

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Mota Engil Colombia S.A.S.
Colombia
Parque Solar Planeta Rica
Informe rampas operativas acuerdo
CNO 1741



MOTAENGIL

CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-028
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0033
REVISIÓN B

23 feb. 24



Este documento **EE-EN-2024-0033-RB** fue preparado para Mota Engil Colombia S.A.S. 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 23/02/2024 por Sergio Suárez; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	10.1.2024	Comentario	GG	AdP	PR
B	23.2.2024	Cambio Mínimo Técnico y medición en POI	SS, GG	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 los días 17 y 18 de febrero de 2024 en Parque Solar Planeta Rica, 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 Fotovoltaico Planeta Rica, se encuentra ubicado en el municipio de Planeta Rica departamento de Córdoba. Está constituido por seis (6) inversores, cada inversor puede entregar 3800 kVA. La potencia instalada total del parque es de 22.80 MW, totalizando así una potencia de 19.90 MW en la S/E Planeta Rica 110 kV.

El parque está conectado a la S/E Planeta Rica 110 kV mediante un transformador de 25 MVA 34.5/110 kV que a su vez se conecta al parque mediante una línea de 6.9 km a 34.5 kV.

Los datos de la central ensayada son los siguientes:

PF Planeta Rica		
Potencia Pico	22.8	MWp
Potencia en el POI	19.9	MW
Mínimo técnico	0.7	MW
Rango	19.2	MW
Inversores	6 inversores POWER ELECTRONICS, referencia FREESUN HEMK – Modelo FS3670KH – Capacidad nominal 3800 kVA	-

Tabla 2.1 – Datos de la central



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 1.99 MW/min y 3.184 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 2.587 MW/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 10 % Pn/min, esto es, 1.99 MW/min; con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 17 de febrero de 2024 a las 15:04 (UTC-5).

3.1.1.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_1_99MW_min.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_acuerdo1741_1_99MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	2.15	50.00	1.96	9.85
2	2.15	50.00	1.96	9.83
3	2.15	50.00	1.94	9.72
4	2.15	50.00	1.95	9.78
5	2.15	50.00	1.96	9.87
Promedio			1.95	9.81
Desviación estándar				0.011
Coeficiente de variación				0.006
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.90

Tabla 3.2 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa mínima



3.1.1.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_1_99MW_min.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_acuerdo1741_1_99MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	2.15	50.00	-1.95	-9.79
2	2.15	50.00	-1.97	-9.90
3	2.15	50.00	-1.96	-9.85
4	2.15	50.00	-1.92	-9.66
5	2.15	50.00	-1.96	-9.84
Promedio			-1.95	-9.81
Desviación estándar				0.018
Coeficiente de variación				-0.009
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.91

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 13 % Pn/min, es decir, 2.587 MW/min; con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 18 de febrero de 2024 a las 7:55 (UTC-5).

3.1.2.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_2_587MW_min.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_acuerdo1741_2_587MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	2.65	50.0	2.53	12.72
2	2.65	50.0	2.55	12.81
3	2.65	50.0	2.53	12.73
4	2.65	50.0	2.53	12.73
5	2.65	50.0	2.53	12.72
Promedio			2.54	12.74
Desviación estándar				0.008
Coeficiente de variación				0.003
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.97

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. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_2_587MW_min.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_acuerdo1741_2_587MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	2.65	50.0	-2.54	-12.74
2	2.65	50.0	-2.53	-12.71
3	2.65	50.0	-2.54	-12.77
4	2.65	50.0	-2.54	-12.74
5	2.65	50.0	-2.54	-12.77
Promedio			-2.54	-12.75
Desviación estándar				0.005
Coeficiente de variación				-0.002
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.95

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 18 de febrero de 2024 a las 14:31 (UTC-5).

3.1.3.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_2_786MW_min.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_acuerdo1741_2_786MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	3.65	50.0	2.75	13.84
2	3.65	50.0	2.80	14.08
3	3.65	50.0	2.77	13.90
4	3.65	50.0	2.73	13.72
5	3.65	50.0	2.75	13.84
Promedio			2.76	13.88
Desviación estándar				0.026
Coeficiente de variación				0.009
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.82

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 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_2_786MW_min.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_acuerdo1741_2_786MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	3.65	50.0	-2.81	-14.11
2	3.65	50.0	-2.72	-13.69
3	3.65	50.0	-2.75	-13.84
4	3.65	50.0	-2.75	-13.81
5	3.65	50.0	-2.74	-13.76
Promedio			-2.75	-13.84
Desviación estándar				0.032
Coeficiente de variación				-0.012
Error entre valor ajustado y medido [%]				1.13

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 16 % Pn/min, esto es, 3.184 MW/min; con este valor de rampa se hicieron los siguientes escalones, el día 17 de febrero de 2024 a las 15:56 (UTC-5).

3.1.4.1 Escalones ascendentes

Se realizaron cinco (5) escalones ascendentes del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_3_184MW_min.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_acuerdo1741_3_184MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	1.40	50.0	3.13	15.73
2	1.40	50.0	3.12	15.68
3	1.40	50.0	3.23	15.23
4	1.40	50.0	3.22	15.17
5	1.40	50.0	3.19	16.02
Promedio			3.18	15.97
Desviación estándar				0.050
Coeficiente de variación				0.016
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.22

Tabla 3.8 – Resumen cálculo de rampas ascendentes – rampa máxima



3.1.4.2 Escalones descendentes

Se realizaron cinco (5) escalones descendentes del 50 % del tamaño del rango disponible. Se puede evidenciar la dinámica de la planta ante los escalones aplicados en archivo “anexo_5_acuerdo1741_3_184MW_min.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_acuerdo1741_3_184MW_min_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	Tamaño del escalón [MW]	Tamaño del escalón [%]	Velocidad [MW/min]	Velocidad [%Pnom/min]
1	1.40	50.0	-3.16	-15.90
2	1.40	50.0	-3.18	-15.98
3	1.40	50.0	-3.18	-15.97
4	1.40	50.0	-3.18	-15.99
5	1.40	50.0	-3.18	-15.98
Promedio			-3.18	-15.97
Desviación estándar				0.007
Coeficiente de variación				-0.002
Error entre valor ajustado y medido [%]				0.21

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 3.184 MW/min.