
Capacitación

Sistemas FV conectados a la red en Bolivia



Benjamin Knödler

Instituto Fraunhofer para
Sistemas de Energía Solar
(Solar Energy Systems ISE)
Friburgo, Alemania

Capacitación GIZ Bolivia

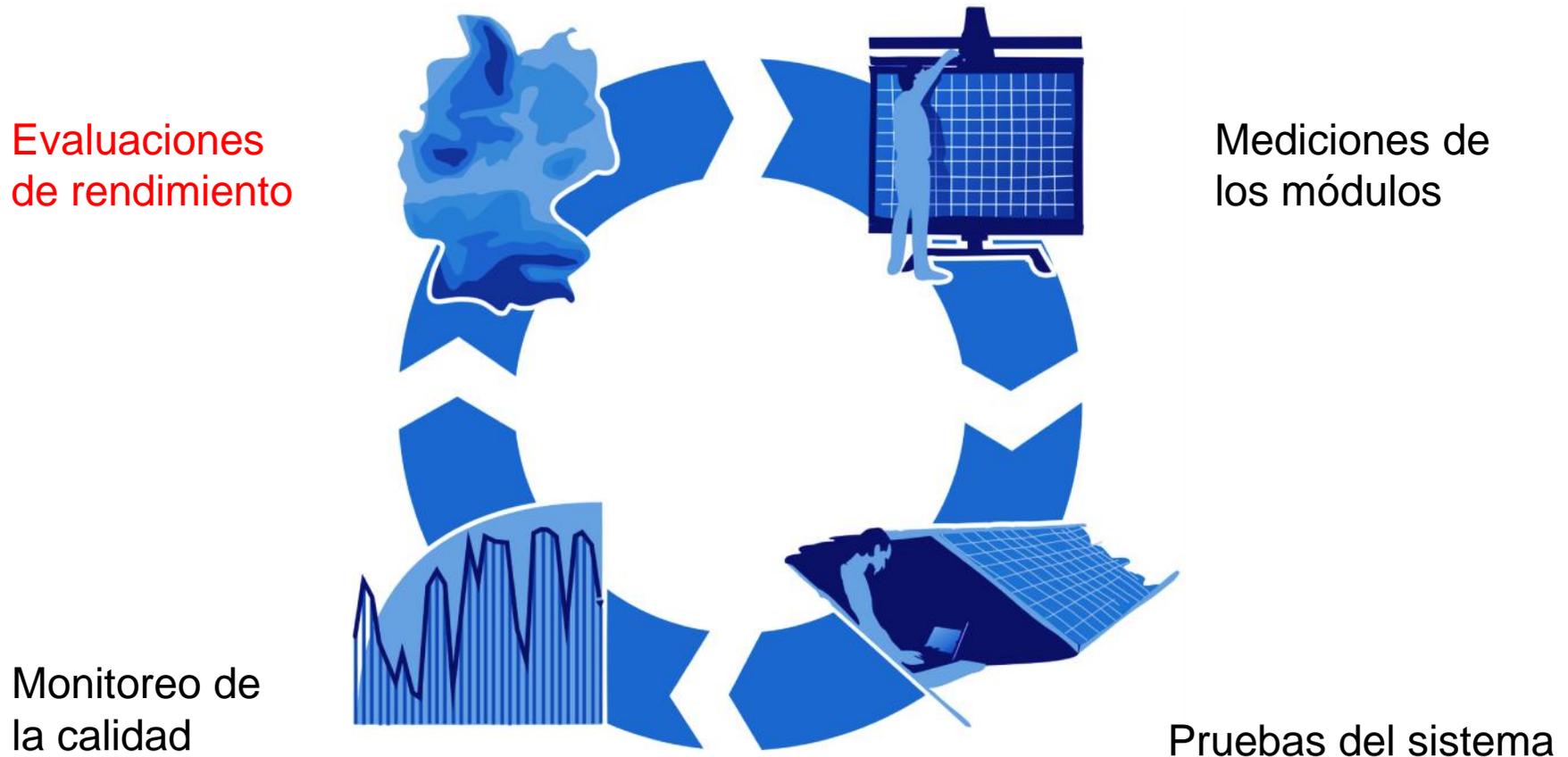
La Paz, 29 de Noviembre 2017

Tópicos

- Evaluación del rendimiento
- Diseño de sistemas FV
- Contratación/Puesta en marcha
- Operación y Mantenimiento (O & M)

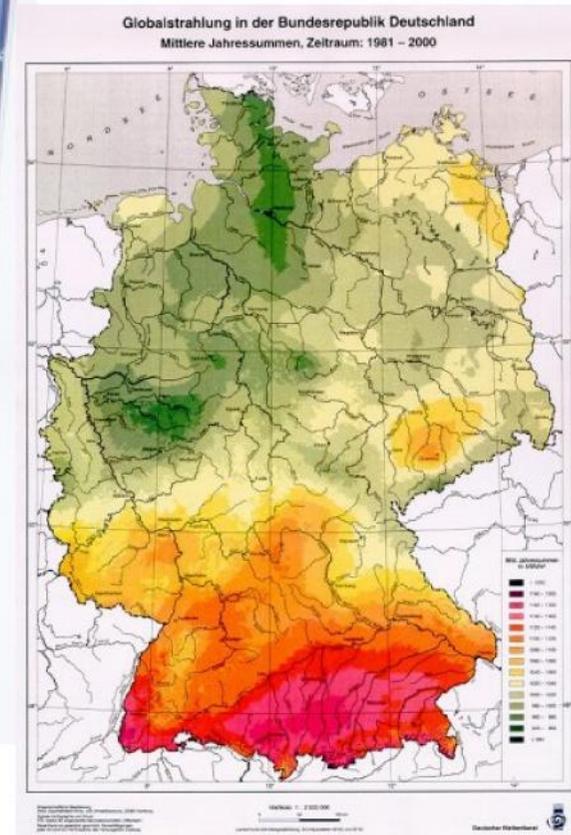
Evaluación del rendimiento

- El Círculo de Calidad del Fraunhofer ISE



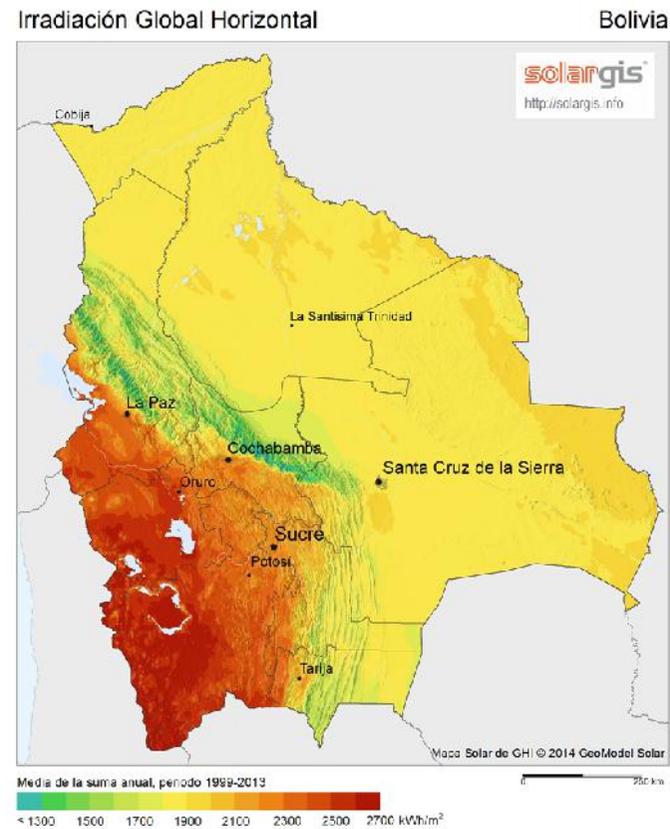
Evaluación del rendimiento

- Datos fuente solares están disponibles en varias fuentes/bancos de datos



Evaluación del rendimiento

- Datos fuente solares están disponibles en varias fuentes/bancos de datos

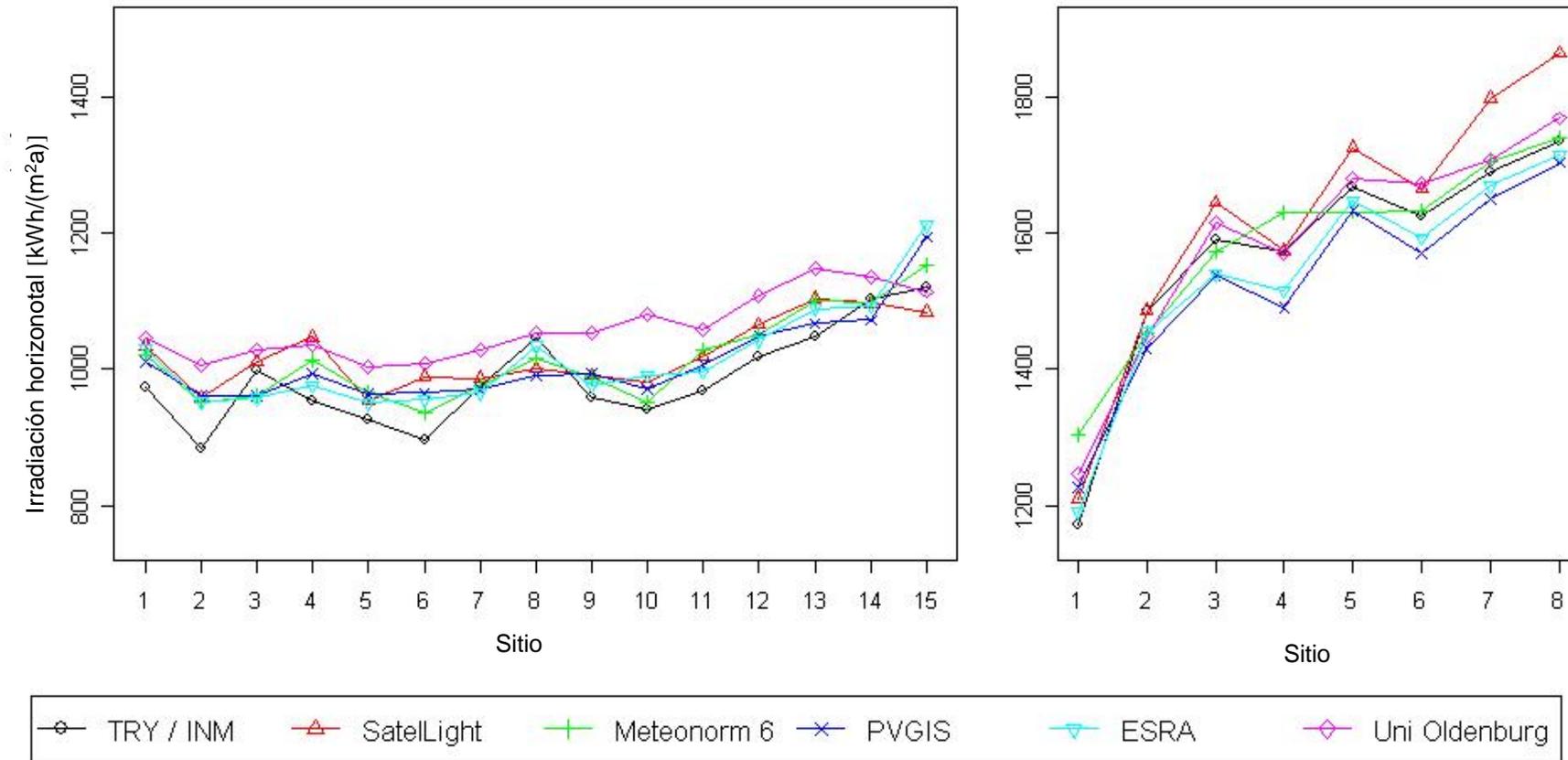


Evaluación del rendimiento

- Datos fuente solares están disponibles en varias fuentes/bancos de datos
 - www.satellite.com
 - re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/
 - eosweb.larc.nasa.gov/sse
 - www.dwd.de
 - www.helioclim.org/esra/
 - www.meteonorm.com
 - www.solargis.info
 - www.meteocontrol.de
 - ...
 - ...

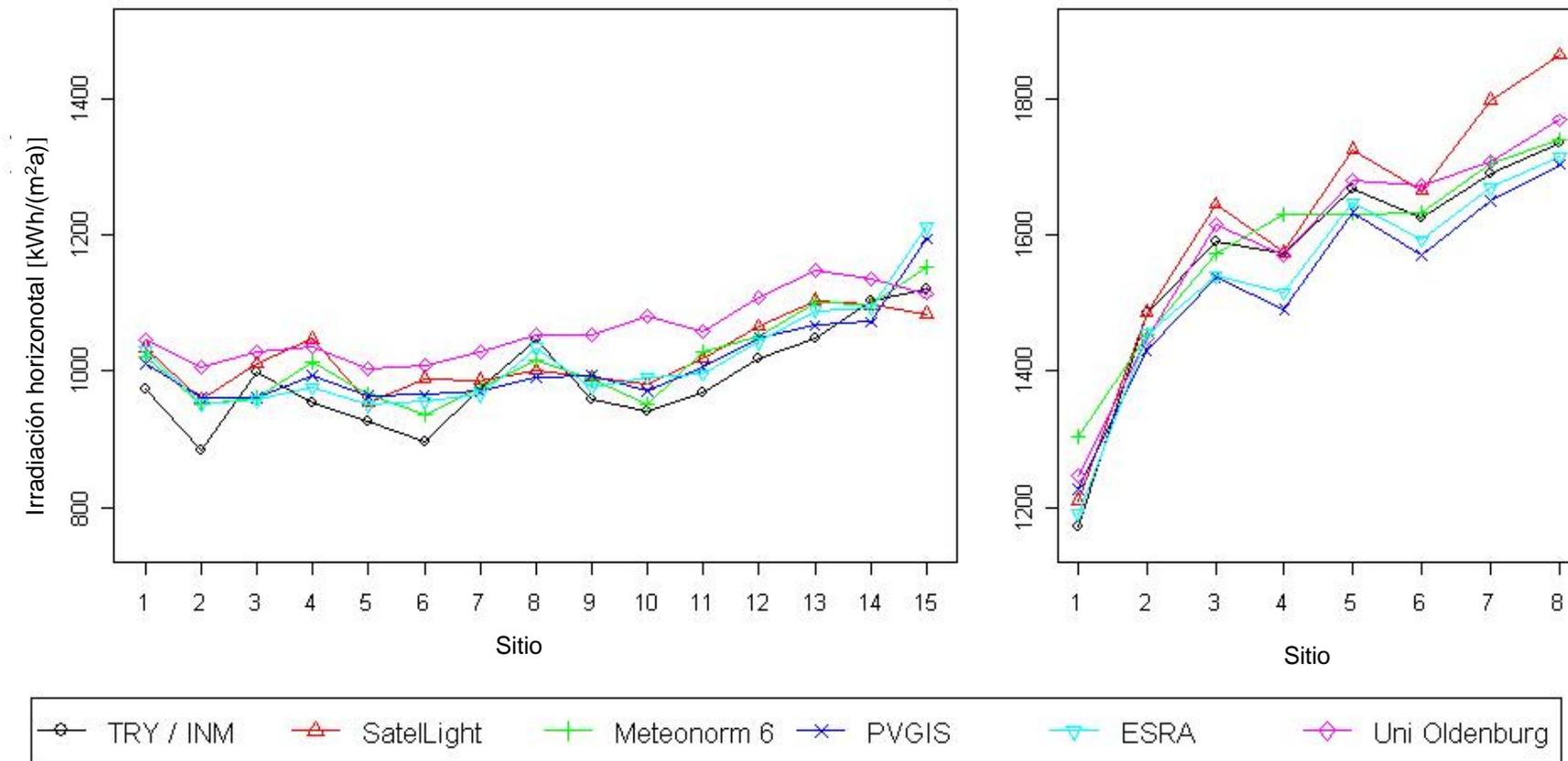
Evaluación del rendimiento

- Valores de irradiación difieren en fuentes diferentes



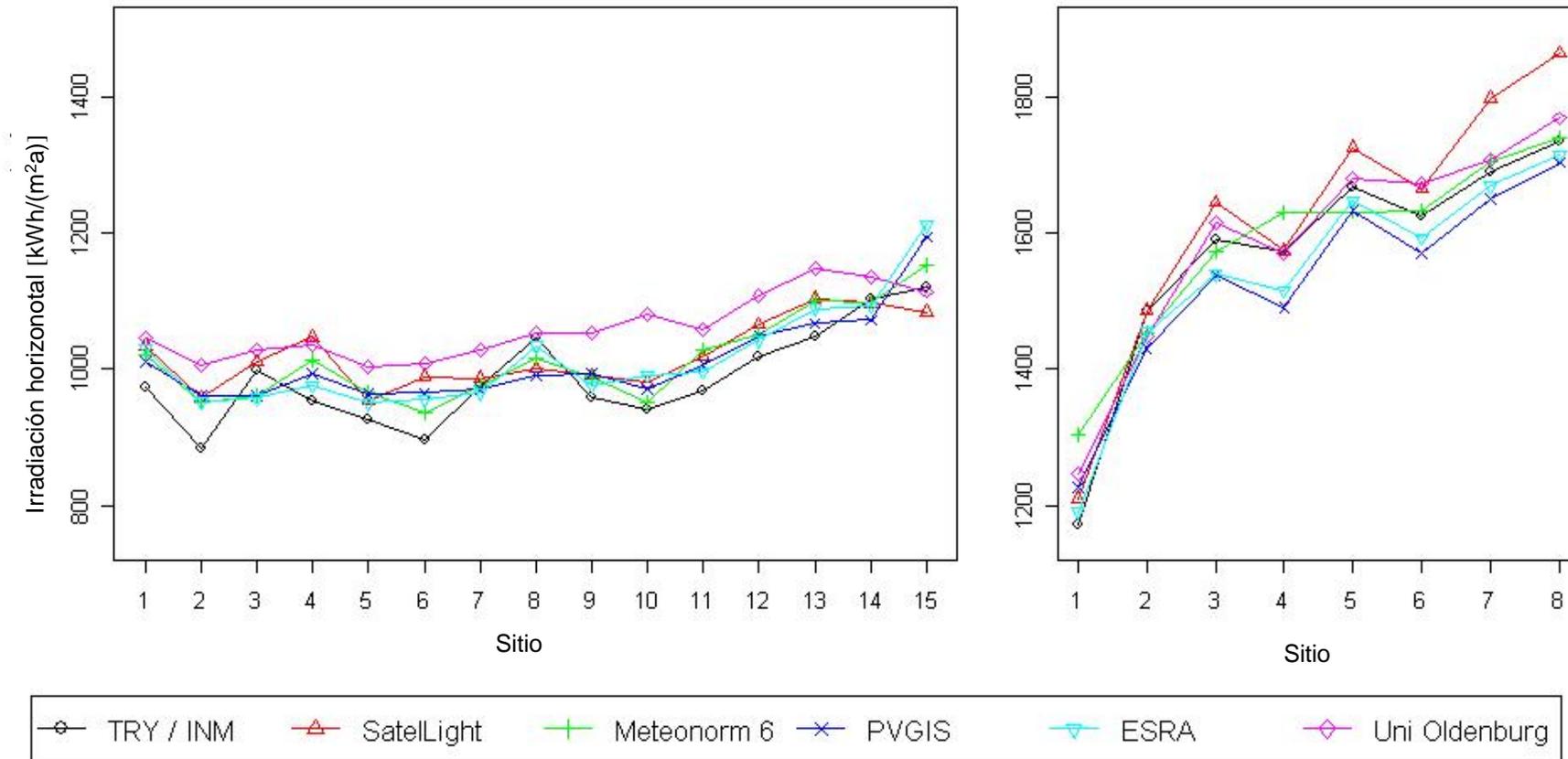
Evaluación del rendimiento

- Valores de irradiación difieren en fuentes diferentes



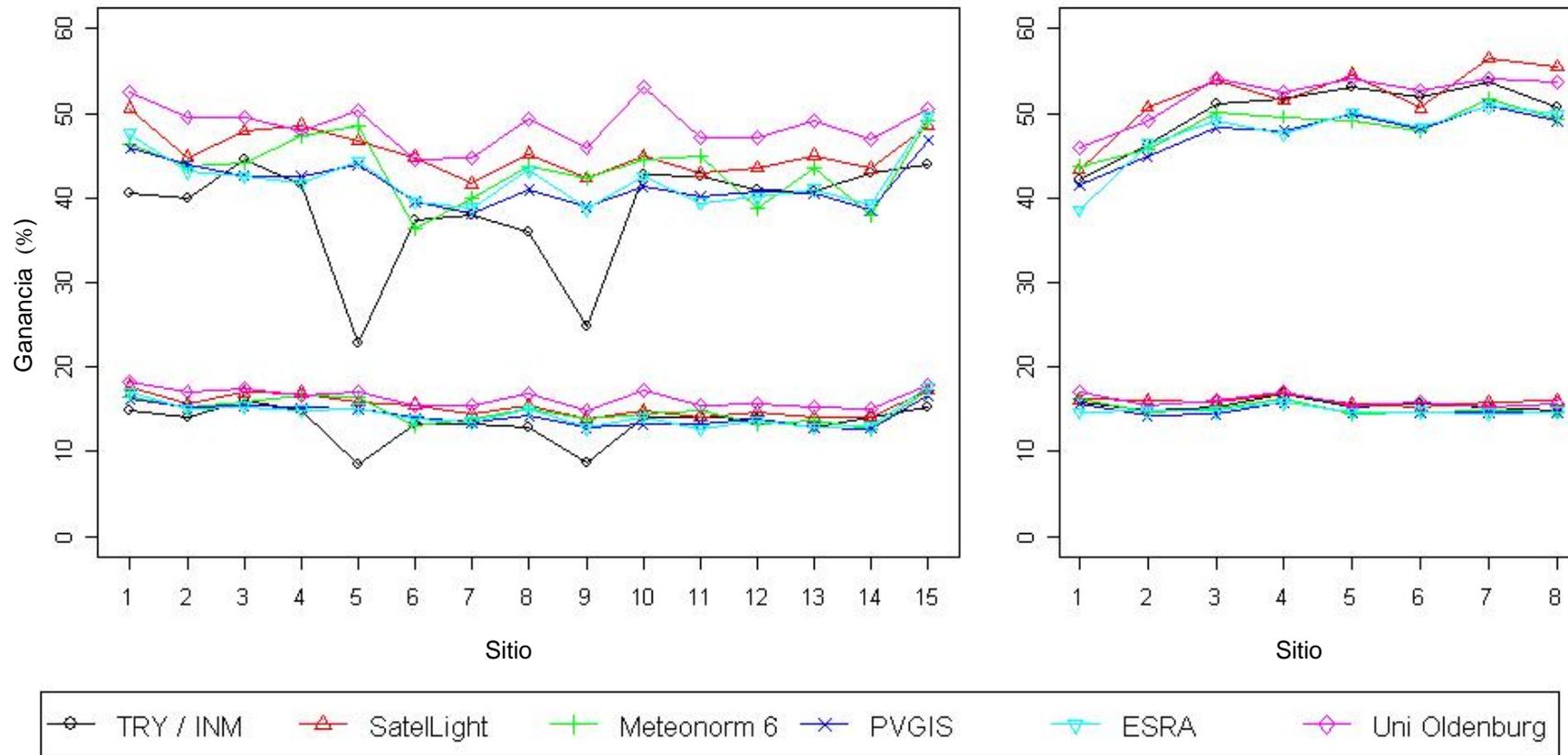
Evaluación del rendimiento

- Valores de irradiación difieren en fuentes diferentes



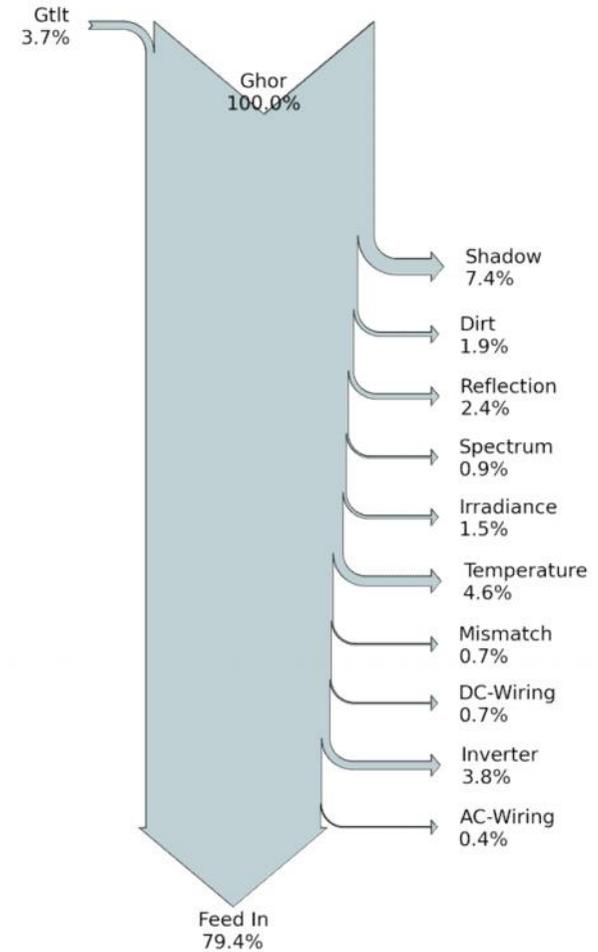
Evaluación del rendimiento

- Las ganancias de la inclinación o rastreo difieren en fuentes diferentes



Evaluación del rendimiento

■ Pasos de Cálculo



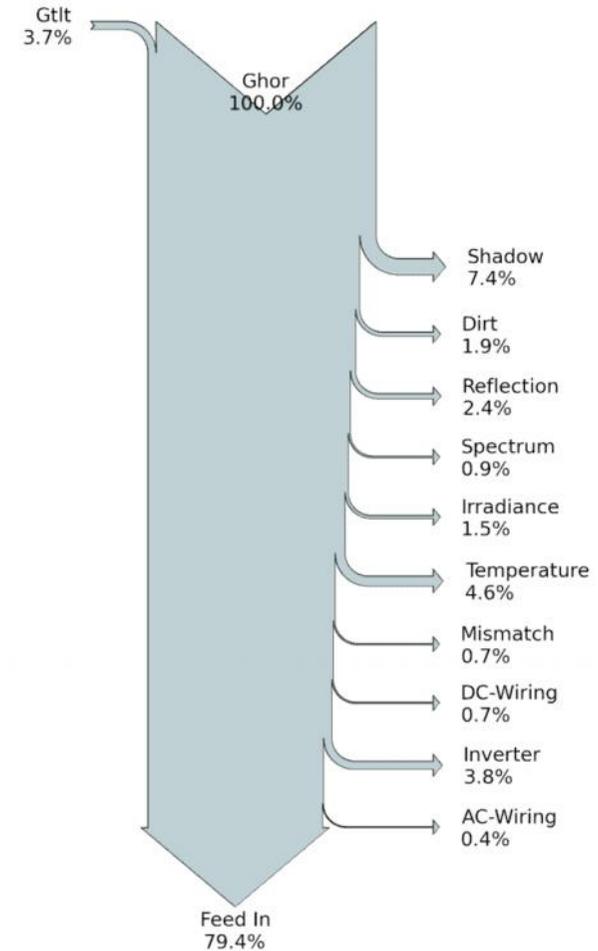
Evaluación del rendimiento

■ Pasos de Cálculo – Valoración/Rating de la Energía (ER)

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

■ Pérdidas por reflexión
■ Efectos espectrales

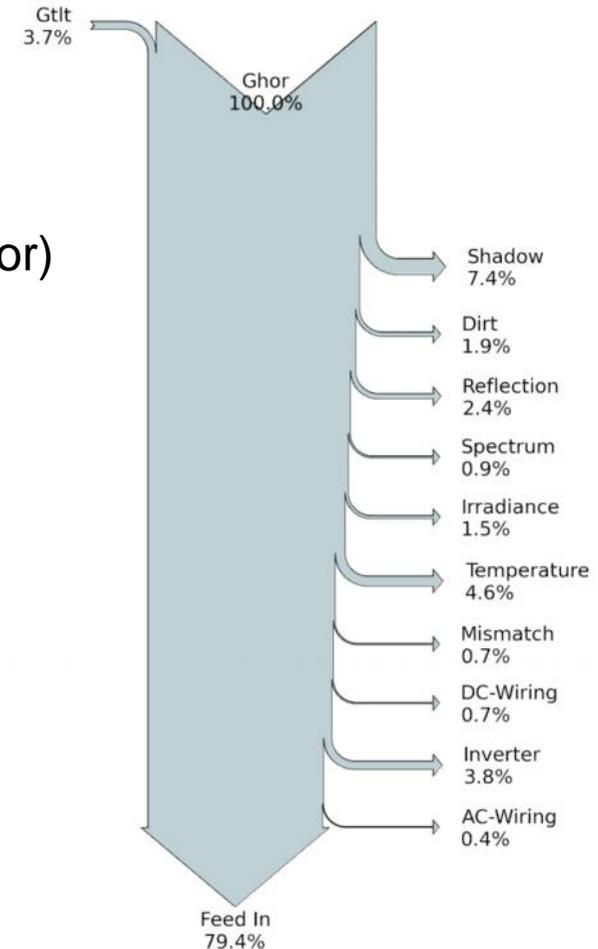
■ Dependencia del nivel de irradiación
■ Dependencia de la temperatura



Evaluación del rendimiento

■ Pasos de Cálculo – Relación de Rendimiento (PR)

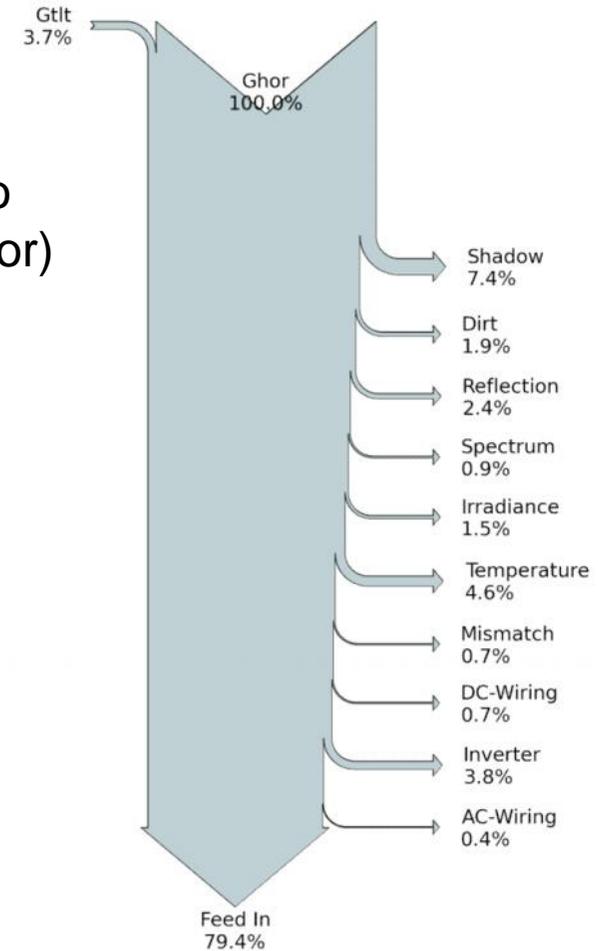
-
-
-
- Sombreado parcial (& comportamiento de inversor)
- Pérdidas por ensuciamiento
- Pérdidas por reflexión
- Efectos espectrales
-
- Dependencia del nivel de irradiación
- Dependencia de la temperatura
- Pérdidas de desajuste
- Pérdidas de cable CC + CA (DC + AC)
- Eficiencia y limitaciones del inversor
- Pérdidas del transformador
-



Evaluación del rendimiento

■ Pasos de Cálculo – Rendimiento inicial típico

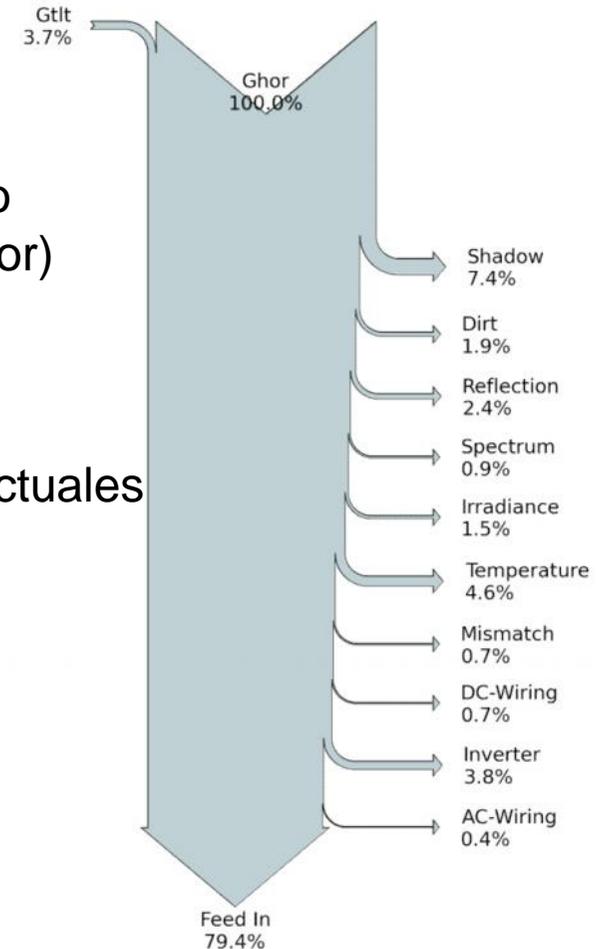
- Irradiación horizontal (historia)
-
- Fracción difusa & conversión al plano del módulo
- Sombreado parcial (& comportamiento de inversor)
- Pérdidas por ensuciamiento
- Pérdidas por reflexión
- Efectos espectrales
-
- Dependencia del nivel de irradiación
- Dependencia de la temperatura
- Pérdidas de desajuste
- Pérdidas de cable CD + CA (DC + AC)
- Eficiencia y limitaciones del inversor
- Pérdidas del transformador
-



Evaluación del rendimiento

■ Pasos de Cálculo – Actual rendimiento a largo plazo

- Irradiación horizontal (historia)
- Irradiación horizontal (futuro)
- Fracción difusa & conversión al plano del módulo
- Sombreado parcial (& comportamiento de inversor)
- Pérdidas por ensuciamiento
- Pérdidas por reflexión
- Efectos espectrales
- Especificaciones del producto vs. propiedades actuales
- Dependencia del nivel de irradiación
- Dependencia de la temperatura
- Pérdidas de desajuste
- Pérdidas de cable CD + CA (DC + AC)
- Eficiencia y limitaciones del inversor
- Pérdidas del transformador
- Degradación del sistema

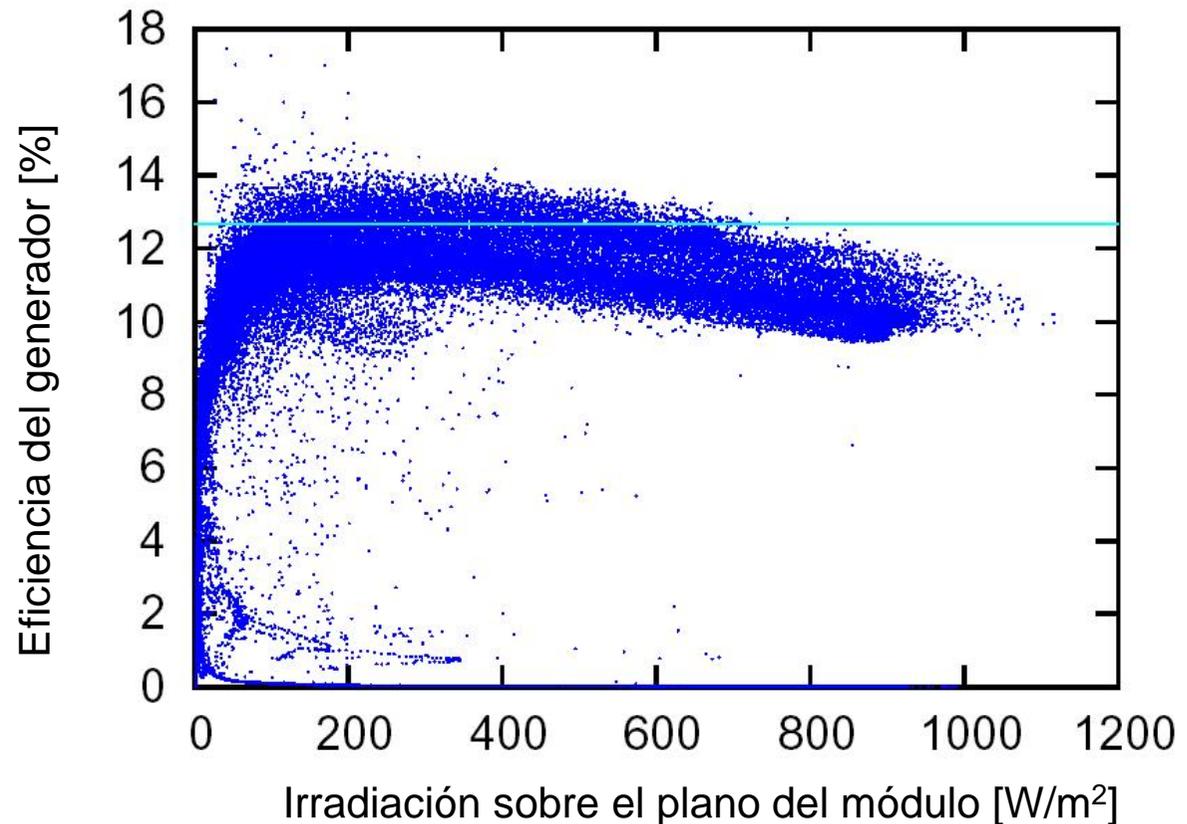


Evaluación del rendimiento

■ Ejemplos de modelos de cálculo – Eficiencia anual de módulos FV

Modelo de cálculo:

- Simple y robusto
- Apropiado para diferentes tecnologías de celdas
- Parámetros a ser derivados o deducidos de las hojas/fichas de datos



Evaluación del rendimiento

- Ejemplos de modelos de cálculo – El modelo de módulo Heydenreich

$$I_{25} = a G + b \ln(G + 1) + c [\ln^2(G + e) / (G + 1) - 1]$$

$$= I_{25} [1 + (T - 25 \text{ }^\circ\text{C})]$$

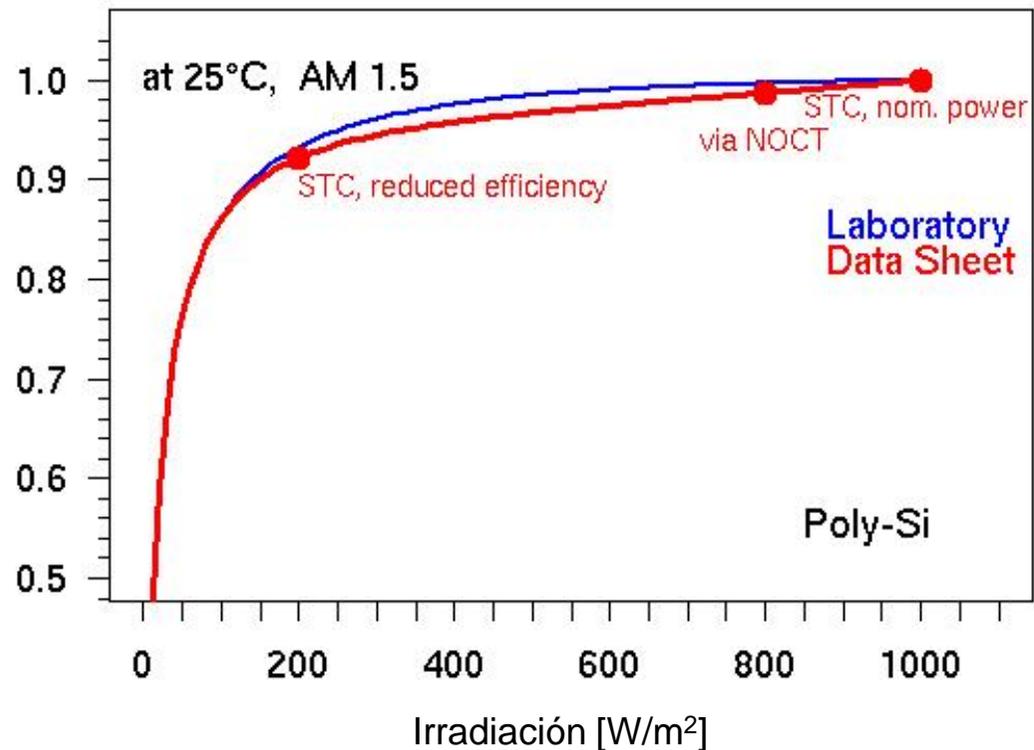
$$P = G A$$

- Determinación de parámetros a , b y c requiere de los valores de potencia a 25°C y tres niveles diferentes de irradiación
- puede ser tomado de la hoja/ficha de datos del módulo

Evaluación del rendimiento

- Ejemplos de modelos de cálculo – El modelo de módulo Heydenreich

Eficiencia normalizada



EN 50380 requiere:

P @ STC

P @ 200 W/m²

P @ NOCT

Evaluación del rendimiento

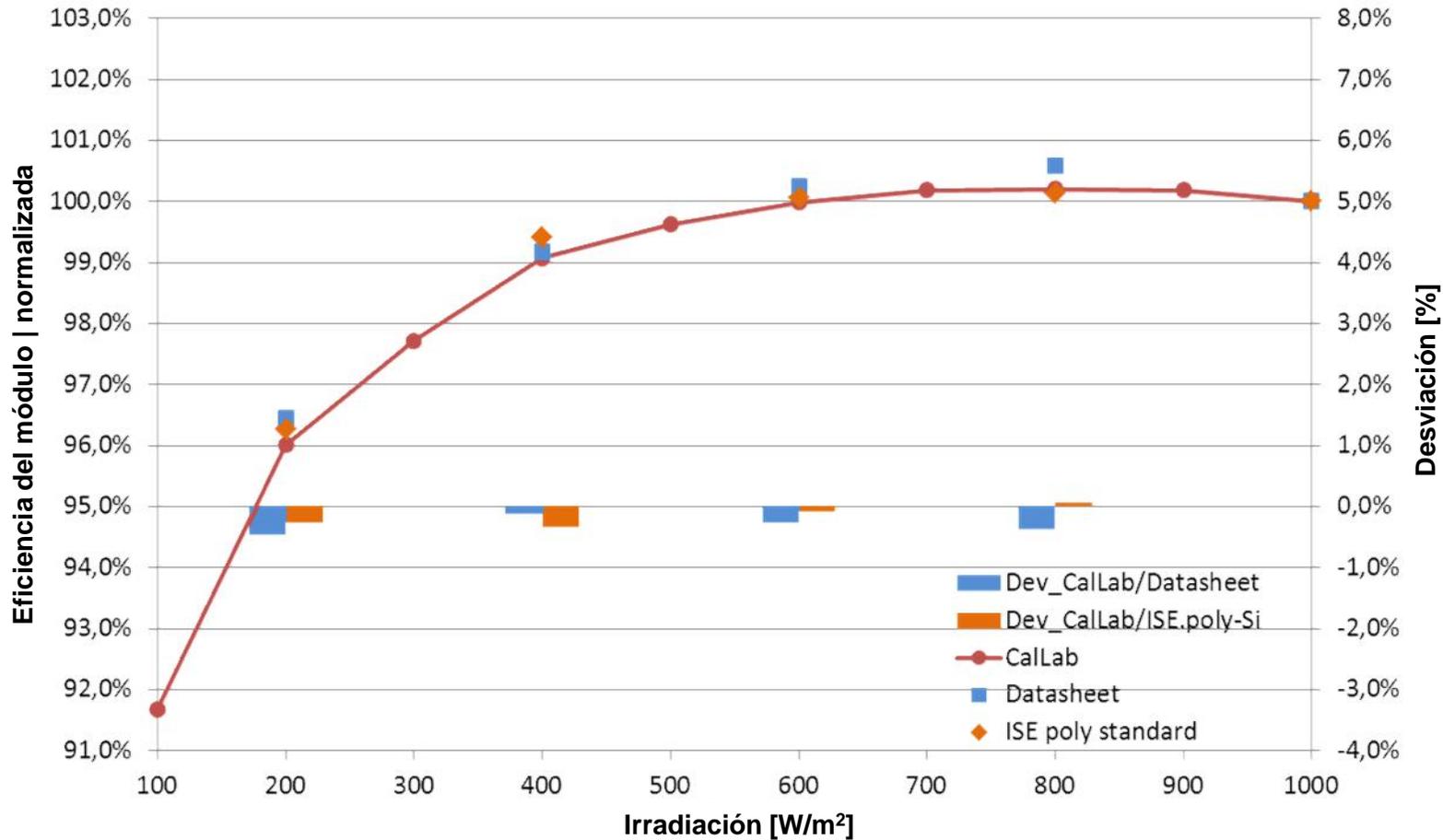
- Ejemplos de modelos de cálculo – El modelo de módulo Heydenreich

Cómo derivar los parámetros?

- Hoja/ficha de datos
- Competentes bibliotecas con software comercial
- Valores estándares específicos para las tecnologías de celdas dadas
- Datos detallados del fabricante con validez universal garantizada
- Mediciones de laboratorio específicas al proyecto

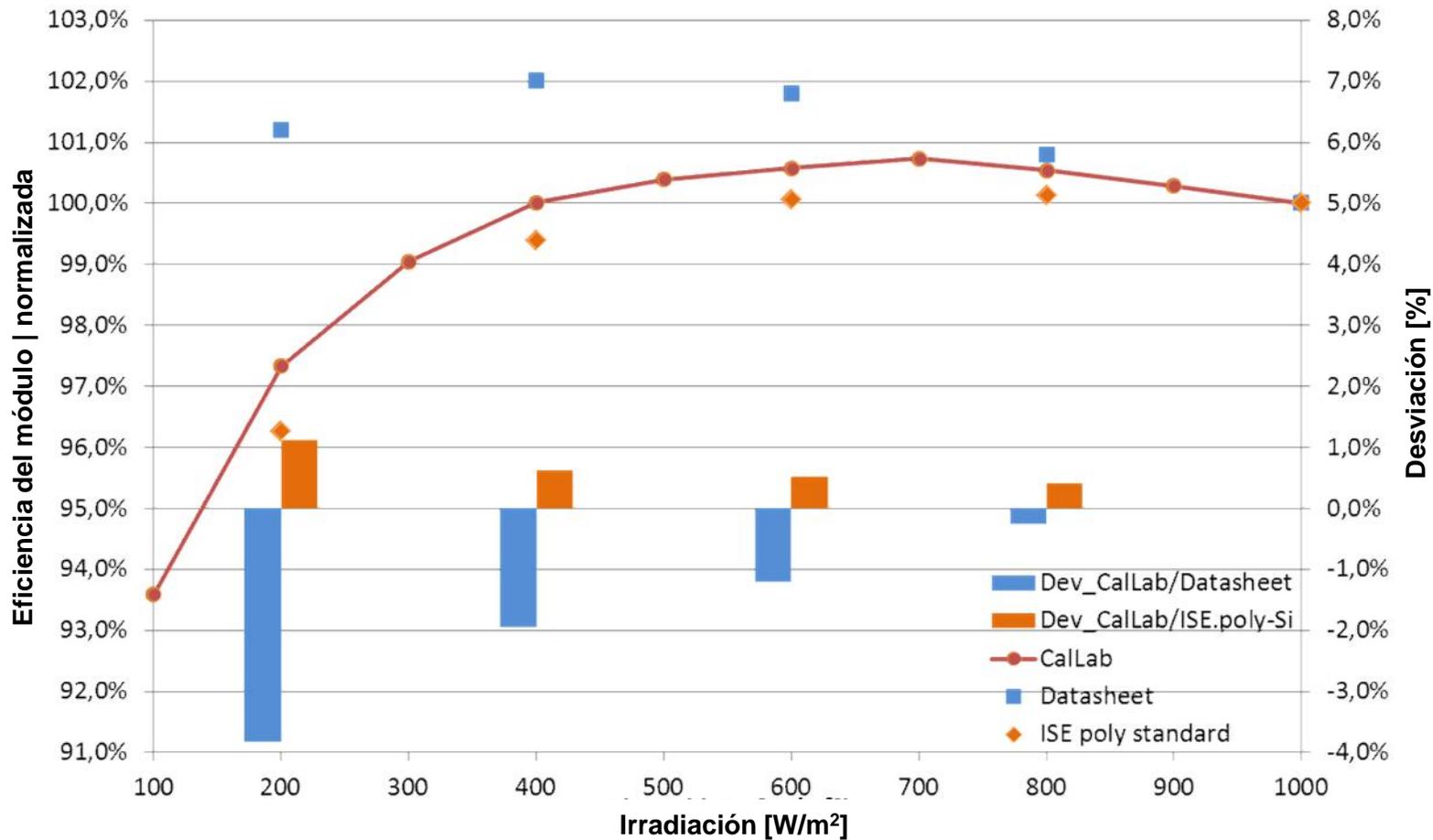
Evaluación del rendimiento

■ Ejemplos de modelos de cálculo – El modelo de módulo Heydenreich



Evaluación del rendimiento

- Ejemplos de modelos de cálculo – El modelo de módulo Heydenreich



Evaluación del rendimiento

- Ejemplos de modelos de cálculo – El modelo de módulo Heydenreich

Nuevamente, cómo derivar los parámetros?

- Hoja/ficha de datos
- Competentes bibliotecas con software comercial
- Valores estándares específicos para las tecnologías de celdas dadas
- Datos detallados del fabricante con validez universal garantizada
- Mediciones de laboratorio específicas al proyecto

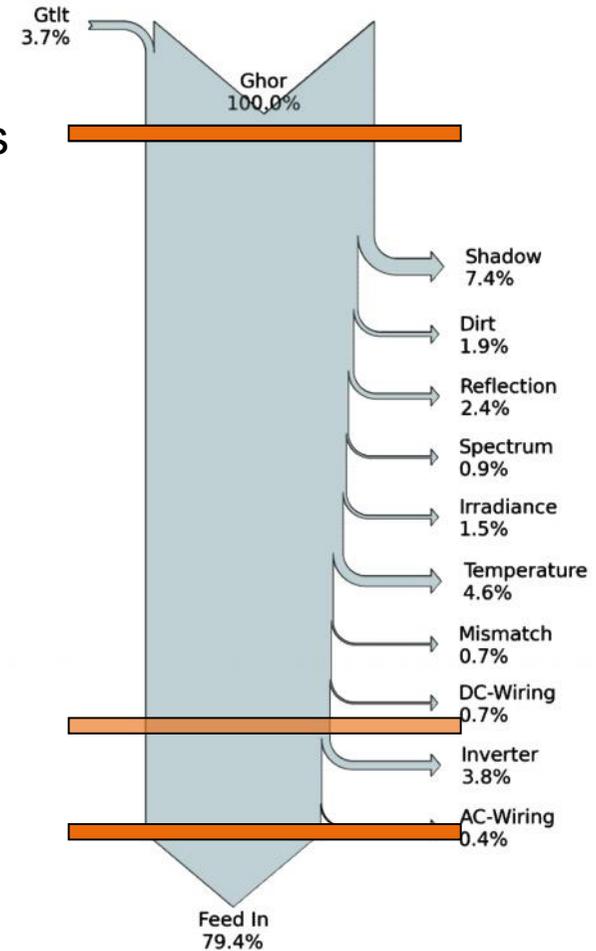
Evaluación del rendimiento

- Otros parámetros solo para ser mencionados:
 - Ensuciamiento & nieve
 - Ganancias o pérdidas espectrales
 - Sombreado de horizonte / objeto / interno
 - Sombreado de fila a fila vs. uso máximo del área
 - Inversor: eficiencia = f (potencia, voltaje, temperatura, ...)
 - Inversor: limitaciones de potencia / corriente / voltaje para un dispositivo dado
 - Valores promedio vs. máximos
 - ...
 - ...

Evaluación del rendimiento

- Comparación a la operación del sistema en el mundo real

- Plano de irradiancia de la distribución de paneles solares (array)



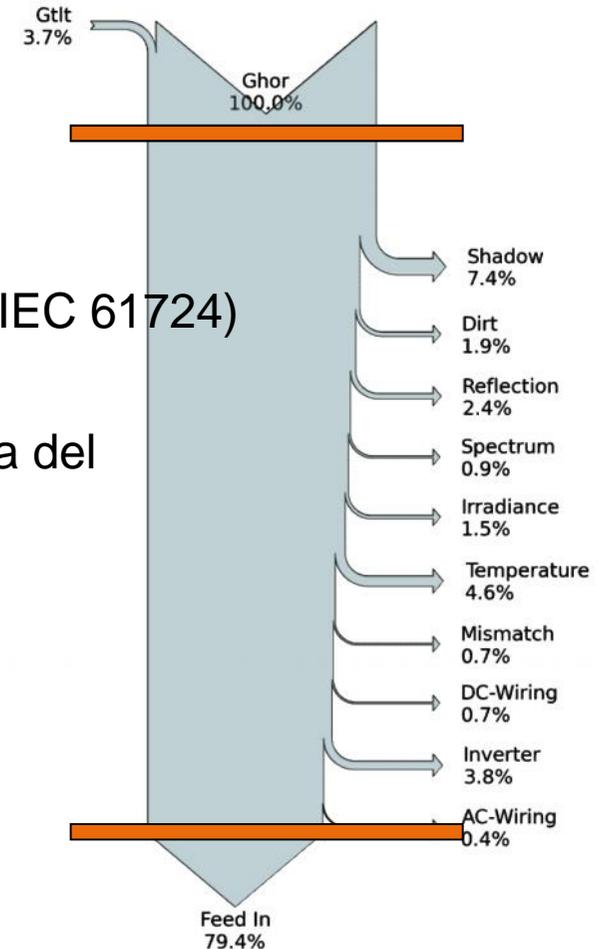
- Potencia de CC (DC)

- Rendimiento de CA (CA)

Evaluación del rendimiento

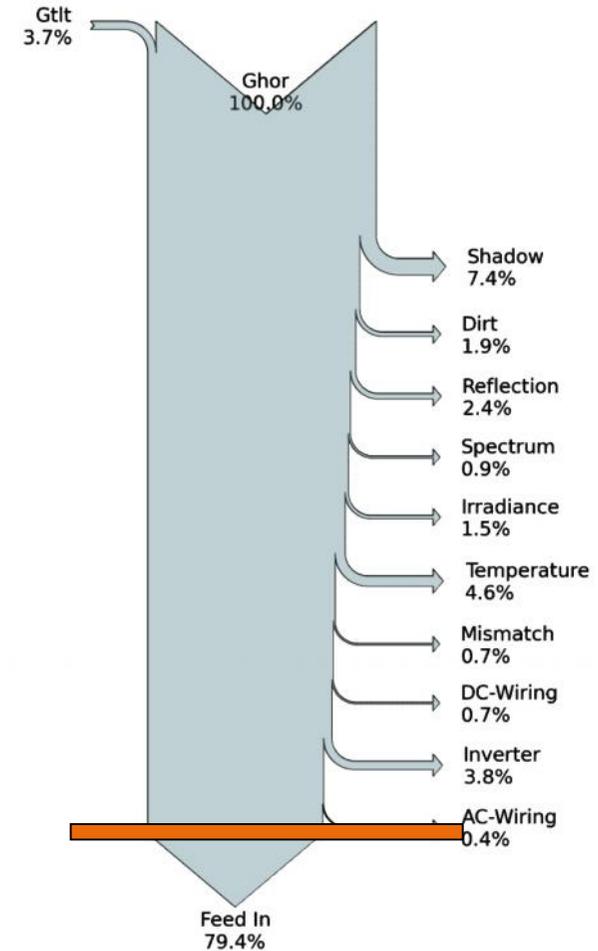
- Comparación a la operación del sistema en el mundo real
 - Relación de rendimiento (PR)

- $PR = \text{rendimiento final} / \text{rendimiento referencial (IEC 61724)}$
- $PR = \text{rendimiento final} / (\text{irradiación} * \text{área del generador} * \text{eficiencia del módulo STC})$
- $PR = \text{rendimiento específico} / \text{irradiación}$
[kWh / kW_p / kWh / m²]



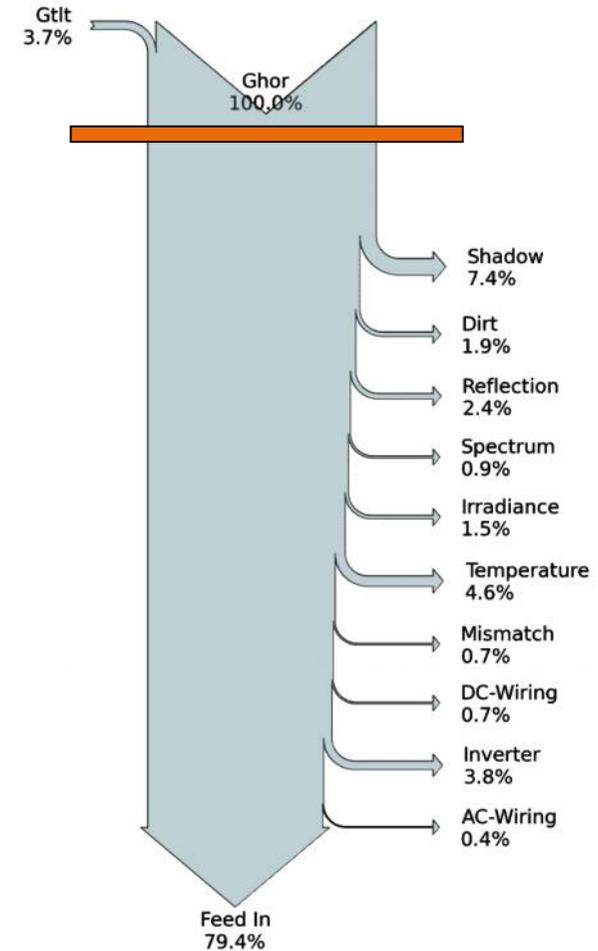
Evaluación del rendimiento

- Comparación a la operación del sistema en el mundo real
 - Relación de rendimiento (PR)



Evaluación del rendimiento

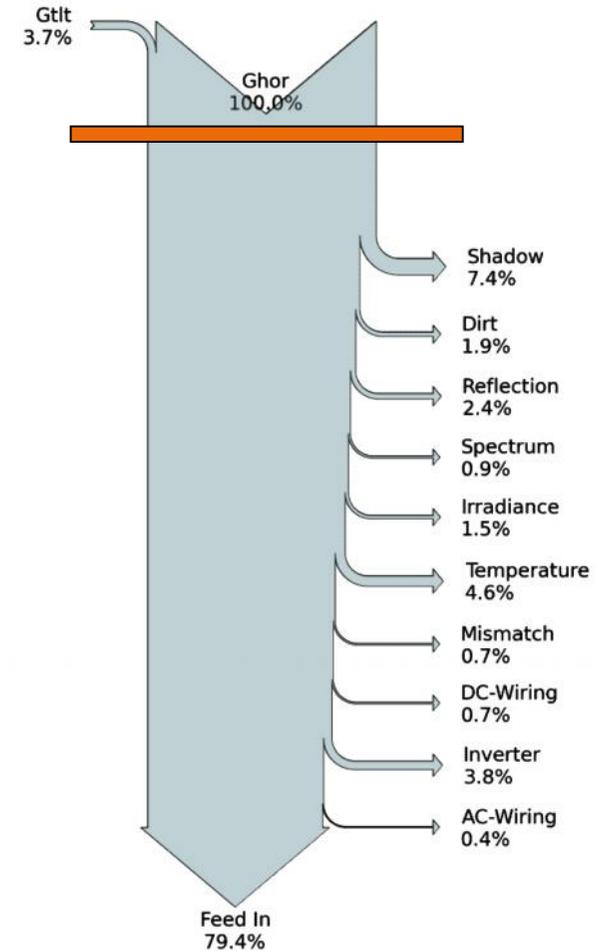
- Comparación a la operación del sistema en el mundo real
 - Relación de rendimiento (PR)



$$PR_{PYR} = 0,96 * PR_{SI}$$

Evaluación del rendimiento

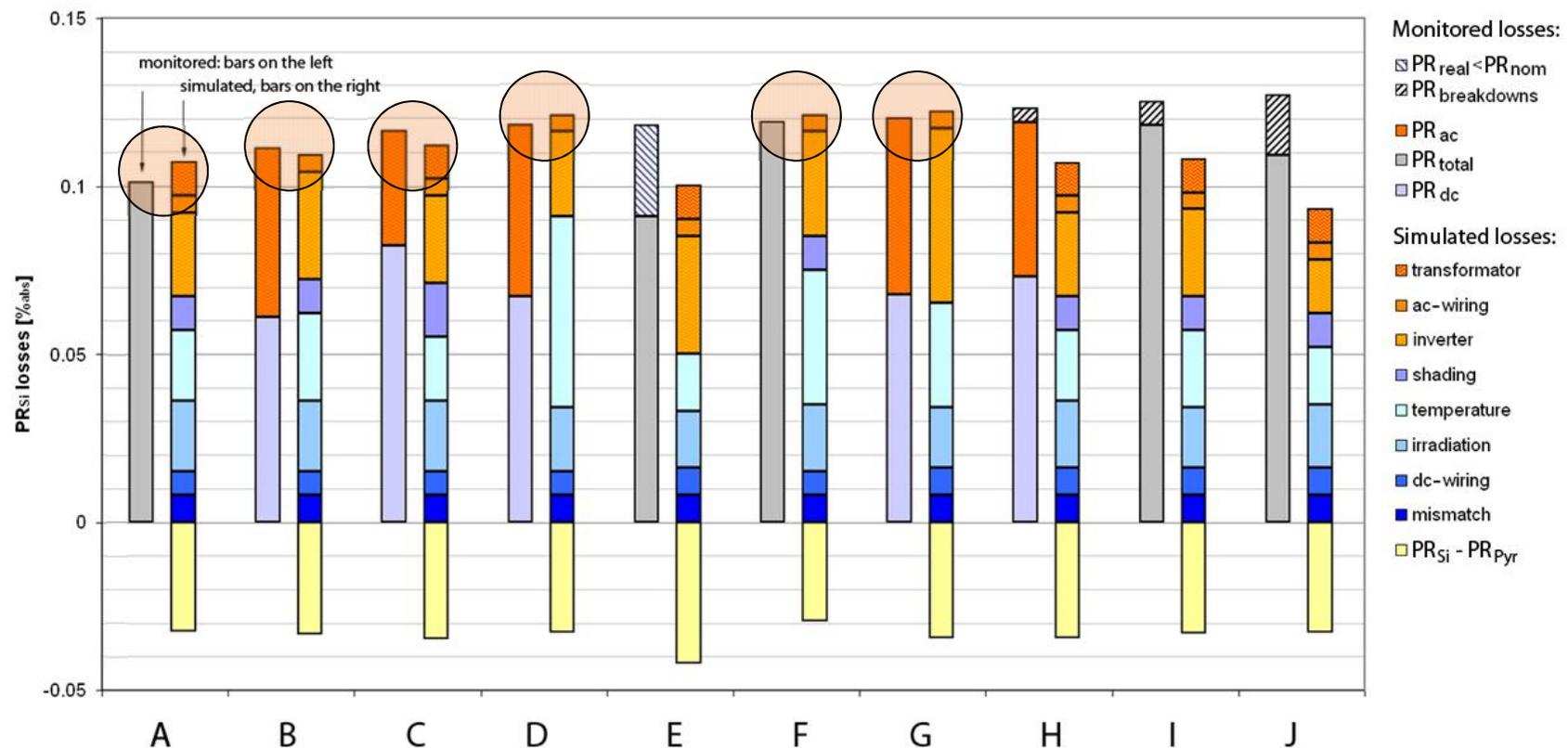
- Comparación a la operación del sistema en el mundo real
 - Relación de rendimiento (PR)



$$PR_{PYR} = 0,96 * PR_{SI}$$

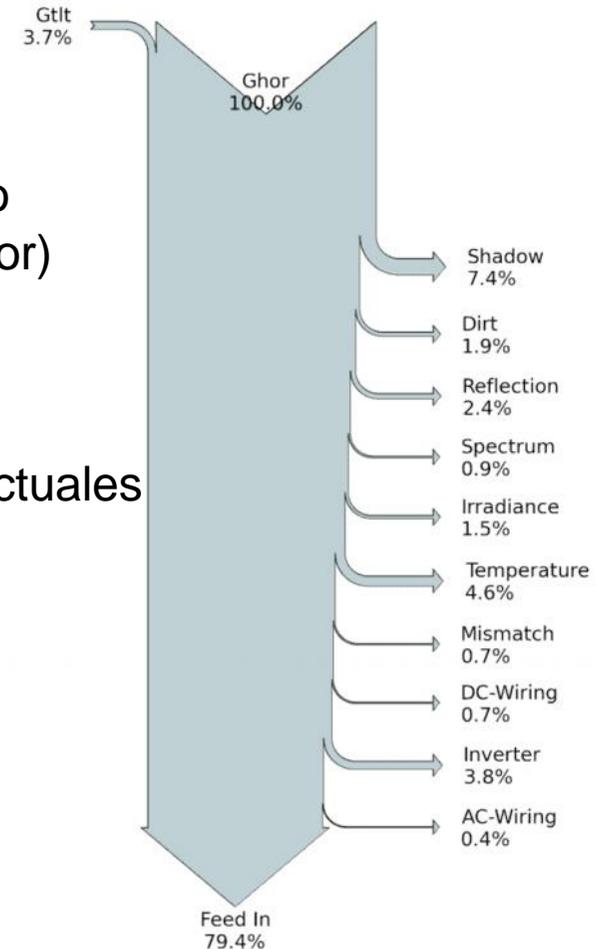
Evaluación del rendimiento

- Comparación a la operación del sistema en el mundo real
 - Relación de rendimiento (PR)



Evaluación del rendimiento

- Pasos de Cálculo – Actual rendimiento a largo plazo
- Irradiación horizontal (historia)
- Irradiación horizontal (futuro)
- Fracción difusa & conversión al plano del módulo
- Sombreado parcial (& comportamiento de inversor)
- Pérdidas por ensuciamiento
- Pérdidas por reflexión
- Efectos espectrales
- Especificaciones del producto vs. propiedades actuales
- Dependencia del nivel de irradiación
- Dependencia de la temperatura
- Pérdidas de desajuste
- Pérdidas de cable CD + CA (DC + AC)
- Eficiencia y limitaciones del inversor
- Pérdidas del transformador
- Degradación del sistema



Evaluación del rendimiento

■ Incertidumbres

■ Irradiación horizontal (historia)	3% to 5%
■ Irradiación horizontal (futuro)	1% to 3%
■ Fracción difusa & conversion al plano del módulo	2% to 3%
■ Sombreado parcial (& comportamiento de inversor)	1% to 4%
■ Pérdidas por ensuciamiento	1% to 3%
■ Pérdidas por reflexión	0% to 2%
■ Efectos espectrales	0% to 2%
■ Especificaciones del producto vs. propiedades actuales	0% to 5%
■ Dependencia del nivel de irradiación	1% to 2%
■ Dependencia de la temperatura	0% to 2%
■ Pérdidas de desajuste	0% to 1%
■ Pérdidas de cable CD + CA (DC + AC)	0% to 1%
■ Eficiencia y limitaciones del inversor	0% to 2%
■ Pérdidas del transformador	0% to 1%
■ Degradación del sistema	0% to 5%

Evaluación del rendimiento

■ Incertidumbres

annual values				
	uncer- tainty	value	gains/ losses	PR
	%	kWh/m ²	%	%
global irradiation on horizontal plane	5.0	1821		
irradiation on module plane	2.5	2062	13.3	
shading				
<i>horizon shading</i>	0.5	2062	0.0	100.0
<i>row shading</i>	2.0	2004	-2.8	97.2
<i>object shading</i>	2.0	2004	0.0	97.2
soiling	2.0	1924	-4.0	93.3
deviations from STC				
<i>reflection losses</i>	0.5	1880	-2.3	91.2
	%	kWh/kWp	%	%
<i>spectral losses</i>	0.5	1861	-1.0	90.2
<i>irradiation-dependent losses</i>	0.5	1845	-0.9	89.5
<i>temperature-dependent losses</i>	1.0	1754	-4.9	85.1
mismatch losses	0.5	1740	-0.8	84.4
DC cable losses	0.5	1727	-0.8	83.7
inverter losses	1.5	1705	-1.3	82.7
inverter power limitation	0.5	1701	-0.2	82.5
additional consumption	0.0	1701	0.0	82.5
AC cable losses low voltage	0.5	1691	-0.6	82.0
Transformer medium voltage	0.5	1675	-0.9	81.2
AC cable losses medium voltage	0.5	1655	-1.2	80.3
total	7.0	1655		80.3

Evaluación del rendimiento

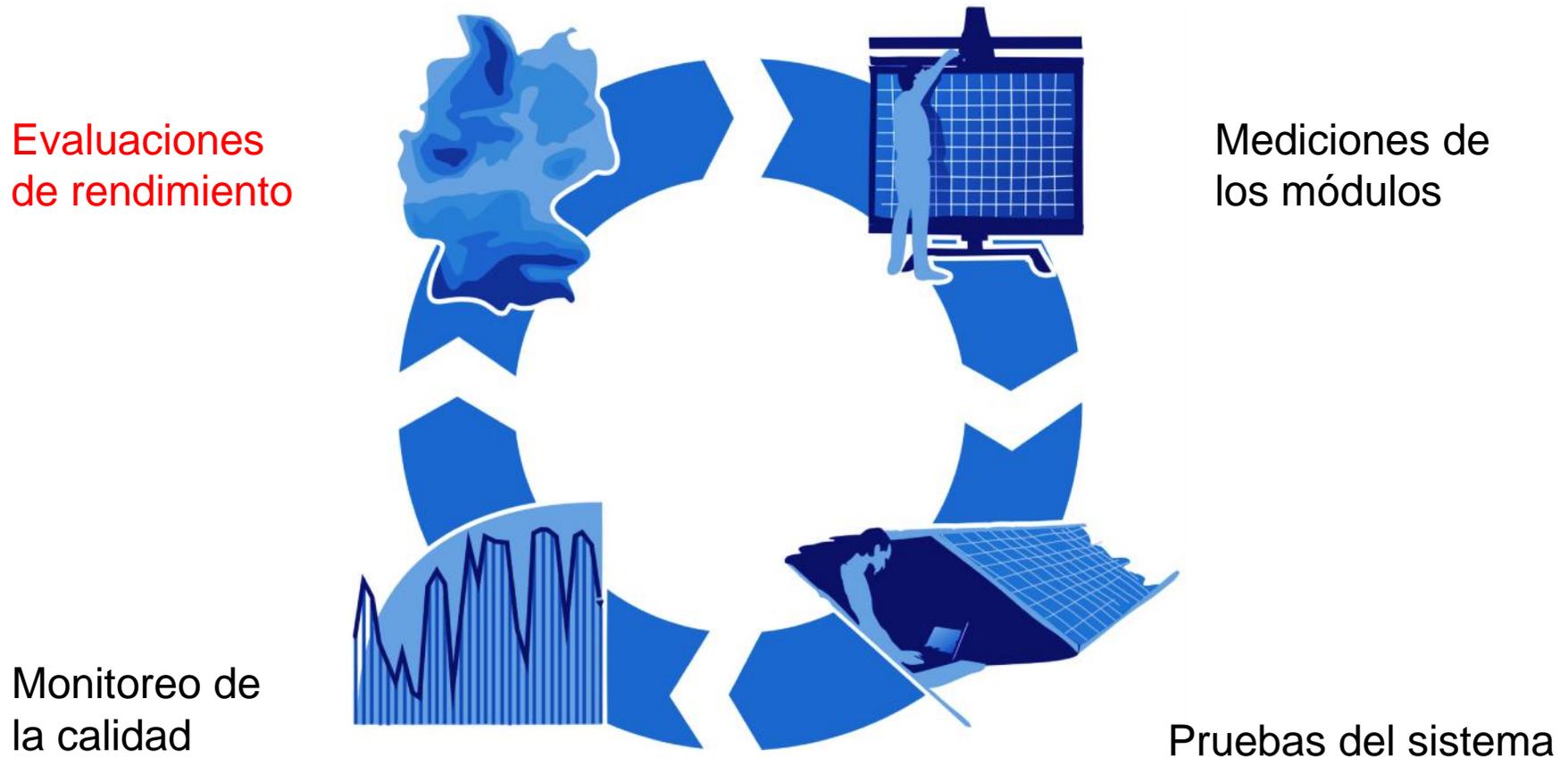
- Conclusiones:
 - No confíes en una sola figura
 - No confíe en una sola herramienta de software

 - La operación de planta solar es bien entendida y reproducible
 - Confianza en la experiencia, en la suya o en la de su consultor

 - Estandáres pueden reducir algunas incertidumbres:
 - EN 61853 “Energy Rating”, EN 50380 module data sheet

Diseño del Sistema

- El Círculo de Calidad del Fraunhofer ISE



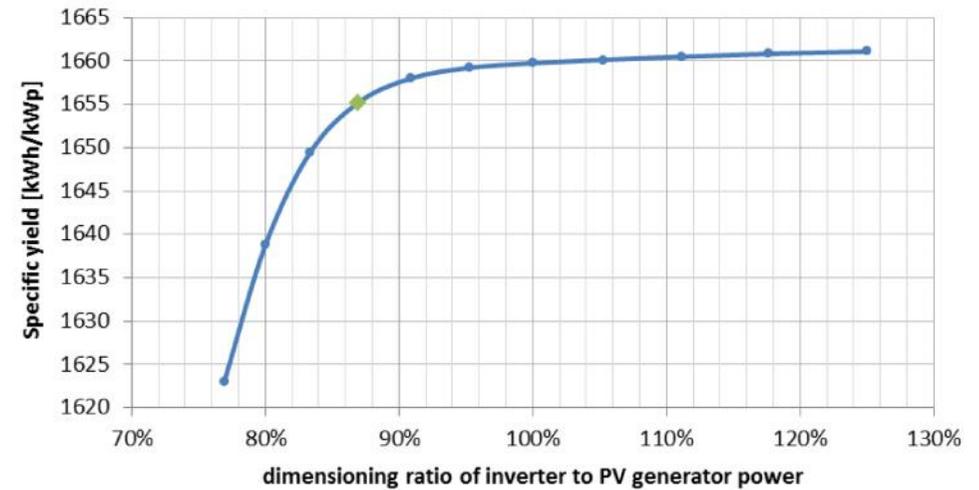
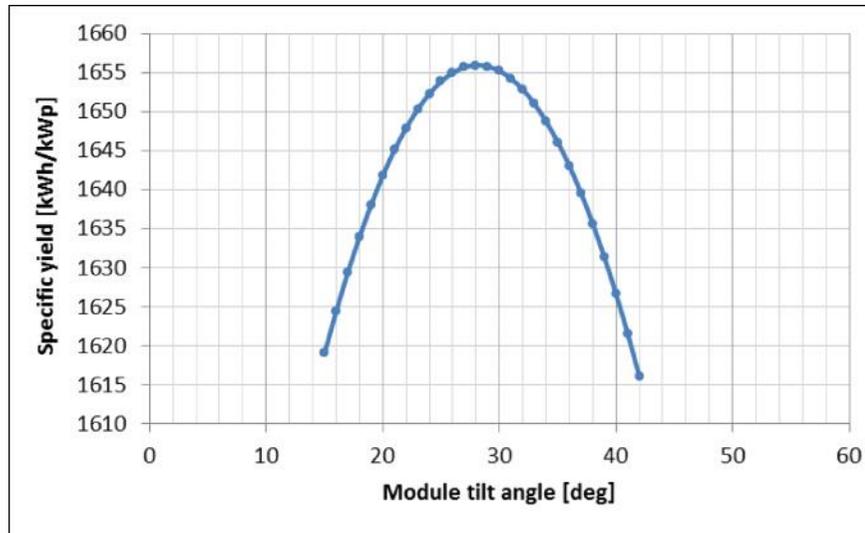
Diseño del Sistema

- Chequeo/Verificación del diseño

- Inclinación óptimal

y

Relación óptima Inv./PV



Ejemplos de Sistemas FV

- Alemania, 80 MW, antiguo aeropuerto, Módulos CdTe



Ejemplos de Sistemas FV

- Alemania, 80 MW, antiguo aeropuerto, Módulos CdTe, inversores centrales



Ejemplos de Sistemas FV

- Alemania, 128 MW, antiguo aeropuerto, Módulos CdTe, inversores centrales

Datos de la planta solar:

128 MWp (CC) en 528 acres,
la planta solar de capa fina
más grande de Europa

114 inversores y más de
1.5 millones de módulos

Cuatro meses de construcción

Costo total apróx. ~\$270m
(~\$2 por Wp instalado)

source: <http://www.power-technology.com>



Ejemplos de Sistemas FV

- Abu Dhabi, 10 MWp, Desierto, Módulos C-Si y CdTe, inversores centrales



Ejemplos de Sistemas FV

- España, Barcelona, 1.5 MWp, techo de fábrica, C-Si , inversores descentrales



Ejemplos de Sistemas FV

- Alemania, Friburgo, 2,0 MWp, relleno de basura, C-Si , inversores descentrales



Ejemplos de Sistemas FV

- España, 7.0 MWp, tierra seca y montañosa, C-Si , inversores centrales



Ejemplos de Sistemas FV

- España, 1.0 MWp, tierra seca, rastreador de un eje, C-Si , inversores centrales



Ejemplos de Sistemas FV

- Chile, 150 MWp, tierra seca, rastreador de un eje, CdTe, inversores centrales



Contratación/Puesta en marcha

- El Círculo de Calidad del Fraunhofer ISE



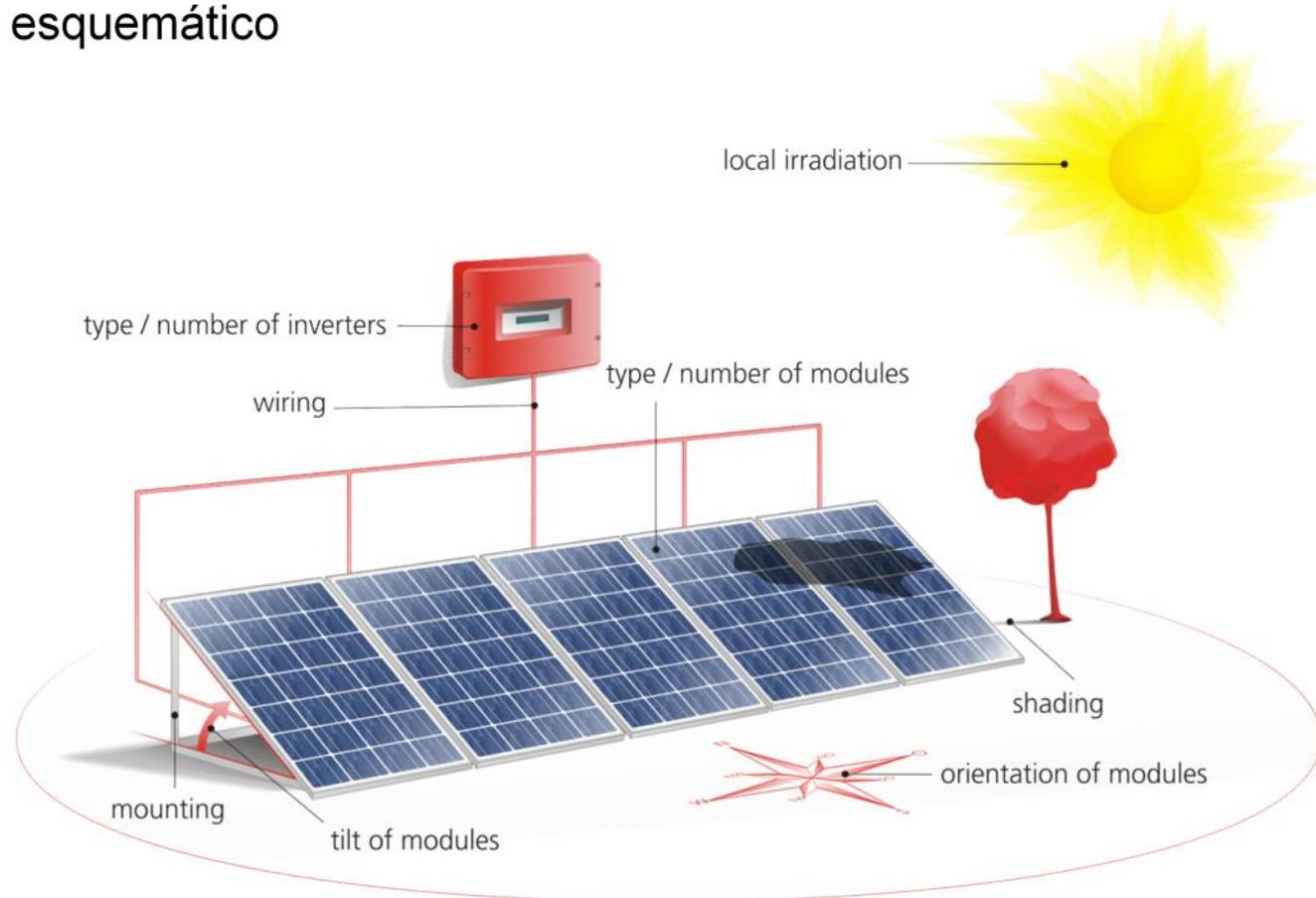
Inspección del sistema durante la instalación

- Inspección visual de la planta FV en general
- Comparación del sistema FV construido vs. planificado
- Inspección visual de la subestructura de los módulos
- Chequeo de la orientación de los módulos y ángulo de sombreado
- Inspección visual de la instalación de los módulos e inversores
- Inspección visual de la gestión de los cables

Inspección del sistema durante la instalación

Inspección visual del Sistema total FV

➤ Plano esquemático



Comparación del sistema construido vs. planificado de acuerdo con la lista de chequeo/verificación Fraunhofer ISE

	Component	Target	Value from documentation	Review	√
Entire Plant	Solar Plant	Name/ Place/ Customer			
	Operator	For Report			
	Installation company	For Report			
	Date	DD.MM.YYYY-DD.MM.YYYY			
	Total DC Power	Comparison w/ documentation			
	Modules	Type 1 (no./ power class)			
		Type 2 (no./ power class)			
	Inverters (comparison daily yields & operation hrs)	Type 1 (no./ Allocation)			
		Type 2 (no./ Allocation)			
		Type 3 (no./ Allocation)			
	Orientation	Comparison w/ documentation			
	Fixed Tilt Angle	Comparison w/ documentation			
	Distance between rows	Comparison w/ documentation			
Hight of module table	Comparison w/ documentation				
Shading Angle	Comparison w/ documentation				

Wiring	DC Cable	Manufac./ cross-section/ length			
	AC Cable	Manufac./ cross-section/ length			
	Wiring	Optimized			
	Cable conduit	professional/ closed			
Solar Generator (DC)	Modules	Interconnection			
	Fuses	Comp. with I_{sc} of string/ inv.			
	String Voltage	Meas: U_{oc} / docu: $U_{MPP} \rightarrow TKU_{oc}$!			
	Inverter	String Allocation/ Installation			
	Module clamps	Tight/ Installation/ Shading			
	Frame/ Substructure	Stability/ expansion gap/ PE			
	Connection Boxes	Moist/ Inst./ Cable lead fittings			
	Labeling	existing/ clear			
	Infrared camera testing	100 %: $dT=15$ K, $E>700$ W/m ²			
	STC Power Determination	b./a. cleaning/ 10 %/ Ref-Str.			
Mon	ISE-Monitoring	Ref-Cell, Sensors, Fct.			
	Operation mangement	If possible check before			
Shading	Objects	Determination/ measuring			
	Inv./ DC-/ AC-distributor	Determination/ measuring			
	Image of horizont				
AC	Electrical enclosures	Fuses/ Labeling			
	Transformerr	Comparison w/ documentation			
	Position of meter	Before/ after transformer			

Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación







Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



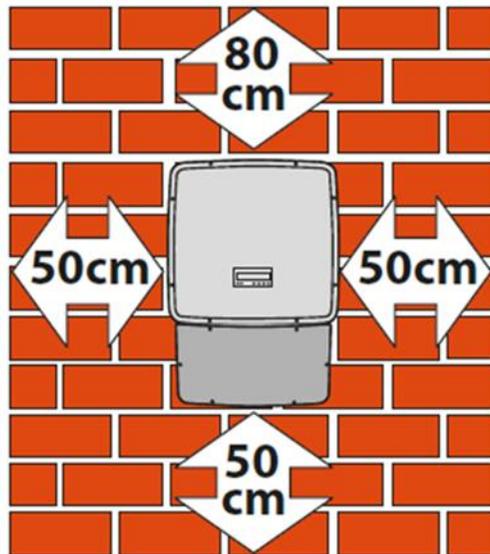
Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



- To carry out maintenance of the hardware and software of the equipment, remove the covers on the front. Check that there are the correct safety distances for the installation that will allow the normal control and maintenance operations to be carried out.
- Comply with the indicated minimum distances.

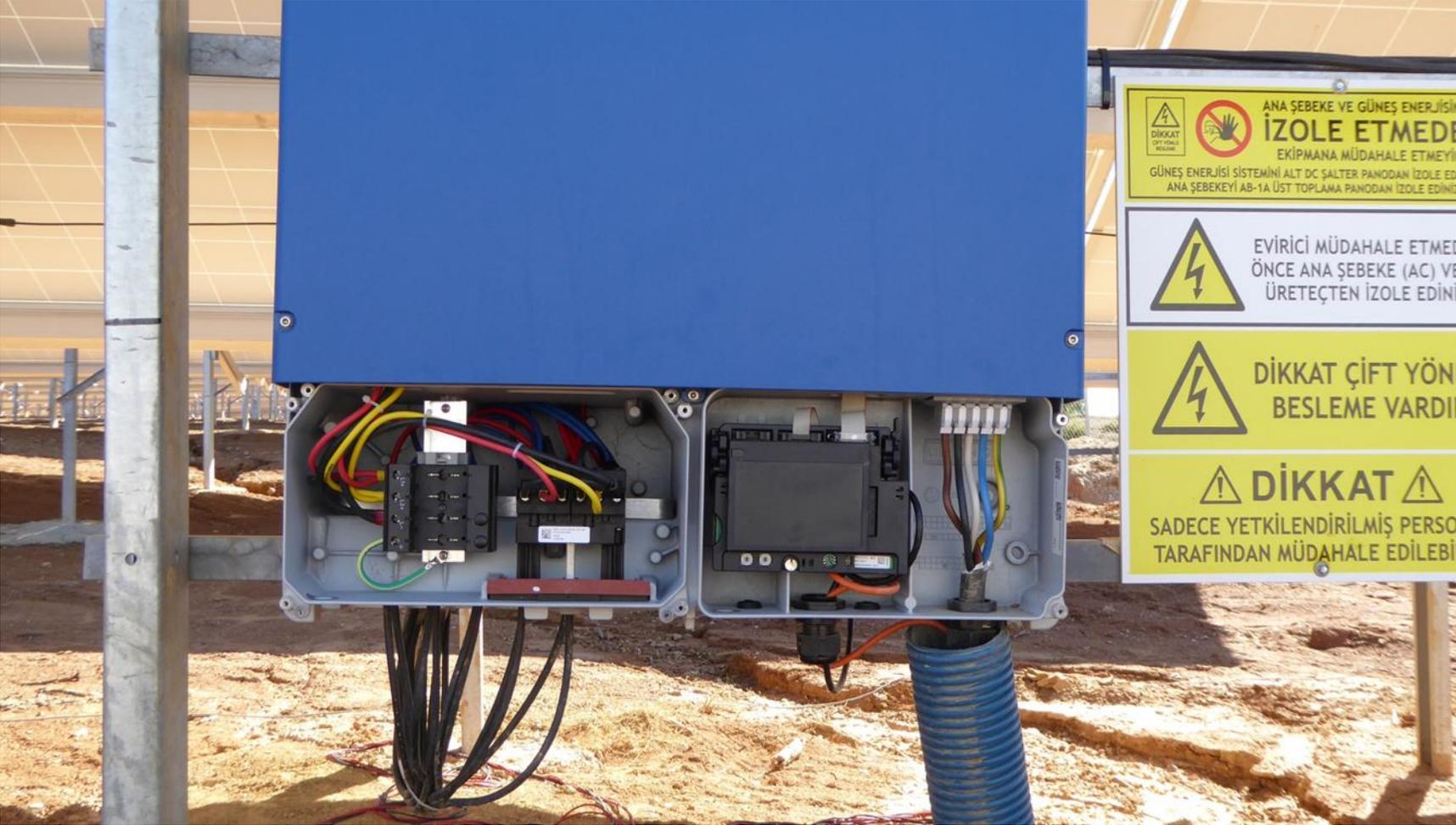
Inspección del sistema durante la instalación



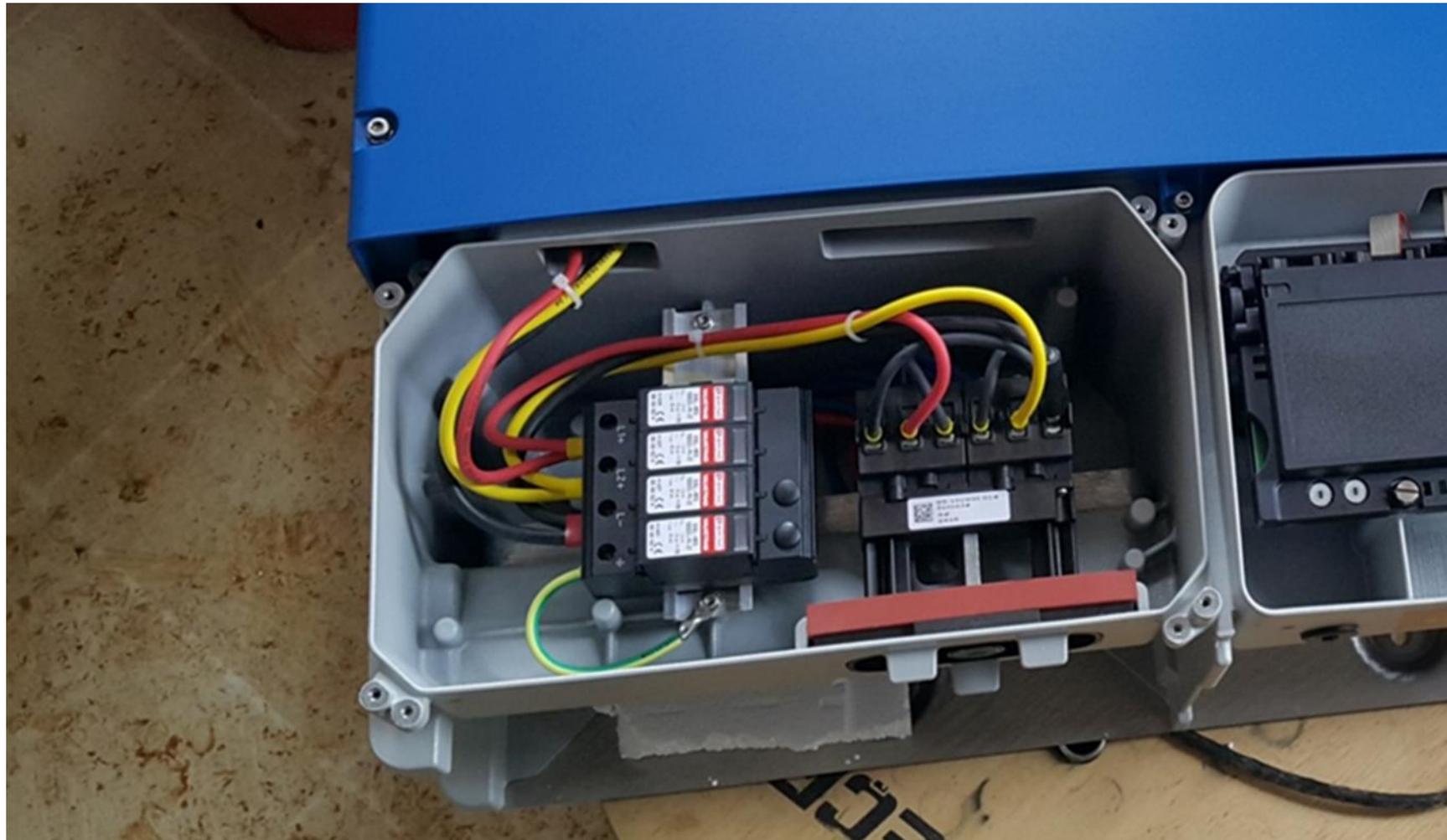
Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Inspección del sistema durante la instalación



Ámbito/Alcance de la comprobación durante la prueba final de aceptación

- Inspección visual de la planta FV en general
- Comparación del sistema FV construido vs. planificado
- Inspección visual de la subestructura de los módulos
- Chequeo de la orientación de los módulos y ángulo de sombreado
- Inspección visual de la instalación de los módulos e inversores
- Inspección visual de la gestión de los cables
- Imágenes infrarrojas de los módulos y las conexiones eléctricas
- Medición del generador solar para verificar la potencia del módulo
- Verificación del sistema de monitoreo
- Verificación del rendimiento a corto plazo de la planta FV

Comprobación durante la prueba final de aceptación



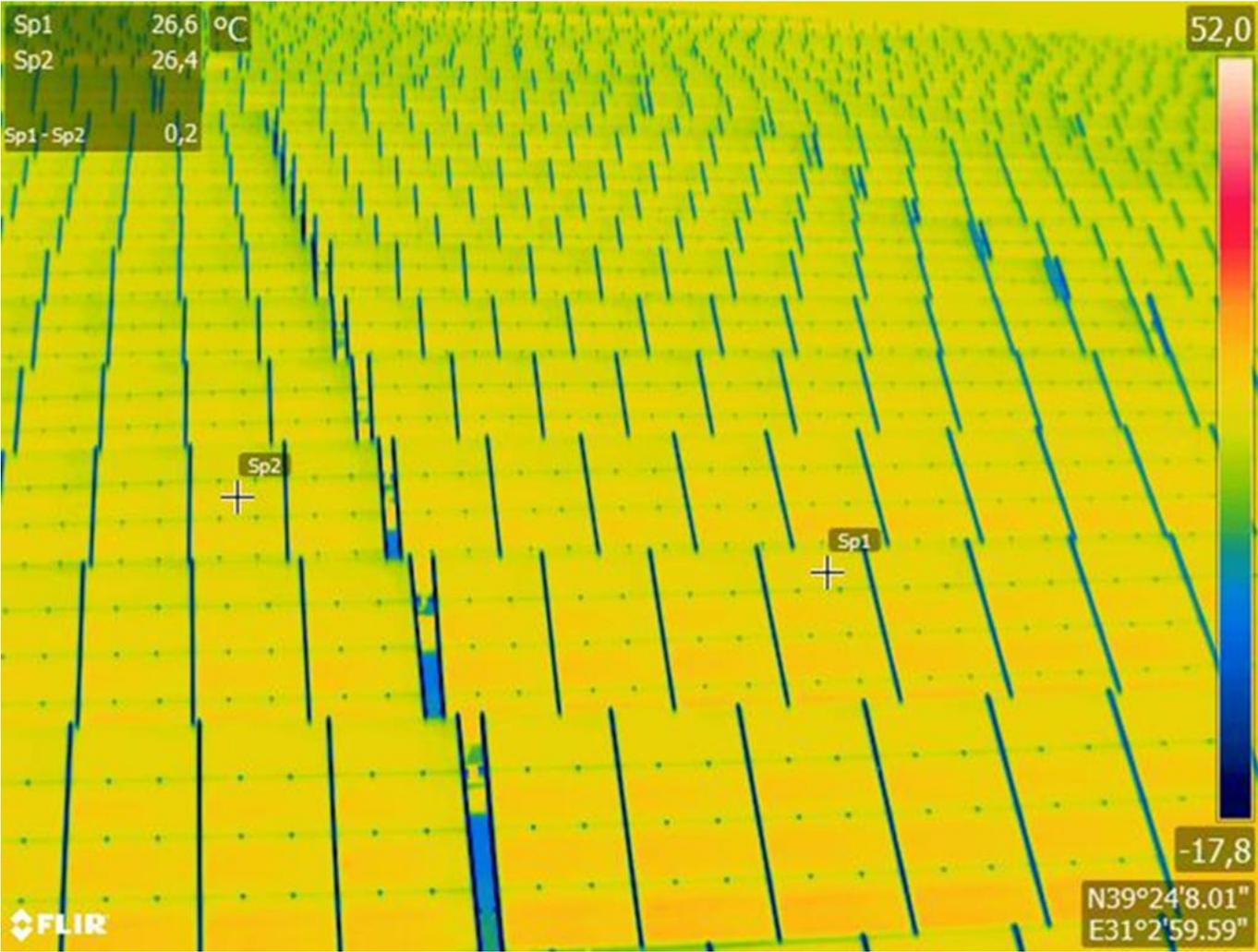
Comprobación durante la prueba final de aceptación



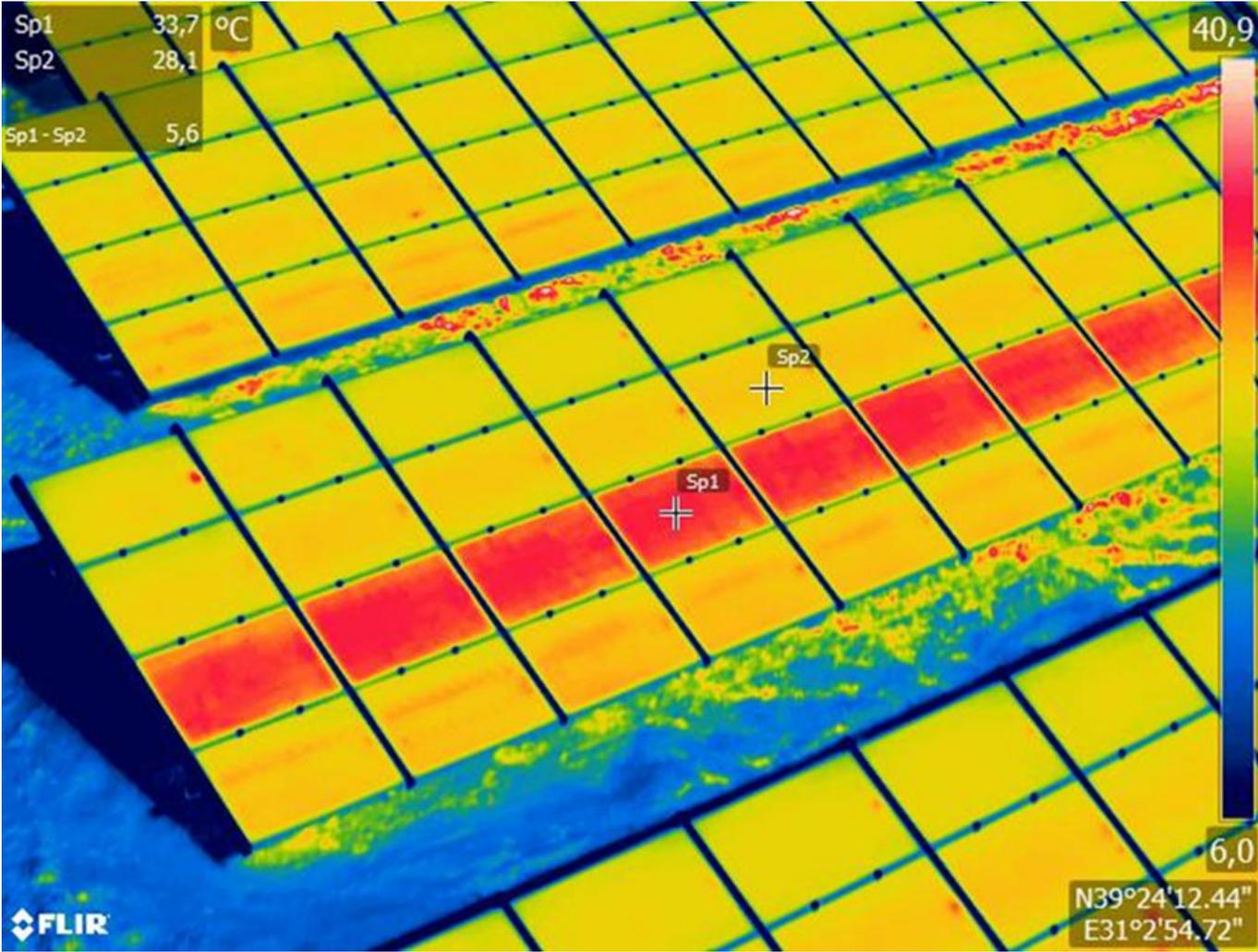
Comprobación durante la prueba final de aceptación



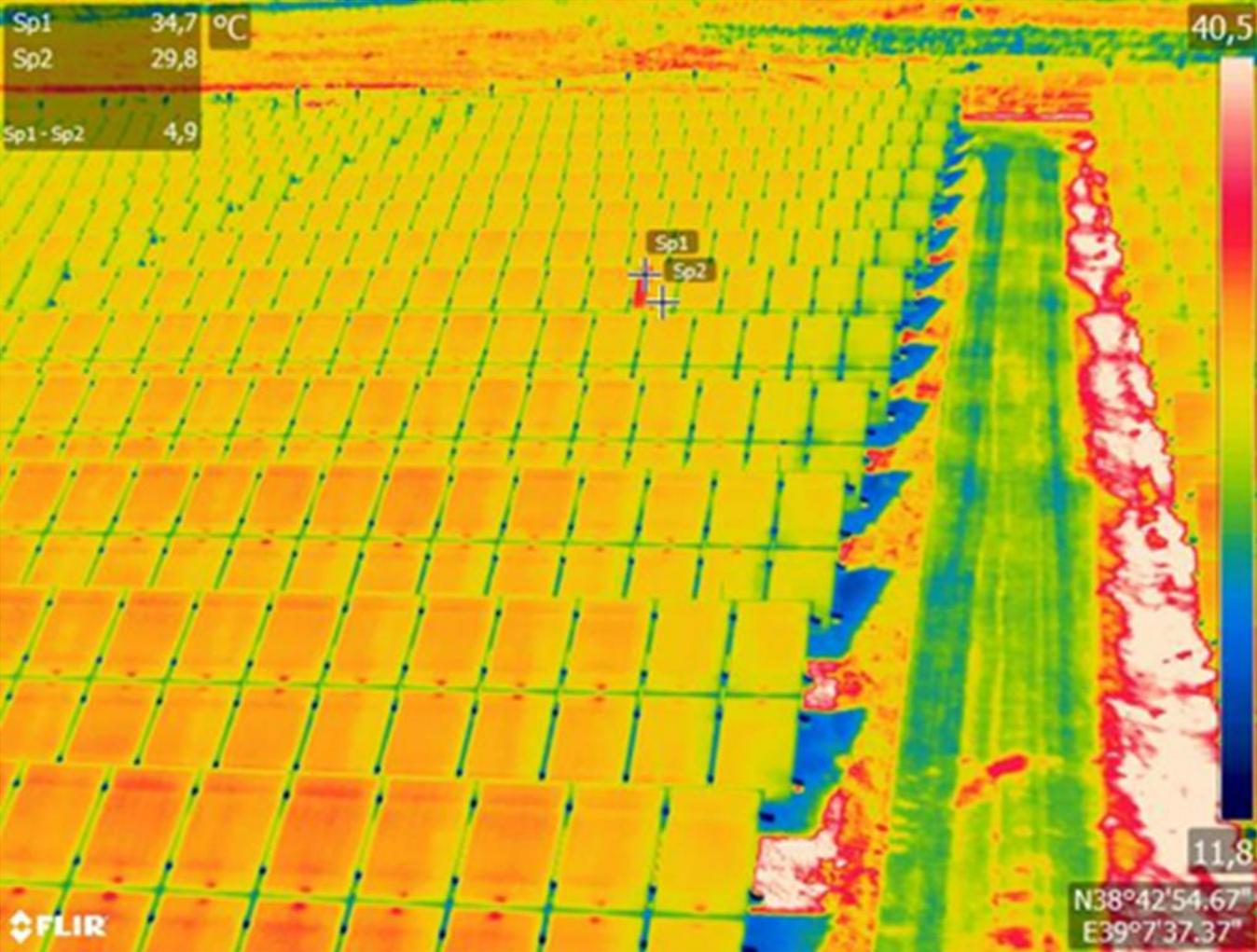
Comprobación durante la prueba final de aceptación



Comprobación durante la prueba final de aceptación



Comprobación durante la prueba final de aceptación



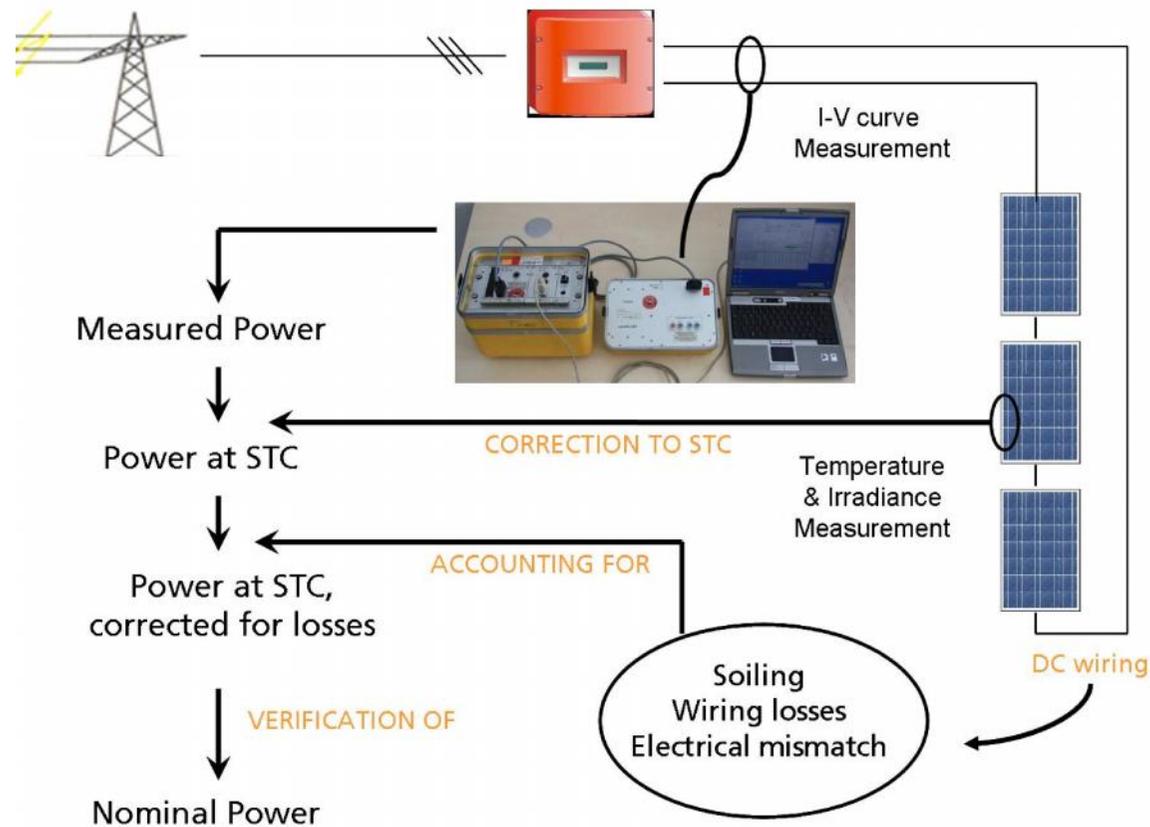
Comprobación durante la prueba final de aceptación



Comprobación durante la prueba final de aceptación

Campo I-V Mediciones de curva

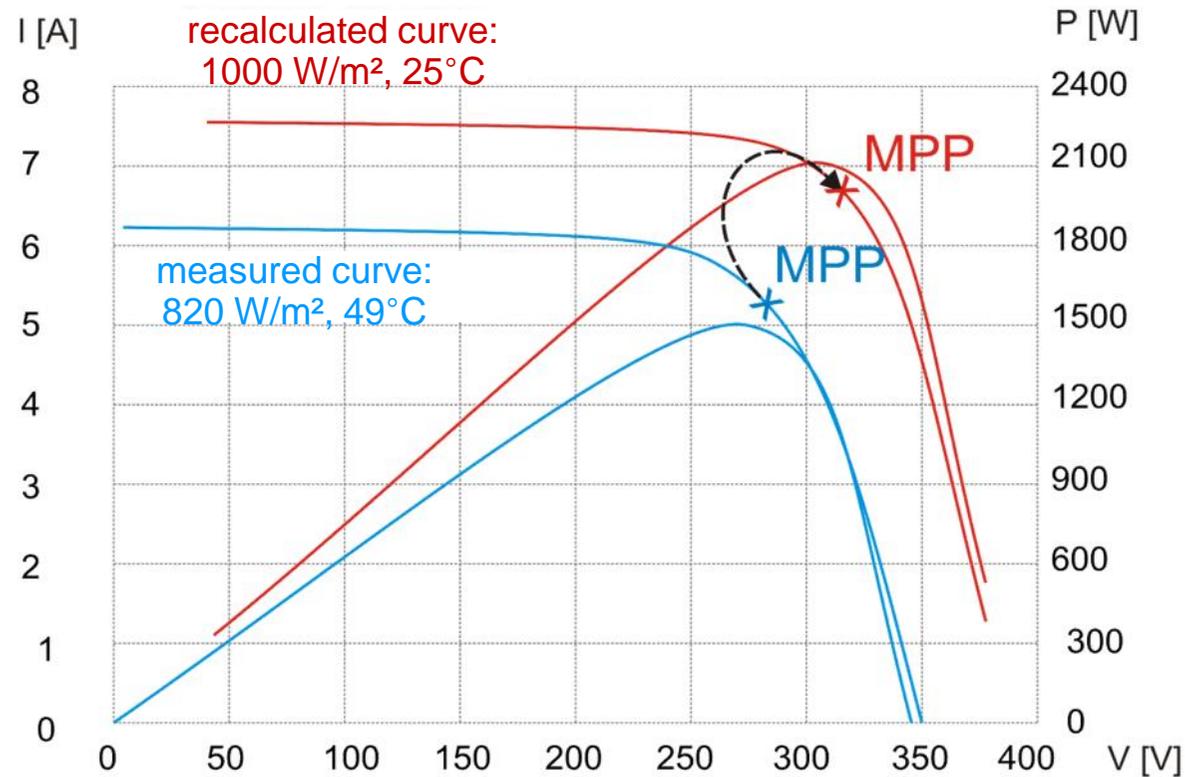
- Verificando la potencia de los módulos



Comprobación durante la prueba final de aceptación

Campo I-V Mediciones de curva

- Extrapolación de las características medidas del generador solar de acuerdo a IEC 60891 Ed. 2 Procedimiento 1



Comprobación durante la prueba final de aceptación



Comprobación durante la prueba final de aceptación



Comprobación durante la prueba final de aceptación

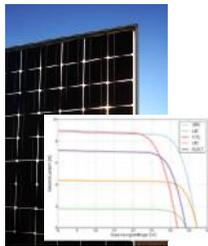


Comprobación durante la prueba final de aceptación

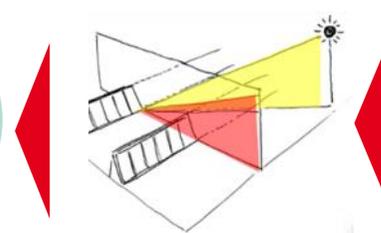
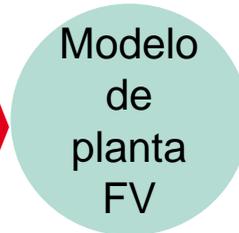
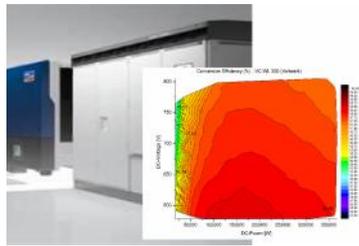
Chequeo del rendimiento a corto plazo de la planta FV

Verificación independiente de rendimiento en 3 pasos:

1: Modelo de la planta como construida



Características de módulos e inversores
por ej. Dependencia de temperatura e irradiación, eficiencia



Construcción de planta
por ej. Pérdidas por orientación, inclinación, sombreado y cableado

2: Validación de sensores de monitoreo de planta FV (Irradiación y temperatura)

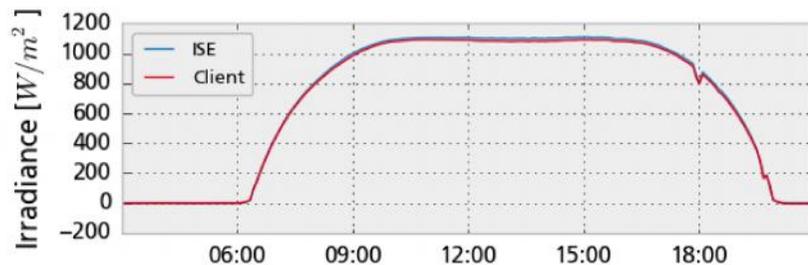


Fig. 1: Irradiación medida por sensor ISE (roja) y de cliente (azul)



Fig. 2: Comparación de valores de piránómetros de ISE y cliente

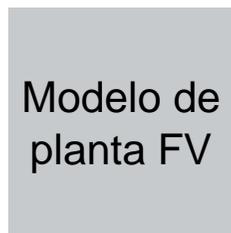
Comprobación durante la prueba final de aceptación

Chequeo del rendimiento a corto plazo

3: Rendimiento de la planta: datos modelados vs. medidos



Irradiación medida "in situ" y datos de temperatura



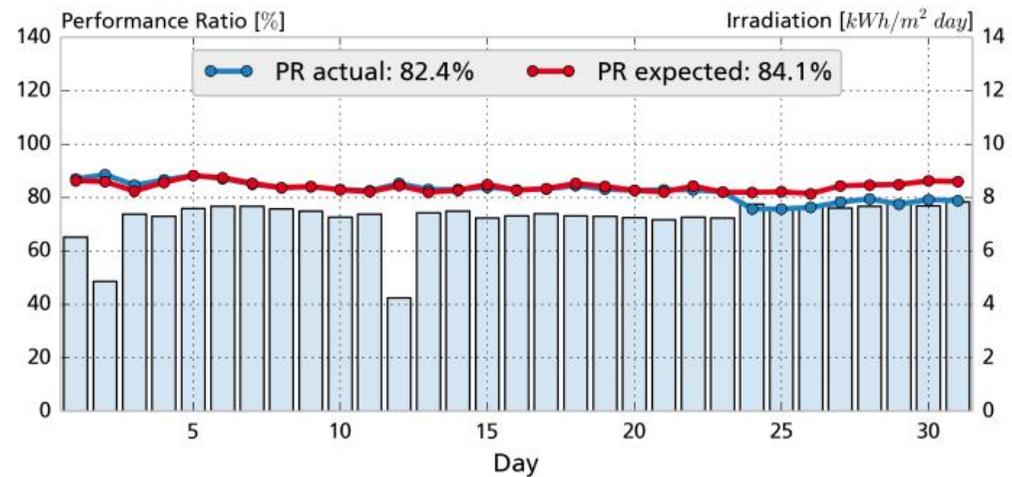
PR modelado



PR medido



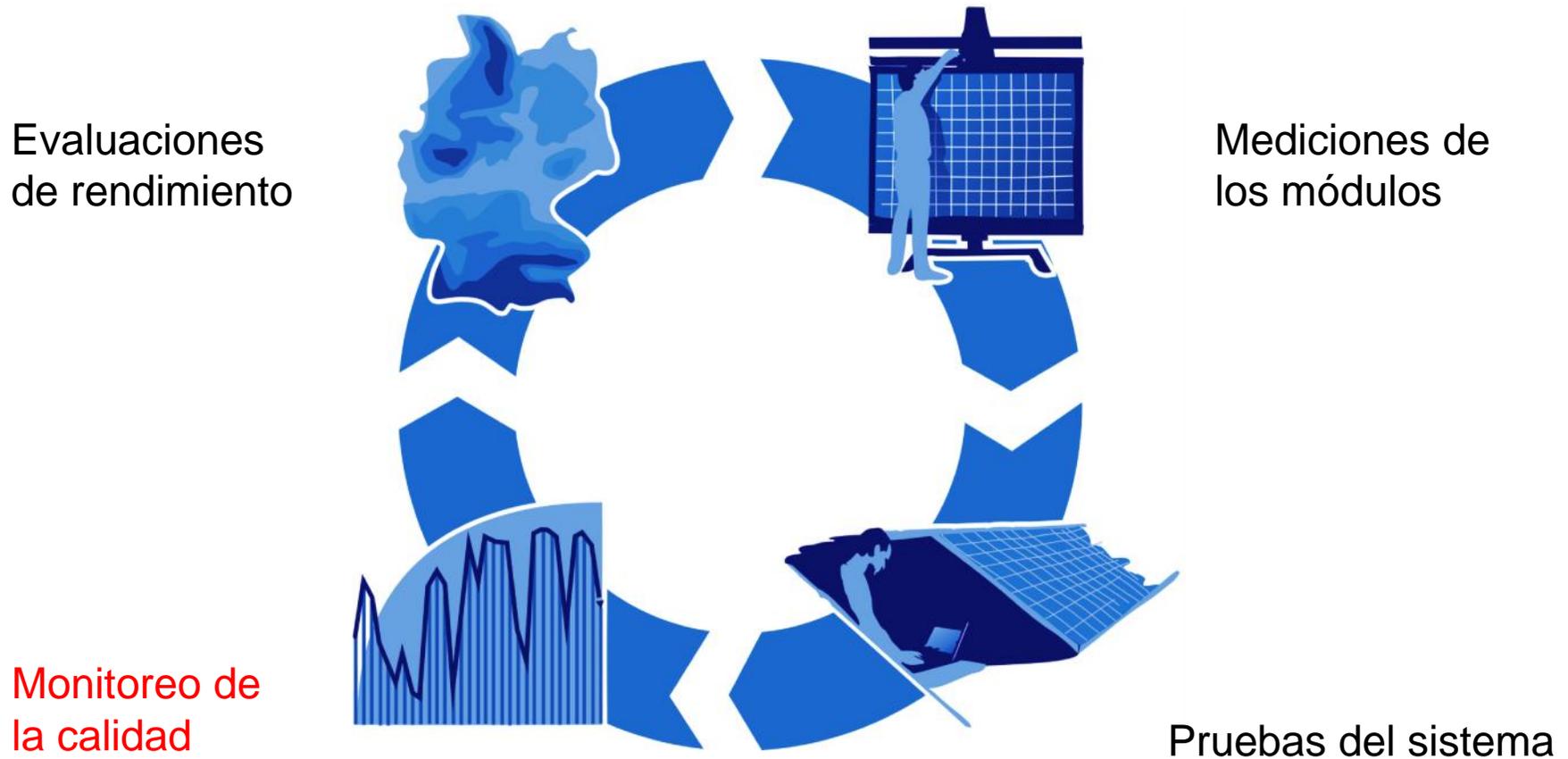
comparación y resultados



- Comparación de PR actual (medido) y esperado (modelado)

Operación y Mantenimiento (O & M)

■ El Círculo de Calidad del Fraunhofer ISE



Muchas gracias por su atención!



Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Benjamin Knödler

www.ise.fraunhofer.de
benjamin.knoedler@ise.fraunhofer.de