



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA TEMPERATURA PARA APLICACIONES FOTOVOLTAICAS EN JAÉN

Alumno/a: Artiga Miranda, Sara

Tutor/a: Prof. D. Leocadio Hontoria García
Prof. D. Catalina Rus Casas

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Diciembre, 2018

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Antecedentes.....	6
2.1. Modelos para la determinación de las componentes difusa y directa.....	7
3. Objetivos.....	14
4. Justificación	14
4.1. Energías Renovables en España.....	15
4.2. Objetivos Energéticos en España y Europa	16
4.3. Mercado Energético.....	16
5. Marco Teórico.....	17
5.1. Radiación Solar	18
5.1.1. El Efecto Fotovoltaico	18
5.1.2. La naturaleza de la radiación solar	18
5.1.3. Parámetros solares.....	20
5.1.4. La radiación solar en los sistemas fotovoltaicos	26
5.2. Año Meteorológico Típico	26
5.2.1. Construcción del AMT	26
5.2.2. Test de Bondad de Ajuste, Kolmogorov – Smirnov	27
6. Desarrollo del proyecto.....	28
6.1. Errores en la medición.....	28
6.1.1. Introducción.....	28
6.1.2. Factores factibles influyentes en la medición de los datos.....	29
6.1.3. Errores hallados y cometidos en la medición de datos	29
6.2. Caracterización solar	39
6.2.1. Información horaria.....	39
6.2.2. Información diaria.....	44
6.3. Correlaciones KT – KD	48
6.4. Año Meteorológico Típico	49
6.5. Ordenación y Análisis de Temperatura	62
7. Conclusiones	67
8. Bibliografía.....	68
9. Referencias	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen de las energías renovables.....	5
Figura 2. Evolución de las instalaciones fotovoltaicas mundiales anuales. Fuente SPE.	17
Figura 3. Tipos de radiación sobre una superficie.	19
Figura 4. Movimientos de traslación de la Tierra.	20
Figura 5. Posición de la Tierra respecto del Sol en el solsticio de invierno.	22
Figura 6. Coordenadas solares.....	23
Figura 7. Gráfica de la Radiación Extraterrestre Diaria.....	25
Figura 8. Tabla anual de valores KD y KT para el año 1996 y su representación gráfica.....	41
Figura 9. Gráfica de distribución horaria para los años 1996 – 2003.	48
Figura 10. Gráfica de distribución diaria para los años 1996 – 2011.....	49
Figura 11. Representación gráfica de la distribución mensual media para el mes de abril.	56
Figura 12. Representación gráfica de todos los meses del periodo anual 1996 – 2011.	66
Figura 13. Representación gráfica de todos los meses de todos los años en conjunto y obtención de la expresión.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Errores año 1996.	30
Tabla 2. Errores año 1997.	31
Tabla 3. Errores año 1998.	31
Tabla 4. Errores año 1999.	32
Tabla 5. Errores año 2000.	32
Tabla 6. Errores año 2001.	33
Tabla 7. Errores año 2002.	33
Tabla 8. Errores año 2003.	34
Tabla 9. Errores año 2005.	35
Tabla 10. Errores año 2006.	35
Tabla 11. Errores año 2007.	36
Tabla 12. Errores año 2008.	36
Tabla 13. Errores año 2009.	37
Tabla 14. Errores año 2010.	37
Tabla 15. Errores año 2011.	38
Tabla 16. Error cometido a lo largo de todo el periodo.	38
Tabla 17. Tablas mensuales de los valores KD y KT para el año 1996.	40
Tabla 18. Ejemplo de los valores calculados para el año 2006. Día 1 de Enero.	43
Tabla 19. Representación en tablas de los cálculos de KT diaria para el año 2007.	45
Tabla 20. Representación en tablas de los cálculos de medias y desviaciones típicas para el año 2007.	45
Tabla 21. Ejemplo de Radiación Difusa Diaria para el año 2002.	46
Tabla 22. Ejemplo de Fracción de Difusa Diaria para el año 2002.	46
Tabla 23. Ejemplo de Radiación Directa Diaria para el año 1998.	47
Tabla 24. Cuadro Radiación Diaria Media Mensual. Criterio I.	50
Tabla 25. Cuadro de diferencias entre radiación diaria media mensual y su valor medio. Criterio I.	51
Tabla 26. Criterio I del AMT para la ciudad de Jaén.	52
Tabla 27. AMT Criterio I.	53
Tabla 28. Ejemplo tabla de frecuencias absolutas para el año 2007.	54
Tabla 29. Ejemplo tabla de frecuencias relativas para el año 2007.	55
Tabla 30. Ejemplo tabla Kolmogorov para el año 2007.	57
Tabla 31. Cuadro Diferencia Máxima de Frecuencias Relativas. Criterio II.	58
Tabla 32. Cuadro Sumatoria de todas las diferencias de frecuencias relativas. Criterio II.	59
Tabla 33. Criterio II del AMT para la ciudad de Jaén.	60
Tabla 34. AMT Criterio II.	61
Tabla 35. Ejemplo de documento ASCII con temperaturas.	63
Tabla 36. Ejemplo de Ordenación de Temperaturas y cálculos de temperaturas medias horarias para el año 2005.	64
Tabla 37. Cuadro de cálculo de temperaturas medias diarias para el año 2005.	65
Tabla 38. Cuadro de cálculo de temperaturas medias mensuales para el año 2005. ..	66

1. Introducción

La vida es imposible concebirla sin energía, ya que forma parte imprescindible de la actividad humana: cocina nuestros alimentos, mueve nuestro vehículos, calienta e ilumina las viviendas, etcétera.

La fuente por excelencia de energía de la Tierra es la proveniente del Sol. A excepción de las energías nucleares y geotérmicas, el resto de fuentes de energía usadas por el hombre, provienen del Sol.

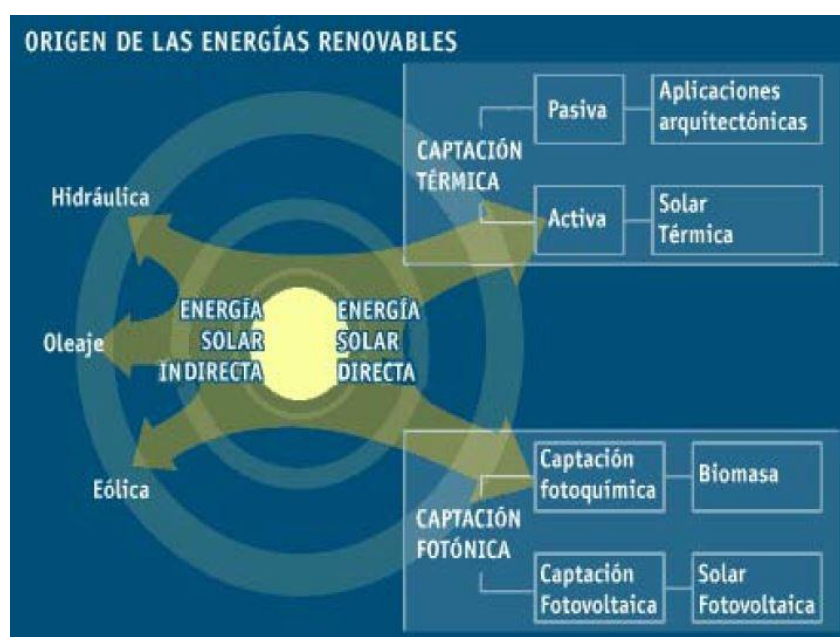


Figura 1. Origen de las energías renovables.

El aprovechamiento natural de la energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. La mayor parte de la energía utilizada por los seres vivos procede del Sol: las plantas la absorben directamente para ejecutar la fotosíntesis, los herbívoros absorben indirectamente una pequeña cantidad comiendo las plantas y los carnívoros una cantidad más pequeña comiendo a los herbívoros.

La energía solar, a través del proceso de fotosíntesis, influye en el crecimiento de la biomasa que, junto con la madera y los combustibles fósiles son el resultado de la energía de origen solar acumulada en determinados organismos.

La energía que generan las aguas en movimiento al pasar por turbinas produce energía hidroeléctrica.

La interacción de la energía del sol, los océanos y la atmósfera produce

vientos, que se han utilizado durante siglos para mover los molinos.

Cuando existen grandes masas de agua con distintas temperaturas se produce una transferencia de calor que se puede aprovechar para producir energía mecánica que acciona una turbina y ésta, un generador eléctrico.

La radiación solar se puede definir como el flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. Ésta es caracterizada en el presente proyecto.

Como bien se ha comentado anteriormente existen diferentes tipos de energía solar:

- *Energía Solar Fotovoltaica*: consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Este tipo de energía, a menudo se la denomina directamente energía fotovoltaica.
- *Energía Solar Térmica*: consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire.
- *Energía Solar Pasiva*: consiste en el diseño de edificios solares pasivos, ventanas, paredes y pisos están hechos para recolectar, almacenar y distribuir energía solar en forma de calor en el invierno y rechazar el calor solar en el verano.

Los parámetros que caracterizan a la radiación solar forman parte esencial de la misma tal como se estudiarán en los apartados siguientes y que muestra una serie de correlaciones en función de estos parámetros.

Se debe destacar la importancia de recabar grandes cantidades de datos y resumirlos obteniéndose el Año Meteorológico Típico (AMT).

2. Antecedentes

Han sido muchos los investigadores que han realizado caracterizaciones de radiación solar como estudiantes de la Universidad de Jaén con sus proyectos de fin de carrera '*Obtención del año meteorológico típico (AMT) para Jaén*', '*Obtención de correlaciones índice de claridad y fracción de difusa en la ciudad de Jaén*'; y también

de otras universidades con su tesis doctoral '*Caracterización de la radiación solar para aplicaciones fotovoltaicas en el caso de Madrid*'.

Con estos trabajos se llegaron a grandes resultados, aunque necesitan ampliarse y mejorarse.

Por ese motivo, este trabajo ha servido para ampliar información para posteriores mejoras en las aplicaciones prácticas como por ejemplo en el dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos.

Los modelos recogidos en la Tesis Doctoral de Macagnan [1] han servido como base para la obtención de datos horarios que a continuación se muestran.

2.1. Modelos para la determinación de las componentes difusa y directa

La determinación de estas componentes a partir de radiación global es importante en muchas áreas de la energía solar, principalmente en la estimación de la radiación sobre superficies inclinadas a partir de los valores de la radiación horizontal. Para que esa estimación tenga lugar, exige trabajar con cada una de estas componentes por separado.

Existen un gran número de modelos para la determinación de las componentes difusa y directa. Parte significativa de estos modelos es que son locales, esto es, contruidos a partir de datos de una única localidad. Un modelo adecuado para el cálculo de la componente difusa y/o directa de la radiación solar, para ser eficaz, debería considerar los efectos de cinco variables principales: el camino recorrido por los rayos del Sol (masa de aire o ángulo de elevación), la nubosidad (cantidad de agua precipitable), la turbidez y la reflexión múltiple entre la superficie terrestre y el cielo (o albedo).

La obtención de las componentes solares sería una tarea relativamente fácil si estas variables se midiesen de forma rutinaria y estuviesen disponibles para los usuarios. Sin embargo, la realidad es que existen muy pocos lugares que dispongan de estas informaciones. La solución es, entonces, buscar un modelo que utilice menos variables pero que estén ampliamente disponibles y que sean para datos horarios.

Entre los modelos horarios más conocidos, se encuentran el de *Orgill y Hollands* el de *Erbs et al*, el de *Reindl et al*, el de *Skartveit y Olseth* y el

recientemente propuesto modelo de *Maxwell*.

- *Modelo O&H, de Orgill y Hollands [2].*

Estos autores, basándose en datos medidos en Toronto, Canadá, propusieron la correlación siguiente:

$$KD = 1,0 - 0,249KT; \quad \text{para } 0 \leq KT < 0,35$$

$$KD = 1,557 - 1,84KT; \quad \text{para } 0,35 \leq KT \leq 0,75$$

$$KD = 0,177; \quad \text{para } KT > 0,75$$

- *Modelo ER, de Erbs y otros [3].*

Inspirado en datos de 4 localidades de Estados Unidos, entre latitudes de 31°N hasta 42°N, consiste en las relaciones polinómicas, dadas por:

$$KD = 1,0 - 0,09KT; \quad \text{para } KT \leq 0,22$$

$$KD = 0,9511 - 0,1604KT + 4,388KT^2 - 16,638KT^3 + 12,336KT^4; \quad \text{para } 0,22 < KT \leq 0,80$$

$$KD = 0,165; \quad \text{para } KT > 0,80$$

- *Modelo RE1 y RE2, de Reindl y otros [4].*

Utilizaron datos de cinco localidades, con latitudes entre 28°N y 60°N. Desde el punto de vista empírico, es el trabajo más completo que se conoce. Hicieron exhaustivos análisis de los posibles predictores (variables climáticas) que redujeran el error típico asociado a los modelos del tipo de Liu y Jordan. Entre los muchos predictores analizados están: la temperatura ambiente, la temperatura de psicrómetro húmedo, la humedad relativa, la altitud solar, la masa de aire, el índice de claridad, etc. Las cuatro variables climáticas finalmente elegidas son, por orden de importancia: índice de claridad, KT , el seno de la altitud solar, $\sin \alpha$, la temperatura ambiente, T_a , y la humedad relativa, ϕ_r . En vista de que ni la temperatura ambiente, ni la humedad relativa están fácilmente disponibles en Madrid, se analizan solamente las versiones

reducidas de estos modelos. El primer modelo, llamado RE1 está dado por:

$$KD = 1,020 - 0,254KT + 0,0123 \sin \alpha ; \quad \text{para } KT \leq 0,3$$

Con la restricción $KD \leq 1,0$.

$$KD = 1,4 - 1,749KT + 0,177 \sin \alpha ; \quad \text{para } 0,3 < KT < 0,78$$

Con las restricciones $KD \leq 0,97$ y $KD \geq 0,1$ y

$$KD = 0,486KT + 0,182 \sin \alpha ; \quad \text{para } KT \geq 0,78$$

Con la restricción $KD \geq 0,1$.

Las restricciones impuestas eliminan la posibilidad de resultados no razonables que, de otra forma, se obtienen con algunas combinaciones de las variables involucradas.

Para comparar con los modelos del tipo Liu y Jordan, estos autores propusieron otro modelo, llamado RE2, y dado por:

$$KD = 1,020 - 0,248KT; \quad \text{para } KT \leq 0,3$$

Con la restricción $KD \leq 1,0$.

$$KD = 1,45 - 1,67KT; \quad \text{para } 0,3 < KT < 0,78$$

Y

$$KD = 0,147; \quad \text{para } KT \geq 0,78$$

- *Modelo S&O, de Skartweit y Olseth [5].*

Para la elaboración de este modelo, los autores utilizaron datos de Bergen, Noruega (latitud 60,4°N). Este es el modelo encontrado en la literatura que utiliza datos de un sitio con mayor latitud. Está definido por:

Para $KT \leq K_0$

$$KD = 1,0$$

Para $K_0 \leq KT \leq ZK_1$

$$KD = f(KT) = 1 - (1 - d_1)(a\sqrt{K} + (1 - a)K^2)$$

Donde

$$K = 0,5 \left(1 + \sin \left[\pi \left(\frac{KT - K_0}{K_1 - K_0} - 0,5 \right) \right] \right)$$

Para $KT \geq ZK_1$

$$KD = 1 - ZK_1(1 - f(ZK_1))/KT$$

Donde

$$K_0 = 0,20$$

$$K_1 = 0,87 - 0,56 \exp(-0,06\alpha)$$

$$Z = 1,09$$

$$d_1 = 0,15 + 0,43 \exp(-0,06\alpha)$$

$$\alpha = 0,27$$

Siendo α es el ángulo de elevación solar en grados.

- *Modelo MAX, de Maxwell [6].*

Este modelo, en realidad, calcula la fracción directa, KB, definida como la relación entre la irradiación directa normal y la extraterrestre. Necesita como datos de entrada solamente KT y m, la masa del aire. Es llamado, “cuasi-físico” porque considera el parámetro físico KBC, definido como el valor máximo de KB para una masa de aire dada. El modelo caracteriza de la siguiente manera:

Si $KT \leq 0,60$

$$a = 0,512 - 1,56KT + 2,286KT^2 - 2,222KT^3$$

$$b = 0,370 + 0,962KT$$

$$c = 0,280 + 0,932KT - 2,048KT^2$$

Si $KT > 0,60$

$$a = -5,743 + 21,77KT - 27,49KT^2 + 11,56KT^3$$

$$b = 41,40 - 118,5KT + 66,05KT^2 + 31,90KT^3$$

$$c = -47,01 + 184,2KT - 222,0KT^2 + 73,81KT^3$$

La variación de KB está dada por:

$$\Delta KB = a + b \exp(cm)$$

Y la fracción directa se determina mediante:

$$KB = KBC - \Delta KB$$

La irradiación directa viene dada, entonces, por:

$$B = B_0 \cdot KB$$

Donde

$$KBC = 0,886 - 0,122m + 0,0121m^2 - 0,000653m^3 + 0,000014m^4$$

Como la irradiancia difusa es la diferencia entre la global y la directa:

$$D(0) = G(0) - B \cos \theta_z$$

Y dividiendo ambos lados de la expresión por $G(0)$, resulta:

$$\frac{D(0)}{G(0)} = KD = 1 - \frac{B \cos \theta_z}{G(0)}$$

- *Modelo local MA1 [7].*

Este modelo, creado exclusivamente con los datos de irradiación global y difusa medidos en Madrid, utiliza una ecuación polinómica, cuyos parámetros se ajustaron mediante el método de los mínimos cuadrados no-lineales. Los intervalos de validez de cada ecuación se establecieron de forma que minimizasen la suma de los cuadrados de los residuos. Este modelo se define mediante:

$$KD = 0,996 + 0,0424KT - 0,586KT^2; \quad \text{para } 0 \leq KT < 0,2$$

$$KD = 1,11 - 0,203KT - 2,52KT^2 + 0,617KT^3 + 1,063KT^4; \quad \text{para } 0,2 \leq KT < 0,75$$

$$KD = -0,0169 - 0,99KT + 1,63KT^2; \quad \text{para } KT \geq 0,75$$

- *Modelo local MA2 [8].*

Como el anterior, ha sido construido con datos medidos en Madrid. Tiene dos variables de entrada, como el modelo de Reindl, k_t y $\sin \alpha$. Se expresa de la siguiente manera:

$$KD = 0,9955 + 2,3979KT - 0,7033 \sin \alpha; \quad \text{para } KT \leq 0,18$$

$$KD = 1,123 - 1,22KT + 0,000273 \sin \alpha; \quad \text{para } 0,18 < KT \leq 0,81$$

$$KD = 1,47 - 1,466KT - 0,081 \sin \alpha; \quad \text{para } KT > 0,81$$

- *Modelo local MA3 [9].*

Este modelo utiliza, además de k_t , el número relativo de horas de Sol diaria, esto es, la longitud del día, s , dividida por la longitud astronómica del día, s_0 , dada por:

$$s_0 = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \lambda \tan \delta)$$

Las medidas de s se obtienen de un registrador Campbell-Stokes. Este registrador consiste básicamente de una esfera de cristal que actúa como una lente esférica para enfocar los rayos del Sol en un cinta de papel colocada en la base de la esfera, de forma que cuando el Sol no está oculto por nubes y la irradiancia directa incidente está por encima de un determinado valor produce una marca en la cinta. Sin embargo, la definición de este nivel umbral de irradiancia es extremadamente complicado pues, por ejemplo, en un día claro, atmósfera seca y una cinta muy seca, este nivel puede ser tan bajo como 70 Wm^{-2} , mientras que en una situación opuesta, puede estar en el orden de 280 Wm^{-2} . El valor recomendado por la WMO es de 200 Wm^{-2} .

En el caso de no disponer de datos medidos de s , como es el de Madrid, puesto que el Instituto Nacional de Meteorología sólo los publica en base media

mensual, puede recurrirse a su estimación a partir de los propios datos de radiación, calculando, por medio de una interpolación lineal entre dos valores consecutivos de irradiación, la fracción de tiempo en que la irradiación está por encima de un determinado nivel. Después de ensayar varios valores, se optó por elegir el umbral de 150 Wm^{-2} . Los valores obtenidos con esta aproximación se compararon con los valores medios mensuales publicados por el mismo Instituto y el procedimiento resultó ser bastante satisfactorio.

La forma del modelo es:

Para el intervalo $0 < s/s_0 \leq 0,35$

$$KD = 0,986 + 0,305KT - 3,163KT^2; \quad \text{para } KT \leq 0,20$$

$$KD = 0,217 + 5,005KT - 11,434KT^2 + 6,207KT^3; \quad \text{para } KT > 0,20$$

Para el intervalo $0,35 < s/s_0 \leq 0,55$

$$KD = 0,994 - 0,756KT - 1,352KT^2; \quad \text{para } KT \leq 0,20$$

$$KD = 0,895 + 0,687KT - 2,853KT^2 - 0,536KT^3 + 2,023KT^4; \quad \text{para } 0,20 < KT \leq 0,72$$

$$KD = 0,308 + 1,405KT - 1,762KT^2; \quad \text{para } KT > 0,72$$

Para el intervalo $0,55 < s/s_0 \leq 0,70$

$$KD = 0,997 - 0,082KT - 1,0KT^2; \quad \text{para } KT \leq 0,20$$

$$KD = 0,841 + 0,999KT - 3,55KT^2 - 1,137KT^3 + 3,516KT^4; \quad \text{para } 0,20 < KT \leq 0,80$$

$$KD = -0,9635 - 1,239KT + 3,1449KT^2; \quad \text{para } KT > 0,80$$

Para el intervalo $0,70 < s/s_0 \leq 1,0$

$$KD = 0,537 + 8,715KT - 36,55KT^2; \quad \text{para } KT \leq 0,20$$

$$KD = 1,027 - 0,0415KT - 3,1634KT^2 + 2,044KT^3 + 0,364KT^4; \quad \text{para } 0,20 < KT \leq 0,80$$

$$KD = -0,034 - 1,056KT + 1,55KT^2; \quad \text{para } KT > 0,80$$

3. Objetivos

El objetivo principal de este TFM es obtener y ampliar la base de datos que se tiene de diferentes variables meteorológicas, principalmente radiación solar y la temperatura de Jaén.

Para la radiación solar se cuenta con sus componentes global, directa y difusa, realizando para ello, una caracterización de la radiación solar ;y para la temperatura se cuenta con valores mínimos, máximos y medias por lo que se podrá realizar un análisis de temperatura para la ciudad de Jaén.

Como objetivos secundarios se pretende:

- Obtener del Año Meteorológico Típico para la ciudad de Jaén.
- Obtener de las diferentes correlaciones de los índices de claridad y fracción difusa horarios y diarios para la ciudad de Jaén.
- Obtener una ecuación que se ajuste al comportamiento de la temperatura en Jaén.

4. Justificación

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en los últimos años en una de las fuentes de generación de energía eléctrica principal para conseguir frenar el cambio climático.

Con motivo del párrafo anterior, este proyecto se desarrolla para conocer los datos existentes de radiación solar en Jaén y la toma de temperaturas. Estos datos vienen recogidos en varios proyectos cortos de fin de carrera que no abarcaban toda

la totalidad de los mismos.

Asimismo, es fundamental la temperatura puesto que anteriormente no se han llevado a cabo estudios.

4.1. Energías Renovables en España

La REE tuvo la obligación de elaborar un informe titulado “Las energías renovables en el sistema eléctrico español en 2016” dado su papel como operador del sistema eléctrico nacional y llevar a cabo la integración de las energías renovables en el mismo. Éste presenta una panorámica sobre el funcionamiento de las renovables en 2016 y una evolución de los últimos años.

Se estructura en cuatro capítulos principales: energía del viento, energía del agua, energía del sol, energía de la tierra y del mar, y un quinto que consolida los datos de los anteriores y se denomina ‘Energía renovable en 2016’ situado al inicio del informe para facilitar al lector, desde el principio, una visión global del comportamiento de las energías renovables durante el año.

Se puede resaltar, que la energía eólica y la solar son las que han impulsado el crecimiento de las energías renovables en España en los últimos diez años (casi el 70% del total), lo que ha provocado un importante descenso en las emisiones de gases de efecto invernadero (algo más del 43% de las emisiones frente a las de 2007).

Por Comunidades Autónomas, las que tienen mayor implantación renovable son Castilla y León, Galicia, Andalucía y Castilla La Mancha, con casi el 62% de la potencia nacional. De ellas, es en Castilla y León donde casi tres cuartas partes de la potencia de generación total es de origen renovable, superando ampliamente el objetivo del 2020.

Lo que queda claro es la importancia que tienen las energías renovables en el panorama energético mundial, y la imprescindible presencia e incremento exponencial que tendrán derivado de los compromisos internacionales en materia de cambio climático.

4.2. Objetivos Energéticos en España y Europa

Actualmente, se tienen tres objetivos en materia de energía, los cuales se tienen que tener en cuenta para el presente a nivel español y europeo para el año 2020 (“triple 20”), estos son:

1. La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a los niveles de 1990.
2. La utilización de un 20% las energías renovables.
3. El incremento en un 20% de la eficiencia energética.

Hay que añadir, que ya a finales de noviembre de 2016 se anunció el denominado Paquete de Invierno, “Energía Limpia para todos los Europeos”, el cual incrementaba para el año 2030 esos objetivos, llegando a una reducción de al menos el 40% las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las de 1990, incrementar la participación de las energías renovables por encima del 27% y la mejora de la eficiencia energética en un 30% llegando a sentar así las bases para una transición energética que deberá llevar a Europa a la descarbonización de la economía en 2050.

4.3. Mercado Energético

El mercado fotovoltaico global ha venido creciendo en los últimos años en torno a un 20-25%. El año 2015 ha demostrado las tendencias de los mercados globales que ya se observaban desde el 2013.

La industria, aplicaciones y mercados han hecho que a finales de 2015 la tecnología alcanzase el hito de instalar 50 GW de capacidad fotovoltaica adicional en todo el mundo, un 25% por encima de 2014 y el aumento de la capacidad acumulativa instalada de 230 GW.

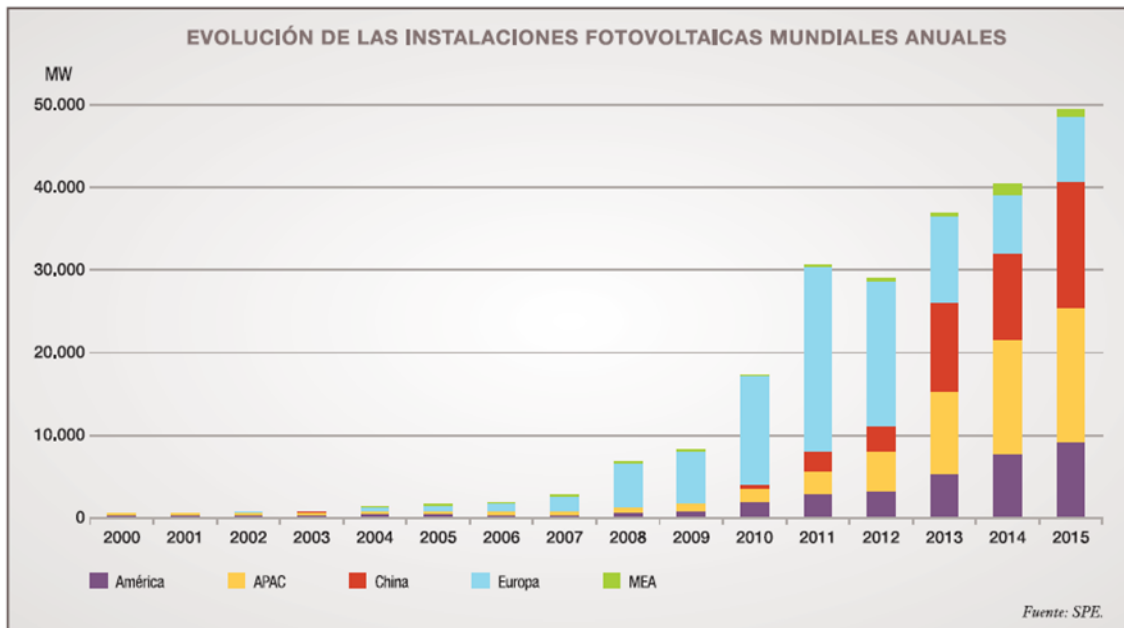


Figura 2. Evolución de las instalaciones fotovoltaicas mundiales anuales. Fuente SPE.

Como se muestra en el diagrama China, Asia y el Pacífico son los que han tenido una evolución más progresiva y siempre de manera creciente, mientras que Europa tuvo una fuerte subida en 2010 y 2011 antes de la eliminación de las primas en FV.

En lo que respecta a la producción de los paneles solares, en la actualidad los primeros puestos del ranking mundial de fabricantes los ocupan empresas asiáticas (con China a la cabeza) y Norteamérica.

5. Marco Teórico

En este apartado se van a contemplar dos apartados que tratan sobre la radiación solar, la cual es pilar fundamental de este proyecto y los errores en la medición que se derivan de la toma de datos proveniente de la estación meteorológica.

5.1. Radiación Solar

5.1.1. El Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es un fenómeno físico consistente en la conversión de la energía luminosa (o radiaciones ópticas) en energía eléctrica.

El efecto fotovoltaico en células electroquímicas fue descubierto por Becquerel en 1839 mientras experimentaba con una pila electrolítica con electrodos de platina cuando comprobó que la corriente subía en unos de los electros cuando éste se exponía al sol.

Cabe destacar que hasta 1954 no se obtuvo una célula solar capaz de convertir con eficiencia la energía solar en energía eléctrica. Este dispositivo fue desarrollado por Chapin, Fuller y Pearson [10].

La célula solar, basada en una estructura p-n sobre un material semiconductor, es el dispositivo más importante hoy día para aprovechar el efecto fotovoltaico. Ésta se comporta, cuando recibe la radiación solar, de forma similar a una pequeña pila o batería que es capaz de suministrar una cierta cantidad de corriente mientras mantiene entre sus bornes una diferencia de potencial determinada. La energía eléctrica producida se suministra en forma de una corriente eléctrica continua (DC) a una carga externa conectada mediante un circuito.

5.1.2. La naturaleza de la radiación solar

La radiación solar atraviesa la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre y se altera por el aire, la suciedad, el vapor de agua, los aerosoles en suspensión, y otros elementos de la atmósfera. Estas alteraciones son de diferentes tipos según la propiedad óptica que se pone de manifiesto:

- Reflexión: nubes.
- Absorción: ozono, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua. Sólo actúa sobre algunas longitudes de ondas de la radiación.
- Difusión: polvo, aerosoles, gotas de agua.

Por esto, podemos dividir la radiación solar global en tres componentes: directa, difusa y reflejada o de albedo.

- **Radiación directa (B):** la forman los rayos recibidos directamente del Sol.
- **Radiación difusa (D):** procedente de toda la bóveda del cielo, excluyendo el disco solar, la forman los rayos dispersados de la atmósfera en dirección al receptor (por ejemplo, en un día completamente nublado toda la radiación recibida es difusa).
- **Radiación reflejada o de albedo (A):** reflejada por la superficie terrestre hacia el receptor. Depende directamente de la naturaleza de las montañas, lados, edificios, etcétera. que rodean al receptor.

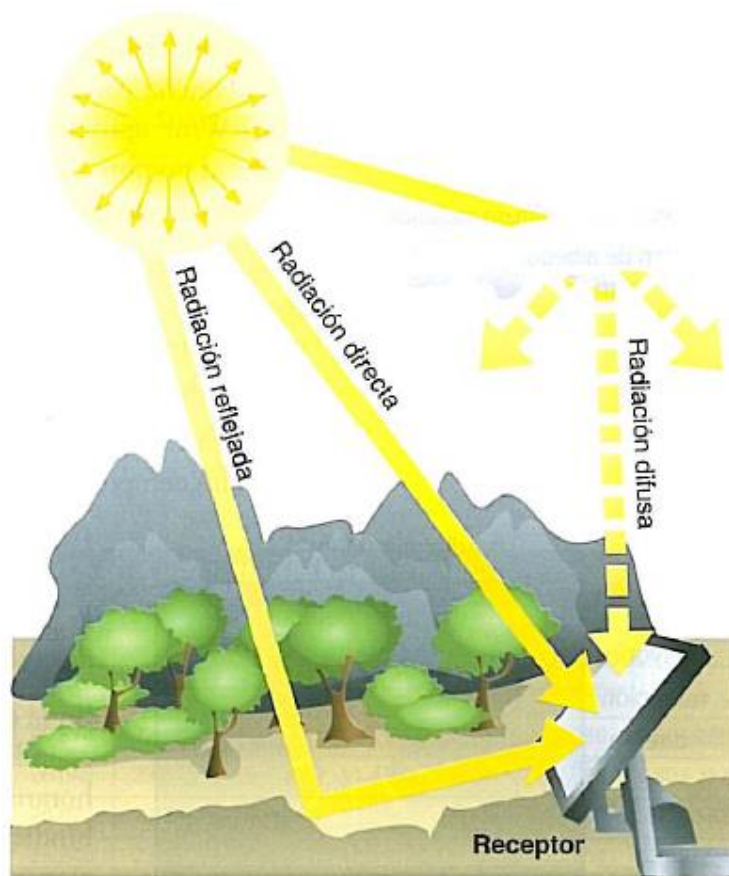


Figura 3. Tipos de radiación sobre una superficie.

Como anteriormente se ha explicado, la suma de las tres componentes conforma la radiación global total (G):

$$G = B + D + A$$

Para cuantificar la radiación solar se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llegan a una unidad de superficie, se denominan irradiancia e irradiación y sus definiciones y unidades son las siguientes:

- **Irradiancia:** potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2).
- **Irradiación:** integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo. Se mide en kilovatios por hora partido metro cuadrado ($\text{kW}\cdot\text{h/m}^2$).

5.1.3. Parámetros solares

5.1.3.1. Descripción de la trayectoria solar

a) Movimientos de la Tierra – Sol.

La Tierra tiene un movimiento de traslación alrededor del Sol, en sentido horario a las agujas del reloj si se observa desde el hemisferio norte, describiendo una órbita ligeramente elíptica con el Sol situado en uno de los focos de la elipse y no en el centro de la misma. Esto provoca que la distancia del Sol a la Tierra no sea constante.

El punto más alejado de la órbita de la Tierra alrededor del Sol se llama **afelio**, se produce en torno al 4 de julio. El punto más cercano de la órbita se llama **perihelio**, se produce en torno al 3 de enero. Se puede ver que la excentricidad de la elipse es tan pequeña, del orden de 0,01673, que prácticamente parece una circunferencia.

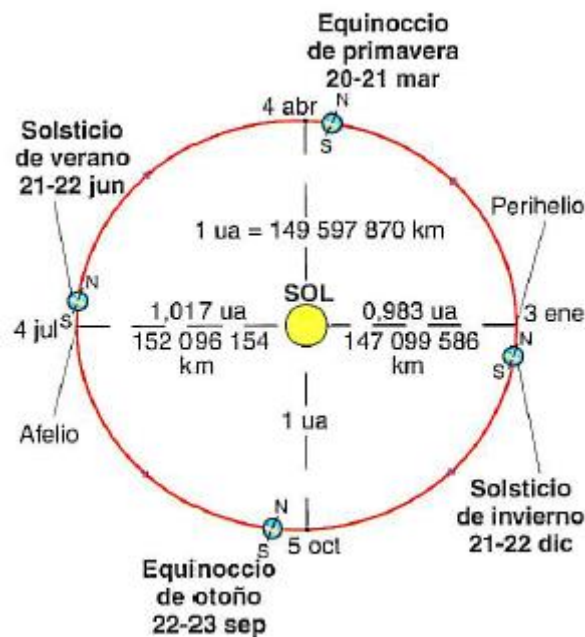


Figura 4. Movimientos de traslación de la Tierra.

La tierra va a dar una vuelta sobre su eje cada 24 horas, es decir cada día completo gira una vez, pero a su vez gira alrededor del sol describiendo una elipse, el tiempo que tarda la tierra en recorrer una vez esa elipse es de 365,25 días aproximadamente, un año.

Se debe tener en cuenta que en la trayectoria de la Tierra al Sol existen varios acontecimientos que se describen a continuación:

- Equinoccios de primavera y otoño: duración del día y la noche igual.
- Solsticio de verano: máxima duración del día, día más largo del año.
- Solsticio de invierno: mínima duración del día, día más corto del año.

Como se ha indicado anteriormente, la distancia del Sol a la Tierra no es una constante porque varía cada día del año. La excentricidad varía a lo largo del año según la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2$$

Donde r es la distancia entre el sol y la tierra y r_0 es su valor medio, también llamado unidad astronómica.

$$1 \text{ UA} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$$

La velocidad angular de la tierra alrededor del sol es variable, sin embargo, para el cálculo de la radiación solar se puede considerar constante, sin perder demasiada exactitud.

Teniendo en cuenta estos dos términos anteriores, la **excentricidad** para cada día del año viene dada por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_0 = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi d_n}{365}\right) \quad 1 \leq d_n \leq 365$$

Donde d_n es el número de orden del día en un año.

La **declinación** es el ángulo que forma el plano del ecuador de la Tierra con la línea situada en el plano de la eclíptica, que une los centros del Sol y de la Tierra. Este ángulo varía a lo largo de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, alcanzando los siguientes valores:

- **Altura Solar**, γ_s : es el ángulo que forman los rayos solares con la horizontal. Toma valores que van de $(90^\circ - \varphi - \delta)$ en el solsticio de invierno a $(90^\circ - \varphi + \delta)$ en el solsticio de verano, siendo φ la latitud del lugar y δ la declinación.
- **Acimut solar**, ψ_s : ángulo formado por el meridiano del sol y el meridiano del lugar, tomando como referencia el Sur en el hemisferio norte y el Norte en el hemisferio sur. Tiene valores positivos de 0 a 180° hacia el Oeste y negativos de 0 a -180° hacia el Este.
- **Ángulo o distancia cenital**, θ_{zs} : ángulo formado por la dirección del sol y la vertical. Es el ángulo complementario de la elevación solar.

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos w = \sin \alpha$$

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \alpha \cdot \cos \varphi}$$

$$0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ, \quad \cos \psi \geq 0$$

$$90^\circ \leq \psi \leq 180^\circ, \quad \cos \psi \leq 0$$

Donde w es el ángulo horario medido en la bóveda del cielo, entre el meridiano del observador y el meridiano solar, y φ es la latitud.

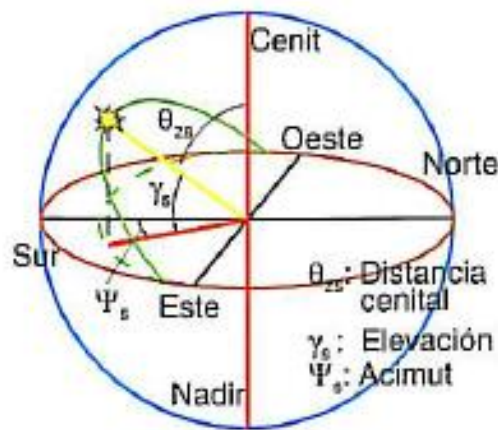


Figura 6. Coordenadas solares.

En el instante de salida del sol el ángulo horario se denomina **ángulo de salida del sol**, ω_s , y viene determinado por la siguiente expresión:

$$w_s = -\arccos(-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

Donde δ es la declinación solar y φ es la latitud.

El ángulo de puesta del sol es igual a $-\omega_s$.

5.1.3.2. Radiación Solar Extraterrestre

a) La constante solar.

La irradiancia que genera el Sol es de aproximadamente $6,35 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ y solo una pequeña parte de esta radiación llega al exterior de la atmósfera terrestre, 1.367 W/m^2 aproximadamente. Este valor de la radiación solar extra-atmosférica recibe el nombre de **constante solar** (B_0) y se recibe cuando la Tierra está situada a una distancia de 1 UA del Sol.

b) Radiación extraterrestre sobre superficie horizontal.

La radiación solar extraterrestre se define como la cantidad de energía recibida en la parte exterior de la atmósfera, por unidad de superficie. Será función, en cada momento, de la distancia sol-tierra, de la declinación, de la latitud del lugar considerado y del ángulo horario.

Los diferentes valores de radiación extraterrestre son:

- Horaria:

$$B_{oh} = B_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \cos \theta_s$$

- Diaria:

$$B_{od} = \frac{24}{\pi} B_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot (\cos \varphi \cdot \cos \delta) (w_s \cos w_s - \sin w_s)$$

- Diaria media mensual:

$$B_{odm} = \sum_{mes} B_{od} / n$$

$$B_{odm} = B_{odm}(\text{día intermedio})$$

La gráfica de la radiación extraterrestre a lo largo del año en la ciudad de Jaén se muestra a continuación:

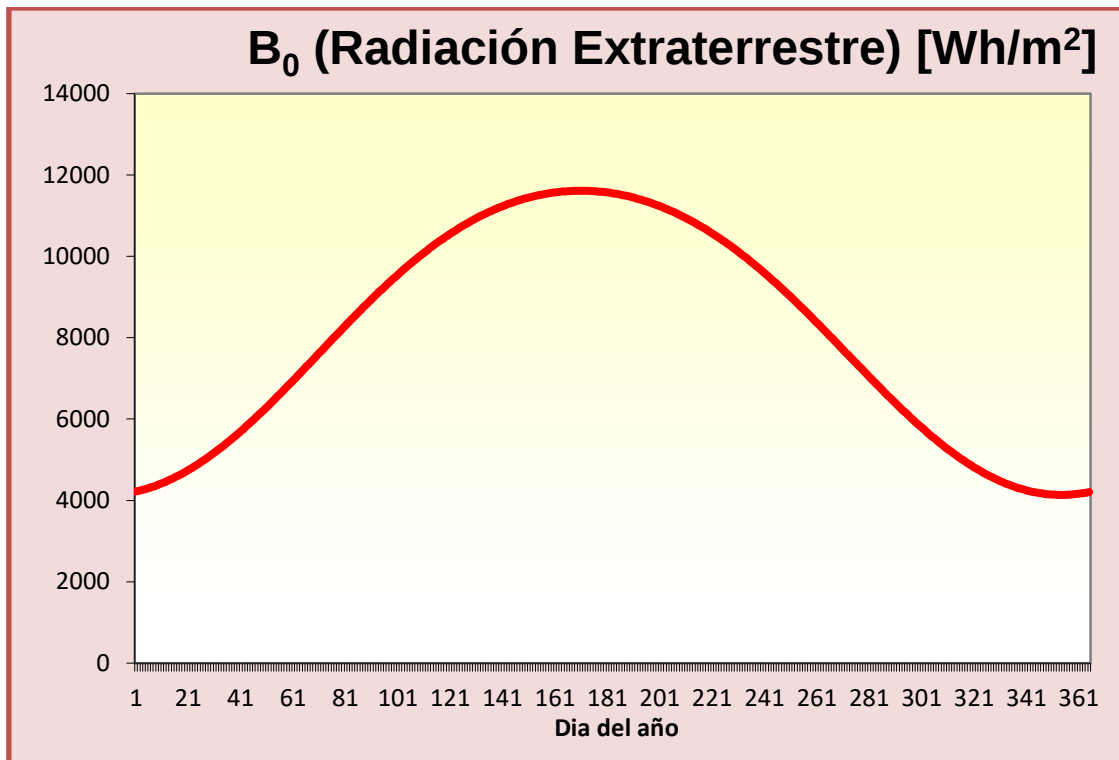


Figura 7. Gráfica de la Radiación Extraterrestre Diaria.

5.1.3.3. Índice de claridad

Un parámetro muy usado, por sus propiedades estadísticas, será el índice de claridad. Es un indicador del índice de nubosidad o claridad del día.

El **Índice de Claridad** se define como el cociente entre la radiación solar, incidente sobre un panel horizontal en la superficie de la tierra, es decir, la Radiación Global, y la misma radiación medida en el exterior de la atmósfera o Radiación Extraterrestre:

$$KT = \frac{G}{B_0}$$

Donde KT puede tomar valores situados entre 0 y 1. Es adimensional.

5.1.3.4. Fracción de difusa

El **Índice de Transparencia o Fracción de Difusa** se define como el cociente entre la Radiación Solar Difusa y la Radiación Global:

$$KD = \frac{D}{G}$$

Donde KD puede tomar valores situados entre 0 y 1. Es adimensional.

5.1.4. La radiación solar en los sistemas fotovoltaicos

En el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas es fundamental conocer las características de radiación solar de la zona donde se ubica el sistema. No hay otra alternativa que utilizar los valores de radiación de años anteriores, puesto que será imposible conocer con antelación la energía que recibirá el sistema, debido a los factores climáticos que condicionan la radiación que llega a una superficie en la tierra.

El tipo de valores de radiación necesarios para el dimensionado de un sistema fotovoltaico depende de la exactitud con que sea necesario realizar el mismo, es decir, de la aplicación de que se trate. Así, habrá sistemas que puedan dimensionarse con valores medios mensuales de radiación global, mientras que en otros será necesario utilizar series de datos de varios años.

5.2. Año Meteorológico Típico

El año meteorológico típico es aquel que recoge los distintos valores horarios de irradiación global horizontal y temperatura ambiente obtenidos a lo largo de un año hipotético constituido por una sucesión de doce meses pertenecientes a un conjunto de años reales. Estos doce meses se escogen de modo que el AMT represente con fiabilidad las características meteorológicas del lugar en cuestión.

El AMT solo se encuentra disponible para muy pocas localidades, incluso es difícil conseguir los valores horarios de radiación horizontal y temperatura ambiente para la mayoría de los lugares.

5.2.1. Construcción del AMT

Tal como dice Macagnan en su Tesis, en primer lugar, para la construcción del AMT, se pueden utilizar varios periodos base, aunque es conveniente que ese periodo sea el mes, es decir, se utiliza, para cada mes genérico que compondrá el AMT, todos los datos de un mes único de la localidad en cuestión. Así, el AMT representará tanto la variación de las medias mensuales a lo largo de todo el año como la distribución de

los valores diarios y horarios dentro de cada mes.

Si se eligiesen los datos de irradiación de un único año como año típico, este no tendría en cuenta ni la distribución ni las secuencias de la radiación en este periodo; de lo contrario, si se escogiesen, para cada día genérico de año típico, los datos de los días reales se tendría una sucesión de días de índice de claridad casi uniforme.

Para la selección de los meses que constituirán el AMT de la localidad de Jaén en estudio, se han utilizado dos criterios diferentes:

- Criterio I: Criterio de los valores medios mensuales de la radiación diaria.

Basado en encontrar un mes cuyo valor de radiación diaria media se aproxime lo máximo posible al valor de radiación media promedio del mismo mes de todos los años.

- Criterio II: Criterio de la distribución mensual de los valores del índice de claridad.

Para este criterio se lleva a cabo un estudio parecido pero con la distribución mensual de los valores del índice de claridad.

5.2.2. Test de Bondad de Ajuste, Kolmogorov – Smirnov

Un test de bondad de ajuste generalmente conlleva el examen de una muestra aleatoria (que tendrá cierta distribución desconocida) frente a una función de distribución conocida.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra es un procedimiento de "bondad de ajuste", que permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada, es decir, contrasta si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada.

- Una muestra aleatoria $X_1, X_2, \dots, X_n$ se extrae de alguna población y se compara con $F^*(x)$ de alguna manera para ver si es razonable decir que $F^*(x)$ es la verdadera función de distribución de la muestra aleatoria. Una forma lógica de comparar la muestra aleatoria con $F^*(x)$ es mediante la función de

distribución empírica $S(x)$.

- Siendo $X_1, X_2, \dots, X_n$ una muestra aleatoria. La función de distribución empírica $S(x)$ es una función de x , que es igual a la fracción de X_i s que es menor o igual que x para cada x , cuando $-\infty < x < +\infty$.

$$S(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{\{x_i \leq x\}}$$

- Será la función de distribución que suponemos s . En nuestro caso esta será la función de distribución genérica.

Se utilizará el Test de Kolmogorov – Smirnov para localizar el grado de similitud que existe entre la función distribución en un mes y el de la función de distribución genérica.

Para obtener la *función de distribución empírica* se ordena X_i de manera ascendente, es decir desde el índice de claridad mínimo hasta el índice de claridad 1, ahora se halla los valores de frecuencias relativas acumuladas, como se ha indicado anteriormente.

Para obtener la *función de distribución teórica*, solamente se considera esta como la media de las frecuencias relativas.

6. Desarrollo del proyecto

En este apartado se explicará cómo se han realizado todos los cálculos de la caracterización solar, a partir de datos horarios y datos diarios; y el análisis de la temperatura.

6.1. Errores en la medición

6.1.1. Introducción

Los datos medidos y proporcionados por la Universidad de Jaén del periodo de estudio (desde el año 1996 hasta el año 2011, excluyendo el año 2004) en algunos casos pueden llegar a ser nulos, o sea, erróneos, entendiendo como nulos o erróneos aquellos en los que la radiación global es nula en todos los valores medidos en un día

concreto. Por este motivo, se debe llevar acabo un filtrado de dichos valores para poseer una base más completa y leal de la que se ha obtenido tras la medida realizada.

Para ello hay que hacer un estudio previo detectando los errores o, lo que viene a ser lo mismo, los datos que en el periodo de investigación son estimados como erróneos, puesto que hay que contemplar todos los aspectos que influyen en la medición.

En el siguiente punto se abarcarán los factores que han influido en la toma de medidas de los datos.

6.1.2. Factores factibles influyentes en la medición de los datos

De entre todos los factores factibles que pueden contribuir a la medición de los datos, sólo se considerarán los más importantes que se comentan a continuación:

- Error humano: los valores erróneos provienen de la mala interpretación que se pueda obtener de los datos por parte de la persona encargada.
- Sujetos a condiciones meteorológicas: los valores afectados por éstas no siguen un orden determinado que pueden parecer aleatorias en ciertas ocasiones. De manera que algunos cálculos teóricos pueden ser más una aproximación a la realidad. Por ejemplo si existe un valor teórico que es mayor que el medido, podría ser causado por un día nublado o porque la maquinaria ha tomado ese valor como nulo.
- Sujetos a la tecnología: puede fallar por motivos como error humano, fallos en la maquinaria por cortes de suministro de electricidad, error de diseño, etcétera. todo esto da como resultado errores en la toma de datos.

Una vez han quedado claro los posibles factores que influyen en la medición, se toma como valores erróneos cualquier día que tenga los valores de la Radiación Global nulos comprendida entre la hora de puesta y salida del sol; y por tanto, no se tendrá en cuenta para realizar los cálculos necesarios.

6.1.3. Errores hallados y cometidos en la medición de datos

Se debe comentar que se han tomado todos los años con sus correspondientes días del año, esto quiere decir que, el año 2008 se ha considerado porque es bisiesto.

Tras exponer lo anterior, se empieza con el análisis de los datos obtenidos, viendo que una vez comenzados los cálculos, se encuentran los siguientes errores en el periodo de investigación correspondiente del año 1996 hasta el año 2011, excluyéndose el 2004, donde a continuación se indicará el mes, los días erróneos de dicho mes, el total de días nulos de dicho mes y el total de errores del año.

Obtenidos los resultados, para finalizar este punto 6.1. Se termina con el cálculo del error cometido en la medición de la Radiación Global. Para ello, se emplea el número total de los días en los que se ha producido medición (el total de los días del periodo de investigación, ya que en todos se ha producido una medida de dicha radiación) y los días en los que se han producido error.

Principalmente, se calcula el error que se ha obtenido por mes y por año, conociendo que: febrero tiene 28 días (a excepción del año 2008 que tiene 29 días); abril, junio, septiembre y noviembre tienen 30 días; enero, marzo, mayo, julio, agosto, octubre y diciembre tienen 31 días. Tras esto, se calcula el error para todo el rango de tiempo especificado, donde se debe tener en cuenta que los días erróneos ya han sido calculados anteriormente y la columna denominada error en la variable total días se refiere al total de días que posee un mes o un año, pudiendo ser cualquier valor.

1. Año 1996: se encuentran 28 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	12, 13, 14 y 15	4	12,90%
Febrero	1, 6, 7 y 8	4	14,29%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	7	1	3,33%
Mayo	6, 7 y 31	3	9,68%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	15, 16 y 17	3	9,68%
Septiembre	12 y 28	2	6,67%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	11, ..., 21	11	36,67%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		28	7,67%

Tabla 1. Errores año 1996.

2. Año 1997: se encuentran 31 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	26, ..., 31	6	19,35%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	10, ..., 31	21	70,00%
Diciembre	1, 2, 3 y 4	4	12,90%
Total Errores Año		31	8,49%

Tabla 2. Errores año 1997.

3. Año 1998: se encuentran 66 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	30	1	3,33%
Mayo	1, ..., 5 y 12, ..., 31	25	80,65%
Junio	1, ..., 30	30	100,00%
Julio	1, ..., 6 y 20, ..., 23	10	32,26%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		66	18,08%

Tabla 3. Errores año 1998.

4. Año 1999: se encuentran 52 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	12, ..., 30	19	63,33%
Mayo	1, ..., 11	11	35,48%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	1, ..., 22	22	73,33%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		52	14,25%

Tabla 4. Errores año 1999.

5. Año 2000: se encuentran 0 errores en el presente año, por tanto no hay errores y se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		0	0,00%

Tabla 5. Errores año 2000.

6. Año 2001: se encuentran 31 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	2, ..., 30	29	96,67%
Diciembre	1 y 2	2	6,45%
Total Errores Año		31	8,49%

Tabla 6. Errores año 2001.

7. Año 2002: se encuentran 2 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	23 y 24	2	6,45%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		2	0,55%

Tabla 7. Errores año 2002.

8. Año 2003: se encuentra 1 error en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	17	1	3,33%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		1	0,27%

Tabla 8. Errores año 2003.

9. Año 2004: no se encuentran errores porque ese año la estación no ha recogido medidas.
10. Año 2005: se encuentran 8 errores en el presente año, puesto que para los meses de Enero a Junio la estación de toma de datos no estaba en funcionamiento. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	1, ..., 31	0	0,00%
Febrero	1, ..., 28	0	0,00%
Marzo	1, ..., 31	0	0,00%
Abril	1, ..., 30	0	0,00%
Mayo	1, ..., 31	0	0,00%
Junio	1, ..., 30	0	0,00%
Julio	1, ..., 5 y 25	6	19,35%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	17 y 18	2	6,45%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		8	2,19%

Tabla 9. Errores año 2005.

11. Año 2006: se encuentran 20 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	12, ..., 16 y 22	6	20,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	10, ..., 13	4	12,90%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	13, ..., 22	10	32,26%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		20	5,48%

Tabla 10. Errores año 2006.

12. Año 2007: se encuentran 4 errores en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	4	1	3,57%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	28, ..., 30	3	10,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		4	1,10%

Tabla 11. Errores año 2007.

13. Año 2008: se encuentra 1 error en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	11	1	3,23%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		1	0,27%

Tabla 12. Errores año 2008.

14. Año 2009: se encuentran 0 errores en el presente año, por tanto no hay errores y se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	0	0	0,00%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		0	0,00%

Tabla 13. Errores año 2009.

15. Año 2010: se encuentra 1 error en el presente año. Los días en los que se han producido errores se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	0	0	0,00%
Mayo	22	1	3,23%
Junio	0	0	0,00%
Julio	0	0	0,00%
Agosto	0	0	0,00%
Septiembre	0	0	0,00%
Octubre	0	0	0,00%
Noviembre	0	0	0,00%
Diciembre	0	0	0,00%
Total Errores Año		1	0,27%

Tabla 14. Errores año 2010.

16. Año 2011: se encuentran 0 errores en el presente año, puesto que para los meses de Abril a Diciembre la estación de toma de datos no estaba en funcionamiento. Por tanto no hay errores y se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS ERRÓNEOS	TOTAL ERRÓNEOS MES	ERROR = ((Días Erróneos)·100)/Total Días
Enero	0	0	0,00%
Febrero	0	0	0,00%
Marzo	0	0	0,00%
Abril	1, ..., 30	0	0,00%
Mayo	1, ..., 31	0	0,00%
Junio	1, ..., 30	0	0,00%
Julio	1, ..., 31	0	0,00%
Agosto	1, ..., 31	0	0,00%
Septiembre	1, ..., 30	0	0,00%
Octubre	1, ..., 31	0	0,00%
Noviembre	1, ..., 30	0	0,00%
Diciembre	1, ..., 31	0	0,00%
Total Errores Año		0	0,00%

Tabla 15. Errores año 2011.

Para finalizar se calculará el error cometido a lo largo de todo el periodo:

$$15 \text{ años} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 5476 \text{ días};$$

$$\sum_{i=1996}^{2011} (\text{Días Erróneos})_i = 250 \text{ días}$$

Periodo	Total Días	Días Erróneos	ERROR = ((Días Erróneos) · 100)/Total Días
1996 – 2011	5476	250	4,56%

Tabla 16. Error cometido a lo largo de todo el periodo.

6.2. Caracterización solar

Caracterizar la radiación solar consiste principalmente en obtener una serie de parámetros estadísticos como son fundamentalmente las medias y las desviaciones típicas. Asimismo, una buena caracterización conlleva conocer las componentes principales de la radiación solar ($B - D - A$) así como ciertas relaciones entre ellas como el índice de claridad (K_T) o la fracción de difusa (K_D).

En el siguiente apartado se lleva a cabo este análisis para dos escalas temporales: horaria y diaria.

6.2.1. Información horaria

Inicialmente, nos viene dados la siguiente documentación:

- Radiación Global Horaria (G_h) para los años 1996 – 2011.
- Radiación Extraterrestre Horaria (B_{0h}).
- Índice de Claridad Horaria (K_{Th}) para los años 1996 – 2003.
- Fracción de Difusa Horaria (K_{Dh}) para los años 1996 – 2003.

En primer lugar, se coloca en un documento Excel todos los índices de claridad horaria y fracción de difusa horaria (tomándose éstos con valores sin los días erróneos) de todos los días correspondiente a los meses del año X. Una vez organizado, se calcula los valores mensuales en una tabla en la que se ha realizado la media horaria de todos los meses. Esta tabla que abarca de Enero – Diciembre se realiza para todos los años.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO	
2	KD	KT	KD	KT	KD	KT	KD	KT	KD	KT	KD	KT	KD	KT
3	0,9989	0,4588	0,9987	1,0000	0,0374	0,4236	0,9344	0,2386	0,9948	0,0700	0,9599	0,4487	0,1809	0,339
4	0,5950	0,5882	0,9208	0,2914	0,0049	0,5934	0,8766	0,1807	0,9987	0,2414	0,9599	0,6104	0,1809	0,525
5	0,8060	0,4899	0,9386	0,3867	0,1522	0,6830	0,2134	0,5050	0,9368	0,3113	0,1253	0,7210	0,0857	0,673
6	0,9941	0,2645	0,7003	0,6370	0,2039	0,7290	0,7279	0,4475	0,8604	0,1721	0,0003	0,7439	0,1076	0,703
7	0,9986	0,1925	0,4622	0,7711	0,1987	0,7502	0,7059	0,4692	1,0000	0,1838	0,2959	0,7184	0,2460	0,737
8	1,0000	0,1697	0,3850	0,5534	0,1477	0,7495	0,2952	0,6467	0,9994	0,1985	0,3227	0,7577	0,2709	0,752
9	1,0000	0,1278	0,3201	0,6158	0,0030	0,7595	0,7145	0,2667	0,9995	0,2494	0,6092	0,6230	0,2371	0,758
10	0,9382	0,1747	0,1372	0,6558	0,0531	0,6812	0,2780	0,4969	0,9995	0,3318	0,3707	0,7001	0,2038	0,746
11	0,9978	0,2137	0,0631	0,8267	0,1666	0,7292	0,7352	0,2513	0,9901	0,4131	0,6628	0,4598	0,1169	0,734
12	1,0000	0,2271	0,0971	0,5253	0,3095	0,6544	0,1586	0,5289	0,9830	0,6258	0,0344	0,6920	0,0354	0,710
13	0,9915	0,2155	1,0000	0,1381	0,2429	0,4310	0,9411	0,3807	0,9948	0,3967	0,2939	0,6382	0,2661	0,691
14	0,2854	0,6394	1,0000	0,0634	0,1127	0,3824	0,9344	0,2754	0,9948	0,3604	0,9599	0,5604	0,1809	0,647
15	0,1950	0,6923	1,0000	0,0858	0,0838	0,5590	0,9344	0,2841	0,9948	0,3438	0,9599	0,3079	0,1809	0,450
16	0,2407	0,6401	0,9913	0,1795	0,2252	0,6609	0,8562	0,3337	0,9982	0,0540	0,9599	0,1840	0,1809	0,331
17	0,2721	0,6549	0,7547	0,4009	0,2756	0,7119	0,5813	0,4367	1,0000	0,0876	0,9599	0,0405	0,1809	0,144
18	0,5033	0,4631	0,6396	0,5580	0,2419	0,7419	0,9395	0,3600	1,0000	0,2626	0,9086	0,5558	0,1819	0,407
19	0,5197	0,3241	0,5135	0,7058	0,1593	0,7585	0,8970	0,4634	0,9413	0,5898	0,9086	0,3703	0,1819	0,373
20	1,0000	0,1762	0,5759	0,7373	0,0876	0,7901	0,9829	0,3499	0,8484	0,6480	0,0535	0,5817	0,9988	0,264
21	1,0000	0,1728	0,7360	0,6570	0,0312	0,7329	0,7874	0,3839	0,8816	0,6540	0,0173	0,6984	0,9915	0,303

Tabla 17. Tablas mensuales de los valores KD y KT para el año 1996.

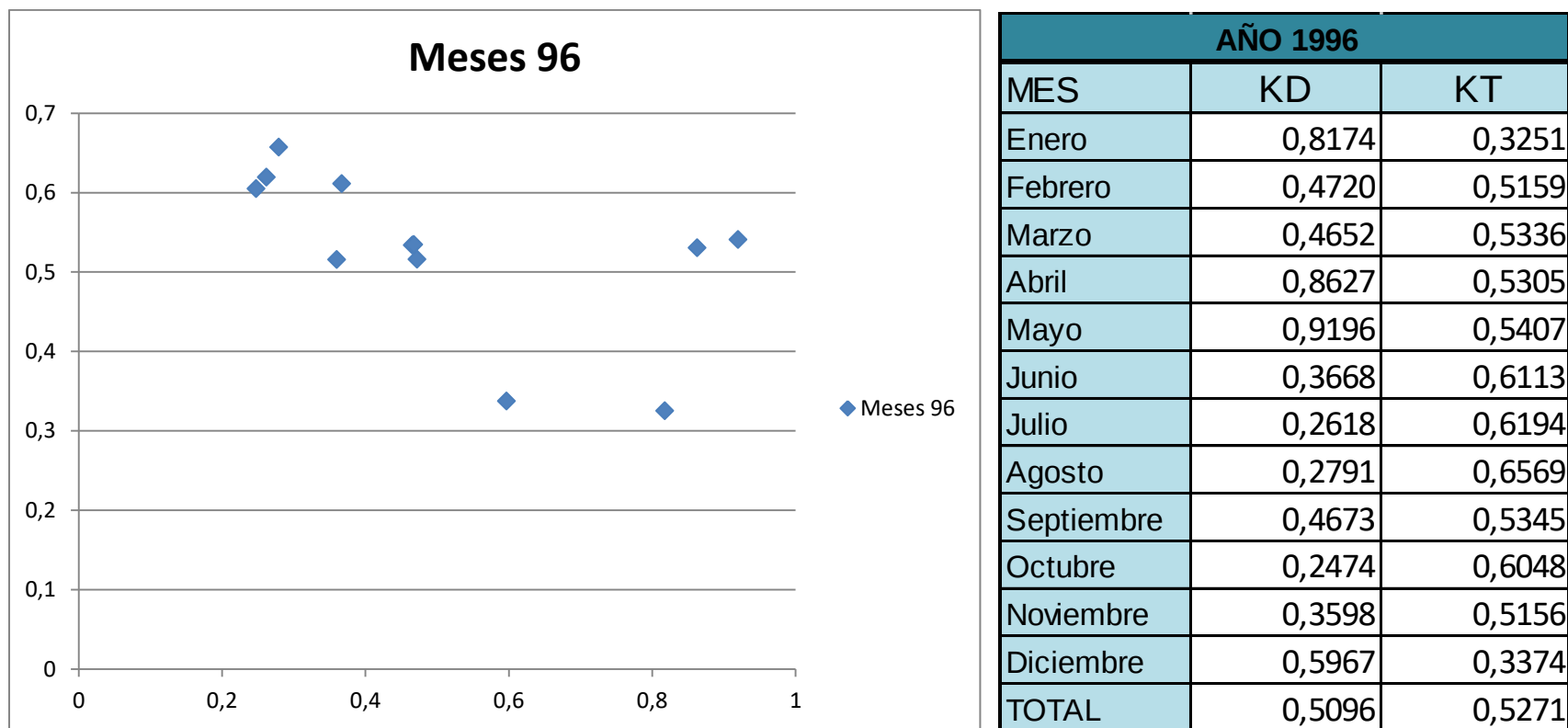


Figura 8. Tabla anual de valores KD y KT para el año 1996 y su representación gráfica.

Con los datos obtenidos, se dibuja una gráfica la cual se distribuirá en 3 tramos aplicando la metodología propuesta por Macagnan, consiguiendo una línea de tendencia que se utilizará para adquirir una ecuación, que se detalla en el punto 6.3.

Finalmente, se calculan los valores de Radiación Difusa Horaria y de ahí, los de Radiación Directa Horaria.

$$D_h = K D_h \cdot G_h$$

$$B_h = G_h - D_h$$

Todos los resultados horarios están recogidos en la siguiente tabla.

AÑO 2006															
	ABRIL														

Tabla 18. Ejemplo de los valores calculados para el año 2006. Día 1 de Enero.

6.2.2. Información diaria

Calculados los valores horarios, se pasa a realizar lo mismo para los diarios, donde se conocen los siguientes valores:

- Radiación Extraterrestre Diaria (B_{0d}) para los años 1996 – 2011.
- Radiación Global Diaria (G_d) para los años 1996 – 2011.
- Índice de Claridad (KT_d) para los años 1996 – 2003.

Se calculan los índices de claridad diaria para los demás años con la siguiente expresión, que relaciona la radiación global diaria y la radiación extraterrestre diaria.

$$KT_d = \frac{G_d}{B_{0d}}$$

Entonces se pasa a realizar la media de todos los días y la desviación típica de todos los años para utilizarlas en los criterios de selección del Año Meteorológico Típico el cual se ha explicado en el punto 5.2. de este proyecto.

Tras la realización de todos los cálculos relacionados con la Radiación Global Diaria, se obtienen la Radiación Difusa Diaria a partir de hacer los promedios horarios de cada día de todos los meses, para finalmente completar las siguientes tablas que se muestran.

Cuando ya se tienen todas las tablas de Radiación Difusa Diaria se procede a calcular la Fracción de Difusa o Índice de nubosidad a partir de esta ecuación:

$$KD_d = \frac{D_d}{G_d}$$

Para finalizar la realización de cálculos de variables, se halla la Radiación Directa Diaria a partir de la siguiente ecuación, como muestra la figura.

$$B_d = G_d - D_d$$

Tras obtener todos los índices de claridad diarios y las fracciones de difusa diarias se procede a representar en una gráfica la distribución $KD_d - KT_d$ que se muestra en el siguiente apartado.

B																																		
Año	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	Dev
1961	ENE	2732	1054	1799	1058	1079	2273	1840	2693	2593	2868	2338	1254	1988	2957	2969	2573	2886	2635	2834	2849	3325	3089	2001	1091	2603	1612	2188	2605	2508	1610	1202	2229	694
	FEB	2244	1139	2268	2347	1272	1138	3809	996	3730	2121	3815	2059	3952	4027	4027	4126	4000	3665	4219	3839	1979	3817	4420	4852	4519	4957	4504	3539	0	0	0	3264	1229
	MAR	4066	4196	4184	3650	3729	4268	4206	4171	4859	4904	4348	4069	5976	5895	5868	5738	5675	4973	5821	5362	5430	4626	3958	5869	6241	5732	4475	3873	1094	3733	3080	4647	1089
	ABR	5268	5318	4627	1595	5075	5110	2080	5425	5237	4468	4907	7179	7727	5794	4546	4841	3784	6913	6530	6626	6752	3342	6736	7234	6870	6322	6445	3831	5122	6869	0	5419	1764
	MAY	5419	6049	5181	6256	4882	7810	7694	5089	6618	3139	3093	7340	7158	6475	6811	6288	7048	6730	6466	7010	6917	7230	7307	6743	7165	7706	7633	7944	7947	7052	5982	6522	1226
	JUN	7074	7570	7765	6872	7530	8233	7942	7979	7760	7437	7834	7763	7743	7527	8021	8203	7744	7998	8128	8280	8323	8370	8234	8157	7516	8069	8199	7659	8347	8241	0	7884	1463
	JUL	7794	7621	8140	8402	8068	8259	7448	7370	7349	5869	7064	7236	7328	7295	7292	7063	6903	6505	6989	7512	7623	7583	7092	6829	6835	7074	7031	7248	7065	6517	7154	7276	528
	AGO	7383	7140	6994	7210	7115	7127	7128	6815	6539	6545	5777	6463	5945	5804	3664	6702	4197	6689	6521	6342	6450	6379	6366	6113	6029	6039	5587	5984	5859	6053	3428	6206	950
	SEP	5341	4556	5914	5654	6083	6137	4328	6004	5755	5038	5491	5125	5824	5657	5536	4562	3473	2043	3006	4284	1776	3215	4143	3788	3825	4292	2318	4293	3276	4506	0	4508	1466
	OCT	4909	4863	4727	3466	2952	3501	4321	3128	3862	4477	4588	4468	4390	4317	4136	3586	3970	3311	3752	4247	4077	3715	4004	3289	3516	2837	3664	3751	3639	3543	3408	3884	550
	NOV	3073	895	1723	2032	797	914	2158	2935	3050	2797	1626	2424	1976	2705	2649	1700	2502	2444	2609	2835	2903	2884	2025	3011	2944	2419	2616	2636	2194	2383	0	2329	758
	DIC	2812	1605	522	2285	2610	2713	2789	2659	2623	2492	570	2136	2441	2456	2349	2645	2615	2523	2323	2462	2498	2568	1182	2337	2526	2552	2451	1850	860	1093	1023	2147	688

Tabla 23. Ejemplo de Radiación Directa Diaria para el año 1998.

6.3. Correlaciones KT – KD

Los índices de claridad y las fracciones de difusa se intentan enlazar para crear una expresión única que vinculen los años de 1996 – 2011. Los datos horarios recogidos sólo existen para el rango de 1996 – 2003.

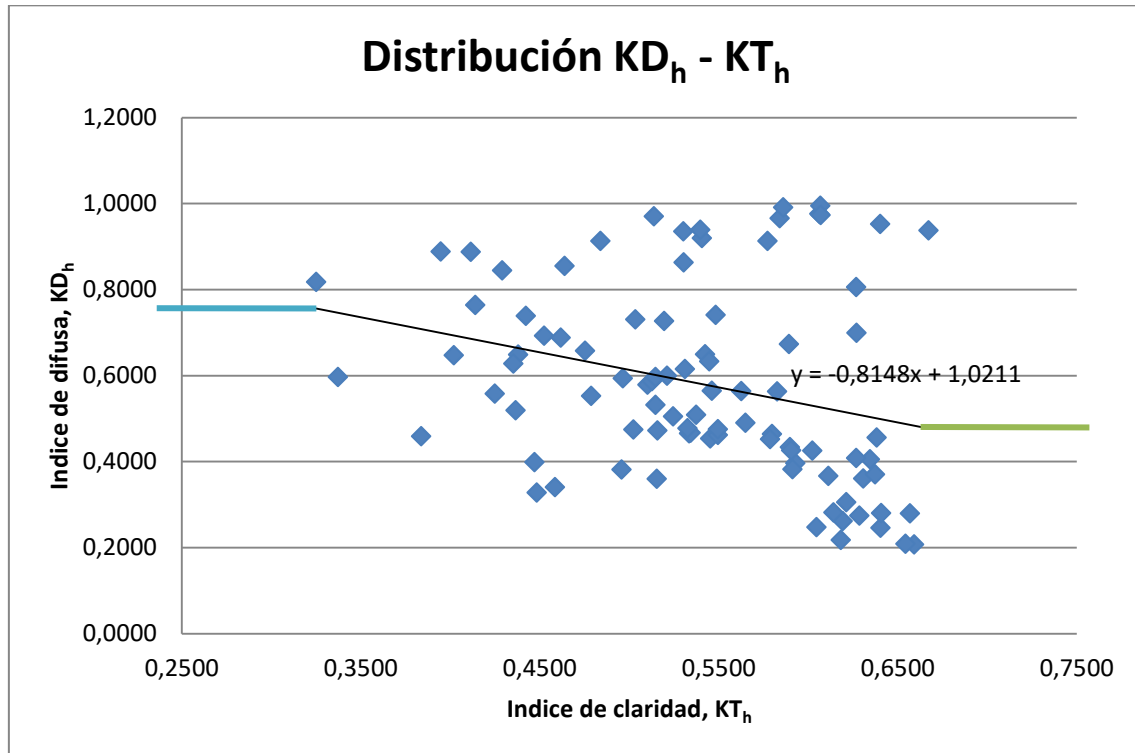


Figura 9. Gráfica de distribución horaria para los años 1996 – 2003.

Para los tramos anteriores se obtiene lo siguiente:

$$f(x) = \begin{cases} KD_h = 0,75620852 & \text{si } KT_h < 0,3251 \\ KD_h = -0,8148KT_h + 1,0211 & \text{si } 0,3251 \leq KT_h \leq 0,6674 \\ KD_h = 0,47730248 & \text{si } KT_h > 0,6674 \end{cases}$$

Esta función debe extrapolarse para hallar los KD_h de los años 2005 – 2011 que faltan. Para ello, es esencial calcular la Radiación Extraterrestre Horaria (B_{0h}) a partir de obtención de la excentricidad y la distancia cenital las cuales se han explicado en apartados anteriores.

La expresión utilizada para hallar los KT_h es la siguiente:

$$KT_h = \frac{G_h}{B_{0h}}$$

La expresión para la correlación K_T diaria y K_D diaria para los 15 años se obtiene a partir del cálculo de todos los parámetros que conforman la caracterización solar con datos diarios.

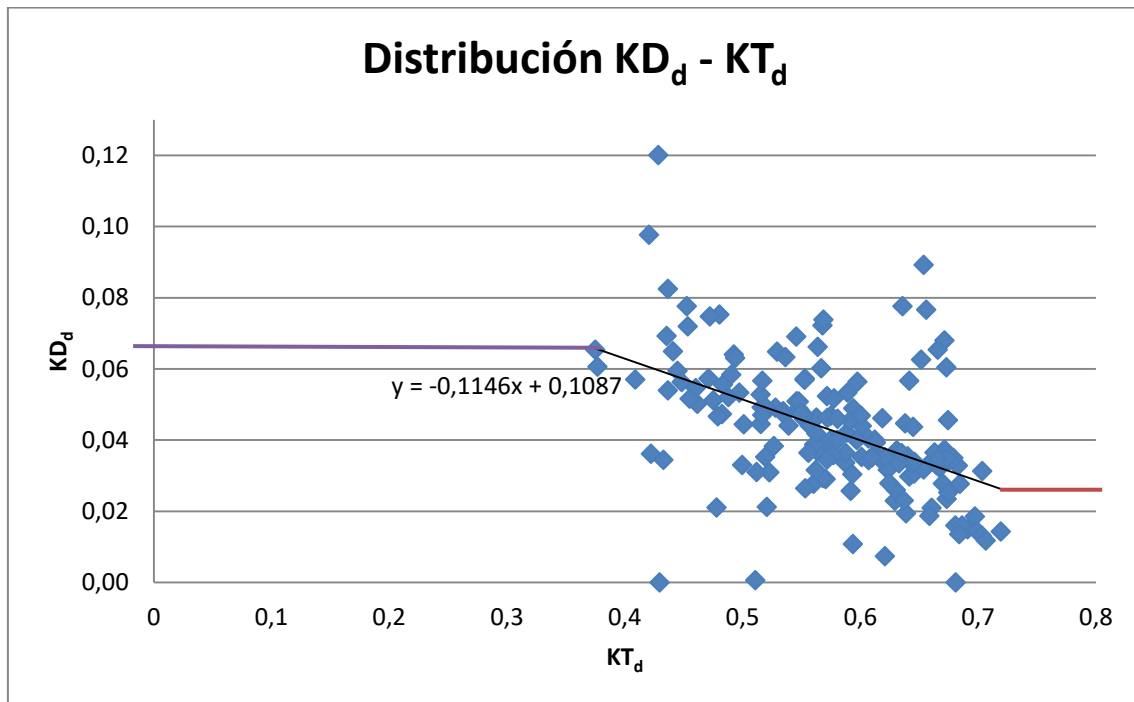


Figura 10. Gráfica de distribución diaria para los años 1996 – 2011.

Para los tramos anteriores se obtiene lo siguiente:

$$f(x) = \begin{cases} KD_d = 0,06572 & \text{si } KT_d < 0,3750 \\ KD_d = -0,1146KT_d + 0,1087 & \text{si } 0,3750 \leq KT_d \leq 0,7194 \\ KD_d = 0,02626 & \text{si } KT_d > 0,7194 \end{cases}$$

6.4. Año Meteorológico Típico

Sentadas las bases teóricas fundamentales para entender el Año Meteorológico Típico explicadas anteriormente, se da paso al cálculo del mismo a partir de los dos criterios estudiados:

- Criterio I: Criterio de los valores medios mensuales de la radiación diaria.

Radiación Diaria Media Mensual

A M T Criterio I		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	-	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Media
	ENE	1735	1948	2301	2370	2759	2194	2664	2617	-	0	2288	2413	2501	2043	2019	2024	2277
	FEB	3375	3825	3366	3819	3882	3411	3787	2859	-	0	2956	2791	3179	3461	2606	3446	3340
	MAR	4474	5271	4854	5057	4901	4205	4266	4320	-	0	4402	4709	5025	4119	3810	4119	4538
	ABR	5543	5549	5626	6148	5335	6670	5548	5739	-	0	5820	4131	5850	5976	5148	4141	5622
	MAY	6152	6227	6581	6559	6254	6381	6778	6924	-	0	6320	6821	5737	6986	6876	0	6507
	JUN	8071	7548	7884	7880	8089	8326	7647	7626	-	0	7029	7481	7656	7328	7060	0	7663
	JUL	7806	7523	7619	7757	7941	7634	7981	7729	-	7198	7227	7636	7669	7611	7518	0	7632
	AGO	7196	4916	6721	7005	6905	6892	6802	6865	-	6583	6683	6449	6897	6781	6490	0	6656
	SEP	4836	5075	4882	5304	5741	5167	4737	5708	-	3658	5177	4950	4614	4828	5234	0	4994
	OCT	4185	3894	4265	3403	3871	3771	3603	2999	-	3749	3703	3861	3418	4212	3811	0	3768
	NOV	2579	2340	2434	2886	2552	2516	2437	2326	-	2697	2397	2970	2697	2723	2282	0	2560
	DIC	1580	1817	2193	2070	1900	2034	1869	1991	-	2162	2288	2304	1927	1721	1883	0	1981

Tabla 24. Cuadro Radiación Diaria Media Mensual. Criterio I.

Diferencia entre Radiación Diaria Media Mensual y su valor Medio

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	-	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Min
A M T Criterio I	ENE	542	329	24	93	482	83	387	340	-	2277	11	136	224	234	258	253	11
	FEB	35	485	26	479	542	70	446	481	-	3340	384	550	161	121	734	106	26
	MAR	64	733	316	519	363	333	272	218	-	4538	136	172	487	419	728	419	64
	ABR	79	73	4	526	287	1048	74	118	-	5622	198	1491	228	354	473	1481	4
	MAY	356	280	74	51	253	126	271	417	-	6507	187	313	770	478	369	6507	51
	JUN	408	115	220	216	426	663	17	38	-	7663	635	182	7	336	604	7663	7
	JUL	174	109	13	125	309	2	349	97	-	434	405	4	36	21	114	7632	2
	AGO	540	1740	65	348	248	236	146	209	-	73	27	207	241	125	166	6656	27
	SEP	157	81	112	311	747	174	257	715	-	1336	183	43	380	166	241	4994	43
	OCT	417	127	498	364	103	3	165	769	-	19	64	94	349	444	44	3768	3
	NOV	19	220	125	326	7	43	122	233	-	137	163	410	137	163	278	2560	7
	DIC	402	165	212	89	82	53	112	10	-	181	307	322	54	260	98	1981	10

Tabla 25. Cuadro de diferencias entre radiación diaria media mensual y su valor medio. Criterio I.

[illegible]

Tabla 26. Criterio I del AMT para la ciudad de Jaén.

Para la realización de estas tablas es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Suponiendo que se cuenta con datos de radiación solar de la localidad de Jaén medidos durante 15 años (haciendo pausa el año 2004), es decir que se disponen de 180 meses de datos de radiación.
2. A continuación, se calculan a partir de los 15 meses 'enero' las medias mensuales de radiación solar correspondiente a cada mes y a su vez la media de estas medias mensuales obtenidas.
3. Se obtienen, por consiguiente, 15 valores más la media de estas medias mensuales.
4. Se procede a la comparación de las 15 medias mensuales con el valor correspondiente a la media de las medias y el valor que más se aproxime a esta media, será seleccionado, en este primer periodo como mes constituyente de AMT.
5. Se debe tener en cuenta que no se ha de elegir el mes donde en la fase de filtrado se halla calculado el mes completo, puesto que se alejaría de la media y sería absurdo escogerlo ya que no se dispone de ningún dato real.

En la figura superior se puede ver como hay valores elegidos que no se corresponderían con los que deberían haber sido escogidos, eso es a causa de que el mes puede tener errores o ningún valor real.

A continuación se muestra la tabla resumen con los valores para el AMT según el criterio I:

Años cuyos meses conforman el AMT según el Criterio I

A M T C r i t e r i o I	ENERO	2006
	FEBRERO	1998
	MARZO	1996
	ABRIL	1998
	MAYO	2001
	JUNIO	2002
	JULIO	2001
	AGOSTO	1998
	SEPTIEMB.	2007
	OCTUBRE	2001
	NOVIEMB.	2000
	DICIEMB.	2003

Tabla 27. AMT Criterio I.

- Criterio II: Criterio de la distribución mensual de los valores del índice de claridad.

Para la realización de estas tablas es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Se calcula la Radiación Extraterrestre para cada día del año y con este dato, se halla el índice de claridad para cada día con la ecuación que se expuso anteriormente.
2. Se realiza una tabla con las frecuencias absolutas acumuladas del índice de claridad en sentido ascendente, o sea, que nos indica los valores existentes por debajo de un índice de claridad determinado.

Frec	Abs								
kt<0.1	kt<0.2	kt<0.3	kt<0.4	kt<0.5	kt<0.6	kt<0.7	kt<0.8	kt<0.9	k<1
0	2	3	6	6	17	31	31	31	31
0	3	4	10	17	21	27	28	28	28
0	0	1	4	7	12	24	31	31	31
6	10	11	12	14	16	26	30	30	30
0	0	1	2	6	10	19	31	31	31
0	0	0	1	3	5	23	30	30	30
0	0	0	0	0	1	29	31	31	31
0	0	0	1	2	6	31	31	31	31
0	1	1	2	6	12	29	30	30	30
1	1	2	2	6	12	26	31	31	31
0	1	3	3	7	9	21	30	30	30
0	0	5	7	7	13	31	31	31	31

Tabla 28. Ejemplo tabla de frecuencias absolutas para el año 2007.

Se puede ver que a cada fila le corresponde un mes del año, además de que no hay ningún dato por encima del índice de claridad 1 porque este caso no es correcto.

3. Se fabrica otra tabla esta vez, para las frecuencias relativas acumuladas. Para ello se divide la frecuencia absoluta entre el número de datos (el número de días del mes elegido).

Frec	Rel								
kt<0.1	kt<0.2	kt<0.3	kt<0.4	kt<0.5	kt<0.6	kt<0.7	kt<0.8	kt<0.9	k<1
0,00	0,06	0,10	0,19	0,19	0,55	1,00	1,00	1,00	1,00
0,00	0,11	0,14	0,36	0,61	0,75	0,96	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,03	0,13	0,23	0,39	0,77	1,00	1,00	1,00
0,20	0,33	0,37	0,40	0,47	0,53	0,87	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,03	0,06	0,19	0,32	0,61	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,03	0,10	0,17	0,77	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,94	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,19	1,00	1,00	1,00	1,00
0,00	0,03	0,03	0,07	0,20	0,40	0,97	1,00	1,00	1,00
0,03	0,03	0,06	0,06	0,19	0,39	0,84	1,00	1,00	1,00
0,00	0,03	0,10	0,10	0,23	0,30	0,70	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,16	0,23	0,23	0,42	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 29. Ejemplo tabla de frecuencias relativas para el año 2007.

Todos estos pasos se deben repetir para todos los años y se tienen todas las tablas, realizándose 12 representaciones correspondientes a los meses de cada año.

Finalmente el mes elegido para el AMT será el que tenga mayor parecido con la distribución media. Esto es difícil de apreciar a simple vista por lo que para medir el grado de similitud de una distribución se ha utilizado una prueba de bondad de Ajuste, el test de Kolmogorov-Smirnov.

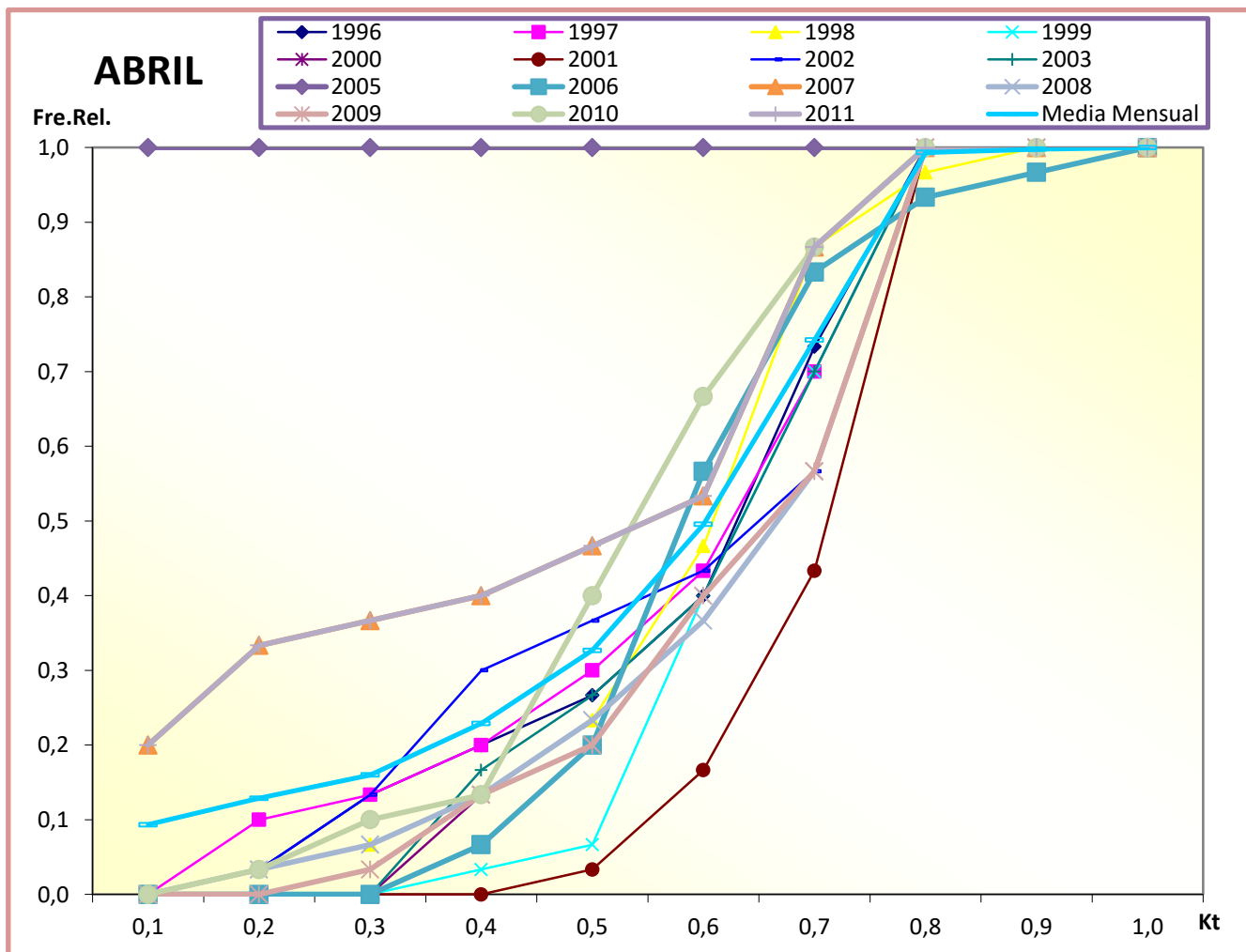


Figura 11. Representación gráfica de la distribución mensual media para el mes de abril.

Test de Bondad de Ajuste, Kolmogorov – Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra es un procedimiento de "bondad de ajuste" como se expuso en el punto 5.3.2. Se calcula el estadístico del mismo como la diferencia entre la $F(x)$ y la $S(x)$.

Kolmogorov												
kt<0.1	kt<0.2	kt<0.3	k<0.4	kt<0.5	kt<0.6	kt<0.7	kt<0.8	kt<0.9	k<1	Suma	Dmax	
0,07	0,06	0,13	0,14	0,29	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,83	0,29	
0,07	0,00	0,02	0,10	0,23	0,25	0,16	0,00	0,00	0,00	0,82	0,25	
0,07	0,10	0,11	0,11	0,09	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,58	0,11	
0,11	0,20	0,21	0,17	0,14	0,04	0,12	0,01	0,00	0,00	1,00	0,21	
0,13	0,15	0,15	0,16	0,15	0,19	0,14	0,00	0,00	0,00	1,08	0,19	
0,13	0,14	0,14	0,12	0,10	0,11	0,14	0,00	0,00	0,00	0,88	0,14	
0,07	0,07	0,07	0,08	0,10	0,13	0,30	0,00	0,00	0,00	0,80	0,30	
0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,03	0,26	0,00	0,00	0,00	0,65	0,26	
0,07	0,05	0,09	0,14	0,09	0,03	0,15	0,00	0,00	0,00	0,61	0,15	
0,04	0,06	0,07	0,14	0,13	0,10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,59	0,14	
0,07	0,07	0,08	0,15	0,21	0,35	0,24	0,00	0,00	0,00	1,17	0,35	
0,07	0,14	0,12	0,17	0,29	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,29	

Tabla 30. Ejemplo tabla Kolmogorov para el año 2007.

Si bien se va a tomar la hipótesis nula, o lo que es lo mismo, que sigue el modelo de distribución teórica, es necesario hallar el grado de similitud con la distribución genérica obteniendo la sumatoria de todas las diferencias entre $F(x)$ y $S(x)$.

El mes asignado es el que menor valor presente en este parámetro tal como puede verse en las siguientes tablas.

Diferencia Máxima de Frec. Relativas

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	-	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
A M T Criterio II	ENE	0,31	0,22	0,12	0,16	0,37	0,09	0,27	0,21	-	0,93	0,13	0,29	0,17	0,10	0,23	0,26
	FEB	0,09	0,26	0,11	0,25	0,40	0,16	0,20	0,12	-	0,93	0,12	0,25	0,12	0,20	0,30	0,20
	MAR	0,07	0,29	0,19	0,31	0,26	0,10	0,13	0,07	-	0,93	0,11	0,11	0,26	0,16	0,23	0,16
	ABR	0,10	0,09	0,12	0,26	0,17	0,33	0,18	0,16	-	0,91	0,16	0,21	0,18	0,18	0,17	0,21
	MAY	0,15	0,15	0,22	0,20	0,13	0,15	0,20	0,24	-	0,87	0,18	0,19	0,23	0,24	0,19	0,87
	JUN	0,29	0,16	0,24	0,23	0,36	0,46	0,16	0,21	-	0,87	0,21	0,14	0,16	0,14	0,21	0,87
	JUL	0,13	0,22	0,17	0,28	0,38	0,19	0,28	0,19	-	0,20	0,23	0,30	0,12	0,20	0,33	0,93
	AGO	0,48	0,52	0,09	0,22	0,38	0,22	0,11	0,19	-	0,20	0,16	0,26	0,16	0,26	0,23	0,93
	SEP	0,10	0,19	0,08	0,19	0,39	0,09	0,11	0,29	-	0,50	0,14	0,15	0,08	0,15	0,23	0,93
	OCT	0,26	0,17	0,29	0,22	0,13	0,10	0,09	0,36	-	0,10	0,19	0,14	0,09	0,36	0,13	0,93
	NOV	0,12	0,35	0,11	0,35	0,10	0,32	0,12	0,09	-	0,14	0,11	0,35	0,12	0,15	0,15	0,93
	DIC	0,20	0,14	0,26	0,11	0,11	0,15	0,11	0,08	-	0,22	0,26	0,29	0,07	0,15	0,11	0,93

Tabla 31. Cuadro Diferencia Máxima de Frecuencias Relativas. Criterio II.

Suma de todas las Diferencias de Frec. Relativas

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	-	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Min
A M T Criterio II	ENE	0,94	0,61	0,38	0,45	1,38	0,43	1,11	0,85	-	4,15	0,42	0,83	0,80	0,43	0,62	0,63	0,38
	FEB	0,42	1,21	0,31	1,21	1,38	0,53	0,96	0,57	-	4,72	0,50	0,82	0,48	0,57	0,86	0,84	0,31
	MAR	0,33	1,33	0,85	1,00	0,94	0,44	0,49	0,24	-	4,90	0,49	0,58	0,97	0,57	0,78	0,57	0,24
	ABR	0,42	0,32	0,65	0,98	0,86	1,55	0,57	0,65	-	4,83	0,92	1,00	0,78	0,85	0,72	1,00	0,32
	MAY	0,62	0,58	1,13	0,86	0,47	0,66	0,89	1,12	-	4,69	0,80	1,08	0,82	1,25	1,05	4,69	0,47
	JUN	1,27	0,77	1,05	1,03	1,27	1,43	0,77	0,98	-	5,33	0,77	0,88	0,85	0,75	0,68	5,33	0,68
	JUL	0,63	0,51	0,68	0,66	0,86	0,47	0,79	0,63	-	0,42	0,49	0,80	0,50	0,64	0,74	5,82	0,42
	AGO	1,10	1,58	0,42	0,81	0,78	0,68	0,58	0,75	-	0,65	0,72	0,65	0,72	0,88	0,63	5,58	0,42
	SEP	0,33	0,51	0,43	0,77	1,35	0,45	0,45	1,21	-	1,62	0,64	0,61	0,40	0,55	0,81	4,99	0,33
	OCT	1,02	0,53	1,21	0,46	0,50	0,39	0,40	1,08	-	0,37	0,77	0,59	0,35	1,11	0,40	4,92	0,35
	NOV	0,41	1,08	0,46	0,94	0,42	0,99	0,42	0,38	-	0,70	0,38	1,17	0,67	0,69	0,42	4,36	0,38
	DIC	0,75	0,32	0,89	0,47	0,46	0,37	0,33	0,32	-	0,76	1,05	1,05	0,28	0,46	0,36	3,93	0,28

Tabla 32. Cuadro Sumatoria de todas las diferencias de frecuencias relativas. Criterio II.

AMT de JAÉN según CRITERIO II																																		
G																																		
Año	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Med	Dev
1998	ENE	2791	1121	1879	1145	1153	2340	1914	2752	2663	2929	2378	1310	2040	2979	3035	2612	2979	2734	2893	2875	3463	3276	2115	1109	2759	1679	2273	2712	2581	1639	1218	2301	708
1998	FEB	2315	1169	2312	2376	1317	1196	3849	1034	3777	2183	3864	2130	3998	4074	4074	4170	4047	3716	4302	3923	2007	3895	4625	5153	4800	5251	4849	3853	0	0	0	3366	1586
2003	MAR	4710	4119	4648	5027	4771	4671	3503	4117	5122	5427	5466	5368	5223	5042	4693	4745	954	2017	2150	6104	4913	3364	5141	5522	4834	3348	1236	4389	1542	5282	6476	4320	1411
1997	ABR	6443	6174	5979	6590	6532	4486	1744	4901	3676	4684	6237	7234	7263	6899	6775	5862	6094	5049	2804	1985	4391	1654	7125	6048	3403	6508	6968	7657	7696	7615	0	5549	2034
2000	MAY	1634	7440	7325	5024	2433	3104	4495	2555	5472	4555	7348	6576	7999	8111	7512	7445	7971	7968	7353	7597	3677	7245	3753	4505	7383	7176	7633	8113	8351	7718	8421	6254	2046
2010	JUN	7989	6560	7872	7915	7581	7853	8131	7813	3750	4151	6907	3273	4435	6234	4564	8332	8300	7706	8199	7660	8042	8242	8118	7415	6455	8031	8109	7717	6738	7706	0	7060	1942
2001	JUL	8573	8547	8038	7746	8658	8029	8441	7994	7476	8422	8167	7730	8377	8492	6414	8058	8498	8469	8515	8565	6279	6547	7490	8246	8211	8275	8189	4528	7594	2512	5587	7634	1359
1998	AGO	7995	7732	7573	7807	7705	7719	7720	7381	7081	7088	6257	6999	6438	6286	3962	7258	4542	7245	7062	6869	6986	6909	6895	6621	6529	6541	6051	6482	6346	6556	3713	6721	1029
2008	SEP	6315	6184	5910	5803	5222	2434	5119	5170	4454	1870	5701	5596	6025	6159	6144	5694	4929	3206	5003	5021	4765	3435	3164	2786	2832	5441	1169	2533	4921	5402	0	4614	1657
2001	OCT	5533	5478	4240	4892	4690	2427	5405	5290	2618	995	3525	2165	4285	4306	4509	4447	3849	3656	2137	2104	2769	4422	3929	4513	4297	2319	3555	2893	3866	3790	3998	3771	1141
2006	NOV	3167	715	1119	3701	2343	2674	748	1501	3327	3602	3705	3622	3466	3295	3281	1216	3289	3245	3241	3203	1652	1373	1556	1981	393	1053	2441	1552	2627	2818	0	2397	1121
2008	DIC	2057	2620	1124	1169	950	1002	1193	992	490	2594	2858	806	764	1121	2688	1372	2326	2764	2780	2829	2854	2906	2492	2435	2387	2437	1975	1094	2251	2657	1758	1927	798

Tabla 33. Criterio II del AMT para la ciudad de Jaén.

A continuación se muestra la tabla resumen con los valores para el AMT según el criterio II:

**Años cuyos meses
conforman el AMT según
el Criterio II**

A M T Criterio II	ENERO	1998
	FEBRERO	1998
	MARZO	2003
	ABRIL	1997
	MAYO	2000
	JUNIO	2010
	JULIO	2001
	AGOSTO	1998
	SEPTIEMB.	2008
	OCTUBRE	2001
	NOVIEMB.	2006
	DICIEMB.	2008

Tabla 34. AMT Criterio II.

Se han explicado los 2 criterios para el Año Meteorológico Típico donde:

- Criterio I: se utiliza para obtener un resumen rápido a cerca de los años.
- Criterio II: se utiliza para obtener un resumen de los años más detallado, teniendo más elaboración que el primer criterio.

6.5. Ordenación y Análisis de Temperatura

Otra variable meteorológica muy importante es la temperatura ya que es necesario conocerla para implementaciones en dimensionados de instalaciones fotovoltaicas, puesto que la temperatura puede afectar gravemente a la vida útil de los paneles solares entre otros. Por este motivo, se realiza una ordenación de todos los datos para un posterior análisis de la misma.

En primer lugar, se recolectan todos los datos en una hoja de cálculo Excel llamada '*Ordenación de Temperaturas*' a partir de unos documentos ASCII habilitados por el tutor que han sido recogidos por la estación situada en la Universidad de Jaén.

Este documento ASCII, incorporado a una hoja Excel, se trata de un día en un mes concreto del año 1997.

- La columna A muestra un código de archivo que no se tiene en cuenta.
- La columna B muestra el tiempo en intervalos de 10 minutos en los que se han ido midiendo la temperatura.
- La columna C muestra la temperatura mínima recogida.
- La columna D muestra la temperatura máxima recogida.
- La columna E muestra el cálculo de la temperatura media recogida.

Las demás columnas no son relevantes para este apartado del proyecto.

En la hoja de cálculo Excel '*Ordenación de Temperaturas*' se colocan en diferentes hojas cada año con sus correspondientes meses. Para cada año, se realizan en cada mes las medias de las temperaturas por horas, obteniendo así las temperaturas medias horarias.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	24607	0	109	110	109	12	14	1248	1261	4455	4456	4433	4073	4
2	24607	10	108	110	108	12	14	1240	1258	4455	4456	4433	4073	4
3	24607	20	109	111	109	12	14	1251	1263	4456	4456	4456	4073	4
4	24607	30	111	111	111	12	14	1257	1266	4456	4479	4456	4073	4
5	24607	40	110	111	109	12	14	1261	1274	4456	4479	4456	4073	4
6	24607	50	109	109	109	12	14	1252	1262	4456	4456	4456	4073	4
7	24607	60	109	110	109	12	14	1249	1265	4456	4456	4456	4073	4
8	24607	70	110	111	110	12	14	1252	1278	4456	4456	4456	4073	4
9	24607	80	111	112	109	13	14	1268	1282	4456	4456	4456	4073	4
10	24607	90	108	109	107	12	14	1231	1254	4456	4456	4456	4073	4
11	24607	100	106	107	106	9	14	1217	1242	4449	4456	4433	4066	4
12	24607	110	104	106	102	6	14	1188	1212	4441	4456	4409	4060	4
13	24607	120	102	103	102	0	1	1174	1192	4427	4433	4409	4051	4
14	24607	130	102	103	102	10	14	1181	1194	4451	4479	4409	4066	4
15	24607	140	102	103	102	8	14	1159	1190	4449	4479	4433	4066	4
16	24607	150	102	103	102	0	1	1138	1159	4438	4456	4433	4052	4
17	24607	160	102	103	102	0	1	1141	1162	4446	4456	4433	4052	4
18	24607	170	101	102	101	0	0	1131	1144	4443	4456	4433	4055	4
19	24607	180	102	103	102	0	1	1148	1173	4447	4456	4433	4065	4
20	24607	190	103	104	103	5	14	1162	1185	4458	4479	4433	4074	4
21	24607	200	103	105	102	12	14	1174	1194	4471	4479	4456	4086	4

Tabla 35. Ejemplo de documento ASCII con temperaturas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1		AGOSTO						SEPTIEMBRE						OCTUBRE				
2	Tiempo	Date	Tª Máxima	Tª Mínima	Media Tª	Media Horaria	Time	Date	Tª Máxima	Tª Mínima	Media Tª	Media Horaria	Time	Date	Tª Máxima	Tª Mínima	Media Tª	Media Horaria
3	0:05	01/08/2005	27,9	27,9	27,9		0:05	01/09/2005	28,6	28,6	28,6		0:10	01/10/2005	22,9	22,7	22,8	
4	0:10	01/08/2005	27,9	27,8	27,85		0:10	01/09/2005	28,7	28,6	28,65		0:20	01/10/2005	23,1	22,8	22,95	
5	0:15	01/08/2005	27,8	27,7	27,75		0:15	01/09/2005	28,7	28,7	28,7		0:30	01/10/2005	23,1	22,7	22,9	
6	0:20	01/08/2005	27,7	27,4	27,55		0:20	01/09/2005	28,7	28,7	28,7		0:40	01/10/2005	23,1	22,8	22,95	
7	0:25	01/08/2005	27,4	27,3	27,35		0:25	01/09/2005	28,7	28,7	28,7		0:50	01/10/2005	23,1	22,8	22,95	
8	0:30	01/08/2005	27,3	27,3	27,3		0:30	01/09/2005	28,7	28,7	28,7		1:00	01/10/2005	22,9	22,7	22,8	22,89
9	0:35	01/08/2005	27,3	27,2	27,25		0:35	01/09/2005	28,7	28,7	28,7		1:10	01/10/2005	22,9	22,8	22,85	
10	0:40	01/08/2005	27,2	27,1	27,15		0:40	01/09/2005	28,8	28,8	28,8		1:20	01/10/2005	22,8	22,5	22,65	
11	0:45	01/08/2005	27,2	27,1	27,15		0:45	01/09/2005	28,8	28,7	28,75		1:30	01/10/2005	22,5	22,4	22,45	
12	0:50	01/08/2005	27,3	27,1	27,2		0:50	01/09/2005	28,7	28,6	28,65		1:40	01/10/2005	22,5	22,4	22,45	
13	0:55	01/08/2005	27,1	26,9	27		0:55	01/09/2005	28,6	28,2	28,4		1:50	01/10/2005	22,7	22,5	22,6	
14	1:00	01/08/2005	26,9	26,8	26,85	27,36	1:00	01/09/2005	28,2	28	28,1	28,62	2:00	01/10/2005	23,3	22,7	23	22,67
15	1:05	01/08/2005	26,8	26,7	26,75		1:05	01/09/2005	28	27,9	27,95		2:10	01/10/2005	23,3	23,3	23,3	
16	1:10	01/08/2005	26,7	26,6	26,65		1:10	01/09/2005	27,9	27,7	27,8		2:20	01/10/2005	23,3	23,3	23,3	
17	1:15	01/08/2005	26,6	26,6	26,6		1:15	01/09/2005	27,6	27,4	27,5		2:30	01/10/2005	23,3	22,9	23,1	
18	1:20	01/08/2005	26,6	26,4	26,5		1:20	01/09/2005	27,4	27,3	27,35		2:40	01/10/2005	22,9	22,3	22,6	
19	1:25	01/08/2005	26,4	26,4	26,4		1:25	01/09/2005	27,3	27,3	27,3		2:50	01/10/2005	22,2	22	22,1	
20	1:30	01/08/2005	26,4	26,3	26,35		1:30	01/09/2005	27,3	27,3	27,3		3:00	01/10/2005	22,4	22,1	22,25	22,78
21	1:35	01/08/2005	26,3	26	26,15		1:35	01/09/2005	27,3	27,3	27,3		3:10	01/10/2005	22,4	21,9	22,15	
22	1:40	01/08/2005	26	25,8	25,9		1:40	01/09/2005	27,3	27,2	27,25		3:20	01/10/2005	21,9	21,3	21,6	
23	1:45	01/08/2005	25,8	25,7	25,75		1:45	01/09/2005	27,1	26,8	26,95		3:30	01/10/2005	21,3	21,1	21,2	
24	1:50	01/08/2005	25,7	25,4	25,55		1:50	01/09/2005	26,8	26,7	26,75		3:40	01/10/2005	21,1	20,7	20,9	
25	1:55	01/08/2005	25,4	25,2	25,3		1:55	01/09/2005	26,7	26,7	26,7		3:50	01/10/2005	20,7	20,4	20,55	
26	2:00	01/08/2005	25,2	24,9	25,05	26,08	2:00	01/09/2005	26,8	26,7	26,75	27,24	4:00	01/10/2005	20,6	20,5	20,55	21,16
27	2:05	01/08/2005	24,9	24,9	24,9		2:05	01/09/2005	26,8	26,8	26,8		4:10	01/10/2005	20,6	19,9	20,25	
28	2:10	01/08/2005	24,9	24,8	24,85		2:10	01/09/2005	26,8	26,6	26,7		4:20	01/10/2005	19,9	19,5	19,7	

Tabla 36. Ejemplo de Ordenación de Temperaturas y cálculos de temperaturas medias horarias para el año 2005.

Calculadas las temperaturas medias horarias, se construye otra tabla con los promedios de éstas para cada día, obteniendo de esta manera las temperaturas medias diarias para ese año en concreto. Tras esto, se realiza una última tabla esta vez haciendo los promedios de la anterior para obtener un cuadro de cálculo de temperaturas medias mensuales. Se hace lo mismo para todos los años que se tiene en este estudio y se extrae una expresión a partir de la representación gráfica de todos los meses de todos los años.

	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	21,16	23,00	23,88	14,41	7,01
2	15,70	19,84	23,15	15,26	13,17
3	22,23	21,58	18,84	16,68	13,32
4	19,51	23,33	17,66	14,75	13,53
5	28,50	25,19	18,72	10,71	13,10
6	24,46	17,48	20,09	11,47	9,48
7	31,20	9,22	21,46	12,19	8,47
8	30,78	13,08	22,30	12,96	8,73
9	27,63	22,12	20,84	12,17	10,67
10	23,90	21,73	18,75	9,48	8,26
11	24,72	19,71	18,55	10,85	6,80
12	27,39	21,00	19,16	10,68	5,13
13	29,82	22,99	14,27	7,63	4,41
14	31,13	24,12	12,65	6,84	5,25
15	26,11	26,76	15,33	7,95	4,97
16	29,45	22,92	16,40	10,02	5,73
17	28,40	20,04	15,26	9,58	5,80
18	27,74	16,66	0,00	9,88	7,02
19	26,27	18,67	16,64	13,44	9,08
20	27,46	18,77	15,97	15,52	10,11
21	24,71	20,57	17,01	15,82	9,47
22	21,99	10,36	15,82	13,97	9,49
23	25,78	15,66	16,10	12,71	9,66
24	28,03	21,47	15,73	8,82	8,12
25	28,36	21,89	16,73	7,76	10,08
26	27,24	19,56	19,94	7,85	11,15
27	26,81	22,22	20,15	5,45	10,56
28	28,03	23,80	22,83	7,10	7,58
29	28,31	23,60	18,83	6,50	6,87
30	29,68	24,07	19,99	5,99	10,19
31	28,51		16,31		11,09

Tabla 37. Cuadro de cálculo de temperaturas medias diarias para el año 2005.

	MEDIAS MENSUALES
Agosto	26,48
Septiembre	20,38
Octubre	17,72
Noviembre	10,82
Diciembre	8,85

Tabla 38. Cuadro de cálculo de temperaturas medias mensuales para el año 2005.

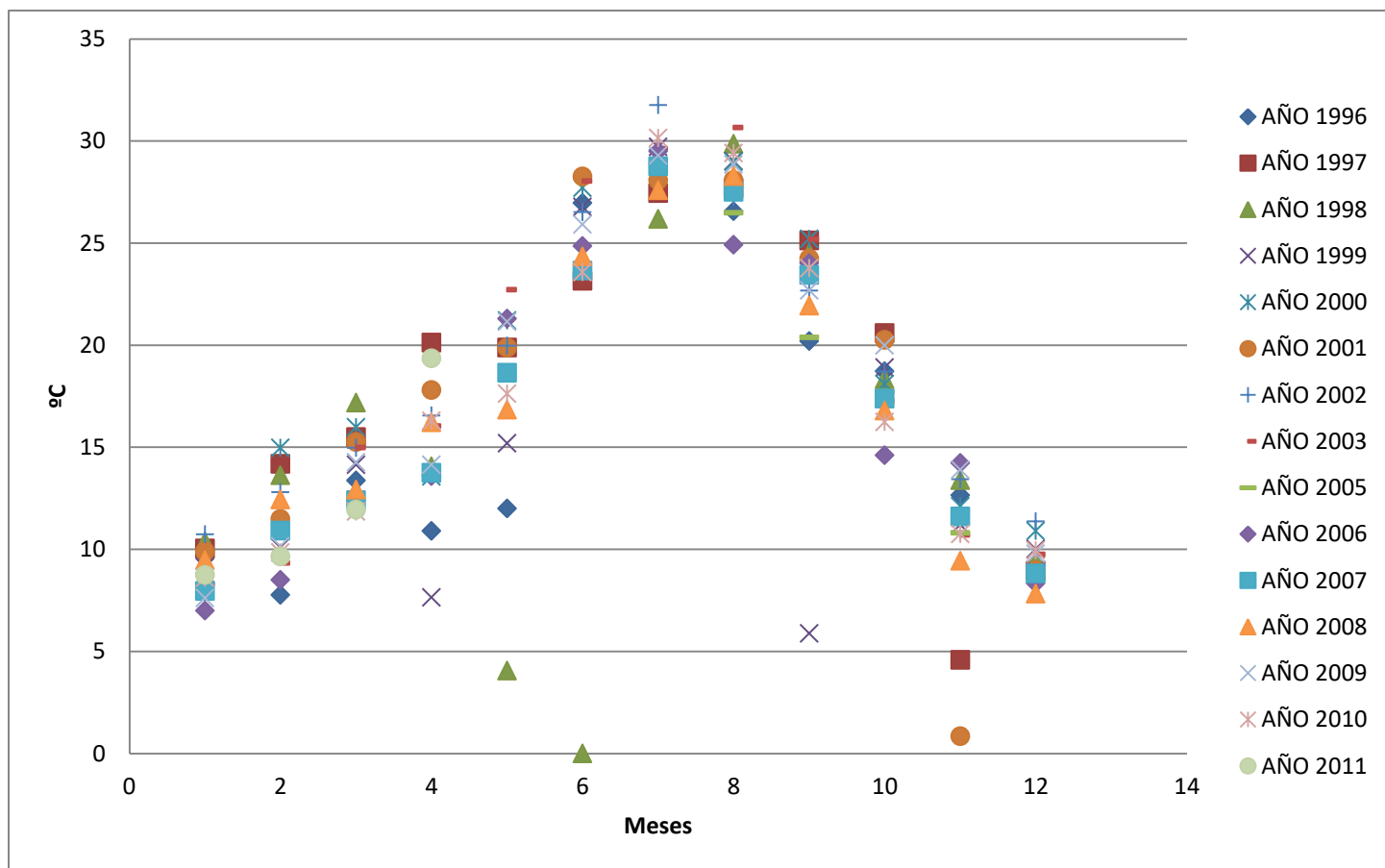


Figura 12. Representación gráfica de todos los meses del periodo anual 1996 – 2011.

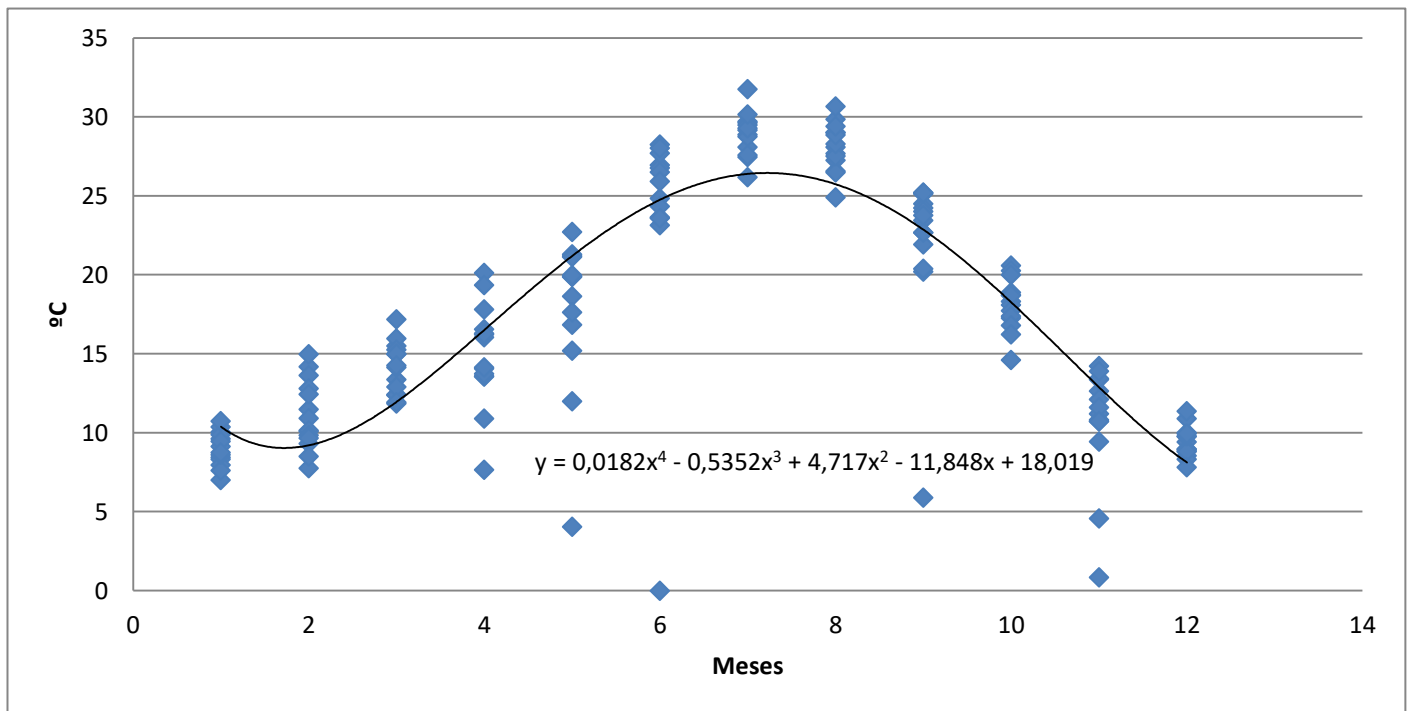


Figura 13. Representación gráfica de todos los meses de todos los años en conjunto y obtención de la expresión.

La expresión obtenida basándose en el apéndice 1 del artículo Almonacid et al. [11] es la siguiente:

$$T^a = 0,0182t^4 - 0,5352t^3 + 4,717t^2 - 11,848t + 18,019$$

Donde T^a es la temperatura media y t es el tiempo (en meses).

7. Conclusiones

- Se destaca que los objetivos propuestos inicialmente se han logrado satisfactoriamente, realizando un exhaustivo trabajo de caracterización solar, calculándose medias y desviaciones típicas; y análisis de temperatura.
- Resaltar que se ha trabajado con gran cantidad de datos, de radiación solar horaria y temperaturas, recabados a partir de una estación situada en la Universidad de Jaén, con sus correspondientes cálculos, durante 15 años (periodo de 1996 – 2011, excluyendo 2004). Presentándose los principales contrastes de ellos.
- Se ha obtenido el Año Meteorológico Típico, a partir de los 15 años, sirve como

base – resumen de características solares para aplicaciones relacionadas por ejemplo con dimensionados de instalaciones solares fotovoltaicas o modelado del comportamiento térmico de edificios y construcciones.

- La correlación, entre el índice de claridad y la fracción de difusa, conseguida para Jaén. Se presentan dos propuestas de correlaciones (horaria y diaria).
- Se ha conseguido la expresión de la temperatura para la ciudad de Jaén. Se ha calculado corrigiendo los errores recogidos por la estación.

Las energías renovables han ido cambiando con el paso del tiempo, teniendo desde el primer momento un gran crecimiento.

En la ciudad de Jaén coexisten las energías de la biomasa, solar térmica y solar fotovoltaica. Esta última supone un 10,33% de la potencia total instalada en Andalucía.

8. Bibliografía

- Macagnan, Mario Henrique., (1993). *Caracterización de la radiación solar para aplicaciones fotovoltaicas en el caso de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de la Telecomunicación, Madrid.
- Ruiz Rus, J., (2005). *Proyecto Fin de Carrera. Obtención del Año Meteorológico Típico (AMT) para Jaén*. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén, Jaén.
- Escribano Expósito, R.J., (2009). *Proyecto Fin de Carrera. Obtención de correlaciones índice de claridad y fracción de difusa en la ciudad de Jaén*. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén, Jaén.
- Salas López, A., (2011). *Proyecto Fin de Carrera. Actualización Base de Datos de Radiación Solar de Jaén*. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén, Jaén.
- Castejón Oliva, A y Santamaría Herranz, G., (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Editex.
- Lorenzo, E. y Araujo, G. L., (1994). *Electricidad solar: ingeniería de los sistemas fotovoltaicos*. España: Progensa.
- Smets, A. HM. Et Al. (2016). *Solar energy: the physics and engineering of*

photovoltaic conversion, technologies and systems. Inglaterra: UIT Cambridge Ltd.

- Gonçalves, P., y Orestes, M. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 590-601.
- Heras-Saizarbitoria, I., Cilleruelo, E., y Zamanillo, I. (2011). Public acceptance of renewables and the media: an analysis of the Spanish PV solar experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4685-4696.
- Zhanga, D., Wang, J., Lin, Y., Si, Y., Huang, C., Yang, J., Huang, B., y Li, W. (2017). Present situation and future prospect of renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 865-871.
- Subtil, J., y CJM van den Bergh, J. (2016) Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 331-340.
- <http://elredondelito.es/el-sol-principal-fuente-de-energia-de-la-tierra/>
- <https://www.eoi.es/es/file/18640/download?token=vilM3mLa>
- https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/02_leccion/www/Fundamentos.htm
- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76817/TFG%20Longreach%20-%20Australia%20COMPLETO%20-%20Volo.%20Koziy_14804415340334049279173402084739.pdf?sequence=2
- https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/02_intermedio/ej_cal_radiacion.htm
- https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf
- <https://solar-energia.net/>
- Apuntes de asignaturas del Máster de Energías Renovables.

9. Referencias

- [1] Macagnan, Mario Enrique. (1993). *Caracterización de la radiación solar para aplicaciones fotovoltaicas en el caso de Madrid*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de la Telecomunicación, Madrid.
- [2] Orgill, J.F. y Hollands, K.G.T. (1977). *Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface*. Solar Energy, 19, 357 – 359.
- [3] Erbs, D.G.; Klein, S.A. y Duffie, J.A. (1982). *Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly – average global radiation*. Solar Energy, 28, 293 – 302.
- [4] Reindl, D.T.; Beckman, W.A. y Duffie, J.A. (1990). *Diffuse fraction correlations*. Solar Energy, 45, 1 – 7.
- [5] Skartveit, A. y Olseth, J.A. (1987). *A model for the diffuse fraction of hourly global radiation*. Solar Energy, 38, 271 – 274.
- [6] Maxwell, E.L. (1987). *A quasi – physical model for converting hourly global horizontal to direct normal insolation*. SERI/TR, 215-3087.
- [7], [8] y [9] WMO – CIMO. (1976). *Working Group on Radiation Measurements Systems*. WMO Bull, 25, 251.
- [10] Castejón Oliva, A y Santamaría Herranz, G. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Editex.
- [11] Almonacid, F.; Pérez-Higueras, P.; Rodrigo, P. y Hontoria, L. (2013). *Generation of ambient temperature hourly time series for some Spanish locations by artificial neural networks*. Renewable Energy, 51, 285 – 291.