



CTGLatAm



中国电建
POWERCHINA

PARQUE SOLAR BARANOA

PRUEBAS PARA VERIFICAR LAS CARACTERISTICAS
DE CONTROL DE POTENCIA ACTIVA/FRECUENCIA
ACUERDO CON 1826 - 2024

INFORME FINAL

DOCUMENTO IEB-837-23-03

REVISIÓN 1



Medellín, abril de 2025

Medellín

Cll. 8B No. 65-191 C.E Puerto Seco. OF. 331

+57 (4) 604 32 72 propuestas@ieb.co

Colombia: Medellín | Bogotá | Barranquilla | Cartagena

USA - Houston | **Perú** - Lima | **Chile** - Santiago | **Guatemala** - Ciudad de Guatemala

www.ieb.co

CONTROL DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a:

Nombre	Dependencia	Empresa	Copias
Daniel David Moreno	Proyectos	Power China International Group LTD	1
Gestión Documental Proyecto	-	Ingeniería Especializada S, A	1

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a IEB S.A.

CONTROL DE REVISIONES

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
0	21/03/2025	Emisión Inicial	<u>MCM</u>	<u>DMM</u>	<u>RGV</u>
			MCM	DMM	RGC
1	08/04/2025	Atención comentarios del cliente	<u>MCM</u>	<u>DMM</u>	<u>RGV</u>
			MCM	DMM	RGC

Participaron en la elaboración de este informe:

MCM	María Camila Morales	RGV	Rolando Guisao Vélez
DMM	Daniel Manjarres Mur		

TABLA DE CONTENIDO

1.	INFORMACIÓN GENERAL PLANTA SOLAR baranova Y LAS PRUEBAS REALIZADAS	9
2.	DEFINICIONES.....	10
3.	ALCANCE DE ESTE INFORME.....	11
4.	MARCO NORMATIVO	11
5.	PRUEBAS DE ESTADISTICO Y TIEMPOS DE ESTABLECIMIENTO	14
6.	PRUEBAS DE BANDA MUERTA.....	39
7.	PRUEBAS DE VERIFICACION DE RECEPCION DE CONSIGNAS DE FORMA LOCAL.....	52
8.	PRUEBAS DE VERIFICACION DE RECEPCION DE CONSIGNAS DE FORMA REMOTA.....	54
9.	PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE LAS RAMPAS OPERATIVAS.....	55
10.	CONCLUSIONES	85
11.	REFERENCIAS.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información general Planta Baranova.	9
Tabla 2. Descripción general prueba de estadismo y tiempo de establecimiento según acuerdo C.N.O 1826	14
Tabla 3. Cálculo del estadismo con escalones de frecuencia según lo establecido en el Anexo al Acuerdo C.N.O 1826	18
Tabla 4. Resultados prueba estadismo configurable al 6%	31
Tabla 5. Resultados prueba estadismo configurable al 2%	36
Tabla 6. Descripción general prueba de banda muerta según acuerdo C.N.O 1826	40
Tabla 7. Resultados prueba Banda Muerta - Configuración inicial con 30 mHz	42
Tabla 8. Resultados prueba Banda Muerta – Configuración en el mínimo (0 mHz)	46
Tabla 9. Resultados prueba Banda Muerta – Configuración en el máximo 120 mHz	50
Tabla 10. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 7%Pn/min	55
Tabla 11. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 7%Pn/min	56
Tabla 12. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 10%Pn/min	63
Tabla 13. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 10%Pn/min	63
Tabla 14. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 14%Pn/min	70
Tabla 15. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 14%Pn/min	71
Tabla 16. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 100%Pn/min	78
Tabla 17. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 100%Pn/min	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Acuerdo C.N.O 1826 - Cálculo tiempo de establecimiento para escalón ascendente.....	15
Figura 2. Acuerdo C.N.O 1826 - Cálculo tiempo de establecimiento para escalón descendente.....	16
Figura 3. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 1	19
Figura 4. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 2	20
Figura 5. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 3	20
Figura 6. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 4	21
Figura 7. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 5	21
Figura 8. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 6	22
Figura 9. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 7	22
Figura 10. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 8	23
Figura 11. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 9	23
Figura 12. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 10	24
Figura 13. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 1	24
Figura 14. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 2	25
Figura 15. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 3	25

Figura 16. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 4.....	26
Figura 17. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 5.....	26
Figura 18. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 6.....	27
Figura 19. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 7.....	27
Figura 20. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 8.....	28
Figura 21. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 9.....	28
Figura 22. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor máximo (6%) - Escalón positivo 1	32
Figura 23. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor máximo (6%) - Escalón positivo 2	33
Figura 24. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor máximo (6%) - Escalón negativo 1.....	33
Figura 25. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor máximo (6%) - Escalón negativo 2.....	34
Figura 26. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor mínimo (2%) - Escalón positivo 1	37
Figura 27. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor mínimo (2%) - Escalón positivo 2	38
Figura 28. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor mínimo (2%) - Escalón negativo 1	38
Figura 29. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor mínimo (2%) - Escalón negativo 2	39
Figura 30. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 30 mHz - Frecuencia Potencia activa vs Tiempo en el Punto de Conexión.....	43
Figura 31. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 30 mHz – Potencia Activa.....	43
Figura 32. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 30 mHz - Frecuencia	44
Figura 33. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 0 mHz - Frecuencia Potencia activa vs Tiempo en el Punto de Conexión.....	47
Figura 34. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 0 mHz – Potencia Activa.....	47
Figura 35. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 0 mHz - Frecuencia	48
Figura 36. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 120 mHz – Frecuencia Potencia activa vs Tiempo en el Punto de Conexión.....	51
Figura 37. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 120 mHz - Potencia activa.....	51
Figura 38. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 120 mHz - Frecuencia.....	52
Figura 39. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia activa medida - Escalón ascendente.....	53
Figura 40. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia de referencia - Escalón ascendente.....	53
Figura 41. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia activa	

medida - Escalón descendente.	54
Figura 42. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia de referencia - Escalón descendente.	54
Figura 43. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	56
Figura 44. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	57
Figura 45. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	57
Figura 46. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	58
Figura 47. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	58
Figura 48. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	59
Figura 49. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	59
Figura 50. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	60
Figura 51. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	60
Figura 52. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	61
Figura 53. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	61
Figura 54. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	62
Figura 55. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	64
Figura 56. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	64
Figura 57. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	65
Figura 58. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	65
Figura 59. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	66
Figura 60. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	66
Figura 61. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	67
Figura 62. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	67
Figura 63. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo.....	68

Figura 64. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	68
Figura 65. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	69
Figura 66. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	69
Figura 67. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	71
Figura 68. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	72
Figura 69. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	72
Figura 70. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	73
Figura 71. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	73
Figura 72. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	74
Figura 73. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	74
Figura 74. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	75
Figura 75. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	75
Figura 76. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	76
Figura 77. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	76
Figura 78. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	77
Figura 79. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	79
Figura 80. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	79
Figura 81. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	80
Figura 82. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	80
Figura 83. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	81
Figura 84. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	81
Figura 85. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	82
Figura 86. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón	

2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	82
Figura 87. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón	
3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	83
Figura 88. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón	
4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	83
Figura 89. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón	
5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	84
Figura 90. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón	
5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo	84

1. INFORMACIÓN GENERAL PLANTA SOLAR BARANOA Y LAS PRUEBAS REALIZADAS

En la Tabla 1 se muestra la ubicación geográfica de la planta Baranoa, sus características técnicas y la fecha de ejecución de las pruebas.

Tabla 1. Información general Planta Baranoa.

Nombre de la planta y tipo de generación.	Parque Fotovoltaico Baranoa 19,9 MW - Generación Solar fotovoltaica
Ubicación geográfica de la planta.	Atlántico /Baranoa 10°46'57"N 74°53'15.30"W
Punto de Conexión	Subestación Baranoa 110 kV
CEN	19,9 MW
Número de módulos fotovoltaicos (plantas solares fotovoltaicas).	34260 módulos
Modelo, fabricante y número de inversores.	77 inversores de la marca HUAWEI, referencia SUN2000 330KTL-H1 – Capacidad nominal 330 kVA.
Fecha ejecución pruebas del control de potencia activa/frecuencia	22 - 28 de febrero, 07 de marzo
Equipo de medición utilizado	Medición en el POI a través del equipo MAX10-REIVAX con una resolución de 100 muestras por segundo

2. DEFINICIONES

Estatismo: Característica técnica de una planta de generación, que determina la variación porcentual de potencia por cada unidad de variación porcentual de frecuencia. Para el caso en que la banda muestra del control de potencia activa/frecuencia se encuentre deshabilitada, el estatismo se calcula según la siguiente expresión¹:

$$R = \frac{\Delta f / f_{nom}}{\Delta P / P_{nom}}$$

Δf : Magnitud de variación de frecuencia en Hz aplicada

ΔP : Magnitud de variación de la potencia en MW debida a la variación de la frecuencia

STR: Sistema de Transmisión Regional

Tiempo de establecimiento (Te): Tiempo que tarda la potencia en entrar a la banda del $\pm 3\%$ respecto al tamaño del cambio esperado y mantenerse en esa banda después de haber sido sometida a un escalón en la frecuencia.

Tiempo de respuesta inicial (Tr): Tiempo que tarda la potencia en salir de la banda del $\pm 3\%$ respecto al tamaño del cambio esperado después de haber sido sometida a un escalón en la frecuencia

¹ Ecuación 1) del Anexo al Acuerdo C.N.O 1826

3. ALCANCE DE ESTE INFORME

- Validar el cumplimiento de lo establecido en la resolución CREG 060 de 2019 con respecto al estatismo, banda muerta, tiempo de respuesta inicial y tiempo de establecimiento del control de potencia activa/frecuencia en la planta solar fotovoltaica Baranoa conectada al STR, siguiendo los lineamientos definidos en el acuerdo CNO 1826
- Validar el cumplimiento de lo establecido en la resolución CREG 060 de 2019 con respecto a las características de rampas operativas de la planta solar fotovoltaica Baranoa conectada al STR, siguiendo los lineamientos definidos en el acuerdo CNO 1826

4. MARCO NORMATIVO

4.1. Requisitos técnicos asociados a las pruebas para la entrada en operación comercial de las plantas solares conectadas en el STR

Según lo establecido en el artículo 18 de la resolución CREG 060 de 2019 [1]:

- Antes de declararse en operación comercial, las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, conectadas al STN y STR, deben realizar y remitir los resultados de las siguientes pruebas al CND, de acuerdo con los términos y plazos establecidos mediante Acuerdo C.N.O:
 - Pruebas de la curva de capacidad de que trata el literal b del numeral 5.7 del Código de Operación que hace parte del anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995.
 - **Pruebas de las características del control de potencia activa/frecuencia de que trata el artículo 4 de la Resolución CREG 023 de 2001.**
 - **Pruebas de rampa operativa de entrada y salida de que trata el numeral 5.8 del Código de Operación que hace parte del anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995.**
 - Pruebas de las características del control de potencia reactiva/tensión de que trata el literal a del numeral 5.7 del Código de Operación que hace parte del anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995.
 - Pruebas de desempeño de respuesta rápida en frecuencia de que trata el numeral 5.6.3 del Código de Operación que hace parte del anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995.
 - Pruebas a las características de operación ante depresiones de tensión y sobretensiones para plantas eólicas y solares fotovoltaicas de que trata el literal c del numeral 5.7 del Código de Operación que hace parte del anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995. El C.N.O definirá mediante Acuerdo el contenido y el proceso de aceptación de certificados de laboratorio o fábrica de

esta prueba. En todo caso, dichos certificados deberán estar avalados por entidades a nivel nacional o internacional, según el caso.

- Pruebas a los requerimientos de priorización en la inyección rápida de corriente reactiva de que trata el literal d del numeral 5.7 del Código de Operación que hace parte del anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995. El C.N.O definirá mediante Acuerdo el contenido y el proceso de aceptación de certificados de laboratorio o fábrica de esta prueba. En todo caso, dichos certificados deberán estar avalados por entidades a nivel nacional o internacional, según el caso.

Según lo establecido en el numeral 7.4.7.1 del Anexo 1 del Acuerdo C.N.O 1612 [2], por el cual se aprueba la actualización del "Procedimiento para la puesta en operación de proyectos de transmisión que incluyan activos de uso del Sistema de Transmisión Nacional - STN -, del Sistema de Transmisión Regional - STR -, de usuarios conectados directamente al STN, al STR y de recursos de generación", se debe emitir, para la entrada en operación comercial de las plantas solares conectadas al STR, un Acuerdo C.N.O con el resultado de las siguientes pruebas:

- Pruebas de la curva de capacidad, Potencia reactiva (PQ)
- **Pruebas de las características del control de potencia activa/frecuencia (Estatismo(s) potencia/frecuencia).**
- **Pruebas de rampa operativa de entrada y salida.**
- Pruebas de las características del control de potencia reactiva/tensión (Estatismo potencia reactiva/tensión).
- Pruebas a las características de operación ante depresiones de tensión y sobretensiones.
- Pruebas a los requerimientos de priorización en la inyección rápida de corriente reactiva

4.2. Requisitos técnicos asociados al control de potencia activa y frecuencia de las plantas solares conectadas al STR

Según lo establecido en el artículo 12 de la resolución CREG 060 de 2019 [1]:

- Las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, conectadas al STN y STR, deben tener un control de potencia activa/frecuencia que incluya una banda muerta y un estatismo permanente ajustable, permitiendo su participación en la regulación primaria de frecuencia del sistema.
- El control debe tener la capacidad de recibir al menos una consigna de potencia activa de forma local.
- El control de potencia activa/frecuencia de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, conectadas al STN y STR, debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Ser estable: las señales de salida del control deben ser amortiguadas en el tiempo ante señales de entrada escalón, para todos los modos y condiciones operativas.
- El estatismo debe ser configurable en un rango entre el 2% y el 6%.
- La banda muerta debe ser configurable en un rango entre 0 y 120 mHz. Inicialmente deberán tener una Banda Muerta de respuesta a los cambios de frecuencia menor o igual a 30 mHz.
- El ajuste de la función de control de frecuencia para eventos de subfrecuencia y sobrefrecuencia debe ser reportado al CND por el agente que representa la planta antes de las pruebas para entrada en operación comercial. La función de control de frecuencia para eventos de subfrecuencia y sobrefrecuencia debe ser reajustada en caso de que en la operación se identifiquen riesgos a la seguridad del SIN.
- Los parámetros de ganancia y constantes de tiempo deben poder ser modificados para cumplir con criterios de estabilidad y velocidad de respuesta del SIN, teniendo en cuenta las características técnicas de las tecnologías disponibles. El CND definirá mediante estudio, análisis y seguimiento posoperativo, los parámetros de ganancia y constantes de tiempo para cumplir con criterios de estabilidad, velocidad de respuesta del SIN.
- Cumplir con los siguientes parámetros: tiempo de respuesta inicial máximo (Tr) de 2 segundos y tiempo de establecimiento máximo (Te) de 15 segundos.
- El CND dentro de los rangos establecidos, definirá el valor de estatismo y banda muerta de acuerdo con las necesidades del SIN.

Las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al STN y STR deben estar en capacidad de prestar el servicio de regulación primaria para eventos de sobrefrecuencia y subfrecuencia. Para ser declaradas en operación comercial, deben realizar pruebas de respuesta primaria ante eventos de sobrefrecuencia y subfrecuencia.

Según lo establecido en el artículo 15 de la resolución CREG 060 de 2019 [1]:

- Las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, conectadas al STN y STR, deben tener una rampa operativa para arranque y parada ajustable. Inicialmente se define una rampa máxima del 14 % de la potencia nominal de la planta, en MW/min, para lo cual:
 - Este requerimiento de arranque y parada aplica siempre que esté disponible el recurso primario de generación.
 - El agente debe reportar la rampa máxima de la planta.
 - Este parámetro debe poder ajustarse dependiendo de las condiciones del sistema, considerando la rampa máxima reportada.

- El valor inicial de la rampa máxima del 14% podrá ser revaluado por el CND, considerando la rampa máxima reportada.

4.3. Procedimientos para la ejecución de las pruebas asociadas al control de potencia activa/frecuencia de las plantas solares conectadas en el STR

El Acuerdo C.N.O 1826 [3] establece los procedimientos para llevar a cabo las pruebas del control de potencia activa y frecuencia de las plantas solares conectadas al STR, como es el caso de Baranoa. Los resultados presentados en este informe se obtienen siguiendo los protocolos definidos en el citado Acuerdo.

5. PRUEBAS DE ESTATISMO Y TIEMPOS DE ESTABLECIMIENTO

Siguiendo lo establecido en el Anexo del Acuerdo C.N.O 1826 [3] se lleva a cabo la prueba de estatismo y tiempos de establecimiento, utilizando el protocolo 1B para control centralizado de potencia activa/frecuencia.

A través del software interno del PPC se inyectan valores en la señal de frecuencia, de manera que el control de potencia activa/frecuencia observe cambios tipo escalón, en la variable controlada, limitando el efecto de las variaciones de frecuencia del sistema. Las pruebas se llevan a cabo deshabilitando la banda muerta.

La Tabla 2 presenta la descripción general de la prueba, utilizando el formato del Anexo 1 al Acuerdo 1826

Tabla 2. Descripción general prueba de estatismo y tiempo de establecimiento según acuerdo C.N.O 1826

	RESPUESTA	OBSERVACIONES (si se requiere)
REPORTAR EL PROTOCOLO USADO (A O B).	B	Control centralizado
Inyección (Externa, o interna)	Interna	
Banda muerta inhabilitada o ampliada (si, no). En observaciones indicar acción tomada, en caso de ampliación de banda muerta indicar el valor.	Si	Banda muerta inhabilitada
Señal en donde se aplicó el escalón(frecuencia- F- , Referencia de la frecuencia- Fref-)	F	

Tiempo de establecimiento (Protocolo 1B, Numeral 3.4)

Se calcula el tiempo de establecimiento según la definición del Anexo al Acuerdo C.N.O 1826 [3]. Para ello se aplica un escalón ascendente y otro descendente de 0,2 Hz (vistos efectivamente por el sistema de control como perturbación total de frecuencia) a la planta, la cual está despachada con una carga alta.

Se determina el tiempo ante ambos escalones (ascendente y descendente), siendo el tiempo de establecimiento el valor máximo de los tiempos obtenidos para el escalón ascendente y descendente.

De acuerdo con los resultados de la prueba, los cuáles se presentan de forma gráfica a continuación, el tiempo de establecimiento es de 7,67 segundos. Este valor cumple con los requerimientos establecidos en la resolución CREG 060 de 2019

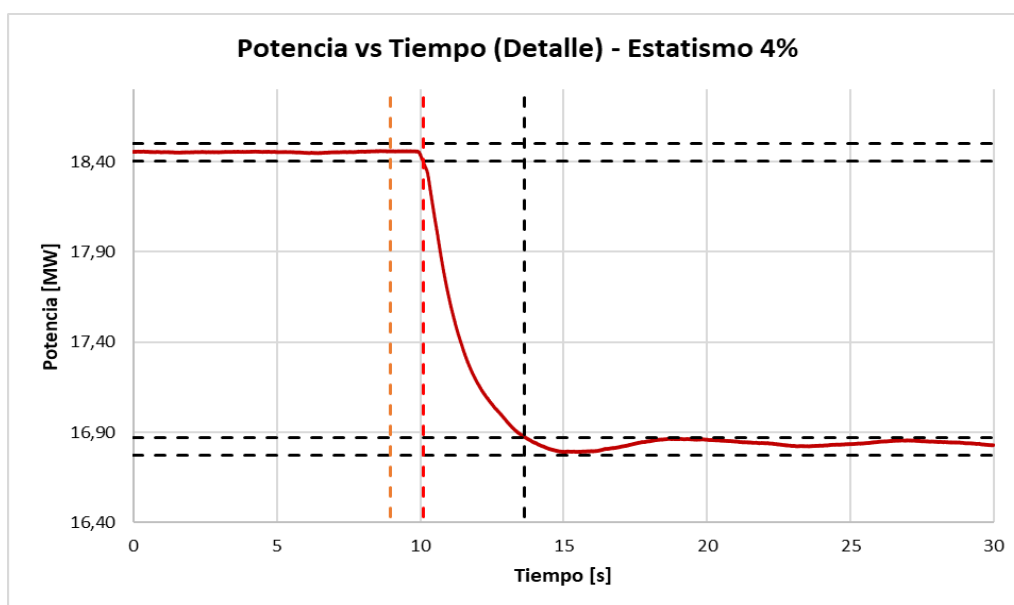


Figura 1. Acuerdo C.N.O 1826 - Cálculo tiempo de establecimiento para escalón ascendente

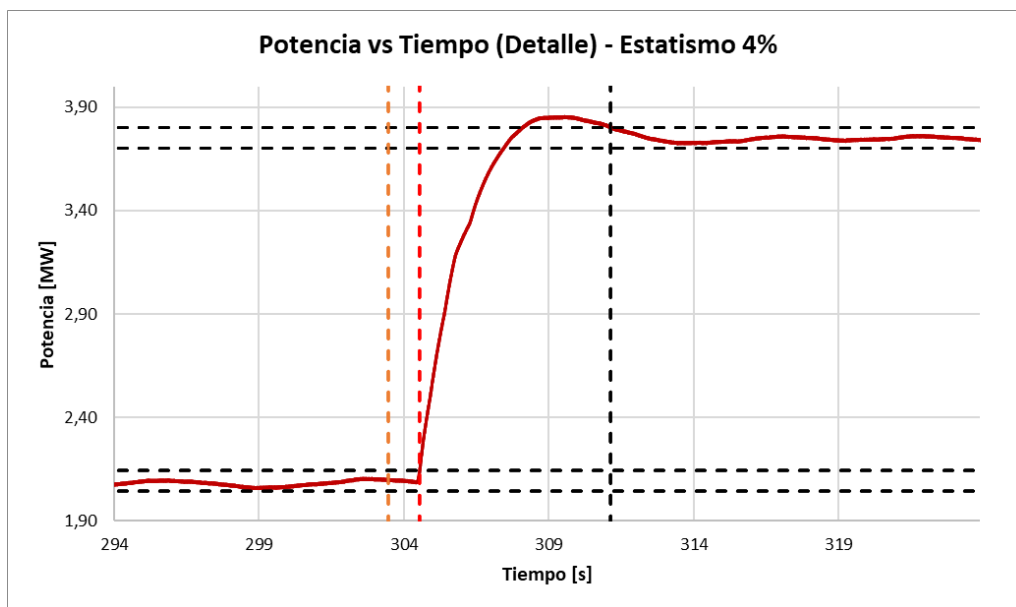


Figura 2. Acuerdo C.N.O 1826 - Cálculo tiempo de establecimiento para escalón descendente

Los registros de las pruebas presentadas en esta sección se reportan en la pestaña “*Tiempo de establecimiento*” del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826

Estatismo (Protocolo 1B, Numeral 3.5 a 3.7)

Siguiendo lo establecido en el Acuerdo 1826, para el cálculo del estatismo se realizan 10 escalones positivos y 9 negativos de frecuencia de manera secuencial, con un tamaño de incremento/decremento de 200 mHz cada uno, cubriendo al menos el 80% del rango operativo de la planta.

Durante la prueba después de aplicar cada escalón se da una espera de al menos 15 segundos (mayor al tiempo de establecimiento obtenido en el numeral anterior) para determinar los valores finales de las variables analizadas.

Durante la prueba se registran datos de:

- Consigna de referencia de frecuencia
- Frecuencia
- Variación de frecuencia
- Referencia de potencia
- Potencia inicial en el punto de conexión
- Potencia final en el punto de conexión
- Variación de potencia en toda la prueba.

El estatismo en cada escalón se calcula utilizando la ecuación (1) del Anexo al Acuerdo C.N.O 1826 (ver definiciones en Sección 2 de este informe). Así mismo se calcula el tiempo de establecimiento y de respuesta inicial. El valor definitivo de estos parámetros se calcula como el promedio de los valores calculados para todos los escalones realizados.

En la Tabla 3 se presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 1 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. La misma tabla se presenta en la pestaña “*Cálculo del estatismo - PA-PB*” del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826.

Tabla 3. Cálculo del estatismo con escalones de frecuencia según lo establecido en el Anexo al Acuerdo C.N.O 1826

Tipo de escalón	Número del escalón	Fecha y hora	Valor inicial Frecuencia [Hz]	Valor final Frecuencia [Hz]	Valor inicial potencia [MW]	Valor Final potencia [MW]	Potencia de referencia [MW]	Valor inicial frecuencia [Hz]*	Valor Final Frecuencia [Hz]*	Estatismo	Tiempo de est. [s]	Tiempo de resp. [s]
Ascendente	1	22/02/2025 12:48	60	60,2	18,45646	16,82521	19,9	60	60,2	4,07	4,70	1,15
Ascendente	2	22/02/2025 12:49	60,2	60,4	16,82256	15,20593	19,9	60,2	60,4	4,10	4,45	1,07
Ascendente	3	22/02/2025 12:50	60,4	60,6	15,20004	13,54788	19,9	60,4	60,6	4,01	5,15	1,07
Ascendente	4	22/02/2025 12:51	60,6	60,8	13,54273	11,90195	19,9	60,6	60,8	4,04	5,05	1,10
Ascendente	5	22/02/2025 12:52	60,8	61	11,89609	10,24502	19,9	60,8	61	4,02	4,98	1,06
Ascendente	6	22/02/2025 12:52	61	61,2	10,24515	8,60774	19,9	61	61,2	4,05	4,08	1,06
Ascendente	7	22/02/2025 12:53	61,2	61,4	8,61395	6,95028	19,9	61,2	61,4	3,99	4,18	1,08
Ascendente	8	22/02/2025 12:54	61,4	61,6	6,94950	5,30360	19,9	61,4	61,6	4,03	6,04	1,05
Ascendente	9	22/02/2025 12:55	61,6	61,8	5,30316	3,64122	19,9	61,6	61,8	3,99	5,92	1,04
Ascendente	10	22/02/2025 12:56	61,8	62	3,63653	1,98632	19,9	61,8	62	4,02	3,82	1,09
Descendente	11	22/02/2025 13:19	60	59,8	2,07832	3,73916	19,9	60	59,8	3,99	7,67	1,08
Descendente	12	22/02/2025 13:20	59,8	59,6	3,74495	5,41007	19,9	59,8	59,6	3,98	8,16	1,10
Descendente	13	22/02/2025 13:21	59,6	59,4	5,40997	7,06639	19,9	59,6	59,4	4,00	7,02	1,05
Descendente	14	22/02/2025 13:22	59,4	59,2	7,06352	8,72074	19,9	59,4	59,2	4,00	7,91	1,13
Descendente	15	22/02/2025 13:23	59,2	59	8,71851	10,37847	19,9	59,2	59	4,00	7,41	1,07
Descendente	16	22/02/2025 13:23	59	58,8	10,38299	12,00988	19,9	59	58,8	4,08	11,80	1,06
Descendente	17	22/02/2025 13:24	58,8	58,6	12,01571	13,67715	19,9	58,8	58,6	3,99	10,62	1,05
Descendente	18	22/02/2025 13:25	58,6	58,4	13,68221	15,34702	19,9	58,6	58,4	3,98	8,64	1,04
Descendente	19	22/02/2025 13:26	58,4	58,2	15,35121	17,00198	19,9	58,4	58,2	4,02	7,59	1,06
Valores promedio										4,02	6,59	1,07

*Estos valores podrán ser iguales a los de las columnas 4 y 5 en caso de que la variable a modificar sea la Frecuencia.

De los resultados presentados en la Tabla 3 se observa que para la planta se tiene un estadismo promedio del 4,02% (valor dentro del rango establecido del 2% al 6%), un tiempo de establecimiento promedio de 6,59 segundos y un tiempo de repuesta inicial promedio de 1,07 segundos. Estos valores cumplen con los requerimientos establecidos en la resolución CREG 060 de 2019.

De la Figura 3 a la Figura 21 se presenta de forma gráfica los resultados obtenidos en las pruebas. En la pestaña “*Datos Estadismo 4% - Asc*” y “*Datos Estadismo 4% Desc*” del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826 se presentan todas las gráficas y registros asociados a las pruebas de esta sección.

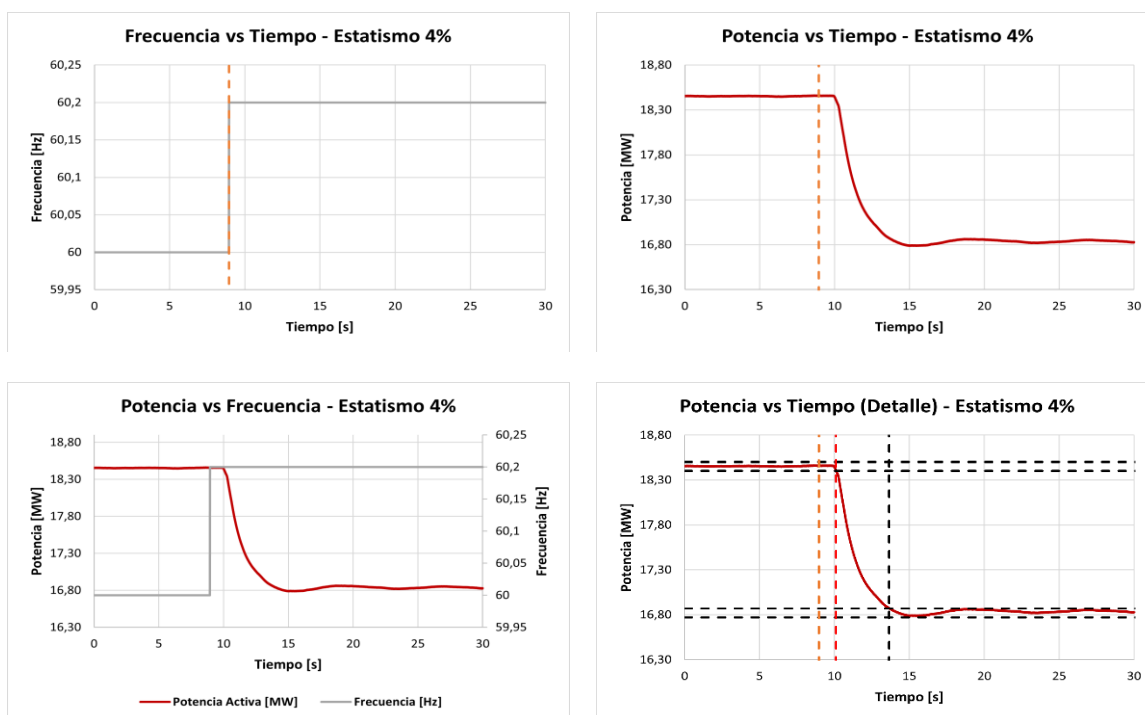


Figura 3. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 1

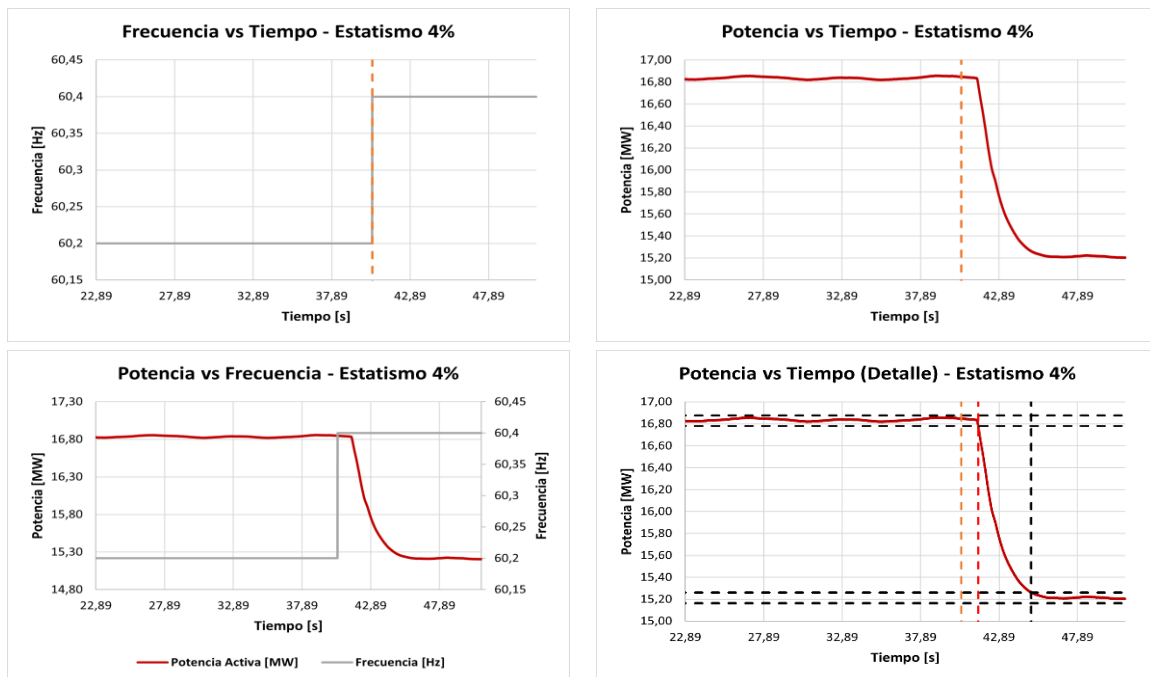


Figura 4. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 2

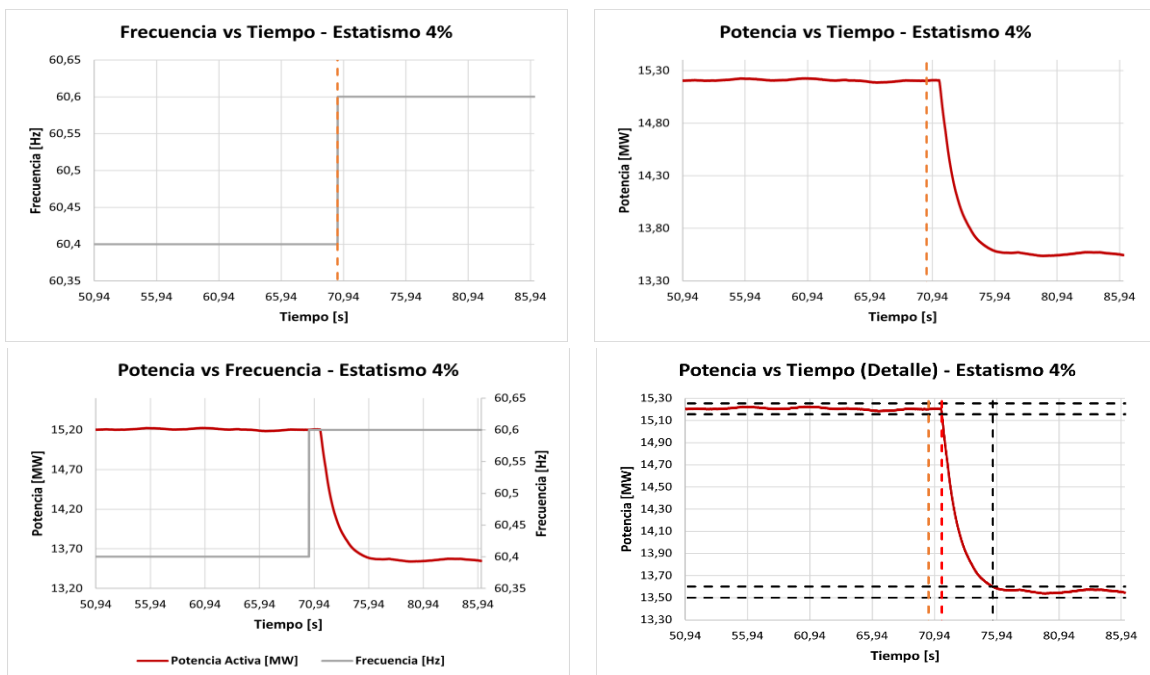


Figura 5. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 3

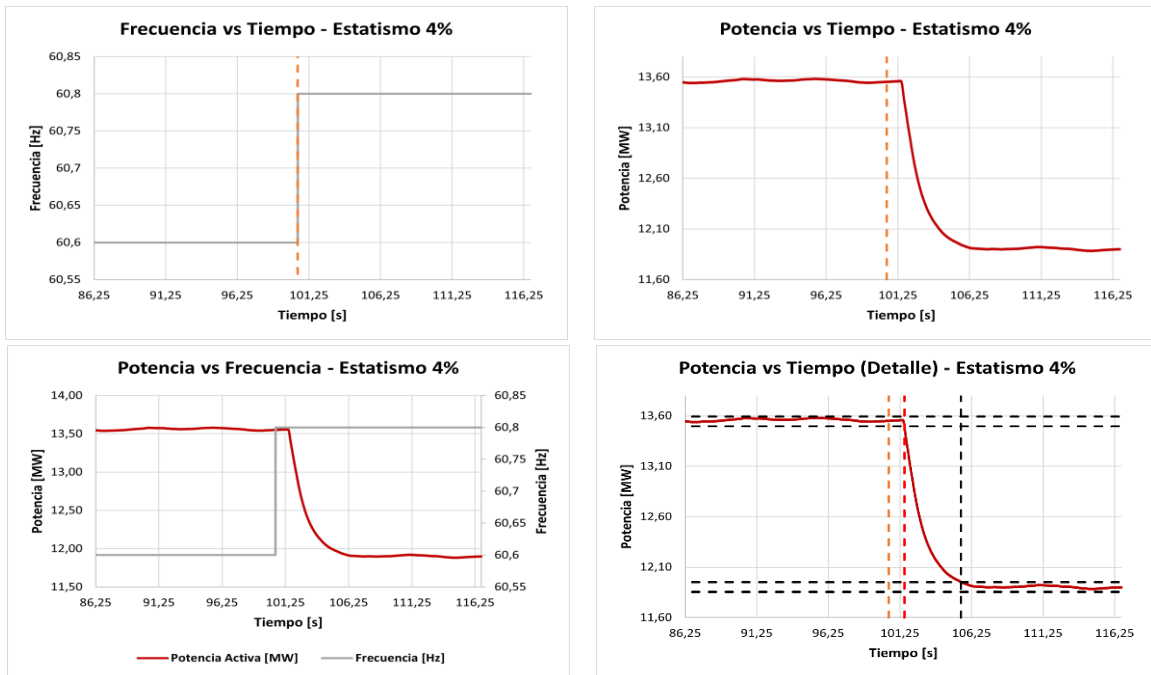


Figura 6. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 4

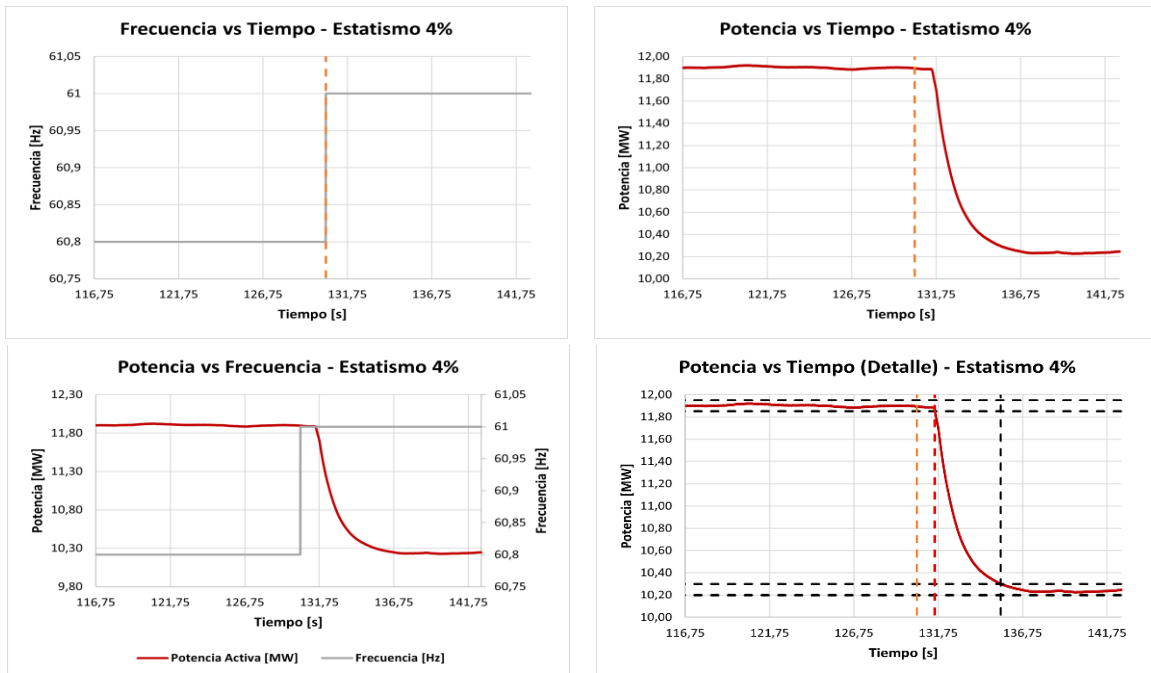


Figura 7. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 5

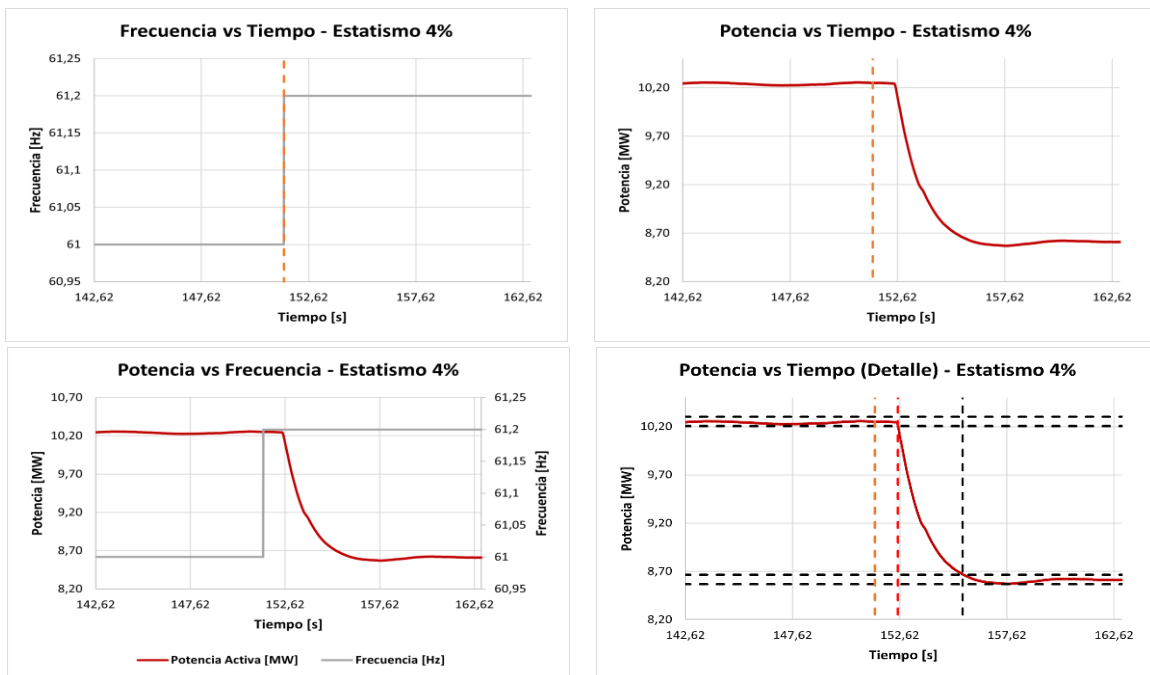


Figura 8. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 6

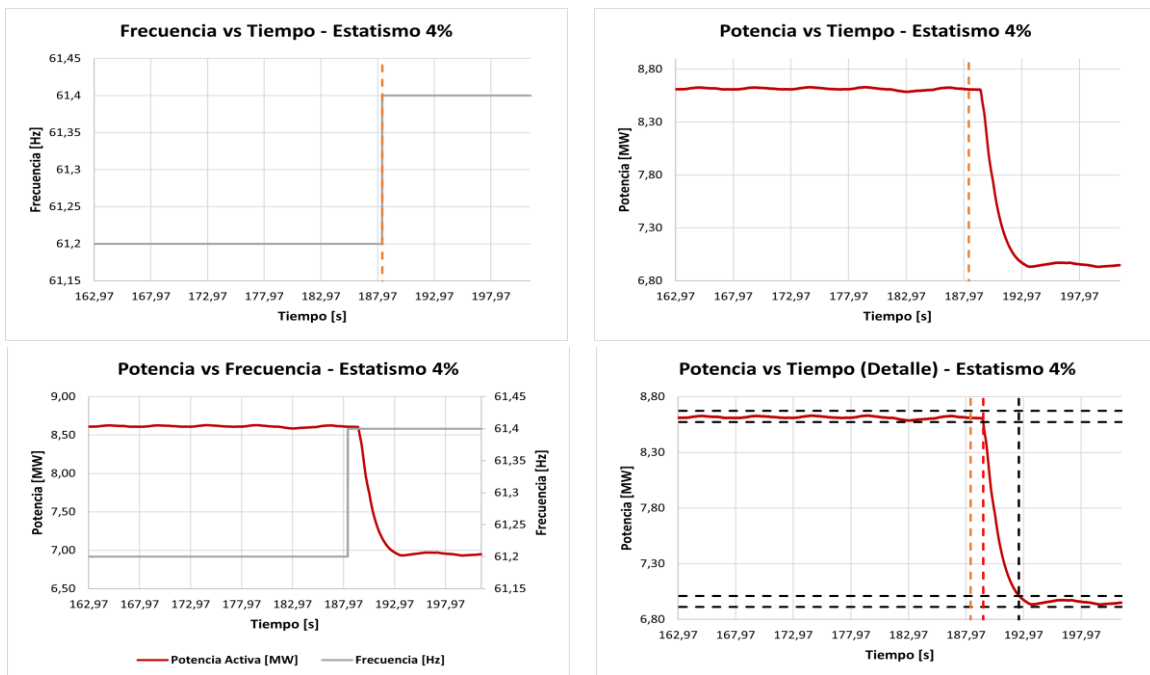


Figura 9. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 7

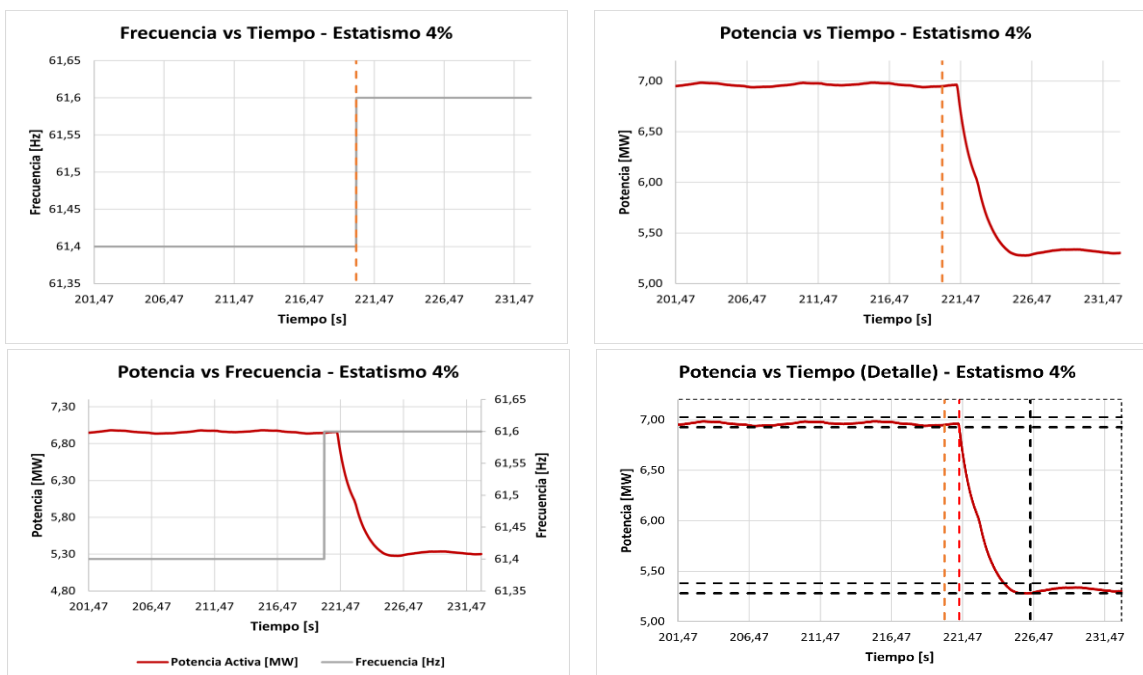


Figura 10. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 8

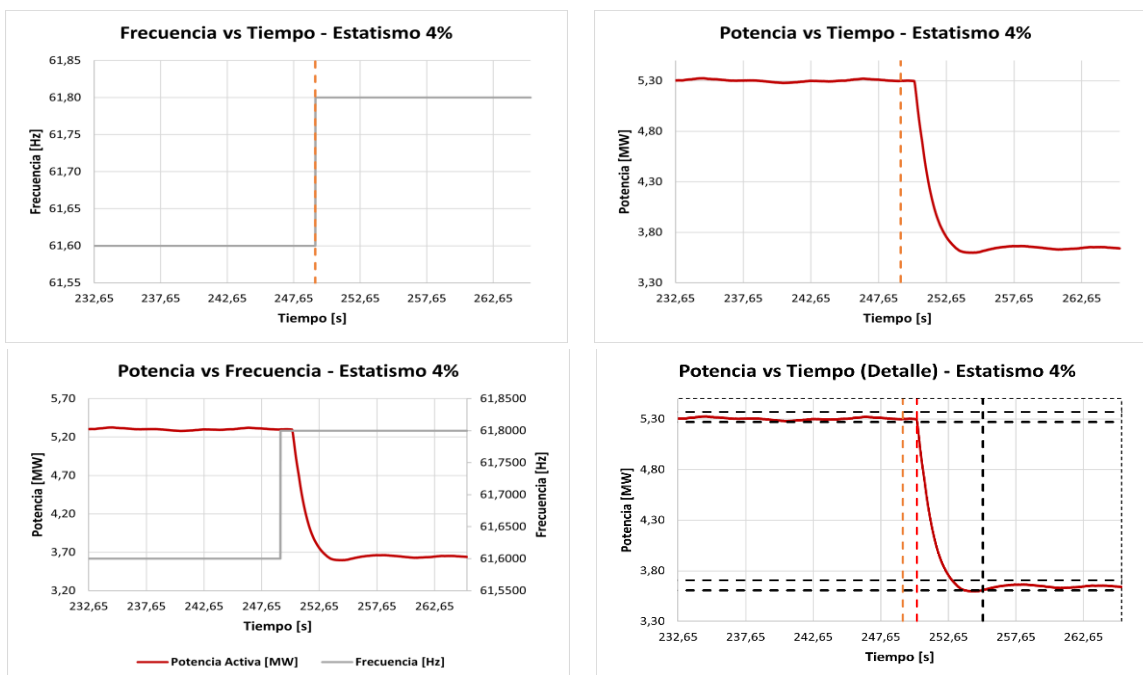


Figura 11. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón positivo 9

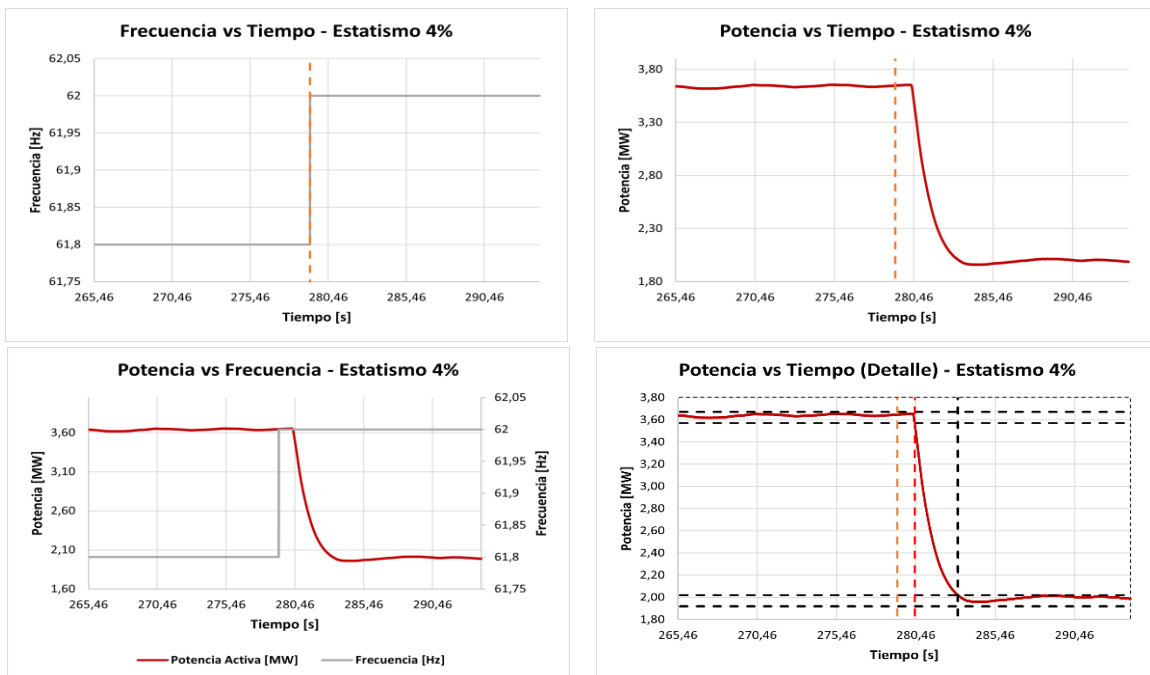


Figura 12. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón positivo 10

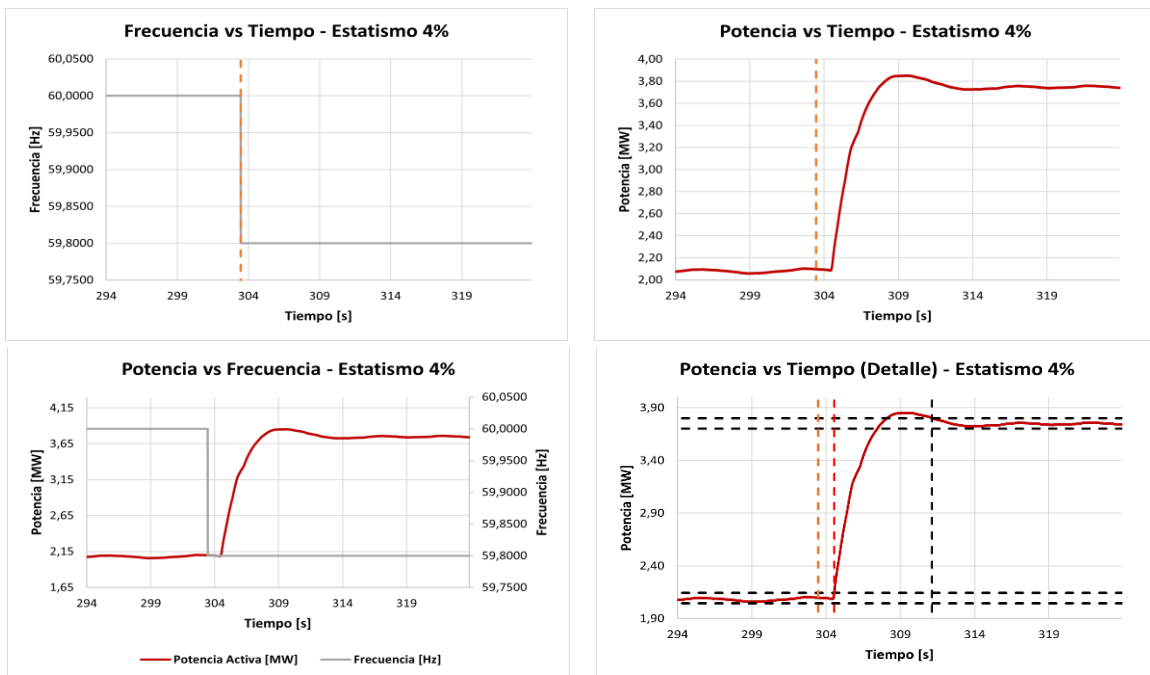


Figura 13. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 1

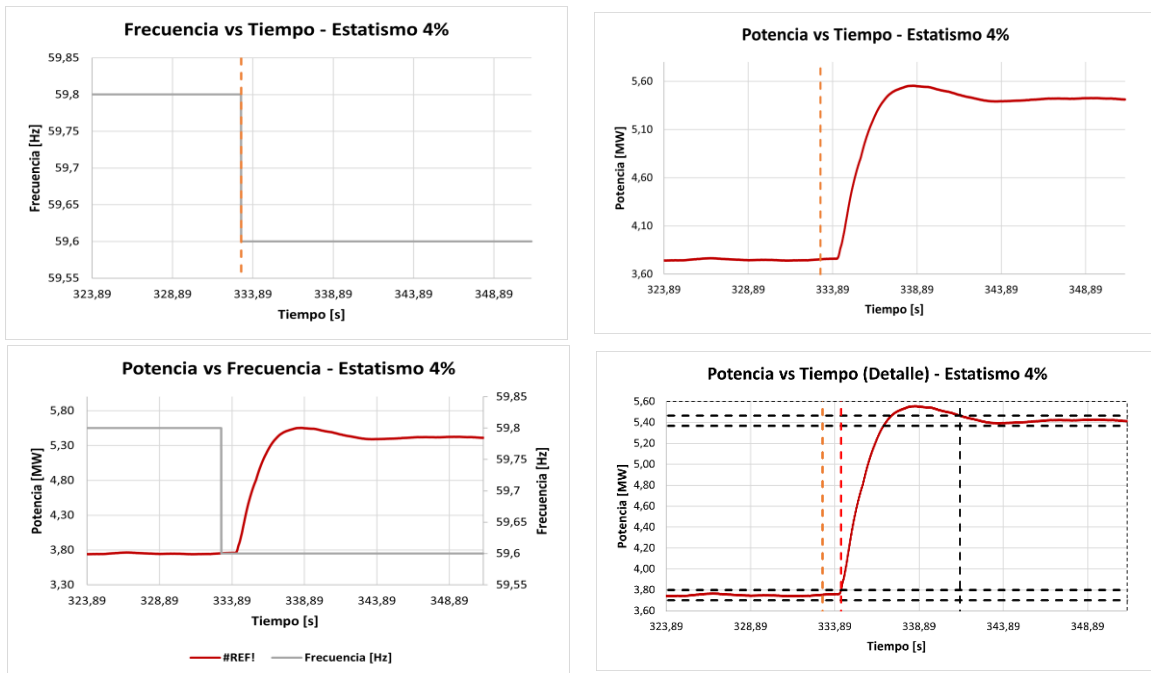


Figura 14. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 2

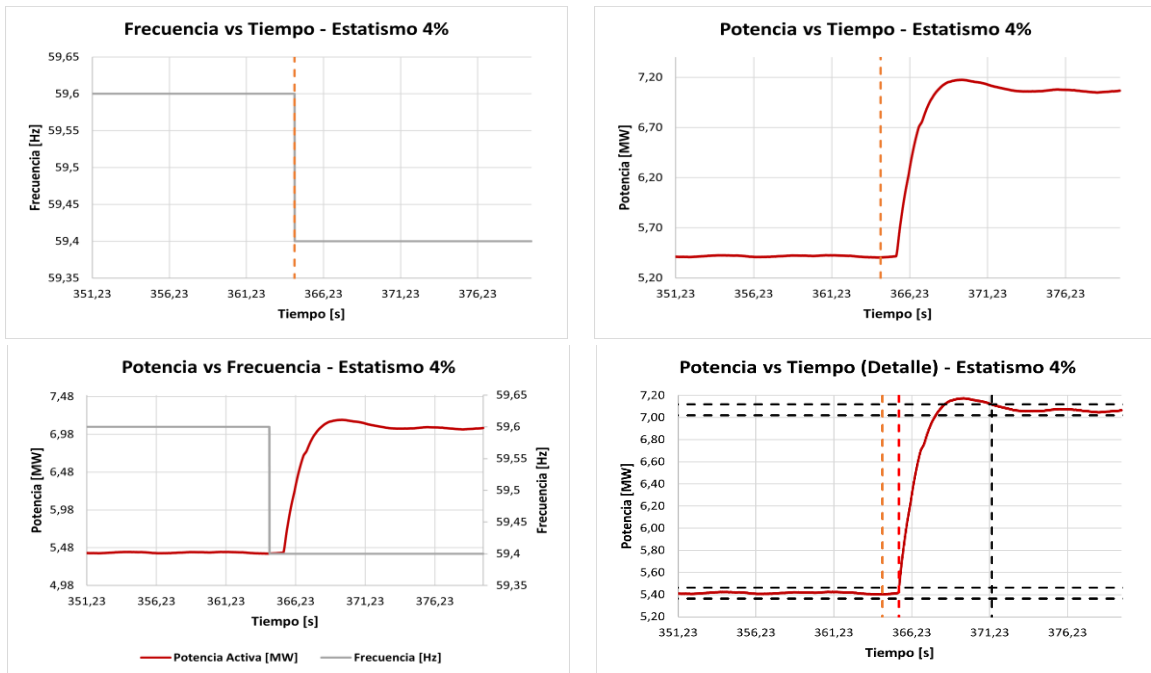


Figura 15. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 3

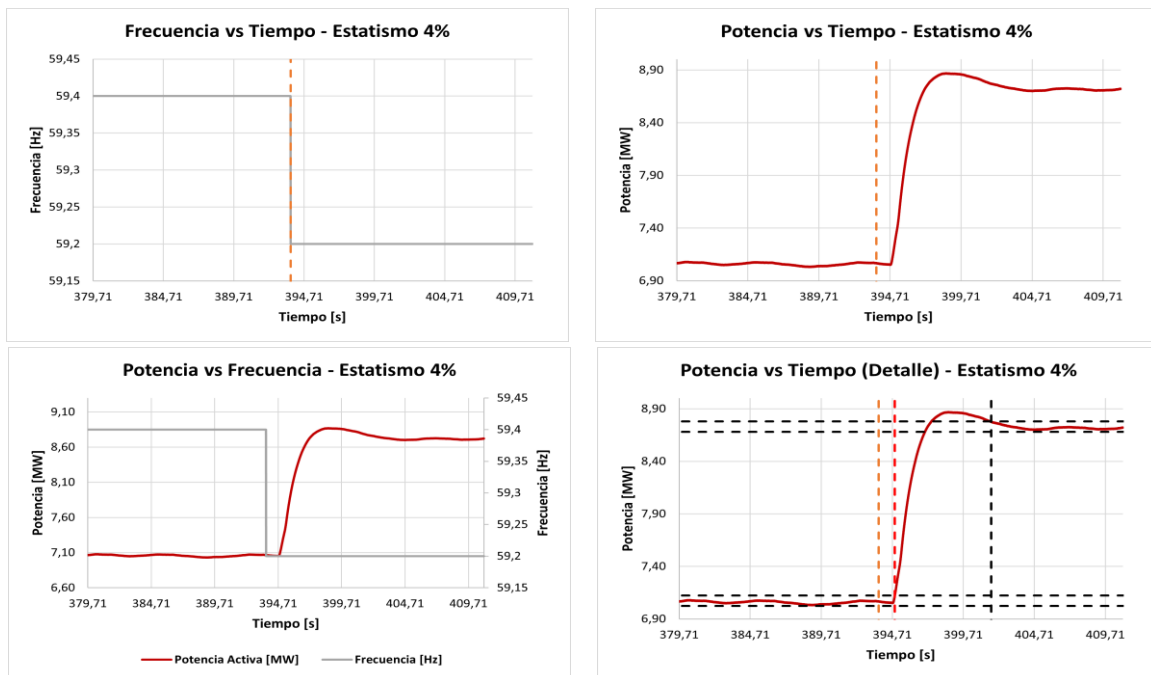


Figura 16. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 4

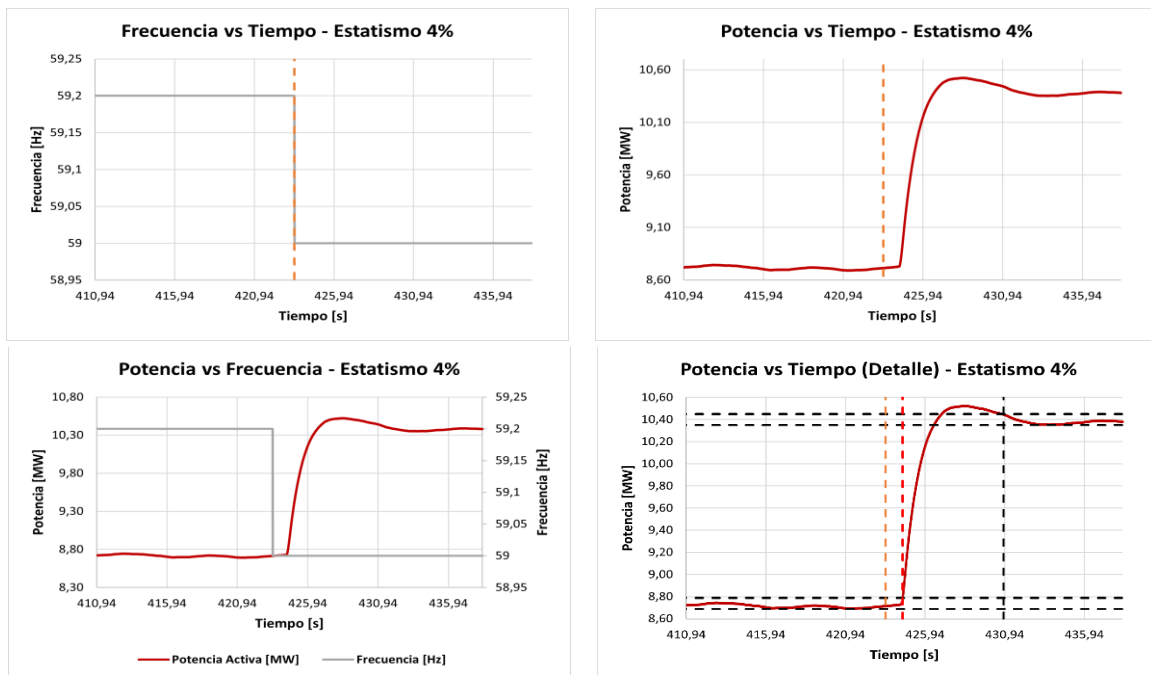


Figura 17. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 5

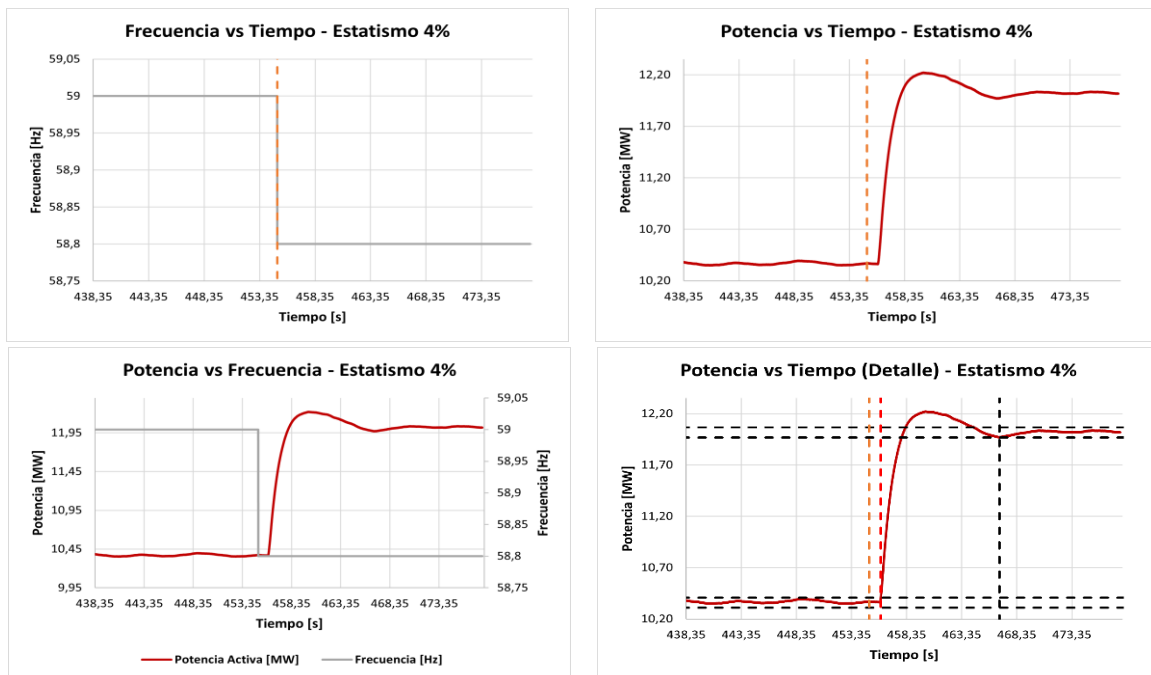


Figura 18. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 6

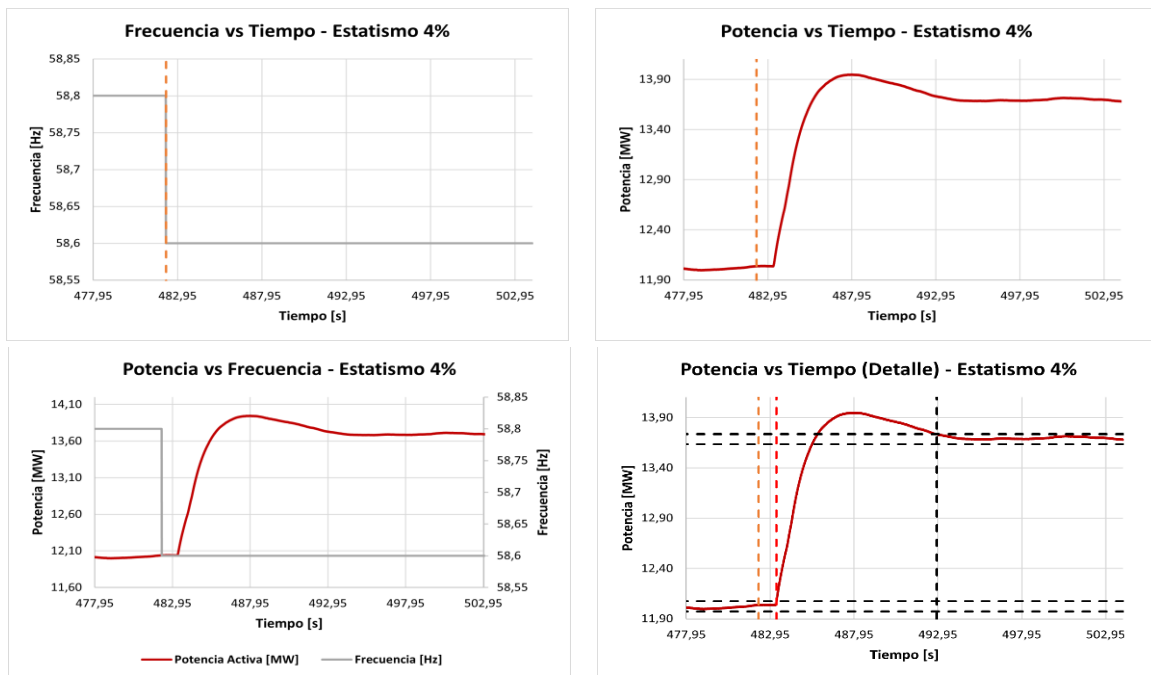


Figura 19. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estadismo – Escalón negativo 7

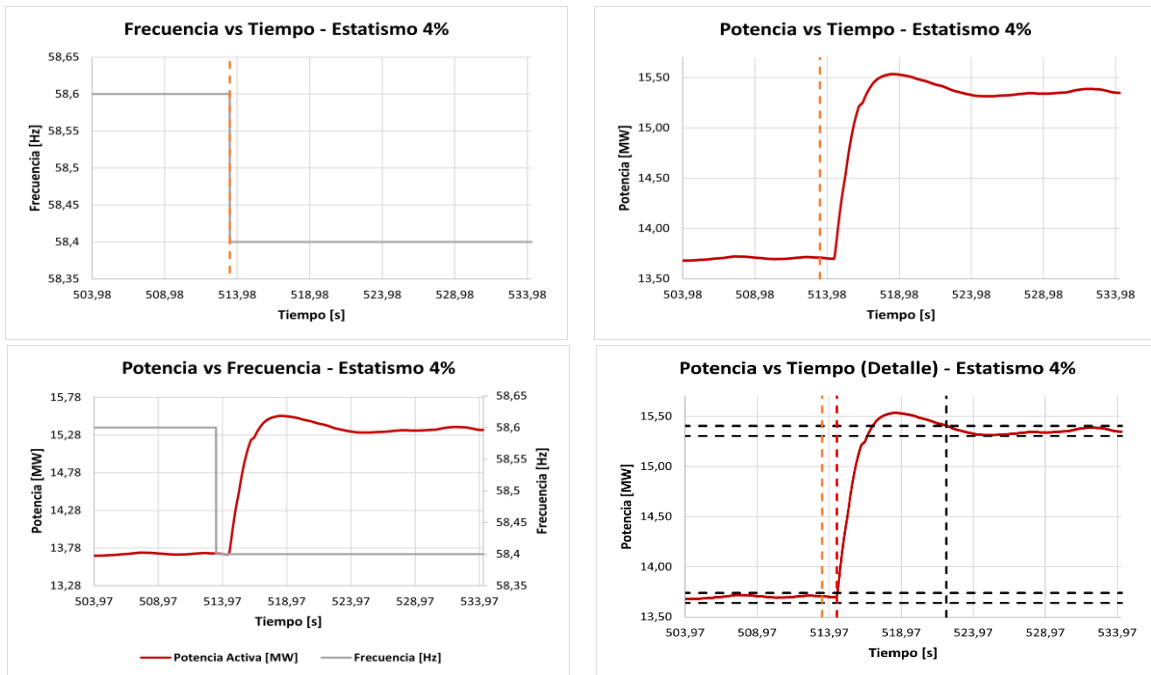


Figura 20. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 8

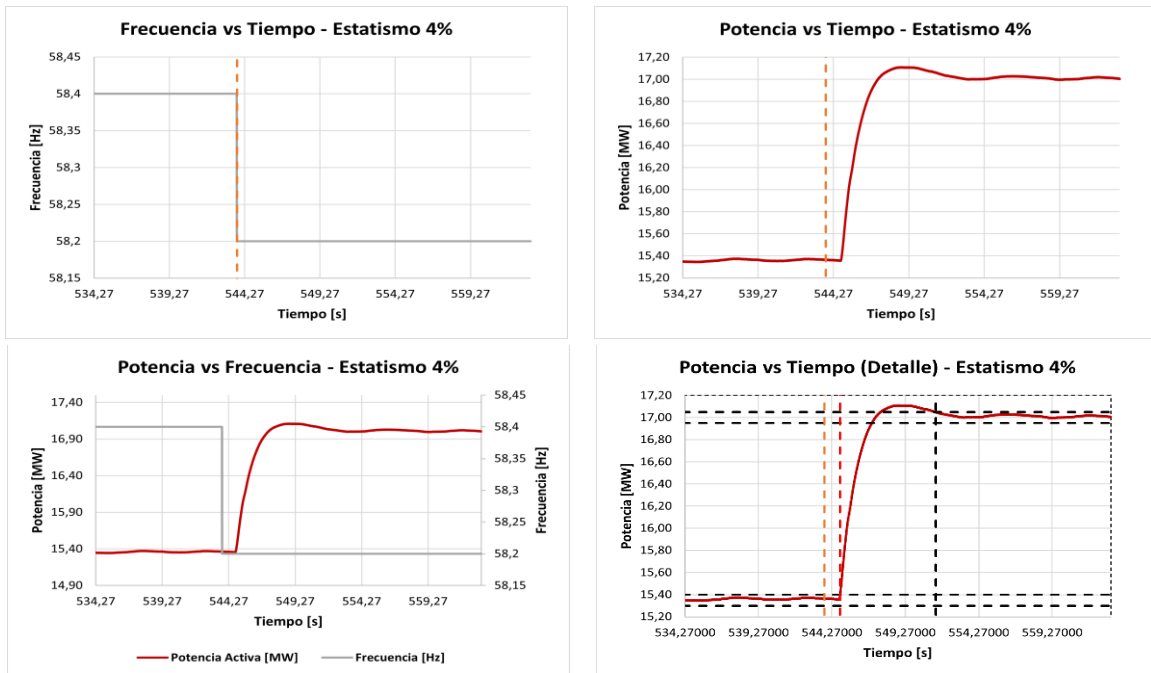


Figura 21. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba estatismo – Escalón negativo 9

Para cada una de las figuras, la línea vertical naranja indica el tiempo en el que se aplicó el escalón, la línea vertical roja indica el tiempo en el que la señal de potencia activa sale de las bandas del 3% alrededor del valor inicial (relacionadas con el tiempo de respuesta T_r) y la línea vertical negra indica el tiempo en el que la señal de potencia activa entra a las bandas del 3% alrededor del valor final (asociada con el tiempo de establecimiento T_e).

Valor máximo rango del estatismo configurable (Protocolo 1B, Numeral 3.8)

Según lo establecido en la resolución CREG 060 de 2019, el estatismo debe ser configurable en un rango entre el 2% y el 6%. Para verificar el valor máximo del rango configurable (6%), se realizan dos escalones ascendentes y dos escalones descendentes de 0,2 Hz sobre el control a nivel de la planta, como lo indica el Anexo al Acuerdo C.N.O 1826.

Durante la prueba después de aplicar cada escalón se da una espera de al menos 20 segundos (mayor al tiempo de establecimiento obtenido) para determinar los valores finales de las variables analizadas.

Para las pruebas se utiliza una frecuencia de referencia de 60 Hz (valor constante durante toda la prueba) y una potencia de referencia (setpoint) de 19,9 MW (valor constante durante toda la prueba).

Durante la prueba se registran datos de:

- Consigna de referencia de frecuencia
- Frecuencia
- Variación de frecuencia
- Referencia de potencia
- Potencia inicial en el punto de conexión
- Potencia final en el punto de conexión
- Variación de potencia en toda la prueba.

El estatismo en cada escalón se calcula utilizando la ecuación (1) del Anexo al Acuerdo C.N.O 1826 (ver Sección 2 de definiciones de este informe). Así mismo se calcula el tiempo de establecimiento y de respuesta inicial de acuerdo con las definiciones del anexo del Acuerdo 1826. El valor definitivo de estos parámetros se calcula como el promedio de los valores calculados para todos los escalones realizados.

Como se especifica en la sección 5, las pruebas se llevan a cabo deshabilitando la banda muerta y controlando con el software interno del PPC la señal de la frecuencia.

La Tabla 4 presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 1 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. La misma tabla se presenta en la pestaña “*Estatismo Rango 6%*”, del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826. Como se observa de la Tabla 4, los resultados de la prueba demuestran que

el estatismo de la planta se puede configurar con un valor del 6%, el cual corresponde al valor extremo máximo definido en la resolución CREG 060 de 2019.

Tabla 4. Resultados prueba estatismo configurable al 6%

Tipo de escalón	Número del escalón	Fecha y hora	Valor inicial Frecuencia [Hz]	Valor final Frecuencia [Hz]	Valor inicial potencia [MW]	Valor Final potencia [MW]	Potencia de referencia [MW]	Valor inicial frecuencia [Hz]*	Valor Final Frecuencia [Hz]*	Estatismo	Tiempo de est. [s]	Tiempo de resp. [s]
Ascendente	1	22/02/2025 14:07	60	60,2	10,0581	8,9452	19,9	60	60,2	5,96	6,10	1,15
Ascendente	2	22/02/2025 14:08	60,2	60,4	8,9396	7,8409	19,9	60,2	60,4	6,04	5,55	1,02
Descendente	3	22/02/2025 14:04	60	59,8	10,0512	11,1579	19,9	60	59,8	5,99	10,33	1,08
Descendente	4	22/02/2025 14:05	59,8	59,6	11,1631	12,2855	19,9	59,8	59,6	5,91	7,06	1,04
Valores promedio										5,98	7,26	1,07

*Estos valores podrán ser iguales a los de las columnas 4 y 5 en caso de que la variable a modificar sea la Frecuencia.

De la Figura 22 a la Figura 25 se presenta de forma gráfica los resultados de la prueba. Las gráficas que componen las figuras mostradas, así como los cálculos del estadismo y los tiempos de respuesta inicial y de establecimiento a partir de los datos obtenidos se presentan en la pestaña “*Datos Estadismo 6%*”, del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826. En las gráficas, la línea vertical naranja representa el tiempo en el que se aplica el escalón, la línea vertical roja el tiempo en que la señal de potencia activa sale de la banda del 3% alrededor del valor inicial (asociado al T_r) y la línea vertical negra el tiempo en que la señal de potencia activa entra en la banda del 3% alrededor del valor final esperado (asociado al T_e).

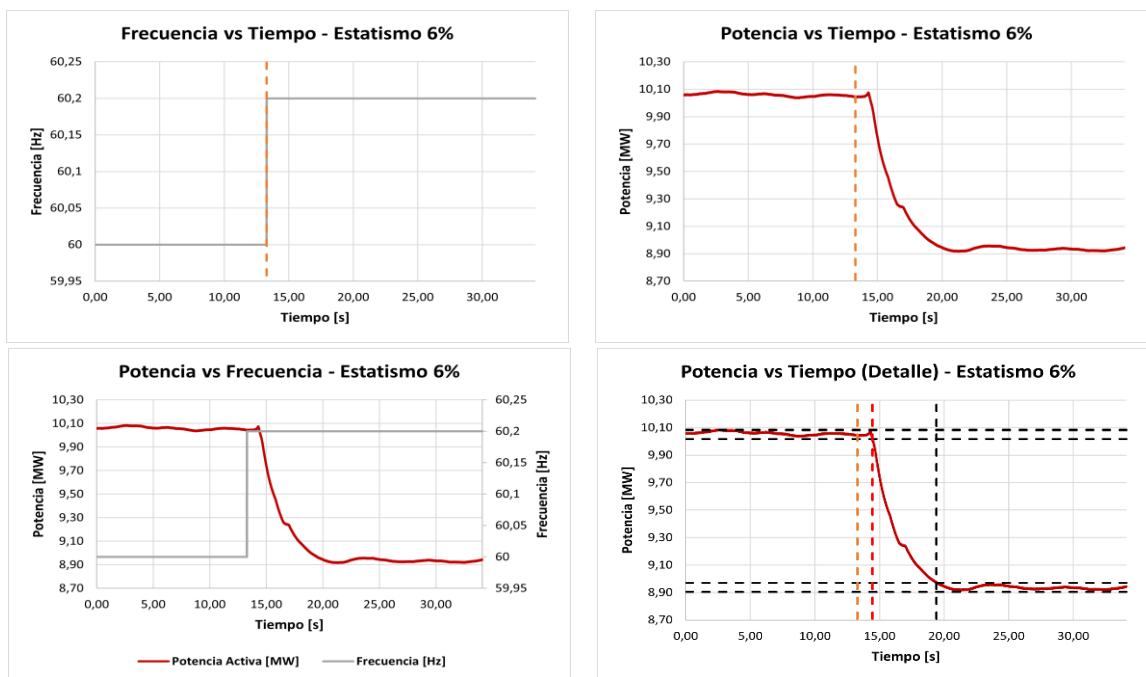


Figura 22. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor máximo (6%) - Escalón positivo 1

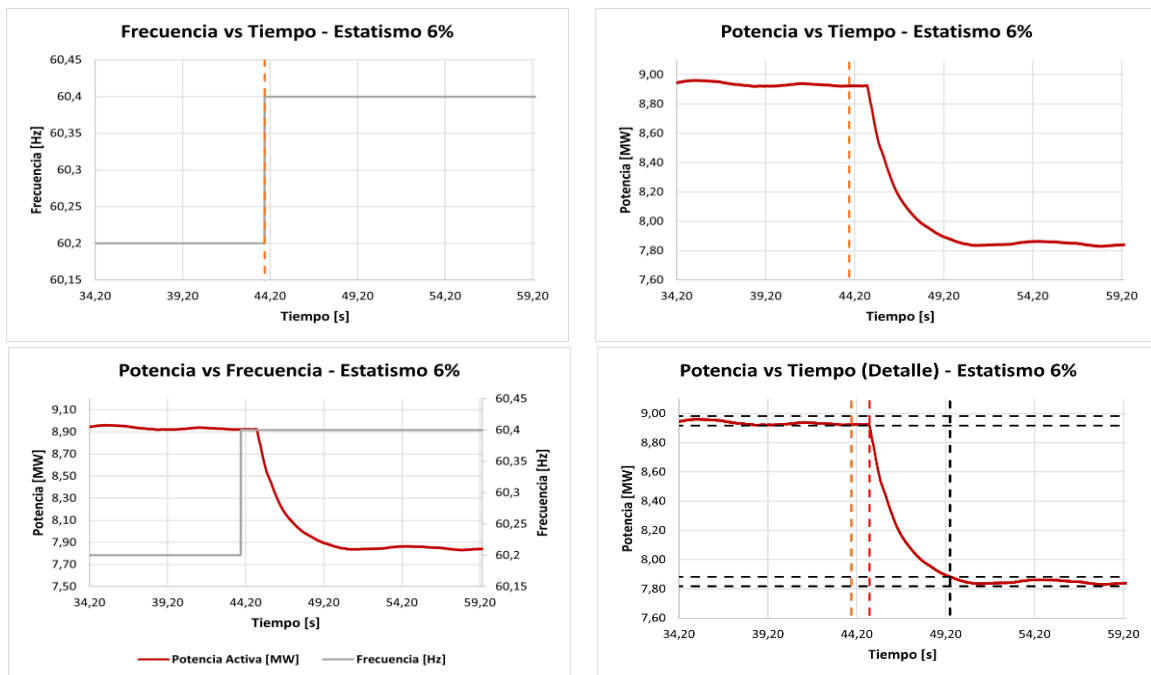


Figura 23. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor máximo (6%) - Escalón positivo 2

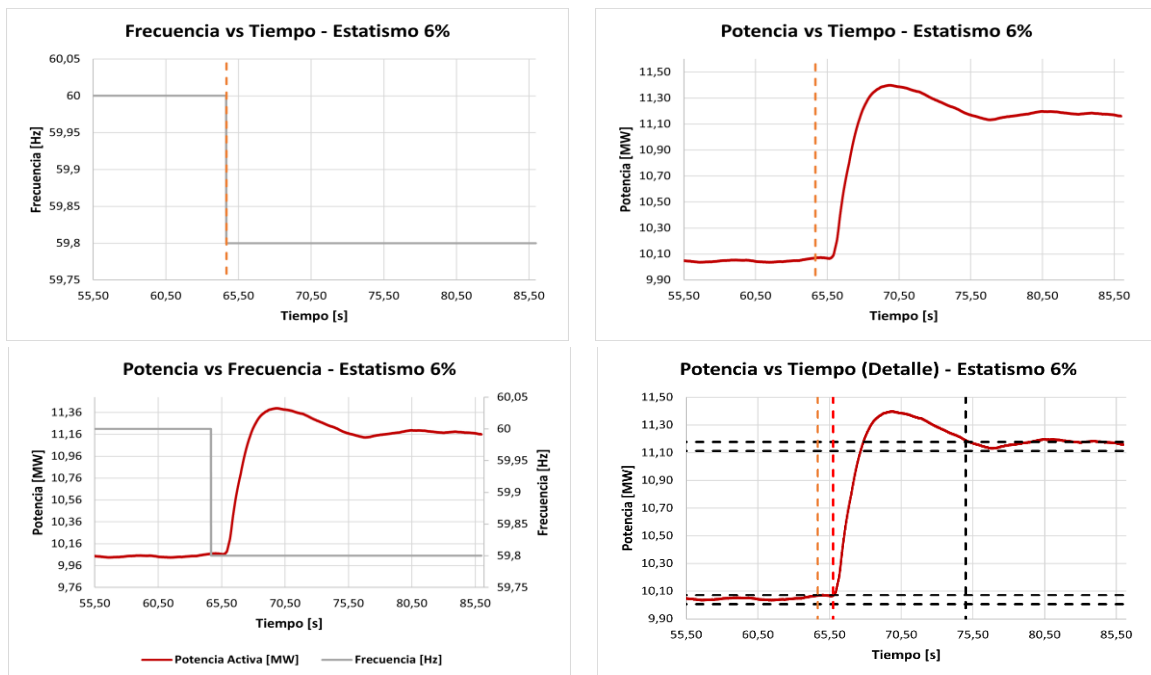


Figura 24. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor máximo (6%) - Escalón negativo 1

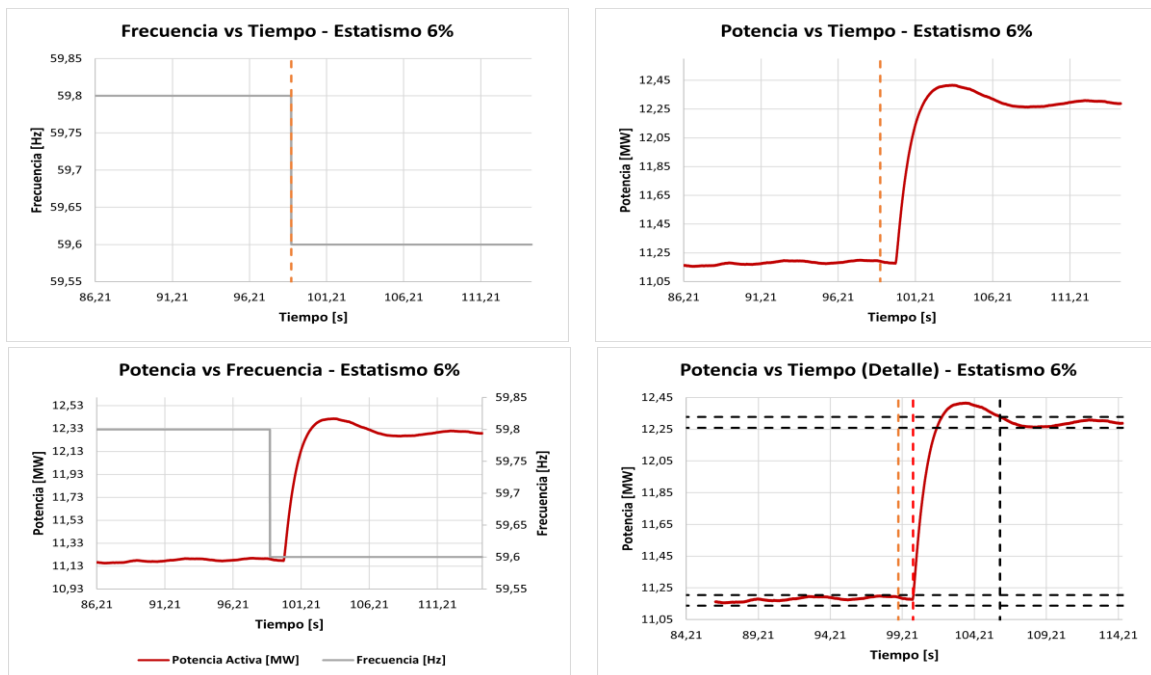


Figura 25. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estatismo valor máximo (6%) - Escalón negativo 2

5.1. Valor mínimo rango del estatismo configurable (Protocolo 1B, Numeral 3.8)

Según lo establecido en la resolución CREG 060 de 2019, el estatismo debe ser configurable en un rango entre el 2% y el 6%. Para verificar el valor mínimo del rango configurable (2%), se realizan dos escalones ascendentes y dos escalones descendentes de 0,2 Hz sobre el control a nivel de la planta, como lo indica el Anexo al Acuerdo C.N.O 1826.

Durante la prueba después de aplicar cada escalón se da una espera de al menos 20 segundos (mayor al tiempo de establecimiento obtenido) para determinar los valores finales de las variables analizadas.

Para las pruebas se utiliza una frecuencia de referencia de 60 Hz (valor constante durante toda la prueba) y una potencia de referencia (setpoint) de 19,9 MW (valor constante durante toda la prueba).

Durante la prueba se registran datos de:

- Consigna de referencia de frecuencia
- Frecuencia

- Variación de frecuencia
- Referencia de potencia
- Potencia inicial en el punto de conexión
- Potencia final en el punto de conexión
- Variación de potencia en toda la prueba.

El estatismo en cada escalón se calcula utilizando la ecuación (1) del Anexo al Acuerdo C.N.O 1826 (ver Sección 2 de definiciones de este informe). Así mismo se calcula el tiempo de establecimiento y de respuesta inicial de acuerdo con las definiciones del anexo del Acuerdo 1826. El valor definitivo de estos parámetros se calcula como el promedio de los valores calculados para todos los escalones realizados.

Como se especifica en la sección 5, las pruebas se llevan a cabo deshabilitando la banda muerta y controlando con el software interno del PPC la señal de la frecuencia.

La Tabla 5 presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 1 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. La misma tabla se presenta en la pestaña “*Estatismo Rango 2%*”, del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826. Como se observa de la Tabla 5, los resultados de la prueba demuestran que el estatismo de la planta se puede configurar con un valor del 2%, el cual corresponde al valor extremo mínimo definido en la resolución CREG 060 de 2019.

Tabla 5. Resultados prueba estatismo configurable al 2%

Tipo de escalón	Número del escalón	Fecha y hora	Valor inicial Frecuencia [Hz]	Valor final Frecuencia [Hz]	Valor inicial potencia [MW]	Valor Final potencia [MW]	Potencia de referencia [MW]	Valor inicial frecuencia [Hz]*	Valor Final Frecuencia [Hz]*	Estatismo	Tiempo de est. [s]	Tiempo de resp. [s]
Ascendente	1	22/02/2025 14:33	60	60,2	10,1981	6,9139	19,9	60	60,2	2,02	4,45	1,12
Ascendente	2	22/02/2025 14:34	60,2	60,4	6,9164	3,6363	19,9	60,2	60,4	2,02	3,98	1,13
Descendente	3	22/02/2025 14:30	60	59,8	10,1926	13,4562	19,9	60	59,8	2,03	4,11	1,34
Descendente	4	22/02/2025 14:32	59,8	59,6	13,4586	16,7588	19,9	59,8	59,6	2,01	4,61	1,10
Valores promedio										2,02	4,29	1,17

*Estos valores podrán ser iguales a los de las columnas 4 y 5 en caso de que la variable a modificar sea la Frecuencia.

De la Figura 26 a la Figura 29 se presenta de forma gráfica los resultados de la prueba. Las gráficas que componen las figuras mostradas, así como los cálculos del estadismo y los tiempos de respuesta inicial y de establecimiento a partir de los datos obtenidos se presentan en la pestaña “*Datos Estadismo 2%*”, del archivo Excel del Anexo 1 al Acuerdo C.N.O 1826. En las gráficas, la línea vertical naranja representa el tiempo en el que se aplica el escalón, la línea vertical roja el tiempo en que la señal de potencia activa sale de la banda del 3% alrededor del valor inicial (asociado al T_r) y la línea vertical negra el tiempo en que la señal de potencia activa entra en la banda del 3% alrededor del valor final (asociado al T_e).

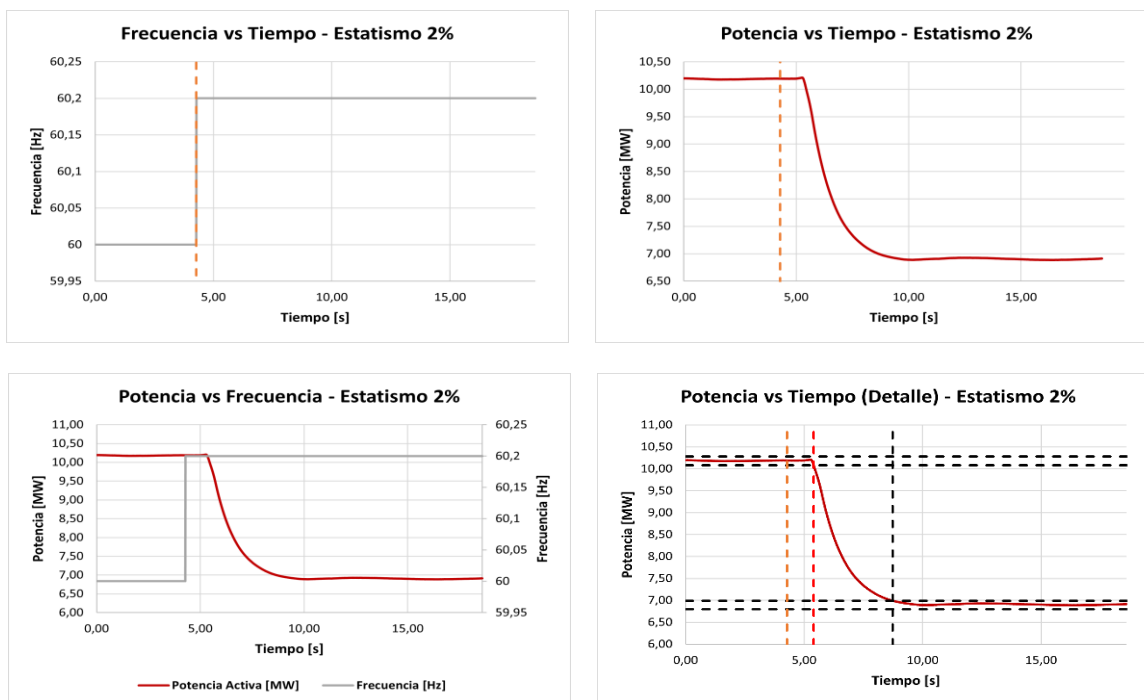


Figura 26. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor mínimo (2%) - Escalón positivo 1

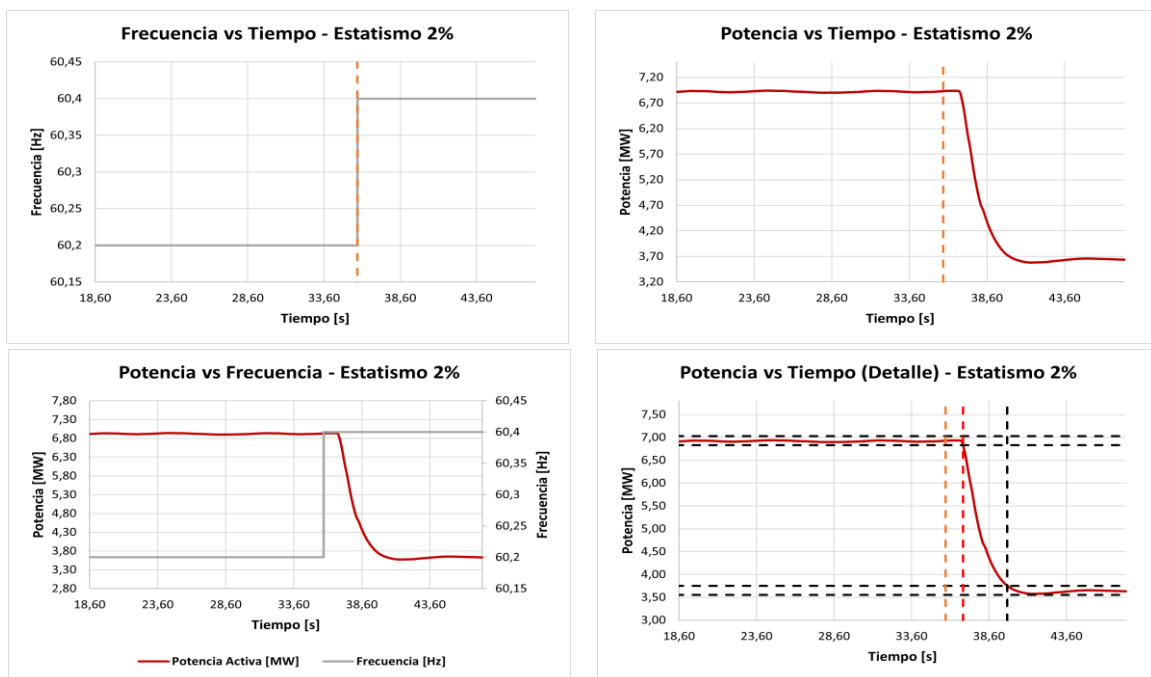


Figura 27. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor mínimo (2%) - Escalón positivo 2

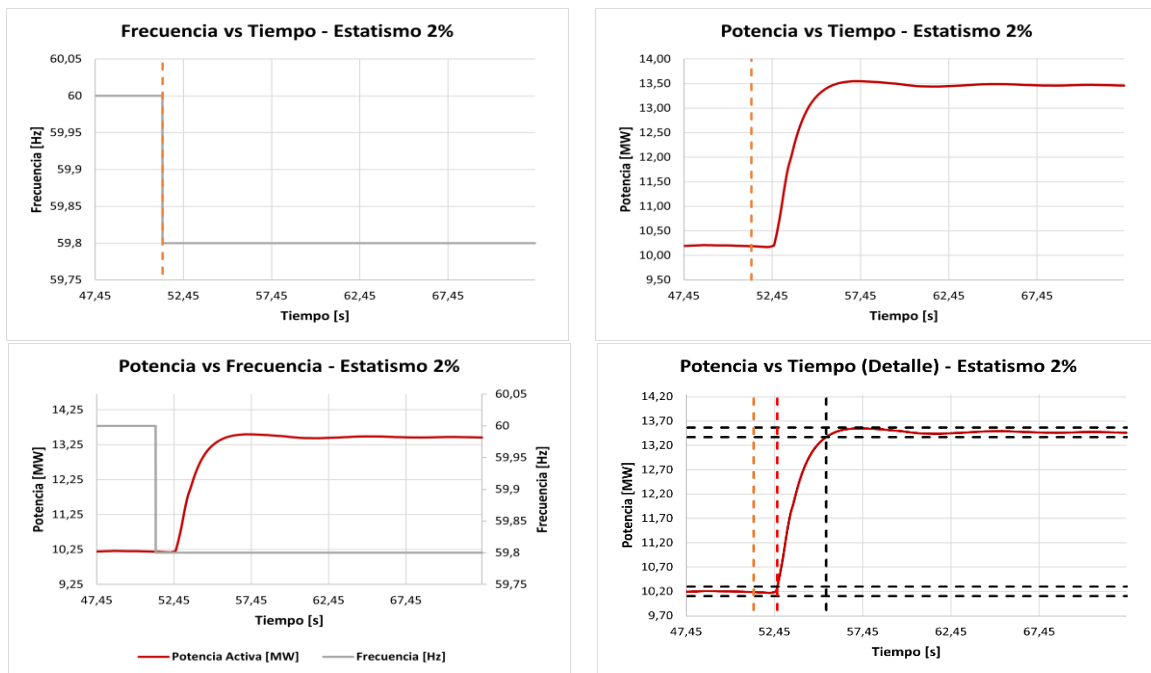


Figura 28. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor mínimo (2%) - Escalón negativo 1

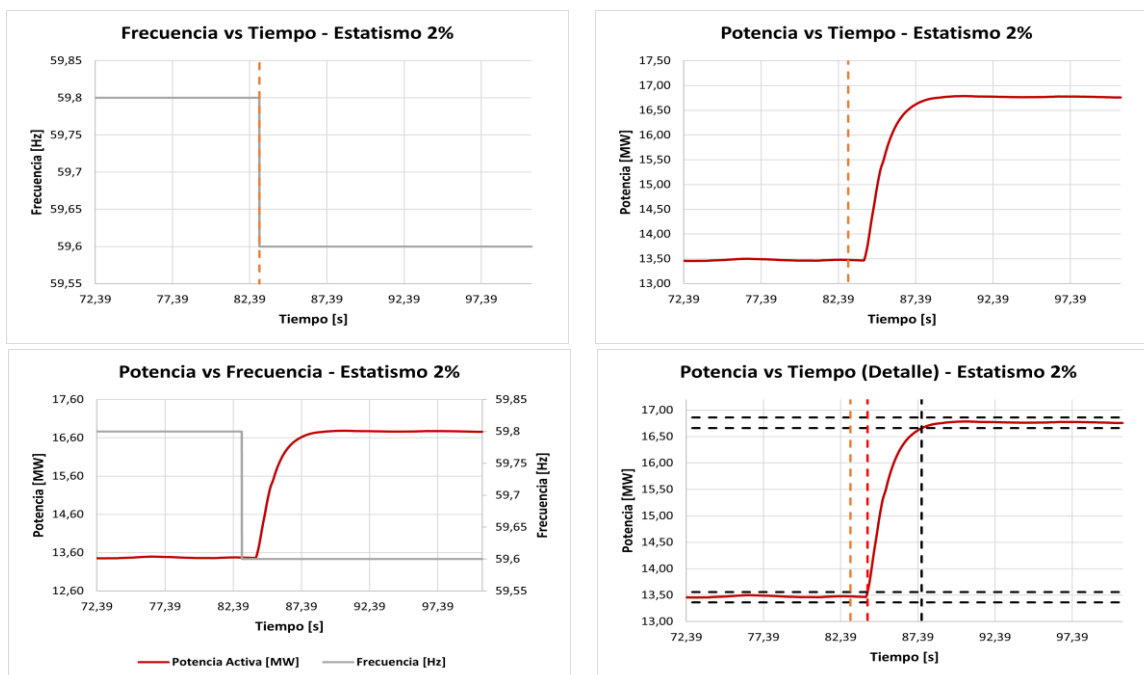


Figura 29. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba estadismo valor mínimo (2%) - Escalón negativo 2

6. PRUEBAS DE BANDA MUERTA

Siguiendo lo establecido en el Anexo del Acuerdo C.N.O 1826 [3] se lleva a cabo la prueba de banda muerta, utilizando el protocolo 1B para control centralizado de potencia activa/frecuencia.

A través del software interno del PPC se inyectan valores en la señal de frecuencia, de manera que el control de potencia activa/frecuencia observe cambios tipo escalón, en la variable controlada (la frecuencia), limitando el efecto de las variaciones de frecuencia del sistema.

La Tabla 6 presenta la descripción general de la prueba, utilizando el formato del Anexo 2 al Acuerdo 1826.

Tabla 6. Descripción general prueba de banda muerta según acuerdo C.N.O 1826

	RESPUESTA	OBSERVACIONES (si se requiere)
REPORTAR EL PROTOCOLO USADO (A O B).	B	Control centralizado
Inyección (Externa, o interna)	Interna	
Señal en donde se aplicó el escalón (frecuencia- F- , Referencia de la frecuencia- Fref-)	F	

6.1. Banda muerta valor actual +- 30 MHz (Protocolo 1B, Numeral 3.3 a 3.4)

Para la ejecución de la prueba se siguen los pasos indicados en el numeral 3.3 del protocolo 1B del Anexo al acuerdo C.N.O 1826. La prueba se hace utilizando la secuencia descrita a continuación:

Sobrefrecuencia

- **Punto 1 dentro de la banda muerta:** Se inyecta un paso de +0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60 Hz) para llegar a 60,02 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. Al estar la frecuencia dentro de la banda muerta de +-30 mHz, no se observa en este caso cambio en la potencia activa.
- **Punto 2 dentro de la banda muerta:** Se inyecta un paso de +0,01 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60,02 Hz) para llegar a 60,03 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. Al estar la frecuencia dentro de la banda muerta de +-30 mHz, no se observa en este caso cambio en la potencia activa.
- **Punto 1 por encima de la franja superior:** Se inyecta un paso de +0,02 Hz en la frecuencia (partiendo del límite de la banda muerta desde 60,03 Hz) para llegar a 60,05 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a la banda muerta y el estatismo programado (4 %).
- **Punto 2 por encima de la franja superior** Se inyecta un paso de +0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60,05 Hz) para llegar a 60,07 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a la banda muerta y el estatismo programado (4 %).

Desde 60,07 Hz, se retorna la frecuencia a 60 Hz, la potencia activa retorna a su valor de consigna de 8,04 MW.

Subfrecuencia

- **Punto 1 dentro de la banda muerta:** Una vez la frecuencia se estabiliza en 60 Hz, tras la prueba de sobrefrecuencia, se inyecta un paso de -0,02 Hz (partiendo desde 60 Hz) para llegar a 59,98 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. Al estar la frecuencia dentro de la banda muerta de ± 30 mHz, no se observa en este caso cambio en la potencia activa.
- **Punto 2 dentro de la banda muerta:** Se inyecta un paso de -0,01 Hz en la frecuencia (partiendo desde 59,98 Hz) para llegar a 59,97 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. Al estar la frecuencia dentro de la banda muerta de ± 30 mHz, no se observa en este caso cambio en la potencia activa.
- **Punto 1 por debajo de la franja inferior:** Se inyecta un paso de -0,02 Hz en la frecuencia (partiendo del límite de la banda muerta desde 59,97 Hz) para llegar a 59,95 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a la banda muerta y el estatismo programado (4 %).
- **Punto 2 por debajo de la franja inferior:** Se inyecta un paso de -0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 59,95 Hz) para llegar a 59,93 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a la banda muerta y el estatismo programado (4 %).

Desde 59,93 Hz, se retorna la frecuencia a 60 Hz, la potencia activa retorna al valor de consigna de 8,04 MW.

La prueba se hace utilizando una potencia activa de referencia (consigna de potencia en el PPC sin considerar control de frecuencia) de 19,9 MW. El estatismo configurado durante la prueba es el estatismo predeterminado de 4%.

La Tabla 7 resume, en el formato definido en el Anexo 2 del Acuerdo 1826, los resultados de la prueba.

Tabla 7 Resultados prueba Banda Muerta - Configuración inicial con 30 mHz

Evento	Número del escalón	Fecha y hora	Valor inicial Frecuencia [Hz]	Valor Final Frecuencia [Hz]	Valor inicial potencia [MW]	Valor Final potencia [MW]	Potencia de referencia [MW]	Valor inicial frecuencia [Hz]*	Valor Final Frecuencia [Hz]*
Escalón dentro de BM	1	23/02/2025 - 10:17:57	60	60,02	8,048	8,044	19,9	60	60,02
Escalón dentro de BM	2	23/02/2025 - 10:18:35	60,02	60,03	8,044	8,047	19,9	60,02	60,03
Escalón franja superior BM	3	23/02/2025 - 10:19:05	60,03	60,05	8,047	7,928	19,9	60,03	60,05
Escalón franja superior BM	4	23/02/2025 - 10:19:40	60,05	60,07	7,928	7,782	19,9	60,05	60,07
Retorno	5	23/02/2025 - 10:20:15	60,07	60	7,782	8,044	19,9	60,07	60
Escalón dentro de BM	1	23/02/2025 - 10:20:50	60	59,98	8,044	8,045	19,9	60	59,98
Escalón dentro de BM	2	23/02/2025 - 10:21:25	59,98	59,97	8,045	8,052	19,9	59,98	59,97
Escalón franja inferior BM	3	23/02/2025 - 10:22:05	59,97	59,95	8,052	8,158	19,9	59,97	59,95
Escalón franja inferior BM	4	23/02/2025 - 10:22:40	59,95	59,93	8,158	8,293	19,9	59,95	59,93
Retorno	5	23/02/2025 - 10:23:15	59,93	60	8,293	8,048	19,9	59,93	60

*Estos valores podrán ser iguales a los de las columnas 4 y 5 en caso de que la variable a modificar sea la Frecuencia.

La Figura 30 presenta la variación de la potencia activa en el punto de conexión con respecto a la variación en el tiempo de la frecuencia. Como se observa, la variación en contrafase de la potencia activa inicia cuando la frecuencia sale de la banda muerta de 30 mHz.

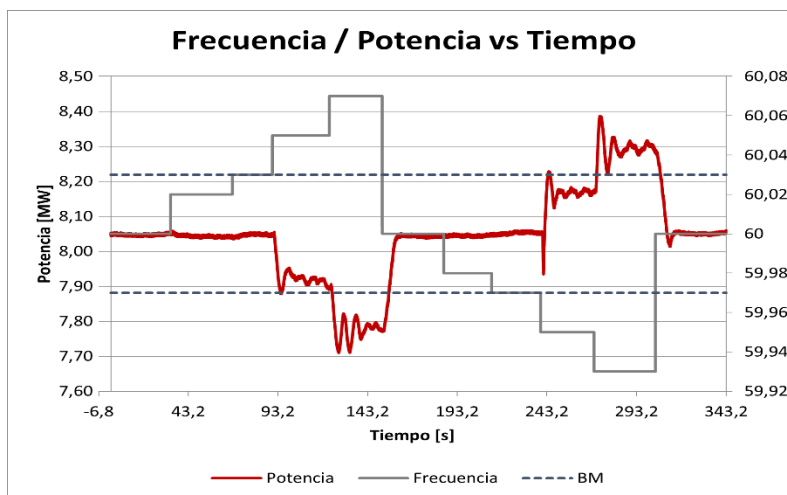


Figura 30. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 30 mHz - Frecuencia | Potencia activa vs Tiempo en el Punto de Conexión

De la Figura 31 a la Figura 32 se presenta de forma separada la variación de la potencia activa en el punto de conexión y la variación de la frecuencia con respecto al tiempo



Figura 31. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 30 mHz – Potencia Activa

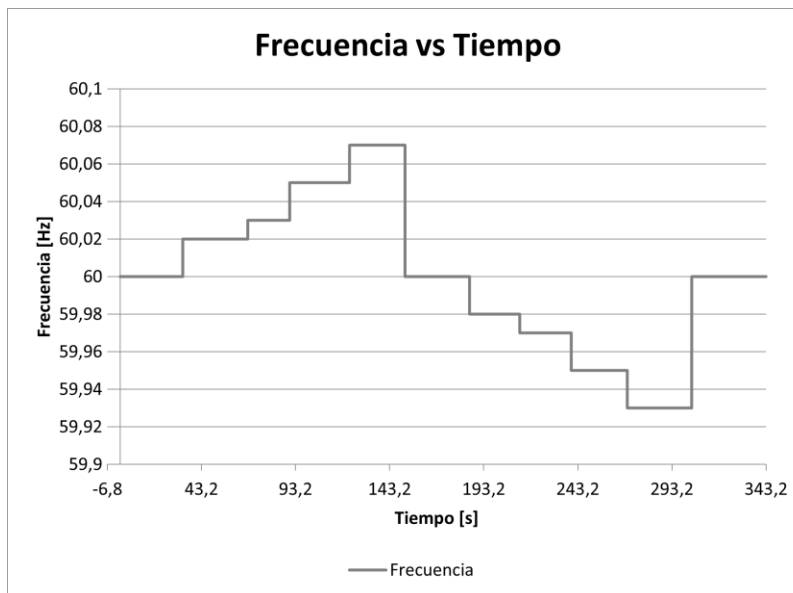


Figura 32. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 30 mHz - Frecuencia

Los resultados de la prueba demuestran que el control se encuentra configurado con una Banda muerta de ± 30 mHz, valor a partir del cual se observa la respuesta a contra fase de la potencia con la variación de la frecuencia. La tabla y las gráficas presentadas en esta sección se entregan en el archivo Excel del Anexo 2 al acuerdo C.N.O 1826, pestañas “Cálculo de la BM - 30 mHz - PB” y “Gráficas cálculo BM 30 mHz”.

6.2. Banda muerta valor mínimo 0 MHz (Protocolo 1B, Numeral 3.5)

Para la ejecución de la prueba se siguen los pasos indicados en el numeral 3.5 del protocolo 1B del Anexo al acuerdo C.N.O 1826: “Para verificar el rango configurable para la banda muerta, se deben realizar dos escalones ascendentes y dos escalones descendentes de 0.02 Hz sobre el control a nivel de la planta de generación para el valor mínimo del rango de banda muerta definido en la resolución CREG 060 de 2019 o aquella que la modifique o sustituya”. De acuerdo con lo anterior la prueba se hace utilizando la secuencia descrita a continuación:

- **Escalón de frecuencia ascendente 1:** Se inyecta un escalón de +0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60 Hz) para llegar a 60,02 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a 60 Hz y el estatismo programado (4 %).
- **Escalón de frecuencia ascendente 2:** Se inyecta un escalón de +0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60,02 Hz) para llegar a 60,04 Hz. Se mantiene la

frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a 60 Hz y el estatismo programado (4 %).

- **Escalón de frecuencia retorno:** Se inyecta un escalón de -0,04 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60,04 Hz) para llegar a 60,00 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa retorna al valor de consigna de 8,03 MW.
- **Escalón de frecuencia descendente 1:** Se inyecta un escalón de -0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60 Hz) para llegar a 59,98 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a 60 Hz y el estatismo programado (4 %).
- **Escalón de frecuencia descendente 2:** Se inyecta un escalón de -0,02 Hz en la frecuencia (partiendo desde 59,98 Hz) para llegar a 59,96 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a 60 Hz y el estatismo programado (4 %).
- **Escalón de frecuencia retorno:** Se inyecta un escalón de +0,04 Hz en la frecuencia (partiendo desde 59,96 Hz) para llegar a 60 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa retorna al valor de consigna de 8,03 MW.

La prueba se hace utilizando una potencia activa de referencia (consigna de potencia en el PPC sin considerar control de frecuencia) de 19,9 MW. El estatismo configurado durante la prueba es el estatismo predeterminado de 4%.

La Tabla 8 resume en el formato definido en el Anexo 2 del Acuerdo 1826, los resultados de la prueba.

Tabla 8. Resultados prueba Banda Muerta – Configuración en el mínimo (0 mHz)

Evento	Número del escalón	Fecha y hora	Valor inicial Frecuencia [Hz]	Valor Final Frecuencia [Hz]	Valor inicial potencia [MW]	Valor Final potencia [MW]	Potencia de referencia [MW]	Valor inicial frecuencia [Hz]*	Valor Final Frecuencia [Hz]*
Escalón ascendente	1	23/02/2025 - 10:46:22	60	60,02	8,026	7,87	19,9	60	60,02
Escalón ascendente	2	23/02/2025 - 10:46:57	60,02	60,04	7,870	7,691	19,9	60,02	60,04
Escalón retorno	3	23/02/2025 - 10:47:32	60,04	60	7,691	8,026	19,9	60,04	60,02
Escalón descendente	4	23/02/2025 - 10:48:07	60	59,98	8,026	8,172	19,9	60,02	60
Escalón descendente	5	23/02/2025 - 10:48:42	59,98	59,96	8,172	8,331	19,9	60	59,98
Escalón retorno	6	23/02/2025 - 10:49:17	59,96	60	8,331	8,031	19,9	59,98	59,96

*Estos valores podrán ser iguales a los de las columnas 4 y 5 en caso de que la variable a modificar sea la Frecuencia.

La Figura 33 presenta la variación de la potencia activa en el punto de conexión con respecto a la variación en el tiempo de la frecuencia. Como se observa, la variación en contrafase de la potencia activa inicia cuando la frecuencia es diferente de 60 Hz (banda muerta de 0 mHz).

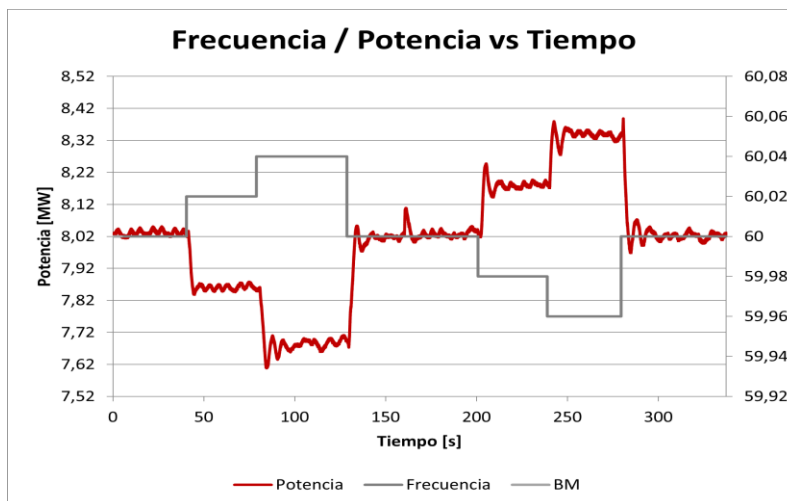


Figura 33. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 0 mHz - Frecuencia | Potencia activa vs Tiempo en el Punto de Conexión

De la Figura 34 a la Figura 35 se presenta de forma separada la variación de la potencia activa en el punto de conexión y la variación de la frecuencia con respecto al tiempo.

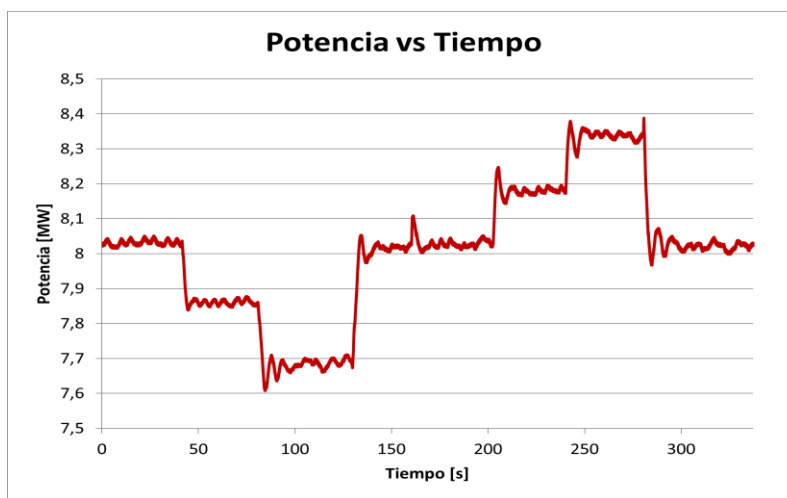


Figura 34. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 0 mHz – Potencia Activa

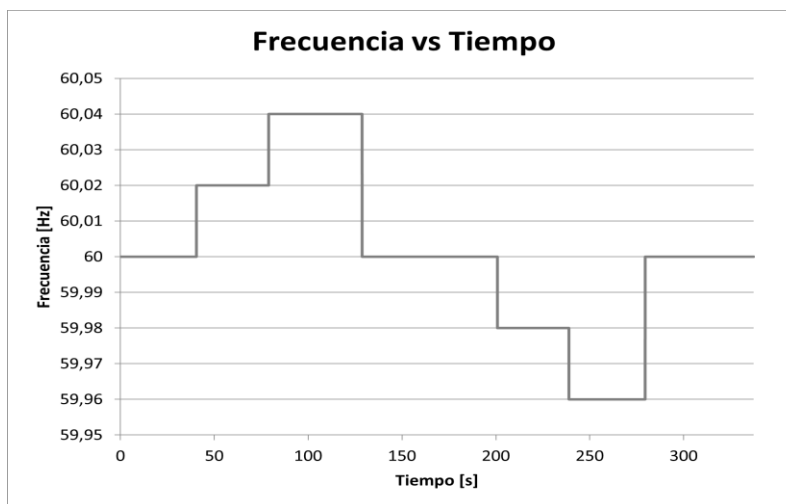


Figura 35. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 0 mHz - Frecuencia

Los resultados de la prueba demuestran que el control se encuentra configurado con una Banda muerta de +0 mHz, valor que corresponde al mínimo establecido en la resolución CREG 060 de 2019. La tabla y las gráficas presentadas en esta sección se entregan en el archivo Excel del Anexo 2 al acuerdo C.N.O 1826, pestañas “Cálculo BM 0 mHz - PB” y “Gráficas cálculo BM 0 mHz”.

6.3. Banda muerta valor máximo 120 MHz (Protocolo 1B, Numeral 3.5)

Para la ejecución de la prueba se siguen los pasos indicados en el numeral 3.5 del protocolo 1B del Anexo al acuerdo C.N.O 1826: “*Para el valor superior de banda muerta se deben realizar dos escalones ascendentes y dos escalones descendentes. El primero de estos escalones debe tener una magnitud menor al valor máximo del rango de banda muerta y el segundo escalón debe tener una magnitud mayor al valor máximo del rango de banda muerta*”. De acuerdo con lo anterior la prueba se hace utilizando la secuencia descrita a continuación:

- **Escalón de frecuencia ascendente 1:** Se inyecta un escalón de +0,12 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60 Hz) para llegar a 60,12 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. Al estar la frecuencia dentro de la banda muerta de ± 120 mHz, no se observa en este caso cambio en la potencia activa.
- **Escalón de frecuencia ascendente 2:** Se inyecta un escalón de +0,12 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60,12 Hz) para llegar a 60,24 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a la banda muerta y el estatismo programado (4 %).

- **Escalón de frecuencia retorno:** Se inyecta un escalón de -0,24 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60,24 Hz) para retornar a 60 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa retorna al valor de consigna de 10 MW.
- **Escalón de frecuencia descendente 1:** Se inyecta un escalón de -0,12 Hz en la frecuencia (partiendo desde 60 Hz) para llegar a 59,88 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. Al estar la frecuencia dentro de la banda muerta de ± 120 mHz, no se observa en este caso cambio en la potencia activa.
- **Escalón de frecuencia descendente 2:** Se inyecta un escalón de -0,12 Hz en la frecuencia (partiendo desde 59,88 Hz) para llegar a 59,76 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa cambia de acuerdo con la desviación con respecto a la banda muerta y el estatismo programado (4 %).
- **Escalón de frecuencia retorno:** Se inyecta un escalón de +0,24 Hz en la frecuencia (partiendo desde 59,76 Hz) para retornar a 60 Hz. Se mantiene la frecuencia en el nuevo valor por un periodo de tiempo superior al tiempo de establecimiento. La potencia activa retorna al valor de consigna de 10 MW.

La prueba se hace utilizando una potencia activa de referencia (consigna de potencia en el PPC sin considerar control de frecuencia) de 19,9 MW. El estatismo configurado durante la prueba es el estatismo predeterminado de 4%.

La Tabla 9 resume en el formato definido en el Anexo 2 del Acuerdo 1826, los resultados de la prueba

Tabla 9. Resultados prueba Banda Muerta – Configuración en el máximo 120 mHz

Evento	Número del escalón	Fecha y hora	Valor inicial Frecuencia [Hz]	Valor Final Frecuencia [Hz]	Valor inicial potencia [MW]	Valor Final potencia [MW]	Potencia de referencia [MW]	Valor inicial frecuencia [Hz]*	Valor Final Frecuencia [Hz]*
Escalón ascendente	1	23/02/2025 - 11:20:55	60	60,12	9,978	9,974	19,9	60	60,12
Escalón ascendente	2	23/02/2025 - 11:22:05	60,12	60,24	9,974	9,067	19,9	60,12	60,24
Escalón retorno	3	23/02/2025 - 11:22:40	60,24	60	9,067	9,978	19,9	60,24	60
Escalón descendente	4	23/02/2025 - 11:23:50	60	59,88	9,978	9,976	19,9	60	59,88
Escalón descendente	5	23/02/2025 - 11:24:25	59,88	59,76	9,976	10,924	19,9	59,88	59,76
Escalón retorno	6	23/02/2025 - 11:25:00	59,76	60	10,924	9,978	19,9	59,76	60

*Estos valores podrán ser iguales a los de las columnas 4 y 5 en caso de que la variable a modificar sea la Frecuencia.

La Figura 36 presenta la variación de la potencia activa en el punto de conexión con respecto a la variación en el tiempo de la frecuencia. Como se observa, la variación en contrafase de la potencia activa inicia cuando la frecuencia sale de la banda muerta de 120 mHz.

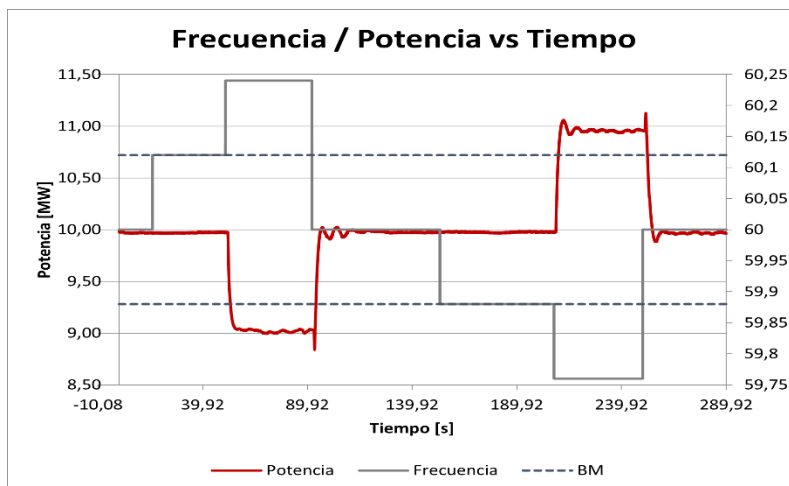


Figura 36. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 120 mHz – Frecuencia | Potencia activa vs Tiempo en el Punto de Conexión

De la Figura 37 a la Figura 38 presenta de forma separada la variación de la potencia activa en el punto de conexión y la variación de la frecuencia con respecto al tiempo, durante la prueba.

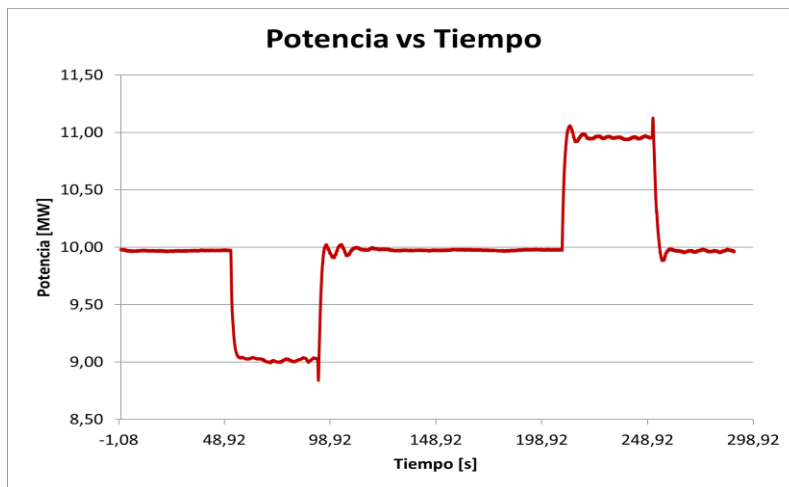


Figura 37. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 120 mHz - Potencia activa

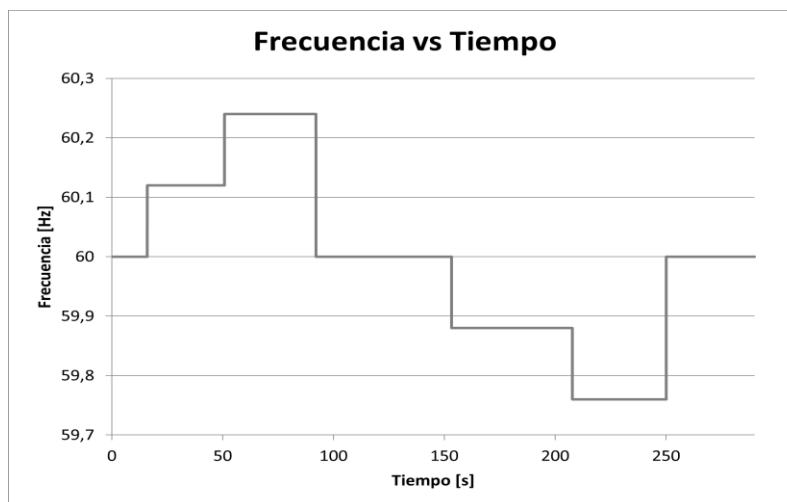


Figura 38. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba banda muerta configurada en 120 mHz - Frecuencia

Los resultados de la prueba demuestran que el control se encuentra configurado con una banda muerta de ± 120 mHz, valor que corresponde al máximo establecido en la resolución CREG 060 de 2019. La tabla y las gráficas presentadas en esta sección se entregan en el archivo Excel del Anexo 2 al acuerdo C.N.O 1826, pestañas “Cálculo BM 120 mHz - PB” y “Gráficas cálculo BM 120 mHz”.

7. PRUEBAS DE VERIFICACION DE RECEPCION DE CONSIGNAS DE FORMA LOCAL

Siguiendo el procedimiento establecido en el Protocolo 2 del Anexo al Acuerdo C.N.O 1826 se verifica que la planta recibe y gestiona consignas de potencia activa de forma local. Para esta verificación se siguió el procedimiento descrito a continuación:

Partiendo de un valor inicial de 10 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión se envió un cambio de consigna con un incremento de 2 MW (nuevo valor de consigna 12 MW).

Partiendo de un valor inicial de 12 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión se envió un cambio de consigna con un decremento de 2 MW (nuevo valor de consigna 10 MW).

De la Figura 39 a la Figura 42 se presentan los valores de potencia activa contra tiempo para los dos casos descritos previamente. Para la prueba se configuró una rampa de 2,786 MW/min (14%P_{nom}/min). Los resultados de las pruebas realizadas el día 07/03/2025 a la hora 10:50 a.m se presentan en el archivo Excel correspondiente al Anexo 3 del Acuerdo C.N.O 1826.

Las pruebas se coordinaron con el CND para el desarrollo de las mismas, los datos de la comunicación son los siguientes:

- Rampa ajustada: 14%.
- Operario: Nelson Gómez
- Fecha: 21 de marzo de 2025.

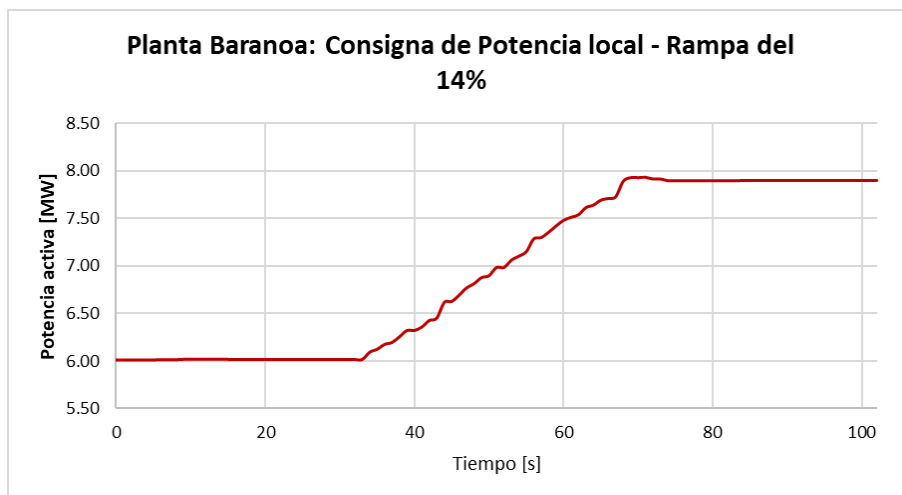


Figura 39. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia activa medida - Escalón ascendente.

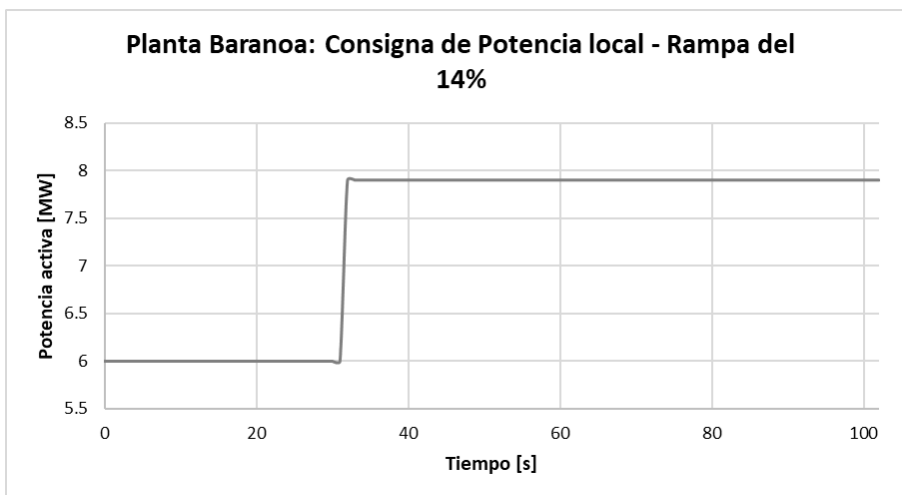


Figura 40. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia de referencia - Escalón ascendente.

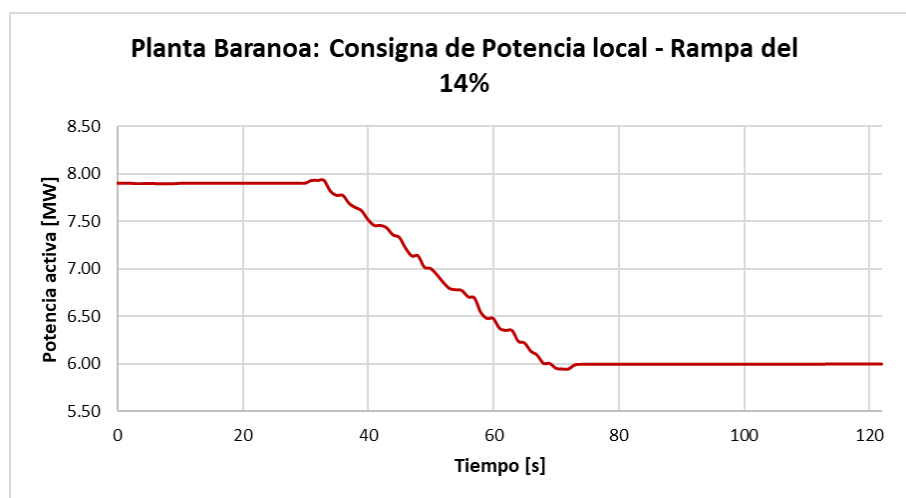


Figura 41. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia activa medida - Escalón descendente.

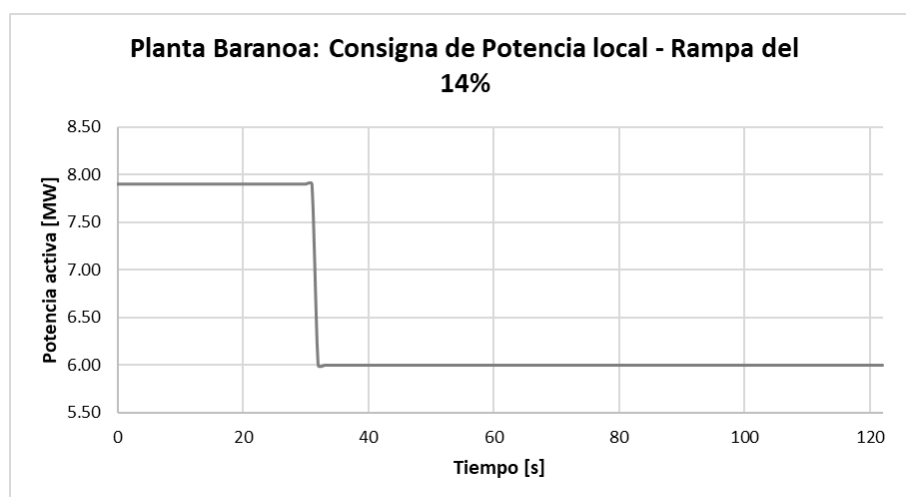


Figura 42. Acuerdo C.N.O 1826 – Prueba recepción de consigna local – Potencia de referencia - Escalón descendente.

8. PRUEBAS DE VERIFICACION DE RECEPCION DE CONSIGNAS DE FORMA REMOTA

Esta prueba no fue realizada ya que la planta no recibe consignas de potencia activa desde el CND.

9. PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE LAS RAMPAS OPERATIVAS

Siguiendo el procedimiento establecido en el Protocolo 4 del Anexo del Acuerdo C.N.O 1826 se verifica el comportamiento de las rampas operativas de arranque y parada de la planta solar Baranoa. Para esta verificación se siguió el procedimiento descrito a continuación.

PRUEBAS DE VERIFICACIÓN – RAMPA DEL 7%

Partiendo de un valor inicial de 1,99 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de 4 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 1,393 MW/min (7%Pn/min).

Partiendo de un valor inicial de 10 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de -4 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 1,393 MW/min (7%Pn/min).

En la Tabla 10 y Tabla 11 se presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. En el archivo Excel que corresponde al Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, la Tabla 10 se presenta en la pestaña “Cálculo rampas de toma de carga” y la Tabla 11 en la pestaña “Cálculo velocidad de descarga”. Como se observa en las tablas, los resultados de la prueba demuestran que la rampa se puede configurar con un valor de 1,393 MW/min (7%Pn/min)

Tabla 10. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 7%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pn nominal/min)
1	4	50%	1,4044	7,06%
2	4	50%	1,3769	6,92%
3	4	50%	1,3990	7,03%
4	4	50%	1,3726	6,90%
5	4	50%	1,4011	7,04%
6	4	50%	1,3796	6,93%
Promedio			1,3889	6,98%
Desviación estándar			0,014052427	
Coeficiente de variación			1,01%	
Error entre valor ajustado y medido			0,29%	

Tabla 11. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 7%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominal/min)
1	-4	-50%	-1,3808	-6,94%
2	-4	-50%	-1,4010	-7,04%
3	-4	-50%	-1,3631	-6,85%
4	-4	-50%	-1,3986	-7,03%
5	-4	-50%	-1,3786	-6,93%
6	-4	-50%	-1,4018	-7,04%
Promedio			-1,3873	-6,97%
Desviación estándar			0,015661767	
Coefficiente de variación			-1,13%	
Error entre valor ajustado y medido			0,41%	

De la Figura 43 a la Figura 53 se presenta de forma gráfica los resultados de la prueba. Las gráficas que componen las figuras mostradas se presentan en las pestañas “Gráficas cálculo vel. toma carg” y “Gráficas cálculo vel. descarga” del archivo Excel del Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826.

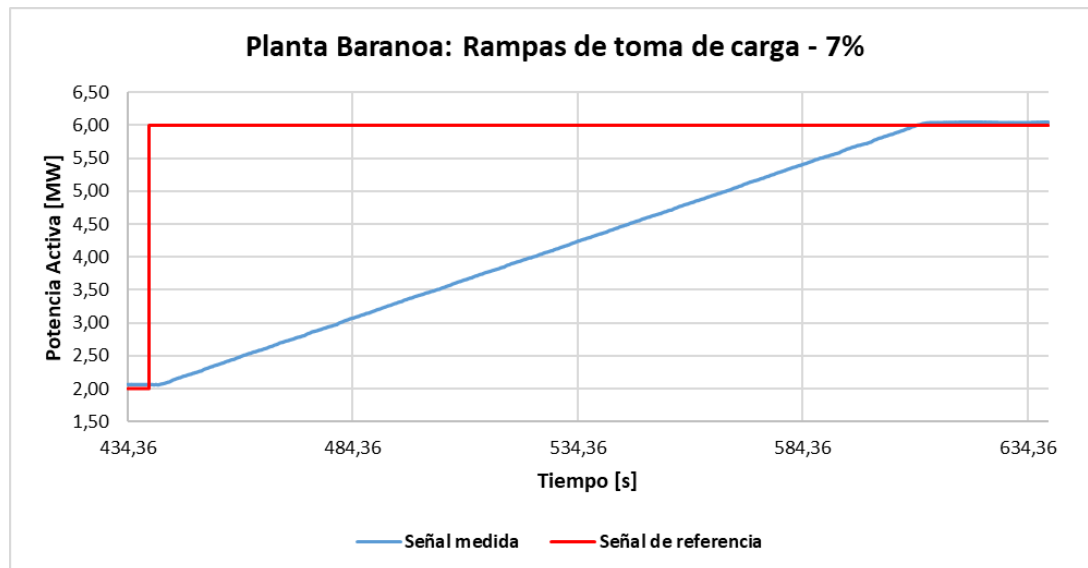


Figura 43. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

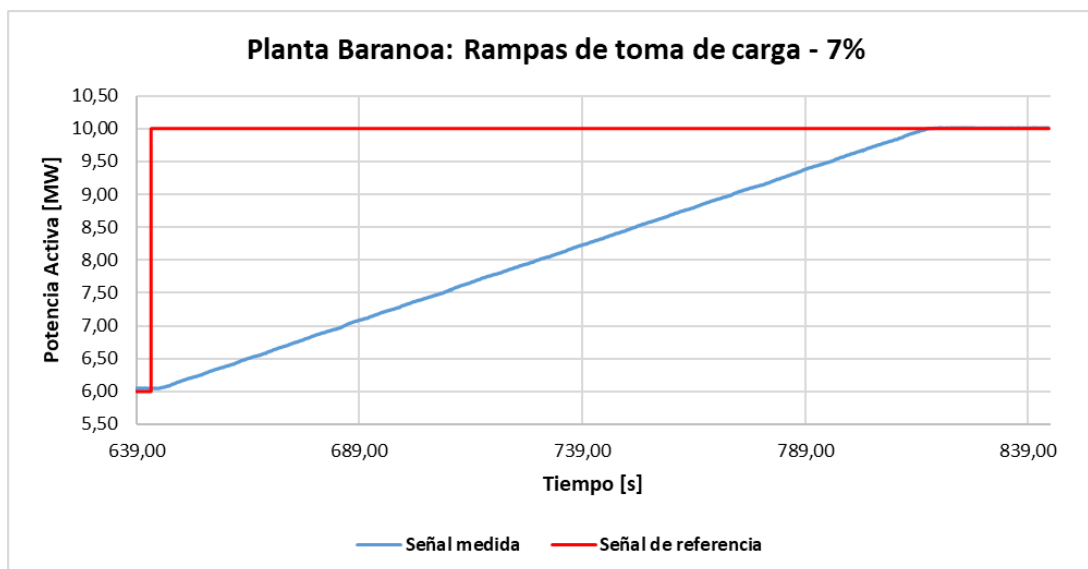


Figura 44. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

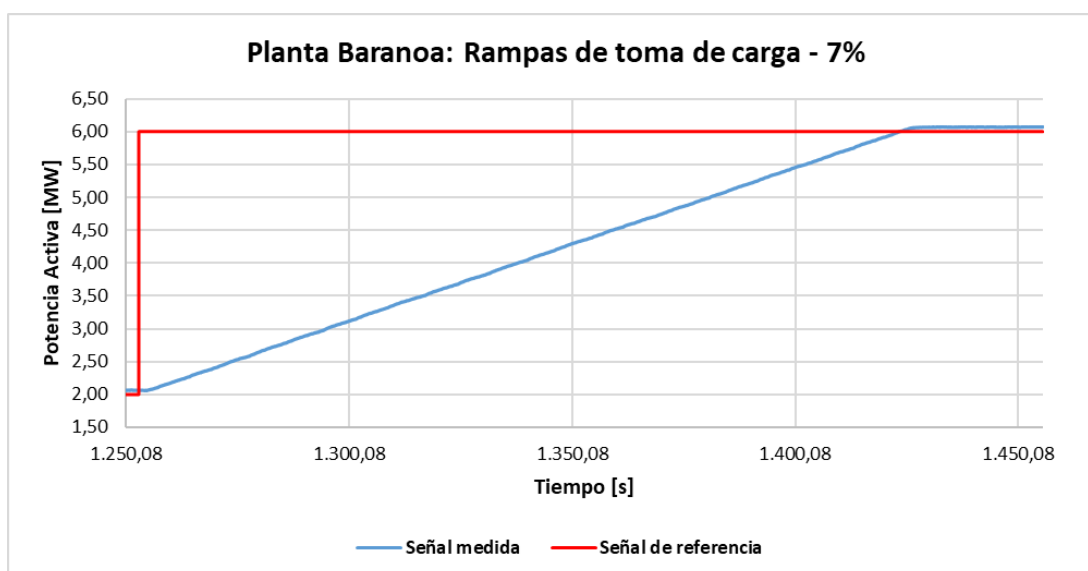


Figura 45. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

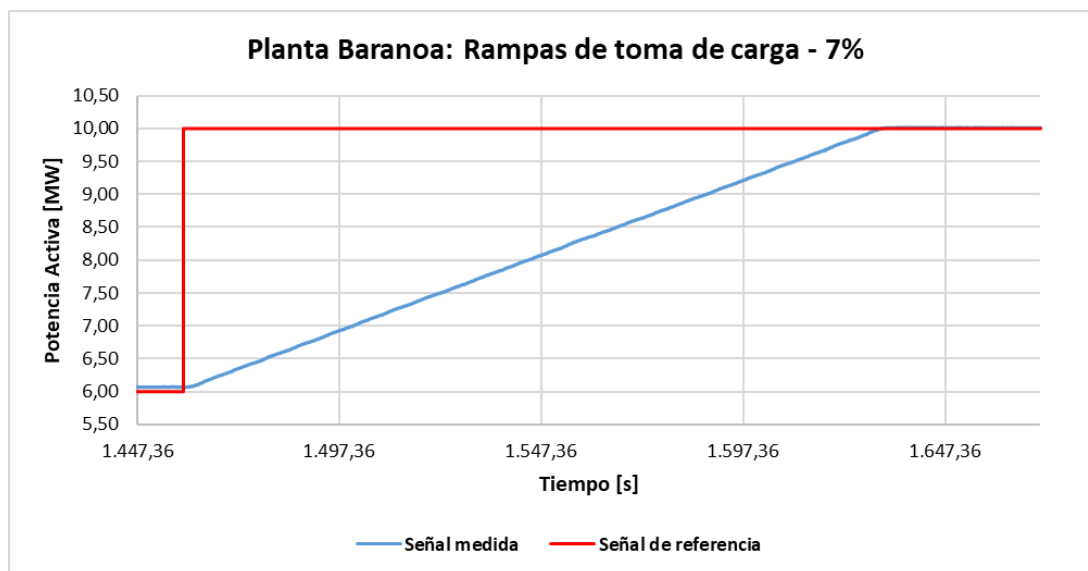


Figura 46. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

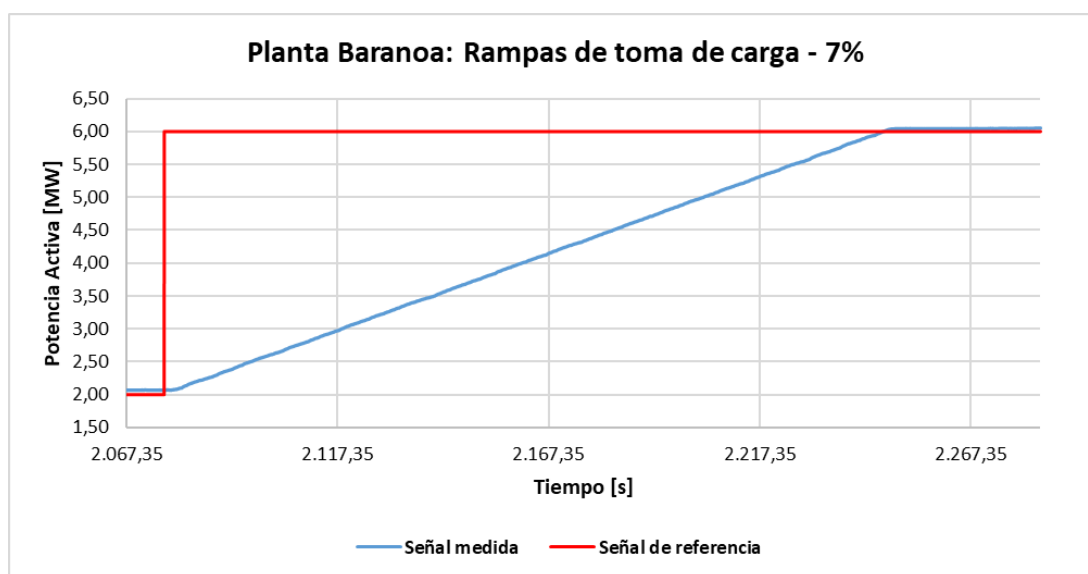


Figura 47. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

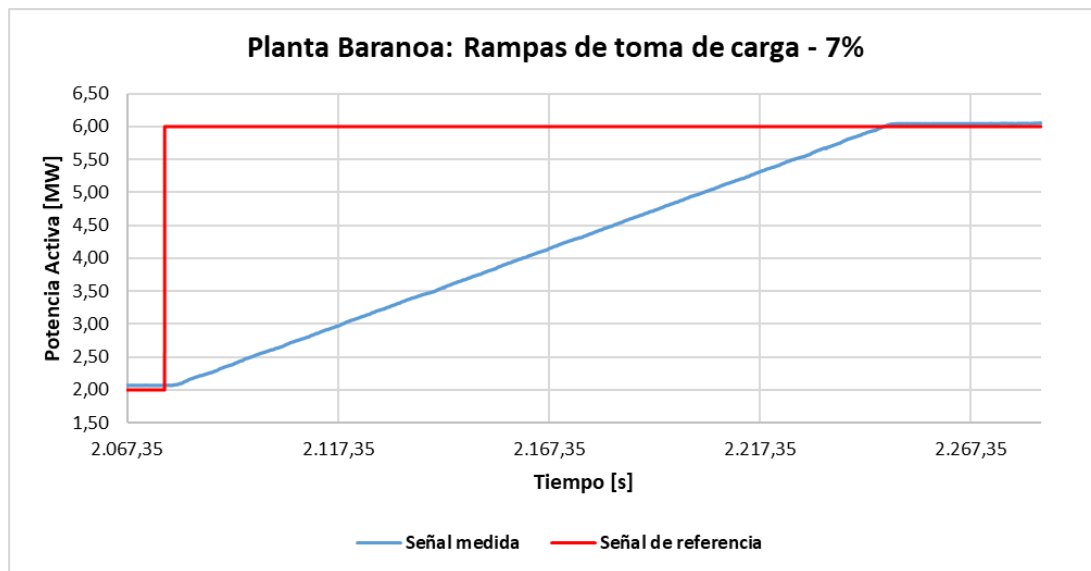


Figura 48. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 7% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

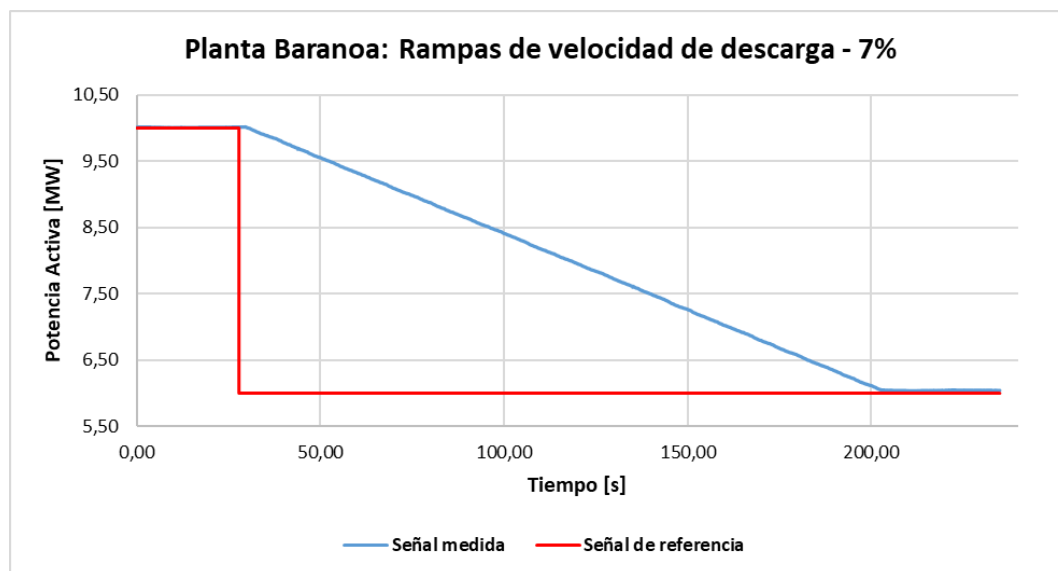


Figura 49. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

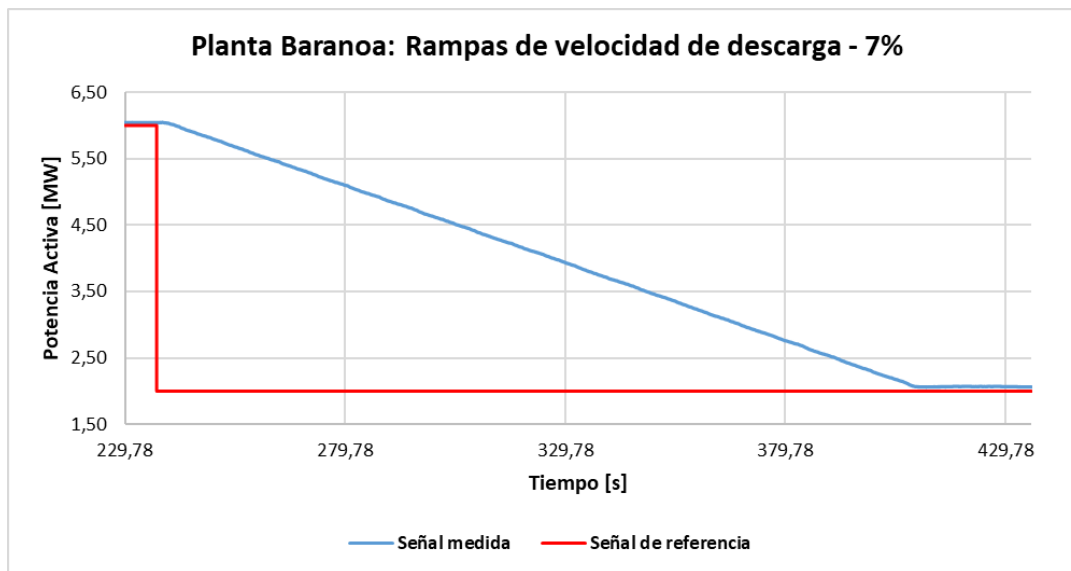


Figura 50. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

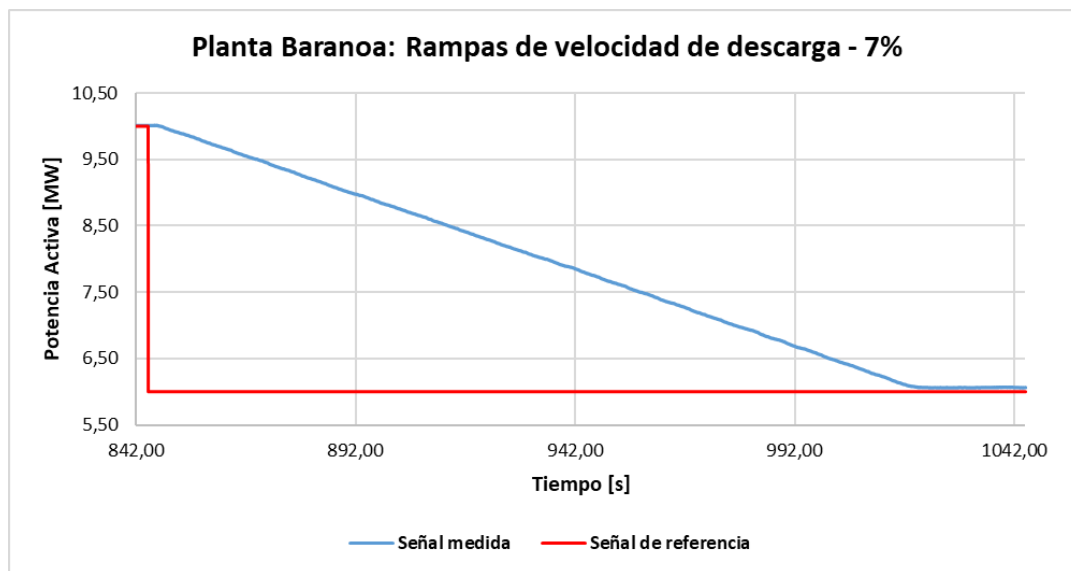


Figura 51. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

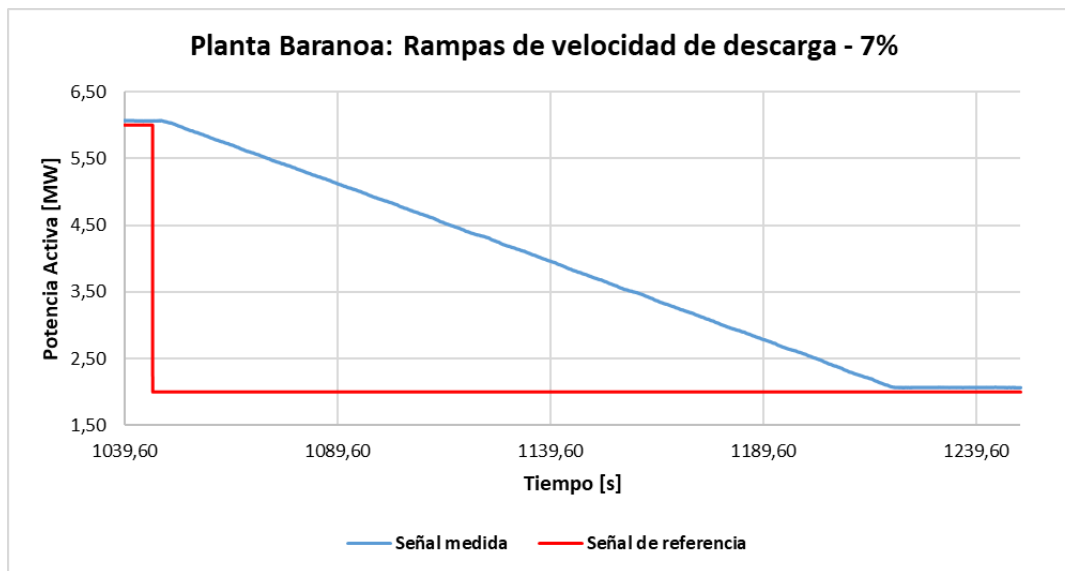


Figura 52. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

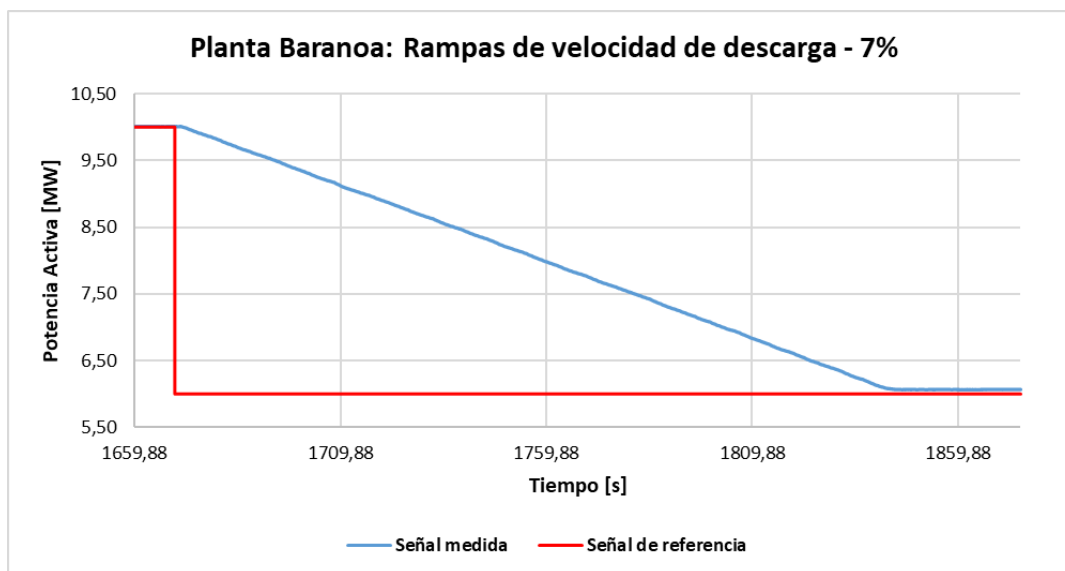


Figura 53. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

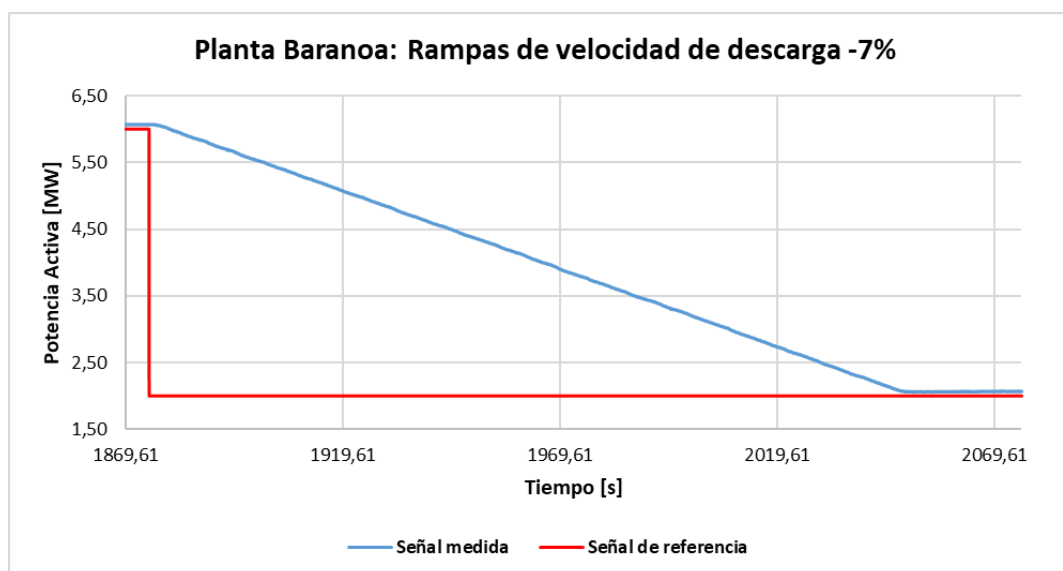


Figura 54. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 7% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

PRUEBAS DE VERIFICACIÓN – RAMPA DEL 10%

Partiendo de un valor inicial de 1,99 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de 6 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 1,99 MW/min (10%Pn/min).

Partiendo de un valor inicial de 14 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 5 cambios de consigna de -6 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 1,99 MW/min (10%Pn/min).

En la Tabla 12 y Tabla 13 se presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. En el archivo Excel que corresponde al Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, la Tabla 12 se presenta en la pestaña “Cálculo rampas de toma de carga” y la Tabla 13 en la pestaña “Cálculo velocidad de descarga”. Como se observa en las tablas, los resultados de la prueba demuestran que la rampa se puede configurar con un valor de 1,99 MW/min (14%Pn/min).

Tabla 12. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 10%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominal/min)
1	6	50%	1,9948	10,02%
2	6	50%	1,9477	9,79%
3	6	50%	1,9939	10,02%
4	6	50%	1,9460	9,78%
5	6	50%	1,9931	10,02%
6	6	50%	1,9541	9,82%
Promedio			1,9716	9,91%
Desviación estándar			0,024620155	
Coefficiente de variación			1,25%	
Error entre valor ajustado y medido			0,92%	

Tabla 13. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 10%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominal/min)
1	-6	-50%	-1,9500	-9,80%
2	-6	-50%	-2,0044	-10,07%
3	-6	-50%	-1,9448	-9,77%
4	-6	-50%	-1,9908	-10,00%
5	-6	-50%	-1,9544	-9,82%
6	-6	-50%	-1,9914	-10,01%
Promedio			-1,9726	-9,91%
Desviación estándar			0,025731657	
Coefficiente de variación			-1,30%	
Error entre valor ajustado y medido			0,87%	

De la Figura 55 a la Figura 65 se presenta de forma gráfica los resultados de la prueba. Las gráficas que componen las figuras mostradas se presentan en las pestañas “Gráficas cálculo vel. toma carg” y “Gráficas cálculo vel. descarga” del archivo Excel del Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826.

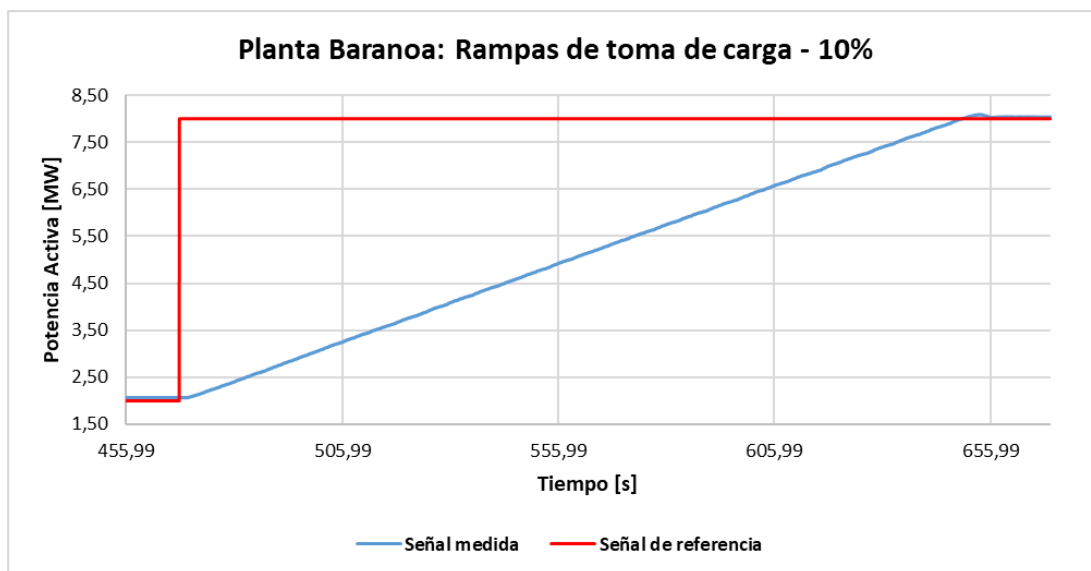


Figura 55. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

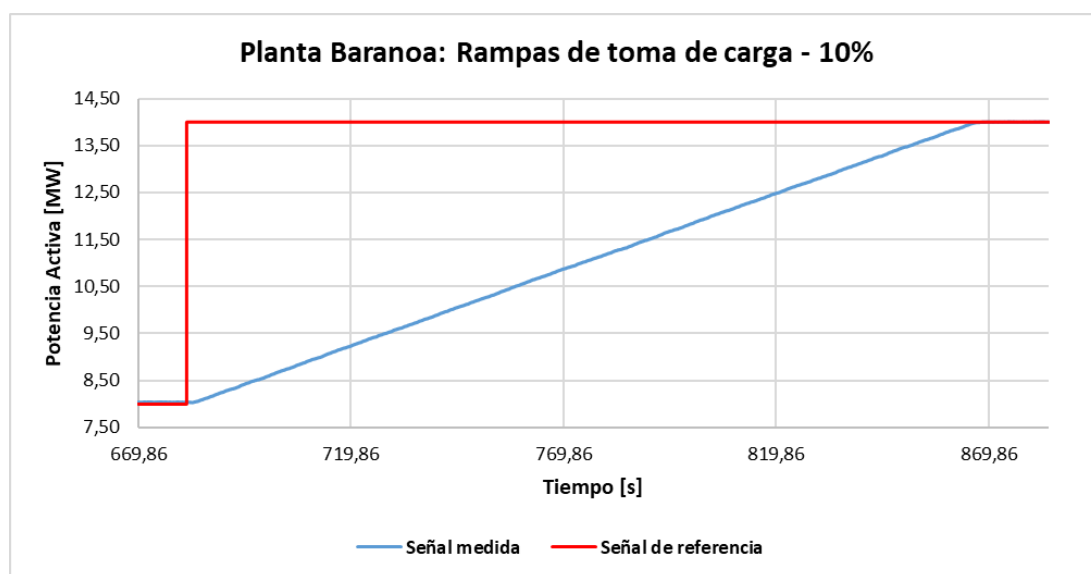


Figura 56. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

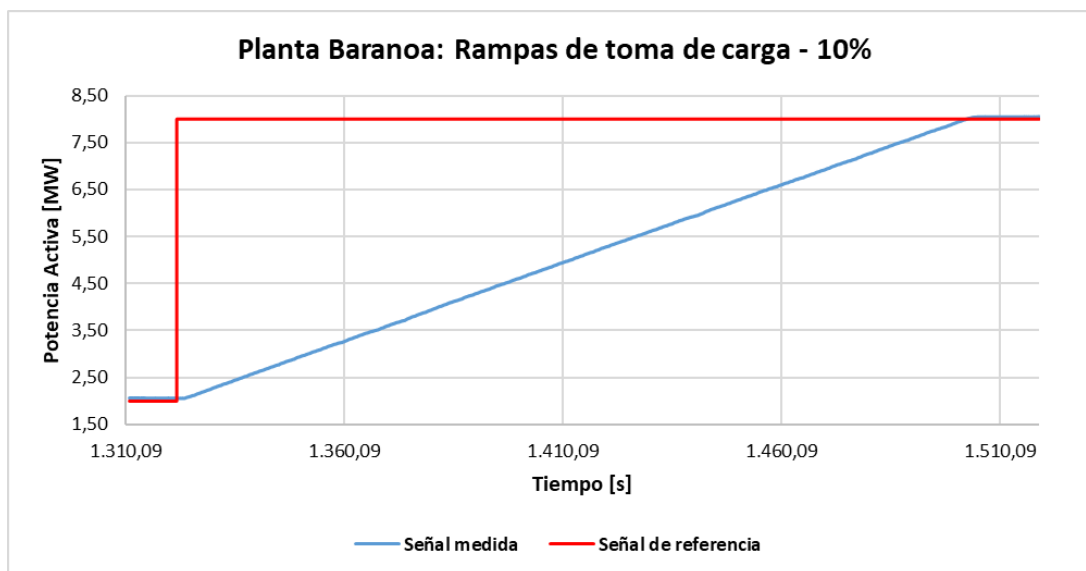


Figura 57. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

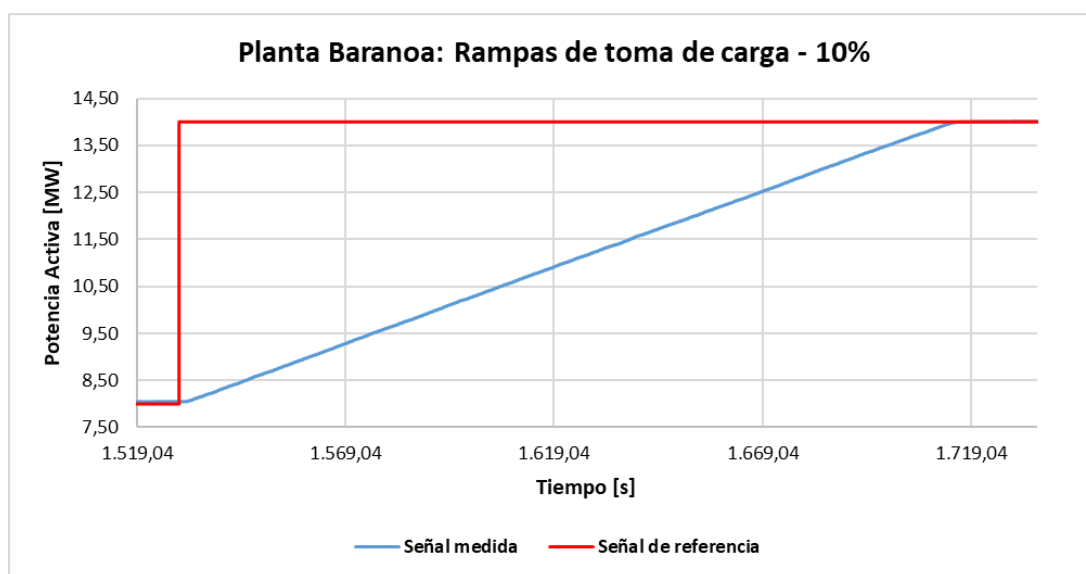


Figura 58. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

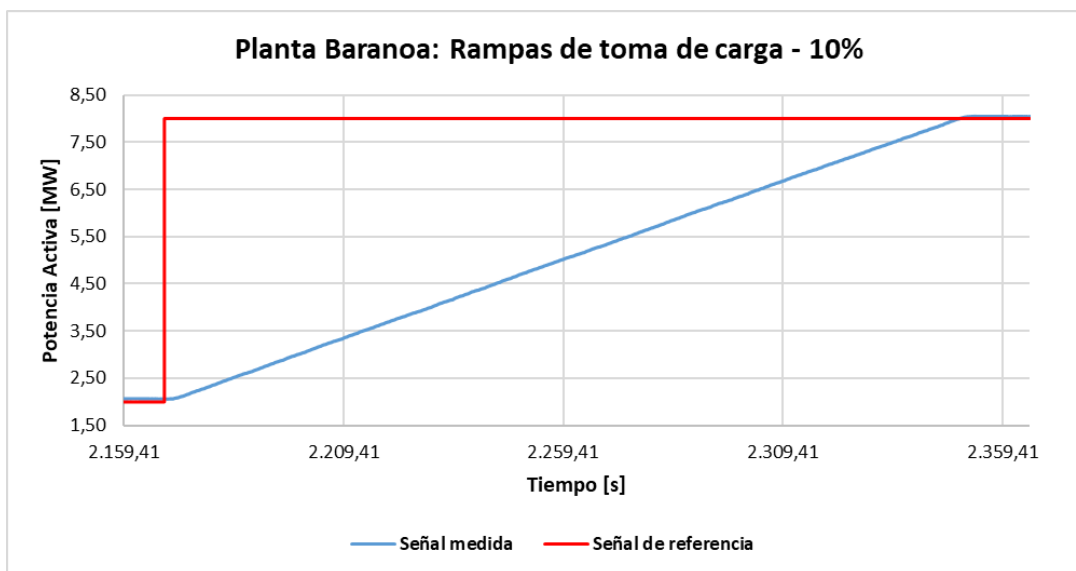


Figura 59. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

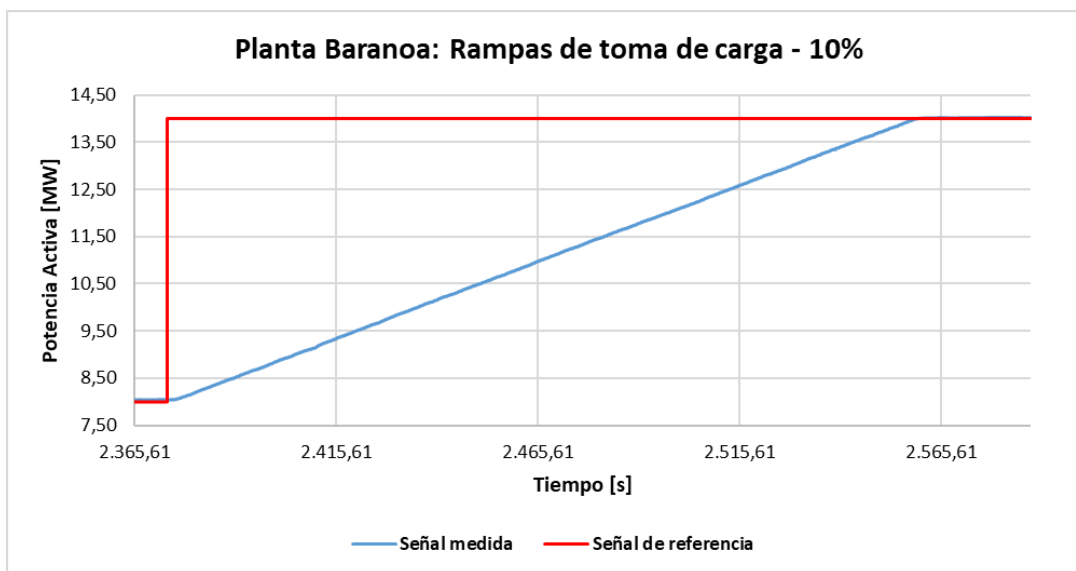


Figura 60. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 10% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

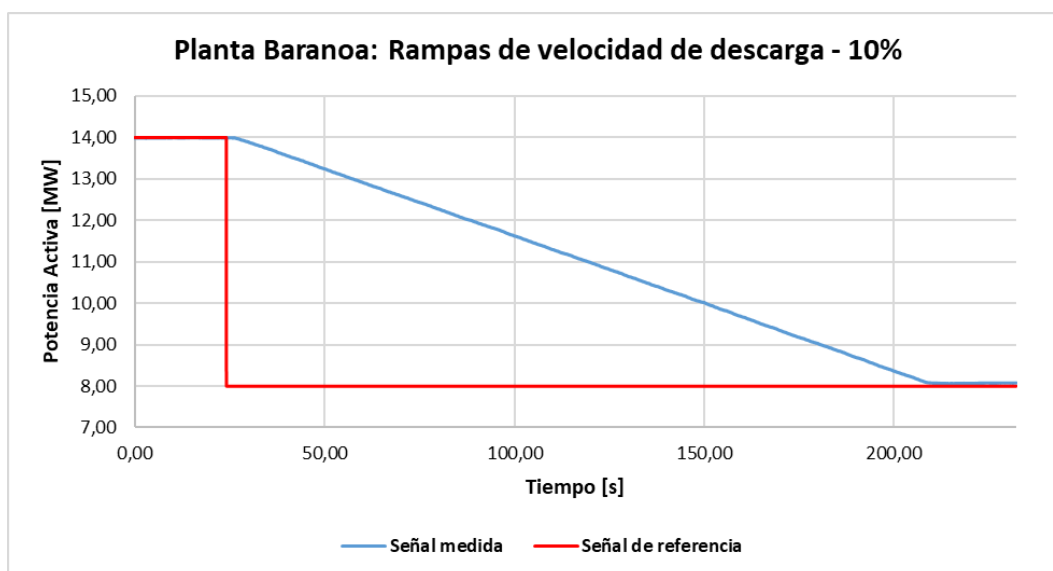


Figura 61. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

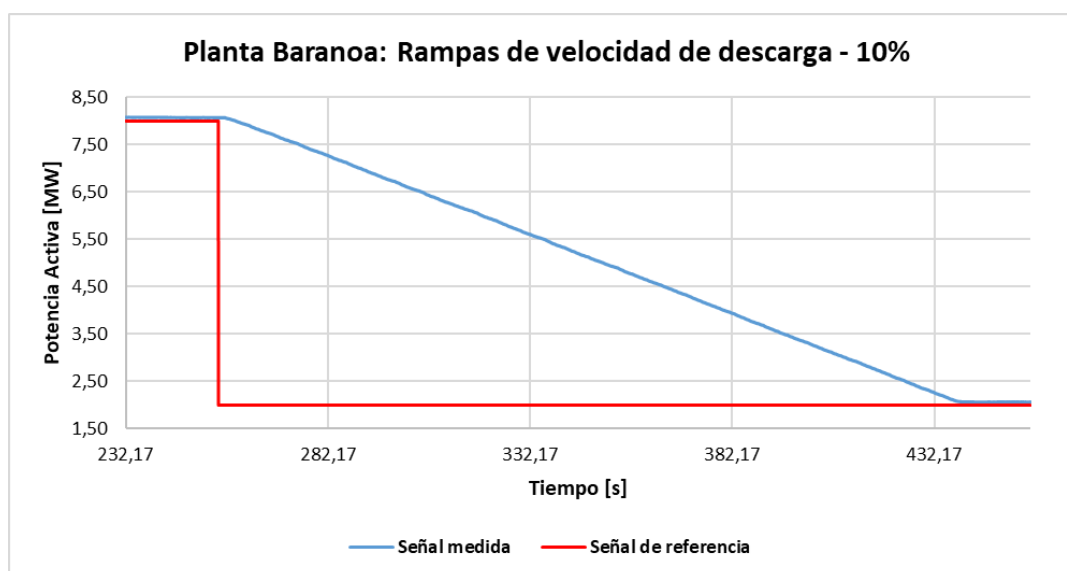


Figura 62. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

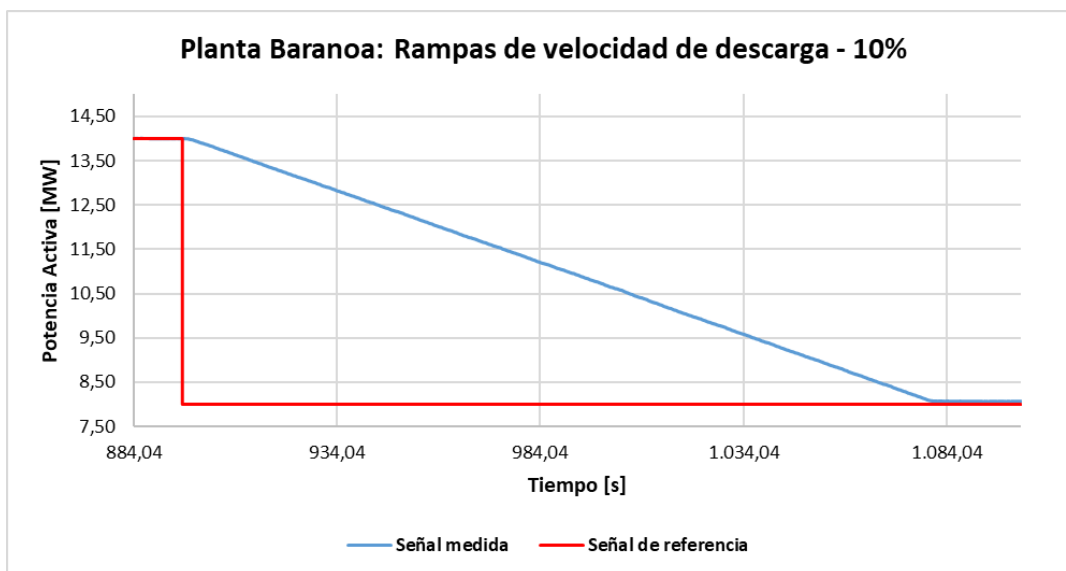


Figura 63. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

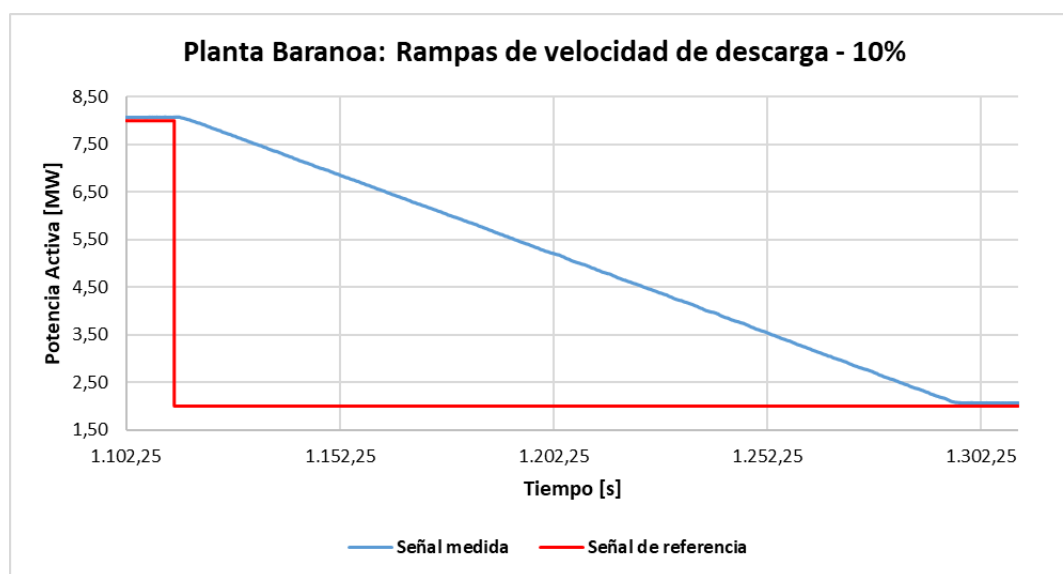


Figura 64. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

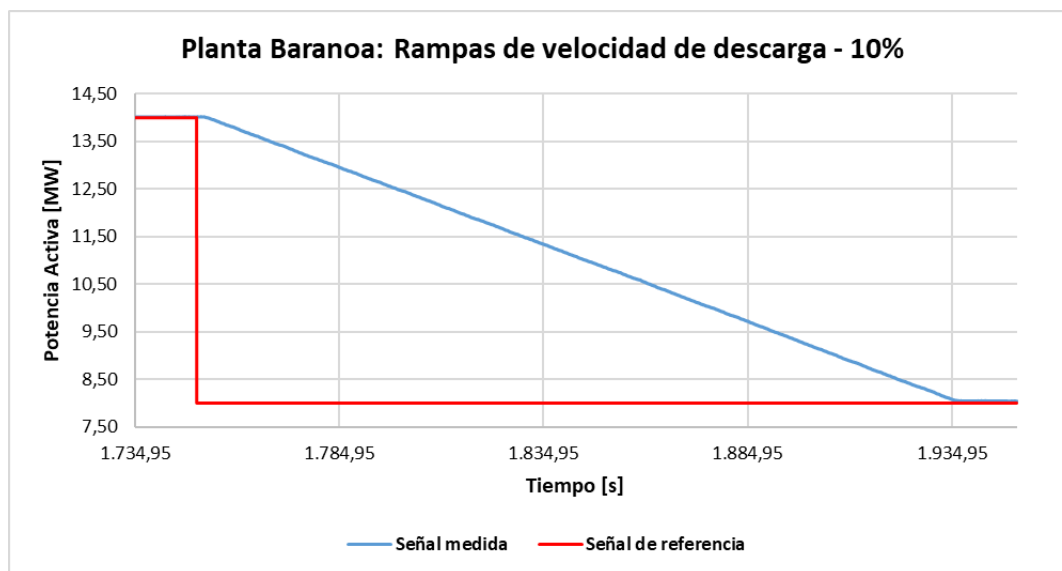


Figura 65. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

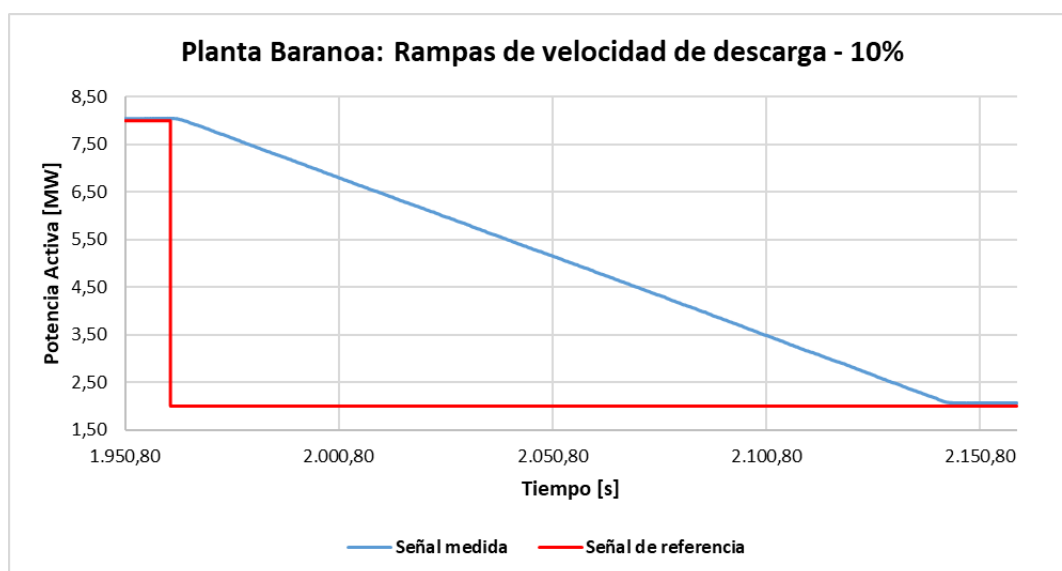


Figura 66. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 10% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

PRUEBAS DE VERIFICACIÓN – RAMPA DEL 14%

Partiendo de un valor inicial de 1,99 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de 6,5 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 2,786 MW/min (14%Pn/min).

Partiendo de un valor inicial de 15 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de -6,5 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 2,786 MW/min (14%Pn/min).

En la Tabla 14 y Tabla 15 se presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. En el archivo Excel que corresponde al Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, la Tabla 14 se presenta en la pestaña “Cálculo rampas de toma de carga” y la Tabla 15 en la pestaña “Cálculo velocidad de descarga”. Como se observa en las tablas, los resultados de la prueba demuestran que la rampa se puede configurar con un valor de 2,786 MW/min (14%Pn/min).

Tabla 14. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 14%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominal/min)
1	6,5	50%	2,8000	14,07%
2	6,5	50%	2,7250	13,69%
3	6,5	50%	2,7883	14,01%
4	6,5	50%	2,7172	13,65%
5	6,5	50%	2,7900	14,02%
6	6,5	50%	2,7136	13,64%
Promedio			2,7557	13,85%
Desviación estándar			0,040999563	
Coeficiente de variación			1,49%	
Error entre valor ajustado y medido			1,09%	

Tabla 15. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 14%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominl/min)
1	-6,5	-50%	-2,7322	-13,73%
2	-6,5	-50%	-2,7871	-14,01%
3	-6,5	-50%	-2,7136	-13,64%
4	-6,5	-50%	-2,7799	-13,97%
5	-6,5	-50%	-2,7381	-13,76%
6	-6,5	-50%	-2,7893	-14,02%
Promedio			-2,7567	-13,85%
Desviación estándar			0,032677096	
Coeficiente de variación			-1,19%	
Error entre valor ajustado y medido			1,05%	

De la Figura 67 a la Figura 77 se presenta de forma gráfica los resultados de la prueba. Las gráficas que componen las figuras mostradas se presentan en las pestañas “Gráficas cálculo vel. toma carg” y “Gráficas cálculo vel. descarga” del archivo Excel del Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826.

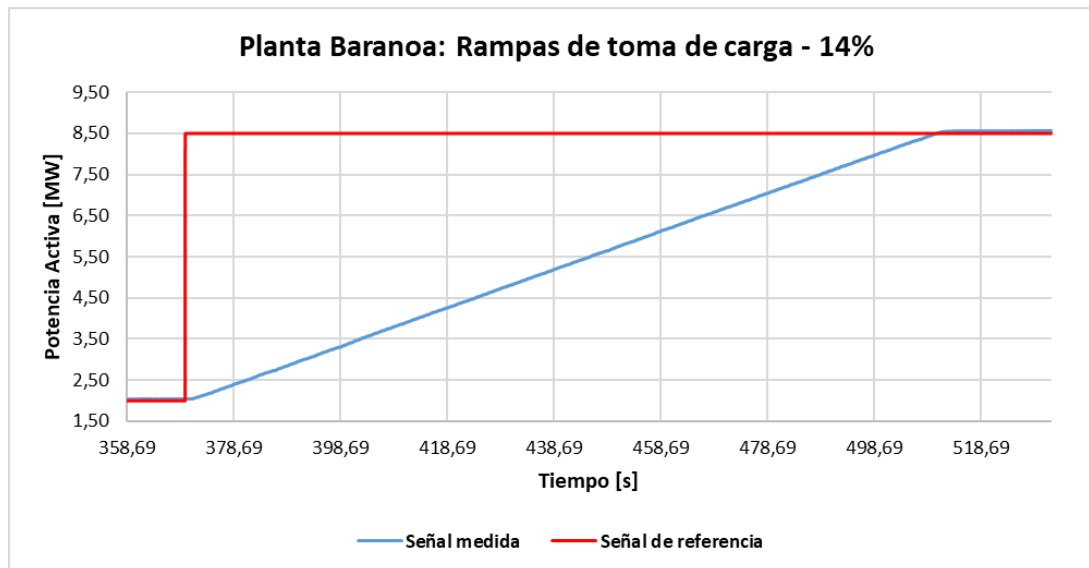


Figura 67. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

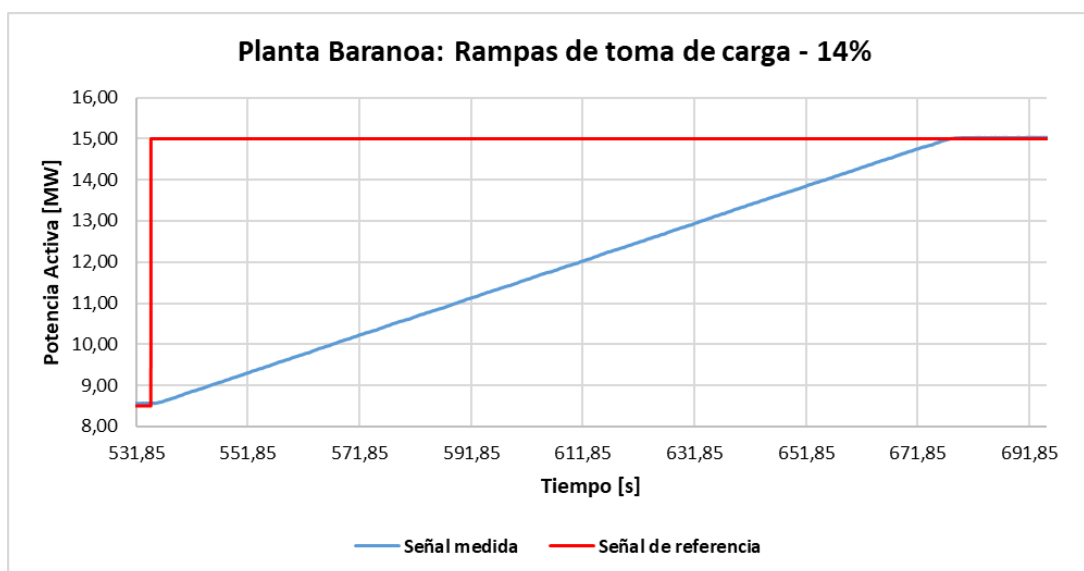


Figura 68. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

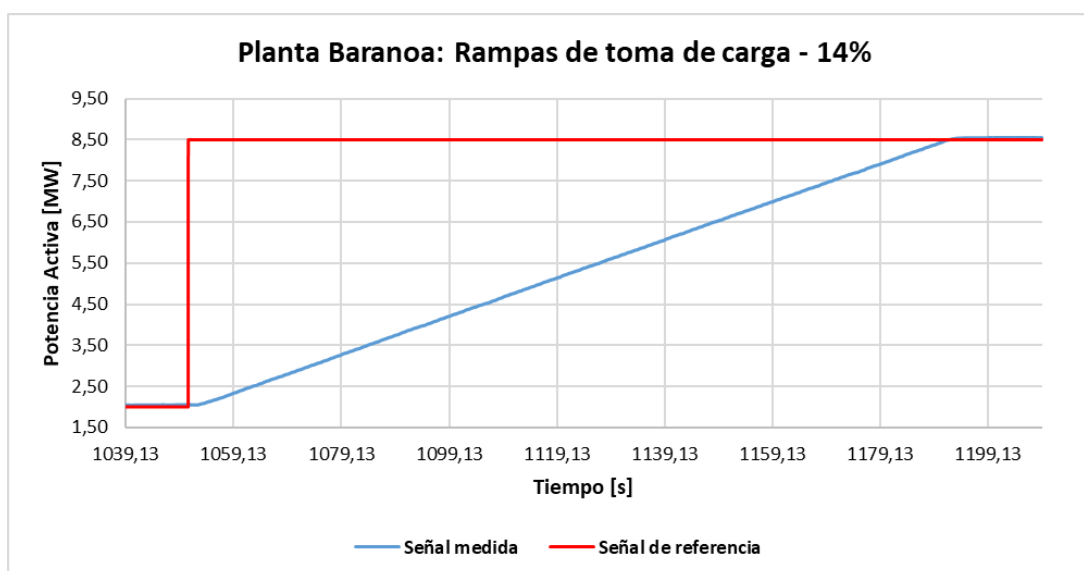


Figura 69. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

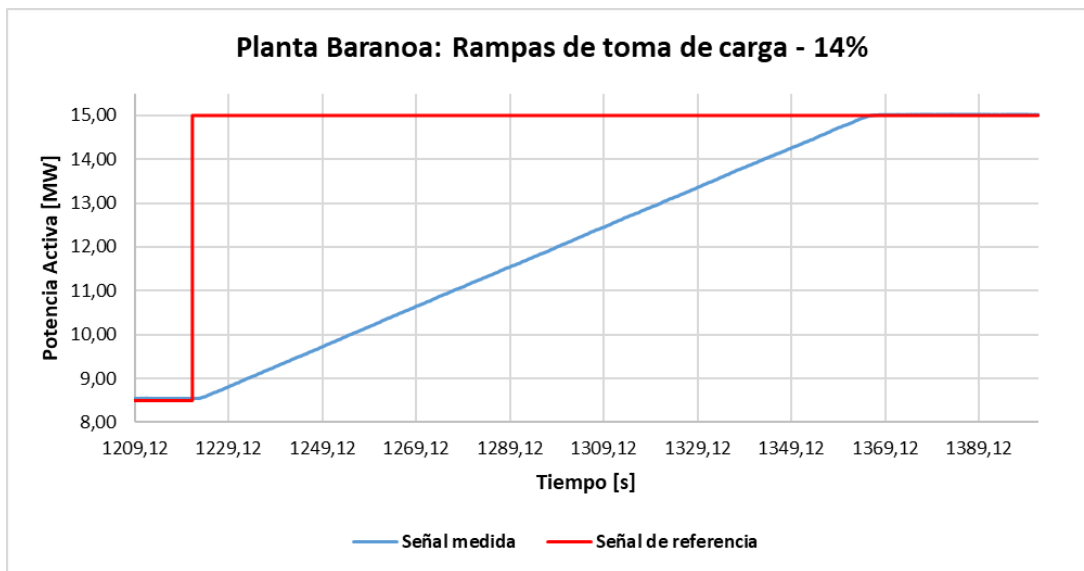


Figura 70. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

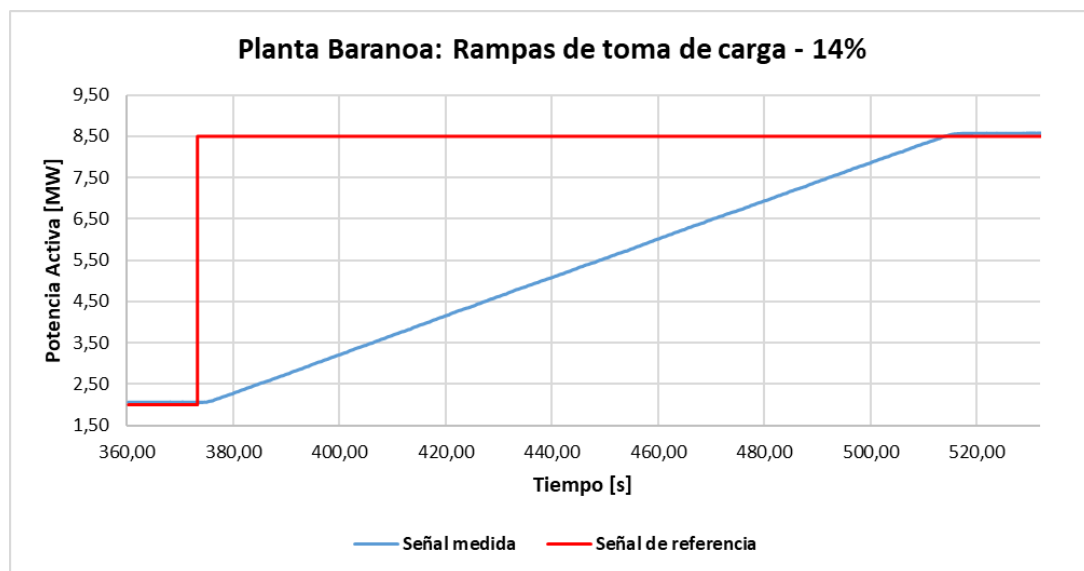


Figura 71. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

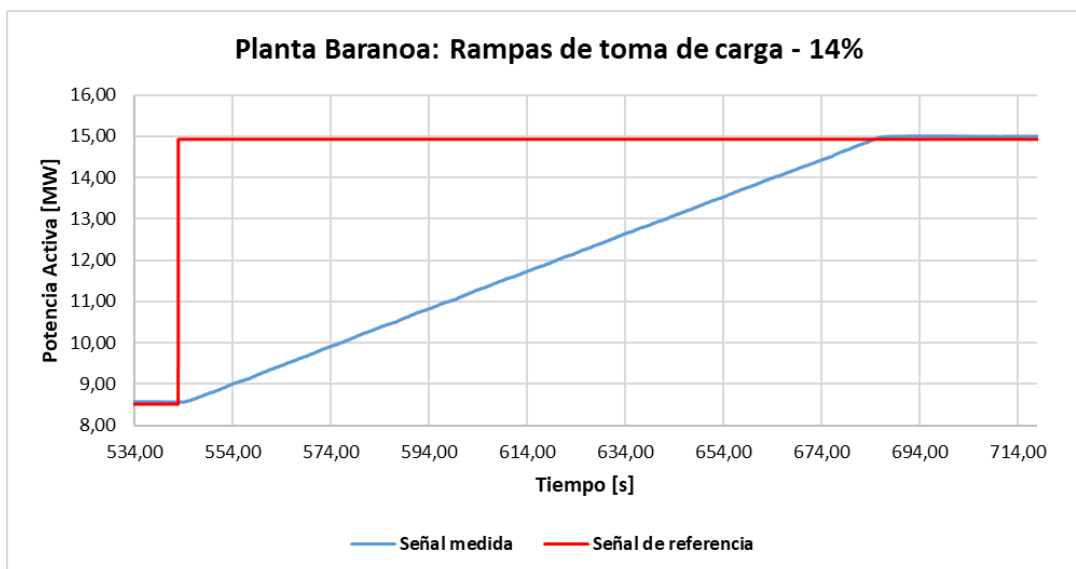


Figura 72. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 14% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

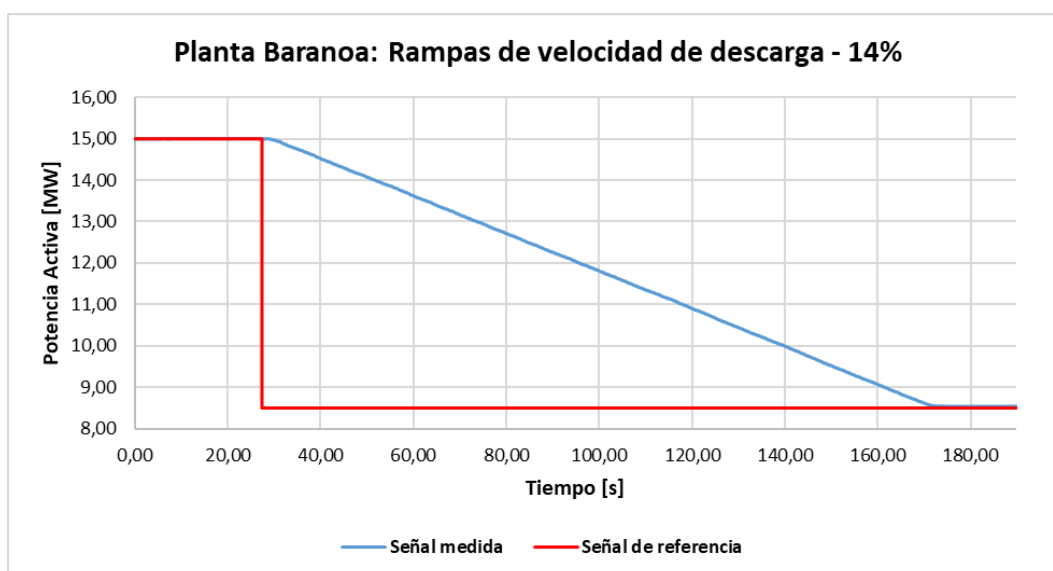


Figura 73. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

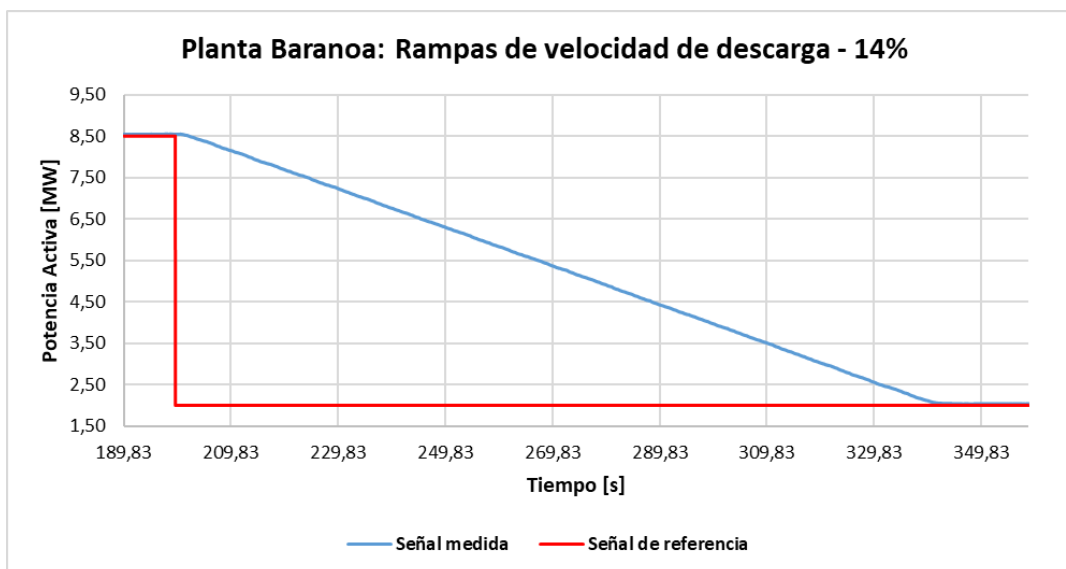


Figura 74. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

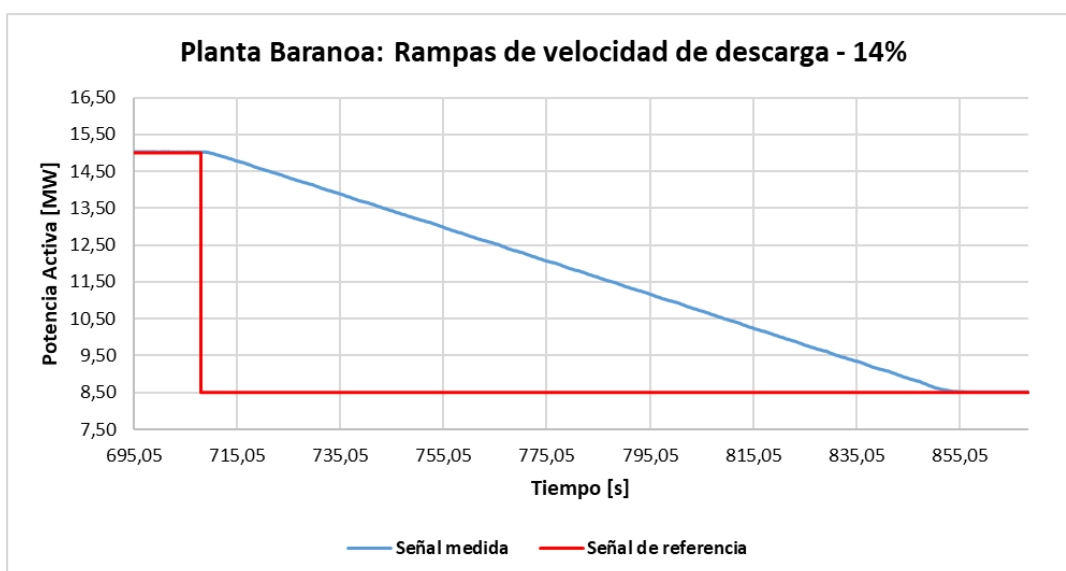


Figura 75. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

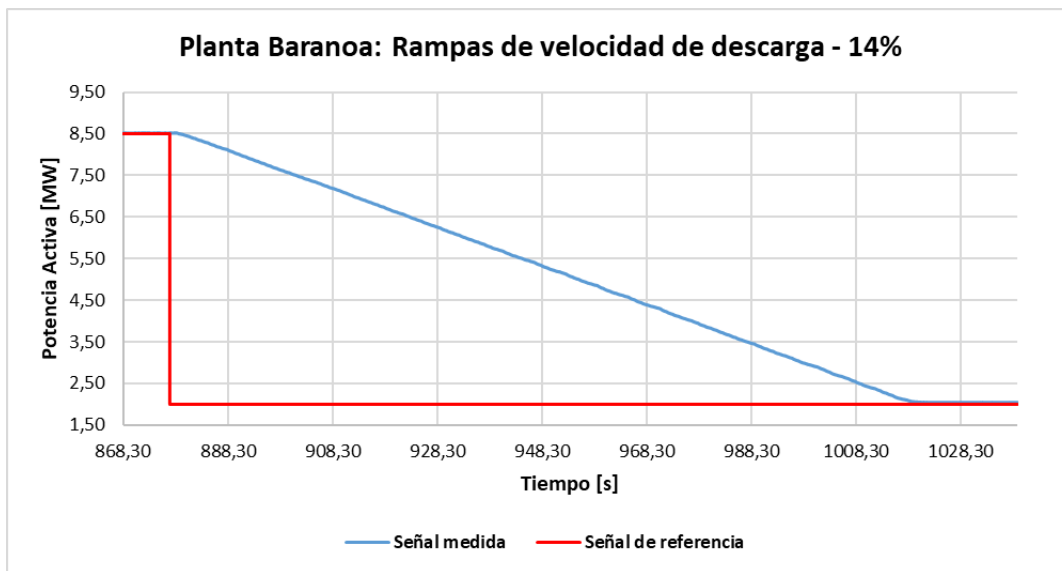


Figura 76. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

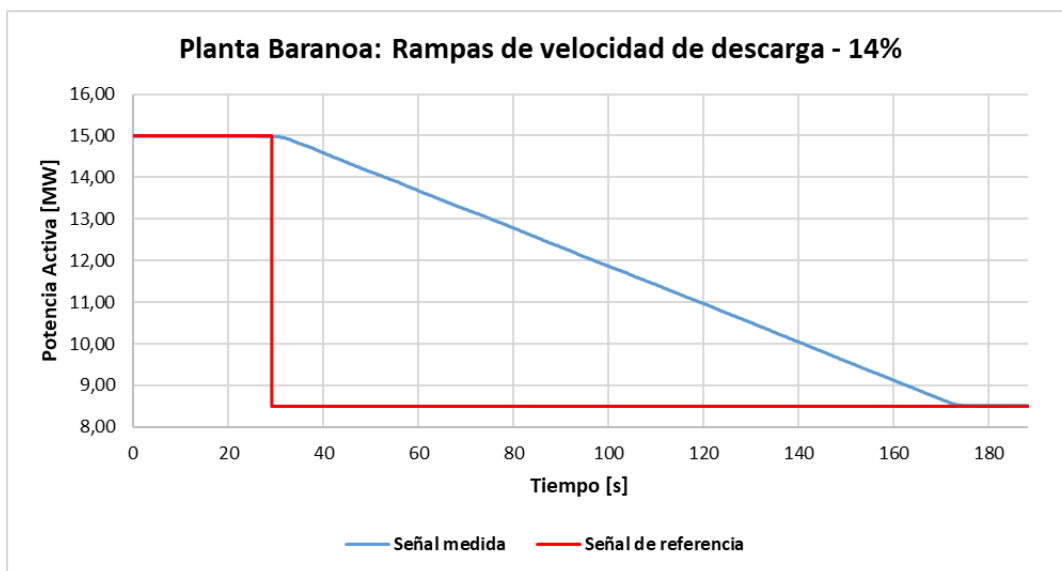


Figura 77. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

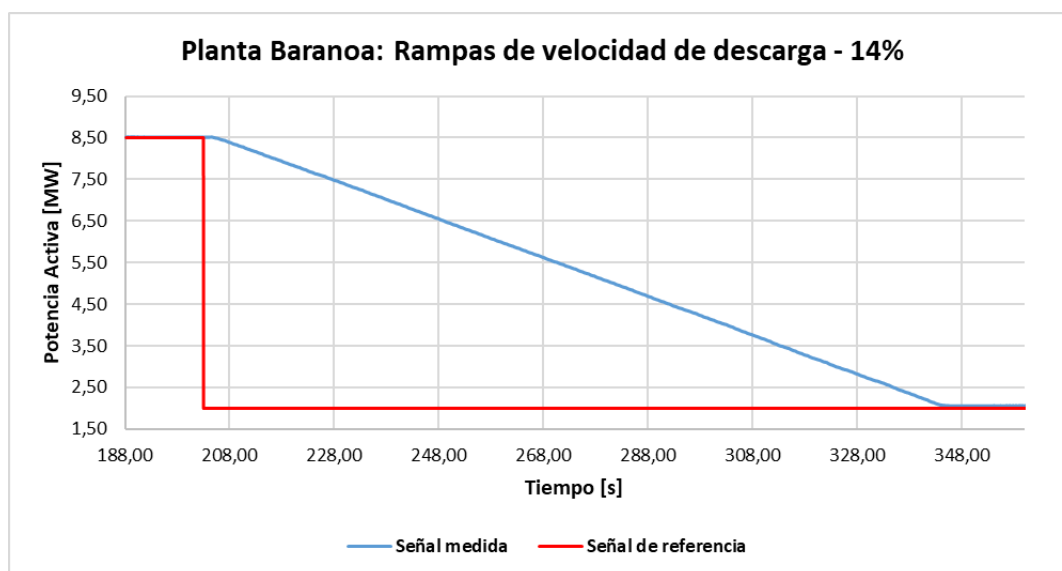


Figura 78. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 14% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

PRUEBAS DE VERIFICACIÓN – RAMPA DEL 100%

Partiendo de un valor inicial de 1,99 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de 7 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 19,9 MW/min (100%Pn/min).

Partiendo de un valor inicial de 16 MW de entrega de potencia activa en el punto de conexión, se enviaron 6 cambios de consigna de -7 MW (50% potencia máxima disponible) a una velocidad de 19,9 MW/min (100%Pn/min).

En la Tabla 16 y Tabla 17 se presenta de forma tabular, con el formato establecido en el Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, un resumen de los resultados obtenidos para la prueba. En el archivo Excel que corresponde al Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826, la Tabla 16 se presenta en la pestaña “Cálculo rampas de toma de carga” y la Tabla 17 en la pestaña “Cálculo velocidad de descarga”. Como se observa en las tablas, los resultados de la prueba demuestran que la rampa se puede configurar con un valor de 19,9 MW/min (100%Pn/min).

Tabla 16. Resultados prueba Rampa de toma de carga – Rampa del 100%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominal/min)
1	7	50%	20,0161	100,58%
2	7	50%	18,7997	94,47%
3	7	50%	19,9561	100,28%
4	7	50%	19,4434	97,71%
5	7	50%	19,6026	98,51%
6	7	50%	19,4551	97,76%
Promedio			19,5455	98,22%
Desviación estándar			0,440045009	
Coeficiente de variación			2,25%	
Error entre valor ajustado y medido			1,78%	

Tabla 17. Resultados prueba velocidad de descarga – Rampa del 100%Pn/min

Número del escalón	Tamaño del escalón (MW)	Tamaño del escalón (%)	Velocidad (MW/min)	Velocidad (%Pnominal/min)
1	-7	-50%	-19,5660	-98,32%
2	-7	-50%	-19,8485	-99,74%
3	-7	-50%	-19,3296	-97,13%
4	-7	-50%	-19,8186	-99,59%
5	-7	-50%	-19,3900	-97,44%
6	-7	-50%	-19,6149	-98,57%
Promedio			-19,5946	-98,47%
Desviación estándar			0,213537999	
Coeficiente de variación			-1,09%	
Error entre valor ajustado y medido			1,53%	

De la Figura 79 a la Figura 89 se presenta de forma gráfica los resultados de la prueba. Las gráficas que componen las figuras mostradas se presentan en las pestañas “Gráficas cálculo vel. toma carg” y “Gráficas cálculo vel. descarga” del archivo Excel del Anexo 5 del Acuerdo C.N.O 1826.

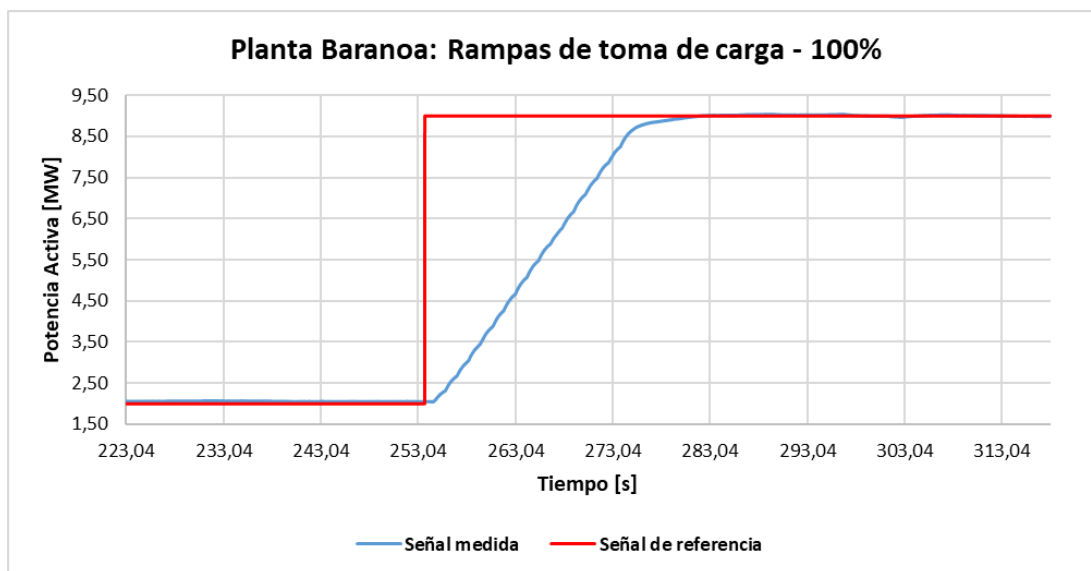


Figura 79. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

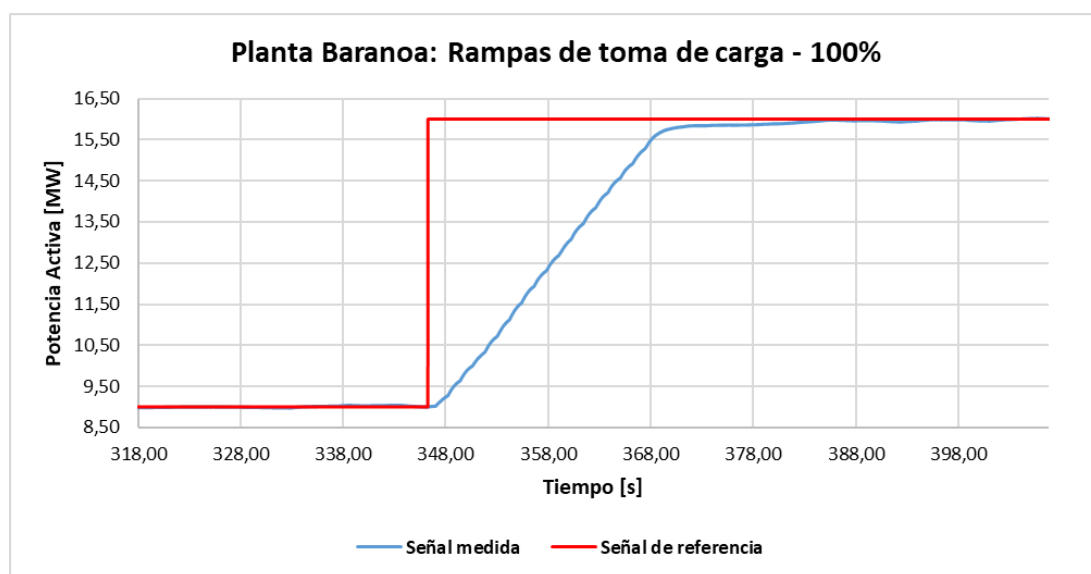


Figura 80. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

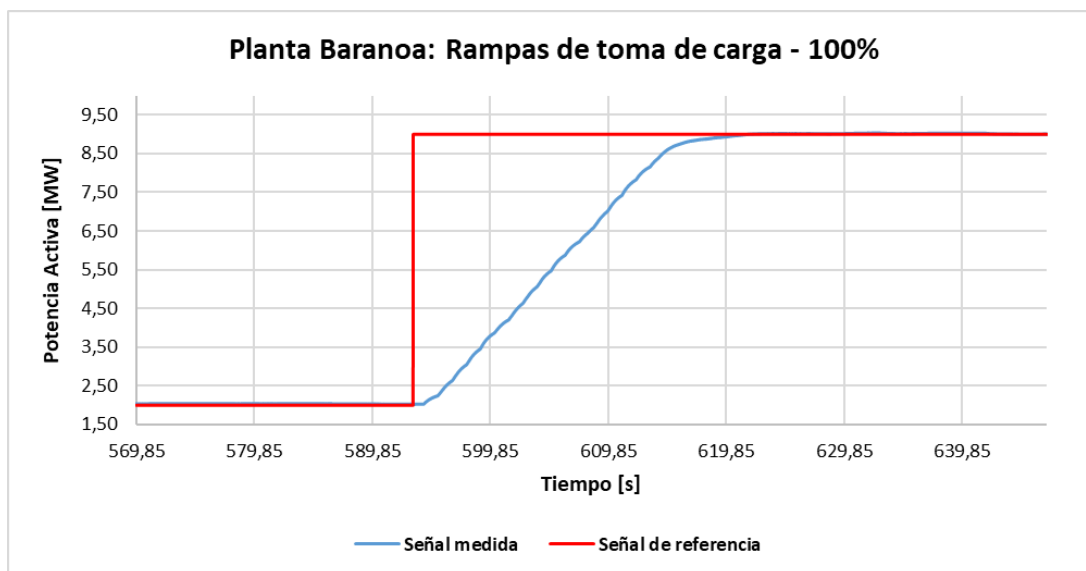


Figura 81. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

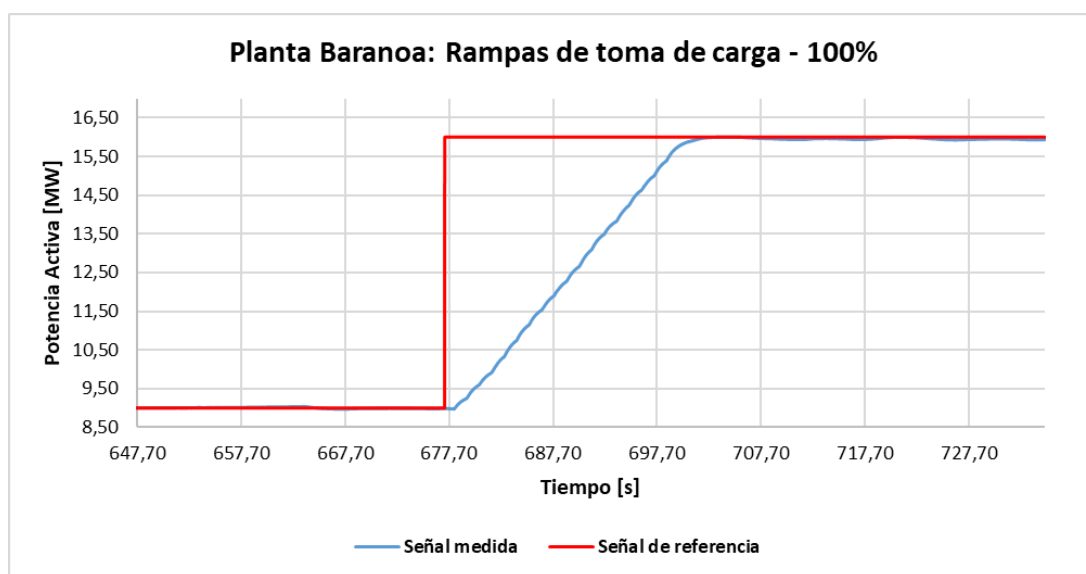


Figura 82. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

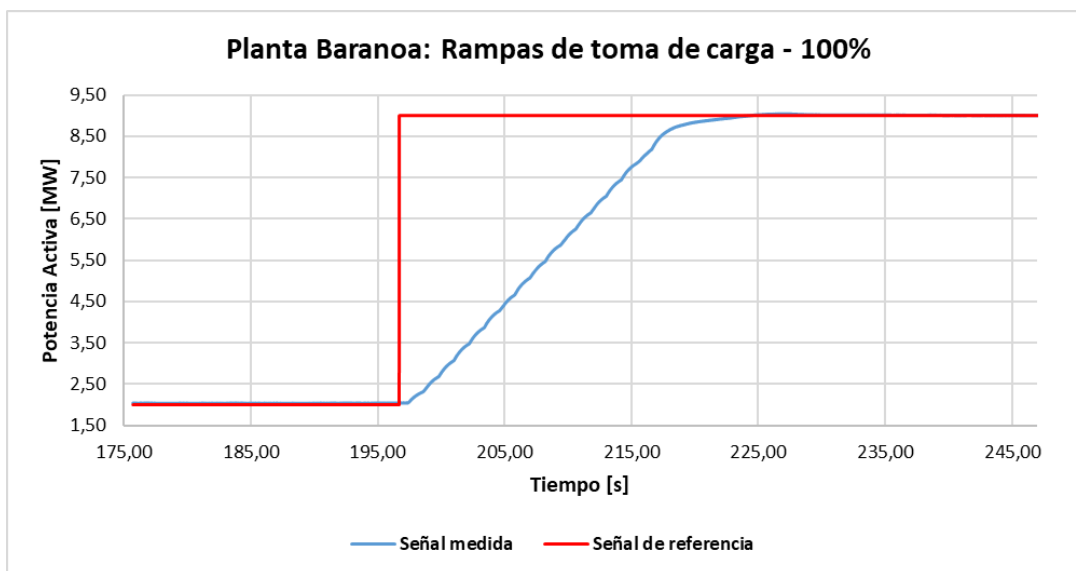


Figura 83. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

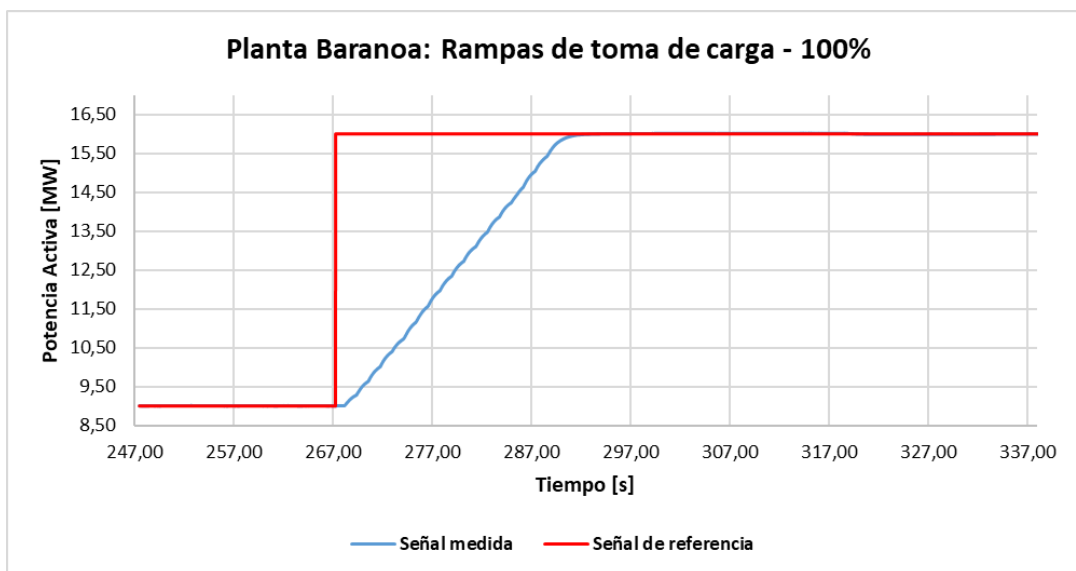


Figura 84. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba toma de carga – Rampa 100% - Escalón 6 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

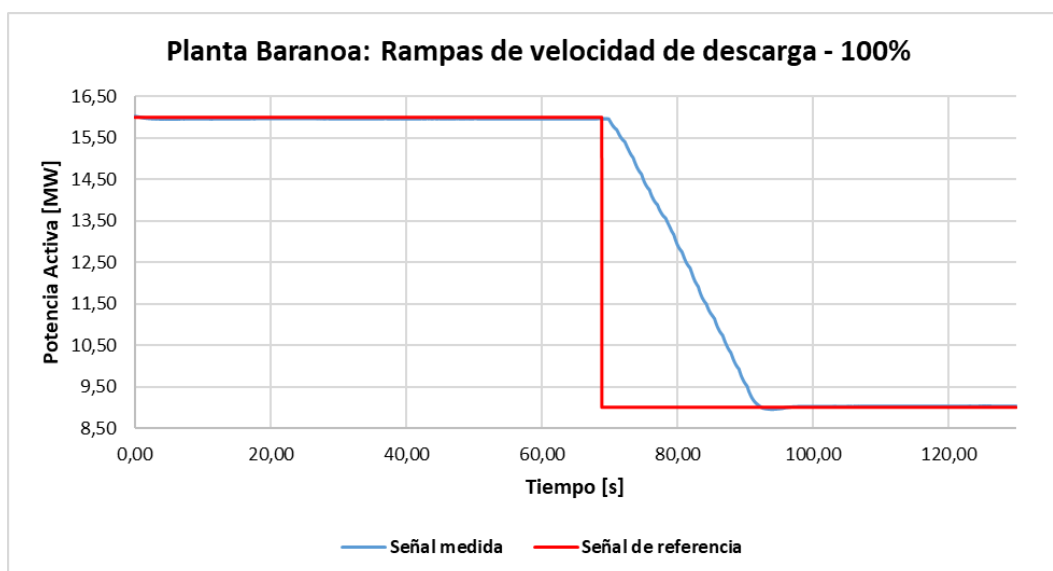


Figura 85. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 1 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

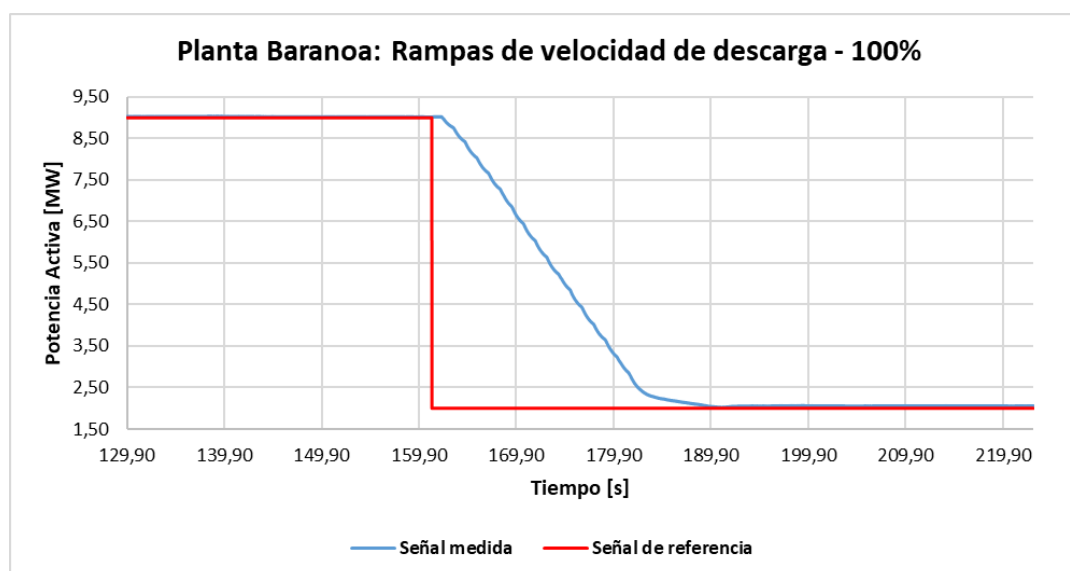


Figura 86. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 2 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

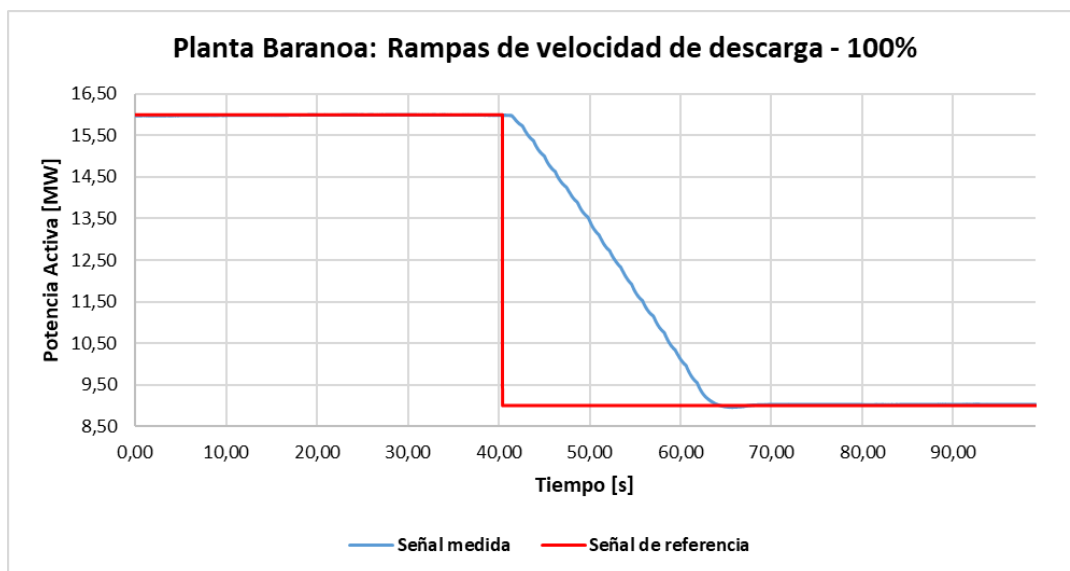


Figura 87. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 3 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

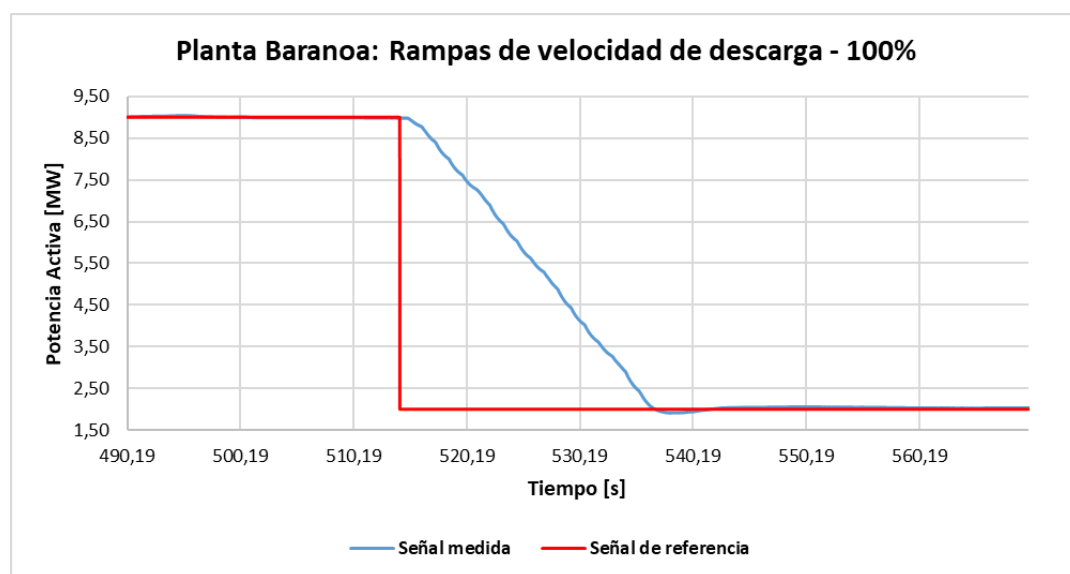


Figura 88. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 4 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

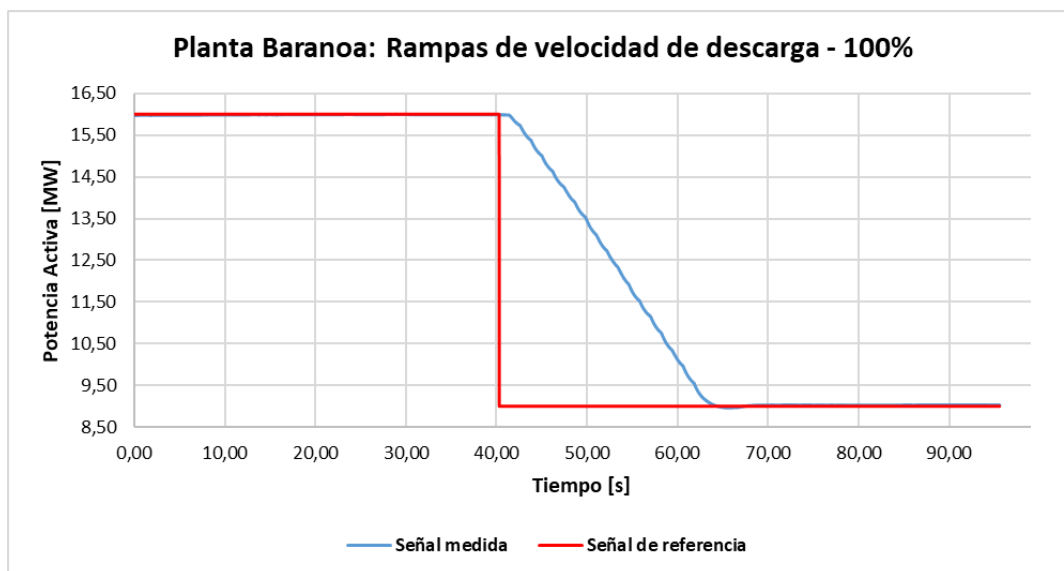


Figura 89. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

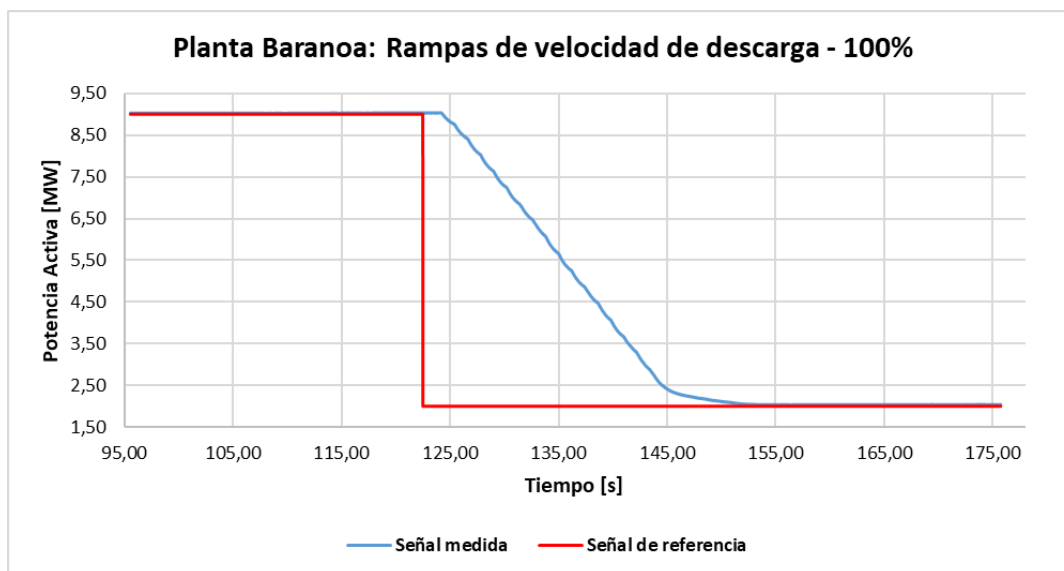


Figura 90. Acuerdo C.N.O 1826 - Prueba velocidad de descarga – Rampa 100% - Escalón 5 - Potencia activa en el Punto de Conexión vs Tiempo

10. CONCLUSIONES

Estatismo

De los resultados obtenidos, se observa que el valor promedio del estatismo de todos los ensayos realizados con un estatismo configurado del 4% corresponde a 4% con un tiempo de respuesta y de establecimiento promedio de 1,07 s y 6,59 s respectivamente. Se concluye que el estatismo responde al valor ajustado en el controlador de potencia activa/frecuencia con tiempos óptimos de respuesta y de establecimiento. Además, se evidencia que el rango ajustable del estatismo está entre el 2% y 6%.

Banda Muerta

Se puede concluir con base en los resultados, que el margen de operación de la banda muerta responde al valor ajustado en el controlador potencia activa/frecuencia, el cual es de 30 mHz. Además, se observa que el rango operativo de la banda muerta es entre 0 mHz y 120mHz.

Rampas operativas de arranque y parada

De acuerdo con los resultados, las pruebas de las rampas operativas presentan coeficientes de variación y errores menores al 15% y al 2%, respectivamente. Esto confirma el correcto funcionamiento de las rampas operativas de la planta. Asimismo, se valida su configuración en los extremos (7% - 100%), así como en los puntos intermedios del 14% y 10%, obteniendo valores muy cercanos a lo ajustado y en cumplimiento con las exigencias regulatorias.

11. REFERENCIAS

[1] Resolución CREG 060 de 2019

[2] C.N.O, Acuerdo 1612, Por el cual se aprueba la actualización del "Procedimiento para la puesta en operación de proyectos de transmisión que incluyan activos de uso del Sistema de Transmisión Nacional - STN -, del Sistema de Transmisión Regional - STR –, de usuarios conectados directamente al STN, al STR y de recursos de generación", septiembre 2022

[3] C.N.O, Acuerdo 1826, Por el cual se aprueba la actualización del "Procedimiento de pruebas de las características del control de potencia activa/frecuencia de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al STN y STR y autogeneradores conectados al STN y al STR sin entrega de excedentes", abril 2024