

Empresa
País
Proyecto
Descripción

ELECNOR
Colombia
Parque Solar Portón del Sol
Informe rampas operativas acuerdo
CNO 1741



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-061
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0094
REVISIÓN A

26 ene. 24



Este documento **EE-EN-2024-0094-RA** fue preparado para ELECNOR por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman
Sub-Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo
Sub-Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

Informe realizado en colaboración con todas las empresas del grupo: **Estudios Eléctricos S.A., Estudios Eléctricos Chile, Estudios Eléctricos Colombia y Electrical Studies Corp.**

Este documento contiene 16 páginas y ha sido guardado por última vez el 26/01/2024 por Julián Arismendy; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	26.1.2024	Comentario	JM	AdP	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



ÍNDICE

1	Introducción.....	4
	1.1 Definiciones	4
2	Información de la central	5
3	Ensayos a nivel planta	6
	3.1 Pruebas de verificación de la característica de rampas operativas	6
	3.1.1 Mínimo valor de rampa	7
	3.1.1.1 Escalones ascendentes	7
	3.1.1.2 Escalones descendentes	8
	3.1.2 Un valor intermedio entre el mínimo valor de rampa y el 14 % Pn/min.....	9
	3.1.2.1 Escalones ascendentes	9
	3.1.2.2 Escalones descendentes	10
	3.1.3 Rampa de 14 % Pn/min	11
	3.1.3.1 Escalones ascendentes	11
	3.1.3.2 Escalones descendentes	12
	3.1.4 Máximo valor de rampa.....	13
	3.1.4.1 Escalones ascendentes	13
	3.1.4.2 Escalones descendentes	14
4	Conclusiones	15
5	Anexos	16
	5.1 Rango parametrizable de rampas operativas.....	16



1 Introducción

El presente informe resume los principales resultados de las pruebas realizadas en el Parque Solar Portón del Sol, de acuerdo con los requerimientos planteados por el acuerdo CNO 1741, para la verificación de la característica de las rampas operativas de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al STN y STR.

Se incluyen la totalidad de las pruebas realizadas, así como observaciones pertinentes a considerar, además de la respuesta del sistema ante el cambio en la referencia del control de potencia activa.

1.1 Definiciones

Término	Descripción
PELEC	Potencia eléctrica (activa)
QELEC	Potencia reactiva
ETERM	Tensión de terminales
FREC	Frecuencia
POI	Punto de Interconexión

Tabla 1.1 – Tabla de nomenclaturas



2 Información de la central

El Parque Solar Portón del Sol se encuentra emplazado en el municipio de La Dorada, departamento de Caldas, Colombia y posee una potencia instalada en DC (de sus siglas en inglés 'Direct Current') de 128.03 MW con una capacidad efectiva neta de 102 MW. El mínimo técnico de la planta se encuentra definido en 0 MW.

El parque dispone de 28 inversores fotovoltaicos marca Gamesa Electric Proteus modelo PV 4300 de 4300 kVA de capacidad. La red colectora del parque está compuesta por 6 alimentadores en 34.5 kV que colectan la potencia generada por los inversores del parque.

El parque posee 15 estaciones de transformación que interconectan la salida en BT de los inversores con la red de MT, de las cuales 13 cuentan con un transformador de bloque de tres devanados de relación de transformación 0.63/0.63/34.5 kV y potencia nominal 9.42 MVA donde se conectan dos inversores, y las 2 estaciones restantes cuentan con un transformador de bloque de dos devanados de relación de transformación 0.63/34.5 kV y potencia nominal 4.71 MVA donde se conecta un único inversor. El parque se conecta al Sistema a través de la S/E Purnio en 230 kV donde se define el punto de interconexión del parque con el Sistema Interconectado Nacional.



3 Ensayos a nivel planta

En esta sección se presentan los ensayos realizados con el objetivo de evaluar la respuesta dinámica de los elementos incorporados a la característica de las rampas operativas del parque.

3.1 Pruebas de verificación de la característica de rampas operativas

Los ensayos consistieron en pruebas dinámicas de cambio de consigna en la referencia de potencia activa, para diferentes ajustes de rampa como son: mínimo valor de rampa, un valor intermedio entre el mínimo valor de rampa y el 14% Pn/min considerando la granularidad del ajuste, el 14% Pn/min, y el máximo valor que alcance si este es superior al 14% Pn/min.

El rango de rampas en que puede parametrizarse la planta de generación es entre 9 %Pn/min (mínima rampa) y 20 %Pn/min (máxima rampa). El valor nominal es de 14 %Pn/min y valor intermedio se selecciona en 11 %Pn/min.

Se realizaron escalones de acuerdo con la Tabla 3.1, tal como lo establece el acuerdo CNO 1741.

Rango disponible de generación (Potencia máxima disponible al momento de la prueba – Mínimo técnico)	Tamaño del escalón
Hasta 20 MW	40 – 100 % del tamaño del rango
Mayor a 20 MW y hasta 50 MW	40 – 50 % del tamaño del rango
Mayor a 50 MW y hasta 100 MW	20 – 30 % del tamaño del rango
Mayor a 100 MW y hasta 200 MW	10 – 20 % del tamaño del rango
Mayor a 200 MW	5 – 10 % del tamaño del rango

Tabla 3.1 – Tamaño del escalón según rango de generación



3.1.1 Mínimo valor de rampa

El mínimo valor configurable de rampa corresponde al 9% Pn/min; con este valor de rampa se hicieron los escalones el día 19 de enero de 2024 a las 15:52 (UTC-5).

3.1.1.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 40 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en el archivo “anexo_5_acuerdo_1741_min_9.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. toma carg”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_min_9_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.2 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	12,000	30,000	40,00	9,093	8,914
2	12,000	30,000	40,00	9,103	8,925
3	12,000	30,000	40,00	9,204	9,024
4	12,000	30,000	40,00	9,146	8,966
5	12,000	30,000	40,00	9,142	8,962
Promedio				9,137	8,958
Desviación estándar					0,044
Coeficiente de variación					0,005
Error entre valor ajustado y medido [%]					0,464

Tabla 3.2 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa mínima



3.1.1.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 40 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en el archivo “anexo_5_acuerdo_1741_min_9.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. descarga”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_min_9_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.3 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	12,000	30,000	40,00	-9,113	-8,934
2	12,000	30,000	40,00	-9,096	-8,918
3	12,000	30,000	40,00	-9,105	-8,927
4	12,000	30,000	40,00	-9,120	-8,941
5	12,000	30,000	40,00	-9,237	-9,056
Promedio				-9,134	-8,955
Desviación estándar					0,058
Coeficiente de variación					-0,006
Error entre valor ajustado y medido [%]					0,498

Tabla 3.3 – Resumen cálculo de rampas descendentes – rampa mínima



3.1.2 Un valor intermedio entre el mínimo valor de rampa y el 14 % Pn/min

El valor intermedio entre el mínimo valor de rampa y el 14 % Pn/min escogido corresponde al 11% Pn/min; con este valor de rampa se hicieron los escalones el día 17 de diciembre de 2023 a las 13:47 (UTC-5).

3.1.2.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 50 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo_1741_int_11.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. toma carg”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_int_11_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.4 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	15,0	30,0	50,0	11,119	10,901
2	15,0	30,0	50,0	11,070	10,853
3	15,0	30,0	50,0	11,117	10,899
4	15,0	30,0	50,0	11,095	10,877
5	15,0	30,0	50,0	11,113	10,895
Promedio				11,103	10,885
Desviación estándar					0,021
Coeficiente de variación					0,002
Error entre valor ajustado y medido [%]					1,044

Tabla 3.4 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa intermedia



3.1.2.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 50 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo_1741_int_11.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. descarga”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_int_11_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.5 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	15,0	30,0	50,0	-10,981	-10,766
2	15,0	30,0	50,0	-11,104	-10,886
3	15,0	30,0	50,0	-10,995	-10,780
4	15,0	30,0	50,0	-11,117	-10,899
5	15,0	30,0	50,0	-11,161	-10,942
Promedio				-11,072	-10,855
Desviación estándar					0,079
Coeficiente de variación					-0,007
Error entre valor ajustado y medido [%]					1,322

Tabla 3.5 – Resumen cálculo de rampas descendentes – rampa intermedia



3.1.3 Rampa de 14 % Pn/min

El valor de rampa de 14 % Pn/min es el ajuste de rampa nominal de la planta; con este valor de se hicieron los escalones el día 19 de enero de 2024 a las 15:34 (UTC-5).

3.1.3.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes (2 de ellos de 40% y otros 3 de 20% del tamaño del rango disponible de generación). Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo_1741_14” en la hoja “Gráficas cálculo vel. toma carg”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_14_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.6 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	12,000	30,000	40,00	14,147	13,870
2	12,000	30,000	40,00	14,069	13,793
3	11,000	55,000	20,00	14,137	13,860
4	11,000	55,000	20,00	14,279	13,999
5	11,000	55,000	20,00	14,065	13,789
Promedio				14,139	13,862
Desviación estándar					0,087
Coeficiente de variación					0,006
Error entre valor ajustado y medido [%]					0,984

Tabla 3.6 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa 14 % Pn/min



3.1.3.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 40 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo_1741_14.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. descarga”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_14_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.7 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	12,000	30,000	40,00	-14,339	-14,058
2	12,000	30,000	40,00	-14,236	-13,957
3	12,000	30,000	40,00	-14,294	-14,013
4	12,000	30,000	40,00	-13,937	-13,663
5	12,000	30,000	40,00	-14,335	-14,054
Promedio				-14,228	-13,949
Desviación estándar					0,168
Coeficiente de variación					-0,012
Error entre valor ajustado y medido [%]					0,362

Tabla 3.7 – Resumen cálculo de rampas descendentes – rampa 14 % Pn/min



3.1.4 Máximo valor de rampa

El máximo valor de rampa configurable corresponde al 20 % Pn/min; con este valor de rampa se hicieron los escalones el día 19 de enero de 2024 a las 15:17 (UTC-5).

3.1.4.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 20 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo_1741_max_20.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. toma carg”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_max_20_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.8 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	11,000	55,000	20,00	20,419	20,018
2	11,000	55,000	20,00	20,375	19,975
3	11,000	55,000	20,00	20,428	20,027
4	11,000	55,000	20,00	20,187	19,791
5	11,000	55,000	20,00	19,925	19,535
Promedio				20,267	19,869
Desviación estándar					0,214
Coeficiente de variación					0,011
Error entre valor ajustado y medido [%]					0,654

Tabla 3.8 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa máxima



3.1.4.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 20 % del tamaño del rango disponible de generación. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo_1741_max_20.xlsx” en la hoja “Gráficas cálculo vel. descarga”. Los registros en formato .txt de las variables medidas durante el ensayo se presenta en el archivo anexo “anexo_5_acuerdo_1741_max_20_registros”.

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1741, en la Tabla 3.9 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes

Número del escalón	Potencia Disponible [MW]	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	11,000	55,000	20,00	-20,270	-19,872
2	11,000	55,000	20,00	-20,431	-20,030
3	11,000	55,000	20,00	-20,400	-20,000
4	11,000	55,000	20,00	-20,224	-19,827
5	11,000	55,000	20,00	-20,260	-19,863
Promedio				-20,317	-19,919
Desviación estándar					0,092
Coeficiente de variación					-0,005
Error entre valor ajustado y medido [%]					0,407

Tabla 3.9 – Resumen cálculo de rampas descendentes – rampa máxima



4 Conclusiones

- Las rampas operativas son estables para los diferentes valores configurados para los ensayos, dentro del rango configurable.
- El valor del coeficiente de variación de las rampas siempre es inferior al 15 %.
- La diferencia entre el promedio de los valores de rampa obtenidos y el valor de rampa ajustada es siempre menor al 2 %.
- El rango parametrizable de las rampas es entre 9%Pnom/min y 20%Pnom/min.



5 Anexos

5.1 Rango parametrizable de rampas operativas

En la Figura 5.1 se muestra los valores configurables para las rampas operativas; los valores mostrados son tomados del documento “RANGOS CONFIGURACION PPC”, suministrado por el fabricante.

Proyecto: Planta Solar Fotovoltaica Portón del Sol

Localidad: COLOMBIA

Cliente: ELECNOR SERVICIOS Y PROYECTOS, SAU

RANGOS CONFIGURADOS PPC

Parámetro	Rango Configurable	
	Valor Mínimo	Valor Máximo
Estatismo de Frecuencia (%)	2	12
Estatismo de Tensión (%)	2	12
Banda Muerta (mHz)	0	500
Velocidad de Toma de Carga/Descarga (%)	9	20

Empresa

Webdom Labs SL

Nombre Representante:

Eduard Perramon

Firma y Sello



Figura 5.1. Rango parametrizable de rampas operativas

El valor nominal de rampas configurado es de 14 %Pn/min y el rango configurable es de 9% Pn – 20% Pn.