



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN DETERMINADAS REGIONES PARA APLICACIONES FOTOVOLTAICAS. APLICACIÓN PRÁCTICA.

Alumno/a: Acuyo Belastegui, Soraya

Tutor/a: Prof. D. Leocadio Hontoria García
Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Tutor/a: Prof. D. Catalina Rus Casas
Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Diciembre, 2018

INDICE

INDICE	2
INDICE DE FIGURAS	3
INDICE DE TABLAS	4
1.- INTRODUCCION	5
1.1 INTRODUCCION A LAS FUENTES DE ENERGIA	5
1.1.1 HISTORIA DE LAS FUENTES DE ENERGÍA	5
1.1.2 TIPOS DE ENERGIAS RENOVABLES	6
1.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO	11
2.- OBJETIVOS	12
3.- ANTECEDENTES	13
3.1 VARIABLES QUE AFECTAN A LA RADIACIÓN SOLAR	13
3.2 MODELOS DETERMINACIÓN COMPONENTES DIRECTA Y DIFUSA	13
4.- JUSTIFICACIÓN	15
4.1 INTRODUCCIÓN	15
4.2 DEFINICIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
4.3 ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA	16
4.4 OBJETIVOS ENERGÉTICOS EN ESPAÑA Y EUROPA	16
4.5 MERCADO ENERGÉTICO	17
4.6 PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	18
4.7 RIESGOS E INCERTIDUMBRES	18
5.- CARACTERIZACION DEL RECURSO SOLAR	19
5.1 INTRODUCCION	19
5.2 RECOGIDA DE DATOS	22
5.3 CALCULO MEDIA, DESVIACIÓN TÍPICA, INDICE DE CLARIDAD Y FRACION DE DIFUSA	25
6.- CÁLCULO DE CORRELACIONES KT-KD	29
6.1 CALCULO DE LAS COMPONENTES DE DIFUSA Y DIRECTA DEL RESTO DE LOCALIDADES	31
7.- APLICACIÓN PRÁCTICA: AÑO METEOROLÓGICO (AMT)	36
8.- CONCLUSIONES	42
9.- BIBLIOGRAFÍA	53
10.- REFERENCIAS	54

INDICE DE FIGURAS:

• Figura 1: Evolución de las instalaciones fotovoltaicas mundiales anuales. Fuente SPE.	18
• Figura 2: Esquema radiación solar	20
• Figura 3: Relación entre K_T y K_D	21
• Figura 4: Relación de K_T y K_D de Madrid en 1979	29
• Figura 5: Resumen K_D y K_T	30
• Figura 6: Cálculo de tramos para ecuación	31
• Figura 7: AMT de todos los años	40
• Figura 8: Frecuencia relativa mes enero en Madrid	43
• Figura 9: radiación global Madrid en 1974	44
• Figura 10: Radiación extraterrestre Madrid	45
• Figura 11: Radiación difusa Madrid en 1974	46
• Figura 12: Radiación directa Madrid en 1974	47
• Figura 13: AMT criterio 1 en Madrid	49
• Figura 14: AMT criterio 2 en Madrid	50
• Figura 15: AMT criterio 2 en Córdoba	52
• Figura 16: AMT criterio 2 en Vigo	52
• Figura 17 AMT criterio 2 en Las palmas	52

INDICE DE TABLAS:

• Tabla 1: Localidades con radiación global y difusa	23
• Tabla 2: Datos de radiación de Madrid en 1977	24
• Tabla 3: Datos de difusa de Madrid en 1977	24
• Tabla 4: Calculo media y desviación típica en Madrid en 1977	25
• Tabla 5: Índice de claridad de Madrid en 1977	26
• Tabla 6: Fracción de difusa de Madrid en 1977	26
• Tabla 7: Radiación directa de Madrid en 1979	28
• Tabla 8: Resumen datos radiación global y difusa	29
• Tabla 9: Localidades con solo radiación global	32
• Tabla 10: Cálculo K_D con la ecuación de Albacete en 1977	34
• Tabla 11: Cálculo difusa de Albacete en 1977	34
• Tabla 12: Cálculo directa de Albacete en 1977	35
• Tabla 13: Valores medios AMT de Albacete	37
• Tabla 14: AMT primer criterio	37
• Tabla 15: Calculo B_o de Albacete	38
• Tabla 16: Calculo frecuencias absolutas acumuladas	39
• Tabla 17: Calculo frecuencias relativas acumuladas	39
• Tabla 18: Cálculo estadístico K-S	41
• Tabla 19: Valores medios AMT	41
• Tabla 20: AMT segundo criterio	42

1.- INTRODUCCION

1.1.- INTRODUCCION A LAS FUENTES DE ENERGÍA

Desde la antigüedad hasta nuestros días la humanidad siempre ha necesitado de energía para poder sobrevivir en la naturaleza. La energía se obtenía de distintas formas, partiendo desde el uso del fuego para poder calentarse o defenderse de animales hasta las formas más complejas usadas en la actualidad partiendo de energía química, mecánica o eléctrica que nos ayuda a facilitar nuestro día a día. A lo largo del siguiente apartado vamos a hacer una breve reseña histórica de la evolución de la misma.

1.1.1.- HISTORIA DE LAS FUENTES DE ENERGÍA.

El hombre a lo largo de la historia, siempre ha llevado a cabo diversas actividades que necesitaban del uso de la energía. En un principio ésta forma de energía se basaba en su propio esfuerzo físico, ayudándose en ocasiones del uso de animales.

En el paleolítico los principales protagonistas eran el fuego y los combustibles vegetales. Entonces la madera era abundante y de fácil acceso. La gente vivía en tribus y empezaron a surgir aldeas, ciudades y a medida que éstas crecieron hubo mayor necesidad de energía y los bosques comenzaron a sobre explotarse. Así, poco a poco se empezaba a hacer necesario una cierta monitorización de la oferta y la demanda de la leña.

En la edad del bronce destacaron la metalurgia, las velas, y el movimiento rotatorio entre otros.

Podemos afirmar que, hasta la llegada en el siglo XVIII de la I Revolución Industrial, los únicos sistemas mecánicos que se empleaban para la obtención de energía eran los molinos de viento y los de agua y la fuente de energía fundamental, por ser la más abundante, era la leña.

La invención de la máquina de vapor marcaba el origen de la I Revolución Industrial. Estas máquinas quemaban carbón para generar energía, ayudando a generar mayor cantidad de energía para abastecer a la nueva industria que emergía en la sociedad.

Hacia 1825-1830, se pudo proliferar la aplicación práctica de la máquina de vapor; ya no se necesitaban las fuerzas de origen animal y por ello, empezó a intensificarse su empleo industrial.

Con la máquina de vapor se mejoraron los medios de transporte; apareció la locomotora de Stephenson que consumía grandes cantidades de carbón para transformar la energía calorífica en mecánica.

Así la nueva sociedad que surgía con la Revolución Industrial implicaba también nuevas y mayores demandas de energía; fue así como surgió con mayor fuerza la comercialización del petróleo y sus derivados. Las compañías petrolíferas se desarrollaban proporcionalmente a los mercados nuevos que se creaban: transportes, calefacción, nuevos materiales, medicinas, etc. Y la búsqueda de yacimientos petrolíferos era el objetivo perseguido por los países que ya intuían su poder.

Las grandes demandas de combustibles generadas por la Segunda Guerra Mundial hicieron que las empresas americanas se expandieran por todo el mundo. A su vez, Oriente Próximo se perfilaba como la mayor reserva de crudo del mundo.

La primera gran crisis del petróleo tuvo lugar en 1973; los productores de petróleo (países árabes) embargaron el suministro de crudo a Estados Unidos y recortaron su producción haciendo saltar todas las alarmas.

A finales de los setenta, una segunda crisis azotaría de nuevo; la producción de Irán bajó a niveles mínimos tras ser destronado el Sha de Persia. En consecuencia, entre 1970 y 1980 el precio del petróleo se multiplicó por 19. Esta situación provocó que los mercados, que hasta ahora se habían consolidado en el petróleo y en el gas, dieran nuevas oportunidades al carbón que poco a poco comenzó a recuperar el terreno perdido sobre todo como alternativa más económica para industrias y centrales eléctricas.

En la actualidad debido a las escasas reservas de petróleo y a la necesidad de descarbonizar nuestro aire se han ido fomentando el uso de las denominadas energías renovables. Dando paso al uso de placa solares para conseguir energía eléctrica o para calentar agua, el uso de los típicos y tradicionales molinos de viento para generar mayor cantidad de energía eléctrica o reutilizar los compuestos orgánicos o inorgánicos para obtener calor o energía.

1.1.2.- TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES.

Las energías renovables son todas aquellas que provienen de una fuente natural, son recursos limpios y casi inagotables. Existe una gran variedad de energías renovables, y a grandes rasgos sus distintos tipos se pueden distinguir en función de la energía final conseguida a partir de ellas: energía eléctrica, energía térmica y biocarburantes.

Existen diferentes fuentes de energía renovable, según los recursos naturales utilizados para la generación de energía. A continuación, vamos a hablar de todos ellos.

- **BIOCARBURANTES**

Biocarburante o biocombustible es una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna.

Nuestro transporte está fuertemente basado en combustibles fósiles que no poseemos y debemos importar. Adicionalmente, su consumo genera gases de efecto invernadero (GEI) por lo que el sector transporte es uno de los que contribuyen al cambio climático.

Los biocarburantes redujeron el año pasado en España en un 60% los GEI en relación con los combustibles fósiles sustituidos, contribuyendo a dos de los objetivos del 20-20-20: porcentaje de renovables y reducción de emisiones.

- **BIOMASA**

Se podría definir biomasa como aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente.

El aprovechamiento de la biomasa tiene múltiples usos: generación eléctrica, calefacción, agua caliente sanitaria. A pesar del gran potencial que esta tecnología tiene en España, únicamente contamos con algo más de un gigavatio de potencia instalada. La producción de energía a partir de la biomasa se hace directamente por combustión o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos.

La generación eléctrica con biomasa permite muy altas utilidades – de hasta 8.300 horas/año – contribuyendo con potencia firme y gestionable al mix renovable nacional. Con unos escenarios de alta descarbonización para 2030 y 2050, la biomasa será fundamental para contar con un mix equilibrado.

A nivel térmico, la biomasa nos permite disponer de calefacción y agua caliente sanitaria con un combustible competitivo y neutro en carbono.

- **EÓLICA**

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las turbinas de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.

Este tipo de energía es una de las muchas historias de éxito en el desarrollo renovable. Con una implantación gradual, esta tecnología ha generado una importante industria nacional a la vez que ha reducido significativamente sus costes de generación.

Hasta el año 2013, en el que se estancó la implantación de tecnología eólica en nuestro país, la fuerza del viento se ha ido integrando con éxito en nuestro sistema eléctrico. En la actualidad, hay más de 23.000 megavatios conectados a red que, en 2016, generaron el 17,8% de la electricidad consumida en España.

Adicionalmente a la industria generada y la electricidad producida, la eólica ha conseguido uno de los grandes logros de las renovables a nivel mundial: con una reducción de

costes del 66% en los últimos 7 años hoy es competitiva frente a formas de generación contaminantes.

- **GEOTÉRMICA DE ALTA Y BAJA ENTALPÍA**

La energía geotérmica es aquella energía almacenada en forma de calor que se encuentra bajo la superficie de la tierra. Esta energía puede aprovecharse para la producción directa de calor o para la generación de electricidad. Es una energía renovable y de producción continua las 24 horas del día y, por tanto, gestionable.

La energía geotérmica de alta entalpía es la que aprovecha un recurso geotérmico que se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura (superior a 150 °C). Aunque su uso está probado desde hace décadas en países con gran potencial geotérmico como Islandia, Italia o Turquía, en España es aún una tecnología emergente.

El aprovechamiento de este recurso puede hacerse directamente si se dan de forma natural las condiciones geológicas y físicas para ello. Si el yacimiento geotérmico cuenta con condiciones físico-geológicas favorables, pero no existe fluido, éste podría inyectarse creando así un yacimiento de roca caliente seca (geotermia estimulada).

La energía geotérmica de baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50° e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de calor que en la actualidad ya proporciona 4.500 MW de potencia instalada sólo en Europa.

- **MARINA**

Al igual que ocurre con la energía solar, que no contempla una única tecnología de aprovechamiento (fotovoltaica, térmica, termoeléctrica...), las energías marinas son un amplio conjunto de tecnologías que buscan obtener energía de diversas formas.

Se conoce como energía marina un conjunto de tecnologías que aprovechan la energía de los océanos. El mar tiene un gran potencial energético, que se manifiesta principalmente en las olas, las mareas, las corrientes y en la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo marino.

El aprovechamiento de la energía marina no genera impactos ambientales ni visuales considerables y constituye un recurso energético con gran capacidad de predicción. Sin embargo,

las condiciones hostiles del mar, la fuerza del oleaje y de la corrosión marina, así como la necesidad de contar con mecanismos para trasladar la energía a tierra, hacen que esta tecnología requiera de grandes inversiones y que aún esté, salvo alguna excepción, en fase pre comercial.

- **MINIEÓLICA**

La energía eólica es una magnífica forma de generación eléctrica. Cuando hablamos de eólica no debemos pensar únicamente en los grandes aerogeneradores que suministran el 17,8% de la electricidad en España. Aquellos que tienen pequeña potencia son válidos tanto para entornos aislados como para autoconsumo.

La energía mini eólica es el aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a los 100 kW. De acuerdo con las normas internacionales, los molinos de esta tecnología deben tener un área de barrido que no supere los 200 m².

Entre sus ventajas: permite suministrar electricidad a zonas aisladas, la microgeneración distribuida y el autoconsumo evitan pérdidas de transporte y distribución, su adaptación al recurso disponible permite aprovechar la energía del punto de consumo y puede fácilmente combinarse con fotovoltaica en instalaciones híbridas.

- **HIDRÁULICA**

Las pequeñas centrales hidráulicas (minihidráulica) fueron la principal fuente de generación eléctrica en nuestro país, entre finales del siglo XIX y comienzos del XX.

La energía hidráulica es el aprovechamiento de la energía cinética de una masa de agua. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación se transfiere, mediante un eje, a un generador de electricidad. Hasta mediados del siglo XX la energía hidráulica fue la principal fuente para la producción eléctrica a gran escala.

Las centrales minihidráulicas son aquellas que cuentan con una potencia instalada menor a 10 MW. Esta tecnología renovable es la forma más respetuosa con el medioambiente que se conoce para la producción de electricidad como lo corroboran los estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizados para distintas tecnologías.

- **SOLAR FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

La energía fotovoltaica hace tiempo que dejó de hablar de la carrera espacial para conversar sobre autoconsumo o debatir, tú a tú, con tecnologías tradicionales. Tras una reducción de costes del 85% en 7 años, la energía que produce el 3% de nuestra electricidad es hoy competitiva frente a formas de generación contaminantes.

A nivel científico, la energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los 50, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable.

- **SOLAR TÉRMICA**

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.

La utilización de la energía solar térmica para abastecer las diferentes demandas térmicas existentes en los sectores de la edificación, industrial y agropecuario, es una de las formas más eficientes y económicas de aprovechar un recurso abundante y autóctono, el cual además es gratuito y tenemos disponible en el mismo punto de consumo.

Su utilización, supone la disminución del consumo de energía primaria y de emisiones de CO₂ correspondientes a la fuente energética a la que sustituye y que abastece dichas demandas. Supone, por tanto, la mejora de la eficiencia energética de los edificios, industrias, etc. donde la energía solar térmica se incorpora.

La tecnología actual permite que las instalaciones solares térmicas precisen de un mantenimiento mínimo y dispongan de sistemas de control para su seguimiento remoto, ofreciendo así todas las garantías en materia de seguridad y comodidad de uso.

- **SOLAR TERMOELÉCTRICA**

La energía solar termoelectrica, utiliza lentes o espejos y dispositivos de seguimiento solar para concentrar la radiación solar incidente en una superficie reducida. Esta concentración

permite obtener altas temperaturas y, en correspondencia, altas eficiencias termodinámicas de conversión en trabajo. El calor que se obtiene en este proceso se transfiere normalmente a un fluido que, pasando a través de una turbina, acoplada a un generador, produce electricidad. Entre los distintos sistemas de concentración solar se han desarrollado tres tipos de tecnologías.

- Centrales de Colectores Cilindro-Parabólicos. Están formadas por colectores de espejo en forma de canal con sección parabólica que reflejan la luz solar en un tubo situado en la línea focal del canal, el cual contiene el fluido de transferencia del calor. Este fluido es calentado a unos 400°C, con relaciones de concentración solar de entre 30 a 80, siendo transferido a un fluido que alimenta una turbina convencional que genera electricidad.
- Centrales de Torre. Formadas por un campo de helióstatos que concentran la luz solar en un receptor central montado en lo alto de una torre que actúa como intercambiador de calor. Los órdenes de concentración son de 200 a 1.000, alcanzándose temperaturas superiores a los 600 °C.
- Generadores Solares Disco-Parabólicos. Consisten en un reflector parabólico de forma de disco para concentrar la luz solar en un receptor situado en el punto focal del disco. Este absorbe la energía reflejada por los concentradores, haciendo que el fluido del receptor se caliente a unos 750°C. Éste se usa entonces para generar electricidad en un pequeño motor, p.ej. un motor Stirling o una micro turbina (Brayton) unida al receptor

1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este trabajo se busca analizar las distintas variables que componen la radiación solar en distintas localidades de la geografía española. Se dispone de una serie de localidades con unos datos completos de las distintas componentes de la radiación solar y se usarán para obtener una ecuación que nos ayude a completar las componentes en el resto de localidades de la geografía española. El sistema usado se basa en la Tesis de Macagnan [1]. En dicha tesis se tratan diferentes métodos para estimar la radiación en superficies inclinadas, dependiendo de los datos que se obtienen de referencia, si son horarios o diarios.

A la hora de dimensionar una instalación fotovoltaica es primordial conocer las características de la radiación solar de la zona donde se va a ubicar el sistema. La alternativa más acertada es la de usar los valores de radiación que se han ido obteniendo en años anteriores, ya que no se puede conocer con antelación la energía que recibirá el sistema, principalmente a causa de los factores climáticos que condiciona la radiación que llega a la superficie terrestre.

El tipo de valores de radiación necesario para el dimensionado de un sistema fotovoltaico va a depender de la exactitud con que se necesite realizarlo, es decir, dependiendo de la aplicación que vaya a tener. De esta forma, habrá sistemas que puedan dimensionarse con valores medios mensuales mientras que en otros será necesario utilizar series de datos de varios años.

Debido a que no siempre se pueden conocer todas las componentes que contiene la radiación global, es interesante el conocer un método que nos ayude a poder obtener el resto de valores, ya que ayudaría a poder dimensionar de una forma más eficiente el sistema fotovoltaico.

El método más práctico y manejable para poder conocer el lugar más idóneo en donde instalar el sistema fotovoltaico es el cálculo del Año Meteorológico Típico. De esta forma se podrá estimar la cantidad de energía solar que se puede obtener, en nuestro caso, o se puede analizar el viento para aprovechamiento de energía eólica o la lluvia para utilizar la energía hidráulica.

Para el desarrollo de todo se realizarán diversos Excel con cada una de las localidades en donde se han partido de unos datos de radiación global y se ha calculado la radiación directa y difusa, así como las correlaciones K_T y K_D .

Para la consecución de nuestra propuesta de ecuación se han analizado los datos que se tenían de cada una de las localidades para ver de cuales se podría partir. Solo se disponía de datos de global y difusa de algunas localidades, con lo que se partieron de estas ciudades para la consecución de una ecuación que nos permitiese obtener los datos de difusa y posteriormente de la componente directa en el resto de localidades y así tener finalmente todas las componentes de radiación global caracterizadas.

Con este método se podría tener de una localidad unos datos de radiación global y aplicando la ecuación obtenida, conseguir obtener los distintos elementos que componen la radiación solar, ayudándonos a poder definir mejor un hipotético sistema fotovoltaico.

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal es caracterizar el recurso solar en diferentes localidades españolas en estudio, para las que se disponen de todos los datos de radiación solar.

Como objetivos secundarios se pretende:

- Obtener diferentes correlaciones de los índices de claridad y fracción de difusa en diferentes escalas temporales.
- Obtener los años meteorológicos asociados a cada una de las localidades en estudio

3.- ANTECEDENTES

3.1 VARIABLES QUE AFECTAN A LA RADIACIÓN SOLAR [1]

Los estudios de LeBaron y Dirmhin [2] y por Garrison [3] determinaron la existencia de cinco variables que afectan a la irradiancia difusa como son, el camino que recorre los rayos del sol, la nubosidad, la turbidez y la reflexión múltiple entre la superficie terrestre y el cielo.

Cuanto mayor es el camino recorrido por la radiación directa hasta llegar a la superficie terrestre, mayor será la probabilidad de que ésta haz de radiación directa sea transformada en radiación difusa, debido a la dispersión de los aerosoles y a la absorción de moléculas gaseosas. La radiación dispersada es la que generaría la radiación difusa.

La nubosidad puede darnos una estimación de la fracción de difusa en ausencia de datos de radiación. Tomando en cuenta la cantidad de nubes que se observan o realizando una aproximación entre la longitud del día y la longitud astronómica del día.

La turbidez atmosférica se puede caracterizar como factor de turbidez de Linke. Este factor se define como el número de atmósferas Rayleigh necesarias para producir la cantidad de atenuación medida.

La reflexión múltiple entre la superficie terrestre y el cielo influye en la fracción difusa de la radiación solar. Esta reflexión o albedo está en función de la reflectividad del suelo y solo tiene una influencia significativa cuando se trata de suelos que son altamente reflexivos, como la nieve, por ejemplo.

3.2 MODELOS DETERMINACIÓN COMPONENTES DIRECTA Y DIFUSA

Existen diversos modelos para determinar los componentes de directa y difusa a partir de la radiación global. Una parte significativa de estos modelos son locales, es decir, estén contruidos a partir de datos de una única localidad. Otros de estos modelos universales son los que se construyen con datos de dos o más lugares y se validan mediante datos independientes de otra localidad.

Un modelo adecuado para realizar el cálculo de las componentes difusa y directa sería considerando los efectos que producen los componentes citados anteriormente. La consecución de este trabajo sería una tarea fácil si las variables citadas anteriormente se midiesen de forma rutinaria y fuesen de fácil acceso para los usuarios. Sin embargo, no es así. La metodología que se usa en la tesis y en la que nos basaremos en este Trabajo Fin de Master, se basa en la comparación de algunos de los modelos más importantes con los datos que disponemos de Madrid, Málaga, Mallorca, Murcia y Oviedo. Los datos que se nos han facilitado son datos diarios, con lo que los métodos más usados son:

- **MÉTODO CP, DE COLLARES-PEREIRA Y RABL [4]:**

Estos autores trabajaron con datos de irradiación solar de cinco localidades norteamericanas, de latitudes comprendidas entre los 31° N y 42° N. Para cada localidad, disponía de aproximadamente dos años de datos. Los valores de K_T fueron agrupados en intervalos de 0,05 y para cada intervalo utilizaron su valor medio, las ecuaciones que resultaron fueron:

$$K_D = 0.99 ; \text{para } K_T \leq 0.17$$

$$K_D = 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.856K_T^3 + 14.648K_T^4 ; \text{para } 0.17 < K_T \leq 0.8$$

- **MODELO ERBD, DE ERBS Y OTROS [5]:**

Introdujeron el efecto estacional, proponiendo ecuaciones distintas tanto para invierno como para el resto del año. Este efecto se relaciona con que en el invierno el aire es generalmente más seco y libre de polvo que en el resto de estaciones, lo que hace que exista menos radiación difusa. Las ecuaciones que se propusieron fueron:

- Para $\omega_s < 1.4208$

$$K_D = 1.0 - 0.2727K_T + 2.4495K_T^2 - 11.9514K_T^3 + 9.3879K_T^4 ; \text{para } K_T < 0.715$$

$$K_D = 0.143 ; \text{para } K_T \geq 0.715$$

- Para $\omega_s \geq 1.4208$

$$K_D = 1.0 - 0.2832K_T + 2.5557K_T^2 - 0.8448K_T^3 ; \text{para } K_T < 0.722$$

$$K_D = 0.175 ; \text{para } K_T \geq 0.722$$

Donde ω_s , es el ángulo de salida del sol, en radianes.

- **MODELO FR, DE FRUTOS [6]:**

Este modelo ha sido creado estudiando datos medidos en Madrid por el Instituto Nacional de Meteorología, entre los años 1977 y 1983. Sus autores dispusieron de cuatro años completos (1978-1980 y 1982) y partes de los demás. La ecuación resultante es:

$$K_D = 0.92 ; \text{para } K_T < 0.166$$

$$K_D = 0.77 + 1.93K_T - 6.86K_T^2 + 4.27K_T^3 ; \text{para } 0.166 \leq K_T \leq 0.8$$

$$K_D = 0.109 ; \text{para } K_T > 0.8$$

- **MODELO MAD [1]:**

Desarrollado en el marco de la tesis en la que nos vamos a basar, también usó los datos de Madrid. El procedimiento usado fue el de calcular la irradiación global y difusa diaria a partir de los datos horarios. Para cada valor diario se ha calculado los valores de K_T y K_D . Se hizo la media de K_D , para cada intervalo de K_T de 0,025 y se ha ajustado un polinomio a estos valores. La ecuación resultante es:

$$K_D = 0.942 ; para K_T > 0.18$$

$$K_D = 0.974 + 0.326K_T - 3.896K_T^2 + 2.661K_T^3 ; para 0.18 \leq K_T \leq 0.79$$

$$K_D = 0.115 ; para K_T > 0.79$$

Como se puede observar entre los distintos modelos explicados anteriormente, esta tarea conlleva un gran trabajo de análisis de datos, revisando posibles erratas, filtrando y reordenando para su posterior tratamiento. Se ha tenido que dedicar mucho tiempo a establecer un Excel para cada localidad de estudio con toda su información para poder ser utilizada posteriormente. A su vez se ha planteado otra posible ecuación con unos tramos diferentes que abarcarían las principales localidades de España, facilitando de esta manera el poder obtener mayor información de la radiación solar obtenida durante la medición en una localidad en concreto en la que solo hemos podido obtener la fracción global. No pudiendo acceder al resto de parámetros.

4.- JUSTIFICACIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

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. En este apartado se expondrá un resumen de la evolución de la energía solar FV desde que la conocemos hasta nuestros tiempos con el fin de entender la realidad que se está viviendo y el mercado energético.

4.2 DEFINICIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El efecto fotovoltaico se basa en la capacidad de los electrones de un material para excitarse y promocionar a un nivel energético superior. Para ello, es necesario que a la célula le dé la luz del sol que inyecta fotones en el material.

La energía solar fotovoltaica (FV) es una de las industrias de mayor crecimiento en todo el mundo, y con el fin de mantener ese ritmo, los nuevos desarrollos han ido en aumento en lo que respecta a la utilización de materiales, el consumo de energía para la fabricación de estos

materiales, el diseño de dispositivos, la producción tecnologías, así como nuevos conceptos para mejorar la eficiencia global de las células según se explica en el artículo. [7]

Se trata de una tecnología que depende mucho de la investigación, principalmente en los materiales utilizados, por lo que en el futuro se prevé un aumento del rendimiento de las placas y su consiguiente reducción de los costes.

4.3 ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

La REE, red eléctrica de España, 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.

4.4 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:

- La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a los niveles de 1990.
- La utilización de un 20% las energías renovables.
- 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.

4.5 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.

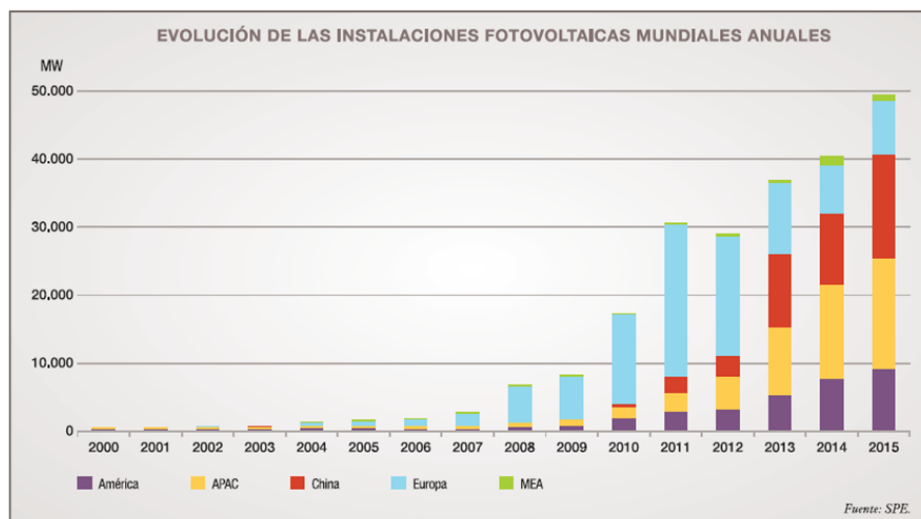


Figura 1: Evolución de las instalaciones fotovoltaicas mundiales anuales. Fuente SPE

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.

4.6 PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las perspectivas son muy positivas, a pesar de todo lo que ha ocurrido. Se han perdido cinco años, pero por fin parece que las tornas están cambiando. Las compraventas de plantas con prima se han multiplicado últimamente. El abaratamiento tecnológico tanto de los paneles solares como de las baterías, así como los nuevos modelos de gestión de la energía, junto con el futuro marco legal europeo que garantiza los derechos de los auto consumidores, hacen que el autoconsumo sea cada vez más atractivo, por muy desfavorable que sea la normativa española. Desde la UNEF se está trabajando con los partidos políticos para que se eliminen las barreras económicas y administrativas definidas por la actual regulación.

Con respecto a la Orden ETU/130/2017 de parámetros retributivos, las asociaciones de energías renovables, incluida UNEF, van a presentar recursos contra la previsión de precio “artificial” que de mantenerse se traduciría de nuevo en pérdida de ingresos para las instalaciones de renovables.

Pero las perspectivas son buenas. Varias tecnologías renovables son ya más baratas que las tecnologías fósiles, muchas de las cuales, además, están llegando al final de su vida útil. El consumo eléctrico se incrementará como consecuencia de la electrificación del transporte y España goza de abundante recurso solar y eólico. Con estos mimbres, la regulación puede ayudar a impulsar el cambio a las renovables o retrasarlo unos años. Pero lo que no podrá en ningún caso es pararlo.

Además, cada vez existen más estudios acerca de las distintas tecnologías de generación solar FV que tienen como objetivo mapear la diversidad en la industria de la energía solar fotovoltaica, así como contribuir a una mejor comprensión del papel de la diversidad en la estimulación de un ritmo adecuado de progreso técnico en términos de innovación según se desarrolla en el artículo [8].

4.7 RIESGOS E INCERTIDUMBRES

El sistema energético actual sigue estando basado en combustibles fósiles. El ritmo de consumo es tal que en un año se consume lo que la propia naturaleza tarda un millón de años en producir. Esto nos avisa de que el agotamiento de los recursos fósiles se aproxima y que es inevitable que tengamos que hacer uso de otras fuentes de energía.

Por otro lado, tenemos el efecto invernadero que es la capacidad que tiene la atmosfera de retener el calor. Con la quema de combustibles fósiles en general, se producen emisiones de CO₂, esto conlleva un cambio climático que ya se está viendo. Sufriendo el planeta un calentamiento global, provocando que aumente el nivel del mar debido al descongelamiento de los casquetes polares, llegando incluso a hacer desaparecer zonas que existen.

Otro de los problemas de seguir usando los combustibles fósiles es la cantidad de azufre y nitrógeno que se libera, provocando que reaccionen con el OH atmosférico y llegando a formar ácidos nítricos (HNO_3) y sulfúricos (H_2SO_4). Estos se van a incorporar a las nubes, nieve, etc. Esto provoca que cuando se produzcan precipitaciones el terreno sufra, los edificios, el agua, vehículos, etc, causando daños cuantiosos y siendo difíciles de eliminar una vez toman contacto con aguas subterráneas.

5.- CARACTERIZACION DEL RECURSO SOLAR

5.1 INTRODUCCION

Caracterizando la radiación solar, vamos a conocer más extensamente el recurso solar para su posterior uso en distintas aplicaciones. Para caracterizarlo es importante conocer:

- Las componentes que lo forman, que se van a explicar a continuación.
- Ciertos parámetros estadísticos, como son el cálculo de la media y la desviación típica. Ambas se explicarán más adelante.
- Y, algunas relaciones entre las componentes como son el índice de claridad K_T y la fracción de difusa K_D

Los primeros investigadores que demostraron la existencia en la relación entre la radiación global y difusa fueron Liu y Jordan [9] en su trabajo pionero en 1960, en donde partieron de la idea obvia de que en los días que eran más claros la fracción de difusa era menor y comprobaron la existencia de una correlación entre la fracción difusa y el índice de claridad. A partir de la teoría de ellos han aparecido otros estudios, como por ejemplo el de Garrison, que manifestaba la influencia de otros numerosos parámetros climáticos entre la radiación global y la difusa, demostrando que la validez de una correlación universal es limitada. [10]

Para calcular la fracción de difusa y el índice de claridad es necesario conocer los componentes de la radiación solar que nos llega proveniente del sol. Tenemos tres componentes diferenciadas:

- Radiación directa (B)
- Radiación difusa (D)
- Radiación albedo (R)

La **radiación directa** (B) está constituida por los rayos procedentes del Sol directamente que se reciben en línea recta y que no han sido dispersados.

La **radiación difusa** (D) procede de todo el cielo excluyendo a la radiación directa y es debida a los rayos solares dispersos por la atmósfera en la dirección del receptor. Esta radiación hace que un cuerpo siempre esté recibiendo una cierta cantidad de energía por todas sus partes,

incluso por las que no recibe la luz del Sol directamente. La componente difusa puede variar desde un 20% sobre el global en un día claro a un 100% en un día nublado.

La **radiación de albedo** (R) procede principalmente del suelo debido a la reflexión de la radiación incidente en él. La influencia del albedo en la radiación incidente sobre un colector suele ser despreciable y tan sólo en casos muy particulares se tiene en cuenta.

La radiación total que incide en una superficie se denomina Radiación Global (G). Por tanto, tenemos la siguiente ecuación:

$$G = B + D + R$$

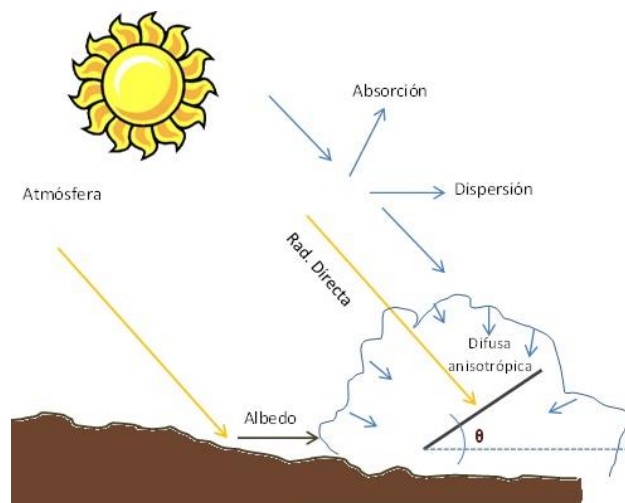


Figura 2: Esquema radiación solar

Cuando se habla de radiación se hace en sentido genérico. Para poder distinguir entre potencia y energía usaremos definiciones más concretas para evitar confusión.

Se llama **Irradiancia** a la densidad de potencia incidente en una superficie o también la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo (kW/m²).

Se llama **Irradiación o Radiación** a la energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto periodo de tiempo (kWh/m²).

Para calcular la radiación solar que llega a una superficie horizontal en la tierra, es necesario conocer las relaciones trigonométricas entre la posición del sol y esta superficie. Para conocer la posición del sol en el cielo en cualquier momento es necesario determinar dos ángulos: acimut y altura solar.

- La altura solar se define como el ángulo, en un plano vertical, entre los rayos del sol y la proyección de éstos sobre un plano horizontal (α).
- El acimut es el ángulo, medido en el plano horizontal, que forman la proyección de los rayos del sol en este plano con el sur (para el hemisferio Norte) (ψ).
- Otro ángulo, es el cenital, Θ_z , ángulo entre los rayos del sol y una línea perpendicular al plano horizontal, y cumple que:

$$\alpha + \theta_z = \frac{\pi}{2}$$

Una vez hemos entrado en detalle sobre los parámetros en los que se divide la radiación solar vamos a explicar en qué consisten tanto el índice de claridad como la fracción de difusa.

El índice de claridad es un indicador del índice de nubosidad o claridad del día y, por tanto, un indicador de la cantidad de radiación difusa.

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

$$K_T = \frac{G_D}{B_{OD}}$$

Los valores que puede tomar K_T van desde 0 hasta 1. Es adimensional.

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

$$K_D = \frac{D_D}{G_D}$$

Los valores que puede tomar K_D van desde 0 hasta 1. Es adimensional

A continuación, vamos a ver un gráfico que representa dichas correlaciones y que nos darán una idea sobre qué tipo de gráfico vamos a obtener posteriormente para la obtención de nuestra ecuación.

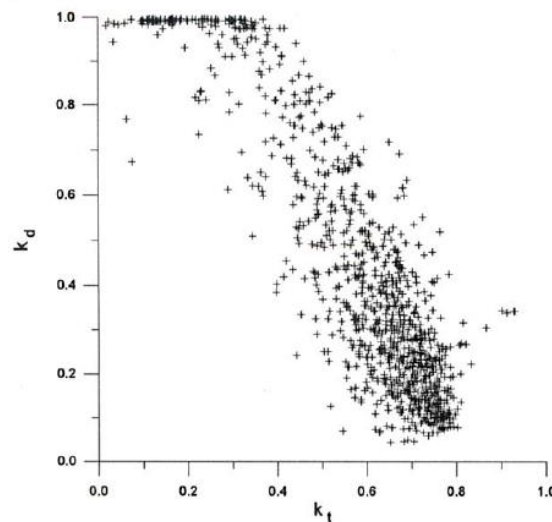


Figura 3. Relación entre K_T y K_D

Si observamos, podemos ver una gran dispersión de los valores de K_D para un mismo valor de K_T . Por ejemplo, para un $K_T = 0,5$ los valores de K_D nos van a variar de 0,26 hasta 0,84. Esto nos indica que existen otras variables que afectan a esta correlación. Esto nos indica que

podremos establecer un número determinado de tramos que nos ayudarán a obtener unos datos más concretos sobre los valores de la componente difusa y directa.

5.2 RECOGIDA DE DATOS

Los datos que se nos facilitan están en unos archivos con extensión .DAT que contienen datos de diversos años que suelen rondar entre 1981 a 1984 en diversas ciudades. Cada archivo contiene una localidad y los datos diarios de cada uno de los años. Los archivos los vamos ir abriendo como un archivo de texto y luego lo exportaremos a un Excel para su posterior tratamiento.

Entre los datos facilitados en dichos ficheros debemos analizar cada uno de los valores de los años medidos, ya que algunos de los datos que se nos facilitan no pueden tenerse en cuenta ya que son datos nulos o erróneos. Esto ocurre por los errores que se provocan a la hora de realizar la medición. Es por esa razón por la que se ha ido filtrando los datos y se han ido completando debidamente.

Primero se deben de colocar en una tabla cada uno de los años e ir viendo los valores que se disponen. De los años en los que no se dispone suficiente información o los valores han resultado poco fiables, se han realizado las medias de los datos mensuales de los años de los que se disponía información para así poder disponer de mayor cantidad de información. Así, por ejemplo, de un año que solo se disponía información de 6 meses, se ha podido completar hasta el año realizando dichas medias.

Los errores en la medición se deben entre otras razones por:

- Error humano, los valores nulos o erróneos proceden de la mala interpretación de los datos obtenidos por parte de la persona encargada de la medición.
- Condiciones meteorológicas, los valores que se obtienen se ven afectados por circunstancias ajenas a la persona que lo mide, pueden aproximarse a la realidad dando lugar a confusión e incluso a tratar datos no correctos. Algunas de las principales causas por las que suceden es por una mala interpretación del aparato de medida o por las circunstancias climatológicas, día lluvioso o nublado.
- Aparatos de medida, en algunas ocasiones los aparatos debido a sobrecargas de tensión o por errores en su diseño, pueden conllevar a errores a la hora de tomar medidas.

Una vez conocemos los factores que condicionan los errores se procede a tratar los datos para los distintos años. Se van desechando los años de los que se tiene poca o muy poca información y no es posible estimarlos y se van organizando las tablas con los años completos.

Disponemos de datos de radiación global diaria de 34 localidades, aunque solo de 5 de ellas se han recogido datos tanto de global como de difusa, necesarios para la realización de este trabajo. Las ciudades de las que se disponían sendos datos son las siguientes:

	GLOBAL	DIFUSA
Localidad	Años	Años
MADRID	1974-1975-1976-1979-1980-1981	1977-1978-1979-1980
MALAGA	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982	1982-1983-1984-1985
MALLORCA	1975-1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982	1982-1983-1984
MURCIA	1975-1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982	1984-1985
OVIEDO	1973-1974-1975-1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983-1984	1983-1984-1985

Tabla 1: Localidades con radiación global y difusa

Nos limitaremos a mostrar los resultados para el año 1977 en Madrid, pero cabe resaltar que se ha realizado estos cálculos para todos los años de todas las localidades mostradas en la Tabla 1. Las tablas quedarían como se muestran a continuación:

5.3 CALCULO MEDIA, DESVIACIÓN TÍPICA, INDICE DE CLARIDAD Y FRACCIÓN DE DIFUSA.

Los parámetros más importantes para caracterizar la radiación solar son la media y la desviación típica.

Una vez ordenados, se han realizado las medias mensuales y se ha calculado la desviación típica. Para calcular la media y la desviación típica nos hemos basado en las fórmulas disponibles en el programa Excel, Promedio y Desvest.

Las medias y desviaciones típicas se añaden a cada tabla y quedarían calculados de la siguiente forma:

Med	Dev
1645	661
3104	901
4900	1090
6004	1472
5590	1829
7315	1140
7363	1136
6733	1183
5609	1106
3361	1305
2749	1038
1693	701

Tabla 4: Calculo media y desviación típica en Madrid en 1977

Para calcular la correlación del índice de claridad (K_T) se han necesitado los valores de radiación terrestre (B_O), declinación solar ($D(rd)$), excentricidad (ϵ_O) y el ángulo de incidencia del sol en una superficie (ω_S). La fórmula sería:

$$K_T = \frac{G}{B_O}$$

Para calcular la fracción de difusa se ha utilizado la siguiente fórmula, relacionando los valores de radiación global y difusa medidos:

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

Los cálculos para la correlación K_T y K_D nos dejan las siguientes tablas:

[illegible][illegible]

Con los datos de radiación difusa, se puede calcular los datos de la radiación directa aplicando la siguiente formula:

$$B_D = G - D$$

Y obtendríamos la siguiente tabla, en la que ya calcularemos como en el resto tanto la media como la desviación típica.

Bd																																
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
1979	1	1551	2007	263	1515	1236	2282	245	429	2117	1481	1392	2512	2553	2758	1526	1534	2174	312	825	2988	382	843	809	717	692	1240	870	1233	1858	3583	2942
1979	2	647	1488	2087	363	526	769	1047	1348	2486	886	1374	1163	2416	1798	2673	4008	4132	3273	3857	4085	1974	4228	4169	4937	4633	2762	4480	827	0	0	0
1979	3	2897	4971	3991	4149	3754	3040	2053	2138	3800	4798	5263	5052	5067	1743	5817	2049	1219	3332	3320	4156	5051	4912	3505	1857	2374	3291	4087	3534	4373	5080	5269
1979	4	3960	5680	2677	3432	7027	6009	6127	2914	3280	4582	5768	4457	3559	2555	3946	6071	6935	7573	7304	7389	6642	6119	5917	7774	6305	6334	8104	7889	5021	7609	0
1979	5	7862	8128	7755	6481	6534	3945	4047	5561	6167	7685	8118	8018	8341	7928	7638	7798	8397	7742	8396	6383	8571	8649	8360	7379	4847	4460	5371	7000	5518	5477	5260
1979	6	7220	7887	7904	6579	8484	7952	7880	5449	2607	8023	8298	7298	7418	6208	8136	9100	9170	8529	8321	8648	6961	7796	8172	8327	6597	5829	5486	6135	7482	4016	0
1979	7	3421	8444	7891	7734	7165	6808	7730	7895	7674	4183	5409	6573	7693	7659	5731	6231	7482	7401	7418	7512	7524	6885	7618	7211	4924	7017	7251	7581	7504	5399	7205
1979	8	7639	7550	7591	6619	7268	7510	7296	7060	7098	7350	7286	7134	6597	7123	6323	7398	6618	7187	7449	7244	6870	6667	6159	6745	6616	6725	6238	4821	6121	6095	4148
1979	9	5980	5561	5823	5403	4936	3452	5689	5617	5436	3669	4862	3908	4083	3441	4669	5253	4163	4294	3663	4660	3313	3425	5601	5516	4717	5082	4874	4732	4468	4190	0
1979	10	4570	4077	4611	4071	2779	2767	2856	3457	537	2747	1966	865	2374	1981	1358	2599	4065	4289	1741	1497	1498	2000	1461	1984	779	1499	2178	2944	2981	3324	3301
1979	11	2786	2784	3511	3364	3128	3070	2857	2935	2731	3376	3251	2853	1198	908	2536	2835	1657	2980	2659	2744	2907	2322	1682	2502	2753	2355	2197	2430	2232	2322	0
1979	12	2584	2310	2210	2124	2300	2166	1663	545	1266	1325	904	1665	457	2492	1319	2097	2214	2262	1167	2541	2543	1790	937	445	1325	2299	1539	1223	2142	1607	2276

Tabla 7: Radiación directa de Madrid en 1979

En resumen, tras todos los cálculos anteriormente realizados, se dispone de la siguiente información:

Localidad	Años	RADIACION			CORRELACION	
		GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA	I. CLARIDAD	F. DIFUSA
MADRID	1977-1978-1979-1980	X	X	X	X	X
MALAGA	1982-1983-1984-1985	X	X	X	X	X
MALLORCA	1982-1983-1984	X	X	X	X	X
MURCIA	1984-1985	X	X	X	X	X
OVIEDO	1983-1984-1985	X	X	X	X	X

Tabla 8: Resumen datos radiación global y difusa

6.- CÁLCULO DE CORRELACIONES K_T - K_D

Terminadas las tablas con los datos de radiación global, medias, desviación típica, índice de claridad (K_T) y fracción de difusa (K_D) de las localidades citadas anteriormente, procedemos a realizar la segunda parte que consiste en obtener una ecuación que nos permita relacionar los datos de los índices de claridad y de la fracción de difusa para poder obtener los datos de radiación difusa y directa para todas las localidades restantes.

Una vez tenemos la fracción de difusa y el índice de claridad, según hemos visto en la tesis de Macagnan, podemos relacionarlo en un mismo gráfico y obtener 3 tramos diferentes, con tres ecuaciones diferentes.

Iremos realizando gráficos de cada uno de los años en cada localidad y luego se sumarán a un mismo gráfico para obtener los tres tramos y la ecuación para cada uno de ellos. Uno de los gráficos obtenidos sería el siguiente.

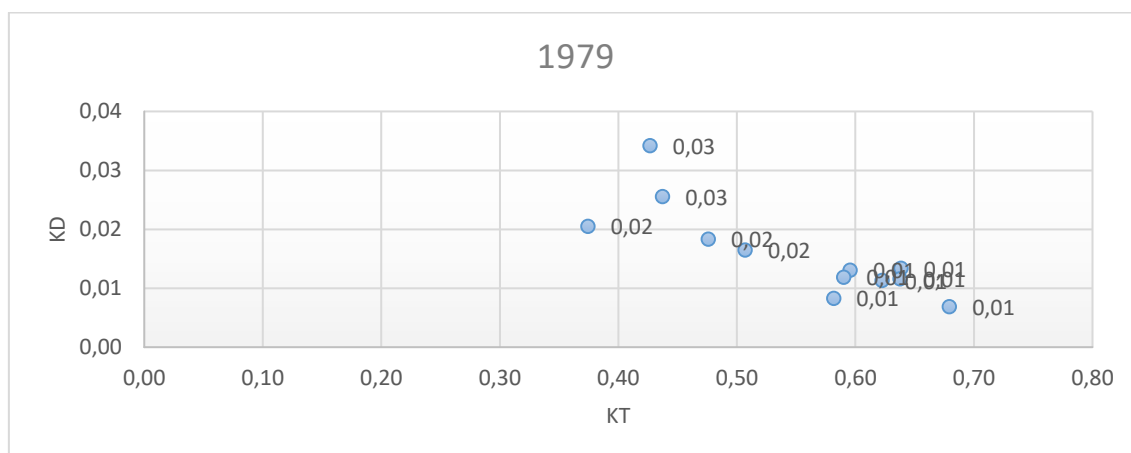


Figura 4: Relación de K_T y K_D de Madrid en 1979

Este en concreto pertenece a la localidad de Madrid, en el año 1979, estamos relacionando ambas fracciones, tanto K_T como K_D . Como se puede observar los valores de K_T giran en torno a 0.38 y 0.68.

Terminadas cada una de las gráficas para cada año en cada ciudad, agrupamos todos los gráficos en uno único quedando de la siguiente manera:

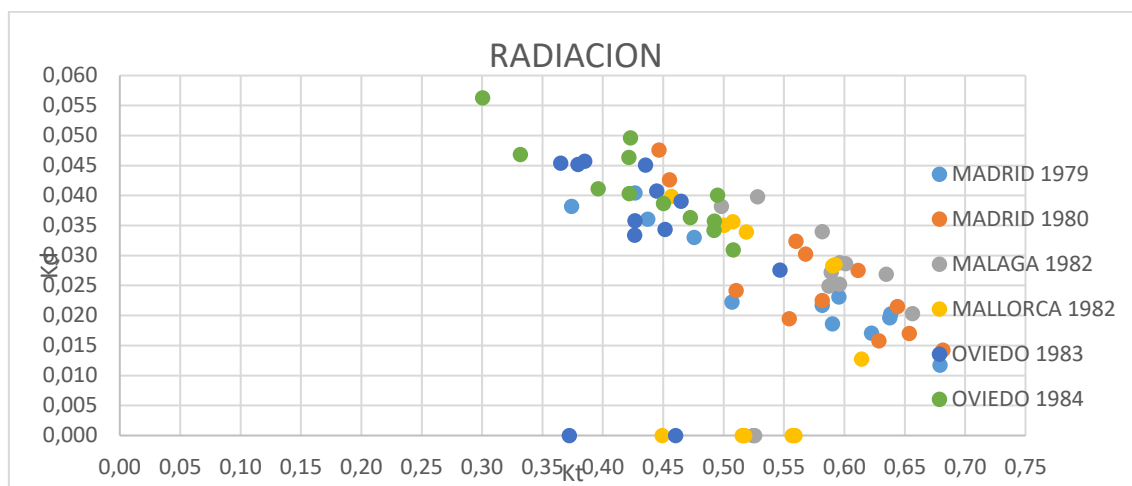


Figura 5: Resumen K_D y K_T

Como podemos observar, podríamos establecer tres tramos que lo formarían de 0 a un valor de K_T de 0,40, un K_T entre 0,40 y 0,65 y valores superiores a 0,65. Si observamos, comprobamos que los valores giran en torno a los mismos valores de la tesis en la que nos estamos basando. Tras realizar diversas pruebas se ha determinado que estos tramos se adecuan más a la realidad. Se realizaron pruebas en algunas de las localidades de las que se disponía información de la radiación difusa y se comprobó que los resultados teóricos y los recogidos por los aparatos de medición eran similares en la mayoría de los casos. Tomando finalmente como válidos tanto los tramos establecidos como la ecuación propuesta.

Para obtener las ecuaciones de los tres tramos nos hemos ayudado de unas guías que nos ayudarán a calcular las ecuaciones de cada tramo. A pesar de tener varios años de radiación global y difusa, solo se pudieron trabajar con los años que se muestran en la figura 5, ya que se necesitan tener datos del mismo año tanto de radiación global como de difusa.

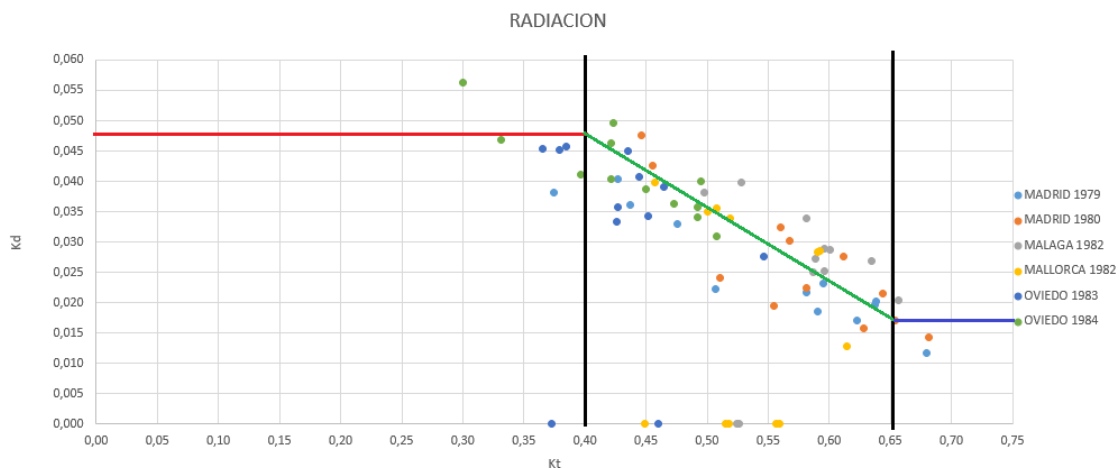


Figura 6: Cálculo de tramos para ecuación

La ecuación que proponemos para la correlación K_T - K_D de valores diarios para España es la siguiente:

- $K_D = 0,046$; Para $K_T < 0,40$
- $K_D = -0,118K_T + 0,0937$; Para $0,40 \leq K_T \leq 0,65$
- $K_D = 0,017$; Para $K_T > 0,65$

Este método es el obtenido para poder calcular el resto de parámetros de la radiación solar, en el resto de localidades, si partimos de datos medidos de radiación global. Estos tramos y ecuaciones están basados en los datos obtenidos para la población de España.

6.1 CALCULO DE LAS COMPONENTES DE DIFUSA Y DIRECTA DEL RESTO DE LOCALIDADES

Una vez demostrada la validez de la ecuación propuesta, se puede aplicar al resto de localidades de las que solo disponíamos datos de radiación global.

Primero hemos ido colocando cada uno de los datos en el Excel, los hemos filtrado y clasificado por años. Se han establecido las mismas tablas que en las localidades anteriores y se han calculado las medias y desviación típica para los valores de radiación global, así como el índice de claridad para cada año.

Aquí se muestran los datos que se han podido obtener de radiación global:

LOCALIDAD	AÑOS
ALBACETE	1976-1977-1978-1979-1980-1983
ALICANTE	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982
ALMERIA	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
BADAJOS	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982
BURGOS	1976-1977-1979-1980-1981-1982
CADIZ	1976-1977-1978-1981-1982-1983-1984
CASTELLON	1979-1980-1981-1982
CEUTA	1976-1977-1978-1979-1980
CIUDAD REAL	1976-1977-1978-1979-1980
CORDOBA	1976-1977-1978-1980-1981-1982-1983
GRANADA	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983-1984
HUELVA	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
LANZAROTE	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
LA PALMA	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
LAS PALMAS DE GC	1976-1977-1980-1981-1982-1983
LEON	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
LERIDA	1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
LOGROÑO	1976-1977-1978-1979-1980
LUGO	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983-1984
SALAMANCA	1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983-1984
SANTANDER	1975-1976-1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983
SEVILLA	1976-1979-1980-1981-1982
SORIA	1979-1980-1982-1983-1984
TARRAGONA	1975-1976-1977-1978-1979-1981-1982-1983-1984
TOLEDO	1979-1980-1981-1982-1983-1984
VALENCIA	1975-1976-1977-1978-1979-1980
VIGO	1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983-1984
VIZCAYA	1977-1978-1979-1980-1981-1982
ZARAGOZA	1971-1978-1979-1980-1981-1983

Tabla 9: Localidades con solo radiación global

Como se puede observar hay mucha variedad de información que se ha podido utilizar, permitiendo obtener para cada uno de esos años todas las variables restantes, difusa, directa, etc.

Terminado el tratamiento de datos principal y partiendo de los datos de radiación global, se han sacado los valores del índice de claridad (K_T), con la formula dada anteriormente. Tras estos cálculos, aplicamos una fórmula de Excel que partiendo de los datos que hemos obtenido del índice de claridad (K_T), se obtengan los valores de la columna de medias de la fracción difusa (K_D) en función de cada uno de los tramos que hemos establecido anteriormente.

Una vez que tengamos calculados esos valores medios, se obtendrían los valores de radiación difusa diaria multiplicando el valor obtenido en la columna de las medias por el valor de la radiación global diaria que teníamos e iríamos completando cada uno de los días.

Ya teniendo los parámetros de global (G), difusa (D), índice de claridad (K_T) y fracción de difusa (K_D) con todas sus medias y desviaciones típicas calculadas, se puede calcular la última componente que es la radiación directa. Las tablas quedarían de la siguiente forma:

[illegible]

Tabla 10: Cálculo K_D con la ecuación de Albacete en 1977

Y la tabla con los valores de difusa.

[illegible]

Tabla 11: Cálculo difusa de Albacete en 1977

Y obtendríamos la siguiente tabla, en la que ya calcularemos como en el resto tanto la media como la desviación típica.

Bd																																		
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
1977	1	1837	575	564	963	796	741	963	1427	2136	1184	1998	2812	2457	1749	1074	2092	874	1793	1804	1405	764	1571	2413	2757	2447	1317	1561	1571	1682	1583	1727	1569	630
1977	2	3736	1856	1598	2093	3421	2330	3635	3984	2059	2420	2870	3545	2037	3511	4311	4119	3320	2723	2600	2386	1316	2757	4400	3444	3748	2521	3219	4288	0	0	0	3009	873
1977	3	4797	5093	5201	5309	5343	5013	5036	4489	3851	4546	4147	3749	4546	5343	5845	5560	4990	5042	5093	2848	4899	1128	5150	6300	5811	6073	5161	3076	4096	5116	6415	4809	1070
1977	4	6358	6609	6552	6506	6336	5482	6199	4197	6085	7063	6461	6995	7098	6972	5812	1558	4106	5425	2423	6824	7211	7359	7223	7382	7018	5141	5243	4436	6062	4311	0	5882	1442
1977	5	6170	5205	5575	7606	6047	6641	7045	7101	6787	7370	7516	7326	5777	3635	3309	4207	4655	751	2748	6170	1032	6697	6249	3971	5597	5059	6574	6473	5059	4588	4499	5401	1768
1977	6	3940	6183	6416	6229	7607	5762	8290	7493	8438	8051	8210	6525	4839	8381	8438	8484	6912	7857	6741	6479	7630	6661	8210	7151	7311	7163	7732	7920	8108	6069	0	7174	1118
1977	7	2522	6459	8023	7544	7840	6243	6162	8206	6345	8149	8080	8298	8218	7978	6494	8320	8137	6870	7082	7293	7681	7270	7510	7305	7807	7687	7567	6391	7510	6231	7139	7238	1116
1977	8	8046	7590	5399	6477	7555	7773	7601	7430	6688	6768	6608	7258	6711	7133	6688	7167	7430	6437	6574	2750	6688	5958	7305	7293	6894	6140	6905	3104	6186	7053	5570	6619	1163
1977	9	6859	6631	6368	6471	6402	6345	6471	6734	6015	6505	6574	6323	6015	6368	6038	3755	4770	4120	2499	4691	4303	5273	5832	4679	4291	4166	5159	5238	5033	5466	0	5513	1087
1977	10	5238	5137	4530	4979	4811	955	2765	2911	2427	4282	4603	4923	4766	4350	2945	1539	3192	1483	2911	2112	2517	2832	2080	3057	1068	1573	3642	2889	3563	3687	3102	3254	1264
1977	11	3603	4084	4140	2263	2178	2093	2941	2398	2692	3779	3699	3598	3428	3009	3428	3382	3382	2850	848	440	1787	3213	3281	3281	3054	2143	1233	769	1402	1968	0	2679	1012
1977	12	2276	2620	2430	1886	2076	2331	988	2553	1032	899	860	821	1032	2420	788	1731	821	1099	1221	1842	699	1809	1087	1409	2098	2408	1154	2242	954	1820	2764	1618	671

Tabla 12: Cálculo directa de Albacete en 1977

Se puede comprobar que gracias a la expresión propuesta se ha podido ampliar la información que se tenía en la base de datos inicial. Aportando para cada ciudad de estudio, los datos de radiación global que ya teníamos con los de radiación directa y difusa y las correlaciones del índice de claridad y la fracción difusa.

7.- APLICACIÓN PRÁCTICA: AÑO METEOROLÓGICO (AMT)

Tenemos mucha información y es difícil de manejarla, es por ello que se suele aplicar el AMT para facilitar su tratamiento.

Una vez hemos calculado el K_T , calculamos el AMT (Año Meteorológico Típico), que es el conjunto de valores de irradiación horaria correspondientes a un año hipotético que se construye eligiendo un valor para cada mes, un mes de un año real cuyo valor medio mensual de la irradiación global diaria horizontal coincida con el correspondiente al resto de años que contiene la base de datos establecida.

Este proceso se elabora con datos reales y siguiendo dos criterios:

- Criterio I: Valores medios mensuales de la radiación
- Criterio II: Distribución mensual de los valores del índice de claridad.

El primer criterio, el de valores medios mensuales de la radiación, se basa en encontrar un mes cuyo valor de la radiación media se aproxime lo máximo posible al valor de la radiación media promedio calculado con anterioridad en cada uno de los años. Se siguen los siguientes pasos:

1. Suponemos que contamos con los datos de radiación solar de una localidad concreta de 6 años, es decir que dispondríamos de 72 meses (6x12) con datos de radiación. Es decir que tendríamos 6 valores para enero, 6 para febrero, etc.
2. Ahora con cada uno de los meses denominados enero, febrero, etc., se calculan las medias mensuales de radiación solar y a su vez la media de estas medias mensuales obtenidas, obteniendo finalmente 7 valores medios. Es decir, 6 medias por cada año de enero más una media más correspondiente a la media de esos 6 datos obtenidos.
3. Ahora se van comparando las medias obtenidas, los 6 datos generados por mes, con el valor de la media de esos 6 valores y elegimos el que más se aproxime a dicha media.
4. Este valor que más se aproxima es el que elegiremos para construir la primera etapa del AMT.

Lo que se obtendría sería algo así:

G		Año								G		Año					
Año	Mes	1976	1977	1978	1979	1980	1983	Media		Año	Mes	1976	1977	1978	1979	1980	1983
Tip	1	2239	1645	2345	1936	2253	3015	2239		Tip	1	0	593	106	303	14	776
Tip	2	3227	3104	3350	3405	2817	3638	3257		Tip	2	30	153	93	148	440	381
Tip	3	4991	4900	5133	4667	4693	5479	4977		Tip	3	14	77	156	310	284	502
Tip	4	4732	6004	5661	5887	6079	6621	5831		Tip	4	1099	173	170	56	249	791
Tip	5	6216	5590	6213	6919	6354	7936	6538		Tip	5	322	948	325	381	184	1398
Tip	6	7433	7315	7494	7432	7708	7404	7464		Tip	6	31	150	30	33	244	61
Tip	7	6845	7363	7666	7221	8169	7949	7536		Tip	7	691	173	130	314	633	414
Tip	8	6228	6733	6482	7186	6806	6858	6715		Tip	8	488	18	234	470	91	143
Tip	9	5312	5609	5756	5534	5542	6408	5694		Tip	9	381	85	62	159	152	715
Tip	10	3702	3361	4275	3379	4248	3798	3794		Tip	10	92	433	482	415	454	4
Tip	11	2825	2749	2576	2840	2488	2714	2699		Tip	11	126	51	122	141	211	15
Tip	12	1660	1693	1951	2236	2374	1983	1983		Tip	12	323	290	32	253	392	0

Tabla 13: Valores medios AMT de Albacete

Finalmente se configura el AMT según este criterio de la siguiente forma:

Enero	1980
Febrero	1976
Marzo	1976
Abril	1979
Mayo	1980
Junio	1978
Julio	1978
Agosto	1977
Septiembre	1978
Octubre	1983
Noviembre	1977
Diciembre	1978

Tabla 14: AMT primer criterio de Albacete

En el segundo criterio, el de la distribución mensual del índice de claridad, se realiza un estudio similar, pero basándonos en los valores del índice de claridad (K_T). Los pasos a seguir para su realización son los siguientes:

1. Primero se obtiene la radiación extraterrestre (B_o) característica de la ciudad, basándonos en la ecuación matemática siguiente:

$$B_{od}(^\circ) = \frac{24}{\pi} B_o \mathcal{E}_o (\cos \phi \cos \delta) (\omega_s \cos \omega_s - \sin \omega_s)$$

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
Gen	1	4021	4036	4052	4070	4089	4109	4130	4152	4176	4201	4227	4254	4283	4312	4343	4375	4408	4442	4478	4514	4552	4591	4630	4671	4713	4756	4800	4845	4891	4938	4987
Gen	2	5036	5086	5136	5188	5241	5295	5349	5404	5460	5517	5575	5633	5693	5752	5813	5874	5936	5999	6062	6125	6189	6254	6319	6385	6451	6518	6585	6652	0	0	0
Gen	3	6720	6787	6856	6924	6993	7062	7131	7200	7270	7339	7409	7478	7548	7617	7687	7757	7826	7895	7964	8033	8102	8171	8239	8307	8375	8443	8510	8577	8643	8709	8775
Gen	4	8840	8905	8969	9033	9096	9159	9221	9283	9344	9404	9464	9523	9582	9640	9697	9753	9809	9864	9919	9972	10025	10077	10129	10179	10229	10278	10326	10373	10420	10466	0
Gen	5	10511	10555	10598	10640	10682	10722	10762	10801	10839	10876	10912	10948	10982	11016	11049	11080	11111	11141	11170	11199	11226	11253	11278	11303	11326	11349	11371	11392	11412	11432	11450
Gen	6	11467	11484	11500	11514	11528	11541	11553	11564	11574	11584	11592	11600	11606	11612	11617	11621	11624	11626	11627	11628	11627	11626	11623	11620	11616	11611	11605	11598	11591	11582	0
Gen	7	11573	11563	11551	11539	11526	11513	11498	11482	11466	11448	11430	11411	11391	11370	11348	11326	11302	11278	11253	11227	11200	11172	11143	11114	11083	11052	11020	10987	10953	10919	10883
Gen	8	10847	10809	10771	10733	10693	10652	10611	10569	10526	10482	10438	10392	10346	10299	10251	10203	10154	10104	10053	10002	9949	9897	9843	9789	9734	9678	9622	9565	9507	9449	9390
Gen	9	9331	9271	9210	9149	9087	9025	8962	8899	8836	8772	8707	8642	8577	8511	8445	8379	8312	8245	8178	8111	8043	7975	7907	7839	7771	7702	7634	7565	7497	7428	0
Gen	10	7360	7291	7223	7154	7086	7018	6950	6883	6815	6748	6681	6615	6548	6483	6417	6352	6287	6223	6159	6096	6034	5971	5910	5849	5789	5729	5670	5612	5554	5497	5441
Gen	11	5386	5331	5278	5225	5173	5122	5071	5022	4974	4926	4880	4834	4790	4746	4704	4662	4622	4583	4544	4507	4471	4436	4402	4369	4338	4307	4278	4250	4223	4197	0
Gen	12	4173	4149	4127	4106	4086	4068	4050	4034	4019	4005	3993	3982	3972	3963	3956	3950	3945	3941	3938	3937	3937	3939	3941	3945	3950	3956	3964	3973	3983	3994	4007

Tabla 15: Calculo B_o de Albacete

2. Con la tabla anterior vamos calculando el índice de claridad con la fórmula dicha anteriormente.
3. Ahora se calculan las frecuencias absolutas acumuladas del índice de claridad en sentido ascendente, es decir, creamos una tabla que nos vaya indicando los valores que hay por debajo de un determinado índice de claridad.

Frec	Abs								
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
0	0	0	3	12	29	31	31	31	31
1	2	2	5	10	15	23	28	28	28
0	0	2	4	6	9	15	31	31	31
1	4	5	9	16	19	24	30	30	30
0	1	3	6	8	15	26	31	31	31
0	0	0	0	3	6	21	30	30	30
0	0	0	0	5	13	26	31	31	31
0	0	0	1	4	11	28	31	31	31
0	0	0	1	6	10	19	30	30	30
0	1	1	4	11	13	22	31	31	31
0	0	1	5	7	12	17	30	30	30
0	2	6	18	22	24	31	31	31	31

Tabla 16: Calculo frecuencias absolutas acumuladas

4. Ahora repetimos el proceso, pero para las frecuencias relativas acumuladas. El proceder es sencillo, se divide la frecuencia absoluta obtenida anteriormente entre el número de datos que obtenemos.

Frec	Rel								
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
0,00	0,00	0,00	0,10	0,39	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00
0,04	0,07	0,07	0,18	0,36	0,54	0,82	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,06	0,13	0,19	0,29	0,48	1,00	1,00	1,00
0,03	0,13	0,17	0,30	0,53	0,63	0,80	1,00	1,00	1,00
0,00	0,03	0,10	0,19	0,26	0,48	0,84	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,42	0,84	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,35	0,90	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,03	0,20	0,33	0,63	1,00	1,00	1,00
0,00	0,03	0,03	0,13	0,35	0,42	0,71	1,00	1,00	1,00
0,00	0,00	0,03	0,17	0,23	0,40	0,57	1,00	1,00	1,00
0,00	0,06	0,19	0,58	0,71	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 17: Calculo frecuencias relativas acumuladas

- Estos pasos citados se deben de repetir para cada uno de los años. Una vez obtenidos se realizará un gráfico que nos va a representar las distribuciones mensuales. Finalmente obtendremos 12 gráficos que se corresponden con los 12 meses del año.

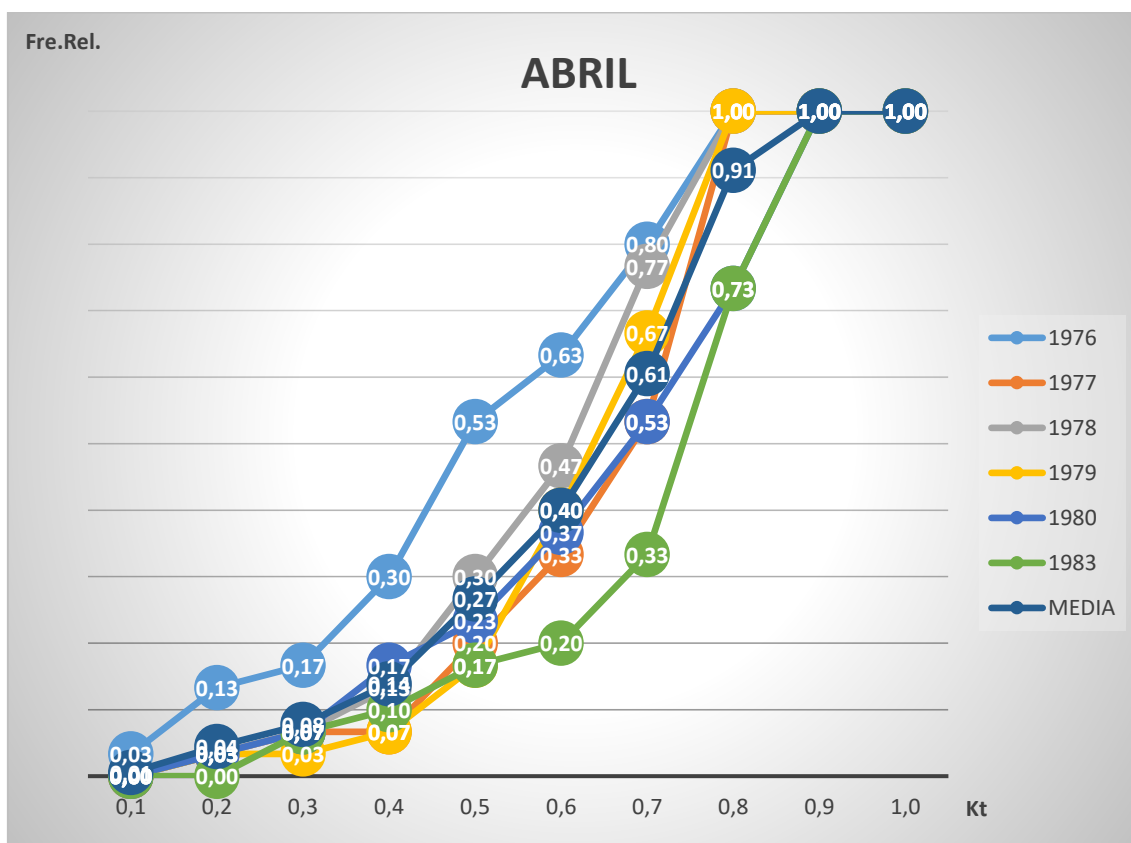


Figura 7: AMT de todos los años

- Finalmente, el mes elegido como AMT será el que tenga mayor similitud con la distribución media. A simple vista es difícil de apreciarlo, por lo que se ha usado el test de bondad del ajuste Kolmogorov-Sminov.

El test de bondad del ajuste Kolmogorov-Sminov conlleva el examen de una muestra aleatoria frente a una función de distribución conocida. En esta comparación se aplicará la hipótesis nula.

Este test sirve para comparar distribuciones de datos, que deben estar perfectamente definidos y basados en datos empíricos. Con este test podremos afirmar si ambas distribuciones se ajustan o no hasta cierto punto de similitud.

Para ello se va a hallar el grado de similitud que existe entre la función de distribución de un mes y el de la función genérica. Para obtener la función de distribución empírica se ordena X_i de forma ascendente, es decir desde el índice de claridad más pequeño hasta el índice de claridad

con valor 1 y después se hallan los valores de las frecuencias relativas acumuladas tal y como se hizo anteriormente. Para obtener la función de distribución teórica, solamente tenemos que considerar ésta como la media de las frecuencias relativas.

Una vez que hemos obtenido las distribuciones empíricas y teóricas, para aceptar la hipótesis nula, se calcula el estadístico K-S, como la diferencia máxima entre $F(X)$ y $S(X)$. Y quedaría como la siguiente tabla:

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	Suma	Dmax
0,03	0,06	0,10	0,15	0,18	0,06	0,05	0,01	0,00	0,00	0,65	0,18
0,01	0,05	0,02	0,05	0,06	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,24	0,06
0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,17	0,18	0,06	0,00	0,00	0,48	0,18
0,01	0,01	0,04	0,07	0,10	0,00	0,06	0,09	0,00	0,00	0,38	0,10
0,01	0,02	0,01	0,01	0,07	0,17	0,17	0,05	0,00	0,00	0,51	0,17
0,00	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,15	0,04
0,00	0,03	0,02	0,02	0,09	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,24	0,09
0,00	0,00	0,01	0,02	0,07	0,19	0,23	0,01	0,00	0,00	0,53	0,23
0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,06	0,04	0,00	0,00	0,17	0,06
0,00	0,02	0,04	0,06	0,17	0,22	0,14	0,02	0,00	0,00	0,66	0,22
0,00	0,04	0,08	0,00	0,06	0,07	0,16	0,01	0,00	0,00	0,41	0,16
0,00	0,01	0,06	0,16	0,16	0,18	0,11	0,01	0,00	0,00	0,68	0,18

Tabla 18: Cálculo estadístico K-S

Aceptamos la hipótesis nula, es decir, que afirmamos que sigue el modelo de distribución teórica. Para hallarlo se deberá de comprobar el grado de similitud con la distribución genérica que obtenemos, sumando todas las diferencias entre $F(X)$ y $S(X)$.

$$\text{Suma} = \sum D_i$$

El mes elegido será el mes que presente menor valor en este parámetro. Y se quedaría representado de la siguiente forma:

MAX		Año							SUMA		Año						
Año	Mes	1976	1977	1978	1979	1980	1983	Máx.	Año	Mes	1976	1977	1978	1979	1980	1983	Min
Tip	1	0,29	0,31	0,10	0,18	0,05	0,48		Tip	1	1,00	1,34	0,26	0,65	0,18	1,70	0,18
Tip	2	0,10	0,12	0,19	0,06	0,17	0,19		Tip	2	0,27	0,46	0,34	0,24	0,74	0,67	0,24
Tip	3	0,09	0,09	0,14	0,18	0,18	0,20		Tip	3	0,25	0,24	0,31	0,48	0,38	0,65	0,24
Tip	4	0,27	0,09	0,16	0,10	0,18	0,27		Tip	4	1,15	0,39	0,38	0,38	0,37	0,85	0,37
Tip	5	0,09	0,25	0,12	0,17	0,12	0,30		Tip	5	0,34	0,84	0,42	0,51	0,29	1,32	0,29
Tip	6	0,09	0,09	0,03	0,04	0,21	0,06		Tip	6	0,25	0,26	0,08	0,15	0,34	0,22	0,08
Tip	7	0,30	0,11	0,16	0,09	0,34	0,12		Tip	7	0,65	0,27	0,24	0,24	0,57	0,22	0,22
Tip	8	0,32	0,10	0,13	0,23	0,03	0,13		Tip	8	0,57	0,25	0,27	0,53	0,08	0,26	0,08
Tip	9	0,16	0,07	0,07	0,06	0,19	0,33		Tip	9	0,48	0,19	0,23	0,17	0,36	0,88	0,17
Tip	10	0,10	0,20	0,28	0,22	0,22	0,27		Tip	10	0,18	0,73	0,76	0,66	0,73	0,79	0,18
Tip	11	0,12	0,12	0,07	0,16	0,10	0,28		Tip	11	0,41	0,34	0,25	0,41	0,46	0,76	0,25
Tip	12	0,26	0,23	0,08	0,18	0,27	0,16		Tip	12	0,78	0,80	0,29	0,68	0,92	0,72	0,29

Tabla 19: Valores medios AMT

Finalmente, el AMT quedaría resuelto de la siguiente forma:

Enero	1980
Febrero	1979
Marzo	1977
Abril	1980
Mayo	1980
Junio	1978
Julio	1983
Agosto	1980
Septiembre	1979
Octubre	1976
Noviembre	1978
Diciembre	1978

Tabla 20: AMT segundo criterio de Albacete

Ambos criterios facilitan información al usuario que la requiere. Si se busca obtener una información más breve para hacernos una idea de la situación, nos podemos basar en el primer criterio. En cambio, si lo que se busca es obtener una mayor cantidad de información se usará el segundo criterio ya que es mucho más preciso. Por otro lado, destacar, que el segundo criterio es más complejo de calcular que el primero, necesitando de mayor tiempo para su ejecución.

8.- CONCLUSIONES

Tras haber finalizado el proyecto vamos a analizar y evaluar si se han alcanzado todos los objetivos que se habían fijado previamente.

El objetivo principal consistía en caracterizar el recurso solar en diferentes localidades españolas para las que disponíamos datos de radiación solar. Para afrontar este objetivo nos hemos ayudado de una hoja Excel para cada una de las ciudades en donde dentro podemos encontrar los diferentes datos para cada una de las ciudades con los años de los que se disponía información, agrupándolos en tablas que contienen los datos de radiación con sus medias y desviación típica. De esta forma tendríamos una primera base de datos solo incorporando los datos que nos facilitaron los aparatos de medida, ordenándolos para tener acceso a ellos de una forma rápida y sencilla.

Por otro lado, no solo se ha creado esta primera base de datos, sino que se han realizado gráficas de cada uno de los años para poder comparar los datos de radiación solar, frecuencias relativas, radiación extraterrestre, así como ampliar estos datos añadiendo información de las dos componentes de la radiación solar que no se conocían, como son los valores de las componentes directa y difusa, que nos permiten completar las dos correlaciones de los objetivos secundarios, el índice de claridad (K_T) y la fracción de difusa (K_D).

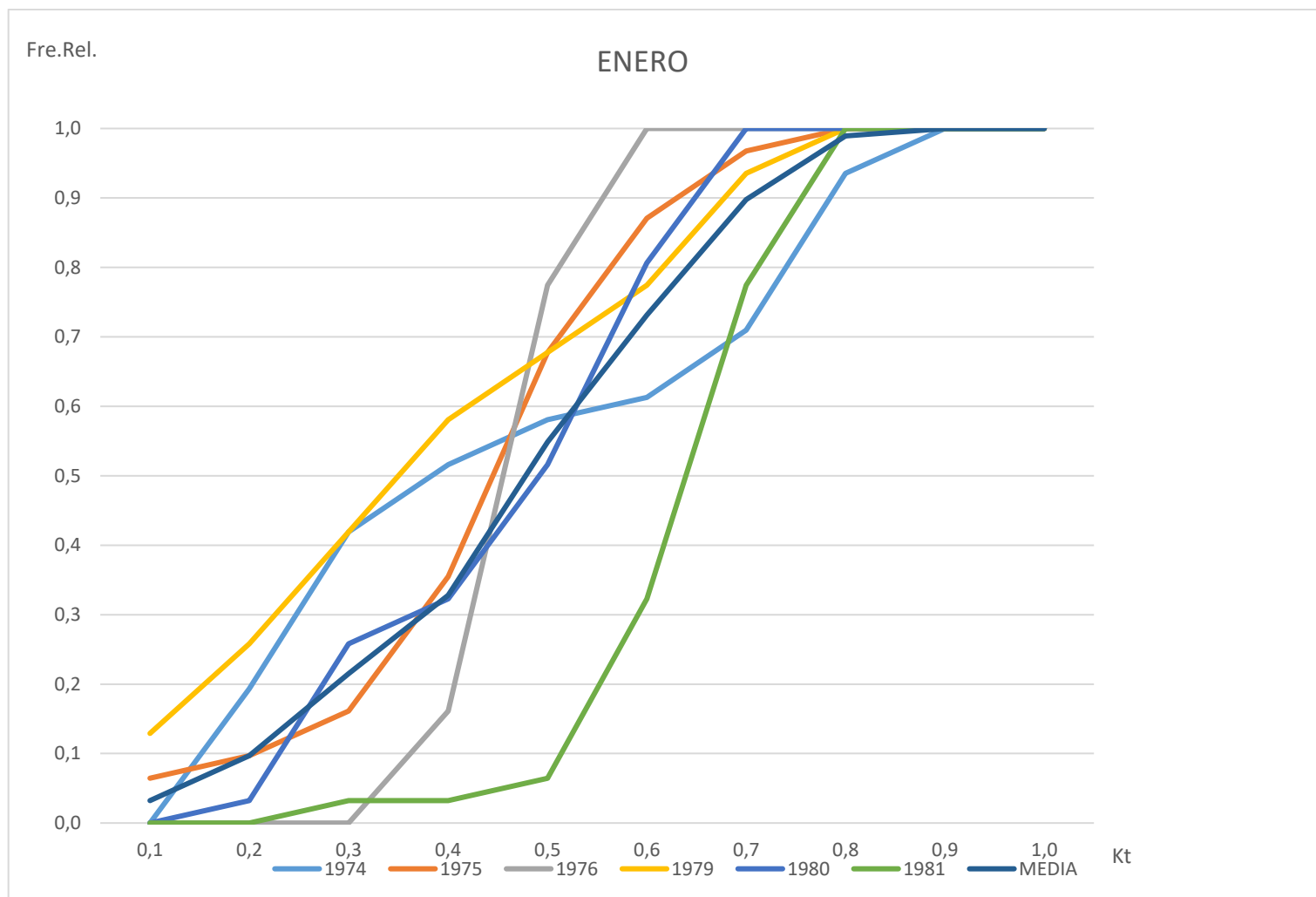


Figura 8: Frecuencia relativa mes enero en Madrid

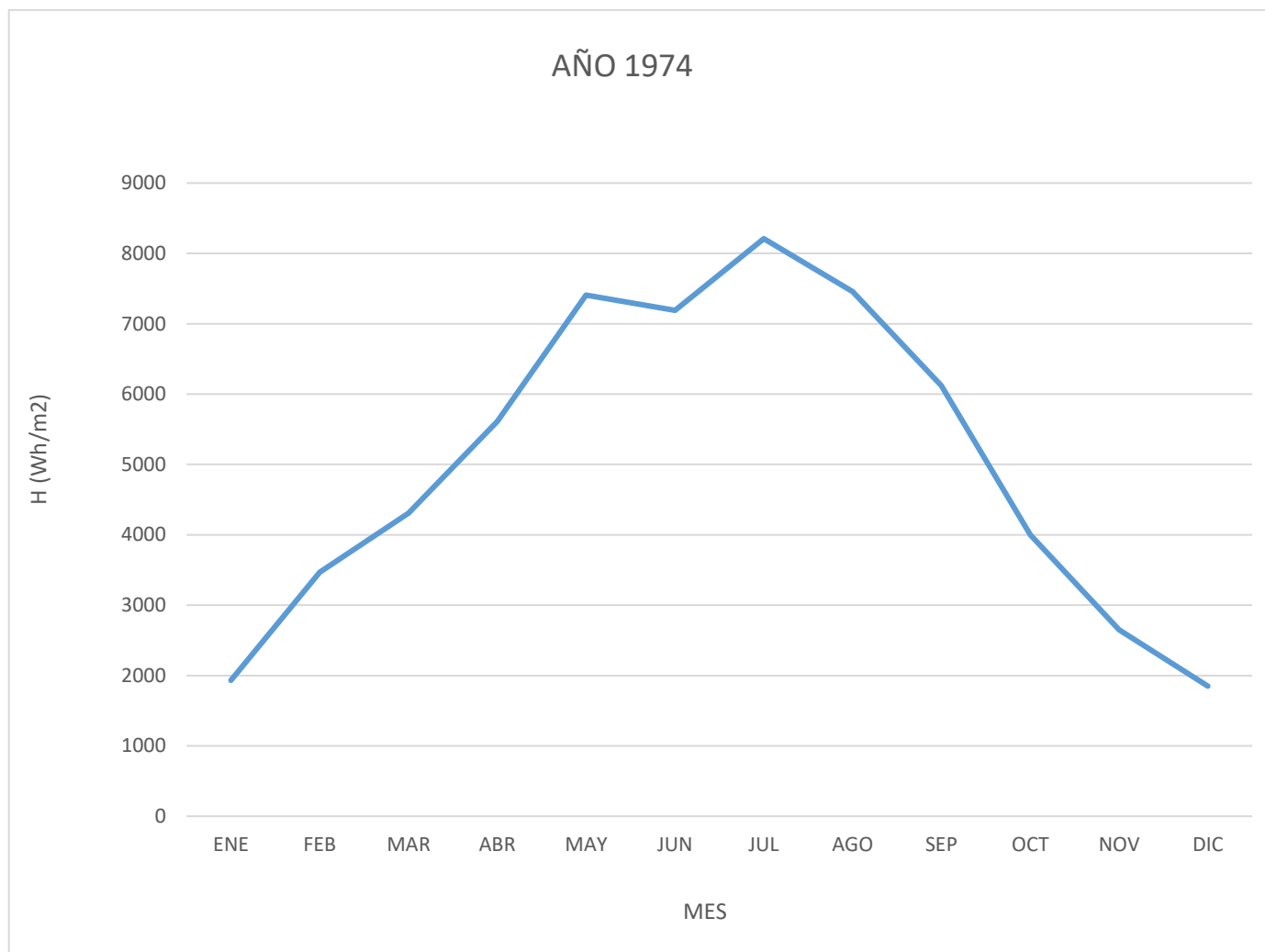


Figura 9: Radiación global Madrid en 1974

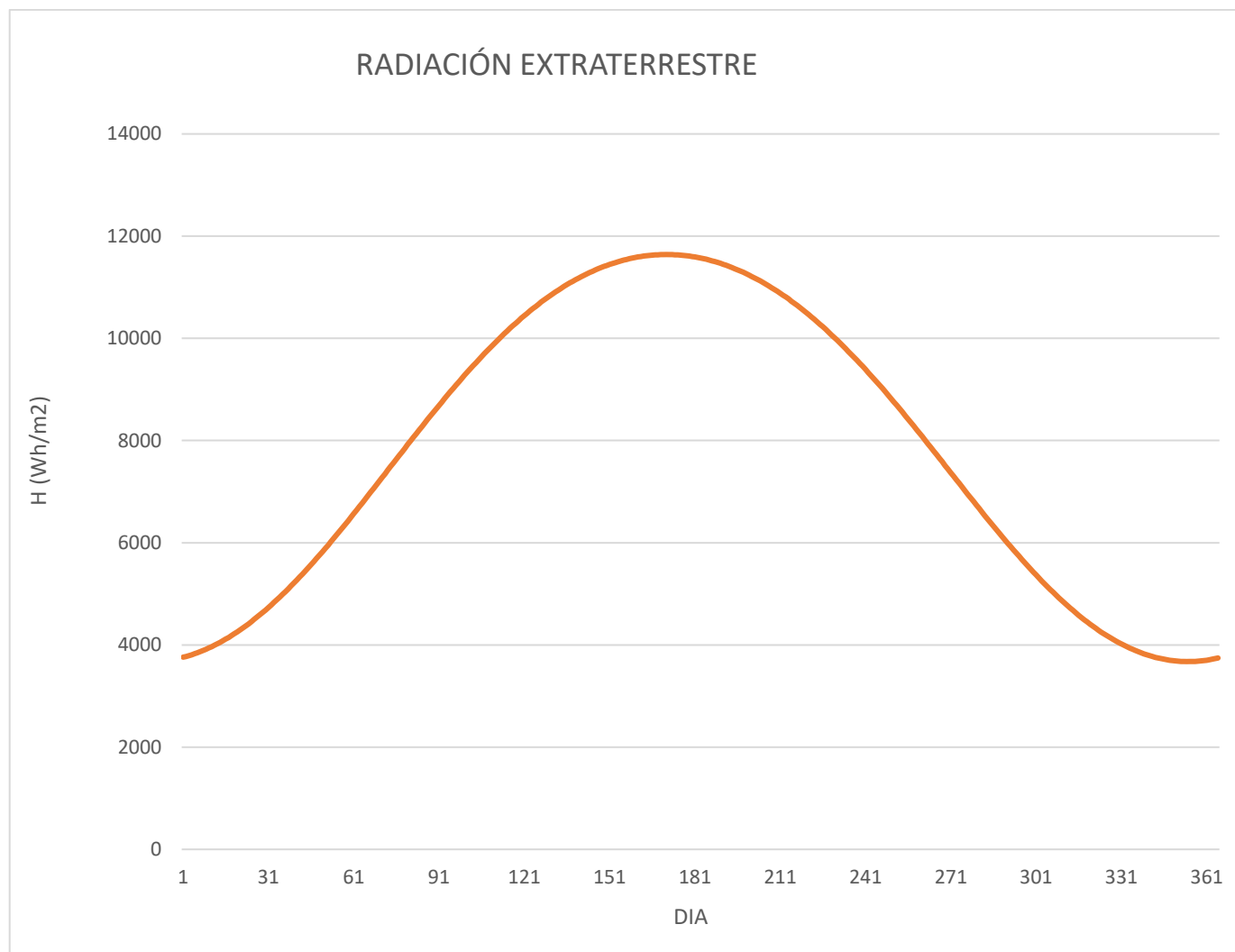


Figura 10: Radiación extraterrestre Madrid

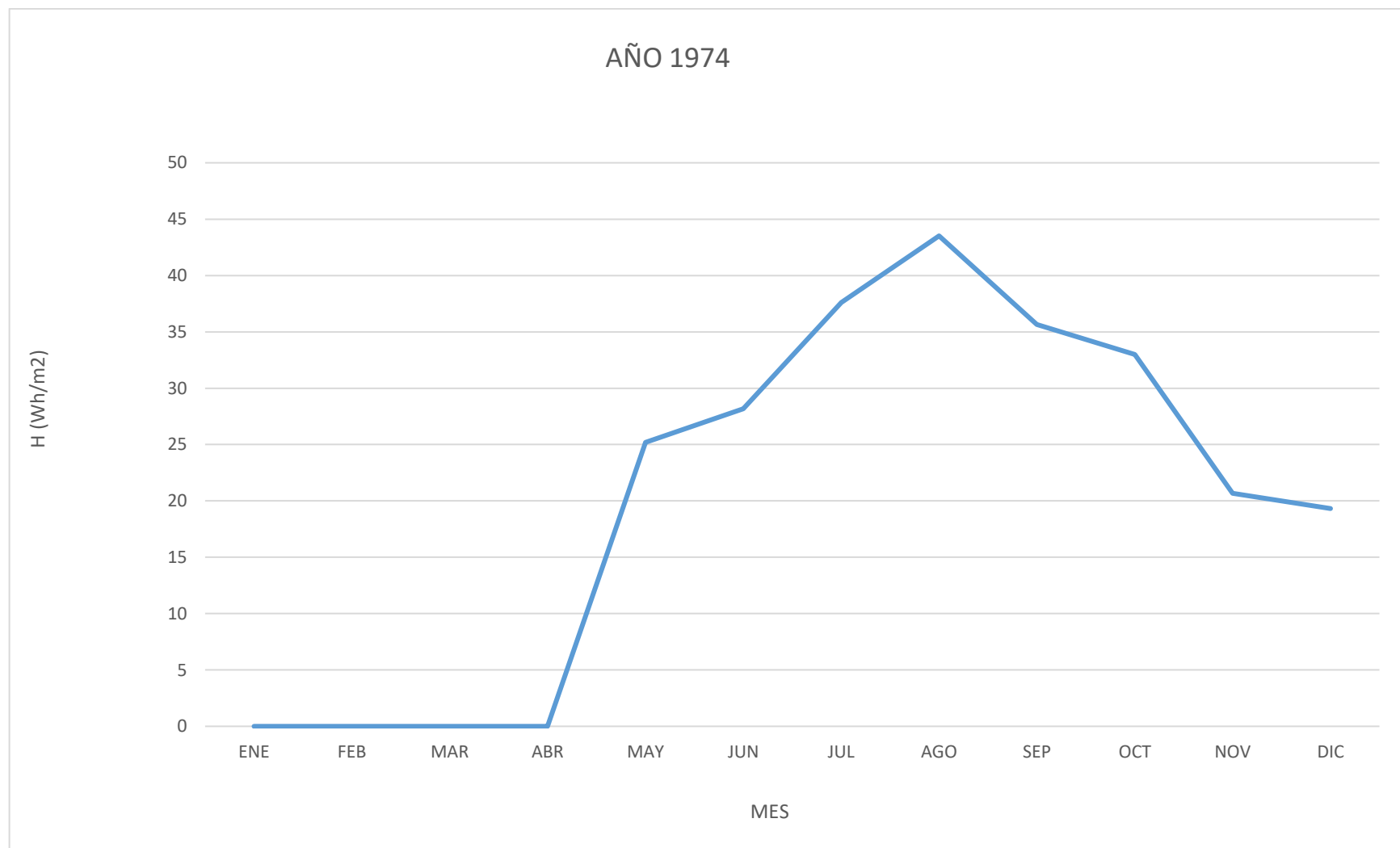


Figura 11: Radiación difusa Madrid en 1974

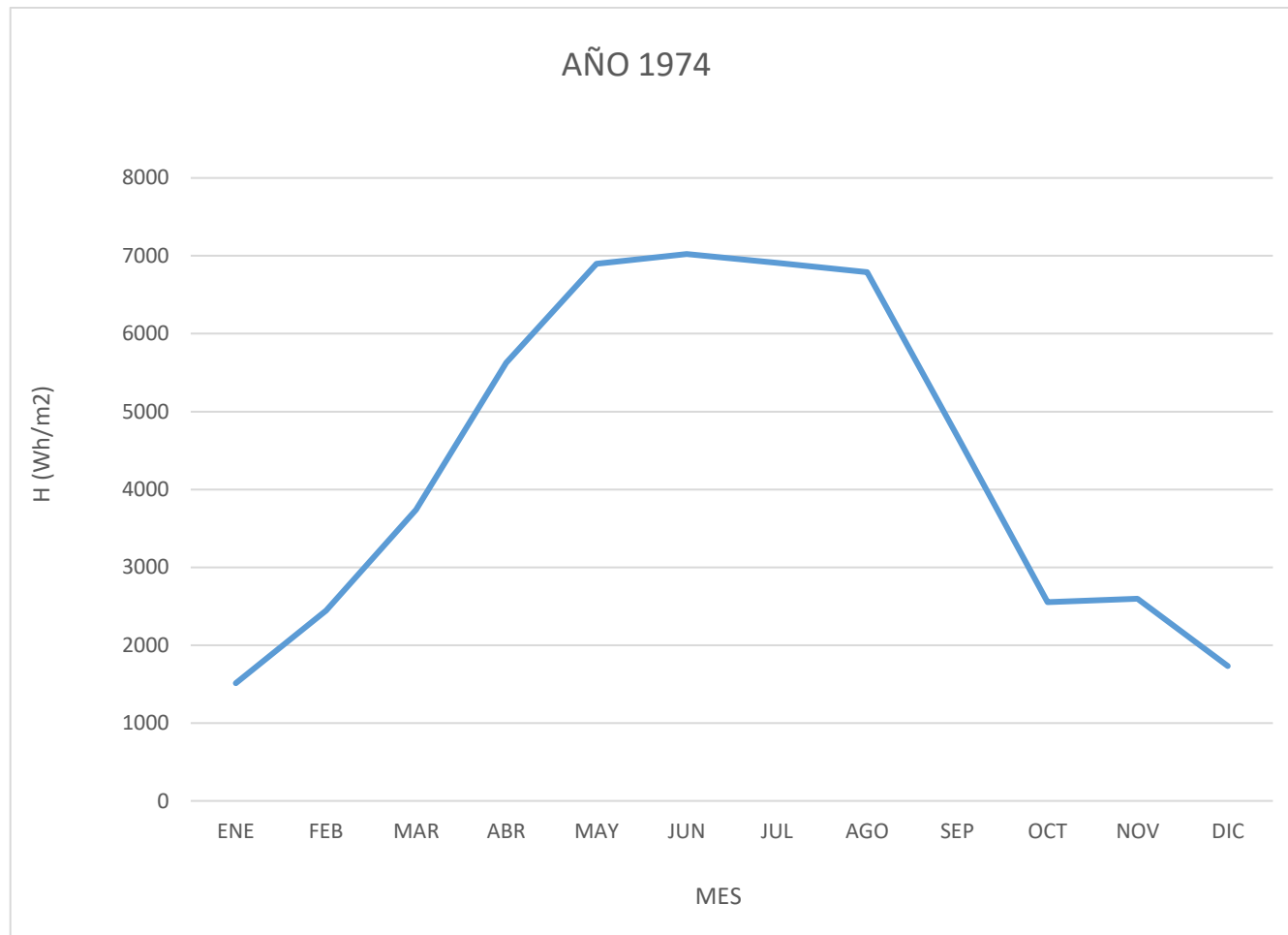


Figura 12: Radiación directa Madrid en 1974

La base de datos realizada con Excel se ha diseñado de tal forma que posteriormente se pudiesen añadir más datos y así ampliar y completar aún más la base de datos inicial, pudiendo ofrecer una mayor cantidad de información sobre la radiación solar recogida en una localidad concreta. Además, al disponer solo de datos diarios y no horarios, el tamaño de la base de datos es más pequeña lo que permite poder disponer todos los años en un mismo Excel, reduciendo el espacio de consulta.

Ahora analizando los objetivos secundarios teníamos dos diferenciados, por un lado, el obtener diferentes correlaciones de los índices de claridad y fracción de difusa en diferentes escalas temporales, objetivo cumplido. De las 34 localidades, solo de 5 disponíamos de datos de dos componentes de la radiación solar, global y difusa. Gracias a esta información se pudo trabajar en la consecución de una ecuación genérica que permitiese poder obtener la componente difusa del resto de 29 localidades y así completar más aún la base de datos inicial. Es más, tras tener los datos de radiación global y difusa se podía obtener calcular y almacenar información sobre la componente de radiación directa.

Se ha trabajado en otro método más aparte de los analizados en la Tesis de Macagnan. Una propuesta que, creemos, serviría para trabajar en ciudades de la geografía española. Una vez se consiguió esta ecuación con sus diferentes tramos, se pudo completar el resto de localidades, ampliando considerablemente la base de datos inicial. Facilitando al usuario que lo requiera información completa sobre la radiación solar de cada una de las localidades de estudio.

Por último, el segundo objetivo secundario consistía en obtener los años meteorológicos asociados a cada una de las localidades en estudio. Aparte de realizar una base de datos con la información citada anteriormente, se buscó realizar una aplicación con ella para completar la tarea realizada. Para ello se decidió calcular el año meteorológico típico para cada una de las 34 ciudades de estudio. El proceso de cálculo se explicó durante el desarrollo del proyecto, en donde se ha podido calcular siguiendo dos tipos de criterios. Pero no sólo se ha realizado el cálculo del año meteorológico típico, sino que se amplió con gráficos que ayudarán a tener una mejor visualización de los datos, facilitando al usuario que lo necesite una mejor información de los datos almacenados de forma rápida y sencilla.

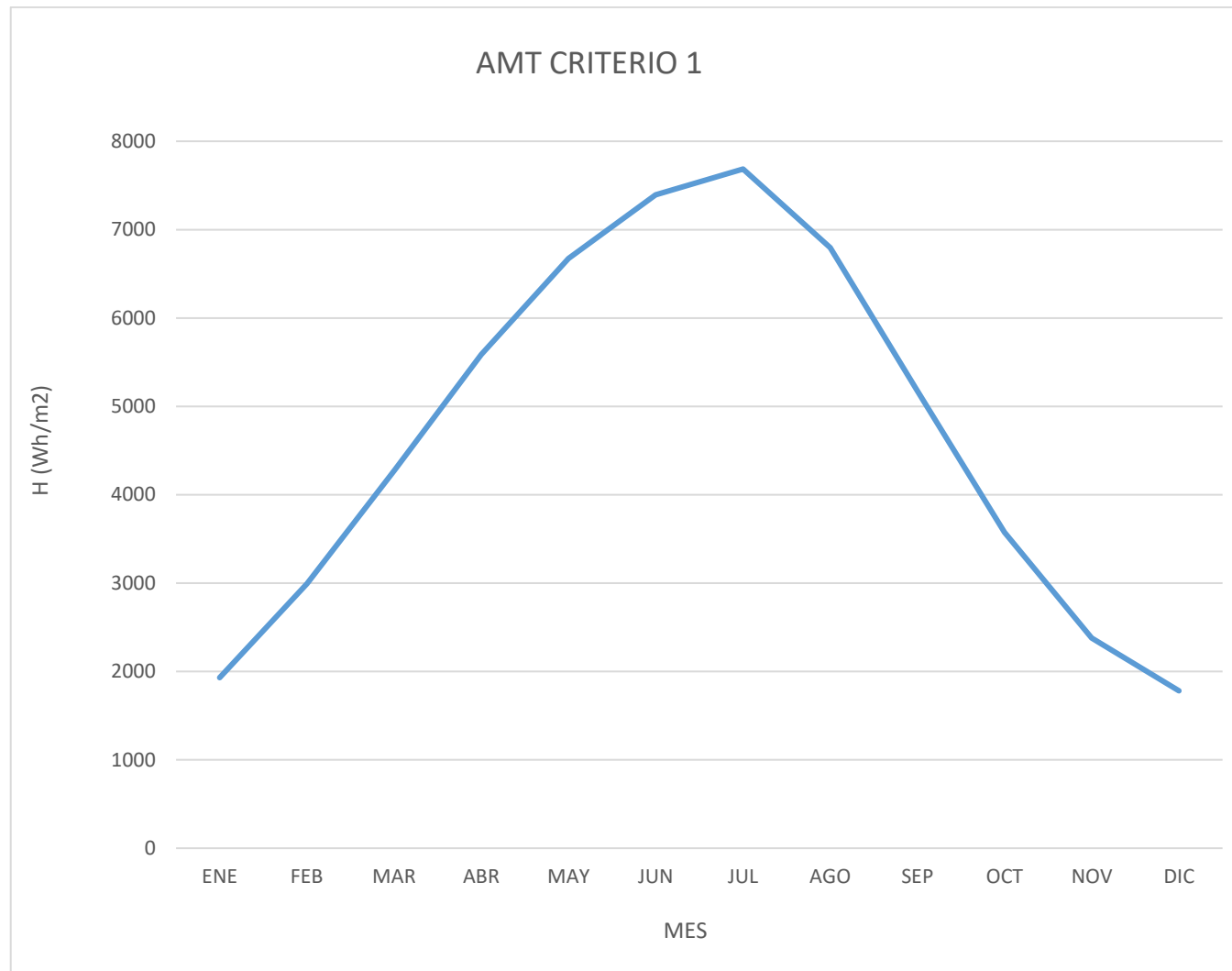


Figura 13: AMT criterio 1 en Madrid

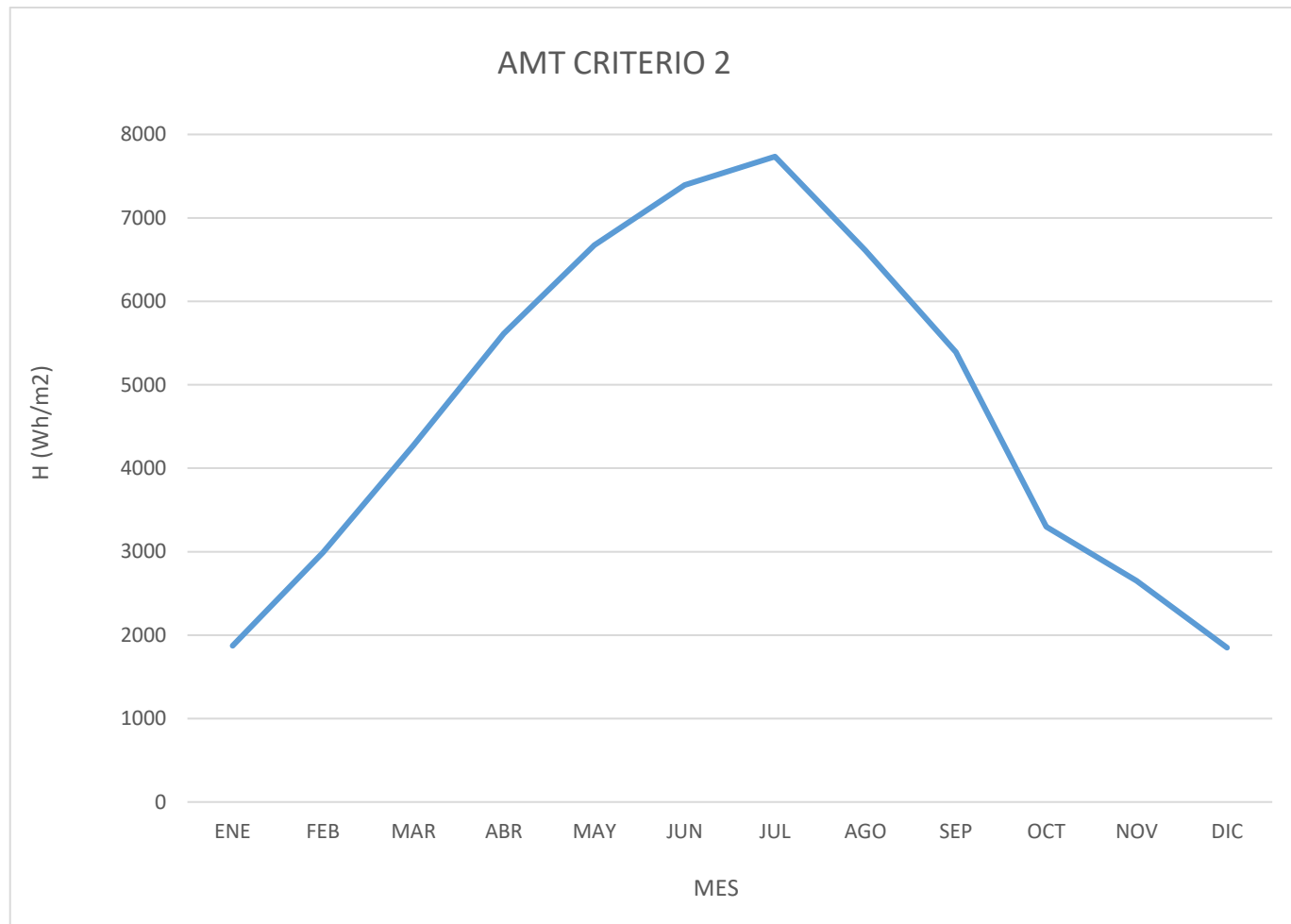


Figura 14: AMT criterio 2 en Madrid

Una vez repasados y analizados la consecución de cada uno de los objetivos, cabe destacar la cantidad de trabajo que se ha tenido que desempeñar en la consecución de esta base de datos tan amplia. Buscando el facilitar la mayor cantidad de información al usuario para poder aplicarlo a lo que necesite, como por ejemplo el dimensionado de una instalación fotovoltaica o el obtener información sobre la climatología de la localidad. El trabajo lo podríamos dividir en tres fases, una primera de análisis de los datos recibidos por los aparatos de medida y su posterior traslado de forma ordenada a una hoja Excel, en donde se establecería la base de datos inicial. Una segunda fase, en la que se busca una ecuación que nos permita poder completar y ampliar la base de datos inicial. Pudiendo almacenar en un mismo Excel la mayor cantidad de información, evitando el tener que recurrir a otros sistemas de información. Y, por último, la aplicación práctica del trabajo, usando los datos obtenidos para calcular el año meteorológico típico.

Como forma de terminar las conclusiones sacadas, pasamos a mostrar algunas tablas en donde podemos ver los diferentes valores de radiación global. Pondremos de ejemplo ciudades de cada uno de los extremos de nuestra geografía para mostrar la diferente cantidad de energía que se puede obtener. Estos gráficos, si los comparamos podemos comprobar el potencial que dispone nuestro territorio para poder generar energía limpia.

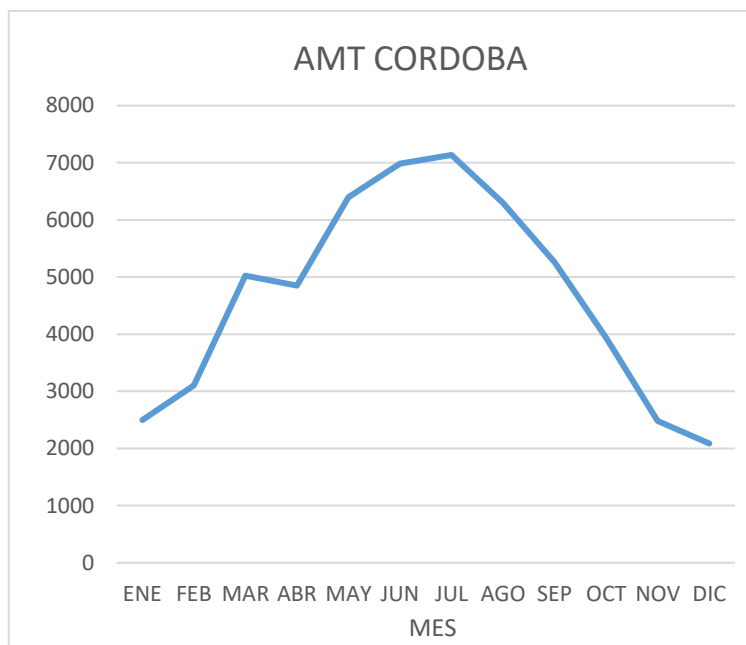


Figura 15: AMT criterio 2 en Córdoba

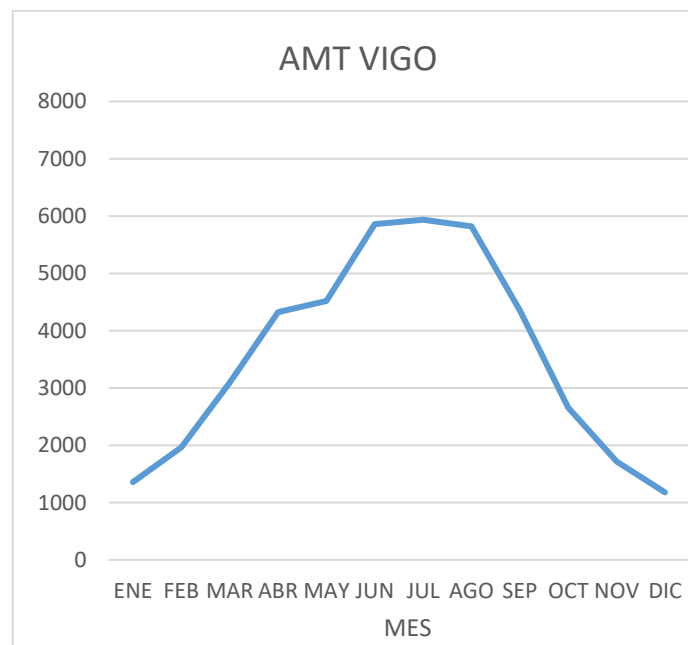


Figura 16: AMT criterio 2 en Vigo

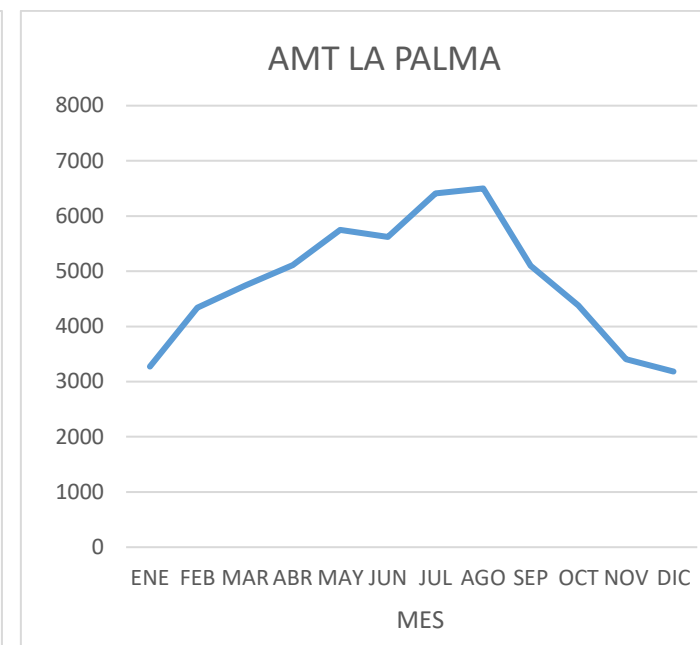


Figura 17: AMT criterio 2 en Las palma

9.- BIBLIOGRAFÍA

- Tesis doctoral Mario Enrique Macagnan, “*Caracterización de la radiación solar para aplicaciones fotovoltaicas en el caso de Madrid*”. 1993.
- 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.
- <https://blogs.imf-formacion.com/blog/energias-renovables/articulos/la-historia-de-la-energia-hasta-los-anos-80/> (17/11/18)
- <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-tipos-y-ventajas/tipos-de-fuentes-de-energia-renovable/> (17/11/18)
- Apuntes de asignaturas del Máster de Energías Renovables.
- A.L. Salas. Actualización Base de Datos de Radiación Solar de Jaén. Trabajo fin de carrera. Jaén 2011
- J. R. Rus. obtención del año meteorológico típico (amt) para Jaén. Trabajo fin de carrera. Jaén 2005

10.- REFERENCIAS

- [1] Macagnan, M.H. Caracterización de la radiación solar para aplicaciones fotovoltaicas en el caso de Madrid. Tesis Doctoral. Madrid 1993
- [2] B. LeBaron y I. Dirmhirn, Strengths and limitations of the Liu y Jordan model to determine diffuse form global irradiance. Solar Energy 31, 167-172(1983)
- [3] J.D. Garrison, A study of the división of global irradiance into direct and diffuse irradiance at thirty three U.S. sites. Solar Energy 35, 341-351(1985)
- [4] M. Collares-Pereira y A. Rabl, The average distribution of solar radiation – correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. Solar Energy 22, 155-164(1979)
- [5] D.G. Erbs, S.A. Klein y J.A. Duffie, Diffuse fraction correlations. Solar Energy 45, 1-7(1990)
- [6] F. Frutos, V. Ruiz y J. Gutierrez, Correlations between the solar diffuse and global radiation for Madrid. Revue Internationale d’Heliotechnique 1^{er} semestre, 7-12(1985)
- [7] ‘Photovoltaic solar energy: Conceptual framework’ de ElSevier.
- [8] ‘Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy’ de ElSevier
- [9] B.Y.H. Liu y R.C. Jordan, The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy 4, 1-19(1960)
- [10] J.D. Garrison, A study of solar irradiation data for six sities. Solar Energy 32, 237-249(1984)