

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Ventus
Colombia
Parque Fotovoltaico Palmira1
Informe rampas operativas acuerdo
CNO 1826

VENTUS

CÓDIGO DE PROYECTO	EE-2022-029
CÓDIGO DE INFORME	EE-EN-2024-1750
REVISIÓN	A

15 nov. 24



Este documento **EE-EN-2024-1750-RA** fue preparado para Ventus 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 15 páginas y ha sido guardado por última vez el 15/11/2024 por Augusto Depetris; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	15.11.2024	Para revisión	DM	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



1 Introducción

El presente informe resume los principales hallazgos durante la realización de los ensayos el día 21 de octubre de 2024 en el Parque Fotovoltaico Palmira1, de acuerdo con los requerimientos del Acuerdo CNO 1826, para la verificación de la característica de las rampas operativas de las plantas 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 Fotovoltaico Palmira1, propiedad de CELSIA, se encuentra ubicado en el municipio de Palmira, departamento de Valle del Cauca, Colombia y posee una potencia instalada en DC (de sus siglas en inglés 'Direct Current') de 22.36 MW con una capacidad efectiva neta en el punto de medición (POM) de 19.9 MW; posee 104 inversores de 0.215 MVA de capacidad cada uno

El parque dispone de 4 estaciones de transformación que interconectan la red de BT con la de MT a través de un transformador de tres devanados de 6.5 MVA, 0.8/0.8/34.5 kV, donde cada devanado de baja tensión es conectado a un string de inversores. Los inversores que conforman los strings son marca HUAWEI modelo SUN2000-215KTL-H0 de 215 kVA de potencia aparente. La red colectora del parque está compuesta por un sólo alimentador en 34.5 kV que colectan la potencia generada por los inversores del parque. El parque se conecta al sistema a través de la S/E Guachal en 115 kV.

Los datos de la central ensayada son los siguientes:

Parque Solar Palmira 1

Potencia en el POM	19.9	MWp
Potencia en el POI	0	MW
Mínimo técnico	0.0	MW
Rango	18 ¹	MW
Inversores	104 inversores de 0.215 MVA cada uno	-

Tabla 2.1 – Datos de la central

¹ El rango de operación del parque se define en función de la carga típica conectada al parque, la cual toma toda la potencia generada del parque. Durante la visita se encontró que este rango esta entre 0 y 18 MW



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 parametrizable en la planta de generación es entre 1.99 MW/min y 9.95 MW/min, siendo 2.786 MW/min el valor de operación normal, correspondiente a 14 %Pnom/min. El valor intermedio entre 1.99 MW/min y 2.786 MW/min utilizado es de 2.388 MW/min

Se realizaron escalones de acuerdo con la Tabla 3.1, tal como lo establece el acuerdo CNO 1826.

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 10 % Pn/min, esto es, 1.99 MW/min. Con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 21 de octubre de 2024 a las 14:16 (UTC-5).

3.1.1.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 80 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_10pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_10pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.2 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	5.0	83.333	2.008	10.088
2	5.0	83.333	1.997	10.036
3	5.0	83.333	2.011	10.104
4	5.0	83.333	1.941	9.753
5	5.0	83.333	2.029	10.198
Promedio			1.997	10.036
Desviación estándar				0.034
Coeficiente de variación				0.017
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.358

Tabla 3.2 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa mínima



3.1.1.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 80 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_10pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_10pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.3 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes				
Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	5.000	83.333	-1.973	-9.917
2	5.000	83.333	-2.034	-10.220
3	5.000	83.333	-1.952	-9.810
4	5.000	83.333	-2.048	-10.292
5	5.000	83.333	-1.943	-9.764
Promedio			-1.990	-10.000
Desviación estándar				0.048
Coeficiente de variación				-0.024
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.004%

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 12.0 % Pn/min, es decir, 2.786 MW/min. Con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 21 de octubre de 2024 a las 14:56 (UTC-5).

3.1.2.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 83.33 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_12pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_12pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.4 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	5.000	83.333	2.418	12.150
2	5.000	83.333	2.319	11.652
3	5.000	83.333	2.375	11.937
4	5.000	83.333	2.330	11.710
5	5.000	83.333	2.354	11.827
Promedio			2.359	11.855
Desviación estándar				0.039
Coeficiente de variación				0.017
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.208

Tabla 3.4 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa intermedia



3.1.2.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 83.33 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_12pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_12pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.5 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes				
Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	5.000	83.333	-2.304	-11.580
2	5.000	83.333	-2.368	-11.899
3	5.000	83.333	-2.360	-11.861
4	5.000	83.333	-2.401	-12.068
5	5.000	83.333	-2.673	-13.433
Promedio			-2.421	-12.168
Desviación estándar				0.145
Coeficiente de variación				-0.060
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.400

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 corresponde a 2.786 MW/min; con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 21 de octubre de 2024 a las 12:00 (UTC-5).

3.1.3.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 43.95 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_14pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_14pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.6 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes				
Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	8.000	43.956	2.784	13.992
2	8.000	43.956	2.802	14.079
3	8.000	43.956	2.869	14.418
4	8.000	43.956	2.784	13.991
5	8.000	43.956	2.770	13.921
Promedio			2.802	14.080
Desviación estándar				0.039
Coeficiente de variación				0.014
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.573%

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 43.95 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_14pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_14pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.7 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes				
Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	8.000	43.956	-2.802	-14.083
2	8.000	43.956	-2.746	-13.797
3	8.000	43.956	-2.791	-14.027
4	8.000	43.956	-2.761	-13.874
5	8.000	43.956	-2.751	-13.825
Promedio			-2.770	-13.921
Desviación estándar				0.025
Coeficiente de variación				-0.009
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.563

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 50 % Pn/min, esto es, 9.95 MW/min; con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 21 de septiembre de 2024 a las 11:28 (UTC-5).

3.1.4.1 Escalones ascendentes

Se realizaron un (1) escalón ascendente del 42.1 % y cuatro (4) del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_50pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_50pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.8 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones ascendentes y las rampas operativas.

Escalones ascendentes

Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	8.000	43.956	10.203	51.273
2	8.000	43.956	9.482	47.648
3	8.000	43.956	9.534	47.907
4	8.000	43.956	9.973	50.116
5	8.000	43.956	10.036	50.430
Promedio			9.846	49.475
Desviación estándar				0.320
Coeficiente de variación				0.033
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.050

Tabla 3.8 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa máxima



3.1.4.2 Escalones descendentes

Se realizaron un (1) escalón descendente del 42.1 % y cuatro (4) del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_50pc" 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 "EE-2022-029_anexo_5_acuerdo_1826_Palmira 1_50pc_registros".

Tal como se especifica en el acuerdo CNO 1826, en la Tabla 3.9 se presentan los cálculos correspondientes a los escalones descendentes y las rampas operativas.

Escalones descendentes

Número del escalón	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	8.000	43.956	-9.797	-49.231
2	8.000	43.956	-9.706	-48.773
3	8.000	43.956	-9.800	-49.248
4	8.000	43.956	-9.823	-49.361
5	8.000	43.956	-9.879	-49.641
Promedio			-9.801	-49.251
Desviación estándar				0.062
Coeficiente de variación				-0.006
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.499

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 1.99 MW/min y 9.95 MW/min.