

NORMAS INTERNACIONALES DE ENERGÍA SOLAR

 **LIBRO**

ISO 9060, IEC 61724-1, ISO 9846
e 9847, ISO/IEC 17025

Índice

1. Información general sobre la radiación solar
 - Irradiancia directa normal (DNI)
 - Irradiancia difusa horizontal (DHI)
 - Irradiancia global horizontal (GHI)
 - Irradiancia sobre el plano de los paneles fotovoltaicos
 - Albedo
 - Irradiancia sobre la parte trasera los módulos fotovoltaicos bifaciales (POAREAR)
2. Piranómetros y pirheliómetros en la norma ISO 9060
 - 9060:2018
 - 2018 frente a 1990
3. IEC 61724-1 Monitoreo del rendimiento de sistemas fotovoltaicos
 - Clases de monitoreo
 - Comunicación y conexión
 - Sistema de monitoreo de Clase B
 - Sistema de monitoreo de Clase A
 - Cantidad de sistemas de monitoreo
 - 2021 frente a 2017
4. Calibración de piranómetros según ISO 9846 y 9847
 - Calibración según ISO 9846
 - Calibración en interior según ISO 9847
 - Calibración al aire libre según ISO 9847
 - Prueba de fiabilidad en el sitio
5. Acreditación de un laboratorio de calibración según ISO/IEC 17025
 - Servicio de calibración acreditado de Kipp & Zonen

Normas Internacionales Para Energía Solar

ISO 9060, IEC 61724-1, ISO 9846 e 9847, ISO/IEC 17025

En Kipp & Zonen recibimos muchas preguntas sobre las normas internacionales arriba indicadas, que son las más consultadas en lo relacionado con el diseño, operación y mantenimiento de plantas fotovoltaicas. Algunas consideraciones también pueden aplicarse a la cartografía de recursos energéticos, la búsqueda de emplazamientos y las plantas de energía solar térmica de concentración (CSP por sus siglas en inglés).

Para tener la certeza de que todo el mundo está haciendo referencia a los mismos parámetros, comenzamos con una descripción general de los componentes de la radiación solar y la forma en que se miden. Luego consultamos la norma ISO 9060, que define los piranómetros y pirheliómetros como instrumentos de medición de la radiación solar, y comentamos las implicaciones de la versión de 2018 que actualizó la edición original de 1990.

La norma IEC 61724-1, que ha generado tantos malentendidos, experimentó cambios importantes en la actualización publicada en julio de 2021. Aquí nos centramos en los puntos más destacados que afectan a los equipos de monitoreo solar y ambiental. Luego nos referimos a los estándares de calibración para piranómetros que se especifican en las normas internacionales ISO 9846 e ISO 9847, también relacionadas con la energía solar. Para terminar, explicamos la norma ISO/IEC 17025 utilizando como ejemplo la acreditación del laboratorio de calibración radiométrica ubicado en la fábrica de Kipp & Zonen en Delft, Países Bajos.

Información general

1. sobre la radiación solar

El sol suministra el 99,97% de la energía de nuestro planeta (el resto es energía geotérmica) y es responsable, directa o indirectamente, de la existencia de vida en la Tierra y de los fenómenos meteorológicos y climáticos. La energía emitida es de aproximadamente 63 MW por cada m² de superficie, alrededor de $3,72 \times 10^{20}$ MW en total.

La irradiancia (flujo radiativo) se mide en vatios por metro cuadrado (W/m²). A la distancia promedio entre la Tierra y el sol, 150 millones de kilómetros, el flujo de radiación solar que llega a la atmósfera terrestre es $1.360,8 \pm 0,5$ W/m² (NASA, 2008). A esta cantidad se le conoce como constante solar.

Sin embargo, lo cierto es que no es constante. En enero, que es cuando la Tierra está más cerca del sol, la radiación en el borde de la atmósfera es un 6,6% mayor que en junio, cuando la distancia es máxima. En el interior del sol y en su superficie existen diversos procesos, por ejemplo el ciclo que controla las manchas y las erupciones solares, que causan fluctuaciones de la radiación emitida, pero no superan el 0,1%.

La energía procedente del sol llega a la atmósfera terrestre como un haz de radiación directo, pero al atravesar la atmósfera una parte de este haz se dispersa en todas las direcciones, lo que se conoce como radiación "difusa". En un día con cielo despejado, la irradiancia total que llega a la superficie terrestre generalmente varía entre 700 y 1.300 W/m² en el medio día solar, dependiendo de la latitud, la altitud y la época del año.

Para realizar mediciones de alta calidad de la radiación solar a nivel del suelo se utilizan radiómetros. Estos instrumentos responden a la radiación en un intervalo de longitud de onda que varía entre 300 nm o menos y 3.000 nm o más, con lo que detectan hasta el 99% de la energía que llega a la superficie terrestre.



La energía procedente del sol llega a la atmósfera terrestre como un haz de radiación directo, pero al atravesar la atmósfera una parte de este haz se dispersa en todas las direcciones, lo que se conoce como radiación "difusa".

Irradiancia directa normal (DNI)

Cuando la radiación directa del sol incide perpendicularmente (en un ángulo normal) sobre una superficie plana, y además se excluye la luz dispersada procedente del cielo, el flujo radiativo se denomina irradiancia directa normal. En un día despejado, el 95% de la energía que llega a la superficie de la Tierra es DNI, mientras que en un día nublado la DNI está próxima a cero.

La DNI es de suma importancia para las tecnologías basadas en concentrar la luz del sol, es decir, las plantas de energía solar térmica de concentración (CSP) y los sistemas de energía solar fotovoltaica de concentración (CPV). Se mide con un instrumento

llamado pirheliómetro, que tiene un campo de visión de 5° y se monta en un seguidor solar automático que mantiene el instrumento perfectamente orientado al sol desde el amanecer hasta el anochecer.

Irradiancia difusa horizontal (DHI)

En general, se considera que la radiación solar dispersada por la atmósfera es difusa y está distribuida de manera uniforme por todo el cielo en el punto de medición. En un día despejado, la DHI es aproximadamente el 5% de la energía total que llega a la superficie terrestre, pero en un día nublado es casi el 100%. Los módulos fotovoltaicos responden a la luz desde muchos ángulos de incidencia, así que pueden



utilizar esta radiación difusa para producir energía en días nublados.

Cuando la radiación difusa procedente del hemisferio de cielo incide en una superficie horizontal plana, el flujo radiativo es la irradiancia difusa horizontal.

La DHI se mide con un instrumento llamado pirómetro horizontal, que va montado en un seguidor solar y está protegido de la luz solar directa en todo momento durante el día. Los 5° de cielo que están oscurecidos coinciden con los 5° que puede ver un pirheliómetro.





Irradiancia global horizontal (GHI)

Cuando toda la radiación procedente del sol (DNI) y del cielo (DHI) incide en una superficie horizontal plana, el flujo radiativo es la irradiancia global (total) horizontal. Sin embargo, la GHI no es simplemente la suma de DHI + DNI.

Cuando el sol está justo encima de nosotros, proyecta un haz circular sobre la superficie horizontal, pero a medida que baja en el cielo el círculo se convierte en una elipse, del mismo modo que las sombras se hacen más largas al atardecer. La DNI es la misma (su medida en W/m² no varía) pero está repartida en una superficie mayor, de manera que la irradiancia sobre la superficie horizontal disminuye.

La relación es una función coseno:

$$GHI = DHI + DNI \cdot \cos(\theta)$$

θ es el ángulo cenital solar (SZA), que varía entre 0° (cuando el sol se encuentra en la vertical del emplazamiento) y 90° (con el sol en el horizonte).

Así pues, $GHI = DHI + DNI$ únicamente en el momento del medio día solar y si el ángulo SZA es 0° (lo cual solo ocurre en los trópicos).

La GHI es importante porque es el parámetro medido en redes de observación climática y meteorológica, proviene de instrumentos satelitales y se calcula con modelos de cielo despejado. Se mide con un piranómetro horizontal.

Las mediciones locales de la GHI con un piranómetro permiten comparar la energía solar disponible entre emplazamientos y entre conjuntos de datos, así como validar estimaciones de satélite y de modelo para un emplazamiento concreto.

Irradiancia sobre el plano de la matriz fotovoltaica (POA)

Si el piranómetro se monta en ángulo, mide la irradiancia global inclinada (GTI). Si el ángulo acimutal y el ángulo cenital coinciden con el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos adyacentes, el piranómetro se encuentra en el mismo plano que esa matriz y mide toda la radiación solar que le llega. Eso incluye la reflexión del suelo y de la estructura de los marcos de la matriz situados frente al piranómetro. El valor medido varía según el ángulo



de inclinación del módulo, el espacio entre strings y la reflectancia de la superficie (albedo).

La medición exacta de la irradiancia POA es fundamental para calcular la eficiencia de una planta, el índice de rendimiento y la rentabilidad.

Albedo

Cuando la radiación solar global incide sobre una superficie, parte de ella se refleja. El porcentaje de radiación reflejada depende de las características ópticas de la superficie, su albedo. El albedo es un valor adimensional que varía entre 0 (perfectamente no reflectante) y 1 (perfectamente reflectante). El césped corto, por ejemplo, tiene un albedo de 0,15 aproximadamente, lo que significa que refleja el 15% de la radiación incidente.

Un albedómetro consiste en dos piranómetros iguales contrapuestos y montados en el mismo eje, para medir la GHI y la irradiancia reflejada horizontal (RHI) en W/m². La relación entre ambas medidas es el albedo de la superficie que hay debajo.

$$\text{Albedo} = \frac{RHI}{GHI}$$

Una pantalla antirreflectante evita que la radiación solar directa incida en el detector inferior cuando el sol está bajo.





En meteorología, investigación climática y agricultura, el albedómetro generalmente se coloca a una altura de 10 m como máximo para medir la radiación reflejada en una gran superficie y para validar los datos satelitales.

En una planta fotovoltaica, una parte de la radiación solar es reflejada en dirección a la cara frontal del módulo por la superficie que tiene delante. Sin embargo, lo que más interesa es la luz que se refleja hacia la cara posterior de un módulo bifacial desde la superficie que tiene detrás y debajo. La reflexión varía según el tipo de superficie, las condiciones meteorológicas, el ángulo del sol y los efectos de sombra.

La norma IEC 61724-1:2021 incluye recomendaciones para la medición del albedo horizontal:

- La altura mínima desde el detector del piranómetro inferior hasta el suelo es de 1 m para reducir la sombra proyectada sobre la superficie, aunque una altura de 1,5 m mejora la precisión de las mediciones.
- Ausencia de sombras proyectadas por vegetación o estructuras (incluidos módulos/matrices) en un campo de visión de 160°. Esto se refiere principalmente a la visión del piranómetro que apunta hacia arriba, pero también a la sombra proyectada sobre la superficie de abajo.
- Las matrices fotovoltaicas fijas tienen una altura típica de 2,5 m. Por lo tanto, si la barra de montaje del albedómetro está a una altura de 1,5 m, en torno al eje vertical del albedómetro debe haber una zona despejada de al menos 8,5 m de radio.
- Minimización de sombras proyectadas por el soporte. El poste clavado en el suelo debe estar en el lado contrario al ecuador, y no debe superar en altura al plano del detector del piranómetro superior. Su diámetro debe ser lo más pequeño posible manteniendo la rigidez requerida, con el fin de bloquear lo menos posible la visión del piranómetro inferior. Lo ideal es que el soporte no sea reflectante.

- Si la superficie presenta variaciones importantes, es conveniente utilizar varios albedómetros. Si la planta es grande, es improbable que no existan variaciones.
- Para fines de una planta fotovoltaica, los albedómetros no tienen que ser tan precisos como los piranómetros que miden la irradiancia GHI y POA, ya que lo importante no son los valores absolutos, sino la relación entre GHI y RHI en el emplazamiento.
- Los mejores datos se obtienen al medio día solar (entre 2 horas antes y 2 horas después, aproximadamente), para minimizar las sombras y los efectos del ángulo solar.

Irradiancia sobre la parte posterior de una matriz fotovoltaica bifacial (POAREAR)

El mercado de la energía solar muestra cada vez más interés por los módulos fotovoltaicos bifaciales, donde las dos caras de un panel pueden absorber la luz solar y contribuir a la producción de energía.

Los módulos bifaciales necesitan más separación entre matrices para que los haces directos y la radiación difusa procedente del cielo lleguen al suelo y se reflejen hacia las caras posteriores. Dependiendo del tipo y la altura de los módulos, el espacio entre hileras, las estructuras de soporte y la reflectancia de las superficies visibles para la cara posterior del módulo (principalmente el suelo), el incremento de energía puede estar entre un 10% y un 25%.

Sin embargo, la cantidad de energía adicional varía según el estado del cielo y la superficie (por la variación del albedo), el ángulo del sol durante el día y las distintas trayectorias del sol a lo largo del año (declinación solar). Además, la radiación adicional no será la misma en todos los puntos de la cara posterior.

Por lo tanto, resulta problemático realizar una estimación fiable de la radiación que llega a la cara posterior de un módulo fotovoltaico bifacial a partir de mediciones de albedo y un modelo. Dado el tiempo limitado y la incertidumbre existente, es poco probable que esta estimación resulte útil para determinar en qué medida la cara posterior contribuye al rendimiento de la instalación.

Por esta razón, existe un interés cada vez mayor en medir la irradiancia real sobre la cara posterior de los módulos, y la norma IEC 61724-1:2021 incluye recomendaciones respecto a esto:

- La irradiancia sobre la parte posterior de una matriz fotovoltaica varía según la altura y la proximidad a los extremos.
- La distribución espacial de la irradiancia sobre la cara posterior varía a lo largo del día y según las estaciones, sobre todo cuando se utilizan sistemas de seguimiento.
- Generalmente se necesitan 3 sensores para medir el perfil de irradiancia y establecer un valor promedio para calcular el índice de rendimiento.
- Podría decirse que los sensores posteriores no necesitan ser tan precisos como los utilizados para medir la irradiancia POA y GHI en la parte delantera, ya que la irradiancia posterior es una parte relativamente pequeña del total.

La medición exacta de la irradiancia POA(REAR) probablemente será necesaria para calcular la eficiencia de una planta, el índice de rendimiento y la rentabilidad teniendo en cuenta el costo adicional de adquisición, instalación y mantenimiento de los sistemas bifaciales, por ejemplo la necesidad de limpiar las caras posteriores de los módulos.

“
El sol suministra el
99,97% de la
energía de nuestro
planeta.”

2. Piranómetros y pirheliómetros en la norma ISO 9060

La norma ISO 9060 se titula "Energía solar - Especificación y clasificación de instrumentos para medir la radiación solar hemisférica y la radiación solar directa". Define qué es un piranómetro para medir la irradiancia global horizontal o inclinada (GHI y GTI) y, si está en un lugar sombreado, la DHI. También define qué es un pirheliómetro para medir la DNI.

Esta norma especifica los requisitos de rendimiento mínimos para piranómetros y pirheliómetros en varias clasificaciones. Los principales parámetros especificados son: tiempo de respuesta, desviación del cero, no estabilidad, no linealidad, respuesta direccional (no aplica para pirheliómetros), respuesta espectral/error espectral, respuesta de temperatura y respuesta de inclinación.

Idealmente, un radiómetro solar debería tener una respuesta plana en un amplio ancho de banda espectral, con el fin de medir toda la energía solar incidente independientemente del tipo de módulos fotovoltaicos o colectores solares utilizados. En la norma ISO 9060 original, publicada en 1990, esto se define como "selectividad espectral", la desviación respecto de la media en el rango de 350 nm a 1500 nm. Para obtener este valor,

Note | The standard does not refer to how performance testing should be carried out or to how the instruments should be calibrated.

la medición generalmente se realiza con un detector de tipo "termoeléctrico", con un recubrimiento negro que absorbe la radiación incidente, calienta una termopila y convierte el incremento de temperatura en una pequeña diferencia de potencial.

Casi todos los piranómetros descritos en la norma ISO 9060:1990 utilizan un vidrio de calidad óptica para sus cúpulas hemisféricas simples o dobles con el fin de proteger la superficie negra del detector de la suciedad y los efectos ambientales. Dependiendo del tipo de vidrio, la transmisión oscila entre 300 nm, o menos, y 3.000 nm aproximadamente. Las cúpulas dobles, o una cúpula y un difusor, ofrecen más estabilidad bajo condiciones cambiantes al "aislar" todavía más la superficie del sensor de los efectos ambientales como el viento y las variaciones bruscas de temperatura.

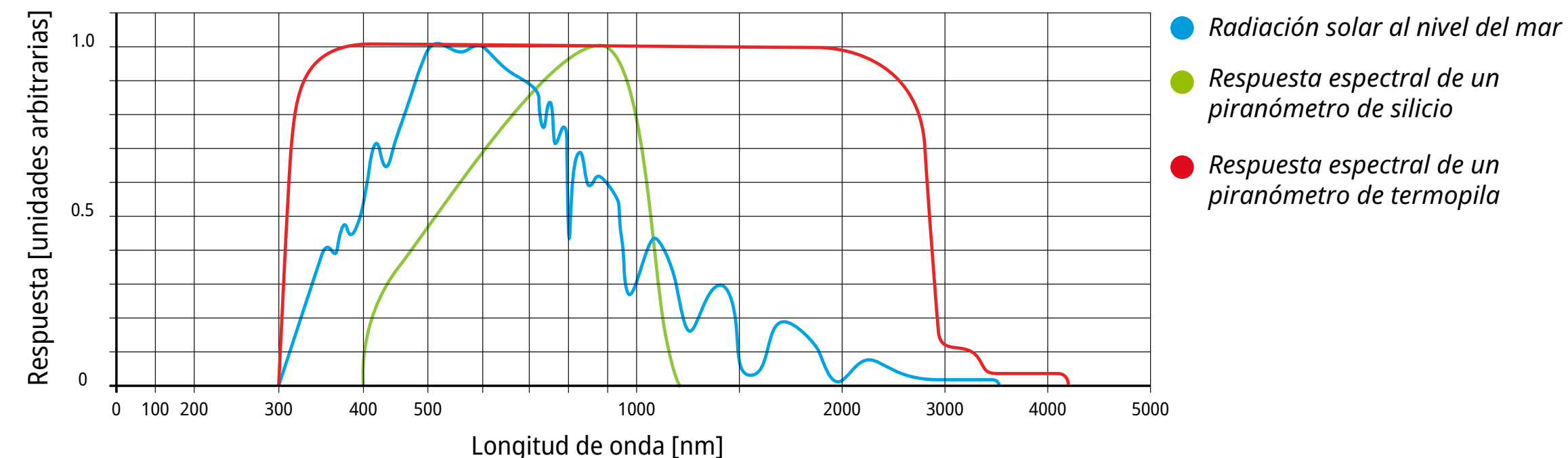
Básicamente, un pirheliómetro es un piranómetro con un tubo de colimación que restringe la visión a 5° y por lo general incorpora un disco de vidrio o de cuarzo como ventana de entrada para la radiación.

Los sensores fotoeléctricos, incluidas las celdas de silicio y los fotodiodos, tienen una respuesta espectral limitada y no uniforme que no cumple las especificaciones de selectividad espectral de un piranómetro o pirheliómetro según se definen en la norma ISO 9060:1990, y por eso se describieron como "piranómetros de silicio" o un término similar.

Los gráficos de abajo muestran el espectro de radiación solar en un día despejado al nivel del mar; la respuesta de un piranómetro básico con termopila y cúpula de vidrio, como los modelos CMP3 y SMP3 de Kipp & Zonen, y la respuesta de un piranómetro con fotodiodo de silicio, como los modelos SP Lite2 y RT1 de Kipp & Zonen.



Techo con paneles solares en Sukaresmi, Indonesia



En la norma ISO 9060:1990, los piranómetros y pirheliómetros se clasifican en tres categorías (Segunda clase, Primera clase y Estándar Secundario) por orden de mejora del rendimiento de medición.

No existe la categoría de Estándar Primario. Para conseguir la mínima incertidumbre de medición, la GHI se calcula a partir de mediciones muy precisas de la irradiancia difusa y directa y utilizando el ángulo cenital solar (θ), con la fórmula $GHI = DHI + DNI \cdot \cos(\theta)$.

La norma ISO 9060:1990 sí hace referencia a un estándar primario para pirheliómetros, pero no se menciona como categoría de rendimiento. Se trata de un "radiómetro de cavidad absoluto" (ACR) que es muy caro y solo puede realizar mediciones cuando hay buenas condiciones climáticas, como el modelo PM08 de Davos Instruments, Suiza.

La mayoría de los piranómetros descritos en la norma ISO 9060:1990 se suministraban simplemente con un certificado de calibración de la sensibilidad. Los modelos utilizados en aplicaciones "científicas", como los modelos CMP21 y CMP22 de Kipp & Zonen, normalmente venían con informes de ensayo individuales detallando la respuesta de temperatura y la respuesta direccional, para que los datos de medición pudieran corregirse posteriormente, de ser necesario.

ISO 9060:2018

La Segunda Edición actualizada se publicó en noviembre de 2018. Se introdujeron dos cambios importantes en las especificaciones:

1 En la especificación de 1990 los parámetros tienen valores límite, por ejemplo $\pm 0,5\%$. En 2018 se establecen "zonas de seguridad", que representan el intervalo entre un límite de tolerancia y el límite de aceptación correspondiente, de manera que el valor puede ser $\pm 0,5\%$ con una zona de seguridad del $0,2\%$. Con esto se pretende representar la incertidumbre en la determinación del valor real.

2 Respecto a la respuesta espectral, pasa de ser "selectividad espectral" en 1990 a "error espectral de irradiancia con cielo despejado" en 2018. Este error se calcula combinando los espectros solares de referencia para masa de aire 1,5 y masa de aire 5 con la respuesta espectral medida del radiómetro. Esto representa la GHI y la DNI a través de una atmósfera despejada y con ángulos cenitales solares de 48° y 78° , y abarca al menos el 90% de la radiación recibida en un emplazamiento.

Clasificación básica de piranómetros y pirheliómetros

Clase C	Clase B	Clase A
---------	---------	---------

por orden de mejora del rendimiento de medición

Así pues, un piranómetro de Clase A con espectro plano es básicamente lo mismo que el Estándar Secundario de 1990. Sin embargo, los piranómetros de las Clases B y C con espectro plano tienen una selectividad espectral mejor que la Primera Clase y la Segunda Clase, respectivamente, de 1990.

Hay un nuevo "ajuste a cero (c)" que toma en cuenta los desplazamientos en la electrónica de piranómetros activos, y un nuevo parámetro llamado "errores adicionales de procesamiento de señal". Esto se aplica al procesamiento interno o externo de señales o datos que forma parte de la salida de medición de la irradiancia del radiómetro.

Si el radiómetro cumple los criterios de "selectividad espectral" de la norma de 1990 para un piranómetro de la categoría Estándar Secundario, se puede utilizar el término "espectro plano" según la norma ISO 9060:2018

Espectro plano Clase C	Espectro plano Clase B	Espectro plano Clase A
------------------------	------------------------	------------------------

por orden de mejora del rendimiento de medición

Si el 95% del tiempo de respuesta es inferior a $0,5$ segundos, puede utilizarse el término "respuesta rápida". Por ejemplo, "Respuesta rápida Clase C" sería la descripción típica para la señal de salida analógica de un sensor de fotodiodo sin amplificación. Los amplificadores analógicos a menudo incluyen un filtrado que ralentiza el tiempo de respuesta. Los radiómetros con comunicación de datos en serie RS-485 con protocolo Modbus® RTU pueden tener el tiempo de respuesta limitado por la tasa de actualización en los registros de datos de salida.

La norma ISO 9060:2018 exige que los piranómetros de Clase A se comprueben individualmente para tener la certeza de que la respuesta de temperatura y la respuesta direccional cumplen los requisitos de clasificación.

Se introduce una categoría adicional, la Clase AA para pirheliómetros de "referencia" que, por implicación, deben tener un "espectro plano" y ser un radiómetro de cavidad absoluto. También se incorpora un nuevo parámetro para piranómetros y pirheliómetros, los "errores adicionales de procesamiento de señal". Esto se aplica al procesamiento interno o externo de señales o datos que forma parte de la salida de medición de la irradiancia del radiómetro.

Se introduce el término "difusómetro", haciendo referencia a un piranómetro con una estructura o mecanismo que lo protege de la radiación solar directa.

2018 frente a 1990

Lo más importante es entender que los piranómetros y pirheliómetros no han experimentado cambios significativos. Un modelo como el CMP10 de Kipp & Zonen suministrado hasta octubre de 2018 era del tipo Estándar Secundario según la norma ISO 9060:1990, pero a partir de noviembre de 2018 pasó a ser un instrumento de Espectro plano Clase A según ISO 9060:2018.

El instrumento es el mismo, y tanto su rendimiento como la incertidumbre de calibración y la incertidumbre global de los datos de irradiancia medidos no han cambiado. La principal diferencia para el usuario final es que ahora recibirá informes de ensayo detallando el error de temperatura y el error direccional, además del certificado de calibración de sensibilidad.

Clasificación de los piranómetros Kipp & Zonen según ISO 9060

ISO 9060:2018	Clase C	Espectro plano Clase C	Espectralmente plano clase B	Espectro plano Clase A
ISO 9060:1990	No permitido	Segunda Clase	Primeira Classe	Estándar Secundario
Rendimiento	Menor	→	→	Mayor
Piranómetros pasivos	SP Lite2 (Resposta Rápida)	CM4 CMP3	CMP6	CMP10 CMP11 CMP21 CMP22
Piranómetros inteligentes	RT1	SMP3	SMP6	SMP10 SMP11 SMP12 (NUEVO) SMP21 SMP22

Nota | Un piranómetro del tipo Estándar Secundario según ISO 9060:1990 no puede reclasificarse como instrumento de Espectro plano Clase A según ISO 9060:2018 a menos que se realicen pruebas de respuesta de temperatura y respuesta direccional, para lo que generalmente hay que devolver el instrumento al fabricante.

IEC 61724-1 Monitoreo del rendimiento

3. de sistemas fotovoltaicos

Existen varias normas internacionales respecto al monitoreo del rendimiento de plantas fotovoltaicas, y dichas normas se han adoptado por grandes empresas de todo el mundo.

La más reciente y completa de estas normas es IEC 61724-1, Rendimiento de sistemas fotovoltaicos - Parte 1: Monitoreo, publicada en marzo de 2017. También sirve de base para otras dos normas sobre análisis de rendimiento que utilizan los datos recopilados, las normas IEC TS 61724-2 e IEC TS 61724-3, publicadas en 2016.

La norma IEC 61724-1 describe la terminología, el equipo y los métodos para el monitoreo del rendimiento y el análisis de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, desde la entrada de irradiancia hasta la salida de corriente alterna. Aplica para módulos fotovoltaicos convencionales con seguimiento de un solo eje y de dos ejes, y para sistemas de concentración (CPV).

A raíz de la información transmitida por el sector, esta norma se revisó exhaustivamente en una segunda edición que se publicó en julio de 2021. Recomendamos encarecidamente adquirir el documento en la tienda web de la IEC.

La Parte 1 de la norma IEC 61724-1 habla de sensores, instalación y precisión de equipos de monitoreo, así como a la adquisición de datos de los parámetros medidos, controles de calidad, parámetros calculados y métricas de rendimiento. A continuación, un panorama general sobre su relación con el monitoreo de la irradiancia solar y otros factores ambientales.

Clases de monitoreo

La norma IEC 61724-1:2021 define dos clases de sistemas de monitoreo, que corresponden a dos niveles diferentes de monitoreo de la incertidumbre y de las aplicaciones comerciales e industriales (C & I) y de uso general previstas:

APLICACIONES TÍPICAS	Clase B - Precisión media	Clase A - Precisión alta
Aplicación prevista	Techos y ap. C&I pequeñas-medianas	Ap. C&I grandes y uso general
Intervalo máximo de muestra para irradiancia, temperatura, viento y salida eléctrica	1 min	5 seg
Intervalo máximo de muestra para suciedad, lluvia, nieve y humedad	No especificado, se asume que es igual que el intervalo máximo de registro	No especificado, se asume que es igual que el intervalo máximo de registro
Intervalo máximo de registro	15 min	5 min se recomienda 1 min

Para la Clase A, todos los parámetros deben monitorearse en el emplazamiento. Para la Clase B es aceptable estimar las mediciones procedentes de otras fuentes de datos, como redes meteorológicas o satélites, pero puede que no estén disponibles con la suficiente proximidad o en tiempo real.

Los parámetros que deben monitorearse y los tipos de sensores requeridos para cada estación de monitoreo dependen de la Clase de Monitoreo. La medición de DNI y DHI se incluye en la Clase A para fines concretos, pero aquí nos centraremos en la medición de GHI e irradiancia POA.

Nota

La norma IEC 61724-1:2021 trata de las categorías de piranómetros según ISO 9060:2018.

Comunicación y conexión

El estándar del sector de la energía solar para la comunicación de datos en serie en plantas fotovoltaicas es RS-485 bifilar con protocolo Modbus® RTU, utilizando equipos de monitoreo direccionables individualmente en un número reducido de circuitos de bus de datos. La electricidad se distribuye a 12 o 14 VDC.

Los inversores, estaciones centrales y puertas de enlace funcionan así, y muchos ya no tienen entradas analógicas. A menudo no existe registro de datos en el campo y todos los sensores están conectados al sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) de la planta para fines de almacenamiento, análisis y visualización de datos por parte del software de monitoreo de la planta y para acceso remoto.

Generalmente, debajo de una matriz fotovoltaica hay una caja de conexiones resistente a la intemperie a la que se conectan todos los sensores para datos y corriente continua, utilizando bloques de terminales montados en carril DIN. Esta caja ofrece una buena puesta a tierra y también es donde deben colocarse las protecciones necesarias contra sobretensiones, picos de tensión, rayos y descargas electrostáticas para los cables de corriente continua y los cables RS-485 que van a los instrumentos de monitoreo.

El cableado RS-485 blindado generalmente está bajo tierra desde la caja de conexiones hasta la sala de control y el sistema SCADA. El propietario de la planta o los ingenieros de TI programan los sistemas SCADA para que se comuniquen con los equipos de monitoreo del emplazamiento.

Si un sensor no tiene una salida Modbus® RTU, el tipo de salida analógica preferido para uso con las entradas de registradores de datos industriales de bajo costo y/o cables largos es la salida de 4-20 mA.



Estación de monitoreo de Clase B

1 sensor de irradiancia GHI y 1 sensor de irradiancia POA

Dispositivo fotovoltaico de Clase C según ISO 9060:2018 o de "referencia de trabajo" según IEC 60904-2. Incertidumbre de calibración $\pm 3\%$ at 1000 W/m²

Rango de medición: até 1500 W/m²

Resolución: ≤ 1 W/m²

La mayoría de fotodiodos de silicio y sensores de celda no cumplen esta especificación de incertidumbre de calibración.

Alineación POA: máx. 1° de inclinación, 2° de acimut

Alineación GHI: máx. 0,5°

Mantenimiento: como lo recomiende el fabricante

Recalibración: como lo recomiende el fabricante

Limpieza y reducción de suciedad: ño especificado

Reducción del rocío y la escarcha: ño especificado

1 sensor de temperatura de módulo fotovoltaico

Incertidumbre de medición: ± 1 °C o mejor

Resolución: ≤ 0.1 °C

Recalibración: como lo recomiende el fabricante

Otros parámetros ambientales

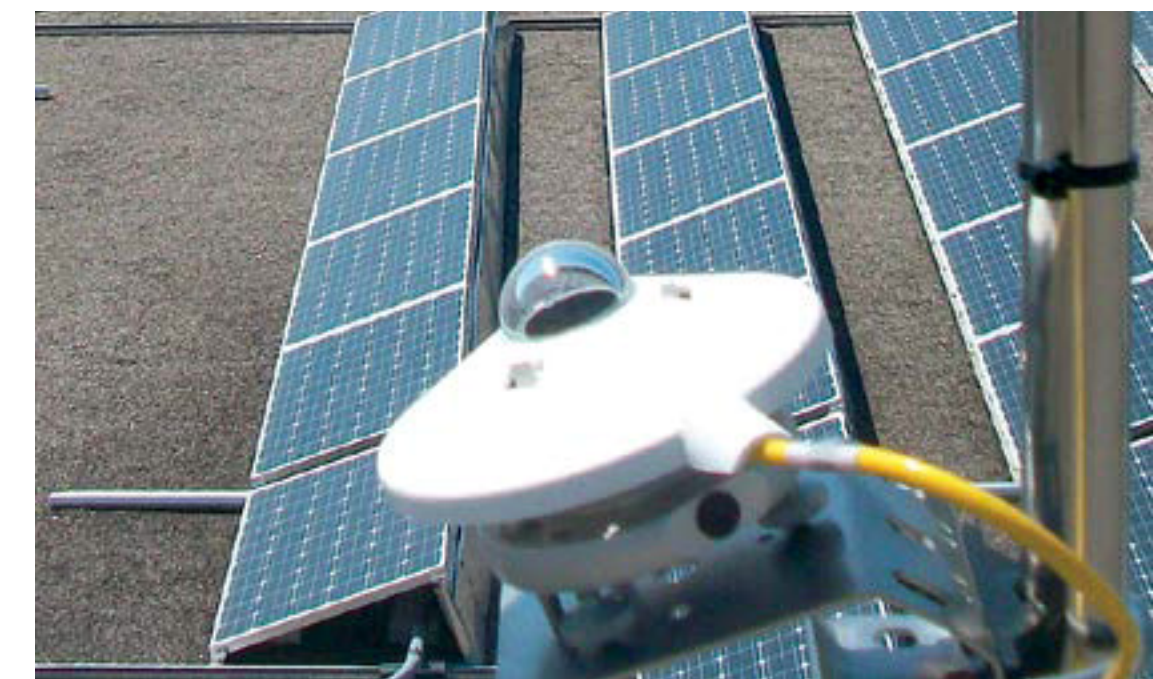
- Temperatura del aire ambiente con ventilación forzada – para análisis histórico de tendencias
- Velocidad del viento – afecta al enfriamiento de la superficie de los módulos
- Lluvia – tiene correlación con una pérdida en la generación de energía debido a la presencia de agua en los módulos

Se recomiendan pruebas periódicas en el sitio para determinar la fiabilidad de los sensores. Inspección completa del sistema al menos una vez al año.

Equipo recomendado:

Todos los instrumentos con comunicación de datos RS-485 Modbus® RTU.

- 2 piranómetros SMP3 de Kipp & Zonen, Espectro Plano Clase C según ISO 9060:2018 ó
- 2 piranómetros SMP6 de Kipp & Zonen, Espectro Plano Clase B según ISO 9060:2018
- 1 estación meteorológica todo en uno Lufft WS600-UMB – también mide la dirección del viento, la presión atmosférica y la humedad, y calcula el punto de rocío
- 1 sensor de temperatura del módulo Lufft WT1 – se conecta a la estación WS600



No es necesario monitorear la humedad, pero la estación WS600 la mide. Esto resulta útil porque permite calcular el punto de rocío del aire, que tiene correlación con la pérdida de generación de energía debido al rocío o la escarcha. Esto se menciona en la norma como un beneficio.

El sensor de precipitación por radar WS-600 no requiere mantenimiento periódico y envía los datos de precipitación en tiempo real, para establecer una correlación con la energía generada. En lugares secos y polvorientos, los pluviómetros de cubo basculante tienen que limpiarse periódicamente. Si la lluvia es muy ligera, el cubo tarda mucho tiempo en inclinarse y puede que el agua se evapore antes.

Nota | La norma IEC 61724-1 establece directrices estrictas respecto a sensores de temperatura del módulo, posición, conductividad térmica de materiales y precisión global de las mediciones

Estación de monitoreo de Clase A

1 sensor de irradiancia GHI y 1 sensor de irradiancia POA

Dispositivo fotovoltaico Espectro plano Clase A según ISO 9060:2018 o de "referencia de trabajo" según IEC 60904-2. Incertidumbre de calibración $\leq 2\%$ a 1000 W/m²

Rango de medición: hasta 1500 W/m²

Resolución: ≤ 1 W/m²

Únicamente los sensores de celda IEC 60904-2 más caros y de mayor calidad pueden cumplir esta especificación de incertidumbre de calibración.

Alineación POA: máx. 0.5° de inclinación, 1° de acimut

Alineación GHI: máx. 0,5°

Mantenimiento: como lo recomiende el fabricante

Recalibración: cada 2 años, más a menudo si lo recomienda el fabricante

Inspección

desalineamiento y fallas:

Revisión POA semanal para comprobar si hay suciedad, limpieza semanal, o con menos frecuencia si las condiciones lo permiten o si la tecnología reduce o corrige la suciedad en la misma medida que una limpieza semanal o una detección de suciedad semanal

Limpieza y reducción de la suciedad:

Atenuação de orvalho e geada: necesaria si se esperan rocío y escarcha para >2% de las horas de irradiancia GHI al año. Los medios pueden incluir calefacción y ventilación externa. La calefacción no debe afectar a la precisión ni a la clasificación. Se puede utilizar ventilación interna o externa para mantener la precisión.

3 sensores de irradiancia POAREAR

ISO 9060:2018 Clase C (o mejor)

Incertidumbre de calibración: $\leq 3\%$ a 1000 W/m²

Rango de medición: hasta 1500 W/m²

Resolución: ≤ 1 W/m²

La mayoría de fotodiodos de silicio y sensores de celda no cumplen esta especificación de incertidumbre de calibración.

Mantenimiento: como lo recomiende el fabricante

Recalibración: como lo recomiende el fabricante

Limpieza y reducción de la suciedad: no especificado

Reducción del rocío y la escarcha: no especificado

Al menos 3 sensores de temperatura del módulo fotovoltaico

Incertidumbre de medición: ± 1 °C o mejor

Resolución: ≤ 0.1 °C

Recalibración: como lo recomiende el fabricante

Otros parámetros ambientales

- Temperatura del aire ambiente – para análisis histórico de tendencias
- Velocidad del viento – afecta al enfriamiento de la superficie de los módulos
- Dirección del viento – para análisis histórico de tendencias
- Lluvia – tiene correlación con una pérdida en la generación de energía debido a la presencia de agua en los módulos
- Nieve – tiene correlación con una pérdida en la generación de energía; si la pérdida anual típica por culpa de la nieve es >2% y no se identifica mediante la medición de suciedad
- Índice de suciedad – si la pérdida anual típica por ensuciamiento sin limpiar es >2%

Se recomiendan pruebas periódicas en el sitio para determinar la fiabilidad de los sensores. Inspección completa del sistema al menos una vez al año.

Equipo recomendado:

Todos los instrumentos con comunicación de datos RS-485 Modbus® RTU.

- 2 piranómetros SMP12 de Kipp & Zonen, Espectro plano Respuesta rápida Clase A según ISO 9060:2018, con calefacción incorporada (sin piezas móviles) para evitar la formación de rocío o escarcha en la cúpula
- 2 piranómetros SMP10 de Kipp & Zonen, Espectro plano Clase A según ISO 9060:2018, con unidades de calefacción y ventilación CVF4 si la reducción de suciedad es el principal problema.



- 1 estación meteorológica todo en uno Lufft WS600-UMB – además de las ventajas del modelo WS-600 para monitoreo de Clase B, también distingue entre precipitaciones de agua y de nieve
- 1 sensor de temperatura del módulo Lufft WT1 – se conecta a la estación WS600
- 1 sistema de monitoreo de suciedad DustIQ de Kipp & Zonen con sensor de temperatura del módulo – si es necesario



a norma IEC 61724-1:2021 incluye dispositivos de medición de suciedad basados en principios ópticos, que detectan partículas sobre una superficie colectora según su efecto en la reflexión o la transmisión de la luz (como en el sistema DustIQ).

El sistema recomendado incluye uno o dos sensores de temperatura del módulo. Para el resto de puntos de medición (1 o 2) requeridos para el monitoreo de Clase A (mínimo 3 unidades), se necesitarán sensores Modbus® RTU separados, por ejemplo el modelo Tm-RS485-MB de Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer (IMT).

Capacidad de la planta (AC)	Número de sistemas de monitoreo
< 40 MW	2
≥ 5 MW to < 100 MW	3
≥ 100 MW to < 300 MW	4
≥ 300 MW to < 500 MW	5
≥ 500 MW to < 700 MW	6
≥ 700 MW	7 (+ 1 por cada 200 MW adicionales)

2021 frente a 2017

La norma IEC 61724-1:2021 presenta muchos cambios significativos respecto a la edición original de 2017, basados sobre todo en la información transmitida por el sector.

- En la norma original se especificaban 3 calidades de monitoreo del rendimiento de la planta fotovoltaica. Sin embargo, la Clase C (Calidad Básica) no era suficientemente precisa como para ser útil para plantas conectadas a la red, y por eso se eliminó.
- Para el monitoreo de las Clases B y A, las especificaciones del sensor de irradiancia se actualizaron según la norma ISO 9060:2018, además de otras modificaciones. Por ejemplo, los intervalos de calibración requeridos cambiaron. Para los sensores de monitoreo de Clase A, las soluciones de reducción de suciedad, rocío y escarcha se ampliaron y aclararon. Los límites de alineación del piranómetro se redujeron.
- El número de sensores de temperatura del módulo fotovoltaico por estación se redujo a 1 para la Clase B y un mínimo de 3 para la Clase A.
- Para la Clase A, se agregó el monitoreo del albedo y de la irradiancia POAREAR.
- Se incluyen monitores de suciedad con tecnología óptica, que no estaban disponibles antes de 2017.



Si en un emplazamiento hay módulos instalados en diferentes ángulos, o algunos están orientados al este y otros al oeste, debería haber un monitoreo adicional de la irradiación POA y la suciedad.



4. Calibración de piranómetros según ISO 9846 y 9847

Varias normas internacionales relacionadas con la energía solar exigen que los piranómetros empleados para la medición de la irradiancia global horizontal (GHI) o de la irradiancia global inclinada (GTI, incluida la irradiancia en el plano, POA) se calibren de conformidad con la norma ISO 9846:1993 o ISO 9847:1992.

La norma ISO 9846 trata de la calibración de piranómetros al aire libre utilizando un pirheliómetro de referencia. La norma ISO 9847 trata de la calibración de piranómetros de campo por comparación con un piranómetro de referencia, y establece métodos para calibraciones al aire libre y en interior.

La calibración de un piranómetro al aire libre según la norma ISO 9846 o ISO 9847 requiere 2-3 días de cielos despejados (más tiempo si hay nubes). Se imponen requisitos estrictos para el montaje del piranómetro de campo y el de ensayo, los instrumentos de referencia, la limpieza durante este período, y el registro, procesamiento y validación de los datos. Debido a estas exigencias, todos los fabricantes de piranómetros realizan la calibración en interiores según la norma ISO 9847 y bajo condiciones controladas.

La norma IEC 61724-1:2021 estipula que los sensores de irradiancia deben recalibrarse cada 2 años, para el monitoreo de Clase A, o con la frecuencia que especifique el fabricante, para la Clase B. Kipp & Zonen recomienda recalibrar los piranómetros de campo cada dos años.

Las calibraciones deben ser rastreables a la Referencia Radiométrica Mundial (WRR), que tiene una incertidumbre de $\pm 0,3\%$ con un nivel de confianza del 95%. La WRR se encuentra en el Centro de Radiación Mundial (WRC) ubicado en Davos, Suiza. El WRC está dirigido por el Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos (PMOD), por nombramiento de la Organización Meteorológica Mundial (WMO).

Para dar cumplimiento a las normas es necesario incluir gran cantidad de información en el certificado de calibración del instrumento. Los puntos clave son:

- Información sobre el piranómetro de ensayo y el instrumento de referencia
- Método de calibración, ubicación, fecha y hora
- Jerarquía de la rastreabilidad a la WRR
- Condiciones de calibración, rango de ángulos cenitales solares, temperatura e irradiancia
- Resultado de la calibración, generalmente en $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ o $\text{Wm}^2/\mu\text{V}$
- Incertidumbre global del resultado



Calibración según ISO 9846

La norma ISO 9846 "Energía solar - Calibración de un piranómetro utilizando un pirheliómetro" trata de la calibración al aire libre utilizando un pirheliómetro de referencia que está montado en un seguidor solar automático de precisión y mide la irradiancia directa normal (DNI). Esta es la norma de calibración recomendada para piranómetros que van a utilizarse como instrumentos de referencia, incluidas las calibraciones según ISO 9847.

Existen dos métodos ("sol" se refiere a la radiación global, y "sombra" se refiere a la radiación difusa):

Sol y sombra continuos

El piranómetro de ensayo mide la GHI. Un piranómetro de referencia está a la sombra en todo momento para medir la DHI, mientras que la DNI se mide con el pirheliómetro. A partir de estos dos valores y el ángulo de incidencia del rayo solar directo, se calcula la GHI de "referencia", y esta se compara con los valores GHI medidos por el piranómetro de ensayo.

Para la medición de la GHI, el piranómetro de referencia debe tener calefacción y estar ventilado con el fin de minimizar las desviaciones del cero. Sin embargo, el piranómetro de ensayo

generalmente no tiene calefacción ni ventilación, por lo que presenta desviaciones de cero mayores en su medición de la GHI.

El método de sol y sombra continuos es el más utilizado, ya que resulta más sencillo llevarlo a cabo con equipos de producción y permite calibrar simultáneamente varios piranómetros de ensayo montados sobre una mesa horizontal. Sin embargo, se requiere un cielo despejado para obtener buenos resultados.

Alternar entre sol y sombra

Este método no utiliza un piranómetro de referencia. El piranómetro de ensayo lleva un accesorio de sombra que bloquea la luz solar directa y también puede retirarse del campo de visión del piranómetro para que la medición alterne entre GHI (sol) y DHI (sombra). A partir de estos dos valores y el ángulo de incidencia del rayo solar directo, se calcula la GHI vista por el piranómetro, y esta se compara con los valores DNI medidos por el pirheliómetro de referencia.

Una ventaja de este método es que las desviaciones del cero son las mismas para las mediciones de sol y sombra, de modo que se pueden eliminar de la calibración de sensibilidad. La visión del cielo también es

igual para las dos mediciones, y el método de alternar ofrece mejores resultados con cielos nublados.

Si el piranómetro de ensayo se monta en un seguidor solar para apuntar al sol durante todo el día (igual que hace el pirheliómetro) y está expuesto al sol y a la sombra de forma alterna, el rayo solar directo siempre es normal al detector del piranómetro y no hay error direccional que afecte a la sensibilidad, lo cual reduce todavía más la incertidumbre de calibración.

En ambos métodos, una mejor clasificación del pirheliómetro resulta en una menor incertidumbre de calibración del piranómetro de ensayo. Para que la incertidumbre sea mínima, el pirheliómetro debe ser un radiómetro de cavidad absoluto (ACR).

Los piranómetros de referencia para las instalaciones de calibración gestionadas por Kipp & Zonen/OTT Hydromet se calibran mediante el método de alternancia de sol y sombra en posición inclinada y utilizando un pirheliómetro de referencia ACR, según lo descrito anteriormente.



ISO 9847 Calibração Indoor

La norma ISO 9847 se titula "Energía solar - Calibración de piranómetros de campo por comparación con un piranómetro de referencia", y contempla dos métodos. El primer método (Tipo I) es para calibración al aire libre utilizando radiación solar como fuente, mientras que el segundo método (Tipo II) es para calibración en interiores utilizando una fuente de radiación artificial bajo condiciones controladas. Los instrumentos de referencia deben estar correctamente calibrados, y tal calibración tiene que haberse llevado a cabo dentro de los 12 meses anteriores al momento de uso.

La calibración Tipo IIc es para interiores y con exposición a un haz directo, tal y como se describe en el Anexo A "Dispositivos de calibración que utilizan fuentes artificiales". El equipo y método descritos en el Anexo A.3.1 son el "Dispositivo y procedimiento de Kipp & Zonen". Este es el método de calibración utilizado por casi todos los fabricantes de piranómetros. Kipp & Zonen ha mejorado este procedimiento a partir la descripción original de 1992.

El equipo de calibración se encuentra en una sala oscura con acceso protegido y temperatura controlada, generalmente alrededor de +20 °C. Un piranómetro de referencia y un piranómetro de ensayo del mismo tipo están iluminados de igual forma por un haz de luz procedente de una lámpara de haluro metálico que está situada justo encima de ellos y cuenta con un suministro eléctrico muy estable. La irradiancia en los detectores de los piranómetros se ajusta a 500 W/m² aproximadamente, que es el nivel de referencia para la especificación de no linealidad según ISO 9060.

Para tener en cuenta la falta de homogeneidad en el haz de la lámpara, el piranómetro de referencia y el piranómetro de ensayo están montados en

una mesa giratoria capaz de rotar 180 grados exactamente para intercambiar sus posiciones en el campo luminoso. Los dos piranómetros pueden tener sombra al mismo tiempo para determinar las desviaciones causadas por efectos térmicos bajo la lámpara.

“
Los instrumentos de referencia deben haberse calibrado en los últimos 12 meses.”

La norma ISO 9847 establece que los piranómetros de referencia deben haberse calibrado en interior según ISO 9846 y con la sensibilidad correspondiente a las condiciones de medición de ese momento, según lo indicado en el certificado de calibración (apartado Jerarquía de rastreabilidad a la WRR). Es por esto que para transferir la calibración de referencia al piranómetro de campo en interior es muy importante que los dos piranómetros sean similares en cuanto a diseño, tiempo de respuesta y características térmicas y espectrales.

La incertidumbre de calibración combinada es la raíz positiva de la suma de los cuadrados de la incertidumbre ampliada en la calibración del piranómetro de referencia rastreable a

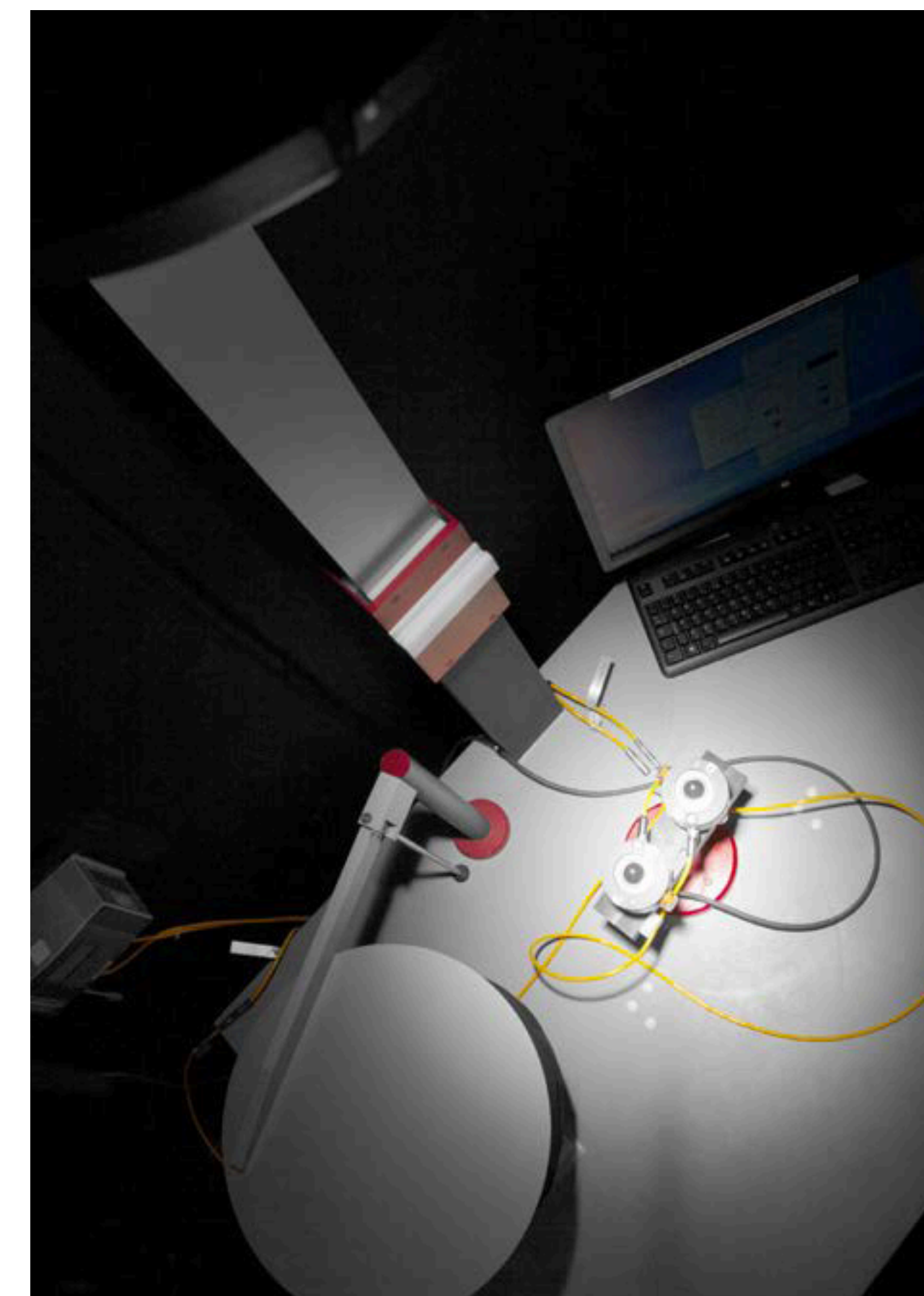
la WRR y la incertidumbre ampliada del procedimiento de transferencia en el laboratorio de Kipp & Zonen (aproximadamente ±0,5%). La

incertidumbre total estimada puede llegar a ser de tan solo ±1% para un piranómetro CMP22 con un nivel de confianza del 95% (k=2).

El equipo de calibración y los procedimientos empleados en los centros de calibración regionales de Kipp & Zonen/OTT Hydromet son los mismos que en la fábrica de Delft, Países Bajos. El proceso está automatizado en gran parte y funciona a través de un servidor de calibración y una base de datos en la fábrica, y es el mismo para piranómetros recién salidos de fábrica y para los instrumentos de campo de nuestros clientes, los cuales son inspeccionados, limpiados y verificados antes de la recalibración.

Se llevan a cabo muchas verificaciones de calidad automáticamente, incluida la comprobación de que se está utilizando el tipo de piranómetro de referencia correcto y que su calibración es válida. Cada piranómetro de referencia se identifica de forma única mediante un dispositivo de identificación por radiofrecuencia (RFID) enlazado a la base de datos. El historial de calibración de los piranómetros de campo está disponible y puede consultarse para determinar la estabilidad.

Si se superan las verificaciones de calidad, el servidor genera un certificado de calibración detallado y una etiqueta de instrumento que se almacenan en la base de datos y se envían a las impresoras del centro de calibración. El certificado se imprime en una hoja membretada del centro de calibración autorizado de Kipp & Zonen.



Calibración al aire libre según ISO 9847

La norma ISO 9847 permite que los piranómetros se calibren al aire libre con 3 orientaciones a elegir. El Tipo Ia es con el instrumento en posición horizontal (GHI), el Tipo Ib es en posición inclinada (GTI o POA) y el Tipo Ic es con el instrumento montado en un seguidor automático y apuntando al sol. La orientación de Tipo Ia es la más utilizada, porque resulta sencillo asegurarse de que el piranómetro de referencia y el piranómetro de campo están en el mismo ángulo (horizontal) y tienen la misma visión del cielo sin apenas ninguna obstrucción.

Como se mencionó anteriormente, la calibración de un piranómetro al aire libre requiere 2-3 días de cielos despejados (más tiempo si hay nubes), y tiene requisitos estrictos en cuanto al montaje del piranómetro de referencia y el de campo. Ambos deben mantenerse limpios durante el período de calibración, y es improbable que el sistema de registro/adquisición de datos de una planta fotovoltaica típica cumpla los requisitos de

procesamiento y validación de datos. Probablemente se necesite un registrador de datos científico de alta calidad.

Generalmente no es práctico ni barato realizar una calibración en el sitio según ISO 9847, y por eso las empresas responsables del funcionamiento y mantenimiento de plantas fotovoltaicas suelen enviar los piranómetros a un centro de calibración del fabricante en los intervalos programados, normalmente cada dos años.

Sin embargo, es posible realizar de manera más fácil y rápida una prueba en el sitio para determinar la fiabilidad de las mediciones de los piranómetros de campo, tal y como se explica a continuación. La mayoría de los puntos descritos aplican también para los preparativos para una calibración al aire libre real según ISO 9847.

Prueba de fiabilidad en el sitio

La norma IEC 61724-1:2021 recomienda comprobar periódicamente los sensores de manera individual comparándolos con otros sensores similares o con dispositivos de referencia con el fin de identificar los sensores descalibrados. La WMO permite (y recomienda) que se realicen "verificaciones rutinarias de los factores de calibración" mediante comparación con un piranómetro de referencia entre dos calibraciones programadas.

Este tipo de prueba de fiabilidad en el sitio para piranómetros es similar a una calibración al aire libre según ISO 9847, pero con un montaje más sencillo, un período de medición más corto y mucho menos procesamiento de datos, y sin un certificado detallado. Puede hacerse en una planta solar por el personal de operación y mantenimiento o por un tercero.

¿Cuándo hacer la comparación?

Normalmente dos o tres horas antes o después del medio día solar en ese emplazamiento (no a las 12.00 del reloj) y en un día con cielo despejado. No debe haber una diferencia significativa si hay algunas nubes lejos del sol. Lo ideal es hacerlo en verano, que es cuando el sol está más alto en el cielo.

Preparación del piranómetro de campo

Primero hay que revisar el piranómetro de campo, anotar los daños observados (lo mejor es tomar fotografías) y hacer las correcciones oportunas. Hay que limpiar el instrumento, cambiar el desecante (en su caso), revisar el cableado y la alineación y anotar las condiciones climáticas.

Piranómetro de referencia

Se necesita un piranómetro de referencia limpio, en perfecto estado de mantenimiento y con una calibración rastreable y fiable. Debería tener un rendimiento igual de bueno que el piranómetro de campo (idealmente, un modelo CMP22 o SMP22 de

Kipp & Zonen para minimizar la incertidumbre de medición de referencia). Si el piranómetro de referencia se guarda en un lugar cálido, seco y oscuro mientras no se está utilizando para una prueba de fiabilidad, su sensibilidad no variará de manera significativa con el tiempo.

Los modelos CMP22 y SMP22 tienen una incertidumbre de sensibilidad de $\pm 1\%$ aproximadamente con un nivel de confianza del 95% ($k=2$) en comparación con las condiciones de calibración relevantes. Cuando la medición se hace al aire libre, las condiciones son diferentes y varían durante el día, de modo que se introducen errores/incertidumbres de medición adicionales. El modelo SMP22 presenta una corrección de temperatura interna inferior al 0,3% (entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$), baja desviación térmica, buena respuesta direccional y no linealidad. En una prueba de fiabilidad, un piranómetro SMP22 debería medir con un error de $\pm 1,1\%$ respecto del valor "verdadero".

Montaje

El mejor resultado de comparación se obtiene montando los piranómetros de referencia y de campo horizontalmente y cerca uno del otro y con una vista despejada del cielo para medir la irradiancia horizontal global (GHI). Sin embargo, el piranómetro de referencia también se puede montar con la misma inclinación que un piranómetro de campo que mida la irradiancia en el plano (POA), y cerca de él. La clave está en asegurarse de que ambos tienen la misma visión del suelo y de las matrices que tienen delante.

Durante el período de comparación no debe haber sombras en las cúpulas de los piranómetros. Si esto no puede evitarse debido a las estructuras presentes en el emplazamiento, los datos obtenidos en esas horas deberían excluirse del análisis.



Calibragem de piranômetros de campo na UNAM, México

Registadores de datos

Los dos piranómetros deberían conectarse a un mismo registrador de datos portátil de alta calidad, ya que podrían surgir problemas con el cableado del emplazamiento, la alimentación o los sistemas de registro/SCADA.

LOGBOX SE



El modelo LOGBOX SE es compacto, resistente a la intemperie, tiene numerosas entradas y las baterías internas pueden alimentar fácilmente piranómetros SMP durante el período de comparación (los modelos CMP no requieren alimentación). Generalmente se toma una muestra por segundo y se registran promedios de 1 minuto con la desviación estándar máxima y mínima. Esto permite localizar valores aislados en los datos descargados antes de comparar las mediciones en una hoja de cálculo.

El LOGBOX SE no tiene pantalla, pero puede configurarse en el sitio y permite ver datos en tiempo real y descargar por USB los archivos registrados utilizando una laptop y el software compatible con Windows™.

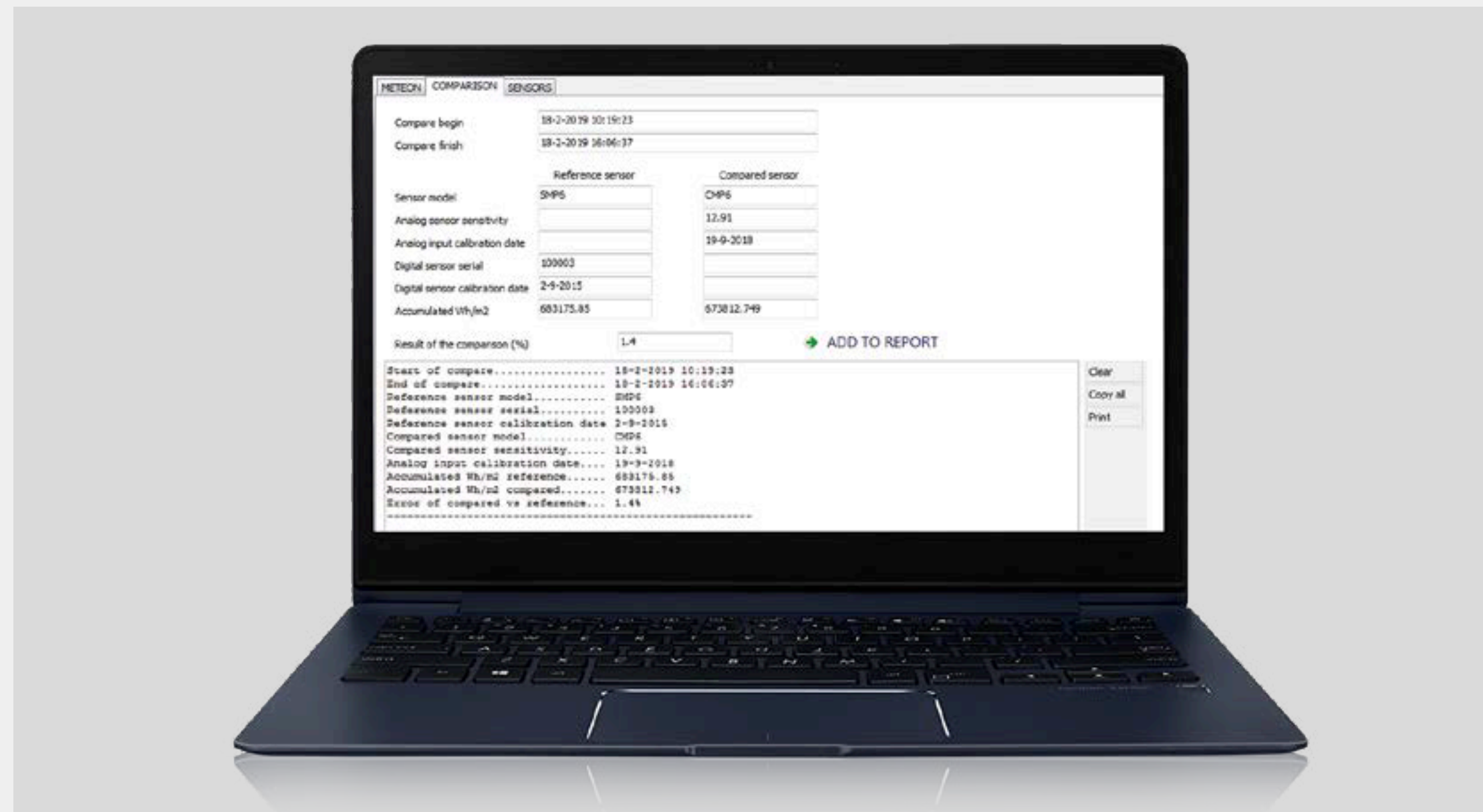
METEON 2.0



El modelo METEON 2.0 no es resistente a la intemperie, pero la prueba de fiabilidad solo se lleva a cabo si las condiciones climáticas son buenas. El piranómetro de campo suele ser un modelo CMP, y puesto que el METEON 2.0 solo tiene una entrada analógica, la referencia suele ser un modelo SMP.

El METEON 2.0 es capaz de alimentar piranómetros inteligentes con sus baterías internas y tiene una pantalla para poder ver los datos en tiempo real. Tiene software compatible con Windows™ y comunicación USB con una laptop: Registra datos igual que el LOGBOX SE, pero no calcula la desviación estándar.

El METEON 2.0 viene en un maletín resistente con espacio para un piranómetro de referencia y un cable, para facilitar el traslado a cualquier lugar. Tiene un modo de comparación único que hace la mayor parte del trabajo. Suma la irradiancia total durante el período de registro para cada piranómetro y genera un informe que muestra la diferencia entre ambos totales en forma de porcentaje.



O modo de comparação METEON 2.0 não pode rastrear os dados dentro do total em busca de valores atípicos. Portanto, impeça que as leituras do piranômetro sofram interferência durante o período de medição, como sombras das estruturas do local ou pessoas que caminhem nas proximidades.

Tras el período de registro

Reconecte el piranómetro de campo al cable de la planta y compare los datos con los del piranómetro de referencia/registrador para ver si existe algún problema con los sistemas del emplazamiento. Esto puede tardar hasta 30 minutos dependiendo del intervalo de registro.

Informe de visita al emplazamiento

Analice los datos y elabore un informe que incluya toda la información relevante, detalles de la revisión, trabajos realizados, condiciones climáticas, equipos utilizados, y la diferencia entre las irradiancias totales medidas por el piranómetro de referencia y el piranómetro de campo.

Lo importante es si esta diferencia está dentro de la incertidumbre esperada. Si no es así, se recomienda recalibrar o sustituir el piranómetro de campo y no esperar hasta la siguiente fecha programada.

¿Cuál es la incertidumbre esperada?

La diferencia de medición esperada depende de los modelos de piranómetro de referencia y de campo, y también de las condiciones ambientales. Los piranómetros más utilizados en aplicaciones de energía solar cumplen los requisitos ISO 9060:1990 Estándar Secundario o ISO 9060:2018 Espectro Plano

Clase A. Generalmente se trata del modelo CMP10 o CMP11 de Kipp & Zonen, o los modelos Smart equivalentes SMP10 o SMP11. Todos estos tienen una incertidumbre de calibración de $\pm 1,4\%$ aproximadamente.

Las condiciones de medición en el sitio son diferentes de las condiciones de calibración (principalmente la temperatura y el ángulo de incidencia del rayo solar directo), lo que causa más errores. Sin embargo, es de esperarse que en la mayoría de ambientes un piranómetro CMP10, CMP11, SMP10 o SMP11 recién calibrado (o nuevo) realice la medición de comprobación con un error de $\pm 2\%$ respecto al valor "verdadero". La norma ISO

9060:2018 permite que los piranómetros de Clase A tengan una inestabilidad (variación en el grado de respuesta) en funcionamiento de hasta $\pm 0,8\%$ al año (con una zona de seguridad de $\pm 0,25\%$). Sin embargo, los piranómetros de termopila bien diseñados y fabricados, suponiendo que reciban un mantenimiento adecuado, deberían presentar una deriva temporal considerablemente menor que este valor, y al cabo de 1 o 2 años es probable que esta deriva esté dentro de la incertidumbre de (re)calibración.

Si el piranómetro de referencia es un SMP22, es probable que la irradiancia total medida durante el tiempo de la prueba arroje un error de $\pm 1,1\%$

respecto al valor "verdadero". Si el piranómetro de campo CMP10, CMP11, SMP10 o SMP11 ha llevado el mantenimiento adecuado, la diferencia no debería superar $\pm 2\%$.

En principio, la lectura del piranómetro de referencia podría ser un $1,1\%$ más alta, y la del piranómetro de campo un 2% más baja (o viceversa). Por lo tanto, la diferencia podría llegar a ser del $\pm 3,1\%$, y como todas las incertidumbres tienen un nivel de confianza del 95% , en el 5% de los casos la diferencia podría ser mayor. Sin embargo, esto es poco probable. Lo más habitual es que la diferencia entre ambos valores no supere el 2% .

¿Qué hacer a continuación?

Las circunstancias de operación y mantenimiento y los requisitos de control de calidad son diferentes en cada emplazamiento. Sin embargo, si la diferencia es mayor que $\pm 2,5\%$, se recomienda (para el escenario descrito) recalibrar el piranómetro.

Si la diferencia es significativamente mayor, es posible que el piranómetro de campo haya sufrido algún daño y deba revisarse, repararse y recalibrarse. Podría presentar daños como resultado de una caída (u otro impacto), un rayo u otro incidente eléctrico, o también es posible que no se haya revisado y cambiado el desecante externo y por eso se haya formado humedad en el interior.

Aunque no se trate de una calibración según la norma ISO 9847, es un método fiable para verificar los piranómetros de campo en el sitio y determinar si están midiendo la irradiancia solar con la incertidumbre esperada.

“
El sol es responsable, directa o indirectamente, de la existencia de vida en la Tierra y de los fenómenos meteorológicos y climáticos.”

Acreditación

5. de un laboratorio de calibración según ISO/IEC 17025

La norma ISO/IEC 17025 lleva por título: "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración". Cuando un laboratorio recibe la acreditación conforme a esta norma, significa que se aprobó el sistema de gestión, se validaron los métodos empleados para la calibración, un tercero independiente comparó los resultados de calibración con los resultados de otros laboratorios acreditados, y se verificaron las incertidumbres declaradas. Se establecieron procedimientos para todo el proceso de calibración, lo que garantiza que todos los instrumentos se calibran de manera correcta y con una calidad constante.

La acreditación de ISO/IEC 17025 es el estándar más importante para los laboratorios de calibración y ensayo de todo el mundo. La acreditación ayuda a un usuario final a minimizar los riesgos aumentando la confianza en las mediciones de irradiancia. Muchos usuarios industriales, incluyendo el ámbito de la energía solar, acuden a laboratorios acreditados para calibrar los instrumentos de medición. Esto incluye los piranómetros y pirheliómetros utilizados para monitorear el rendimiento de las plantas fotovoltaicas.

Servicio de calibración acreditado de Kipp & Zonen

El laboratorio de calibración radiométrica ubicado en la fábrica de Kipp & Zonen en Delft, Países Bajos,

obtuvo la acreditación según la norma ISO/IEC 17025 para calibrar la sensibilidad de piranómetros y pirheliómetros. Esta acreditación la concede el Consejo de Acreditación Suizo, 'Raad voor Accreditatie' (RvA), que se designó el organismo de acreditación nacional de los Países Bajos y, por lo tanto, forma parte de la Cooperación Europea para la Acreditación (EA). El RvA es miembro de la Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios (ILAC), para laboratorios y organismos de inspección, y del Foro de Acreditación Internacional (IAF), para entidades de certificación. Los piranómetros de las series CMP y SMP de Kipp & Zonen, así como el modelo CM4, vienen con un certificado de calibración de sensibilidad que lleva los logotipos del RvA y de la ILAC.



Lo mismo ocurre con el piranómetro PR1 y el pirheliómetro PH1 incorporados en el sistema de monitoreo solar todo en uno RaZON+, y con los pirheliómetros CHP1 y SHP1 que suelen utilizarse con los seguidores solares SOLYS. Todos los modelos de

radiómetro arriba mencionados pueden recalibrarse según ISO/IEC 17025, igual que muchos instrumentos más antiguos: CM3, CM6B, CM11B, CM21, CM22 y CH1.

Métodos de calibración

Los piranómetros se calibran en interior según la norma ISO 9847:1992 Tipo IIc, Anexo

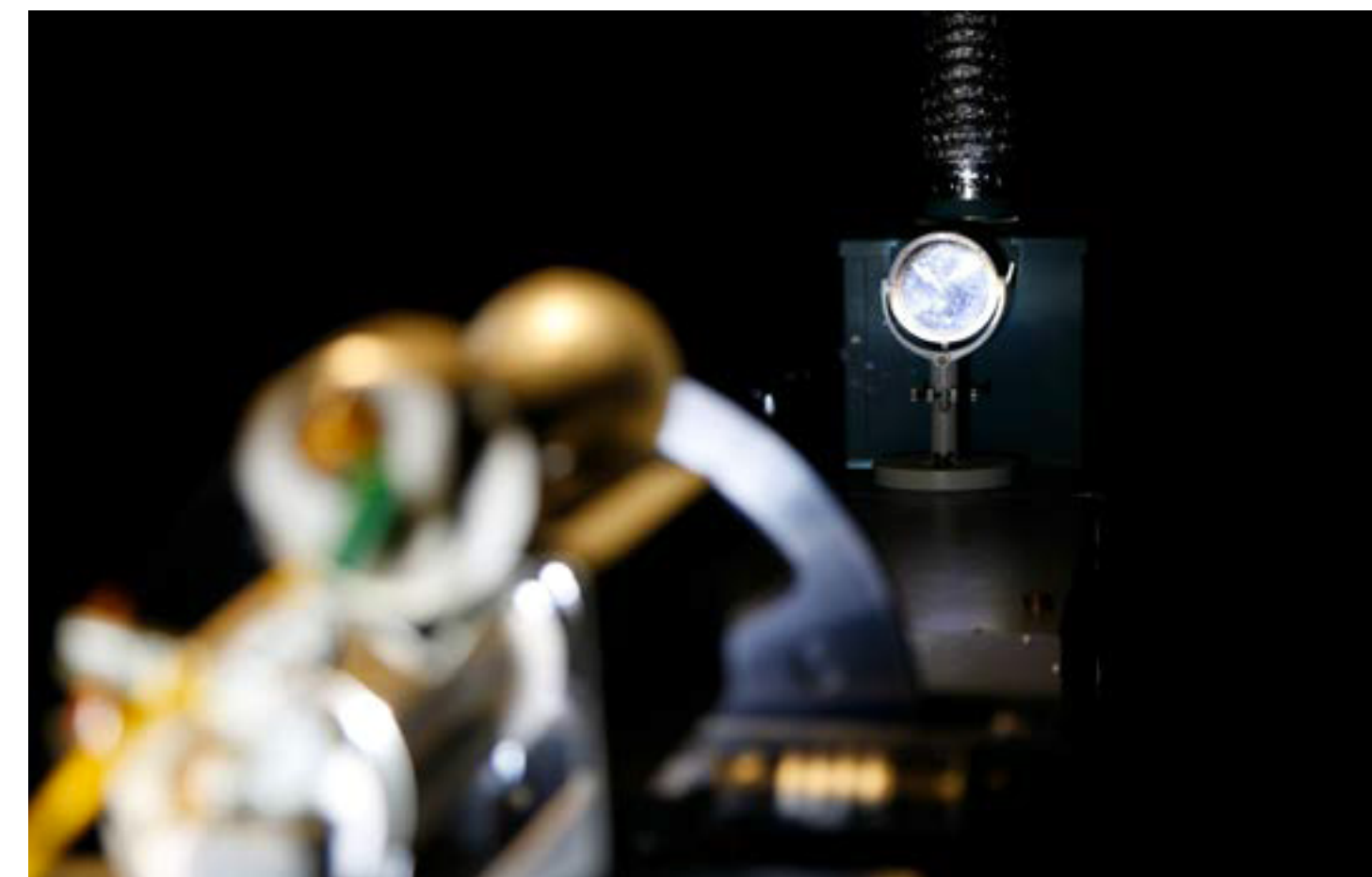
A.3.1 "Dispositivo y procedimiento de Kipp & Zonen", tal y como se indicó anteriormente. Este es el procedimiento aplicado actualmente en fábrica, y supone una mejora respecto de la descripción original de 1992. Los piranómetros de referencia se calibran al aire libre según la norma ISO 9846:1993, utilizando el método de alternancia de sol y sombra y un pirheliómetro de referencia ACR.

Los pirheliómetros se calibran en interior utilizando un método de comparación similar para el radiómetro de referencia y el de ensayo, pero con un haz solar directo horizontal simulado. En este caso, el pirheliómetro de referencia y el de ensayo se sitúan alternativamente dentro y fuera del centro del campo luminoso. Este método se ha desarrollado

y perfeccionado por Kipp & Zonen a lo largo de muchos años, se ha probado en numerosas comparaciones internacionales de pirheliómetros, y el Consejo de Acreditación determinó que es un método válido y preciso.

Los pirheliómetros de referencia se calibran al aire libre mediante contraste con un radiómetro de cavidad absoluta (ACR) según ISO 9059:1990 "Energía solar - Calibración de pirheliómetros de campo por comparación con un pirheliómetro de referencia".

Todas las calibraciones de piranómetros y pirheliómetros de Kipp & Zonen son rastreables para la Referencia Radiométrica Mundial (WRR), que utiliza las unidades SI de irradiancia y presenta una incertidumbre del $\pm 0,3\%$ con un nivel de confianza del 95%.



Primer plano de la calibración de un pirheliómetro

Capacidad de medición y calibración

Uno de los parámetros más importantes de cualquier certificado de acreditación según ISO/IEC 17025 es la Capacidad de Medición y Calibración (CMC) con un nivel de cobertura/confianza del 95%. Esta es la mejor incertidumbre de calibración que puede alcanzarse, y varía de un laboratorio a otro dependiendo de los procesos y la rastreabilidad utilizados.

Kipp & Zonen está acreditado para calibración de la sensibilidad con un valor CMC del 0,9% para piranómetros y del 1,1% para pirheliómetros. La incertidumbre de calibración de un instrumento en particular, indicada en el certificado correspondiente, depende del modelo de radiómetro y de sus características de rendimiento, pero los valores CMC acreditados demuestran el alto nivel de los métodos, procedimientos y procesos de calidad utilizados en nuestra fábrica.

La rentabilidad de su planta fotovoltaica es diferente cada día. Asegúrese de saber la razón.

Identifique fácilmente las causas con datos precisos y en tiempo real que influyen en el índice de rendimiento. Con un sistema completo de monitoreo fundamentado en instrumentos de Kipp & Zonen y Lufft, OTT HydroMet ofrece un conjunto de soluciones y servicios fiables para la supervisión de plantas fotovoltaicas.

Insights for Experts

Comuníquese con nosotros si desea más información

OTT HydroMet B.V.
Delftechpark 36
2628 XH Delft | The Netherlands
+31 15 2755 210
solar-info@otthydromet.com
www.kippzonen.com

OTT HydroMet GmbH
Ludwigstraße 16
87437 Kempten | Germany
+49 831 5617-0
euinfo@otthydromet.com
www.otthydromet.com

OTT HydroMet
22400 Davis Drive | Suite 100
Sterling, Virginia | US 20164
+1 (800) 949-3766-2
salesna@otthydromet.com
www.otthydromet.com

