

Guía de Requerimientos Mínimos para la Medición, Buenas Prácticas y Verificación de Datos en Sitio de Irradiancia Global Horizontal y Temperatura Ambiente para Plantas Solares Fotovoltaicas

Julio 11, 2023

Autores:

María Alejandra Vargas Torres.

Camilo Andrés Sedano Quiroz, M.Sc.

Nelson Andrés Salazar Peña, M.Sc.

Oscar David Salamanca Gómez, M.Sc.

Andrés Leonardo González Mancera, Ph.D.

Revisión Revisión	Fecha Fecha	Descripción Descripción
0	2023-06-09	
1	2023-07-11	Se revisó de acuerdo a los comentarios públicos y acuerdos al interior del grupo de trabajo.

Índice

1. Objetivo.....	3
2. Ámbito De Aplicación	3
3. Definiciones.....	3
“Sitio de la Planta”	3
“Área del Proyecto”	3
4. Requerimientos mínimos de la medición, buenas prácticas y protocolo de verificación de datos en sitio.....	3
4.1 Selección de zona de instalación.....	3
4.2 Variables de medición	4
4.2.1. Irradiancia solar.....	4
4.2.2. Temperatura ambiente.....	6
4.3 Preprocesamiento de Datos Inválidos y Ausentes	8
4.4 Guía de buenas prácticas.....	9
4.5 Operación y mantenimiento	10
Referencias.....	11

1. Objetivo

La resolución CREG 101 007 de 2023 establece en el Artículo 3 el requerimiento de reportar las series históricas de datos de Irradiancia global horizontal y temperatura ambiente en el sitio de la planta, para un periodo mínimo de diez (10) años, para la aplicación de la metodología de cálculo de ENFICC.

2. Ámbito De Aplicación

Esta guía aplica a todas las plantas de generación solar fotovoltaica que participaron o pretenden participar en algún mecanismo de asignación de obligaciones del cargo por confiabilidad de que trata la Resolución CREG 071 de 2006 (o aquellas que la modifiquen, adicionen o sustituyan).

3. Definiciones

“Sitio de la Planta”

Se entiende como “*sitio de la planta*”, el círculo centrado en el polígono cubierto por las unidades de generación con radio de 10 km (equivalente al radio de representatividad).

“Área del Proyecto”

Se entiende como “área del proyecto” el área cubierta por el círculo de hasta 30 km de radio, centrado en el polígono cubierto por las unidades de generación.

4. Requerimientos mínimos de la medición, buenas prácticas y protocolo de verificación de datos en sitio

A continuación, se establece el protocolo con los requerimientos mínimos para realizar una campaña de medición de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, así como la metodología para la verificación, construcción y ajuste de series de tiempo para las mismas variables.

4.1 Selección de zona de instalación

El punto de instalación debería representar las condiciones climáticas generales del área de instalación de un posible proyecto, de esta forma debe estar alejado de

obstrucciones como edificios, árboles y otras estructuras. Los manuales de buenas prácticas establecen los siguientes requerimientos para la instalación de los instrumentos para la medición de Irradiancia Global Horizontal y Temperatura Ambiente [1] [2]:

1. Los instrumentos no deben ser instalados cerca de paredes claras u otros objetos que puedan reflejar radiación sobre el medidor.
2. Se prefieren campañas de medición realizadas en terrenos planos, evitar colinas y zonas con pendientes marcadas.
3. Para zonas aisladas debe proveerse un sistema de transmisión de datos para evaluación remota, en general a través de red celular, línea telefónica o Ethernet. Se recomienda realizar pruebas de soporte para envío y almacenamiento de información. Para áreas que no cuenten con mecanismos tradicionales, debe considerarse incorporar un dispositivo de transmisión satelital.
4. No debe existir ningún obstáculo por encima del plano de detección dentro del rango azimutal de salida y puesta del sol durante todo el año; cualquier obstrucción por encima del horizonte afecta las mediciones y conduce a errores. En los lugares donde no es posible evitar obstrucciones, los detalles completos del horizonte y las obstrucciones deben incluirse en la descripción de la estación, ello para facilitar una evaluación subsiguiente de su impacto.
5. Tomar las medidas requeridas para evitar aves en reposo y anidación alrededor del punto de instalación.
6. Evitar proximidad a cualquier fuente emisora de polvo, aerosoles, hollín u otras partículas.

4.2 Variables de medición

Para cada una de las variables de medición se tienen tres etapas: (i.) calibración, (ii.) instalación, y (iii.) medición de las variables.

4.2.1. Irradiancia solar

Para la medición de la irradiancia global horizontal (GHI, por sus siglas en inglés) se utiliza un piranómetro, la calibración de este instrumento (o comparación con un patrón aceptado para dicha aplicación) debe comprobarse como mínimo cada año (ver la guía de la WMO [2] en la Sección 7.3.1) o según la recomendación del fabricante. Esta verificación puede hacerse mediante diversos métodos, incluyendo comparación entre diferentes mediciones en el sitio o con otro patrón calibrado. Además, debe contar con certificación del fabricante o la institución certificadora vigente en la fecha de instalación, según lo indicado en la guía de la WMO [2] y en la norma ISO 9847:2023.

La instalación del piranómetro se debe realizar siguiendo la Sección 7.3.3 de la guía de la WMO [2]. De manera general, dicha guía sugiere el instrumento se debe ubicar de manera segura (instalado a una altura de entre 1 y 2 metros sobre el nivel del suelo [2]) y debidamente nivelado. Si se conoce la altura máxima de la estructura que soportará los módulos FV, el piranómetro se puede ubicar a una altura igual a esta. La mejor opción es ubicarlo a la altura final del plano de captación de la radiación. En lo posible no debe haber obstáculos por encima del plano de detección dentro del rango azimutal de salida y puesta del sol durante todo el año. En los lugares donde no es posible evitar obstrucciones, los detalles completos del horizonte y las obstrucciones **deben incluirse en la descripción de la estación** para facilitar una evaluación subsiguiente de su impacto.

Los piranómetros son sensibles a la temperatura de manera que éste **no debe ser ubicado en contacto directo con la placa horizontal que lo sostiene**, para esto es común utilizar una conexión con tornillos desde la placa hasta la parte inferior del instrumento.

Para la medición de la GHI se debe utilizar un piranómetro de Clase A o superior según la clasificación en las normas ISO 9060 vigente e IEC 61724-1 (o de buena calidad o superior según la guía de la WMO [2]) (ver Tabla 1).

Tabla 1. Características técnicas piranómetros recomendados según la norma ISO 9060:2018.

Nombre de la clase	Clase A
Clase correspondiente a la norma ISO 9060:1990	Patrón secundario
Respuesta en el tiempo (tiempo para 95% de respuesta)	< 10 s
Offset Respuesta a 200 W/m ² de radiación térmica neta	± 7 W/m ²
Cambios en la respuesta por año	± 0.8%
No – linealidad: Desviación para la respuesta a 500 W/m ² , debido a cambios en la irradiancia entre (100 -1000) W/m ²	± 0.5%
Respuesta por la temperatura: Debido a cambios en la temperatura ambiente en un intervalo de 50 °C.	± 1%

Respuesta por inclinación: Desviación en la respuesta con cambios en la inclinación para una irradiancia de 1000 W/m²

± 0.5%

La frecuencia de muestreo se configura dependiendo del tiempo de respuesta del instrumento y las características del *datalogger* [3]. El sistema de adquisición debe estar configurado para almacenar información **como mínimo cada diez (10) minutos**, incluyendo información sobre el número de datos utilizados para el cálculo de la media, así como la desviación estándar. Se debe realizar algún tipo de control de calidad de los datos obtenidos. Estos pueden incluir controles automáticos y visuales. Los datos que no pasen los controles de calidad deben ser separados y analizados en detalle, los que pasan los controles de calidad son almacenados en su resolución original (**resolución horaria como mínimo**). El dato correspondiente a una franja horaria dada, por ejemplo, las 6:00, debe corresponder al valor medio de los datos tomados entre las 6:00 y las 6:59 **hora local colombiana**.

En particular, se debe tener en cuenta que los datos se deben presentar en resolución horaria de acuerdo con lo exigido en la Resolución CREG 101 007 de 2023. Para la generación de los datos en la resolución especificada anteriormente, se deben construir las series calculando el promedio de los datos obtenidos en un periodo de 60 minutos, tomando los datos con un intervalo de muestreo de 5 segundos o inferior, siempre y cuando haya menos (i.e., <) de 10% de datos vacíos de irradiancia global horizontal, conforme con las normas IEC 61724-1 e IEC 61724-3, de lo contrario, para dicha estampa horaria el dato corresponderá a un dato ausente [3, 8].

Adicionalmente, los datos negativos pueden contener información valiosa para el control de calidad. Por lo tanto, dichos datos no deben ser procesados a nivel de programación del *datalogger* para asignarles un valor de cero o como dato vacío.

La instalación y calibración del *datalogger* se debe realizar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Es de especial importancia realizar la calibración del *datalogger* cuando se utiliza con instrumentos analógicos siguiendo las recomendaciones del fabricante.

4.2.2. Temperatura ambiente

Para la medición de la temperatura ambiente se deben utilizar termómetros eléctricos, por ejemplo, de resistencias eléctricas, termistores o termopares. La instalación, calibración o verificación y mantenimiento se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el manual del usuario del instrumento; los reportes de calibración o

verificación y mantenimiento deben estar disponibles para revisión por parte del dictaminador técnico.

El termómetro deberá estar instalado de tal manera que se proteja de la radiación directa para evitar el fenómeno de auto calentamiento, a una altura de entre 1.25 y 2 metros, inclusive [2]. Ninguna parte del sensor de temperatura debe ser visible desde el exterior.

Para garantizar el óptimo desempeño de los instrumentos, se requiere verificar su calibración (por ejemplo, mediante la comparación con un patrón calibrado) por lo menos una vez cada año [2].

Por ejemplo, dependiendo del tipo de instrumento, en ASTM existen diferentes normas y estándares por cumplir, estas se reportan en la Tabla 2.

Tabla 2. Normatividad disponible para termómetros por tipo.

Título	Designación
Termómetros de resistencia y termistores	E644-11, E879-20, E2593-17, E2821-20
Calibración de Termopares	E220-19, E230/E230M-17, E452-02(2018)

Todos los termómetros utilizados deberán contar con un certificado que confirme el cumplimiento de la incertidumbre adecuada o especificación de rendimiento, o un certificado de calibración que proporcione las correcciones que deben ser aplicadas para cumplir con la incertidumbre requerida. Así, las pruebas y calibraciones tanto iniciales como periódicas deberán ser realizadas por un laboratorio acreditado según ISO/IEC 17025 [2].

La instalación y calibración del datalogger se debe realizar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Es de especial importancia realizar la calibración del datalogger cuando se utiliza con instrumentos analógicos. Se recomienda que la calibración de los sensores de temperatura analógicos se realice en conjunto con el datalogger con el que funcionará en la estación de manera definitiva.

La frecuencia de muestreo se configura dependiendo del tiempo de respuesta del instrumento y las características del *datalogger*. El sistema de adquisición debe estar configurado para almacenar información **como mínimo cada diez (10) minutos**, incluyendo información sobre el número de datos utilizados para el cálculo de la media, así como la desviación estándar. Se debe realizar algún tipo de control de calidad de los datos obtenidos. Estos pueden incluir controles automáticos y visuales.

Los datos que no pasen los controles de calidad deben ser separados y analizados en detalle, los que pasan los controles de calidad son almacenados en su resolución original (**resolución horaria como mínimo**). El dato correspondiente a una franja horaria dada, por ejemplo, las 6:00, debe corresponder al valor medio de los datos tomados entre las 6:00 y las 6:59 **hora local colombiana**.

En particular, se debe tener en cuenta que los datos se deben presentar en resolución horario de acuerdo con lo exigido en la Resolución CREG 101 007. Para la generación de los datos en la resolución especificada anteriormente, se deben construir las series calculando el promedio de los datos obtenidos en un periodo de 60 minutos, tomando los datos con un intervalo de muestreo de 5 segundos o inferior, siempre y cuando haya menos (i.e., $<$) de 20% de datos vacíos de temperatura ambiente, conforme con las normas IEC 61724-1 e IEC 61724-3, de lo contrario, para dicha estampa horaria el dato corresponderá a un dato ausente [3, 8].

4.3 Preprocesamiento de Datos Inválidos y Ausentes

Los datos inválidos y/o ausentes deben detectarse a partir de rutinas de validación para su posterior revisión. Dichas rutinas de validación son:

1. Verificaciones generales del sistema.
 - a. **Registros de datos.** El número de campos de datos debe ser igual al número esperado de parámetros medidos para cada registro.
 - b. **Secuencia de tiempo.** La estampa de fecha y hora de cada registro de datos se examina para ver si faltan datos o están fuera de secuencia.
2. Verificación de parámetros medidos. Estas pruebas se aplican en secuencia, y los datos deben pasar las tres para que se consideren válidos.
 - a. **Pruebas de rango.** Los datos medidos se comparan con valores límite superiores e inferiores permitidos. Los límites deben ajustarse estacionalmente, cuando corresponda, de modo que abarquen casi todo el rango de valores plausibles para el sitio.
 - b. **Pruebas relacionales.** Consiste en relaciones de los parámetros medidos entre los sensores. Las comparaciones entre sensores emparejados a la misma altura son especialmente valiosas.
 - c. **Pruebas de tendencia.** Se basan en la tasa de cambio de un valor a lo largo del tiempo. Los umbrales realmente utilizados deben ajustarse según sea necesario para adaptarse a las condiciones del sitio. Las tendencias de la dirección del viento no se consideran. Para la temperatura ambiente se recomienda una tasa de cambio no mayor a 2

°C/min para resoluciones minutas o 0.4 °C/min para resoluciones diezminutales [9].

Se recomienda realizar las rutinas de validación por lo menos cada siete (7) días.

En caso de detectar datos inválidos y/o ausentes durante la campaña de medición con el sensor primario, el llenado de dichos datos puede realizarse haciendo uso de mediciones de sensores redundantes, siempre y cuando las mediciones del sensor redundante hayan sido adquiridas conforme con lo dispuesto en este protocolo.

4.4 Guía de buenas prácticas

De acuerdo al documento *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications* de NREL [4] una campaña de medición adecuada incluye las etapas mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** iniciando con la selección de los instrumentos adecuados de acuerdo a los estándares relacionados y la aplicación específica. Una vez establecido el tipo y la calidad de la información requerida se debe seleccionar adecuadamente el punto de instalación y seguir el procedimiento de instalación, verificación y puesta en servicio, operación y mantenimiento (incluyendo recalibraciones o verificaciones) indicado por el fabricante, así como la guía de la WMO [2]. Como es de esperar, los equipos utilizados para monitorear variables climáticas están expuestos a condiciones adversas y requieren un proceso de operación y mantenimiento adecuado, este debe hacerse conforme lo sugiere el fabricante.

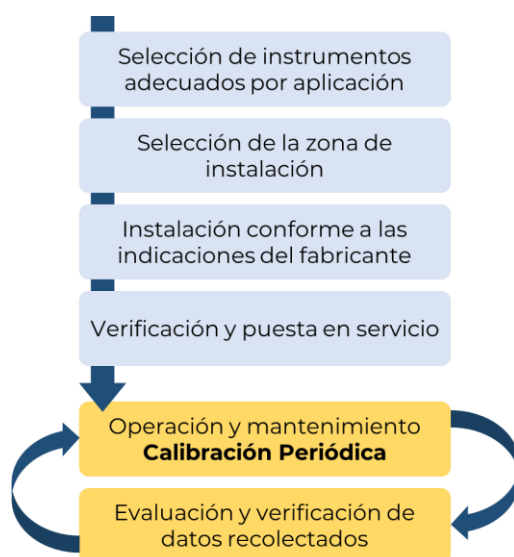


Figura 1. Proceso de medición de variables.

4.5 Operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento de los piranómetros y termómetros se debe realizar siguiendo las recomendaciones establecidas por el fabricante, incluyendo actividades de limpieza, mantenimiento y recalibraciones, en los manuales de uso, así como los procedimientos indicados en la guía de la WMO en sus secciones 2.1.4.4. y 7.3.3.5. [2]. Debe existir un registro de las actividades de mantenimiento y limpieza de los instrumentos. Generalmente se tienen tareas específicas diarias, mensuales y anuales. A continuación, se muestran algunas de dichas tareas:

- **Mensual**

- Los piranómetros traen un desecante, generalmente Gel de Sílica, con el fin de eliminar la humedad en el instrumento. Este desecante debe ser reemplazado cuando ocurre un cambio de color en el gel de sílica o en intervalos recomendados por el fabricante. Es importante revisar dependiendo de la humedad de la zona semanal o mensualmente.
- Es importante mantener limpio el domo del piranómetro. Dependiendo de la zona se puede acumular cantidades importantes de polvo, contaminantes, o si es una zona cercana al mar, la sal también puede afectar las mediciones realizadas. En estos casos es importante aumentar la frecuencia de limpieza. Dependiendo de las condiciones locales, es posible requerir labores de mantenimiento incluso diarias. El esquema de mantenimiento y cronograma de limpieza debe ser documentado siguiendo las recomendaciones del fabricante y las guías de mejores prácticas [2] [4].

- **Anual**

- La tarea anual pasa por revisar los circuitos eléctricos, verificar que las conexiones se encuentren en buen estado, limpiar todas las entradas y finalmente revisar el montaje de la estación en general, y especialmente que el lugar donde este montado el piranómetro esté totalmente horizontal.

Con el fin de verificar la calidad de los datos e identificar posibles sesgos debido a contaminación o daño de un instrumento, es **recomendable** el uso de instrumentación redundante con su propio *data logger* para evitar un punto de falla centralizado que pueda causar pérdida de información de acuerdo con la norma IEC 61724-1 vigente. Además, la instrumentación redundante ayuda a minimizar la pérdida de datos causada por eventos fortuitos. Se entiende por mediciones o información redundante aquella obtenida por un segundo sistema de medición (irradiancia global horizontal y temperatura ambiente) independiente localizado en el área de desarrollo del proyecto o mediciones indirectas. Por ejemplo, es posible calcular la GHI a partir

de la medición de irradiancia directa y difusa. Este tipo de mediciones son efectivas para realizar controles de calidad o **completar información faltante**.

Se debe contar con un registro de las actividades de limpieza y mantenimiento de los equipos de medición según lo establecido en los manuales de operación de los instrumentos o lo establecido en la guía de la WMO [2]. Estas deben incluir actividades de limpieza, mantenimiento y revisión general de los sistemas de medición y adquisición de datos.

Referencias

- [1] S. Wilbert, N. Geuder, M. Schwandt, B. Kraas, W. Jessen, R. Meyer y B. Nouri, «Best Practices for Solar Irradiance Measurements with Rotating Shadowband Irradiometers,» IEA SHC Task 46, 2015.
- [2] World Meteorological Organization, «Guide to Instruments and Methods of Observation - Vol. I,» World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza, 2021.
- [3] IEC The International Electrotechnical Commission, «IEC 61724-1,» IEC, Geneve, 2021.
- [4] NREL, «Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications,» [En línea]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77635.pdf>. [Último acceso: May 2023].
- [5] «Hukseflux,» 2017. [En línea]. Available: https://www.hukseflux.com/sites/default/files/product_manual/SR20_manual_v1713.pdf.
- [6] NREL, «Monitoring System Performance,» Febrero 2011. [En línea]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50643.pdf>. [Último acceso: Agosto 2027].
- [7] ISO, «ISO 9060 Solar energy - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation,» ISO, Geneva, 2018.