

**Empresa:** J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.

**País:** Colombia

**Proyecto:** Bosque Solar Los Llanos 5

**Descripción:** Informe - Auditoría Curva de Capacidad

**Código de Proyecto:** EE-2022-072

**Código de Informe:** EE-EN-2022-1236

**Revisión:** C

*Power System Studies, Power Plant Field Testing  
and Electrical Commissioning  
ISO9001:2008 Certified*

**09 de agosto de 2022**



Este documento EE-EN-2022-1236-RC fue preparado para J.E. JAIMES INGENIEROS S.A. por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman  
Coordinador Dpto. de Ensayos  
[claudio.celman@estudios-electricos.com](mailto:claudio.celman@estudios-electricos.com)

Ing. Pablo Rifrani  
Gerente de Ensayos  
[pablo.rifrani@estudios-electricos.com](mailto:pablo.rifrani@estudios-electricos.com)

Este documento contiene 49 páginas y ha sido guardado por última vez el 19/08/20221 por Francisco Suárez, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

| Rev | Fecha      | Comentarios                     | Realizó | Revisó | Aprobó |
|-----|------------|---------------------------------|---------|--------|--------|
| A   | 9/08/2022  | Para enviar.                    | DM      | CC     | PR     |
| B   | 18/08/2022 | Rta a observaciones del cliente | DM      | CC     | PR     |
| C   | 19/08/2022 | Rta a observaciones de XM.      | CC      | CC     | PR     |



## Índice

|      |                                                                             |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1    | INTRODUCCION .....                                                          | 4  |
| 1.1  | Nomenclatura.....                                                           | 4  |
| 2    | INFORMACION DE LA CENTRAL.....                                              | 5  |
| 2.1  | Curva de capacidad P-Q propuesta .....                                      | 6  |
| 3    | MEDICIONES.....                                                             | 7  |
| 3.1  | Equipos de medición .....                                                   | 7  |
| 4    | CALCULO DE ERRORES.....                                                     | 8  |
| 5    | DESARROLLO DEL ENSAYO .....                                                 | 10 |
| 5.1  | Procedimiento de ensayos.....                                               | 10 |
| 5.2  | Resultados obtenidos.....                                                   | 11 |
| 5.3  | Curva de capacidad efectiva .....                                           | 12 |
| 5.4  | Detalle de evaluación de cumplimiento.....                                  | 14 |
| 5.5  | Curva capacidad definitiva .....                                            | 18 |
| 6    | REGISTRO DE ENSAYOS .....                                                   | 19 |
| 6.1  | Tendencias - Punto 1.....                                                   | 19 |
| 6.2  | Tendencias - Punto 2.....                                                   | 21 |
| 6.3  | Tendencias - Punto 3.....                                                   | 23 |
| 6.4  | Tendencias - Punto 4.....                                                   | 25 |
| 6.5  | Tendencias - Punto 5.....                                                   | 27 |
| 6.6  | Tendencias - Punto 6.....                                                   | 29 |
| 6.7  | Tendencias - Punto 7.....                                                   | 31 |
| 6.8  | Tendencias - Punto 8.....                                                   | 33 |
| 6.9  | Tendencias - Punto 9.....                                                   | 35 |
| 6.10 | Tendencias - Punto 10.....                                                  | 37 |
| 7    | CONCLUSIONES .....                                                          | 39 |
| 8    | ANEXOS .....                                                                | 40 |
| 8.1  | Configuración de la planta. Documento 209-LL5-PFV-ENG-GEN-INF-JEJ-002 ..... | 40 |
| 8.2  | Curva de capacidad .....                                                    | 42 |
| 8.3  | Procedimiento de ensayos.....                                               | 44 |
| 8.4  | Certificados de calibración .....                                           | 48 |



## 1 INTRODUCCION

El presente informe documenta los resultados obtenidos en la auditoría de verificación de la curva de capacidad realizada en el Parque Fotovoltaico Bosque Solar Los Llanos 5 perteneciente a Trina Solar. Dichas pruebas fueron realizadas los días 27, 28 de julio y 1 de agosto de 2022 por la empresa auditora ESTUDIOS ELÉCTRICOS, siguiendo los lineamientos establecidos en la regulación vigente (Acuerdo CNO N° 1563).

Los Auditores responsables han sido los Ing. Claudio Celman y Federico García.

Como resultado de la auditoría se obtiene que la unidad CUMPLE con la curva de capacidad declarada dentro de las tolerancias establecidas, con las consideraciones planteadas en el presente informe.

### 1.1 Nomenclatura

| Término | Descripción                          |
|---------|--------------------------------------|
| PELEC   | Potencia eléctrica (activa)          |
| QELEC   | Potencia reactiva                    |
| ETERM   | Tensión de terminales                |
| FREC    | Frecuencia                           |
| V       | Tensión (Modo de control)            |
| Q       | Potencia reactiva (Modo de control)  |
| FP      | Factor de potencia (Modo de control) |
| POI     | Punto de Interconexión               |

Tabla 1-1: Tabla de nomenclaturas



## 2 INFORMACION DE LA CENTRAL

La información utilizada en este capítulo, provista por J.E. JAIMES INGENIEROS S.A., corresponde a la documentación oficial del cliente 209-LL5-PFV-ENG-GEN-INF-JEJ-002.

El Bosque Solar Los Llanos 5 está ubicado en el municipio de Puerto Gaitán, en el Departamento de Meta. El parque fotovoltaico está compuesto por 46,480 paneles fotovoltaicos de 535/540 Wp y cuenta con 111 inversores de potencia nominal 204 kW @40° C, de tensión nominal 800 V AC. Los centros de transformación están interconectados a la subestación elevadora que aumenta la tensión eléctrica de 34.5 kV a 115 kV, la cual evacúa la energía generada con una línea de transmisión eléctrica de circuito único que se conecta al POI - Subestación Puerto Gaitán.

Los datos de la central ensayada son los siguientes:

| PV Los Llanos 5          |                                                                               |     |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Potencia pico            | 25.0058                                                                       | MWp |
| Potencia en el POI       | 17.90                                                                         | MW  |
| Inversores               | 111 inversores string SUN2000 – 215 KTL-H3                                    | -   |
| Centro de Transformación | 3 Centros de Transformación – 6.5 MVA y 1 Centro de Transformación – 3.25 MVA | -   |

Tabla 2-1 - Datos de la central.



## 2.1 Curva de capacidad P-Q propuesta

De acuerdo con el artículo quinto del Acuerdo 1563, J.E. JAIMES INGENIEROS S.A. acordó con el CND los puntos operativos en el plano P-Q a ser sometidos a prueba en el POI. Los mismos se detallan en la Figura 2.1 y Tabla 2-2.

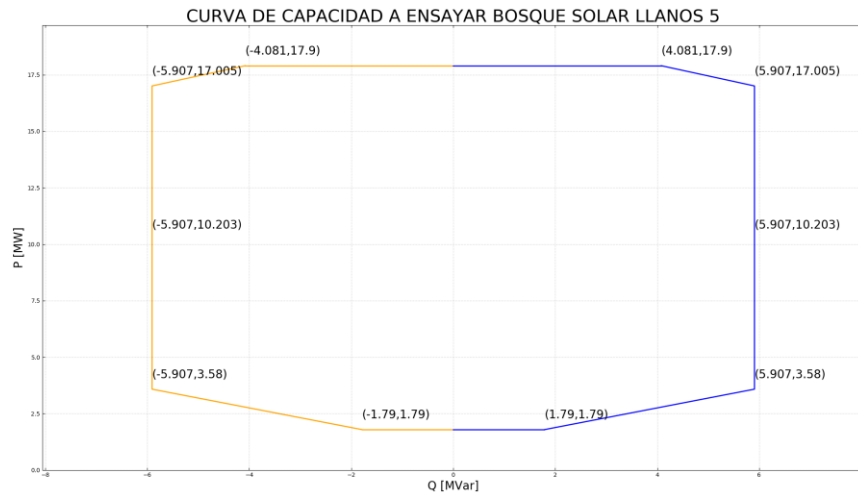


Figura 2.1 – Curva de capacidad a auditar.

| Puntos objetivo | Región    | Potencia activa POI [MW] | Potencia reactiva POI [MVar] |
|-----------------|-----------|--------------------------|------------------------------|
| 1               | Absorción | 1.79                     | -1.79                        |
| 2               | Absorción | 3.58                     | -5.907                       |
| 3               | Absorción | 10.203                   | -5.907                       |
| 4               | Absorción | 17.005                   | -5.907                       |
| 5               | Absorción | 17.9                     | -4.081                       |
| 6               | Entrega   | 1.79                     | 1.79                         |
| 7               | Entrega   | 3.58                     | 5.907                        |
| 8               | Entrega   | 10.203                   | 5.907                        |
| 9               | Entrega   | 17.005                   | 5.907                        |
| 10              | Entrega   | 17.9                     | 4.081                        |

Tabla 2-2 - Puntos PQ acordados con el CND.

Estos puntos serán afectados según lo establecido en el acuerdo 1546 por la tensión en el punto de interconexión.



### 3 MEDICIONES

#### 3.1 Equipos de medición

Para las mediciones realizadas se emplearon los equipos listados en la Tabla 3-1.

| Equipo       | Marca              | Modelo      | Número de serie | Clase                                      |
|--------------|--------------------|-------------|-----------------|--------------------------------------------|
| Multimedidor | Janitza            | UMG 512 PRO | 4201/5343       | 0.3 potencia activa<br>1 potencia reactiva |
| CT           | Elemento de planta |             |                 | 0.2                                        |
| PT           | Elemento de planta |             |                 | 0.2                                        |

Tabla 3-1 – Equipos de medición utilizados

Para las mediciones realizadas se utilizaron los puntos de conexión detallados en la Tabla 3-2.

| Medición                | Tablero | Borne              | Escala                             | Equipo utilizado     |
|-------------------------|---------|--------------------|------------------------------------|----------------------|
| Tensión de terminales   | D00+Q03 | BM6:1/BM6:5/BM6:9  | $115/\sqrt{3} : 0.115/\sqrt{3}$ kV | Multimedidor Janitza |
| Corriente de terminales | D00+Q03 | BM6:2/BM6:6/BM6:10 | 150/5 A                            | Multimedidor Janitza |

Tabla 3-2 - Puntos de conexión



## 4 CALCULO DE ERRORES

Los siguientes son los datos de los equipos intervinientes en la cadena de medición:

- CT: clase 0.2, relación 150 /5 A
- PT: clase 0.2, relación  $115/\sqrt{3} : 0.115/\sqrt{3}$  kV.
- Medidor: Incertidumbre intrínseca de 0.3 para potencia activa y 1 para potencia reactiva.

**Nota:** Los valores de incertidumbre del medidor fueron obtenidos de la norma IEC 61557-12:2012 con base en la clase del instrumento.

Siguiendo los lineamientos de la guía GUM, el error relativo de la medición puede calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores relativos:

$$E_r = \sqrt{\sum E_{ri}^2}$$

Donde  $E_{ri}$  es cada uno de los errores relativos que afectan la medición realizada.

La clase de los instrumentos es el error absoluto referido a fondo de escala. Si se considera al error relativo de cada instrumento como su clase se lleva a cabo una aproximación conservadora.

Para el caso del medidor digital, se utiliza el valor de la incertidumbre en porcentaje como error absoluto del medidor.

- Potencia activa

$$E_{r_{medidor}} = 0.3\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$



De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{0.12^2 + 0.12^2 + 0.3^2} = 0.35 \%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.0035 \times 150 \text{ A} \times 115000 \text{ V} = 0.105 \text{ MW}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia activa por los instrumentos.

- Potencia reactiva

$$E_{r_{medidor}} = 1\%$$

$$E_{CT} = \frac{CL_{CT}}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$

$$E_{PT} = \frac{CL_{PT}}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$

De este modo queda:

$$E_r = \sqrt{0.12^2 + 0.12^2 + 1^2} = 1.01 \%$$

Para el cálculo del error absoluto no se considera el valor de la medición sino el de la potencia aparente nominal determinada por los CTs y PTs:

$$E_a = \sqrt{3} \times E_r \times CT_{primario} \times PT_{primario} = 1.732 \times 0.01 \times 150 \text{ A} \times 115000 \text{ V} = 0.29 \text{ MVAR}$$

De este modo se tiene el margen de error absoluto a considerar en la medición de potencia reactiva por los instrumentos.



## 5 DESARROLLO DEL ENSAYO

---

### 5.1 Procedimiento de ensayos

Se realiza una reunión inicial en la cual se revisan los puntos PQ comprometidos.

Se efectúa el conexionado del equipo de adquisición en el punto donde es declarada la curva de capacidad de la central.

Para evaluar cada uno de los puntos comprometidos, se utiliza el procedimiento detallado en el Acuerdo CNO nº1563.



## 5.2 Resultados obtenidos

La Tabla 5-1 resume las condiciones y resultados de las pruebas según se ejecutaron.

| Punto | Región    | Modo de control | Punto objetivo |              | Punto medido |              |            | CUMPLE |
|-------|-----------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------|
|       |           |                 | PELEC [MW]     | QELEC [MVar] | PELEC [MW]   | QELEC [MVar] | ETERM [kV] |        |
| 1     | Absorción | V               | 1.79           | -1.79        | 1.83         | -1.76        | 118.63     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 1.80         | -1.78        | 116.42     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 1.79         | -1.76        | 116.27     | SÍ     |
| 2     | Absorción | V               | 3.58           | -5.907       | 3.60         | -5.99        | 117.39     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 3.63         | -5.96        | 116.33     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 3.62         | -5.89        | 116.56     | SÍ     |
| 3     | Absorción | V               | 10.203         | -5.907       | 10.23        | -5.92        | 116.49     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 10.25        | -5.85        | 116.90     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 10.26        | -5.97        | 117.13     | SÍ     |
| 4     | Absorción | V               | 17.005         | -5.907       | 17.10        | -5.85        | 119.36     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 17.01        | -5.86        | 118.41     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 17.10        | -5.88        | 118.49     | SÍ     |
| 5     | Absorción | V               | 17.9           | -4.081       | 18.01        | -4.04        | 117.09     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 18.01        | -3.95        | 118.83     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 18.01        | -3.93        | 118.96     | SÍ     |
| 6     | Entrega   | V               | 1.79           | 1.79         | 1.75         | 1.77         | 115.59     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 1.73         | 1.78         | 115.29     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 1.74         | 1.77         | 114.89     | SÍ     |
| 7     | Entrega   | V               | 3.58           | 5.907        | 3.58         | 5.94         | 117.55     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 3.54         | 5.95         | 119.31     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 3.43         | 5.81         | 116.90     | SÍ     |
| 8     | Entrega   | V               | 10.203         | 5.907        | 10.25        | 5.98         | 118.78     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 10.27        | 5.90         | 117.87     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 10.26        | 5.86         | 117.42     | SÍ     |
| 9     | Entrega   | V               | 17.005         | 5.907        | 17.07        | 5.87         | 117.30     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 17.12        | 6.01         | 116.76     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 17.14        | 5.91         | 116.78     | SÍ     |
| 10    | Entrega   | V               | 17.9           | 4.081        | 17.97        | 4.02         | 117.82     | SÍ     |
|       |           | Q               |                |              | 18.01        | 4.09         | 118.72     | SÍ     |
|       |           | FP              |                |              | 17.90        | 4.14         | 119.81     | SÍ     |

Tabla 5-1 - Tabla de resultados.

### 5.3 Curva de capacidad efectiva

Teniendo en cuenta los puntos medidos con su incertidumbre asociada y la envolvente de tolerancia de la curva objetivo, se traza para cada control su curva de capacidad efectiva.

#### 5.3.1 Control de tensión

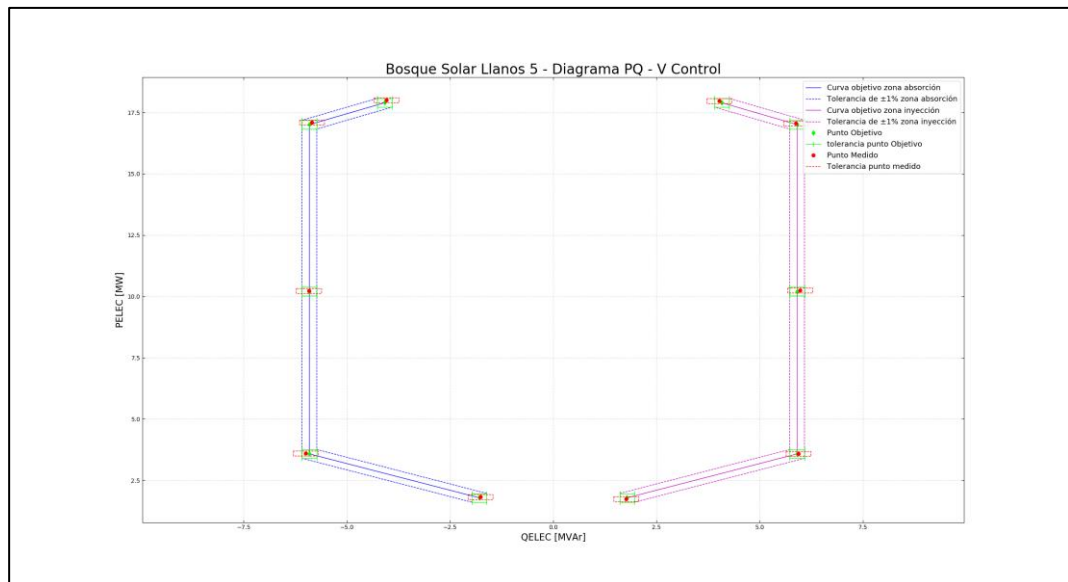


Figura 5.1 - Vista general de la curva de capacidad ensayada. Control tensión.

#### 5.3.2 Control de potencia reactiva

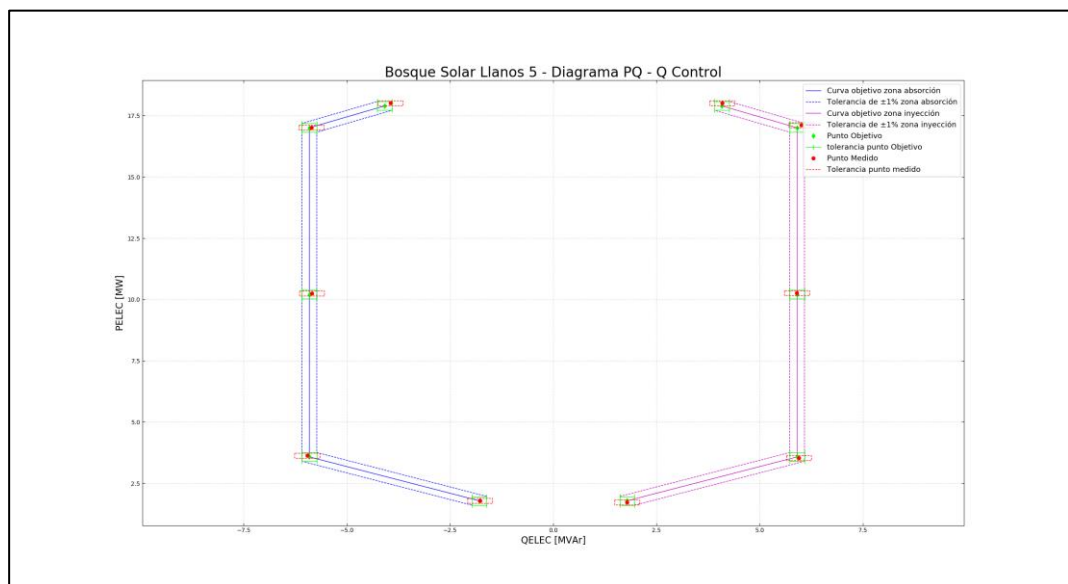


Figura 5.2 - Vista general de la curva de capacidad ensayada. Control de potencia reactiva.



### 5.3.3 Control de factor de potencia

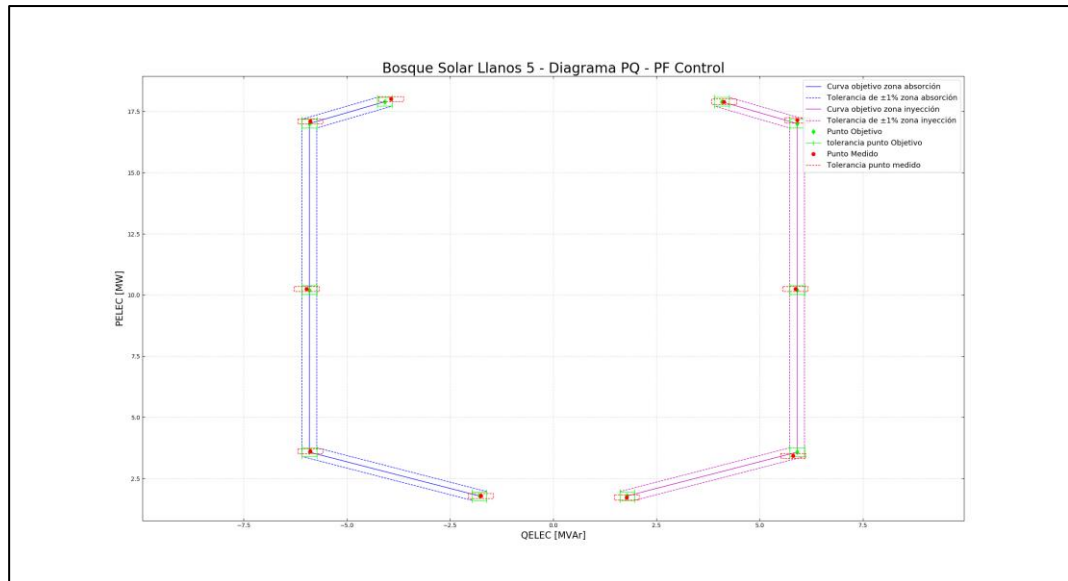


Figura 5.3 - Vista general de la curva de capacidad ensayada. Control de factor de potencia.



## 5.4 Detalle de evaluación de cumplimiento

### 5.4.1 Detalle de la región de absorción

#### Control de tensión

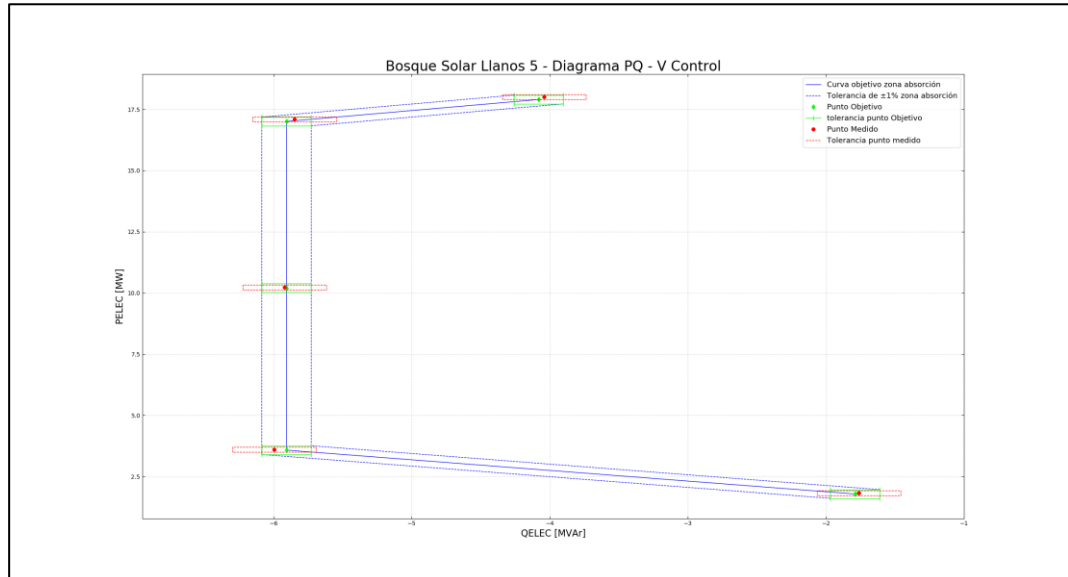


Figura 5.4 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada. Control tensión.

#### Control de potencia reactiva

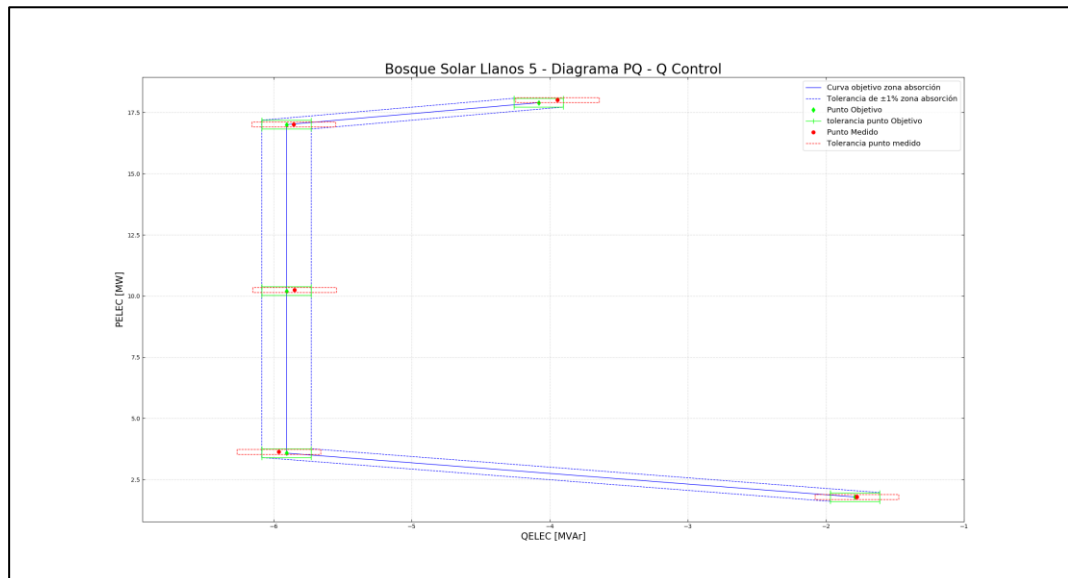


Figura 5.5 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada. Control de potencia reactiva.



## Control de factor de potencia

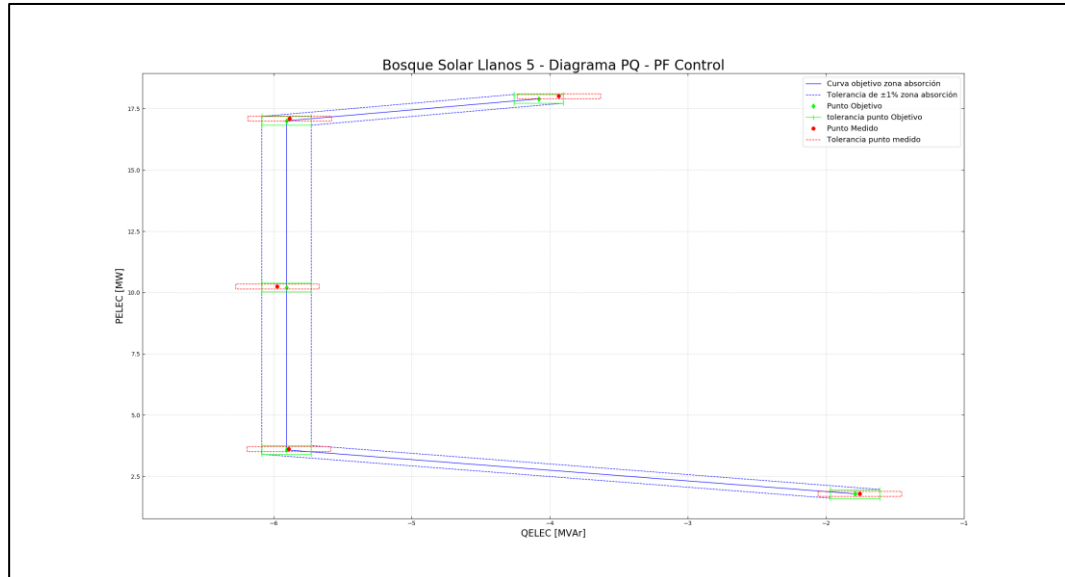


Figura 5.6 – Zona de absorción de la curva de capacidad ensayada. Control de factor de potencia.

Para todos los puntos ensayados, los valores obtenidos en campo incluyen su entorno de error (línea de trazos rojo) y los puntos objetivos correspondientes incluyen a su vez su tolerancia (color verde). En virtud de lo establecido por el acuerdo nº 1563, todos los puntos en la zona de absorción se declaran **conformes**.

Notar que a los puntos objetivo se les ha indicado el entorno de error de  $\pm 1\%$  establecido por el Acuerdo CNO nº1563.

## 5.4.2 Detalle de la región de inyección

### Control de tensión

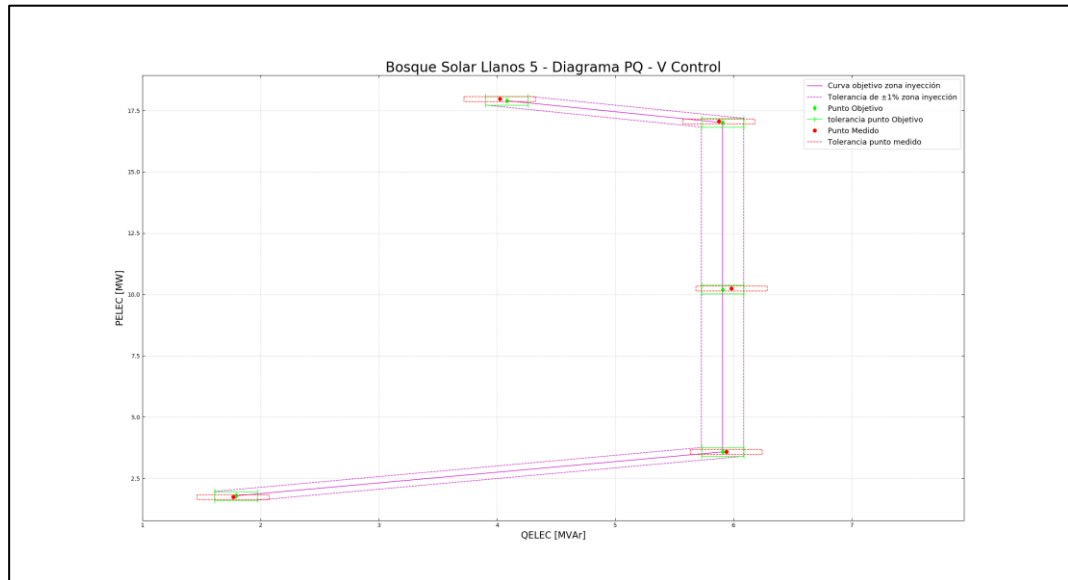


Figura 5.7 – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada. Control tensión.

### Control de potencia reactiva

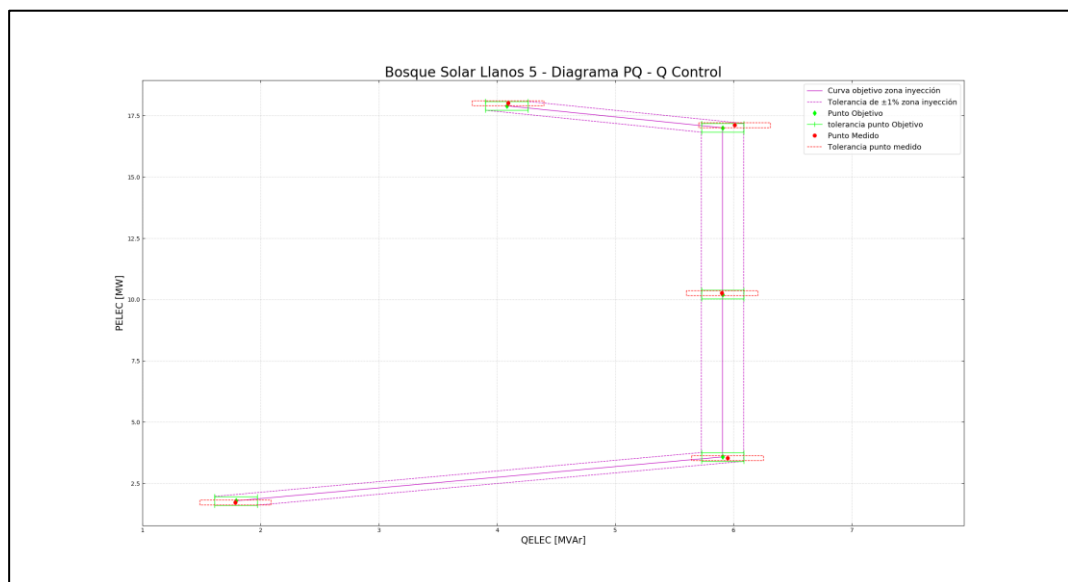


Figura 5.8 – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada. Control de potencia reactiva.



## Control de factor de potencia

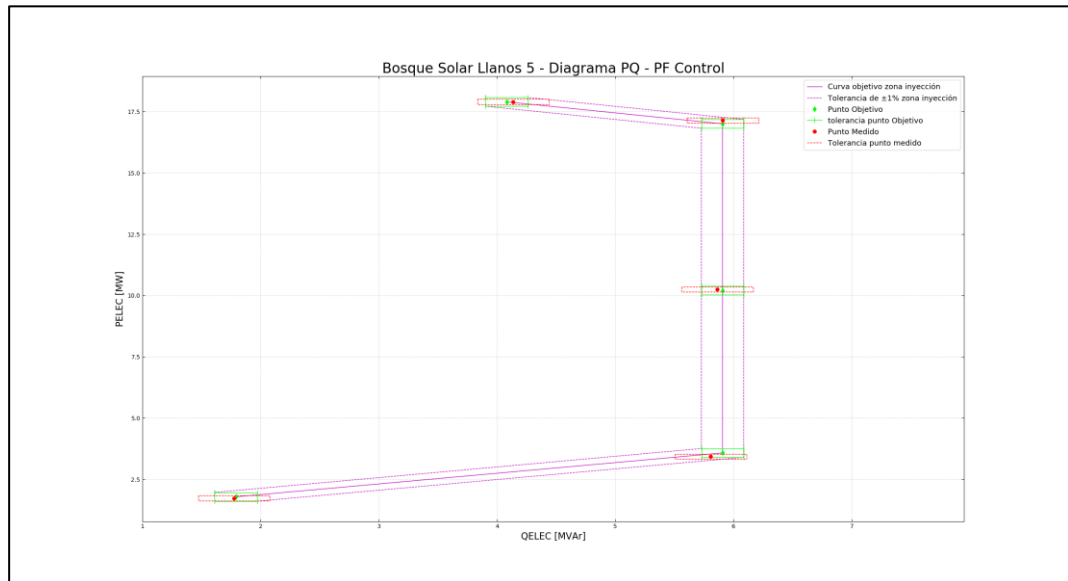


Figura 5.9 – Zona de inyección de la curva de capacidad ensayada. Control de factor de potencia.

Para todos los puntos ensayados, los valores obtenidos en campo incluyen su entorno de error (línea de trazos rojo) y los puntos objetivos correspondientes incluyen a su vez su tolerancia (color verde). En virtud de lo establecido por el acuerdo nº 1563, todos los puntos en la zona de absorción se declaran **conformes**.

Notar que a los puntos objetivo se les ha indicado el entorno de error de  $\pm 1\%$  establecido por el Acuerdo CNO nº1563.



## 5.5 Curva capacidad definitiva

Finalmente, los puntos objetivo son los que definen la curva definitiva son:

| Puntos objetivo | Potencia activa POI [MW] | Potencia reactiva POI [MVar] |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|
| 1               | 1.79                     | -1.79                        |
| 2               | 3.58                     | -5.907                       |
| 3               | 10.203                   | -5.907                       |
| 4               | 17.005                   | -5.907                       |
| 5               | 17.9                     | -4.081                       |
| 6               | 1.79                     | 1.79                         |
| 7               | 3.58                     | 5.907                        |
| 8               | 10.203                   | 5.907                        |
| 9               | 17.005                   | 5.907                        |
| 10              | 17.9                     | 4.081                        |

Tabla 5-2 - Puntos PQ acordados con el CND.



## 6 REGISTRO DE ENSAYOS

En el presente capítulo se muestran las tendencias registradas en el transcurso de las pruebas realizadas. De las mismas se obtuvieron los valores detallados en la Tabla 5-1.

### 6.1 Tendencias - Punto 1

#### 6.1.1 Control de Tensión

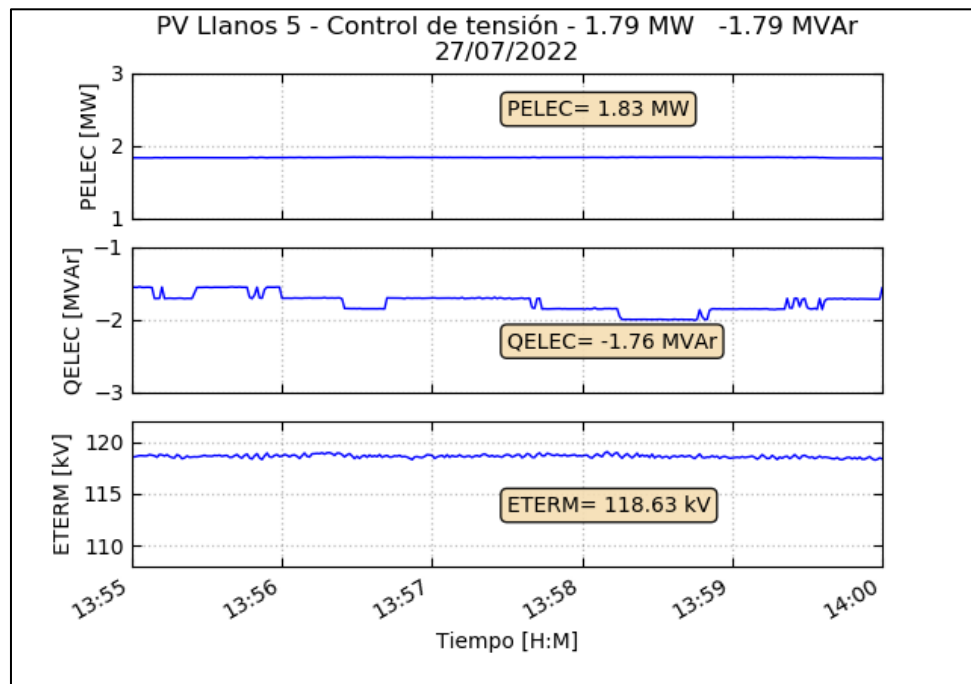


Figura 6.1 - Registro Punto 1. Control de tensión.



### 6.1.2 Control Potencia reactiva

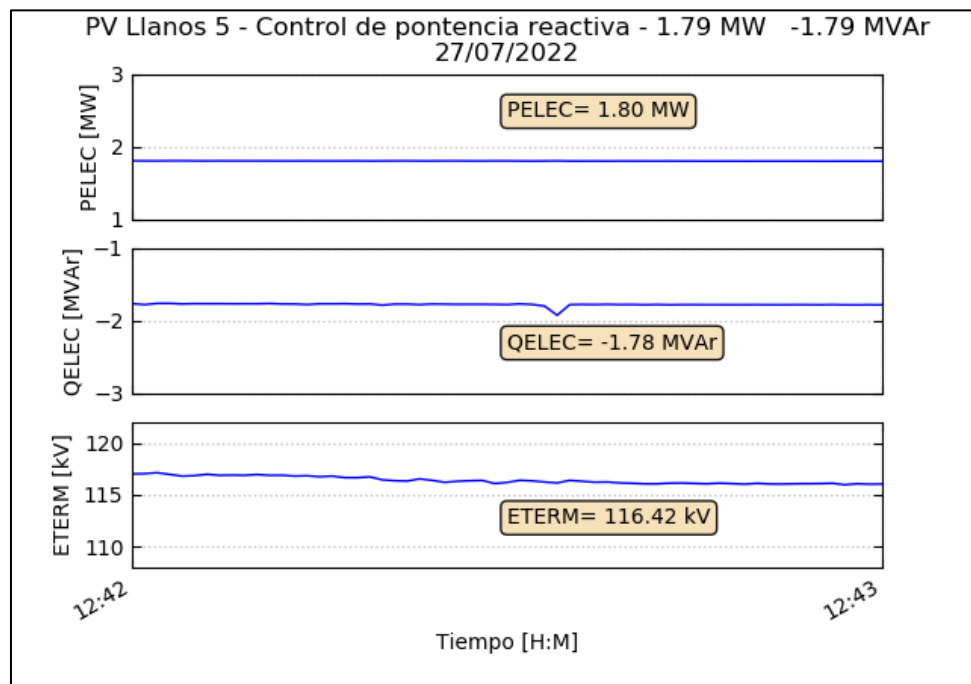


Figura 6.2 - Registro Punto 1. Control de potencia reactiva

### 6.1.3 Control de Factor de Potencia

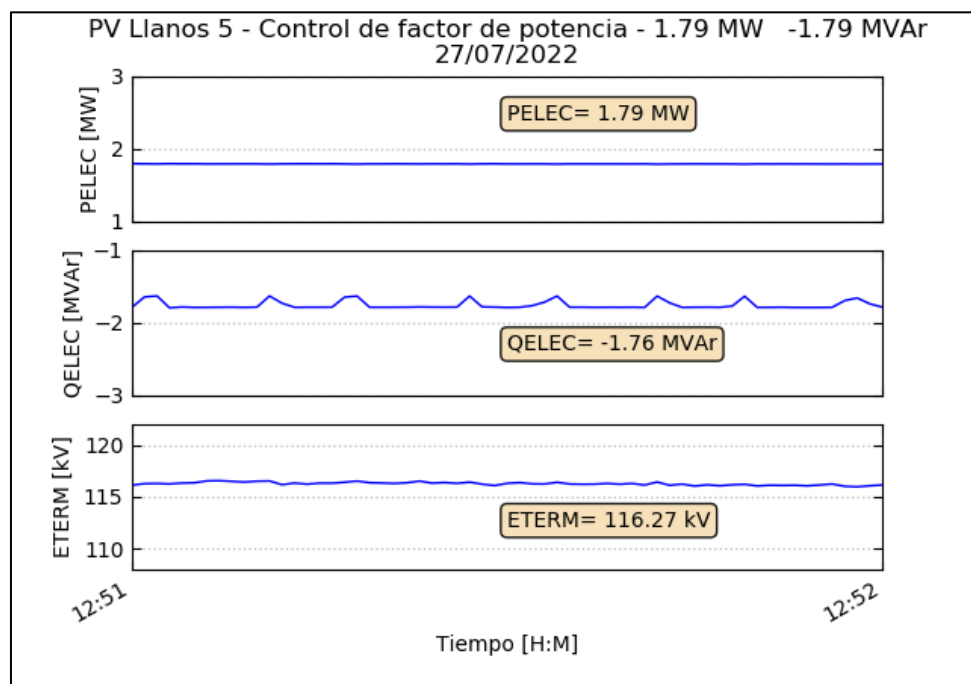


Figura 6.3 - Registro Punto 1. Control de factor de potencia.



## 6.2 Tendencias - Punto 2

### 6.2.1 Control de Tensión

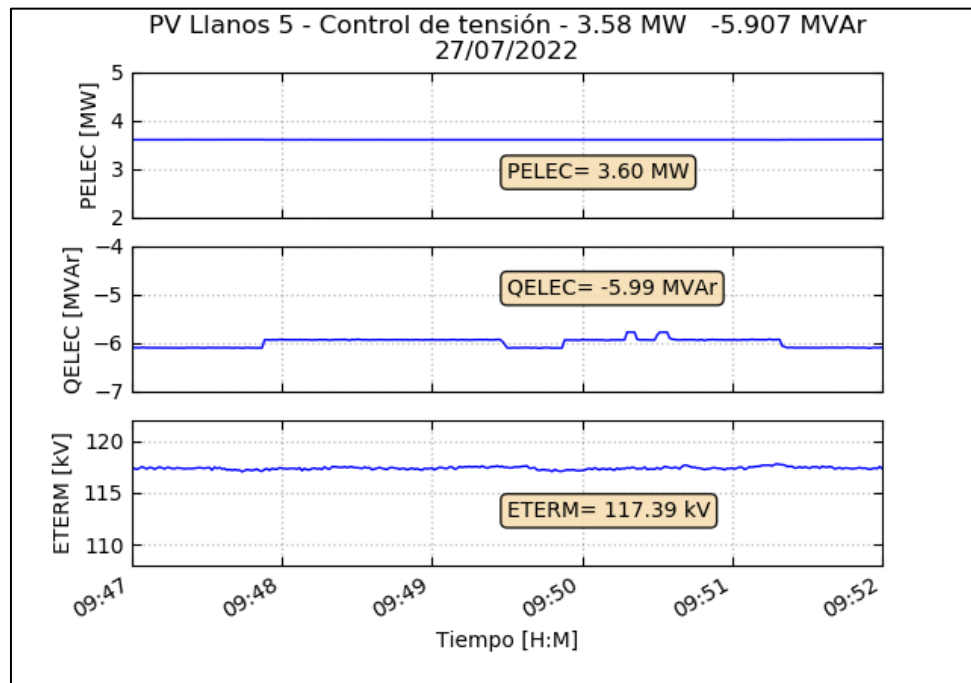


Figura 6.4 - Registro Punto 2. Control de tensión.

### 6.2.2 Control Potencia reactiva

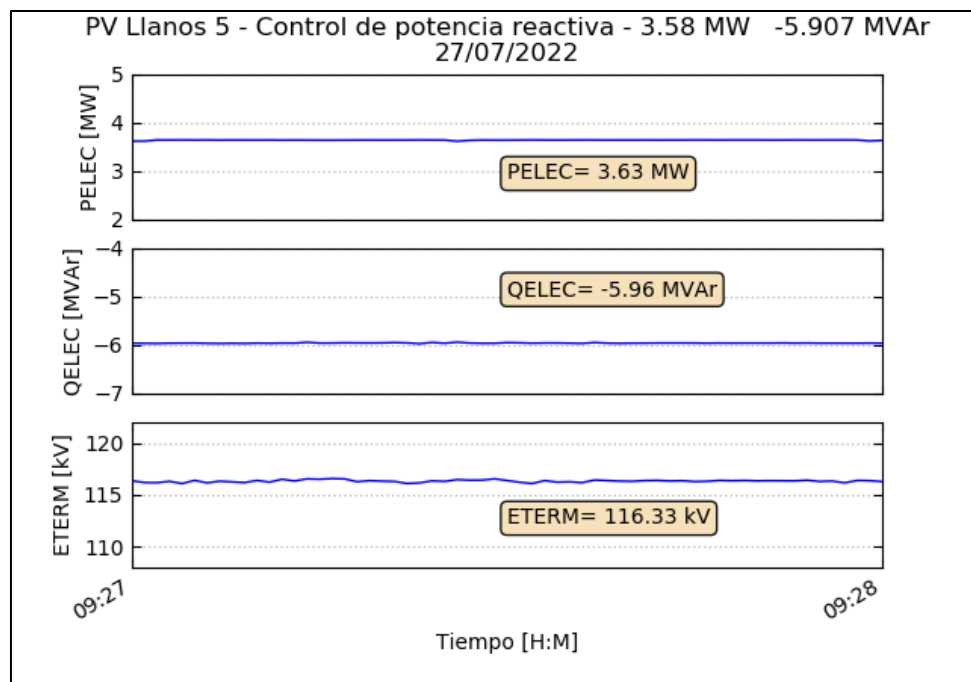


Figura 6.5 - Registro Punto 2. Control de potencia reactiva



### 6.2.3 Control de Factor de Potencia

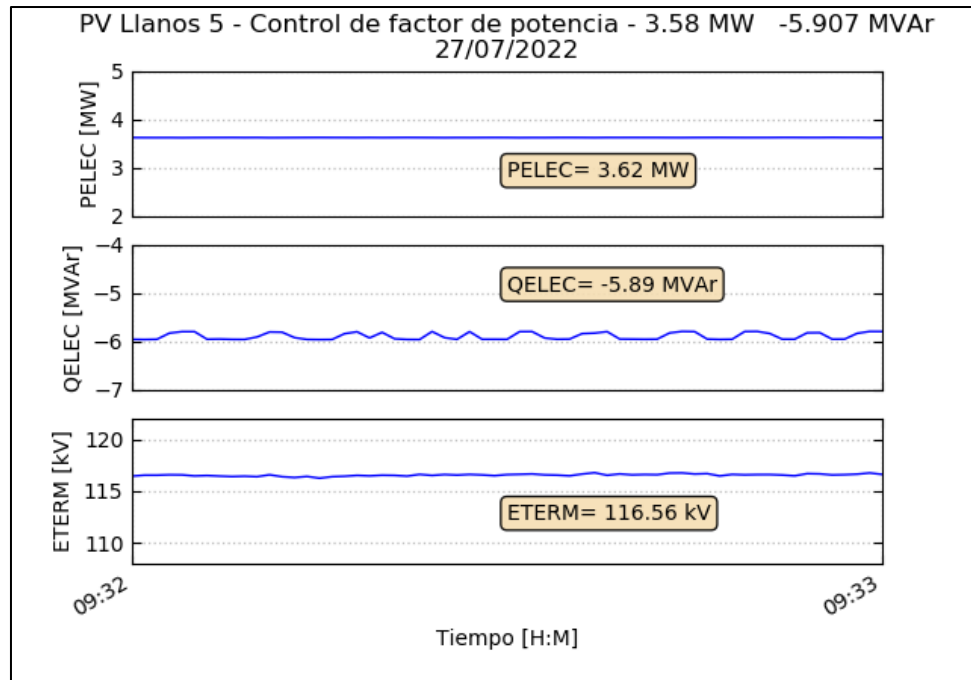


Figura 6.6 - Registro Punto 2. Control de factor de potencia.



## 6.3 Tendencias - Punto 3

### 6.3.1 Control de Tensión

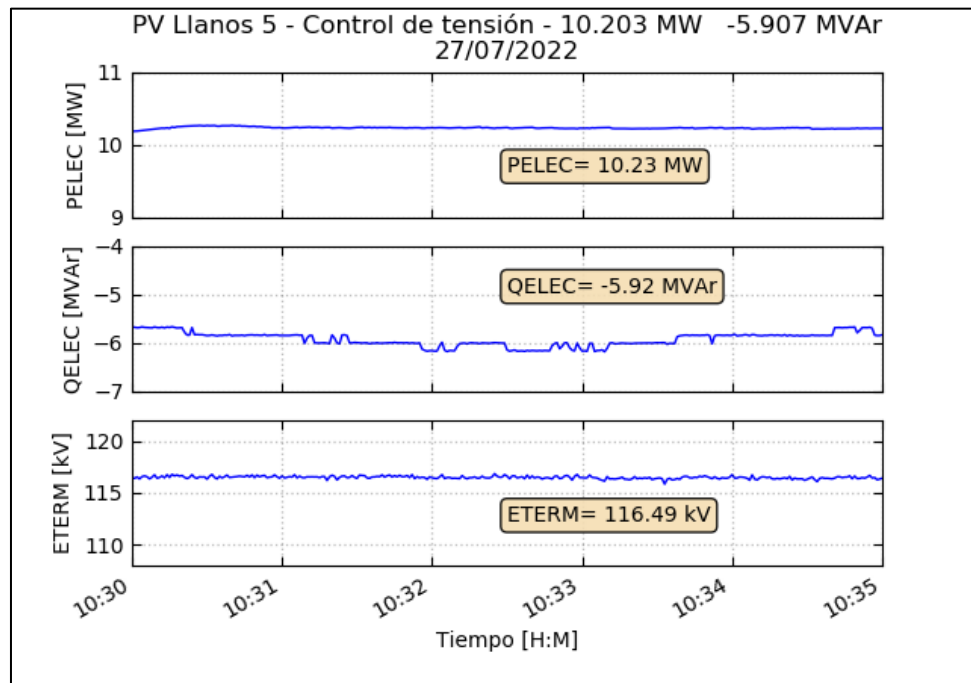


Figura 6.7 - Registro Punto 3. Control de tensión.

### 6.3.2 Control Potencia reactiva

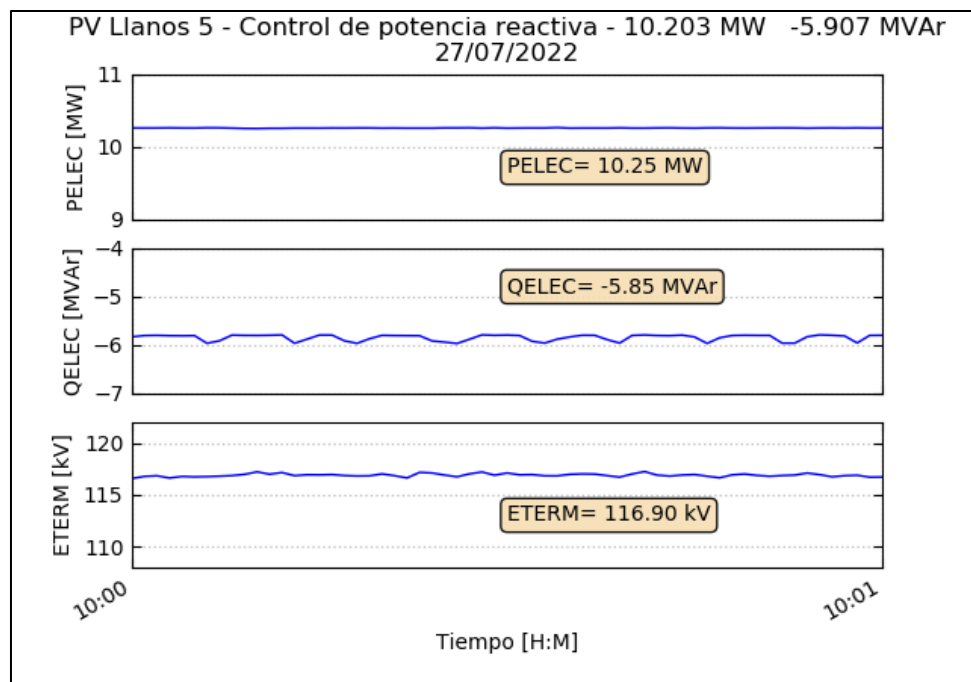


Figura 6.8 - Registro Punto 3. Control de potencia reactiva



### 6.3.3 Control de Factor de Potencia

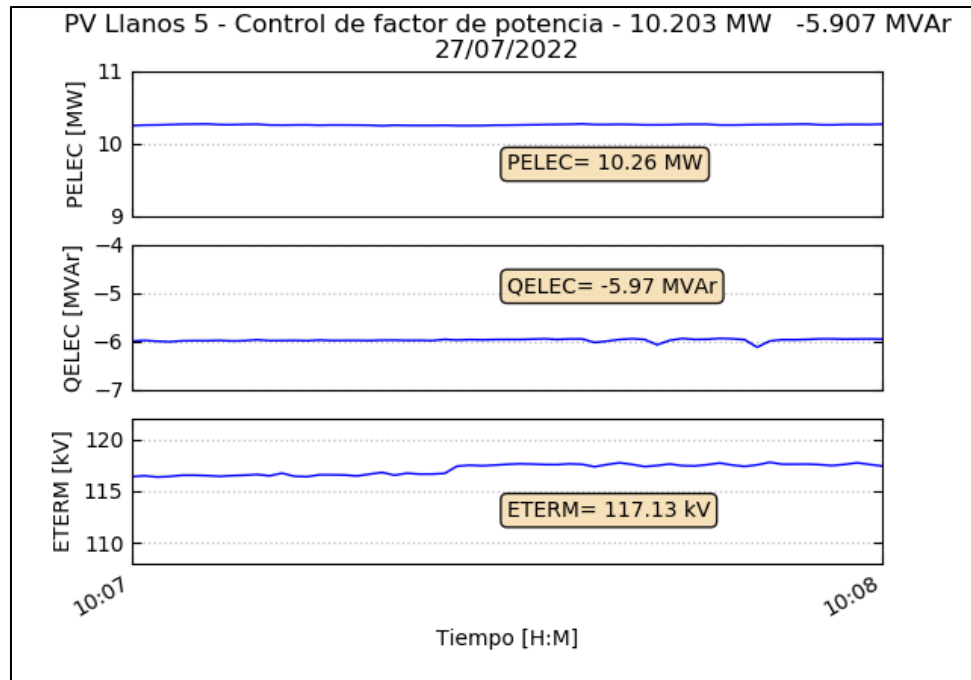


Figura 6.9 - Registro Punto 3. Control de factor de potencia.



## 6.4 Tendencias - Punto 4

### 6.4.1 Control de Tensión

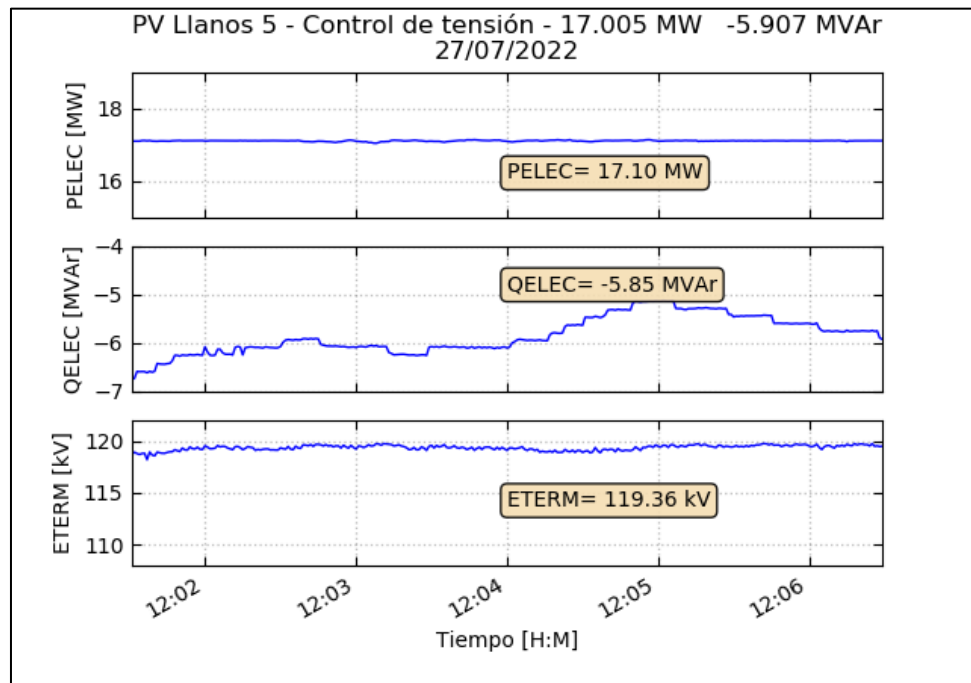


Figura 6.10 - Registro Punto 4. Control de tensión.

### 6.4.2 Control Potencia reactiva

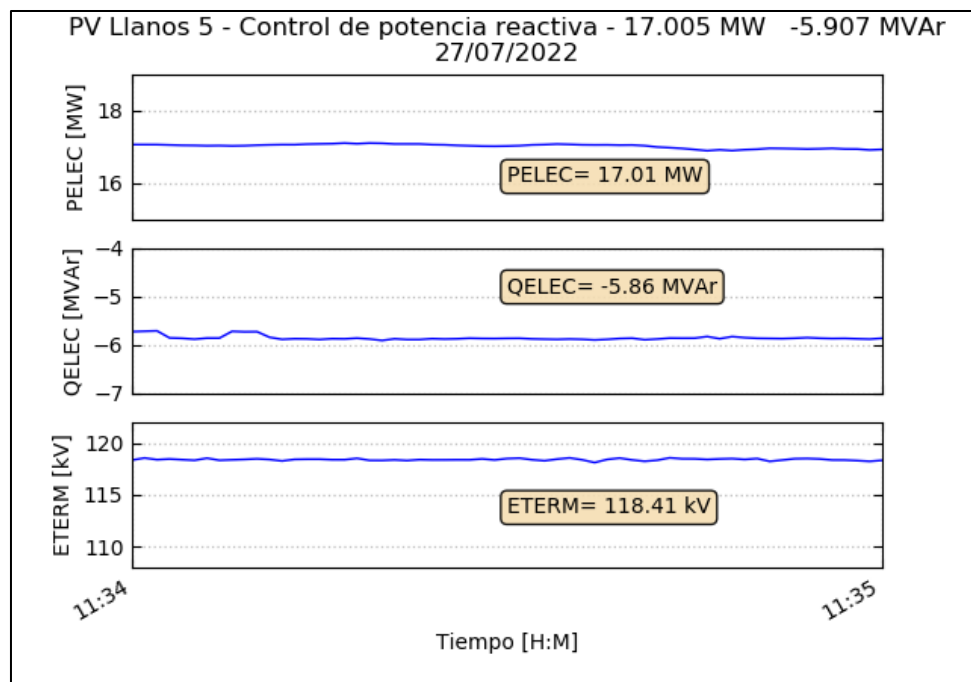


Figura 6.11 - Registro Punto 4. Control de potencia reactiva



### 6.4.3 Control de Factor de Potencia

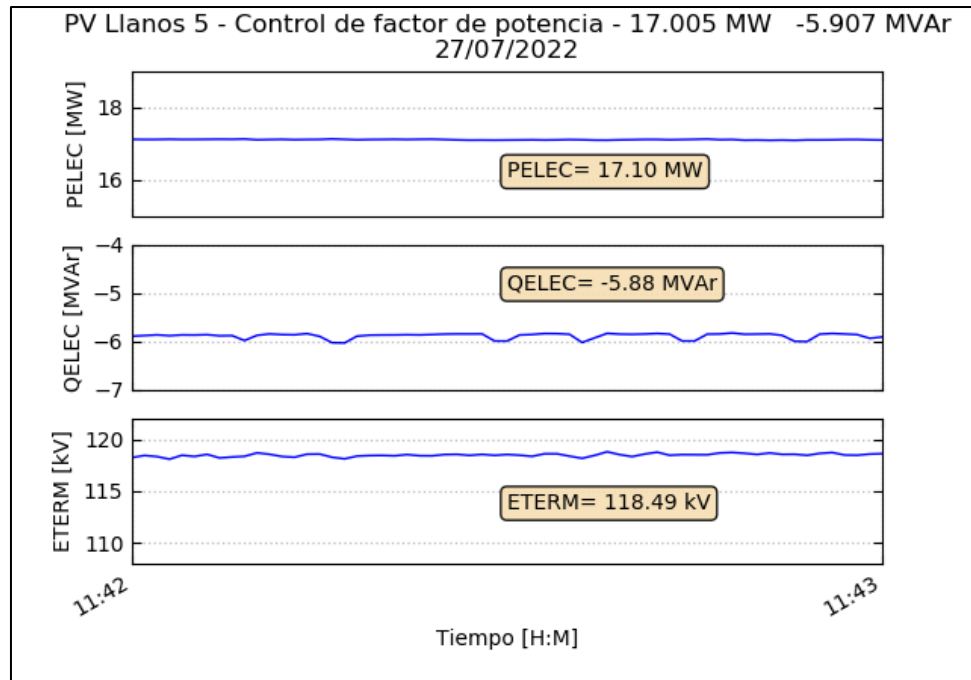


Figura 6.12 - Registro Punto 4. Control de factor de potencia.



## 6.5 Tendencias - Punto 5

### 6.5.1 Control de Tensión

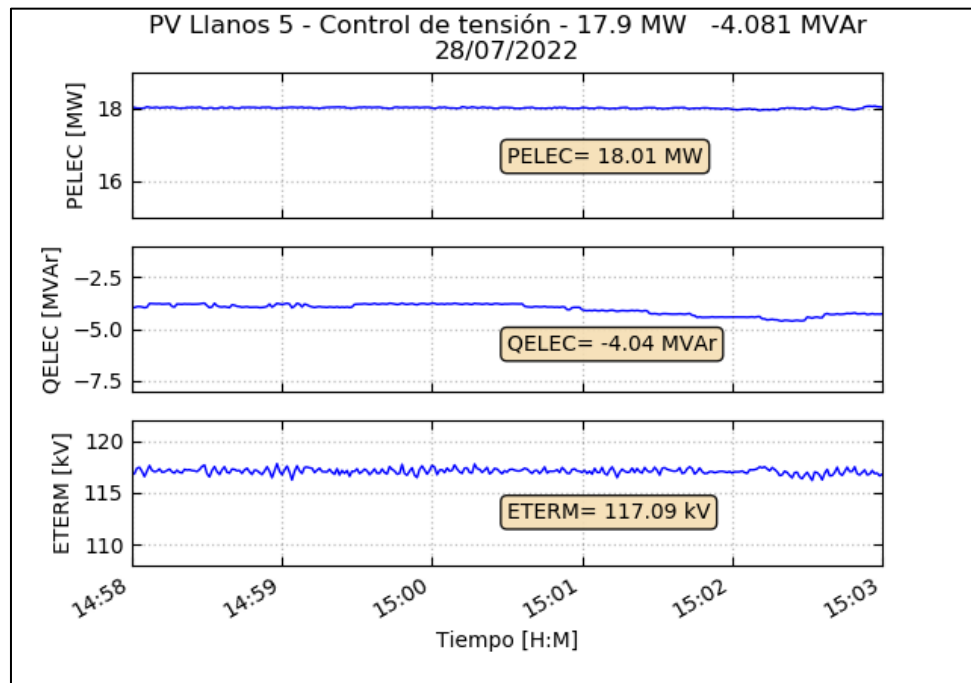


Figura 6.13 - Registro Punto 5. Control de tensión.

### 6.5.2 Control Potencia reactiva

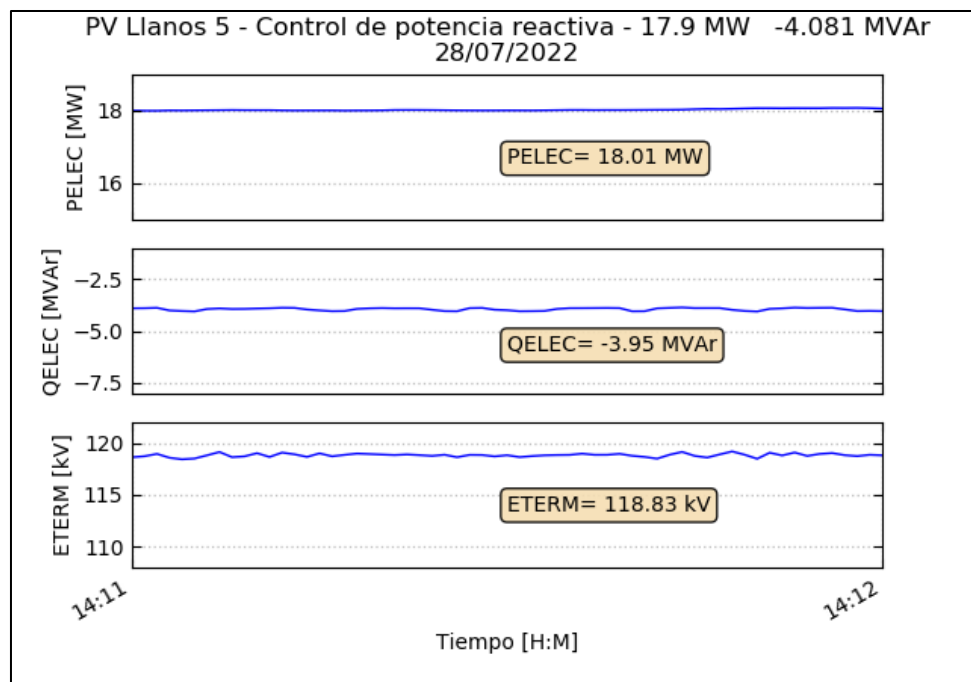


Figura 6.14 - Registro Punto 5. Control de potencia reactiva



### 6.5.3 Control de Factor de Potencia

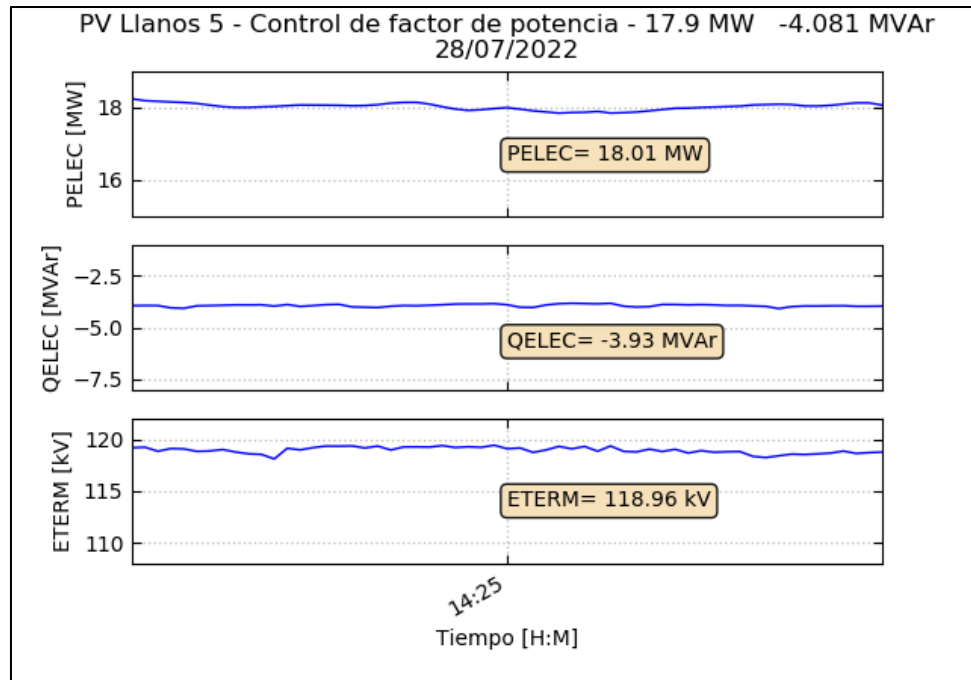


Figura 6.15 - Registro Punto 5. Control de factor de potencia.



## 6.6 Tendencias - Punto 6

### 6.6.1 Control de Tensión

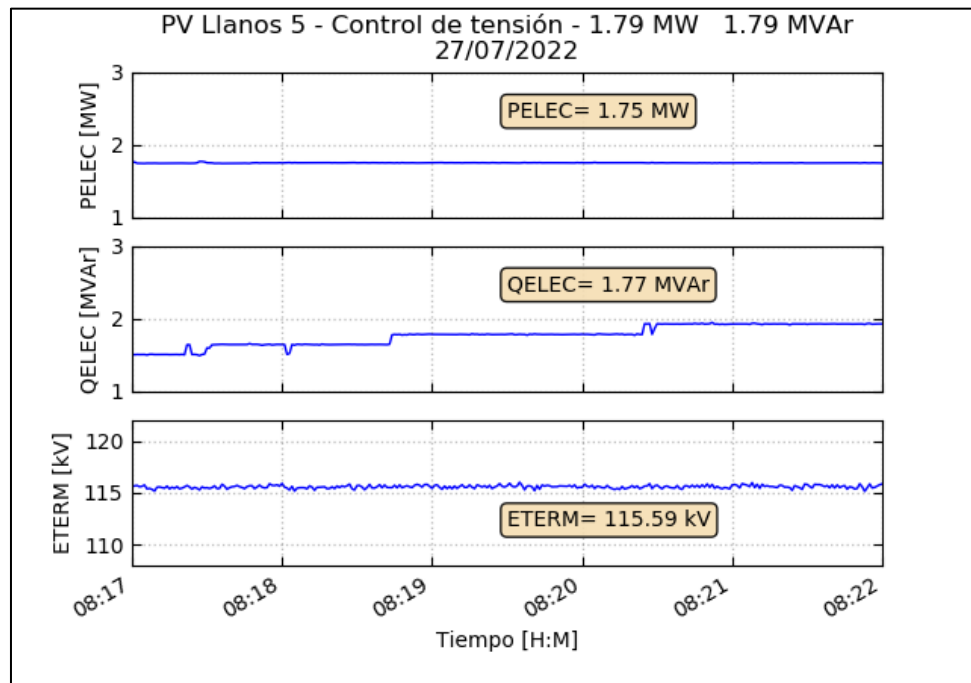


Figura 6.16 - Registro Punto 6. Control de tensión.

### 6.6.2 Control Potencia reactiva

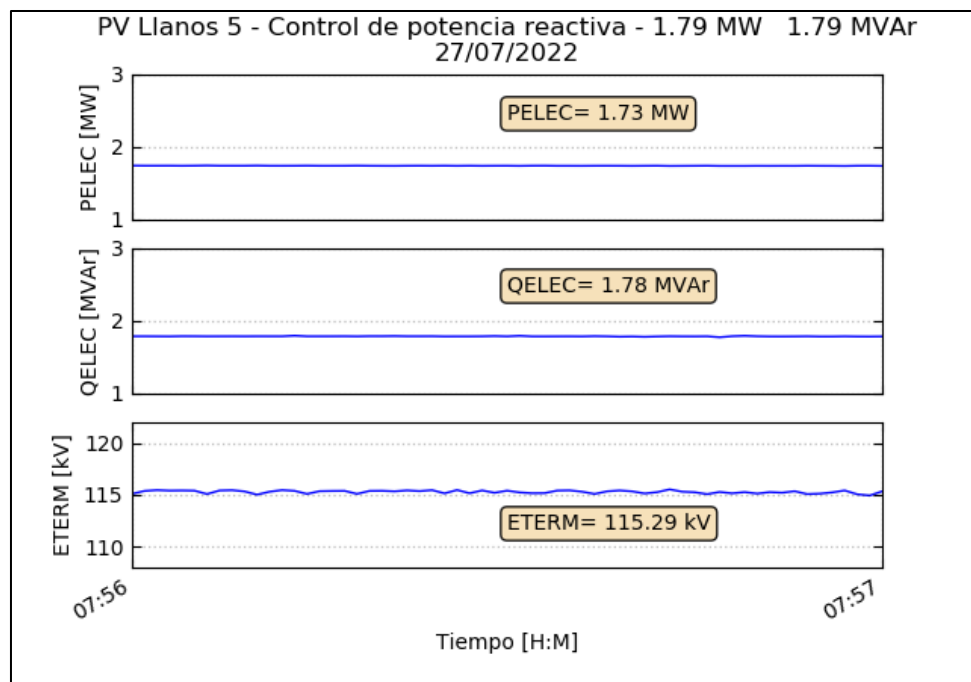


Figura 6.17 - Registro Punto 6. Control de potencia reactiva



### 6.6.3 Control de Factor de Potencia

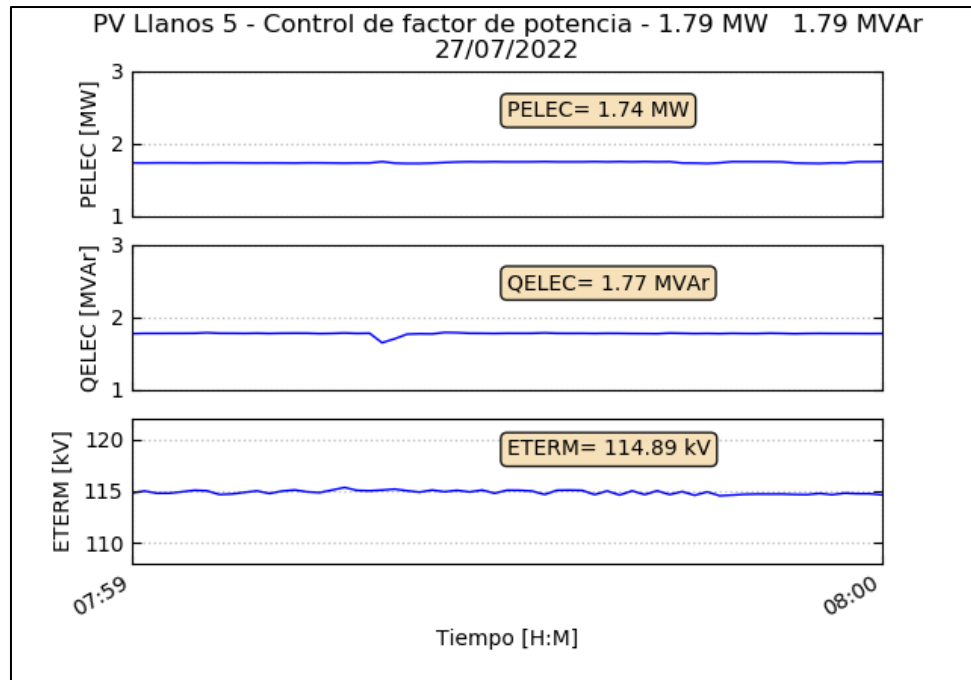


Figura 6.18 - Registro Punto 6. Control de factor de potencia.



## 6.7 Tendencias - Punto 7

### 6.7.1 Control de Tensión

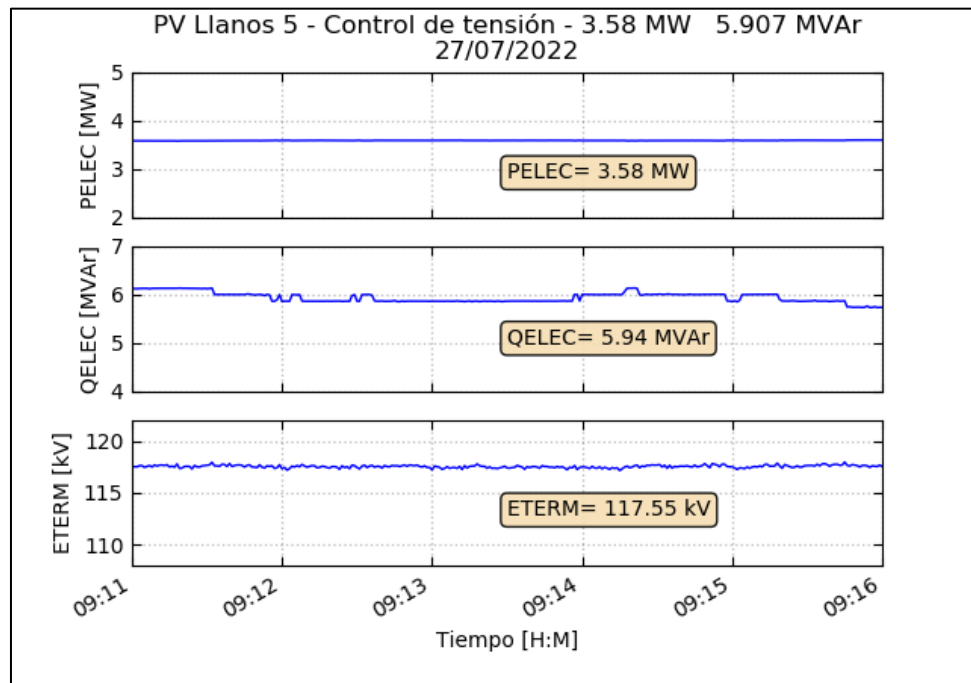


Figura 6.19 - Registro Punto 7. Control de tensión.

### 6.7.2 Control Potencia reactiva

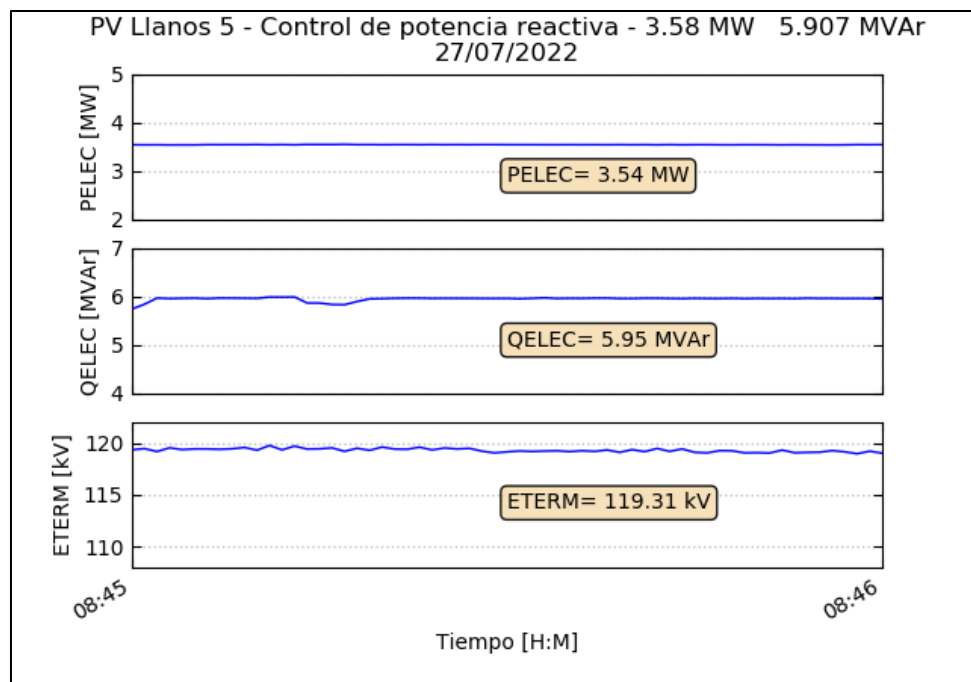


Figura 6.20 - Registro Punto 7. Control de potencia reactiva



### 6.7.3 Control de Factor de Potencia

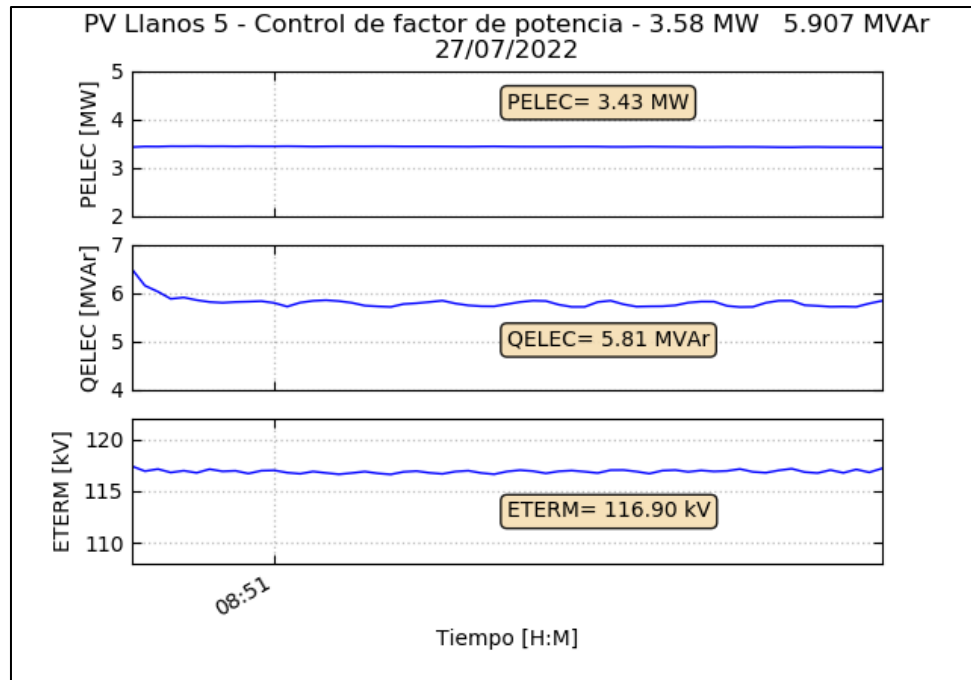


Figura 6.21 - Registro Punto 7. Control de factor de potencia.



## 6.8 Tendencias - Punto 8

### 6.8.1 Control de Tensión

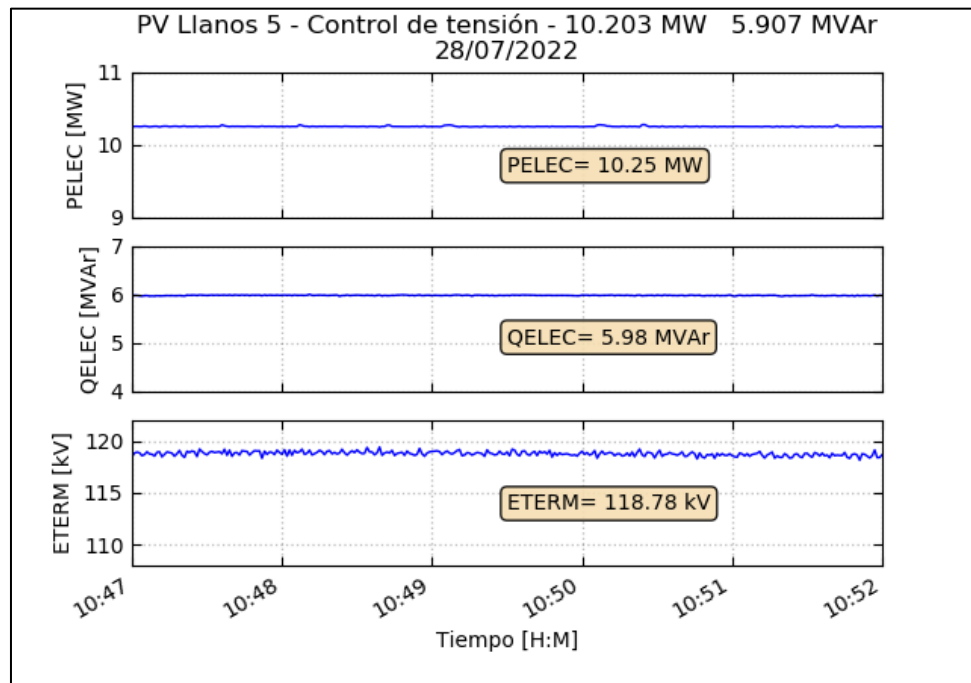


Figura 6.22 - Registro Punto 8. Control de tensión.

### 6.8.2 Control Potencia reactiva

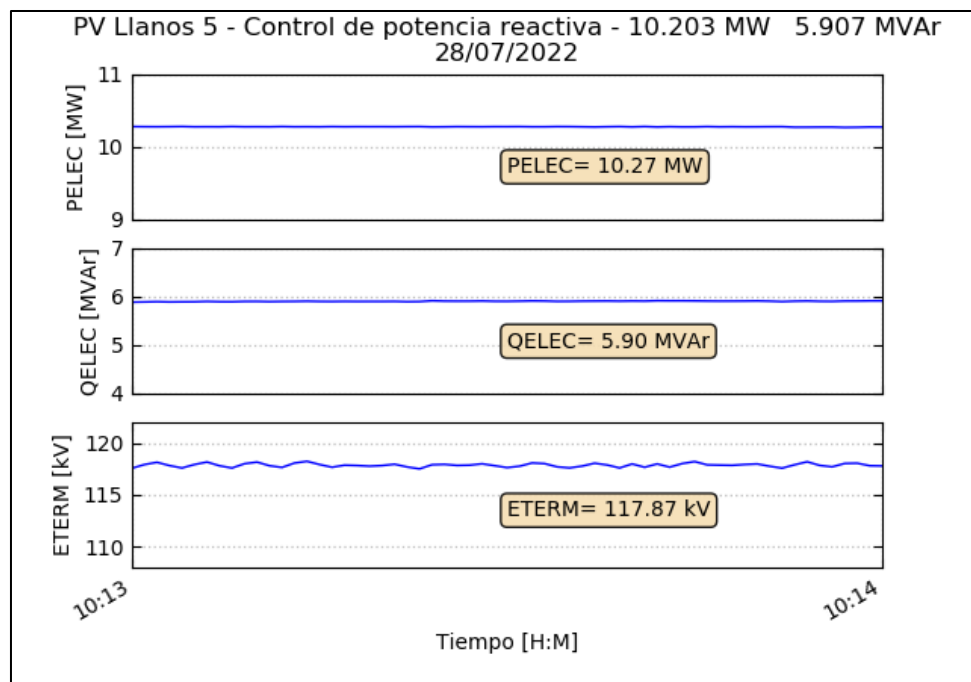


Figura 6.23 - Registro Punto 8. Control de potencia reactiva



### 6.8.3 Control de Factor de Potencia

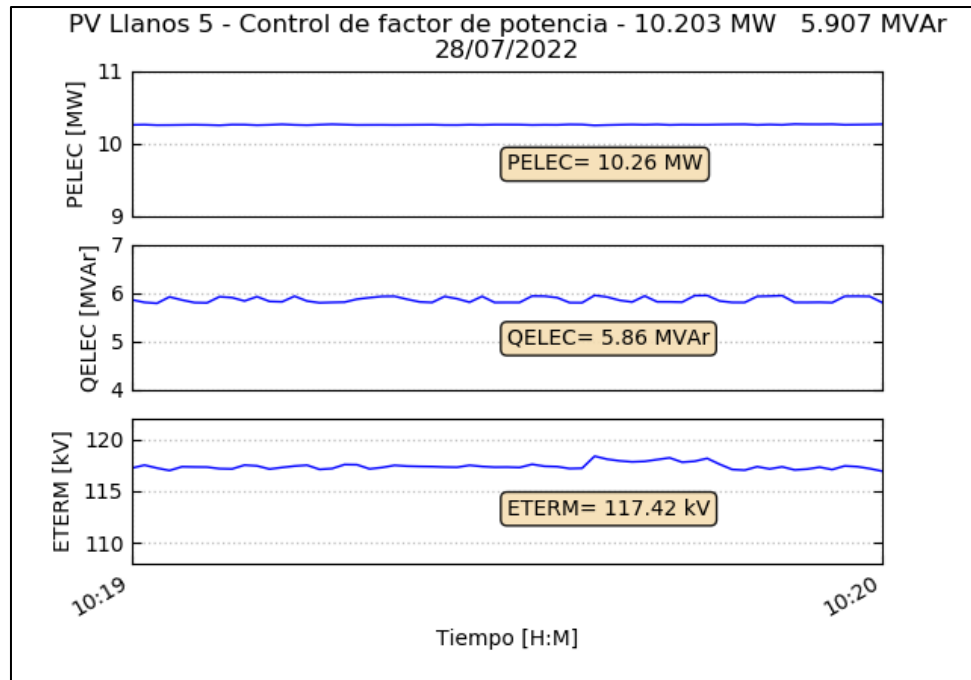


Figura 6.24 - Registro Punto 8. Control de factor de potencia.



## 6.9 Tendencias - Punto 9

### 6.9.1 Control de Tensión

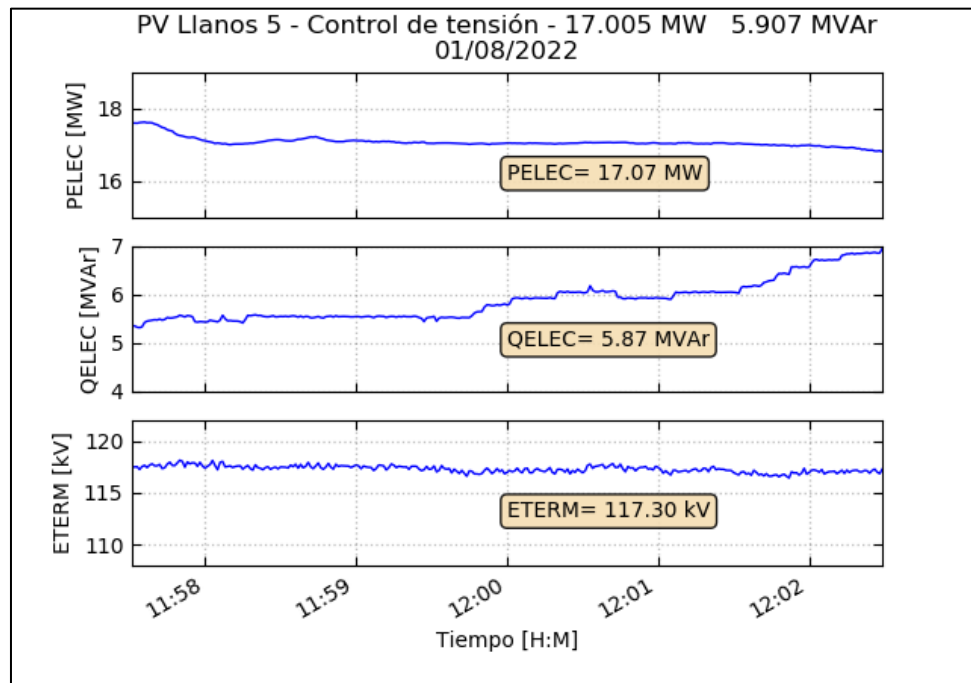


Figura 6.25 - Registro Punto 9. Control de tensión.

### 6.9.2 Control Potencia reactiva

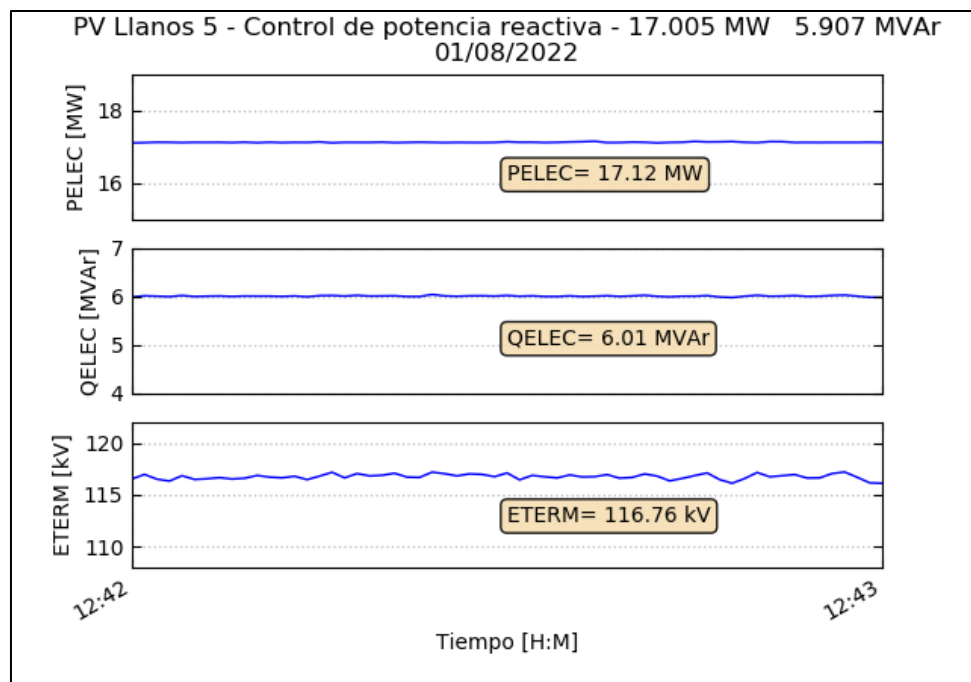


Figura 6.26 - Registro Punto 9. Control de potencia reactiva



### 6.9.3 Control de Factor de Potencia

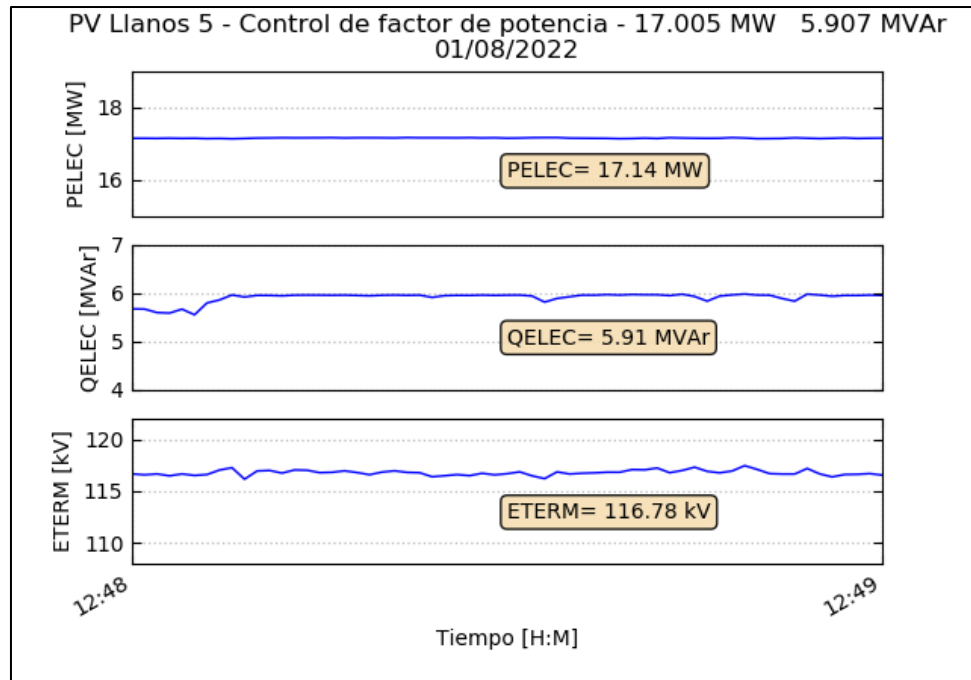


Figura 6.27 - Registro Punto 9. Control de factor de potencia.



## 6.10 Tendencias - Punto 10

### 6.10.1 Control de Tensión

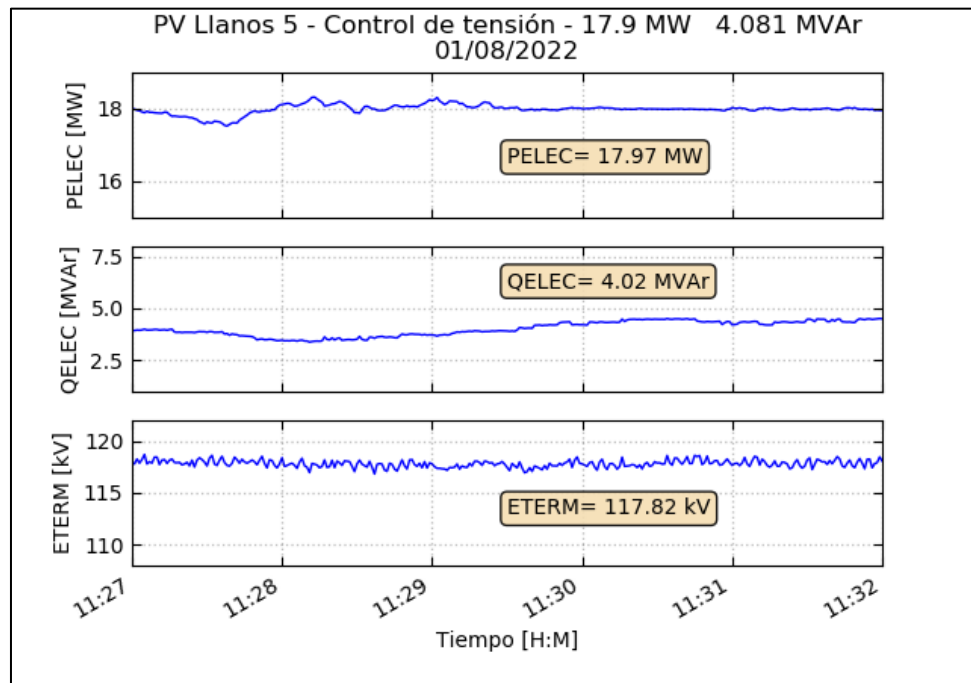


Figura 6.28 - Registro Punto 10. Control de tensión.

### 6.10.2 Control Potencia reactiva

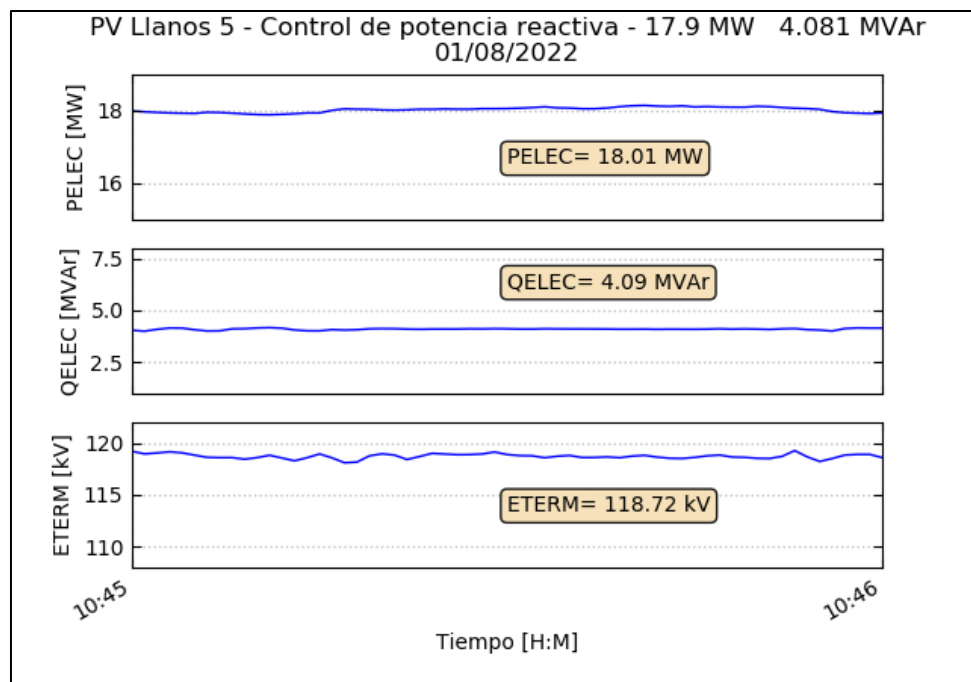


Figura 6.29 - Registro Punto 10. Control de potencia reactiva



### 6.10.3 Control de Factor de Potencia

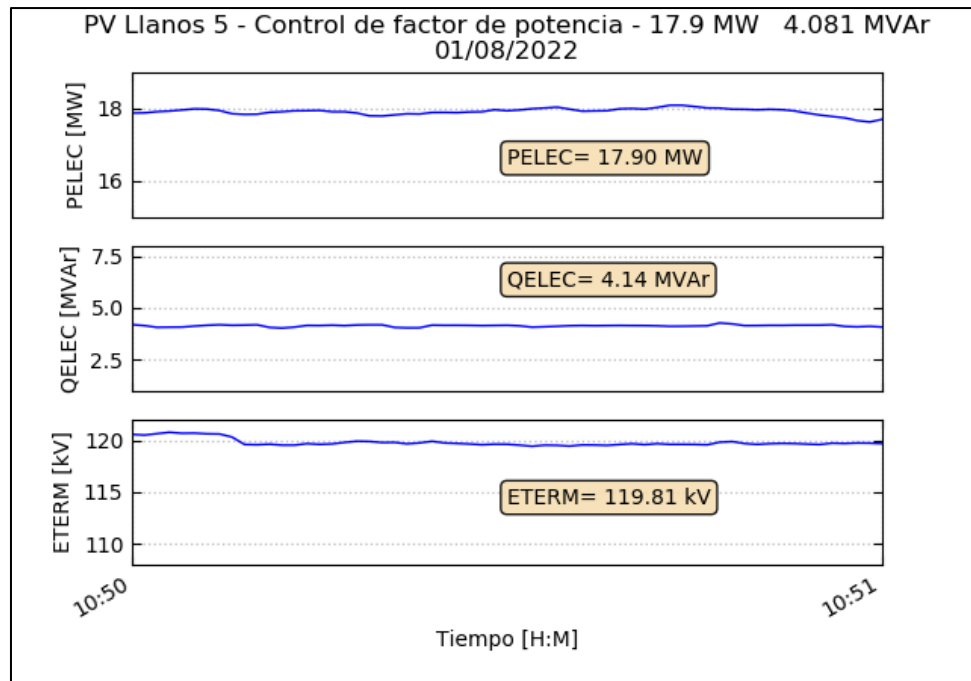


Figura 6.30 - Registro Punto 10. Control de factor de potencia.



## 7 CONCLUSIONES

La central Bosque Solar Los Llanos 5 ha sido sometida a una Auditoría de Pruebas de Potencia Reactiva. La misma ha sido llevada a cabo bajo los lineamientos establecidos en el Acuerdo CNO nº1563.

En función de lo realizado puede concluirse que:

- Se alcanzaron todos los puntos definidos para dar cumplimiento con las pruebas de la curva de capacidad en la región de absorción y entrega de potencia reactiva.
- Se realizaron maniobras operativas para alcanzar los puntos definidos con el CND.
- Durante las pruebas no se presentaron alarmas relacionadas con la planta, sus límites o temperaturas máximas.

En el presente documento han sido expuestos los resultados de las pruebas realizadas. Con base en estos resultados y en la auditoría realizada, se determina que la central Bosque Solar Los Llanos 5:

### **CUMPLE CON LA CURVA DE CAPACIDAD DECLARADA**

Nombre de la Empresa: ESTUDIOS ELÉCTRICOS SA

Nombre del Auditor: Ing. Claudio Celman

Fecha: 19/08/2022

  
Firma del Auditor:



## 8 ANEXOS

### 8.1 Configuración de la planta. Documento 209-LL5-PFV-ENG-GEN-INF-JEJ-002

| CONFIGURACION DE LA PLANTA<br>PFV LOS LLANOS 5 25,005 MWp |                                        |                 |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|
| INFO GENERAL                                              |                                        |                 |
| Site Name                                                 | Planta FV – Los llanos 5               |                 |
| Country                                                   | Colombia                               |                 |
| Coordinates                                               | Lat: 4°12'36.31"N; Long: 72° 2'10.82"O |                 |
| Area de Implantacion:                                     | 40,8 ha                                |                 |
| Altitude                                                  | 200 msnm                               |                 |
| Pot. Instalada AC (40°C)                                  | 22,644 MVA                             |                 |
| Pot. Instalada DC                                         | 25.005.800,00 Wp                       |                 |
| Ratio DC / AC (40°C)                                      | 1,104                                  |                 |
| Max power allowed to inject [MW]                          | 17,9 MW                                |                 |
| MÓDULOS PV                                                |                                        |                 |
| Manufacturer                                              | Trina Solar                            |                 |
| Model                                                     | TSM-DEG19C.20                          | TSM-DEG19C.20   |
| Module Type                                               | Bifacial                               | Bifacial        |
| Peak Power of Modules (Wp)                                | 540,00 Wp                              | 535,00 Wp       |
| Nº of Modules                                             | 27.800                                 | 18.680          |
| Peak power (Wp)                                           | 15.012.000,00 Wp                       | 9.993.800,00 Wp |
| PV Modules per string                                     | 40                                     | 40              |
| Nº Total of Strings                                       | 1.162                                  |                 |
| Nº Total of Modules                                       | 46.480                                 |                 |
| Peak Power of PV Plant (Wp)                               | 25.005.800,00 Wp                       |                 |
| INVERSORES (String Inverters)                             |                                        |                 |
| Manufacturer                                              | HUAWEI                                 |                 |
| Model                                                     | SUN2000-215KTL-H3                      |                 |
| Nº total of Inverters                                     | 111                                    |                 |
| Tensión máxima DC                                         | 1500 V                                 |                 |

Figura 8.1 – Configuración de la planta. Parte 1



|                                                    |                         |                       |                         |
|----------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Tensión nominal AC                                 | 800 V                   |                       |                         |
| Power of inverter (25°C)                           | 215 kVA                 |                       |                         |
| Power of inverter (40°C)                           | 204 kVA                 |                       |                         |
| Nº strings / inverter                              | 10, 11 y 12             |                       |                         |
| Inverter Power Installed @40°C                     | 22,644 MVA              |                       |                         |
| CENTROS DE TRANSFORMACIÓN                          |                         |                       |                         |
| Manufacturer                                       | HUAWEI                  |                       |                         |
| Model                                              | STS-3000K-H1            |                       |                         |
| Nº of Transformation Centers Units 3,25 MVA (40°C) | 1                       |                       |                         |
| Model                                              | STS-6000K-H1            |                       |                         |
| Nº of Transformation Centers Units 6,5 MVA (40°C)  | 3                       |                       |                         |
| INVERSORES DE 10, 11 Y 12 STRINGS                  |                         |                       |                         |
| Type                                               | Bifacial                |                       |                         |
| Nº of Strings / inverter                           | 12                      | 11                    | 10                      |
| Nº of inverter                                     | 25                      | 2                     | 84                      |
| Nº of Modules / inverter                           | 480                     | 440                   | 400                     |
| Nº of modules                                      | 12.000                  | 880                   | 33.600                  |
| Nº of Strings                                      | 300                     | 22                    | 840                     |
| Peak Power / inverter                              | 259,20 kWp / 256,80 kWp | 237,6 kWp / 235,4 kWp | 216,00 kWp / 214,00 kWp |
| Ratio DC / AC (40°C)                               | 1,27 / 1,258            | 1,164 / 1,153         | 1,058 / 1,05            |
| ESTRUCTURA PV                                      |                         |                       |                         |
| Manufacturer                                       | Arctech                 |                       |                         |
| Configuration table                                | 1Vx40                   | 1Vx80                 |                         |
| Tilt                                               | ±55°                    |                       |                         |
| Azimuth                                            | 0°                      |                       |                         |
| Pitch [m]                                          | 6,4                     |                       |                         |
| Modules / table 1Vx40                              | 80                      |                       |                         |
| Modules / table 1Vx80                              | 40                      |                       |                         |
| Nº Total of trackers by types                      | 104                     | 529                   |                         |
| Nº Total of trackers                               | 633                     |                       |                         |

Figura 8.2 – Configuración de la planta. Parte 2.



## 8.2 Curva de capacidad

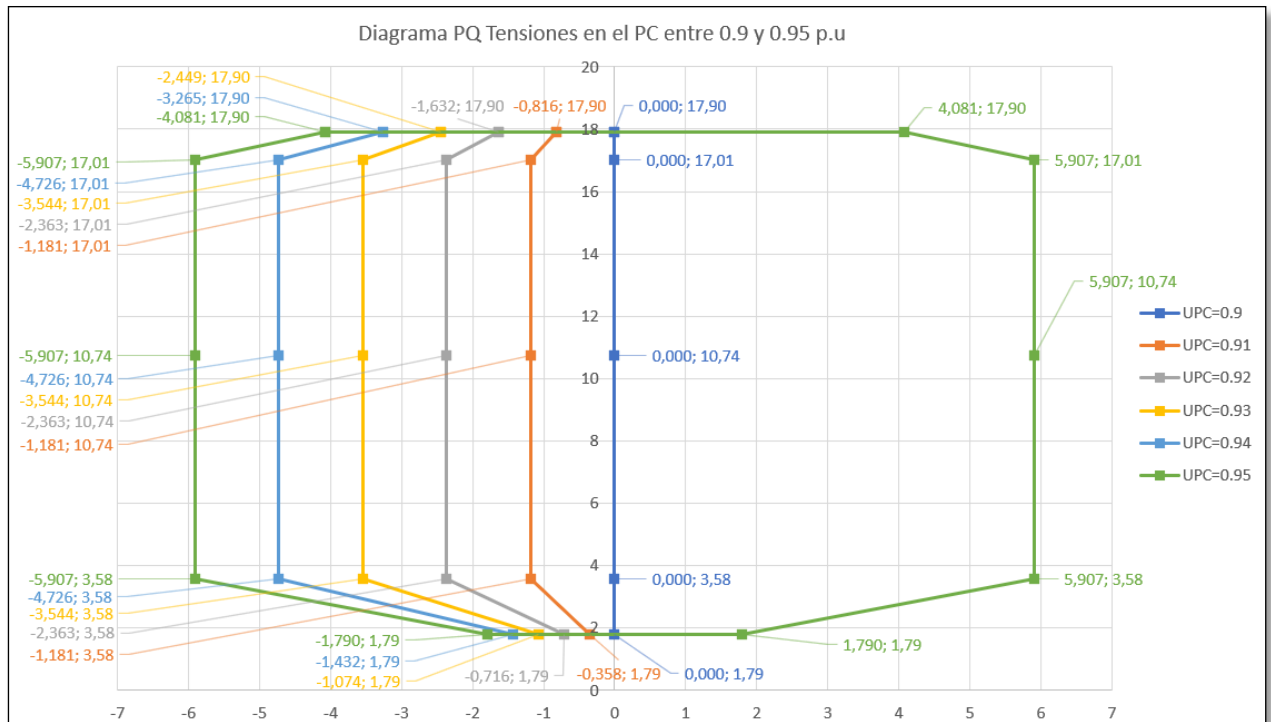


Figura 8.3 – Curva de capacidad con corrección por tensión. Zona de absorción.

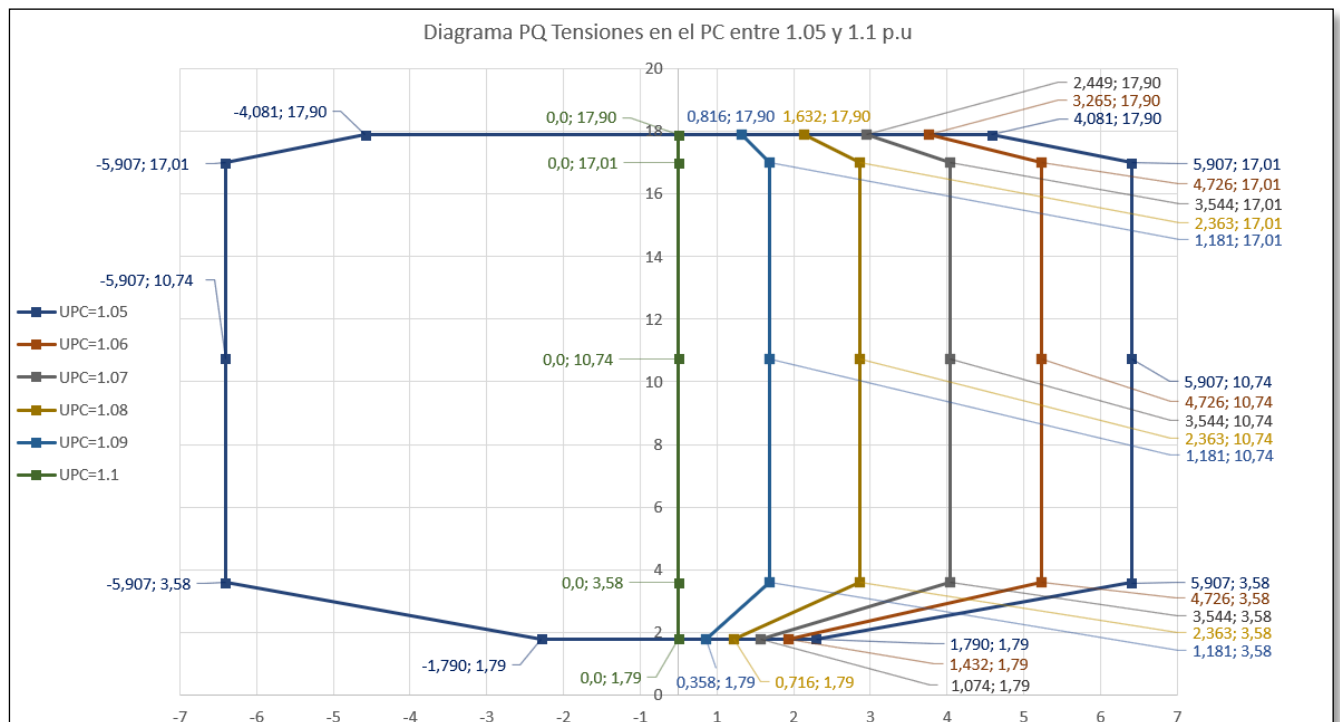


Figura 8.4 – Curva de capacidad con corrección por tensión. Zona de inyección (simétricos a los de absorción).



| Curvas PQ valores de P y Q en MW/MVA |       |                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|-------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                      |       | Tensión en el PC en p.u |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                                      |       | 0.9                     | 0.91   | 0.92   | 0.93   | 0.94   | 0.95   | 1.05   | 1.06   | 1.07   | 1.08   | 1.09   | 1.1    |
| Potencia activa en el PC             | 17.90 | 0.000                   | -0.816 | -1.632 | -2.449 | -3.265 | -4.081 | -4.081 | -4.081 | -4.081 | -4.081 | -4.081 | -4.081 |
|                                      | 17.01 | 0.000                   | -1.181 | -2.363 | -3.544 | -4.726 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 |
|                                      | 10.74 | 0.000                   | -1.181 | -2.363 | -3.544 | -4.726 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 |
|                                      | 3.58  | 0.000                   | -1.181 | -2.363 | -3.544 | -4.726 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 | -5.907 |
|                                      | 1.79  | 0.000                   | -0.358 | -0.716 | -1.074 | -1.432 | -1.790 | -1.790 | -1.790 | -1.790 | -1.790 | -1.790 | -1.790 |
|                                      | 1.79  | 1.790                   | 1.790  | 1.790  | 1.790  | 1.790  | 1.790  | 1.790  | 1.432  | 1.074  | 0.716  | 0.358  | 0.0    |
|                                      | 3.58  | 5.907                   | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 4.726  | 3.544  | 2.363  | 1.181  | 0.0    |
|                                      | 10.74 | 5.907                   | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 4.726  | 3.544  | 2.363  | 1.181  | 0.0    |
|                                      | 17.01 | 5.907                   | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 5.907  | 4.726  | 3.544  | 2.363  | 1.181  | 0.0    |
|                                      | 17.90 | 4.081                   | 4.081  | 4.081  | 4.081  | 4.081  | 4.081  | 4.081  | 3.265  | 2.449  | 1.632  | 0.816  | 0.0    |

Tabla 8-1: Valores tabulados de la curva de carga con dependencia por tensión



## 8.3 Procedimiento de ensayos

### 8.3.1 Verificación de la Curva en la Región de absorción de potencia reactiva

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe seguir el siguiente procedimiento, el cual aplica tanto para las pruebas auditadas en campo, como para las pruebas validadas por el auditor a través de registros.

1. Coordinar con el centro de control del CND el inicio de la prueba, el cual, a su vez, coordinará las consignas operativas requeridas antes y durante la prueba. Estas consignas pueden incluir consideraciones de topología y despacho particulares para los recursos de generación con el fin de evaluar la curva de cada planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica. La planta se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.

2. Activar el modo de control automático de tensión.

Se evaluará si el control es estable en este modo, caso contrario se revisará la posibilidad de cambiar a modo control de Potencia Reactiva.

3. Durante la realización de esta prueba se registrarán las potencias activa, reactiva y la tensión en el punto de conexión con una resolución mínima de un dato por segundo utilizando el registrador.
4. Con la planta controlando tensión (o Potencia Reactiva si correspondiera) a 1pu o la consigna definida por el CND, se solicitará al despacho elevar la tensión en las barras de alta de la planta para llegar al valor de potencia reactiva requerido. Para lograr este valor, se pueden utilizar otras unidades de la zona de influencia, igualmente puede hacerse uso de equipos de compensación de reactivos o cambiadores de tomas de transformadores, en cuyo caso el CND coordinará las acciones necesarias para lograr el objetivo, sin violar los límites establecidos en tensiones o cargabilidad de elementos del sistema.
5. Si agotadas las consignas, la planta no puede llegar al límite esperado de absorción de reactiva por condiciones del sistema, este punto será declarado como Conforme y se consignará esta situación en el informe de resultados de la prueba.



6. Después de obtenido el valor de potencia reactiva máximo requerido a la potencia activa seleccionada, la planta debe ser mantenida en este punto de operación mínimo durante 5 minutos para el registro de las variables de la prueba.
7. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en el modo de control de tensión, se conmutará a modo de control a potencia reactiva y factor de potencia. En esta condición se registrará por un período de 1 minuto en cada modo, según lo indicado en el paso 3. Se deberán realizar las operaciones necesarias para asegurar una conmutación suave entre modos. Según el caso la variable a controlar puede ser factor de potencia, potencia reactiva o tensión.
8. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en todos los modos de control, se debe realizar el mismo procedimiento anterior para los otros puntos acordados entre XM y el agente, teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.

**Nota:** De lo establecido en el acuerdo, si no fuese posible alcanzar el valor de potencia activa nominal durante las pruebas, se revisarán registros disponibles que puedan haber estado en esta condición. Caso contrario, el agente deberá ofertar la prueba a nivel de despacho para este punto y seguir los pasos del 1 al 7 durante la prueba. Luego de esto los registros deberán ser enviados a Estudios Eléctricos para su revisión.



### 8.3.2 Verificación de la Curva en la Región de entrega de potencia reactiva

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe seguir el siguiente procedimiento, el cual aplica tanto para las pruebas auditadas en campo, como las pruebas validadas por el auditor a través de registros.

1. Coordinar con el centro de control del CND el inicio de la prueba, el cual, a su vez, coordinará las consignas operativas requeridas antes y durante la prueba. Estas consignas pueden incluir consideraciones de topología y despacho particulares para los recursos de generación con el fin de evaluar la curva de cada planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica. La planta se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.

2. Activar el modo de control automático de tensión.

Se evaluará si el control es estable en este modo, caso contrario se revisará la posibilidad de cambiar a modo control de Potencia Reactiva.

3. Durante la realización de esta prueba se registrará las potencias activa, reactiva y la tensión en el punto de conexión con una resolución mínima de un dato por segundo utilizando el registrador.
4. Con la planta controlando tensión (o Potencia Reactiva si correspondiera) a 1pu o la consigna definida por el CND, se solicitará al despacho bajar la tensión en las barras de alta de la planta para llegar al valor de potencia reactiva requerido. Para lograr este valor, se pueden utilizar otras unidades de la zona de influencia, igualmente puede hacerse uso de equipos de compensación de reactivos o cambiadores de tomas de transformadores, en cuyo caso el CND coordinará las acciones necesarias para lograr el objetivo, sin violar los límites establecidos en tensiones o cargabilidad de elementos del sistema.
5. Si agotadas las consignas, la planta no puede llegar al límite esperado de entrega de reactiva por condiciones del sistema, este punto será declarado como Conforme y se consignará esta situación en el informe de resultados de la prueba.



6. Después de obtenido el valor de potencia reactiva máximo requerido a la potencia activa seleccionada, la planta debe ser mantenida en este punto de operación mínimo durante 5 minutos para el registro de las variables de la prueba.
7. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en el modo de control de tensión, se conmutará a modo de control a potencia reactiva y factor de potencia. En esta condición se registrará por un período de 1 minuto en cada modo, según lo indicado en el paso 3. Se deberán realizar las operaciones necesarias para asegurar una conmutación suave entre modos. Según el caso la variable a controlar puede ser factor de potencia, potencia reactiva o tensión.
8. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en todos los modos de control, se debe realizar el mismo procedimiento anterior para los otros puntos acordados entre XM y el agente, teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.

**Nota:** De lo establecido en el acuerdo, si no fuese posible alcanzar el valor de potencia activa nominal durante las pruebas, se revisarán registros disponibles que puedan haber estado en esta condición. Caso contrario, el agente deberá ofertar la prueba a nivel de despacho para este punto y seguir los pasos del 1 al 7 durante la prueba. Luego de esto los registros deberán ser enviados a Estudios Eléctricos para su revisión.



## 8.4 Certificados de calibración

Smart Energy &  
Power Quality Solutions

### Calibration Report

| Device                 |                                              |
|------------------------|----------------------------------------------|
| Manufacturer           | Janitza electronics GmbH                     |
| Object                 | UMG512                                       |
| Article no.            | 5217011                                      |
| Serial no.             | 4201/5343                                    |
| Firmware               | 5.023                                        |
| Active Energy Accuracy | Class 0.2S IEC 62053-22:2003 (50/60Hz, ..5A) |
| Calibration            |                                              |
| Date                   | August 9, 2021                               |
| Engineer               | Jörg Gath                                    |
| Conditions             |                                              |
| Temperature            | 24,1°C (+/- 1°C)                             |
| Relative humidity      | 36,9% (+/- 10%)                              |
| Equipment              |                                              |
| Manufacturer           | Fluke                                        |
| Model                  | 6100B                                        |
| Serial no.             | 398472759                                    |
| Date of calibration    | December 28, 2020                            |
| Date of recalibration  | December 28, 2021                            |
| Result:                | PASSED                                       |

This document was issued electronically  
and is therefore valid without signature.

**Janitza®**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN****ESTUDIOS ELECTRICOS**

Estudios Eléctricos declara que el instrumento:

| Instrumento         | Número de Serie: | Última Calibración |
|---------------------|------------------|--------------------|
| JANITZA UMG 512 Pro | 4201/5343        | 22/12/2021         |

Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156\_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso.

Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:

| Instrumento                            | Número de Serie | Última Calibración |
|----------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Valija de Inyección<br>Ómicron CMC 356 | GD212M          | 15/06/2021         |

Fecha de evaluación: 22/12/21  
Certificado número: EE-CI-2021-2314

Nombre Inspector: Leiss, Jorge

Firma:



Power System Studies & Power Plant Field  
Testing and Electrical Commissioning



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.