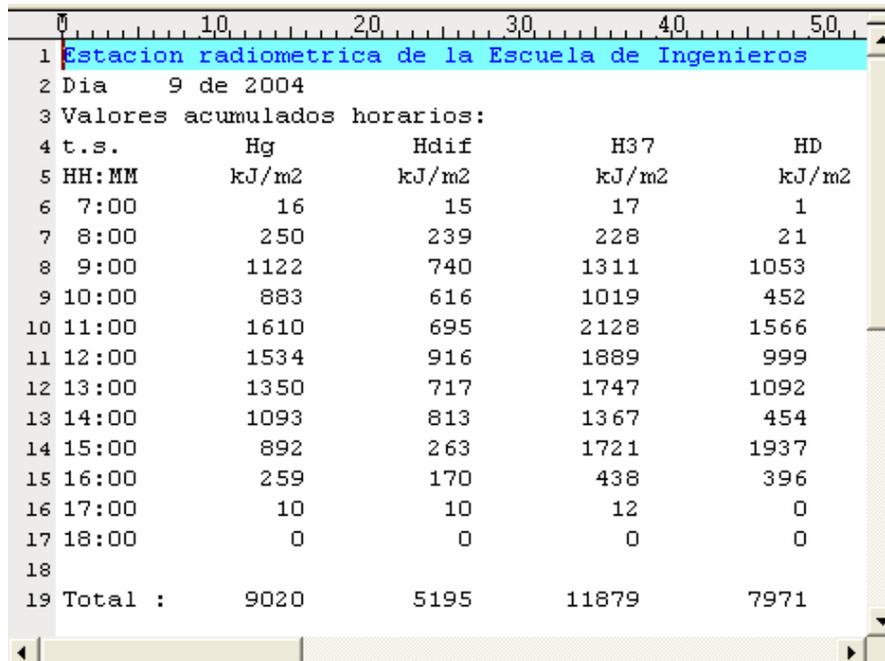


## 7. Modelo Kd-Kt horario

### 7.1 Cálculo de la radiación horaria

Para obtener un modelo Kd-Kt horario lo primero que necesitamos conocer son los valores de irradiación horaria de cada una de las variables que intervienen en el proceso. Al igual que hicimos en el apartado 6.1 para obtener los valores diarios, tendremos que integrar los datos que registramos en los ficheros “arad” cada hora. Aplicaremos el método de los trapecios para hallar la integral y utilizaremos la hora solar como escala de tiempo auxiliar. Lo haremos mediante un programa en Matlab que generará un nuevo fichero para cada día con los valores horarios de todas las variables registradas. Los ficheros serán nombrados como ryyddd.dat, donde yy son los dos últimos dígitos del año al que pertenece y ddd tres dígitos que nos informa del día. Los archivos generados tienen la siguiente estructura:



```

1 Estacion radiometrica de la Escuela de Ingenieros
2 Dia 9 de 2004
3 Valores acumulados horarios:
4 t.s.      Hg      Hdif      H37      HD
5 HH:MM    kJ/m2    kJ/m2    kJ/m2    kJ/m2
6 7:00     16       15       17       1
7 8:00     250      239      228      21
8 9:00     1122     740      1311     1053
9 10:00    883      616      1019     452
10 11:00   1610     695      2128     1566
11 12:00   1534     916      1889     999
12 13:00   1350     717      1747     1092
13 14:00   1093     813      1367     454
14 15:00   892      263      1721     1937
15 16:00   259      170      438      396
16 17:00   10       10       12       0
17 18:00   0        0        0        0
18
19 Total : 9020      5195      11879     7971

```

Figura 7.1 Archivo r04009.dat perteneciente a la base de datos con valores de radiación horaria.

Los valores de las variables de cada hora almacenada corresponden a la irradiación registrada desde la media hora anterior hasta la media hora siguiente de esta. En la última fila de los ficheros se incluye el valor de la irradiación diaria.

Con estos archivos generados, completaremos la base de datos de valores horarios que había sido creada años anteriores con la misma estructura. Esta base de datos contaba con valores de radiación horaria hasta el año 2000 y se completará con los datos hasta el 2005.

Estos archivos utilizan como escala de tiempo la registrada en la última columna de los ficheros arad, tiempo en hora solar, pero debemos asegurarnos de que el sistema de adquisición de datos lo ha generado de forma correcta. De no ser así, a la hora de calcular los Kt no corresponderían los valores de irradiación horaria extraterrestres con los almacenados en los ficheros y obtendríamos valores de Kt que no son reales.

## 7.2 Centrado de los valores horarios

Para comprobar si el vector de tiempos registrado en los ficheros como hora solar ha sido creado correctamente utilizaremos un procedimiento desarrollado y puesto en práctica por el Ciemat en su proyecto “Tratamiento de imágenes de satélite para cálculo de la radiación solar en Andalucía y Extremadura” [7]. Esta metodología, que se detallará a continuación, dio muy buen resultado en este centro de investigación, que asegura que es muy eficaz y válida para todos los días incluso en el caso de ser irregulares y con distribuciones no simétricas.

### 7.2.1 Metodología de ajuste horario

La metodología se basa en una serie de premisas:

- Se trabaja para cada día independientemente.
- Se da por no válida la hora registrada de antemano en los ficheros.
- Se calculan valores de irradiación global sobre superficie horizontal y extraterrestres en una unidad de tiempo que puede modificarse: 1/4 de hora (15 minutos), 1/8 de hora (7.5 minutos), 1/16 de hora (3.75 minutos)...Ellos recomiendan trabajar con 1/8 o inferior ya que por encima de esta unidad los errores pueden ser significativos.
- El vector de valores de irradiación extraterrestre se mantiene fijo y se toma como referencia absoluta de tiempo.
- El vector de valores medidos se mueve por todas las situaciones posibles, haciendo coincidir la primera hora con la hora anterior a la primera extraterrestre, hasta que la última hora medida coincida con la posterior extraterrestre.
- Se evalúa la matriz de Kt resultante desde la primera fracción de extraterrestre con altura mayor a  $10^\circ$  y la última con altura mayor que  $10^\circ$  (para evitar la posibilidad de disparos de Kt en las primeras horas).
  - Para cada serie obtenida en cada una de las posiciones posibles, se determina el máximo valor de la misma.
  - Se identifica el mínimo valor del vector de máximos obtenido. La posición a la que corresponde este mínimo, es finalmente la posición correcta del vector de datos medidos, y se almacena con la hora de la radiación extraterrestre correspondiente.

En este proyecto se aplicará la metodología con una fracción de hora de 5 minutos. A continuación mostramos un ejemplo de aplicación del proceso. En él se muestra el movimiento del vector de radiación global cada 5 minutos respecto al vector de la radiación extraterrestre. Se obtiene por tanto una matriz de valores de índice de claridad con tantas líneas como posiciones posibles, y tantas columnas como el número de subintervalos horarios considerados.

	$\alpha < 10^\circ$										$\alpha < 10^\circ$		
	HORA0		HORA1		HORA2			HORAm-2		HORAm-1		HORAm	
Base			$G_{h0}$	$G_{h0}$	$G_{h0}$	$G_{h0}$	...	$G_{h0}$	$G_{h0}$	$G_{h0}$	$G_{h0}$		
1ªIter			$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	...	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$
2ªIter		$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	...	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	
3ªIter	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	...	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	
4ªIter	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	...	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$		
Ult.Iter	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	...	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$	$G_{hi}$		

Tabla 7.1 Ejemplo del mecanismo empleado en el movimiento del vector de irradiancia global frente al extraterrestre a la hora de calcular los Kt en las diferentes iteraciones.

	$\alpha < 10^\circ$										$\alpha < 10^\circ$		
	HORA0		HORA1		HORA2			HORAm-2		HORAm-1		HORAm	
1ªIter			$K_{ti1}$	$K_{ti1}$	$K_{ti1}$	$K_{ti1}$	...	$K_{ti1}$	$K_{ti1}$	$K_{ti1}$	$K_{ti1}$		
2ªIter			$K_{ti2}$	$K_{ti2}$	$K_{ti2}$	$K_{ti2}$	...	$K_{ti2}$	$K_{ti2}$	$K_{ti2}$	$K_{ti2}$		
3ªIter			$K_{ti3}$	$K_{ti3}$	$K_{ti3}$	$K_{ti3}$	...	$K_{ti3}$	$K_{ti3}$	$K_{ti3}$	$K_{ti3}$		
4ªIter			$K_{ti4}$	$K_{ti4}$	$K_{ti4}$	$K_{ti4}$	...	$K_{ti4}$	$K_{ti4}$	$K_{ti4}$	$K_{ti4}$		
Ult.Iter			$K_{tin}$	$K_{tin}$	$K_{tin}$	$K_{tin}$	...	$K_{tin}$	$K_{tin}$	$K_{tin}$	$K_{tin}$		

Tabla 7.2 Ejemplo de matriz de valores Kt tras aplicar el procedimiento en n iteraciones.

Al haber elegido como fracción de tiempo 5 minutos se nos plantea un nuevo problema, si aparecen saltos en los valores de radiación registrados mayores que 5 minutos tendremos valores nulos de radiación en determinados intervalos donde la radiación no ha sido nula. En estos casos, se adjudicará al intervalo nulo el valor de la radiación del intervalo anterior para que la distribución sea lo menos irregular posible.

Aplicaremos esta metodología mediante un programa en Matlab que nos dará el valor del desfase de tiempo que debemos aplicar para centrar los valores recogidos por el sistema de adquisición de datos. Además, el programa nos representará el vector de valores de radiación extraterrestre junto con las dos posiciones del vector de radiación global sobre superficie horizontal antes y después de aplicar el desfase, y por último, representará el conjunto de valores Kt que se obtienen en todas las iteraciones señalando de color negro la que pertenece al día centrado.

Observando ambas representaciones para varios días podemos comprobar que la metodología no funciona correctamente para los días nublados. Es decir, el programa no converge en la iteración que centra correctamente el vector de valores de radiación global cuando los valores de radiación no pertenecen a un día claro. Como podemos ver en las siguientes figuras, la radiación global inicial representada en color verde esta más centrada que la que la radiación global una vez aplicada la metodología:

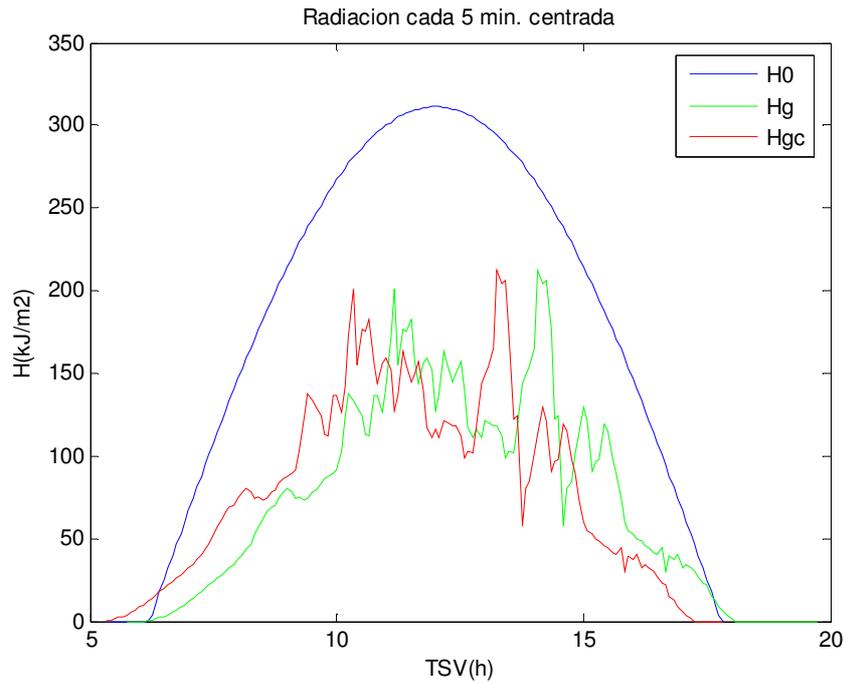


Figura 7.2 Representación de la irradiación extraterrestre y global sobre superficie horizontal, tal y como ha sido almacenada y una vez aplicada la metodología del centrado, del día 69 del 2000

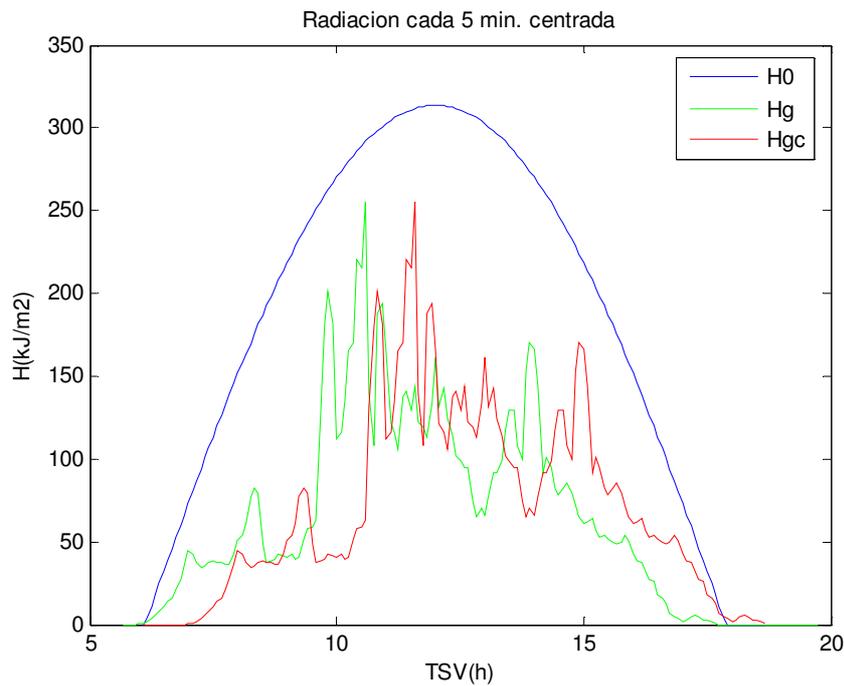


Figura 7.3 Representación de la irradiación extraterrestre y global sobre superficie horizontal, tal y como ha sido almacenada y una vez aplicada la metodología del centrado, del día 272 del 2000

Por este motivo se toma la decisión de aplicar la metodología a aquellos días del año que sean claros, donde funciona perfectamente como podemos comprobar a continuación:

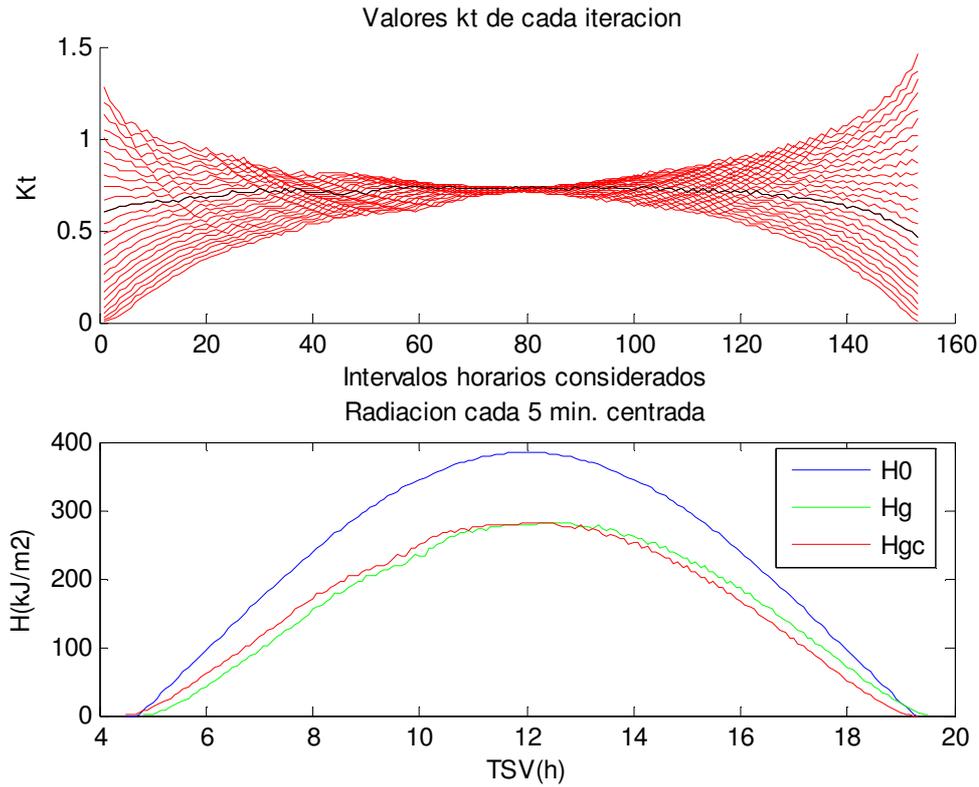


Figura 7.4 La primera figura muestra los valores de Kt obtenidos para cada una de las iteraciones. La segunda figura representa la irradiación extraterrestre y global sobre superficie horizontal, tal y como ha sido almacenada y una vez aplicada la metodología. Los datos pertenecen al día 182 del 2000.

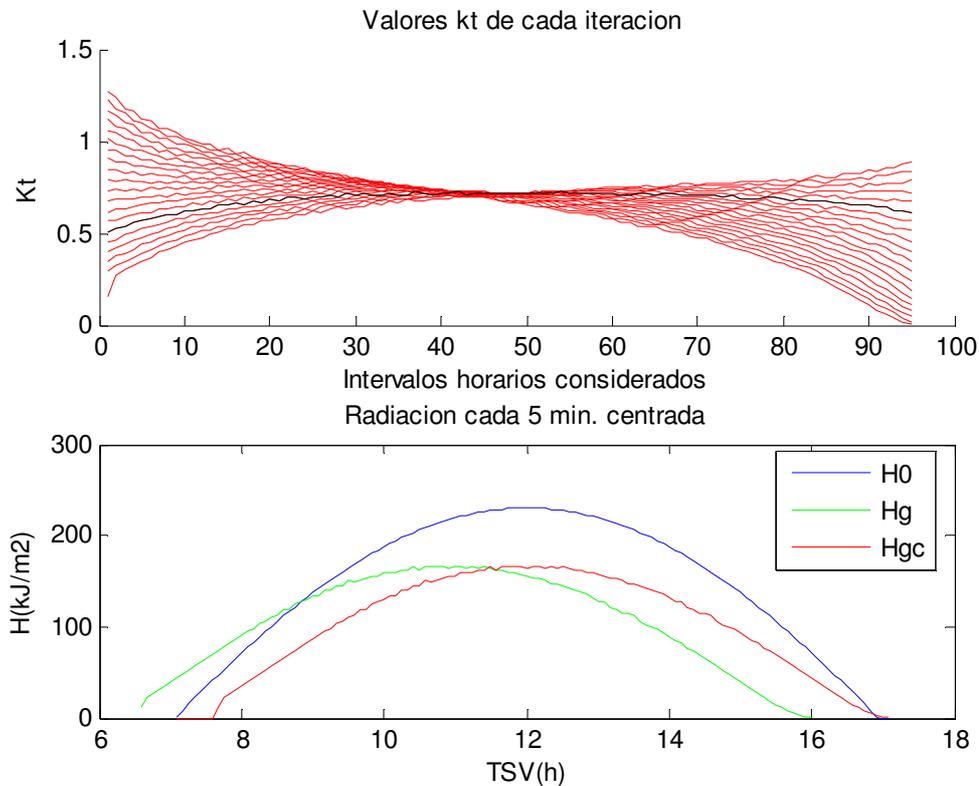


Figura 7.5 La primera figura muestra los valores de Kt obtenidos para cada una de las iteraciones. La segunda figura representa la irradiación extraterrestre y global sobre superficie horizontal, tal y como ha sido almacenada y una vez aplicada la metodología. Los datos pertenecen al día 22 del 2005

En la figura 7.5 observamos que el sistema de adquisición de datos se encuentra desfasado una hora y por ese motivo no registra los primeros valores de radiación. Este tipo de desfases son los que queremos identificar con este programa para conocer la magnitud de los desfases y saber si debemos modificar o no la escala de tiempo de nuestros ficheros, aplicamos el programa a todos los días claros de nuestro período de estudio y representamos el valor del desfase que aplicaría el programa para conseguir su centrado:

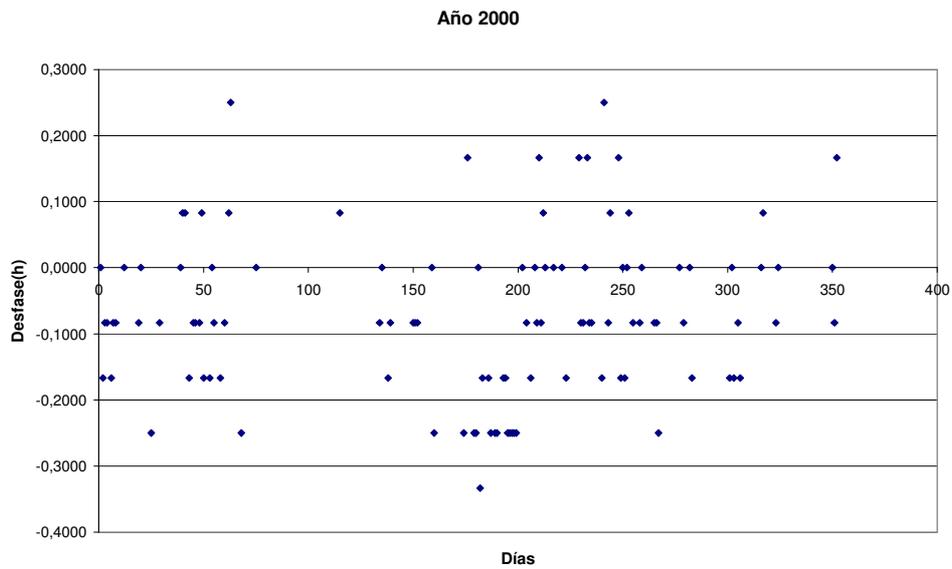


Figura 7.6 Representación del desfase entre la hora solar registrada por el sistema de adquisición de datos y la hora solar centrada según la metodología aplicada para los días claros del 2000.

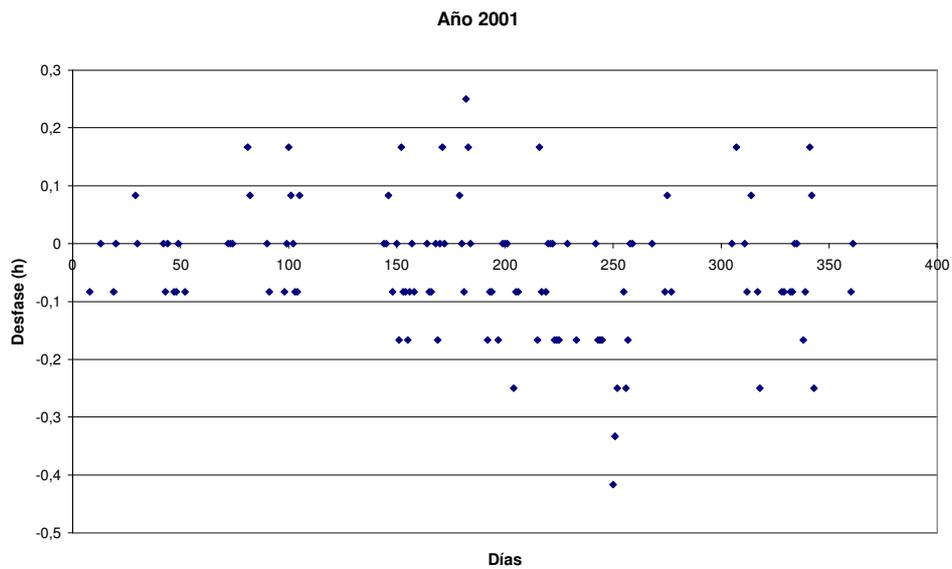


Figura 7.7 Representación del desfase entre la hora solar registrada por el sistema de adquisición de datos y la hora solar centrada según la metodología aplicada para los días claros del 2001.

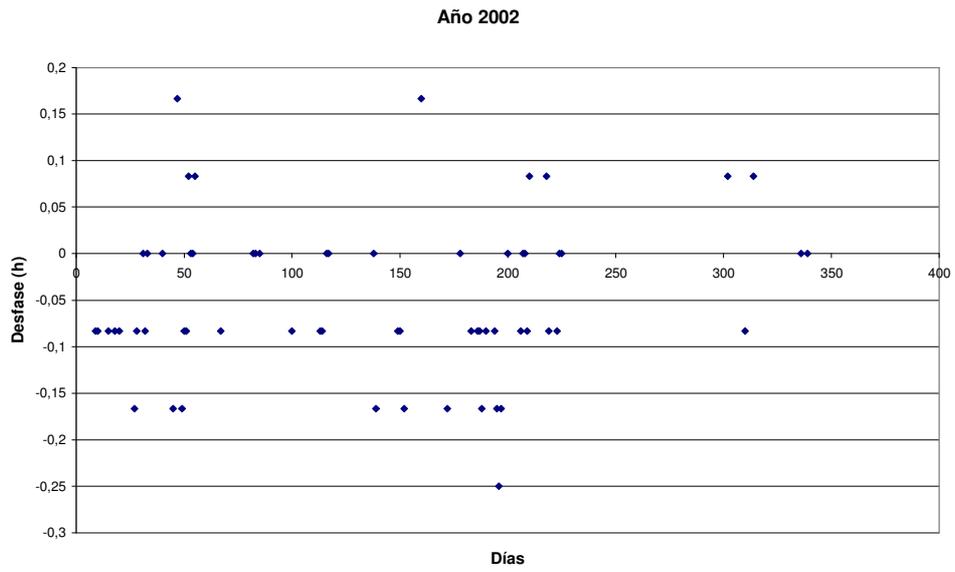


Figura 7.8 Representación del desfase entre la hora solar registrada por el sistema de adquisición de datos y la hora solar centrada según la metodología aplicada para los días claros del 2002.

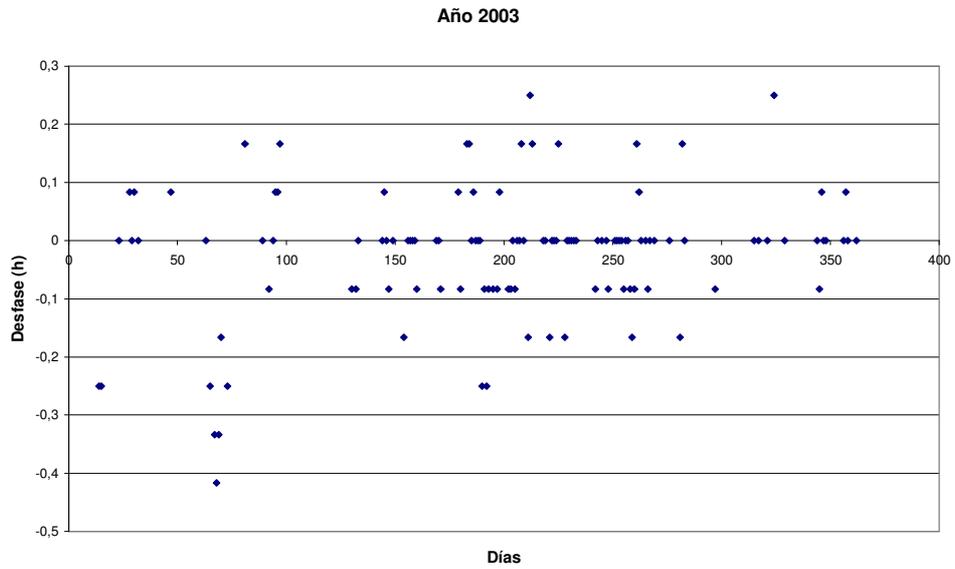


Figura 7.9 Representación del desfase entre la hora solar registrada por el sistema de adquisición de datos y la hora solar centrada según la metodología aplicada para los días claros del 2003.

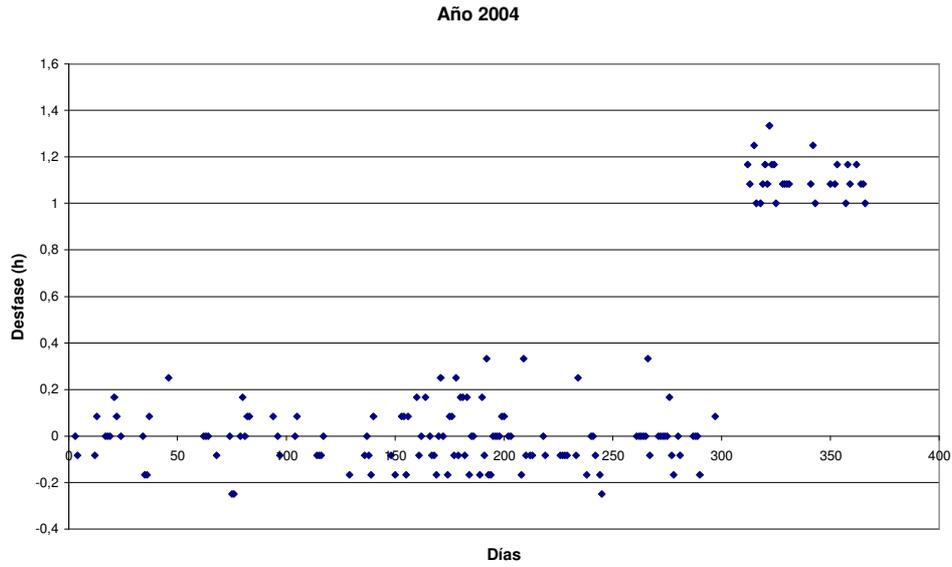


Figura 7.10 Representación del desfase entre la hora solar registrada por el sistema de adquisición de datos y la hora solar centrada según la metodología aplicada para los días claros del 2004.

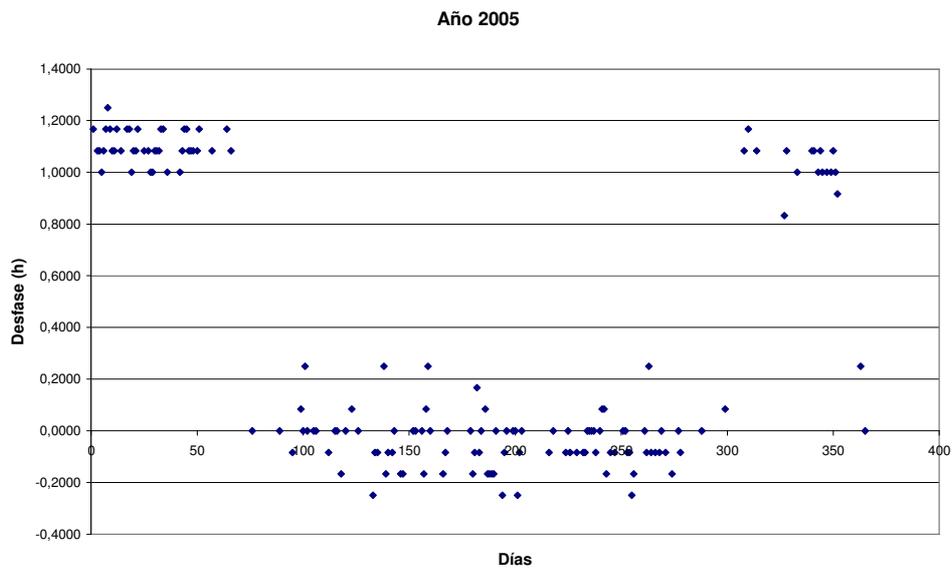


Figura 7.11 Representación del desfase entre la hora solar registrada por el sistema de adquisición de datos y la hora solar centrada según la metodología aplicada para los días claros del 2005.

Podemos observar en las figuras que los años en los que se producen los mayores desfases son el 2004 y el 2005, donde los días llegan a descentrarse del orden de una hora durante períodos claramente definidos. El resto de los años presentan desfases de 5-10 minutos que resulta ser el orden del error que incorpora este tipo de metodología. Algunos días sueltos llegan a alcanzar desfases de 15 minutos que no resultan significativos por presentarse de forma aislada. Estos desfases han podido deberse a huecos en las horas centrales del día. Por estos motivos, sólo centraremos los días que

se encuentran en los intervalos de los años 2004 y 2005 desfasados aproximadamente una hora.

El sistema de adquisición de datos no está programado para corregir el vector de tiempo solar frente a los cambios horarios que se realizan oficialmente para pasar de horario de invierno a horario de verano. Si observamos las figuras 7.10 y 7.11, podemos comprobar que los desfases de una hora se detectan durante los períodos correspondientes al horario de invierno, por lo que parece lógico pensar que durante estos períodos no se ha realizado el oportuno ajuste del vector de tiempos. Esta puede ser la causa de que en los últimos años hayan aparecido muchos días que no pasan el filtro “extremadamente raros”, ya que compara valores de radiación extraterrestre con otros valores de radiación desfasados una hora.

### 7.3 Obtención del modelo

Una vez centrado el vector de tiempos y cada una de las variables, calculamos para cada uno de los días válidos el valor de los coeficientes Kt y Kd horarios, que en este caso definimos como:

$$K_t = \frac{H_{gh}^h}{H_{oh}^h} \quad [6.1]$$

$$K_d = \frac{H_{dfh}^h}{H_{gh}^h} \quad [6.2]$$

Para el cálculo del coeficiente Kt necesitamos primero calcular la irradiación extraterrestre horaria que alcanza la atmósfera proyectada sobre una superficie horizontal utilizando la expresión 3.20 del apartado 3.1.7. El resto de las variables han sido calculadas en el apartado 7.1.

El cálculo del coeficiente Kd lo haremos de dos formas diferentes como hicimos con los valores diarios, así podremos comparar los resultados y detectar algún posible fallo que haya pasado desapercibido al aplicar los filtros. La primera forma será utilizando directamente el valor de la irradiación horaria difusa sobre superficie horizontal del apartado 7.1 y la segunda calculando los valores de difusa a partir de los de irradiación directa normal mediante la siguiente expresión:

$$K_{dD} = \frac{H_{gh}^h - H_D^h \cdot \cos(\theta_z)}{H_{gh}^h} \quad [6.3]$$

En esta ocasión, si podremos sustituir directamente los valores de radiación directa normal para hallar el KdD horario, asumiendo la hipótesis de que el ángulo cenital no varía a lo largo de la hora. Sustituiremos en  $\theta_z$  el valor del ángulo cenital en el instante central de la hora. Con esta aproximación facilitamos los cálculos sin introducir errores de consideración. El coeficiente que obtendremos aplicando la expresión 6.3 lo denominaremos KdD para diferenciarlo del Kd, donde se aplica directamente la irradiación difusa registrada.

Una vez calculados los tres coeficientes para todas las horas de los días válidos del período de estudio, representamos los valores de Kd-Kt y los KdD-Kt que en su instante central tienen una altura solar mayor que 10°. Esta medida ha sido tomada para evitar valores extraños de Kt que se pueden registrar en los instantes cercanos al orto y al ocaso solar causados por fenómenos de refracción en el horizonte.

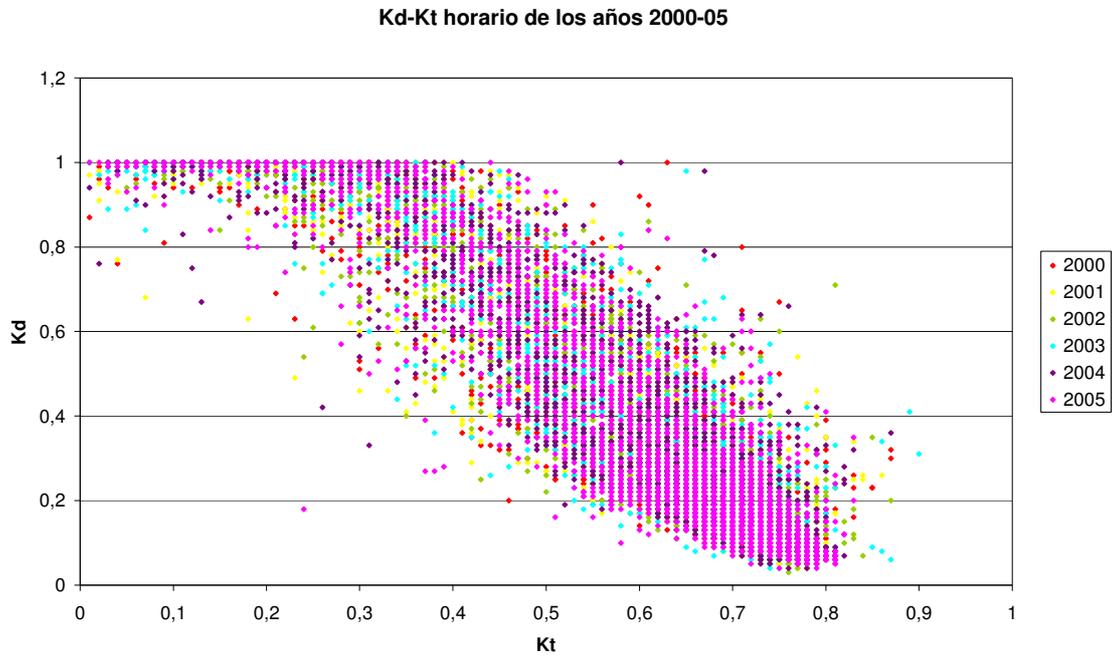


Figura 7.12. Representación de los valores Kd-Kt horarios obtenidos durante el período 2000-05.

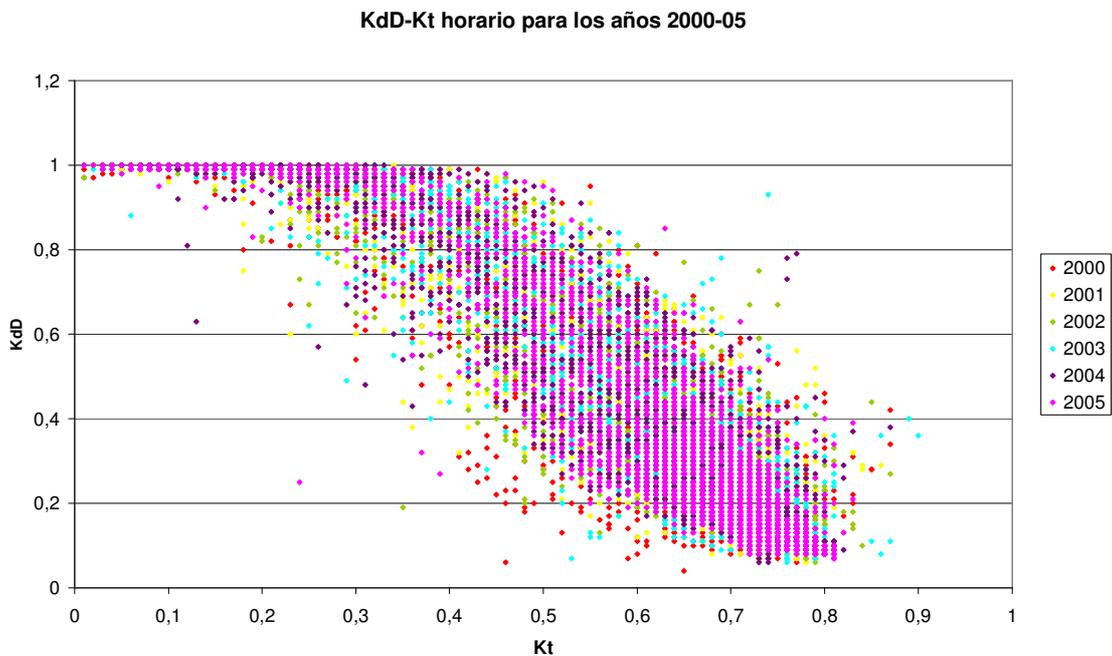


Figura 7.13 Representación de los valores KdD-Kt horarios obtenidos durante el período 2000-05.

En el apartado anterior, vimos representados los posibles desfases que incorporaba el vector de tiempos expresados en hora solar, la magnitud de estos desfases para la mayoría de los casos era del orden de 5 minutos pero en algunas ocasiones se presentaban días puntuales en los que se podían alcanzar los 15 minutos. Un desfase de esta magnitud puede afectar en mayor medida a los valores de  $K_t$  y  $K_d$  en las primeras y últimas horas del día donde existen los mayores gradientes de radiación (sobre todo en los días claros). Para ver si al no corregir estos desfases hemos variado de alguna forma la tendencia de la nube de puntos representaremos los  $K_d$ - $K_t$  y los  $K_{dD}$ - $K_t$  únicamente para las horas centrales del día:

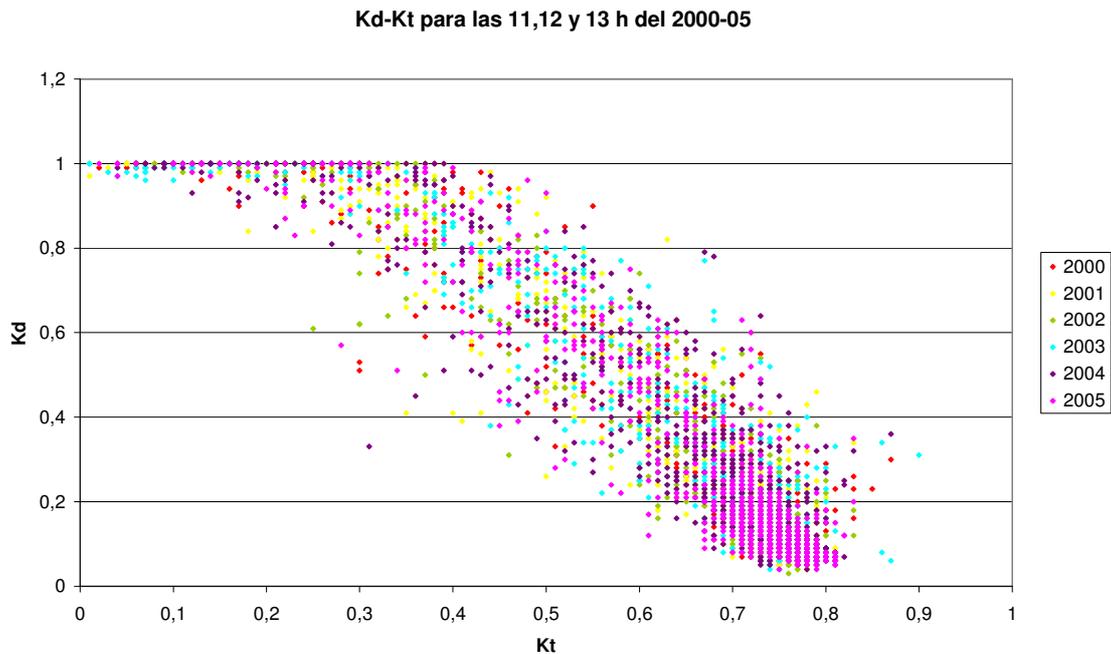


Figura 7.14 Representación de los valores  $K_d$ - $K_t$  para las 11,12 y 13 h. obtenidos durante el período 2000-05.

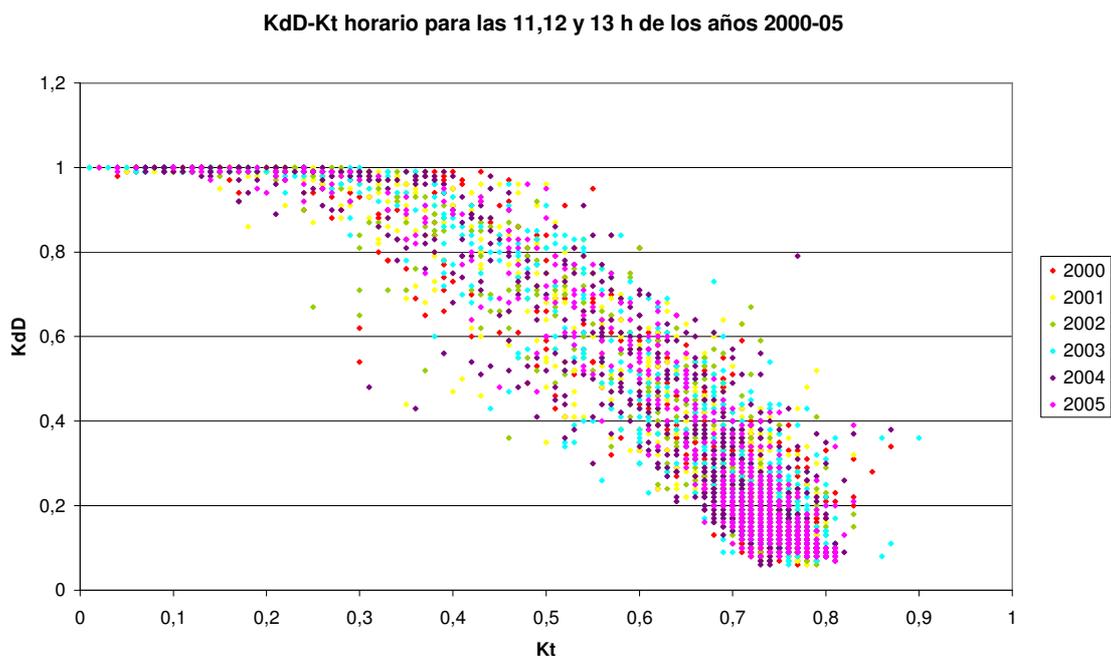


Figura 7.15 Representación de los valores  $K_{dD}$ - $K_t$  para las 11,12 y 13 h. obtenidos durante el período 2000-05.

Observamos que la dispersión de puntos es un poco menor pero que los valores que se alejaban más de la nube de puntos en las figuras 7.12 y 7.13 se mantienen para las horas centrales, es decir no son consecuencia de un mal centrado del vector de tiempos.

Al igual que hicimos con los coeficientes Kd-Kt para los valores diarios, aproximaremos las nubes de puntos representadas en las figuras 7.12 y 7.13 por diversos modelos matemáticos. Utilizando el mismo procedimiento que se usó en el apartado 6.2 para hallar estos modelos, obtendremos con los valores horarios los siguientes:

- Ajuste lineal:

Se aproximará la nube de puntos representada en las figuras 7.12 y 7.13 por un modelo lineal formado por 3 intervalos, dos intervalos donde el valor de Kd se considerara constante, y otro donde se ajustará el resto de valores con una recta de pendiente negativa. Para saber el valor de Kt que delimita el comienzo y el fin, de uno y otro intervalo del modelo, seguiremos el mismo procedimiento empleado para el modelo lineal de los valores diario (apartado 7.2). También seguiremos los mismos pasos a la hora de ajustar la recta en el sentido de los mínimos cuadrados. Para los coeficientes calculados con los valores de difusa, el proceso converge en el siguiente ajuste:

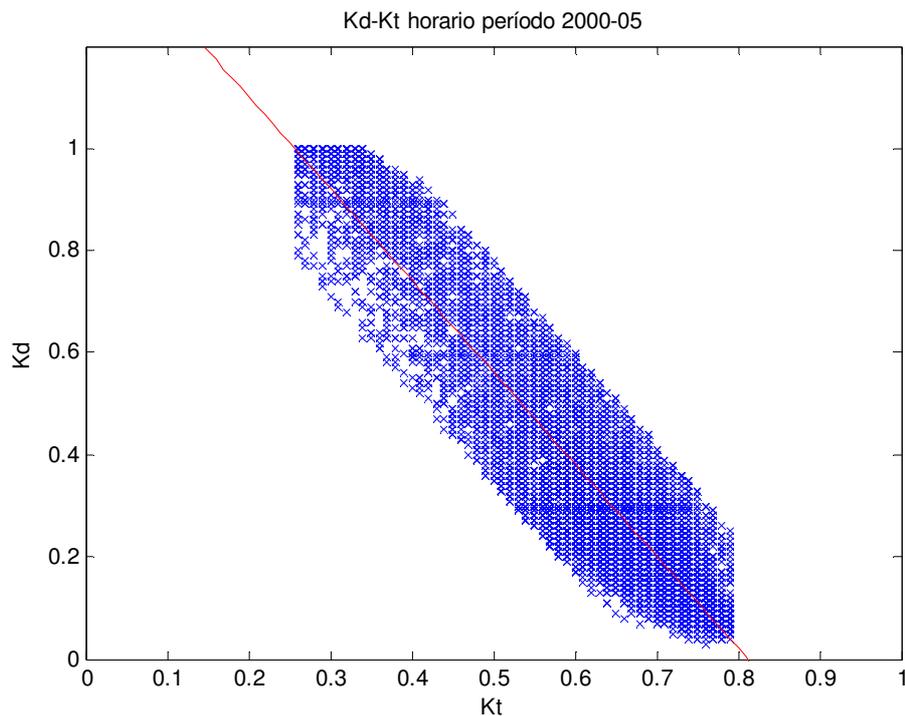


Figura 7.14 Representación de los valores Kd-Kt horarios empleados en el ajuste de la recta definitiva de pendiente negativa.

La recta representada en la figura es aquella en la que converge el procedimiento empleado que tiene la siguiente expresión:

$$\mathbf{Kd = 1.461179 - 1.798664 \cdot Kt} \quad [6.4]$$

Sustituyendo los puntos representados en la figura 7.14 en la ecuación [6.4] hallamos los siguientes extremos:

$$\begin{aligned}
 K_{t_{\text{máx.}}} &= 0.79 & K_{d_{\text{mín.}}} &= 0.040234 \\
 K_{t_{\text{mín.}}} &= 0.26 & K_{d_{\text{máx.}}} &= 0.993526
 \end{aligned}$$

**Modelo obtenido con los datos de radiación difusa:**

$$\begin{aligned}
 K_d &= 0.994 & \text{si} & K_t \leq 0.25 \\
 K_d &= 1.461179 - 1.798664 \cdot K_t & \text{si} & 0.25 < K_t < 0.80 \\
 K_d &= 0.040 & \text{si} & K_t \geq 0.80
 \end{aligned}$$

[6.5]

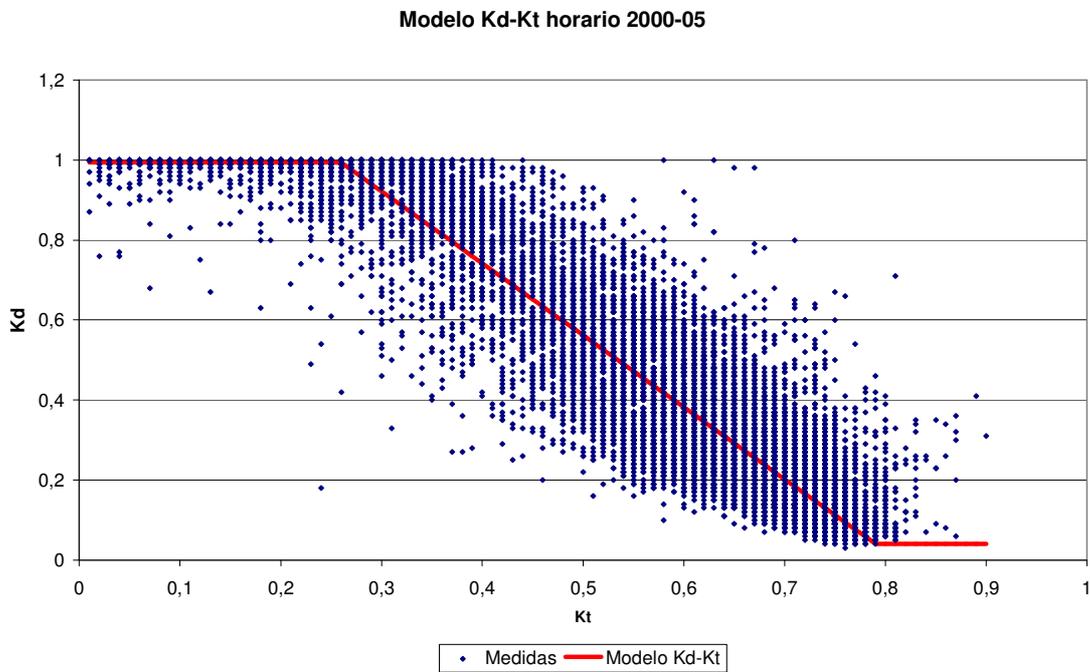


Figura 7.15 Representación de los valores Kd-Kt horarios del período 2000-05 y su ajuste lineal.

Para los puntos KdD-Kt representados en la figura 7.13 y siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior hallamos el siguiente modelo:

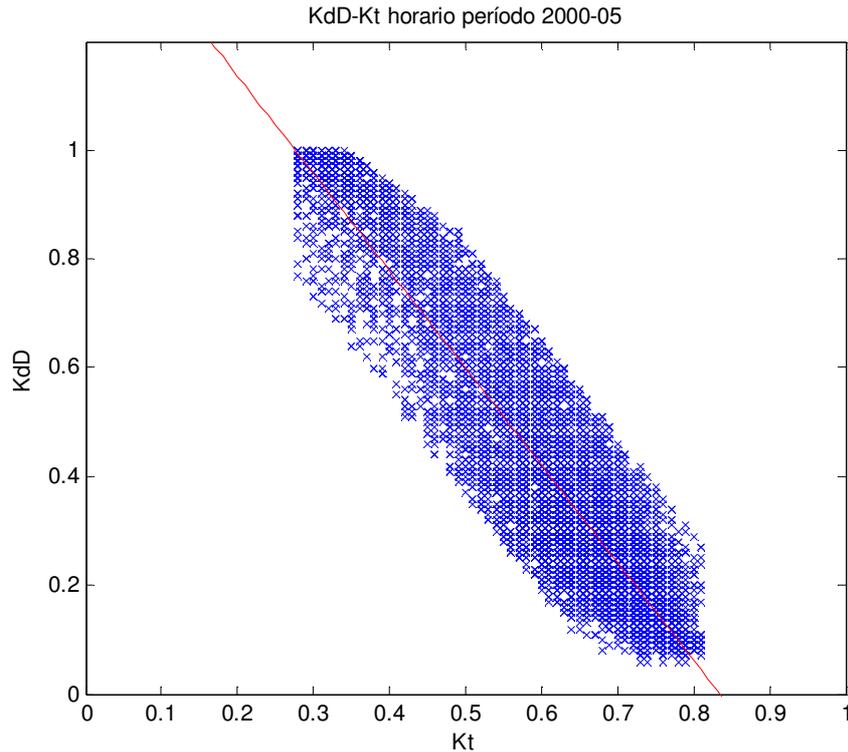


Figura 7.16 Representación de los valores KdD-Kt diarios empleados en el ajuste de la recta definitiva.

**Ecuación de la recta representada en la figura 5:**

$$\mathbf{KdD = 1.494593 - 1.789853 \cdot Kt} \quad [6.6]$$

Sustituyendo los puntos representados en la figura 7.16 en la ecuación de la recta hallamos los siguientes extremos:

$$\begin{array}{ll} \mathbf{Kt_{m\acute{a}x.} = 0.81} & \mathbf{Kd_{m\acute{i}n.} = 0.044812} \\ \mathbf{Kt_{m\acute{i}n.} = 0.28} & \mathbf{Kd_{m\acute{a}x.} = 0.993434} \end{array}$$

**Modelo obtenido con los datos de radiación directa:**

$$\begin{array}{lll} \mathbf{KdD = 0.993} & \mathbf{si} & \mathbf{Kt \leq 0.27} \\ \mathbf{KdD = 1.494593 - 1.789853 \cdot Kt} & \mathbf{si} & \mathbf{0.27 < Kt < 0.82} \\ \mathbf{KdD = 0.045} & \mathbf{si} & \mathbf{Kt \leq 0.82} \end{array}$$

[6.5]

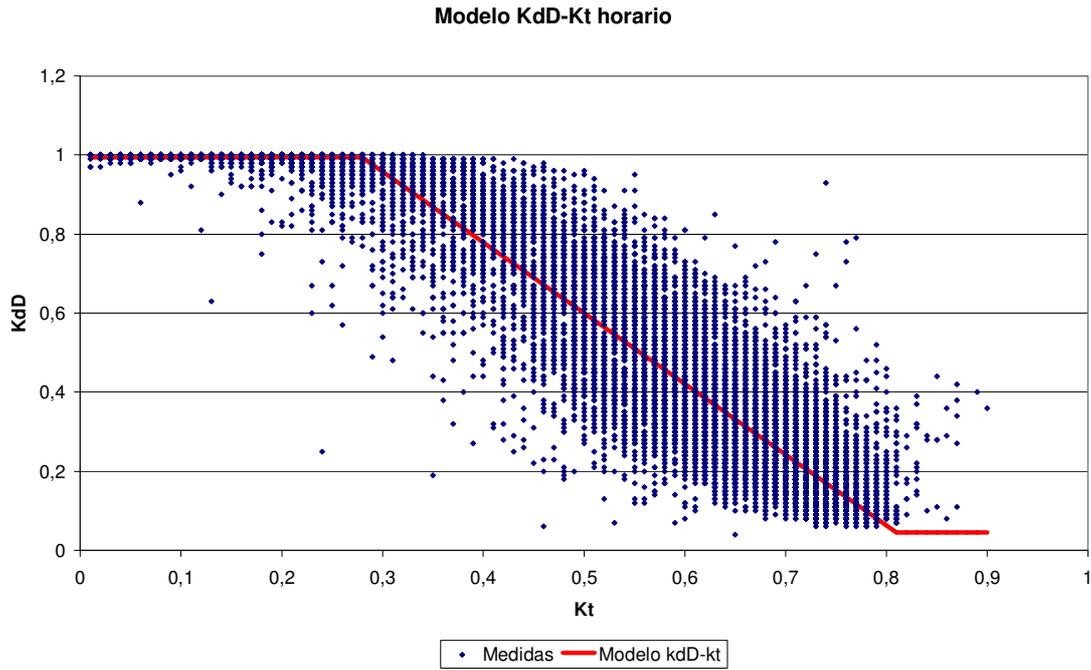


Figura 7.17 Representación de los valores KdD-Kt horarios del período 2000-05 con su modelo lineal.

Una vez hecho el ajuste representamos ambos modelos juntos sobre los puntos de partida para poder comparar los resultados:

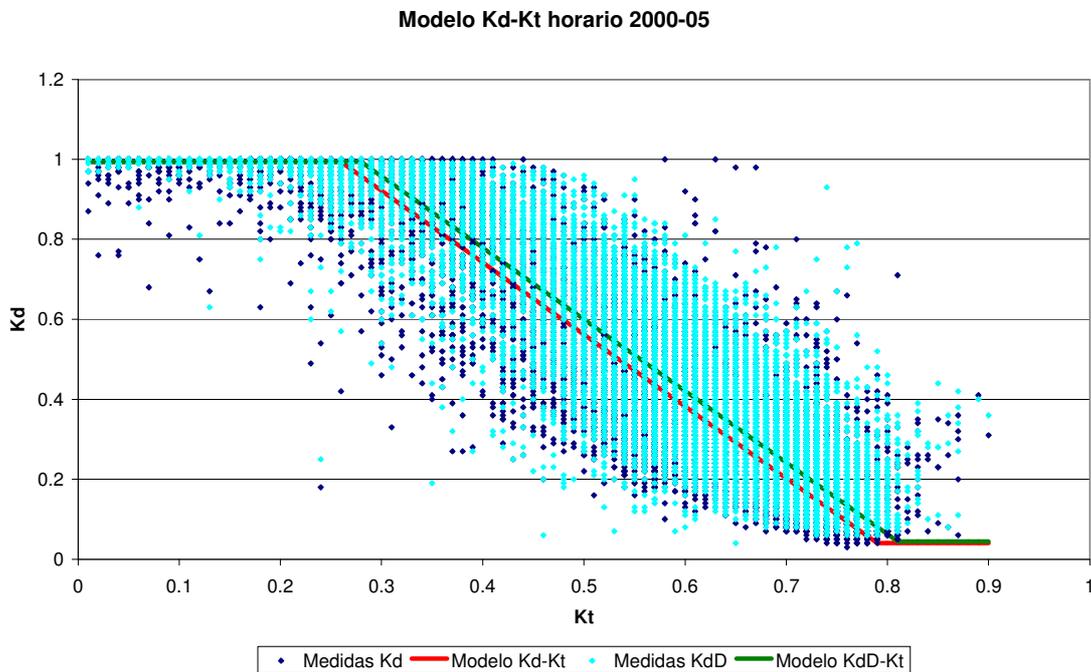


Figura 7.18 Representación de los valores Kd-Kt y KdD-Kt horarios del período 2000-05 con sus respectivos modelos.

En este caso la diferencia que existe entre las dos nubes de puntos es menos destacable que en el caso de los valores diarios, pero también podemos apreciar un pequeño

desplazamiento vertical entre ellas. La diferencia entre las pendientes es inferior al 3% de su valor, inapreciable a simple vista. Esto hace pensar que el proceso de filtrado ha sido bastante satisfactorio y que deberían revisarse los aparatos de medida para encontrar una explicación a ese pequeño desplazamiento vertical que como sospechamos anteriormente podría ser causado por la banda de sombra del piranómetro.

- Ajuste polinómico:

Para los valores horarios también hallaremos dos modelos polinómicos de tercer y cuarto orden. Impondremos que ambos polinomios pasen por el punto  $K_d=1$   $K_t=0$ . A continuación presentamos los resultados:

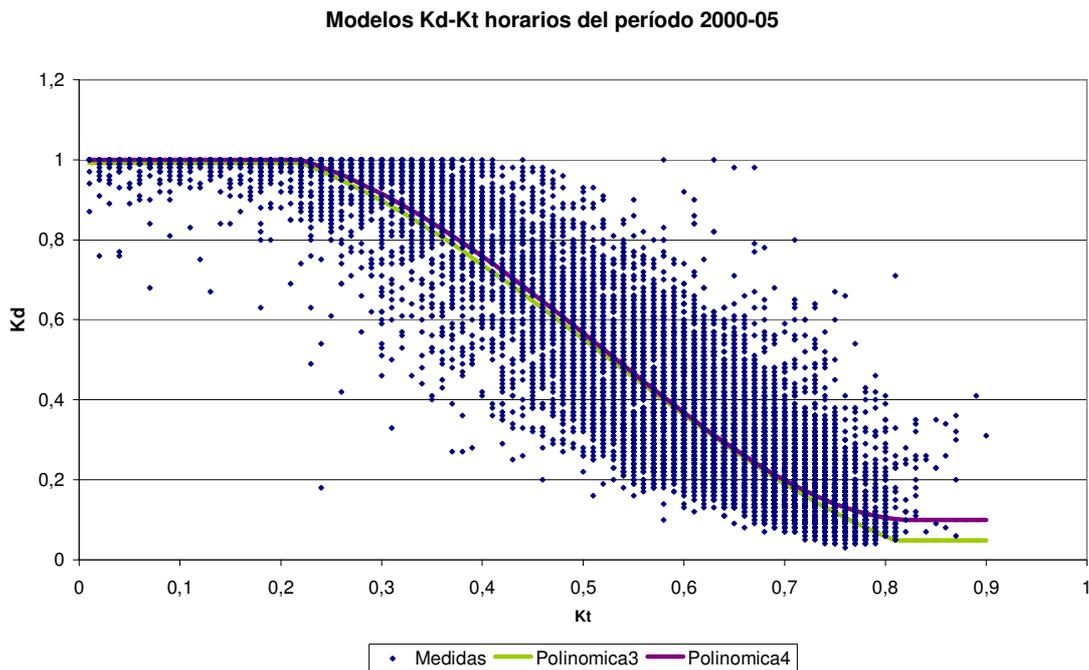


Figura 7.19 Representación de los modelos Kd-Kt polinómicos de 3º y 4º orden obtenidos a partir de los datos de radiación difusa del período 2000-05

Los modelos polinómicos no se ajustan tan bien a la nube de puntos como ocurría con los valores diarios. En este caso los tramos que aproximamos por rectas horizontales ocupan mayores intervalos. Además, los polinomios parecen alejarse para valores de  $K_t$  cercanos a 0.8. Por estos motivos, probamos a repetir el proceso de ajuste pero utilizando sólo los puntos cuyos  $K_t$  sean mayores que 0.21 y sin imponer que el polinomio pase por el punto  $[0 \ 1]$ .

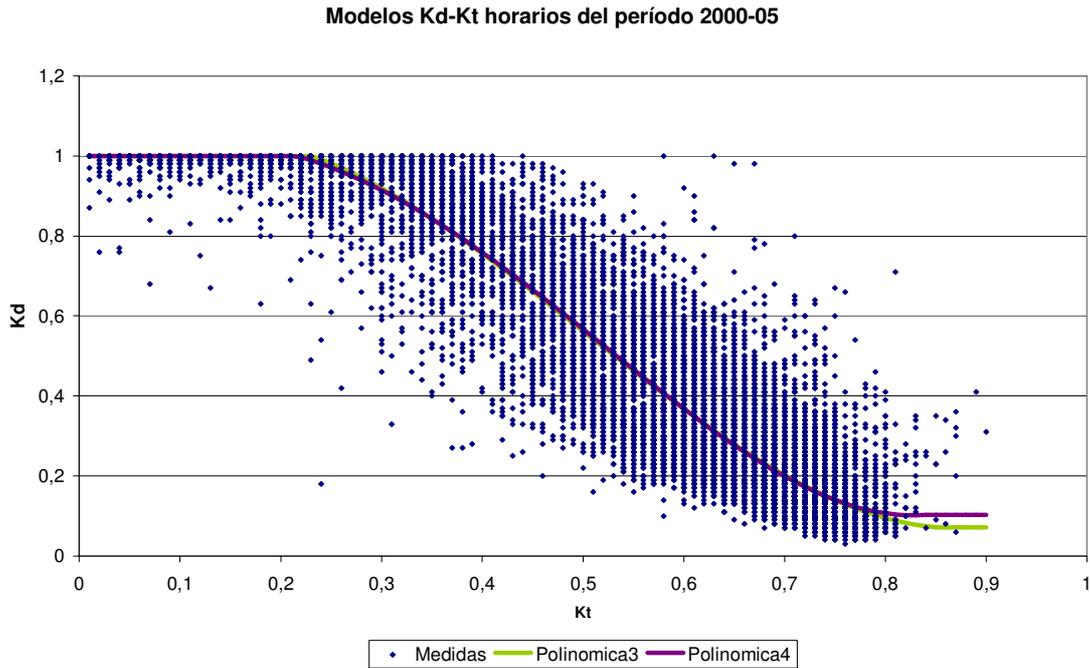


Figura 7.20 Representación de los modelos Kd-Kt polinómicos de 3º y 4º orden obtenidos a partir de los datos de radiación difusa del período 2000-05

Con este nuevo paso conseguimos que los polinomios se ajusten mejor a la nube de puntos, así que finalmente elegimos esta nueva aproximación para definir dos nuevos modelos horarios:

**Modelo polinómico de tercer orden:**

<b>Kd = 1</b>	<b>si</b>	<b>Kt ≤ 0.23</b>
<b>Kd = 0.9424 + 1.6805 Kt - 7.3134 Kt<sup>2</sup> + 4.8602 Kt<sup>3</sup></b>	<b>si</b>	<b>0.23 &lt; Kt &lt; 0.85</b>
<b>Kd = 0.072</b>	<b>si</b>	<b>Kt ≥ 0.85</b>

[6.6]

**Modelo polinómico de cuarto orden:**

<b>Kd = 1</b>	<b>si</b>	<b>Kt ≤ 0.21</b>
<b>Kd = 0.9810 + 0.9325Kt - 3.8429Kt<sup>2</sup> - 1.0158Kt<sup>3</sup> + 3.3181Kt<sup>4</sup></b>	<b>si</b>	<b>0.21 &lt; Kt &lt; 0.84</b>
<b>Kd = 0.103</b>	<b>si</b>	<b>Kt ≥ 0.84</b>

[6.7]

- Mediana:

Por último, calcularemos la mediana de los valores Kd registrados para cada centésima de valores de Kt y los representaremos junto con un ajuste polinomial de cuarto orden obtenido a partir de los mismos:

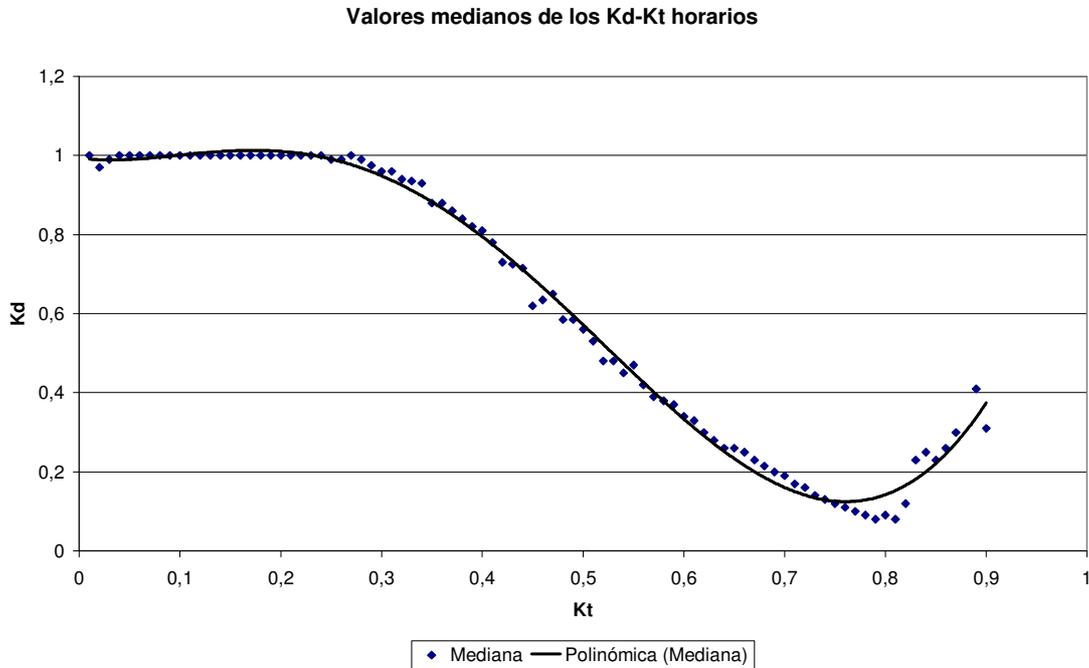


Figura 7.21 Representación de los valores Kd-Kt diarios medianos aproximados por una polinomial de cuarto orden.

Al calcular los valores medianos observamos que para Kt menores de 0,81 el número de medidas experimentales con las que contamos para realizarlo pasa de ser del orden de 40 a ser del orden de 10, y que a medida que aumentamos Kt disminuye aún más. Los valores medianos de Kd para esta zona de la gráfica toman valores que se alejan bastante de los modelos polinómicos y lineal que acabamos de definir. Esto no quiere decir que el procedimiento empleado para hallar los modelos no sea el correcto, sino que los valores medianos a partir de este valor de Kt son poco representativos frente al resto. Si eliminamos estos puntos y volvemos a ajustar los puntos por una polinomial.

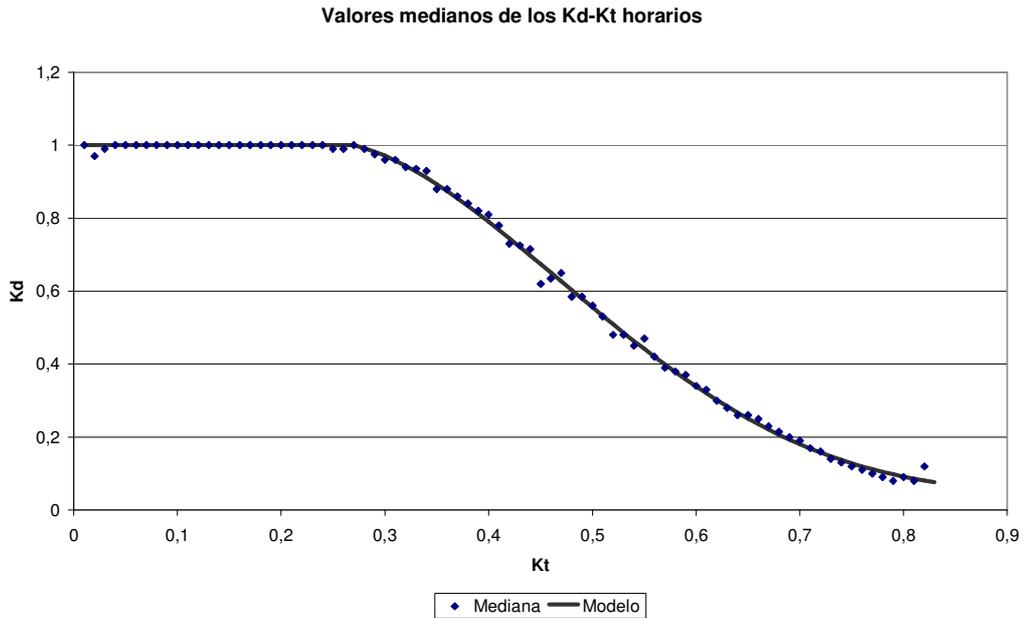


Figura 7.22 Representación de los valores Kd-Kt diarios medianos aproximados por un modelo polinomial de cuarto orden.

**Ajuste polinomial de los valores medianos:**

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{Kd = 1} && \mathbf{Kt \leq 0.27} \\
 & \mathbf{Kd = -12.772 Kt^4 - 34.965 Kt^3 - 32.282 Kt^2 + 10.092 Kt + 0.0079} && \mathbf{Kt > 0.27}
 \end{aligned}$$

[6.8]

A continuación, representamos los valores medianos y su ajuste, con los modelos polinómicos y el lineal para ver si, como pasaba con los valores horarios, se asemejan los ajustes:

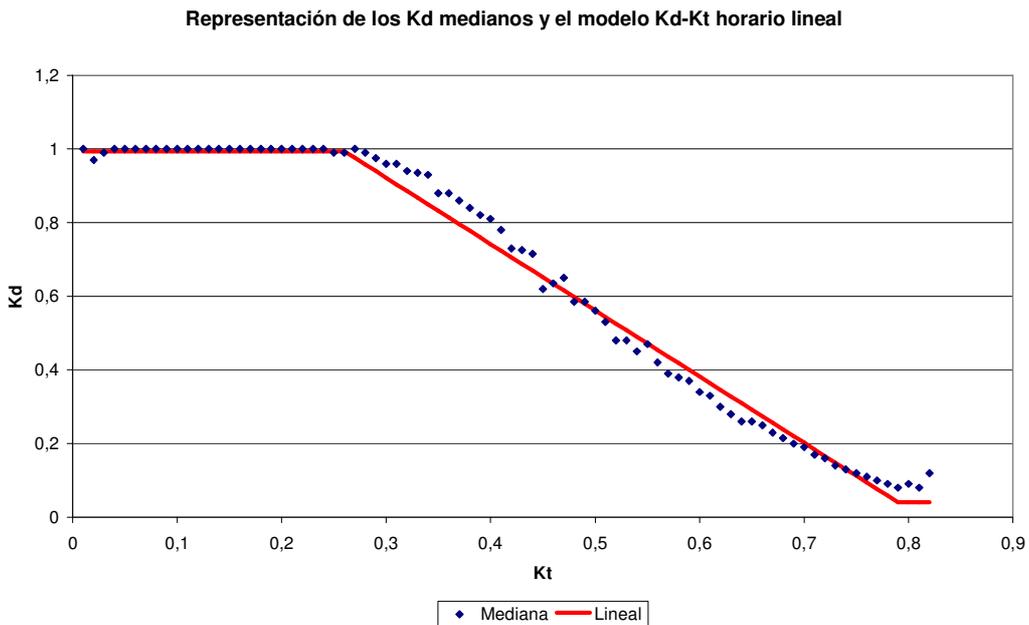


Figura 7.23 Representación de los valores Kd-Kt horarios medianos con los modelos desarrollados a partir de todos los valores horarios.

Para los Kd medianos horarios los valores de  $Kt < 0.3$  se ajustan mucho mejor al modelo lineal que en el caso de los diarios, sin embargo, el resto del modelo no se ajusta con tanta exactitud. Para el caso de los modelos polinómicos de tercer y cuarto orden, ocurre igual, aunque estos modelos se adaptan mejor a los puntos cercanos a  $Kt = 0.8$ :

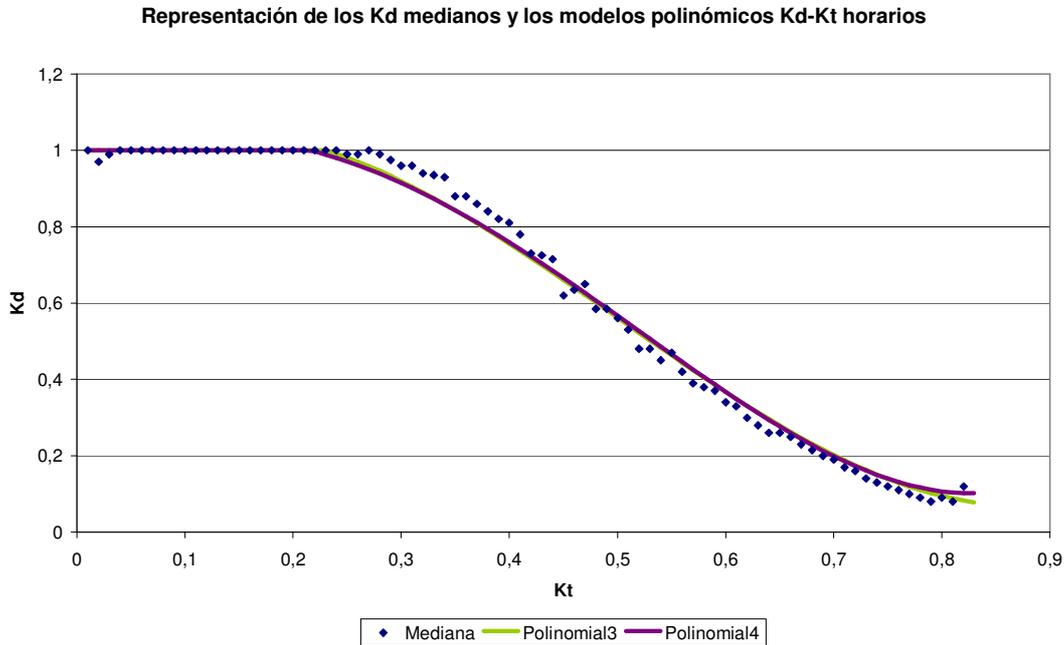


Figura 7.24 Representación de los valores Kd-Kt horarios medianos con los modelos desarrollados a partir de todos los valores horarios.

Una vez hallados todos los modelos calculamos los coeficientes RESNORM para cada uno de ellos:

Modelos	Lineal	Polinomial 4º	Polinomial 3º	Mediana
RESNORM	183.6678	177.6081	177.7853	185.3809

Tabla 7.3 Valores del coeficiente RESNORM para los modelos Kd-Kt obtenidos con los valores de difusa

En el apartado 6.3 se define este parámetro que nos indica que el modelo polinómico de cuarto orden [6.7] es el que mejor se ajusta a los valores horarios Kd-Kt.

### 7.4 Comparación con otros modelos

En el apartado 3.2.2 definimos las relaciones Kd-Kt horarias de Orgill - Hollands y  $Kd-Kt_0$  horarias de M. Iqbal, por ser las que mejores estimaciones proporcionan de las publicadas hasta la actualidad.

Asimismo, se presentan otras relaciones de tipo Kd-Kto, desarrolladas para Sevilla y Madrid basadas en medidas de valores horarios de irradiación global

horizontal, directa normal y difusa horizontal, registrados desde 1984 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

En el presente proyecto proporcionamos nuevas relaciones Kd-Kt horarias realizando diferentes tipos de ajustes. El modelo de Orgill-Hollands se define a partir de relaciones lineales. Compararemos este modelo con los modelos lineales obtenidos en nuestro estudio Kd-Kt y KdD-Kt.

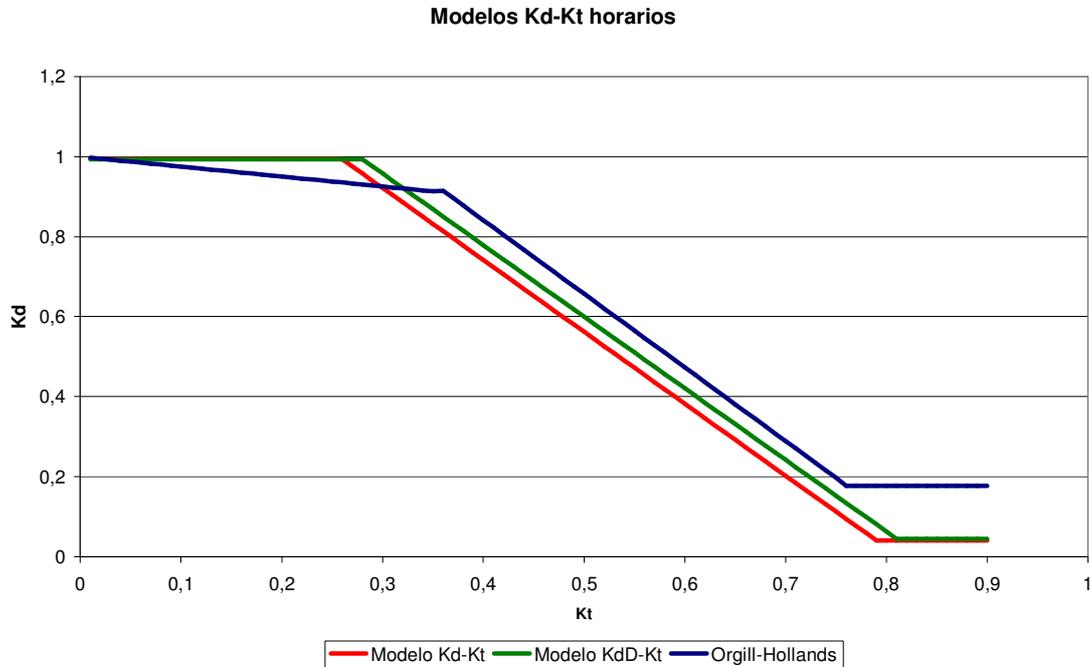


Figura 7.25 Representación de los modelos horarios lineales elaborados en el proyecto con el conocido modelo de Orgill-Hollands.

El modelo de Orgill-Hollands [10] únicamente comparte con nuestros modelos el valor de la pendiente del intervalo de Kt [0.35-0.75]. La fracción de radiación difusa que otorga este modelo para cualquier valor de radiación global horaria es en general superior al que concede el modelo KdD-Kt del presente proyecto, y muy superior si comparamos con el Kd-Kt. La correlación de Orgill-Hollands se desarrolló a partir de cuatro años de valores de radiación difusa de una estación de Toronto, Canadá (43° 48'). Estos fueron medidos con un piranómetro con banda de sombra. La similitud con las características de nuestro estudio es tal, que sólo podemos justificar las diferencias encontradas en los modelos representados en la figura 7.25 con el procedimiento empleado en el tipo de ajuste. Quizás simplemente factores como el clima, la geografía del lugar o la contaminación de la atmósfera, puedan justificar estas diferencias.

En este caso no podemos hacer ningún tipo de comentario respecto a la independencia de la latitud del lugar en los modelos horarios, ya que únicamente hemos comparado con un modelo con el que no concuerdan los resultados.