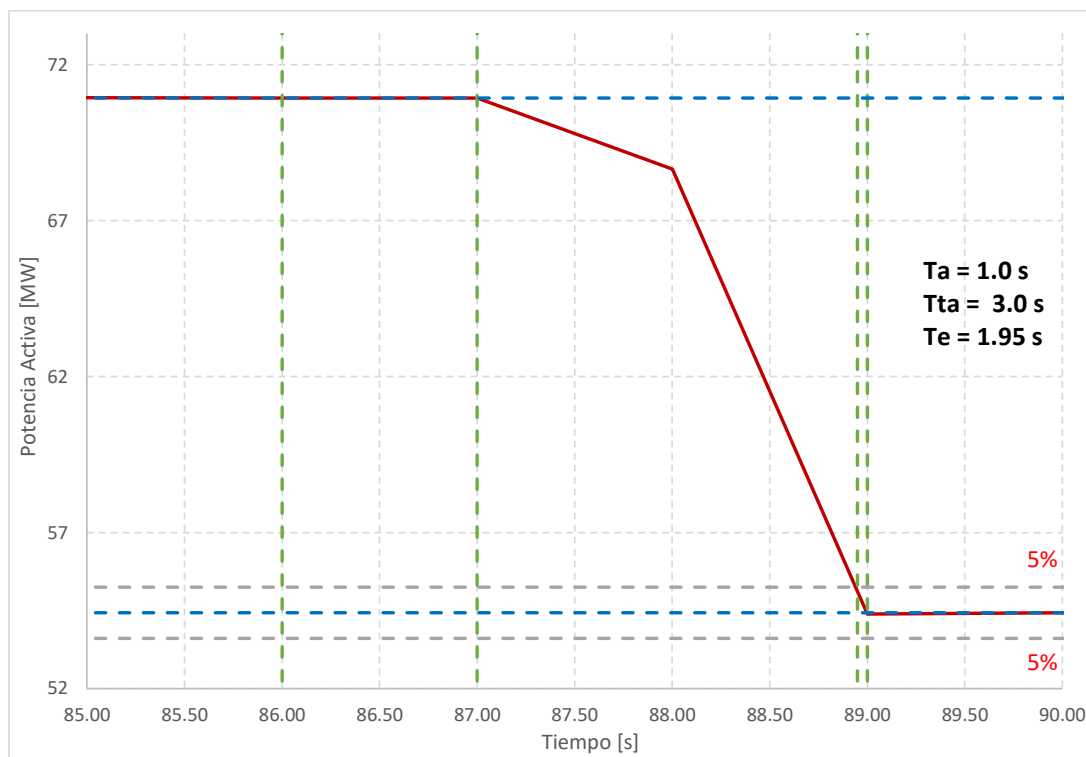


Gráfico 41. Parámetros de desempeño calculados para E = 8% y escalón de +700 mHz_71 MW_CPF.

Tabla 13. Tiempos asociados para E = 8% y escalón de +200 mHz_71 MW_CPF.

t1 [s]	86.0	Envío de setpoint
t2 [s]	87.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	88.95	Llegada a banda (5%)
t4 [s]	89.0	Llegada a setpoint

Tabla 14. Parámetros de desempeño para E = 8% y escalón de +700 mHz_71 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)	3	10	Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	1.95	30	Cumple

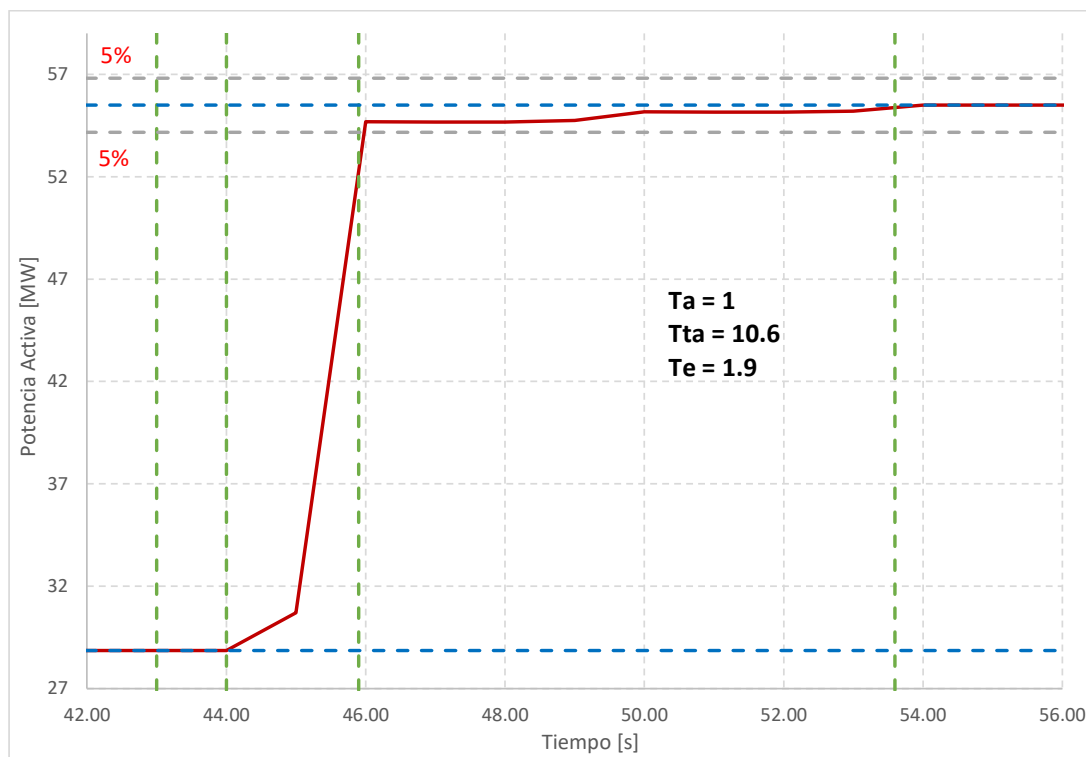


Gráfico 42. Parámetros de desempeño calculados para E = 5% y escalón de -700 mHz_20 MW_CPF.

Tabla 15. Tiempos asociados para E = 5% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.

t1 [s]	43.0	Envío de setpoint
t2 [s]	44.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	45.9	Llegada a banda (5%)
t4 [s]	53.6	Llegada a setpoint

Tabla 16. Parámetros de desempeño para E = 5% y escalón de -700 mHz_29 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)	10.6	10	No Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	1.9	30	Cumple

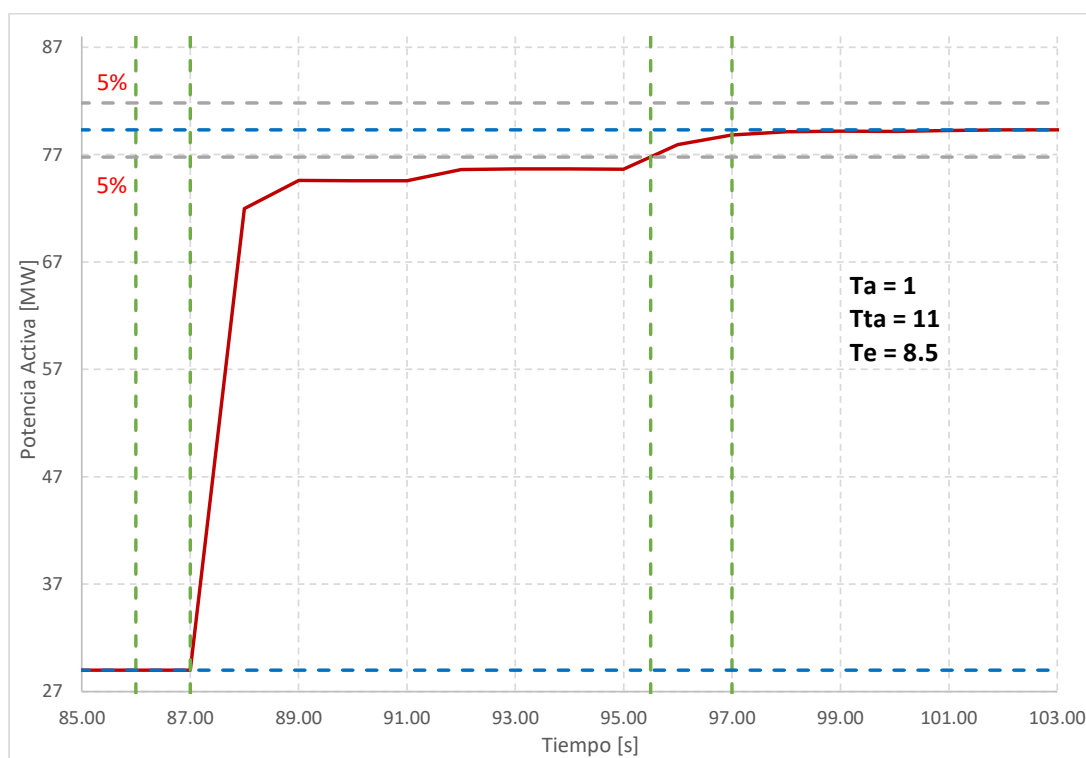


Gráfico 43. Parámetros de desempeño calculados para E = 2% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.

Tabla 17. Tiempos asociados para E = 2% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.

t1 [s]	86.0	Envío de setpoint
t2 [s]	87.0	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	95.5	Llegada a banda (5%)
t4 [s]	97.0	Llegada a setpoint

Tabla 18. Parámetros de desempeño para E = 2% y escalón de -700 mHz_29 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)	11	10	No Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	8.5	30	Cumple

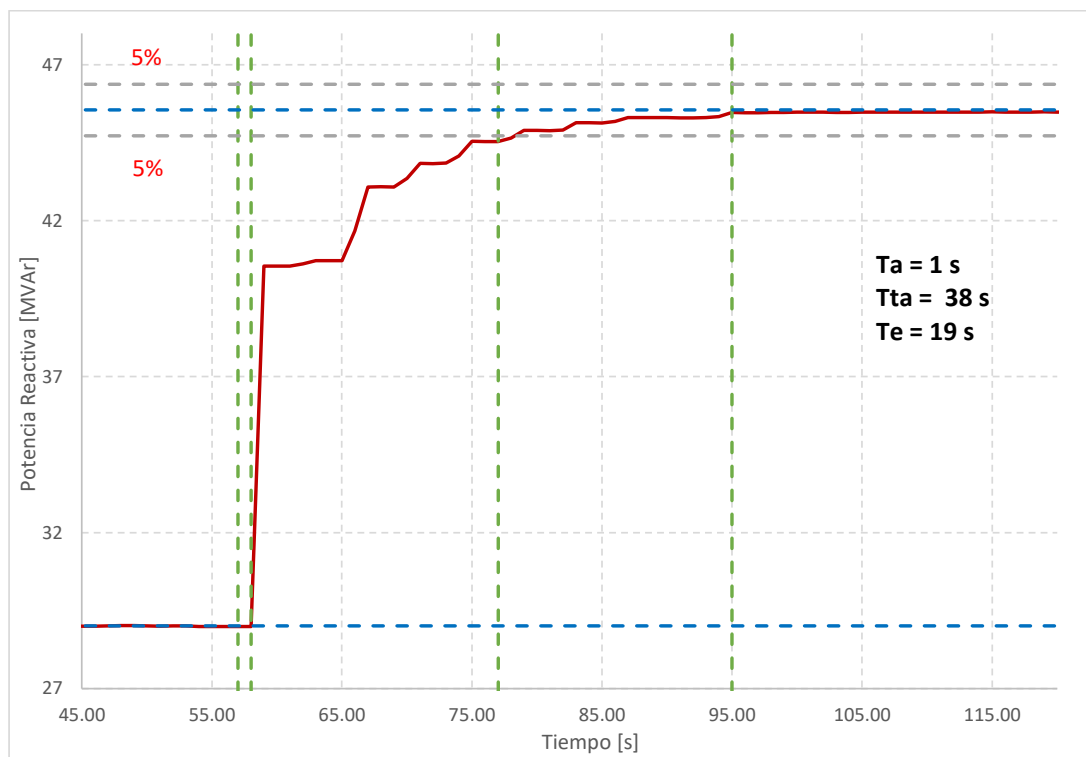


Gráfico 44. Parámetros de desempeño calculados para E = 8% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.

Tabla 19. Tiempos asociados para E = 8% y escalón de -700 mHz_29 MW_CPF.

t1 [s]	57	Envío de setpoint
t2 [s]	58	Inicio de respuesta en frecuencia
t3 [s]	77	Llegada a banda (5%)
t4 [s]	95	Llegada a setpoint

Tabla 20. Parámetros de desempeño para E = 8% y escalón de -700 mHz_29 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)	38	10	No Cumple
Tiempo de establecimiento (te)	19	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.

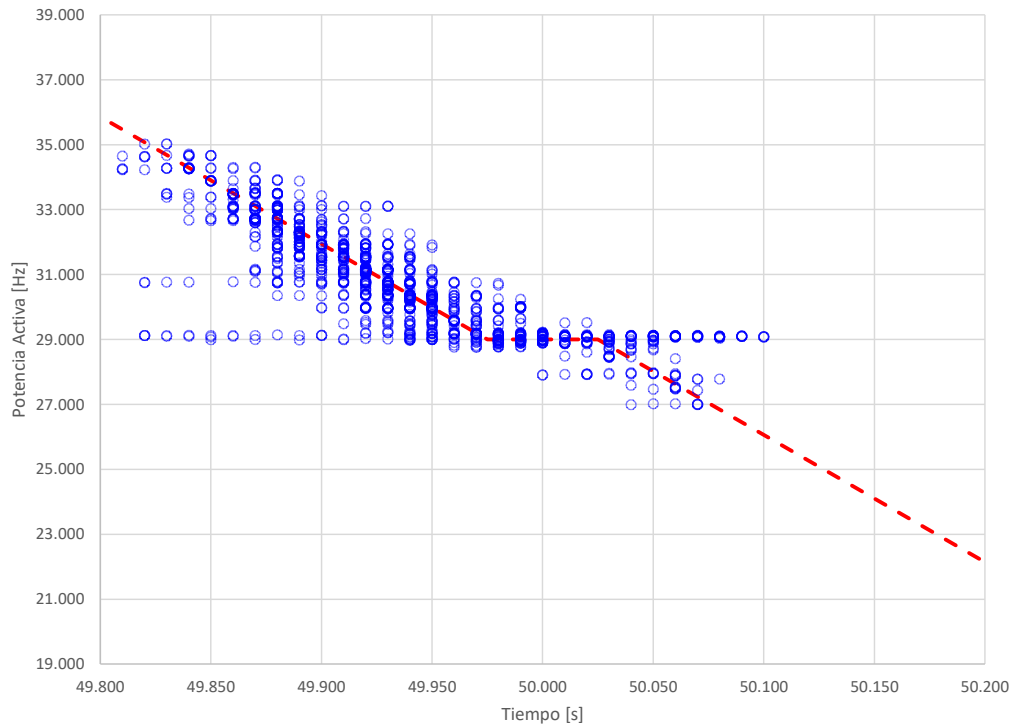


Gráfico 45. Verificación de la BM y estatismo, P = 29 MW. Registro libre.

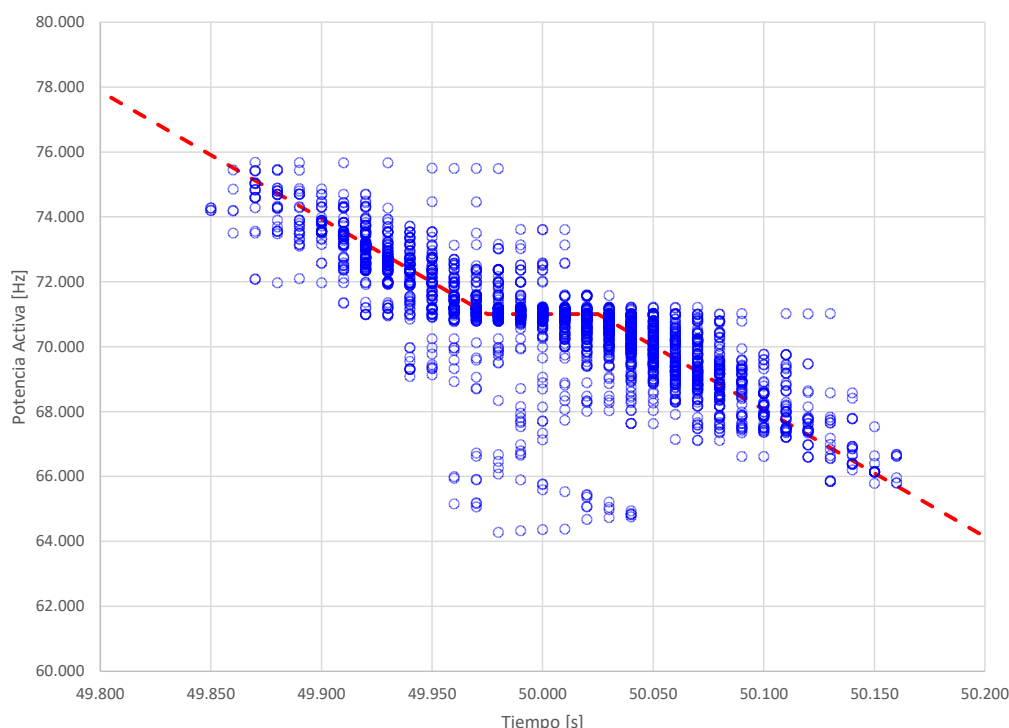


Gráfico 46. Verificación de la BM y estadismo, P = 71 MW. Registro libre.

En el Gráfico 45 y el Gráfico 46 se verifica el correcto cumplimiento del estadismo (5%) 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. Para generadores de tipo ENRC la normativa indica que esta debe surgir como el mínimo entre la potencia despachada y el recurso disponible.

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 PSFV Willka 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 (5%) a partir de los escalones de +200 mHz y +700 mHz ensayados en la sección 4.1 para despacho P3_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	-6.97	98	0.025	4.921	5	Cumple
+0.7	-26.44	98	0.025	5.004	5	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	5%	2 a 8%
Banda Muerta	200 mHz	25 a 200 mHz

Los parámetros de estatismo y banda muerta fueron modificados por el especialista del fabricante 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 (%)		6	
Estatismo global	Estatismo global (%)		6	
Estatismo al cual la unidad se encuentra ajustada normalmente (5%)	Escalón 0,2 Hz	Reserva comprometida (escalón 0,2Hz)	$\text{Reserva Comprometida} = \frac{0.2 \text{ Hz} - BM}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{PMax}{R\%}$	
		MT (29 MW)	6.86	
			Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			2.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			27.00	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			0.95	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			17.50	
			Reserva alcanzada [MW]	
			6.86	
		P1 (40 MW)	Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			3.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			3.00	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			1.90	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			1.90	
			Reserva alcanzada [MW]	
			6.86	
		P2 (50 MW)	Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			2.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			3.00	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			0.90	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			1.90	
			Reserva alcanzada [MW]	
			6.86	
		PMax (71 MW)	Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			6.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			2.00	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			4.25	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			0.95	
			Reserva alcanzada [MW]	
			6.97	

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 (%)		6	
Estatismo global	Estatismo global (%)		6	
Estatismo al cual la unidad se encuentra ajustada normalmente (5%)	Escalón 0,7 Hz	Reserva comprometida (escalón 0,2Hz)	$\frac{0.2 \text{ Hz} - BM}{50 \text{ Hz}} \cdot \frac{PMax}{R\%}$	
		MT (29 MW)	26.46	
			Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			2.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			10.60	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			0.90	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			1.90	
			Reserva alcanzada [MW]	
			26.36	
		P1 (40 MW)	Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			3.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			2.00	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			1.90	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			0.90	
			Reserva alcanzada [MW]	
			26.49	
		P2 (50 MW)	Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			2.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			7.00	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			0.90	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			1.90	
			Reserva alcanzada [MW]	
			26.52	
		PMax (71 MW)	Banda muerta [mHz]	
			25	
			Tiempo Activación CPF+ [s]	
			1.00	
			Tiempo Activación CPF- [s]	
			1.00	
			Tiempo total de activación CPF+ [s]	
			3.00	
			Tiempo total de activación CPF- [s]	
			-	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF+ [s]	
			1.90	
			Tiempo máximo de establecimiento CPF- [s]	
			-	
			Reserva alcanzada [MW]	
			26.44	

6. Conclusiones

- Se realizaron ensayos de verificación del servicio complementario de control primario de frecuencia sobre el PSFV Willka, 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 y mínimo 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 PSFV Willka 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. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

1.1. Datos de los paneles solares

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

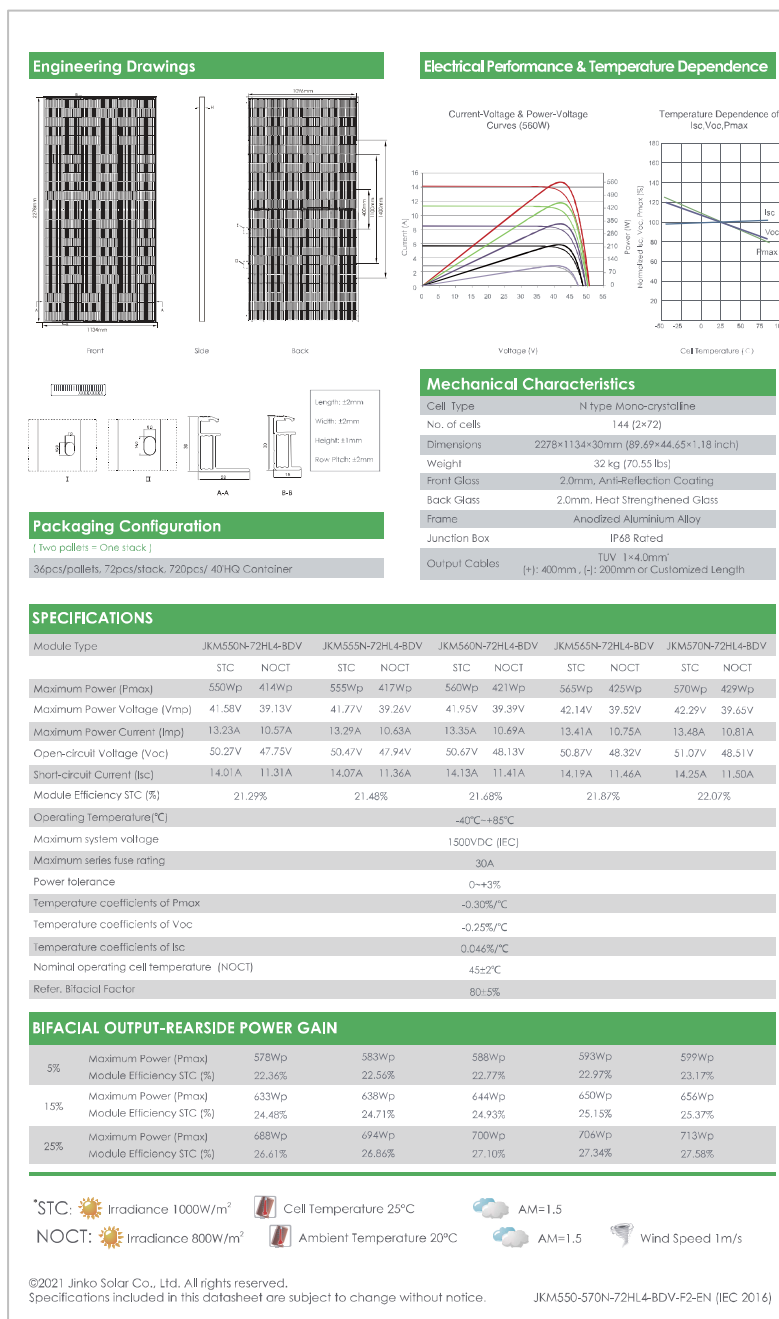


Gráfico 47. Características técnicas de los paneles solares.

1.2. Datos de los inversores

El parque solar fotovoltaico Willka cuenta con 26 inversores marca PowerElectronics modelo HEMK GEN 3 660V – FS4200K, cuyas características técnicas se muestran en la siguiente figura:

		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4
REFERENCES		FS2101K	FS3151K	FS4200K
OUTPUT	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2100	3150	4200
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	1950	2925	3900
	Max. AC Output Current (A) @40°C	1837	2756	3674
	Operating Grid Voltage (VAC)	660V ±10%		
	Operating Grid Frequency (Hz)	50/60Hz		
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519		
	Power Factor (cosine phi) ^[2]	0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive power injection at night		
INPUT	DC Voltage Range ^[3]	934V - 1500V		
	Maximum DC Voltage	1500V		
	Number of Inputs	Up to 20	Up to 30	Up to 40
	Max. DC Continuous Current (A) ^[4]	2295	3443	4590
	Max. DC Short Circuit Current (A) ^[4]	3470	5205	6940
	Number of MPPT (floating systems)	1	1	1, optionally 2 or 4
	Number of Freemaq DC/DC ^[4]	Up to 2 (Bus Plus Basic) or 4 (Bus Plus Advanced)		
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η)	98.81%	98.84%	98.90%
	Euroeta (η)	98.45%	98.48%	98.65%
CABINET	Dimensions [WxDxH] (ft)	9.8 x 6.6 x 7.2		
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.0 x 2.0 x 2.2		
	Weight (lbs)	11465	11795	12125
	Weight (kg)	5200	5350	5500
	Type of Ventilation	Forced air cooling		
ENVIROMENT	Degree of Protection	NEMA 3R / IP55		
	Permissible Ambient Temperature ^[5]	-25°C to +60°C, >50°C / Active Power derating		
	Relative Humidity	4% to 100% non-condensing		
	Max. Altitude (above sea level)	2000m / >2000m power derating (Max. 4000m)		
CONTROL INTERFACE	Communication Protocol	Modbus TCP		
	Power Plant Controller	Optional		
	Keyed ON/OFF Switch	Standard		
PROTECTIONS	Ground Fault Protection	GFDI and isolation monitoring device		
	Humidity Control	Active heating		
	General AC Protection & Disconn.	Circuit breaker		
	General DC Protection & Disconn.	Fuses, DC switch-disconnectors		
	Overvoltage Protection	Type 2 protection for AC and DC (optionally, Type 1+2)		
CERTIFICATIONS & STANDARDS	Safety	UL 1741 / CSA 22.2 No.107.1-16 / IEC 62109-1 / IEC 62109-2		
	Installation	NEC 2020 / IEC		
	Utility Interconnect	IEEE 1547:2018 / UL 1741 SB / IEC 62116:2014		

Gráfico 48. Características generales de los inversores.

El consumo máximo de potencia en operación es de $P_{SSAA\ INV} = 10\ kW$ según lo manifestado por el fabricante y se utilizará este valor en el cálculo de los servicios auxiliares del parque. La curva de capacidad de los inversores se muestra a continuación:

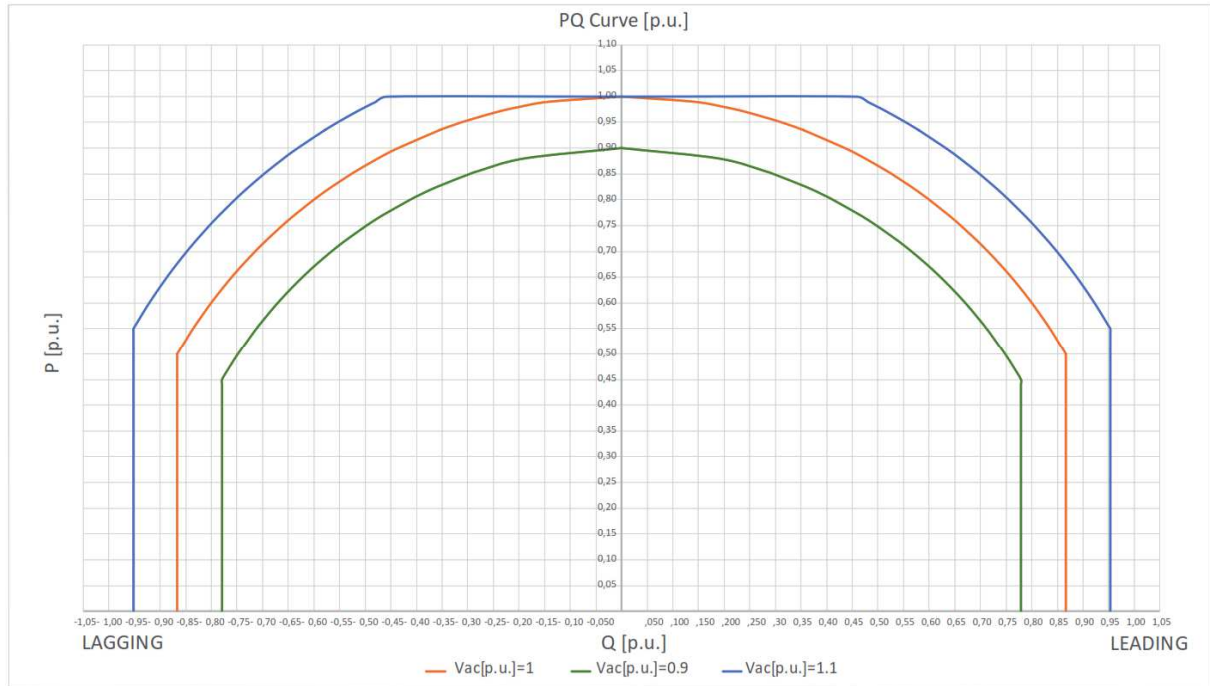


Gráfico 49. Curva de capacidad de los inversores.

1.3. Transformador de unidades

* Anma Gücü (kVA)	: 8400	* Marka	: ELTAŞ
* <i>Rated Power</i>		* <i>Brand</i>	
* Anma Gerilimi (kV)	: 33 / 0.66-0.66	* Seri No	: YT-22-12977
* <i>Rated Voltage</i>		* <i>Serial Number</i>	
* Bağlantı Grubu	: Dy11y11	* Proje No:	: IEC.8400.33.AL.AY.60.H1
* <i>Vector Group</i>		* <i>Project Number</i>	
* Frekans (Hz)	: 50	* Rapor No	: 22.YDT.1836
* <i>Frequency</i>		* <i>Report Number</i>	
* Soğutma Tipi	: ONAN	* Tip	: ELT-8400 / 36
* <i>Cooling</i>		* <i>Type</i>	
* YG / AG Sargı İletkeni	: AL/AL	* İmal Tarihi	: 11/2022
* <i>HV / LV Winding Conductor</i>		* <i>Production Date</i>	
* Faz Sayısı	: 3		
* <i>Number of Phases</i>			
* Yalıtım Sınıfı	: A		
* <i>Insulation Class</i>			
* Isınma Yağ/Sargı	: 60 / 65 K		
* <i>Temp. Rise Oil / Winding</i>			

* Anma Gücü (kVA)	: 4200	* Marka	: ELTAŞ
* <i>Rated Power</i>		* <i>Brand</i>	
* Anma Gerilimi (kV)	: 33 / 0.66	* Seri No	: YT-22-12989
* <i>Rated Voltage</i>		* <i>Serial Number</i>	
* Bağlantı Grubu	: Dy11	* Proje No:	: IEC.4200.33.AL.AY.60.H1
* <i>Vector Group</i>		* <i>Project Number</i>	
* Frekans	: 50 Hz	* Rapor No	: 22.YDT.1903
* <i>Frequency</i>		* <i>Report Number</i>	
* Soğutma Tipi	: ONAN	* Tip	: ELT-4200 / 36
* <i>Cooling</i>		* <i>Type</i>	
* YG / AG Sargı İletkeni	: AL/AL	* İmal Tarihi	: 11/2022
* <i>HV / LV Winding Conductor</i>		* <i>Production Date</i>	
* Faz Sayısı	: 3		
* <i>Number of Phases</i>			
* Yalıtım Sınıfı	: A		
* <i>Insulation Class</i>			
* Isınma Yağ/Sargı	: 60 / 65 K		
* <i>Temp. Rise Oil / Winding</i>			

1.5. Cables de media tensión

Tabla 26. Especificaciones de los tramos de cables del sistema colector.

Circuito	Tramo	Long [km]	Cantidad y Secc [mm ²]	Circuito	Tramo	Long [km]	Cantidad y Secc [mm ²]
1	SE-PV11	0.78	2x400	4	SE-PV02	1.032	2x400
	PV11-PV12	0.335	1x400		PV02-PV06	1.091	1x400
	PV12-PV15	1.187	1x185		PV06-PV08	0.469	1x185
2	SE-PV10	0.49	2x400	5	SE-PV01	0.735	2x400
	PV10-PV13	1.084	1x400		PV01-PV05	1.170	1x400
	PV13-PV14	0.436	1x185		PV05-PV07	0.486	1x185
3	SE-PV09	0.149	2x400				
	PV09-PV03	1.211	2x185				
	PV03-PV04	0.303	1x185				

Tabla 27. Parámetros eléctricos de los cables del sistema colector.



POLYCAB
Connection Zindagi Ka

Technical Data Sheet of Cables

Document ID: TE/QMS/F/02

Rev. No. : 01 Issued Date : 10/06/2021





S.No	Particulars	1 X 185	1 X 400
1	Name of Manufacturer	Polycab India Ltd.	
2	Type of Cable	AL/XLPE/CWS/PVC	
3	Voltage Grade kV	19/33 (36)	
4	No of cores X size in sqmm	1 X 185	1 X 400
5 a)	Maximum conductor temperature under normal operating conditions	90°C	
b)	Maximum conductor temperature at the termination of short circuit	250°C	
6 a)	Permissible Voltage Variation	± 10%	
b)	Permissible Frequency Variation	± 5%	
c)	Combined Voltage & Frequency variation	± 10%	
7	Conductor		
a)	Material	Aluminium as per Class 2 of IEC 60228:2004	
b)	Maximum d.c. resistance of conductor at 20° C (ohm/km)	0.164	0.0778
c)	Shape	Stranded Compact Circular	
8	Conductor Screening		
a)	Material	Extruded Semi-conducting Compound	
b)	Nominal thickness (mm)	0.3	
9	Insulation		
a)	Material	XLPE as per IEC 60502 - 2	
b)	Nominal thickness (mm)	8	
c)	Minimum thickness (mm)	7.1	
10	Insulation Screening		
(i)	Non - Metallic		
a)	Material	Extruded Semi-conducting Compound	
b)	Nominal thickness (mm)	0.3	
(ii)	Metallic		
a)	Material	Copper wire with open helix copper tape	
b)	Combined Area (Sqmm)	25	35
11	Oversheath		
a)	Material	PVC Type 'ST2' as per IEC 60502 - 2	
b)	Minimum thickness (mm)	1.56	1.80
c)	Colour	Black	

r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	B1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	B0 [μS/km]
0.009289	0.007891	1534.505	0.018673	0.005381	1534.505

Tabla 28. Colector equivalente del PSFV Willka.

1.6. Reactor zig-zag para neutro artificial

Tabla 29. Características técnicas principales del reactor de neutro.

3.0	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE SERVICIO			
3.2	Patio de 33 kV			
3.2.1	Tensión nominal de servicio	kV	33	33
3.2.2	Tensión máxima de servicio	kV	36	36
3.2.3	Frecuencia	Hz	50	50
3.2.4	Número de Fases		3	3
3.2.5	Nivel básico de impulso de la aislación (BIL)	kVcr	170	170
3.2.6	Clase de aislamiento a la altura de instalación	kV	36	36
4.0	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
4.1	Tensión máxima del equipo	kV	36	36
4.3	Potencia de cortocircuito asignada	kVA	Por Fabricante	9527
4.4	Potencia permanente	kVA	550	550
4.5	Corriente asignada de falla a tierra en el neutro soportada por 10s	A	500	500
4.6	Duración del cortocircuito	seg	10	10
4.7	Impedancia de secuencia cero en base a 550 kVA	Ω/Fase	13,62	13,62
4.8	Corriente asignada permanente en fase	A	16,67	16,67
4.9	Corriente asignada de falla en fases	A	166,7	166,7
4.10	Pérdidas en vacío	W	Por Fabricante	1400
4.11	Pérdidas totales bajo carga	W	Por Fabricante	2800

 ÖZ DİRENC SANAYİ ve TİCARET LTD.ŞTİ. NEUTRAL GROUNDING RESISTOR (IEEE-C57.32a) 33/3 kV , 47.63 Ohm, 400 A, 10 sec, IP33 (OUTDOOR)	
SERIAL NO	: SN22-6159
YEAR OF MANUFACTURE	: 2022
REF STANDARD	: IEEE Std C57.32-2015 + C57.32a(2020)
TYPE DESIGNATION	: NGR-33000LL(19052LN)-47R63-400A-10S-IP33 HDG
RESISTOR ELEMENT	: AISI 304 Stainless Steel Grid
NUMBER OF PHASES	: SINGLE PHASE
TEMP. COEFFICIENT (/ °C)	: 0,0009
MAX. TEMPERATURE RISE (°C)	: < 650 C (760 C max IEEE-32)
RESISTANCE (Ohms, at 30 °C)	: 47.63 Ohm ±10%
RATED CONT CURRENT(Amper)	: 10 A max
RATED THERMAL CURRENT(Amper)	: 400 A initial(@t=0), 267 A after rated time(@t=10 sec)
RATED FREQUENCY (Hz.)	: 50 Hz
RATED TIME (Seconds)	: 10 sec
MAX. SYSTEM VOLTAGE (kV)	: 36 kV
SYSTEM VOLTAGE (kV, L-L)	: 33 kV
RATED VOLTAGE (kV, L-N)	: 33/3 kV(19052 V L-N)
INSULATOR TYPE	: J4-170, 36 kV porcelain (IEC 60273)
BIL RATING (kV)	: 170 kV
1 MIN WITHSTAND VOLTAGE (kV)	: 70 kV-1 min
SERVICE (INDOOR / OUTDOOR)	: Outdoor
DEGREE OF PROTECTION (IP)	: IP33 with IP56 Cable Box (IEC 60529)
ENCLOSURE FINISH	: Hot Dip Galv, natural finish
WEIGHT (kg)	: approx 1200 kg
TECH DRAWING	: TR-2803-J-R0
SKU Code	: P818CB-LR1x100-20-A304(36kV)

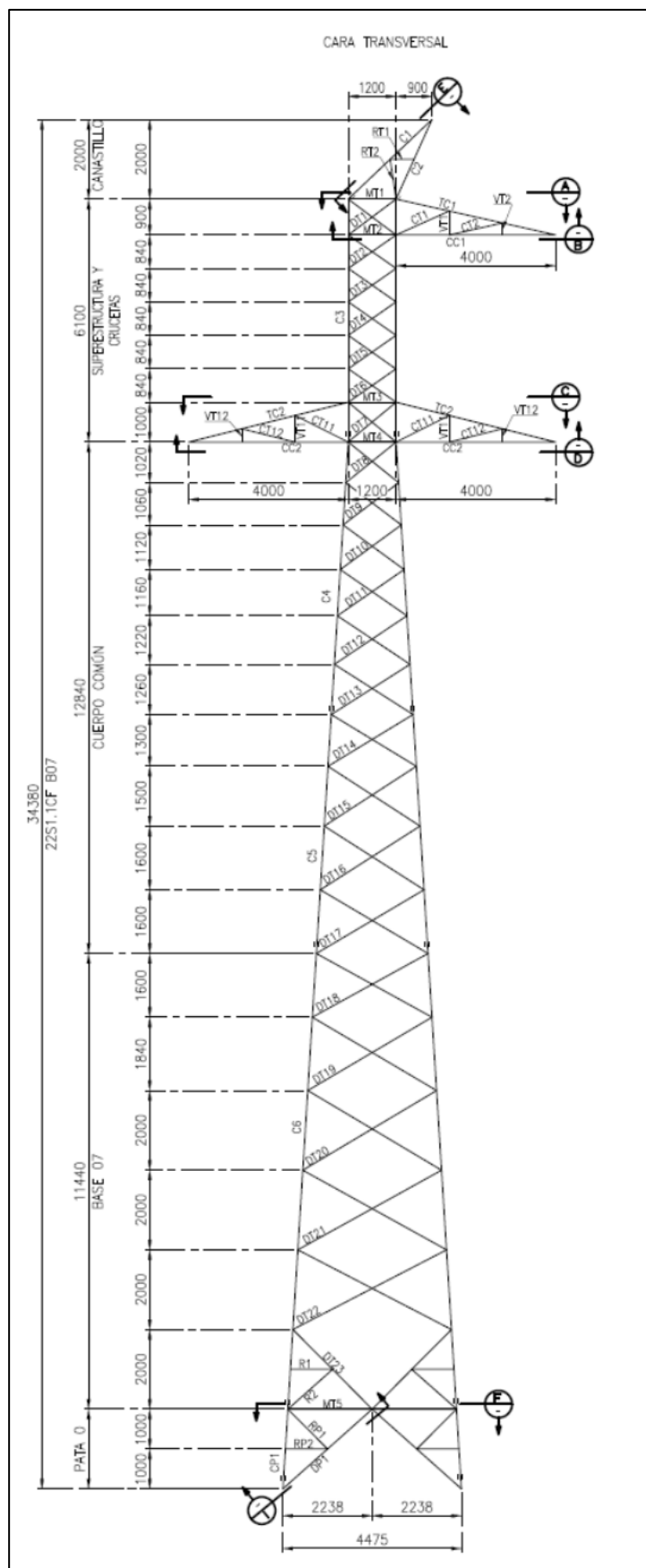
1.7. Línea de interconexión

La planta solar se vincula a la SE Parinacota 220 kV mediante una línea simple circuito de 17,935 km. A continuación, se detallan características de este enlace y su modelado.

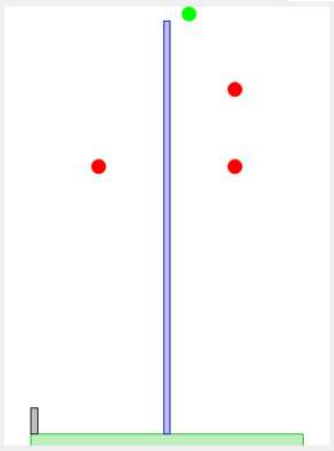
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ESPECIFICADO	OFRECIDO
D.2	Nombre código		FLINT	FLINT
D.3	Normas que cumple		B 398 B 399	B 398 B 399
D.4	Área de la sección transversal nominal	mm ²	375,4	375,4
D.5	Diámetro exterior nominal	mm	25,16	25,16
D.6	Diámetro de las hebras	mm	3,59	3,59
D.7	Peso unitario nominal	kg/m	1,034	1,03
D.8	Resistencia mínima a la rotura	kg	11067	11067
D.9	Número de hebras		37	37
D.10	Radio medio geométrico	m	0,00966	0,00966
D.11	Módulo de elasticidad final	kg/mm ²	6187	6187
D.12	Coefficiente de dilatación térmica	1/°C	23x10-6	23x10-6
D.13	resistencia eléctrica en corriente alterna 50 hz a 25 °C	ohm/km	0,090114	0,091882
D.14	Dirección del cableado		Mano derecha	Mano derecha
D.15	Tensión de operación de la línea eléctrica		220	220

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ESPECIFICADO	OFRECIDO
D.2	Tipo de cable		OPGW	OPGW
D.3	Normas con que cumple		ASTM B-415, IEEE STD 1138	ASTM B-415, IEEE STD 1138
D.4	Diámetro exterior nominal	mm	≤ 11.4	11.4
D.5	Peso unitario nominal	kg/km	476.6	476.6
D.6	Resistencia mínima a la rotura	kg	Por Proveedor	8684
D.7	Número de alambres	c/u	Por Proveedor	6
D.8	Dirección del cableado		Izquierda	Izquierda
D.9	Módulo de elasticidad final promedio (3% alargamiento)	kg/mm ²	Por Proveedor	16531
D.10	Coefficiente de dilatación lineal	1/°C	Por Proveedor	13*10 ⁻⁶
D.11	Resistencia eléctrica en corriente alterna 50 Hz a 25°C	ohm/km	Por Proveedor	1.345
D.12	Capacidad de cortocircuito mínima	kA ² s	19.7	19.7
E	ALAMBRES COMPONENTES DEL CABLE OPGW			
E.1	Normas con que cumple		ASTM B-416	ASTM B-416
E.2	Diámetro nominal	mm	Por Proveedor	3.8
E.3	Espesor mínimo de la capa de aluminio	mm	Por Proveedor	0.19
E.4	Alargamiento promedio mínimo en 254 mm	%	Por Proveedor	1.5
E.5	Resistencia mínima a la rotura	kg	Por Proveedor	1446.6

	Fase A	Fase B	Fase C	CG
Altura Cruceta [m]	26.28	31.48	26.28	34.38
Long CA [m]	2.19	2.19	2.19	-
Flecha [m]	8.95	8.95	8.95	8.95
Alt Media [m]	18.12	23.32	18.12	28.41



Number of		Resulting Values	
parallel Lines	1	Nominal Current (act.)	1. kA
		Pos. Seq. Impedance, Z1	7.718153 Ohm
		Pos. Seq. Impedance, Angle	77.89819 deg
		Pos. Seq. Resistance, R1	1.618106 Ohm
		Pos. Seq. Reactance, X1	7.54663 Ohm
		Zero Seq. Resistance, R0	8.190754 Ohm
		Zero Seq. Reactance, X0	25.45918 Ohm
		Earth-Fault Current, Ice	11.50663 A
		Earth Factor, Magnitude	0.8240457
		Earth Factor, Angle	-8.047788 deg

Name		S1x220.1CF															
System Type		AC															
Nominal Frequency		50, Hz															
Number of Earth Wires		1															
Number of Line Circuits		1															
Transposition		none															
Input Mode		☒ Geometrical Parameter ☐ Electrical Parameter															
Earth resistivity		4526, Ohm*m															
Earth return formula		Carson															
Coordinate of Line Circuits [m]: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>X3</th> <th>Y1</th> <th>Y2</th> <th>Y3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>► Circuit 1</td> <td>4,6</td> <td>4,6</td> <td>-4,6</td> <td>18,12</td> <td>23,32</td> <td>18,12</td> </tr> </tbody> </table>					X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	► Circuit 1	4,6	4,6	-4,6	18,12	23,32	18,12
	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3											
► Circuit 1	4,6	4,6	-4,6	18,12	23,32	18,12											
Coordinate of Earth Conductors [m]: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>► Earth Conductor 1</td> <td>1,5</td> <td>28,41</td> </tr> </tbody> </table>					X	Y	► Earth Conductor 1	1,5	28,41								
	X	Y															
► Earth Conductor 1	1,5	28,41															
																	
Name		AAAC Flint															
Rated Voltage		220, kV															
Rated Current		1, kA															
Number of Subconductors		1															
Conductor Model		☒ Solid Conductor ☐ Tubular Conductor															
(Sub-)Conductor		DC-Resistance (20°C) 0,089 Ohm/km GMR (Equivalent Radius) 9,79 mm Outer Diameter 25,16 mm															
Name		OPGW 48F															
Rated Voltage		220, kV															
Rated Current		1, kA															
Number of Subconductors		1															
Conductor Model		☒ Solid Conductor ☐ Tubular Conductor															
(Sub-)Conductor		DC-Resistance (20°C) 1,17 Ohm/km GMR (Equivalent Radius) 4,439 mm Outer Diameter 11,4 mm															

2. VERIFICACIÓN DE AJUSTES

2.1. Lógicas de inyección de corriente y LVRT

En los siguientes gráficos se presentan la curva FRT del inversor Power Electronics HEMK GEN 3 (en bornes del inversor) y la comparación entre esta y el requisito fijado en la NT (en el punto de conexión a la red).

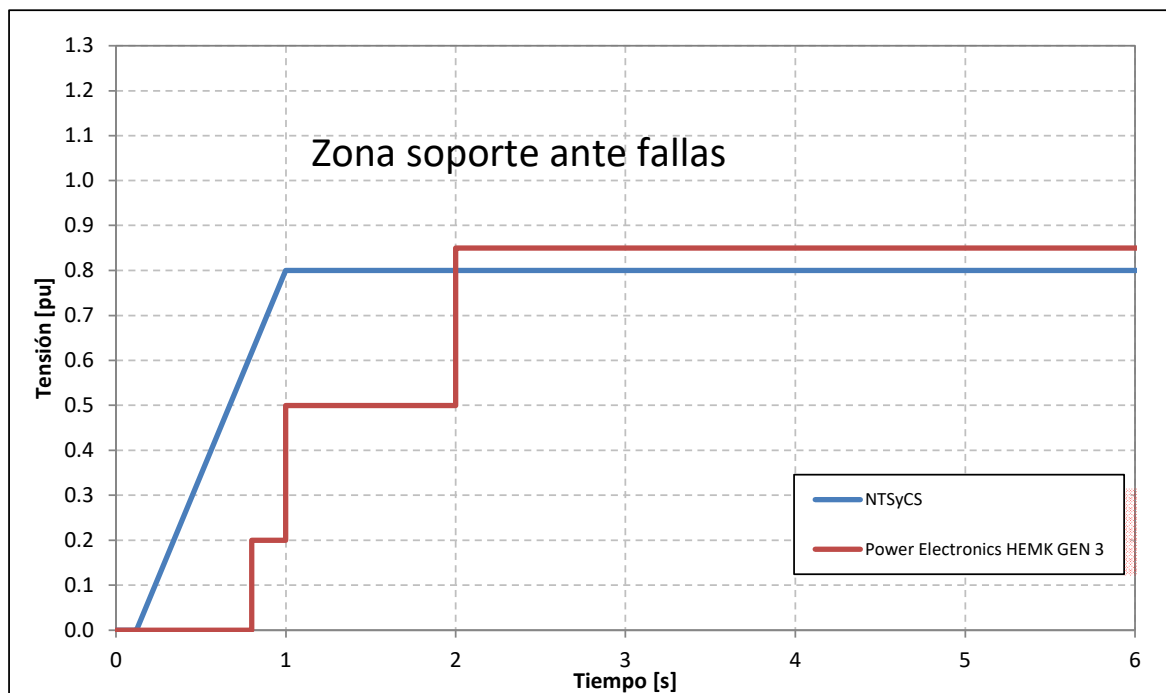


Gráfico 50. Curva límite tensión-tiempo Power Electronics HEMK GEN 3.

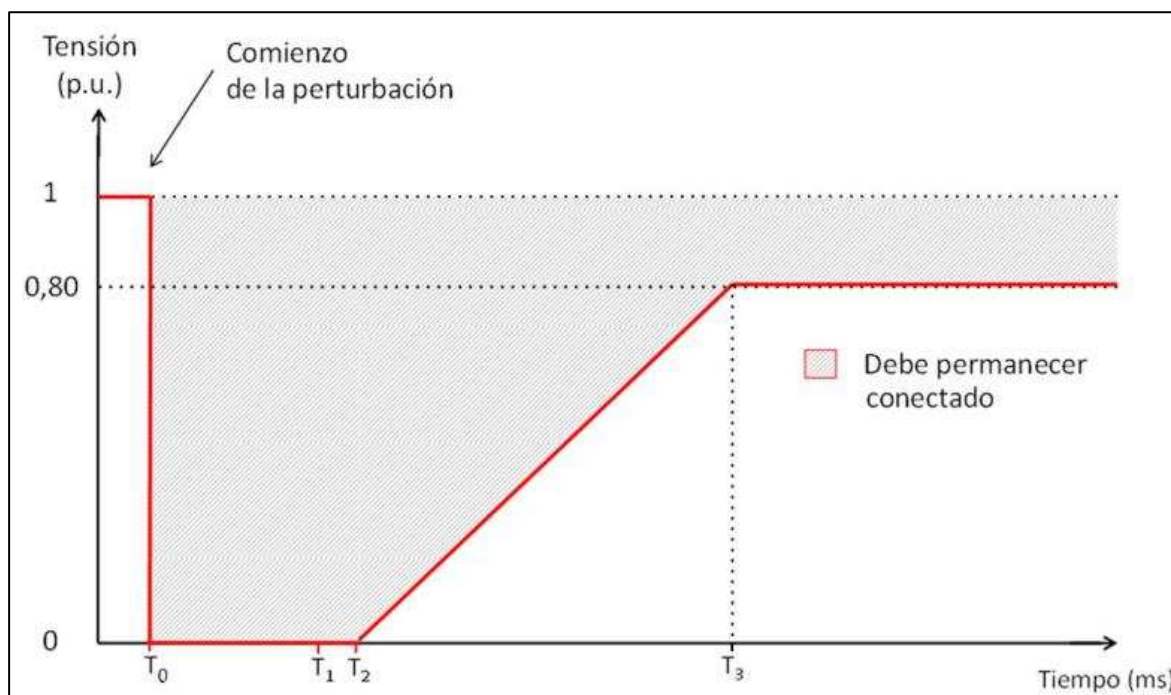


Gráfico 51. Curvas límite tensión-tiempo norma NT en punto de conexión.

Siendo:

T0 = 0 [ms], tiempo de inicio de la falla.

T1 = tiempo máximo de despeje de falla establecido en el Artículo 5-45, según el nivel de tensión del Punto de Conexión.

T2 = T1+20 [ms].

T3 = 1000 [ms].

Durante los huecos de tensión, el control cambia del modo normal (control de potencia activa y reactiva) al modo de control de corriente de rotor. Esto habilita al inversor a realizar soporte de tensión inyectando corriente reactiva a la red. La corriente reactiva en bornes del generador se encuentra configurada de acuerdo al Gráfico 52.

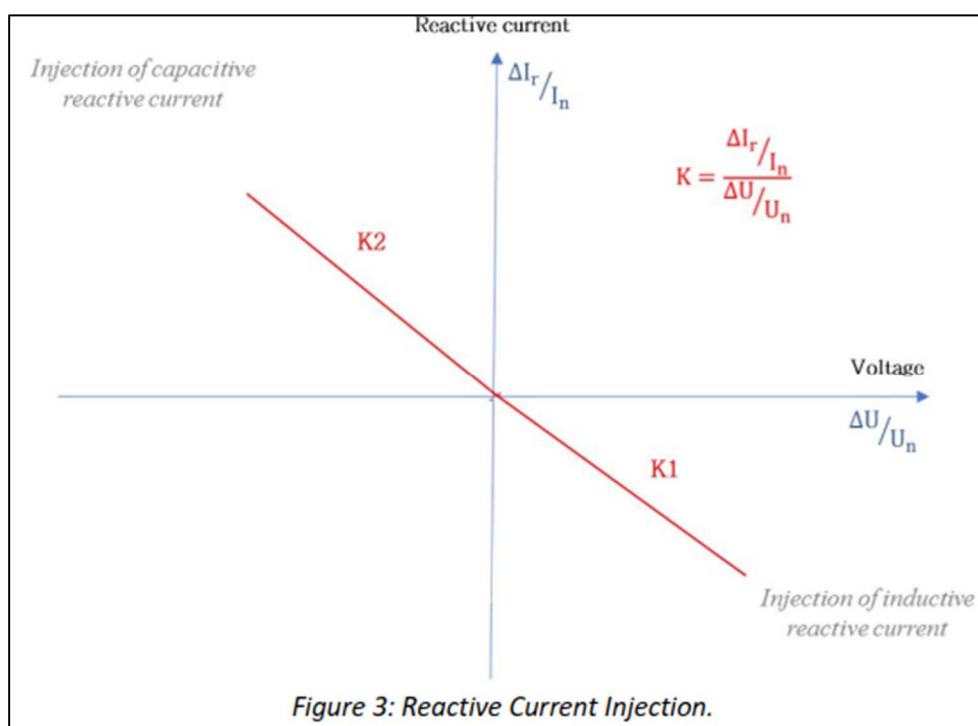


Gráfico 52. Inyección de corriente reactiva ante huecos de tensión. Power Electronics HEMK GEN 3.

Low Voltage Ride Through Parameters*			
G4.3.1.1	LVRT Model Enable*	Mode 1	-
G4.3.1.2	LVRT Threshold*	90,0	%
G4.3.1.4	LVRT Configuration Mode*	Is prev + kdVdir	-
G4.3.2.2	Vset	100,0	%
G4.3.2.7	K DIR	2	
G4.3.2.9	K INV	0	
G4.3.3.3	Hysteresis %*	5	%
G4.3.3.7	ID Recover Ramp	3000,0	%/s

High Voltage Ride Through Parameters*			
G4.4.1.1	OVRT Model Enable*	Mode 1	-
G4.4.1.2	OVRT Threshold*	110,0	%
G4.4.1.4	OVRT Configuration Mode*	Is prev + kdVdir	-
G4.4.2.2	Vset	89,9	%
G4.4.2.7	K Factor*	2	-
G4.4.3.2	Hysteresis %*	5	%
G4.4.3.7	ID Recover Ramp	Disabled	%

2.2. Ajuste de protecciones

2.2.1 Protección de tensión

En las siguientes gráficos y tablas se muestra el ajuste de protecciones de tensión de los inversores, según la información proporcionada por el fabricante:

Tabla 30. Ajuste de protección de tensión.

High Input Voltage			
G5.1.2.1	High V Enable	XX000	
G5.1.2.2	Slow Protection	110,00	%
G5.1.2.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	1,00	sec
G5.1.2.4	Fast Protection	120,00	%
G5.1.2.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	0,20	sec
G5.1.2.6	Fast 2 Protection	Disabled	%
G5.1.2.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	Disabled	sec
G5.1.2.8	Very Fast Protection	Disabled	%
G5.1.2.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec
G5.1.2.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	%
G5.1.2.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec

Low Input Voltage			
G5.1.1.1	Low V Enable	XXX00	
G5.1.1.2	Slow Protection	85,00	%
G5.1.1.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	2,00	sec
G5.1.1.4	Fast Protection	50,00	%
G5.1.1.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	1,00	sec
G5.1.1.6	Fast 2 Protection	20,00	%
G5.1.1.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	0,80	sec
G5.1.1.8	Very Fast Protection	Disabled	%
G5.1.1.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec
G5.1.1.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	%
G5.1.1.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec

2.2.2 Protección de frecuencia

En las siguientes gráficos y tablas se muestra el ajuste de protecciones de tensión de los inversores, según la información proporcionada por el fabricante:

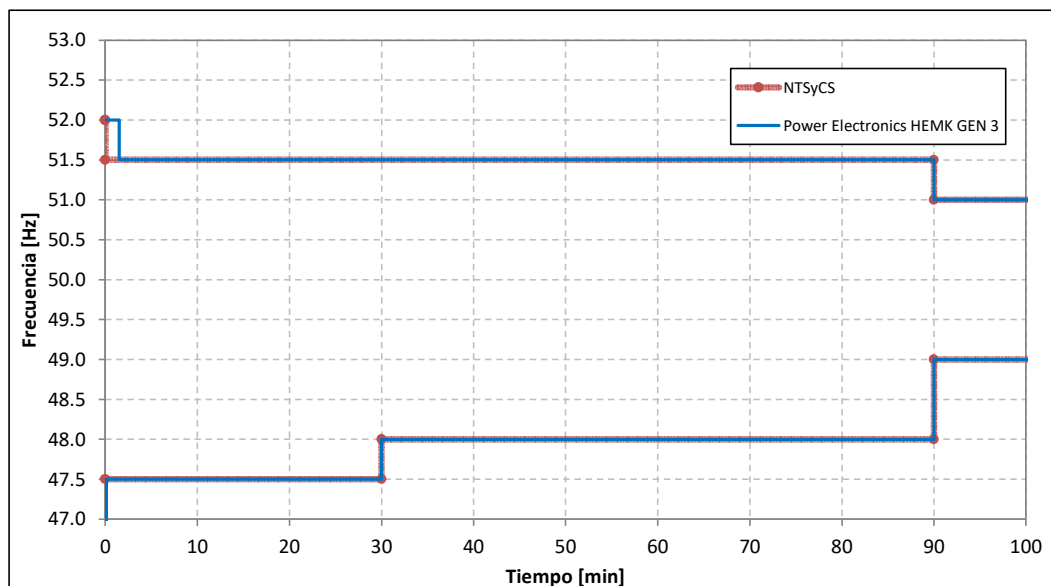


Gráfico 53. Ajuste de protección de frecuencia.

Tabla 31. Ajuste de protección de frecuencia.

Low Input Frequency			
G5.1.3.1	Low f Enable	XXX00	
G5.1.3.2	Slow Protection	49,00	Hz
G5.1.3.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	5400,00	Second
G5.1.3.4	Fast Protection	48,00	Hz
G5.1.3.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	1800,00	Second
G5.1.3.6	Fast 2 Protection	47,50	Hz
G5.1.3.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	0,10	Second
G5.1.3.8	Very Fast Protection	Disabled	Hz
G5.1.3.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second
G5.1.3.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	Hz
G5.1.3.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second

High Input Frequency			
G5.1.4.1	High f Enable	XXX00	
G5.1.4.2	Slow Protection	51,00	Hz
G5.1.4.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	5400,00	Second
G5.1.4.4	Fast Protection	51,50	Hz
G5.1.4.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	90,00	Second
G5.1.4.6	Fast 2 Protection	52,00	Hz
G5.1.4.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	0,10	Second
G5.1.4.8	Very Fast Protection	Disabled	Hz
G5.1.4.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second
G5.1.4.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	Hz
G5.1.4.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second

3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS

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

- Registro de ensayos: Registros_PSFV_Willka_SSCC.rar

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