

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de la Energía

Análisis y corrección de la base de datos  
meteorológicos del GTER. Aplicación al periodo  
2016-2019.

Autora: Carmen de los Bueis Bellota

Tutores: Elena Pérez Aparicio

Carlos Gómez Camacho

Dpto. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de la Energía

**Análisis y corrección de la base de datos  
meteorológicos del GTER. Aplicación al periodo  
2016-2019.**

Autora:

Carmen de los Bueis Bellota

Tutores:

Elena Pérez Aparicio

Profesora Sustituta Interina

Carlos Gómez Camacho

Catedrático

Dpto. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado: Análisis y corrección de la base de datos meteorológicos del GTER. Aplicación al periodo 2016-2019.

Autor: Carmen de los Bueis Bellota

Tutores: Elena Pérez Aparicio  
Carlos Gómez Camacho

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*A mi madre, pilar fundamental de mi vida, a mi padre, que siempre me hace reír, a mi hermana, la persona con más ganas de disfrutar y hacerte disfrutar la vida, a mi tía Mila, que siempre está haciéndome saber lo orgullosa que está de mí. A mis amigos, que son mi segunda familia. A mis profesores, que desde pequeña han sabido sacar lo mejor de mí.*



# Agradecimientos

---

Me gustaría empezar dando las gracias a mi familia, la cual siempre me ha hecho sentir su apoyo, cariño, comprensión, ayuda y orgullo, y sin la cual el camino habría sido mucho más tedioso. Su confianza y apoyo diario ha sido fundamental para estos intensos años de estudio.

También quiero dar las gracias a mis compañeros que, sintiéndome muy afortunada, puedo sin duda considerar amigos, se han convertido en parte fundamental de mi vida. Ciertamente es que si estudias algo que te gusta lo disfrutas enormemente, pero cierto es también que con las personas con las que lo afrontas puede marcar un antes y un después en tu vida, y este es el caso.

Quiero dar las gracias también a los profesores, por los cuales guardo una profunda admiración. Siempre he pensado que ponerse delante de tantos alumnos a transmitir sus conocimientos era un acto valiente, bonito y complicado. Gracias especialmente a aquellos que se interesan por llegar a sus alumnos, que son cercanos y que nos motivan a aprender y descubrir más allá de las asignaturas.

Me siento muy afortunada igualmente por las experiencias que he podido vivir a partir de la carrera. La variedad de personas que me ha permitido conocer, las vivencias y aprendizaje adquirido ha sido inolvidable.

Quiero hacer mención especial a este último año en el que he tenido la oportunidad de hacer la beca de colaboración con el Grupo de Termodinámica y Energías Renovables (GTER). Desde el principio me han hecho sentir que formaba parte del grupo y me han ayudado siempre en todo lo que necesitaba. Quiero destacar a mi tutora Elena Pérez Aparicio por ser incansable, responsable y comprometida conmigo y con mi Trabajo Fin de Grado. Ha sido un placer trabajar con ella y he aprendido mucho, tanto de ella como del resto de componentes del GTER.

Gracias a todos de corazón.

*Carmen de los Bueis Bellota*

*Sevilla, 2020*



# Resumen

---

Para el diseño de plantas solares es fundamental conocer los datos de radiación del emplazamiento. Son pocas las estaciones que tienen registros de variables radiométricas durante un largo periodo de tiempo y menos aún, las que las analizan y corrigen. El objetivo de este proyecto es hacer un estudio de las medidas registradas del intervalo 2016-2019 de las variables de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal en la estación radiométrica del Grupo de Termodinámica y Energías Renovables, situada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

Para ello, se ha descrito el equipamiento de la estación y la base de datos. Según los tipos de irregularidades, las variables a las que afectan y sus necesidades de corrección, se ha realizado una clasificación de días con el fin de definir una metodología para cada caso.

A continuación, se realiza un análisis de los resultados a partir de las variables acumuladas de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal a nivel diario, mensual y anual. Cabe destacar la importancia del análisis y corrección de los registros de radiación difusa horizontal debido a que es la primera vez que se lleva a cabo.

Finalmente, se resumen las conclusiones extraídas de este trabajo, se proponen unas líneas de trabajo futuras y se hacen recomendaciones para el buen mantenimiento de la estación radiométrica.



# Abstract

---

For the design of solar plants, it is essential to know the radiation data of the location. Few stations have records of radiometric variables for a long period of time and even less of those analyze and correct them. The objective of this project is to make a study of the measurements recorded in the period of 2016-2019 of the variables of global horizontal irradiance, direct normal irradiance and diffuse horizontal irradiance at the radiometric station of the Group of Thermodynamics and Renewable Energies, located in the Higher Technical School of Engineering of Seville.

To achieve this goal, the station equipment and the database have been described. According to the types of irregularities, the variables they affect and their correction needs, a classification of days has been made in order to define a methodology for each case.

Furthermore, an analysis of the results is made from the accumulated variables of horizontal global irradiance, direct normal irradiance and diffuse horizontal irradiance on a daily, monthly and annual level. It is worth noting the importance of the analysis and correction of the records of diffuse horizontal irradiance due to the fact that it is the first time that it is made.

Finally, the conclusions drawn from this work are summarized, future lines of work are proposed and recommendations are made for the good maintenance of the radiometric station.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xvii</b>
<b>Notación</b>	<b>xxi</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3 Planteamiento del Problema</b>	<b>5</b>
3.1 <i>Descripción del equipamiento actual de la estación del GTER</i>	<i>5</i>
3.2 <i>Descripción de la base de datos</i>	<i>18</i>
<b>4 Metodología</b>	<b>21</b>
4.1 <i>Pasos previos a la corrección de días</i>	<i>21</i>
4.1.1 Representación de gráficas diarias	21
4.2 <i>Clasificación de días</i>	<i>26</i>
4.2.1 Días correctos	26
4.2.2 Días corregibles	26
4.2.3 Días descartados	32
4.3 <i>Corrección de días</i>	<i>34</i>
4.3.1 Días corregibles	34
4.3.2 Días descartados	40
4.4 <i>Diferencias con respecto a años anteriores</i>	<i>56</i>

<b>5</b>	<b>Casos Especiales</b>	<b>57</b>
5.1	<i>Picos puntuales</i>	57
5.2	<i>Días con saltos pequeños</i>	58
5.3	<i>Varios casos a la vez</i>	61
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>63</b>
6.1	<i>Resultados diarios</i>	66
6.2	<i>Resultados anuales</i>	80
6.3	<i>Comparación de días analizados y días originales</i>	83
<b>7</b>	<b>Conclusiones, Líneas de Trabajo Futuras y Recomendaciones</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>87</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 4-1. Clasificación de días descartados	32
Tabla 4-2. Clasificación de días descartados según el caso, 2016-2019	33
Tabla 4-3. Distancias desde varias estaciones del SIAR hasta la estación del GTER	41
Tabla 4-4. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2016	44
Tabla 4-5. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2017	46
Tabla 4-6. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2018	49
Tabla 4-7. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2019	51
Tabla 4-8. Días sustituidos 2016	54
Tabla 4-9. Días sustituidos 2017	54
Tabla 4-10. Días sustituidos 2018	55
Tabla 4-11. Días sustituidos 2019	55
Tabla 5-1. Clasificación de días con casos especiales	62
Tabla 6-1. Clasificación de días	64
Tabla 6-2. Radiación Global Horizontal Mensual 2000-2010	70
Tabla 6-3. Radiación Global Horizontal Mensual 2011-2019	70
Tabla 6-4. Radiación Directa Normal Mensual 2000-2010	71
Tabla 6-5. Radiación Directa Normal Mensual 2011-2019	71
Tabla 6-6. Radiación Difusa Horizontal Mensual 2016-2019	72
Tabla 6-7. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual 2000-2019	80
Tabla 6-8. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual, 2016-2019	81
Tabla 6-9. Reparto de días según clasificación, años 2016-2019	82



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 3-1. Vista de la estación del GTER	6
Figura 3-2. Piranómetro Kipp and Zonen, modelo CMP21	7
Figura 3-3. Célula Fotovoltaica Calibrada Compensada, Atersa grupo Elecnor	7
Figura 3-4. Fotodiodo SP111	8
Figura 3-5. Piranómetro SR20	9
Figura 3-6. Piranómetro Eko, modelo ms80	10
Figura 3-7. Kipp & Zonen CMP10 + shadow band	10
Figura 3-8. Kipp & Zonen CMP10+ shading ball	11
Figura 3-9. Pirheliómetro Kipp & Zonen, modelo CHP1	12
Figura 3-10. Pirheliómetro Kipp & Zonen, modelo CHP1, con seguidor	12
Figura 3-11. Pirheliómetro Eppley NIP	13
Figura 3-12. Seguidor Kipp & Zonen Solys GD	14
Figura 3-13. Sky Radiometer Prede Pom-02	15
Figura 3-14. Celiómetro Lufft CHM 15k "NIMBUS"	15
Figura 3-15. Sky Camera	16
Figura 3-16. Eppley PIR	17
Figura 3-17. Fichero de radiación correspondiente al día 1 de 2019	19
Figura 4-1. Gráfica diaria correspondiente al día 229 del año 2017	21
Figura 4-2. Archivo de radiación registrado el día 212 del año 2018	22
Figura 4-3. Gráfica diaria correspondiente al día 15 del 2018, radiación global horizontal mal medida	22
Figura 4-4. Gráfica diaria correspondiente al día 92 del año 2017, radiación difusa horizontal mal medida	23
Figura 4-5. Gráfica diaria correspondiente al día 227 del año 2016, día con calima	24
Figura 4-6. Gráfica diaria correspondiente al día 179 del año 2017, día con “efecto lupa”	24
Figura 4-7. Extracto del diario de la estación, año 2018	25

Figura 4-8. Gráfica diaria correspondiente al día 296 del año 2017, radiación directa normal mal registrada	27
Figura 4-9. Gráfica diaria correspondiente al día 236 del año 2019, radiación directa normal mal registrada	27
Figura 4-10. Gráfica diaria correspondiente al día 278 del año 2016, no se registra radiación directa normal durante más de la mitad del día	28
Figura 4-11. Gráfica diaria correspondiente al día 281 del año 2016, no se registra radiación directa normal	28
Figura 4-12. Gráfica diaria correspondiente al día 6 del año 2019, caso B.1	29
Figura 4-13. Gráfica diaria correspondiente al día 8 del año 2019, caso B.1	29
Figura 4-14. Gráfica diaria correspondiente al día 207 del año 2016, caso B.2	30
Figura 4-15. Gráfica diaria correspondiente al día 92 del año 2017, caso C	31
Figura 4-16. Gráfica diaria correspondiente al día 49 del año 2017, caso C	31
Figura 4-17. Gráfica diaria correspondiente al día 135 del año 2018, caso D	32
Figura 4-18. Gráfica diaria correspondiente al día 23 del año 2018, caso 2	33
Figura 4-19. Gráfica diaria correspondiente al día 155 del año 2018, caso 3	34
Figura 4-20. Gráfica diaria correspondiente al día 278 del año 2018, corregido caso A linealizado	35
Figura 4-21. Gráfica diaria correspondiente al día 278 del año 2018, corregido caso A sin linealizar	36
Figura 4-22. Gráfica diaria correspondiente al día 6 del año 2019, corregido caso B.1	37
Figura 4-23. Gráfica diaria correspondiente al día 8 del año 2019, corregido caso B.1	37
Figura 4-24. Gráfica correspondiente al día 207 del año 2016, corregido caso B.2	38
Figura 4-25. Gráfica diaria correspondiente al día 92 del año 2017, corregido caso C	39
Figura 4-26. Gráfica diaria correspondiente al día 135 del año 2018, corregido caso D	40
Figura 4-27. Comparación $H_g0$ GTER-La Rinconada, 2016	42
Figura 4-28. Comparación $H_g0$ GTER- Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2016	42
Figura 4-29. Comparación $H_g0$ GTER- Guillena, 2016	43
Figura 4-30. Comparación $H_g0$ GTER- Sanlúcar La Mayor, 2016	43
Figura 4-31. Comparación $H_g0$ GTER-La Rinconada, 2017	44
Figura 4-32. Comparación $H_g0$ GTER-Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2017	45
Figura 4-33. Comparación $H_g0$ GTER- Guillena, 2017	45
Figura 4-34. Comparación $H_g0$ GTER-Sanlúcar La Mayor, 2017	46
Figura 4-35. Comparación $H_g0$ GTER-La Rinconada, 2018	47
Figura 4-36. Comparación $H_g0$ GTER- Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2018	47
Figura 4-37. Comparación $H_g0$ GTER-Guillena, 2018	48
Figura 4-38. Comparación $H_g0$ GTER-Sanlúcar La Mayor, 2018	48
Figura 4-39. Comparación $H_g0$ GTER-La Rinconada, 2019	49
Figura 4-40. Comparación $H_g0$ GTER-Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2019	50
Figura 4-41. Comparación $H_g0$ GTER-Guillena, 2019	50
Figura 4-42. Comparación $H_g0$ GTER-Sanlúcar La Mayor, 2019	51

Figura 4-43. Gráfica diaria correspondiente al día 258 del año 2016, día descartado	52
Figura 4-44. Gráfica diaria correspondiente al día 258 del año 2016, día descartado corregido	53
Figura 4-45. Gráfica diaria correspondiente al día 327 del año 2016, día descartado	53
Figura 4-46. Gráfica diaria correspondiente al día 327 del año 2016, día descartado corregido	54
Figura 5-1. Gráfica diaria día 47 del año 2016, sin corregir	57
Figura 5-2. Gráfica diaria día 47 del año 2016, corregida	58
Figura 5-3. Gráfica diaria día 310 del año 2017, sin corregir	59
Figura 5-4. Gráfica diaria día 43 del año 2018, sin corregir	59
Figura 5-5. Gráfica diaria día 310 del año 2017, corregida	60
Figura 5-6. Gráfica diaria día 43 del año 2018, corregida	60
Figura 5-7. Gráfica diaria día 187 del año 2018, radiación difusa horizontal y orto mal	61
Figura 5-8. Gráfica diaria día 187 del año 2018, corregido casos C y D	62
Figura 6-1. Resumen clasificación de días	63
Figura 6-2. Distribución de días según clasificación, año 2016	64
Figura 6-3. Distribución de días según clasificación, año 2017	65
Figura 6-4. Distribución de días según clasificación, año 2018	65
Figura 6-5. Distribución de días según clasificación, año 2019	66
Figura 6-6. Radiación Global Horizontal Diaria 2000-2019	67
Figura 6-7. Radiación Directa Normal Diaria 2000-2019	68
Figura 6-8. Radiación Difusa Horizontal Diaria 2016-2019 Resultados mensuales	69
Figura 6-9. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Enero)	74
Figura 6-10. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Febrero)	74
Figura 6-11. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Marzo)	75
Figura 6-12. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Abril)	75
Figura 6-13. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Mayo)	76
Figura 6-14. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Junio)	76
Figura 6-15. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Julio)	77
Figura 6-16. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Agosto)	77
Figura 6-17. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Septiembre)	78
Figura 6-18. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Octubre)	78
Figura 6-19. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Noviembre)	79
Figura 6-20. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Diciembre)	79
Figura 6-21. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual 2000-2019	81
Figura 6-22. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual, 2016-2019	82
Figura 6-23. Comparación de valores acumulados de los años corregidos con los no corregidos	83



## Notación

---

$I_g$	Irradiancia global horizontal ( $W/m^2$ )
$I_d$	Irradiancia difusa horizontal ( $W/m^2$ )
$I_{bn}$	Irradiancia directa normal ( $W/m^2$ )
$\theta$	Ángulo de incidencia sobre la superficie horizontal
$H_g$	Irradiación global horizontal ( $kWh/m^2$ )
$H_d$	Irradiación difusa horizontal ( $kWh/m^2$ )
$H_{bn}$	Irradiación directa normal ( $kWh/m^2$ )



# 1 INTRODUCCIÓN

---

Para avanzar en el estudio de la energía solar es fundamental contar con la información básica, que en este caso es el recurso solar y su distribución. Esto es necesario no solo desde el punto de vista práctico sino también en lo relativo a la investigación. Son muchos los modelos y relaciones entre las diferentes componentes y parámetros de la radiación solar que hasta ahora se han establecido a raíz de medidas realizadas en estaciones terrestres.

Desde el punto de vista práctico, contar con series de datos medidos y de calidad para los emplazamientos con los que se trabaja supone poder realizar estudios comparativos entre distintas alternativas de ubicación, dimensionamiento de sistemas o plantas y previsión de producción. Este tipo de estudios se centrarán especialmente en el análisis de datos de radiación global horizontal, de radiación directa normal y de radiación difusa horizontal. Se empleará una medida u otra en función de la tecnología solar con la que se trabaje. En el caso de la energía solar térmica de baja temperatura o energía fotovoltaica es necesario conocer la radiación global sobre superficies con inclinación variable en el emplazamiento (en éste último caso es interesante conocer también la medida de radiación difusa dado su beneficioso aprovechamiento) mientras que en las centrales termosolares de concentración hace falta disponer de la componente directa de la radiación.

El grupo de Termodinámica y Energías Renovables de la Escuela Superior de Ingenieros cuenta en sus instalaciones con una estación radiométrica de medidas que comenzó a funcionar en el año 1984. Hoy en día esta base de datos continúa midiendo y almacenando registros de las variables radiométricas y meteorológicas más relevantes. Para este proyecto se ha empleado la información almacenada durante el periodo 2016-2019.



## 2 OBJETIVOS

---

En la introducción se ha destacado la importancia que tiene para el desarrollo e implantación de las nuevas tecnologías solares disponer de bases de datos radiométricas de calidad contrastadas a lo largo de periodos de tiempo extensos. En cuanto a los datos registrados, el interés se centra principalmente en almacenar medidas de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal. Actualmente, existen numerosas bases de datos que contienen medidas de radiación global horizontal y algunas de radiación directa normal a lo largo del mundo, pero en la mayoría de los casos no abarcan un largo periodo de tiempo, presentan huecos en los registros o poca información sobre la calidad de las medidas. Esto es debido a la necesidad de mantenimiento continuado de los dispositivos que registran estas variables.

El objetivo de este proyecto es adaptar la metodología utilizada en el periodo 2000-2009 para la corrección de la base de datos a las irregularidades que han aparecido en el periodo 2016-2019 en la base de datos radiométricos del Grupo de Termodinámica y Energías Renovables (en adelante GTER). Siguiendo esta línea y tomando como base el Proyecto Fin de Carrera “Metodología para el análisis y corrección de la base de datos meteorológicos del GTER. Aplicación al periodo 2000-2009” (1), de Elena Pérez Aparicio, actual miembro del GTER, se consigue que al final de este proyecto se cuente con una base de datos revisada y actualizada que constituye una fuente de información completa y de calidad que cubre un periodo de tiempo significativamente largo (20 años). En el desempeño de este fin, se emplea una metodología que permite solventar los diferentes problemas que se han encontrado y que suelen presentarse en este tipo de bases de datos (medidas erróneas, días incompletos, huecos,...), generando para cada uno de ellos alternativas de solución que se detallan a lo largo de este documento.

La información que proporciona este proyecto, será de mucha utilidad para futuros estudios sobre el análisis de la radiación solar en Sevilla, aportando un periodo extenso de datos que poder utilizar para caracterizar el comportamiento de la radiación a largo plazo. Como avance de dicha caracterización, se obtiene y presenta información de tipo cuantitativa de las variables de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal en intervalos diarios, mensuales y anuales durante el periodo de tiempo en estudio.



# 3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

Los primeros registros de la base de datos radiométricos del GTER corresponden al año 1984. No son muchas las estaciones radiométricas que cuentan con un histórico de medidas tan amplio, de ahí que la base de datos a la que se hace referencia en este trabajo, adquiriera una especial relevancia en el ámbito de investigación y caracterización de la radiación solar.

Cuando se comienza a trabajar con los archivos diarios del periodo 2016-2019 se localizan varios problemas que dificultan el tratamiento de la información disponible. Entre ellos se pueden destacar aquellos días para los que no se ha generado el archivo de datos correspondiente, aquellos en los que faltan datos o aquellos en los que aparecen medidas erróneas, más adelante se detallan los motivos que han originado estas irregularidades. Una vez identificados estos problemas se plantea trazar una metodología que permita corregir la base de datos. El actual proyecto gira alrededor de este objetivo. En esta breve introducción se plantea el origen del problema, en los siguientes capítulos se mostrará la metodología empleada así como los resultados obtenidos. El procedimiento de corrección de días ha sido aplicado a un periodo de cuatro años de medidas, desde enero del año 2016 a diciembre de 2019. La selección de este intervalo reside en el hecho de que los datos registrados hasta el año 2015 inclusive ya habían sido corregidos.

A continuación se lleva a cabo una descripción detallada de la estación radiométrica y de la base de datos con la que se ha trabajado a lo largo de todo el proyecto. Este paso es importante ya que para solventar los problemas que aparecen es fundamental conocer las características de los datos a tratar.

## 3.1 Descripción del equipamiento actual de la estación del GTER

A lo largo de los años 1984 a 1998 la estación radiométrica del Grupo de Termodinámica y Energías Renovables se ubicaba en el recinto universitario de Reina Mercedes, en un emplazamiento cuyas coordenadas eran  $37.37^\circ$  N y  $6.00^\circ$  W. En 1998 se trasladó a la azotea del edificio de laboratorios L-1 de la Escuela Superior de Ingenieros, donde se encuentra actualmente. Las coordenadas correspondientes a este lugar son  $37.40^\circ$  N y  $6.01^\circ$  W. Desde su instalación la estación se encuentra en constante evolución. El equipamiento de la misma se ha modificado para aumentar las variables que se registran e incrementar su fiabilidad.



Figura 3-1. Vista de la estación del GTER

La estación radiométrica se compone de una serie de sensores y equipos auxiliares destinados a medir y almacenar las principales variables de radiación. Los sensores son dispositivos que captan el valor absoluto o la variación de una determinada magnitud física (señal de entrada) y la convierten en una señal de salida apta para su tratamiento electrónico posterior. Están instalados en la plataforma superior de la estación de medidas, a 12 metros sobre el nivel del mar. Prácticamente todos los dispositivos funcionan de forma continuada y automática. La estación radiométrica se está actualizando y tiene intención de instalar varios dispositivos nuevos para la medida de irradiancia global y directa espectral de manera continuada. A continuación se describen brevemente los equipos. (2)

## 1. PIRANÓMETROS

- Piranómetro Kipp and Zonen, modelo CMP21 (3)

El piranómetro es el sensor encargado de medir la radiación global. Este modelo de piranómetro utiliza un sencillo mecanismo de medida. La energía radiante es absorbida por un disco pintado de negro, después el calor fluye a través de una resistencia térmica hasta el cuerpo del piranómetro. La diferencia de temperatura entre los extremos de la resistencia se convierte en una tensión proporcional a la irradiancia absorbida, obteniéndose así la medida deseada.

En cuanto a las características del dispositivo se deben destacar las cúpulas de vidrio, cuya función es evitar el deterioro o incorrecto funcionamiento del detector como consecuencia de efectos meteorológicos. Se evita, por ejemplo, que las variaciones de temperaturas ambientales afecten a las medidas. Otro elemento importante es el sistema destinado a absorber humedad de que consta el sensor. Impide la formación de rocío en el interior de la semiesfera.

Actualmente este piranómetro registra medidas de irradiancia global horizontal.

### Especificaciones

- Rango espectral: 285 - 2800 nm
- Sensibilidad: 7 - 14  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Tiempo de respuesta: 5 segundos
- Temperatura de operación: de  $-40^\circ\text{C}$  a  $+80^\circ\text{C}$



Figura 3-2. Piranómetro Kipp and Zonen, modelo CMP21

- Atersa Calibrated PV cell (4)

La célula calibrada compensada es un instrumento de medida electrónico de precisión que permite medir la radiación solar, la temperatura propia de la célula y la temperatura ambiente. En la estación existen dos, una se encarga de medir la irradiancia global horizontal y la otra la irradiancia global a 27°.

#### Especificaciones eléctricas

- Relación Tensión-Radiación: 65mVdc por salida = 1000 W/m<sup>2</sup>
- Impedancia conectada a la salida: > = 10 MOhms

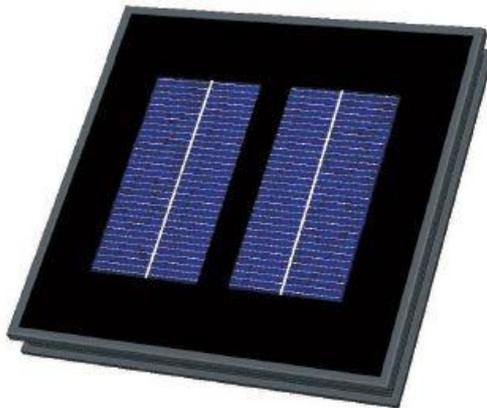


Figura 3-3. Célula Fotovoltaica Calibrada Compensada, Atersa grupo Elecnor

- Skye SP1110 photodiode (5)

Es un sensor compacto de alto rendimiento de radiación solar global térmicamente estable. El cabezal contiene una fotocélula especial de silicio de baja fatiga. Está completamente sellada y puede dejarse indefinidamente en condiciones expuestas. El sensor va montado sobre una base de nivelación y orientado al sur. Debido a las diferentes respuestas espectrales de la fotocélula de silicio y las termopilas, para obtener lecturas precisas, el SP1110 debe utilizarse con luz natural. Las diferentes condiciones de sol, nubes, etc. afectan ligeramente a la calibración, pero los errores absolutos están siempre dentro del 5% y típicamente son menores del 3%.

Actualmente existen dos en la estación, uno registra medidas de irradiancia global horizontal y el otro de irradiancia global a 27°.

#### Especificaciones

- Rango espectral: 350 - 1100 nm
- Rango de medida: 0 – 1370 w/m<sup>2</sup>
- Precisión: ± 5%
- Corrección del coseno: 0 para 0 – 70° y < 10% para 85 – 90°
- Salida: 1mV por cada 100 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de operación: de -35°C a +75°C
- Linealidad: < 1% de 0 - 3000W/m<sup>2</sup>



Figura 3-4. Fotodiodo SP111

- Hukseflux, modelo SR20 (6)

El piranómetro SR20 utiliza un sensor de termopila de última generación con superficie recubierta de negro, dos cúpulas y un cuerpo de aluminio anodizado. En la actualidad se usa para medir irradiancia global sobre una superficie inclinada 27°.

#### Especificaciones

- Rango espectral: 285 - 3000 nm
- Sensibilidad: 15  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Temperatura de operación: de -40°C a +80°C



Figura 3-5. Piranómetro SR20

- Piranómetro Eko, modelo ms80 (7)

Los sensores Eko tienen una respuesta rápida. El sensor compacto con un solo domo, basado en un detector de termopila aislado y un difusor de cuarzo, integra todas las funciones opcionales de valor agregado, como un ventilador, un calentador y diferentes interfaces industriales. Se recomiendan el calentador y el ventilador, particularmente en áreas afectadas por el rocío, las heladas, la nieve y el polvo.

Actualmente se utiliza para registrar las medidas de irradiancia global horizontal.

#### Especificaciones

- Rango espectral: 285 - 3000 nm
- Tiempo de respuesta: < 0.5 segundos
- Impedancia: < 45000  $\Omega$
- Temperatura de operación: de -40°C a +80°C
- Rango de Irradiancia: 0 - 4000  $\text{W}/\text{m}^2$



Figura 3-6. Piranómetro Eko, modelo ms80

- Kipp & Zonen CMP10 + shadow band (8)

Este dispositivo consta de un piranómetro con una banda metálica acoplada a la plataforma horizontal que impide que incida sobre él la radiación directa normal. Con este montaje conseguimos que el piranómetro recoja el valor de la irradiancia difusa sobre una superficie horizontal.

Especificaciones:

- Rango espectral: 285 - 2800 nm
- Sensibilidad: 7-14  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Ángulo de visión: 180°
- Impedancia: 10 - 100  $\Omega$
- Tiempo de respuesta: 5 segundos



Figura 3-7. Kipp & Zonen CMP10 + shadow band

- Kipp & Zonen CMP10+ shading ball (8)

Este dispositivo consta de un piranómetro con un sistema de bolas que impide que incida sobre él la radiación directa normal. Con este montaje conseguimos que el piranómetro recoja el valor de la irradiancia difusa sobre una superficie horizontal de una forma muy precisa ya que ajusta su posición automáticamente con el seguidor, a diferencia del dispositivo anterior que necesita que se regule la banda de sombra manualmente.

Especificaciones:

- Rango espectral: 285 - 2800 nm
- Sensibilidad: 7-14  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Ángulo de visión: 180°
- Impedancia: 10 - 100  $\Omega$
- Tiempo de respuesta: 5 segundos



Figura 3-8. Kipp & Zonen CMP10+ shading ball

## 2. PIRHELIÓMETROS

- Kipp & Zonen, modelo CHP1 (9)

El pirheliómetro es el dispositivo destinado a medir la radiación directa normal. El pirheliómetro CHP1 está constituido por una termopila. En ella el flujo de calor generado por la irradiancia incidente pasa a través de una resistencia térmica donde la diferencia de temperatura entre los extremos se convierte en una diferencia de tensión como una función lineal de la irradiancia absorbida. La ventana del pirheliómetro cubre un rango espectral del 97%.

### Especificaciones

- Sensibilidad: 7-14  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Tiempo de respuesta: 5 segundos
- Temperatura de operación: de  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  a  $+80\text{ }^\circ\text{C}$



Figura 3-9. Pirheliómetro Kipp & Zonen, modelo CHP1



Figura 3-10. Pirheliómetro Kipp & Zonen, modelo CHP1, con seguidor

- Eppley, modelo NIP (10)

El pirheliómetro NIP incorpora una termopila de cable enrollado en la base del tubo. El interior de este tubo de latón está ennegrecido y cuenta con un diafragma para dirigir el paso de la luz. El tubo está lleno de aire seco a presión atmosférica y posee un sellado en la base receptora. En cada extremo del cilindro hay dos discos, provistos con un mecanismo que permite comprobar la alineación del pirheliómetro con el Sol.

#### Especificaciones

- Sensibilidad:  $8 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- Dependencia con la temperatura:  $\pm 1\%$  sobre un rango de temperatura de  $-20^\circ\text{C}$  a  $40^\circ\text{C}$
- Linealidad:  $\pm 0.5\%$  de  $0 - 1400 \text{ W}/\text{m}^2$
- Tiempo de respuesta: 1 segundo
- Impedancia:  $200 \Omega$



Figura 3-11. Pirheliómetro Eppley NIP

### 3. SEGUIDOR

- Kipp & Zonen Solys Gear Drive (11)

Es un dispositivo que se utiliza para seguir al Sol. Sobre él se encuentra colocado el pirheliómetro con el que se pretende medir la irradiancia directa normal. Para poder medir esta variable radiométrica correctamente, los rayos solares deben incidir en todo momento en una dirección perpendicular al plano de su apertura, ya que de lo contrario se estaría midiendo una radiación directa que no se corresponde con la que se quiere registrar, es decir, la normal. El seguidor cuenta con un microprocesador encargado de controlar la posición del Sol mediante dos ejes de control, Cenit y Acimut. Introduciendo la hora local en el microprocesador, se asegura seguimiento preciso del Sol, evitando los problemas de desalineamiento del seguidor en un solo eje. El software de interfaz de usuario permite el monitoreo remoto y el registro de los ángulos de cenit y azimuth del Sol y la hora y fecha del GPS. La interfaz web integrada se puede utilizar también para visualizar (obtener y establecer) parámetros operativos y descargar archivos de registro del historial.

### Especificaciones

- Temperatura de operación: de -20°C a +50°C



Figura 3-12. Seguidor Kipp & Zonen Solys GD

#### 4. SKY RADIOMETER

- Prede Pom-02 (12)

Existe un creciente interés en el monitoreo de aerosoles de mayor tamaño y esto requiere mediciones en longitudes de onda más largas. Este equipo mide la energía solar directa y la intensidad del espectro de dispersión.

Además del sistema óptico con detector de fotodiodos de silicio, el radiómetro de cielo Pom-02 tiene un segundo sistema óptico con un detector infrarrojo de arseniuro de indio y galio. La rueda del filtro tiene 11 bandas de onda, que proporcionan mediciones a 2200 nm. También tiene canales ultravioletas adicionales.

El mantenimiento es mínimo, consiste en la limpieza periódica de las ventanas ópticas y la comprobación del desecante en el radiómetro.

### Especificaciones

- Rango espectral: 315 - 2200 nm
- Temperaturas de operación: de -30°C a +35°C



Figura 3-13. Sky Radiometer Prede Pom-02

## 5. CEILÓMETRO

- Lufft CHM 15k "NIMBUS" (13)

El Lufft CHM tiene una carcasa de doble pared combinada con un ventilador integrado y un sistema de calefacción automático para proporcionar una protección fiable contra la nebulización, la precipitación, la congelación o el sobrecalentamiento. Los parámetros que mide son el perfil de retrodispersión en aerosol, la altura de la base de la nube, la profundidad de penetración de la nube, la altura de la capa de aerosol, la nubosidad, la visibilidad vertical y el índice de condición del cielo. Permite la observación de cirros de hasta 15000 m de altura.

### Especificaciones

- Temperatura de operación: de -40°C a +55°C
- Tiempo de medida: entre 2 y 600 segundos (programable)



Figura 3-14. Celiómetro Lufft CHM 15k "NIMBUS"

## 6. SKY CAMERA

- Sky Camera

Actualmente se desconocen las especificaciones de este aparato. Está proyectada la adquisición de una cámara de mejor calidad.



Figura 3-15. Sky Camera

## 7. RADIÓMETRO INFRARROJO

- Eppley PIR (Precision Infrared Radiometer) (14)

El radiómetro infrarrojo de precisión, también denominado pirgeómetro, está diseñado para la medición de radiación de onda larga. Este detector de termopila usa un termistor de caja para determinar la radiación saliente de la caja. También se incluye un termistor de domo si se desea medir la temperatura del domo en comparación con la temperatura de la carcasa para hacer cualquier corrección al resultado final. Para proteger la termopila de la radiación de onda corta, Eppley utiliza un hemisferio de silicio con un filtro depositado al vacío en el domo interior.

### Especificaciones

- Ángulo de visión: 180°
- Sensibilidad:  $3 \mu V/(W/m^2)$
- Tiempo de respuesta: 5 segundos
- Dependencia con la temperatura:  $\pm 0.5\%$  sobre un rango de temperatura de  $-30^\circ C$  a  $+50^\circ C$
- Linealidad:  $\pm 0.5\%$
- Temperatura de operación: de  $-50^\circ$  a  $+80^\circ C$



Figura 3-16. Eppley PIR

#### 8. UNIDAD CENTRAL (1)

La unidad central se compone de un ordenador personal, una tarjeta controladora para la conexión con la unidad de adquisición por medio de una interfaz HP-IB y un software para las funciones de control del sistema de adquisición, interfaz de operador y programación y mantenimiento del módulo de adquisición. El programa de la unidad central está desarrollado en lenguaje HP-VEE.

#### 9. PANEL DE CONEXIÓN (1)

El panel de conexión, situado en la misma plataforma de sensores, proporciona una interfaz física entre éstos y la unidad de adquisición, facilitando y simplificando la instalación y el mantenimiento del cableado.

#### 10. ANEMÓMETRO (1)

- Rango de medida: 0 – 50 m/s
- Umbral de medidas: 0.5 m/s
- Precisión: 0.2 m/s

#### 11. VELETA (1)

- Rango de medida: 0 – 360°

#### 12. SONDA BAROMÉTRICA (1)

Se emplea una sonda barométrica Young modelo 61201 con puerto de presión Young modelo 61002 para la medida de presión atmosférica. Las características de la misma son:

- Temperatura de operación: de -50°C a +60°C
- Rango de medida: 600 – 1100 hPa
- Precisión:  $\pm 0.3$  hPa a 20°C,  $\pm 1$  hPa de -50°C a 60°C

### 13. SONDA PARA LA MEDIDA DE TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA (1)

En este caso se emplea una sonda Young modelo 41372VC/VF, compuesta por RTD de Platino de 1000  $\Omega$  y sensor capacitivo de humedad instalado en un protector de radiación solar.

Humedad relativa:

- Temperatura de operación: de -10°C a +60°C
- Rango de medida: 0 – 100% HR
- Precisión a 20°C:  $\pm 3\%$  de 10 a 90% HR, 4% de 0 a 10% HR y de 90% a 100% HR
- Estabilidad: Mayor del  $\pm 2\%$  HR durante dos años
- Señal de salida: 4 – 20 mA

Temperatura:

- Rango de medida de calibrado: de -50°C a +50°C
- Precisión a 0°C:  $\pm 0.3^\circ\text{C}$
- Señal de salida: 4 – 20 mA

## 3.2 Descripción de la base de datos

En el apartado anterior se ha descrito el equipamiento de la estación, ahora se analiza la estructura de los archivos almacenados. Los archivos se nombran de la siguiente forma: “meteo\_aaaa\_ddd.txt”. Los cuatro primeros dígitos, identificados con las letras “aaaa” indican el año al que pertenecen. Los tres dígitos restantes, “ddd”, hacen referencia al día en que se toman las medidas. En la Figura 3-17 se muestra un ejemplo de estos archivos:

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda															
0:00:00	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.8	1	34	790.6	66	-1.449069	
0:00:05	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.8	1.3	33	794.6	66	-1.447403	
0:00:10	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.2	31	799.5	66	-1.446014	
0:00:15	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.2	31	805.7	66	-1.444625	
0:00:20	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.2	30	793.1	66	-1.443236	
0:00:25	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.5	26	787.1	66	-1.441847	
0:00:30	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.4	31	787.4	66	-1.440736	
0:00:35	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.3	42	789.1	67	-1.439069	
0:00:40	-2	-2	0	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.4	38	781.8	67	-1.437681	
0:00:45	-2	-2	0	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.3	36	796.7	67	-1.436569	
0:00:50	-2	-2	0	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.4	32	812.9	67	-1.434903	
0:00:55	-2	-2	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.5	27	818.8	67	-1.433514	
0:01:00	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.4	26	819.3	67	-1.432125	
0:01:05	-2	-2	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.4	26	814.5	67	-1.430736	
0:01:10	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.4	26	798.4	67	-1.429347	
0:01:15	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.4	26	791	67	-1.427958	
0:01:20	-2	-2	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.5	26	787.9	67	-1.426569	
0:01:25	-2	-2	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.6	24	793.1	67	-1.425181	
0:01:30	-2	-2	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.6	25	803.6	67	-1.423792	
0:01:35	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.6	26	816.9	67	-1.422681	
0:01:40	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.2	26	807.3	67	-1.421014	
0:01:45	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.4	25	803.8	67	-1.419625	
0:01:50	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.1	14	795.6	67	-1.418236	
0:01:55	-3	-3	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	0.9	15	784.6	67	-1.416847	
0:02:00	-2	-2	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.1	24	782.7	67	-1.415458	
0:02:05	-3	-3	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.1	26	795.5	67	-1.414069	
0:02:10	-2	-2	-1	-2	0	0	0	81	0	0	0	-3	8.7	1.2	26	816	67	-1.412958	
0:02:15	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.3	23	820.1	67	-1.411292	
0:02:20	-3	-3	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.3	24	801.9	67	-1.410181	
0:02:25	-3	-3	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.4	17	800.7	67	-1.408514	
0:02:30	-3	-3	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.7	1.3	18	815.8	67	-1.407125	
0:02:35	-2	-2	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.3	21	821.5	67	-1.405736	
0:02:40	-3	-3	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.7	1.4	24	814.9	67	-1.404347	
0:02:45	-3	-3	-1	-2	0	0	0	82	0	0	0	-3	8.6	1.4	28	798.2	67	-1.402958	
0:02:50	-3	-3	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.6	1.5	25	791.7	67	-1.401569	
0:02:55	-3	-3	-1	-2	0	0	0	80	0	0	0	-3	8.6	1.6	24	802.1	67	-1.400181	

Figura 3-17. Fichero de radiación correspondiente al día 1 de 2019

Como se puede observar en la Figura 3-17, no se introduce texto en el fichero de medidas. Con esto se facilita en gran medida el tratamiento de los datos que contiene el archivo, pero a la vez dificulta la comprensión de las variables. Los valores se registran cada cinco segundos. Las variables registradas en cada columna son, de izquierda a derecha:

- G.M.T. (HH:MM:SS): Instante temporal en que se han tomado las medidas
- Irradiancia difusa medida con sistema de banda de sombra ( $W/m^2$ )
- Irradiancia global sobre superficie horizontal mediante piranómetro Eko, modelo ms80 ( $W/m^2$ )
- Irradiancia global sobre superficie inclinada  $27^\circ$  mediante piranómetro Hukseflux, modelo SR20 ( $W/m^2$ )
- Irradiancia difusa medida con sistema de sombreado de bolas ( $W/m^2$ )
- Irradiancia global sobre superficie inclinada  $27^\circ$  mediante célula calibrada Atersa ( $W/m^2$ )
- Irradiancia global sobre superficie horizontal mediante piranómetro Skye SP1110 photodiode ( $W/m^2$ )
- Irradiancia global sobre superficie inclinada  $27^\circ$  mediante piranómetro Skye SP1110 photodiode ( $W/m^2$ )
- Irradiancia de onda larga medida con pirgeómetro ( $W/m^2$ )
- Irradiancia global sobre superficie horizontal mediante célula calibrada Atersa ( $W/m^2$ )
- Irradiancia directa normal medida con pirheliómetro Eppley, modelo NIP ( $W/m^2$ )
- Irradiancia directa normal medida con pirheliómetro Kipp and Zonen, modelo CHP1 ( $W/m^2$ )
- Desactivado temporalmente
- Temperatura mediante sonda Young ( $^\circ C$ )
- Velocidad del viento con anemómetro (m/s)
- Dirección del viento con veleta ( $^\circ$ )
- Presión atmosférica mediante sonda barométrica (mBar)
- Humedad Relativa mediante sonda Young (%)
- Hora solar



# 4 METODOLOGÍA

En este capítulo se lleva a cabo una descripción detallada de la metodología trazada para el proceso de análisis y corrección de la base de datos. En primer lugar se analizan los problemas localizados en los archivos diarios y se trata de identificar la procedencia de los mismos. A continuación se fijan los criterios de clasificación de días según las características que los definen. Finalmente se especifica el procedimiento diseñado para la corrección de cada grupo.

## 4.1 Pasos previos a la corrección de días

### 4.1.1 Representación de gráficas diarias

En las gráficas diarias se observa la evolución de las variables de radiación objeto de análisis, radiación global horizontal (azul), radiación directa normal (rojo), radiación difusa horizontal con banda de sombra (celeste) y radiación difusa horizontal medida con sistema de bolas (verde).

En la Figura 4-1 se puede ver un ejemplo de estas gráficas. El piranómetro con sistema de bolas no se instala hasta el año 2018, por eso no aparece en la gráfica.

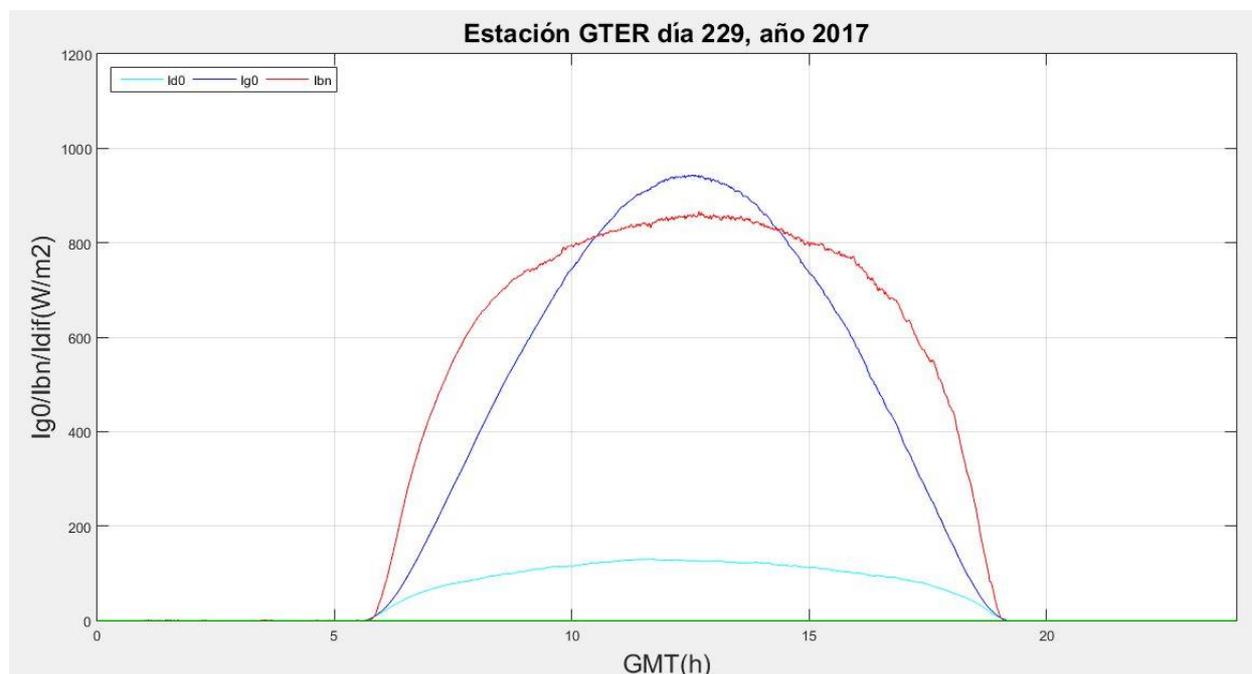


Figura 4-1. Gráfica diaria correspondiente al día 229 del año 2017



En la siguiente figura se puede observar otro de los errores que aparece con frecuencia en los archivos de la estación GTER. Se trata de un día con errores en el registro de la irradiancia difusa horizontal con banda de sombra. En este caso el problema está ocasionado por un desajuste en la banda de sombra del piranómetro. Para evitar que se continúen registrando medidas incorrectas, basta con corregir la posición de ésta. Para corregir los datos, a falta de otra medida de irradiancia difusa horizontal auxiliar, como podría ser la tomada por el piranómetro con sistema de sombreado de bolas, se obtendrá a partir de los datos de irradiancia global horizontal e irradiancia directa normal.

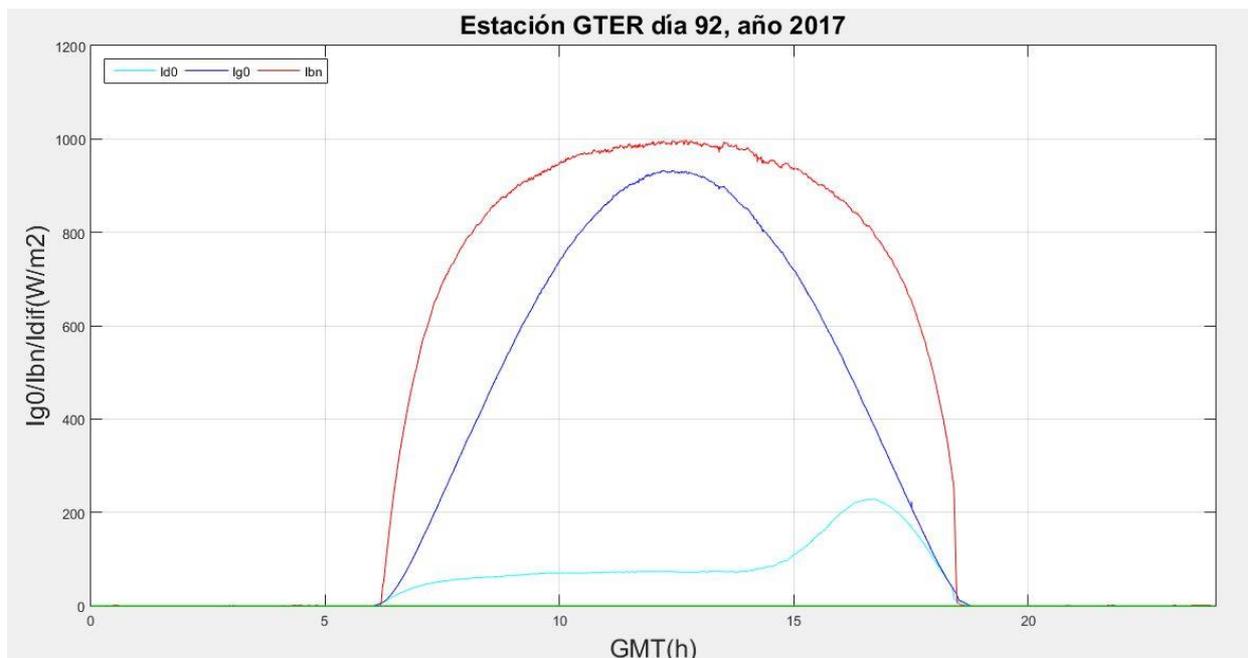


Figura 4-4. Gráfica diaria correspondiente al día 92 del año 2017, radiación difusa horizontal mal medida

Con los dos casos anteriores quedan comentados los problemas que aparecen con mayor frecuencia en los archivos almacenados, independientemente de aquellos días en los que no existen registros. En las gráficas diarias también se pueden detectar otros fenómenos puntuales como pequeñas sombras en los dispositivos, días con calima o el llamado “efecto lupa”, que es cuando la medida de la radiación global horizontal es extremadamente elevada. Estos días se clasifican como correctos ya que son situaciones que se dan en la realidad. A pesar de que sus curvas sean atípicas, son reales y por lo tanto correctas. Se añaden dos ejemplos de estos dos últimos casos en las Figura 4-5 y 4-6, respectivamente. El límite del eje vertical de la Figura 4-6 se ha aumentado debido a las elevadas medidas registradas de radiación global horizontal.

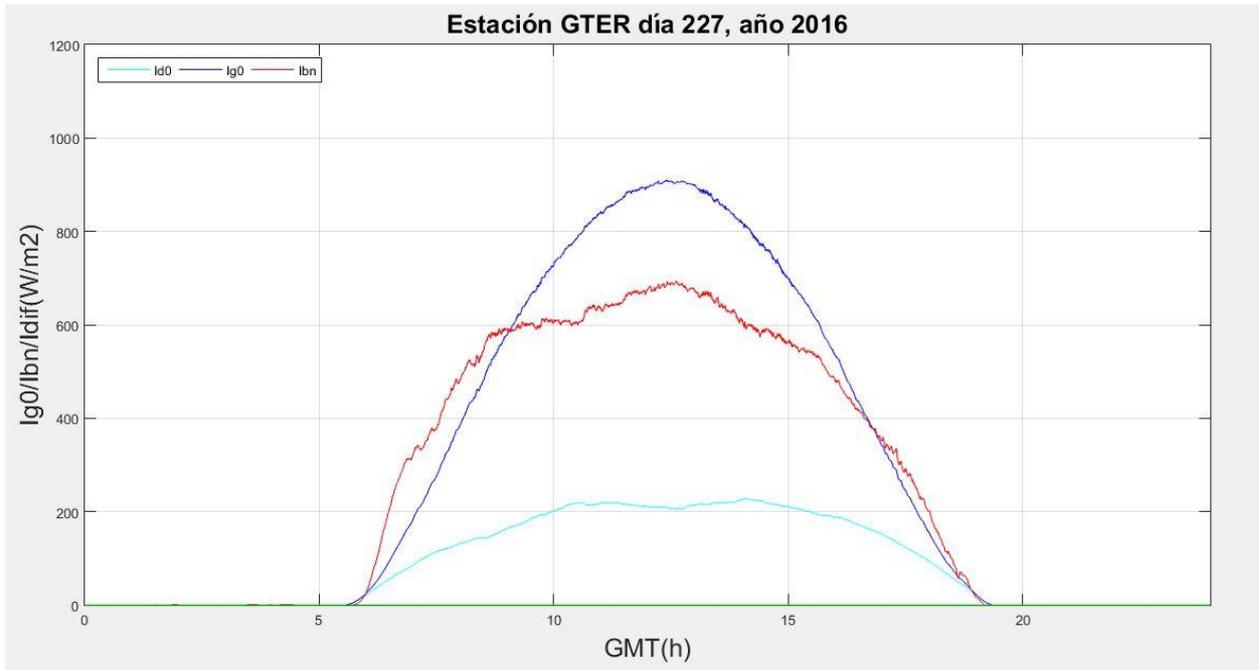


Figura 4-5. Gráfica diaria correspondiente al día 227 del año 2016, día con calima

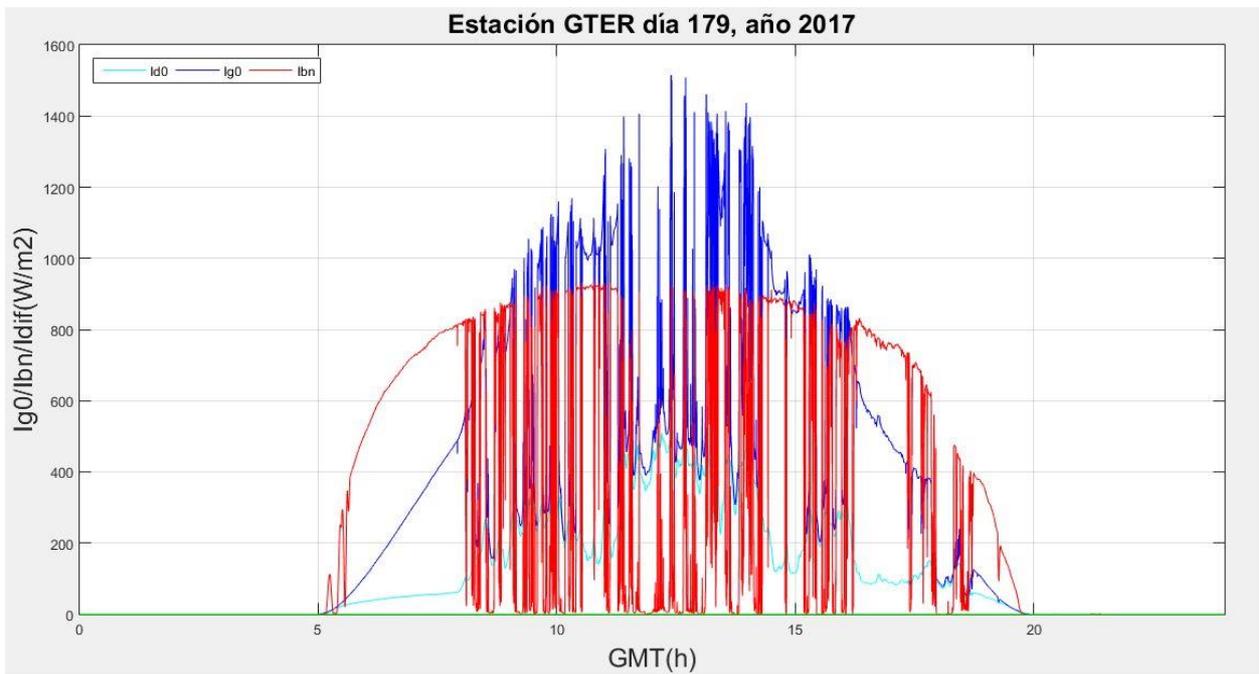


Figura 4-6. Gráfica diaria correspondiente al día 179 del año 2017, día con “efecto lupa”

Uno de los objetivos que se persiguen al representar las gráficas diarias es el seguimiento exhaustivo del comportamiento de la estación. Para facilitar esta tarea se completa un diario en el que se anotan todas las incidencias. Al consultarlo se puede comprobar si el archivo diario ha sido generado, está completo y si las variables de radiación han sido registradas correctamente. En la Figura 4-7 se añade un extracto del mismo.

		Estación radiométrica																	
Día Juliano	Día del año	Archivo generado	Generado correctamente											Archivo completo	Archivo centrado	Comentarios			
			Global CM21	Difusa Banda	Directa CHP1	Directa NIP	Célula Horizontal	Inclinada MAPA 27*	Horizontal MAPA	Célula Inclinada 27*	Difusa Bola	Global inclinada 27*	HUKSEFLUX				NADA	Pirgeómetro	
186	05/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	La difusa de banda tiene joroba el mediodía, siendo un día despejado
187	06/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	La difusa de banda tiene joroba el mediodía, siendo un día despejado
188	07/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	La difusa de banda tiene joroba el mediodía, siendo un día despejado
189	08/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	La difusa de banda tiene joroba el mediodía, siendo un día despejado
190	09/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Se soluciona el pb de la difusa de banda
191	10/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
192	11/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
193	12/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
194	13/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
195	14/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
196	15/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
197	16/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
198	17/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
199	18/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
200	19/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
201	20/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
202	21/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
203	22/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
204	23/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	A las 20:00 se corta la estación. Afecta a los datos meteorológicos
205	24/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
206	25/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
207	26/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
208	27/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	No hay datos registrados
209	28/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
210	29/07/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
211	30/07/2018	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
212	31/07/2018	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Conectado el pirheliómetro CHP1
213	01/08/2018	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	sin datos en las primeras horas del día

Figura 4-7. Extracto del diario de la estación, año 2018

## 4.2 Clasificación de días

En este apartado se describen los criterios establecidos para llevar a cabo la clasificación diaria. Se trata de una de las partes más complejas, ya que hay que tener en cuenta las implicaciones de la clasificación en la posterior corrección de días. Es fundamental ser consciente de la importancia de este paso, ya que en función de su validez el objetivo del proyecto se alcanzará en mayor o menor medida. El primer paso es dividir los días de cada año en tres grandes grupos:

- Días correctos
- Días corregibles
- Días descartados

Estos se subdividen a su vez para reunir días con características comunes, cuyas necesidades de corrección coincidan.

### 4.2.1 Días correctos

Se consideran como días correctos aquellos que presentan dos características fundamentales. Primero deben existir registros de datos en el intervalo de tiempo suficiente. Esto es equivalente a exigir que, al menos, se registren datos desde el orto hasta el ocaso. La segunda característica común a este tipo de días es que todas las variables se deben registrar correctamente, es decir, sin errores relacionados con el funcionamiento de los equipos o deficientes procesos de mantenimiento. Por otra parte, es necesario destacar que hay días en los que en las gráficas diarias se pueden observar reflejos en una de las medidas o pequeñas sombras producidas por algún elemento del entorno. Estos días se consideran correctos, ya que no ha habido errores en el registro de datos, simplemente la medida se ha visto afectada por algún factor externo sin mayor relevancia.

### 4.2.2 Días corregibles

Dentro de este grupo se engloban los días erróneos que tras aplicarle una correcta metodología pueden llegar a considerarse perfectamente válidos. No se puede trabajar con todos los días de igual forma, por lo tanto, el grupo de días corregibles se subdivide en los casos que a continuación se detallan.

#### A. Días corregibles. Caso A

Dentro de este grupo se encuentran días en los que las medidas de radiación global horizontal y radiación difusa horizontal son correctas pero las de radiación directa normal no existen o son incorrectas.

En las figuras que se muestran a continuación se añaden gráficas diarias con medidas incorrectas de radiación directa normal.

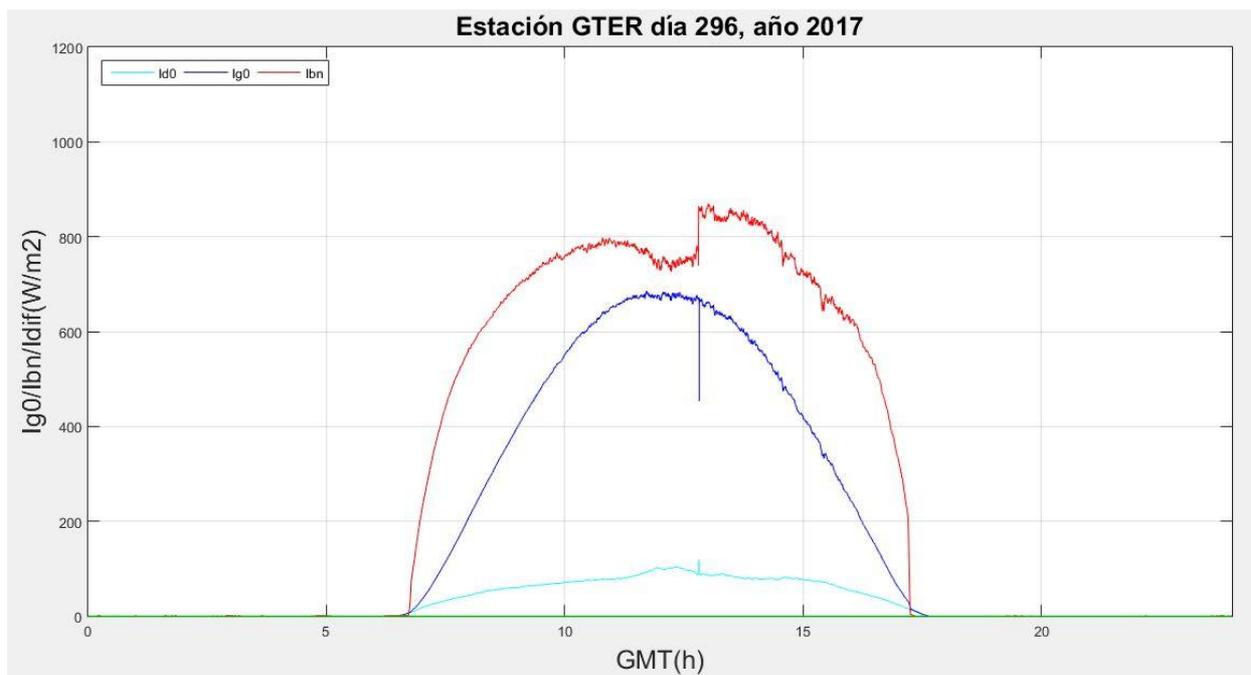


Figura 4-8. Gráfica diaria correspondiente al día 296 del año 2017, radiación directa normal mal registrada

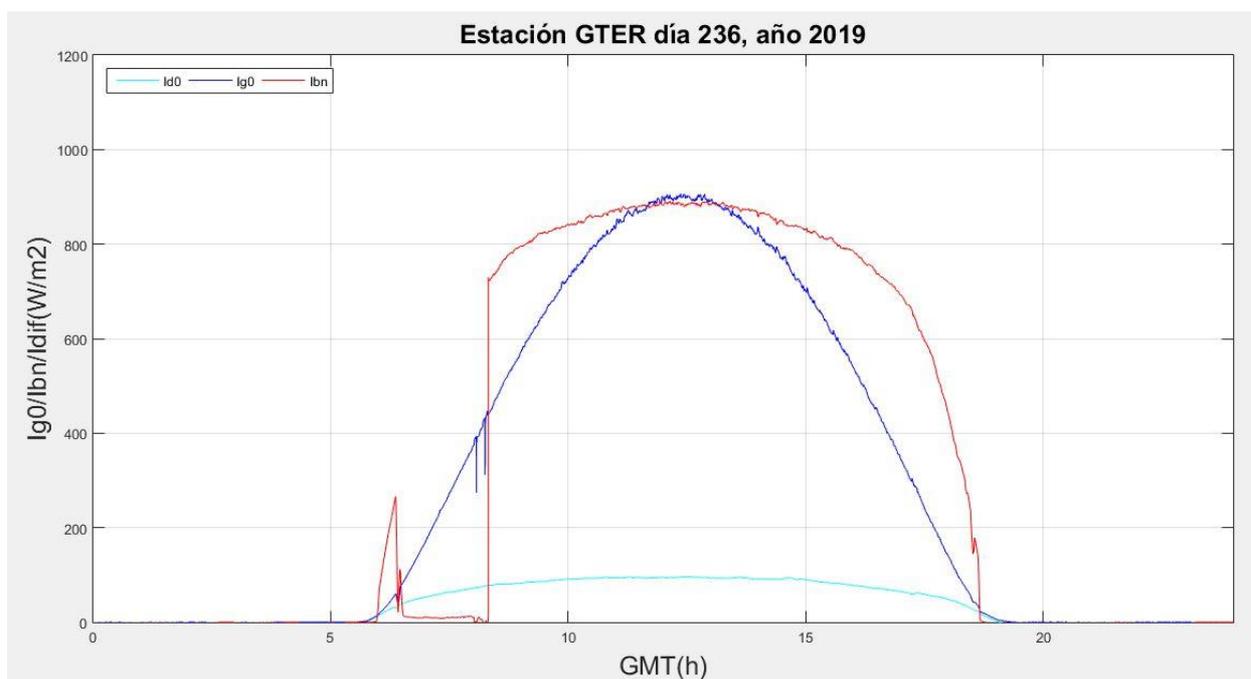


Figura 4-9. Gráfica diaria correspondiente al día 236 del año 2019, radiación directa normal mal registrada

Las gráficas anteriores tienen en común que las medidas registradas de radiación directa normal son incorrectas. En la primera de ellas es consecuencia de ensuciamiento en el dispositivo mientras que en la segunda se corresponde con un funcionamiento incorrecto del seguidor.

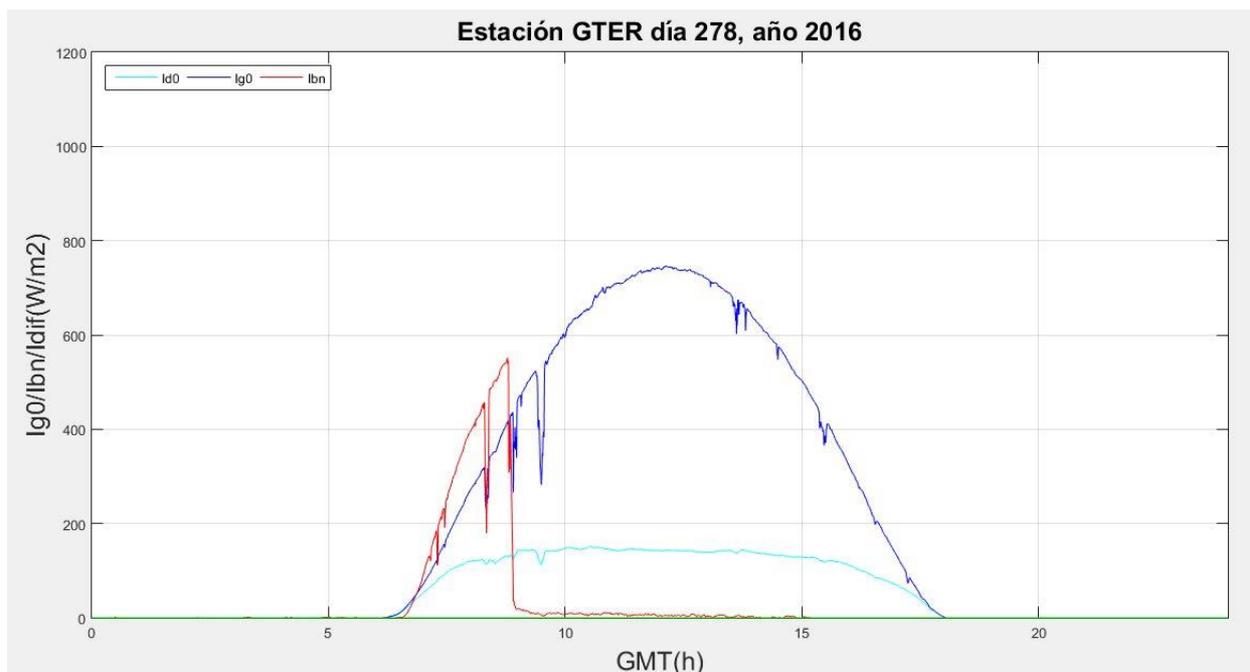


Figura 4-10. Gráfica diaria correspondiente al día 278 del año 2016, no se registra radiación directa normal durante más de la mitad del día

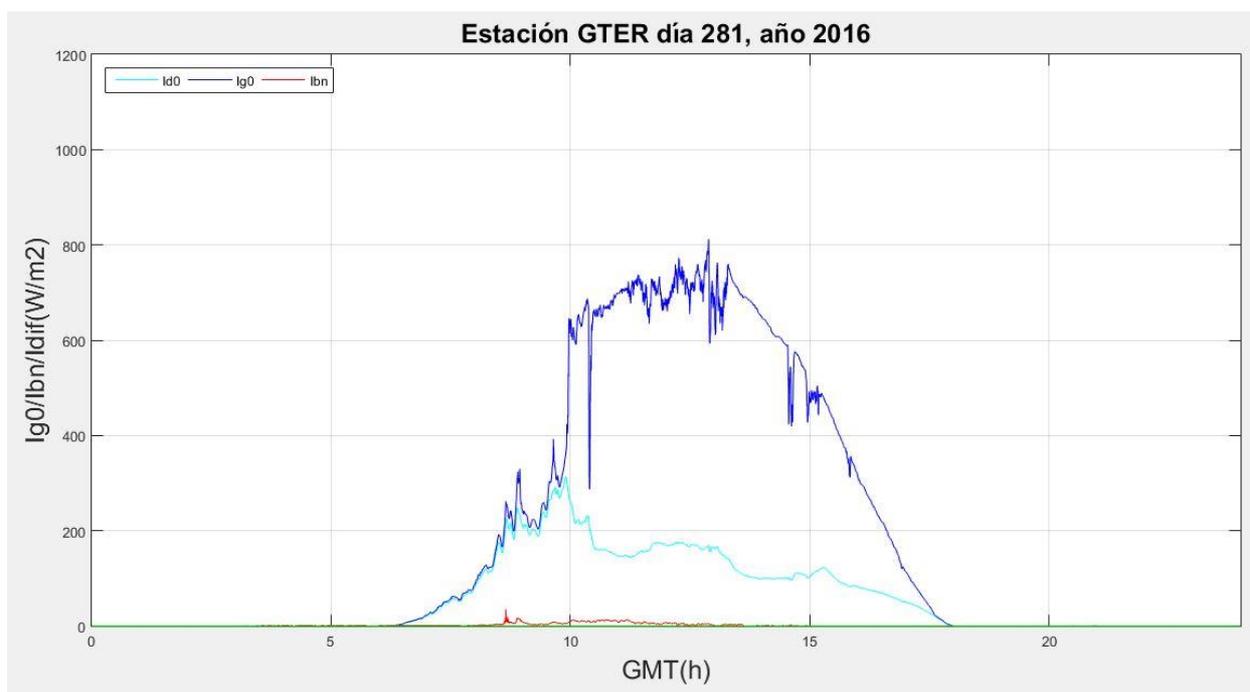


Figura 4-11. Gráfica diaria correspondiente al día 281 del año 2016, no se registra radiación directa normal

En estas gráficas se observa que no hay suficientes registros de radiación directa normal. En la primera de ellas solo se recogen datos hasta aproximadamente las 9h (GMT) y en la segunda no se mide en todo el día.

### B. Días corregibles. Caso B.1

Dentro de este caso se encuentran aquellos días en los que los registros de radiación directa normal y radiación difusa horizontal son válidos pero incorrectos los de radiación global horizontal. Es el caso que aparece con mayor frecuencia en el periodo de tiempo analizado. A continuación se añaden dos ejemplos en los que se cumplen las condiciones para clasificar el día dentro del caso 4. En el primero las medidas de radiación global horizontal son erróneas, consecuencia de ruido en el piranómetro, es decir, un mal funcionamiento del mismo. En el segundo caso, hay un pico durante el intervalo de tiempo que se mantiene desconectado el dispositivo.

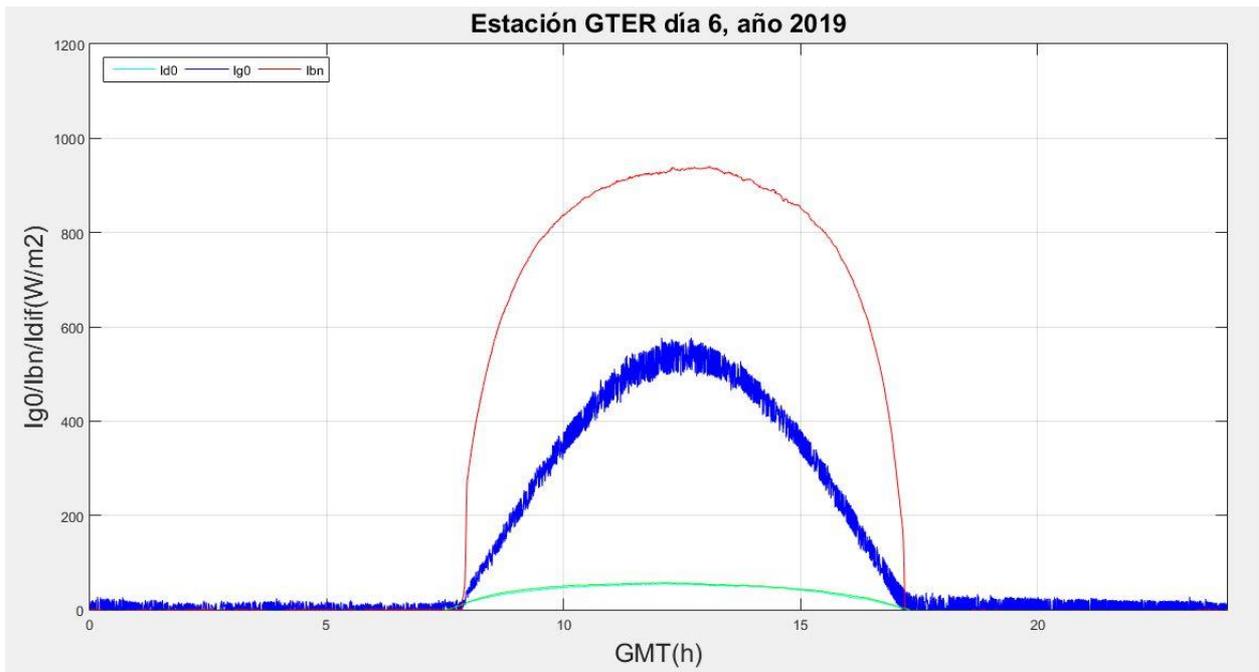


Figura 4-12. Gráfica diaria correspondiente al día 6 del año 2019, caso B.1

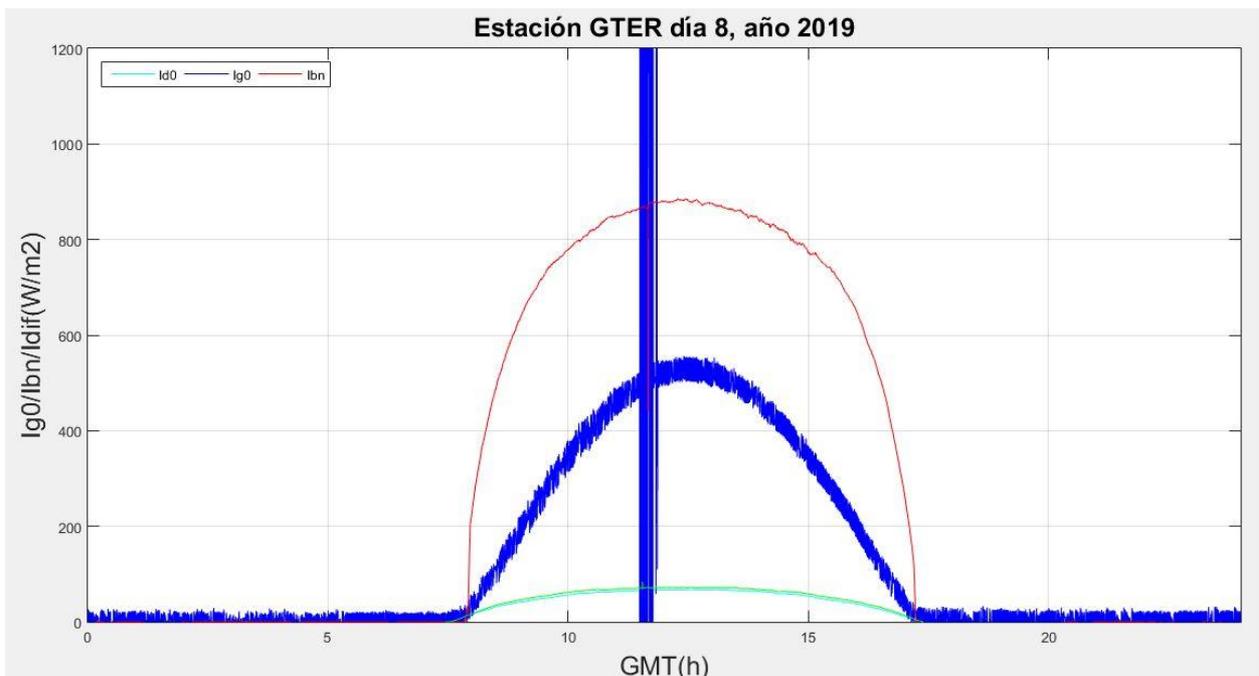


Figura 4-13. Gráfica diaria correspondiente al día 8 del año 2019, caso B.1

### 1. Días corregibles. Caso B.2

Dentro del caso B.1, merece ser destacado un subgrupo debido a su muy alta frecuencia en los años 2016 y 2017, el caso B.2. Se trata de días en los que los registros de radiación directa normal y de radiación difusa horizontal son válidos, pero los de radiación global horizontal son incorrectos solamente durante una parte del día, normalmente al final. Este fallo puede ser debido a un fallo en el piranómetro o a una sombra.

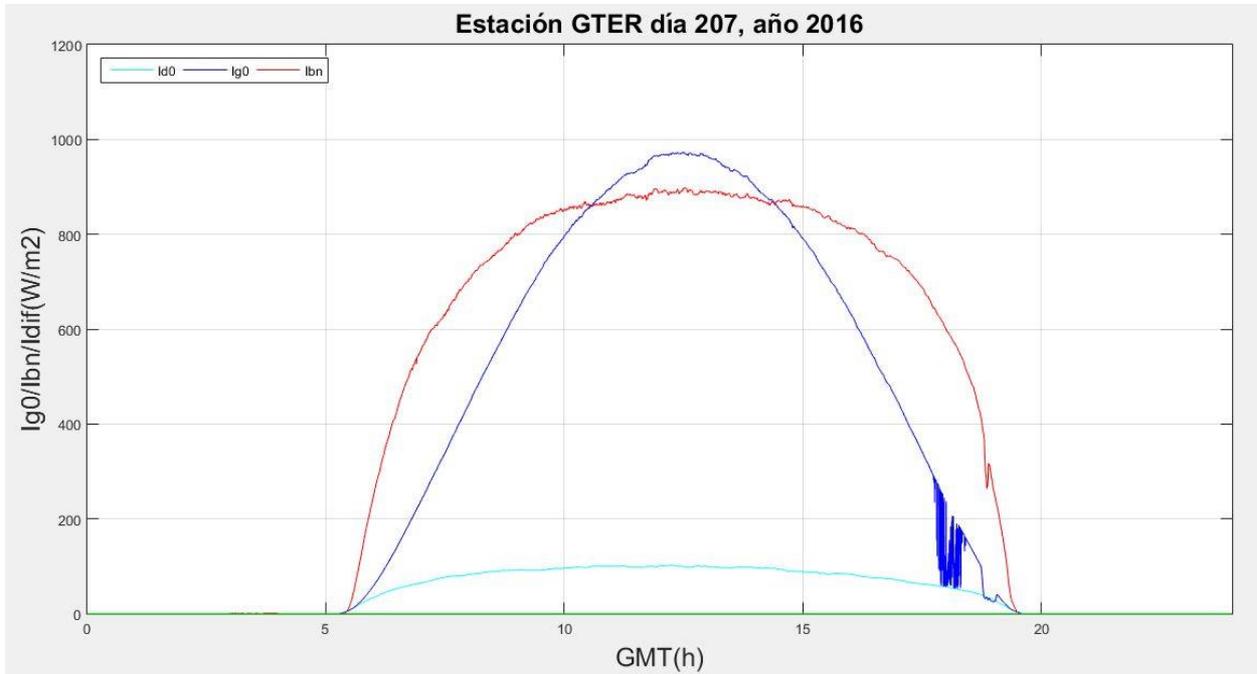


Figura 4-14. Gráfica diaria correspondiente al día 207 del año 2016, caso B.2

### C. Días corregibles. Caso C

Dentro de este caso se encuentran los días en los que los datos de radiación global horizontal y radiación directa normal son correctos pero incorrectos los de radiación difusa horizontal. En la actualidad, existen dos dispositivos en la estación para medir la radiación difusa horizontal, el piranómetro con banda de sombra y el piranómetro con sistema de sombreado de bolas. En el periodo de estudio de este proyecto, durante el 2016 y 2017, solo se cuenta con los datos de radiación difusa horizontal con banda de sombra y a partir del día 24 del año 2018, se tienen ambas medidas.

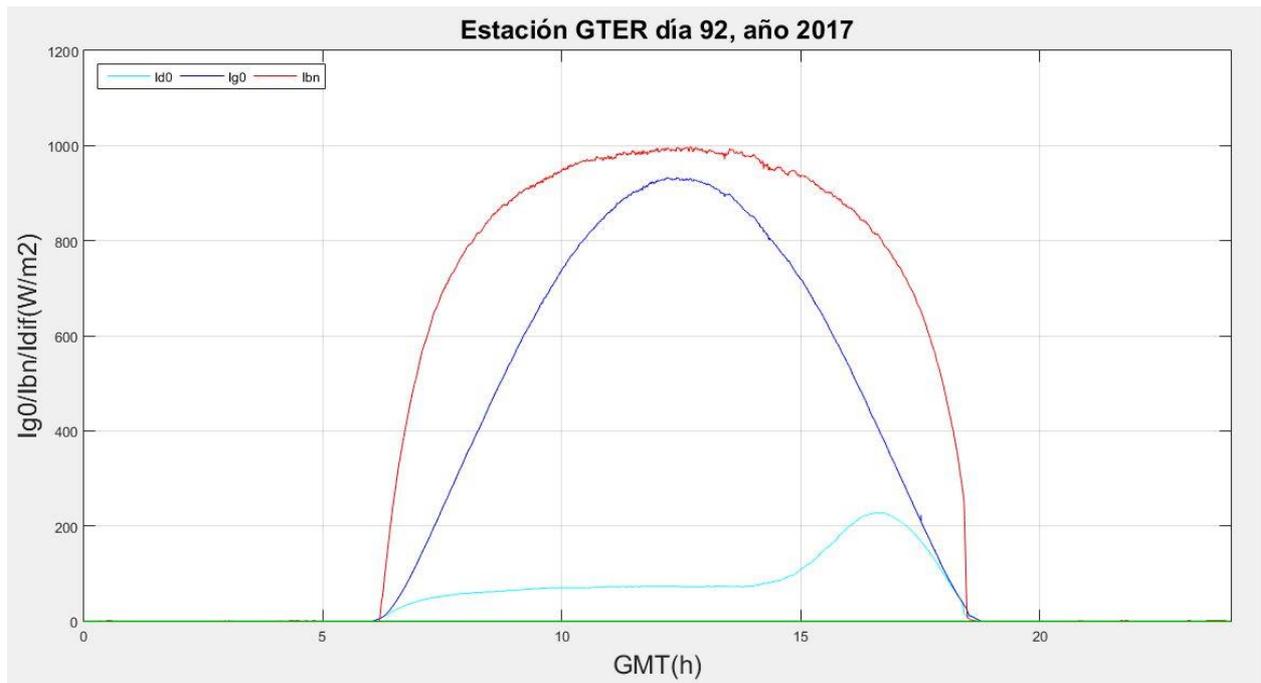


Figura 4-15. Gráfica diaria correspondiente al día 92 del año 2017, caso C

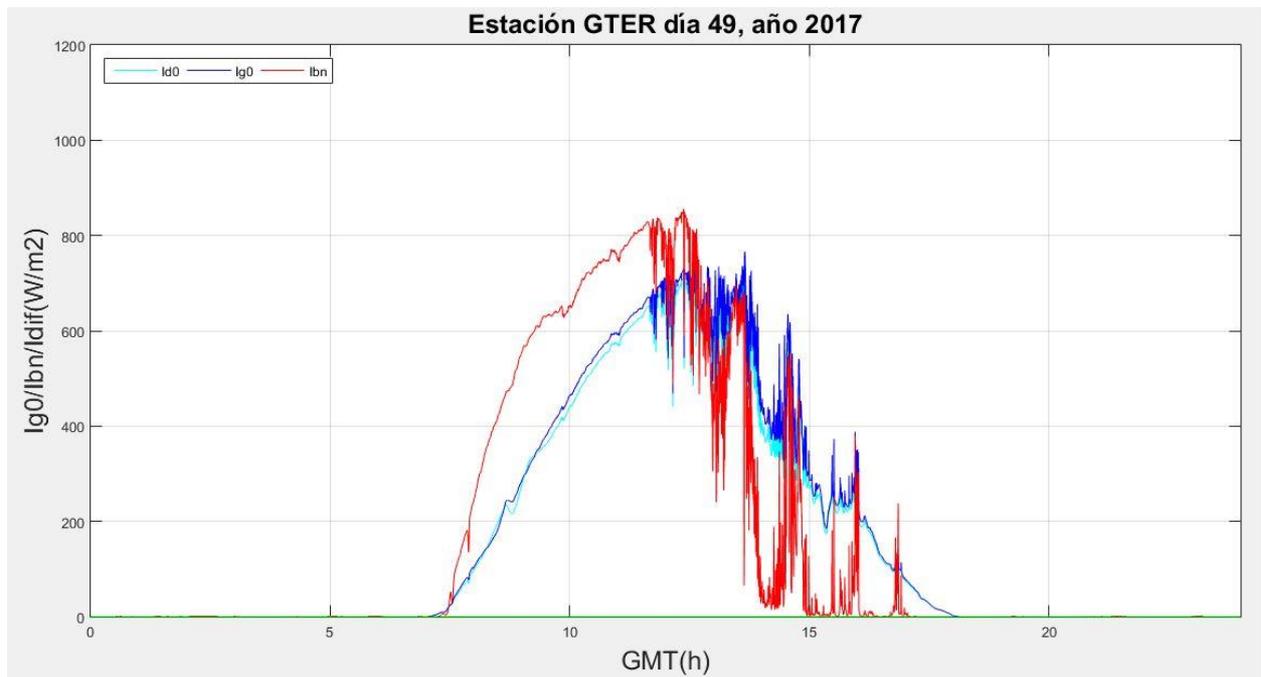


Figura 4-16. Gráfica diaria correspondiente al día 49 del año 2017, caso C

#### D. Días corregibles. Caso D

Dentro de este caso se engloban un grupo de días durante los años 2018 y 2019 en los que las tres variables de radiación no concuerdan en el orto o en el ocaso. En la Figura 4-17 se puede observar que la curva correspondiente a la radiación directa normal comienza de forma vertical, en lugar de hacerlo de forma progresiva como en el resto de días. Además, en el momento en el que las componentes de radiación global y difusa horizontal empiezan a separarse, la medida de radiación directa normal tendría que ser inexorablemente distinta de cero. Sin embargo, en esta figura se ve que al principio del día no es así, lo que hace deducir que hay un pequeño fallo, a causa probablemente de una sombra provocada por un edificio, ya que este fenómeno ocurre en el mismo periodo en ambos años, con lo cual se correspondería con la misma posición del Sol.

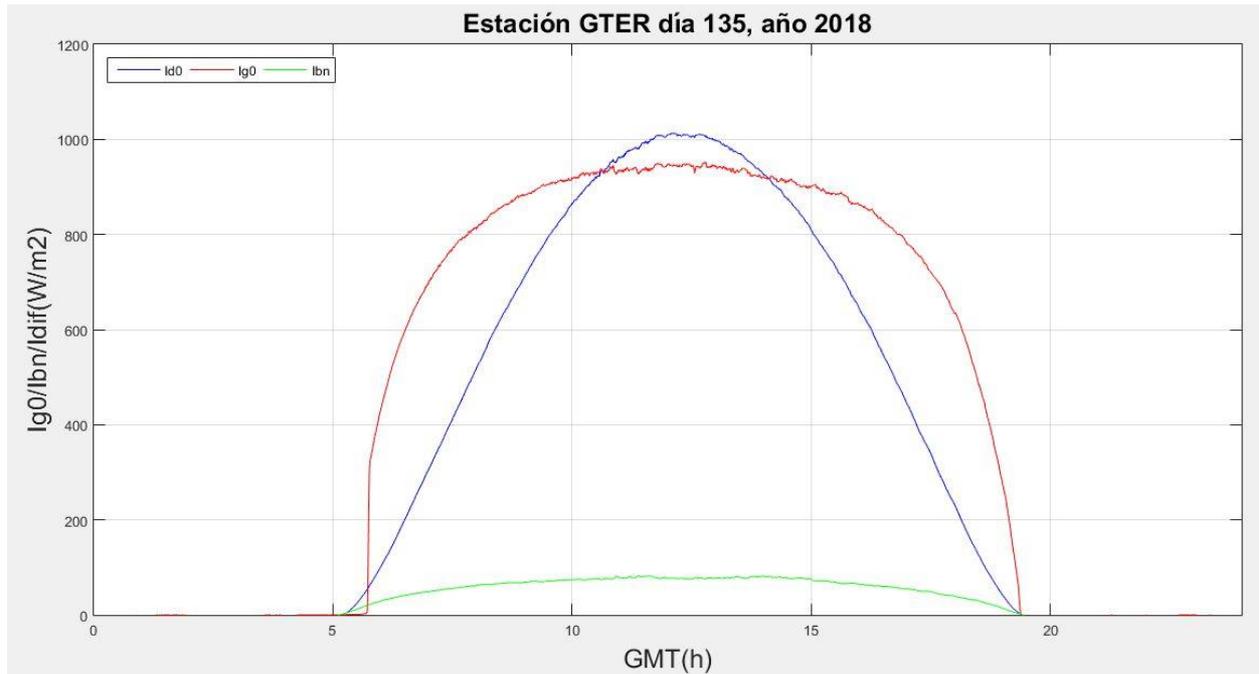


Figura 4-17. Gráfica diaria correspondiente al día 135 del año 2018, caso D

#### 4.2.3 Días descartados

Dentro de este último grupo se encuentran aquellos días cuyos registros no pueden ser corregidos, ya sea porque presentan errores irreparables o porque el intervalo de medidas es insuficiente. Existen diversas causas por las que un día se puede incluir dentro de este grupo. En la tabla Tabla 4-1 se muestra un breve resumen.

<b>CASO 1</b>	Archivo no generado
<b>CASO 2</b>	2 de las 3 o las 3 variables de radiación mal
<b>CASO 3</b>	Ausencia de medidas de las 3 variables durante más de 30 minutos

Tabla 4-1. Clasificación de días descartados

En la siguiente tabla se muestra a modo de resumen la clasificación de días descartados según el caso en el periodo 2016-2019.

DÍAS DESCARTADOS	2016	2017	2018	2019
CASO 1	0	0	5	0
CASO 2	1	0	4	1
CASO 3	8	2	18	0
TOTAL	9	2	27	1

Tabla 4-2. Clasificación de días descartados según el caso, 2016-2019

Para corregirlos, se establece un criterio para sustituir el archivo diario incorrecto por otro de la misma estación. Más adelante se explica el proceso seguido. En el caso 1 queda totalmente justificado ya que no existe ningún dato. En el caso 2 es una opción igualmente lógica pues son demasiados datos con errores. Un ejemplo de esto se añade en la Figura 4-18, donde la radiación global horizontal está midiendo mal por la mañana, seguramente como consecuencia de la existencia de condensación en el piranómetro; la radiación directa normal tiene una bajada incoherente con los datos registrados de la radiación global horizontal durante un periodo de casi una hora y la radiación difusa horizontal empieza a medir a partir de las 12h de la mañana.

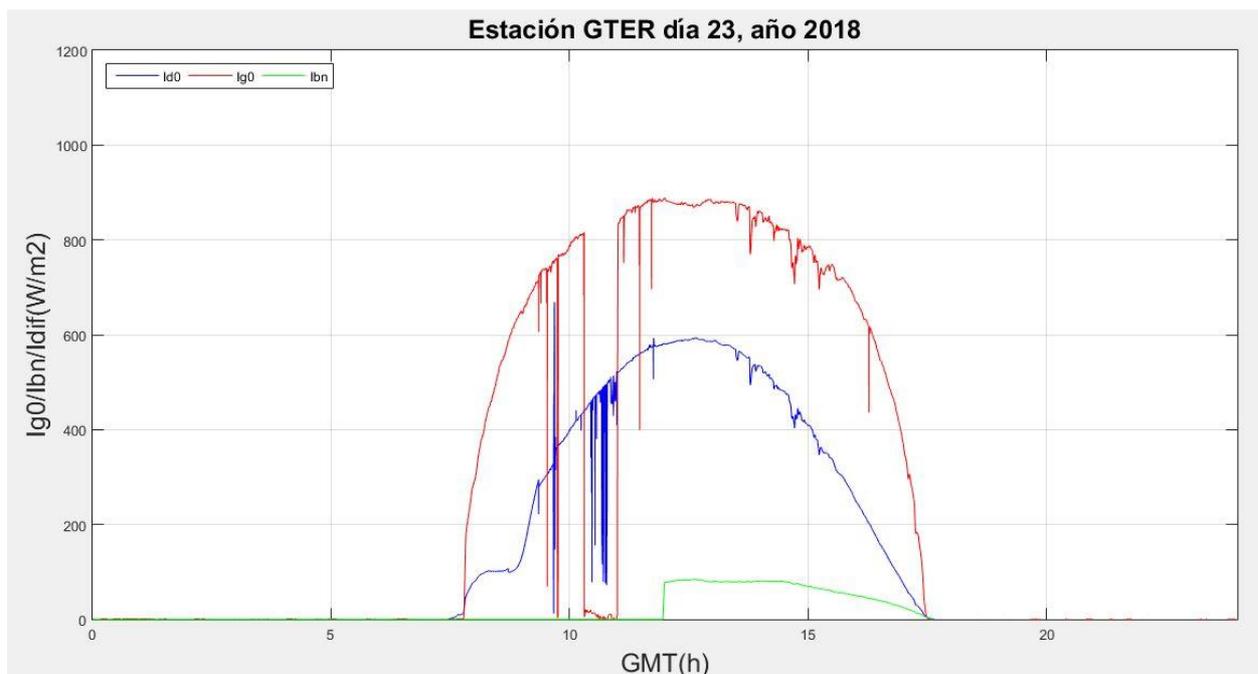


Figura 4-18. Gráfica diaria correspondiente al día 23 del año 2018, caso 2

En la Figura 4-19 se puede observar el último caso, con un intervalo de tiempo sin datos que dura mucho más que media hora, ya que no se empiezan a registrar datos hasta aproximadamente las 9h de la mañana.

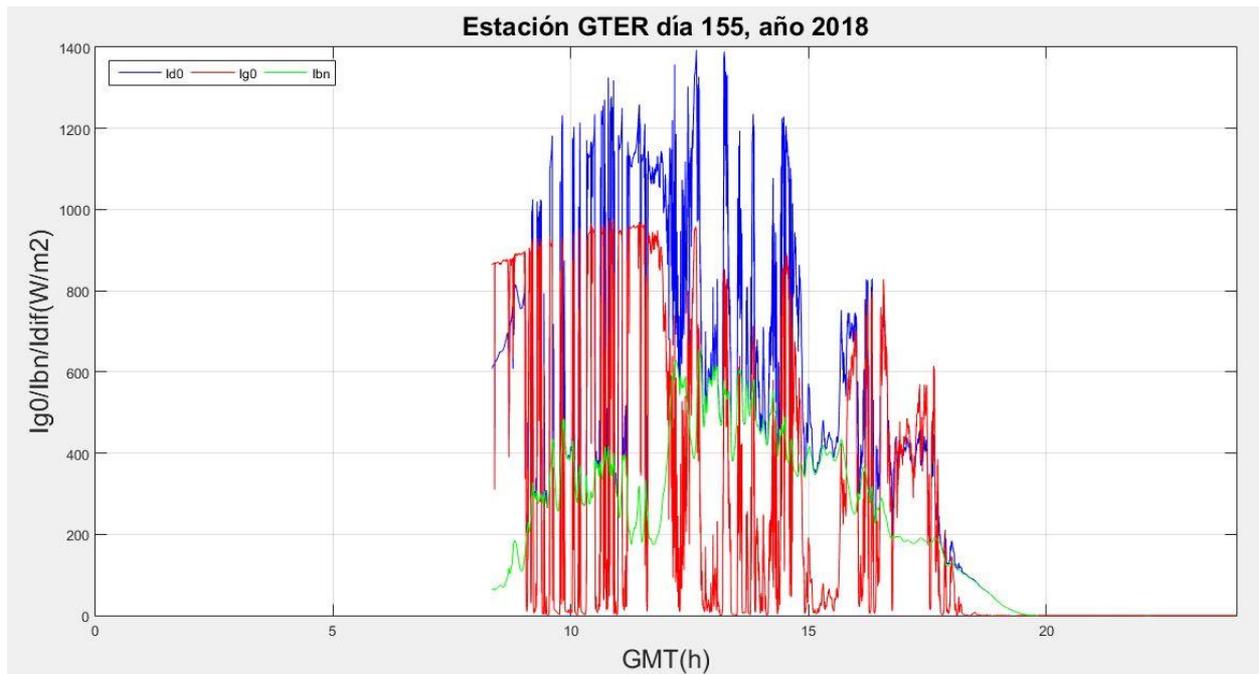


Figura 4-19. Gráfica diaria correspondiente al día 155 del año 2018, caso 3

### 4.3 Corrección de días

A continuación, se detalla el proceso que se debe aplicar en cada uno de los casos descritos en el apartado 4.2 para conseguir completar la base de datos.

#### 4.3.1 Días corregibles

##### A. Días corregibles. Caso A

Para el caso A, es decir, caso en el que los registros de las variables de radiación global horizontal y radiación difusa horizontal son correctos y los de radiación directa normal no existen o son erróneos, se plantean dos alternativas de corrección. La primera, utilizando el modelo que la Prof. Elena Pérez Aparicio describe en su Proyecto Fin de Carrera (1) en el caso 2, a partir de las correlaciones  $M_d-M_i$ ; y la segunda, utilizando la ecuación que relaciona las tres variables de radiación.

$$I_{bn} = (I_{g,0} - I_{d,0}) / (\cos(\theta)) \quad (\text{Ec. 4-1})$$

$I_{g,0}$	Irradiancia global horizontal
$I_{d,0}$	Irradiancia difusa horizontal
$I_{bn}$	Irradiancia directa normal
$\theta$	Ángulo de incidencia sobre superficie horizontal

Se realiza un breve estudio comparativo de ambas metodologías, tomando un número reducido de días clasificados como correctos y actuando como si la radiación directa normal fuera errónea. Se corrige de las dos formas y se compara con los datos registrados reales. Los resultados no son concluyentes, sería interesante hacer un estudio más profundo. Anteriormente existía la necesidad de utilizar un modelo que simulara la radiación directa normal porque los registros de radiación difusa horizontal eran de mala calidad, con muchos errores y sin precisión. Sin embargo, a día de hoy la estación cuenta con dispositivos de medidas de radiación difusa horizontal mucho más precisos y el hecho de que haya dos equipos distintos proporciona una ventaja significativa para poder verificar la validez de sus medidas y es especialmente útil en el caso de medidas erróneas, ya que no es frecuente que los dos dispositivos fallen a la vez. En consecuencia, se decide corregir este tipo de datos con la (Ec. 4-1 ya que es la forma más exacta.

La Figura 4-20 corresponde con la gráfica del día 278 del año 2016 corregida a partir de la (Ec. 4-1. Cabe destacar que al corregir de esta forma, debido al ángulo de incidencia sobre la superficie horizontal ( $\theta$ ), se producen unas oscilaciones haciendo que la radiación directa normal tome valores muy elevados tanto en el orto como en el ocaso. Es imprescindible linealizar desde el amanecer hasta que la curva comienza a tener valores razonables y de igual manera al final del día, desde que la curva comienza a oscilar hasta el atardecer. El rango de ángulos que provoca oscilaciones y valores incorrectos va desde  $84^\circ$  hasta  $90.13^\circ$ . Normalmente el periodo a linealizar es menos de una hora. En la Figura 4-21 se muestra cómo quedaría la gráfica si no se linealizara.

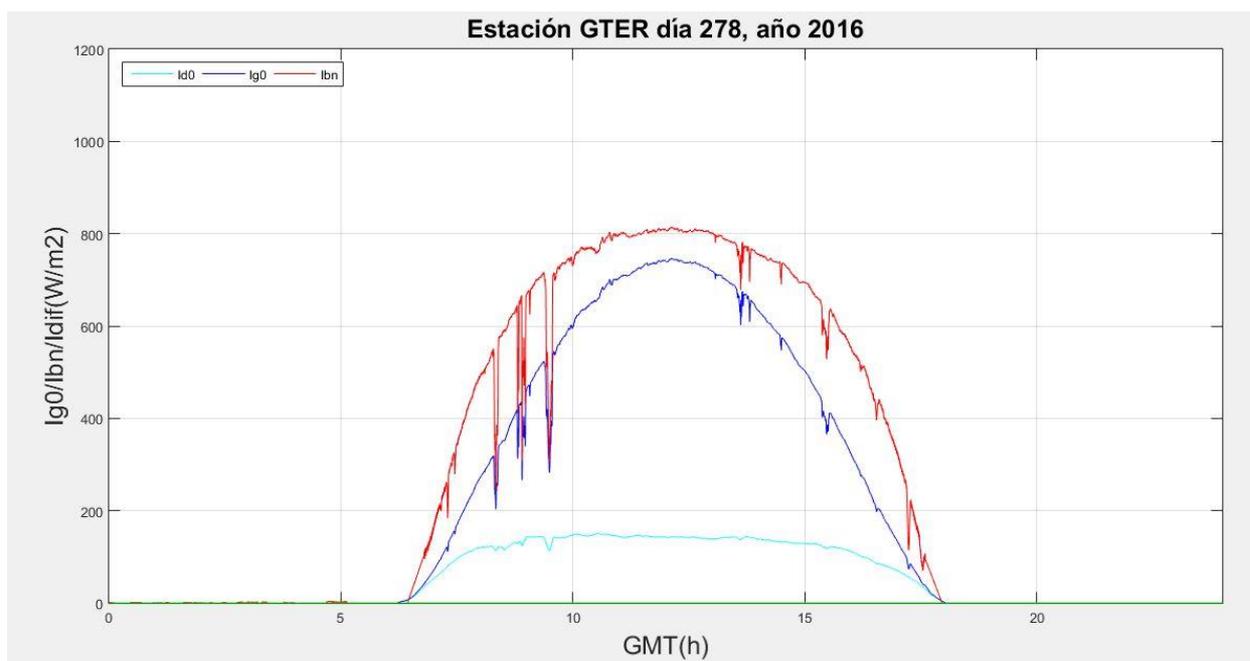


Figura 4-20. Gráfica diaria correspondiente al día 278 del año 2018, corregido caso A linealizado

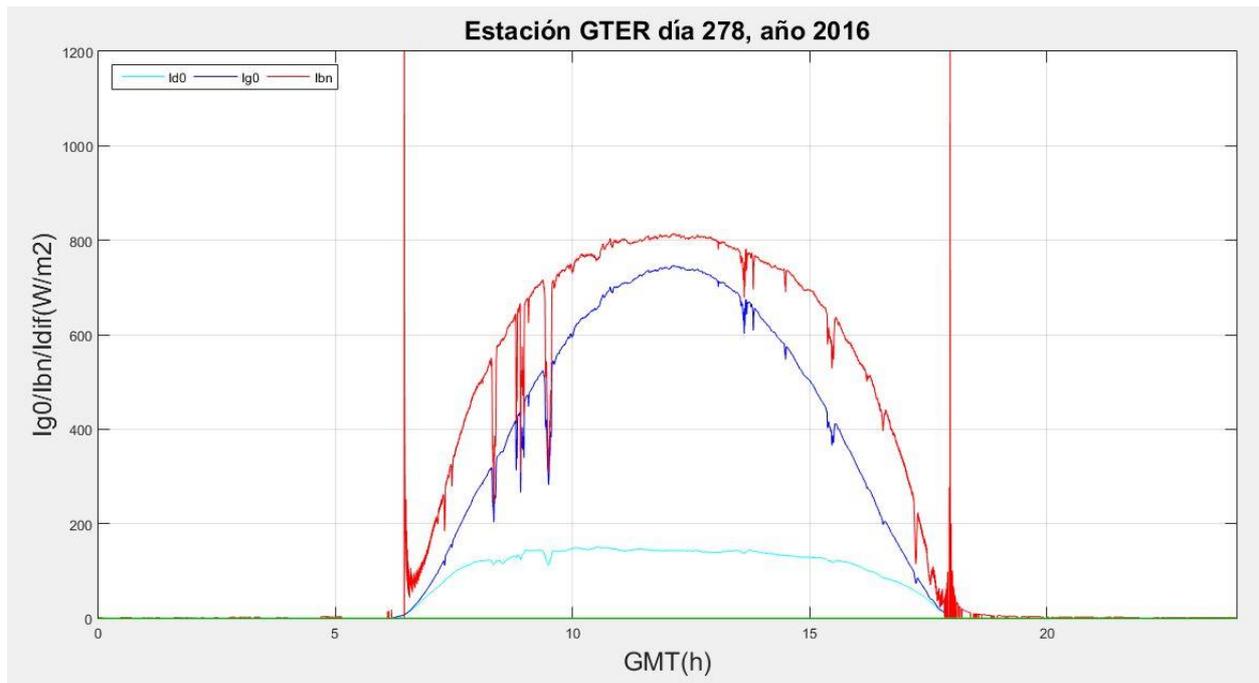


Figura 4-21. Gráfica diaria correspondiente al día 278 del año 2018, corregido caso A sin linealizar

### B. Días corregibles. Caso B.1

El método de corrección para el conjunto de días que pertenecen a este grupo es especialmente sencillo si las medidas de radiación directa normal y radiación difusa horizontal son correctas. Estas son las dos componentes en las que desde el punto de vista teórico se divide la radiación global horizontal.

$$I_{g0} = I_{d0} + I_{bn} * \cos(\theta) \quad (\text{Ec. 4-2})$$

Los resultados obtenidos mediante este proceso son satisfactorios. En las Figura 4-22 y 4-23 se muestran las gráficas diarias tras aplicar esta metodología a los días expuestos como ejemplos de este problema en el apartado 4.2.2.

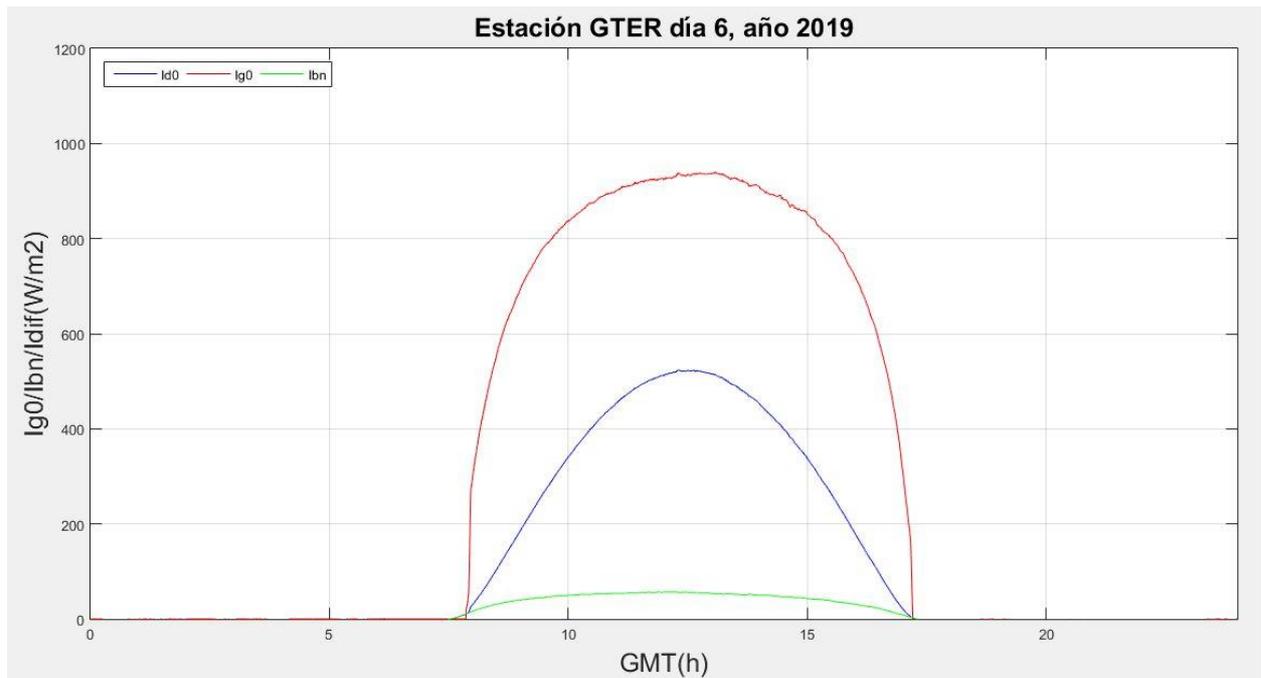


Figura 4-22. Gráfica diaria correspondiente al día 6 del año 2019, corregido caso B.1

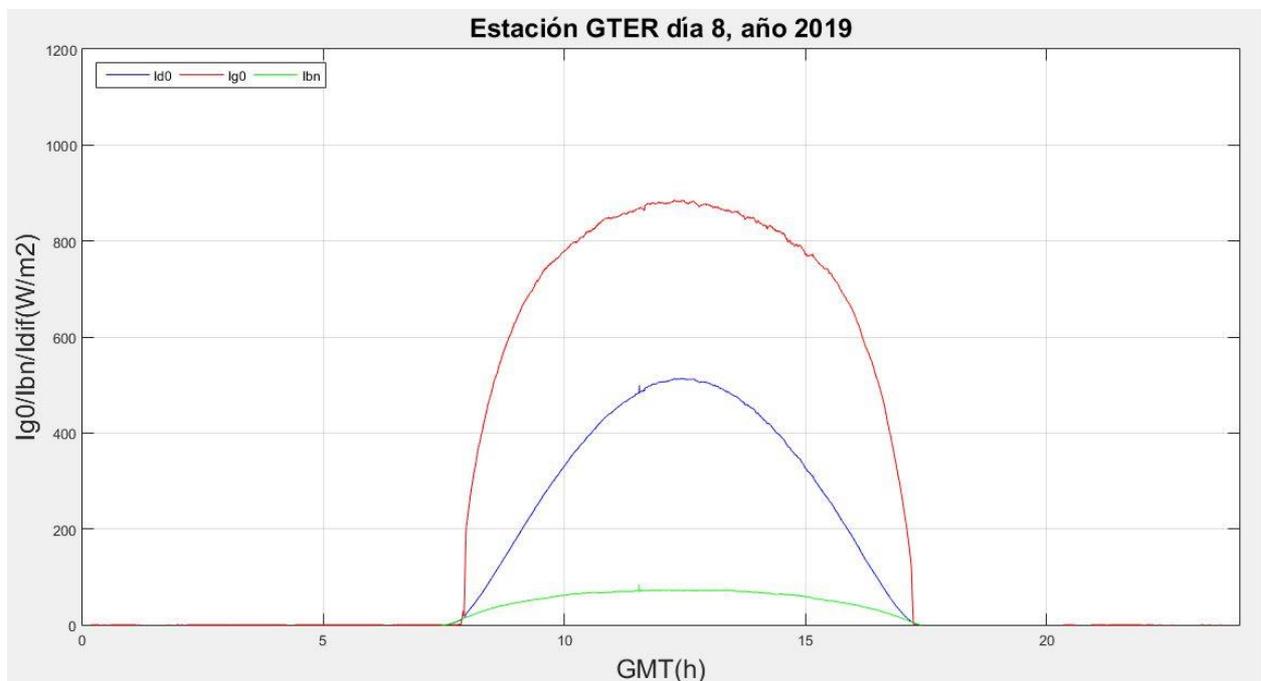


Figura 4-23. Gráfica diaria correspondiente al día 8 del año 2019, corregido caso B.1

### 1. Días corregibles. Caso B.2

Se resuelve prácticamente de la misma forma que el caso B.1. Se sustituyen los datos registrados por los calculados a partir de la (Ec. 4-2 a partir del instante en el que en la gráfica se observa que empieza la irregularidad. Si al sustituir los datos en el periodo de tiempo nombrado, existe un escalón o una variación brusca del parámetro, se procede a corregir el día exactamente como en el caso B.1, es decir, sustituyendo el registro de datos durante todo el día. Se hace esta división de B.1 y B.2 para priorizar la metodología correspondiente al caso B.2 con el fin de perder los mínimos datos reales posibles.

A continuación, en la Figura 4-24 se muestra la gráfica diaria tras aplicar esta metodología al día expuesto como ejemplo en el apartado 4.2.2.



Figura 4-24. Gráfica correspondiente al día 207 del año 2016, corregido caso B.2

### C. Días corregibles. Caso C

En este grupo, hay varias posibilidades. En caso de que contar tanto con las medidas de difusa a partir de sistema de sombreado de bolas como con las de difusa horizontal con banda de sombra, se toma por buena la primera debido a su mayor fiabilidad y exactitud. Esto se debe al dispositivo de medida, mientras que en el primero se trata de una bola que impide exclusivamente la radiación directa normal, el segundo, al ser una banda, inevitablemente elimina la radiación directa normal pero también parte de radiación difusa horizontal, por lo que el resultado de la medida será en general ligeramente inferior a la otra. Además, la banda hay que ajustarla manualmente a lo largo del año, lo cual incrementa las irregularidades e inexactitudes. Sin embargo, el sistema de bolas va instalado junto con el seguidor y se actualiza su posición automáticamente, lo cual hace que sus medidas registradas sean más precisas. En el caso de tener las dos medidas y que una de las dos esté mal, se sustituirá por los datos registrados con la otra. En el caso de sólo tener una de ellas y de que haya algún error en la medida, se corregirá a partir de los datos de radiación directa normal y de radiación global horizontal:

$$I_{d0} = I_{g0} - I_{bn} * \cos(\theta) \quad (\text{Ec. 4-3})$$

A continuación se muestra en la Figura 4-25 el resultado de uno de los días tomados como ejemplo para este caso tras aplicar la anterior metodología:



Figura 4-25. Gráfica diaria correspondiente al día 92 del año 2017, corregido caso C

#### D. Días corregibles. Caso D

La metodología para corregir este tipo de días es sencilla pero tediosa. En primer lugar, se calcula la hora exacta del orto y del ocaso para cada día del año. A continuación, para cada día, se analiza de manera visual el instante a partir del cual las medidas son correctas, en el caso del orto, y a partir del cual empiezan a ser incorrectas, en el caso del ocaso. Una vez obtenido, se ponen a cero (en caso de no serlo ya) las tres medidas de radiación hasta el amanecer y a partir del atardecer, y por último se linealiza desde este momento hasta que los dispositivos miden correctamente.

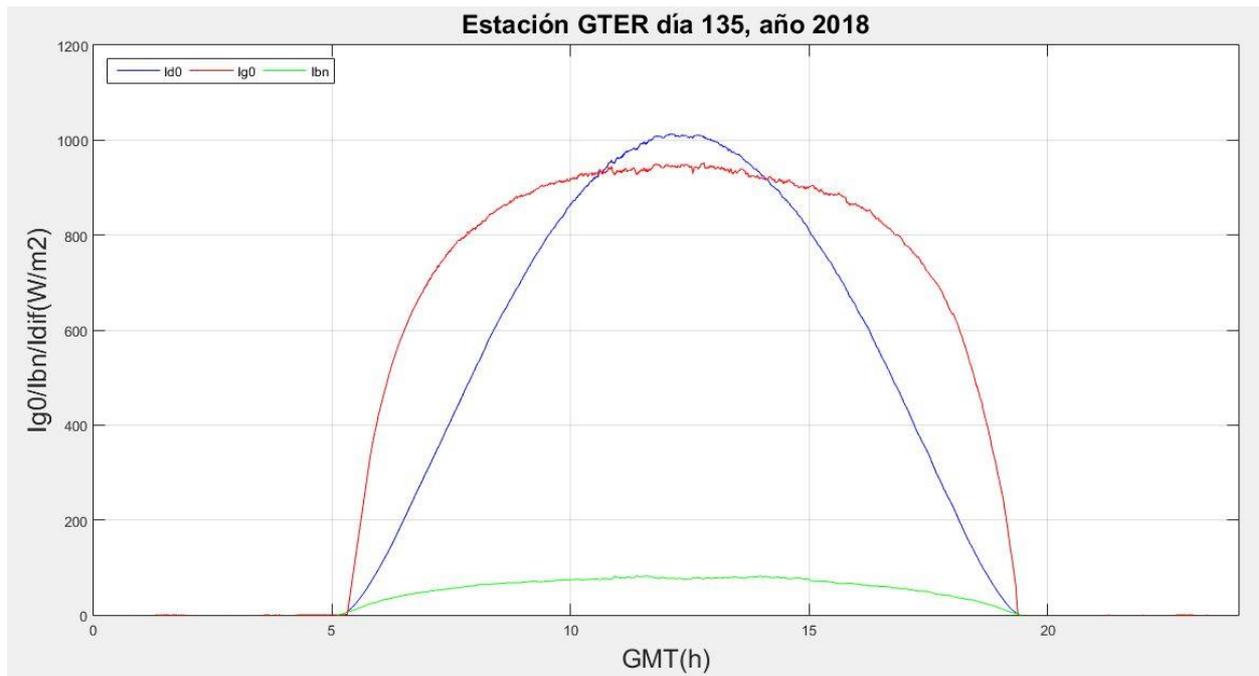


Figura 4-26. Gráfica diaria correspondiente al día 135 del año 2018, corregido caso D

### 4.3.2 Días descartados

Como ya se describió en el apartado anterior, son varios los tipos de días que se engloban dentro del conjunto de descartados. A todos se les aplica el mismo procedimiento, independientemente del motivo por el que se incluyen en este grupo. Las fuentes de información disponibles representan un papel fundamental en la corrección de este tipo de días. Se recurre a la base de datos del Siar (2). Esta fuente de información procede de las estaciones de medidas radiométricas y meteorológicas pertenecientes al Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR). El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación promueve desde el año 1998 la instalación, explotación y mantenimiento de la red de estaciones. Consiste básicamente en la creación de una infraestructura que captura, registra y transmite los datos medidos. Los parámetros que se obtienen son: temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento, radiación solar y precipitación. Las estaciones instaladas están diseñadas para medir y registrar de modo automático y continuo las diferentes variables meteorológicas. En la Tabla 4-3 se muestran las estaciones cercanas a la del GTER en orden ascendente según la distancia.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>UTM (huso 30)</b>	<b>GRADOS</b>	<b>DISTANCIA GTER-ESTACION (km)</b>
<b>GTER</b>	X: 233547.176 Y: 4143568.372	37.4°N 6.01°W	-
<b>La Rinconada</b>	X: 241295 Y: 4149570	37°27'22.4"N 5°55'28.9"W	9.8
<b>Ifapa Centro Las Torres-Tomejil</b>	X: 238016 Y: 4155860	37°30'42.9"N 5°57'50.2"W	13.34
<b>Guillena</b>	X: 229175 Y: 4156370	37°30'50.2"N 6°03'50.5"W	13.51
<b>Sanlúcar la mayor</b>	X: 211943 Y: 4146640	37°25'16.3"N 6°15'17.7"W	22
<b>La Puebla del Río</b>	X: 221954 Y: 4124550	37°13'31.5"N 6°08'01.2"W	23
<b>Ifapa Centro de los Palacios</b>	X: 238484 Y: 4119600	37°11'08.3"N 5°56'45.1"W	25
<b>Aznalcázar</b>	X: 209287 Y: 4116730	37°09'04.3"N 6°16'23.4"W	37
<b>IFAPA Centro Las Torres-Tomejil. Finca Tomejil</b>	X: 270958 Y: 4142490	37°24'01.1"N 5°35'14.9"W	38
<b>Los Morales</b>	X: 262696 Y: 4117760	37°10'32.0"N 5°40'22.2"W	39

Tabla 4-3. Distancias desde varias estaciones del SIAR hasta la estación del GTER

Se seleccionan las cuatro primeras, las estaciones de La Rinconada, Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, Guillena y Sanlúcar la Mayor. Ya que son cuatro las estaciones candidatas a servir como referencia para el comportamiento de la estación del GTER, es necesario establecer un criterio que permita seleccionar la más adecuada, es decir, aquella con el comportamiento más parecido a la estación analizada. Para ello, cada año se lleva a cabo un proceso de comparación entre estaciones. Se representan los valores acumulados diarios de radiación global horizontal ( $H_g0$ ) de cada estación del SIAR frente a los de la estación del GTER. Calculando los errores en cada caso se selecciona aquella a la que le corresponda el valor más bajo teniendo en cuenta también que la ordenada en el origen sea lo más baja posible, porque de lo contrario implicaría que la curva sería muy parecida a la curva  $y = x$  pero desplazada paralelamente, siendo en ese caso más conveniente seleccionar la siguiente estación con menos error, ya que los datos serían más precisos. A continuación se muestran los resultados de todos los años, empezando por el 2016 en adelante.

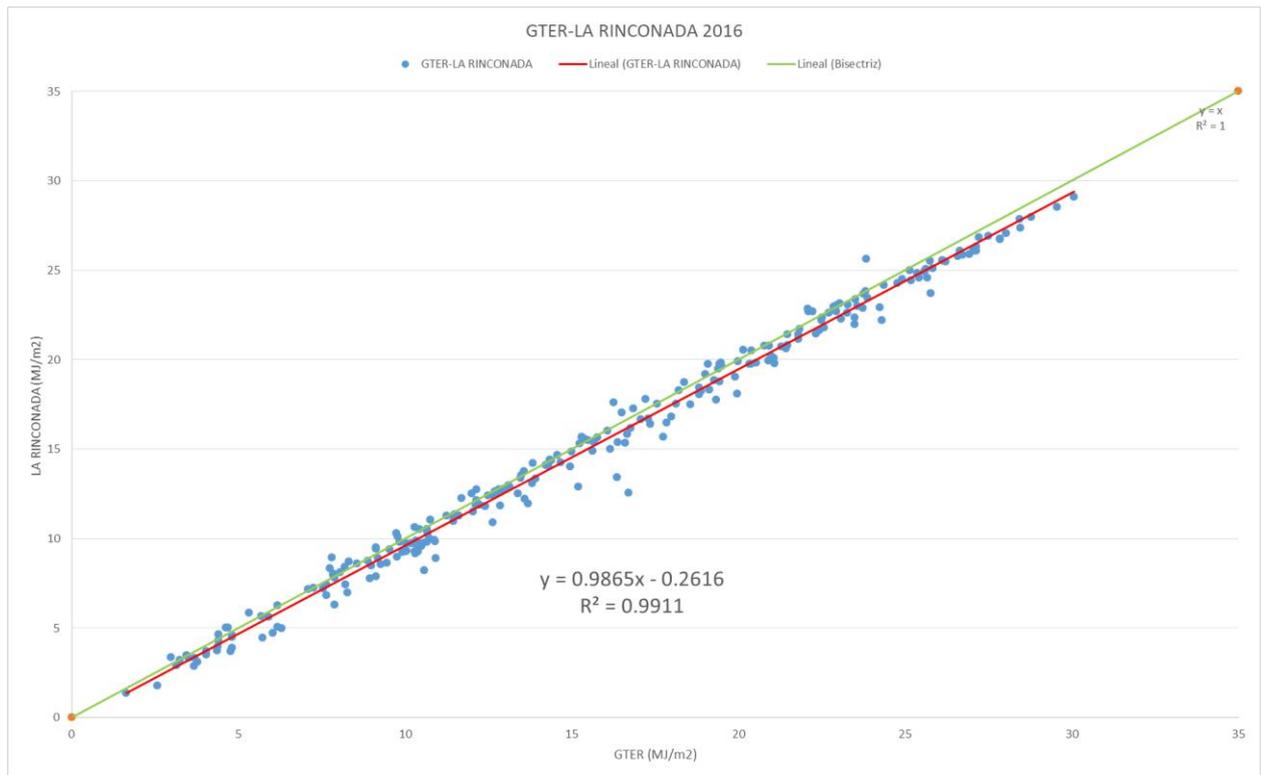


Figura 4-27. Comparación H<sub>2</sub>O GTER-La Rinconada, 2016

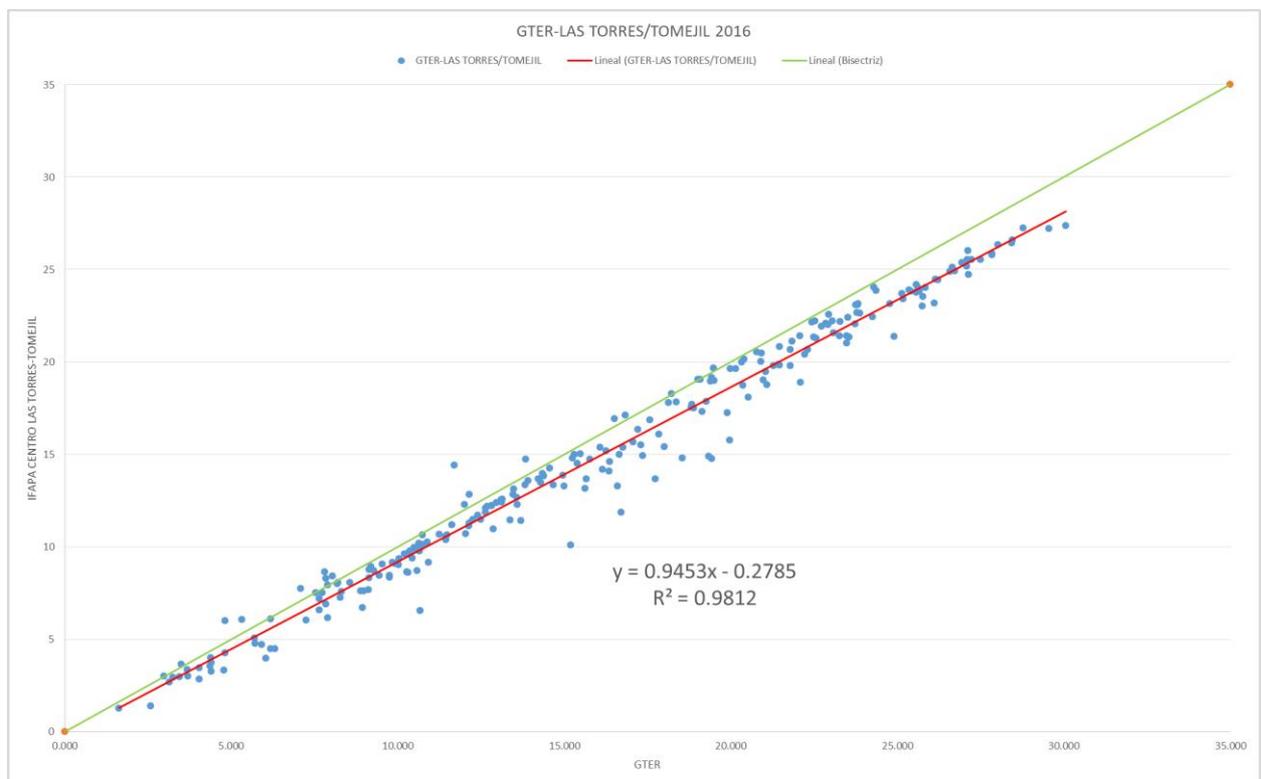


Figura 4-28. Comparación H<sub>2</sub>O GTER- Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2016

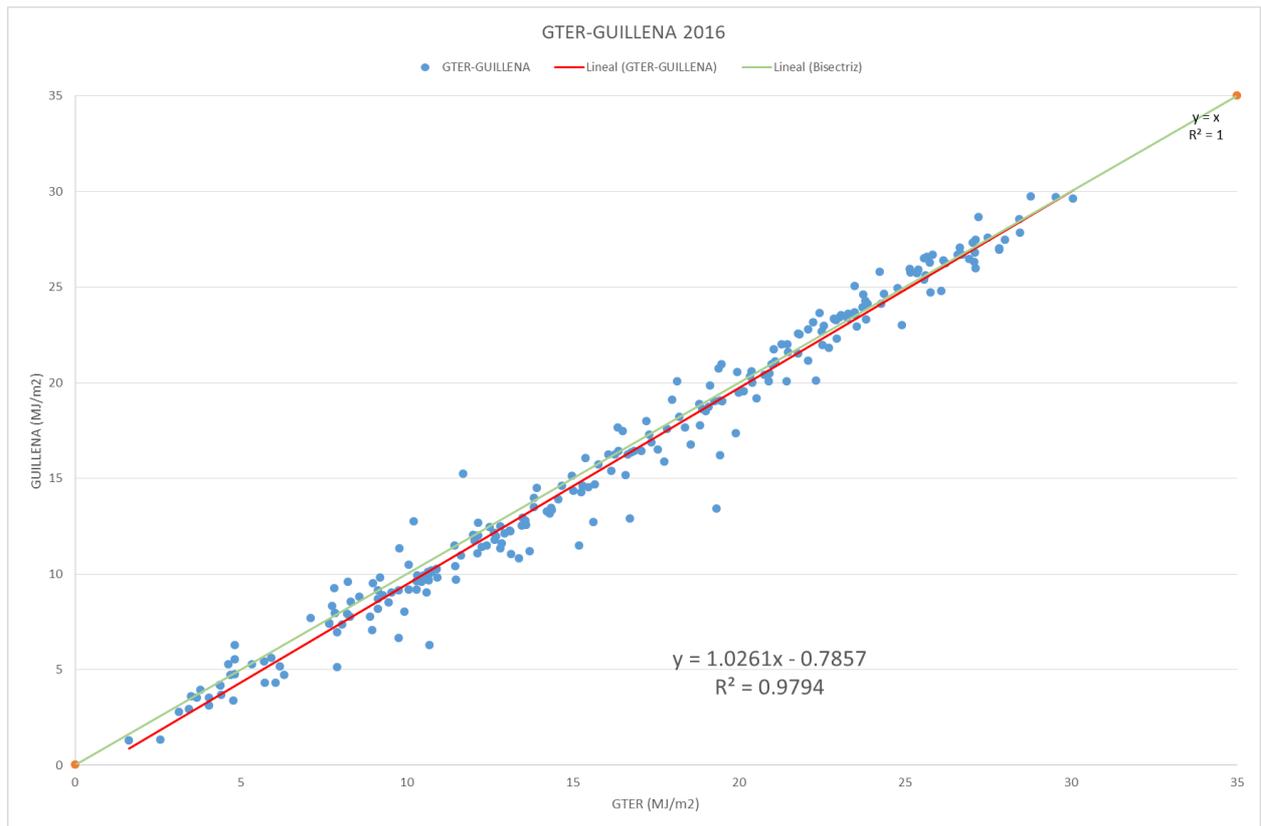


Figura 4-29. Comparación H<sub>g0</sub> GTER- Guillena, 2016

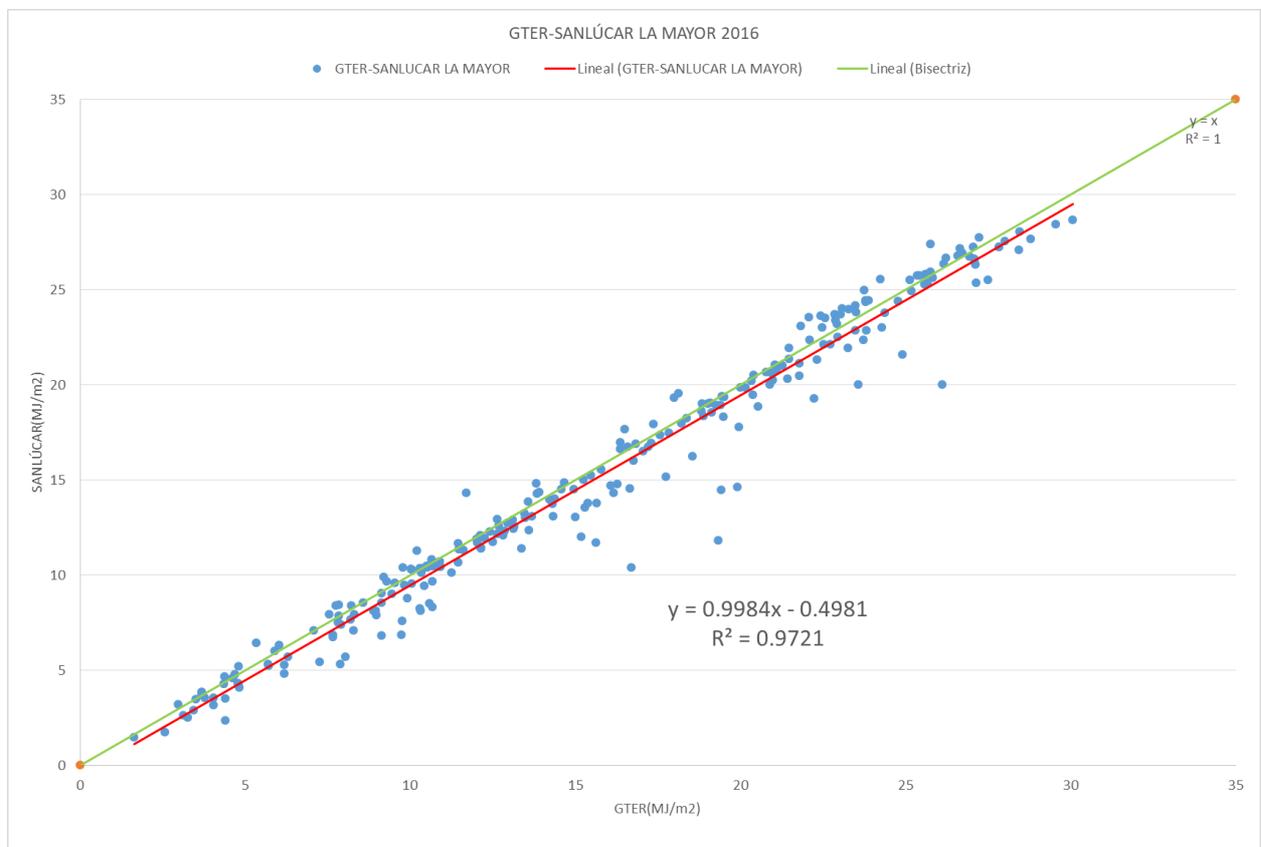


Figura 4-30. Comparación H<sub>g0</sub> GTER- Sanlúcar La Mayor, 2016

2016	LA RINCONADA	LAS TORRES/TOMEJIL	GUILLENA	SANLÚCAR
<b>ERROR (%)</b>	1.35	5.47	2.61	<b>0.16</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9911	0.9812	0.9794	<b>0.9721</b>
<b>Ordenada en el origen</b>	-0.2616	-0.2785	-0.7857	<b>-0.4981</b>

Tabla 4-4. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2016

Como se puede observar en la Tabla 4-4, la estación con el error más bajo y una ordenada en el origen razonable es la estación de Sanlúcar La Mayor.

Las gráficas resultantes del año 2017 son las siguientes:

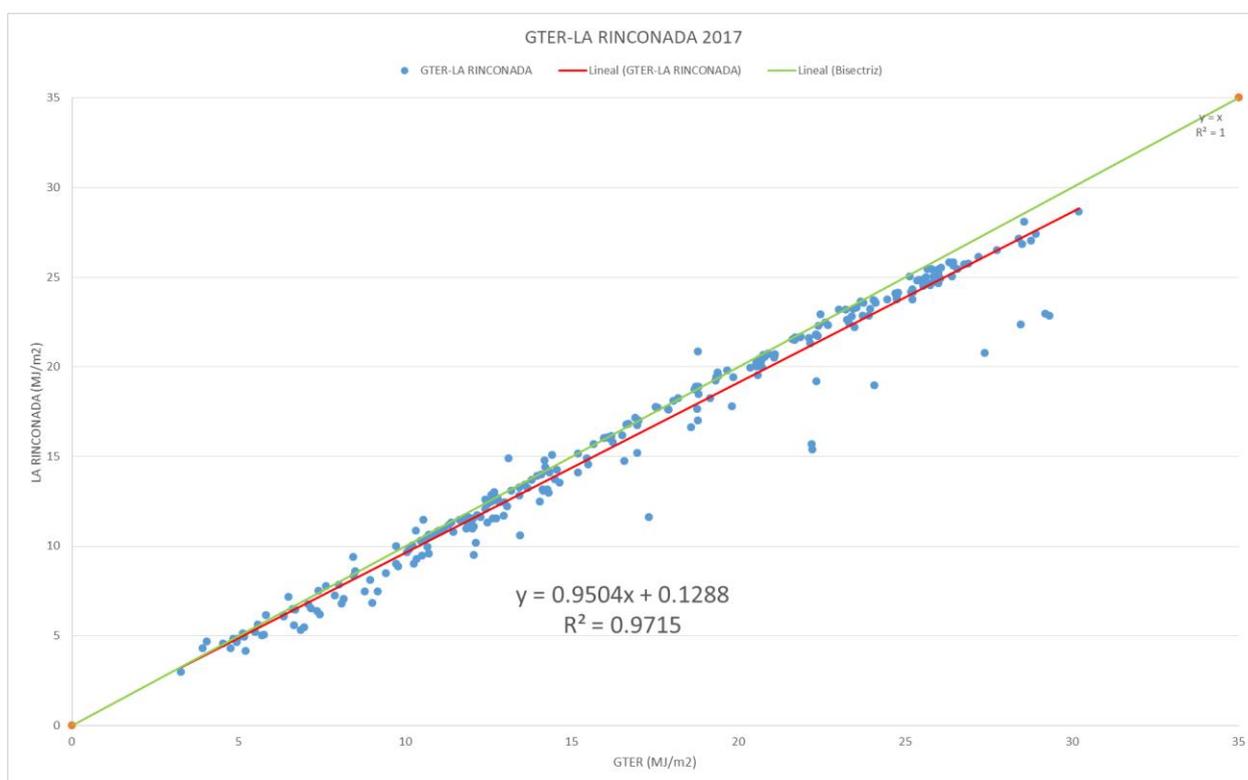


Figura 4-31. Comparación H<sub>g0</sub> GTER-La Rinconada, 2017

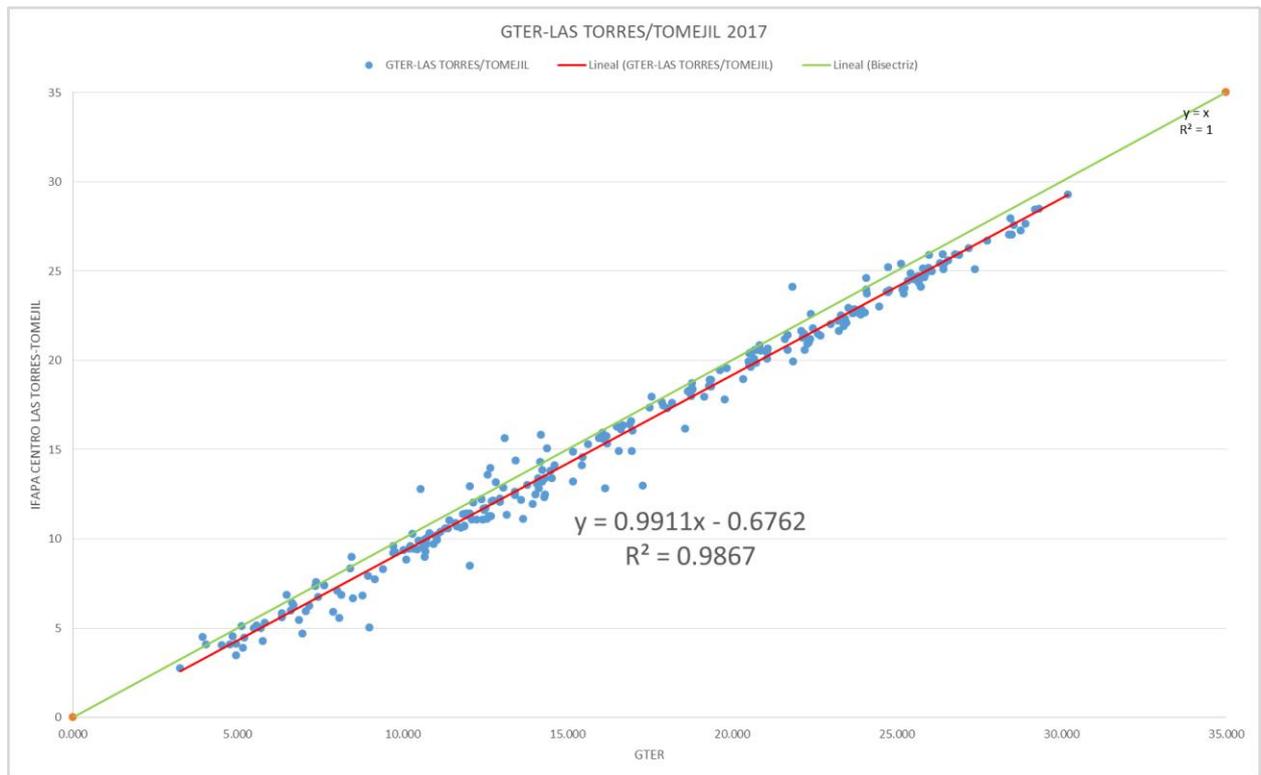


Figura 4-32. Comparación H<sub>g</sub>0 GTER-Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2017

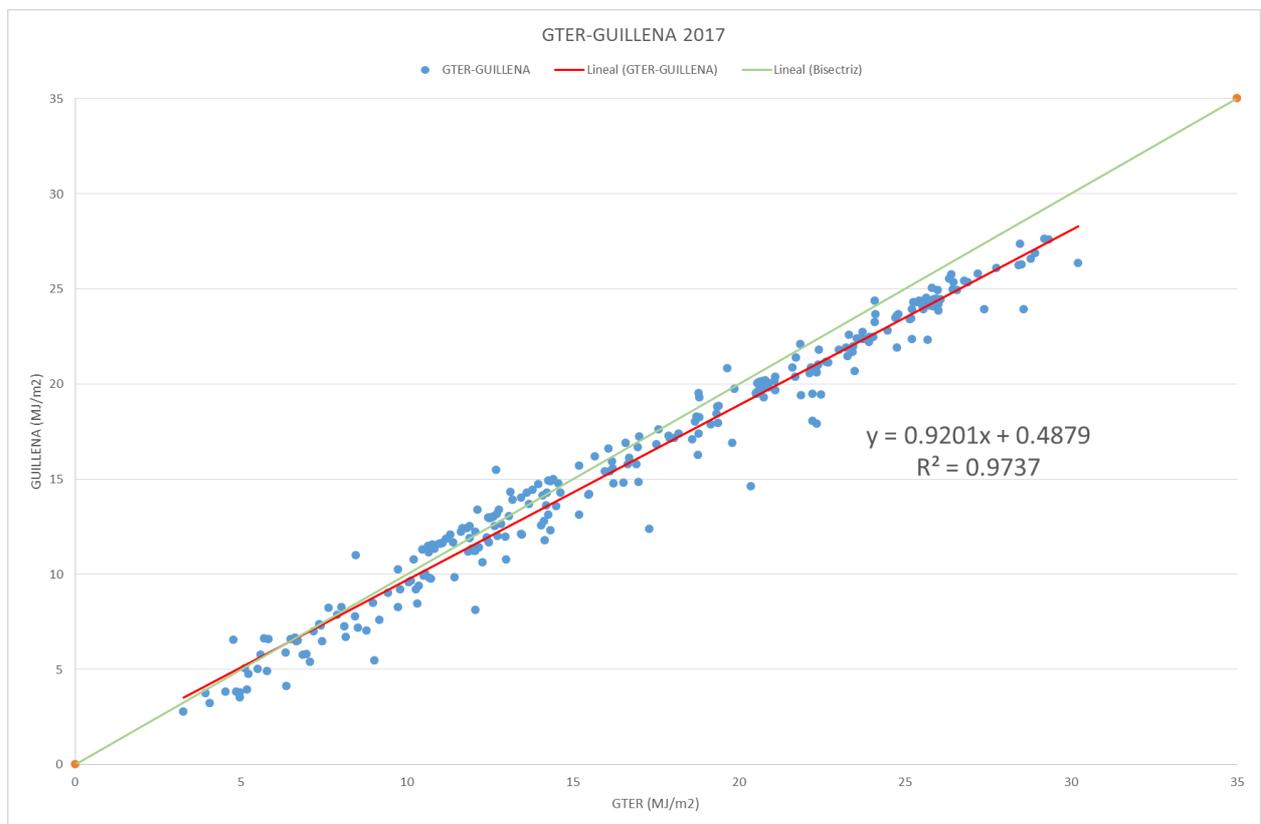


Figura 4-33. Comparación H<sub>g</sub>0 GTER- Guillena, 2017

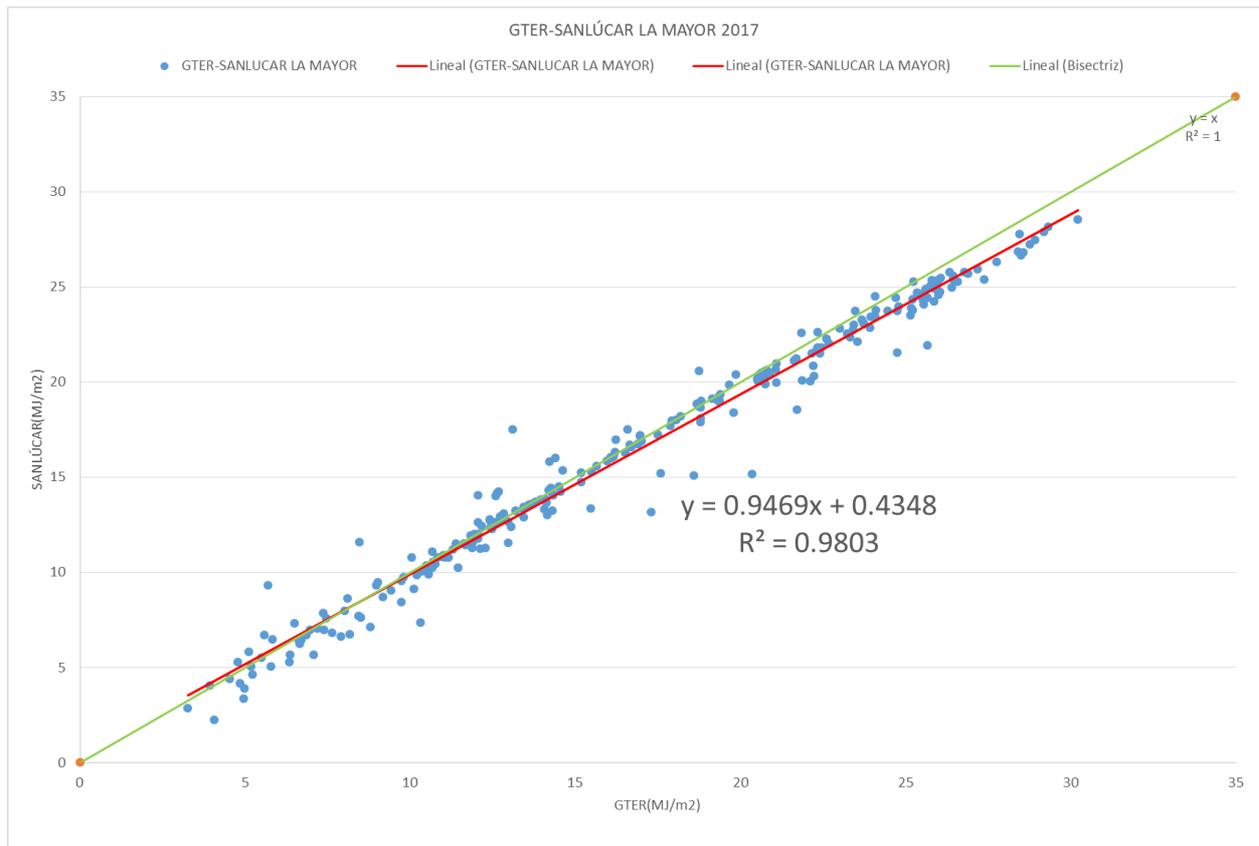


Figura 4-34. Comparación H<sub>0</sub> GTER-Sanlúcar La Mayor, 2017

2017	LA RINCONADA	LAS TORRES/TOMEJIL	GUILLENA	SANLÚCAR
<b>ERROR (%)</b>	4.96	<b>0.89</b>	7.99	5.31
<b>R2</b>	0.9715	<b>0.9867</b>	0.9737	0.9803
<b>Ordenada en el origen</b>	0.1288	<b>-0.6762</b>	0.4879	0.4348

Tabla 4-5. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2017

Como se puede observar en la Tabla 4-5, la estación con el error más bajo y una ordenada en el origen razonable es la estación de Ifapa Centro Las Torres-Tomejil.

Las gráficas resultantes del año 2018 son las siguientes:

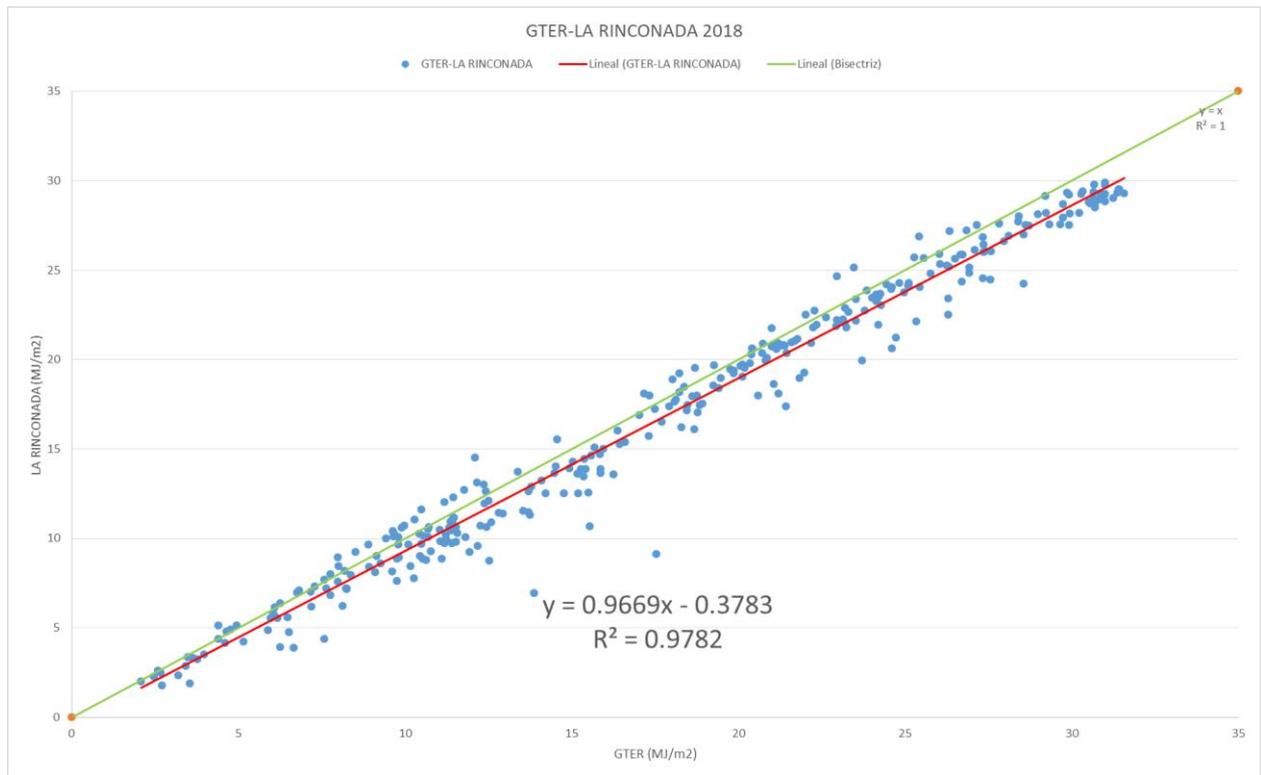


Figura 4-35. Comparación H<sub>2</sub>O GTER-La Rinconada, 2018

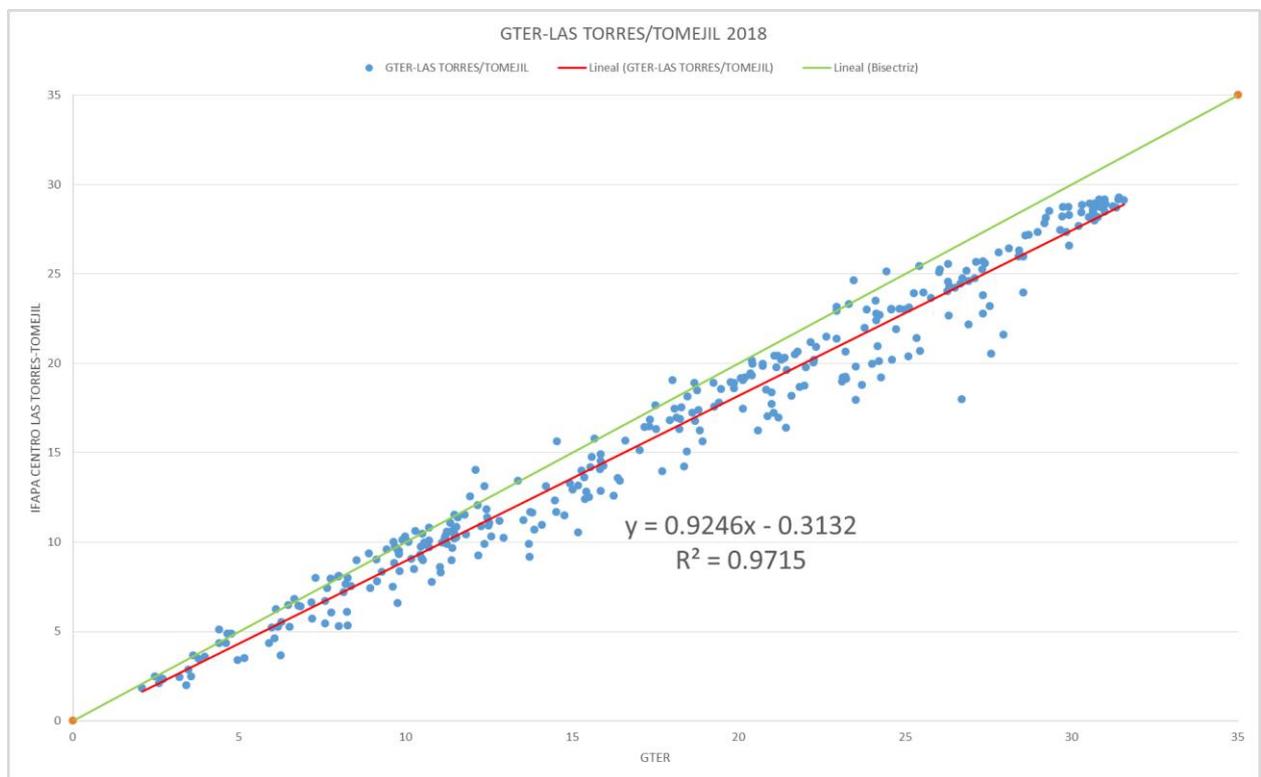


Figura 4-36. Comparación H<sub>2</sub>O GTER- Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2018

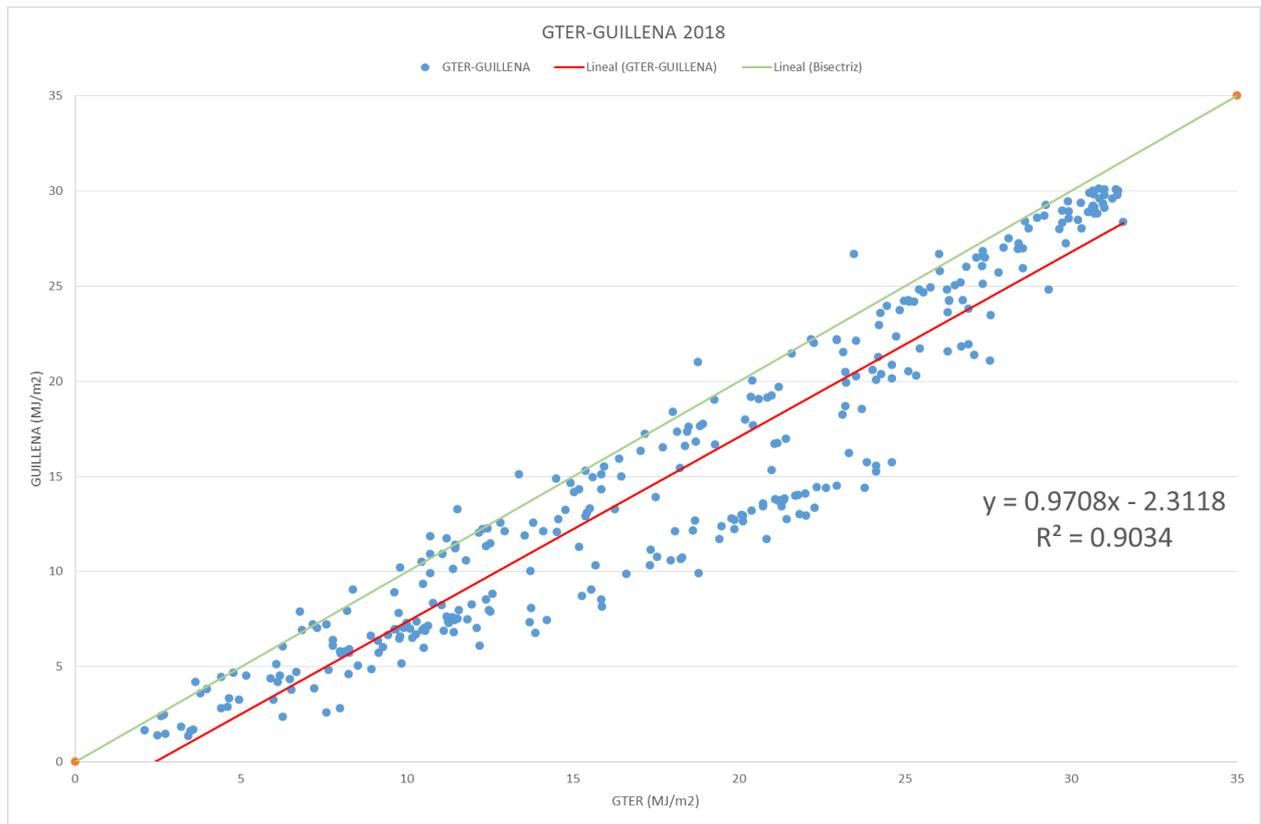


Figura 4-37. Comparación H<sub>2</sub>O GTER-Guillena, 2018

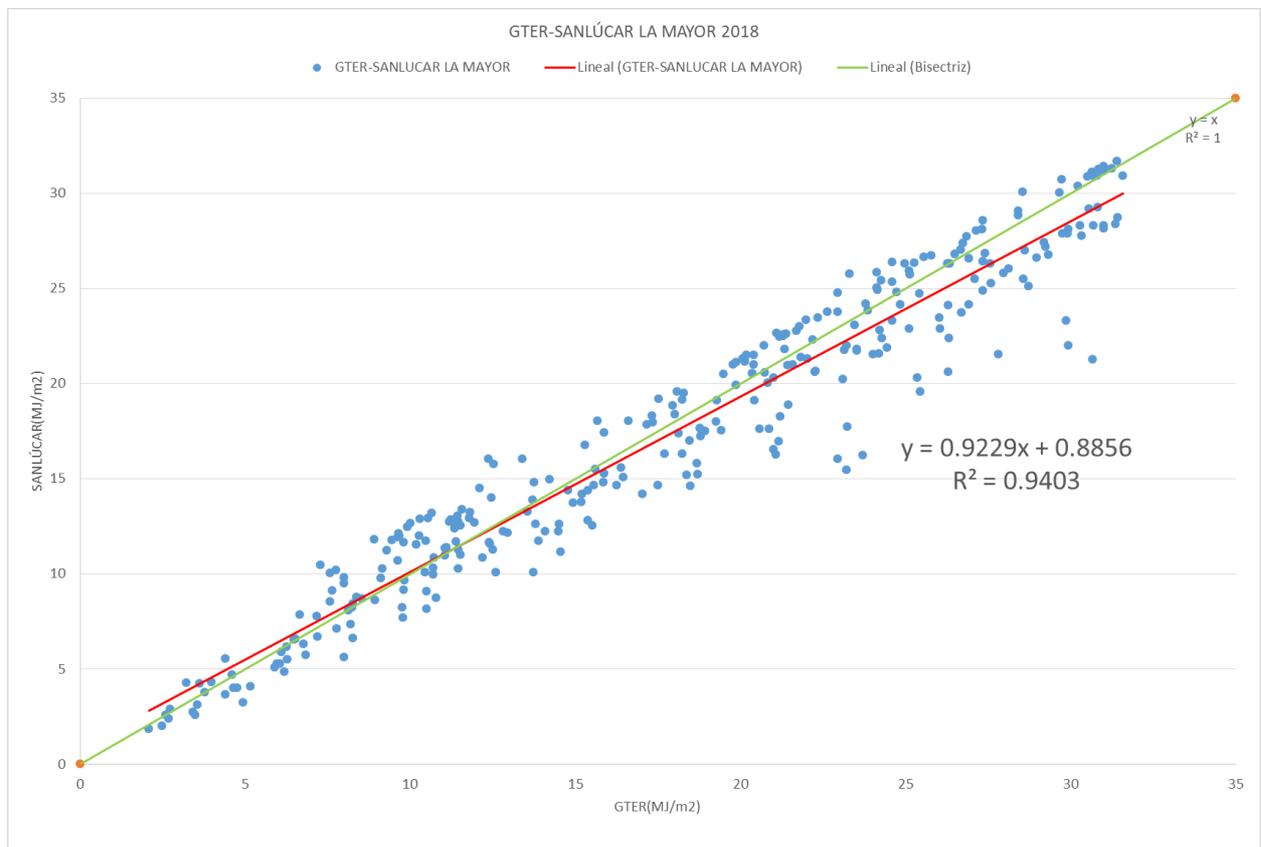


Figura 4-38. Comparación H<sub>2</sub>O GTER-Sanlúcar La Mayor, 2018

2018	LA RINCONADA	LAS TORRES/TOMEJIL	GUILLENA	SANLÚCAR
<b>ERROR (%)</b>	3.31	7.54	2.92	7.71
<b>R2</b>	0.9782	0.9715	0.9034	0.9403
<b>Ordenada en el origen</b>	-0.3783	-0.3132	-2.3118	0.8856

Tabla 4-6. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2018

Como se puede observar en la Tabla 4-6, la estación con el error más bajo es la de Guillena, sin embargo, tiene una ordenada en el origen demasiado alta, es decir, como se puede observar en la Figura 4-37, la curva está claramente desplazada alejándose de los valores más próximos a la estación del GTER. En consecuencia, se seleccionan los datos de la estación de La Rinconada, cuyo error es el segundo más bajo y cuya ordenada en el origen es muy próxima a cero.

Las gráficas resultantes del año 2019 son las siguientes:

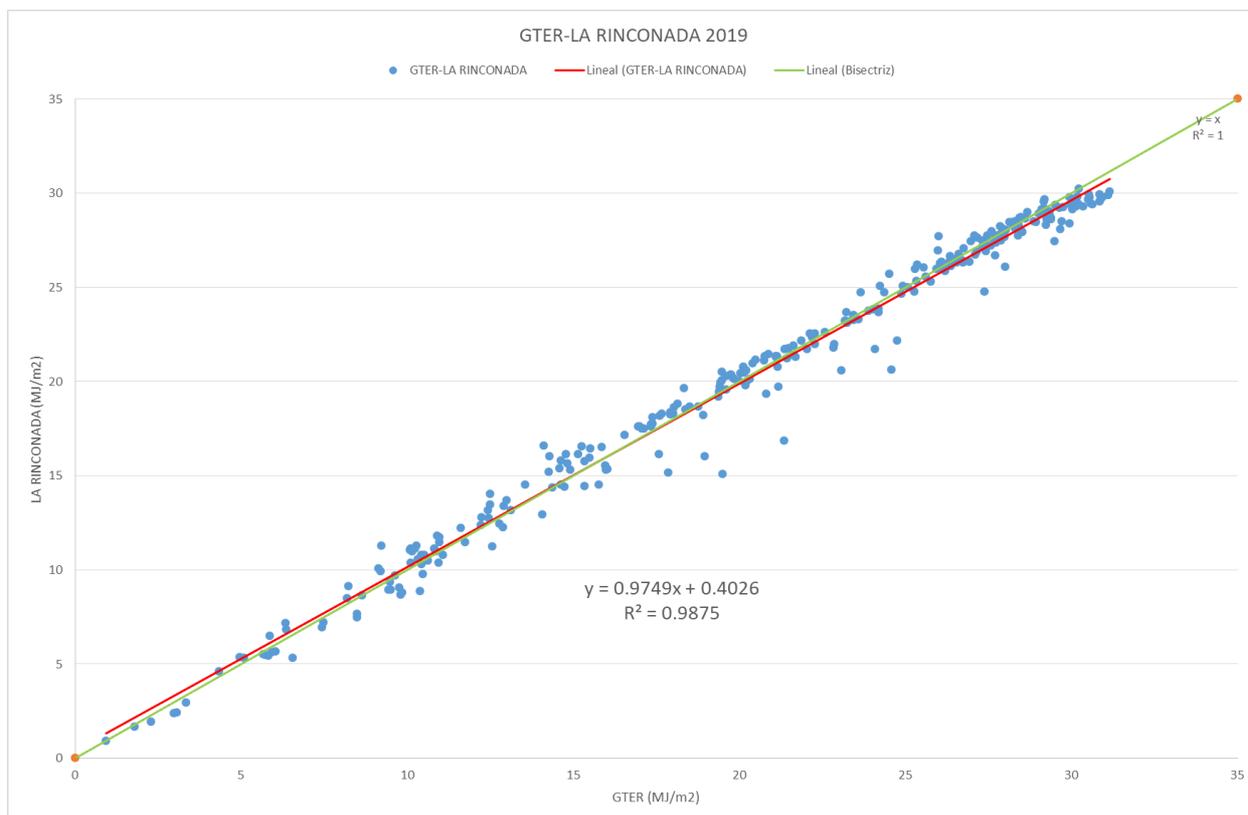


Figura 4-39. Comparación H<sub>0</sub> GTER-La Rinconada, 2019

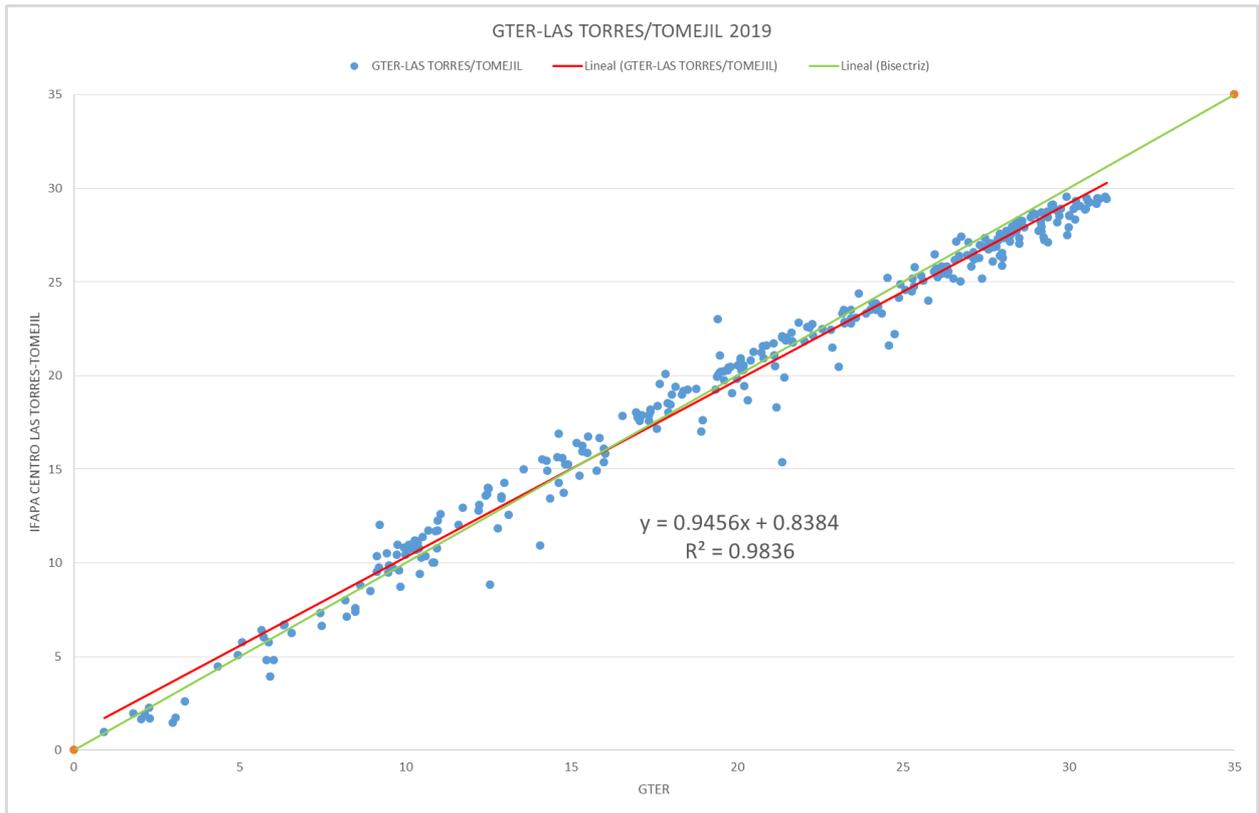


Figura 4-40. Comparación H<sub>g</sub>0 GTER-Ifapa Centro Las Torres-Tomejil, 2019

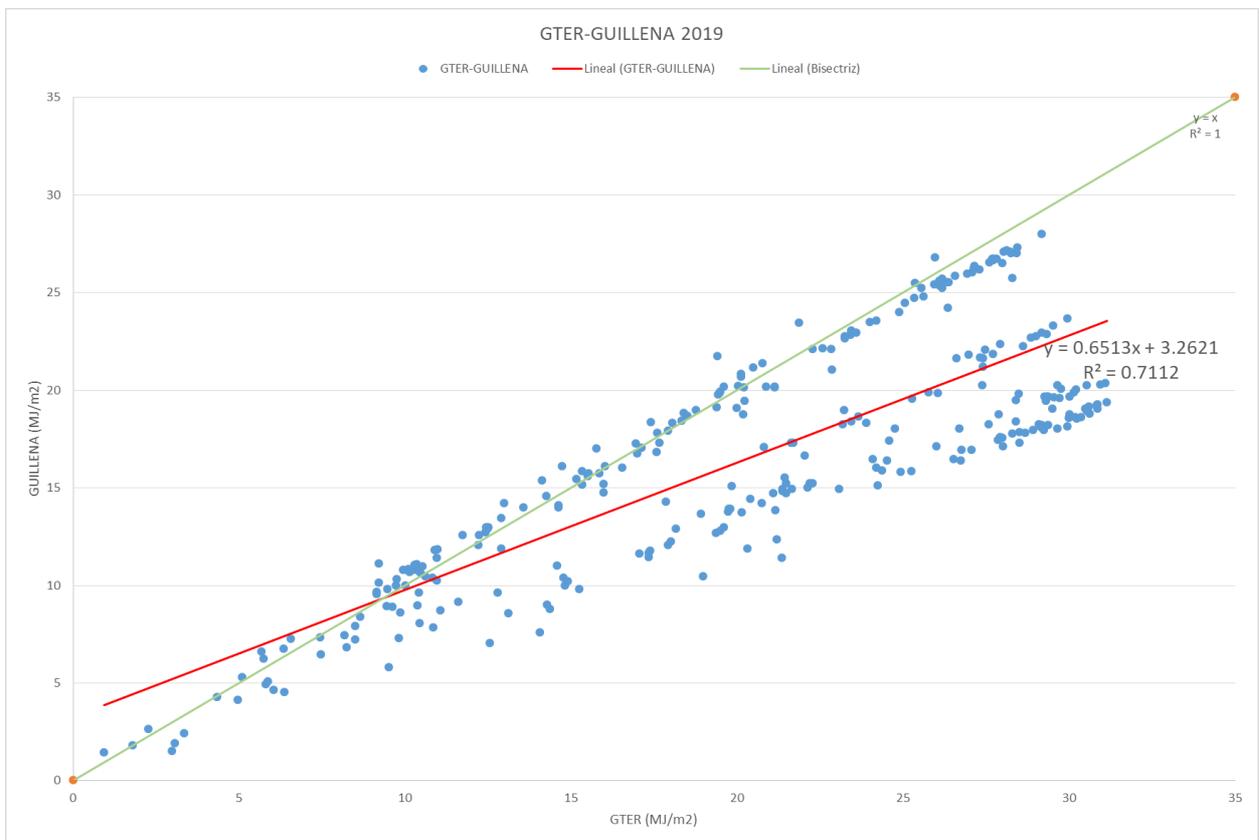


Figura 4-41. Comparación H<sub>g</sub>0 GTER-Guillena, 2019

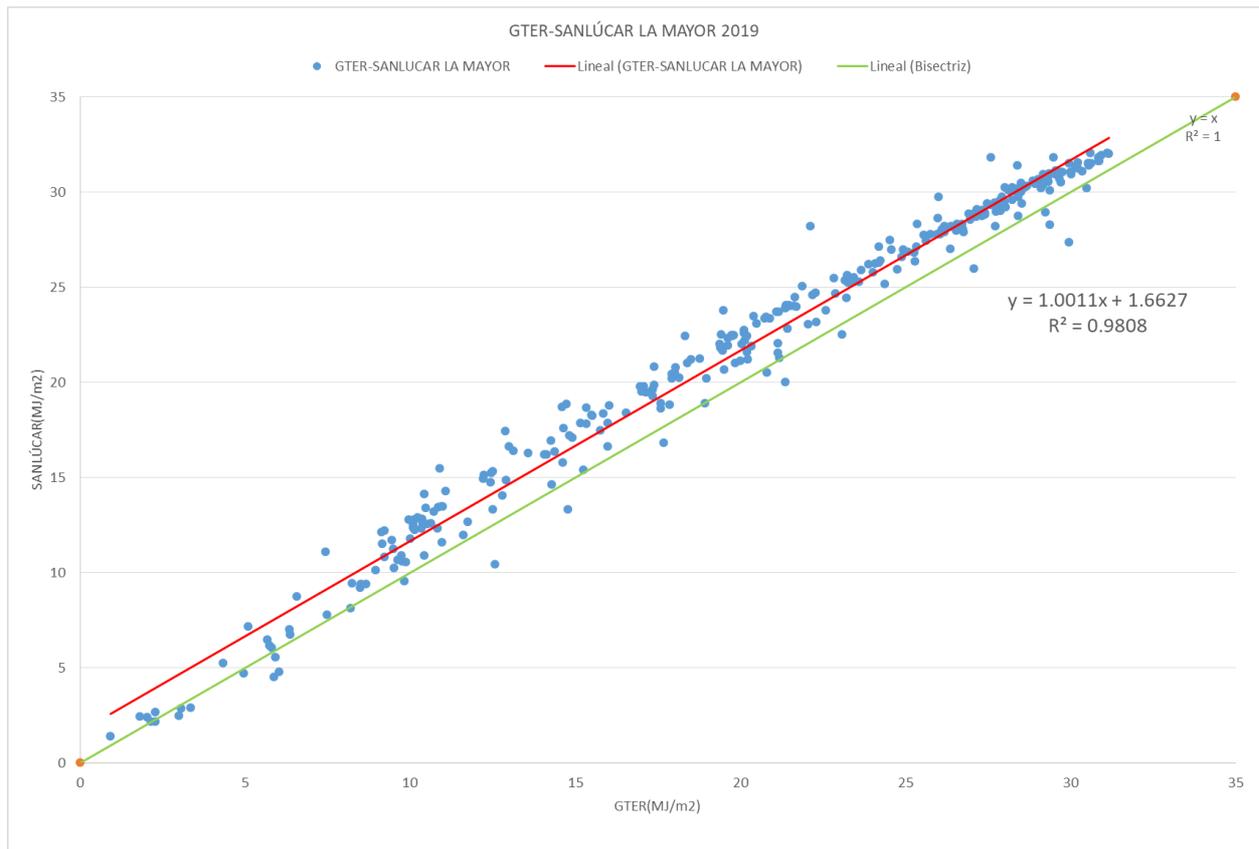


Figura 4-42. Comparación H<sub>g</sub>0 GTER-Sanlúcar La Mayor, 2019

2019	LA RINCONADA	LAS TORRES/TOMEJIL	GUILLENA	SANLÚCAR
<b>ERROR (%)</b>	2.51	5.44	34.87	0.11
<b>R2</b>	0.9875	0.9836	0.7112	0.9808
<b>Ordenada en el origen</b>	0.4026	0.8384	3.2621	1.6627

Tabla 4-7. Análisis comparativo de las gráficas de datos de radiación global horizontal de las estaciones del SIAR con la del GTER en el año 2019

Como se puede observar en la Tabla 4-7, la estación con el error más bajo es la de Sanlúcar La Mayor, sin embargo, tiene una ordenada en el origen bastante alta, como además se puede observar en la Figura 4-42 en el desplazamiento de la curva, por ello, se seleccionan los datos de la estación de La Rinconada, cuyo error es el segundo más bajo y cuya ordenada en el origen es muy próxima a cero.

Una vez seleccionada la estación de referencia se diseña un procedimiento de selección y sustitución de días. La base de datos del SIAR aporta el valor diario acumulado de radiación global horizontal (H<sub>g</sub>0). Para poder emplear esta información es necesario escalar el valor de la estación de referencia para adaptarlo a la estación del GTER. Una vez obtenido el valor objetivo a partir de la estación del SIAR que se haya decidido, el siguiente paso es seleccionar qué día va a sustituir a aquel denominado “día descartado”. Se compara el valor objetivo con los valores de radiación global horizontal acumulada para días perfectos en la estación del GTER

desde tres días anteriores a tres posteriores al vacío entre los años 2010 a 2019 debido a que el formato de estos archivos son prácticamente iguales, con lo que se facilita el cálculo de sus valores de radiación acumulados y su comparación. Como condición adicional, la diferencia entre el valor conseguido y el objetivo debe ser menor al 5%. En casos excepcionales en que no se pueden cumplir estos objetivos dentro del rango de tres días se amplía a cinco, quedando reflejado (en rojo) en las Tabla 4-8, 4-9, 4-10 y 4-11. Además, en los casos 2 y 3, es decir, en los casos en los que hay datos pero algunos son erróneos o faltan, estos datos se tienen en cuenta a la hora de sustituir los días. Si existen varios posibles días candidatos para sustituir por el día descartado, dentro del rango de tres días anteriores y posteriores y con valores acumulados de radiación global horizontal parecidos e inferiores al 5% con respecto al valor objetivo, se tiene en cuenta la forma de la curva seleccionando la que se parezca más a la del día que se quiere sustituir. En las Figuras 4-43 y 4-44, 4-45 y 4-46 se han representado las gráficas originales de los “días descartados” 258 y 327 del año 2016 respectivamente y las gráficas una vez corregidas, con el fin de mostrar la búsqueda de una similitud razonable.

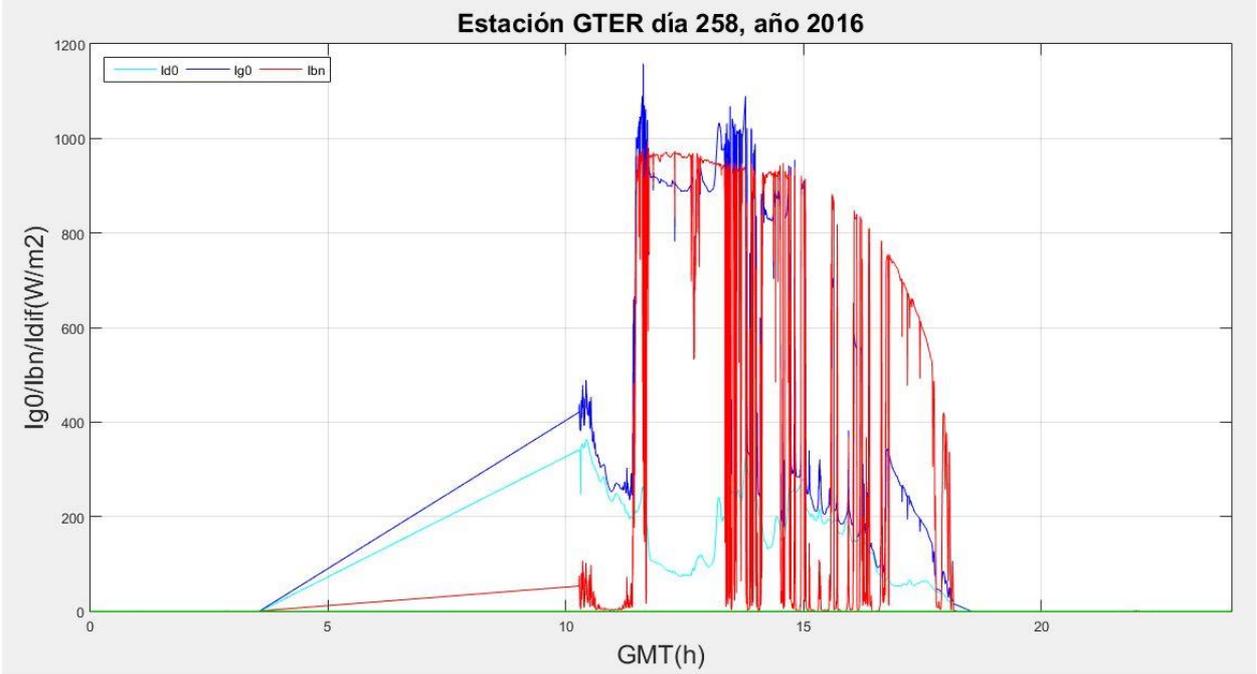


Figura 4-43. Gráfica diaria correspondiente al día 258 del año 2016, día descartado

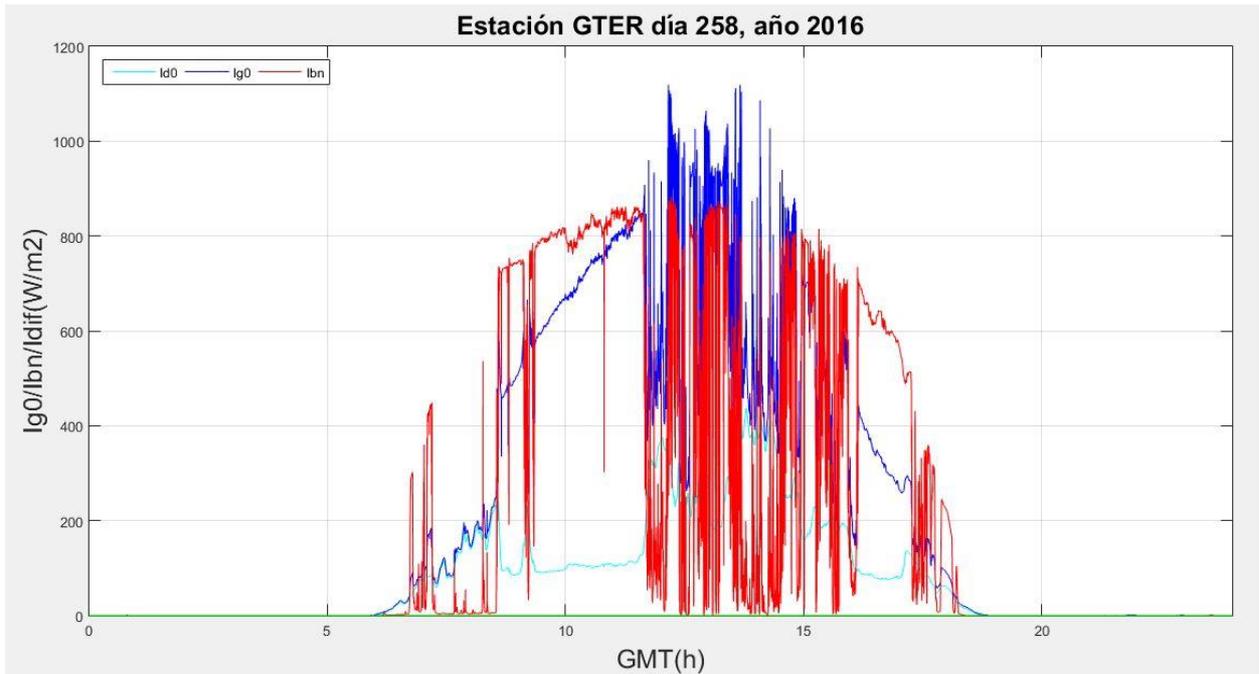


Figura 4-44. Gráfica diaria correspondiente al día 258 del año 2016, día descartado corregido

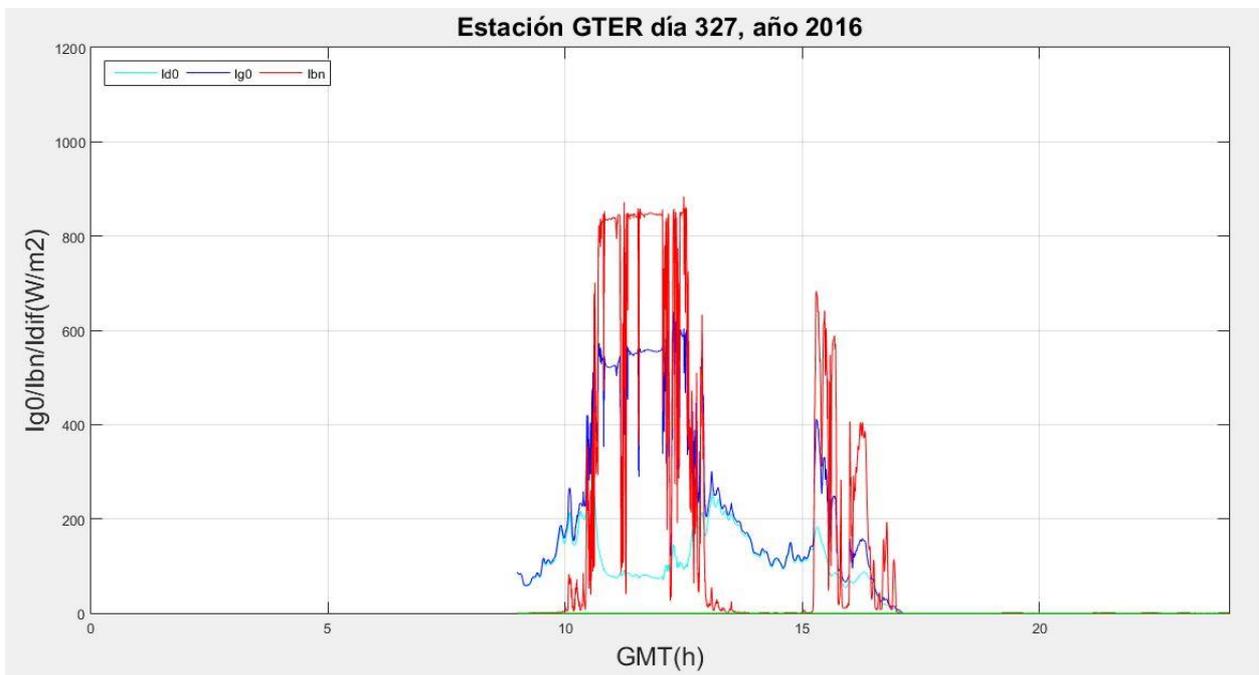


Figura 4-45. Gráfica diaria correspondiente al día 327 del año 2016, día descartado

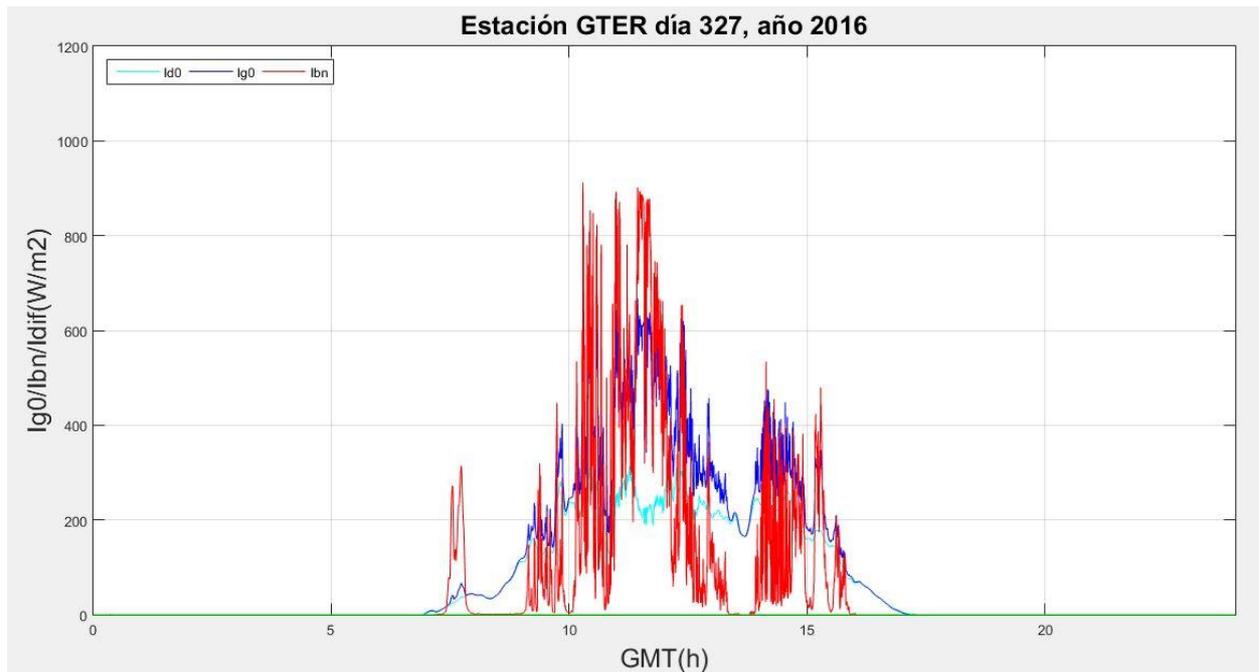


Figura 4-46. Gráfica diaria correspondiente al día 327 del año 2016, día descartado corregido

En las Tabla 4-8, 4-9, 4-10 y 4-11 se especifica el día por el que ha sido sustituido cada día clasificado como “descartado” de la estación del GTER, así como la diferencia con respecto al valor objetivo requerido.

2016					
Día Juliano	Día sustituido	Valor Sanlúcar (kWh/m2)	Valor objetivo (kWh/m2)	Valor conseguido (kWh/m2)	Diferencia (%)
12	12 (2018)	2.886	3.029	2.972	-1.89
13	12 (2018)	2.889	3.032	2.972	-1.98
109	110 (2018)	6.069	6.218	6.182	-0.58
258	255 (2019)	5.150	5.297	5.413	2.20
259	262 (2017)	5.889	6.037	6.025	-0.19
287	285 (2019)	4.411	4.557	4.438	-2.60
326	329 (2017)	1.731	1.872	1.841	-1.66
327	325 (2013)	2.236	2.378	2.305	-3.07
350	348 (2017)	2.247	2.389	2.366	-1.00

Tabla 4-8. Días sustituidos 2016

2017					
Día Juliano	Día sustituido	Valor Las Torres-Tomejil (kWh/m2)	Valor objetivo (kWh/m2)	Valor conseguido (kWh/m2)	Diferencia (%)
197	195 (2019)	7.792	8.051	7.920	-1.63
198	199 (2017)	6.933	7.185	7.220	0.48

Tabla 4-9. Días sustituidos 2017

2018					
Día Juliano	Día sustituido	Valor La Rinconada (kWh/m2)	Valor objetivo kWh/m2)	Valor conseguido (kWh/m2)	Diferencia (%)
23	24 (2017)	3.356	3.579	3.536	-1.22
24	22 (2017)	3.128	3.344	3.466	3.66
79	80 (2016)	5.078	5.360	5.370	0.19
80	83 (2018)	6.228	6.550	6.584	0.53
81	83 (2018)	6.306	6.630	6.584	-0.69
86	87 (2019)	6.389	6.716	6.511	-3.05
122	120 (2019)	7.136	7.489	7.492	0.04
150	146 (2018)	4.492	4.754	4.862	2.27
154	156 (2019)	7.817	8.193	8.239	0.56
155	154 (2016)	7.044	7.394	7.562	2.27
205	206 (2019)	7.533	7.900	7.776	-1.57
206	204 (2018)	7.889	8.268	8.395	1.54
207	204 (2019)	7.103	7.455	7.586	1.76
208	211 (2019)	7.742	8.115	8.107	-0.10
209	212 (2018)	7.961	8.342	8.238	-1.25
210	211 (2019)	7.756	8.130	8.107	-0.27
211	211 (2019)	7.767	8.141	8.107	-0.42
217	220 (2017)	7.636	8.006	8.036	0.37
218	220 (2019)	7.331	7.690	7.692	0.02
223	226 (2018)	7.278	7.636	7.597	-0.51
224	224 (2019)	7.319	7.679	7.704	0.33
225	222 (2018)	7.514	7.880	7.895	0.19
229	232 (2017)	6.778	7.118	7.131	0.18
235	239 (2019)	6.122	6.440	6.720	4.34
293	296 (2016)	0.892	1.031	1.022	-0.83
294	292 (2013)	2.519	2.714	2.733	0.68
362	360 (2016)	2.792	2.996	2.985	-0.36

Tabla 4-10. Días sustituidos 2018

2019					
Día Juliano	Día sustituido	Valor La Rinconada (kWh/m2)	Valor objetivo (kWh/m2)	Valor conseguido (kWh/m2)	Diferencia (%)
334	337 (2019)	2.964	2.925	2.922	-0.13

Tabla 4-11. Días sustituidos 2019

## 4.4 Diferencias con respecto a años anteriores

A partir del Proyecto Fin de Carrera de Elena Pérez Aparicio (1) se pueden identificar las diferencias entre las irregularidades del periodo 2000-2009 y el periodo en estudio en el presente proyecto, 2016-2019.

El proyecto divide igualmente los días en correctos, corregibles y descartados. Dentro del grupo de los corregibles, existen cuatro casos:

- Caso 1: Registros correctos con huecos en radiación global horizontal ( $I_g0$ ) y radiación directa normal ( $I_{bn}$ ) al principio o al final del día de duración menor a una hora.
  - Estos huecos desaparecen en el periodo en estudio, 2016-2019. Esta es una mejora importante asociada a la adquisición de dispositivos de medida de mejor calidad, al igual que las conexiones con los ordenadores que las registran.
- Caso 2: Registros de  $I_g0$  correctos y completos, de  $I_{bn}$  no existen o son incorrectos.
  - Este caso se corresponde con el caso A en este proyecto. Como se ha comentado anteriormente, en periodos anteriores había necesidad de crear un modelo para recrear los registros de  $I_{bn}$  ya que los registros de radiación difusa horizontal ( $I_d0$ ) eran de muy mala calidad. En este estudio se corrige la  $I_{bn}$  a partir de las otras dos variables de radiación debido al hecho de que se corrige la  $I_d0$ .
- Caso 3: Registros de  $I_g0$  correctos pero con huecos al principio o al final del día de duración menor a una hora, para  $I_{bn}$  no existen o son incorrectos.
  - Como ya se ha explicado, los huecos desaparecen.
- Caso 4: Registros de  $I_{bn}$  correctos pero no existen o son incorrectos de  $I_g0$ .
  - En el periodo 2000-2009, prácticamente no había existencias de este caso. Sin embargo, en el periodo 2016-2019, es uno de los casos más predominantes. Se corresponde con los casos B.1 y B.2. Es importante tenerlo en cuenta para el correcto mantenimiento de la estación y para estudios posteriores.

Cabe destacar la creación de dos casos nuevos en este proyecto, los denominados C y D. El primero se define para la corrección de la radiación difusa horizontal y el segundo (irregularidades en el orto y/u ocaso) solo aparece en los años 2018-2019 y probablemente se corresponde con la construcción de un edificio que provoca sombras en algunos dispositivos de medida en determinadas horas del día dependiendo del día del año.

Por último, el grupo de descartados está dividido a su vez en cuatro casos:

- Caso 1: Archivo no generado.
  - Se corresponde con el clasificado como caso 1 en este proyecto.
- Caso 2:  $I_g0$  e  $I_{bn}$  mal.
  - Se corresponde con el caso 2, con la particularidad de que también se toma en consideración la  $I_d0$ .
- Caso 3:  $I_g0$  e  $I_{bn}$  con hueco menor de una hora al principio o al final del día.
  - Este caso desaparece.
- Caso 4:  $I_g0$  e  $I_{bn}$  con hueco mayor de 30 minutos.
  - Se corresponde con el caso 3. Aunque no aparecen huecos como tal, de manera general, son días en los que faltan registros durante una parte del mismo, incluyendo orto u ocaso.

# 5 CASOS ESPECIALES

A pesar de que se ha comprobado que la metodología elaborada para la corrección de días proporciona resultados muy satisfactorios en la mayoría de los casos, aparecen ciertas peculiaridades que hay que tratar de manera independiente. En este capítulo se describen las medidas adoptadas en cada caso.

## 5.1 Picos puntuales

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de las variables radiométricas a lo largo del día. Al analizarla se comprueba que los registros se efectuaron de forma correcta, con la única excepción de varios valores instantáneos de irradiancia global horizontal, irradiancia directa normal e irradiancia difusa horizontal. Esto ha podido ser debido a una desconexión instantánea del dispositivo de medida. No se baraja la posibilidad de incluir este tipo de día dentro del grupo de descartados ya que con esto se eliminarían muchos datos correctos. Es por ello que se opta por sustituir los valores incorrectos por el inmediato anterior. Esta opción es perfectamente válida ya que al registrarse datos cada cinco segundos no se suelen presentar grandes gradientes entre dos registros consecutivos.

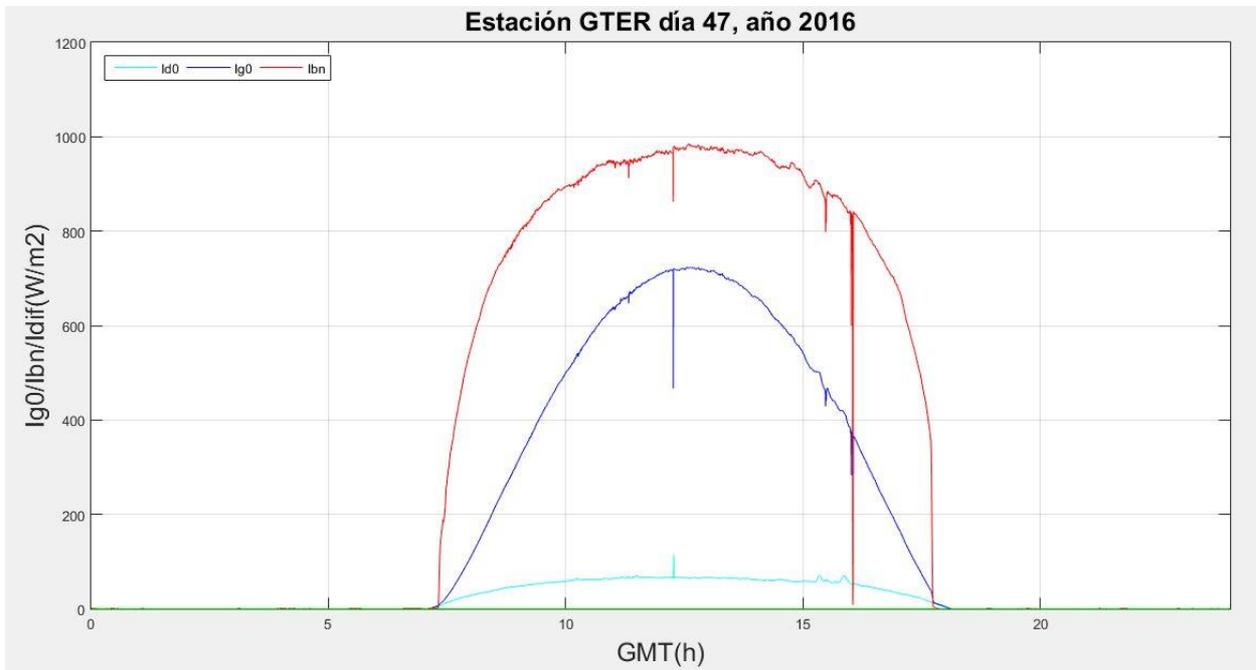


Figura 5-1. Gráfica diaria día 47 del año 2016, sin corregir

El resultado se muestra en la Figura 5-2:

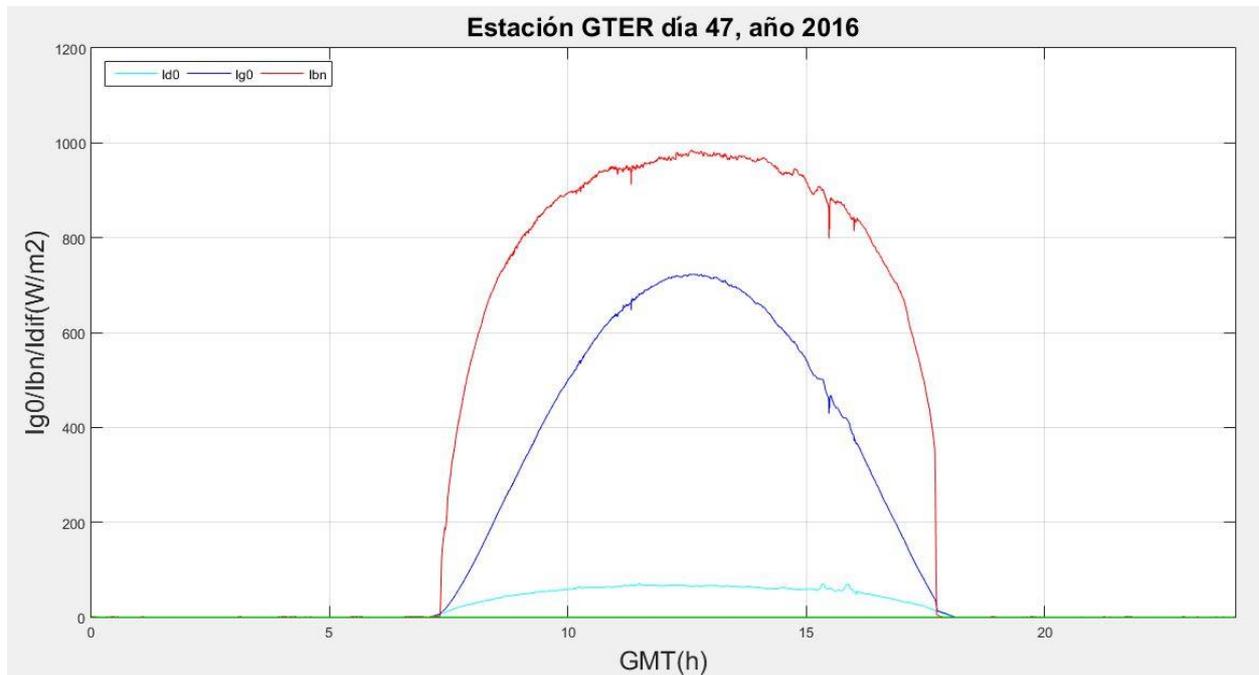


Figura 5-2. Gráfica diaria día 47 del año 2016, corregida

## 5.2 Días con saltos pequeños

Algunos días registran todas sus variables de radiación correctamente durante todo el día, pero a veces faltan valores durante pocos minutos, o disminuyen repentinamente su valor. Cuando esto ocurre durante menos de media hora y la gráfica tiene una apariencia razonable, se corrige el error linealizando la curva desde el momento en el que deja de medir bien hasta el instante en que vuelve a tener valores correctos. En las Figuras 5-3 y 5-4 se muestra un ejemplo. En el primer caso, no hay datos durante seis minutos, y en el segundo, hay un pico en la radiación directa normal durante cuatro minutos, tomando valores incorrectos.

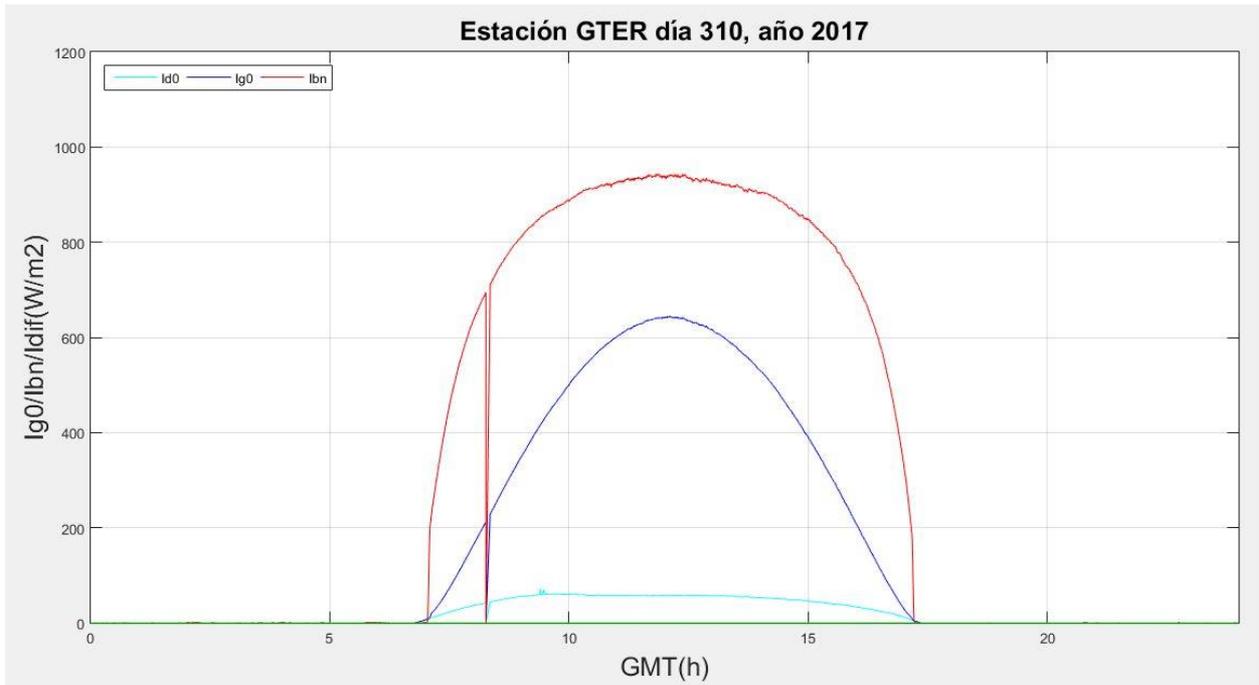


Figura 5-3. Gráfica diaria día 310 del año 2017, sin corregir

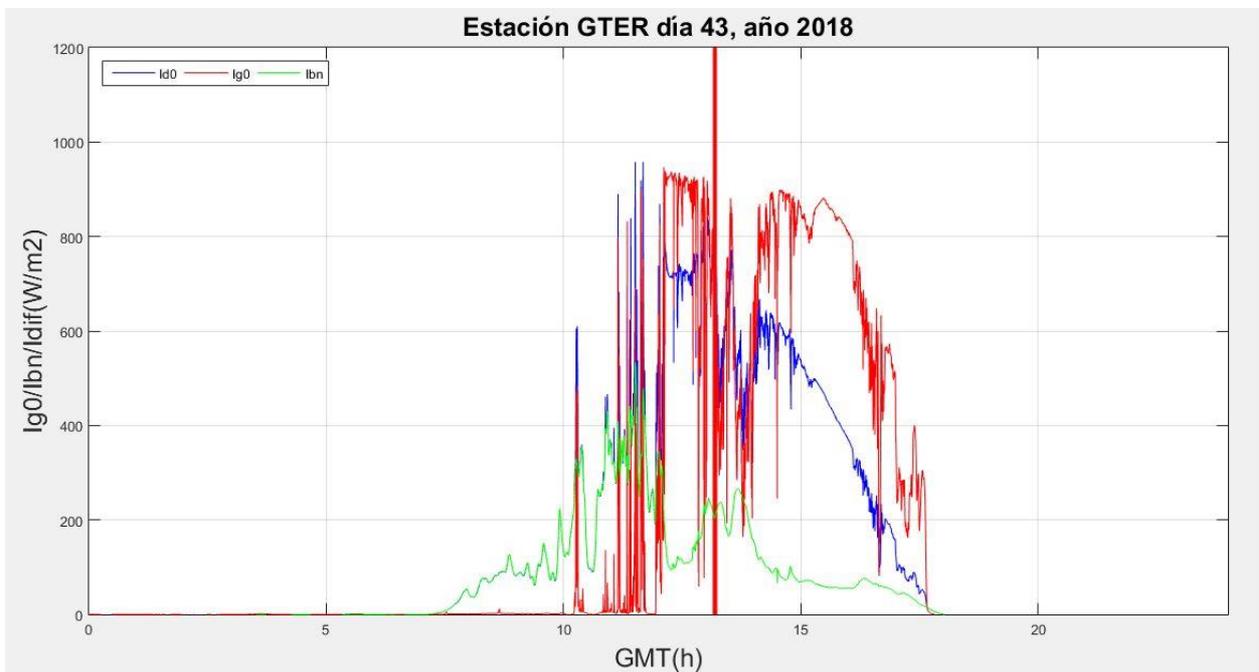


Figura 5-4. Gráfica diaria día 43 del año 2018, sin corregir

En las Figuras 5-5 y 5-6 se puede ver que el resultado obtenido es muy satisfactorio.

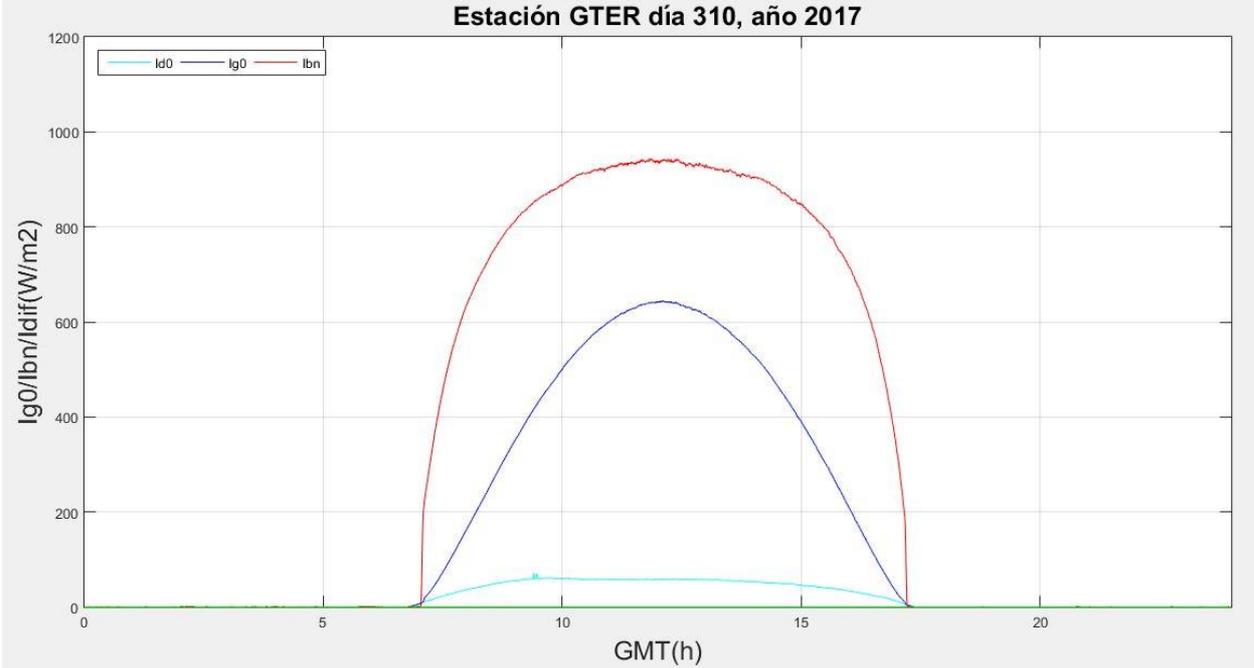


Figura 5-5. Gráfica diaria día 310 del año 2017, corregida

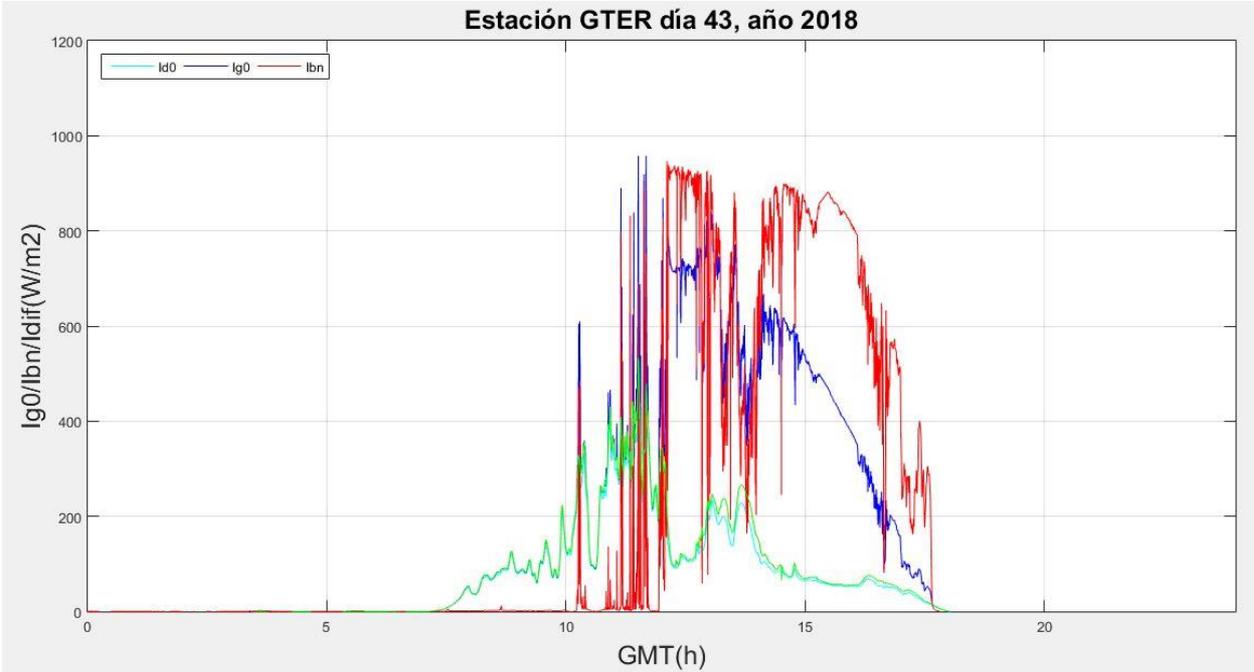


Figura 5-6. Gráfica diaria día 43 del año 2018, corregida

### 5.3 Varios casos a la vez

Dado que el caso D solo afecta al orto y al ocaso, cabe la posibilidad de que algunos días se clasifiquen como varios casos. Esto no supone ningún problema, primero se aplicaría la metodología correspondiente al caso A, B.1, B.2 o C según convenga y finalmente la del caso D. Para no contabilizar estos días varias veces, se adopta el criterio de contarlos en el caso distinto del D. En las siguientes figuras se muestra un ejemplo de día clasificado como caso C (radiación difusa horizontal con banda de sombra incorrecta) y D (orto y/u ocaso incorrecto).

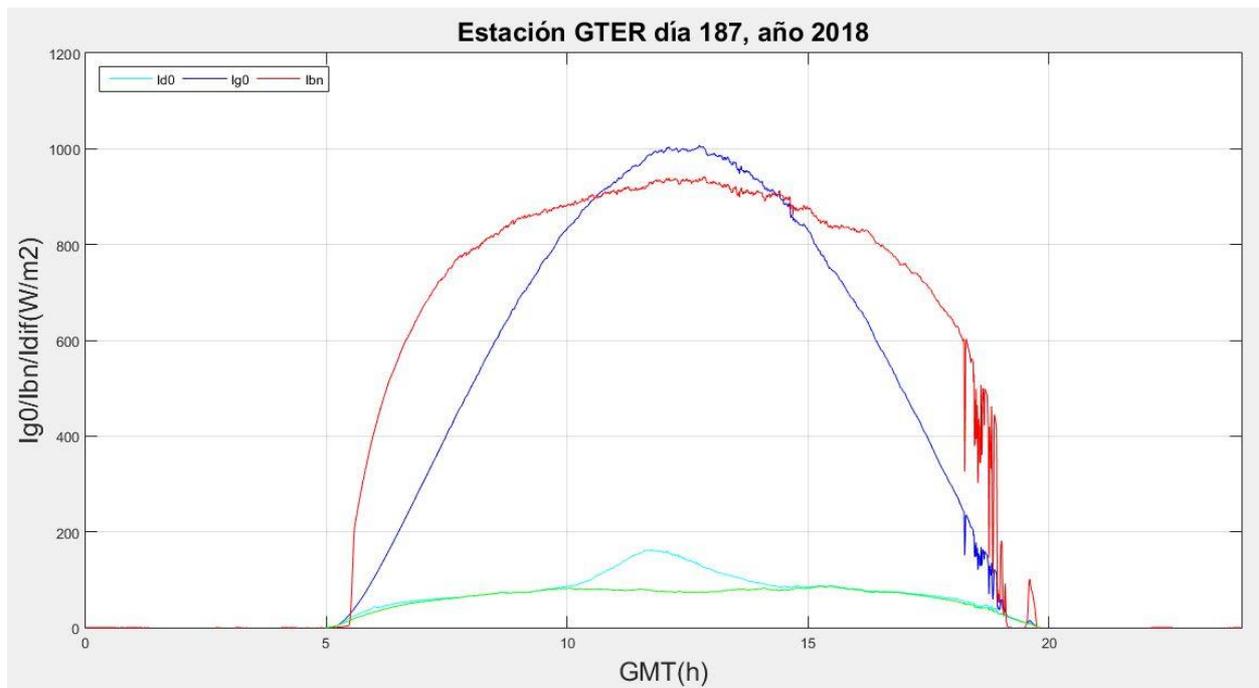


Figura 5-7. Gráfica diaria día 187 del año 2018, radiación difusa horizontal y orto mal

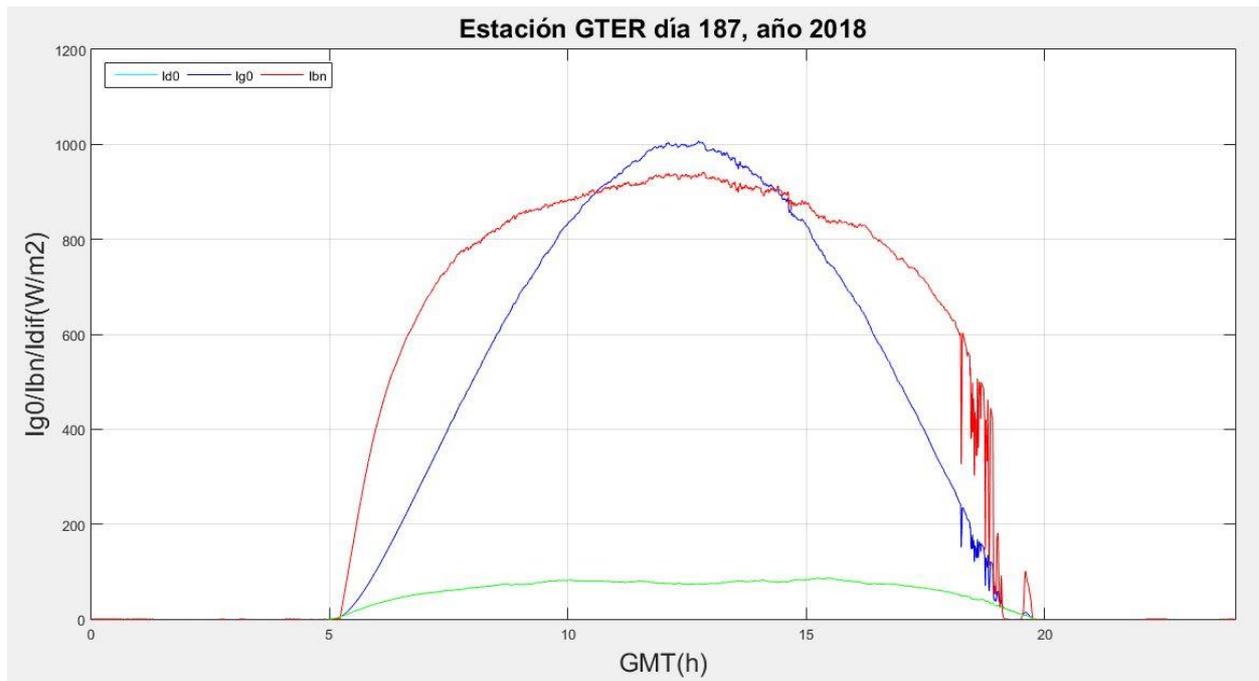


Figura 5-8. Gráfica diaria día 187 del año 2018, corregido casos C y D

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de días con casos especiales.

<b>CASOS ESPECIALES</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>CASOS A Y D</b>	0	0	0	0
<b>CASOS B.1 Y D</b>	0	0	1	0
<b>CASOS B.2 Y D</b>	0	0	0	0
<b>CASOS C Y D</b>	0	0	6	4
<b>PUNTOS PUNTUALES</b>	27	28	10	32
<b>SALTOS</b>	9	4	7	0

Tabla 5-1. Clasificación de días con casos especiales

# 6 RESULTADOS

Como ya se destacó en el capítulo 2, el objetivo del presente proyecto es corregir y completar la base de datos del GTER durante el periodo 2016-2019. Es por ello que el resultado fundamental que se consigue se encuentra en formato electrónico. Se trata de un archivo para cada uno de los días de los cuatro años analizados. A continuación se realizará un análisis cuantitativo de la metodología usada en cada caso y de los valores acumulados de las variables radiométricas una vez corregida la base de datos. Hasta ahora básicamente se ha estado describiendo la metodología diseñada, a partir de este momento se añaden resultados numéricos. Como paso previo al análisis de éstos se considera adecuado recordar la clasificación de los días analizados. Ésta se realiza según lo expuesto en el capítulo 4, se recuerda brevemente en la Figura 6-1.

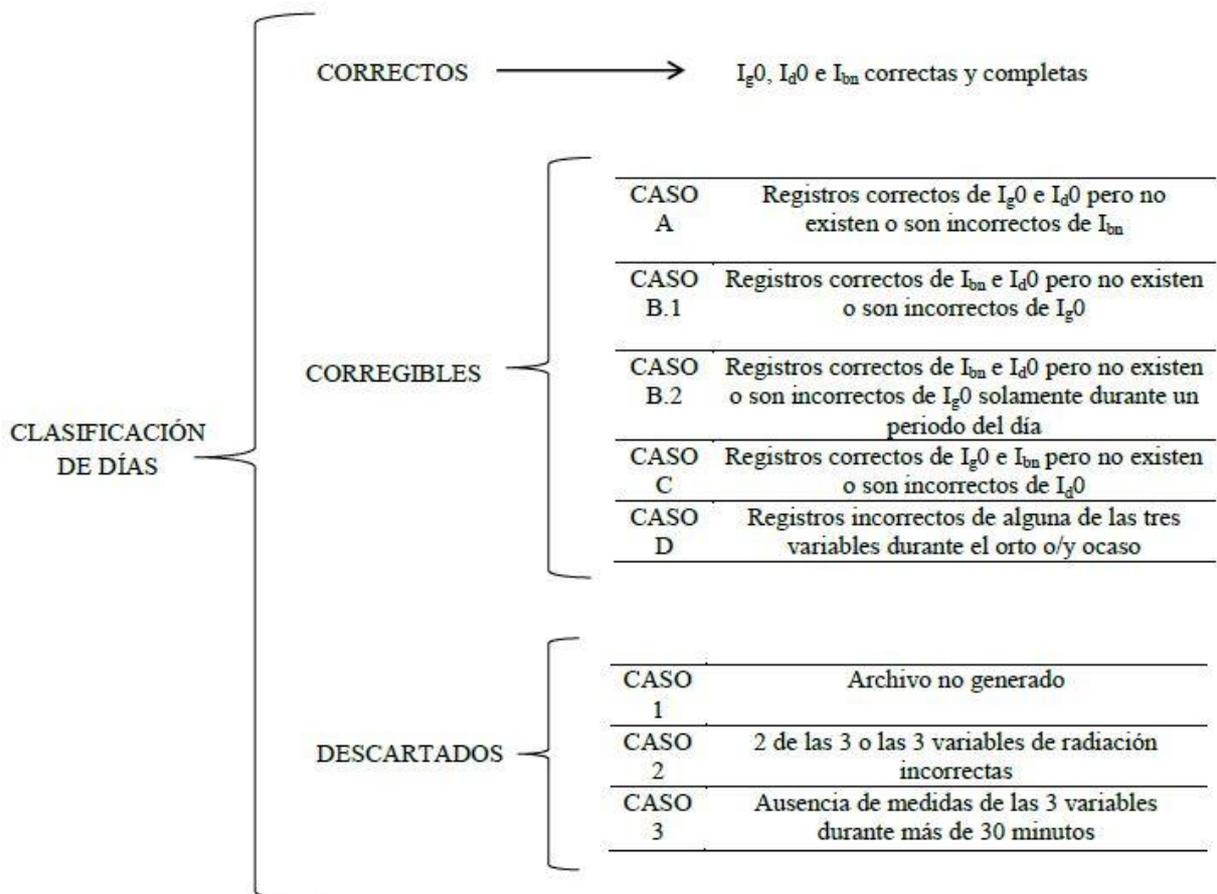


Figura 6-1. Resumen clasificación de días

En la siguiente tabla se especifica el número de días pertenecientes a cada caso.

	2016	2017	2018	2019
<b>CORRECTOS</b>	251	239	253	249
<b>DESCARTADOS</b>	9	2	27	1
<b>CASO A</b>	10	1	1	2
<b>CASO B.1</b>	11	30	27	54
<b>CASO B.2</b>	72	62	2	0
<b>CASO C</b>	13	31	10	11
<b>CASO D</b>	0	0	45	48
<b>TOTAL DE DÍAS</b>	<b>366</b>	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>365</b>

Tabla 6-1. Clasificación de días

Esta información se percibe mejor mediante gráficos circulares en los que destaca fácilmente la tipología mayoritaria de días en cada año. Si se analizan estos gráficos se comprueba que únicamente el sector correspondiente a los casos B.1 y C aparece en todos los años, independientemente de los días correctos. Se aprecia igualmente que en los años 2016 y 2017 predomina el caso B.2, en 2018 el D y en 2019 el B.1 y el D a partes iguales. Si se pasa a un análisis global se puede observar que el número de días correctos es prácticamente el mismo durante los cuatro años. Respecto a los días descartados, el año 2018 es indudablemente el año con más predominancia.

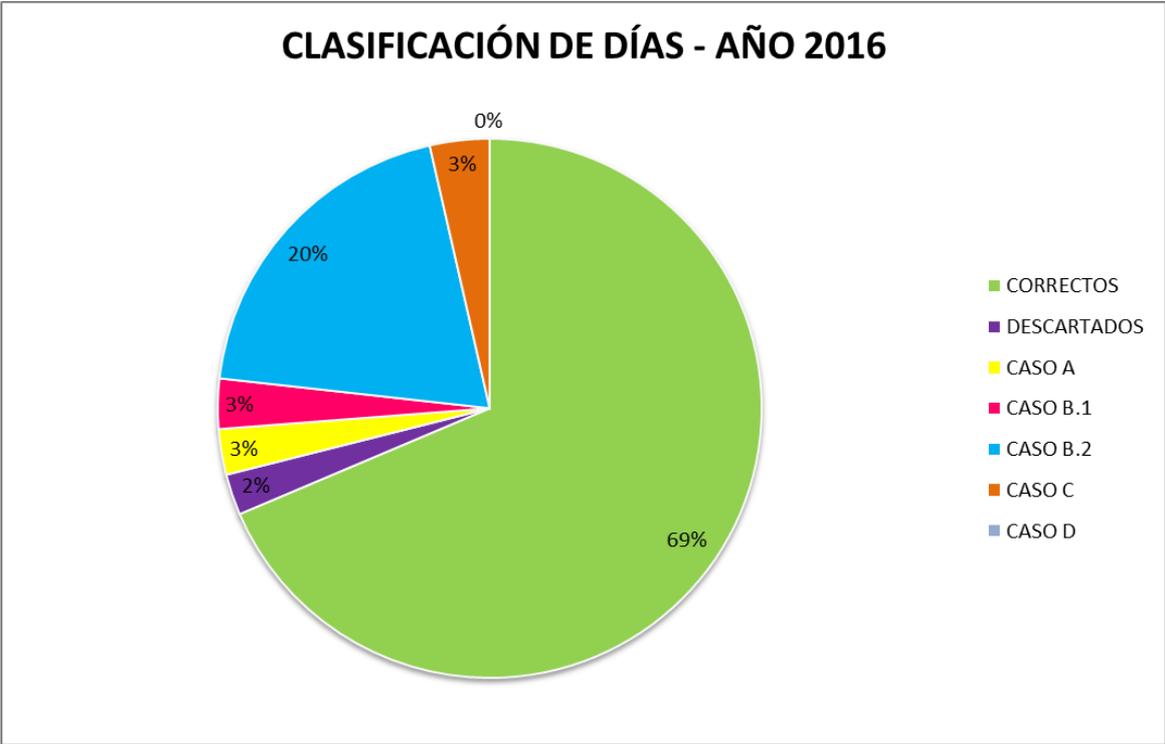


Figura 6-2. Distribución de días según clasificación, año 2016

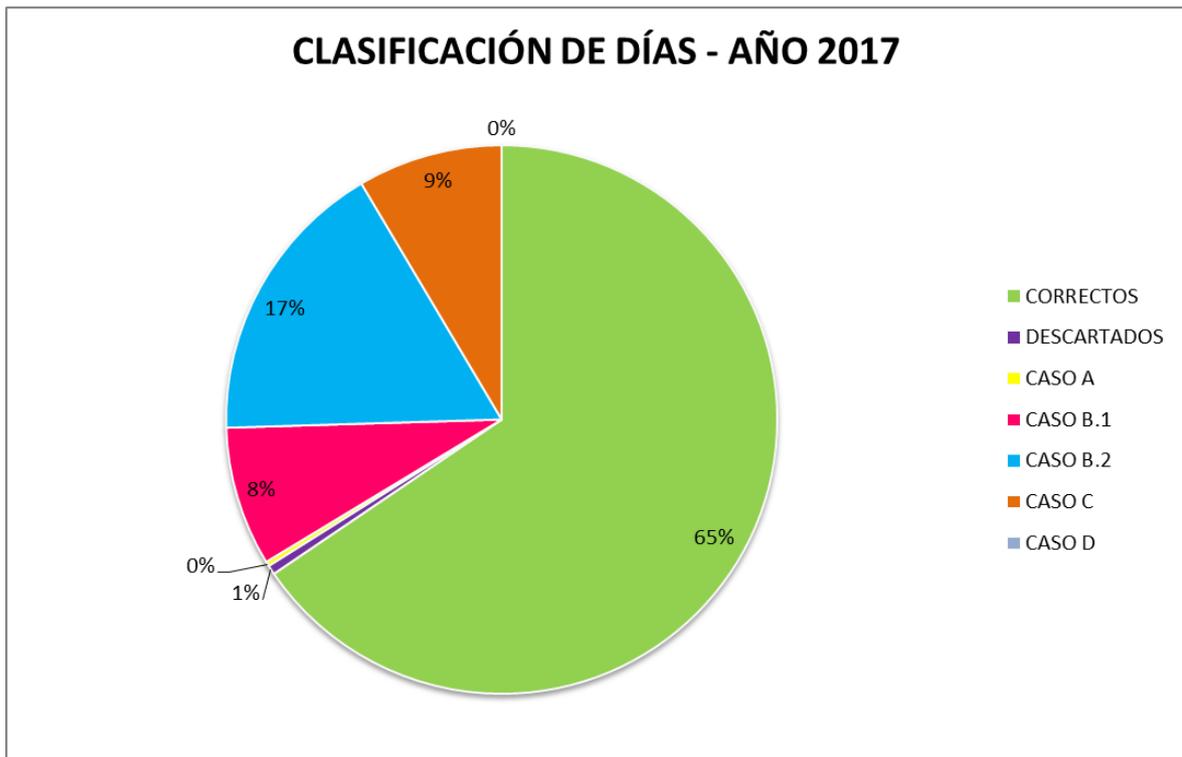


Figura 6-3. Distribución de días según clasificación, año 2017

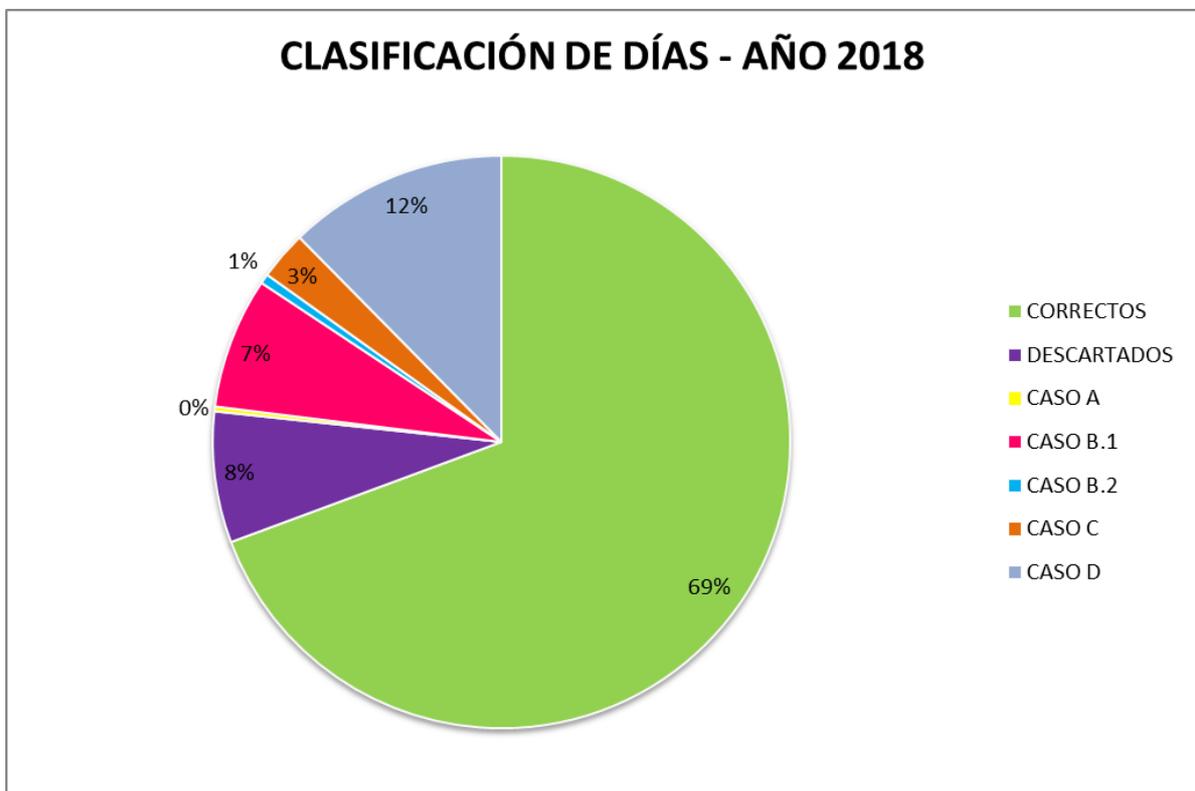


Figura 6-4. Distribución de días según clasificación, año 2018

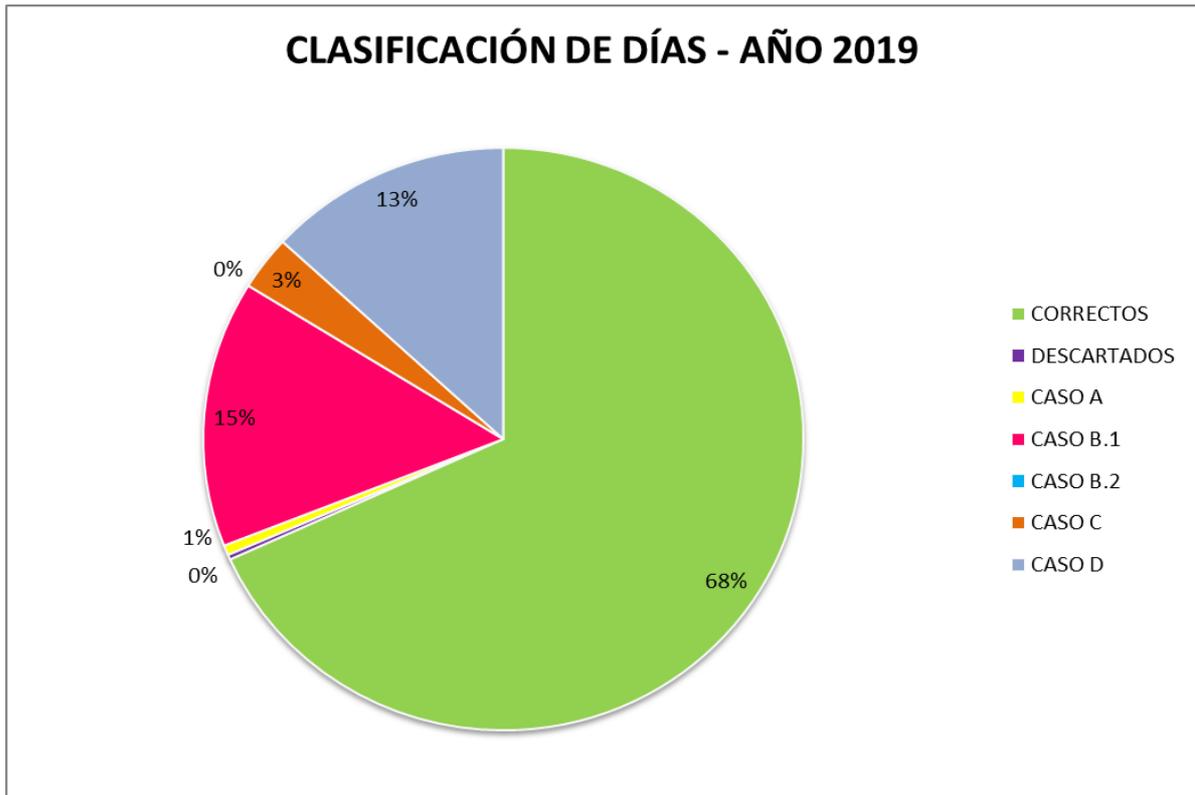


Figura 6-5. Distribución de días según clasificación, año 2019

## 6.1 Resultados diarios

En las figuras siguientes se muestran los valores acumulados de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal diarios para el periodo en estudio. Como ya se ha comentado, se han corregido cuatro años (2016-2019), sin embargo, se analizan estos datos junto con los registrados en 2000-2015 con el fin de hacer un análisis en un contexto de tiempo más amplio. Al tratarse de 20 años, se consideran representativos los datos para el emplazamiento analizado.

La primera de las figuras corresponde a la acumulada de la radiación global horizontal. A priori resalta la distribución de los puntos representados. Se observa claramente cómo la densidad de la nube de puntos es mucho mayor para los niveles máximos de radiación, es decir, para los días claros. Con esta gráfica se hace evidente la prevalencia de este tipo de días en un emplazamiento como Sevilla. Por supuesto la densidad de la nube de puntos es mucho más acusada en los meses de verano que para el resto del año. Además, cabe destacar la envolvente de valores máximos que se obtiene. La importancia de este hecho es significativa ya que se podrá afirmar que para este emplazamiento concreto estos son los valores máximos de radiación que se pueden conseguir, pudiendo actuar como filtro de medida. Al observar la Figura 6-6, se consideran correctos los datos de radiación global horizontal de 2016-2019 ya que no hay ningún punto que se aleje de la tendencia general de los 16 años anteriores.

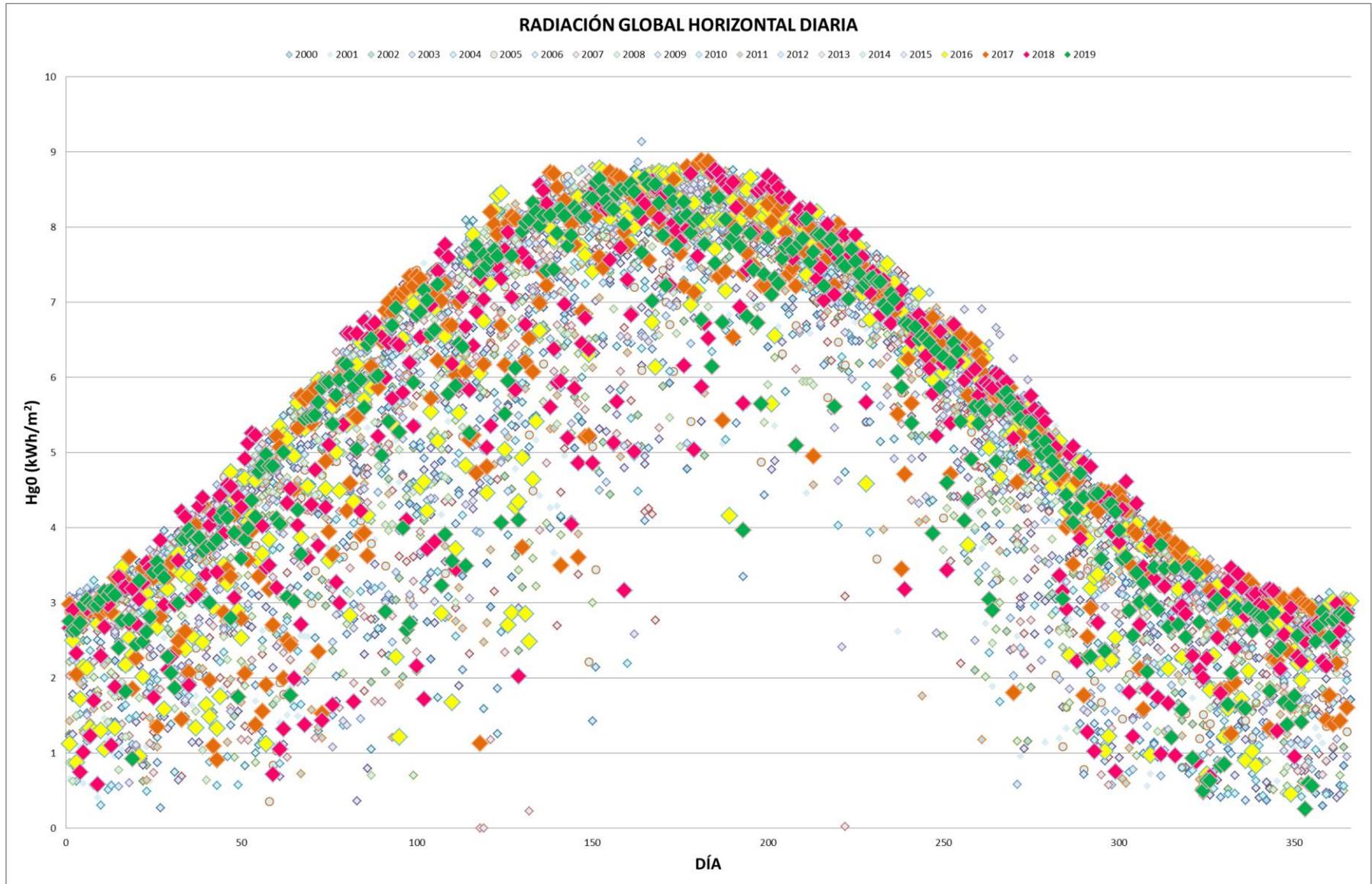


Figura 6-6. Radiación Global Horizontal Diaria 2000-2019

En el caso de la radiación directa normal se ha representado una gráfica similar a la anterior pero las conclusiones no son tan evidentes. También se observa un límite máximo de radiación directa normal aunque la nube de puntos que la define no es tan densa como en el caso anterior. Esto es debido a que la radiación directa normal es mucho más variable que la radiación global horizontal. Al igual que en el caso anterior, gracias a la Figura 6-7, se consideran válidos los datos de radiación directa normal de los últimos 4 años.

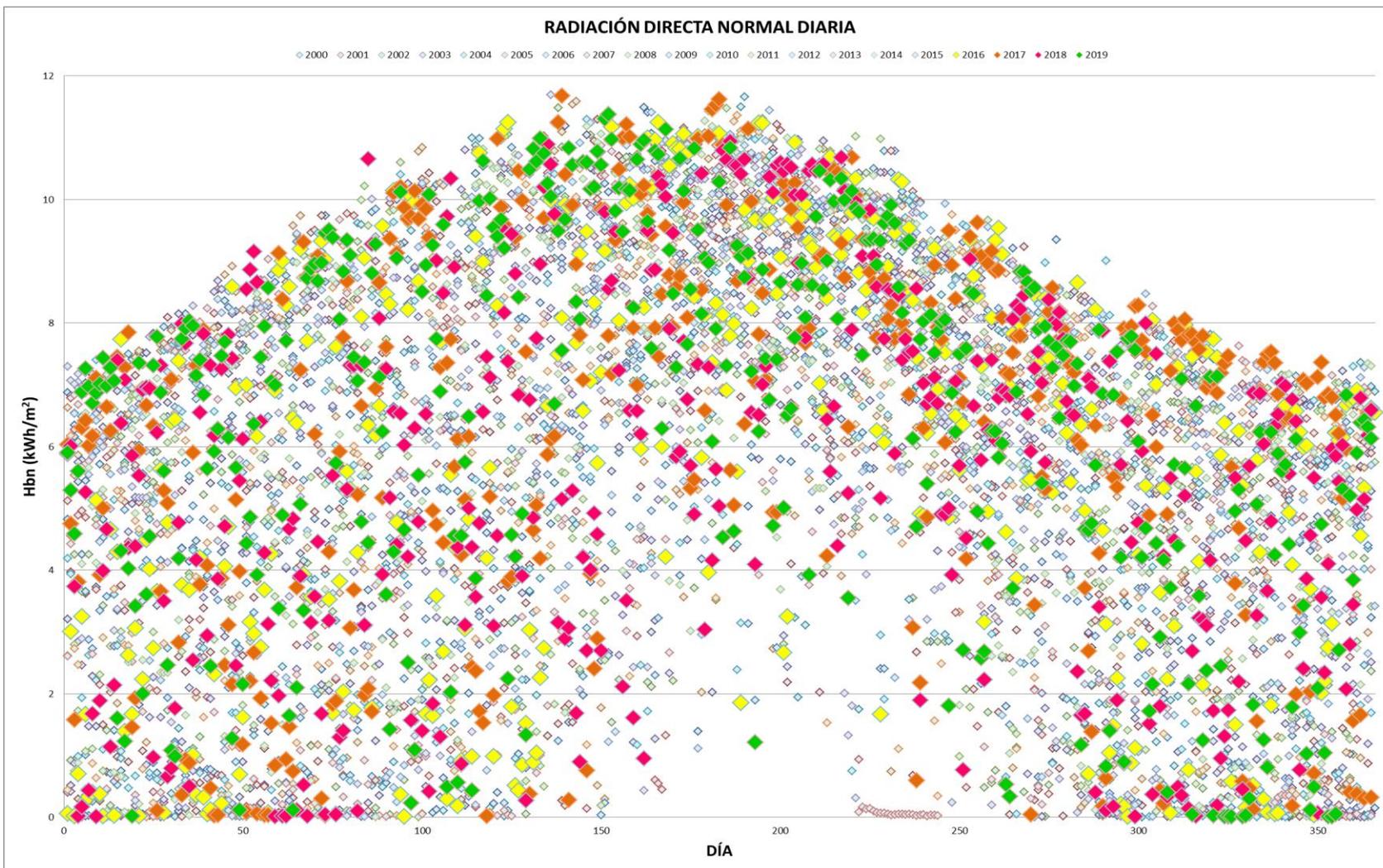


Figura 6-7. Radiación Directa Normal Diaria 2000-2019

En el caso de la radiación difusa horizontal, en este proyecto es la primera vez que se han corregido sus datos, por ello los años 2016-2019 son los más fiables y es interesante analizar la Figura 6-8, en la que se ha representado exclusivamente los datos de este periodo. En ella se observa que los registros están distribuidos en un rango bastante pequeño, entre 0.3 y 3.9 kWh/m<sup>2</sup>. Al igual que en las gráficas de radiación global horizontal y radiación directa normal, los valores son mayores en los meses de verano. Es útil corregir los registros de radiación difusa horizontal especialmente en el caso de proyectos dedicados a Energía Solar Fotovoltaica debido a que esta tecnología permite aprovechar también este tipo de radiación, con lo cual la exactitud de esta variable favorece posibles predicciones y estudios.

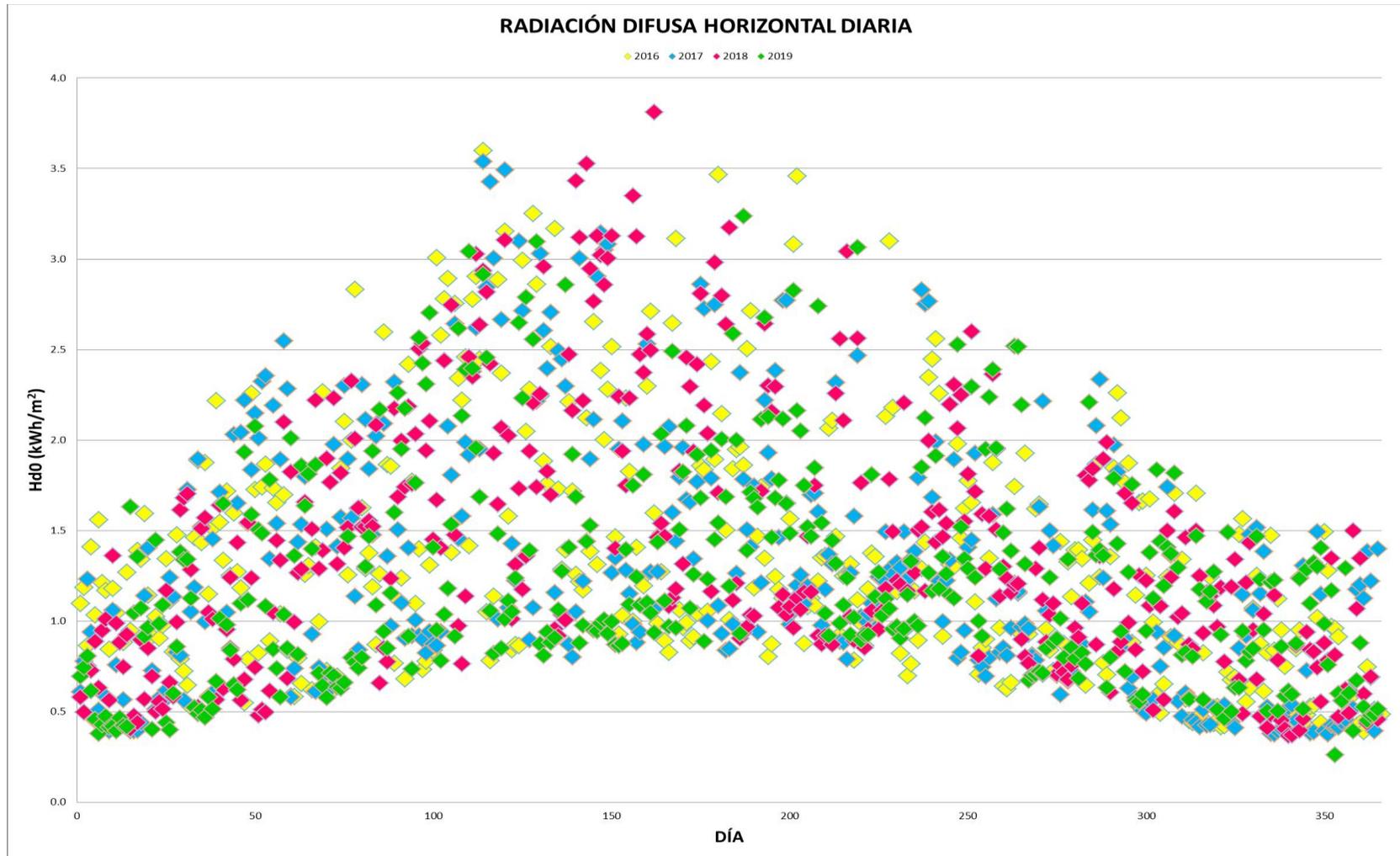


Figura 6-8. Radiación Difusa Horizontal Diaria 2016-2019 Resultados mensuales

En las siguientes tablas se muestran los resultados de radiación acumulada a nivel mensual.

RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL MENSUAL (kWh/m <sup>2</sup> )											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ENERO	93.2	63.0	80.9	83.1	77.5	96.0	79.6	78.8	82.4	67.3	66.3
FEBRERO	122.0	92.5	101.2	96.5	93.7	106.1	92.4	83.1	96.0	96.6	76.4
MARZO	156.7	129.5	143.2	135.9	141.2	138.2	135.1	157.2	158.2	137.4	126.0
ABRIL	153.9	194.9	171.2	169.8	181.0	197.2	164.1	162.1	175.2	184.9	171.4
MAYO	203.6	204.3	215.9	231.1	196.6	219.5	204.3	215.8	183.0	226.5	233.2
JUNIO	238.8	244.1	220.7	223.1	233.2	230.7	220.9	219.7	243.8	215.6	220.0
JULIO	237.7	234.7	240.4	247.3	236.6	241.8	236.3	246.7	246.5	235.3	241.4
AGOSTO	219.4	216.4	213.1	216.0	211.5	208.4	218.3	211.2	224.2	223.0	209.9
SEPTIEMBRE	167.0	151.6	144.3	173.5	163.8	170.5	161.2	149.4	147.8	157.1	164.8
OCTUBRE	127.5	107.1	111.7	100.4	111.3	110.1	104.9	128.0	111.8	125.4	125.3
NOVIEMBRE	74.8	88.2	76.0	76.6	86.9	84.7	73.6	91.6	94.0	86.8	76.5
DICIEMBRE	51.7	64.5	64.0	65.5	74.7	73.8	79.7	71.9	62.6	61.9	58.9
ANUAL	1846.2	1790.8	1782.5	1818.7	1807.9	1877.1	1770.5	1815.6	1825.7	1817.8	1770.2

Tabla 6-2. Radiación Global Horizontal Mensual 2000-2010

RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL MENSUAL (kWh/m <sup>2</sup> )										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
ENERO	72.3	92.6	80.2	72.8	89.8	71.0	91.3	78.0	85.5	
FEBRERO	100.0	127.5	100.2	82.0	99.4	93.1	79.4	109.9	109.4	
MARZO	132.8	154.7	114.8	153.4	151.8	163.8	146.0	129.1	162.1	
ABRIL	162.4	176.2	170.7	176.8	173.5	166.8	192.3	175.6	172.6	
MAYO	211.4	223.7	199.3	240.2	238.1	206.8	220.4	205.6	234.1	
JUNIO	239.3	237.5	236.8	235.4	230.0	245.7	245.1	220.0	244.6	
JULIO	248.5	253.3	244.4	238.7	252.0	242.6	242.5	250.3	227.0	
AGOSTO	212.4	221.7	212.6	227.8	201.9	223.9	215.7	220.2	219.9	
SEPTIEMBRE	165.5	157.8	159.6	151.9	173.4	176.1	177.0	174.3	161.6	
OCTUBRE	126.9	116.7	121.2	127.8	106.2	121.4	134.5	119.7	128.7	
NOVIEMBRE	82.3	69.9	95.3	79.3	95.6	84.7	96.0	76.1	72.1	
DICIEMBRE	79.7	68.6	76.8	77.5	71.7	76.3	80.1	81.7	68.6	
ANUAL	1833.4	1900.3	1812.1	1863.7	1883.5	1872.1	1920.2	1840.6	1886.3	

Tabla 6-3. Radiación Global Horizontal Mensual 2011-2019

RADIACIÓN DIRECTA NORMAL MENSUAL (kWh/m <sup>2</sup> )											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ENERO	163.0	88.2	123.7	140.1	121.7	187.6	119.1	119.7	126.7	88.5	85.2
FEBRERO	190.4	111.2	137.3	121.6	106.6	170.0	109.5	88.9	111.4	126.1	77.3
MARZO	178.5	128.2	146.7	127.5	143.4	121.7	137.6	191.4	196.8	149.9	118.2
ABRIL	123.8	222.1	167.4	161.5	200.6	223.9	141.8	131.6	182.4	203.9	159.0
MAYO	187.4	184.3	225.7	248.0	169.6	222.1	190.4	219.0	142.7	236.1	240.2
JUNIO	264.6	271.1	208.0	205.1	256.3	232.5	216.9	224.3	277.6	206.3	218.6
JULIO	264.2	250.3	263.1	274.0	245.2	268.6	259.8	290.8	289.6	276.5	272.1
AGOSTO	250.2	246.3	226.9	234.8	240.9	225.9	251.3	229.7	275.3	279.3	228.5
SEPTIEMBRE	191.4	148.7	127.6	214.4	187.3	207.8	176.4	136.9	160.1	169.1	200.3
OCTUBRE	167.4	111.7	123.3	99.2	128.4	132.1	115.9	177.1	139.1	176.6	159.8
NOVIEMBRE	93.7	134.8	97.2	98.9	141.3	120.3	101.2	144.3	150.4	122.9	111.4
DICIEMBRE	66.0	90.6	91.6	107.5	134.5	116.3	148.5	122.4	98.7	85.7	77.7
ANUAL	2140.5	1987.4	1938.6	2032.5	2075.9	2228.9	1968.3	2076.1	2150.7	2121.0	1948.3

Tabla 6-4. Radiación Directa Normal Mensual 2000-2010

RADIACIÓN DIRECTA NORMAL MENSUAL (kWh/m <sup>2</sup> )										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
ENERO	91.0	167.8	124.2	92.9	160.3	85.5	165.6	119.9	156.0	
FEBRERO	145.1	214.2	141.6	83.4	133.1	96.6	65.7	154.7	165.6	
MARZO	136.7	175.8	95.3	171.5	184.2	199.2	157.3	119.3	208.0	
ABRIL	153.5	163.5	164.7	172.8	153.6	149.9	196.1	153.7	177.2	
MAYO	184.1	218.1	161.1	270.4	246.1	201.7	214.6	183.6	273.3	
JUNIO	252.0	245.2	241.9	240.1	240.9	268.8	267.3	205.7	283.6	
JULIO	280.9	291.8	240.0	260.3	287.3	261.0	271.3	287.9	232.9	
AGOSTO	222.2	235.0	74.7	282.7	201.2	258.9	241.7	235.2	266.7	
SEPTIEMBRE	198.1	175.1	153.2	151.4	184.6	213.4	224.0	188.9	180.7	
OCTUBRE	179.8	149.1	145.0	152.4	98.3	145.4	185.0	144.7	173.4	
NOVIEMBRE	117.2	93.1	157.1	95.9	168.8	125.0	166.0	87.5	95.0	
DICIEMBRE	140.7	108.2	102.7	139.4	102.0	138.8	148.2	148.4	113.0	
ANUAL	2101.3	2236.8	1801.7	2113.2	2160.4	2144.2	2302.6	2029.7	2325.3	

Tabla 6-5. Radiación Directa Normal Mensual 2011-2019

	<b>RADIACIÓN DIFUSA HORIZONTAL MENSUAL</b>			
	<b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>			
	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>ENERO</b>	33.2	22.8	25.8	24.4
<b>FEBRERO</b>	40.2	46.5	28.2	28.3
<b>MARZO</b>	41.3	45.8	48.7	37.4
<b>ABRIL</b>	59.5	54.4	61.4	52.2
<b>MAYO</b>	58.6	61.4	66.3	44.2
<b>JUNIO</b>	48.3	49.3	64.2	42.6
<b>JULIO</b>	49.5	46.8	43.4	56.5
<b>AGOSTO</b>	42.9	45.9	47.4	38.9
<b>SEPTIEMBRE</b>	36.7	34.3	43.3	44.1
<b>OCTUBRE</b>	39.9	31.7	34.9	34.4
<b>NOVIEMBRE</b>	27.2	23.2	31.5	29.6
<b>DICIEMBRE</b>	21.6	22.2	22.3	25.3
<b>ANUAL</b>	499.0	484.5	517.4	457.9

Tabla 6-6. Radiación Difusa Horizontal Mensual 2016-2019

En las tablas anteriores aparecen en color rojo los máximos de radiación para cada mes y en azul los mínimos. El año 2017 es el de mayor radiación global horizontal, el año 2019 el de mayor radiación directa normal y el 2018 el de mayor radiación difusa horizontal. Los valores mínimos de radiación global horizontal se dan en el año 2010, de radiación directa normal en 2013 y de radiación difusa horizontal en 2019.

En primer lugar se analizan los valores mensuales de la componente global horizontal de la radiación para el año 2017. Destacan tres meses, septiembre, octubre y noviembre, por representar el máximo mensual de los 20 años en estudio. Calculando la diferencia porcentual entre el máximo y el valor promedio de los tres meses se obtiene un 9, 13.7 y 15.6% respectivamente. 2017 es el único año que cuenta con tres meses cuyos valores de radiación global horizontal acumulada mensual es máxima. Además, pese a no ser los valores máximos mensuales, los meses de enero, abril, junio, agosto y noviembre están muy cerca del máximo, con lo cual, es coherente que la suma total sea tan elevada. Además, cabe destacar que el año 2012 es el segundo con mayor global horizontal acumulada y con un valor muy próximo al de 2017. En este año se puede observar que al igual que en el caso anterior, casi la mitad de los meses del año tienen valores muy parecidos al máximo mensual.

Para el caso de radiación directa normal, en el año 2019 llaman la atención cuatro meses. Los que se corresponden con los valores máximos mensuales son marzo, mayo y junio, mientras que julio tiene un valor mínimo de directa normal mensual. Los registros de radiación directa normal presentan más irregularidades que la radiación global horizontal, por lo que la diferencia porcentual es bastante más elevada. En este caso, para los meses de marzo, mayo y junio es del 34.8, 29.6 y 17.5% respectivamente. Marzo y mayo cuentan generalmente con elevada variabilidad, por lo que si aquí se dan valores altos y esto no se contrarresta con mínimos importantes es probable que la acumulada anual se incremente. Si se calcula para julio la diferencia entre el mínimo de este año y el valor promedio se obtiene un 13.21%. El hecho de que los porcentajes calculados para marzo, mayo y junio sean considerablemente mayores radica en la estabilidad del mes de julio. Aun siendo el mínimo mensual, el valor de la radiación es alto, característico de los meses de verano. Para éstos, el número de días despejados suele ser alto. Como conclusión de este breve análisis cabe decir que a la vista de los valores mensuales es lógico que el año 2019 sea uno de los que mayor radiación global horizontal presenta ya que cuenta con máximos en meses relevantes y el mínimo en un mes que no va a afectar demasiado.

En el caso de radiación difusa horizontal, hay que tener en cuenta, como ya se ha comentado anteriormente, el hecho de que sus valores no han sido corregidos entre 2000-2015. Por lo tanto, estos valores pueden presentar muchas irregularidades. En consecuencia, se analizará exclusivamente el periodo corregido, es decir, 2016-2019. Es importante decir que a principios del año 2018 se instala el dispositivo “Kipp & Zonen CMP10 with shading ball”, con lo cual las medidas pasan a ser mucho más precisas.

Para este periodo de tiempo, el año 2018 es el que cuenta con un valor mayor. Destacan ocho valores acumulados mensuales, correspondientes a los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y noviembre. De éstos, los únicos que representan valores mensuales mínimos son febrero y julio, siendo aun así el valor de este último alto, al tratarse del verano. La diferencia porcentual con respecto al promedio es del 12.5, 8, 15.1, 25.6, 8.2 y 13.2% en los meses de marzo, abril, mayo junio, agosto y noviembre, mientras que para febrero y julio es 21.2 y 11.6%. Con todo esto, es más que lógico que este año sea el de mayor radiación difusa horizontal.

Si se pasa a analizar el año con radiación global horizontal anual mínima, 2010, cabe destacar que la diferencia porcentual del valor de radiación global horizontal acumulada anual es de un 3.6% respecto al promedio. Esto quiere decir que todos los años tienen un valor muy parecido y que por ello el hecho de que el año 2010 tenga un valor menor no es muy significativo.

En el caso de la radiación directa normal anual mínima se analiza el año 2013. No se encuentra ningún mes que represente el máximo y en cuanto a mínimos aparece marzo y agosto. La clave en este año está en que el valor de agosto es significativamente bajo, lo que sin duda provoca que este año sea el mínimo. Probablemente hubo un periodo extenso en el que las medidas no se midieron correctamente.

Por otra parte se pueden observar que los valores acumulados máximos y mínimos de radiación global horizontal y radiación directa normal mensuales no siempre coinciden, no se encuentra por lo tanto una relación clara entre ambos.

Por último, en cuanto a la radiación difusa horizontal, el año con menor cantidad en el periodo de estudio es el 2019. Este año destacan de nuevo ocho meses, marzo, abril, mayo, junio y agosto con valores acumulados mensuales mínimos, y julio, septiembre y diciembre con valores acumulados máximos. La diferencia porcentual con respecto al promedio de los valores mínimos es 13.7, 8.3, 23.3, 16.6 y 11.1% y para valores máximos 15.1, 11.4 y 10.7% respectivamente. A pesar de que el mes de agosto tiene un valor muy elevado comparado con el resto de años, esto no compensa el hecho de que el resto de meses tengan valores muy próximos a los mínimos mensuales. Además, el resto de valores máximos no son muy altos comparados con el promedio y sin embargo los valores mínimos mensuales son considerablemente menores que éste.

En las siguientes gráficas se muestra el valor mensual de las variables de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal para los 20 años analizados.

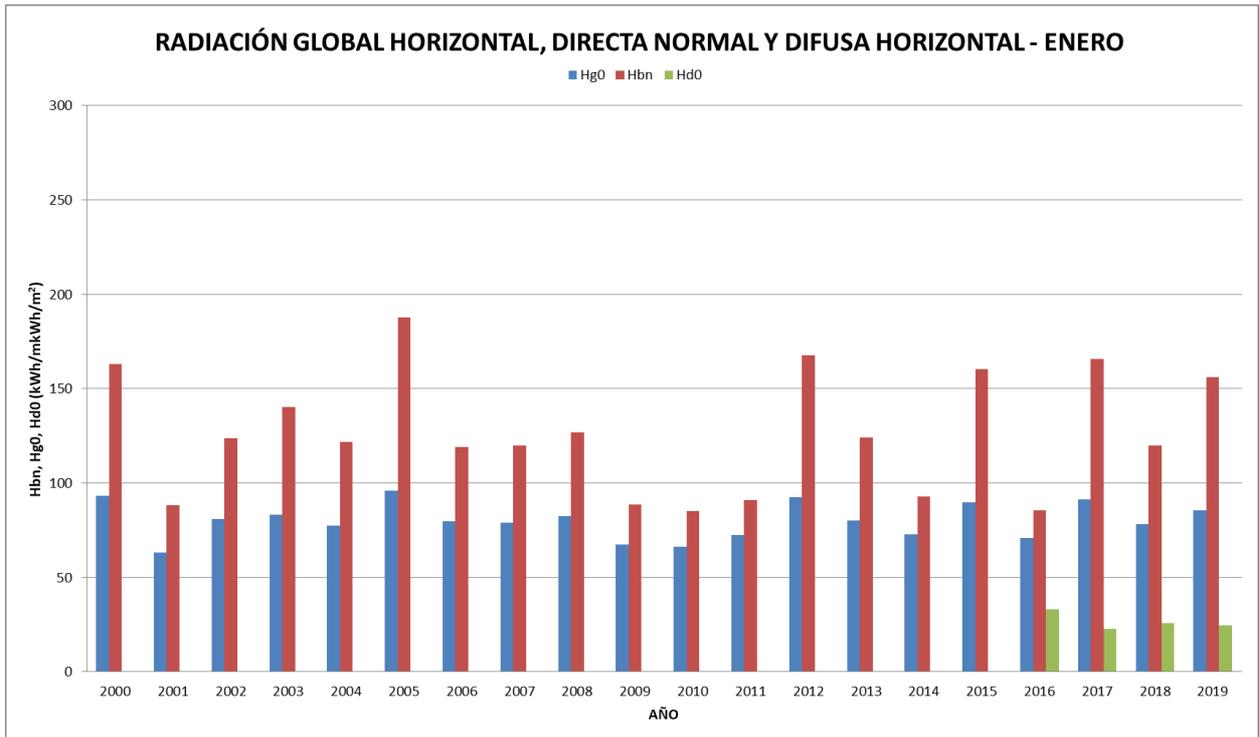


Figura 6-9. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Enero)

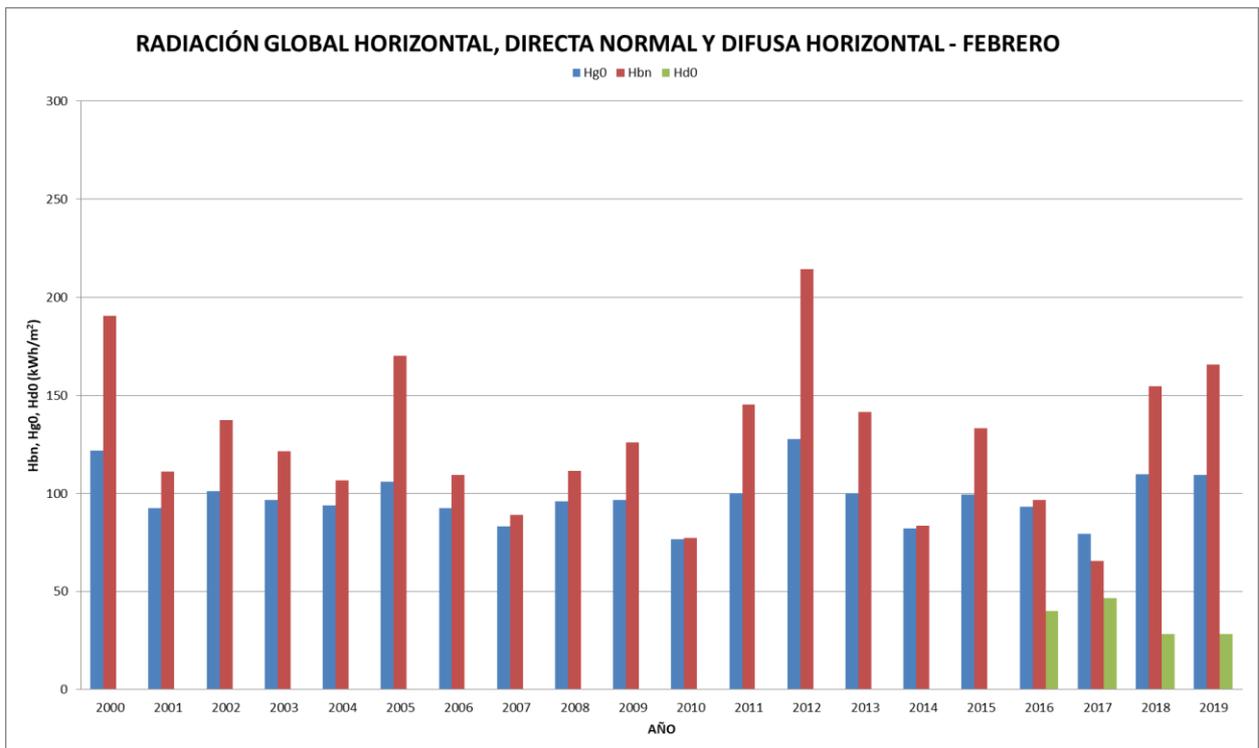


Figura 6-10. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Febrero)

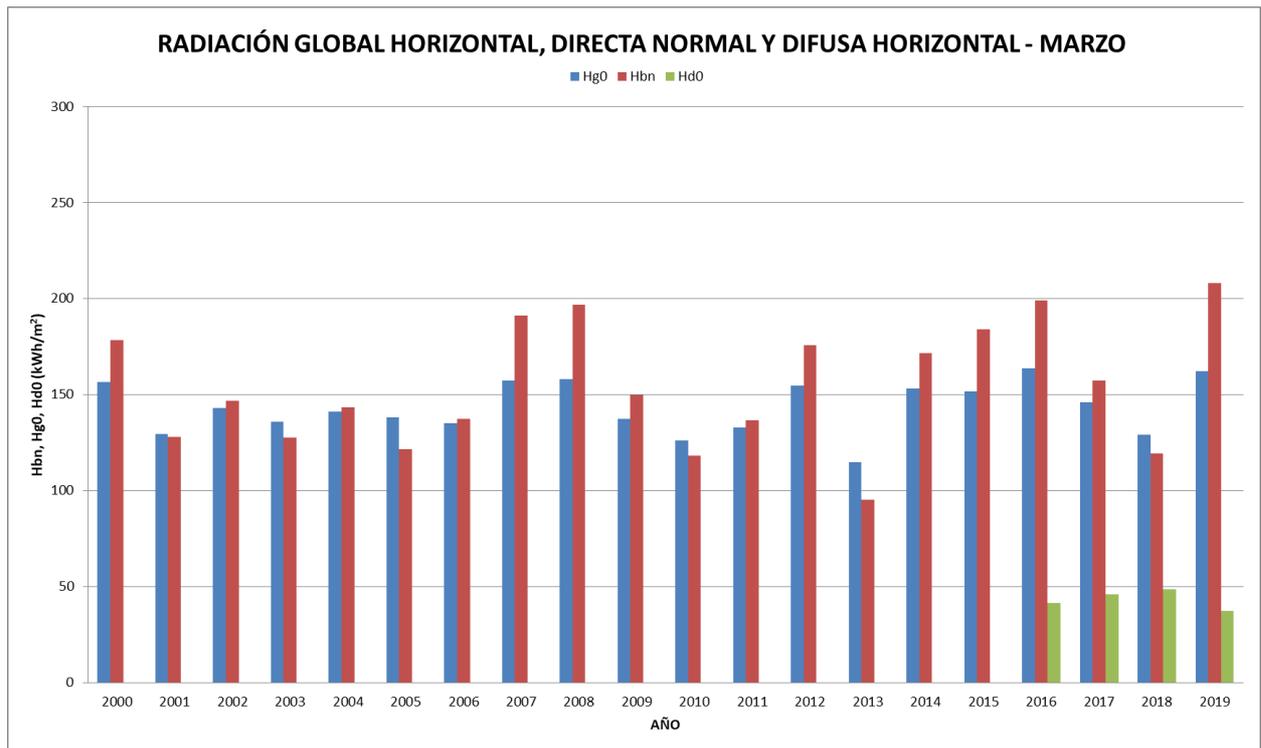


Figura 6-11. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Marzo)

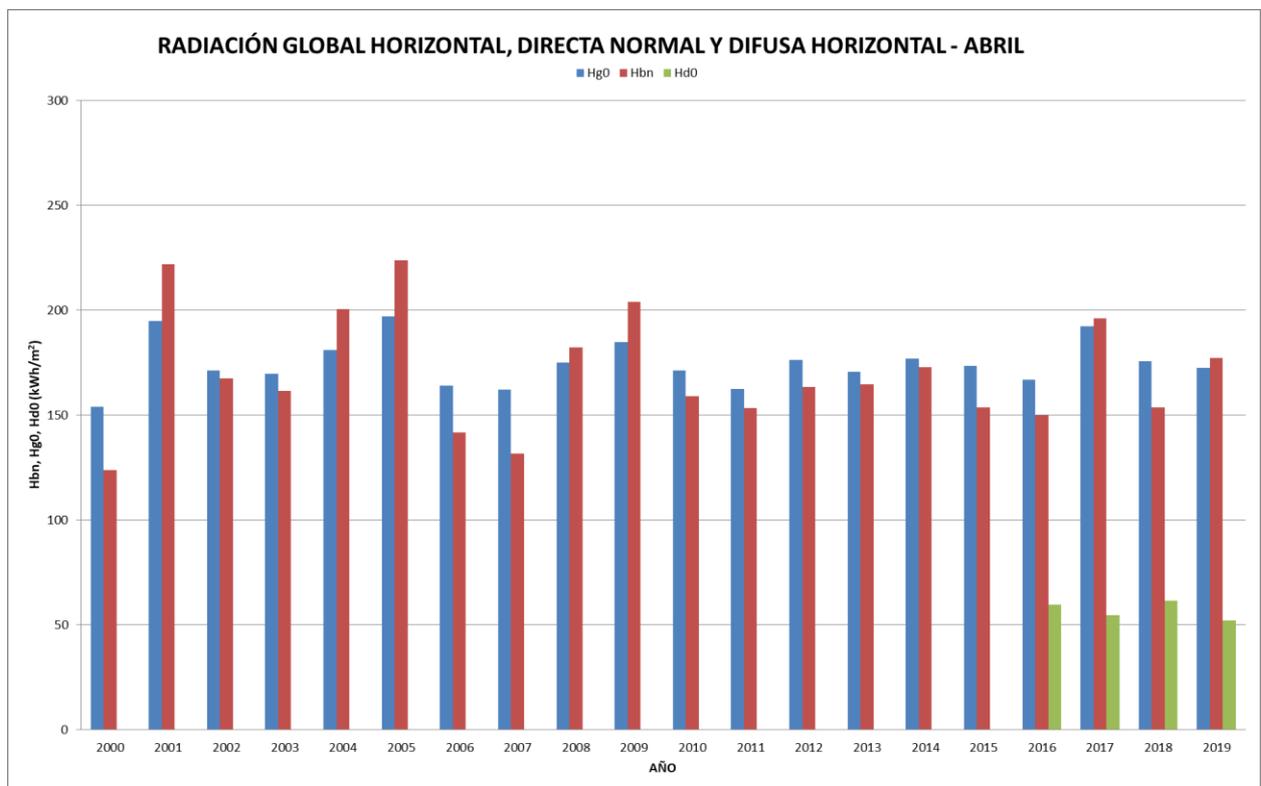


Figura 6-12. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Abril)

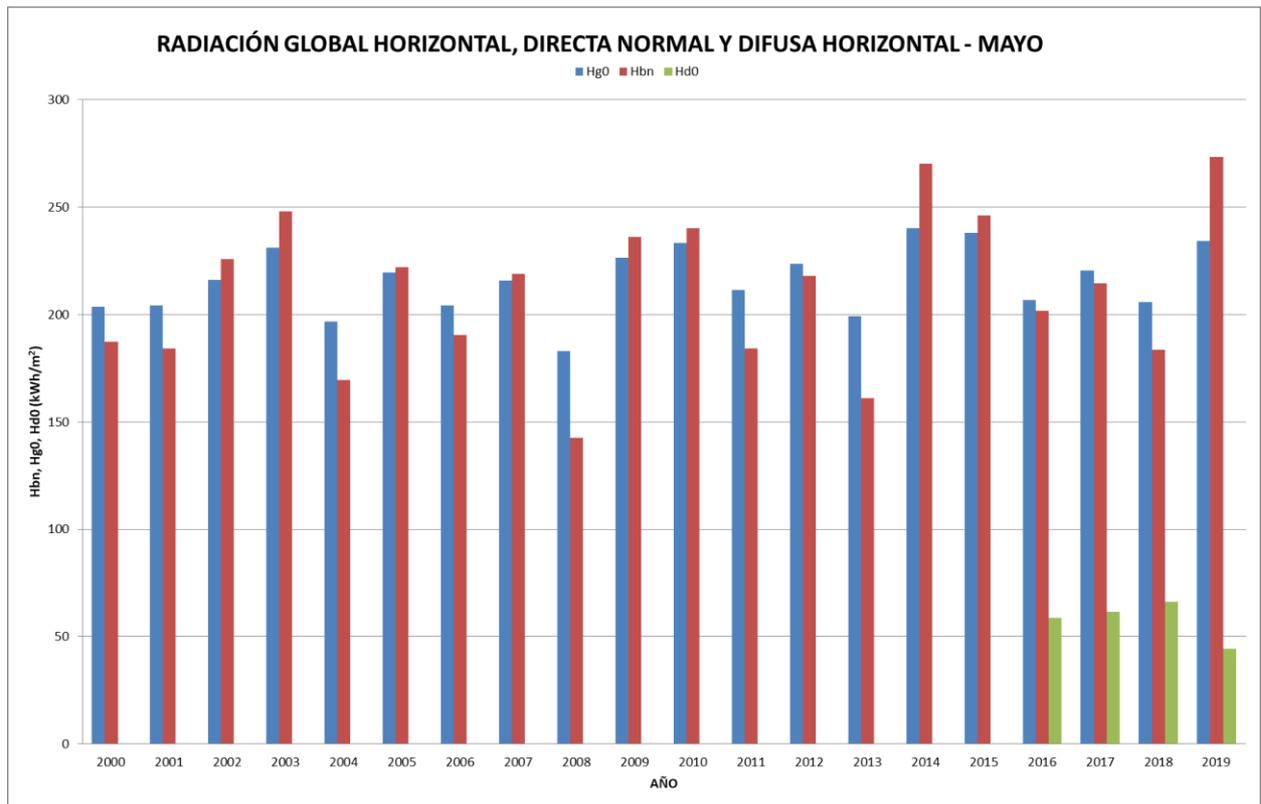


Figura 6-13. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Mayo)

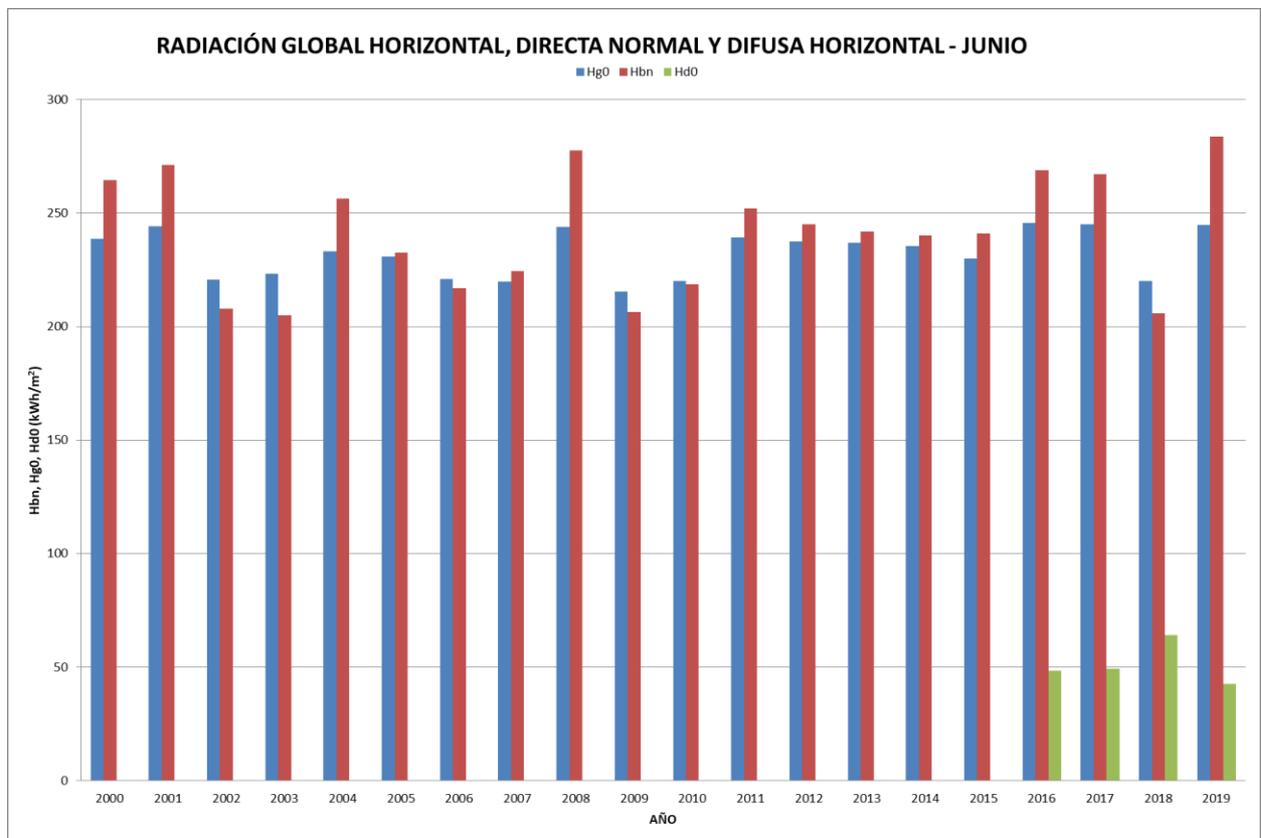


Figura 6-14. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Junio)

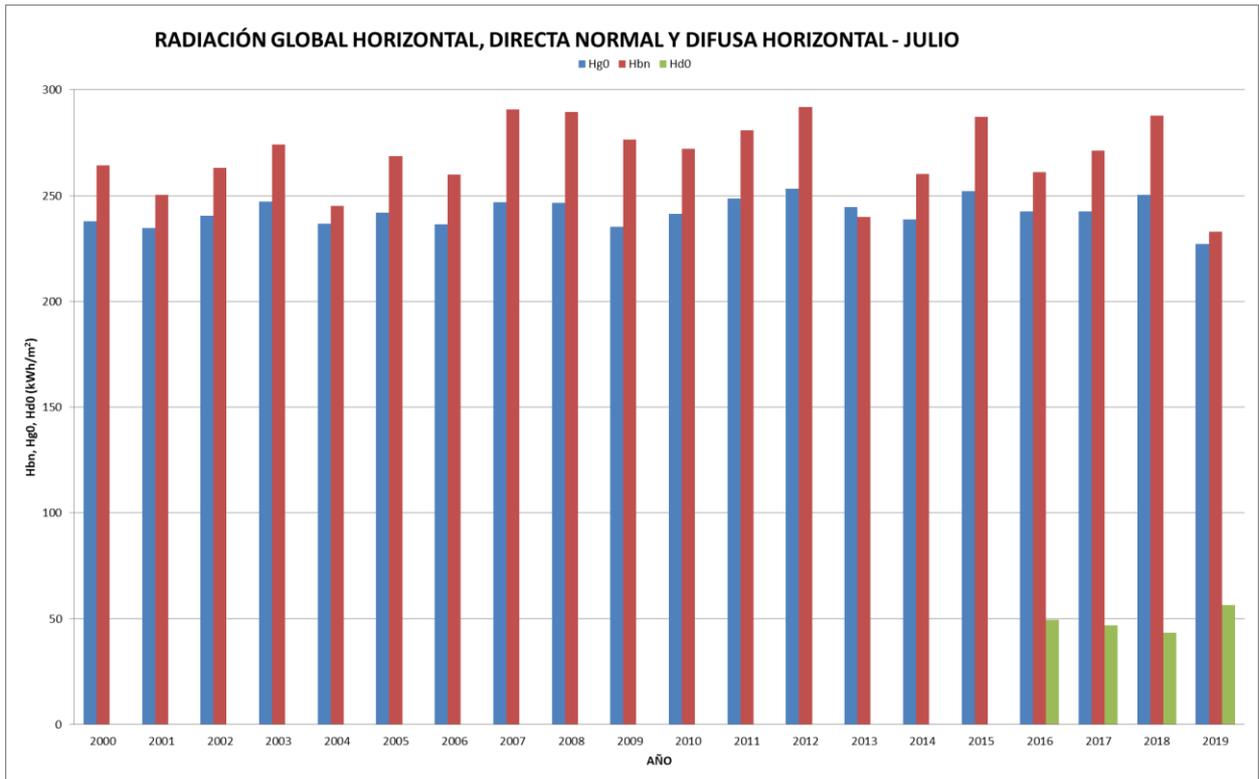


Figura 6-15. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Julio)

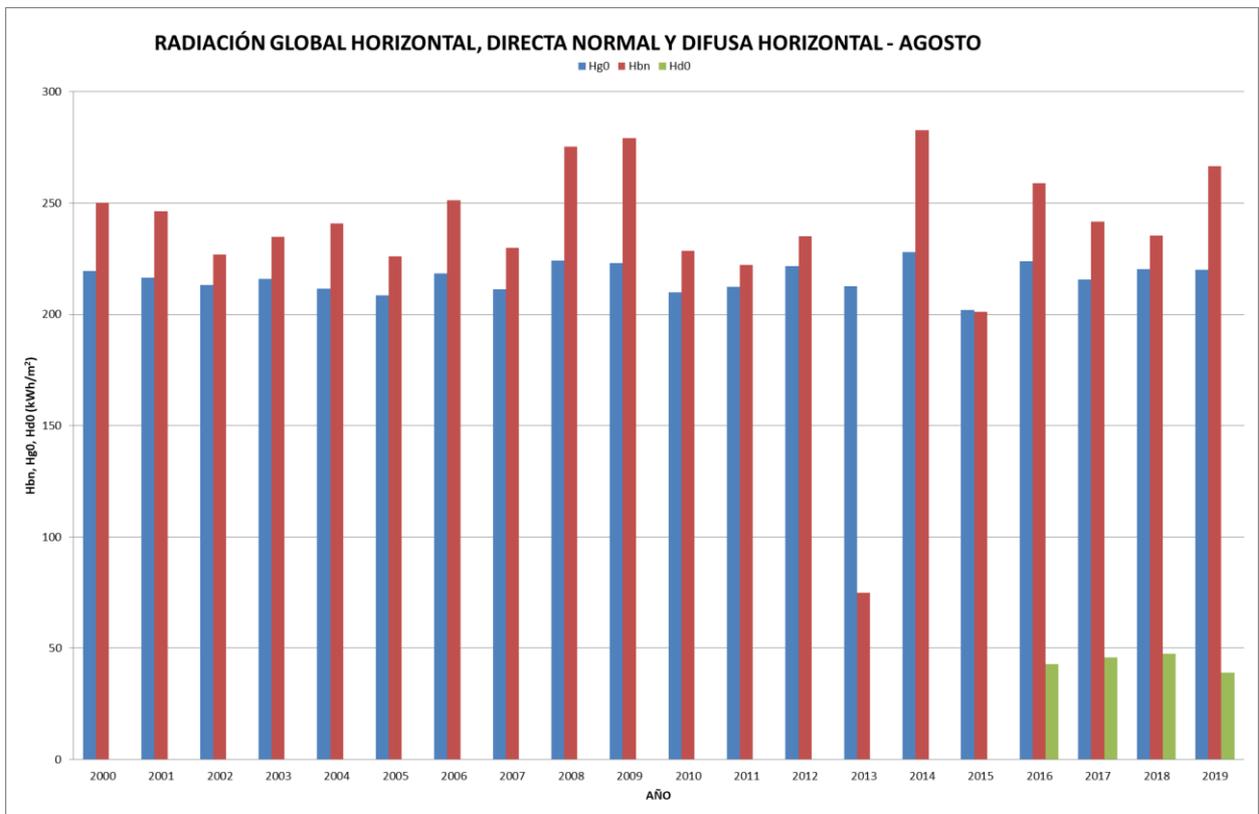


Figura 6-16. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Agosto)

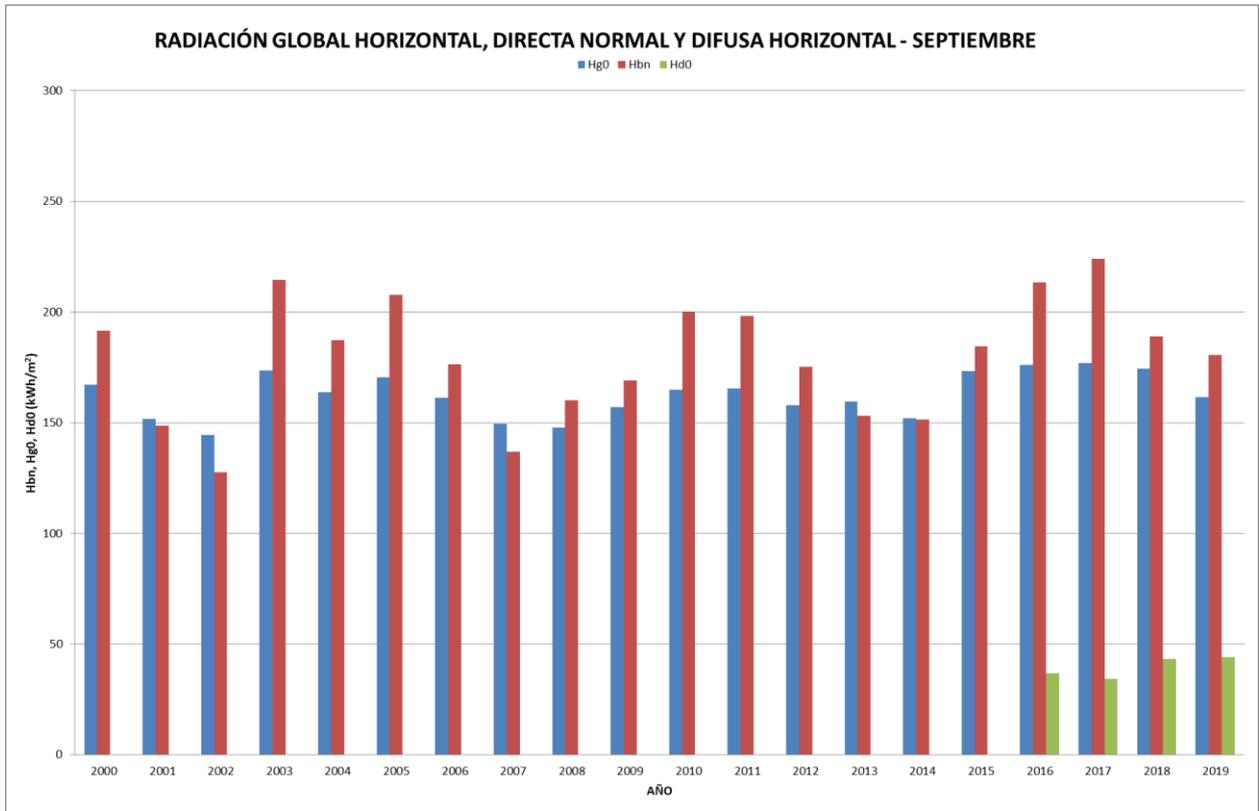


Figura 6-17. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Septiembre)

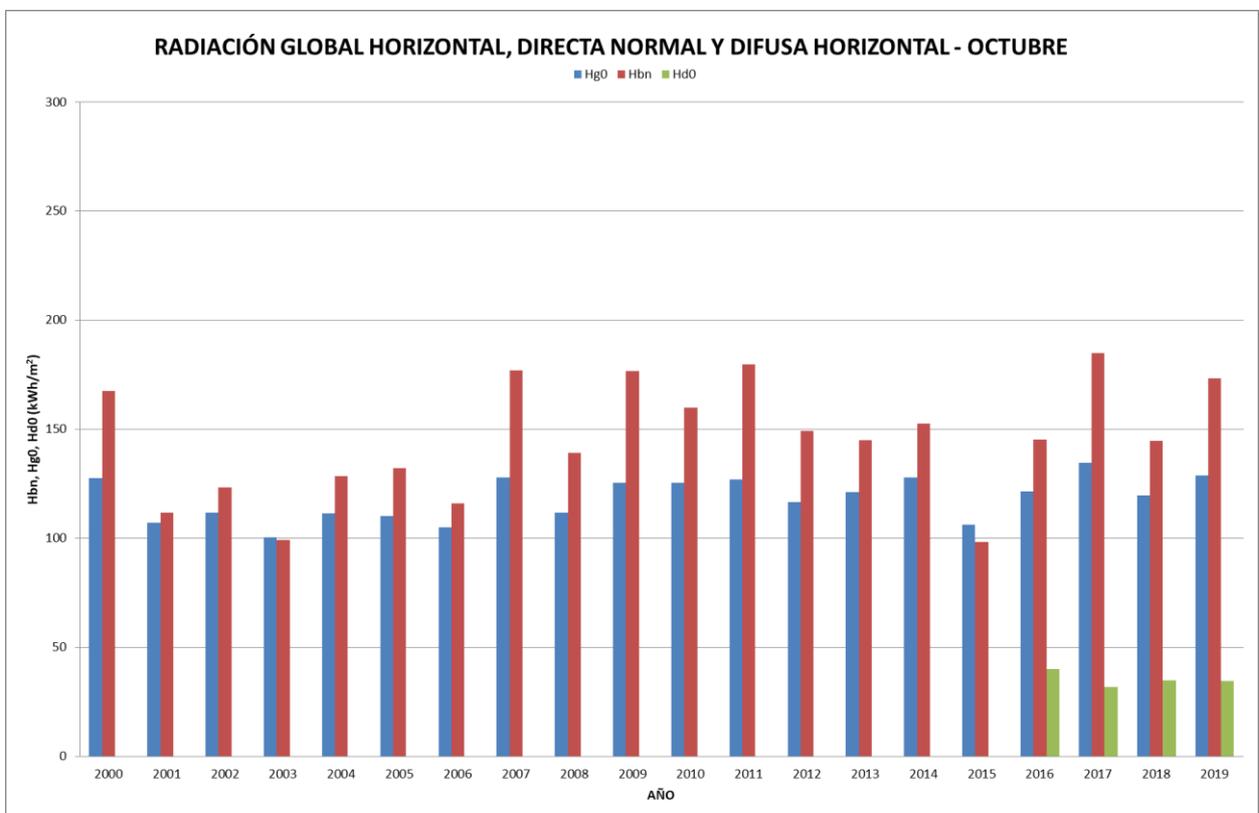


Figura 6-18. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Octubre)

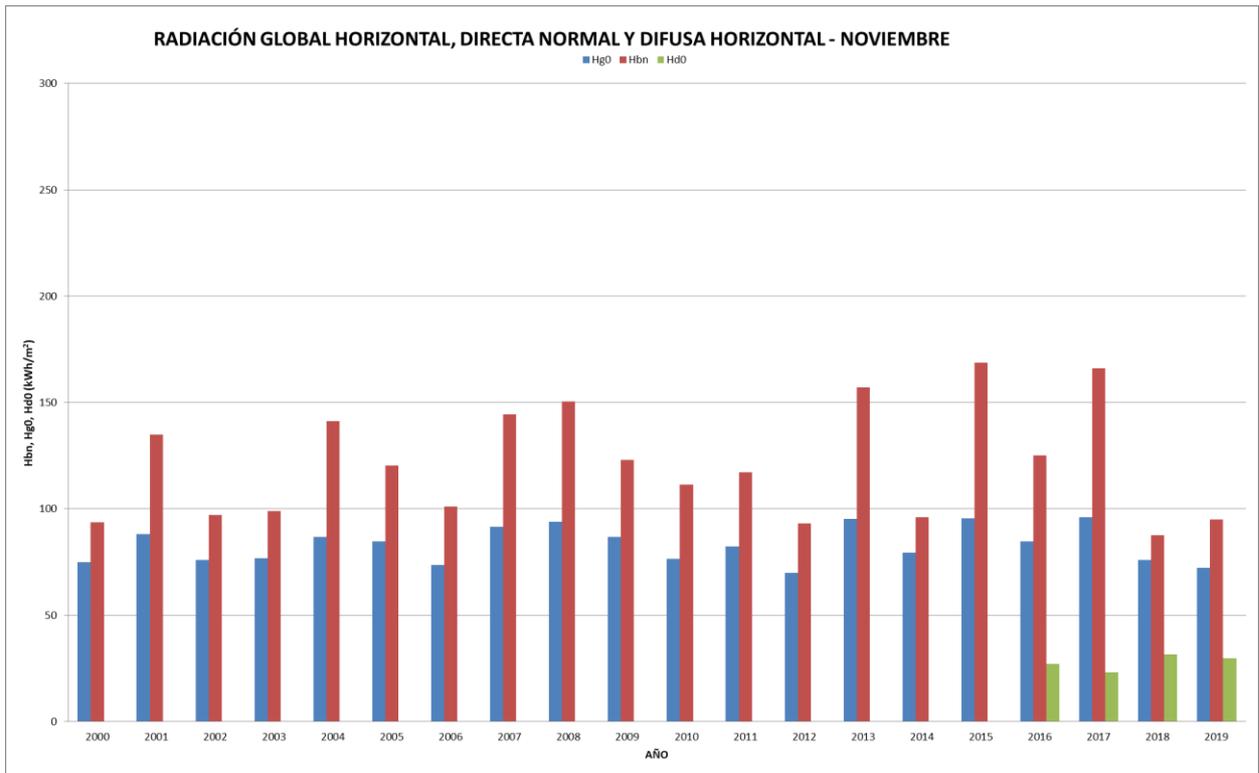


Figura 6-19. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Noviembre)

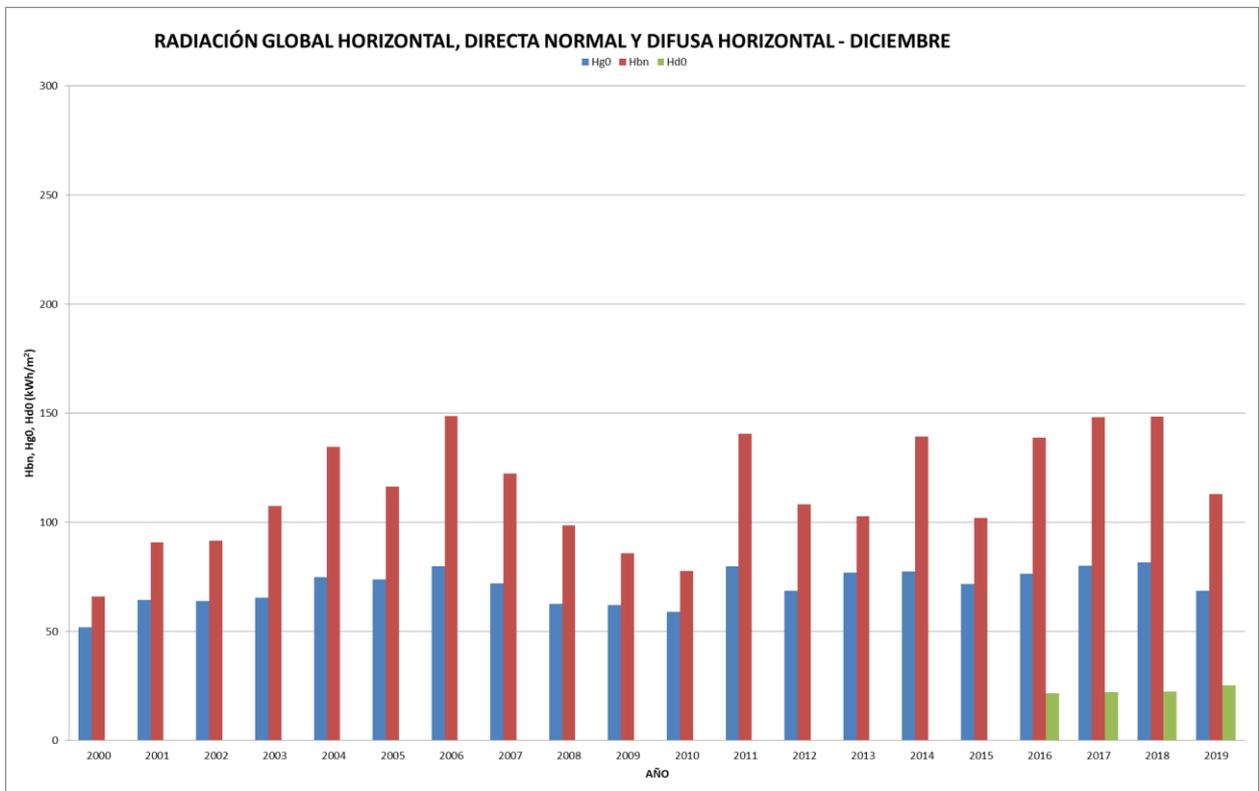


Figura 6-20. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal (Diciembre)

## 6.2 Resultados anuales

Por último se añaden la tabla y gráfica correspondientes a los valores de radiación anual acumulada.

	<b>RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL ANUAL</b>	<b>RADIACIÓN DIRECTA NORMAL ANUAL</b>	<b>RADIACIÓN DIFUSA HORIZONTAL ANUAL</b>
	<b>kWh/m2</b>		
<b>2000</b>	1846.2	2140.5	-
<b>2001</b>	1790.8	1987.4	-
<b>2002</b>	1782.5	1938.6	-
<b>2003</b>	1818.7	2032.5	-
<b>2004</b>	1807.9	2075.9	-
<b>2005</b>	1877.1	2228.9	-
<b>2006</b>	1770.5	1968.3	-
<b>2007</b>	1815.6	2076.1	-
<b>2008</b>	1825.7	2150.7	-
<b>2009</b>	1817.8	2121.0	-
<b>2010</b>	1770.2	1948.3	-
<b>2011</b>	1833.4	2101.3	-
<b>2012</b>	1900.3	2236.8	-
<b>2013</b>	1812.1	1801.7	-
<b>2014</b>	1863.7	2113.2	-
<b>2015</b>	1883.5	2160.4	-
<b>2016</b>	1872.1	2144.2	499.0
<b>2017</b>	1920.2	2302.6	484.5
<b>2018</b>	1840.6	2029.7	517.4
<b>2019</b>	1886.3	2325.3	457.9

Tabla 6-7. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual 2000-2019

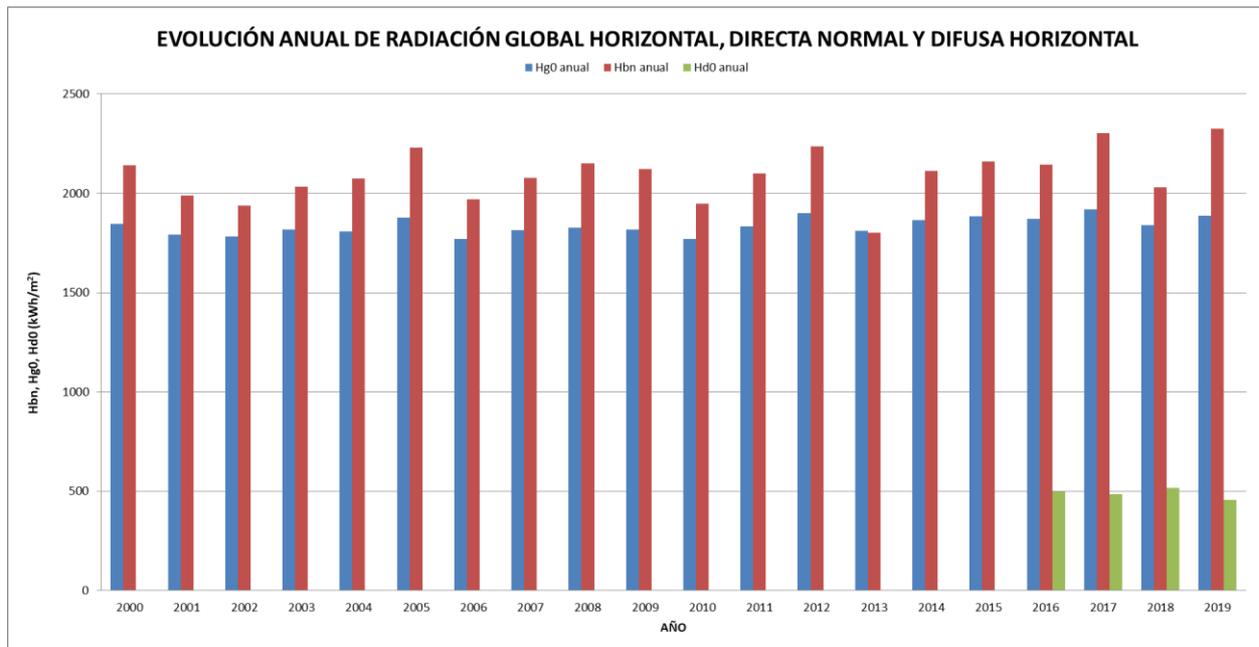


Figura 6-21. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual 2000-2019

En la gráfica de la Figura 6-21 se observa que los resultados obtenidos son bastante uniformes, sobre todo en el caso de la radiación global horizontal. Como consecuencia de distintos factores (claridad del día analizado, situación atmosférica, etc.) a un mismo valor de radiación global horizontal le pueden corresponder diferentes radiaciones directas normales. Es por esto que para años con acumuladas de radiación global horizontal similares se pueden encontrar distintos niveles de radiación directa normal.

Dado que el estudio ha sido realizado para los años 2016-2019, se analiza más en profundidad este periodo. La Tabla 6-8 destaca los valores máximos y mínimos.

	RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL ANUAL	RADIACIÓN DIRECTA NORMAL ANUAL	RADIACIÓN DIFUSA HORIZONTAL ANUAL
	kWh/m2		
<b>2016</b>	1872.0	2140.7	499.2
<b>2017</b>	1920.2	2302.5	484.5
<b>2018</b>	1840.6	2028.7	517.4
<b>2019</b>	1886.3	2324.2	457.9

Tabla 6-8. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual, 2016-2019

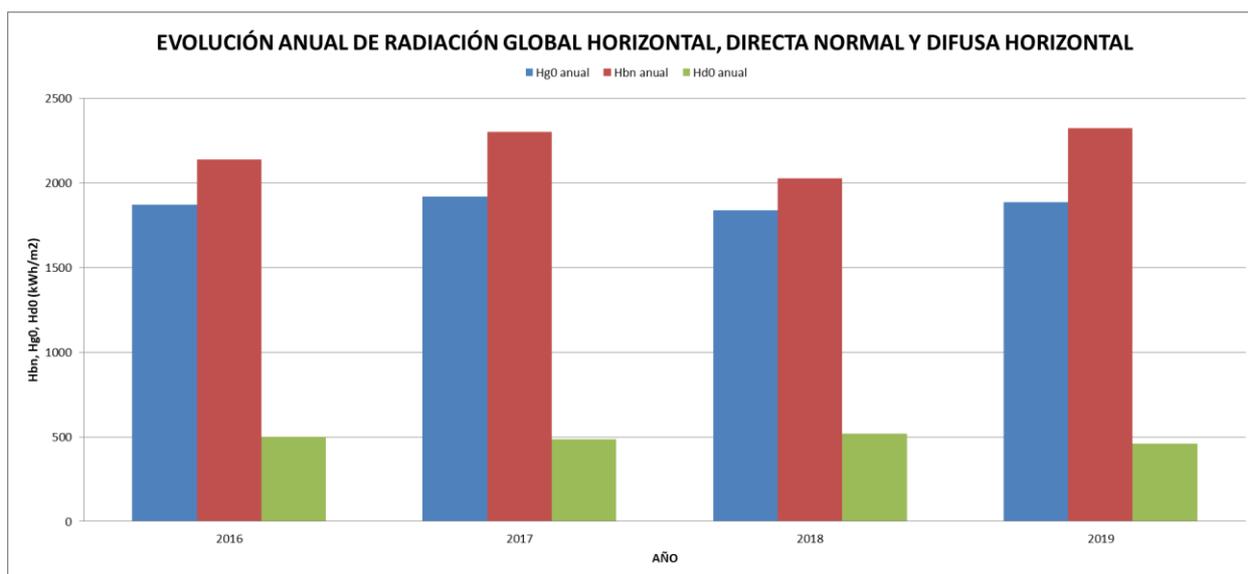


Figura 6-22. Radiación Global Horizontal, Directa Normal y Difusa Horizontal Anual, 2016-2019

A continuación se realiza un análisis detallado de estos años para evaluar la validez de la metodología aplicada así como la influencia en los resultados de las distintas soluciones adoptadas.

	2016	2017	2018	2019
CORRECTOS	68.6%	65.5%	69.3%	68.2%
DESCARTADOS	2.5%	0.5%	7.4%	0.3%
CASO A	2.7%	0.3%	0.3%	0.5%
CASO B.1	3.0%	8.2%	7.4%	14.8%
CASO B.2	19.7%	17.0%	0.5%	0.0%
CASO C	3.6%	8.5%	2.7%	3.0%
CASO D	0.0%	0.0%	12.3%	13.2%

Tabla 6-9. Reparto de días según clasificación, años 2016-2019

Con la información proporcionada en la Tabla 6-9 se comprueba que para estos cuatro años, más de un 65% de los días han sido clasificados como correctos, lo cual representa un porcentaje muy importante y denota la fiabilidad de los datos registrados.

En el caso de los años 2016 y 2017, el siguiente grupo con mayor representación es el caso B.2, que supone el 19.7 y 17%, respectivamente. Si se tiene en cuenta que el proceso de corrección aplicado a estos días generalmente afecta a intervalos menores de una hora y que se encuentran en las cercanías del orto o del ocaso, se puede considerar que la radiación acumulada no se ve alterada de manera importante. Por lo tanto, el valor de radiación diaria acumulada para el 88.3 y 82.5% de los días no ha sido prácticamente modificado. Esto aporta mayor fiabilidad a los resultados obtenidos para el 2017.

En los años 2018 y 2019, es interesante destacar la relación existente entre radiación directa normal y radiación difusa horizontal, ya que a principios del 2018 se añade a la estación el piranómetro con sistema de sombreado de bolas con el fin de medir con más exactitud la radiación difusa horizontal. Este aparato ya se utilizaba para recoger los datos de radiación directa normal. Con lo cual, mide a la vez las dos variables. En la Tabla 6-8 se comprueba que en el 2018 la radiación directa normal es el valor acumulado anual menor y la difusa horizontal es el mayor, mientras que en el 2019 es al revés.

En el 2018 además, tanto el valor de radiación directa normal como el de radiación global horizontal son los mínimos, mientras que el de radiación difusa horizontal es el máximo. Es lógico pensar que esto pueda ocurrir debido a que la componente directa normal es la que normalmente posee los valores más elevados, por ello, si es la mínima, la radiación global horizontal tiene muchas posibilidades de ser la mínima también. Aunque el valor de la radiación difusa horizontal es el máximo, este valor sigue siendo pequeño como para compensar que la radiación directa normal sea tan baja.

### 6.3 Comparación de días analizados y días originales

Desde el punto de vista práctico, resulta muy interesante comprobar la desviación existente entre los días corregidos y los días originales, es decir, aquellos en los que sus registros no han sido modificados. Muchas de las estaciones radiométricas existentes no revisan sus registros ni mantienen sus equipos de medida al día. Con lo cual, con este pequeño análisis se muestra el error que se estaría cometiendo si se utilizaran estos datos directamente, sin hacer un previo estudio o comprobación de su estado, tomando por ejemplo el dato de la variable radiométrica del día anterior en caso de días sin registros o con valores de las variables iguales a cero.

	Hbn	Hg0	Hd0
<b>2016</b>	3.2%	0.4%	3.2%
<b>2017</b>	0.3%	-0.2%	-3.2%
<b>2018</b>	2.8%	1.5%	0.2%
<b>2019</b>	0.2%	-82.6%	-0.6%

Figura 6-23. Comparación de valores acumulados de los años corregidos con los no corregidos

Como se puede observar en la Figura 6-23, de manera general la desviación es pequeña, salvo en el caso de la radiación global horizontal del año 2019, que durante un periodo de tiempo extenso (alrededor de 50 días), el piranómetro tiene un fallo debido a ruido y se deben corregir todos estos días. De la misma forma, en el año 2016, hubo un periodo relativamente largo de días en los que las medidas de radiación directa normal y radiación difusa horizontal fueron erróneas.

Con esto se pretende poner de relieve el hecho de que, si en la estación radiométrica del GTER, en la cual se hace un seguimiento exhaustivo diario de sus equipos, se producen pequeñas irregularidades, en el caso de otras estaciones que no se analicen de la misma forma, las diferencias se acentuarían considerablemente, llevando a quien haga uso de esos datos a errores significativos.



# 7 CONCLUSIONES, LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS Y RECOMENDACIONES

---

En el presente proyecto se ha analizado y corregido la base de datos de medidas de radiación global horizontal, radiación directa normal y radiación difusa horizontal de la estación del GTER de la Escuela de Ingenieros de Sevilla en el periodo 2016-2019, cumpliendo así el objetivo de obtener un periodo completo de medidas de cuatro años. La validez de los datos corregidos ha sido contrastada comparando los valores de radiación global horizontal acumulada con los de otras estaciones disponibles. Tan solo se hace con esta componente ya que no existen registros históricos de radiación directa normal para grandes periodos en otras estaciones. Además, tanto los registros de radiación global horizontal como de radiación directa normal han sido contrastados con estudios previos del GTER entre los años 2000-2015. Es precisamente por esto por lo que la base de datos obtenida adquiere especial importancia, ya que el hecho de realizar las correcciones durante un periodo de tiempo extenso es muy útil para proyectos y desarrollo de modelos de plantas de Energía Solar en la zona. Por otra parte se debe destacar que todos los procedimientos diseñados y posteriormente empleados para corregir la base de datos del GTER están basados en fundamentos teóricos.

Merece ser destacado el estudio realizado de la radiación difusa horizontal debido a que es la primera vez que se realiza en el GTER. Esto proporciona una base de datos más completa que podrá servir para futuros estudios y proyectos. Por otro lado, como ya se ha comentado anteriormente, esta variable es fundamental tenerla en cuenta para proyectos de Energía Solar Fotovoltaica debido a que es la única tecnología que hasta ahora tiene posibilidad de utilizarla para transformarla en electricidad.

Los puntos que a continuación se comentan son recomendaciones relacionadas con posibles vías de investigación o mejoras en el mantenimiento de la estación de medidas.

- Aquí se ha tratado un periodo de cuatro años de medidas. Ya que la base de datos radiométricos del GTER comenzó a registrar medidas en el año 1984, son 35 los años de los que se dispone. Debido a que el periodo 2000-2019 ya está corregido, se plantea la posibilidad de ampliar el proceso realizado para los 15 años restantes.
- Corregir los registros de radiación difusa horizontal en el periodo 2000-2015 ayudaría a los datos posteriores a adquirir más fiabilidad.
- Hacer un estudio en más profundidad de la comparativa entre la corrección del caso A a través del modelo  $M_d-M_i$  comentado anteriormente (1) o a través de la ecuación teórica (Ec. 4-1). Estudiar también la posibilidad de corregir los años anteriores al 2016 a partir de la ecuación.

- Tener especial cuidado en limpiar los piranómetros dado que se registran muchos días con irregularidades debidas a fenómenos como la suciedad o el rocío.
  
- Tener en cuenta la sombra que un edificio cercano provoca en cierto periodo de tiempo sobre las medidas. A ser posible, modificar la posición de los dispositivos de medidas afectados para evitar estas medidas erróneas.
  
- Llevar a cabo un seguimiento exhaustivo del diario de la estación, anotando todas las incidencias que tienen lugar es de gran utilidad ya que se puede tener certeza del origen del problema que hay que solucionar. Este seguimiento se ha realizado únicamente a partir del año 2007. Se recomienda que se continúe para los siguientes ya que supone una gran ventaja a la hora de completar la base de datos contar con este tipo de información.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

---

1. **Aparicio, Elena Pérez.** *Metodología para el análisis y corrección de la base de datos meteorológicos del GTER. Aplicación al periodo 2000-2009.* Sevilla : s.n., 2011.
2. **Grupo de Termodinámica y Energías Renovables.** [En línea] <http://estacionmeteo.us.gter.es/>.
3. **Kipp and Zonen.** [En línea] <https://www.kippzonen.es/Product/211/CMP21-Piranometro>.
4. **Atersa. Grupo Elecnor.** [En línea] <http://www.atersa.com/en/products-services/additional-equipment/calibrated-cells/compensated-6-calibrated-cell/>.
5. **Campbell.** [En línea] <https://www.campbellsci.es/sp1110>.
6. **Hukseflux.** [En línea] <https://www.hukseflux.com/products/solar-radiation-sensors/pyranometers/sr20-pyranometer>.
7. **Kintech Engineering.** [En línea] <https://www.kintech-engineering.com/catalogue/solar/eko-ms80/>.
8. **Kipp and Zonen.** [En línea] <https://drive.google.com/file/d/1gVnpeovDrmljp0idLYtv8ENE4PDF2Aey/view>.
9. **Kipp and Zonen.** [En línea] [https://drive.google.com/file/d/16eH3cb3\\_AmZJdNA\\_6TnL-ouDgRppF8Qz/view](https://drive.google.com/file/d/16eH3cb3_AmZJdNA_6TnL-ouDgRppF8Qz/view).
10. **The Eppley Laboratory.** [En línea] <https://drive.google.com/file/d/1b9uSjF2frLIIYOTB9SB4stSV9O9B77ty/view>.
11. **Kipp and Zonen.** [En línea] [https://drive.google.com/file/d/1-23rU4uQiYEWq\\_8OpShj0Q5tvViZyypg0/view](https://drive.google.com/file/d/1-23rU4uQiYEWq_8OpShj0Q5tvViZyypg0/view).
12. **Kipp and Zonen.** [En línea] <https://www.kippzonen.com/Product/61/POM-02-Sky-Radiometer>.
13. **Lufft.** [En línea] <https://drive.google.com/file/d/1r76EdAd9uHdkeiHCjHnFFxbQN2nMrYmP/view>.
14. **The Eppley Laboratory.** [En línea] [https://drive.google.com/file/d/1BR5y5\\_ggV7OA9ynu7v8T8zX0s3jWKDVN/view](https://drive.google.com/file/d/1BR5y5_ggV7OA9ynu7v8T8zX0s3jWKDVN/view).
15. **Gobierno de España.** SIAR. [En línea] <http://eportal.mapa.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>.