



Estado Plurinacional de Bolivia  
Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas  
Dirección General de Energías Alternativas



Imagen: Archivo GIZ/ Parque fotovoltaico Yunchará

## Informe sobre la inspección de la planta solar fotovoltaica Yunchará, Bolivia

Gestión 2018

MINISTERIO DE  
**ENERGÍAS**

## **PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA DE LA COOPERACIÓN ALEMANA AL DESARROLLO**

La Cooperación Alemana al Desarrollo a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su Programa de Energías Renovables (PEERR) tiene como objetivo brindar asistencia técnica a través del Ministerio de Energías (MEN) a las entidades del sector eléctrico en el área técnica, normativa y formación de capacidades para el desarrollo de las Energías Renovables (EERR) y Eficiencia Energética (EE).

En este contexto, la información contenida en este documento es de carácter referencial y no representa necesariamente la política institucional del Ministerio de Energías ni de las entidades del sector eléctrico.



Implementada por:





**Estado Plurinacional de Bolivia**  
**Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas**  
Dirección General de Energías Alternativas



Imagen: Archivo GIZ/ Parque fotovoltaico Yunchará

## **Informe sobre la inspección de la planta solar fotovoltaica Yunchará, Bolivia**

**Gestión 2018**

MINISTERIO DE  
**ENERGÍAS**

**Ministro de Energías**

Rafaél Alarcón Orihuela

**Viceministro de Electricidad y Energías Alternativas**

Jose Bismar Canelas Revollo

**Director General de Energías Alternativas**

Raúl Gregorio Villarroel Barrientos

**Equipo Técnico**

Rudy Roberto Mamani Quisbert

Publicado por:



Implementada por:



**La Paz – Bolivia**  
2018

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Sistema completo.....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GENERADOR SOLAR</b> .....	<b>4</b>
3.1	Componentes .....	<b>5</b>
3.1.1	Módulos.....	5
3.2	Inspección visual.....	<b>6</b>
3.3	Termografía infrarroja .....	<b>8</b>
3.4	Determinación de potencia.....	<b>13</b>
3.5	Símbolos utilizados en fórmulas y abreviaturas .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>17</b>
4.1	Fotografías de la planta fotovoltaica de Yunchará.....	<b>17</b>

## 1 RESUMEN

La inspección de la planta de energía solar en Yunchará, Bolivia, tuvo lugar el 25 de octubre 2018. La inspección formó parte de un curso sobre sistemas fotovoltaicos conectados a la red. El objetivo de la inspección consistía en capacitar a los participantes en los métodos para las inspecciones del sistema fotovoltaico. Por lo tanto, la cantidad de inspecciones y resultados difieren de la extensión habitual de las inspecciones de un sistema fotovoltaico.

La planta opera desde hace un año y dos semanas. El sitio está cerca de un pequeño lago salado en una meseta alta a un nivel de 3700 m.s.n.m. en la latitud de 21° S.

Al principio se planificó, que el Punto de Conexión (PdC) sea una línea aérea de 24,9 kV existente. Sin embargo, los problemas de control de estabilidad permanente causaron la construcción de una nueva línea a 24,9 kV (que puede llevar hasta 10 MW), la cual se conectará a una próxima subestación a 70 km. El sitio está aislado aproximadamente a 2 km de un pequeño pueblo llamado Copacabana, que es una pequeña población de no más de 100 habitantes principalmente trabajadores que viven allí.

La planta fotovoltaica tiene su propio centro de control equipado con personal permanente, seis personas que trabajan en dos turnos. No hay guardias durante la noche. La planta está protegida por una malla perimetral de 2 m construida sobre pilares de concreto y equipada con varias cámaras para vigilancia permanente: incluso se instaló una cámara infrarroja para la vigilancia nocturna.

El área fotovoltaica cubre solo una parte de toda la planta, por lo tanto, hay mucho espacio para carreteras, viviendas y áreas libres; el espacio al parecer no es un factor limitante.

El personal operativo informó que no hay cobertura de nieve de los módulos en los últimos 12 meses, pero por la mañana hay poca condensación debido a las nubes en la planta fotovoltaica en la mañana. El personal de operación realiza un control diario de la planta, la limpieza del equipo de medición de radiación se realiza con agua hasta 15 días.

Debido a la gran altitud la vegetación crece solo puntualmente. Se planea llevar las ovejas a la planta en el futuro para su limpieza, lo que conlleva riesgos de daños al morderse los cables o al rayar los módulos.

El animal más grande encontrado dentro de la planta son los zorros y no se ha encontrado cría de aves durante la inspección.

### **Nota adicional:**

Existe una pérdida de energía, por lo tanto, se ha calculado el costo de desconexión para una caja de control y conexión, de una cadena de módulos (equivalente a 166 kWp) durante algunas horas: En las condiciones actuales, se cuenta con una tarifa (alta) de 0,1 € / kWh, las pérdidas son de

aproximadamente € 100. - equivalente a 781 BOB por cuatro horas de desconexión de la caja de control y conexión de una cadena de módulos.

Las pruebas que se llevaron a cabo comprendieron los siguientes puntos:

- El diseño y la función de los componentes en relación con el cumplimiento de los estándares establecidos.
- La construcción técnica y el concepto del sistema, incluyendo posibles defectos y anomalías en la instalación.
- El rendimiento de los módulos, medido a través de una muestra representativa de sub-arreglos.
- Efectos térmicos de los módulos y otros componentes eléctricos detectados por termografía infrarroja.

Los hallazgos de esta visita al sitio de inspección se enumeran a continuación:

- Los cables de los módulos se encuentran entrelazados lo que ocasiona esfuerzo adicional en la conexión.
- Se utilizaron diferentes tipos de conectores y se conectaron juntos. Se requiere una confirmación de ambos fabricantes.
- Los cables del módulo fueron expuestos a la radiación solar directa.
- Los sensores en la estación de medición no estaban exactamente en el módulo, en el plano horizontal respectivo.
- Los tubos de cables se montaron con abrazaderas de cables, que no son duraderas.

Sobre la base de una muestra aleatoria del 0,3% de los módulos ET-P672320WW fabricados por Acrossol ET Solar, se calculó una desviación de -0,1% de la potencia nominal. Debido a las incertidumbres de medición del fabricante y de la medición de potencia, no se puede afirmar que la potencia esté fuera de la tolerancia de potencia dada.

La prueba con la cámara infrarroja en aproximadamente el 25% de los módulos no reveló defectos o conexiones con sobrecalentamiento.

Estos resultados son detallados en el capítulo 3.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

**Tabla 1: Objeto de prueba**

Nombre	Planta Fotovoltaica Yunchará
Lugar	Yunchará, Tarija, Bolivia
Coordenadas	21.83709° S 65.10034° E
Altitud	3658 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

### 2.1 Sistema completo

La potencia nominal de Corriente Continua (CC) del sistema fotovoltaico se detalla a continuación. En el cálculo no se incluyeron pérdidas de CA ni de CC. Esto simplemente se refiere a la suma de la potencia de todos los módulos instalados operando a potencia máxima que se enumeran en la hoja de datos.

Potencia nominal  $P_{N,CC} = 6.164 \text{ kWp}$

**Tabla 2: Componentes del sistema**

Componente	Número
Módulos	19.264
Inversores	2

Fuente: Elaboración propia



### 3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GENERADOR SOLAR

Los datos del generador solar se enumeran a continuación:

**Tabla 3: Características de generador solar**

Características	Resultado de la inspección
Ángulo de inclinación fijo	20°
Orientación	180° Sur
Ángulo de sombra	20°
Sombreado externo	No
Ensuciamiento	Moderado a través del polvo

Fuente: Elaboración propia

La configuración de los inversores individuales se muestra en la Tabla 4. Las distintas asignaciones de inversores se enumeran individualmente. Los voltajes y corrientes de cadena resultantes, como se espera bajo varias condiciones en las entradas del inversor, pueden verse desde las interconexiones.

**Tabla 4: Configuración de asignación de inversor**

Características	1	2
Tipo de inversor	HEC 1500 3000kW7M	HEC 1500 3000Kw7M
Tipo de módulo	ET-P672320ww	ET-P67320ww
Números de módulo por cadena	28	28
Número de cadenas	368	320
Potencia P <sub>CC</sub> (kWp)	3.297	2.867
Corriente de entrada I <sub>MPP</sub> (A)	2.497	2.172
Voltaje U <sub>MPP, STC</sub> (V)	1.040	1.040
Voltaje U <sub>MPP, 70°C</sub> (V)	1.083	1.083
Voltaje U <sub>MPP, 15°C</sub> (V)	843	843
Voltaje U <sub>OC, 0°C</sub> (V)	1.439	1.439

Fuente: Elaboración propia

El tipo de cable y la respectiva sección transversal seleccionada se pueden ver en la Tabla 5 a la Tabla 7.

**Tabla 5: Cable CC 1**

De la cadena a la caja combinadora	
Tipo de cable	General Cable Excellent Cable Plus ZZ-F
Sección transversal del cable	4 mm <sup>2</sup>
Cableado	Barra de subestructura
Acoplador de cable	MC4 and one unknown type

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6: Cable CC 2**

De la cadena a la caja combinadora	
Tipo de cable	No accesible
Sección transversal del cable	No accesible
Cableado	Subterráneo en tubo para cable

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7: Cable CA**

De la cadena a la caja combinadora	
Tipo de cable	No accesible
Sección transversal del cable	No accesible
Cableado	Dentro de una caja de conexiones

Fuente: Elaboración propia

Las salidas individuales del inversor se combinan en cajas de conexiones (JB). La tabla 8 muestra las características de estos GJBs.

**Tabla 8: Caja de conexiones del generador (GJB)**

Componentes	
Fusibles de la cadena	No accesible
Protección de sobrevoltaje	T2
Tipo de activación CC	En caja combinadora CC

Fuente: Elaboración propia

Los módulos se instalan en una subestructura, cuya apariencia y mano de obra se describen en la Tabla 9.

**Tabla 9: cuadro/subestructura**

Componentes	
Tipo	No accesible
Puesta a tierra	En los polos
Rastreo (Trancking)	No

Fuente: Elaboración propia

### 3.1 Componentes

#### 3.1.1 Módulos

Los módulos fotovoltaicos instalados en este sistema junto con los valores mecánicos y eléctricos nominales de la hoja de datos se enumeran en la Tabla 10.

**Tabla 10: Módulo solar instalado**

Características	Componente
Tipo de módulo	ET-P672320ww
Tecnología	Policristalino
Cantidad	19264
$P_{mpp}$ [W]	320
$\Delta P$ [W]	5
$U_{mpp}$ [V]	37,1
IMPP (A)	6,6
$U_{oc}$ [V]	45,9
$I_{sc}$ [A]	9,2
$U_{Sys,MAX}$ [V]	1.500
L[mm]	1.956
B [mm]	992

Fuente: Elaboración propia

Los inversores instalados junto con los valores eléctricos nominales tomadas de la hoja de datos se enumeran en la Tabla 11.

**Tabla 11: Módulo solar instalado**

Características	Componente
Fabricante	Power electronics, Freesun
Cantidad	2
$P_{AC,N}$ [W]	2.850
$U_{AC,N}$ [V]	630 +/- 10%
$I_{AC,max}$ [A]	3.275
$F_N$ [Hz]	50
$P_{DC,max}$ [W]	-
$U_{mpp}$ [V]	976 – 1.250
$I_{DC,max}$ [A]	3.745
$U_{DC,max}$ [V]	1.500

Fuente: Elaboración propia



Documentación de la planta no está completa. tipo de inversor exacto y su hoja de datos no están disponibles.

### 3.2 Inspección visual

Los puntos que se observaron en la revisión como deficiencias se enumeran con la documentación de soporte respaldadas por fotos, en la siguiente tabla.

Las siguientes deficiencias se encontraron dentro de la revisión:

**Tabla 12: Módulo solar instalado**

Nº	Ubicación	Hallazgo	Medida sugerida	Evaluación	Fotografía
1	Por toda la planta	Cable del módulo montado sobre el segundo cable	Confirmación de la fabricante solicitada	Defecto menor	
2	Por toda la planta	Diámetro de cable de 4 mm <sup>2</sup> para cadenas, lo cual genera pérdidas generalmente el diámetro es de 6 mm <sup>2</sup>	Utilice cable con mayor diámetro	Defecto menor	

N°	Ubicación	Hallazgo	Medida sugerida	Evaluación	Fotografía
3	Por toda la planta	Conector diferente	Reemplazar conector del fabricante solicitado	Defecto mayor	
4	Estación de medición	Piranómetro no está colocado exactamente en el plano horizontal del modulo	Ajustar los parámetros del piranómetro	Defecto menor	
5	Por toda la planta	Los cables del módulo CC están expuestos directamente a la radiación solar	Cubrir con un ducto	Defecto mayor	
6	Por toda la planta	Ductos de cables no están correctamente montados, abrazaderas de estos no son duraderas	Montado correcto o mantenimiento periódico	Defecto menor	
7	Varias ubicaciones	Protección de borde faltante	Instalar y ajustar protección de borde	Defecto menor	
8	Por toda la planta	Módulo de sujeción componente de plástico	Observe si las cubiertas de plástico se vuelven porosas con los años	Sin efecto de momento	

### 3.3 Termografía infrarroja

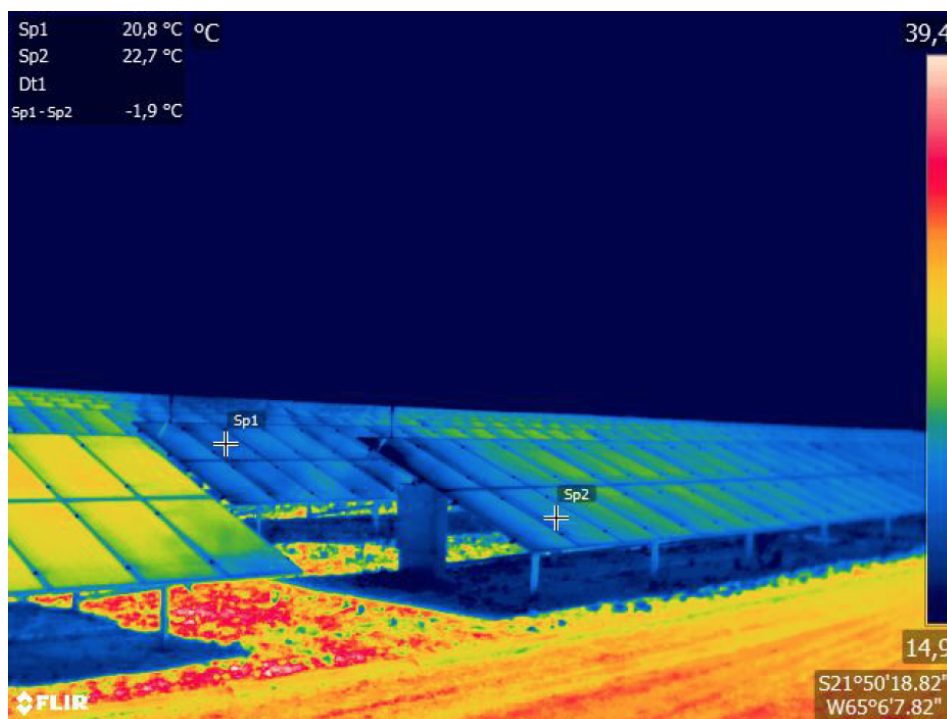
Aproximadamente el 25% de la planta fotovoltaica se examinaron con una cámara de imagen térmica como parte de la inspección general. La distribución de temperatura dentro de una subserie se examinó en este momento.

Además, las cajas de conexión y cierto punto de conexión en la planta se comprobaron para los efectos térmicos.

Dentro de las pruebas con cámara infrarroja no se detectó ningún módulo defectuoso, ni dentro de cajas de conexión, no se detectaron puntos calientes.

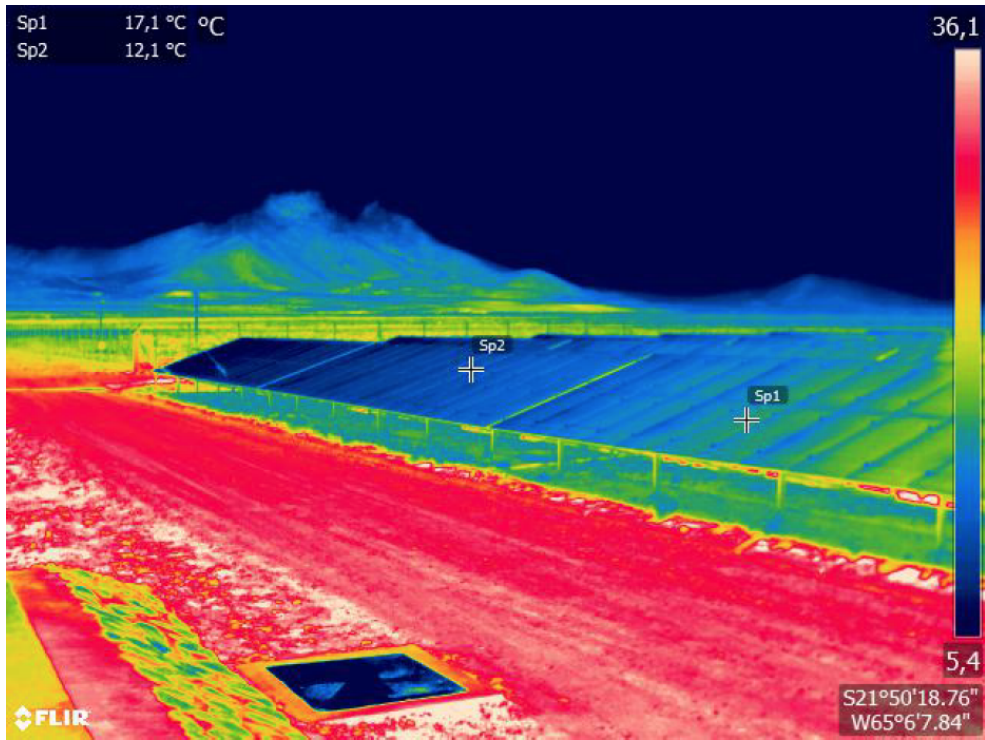
Algunas imágenes de ejemplo sin defecto se muestran en la figura 1 de la tabla 7.

Figura 1: Filas de módulos



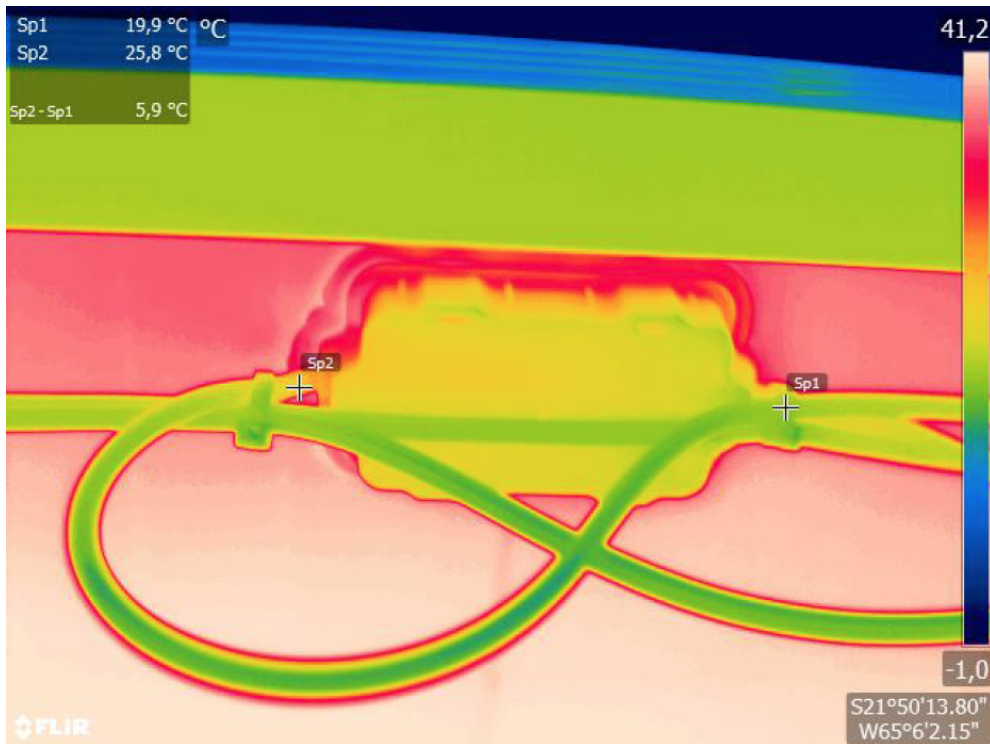
Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Filas de módulos



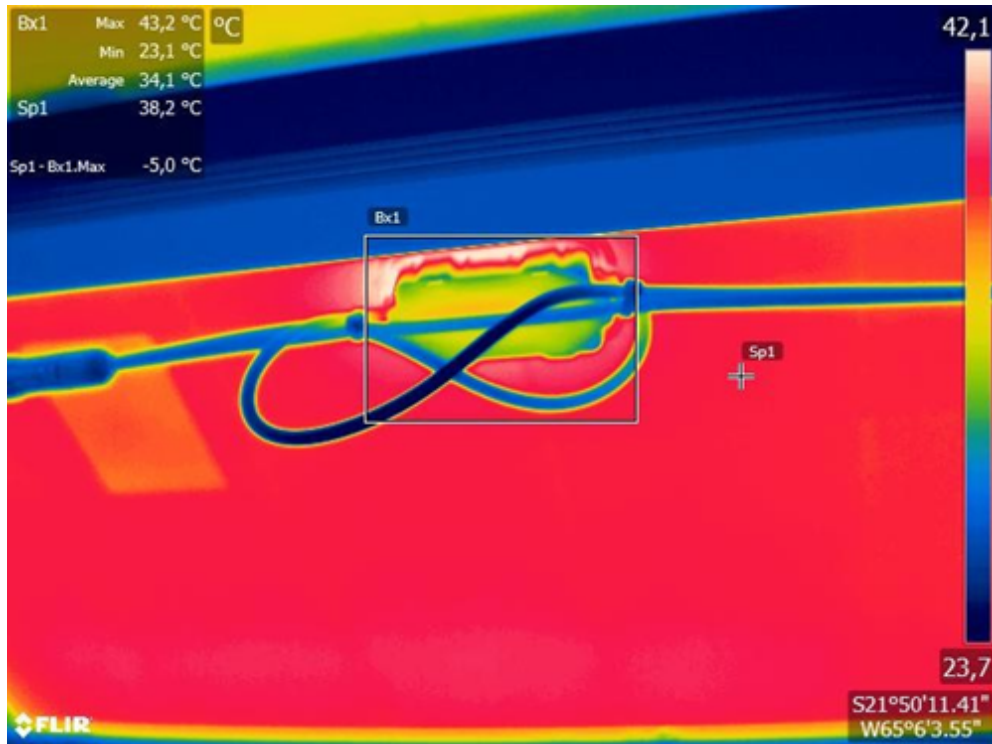
Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Caja de conexiones



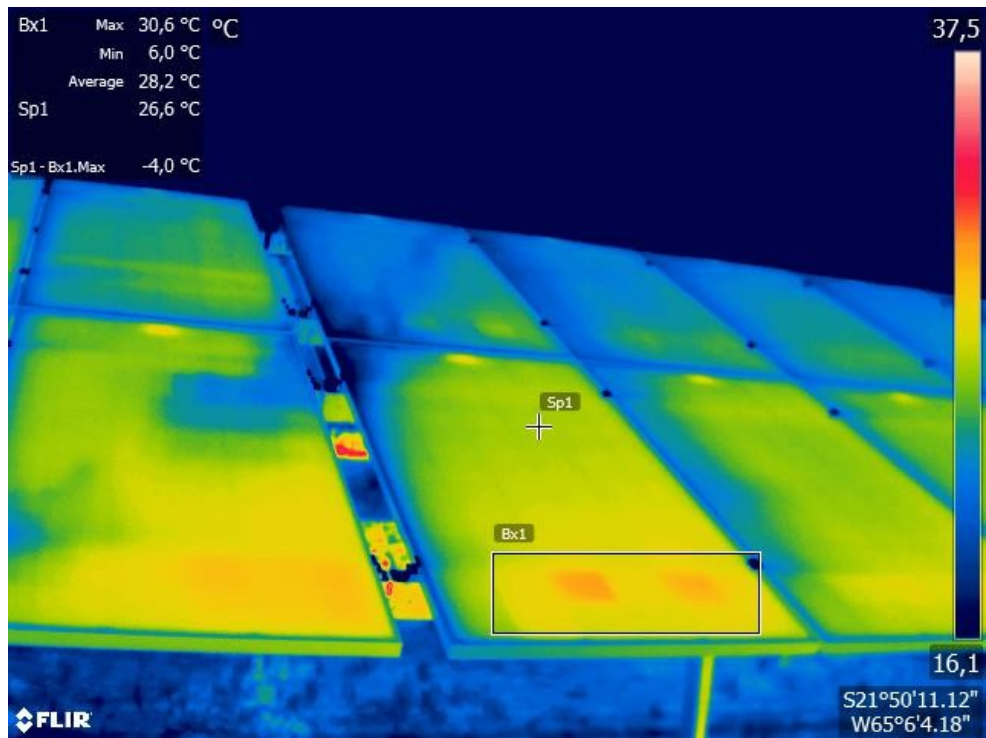
Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Caja de conexiones (2)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: celda ligeramente calentada



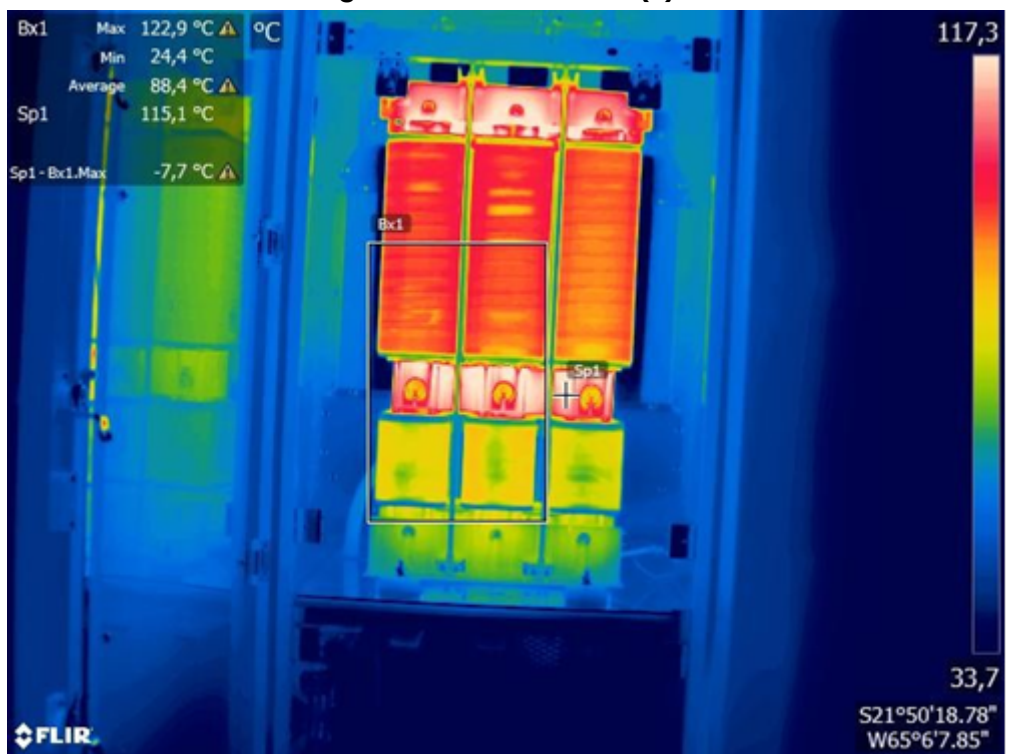
Fuente: Elaboración propia

Figura 6: inversor interior (1)



Fuente: Elaboración propia

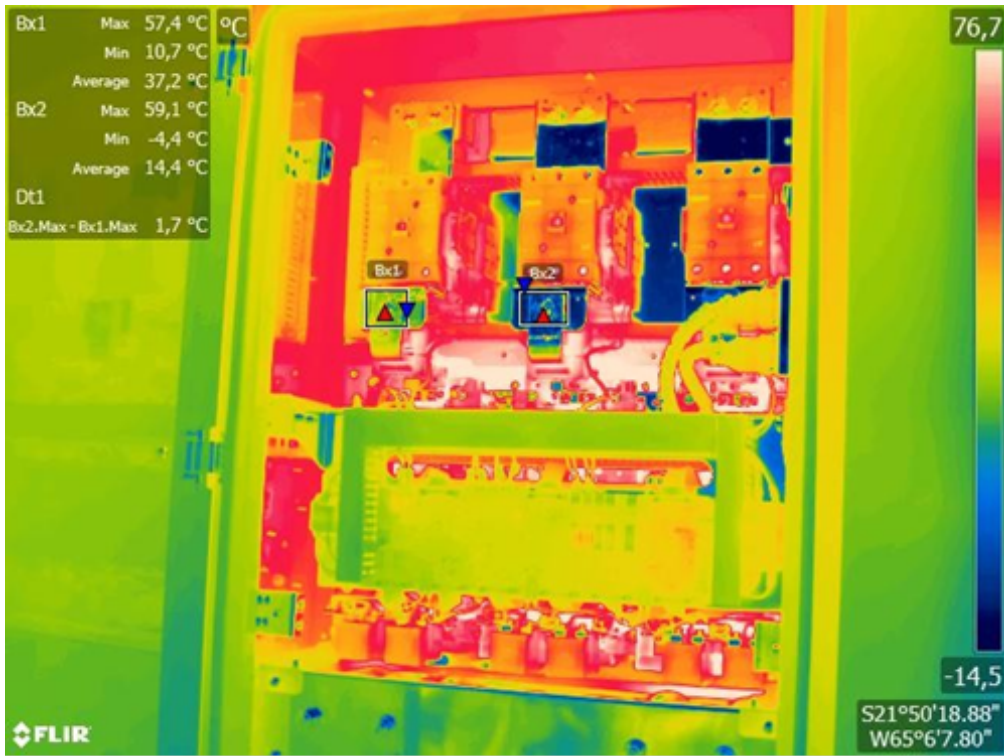
Figura 7: inversor interior (2)



Fuente: Elaboración propia

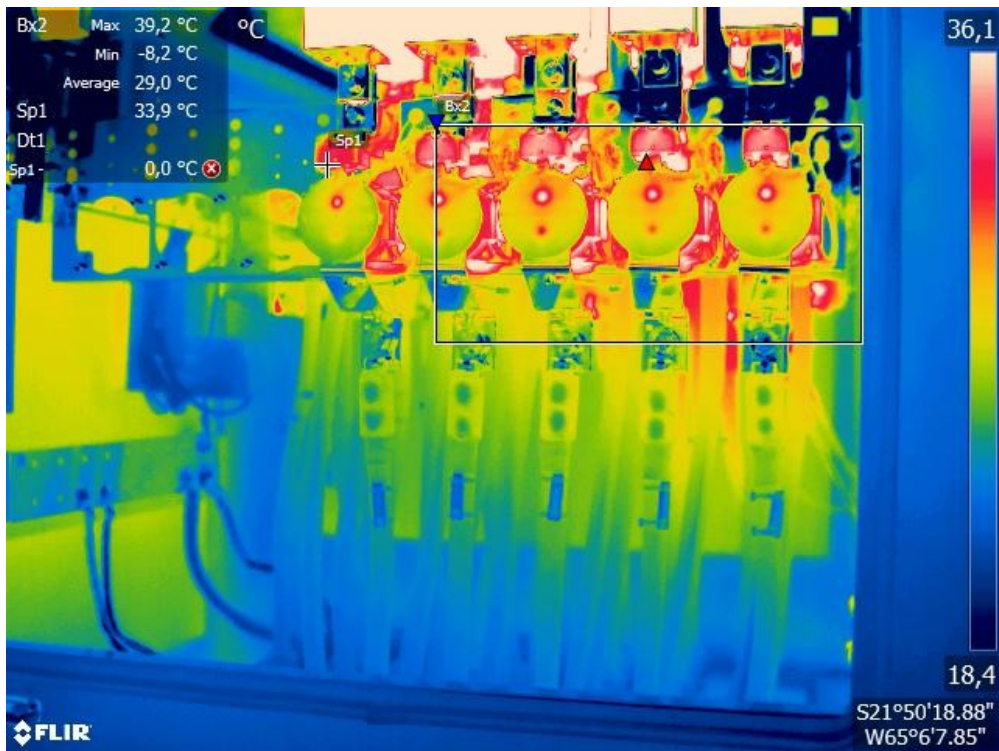


Figure 8: inversor interior (3)



Fuente: Elaboración propia

Figura 9: inversor interior (4)



Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Determinación de potencia

Se midió una muestra aleatoria de 17,92 kWp para examinar el rendimiento de la planta de energía solar. Esto representó aproximadamente el 0,3% de la potencia de todo el sistema. Se tomaron mediciones de cuatro cadenas con 4.480 Wp de potencia nominal cada uno. Las cadenas están compuestas por 14 módulos ET-P672320WW fabricados por Acrossol ET Solar.

#### Resultado

La potencia calculada para toda la muestra aleatoria fue de 17,838 kWp. Después de tomar en consideración las influencias externas descritas en la Tabla 14, la potencia esperada debe ser 17,84 kWp.

La variación de -0,1% de la potencia nominal es inferior al valor de potencia dado.

Debido a las incertidumbres de medición del fabricante y de la medición de potencia, no se puede afirmar que la potencia esté fuera de la tolerancia de potencia dada.

Los resultados de las mediciones se enumeran en la Tabla 12. PSTC se refiere a la potencia del generador convertida a condiciones de prueba estándar. La desviación  $\Delta$  muestra la desviación de PSTC a la potencia del módulo objetivo en porcentaje, después de tomar en consideración las pérdidas enumeradas en la Tabla 14. Las características de voltaje de corriente de las cadenas individuales se pueden ver en el Apéndice en la sección 4.3. Los valores medidos listados representan valores promedio de varias mediciones de cada sub-matriz respectiva.

**Tabla 12: Resultados de la medición**

<b>Sub-arreglo</b>	<b>G<sub>fit</sub></b>	<b>T<sub>Mod</sub></b>	<b>P<sub>STC</sub></b>	<b>Dev. <math>\Delta</math></b>
	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>°C</b>	<b>WP</b>	<b>%</b>
caja_112_s07_1	1.117	53	4.446	-0,4
caja_112_s07_2	1.110	55	4.452	-0,2
caja_112_s08_1	1.098	57	4.488	0,6
caja_112_s08_2	1.105	55	4.453	-0,2
<b><math>\Phi</math>/Sum</b>	<b>1.107</b>	<b>55</b>	<b>17.838</b>	<b>-0,1</b>

Fuente: Elaboración propia

La incertidumbre expandida con respecto a las condiciones promedio durante la medición se puede ver en la Tabla 13.

**Tabla 13: Ampliado incertidumbre en la medición**

Condición de prueba	Valor
Irradiación media	<b>1.107 W/m<sup>2</sup></b>
Temperatura media del módulo	55 °C
Incertidumbre ampliada de los resultados de medición	<b>6,2 %</b>
STC potencia de muestra aleatoria	17,83 +/- 1,10 kWp

Fuente: Elaboración propia

La potencia objetivo de la muestra aleatoria se deriva de la potencia nominal de los módulos medidos menos las pérdidas enumeradas en la Tabla 14.

**Tabla 14: Pérdidas reales y poder objetivo de la muestra aleatoria**

Factor de influencia	Valor de pérdida
Ensuciamiento	0,1 %
Sombreado	0,0 %
Pérdidas de conexión	0,0 %
Pérdidas de Cableado	0,3 %
<b>Total pérdidas</b>	<b>0,4 %</b>
Potencia de muestra aleatoria objetivo	17,84 kWp

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones se realizaron utilizando los siguientes dispositivos y sensores:

**Tabla 15: Dispositivos de medición utilizados**

Dispositivo de medición	Descripción	Instrumento de prueba
Característica del dispositivo de medición	cetisPV-CT-F1	922-AP-210
Aumentador de carga	cetisPV-CB1	922-AP-211
Celda de referencia	ISE 057-2016	922-AP-297
Sensor de temperatura	PT100	922-AP-224

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Símbolos utilizados en fórmulas y abreviaturas

**Tabla 16: Símbolos de fórmulas**

Símbolo	Significado	Unidad
A	Superficie	m <sup>2</sup>
W	Ancho	m / mm
<b>Eta</b>	Eficiencia	%
G	Irradiación (global)	<b>W/m<sup>2</sup></b>
I	Corriente	A
L	Longitud	m / mm
Φ	Promedio	
P	Potencia	W
PR	Relación de rendimiento	%
S	Potencia aparente	VA
T	Temperatura	°C, °K
U	Voltaje	V

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17: Abreviaciones**

Abreviación	Significado
Des	Descripción de las cadenas
E	Este
INV	Inversor
JB	Caja de conexiones
N	Norte
PE	Protección a tierra
PV	Fotovoltaico
STC	Prueba en condiciones estándar
SA	Sub.arreglo
SS	Subestructura
W	Oeste

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18: Índices**

<b>Índice</b>	<b>Significado</b>
AC	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
Dif	Difusa
Feed	Alimentador
Gl	Global
Max	Máximo
Meas	Valor medido en condiciones reales
Mod	Módulo
MPP	Punto máximo de potencia
N	Valor nominal
OC	Circuito abierto
P	Pico (valor)
Ref	Referencia
SC	Corto Circuito
Specific	Específico
Target	valor objetivo (valor esperado según lo determinado por el cálculo)
STC	Condiciones estándar de prueba
Sys	Sistema
Tilt	Inclinación
Theo	Valor teórico (valor simulado)
Amb	Ambiente
Loss	Pérdida

Fuente: Elaboración propia

## 4 ANEXOS

### 4.1 Fotografías de la planta fotovoltaica de Yunchará

Figura 10: Vista de algunas filas de módulos



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Fila de módulos



Fuente: Elaboración propia

**Figura 12: Módulos y cables vista posterior**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 13: Abrazadera de módulos**



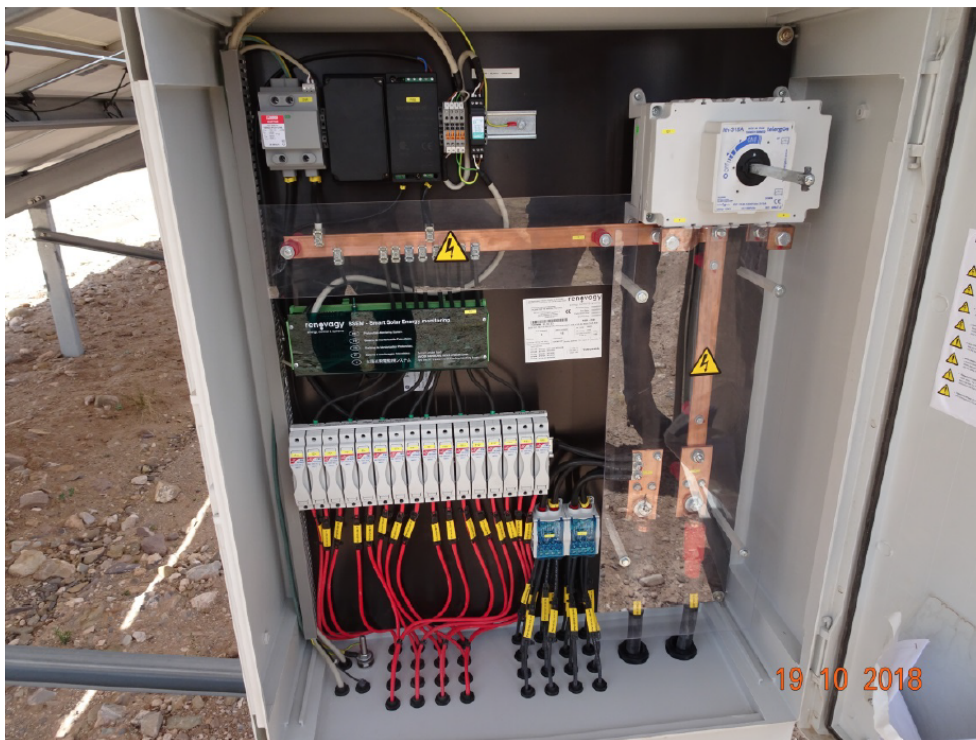
Fuente: Elaboración propia

**Figura 14: Caja de conexiones CC**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 15: Interior caja de conexiones CC**



Fuente: Elaboración propia



**Figura 16: Estación de inversor (1)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 17: Estación de inversor (2)**



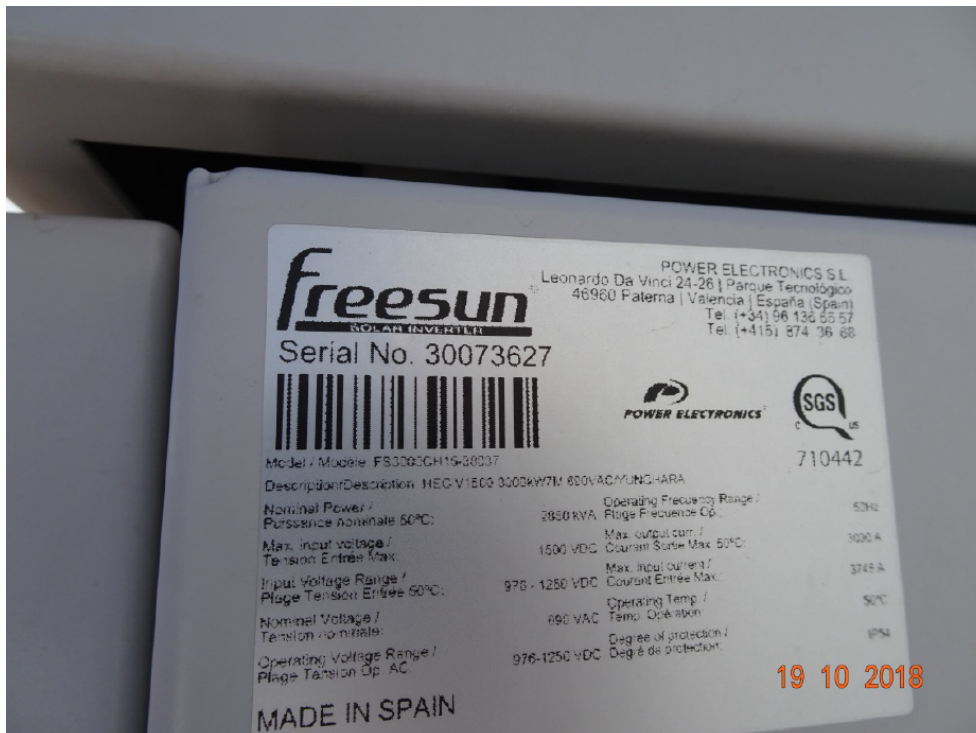
Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Estación de inversor (3)



Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Placa característica de inversor



Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Placa característica de módulo



Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Estación de medición de radiación



Fuente: Elaboración propia

Título: Informe de diagnóstico:  
Sistema Solar Fotovoltaico Yunchará, Bolivia

Autores: Benjamin Knödler

Desarrollado por: Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems, ISE

Supervisado por: Ministerio de Energías a través del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas

Ejecutado por: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Programa: Programa de Energías Renovables (PEERR)

Programa Nø: 15.2035.2-001.0

Coordinador: Dr.Johannes Kissel

Equipo técnico: Arturo Loayza Ordoñez  
Alejandra Prada Rivero

Fecha: 12/2018

1. Este informe es apoyado por la Cooperación Alemana a través de la GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GmbH) y su Programa de Energías Renovables (PEERR).

2. Se autoriza la reproducción total o parcial del presente documento, sin fines comerciales y citando adecuadamente la fuente, previa autorización escrita por los coordinadores del estudio.

## Ministerio de Energías

Calle Potosí esquina calle Ayacucho S/N, zona Central  
Teléfono: 2188800  
[www.minenergias.gob.bo](http://www.minenergias.gob.bo)

## Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas

Edificio Ex BBA, Av. Camacho N° 1413 Esq. calle Loayza  
Teléfono: 2188800

## Cooperación Alemana al Desarrollo con Bolivia

Oficina de la Cooperación Alemana al Desarrollo  
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Av. Julio C. Patiño N° 1178, entre calles 17 y 18, Calacoto  
Casilla 11400  
La Paz, Bolivia

Oficina del Programa de Energías Renovables (PEERR)  
Av. Sánchez Bustamante N° 504 entre calles 11 y 12 de Calacoto  
La Paz, Bolivia  
T +591 (2) 2119499  
F +591 (2) 2119499, int. 102  
E [johannes.kissel@giz.de](mailto:johannes.kissel@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)

## Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ)

BMZ Bonn  
Dahlmannstraße 4  
53113 Bonn, Germany  
T +49 (0) 228 99 535 -0  
F +49 (0) 228 99 535-3500  
[poststella@bmz.bund.de](mailto:poststella@bmz.bund.de)  
[www.bmz.de](http://www.bmz.de)

BMZ Berlín  
Stresemannstraße 94  
10963 Berlin, Germany  
T +49 (0) 30 18 535 - 0  
F +49 (0) 30 18 535-2501



Implementada por:

