



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

“Análisis energético y medioambiental de una instalación de placas fotovoltaicas”

Alumno/a: David Escabias Montes

Jaén, Junio, 2023



Universidad de Jaén



Trabajo Fin de Grado

Análisis energético y medioambiental de una instalación de placas fotovoltaicas

Alumno: David Escabias Montes
Jaén, Julio , 2023

ÍNDICE

1.RESUMEN.....	1
1.ABSTRACT.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 Contexto de las energías renovables.....	3
2.1.1 Origen y problemas del Cambio climático.....	3
Figura 2.1: Concentración de CO2 atmosférico en los últimos 60 años.....	3
Fuente: (IPCC: Cambio climático 2013-Bases físicas).....	3
Figura 2.2: Cambio de temperatura que se produce a lo largo de los años en la superficie terrestre, en el océano y criosfera.....	4
Fuente: (IPCC: Cambio climático 2013-Bases físicas).....	4
2.1.2 Crecimiento de la demanda energética.....	4
Figura 2.3: Comparación entre el consumo total de energía y el producto interior bruto 5	5
Fuente: Grail Tverberg,2011.....	5
Figura 2.4: Evolución de la población mundial desde 1950 hasta la proyección en 2100.....	5
Fuente: www.epdata.es y ONU.....	5
2.1.3 Estructura del sistema eléctrico en España.....	6
2.2 Recurso solar.....	7
2.2.1 La constante solar.....	7
2.2.2 Movimiento de rotación alrededor del sol.....	7
2.2.3 Movimiento de rotación alrededor del eje polar.....	7
2.2.4 Sistemas de coordenadas geográficas.....	7
Figura 2.6: Coordenadas geográficas en la tierra.....	8
Fuente: Wordpress.....	8
2.2.5 Variación de las estaciones.....	8
Figura 2.7: Variación de las estaciones.....	8
Fuente: Universidad Veracruzana.....	8
2.3 Posicionamiento del sol.....	8
2.3.1 Coordenadas ecuatoriales.....	8
2.3.2 Coordenadas horizontales.....	8
Figura 2.8: Coordenadas ecuatoriales y horizontales.....	9
Fuente: Apuntes Energía y Medio Ambiente.....	9
2.4 Radiación extraterrestre sobre una superficie inclinada.....	9
2.5 Radiación extraterrestre con atmósfera.....	9
2.5.1 Fenómenos de extinción de la radiación solar.....	9
2.6 Energía solar fotovoltaica.....	10
2.6.1 Introducción.....	10
Figura 2.9: Niveles energéticos en distintas situaciones.....	10
Fuente: Apuntes de Energía y medio Ambiente.....	10
2.6.2 Unión tipo P-N.....	11
Figura 2.10: Distribución de portadores en la unión P-N.....	11
Fuente: “Energías renovables para el desarrollo”Libro.....	11
2.6.3 Efecto fotovoltaico.....	11
2.6.4 Rendimiento fotovoltaico.....	11
3. OBJETIVOS.....	12

Figura 3.2: Generadores en el aparcamiento. Sistema 1 (izquierda) y sistema 2 (derecha).....	13
Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales .Andalucía Oriental.....	13
Figura 3.4: Vista en vertical de las placas solares del sistema 1.....	17
Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 1, 2017.....	17
Figura 3.5: Vista en vertical de las placas solares en el sistema 2.....	18
Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 2, 2017.....	18
4. MATERIALES.....	18
4.1 Materiales del sistema 1.....	19
Figura 4.1: Parámetros eléctricos del módulo REC250PE.....	19
Fuente: TechnoSun.....	19
Figura 4.2: Generador fotovoltaico sistema 1.....	20
Fuente: Google Earth.....	20
Figura 4.3: caja de conexión de 2 ramas.....	21
Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 1 y 2, 2017... 21	21
Figura 4.4: Cuadro de continúa de conexión hacia el inversor.....	22
Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 1 y 2, 2017... 22	22
Figura 4.5: Inversor Siemens SINVERT 60.....	23
Fuente: Elaboración propia.....	23
4.2 Materiales del sistema 2.....	23
Figura 4.6: Módulo TSM 375.....	23
Fuente: Enertik.ar.....	23
Figura 4.7: Generador fotovoltaico sistema 2.....	24
Fuente: Google Earth.....	24
5.RESULTADOS.....	25
Figura 5.1: Carta solar del proyecto.....	25
Fuente: Universidad de Jaén MATRAS https://matras.ujaen.es/cartaSolar.php	25
Figura 5.2: Irradiancia al mes en Jaén.....	26
Fuente: Aemet/datos climáticos/ atlas radiación solar.....	26
5.1 Primera opción.....	26
5.1.1 Cálculo de radiación para una inclinación de 7 °.....	26
Figura 5.3: Radiación media mensual solar de Jaén a distintas inclinaciones.....	27
Fuente: Universidad de Jaén.....	27
Figura 29: Imagen explicativa de la inclinación real de los módulos fotovoltaicos.....	29
Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 5.5: Cálculo de la irradiancia real (Posición real).....	29
Fuente: Elaboración propia.....	29
5.1.2 Cálculo de radiación para dos posiciones fijas.....	29
Figura 5.6: Altura del sol en las cuatro estaciones del año.....	30
Fuente: Heliosfera.....	30
5.1.2.1 Inclinación óptima otoño-invierno.....	31
Figura 5.8: Cálculo para la inclinación más óptima en invierno y otoño.....	31
Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 5.9: Imagen explicativa de la primera posición óptima de los módulos fotovoltaicos.....	32
Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 5.10: Cálculo de la irradiancia real (1 posición).....	33

Fuente: Elaboración propia.....	33
5.1.2.2 Inclinación óptima primavera-verano.....	33
Figura 5.11: Cálculo para la inclinación más óptima en primavera y verano.....	33
Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 5.12: Imagen explicativa de la segunda posición óptima de los módulos fotovoltaicos.....	35
Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 5.13: Cálculo de la irradiancia real (2 posición).....	35
Fuente: Elaboración propia.....	35
5.1.3 Cálculo de energía generada con inclinación actual de 7°.....	36
5.1.4 Cálculo de energía generada para dos posiciones fijas.....	37
5.2 Segunda opción.....	38
5.2.1 Cálculo de radiación para una inclinación óptima.....	38
Figura 5.14: Radiación media mensual solar de Jaén a distintas inclinaciones.....	38
Fuente: Universidad de Jaén y elaboración propia.....	38
Figura 5.15: Imagen explicativa de la inclinación óptima anual de los módulos fotovoltaicos.....	39
Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 5.16: Cálculo de la irradiancia óptima (Posición real).....	40
Fuente: Elaboración propia.....	40
5.2.2 Cálculo de energía generada para una inclinación óptima.....	40
6.CONCLUSIONES.....	41
Figura 6.1: Energía generada a diferentes pendientes de los módulos.....	43
Fuente: Elaboración propia.....	43
7.BIBLIOGRAFÍA.....	44

1.RESUMEN/ABSTRACT

Actualmente las energías renovables son importantes en nuestra sociedad actual y uno de los causantes es el cambio climático. En la historia del planeta tierra se han producido cambios climáticos naturales, por lo que no es un problema introducido por el ser humano. En las últimas décadas se está viendo muy acelerado por el factor humano y esto implica consecuencias como la pérdida de biodiversidad, aumento de la temperatura terrestre por efecto de los gases de efecto invernadero y diversidad de problemas que se producen al alterar el equilibrio de la tierra. Por lo tanto la introducción de este tipo de energías en la industria será muy importante para conseguir los objetivos de la agenda 2030.

En este trabajo se estudiará uno de los proyectos pioneros en España en 2005 y que fue actualizado en 2017 denominado UNIVER. Este proyecto está localizado en la Universidad de Jaén y contiene unos 400 módulos que están dispuestos sobre el techo de uno de los aparcamientos.

El objetivo del mismo ha sido proponer la inclinación más óptima de estos módulos para obtener una mayor energía con una posición o buscar otras alternativas como cambiar la posición fija de los módulos dos veces al año.

At the moment renewable energies are very important in our actual society and one of the problems is climate change. In the history of the planet earth has produced natural climate changes, so it's not a human introduced problem.

In the last years, has been seen to be greatly accelerated by the human factor and this suppose consequences like biodiversity loss, increase in earth's temperature due to greenhouse gas effect and lots of problems which are produced by changing the balance of the earth. Therefore the introducing of this tip of technology in the industry will be very important to get the objectives of agenda 2030.

This work will study about one of the revelation projects of Spain and was updated in 2017, it's called UNIVER. This project is located in the University of Jaén and has approximately four hundred photovoltaic panels on the car park ceiling.

The objective of this project has been proposing the best inclination of photovoltaic panels to get a better energy with one position or search for other options like change fixed position twice a year.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Contexto de las energías renovables

2.1.1 Origen y problemas del Cambio climático

El cambio climático es un término bastante frecuente actualmente en el lenguaje coloquial de la gente. Éste se define como un fenómeno formado por múltiples causas, principalmente el aumento de gases de efecto invernadero (Sobre todo de CO₂ y vapor de agua) que aumentan la temperatura terrestre y da lugar a un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos como pueden ser lluvias torrenciales, tornados, inundaciones etc.

Debemos saber que el cambio climático no es siempre originado por las actividades antropogénicas sino que también pueden ser de origen natural. Actualmente el cambio climático es de origen antrópico “El rápido proceso de cambio climático que se puede ver no tiene causa natural. El IPCC afirma que su origen se encuentra en la actividad humana, con una evidencia científica del 97%” (García Arbelaez et al., 2015, 102)

El planeta tierra ha ido cambiando a lo largo de su historia (aproximadamente 4500 m.a) y en escala geológica, pero podemos saber que el cambio climático actual es producido por el ser humano como consecuencia del aumento exponencial de estos gases.”La concentración de CO₂ atmosférico (principal gas de efecto invernadero después del vapor de agua, y el más importante relacionado con actividades humanas) ha aumentado en los últimos 250 años: de 280 ppm en 1750 a 353 ppm en 1990, y sigue en aumento” (Gonzalez et al., 2003, 10)

Actualmente el Co₂ ha aumentado hasta los 400 ppm aproximadamente.

La siguiente gráfica nos muestra el aumento de CO₂ en los últimos 60 años:

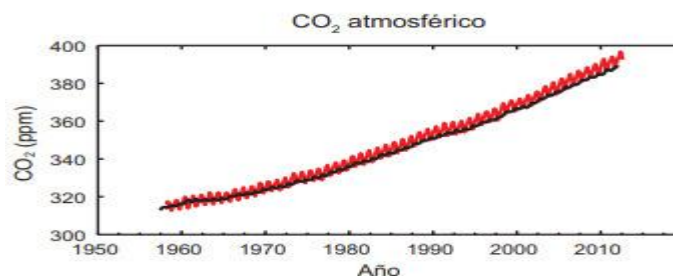


Figura 2.1: Concentración de CO₂ atmosférico en los últimos 60 años

Fuente: (IPCC: Cambio climático 2013-Bases físicas)

Los gases de efecto invernadero empezaron a aumentar exponencialmente a partir de la revolución industrial. El hallazgo de los combustibles fósiles ha permitido el desarrollo de los países en todos los ámbitos pero también el aumento de temperatura como podemos ver en la siguiente figura:

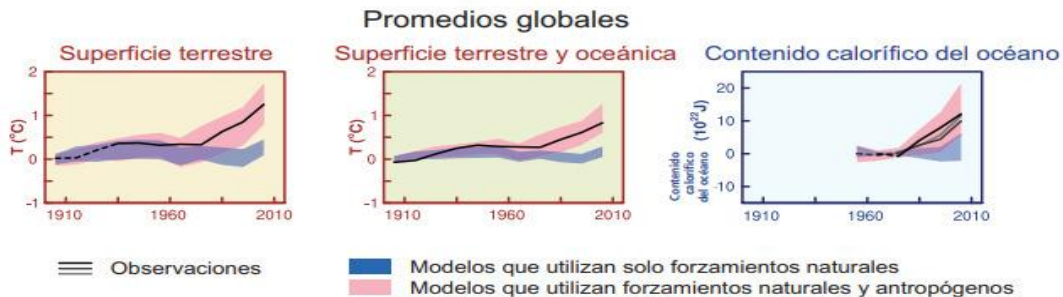


Figura 2.2: Cambio de temperatura que se produce a lo largo de los años en la superficie terrestre, en el océano y criosfera.

Fuente: (IPCC: Cambio climático 2013-Bases físicas)

Como podemos ver en las tres figuras si solo utilizamos los forzamientos naturales aumenta la temperatura pero no demasiado, en cambio al introducir factores antropogénicos la temperatura aumenta mucho más.

Otras de las consecuencias del cambio climático y en relación al aumento de la temperatura será el deshielo de los casquetes polares y por lo tanto un aumento sustancial del nivel del mar en las próximas décadas.

El cambio climático también puede afectar a especies y trasladar a especies exóticas invasoras a zonas fuera de su hábitat natural, así que tendremos que tener en cuenta la redistribución que tendrán estas especies y el riesgo que puedan tener nuestras especies autóctonas (Proyecto BioCambio et al., 2018, 53)

2.1.2 Crecimiento de la demanda energética

El progreso que ha tenido la humanidad ha transcurrido paralelamente a su capacidad para ir descubriendo y usando nuevas fuentes de energía.

Cuando comenzó la revolución industrial aumentó la utilización de combustibles fósiles como energía primaria y los países del primer mundo fueron desarrollándose y aumentando el producto interior bruto de los mismos.

A continuación mostraré una gráfica sobre la relación que tiene el consumo energético mundial con el desarrollo de los países:

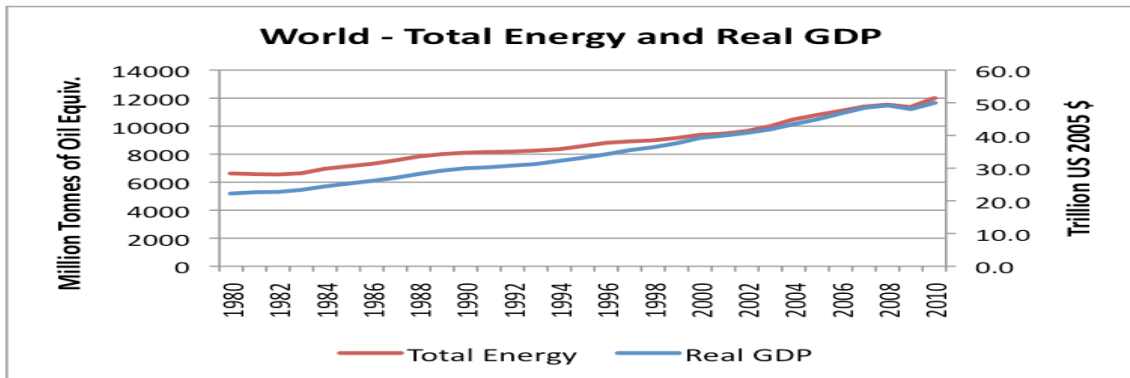


Figura 2.3: Comparación entre el consumo total de energía y el producto interior bruto

Fuente: Grail Tverberg, 2011

Esta gráfica nos muestra la relación que hay entre el aumento del consumo de energía y en específico del petróleo y el aumento del PIB en los distintos países. Gracias a esta gráfica podemos saber que los combustibles fósiles han sido clave en el desarrollo de los distintos países, aunque ha beneficiado más a los denominados países del primer mundo.

Hay que tener en cuenta que gracias al desarrollo tecnológico y el descubrimiento de nuevas fuentes de energía la población mundial ha podido aumentar. A continuación mostraremos una gráfica del avance de la población mundial desde 1950:

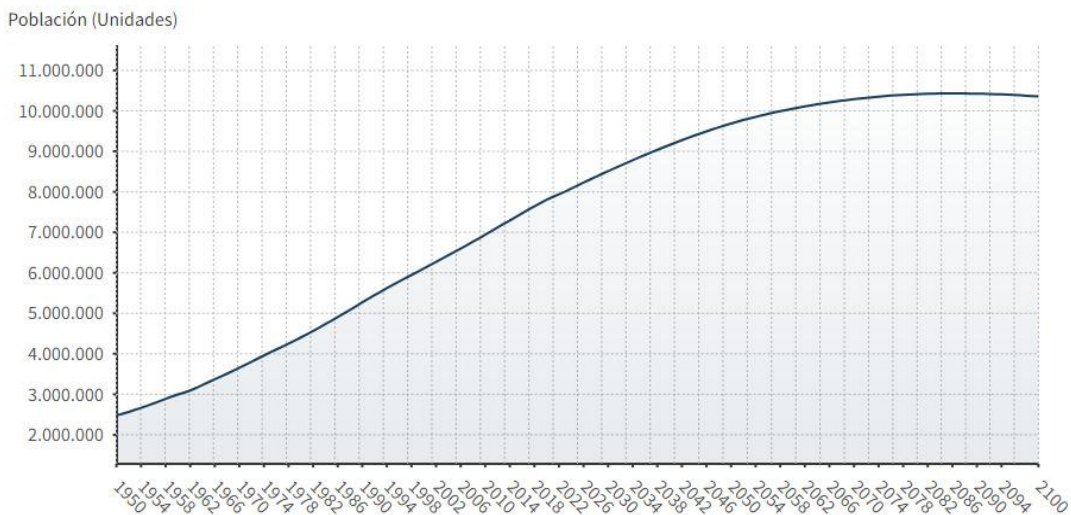


Figura 2.4: Evolución de la población mundial desde 1950 hasta la proyección en 2100

Fuente: www.epdata.es y ONU

En esta gráfica podemos ver claramente el aumento de población que se ha producido en los últimos 50 años y si proyectamos hasta 2100 observamos que seguirá en aumento hasta que se estabilice en el año 2074.

Si relacionamos el crecimiento de la población con la energía nos daremos cuenta de que aumentará la demanda y disminuirá la oferta de los recursos no renovables (Ya que cada vez quedarían menos de estos recursos). Por lo tanto necesitamos sustituir recursos no renovables como son los combustibles fósiles por otros tipos de fuentes que sean renovables a escala humana como por ejemplo la energía eólica o solar que son capaces de obtener energía a partir del sol y el viento.

2.1.3 Estructura del sistema eléctrico en España

La estructura del sistema eléctrico español suele ser la siguiente:

-Centrales de base: son centrales que funcionan de forma continua sin variar la potencia. Suelen ser las energías nucleares, el carbón etc.

-Los picos o variaciones que nos encontramos desde las 10:00 hasta las 15:00 y por la noche sobre las 21:00 tienen que ser cubiertas por energías renovables, hidráulica y ciclo combinado.

Conviene saber que las energías renovables dependen del propio recurso que haga que generen electricidad, por lo que no vamos a poder generar electricidad con ellas cuando queramos. Por ejemplo, el recurso eólico suele aumentar de madrugada aunque la demanda es baja por lo que esa energía se utiliza para subir agua de los pantanos hacia las balsas y cuando se necesita se deja caer el agua para generar electricidad. Otro ejemplo es la energía solar, el cual un día soleado generará electricidad desde que sale el sol hasta que se va.

En consecuencia, primero entraría la energía nuclear y el carbón ya que es constante, luego cogemos la energía eólica y solar y si los picos de demanda son muy altos se abastece con energía hidráulica y ciclo combinado.

Todo lo comentado anteriormente se refleja en la siguiente imagen:

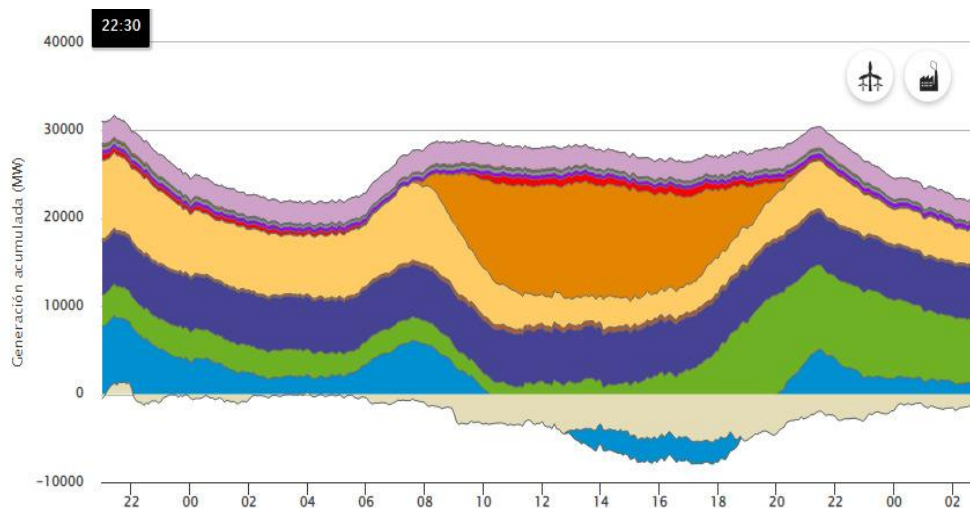


Figura 2.5: Estructura de generación acumulado progresivo(22/04/2023)

Fuente: Red Eléctrica de España

2.2. Recurso solar

2.2.1 La constante solar

La radiación solar emitida por el sol a cualquier dirección recibida en una unidad de superficie normal es lo que denominamos como constante solar. (e Juana Sardón et al., 2003, 311). La constante solar considerando que el sol es un cuerpo negro con una temperatura de 5762K vale 1367 W/m^2 . Podemos destacar que la radiación solar que llega a la superficie terrestre será menor que la radiación solar en la superficie extraterrestre debido a los distintos fenómenos de extinción de la radiación en la atmósfera.

2.2.2 Movimiento de rotación alrededor del sol

La tierra gira alrededor del sol realizando una órbita, denominada eclíptica. El año solar es de unos 365 '25 días. El 3 de enero la tierra se encuentra en la posición más cercana al sol, denominado perihelio. El 4 de julio es el día en el que la tierra está más lejos del sol y se denomina Aphelio.

2.2.3 Movimiento de rotación alrededor del eje polar

La tierra gira sobre un eje ideal llamado eje polar y éste divide a la tierra en polo norte y polo sur. Debemos saber que éste, no es perpendicular a la eclíptica sino que forma un ángulo de $23'5^\circ$ llamado ángulo de declinación. "La alternancia del eje polar y la constancia del ángulo de declinación da lugar a las cuatro estaciones del año". (e Juana Sardón et al., 2003, 311)

2.2.4 Sistemas de coordenadas geográficas

-Altitud: es la altura en vertical que hay desde el nivel del mar.

-Latitud: "es el ángulo que forma el radio terrestre que va a ese lugar con el plano ecuatorial" (e Juana Sardón et al., 2003, 311). La latitud puede variar de 0 a 90° .

-Longitud: Los planos que contienen al eje polar se llaman planos meridianos y sus intersecciones son los meridianos. El meridiano de Greenwich es el de referencia. Por lo tanto la longitud es el ángulo desde un punto hasta el meridiano de referencia.

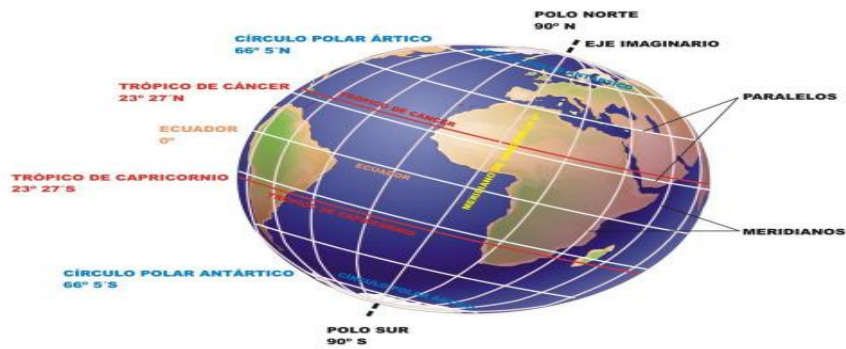


Figura 2.6: Coordenadas geográficas en la tierra

Fuente: Wordpress

2.2.5 Variación de las estaciones

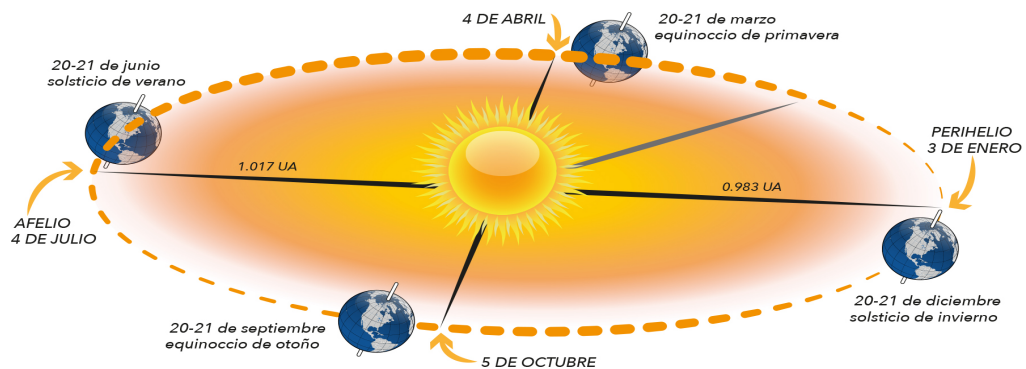


Figura 2.7: Variación de las estaciones

Fuente: Universidad Veracruzana

Los rayos de sol inciden de manera normal a la superficie terrestre en el solsticio de invierno en el Trópico de Capricornio ($-23'5^{\circ}$) y en verano son normales en el Trópico de cáncer ($23'5^{\circ}$).

2.3. Posicionamiento del sol

2.3.1 Coordenadas ecuatoriales

Nos referimos a la declinación y el ángulo horario.

-Ángulo de declinación δ : ángulo formado por la línea que une los centros de la tierra y el sol con el plano ecuatorial. Mide de $23'5^{\circ}$ a $-23'5^{\circ}$

-Ángulo horario ω : es “el ángulo del diedro formado por el plano meridiano del lugar y el plano meridiano del sol” (e Juana Sardón et al., 2003, 311)

2.3.2 Coordenadas horizontales

-Ángulo acimutal θ : es el ángulo entre el sur y el sol. En el sur valdría 0° .

-Altura α : es la elevación que tiene el sol desde nuestra posición.

-Ángulo cenital z : es "el ángulo formado por la dirección sol-tierra con la vertical del lugar" (e Juana Sardón et al., 2003, 311).

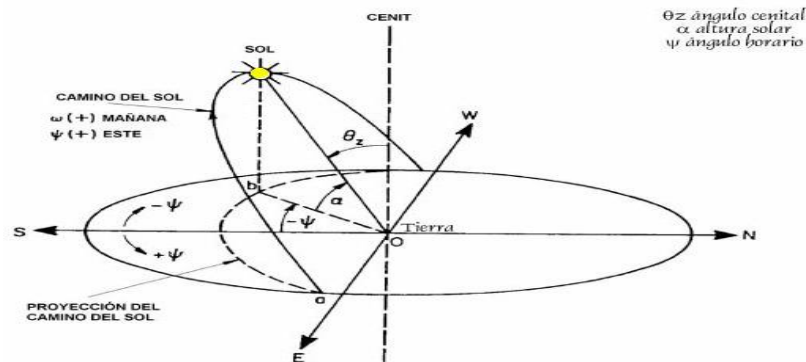


Figura 2.8: Coordenadas ecuatoriales y horizontales

Fuente: Apuntes Energía y Medio Ambiente

2.4. Radiación extraterrestre sobre una superficie inclinada

Al no encontrarnos en el ecuador y tener una superficie inclinada tendremos que realizar un factor de corrección a la radiación solar que obtengamos, en nuestro caso en Jaén. Por lo tanto, para obtener la intensidad o radiación habrá que multiplicar la constante solar por la distancia media de la tierra-sol y por el factor de corrección.

2.5. Radiación extraterrestre con atmósfera

2.5.1 Fenómenos de extinción de la radiación solar

Se producen varios:

1. Absorción por el ozono
2. Absorción por mezcla de gases de O₂ y CO₂
3. Absorción por el vapor de agua
4. Dispersión y absorción por moléculas de aire
5. Dispersión y absorción por aerosoles
6. Dispersión y absorción por las nubes

El color azul del cielo se origina por la dispersión de parte de la radiación que llega a la tierra. En un día despejado sin nubes llega el 70% de la radiación solar, es decir de 1360 w/m² suelen llegar unos 1000w/m². De éstos, 800 w/m² vienen de manera directa y otros 200 vienen dispersados por la atmósfera.

Para calcular la radiación real hay que calcular primero la energía extraterrestre sin atmósfera, posteriormente tener en cuenta la atmósfera por los fenómenos explicados anteriormente, luego tener en cuenta si el cielo está despejado o tiene

nubes y por último ver si hay posibles sombras que puedan hacerle a las placas cualquier edificación u otra cosa.

2.6. Energía solar fotovoltaica

2.6.1 Introducción

Actualmente los gobiernos están apostando por energías renovables y en concreto dentro de la energía solar ha prosperado en los últimos años muchísimo la tecnología de energía solar fotovoltaica. Consiste en captar fotones de luz y convertirlos en energía eléctrica.

La energía solar fotovoltaica se produce de la siguiente manera:

Cada átomo contiene electrones los cuales pueden ocupar unos niveles energéticos, pero otros no. Si un átomo pasa a formar parte de una estructura sólida cristalina interacciona con otros átomos y se crean bandas de energía y en ellas los electrones pueden pasar de un átomo a otro. Las bandas de energía no son más que niveles energéticos superpuestos al interactuar varios átomos juntos.

A continuación se muestra una imagen de lo explicado anteriormente:

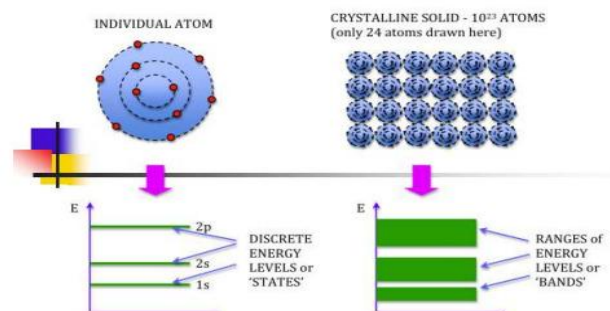


Figura 2.9: Niveles energéticos en distintas situaciones

Fuente: Apuntes de Energía y medio Ambiente

Para que exista una corriente eléctrica el electrón tiene que pasar de un átomo a otro y los metales lo hacen muy bien ya que la separación entre átomos es muy pequeña y hay muchos estados libres.

La banda de conducción es una banda energética más externa en el que los electrones pueden moverse libremente y pasar de un átomo a otro. Si está cerca de la banda de valencia es un material conductor, si está intermedio es semiconductor y si está muy separado sería un aislante. En este caso el silicio es semiconductor y se necesitaría aplicar una energía de 1.1 eV para generar ese movimiento de los electrones. Esta energía la tienen la mitad de los fotones del sol, el problema es que

estos fotones chocan entre sí y la energía eléctrica que llevan se convierte en calor por eso el rendimiento baja hasta un 20%.

2.6.2 Unión tipo P-N

Al silicio se le suelen añadir otros elementos para que se comporte como un material semiconductor ya que por sí solo es un aislante, por lo tanto se dopará de impurezas y según el elemento que se introduzca aparecerán huecos o electrones libres. El silicio forma una estructura sólida en la que cada átomo contiene 4 electrones con otros que comparten, en el caso del boro al tener solo 3 electrones se produciría un hueco y en el caso del fósforo al tener 5 electrones se produciría un electrón libre. Por consiguiente, si el silicio se dopa con electrones se conoce como semiconductor extrínseco tipo N y si se dopa y se producen huecos se llama semiconductor extrínseco tipo P. La combinación de los dos forma un campo eléctrico en la zona de transición.

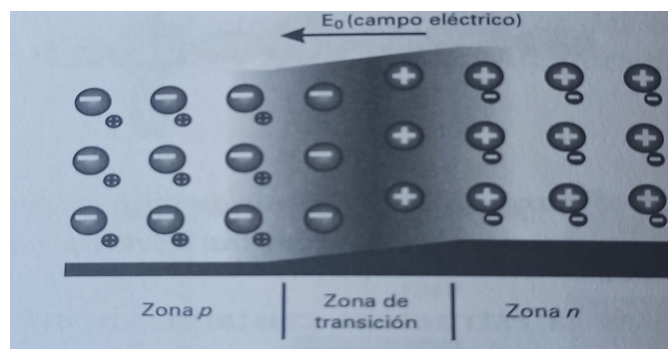


Figura 2.10: Distribución de portadores en la unión P-N

Fuente: "Energías renovables para el desarrollo" Libro

2.6.3 Efecto fotovoltaico

Los fotones del sol que lleguen a esta zona de transición comunican energía a los electrones de forma que el electrón deja el hueco libre y el campo eléctrico impulsa al electrón hacia la zona N y el hueco hacia la zona P. Si en el exterior de estas zonas ponemos unos contactos eléctricos y los unimos con un cable el electrón puede acabar uniéndose con su hueco, de forma que se produce una corriente fotovoltaica.

2.6.4 Rendimiento fotovoltaico

La tecnología fotovoltaica tiene tan poco rendimiento debido a lo siguiente; El 70% de los fotones podrían realizar el efecto fotoeléctrico pero el 54% se pierde en forma de calor (debido a choques entre ellos). El rendimiento va a depender de la zona en

la que nos encontremos, la tecnología fotovoltaica o la orientación e inclinación de las placas.

3. OBJETIVOS

El primer proyecto que se realizó se denomina “UNIVER” y se realizó en 2005 en JAÉN (Andalucía) en el campus universitario de las Lagunillas.

”El concepto UNIVER significa Universidad verde y fue posible gracias a la colaboración del promotor que fue la Universidad de Jaén, miembros como el Instituto Solar de Energía de la politécnica de Madrid, el Newcastle Photovoltaic Applications Centre en la Universidad de Northumbria (Reino Unido), otras empresas como por ejemplo Solar jiennense, Isofotón, la Unión Europea y otras colaboraciones de entidades como la Junta de Andalucía, el ministerio de industrias y energía y Endesa”. (Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental, 2017, 79)

Tanto el antiguo proyecto como su remodelación inyectan directamente energía a la red, es decir, no es de autoconsumo para la Universidad.

“Se halla dentro del programa Thermie del cuarto programa de investigación y desarrollo tecnológico que forma parte de la Unión Europea”. (Grupo IDEA (Investigación y Desarrollo de Energía Solar y Automática) Universidad de Jaén, 2006, 4)

Ubicación: Campus “Las Lagunillas”

Este proyecto se realiza en Jaén (España), en el Campus de “Las Lagunillas”, a las afueras del casco urbano de Jaén. A continuación mostramos una imagen de la ubicación exacta:

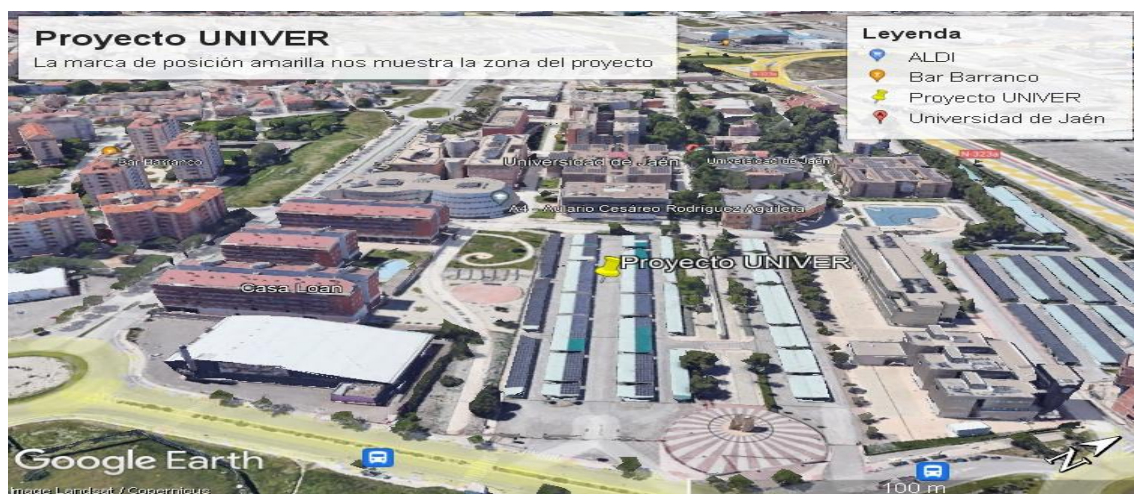


Figura 3.1: Ubicación del proyecto UNIVER

Fuente: Google earth pro

El antiguo proyecto consiste en el trazado, construcción y obtención de electricidad a partir de la energía solar que vamos a obtener de las placas fotovoltaicas introducidas. Esta iniciativa surgió en 1995 para conectar a la universidad con el compromiso del medio ambiente, se empezó a utilizar en 2005. La zona en la que vamos a trabajar contiene 4045,42 m² , y sus coordenadas geográficas son las siguientes:

-Latitud: 37°47'12.73"N

-Longitud: 3°46'32.09"O

-Altitud: 429 metros sobre el nivel del mar

Ahora introduciremos una fotografía del sistema 1 y sistema 2 en el que nos vamos a centrar antes de sufrir las modificaciones posteriores:



Figura 3.2: Generadores en el aparcamiento. Sistema 1 (a la izquierda) y sistema 2 (a la derecha)

Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales .Andalucía Oriental

“El sistema 1 es un sub generador con potencia nominal de unos 60 kWp en condiciones estándar y se encontraban instalados 640 módulos del tipo Isofotón I-106.”(Grupo IDEA (Investigación y Desarrollo de Energía Solar y Automática) Universidad de Jaén, 2006, 4) .

La potencia del módulo es de unos 106 Wp. Como hemos dicho anteriormente se inyectan a la red con un inversor de potencia nominal de 50 kw. El techo de los aparcamientos tiene una inclinación de unos 7°C.

En el sistema 2 pasa más de lo mismo, tenemos un sub generador con una potencia nominal de unos 60 kWp aproximadamente en condiciones estándar y se encontraban instalados unos 624 módulos tipo Isofotón I-106.

Estos sistemas de placas fotovoltaicas se construyeron para inyectar electricidad directamente a la red sin ser utilizada en la propia Universidad y quedó regulada en el 2008 dentro del régimen especial que se establece en el Real Decreto 661/2007, grupo b.1, subgrupo b.1.1 de su artículo 2 que dice lo siguiente “*Instalaciones que solo utilicen la radiación solar como energía primaria a través de tecnología fotovoltaica*” (Decreto 661 de 2007, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. 25 de mayo de 2007).

Posteriormente entra en vigor el Real Decreto 413/2014 de 6 de Junio cuyo objetivo principal es “*el ordenamiento del régimen jurídico y económico de la actividad de obtención de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.*” (Decreto 413 de 2014, Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, cogeneración y residuos. 6 de junio de 2014)

Uno de los objetivos de este real decreto sería aumentar la eficiencia energética a través del desarrollo de tecnologías, la reducción de gases de efecto invernadero y todo eso se puede realizar a través de la generación de electricidad con fuentes procedentes de energías renovables.

Posteriormente, debido al acuerdo de la orden IET/1168/2014, de 3 de julio, que dice lo siguiente “*se registrará automáticamente en el registro de régimen retributivo específico, regulado en el título V del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula el ejercicio de producción de energía eléctrica a través de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, en estado de preasignación o de explotación*” (Orden IET/1168 del 2014. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Por la que se determina la fecha de inscripción automática de determinadas instalaciones en el registro de régimen retributivo específico previsto en el Título V del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. 3 de julio de 2014)

Lo fundamental es garantizar la estabilidad financiera, por lo tanto se realizan medidas urgentes y se crea el régimen retributivo específico para conceder y adecuar el seguimiento de la retribución específica recibida a instalaciones de producción procedentes de fuentes de energía renovables, residuos y

cogeneración. Esta instalación se encuentra dentro de la categoría b del artículo 2 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, como dijimos anteriormente. "Es una tecnología fija (ya que no van a seguir al sol en elevación ni en plano horizontal) Contiene una variación de potencia $5Kw < P < 100Kw$ y su año de autorización de explotación fue en 2008, por lo que estamos dentro del tipo IT-00030" (Orden IET/1045 de 2014. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos)

Una vez conocida esta información el régimen retributivo específico viene dado por una serie de parámetros retributivos y entre ellos se encuentra el número de horas de la instalación en funcionamiento mínimo. Si nos vamos a la Orden ETU/130/2017 el objeto fundamental de ésta es la actualización de los parámetros retributivos en el tipo de instalaciones incluidas en la misma y comprende un periodo del 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2019.

Viendo la siguiente imagen podemos ver que el número de horas de funcionamiento mínimo anual para la instalación de tipo IT-00030 es de 974 horas y el umbral de funcionamiento anual es de 568 (Todo comprendido entre el año 2017 y 2019).

Código de Identificación ¹	Vida Útil Regulatoria (años) ¹	Coeficiente de ajuste C _{1,a}	Retribución a la Inversión 2017-2019 Rin _v (€/MW)	Nº Horas equivalentes de funcionamiento mínimo anual 2017-2019 Nh (h). ¹	Umbral de funcionamiento anual 2017-2019 Uf (h). ¹	Porcentajes aplicables a Nh y Uf anuales, para el cálculo del nº de horas equivalentes de funcionamiento mínimo y del umbral de funcionamiento de los periodos de 3, 6 y 9 meses(%)		
						3 meses ¹	6 meses ¹	9 meses ¹
IT-00014	30	1,0000	801.647	1.243	725	10%	20%	30%
IT-00015	30	1,0000	731.803	1.243	725	10%	20%	30%
IT-00016	30	1,0000	748.579	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00017	30	1,0000	614.971	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00018	30	1,0000	653.515	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00019	30	1,0000	648.254	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00020	30	1,0000	640.445	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00021	30	1,0000	664.010	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00022	30	1,0000	715.977	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00023	30	1,0000	772.436	1.255	732	10%	20%	30%
IT-00024	30	1,0000	700.823	974	568	10%	20%	30%
IT-00025	30	1,0000	626.483	974	568	10%	20%	30%
IT-00026	30	1,0000	613.291	974	568	10%	20%	30%
IT-00027	30	1,0000	605.636	974	568	10%	20%	30%
IT-00028	30	1,0000	589.242	974	568	10%	20%	30%
IT-00029	30	1,0000	581.156	974	568	10%	20%	30%
IT-00030	30	1,0000	577.064	974	568	10%	20%	30%

Figura 3.3: Parámetros retributivos de instalaciones tipo durante el año 2017,2018 y 2019

Fuente: BOE. Orden ETU/130/2017 de 17 de febrero.

Esta figura nos explica que si no se supera el umbral de funcionamiento no habría ingresos y si no se supera las 974 horas de funcionamiento mínimo anual se pueden producir una reducción en la subvención del régimen retributivo específico.

Una vez que sabemos la situación de esta instalación de placas fotovoltaicas, la potencia que tenían y el régimen retributivo específico pasan los años y las placas tanto del sistema 1 como del sistema 2 se van deteriorando.

Sistema 1

De las 624 placas que se encontraban instaladas 208 están bastante degradadas, ya sea porque se rompen o por desconexiones en el generador, por lo tanto solo contienen 44 kwp.

Sistema 2

Este sistema contiene 640 módulos de tipo I 106 de Isotón. Solo funcionan bien el 50% de las placas sin pérdidas en la potencia global.

Contando los dos sistemas se produjo la reducción del 30% de la potencia fotovoltaica debido a problemas por rotura de placas, degradación del sombreado de las farolas (que posteriormente fueron retiradas) y la ausencia de diodos de derivación.

- Efecto del sombreado: *“la celda sombreada no podrá pasar corriente y/o voltaje a una celda no sombreada a través de ellos, lo que hace que la potencia máxima de la celda sombreada decaiga como resultado del sombreado” (Diodos De Derivación En Célula Fotovoltaica | Construcción De Celda Solar, n.d.)*
- Diodos de derivación: *“Es necesario añadir una serie de componentes para eludir las partes sombreadas o dañadas de las células PV (fotovoltaicas), para continuar la producción de energía. Estos componentes añadidos que permiten el flujo de corriente a través de células PV cuando las células no podrían producir energía se pueden denominar diodos de derivación” (Diodos De Derivación En Célula Fotovoltaica | Construcción De Celda Solar, n.d.)*

Debido a todos estos problemas se redujo el número de horas equivalente de funcionamiento mínimo y como se ha dicho anteriormente al reducir estas horas los ingresos son nulos, por lo que se han visto obligados a sustituir un gran número de placas fotovoltaicas.

En el sistema 1 se realizó el siguiente proyecto:

-Puesto que no localizaron en el mercado los módulos dañados (tipo I 106 de Isofotón) tuvieron que cambiar todos los módulos del sistema 1. Como dijimos anteriormente de los 624 módulos que se encontraban instalados 208 estaban degradados y los otros restantes se guardaron en los almacenes adecuados de la Universidad de Jaén. Se sustituyeron las placas antiguas por otras más modernas del tipo REC 250 PE. Cada módulo tiene unos 250 Wp. *“Este tipo de módulos incluye 60 células policristalinas agrupadas en tres cadenas de 20 células con diodos de derivación”* (Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental, 2017, 79)

A continuación vamos a ver una imagen de un plano en el que podremos visualizar de mejor manera la distribución del nuevo sistema 1:

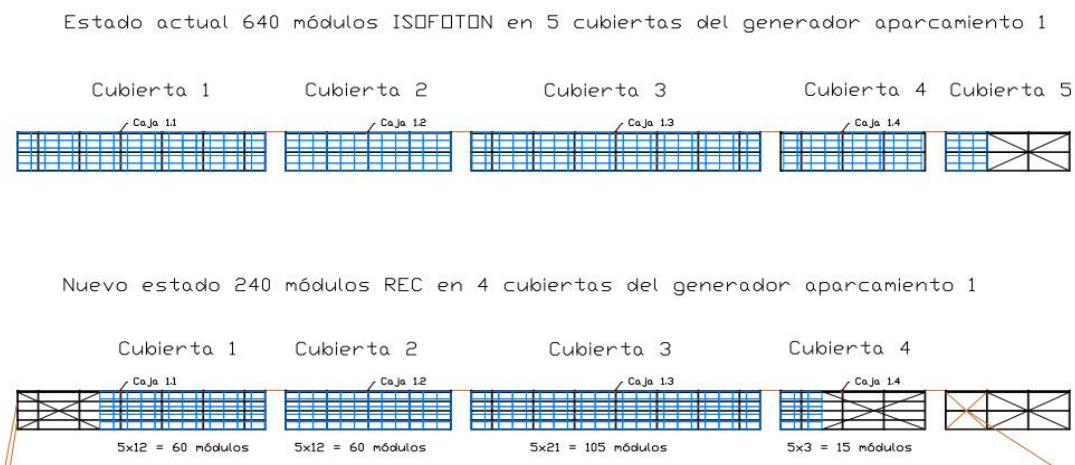


Figura 3.4: Vista en vertical de las placas solares del sistema 1

Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 1, 2017

Como podemos ver, la parte de arriba son las antiguas placas modelo ISOFOTÓN y en la parte de abajo se han instalado las nuevas (módulos REC) y con una nueva disposición. La cubierta 1 y 4 no estarían completas actualmente y la cubierta 5 no tendría ningún módulo en este momento.

En el sistema 2 se realizó lo siguiente:

-Se instalaron otro tipo de módulos con unos 375 de Wp de referencia cada uno. El modelo es TSM 375 de la firma Trina Solar. Este tipo de módulos contiene unas 120 células monocristalinas. En total se instalarán unos 160 módulos. Los otros 624 módulos antiguos se retiraron y se llevaron al vertedero.

A continuación vamos a ver una imagen de un plano en el que podremos visualizar de mejor manera la distribución del nuevo sistema 2:

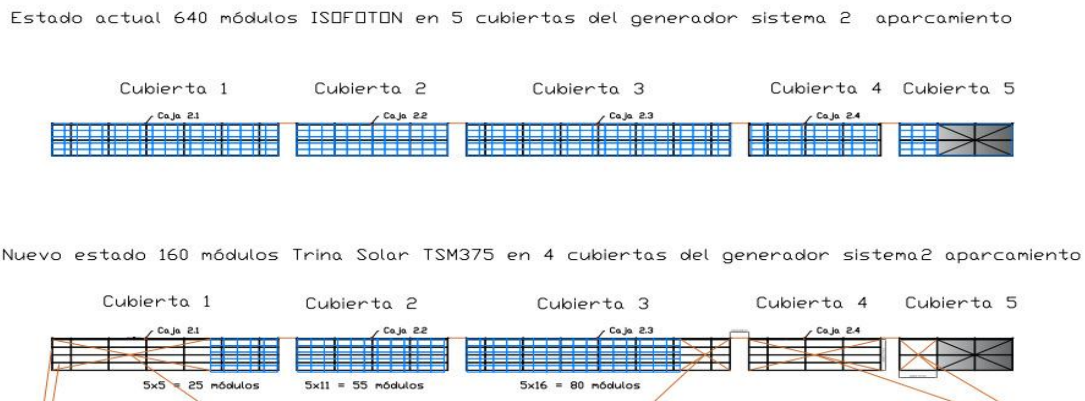


Figura 3.5: Vista en vertical de las placas solares en el sistema 2

Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 2, 2017

Como podemos ver, la parte de arriba son las antiguas placas modelo ISOFOTÓN y en la parte de abajo se han instalado las nuevas y con una nueva disposición. La cubierta 1 y 3 no estarían completas como si lo están las anteriores y la cubierta 4 y 5 no tendrían ningún módulo en este momento.

La conclusión es que el proyecto comenzó con unos modelos de placas y una distribución, posteriormente en 2017 se remodeló y se cambiaron los modelos y la distribución y esta última parte es la que vamos a estudiar y realizar el análisis energético.

Cabe destacar que actualmente, en 2023 se han añadido más placas y ha cambiado de nuevo la distribución pero no nos vamos a centrar en eso sino en la actualización del proyecto UNIVER 2017.

Los objetivos que vamos a tener en nuestro proyecto son los siguientes:

- Analizar si es más rentable dejar la orientación fija actual, optimizar la orientación fija o sería mejor dos orientaciones en verano y en invierno.
- Conocer el concepto de baterías virtuales.
- Estudiar los posibles impactos ambientales de estos dos sistemas

4. MATERIALES

Esta instalación ubicada en el Campus de “Las Lagunillas” contiene dos sistemas; el sistema 1 y el sistema 2. Los dos van a estar formados por elementos muy parecidos, lo único que va a cambiar es el tipo de módulos que se utilizan.

4.1. Materiales del sistema 1

·**Módulos fotovoltaicos:** como hemos dicho anteriormente, en nuestro proyecto vamos a tener módulos tipo REC 250 PE. REC es líder mundial en la industria fotovoltaica. La instalación contiene en total unos 240 módulos y cada módulo tiene una potencia de unos 250 Wp en condiciones estándar. A continuación introduciremos una imagen de la ficha técnica de este tipo de módulo:

PARÁMETROS ELÉCTRICOS @ STC	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE
Potencia nominal - P_{MPP} (Wp)	235	240	245	250	255	260
Clasificación de la clase de potencia - (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Tensión nominal - V_{MPP} (V)	29,5	29,7	30,1	30,2	30,5	30,7
Corriente nominal - I_{MPP} (A)	8,06	8,17	8,23	8,30	8,42	8,50
Tensión circuito abierto - V_{OC} (V)	36,6	36,8	37,1	37,4	37,6	37,8
Corriente corto circuito - I_{SC} (A)	8,66	8,75	8,80	8,86	8,95	9,01
Eficiencia del módulo (%)	14,2	14,5	14,8	15,1	15,5	15,8

Los datos analizados demuestran que el 99,7% de los módulos tienen una tolerancia de corriente y tensión del $\pm 3\%$ respecto al valor nominal. Valores en condiciones estándares de medida STC (masa de aire AM1,5, irradiancia 1000 W/m², temperatura de la célula 25°C). En bajas radiaciones de 200 W/m² y condiciones STC (1,5 AM y Temperatura de célula de 25°C) es posible obtener, al menos el 97% de la eficiencia.

Figura 4.1: Parámetros eléctricos del módulo REC250PE

Fuente: TechnoSun

Respecto a los datos generales cada módulo contiene “60 células policristalinas REC PE ; 3 cadenas de 20 células con diodos de derivación” (TECHNO SUN, 2012) Como ya hemos comentado en el antiguo proyecto no había diodos de derivación pero en la remodelación se han introducido. En el caso de que no utilizáramos estos diodos de derivación (Proyecto UNIVER original) si algunas de las células de placa o incluso la placa entera tiene sombreado se producirá una reducción de su potencia y la potencia de las siguientes placas se verá reducida.

Estos módulos forman parte de pv cycle que es una organización que realiza servicios de gestión de residuos y controla el cumplimiento legal de propietarios o empresas que tengan residuos. La placa que no funcione o se rompa por diversos motivos podrá ser recogida por pv cycle en un punto de recogida concreto o ellos mismos lo recogen si superan los 40 módulos, posteriormente se desmantela el marco y se hace una serie de tratamientos para poder recuperar el mayor material posible. El material valorizable se utiliza para realizar nuevos módulos o se vende para otras industrias.

Por último, comentar que vamos a estudiar la remodelación de 2017, por lo que estudiaremos los módulos que hemos comentado anteriormente, pero actualmente se encuentran instaladas otro tipo de placas con unas características muy parecidas. Este tipo de módulos son TSM-270PDO5 de la firma TRINA SOLAR.

·**Generador fotovoltaico sistema 1:** es el conjunto de módulos o placas fotovoltaicas. Se instalarán 240 módulos que contienen 4 cajas de conexión y en cada caja habrá 3 ramas en paralelo con 20 módulos en serie en cada una de ellas. En total habrá unos 60 KWp. A continuación podremos ver una imagen del generador fotovoltaico “Sistema 1”:



Figura 4.2: Generador fotovoltaico sistema 1

Fuente: Google Earth

La zona delimitada es el proyecto que estamos estudiando, aunque en esta foto real falte alguna placa en la cubierta 2 empezando por arriba. Simplemente la foto introducida es actual y el proyecto que estamos estudiando es de 2017, por lo que estos dos sistemas que estamos estudiando han sufrido alguna modificación.

·**Cajas de conexión:** el sistema 1 contiene cuatro cajas de conexión IP67 y cada una está conectada con tres ramas del generador. Esta caja de conexión nos permite contener y proteger los distintos tipos de conexiones y cables eléctricos.

Estas cajas de conexión van a tener una serie de elementos de protección frente a tensiones y otros problemas derivados de los mismos que son los siguientes:

- Dos interruptores magnetotérmicos. “Un magnetotérmico es un instrumento de protección en las instalaciones eléctricas y sus receptores frente a sobrecargas y frente a cortocircuitos eléctricos” (areatecnologia, n.d.)

Cortan la intensidad lo suficientemente rápido para que no se produzca ninguna avería en la instalación eléctrica. Es usual utilizarlos en sustitución de los fusibles ya que los fusibles hay que cambiarlos cada vez que se funden.

-Un limitador de sobretensión: es un elemento que protege la instalación eléctrica de los picos de tensión. “regula el voltaje que se aplica a un dispositivo eléctrico bloqueando o enviando a tierra voltajes superiores al umbral de seguridad” (aireyelectricidad.com, 2021)

A continuación veremos una imagen tanto de los interruptores magnetotérmicos como de los limitadores de sobretensión:

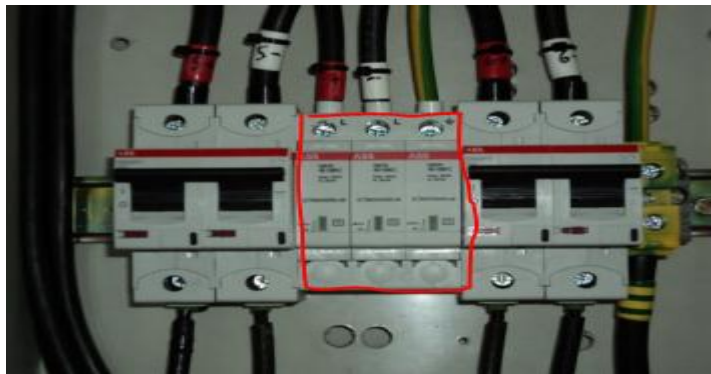


Figura 4.3: caja de conexión de 2 ramas

Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 1 y 2, 2017

Lo remarcado en rojo serían los limitadores de sobretensión y lo que hay a los lados serían los magnetotérmicos. El cable rojo es el positivo, el blanco es el negativo y el cable verde y amarillo es el de tierra que sirve para derivar la corriente a tierra si se produjera algún problema de sobretensión y garantizar la seguridad en el circuito.

·**Cuadro de continúa:** en este dispositivo se produce la conexión de todos los cables que provienen del generador fotovoltaico con el inversor. En este punto convergen los conectores de las cuatro cajas de conexión y salen hacia el inversor. A continuación mostraré una imagen del cuadro de continúa de la remodelación de 2017 que es la que estamos tratando:



Figura 4.4: Cuadro de continúa de conexión hacia el inversor

Fuente: Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental fase 1 y 2, 2017

El cuadro de continúa contiene los siguientes elementos:

-4 interruptores magnetotérmicos

-2 limitadores de sobretensiones: permiten interrumpir las corrientes por sobrecarga o en condiciones normales.

-2 interruptores seccionadores

Como se ha reflejado anteriormente este cuadro de continúa es diferente al que hay en la realidad debido a que cambiaron el inversor.

Inversor: estos elementos son uno de los más importantes en cualquier instalación eléctrica, ya que puede transformar la corriente alterna en continua. Por lo tanto, *“son dispositivos electrónicos que transforman la corriente continua en alterna y permiten tanto usar los receptores, como la conexión de los sistemas fotovoltaicos a la red pública que distribuye la energía eléctrica”* (e Juana Sardón et al., 2003, 311)

En este caso vamos a utilizar un inversor de la marca SIEMENS modelo SINVERT 60 y su potencia nominal es 50 KW.

Este inversor contiene una serie de funciones que son las siguientes:

-Protección frente a la sobretensión y sobrecorriente.

-Protección frente a la realimentación de red continua a alterna como consecuencia del aislamiento galvánico.

El aislamiento galvánico es un método que se realiza para que el ser humano pueda tener una mayor seguridad y al tocar alguna de las fases no se electrocute y para proteger la red. Consiste en la separación de dos circuitos, de manera que no va a ver una conexión eléctrica aunque si se va a poder transferir energía de un circuito a otro. Para que se produzca este proceso se utilizan transformadores de aislamiento o inversores que contengan este sistema de protección como es nuestro caso.

A continuación mostramos una foto de este inversor y es con el que trabajaremos:

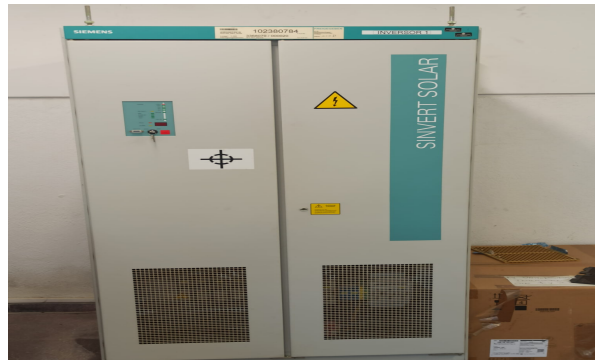


Figura 4.5: Inversor Siemens SINVERT 60

Fuente: Elaboración propia

En este análisis energético utilizaremos este inversor, ya que se siguió utilizando tras la remodelación de 2017, aunque cabe destacar que actualmente no se utiliza. Ahora el que se utiliza es un inversor SUN 2000-100KTL de 100 kw.

4.2. Materiales del sistema 2

Módulos fotovoltaicos: en este sistema 2 vamos a utilizar módulos TSM 375 de la firma TRINA SOLAR, contiene 120 células monocristalinas y se implementan en total unos 160 módulos que darán unos 60 Kwp, ya que cada módulo tiene unos 375 Wp. Las características de estos módulos son las siguientes:

ELECTRICAL DATA (STC)					
Peak Power Watts-P _{MAX} (Wp)*	360	365	370	375	380
Power Tolerance-P _{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	33.6	33.9	34.2	34.4	34.7
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	10.70	10.76	10.82	10.89	10.96
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	40.7	41.0	41.3	41.6	41.9
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	11.24	11.30	11.37	11.45	11.52
Module Efficiency-η _m (%)	19.6	19.9	20.2	20.5	20.7
STC: Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%.					
ELECTRICAL DATA (NOCT)					
Maximum Power-P _{MAX} (Wp)	271	275	279	283	287
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	31.5	31.8	32.0	32.2	32.5
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	8.60	8.65	8.71	8.77	8.83
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	38.3	38.6	38.9	39.2	39.4
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	9.06	9.10	9.16	9.23	9.28
NOCT: Irradiance at 800W/m ² , Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.					

Figura 4.6: Módulo TSM 375

Fuente: Enertik.ar

Estos módulos al igual que los de sistema 1 son reciclados por la empresa PV CYCLE.

Es conveniente saber que vamos a estudiar la remodelación de 2017, por lo que utilizaremos los módulos que hemos comentado anteriormente, pero actualmente se encuentran instaladas otro tipo de placas con unas características muy parecidas. Este tipo de módulos son LR4-60 HPH-375M.

·**Generador fotovoltaico sistema 2:** es el conjunto de módulos o placas fotovoltaicas. Este generador estará compuesto por módulos TSM 375 de la compañía TRINA SOLAR. En total vamos a tener 160 módulos contenidos en 10 ramas paralelas con 16 módulos en serie en cada una de estas ramas. Habrá cuatro cajas de conexión , en la primera y cuarta caja habrá dos ramas en cada una y en la segunda y tercera caja de conexión habrá cuatro ramas. En total este “sistema 2” contendrá unos 60 KWp en total.

A continuación se muestra una imagen del generador fotovoltaico que estamos hablando:



Figura 4.7: Generador fotovoltaico sistema 2

Fuente: Google Earth

Como ya dije anteriormente la zona delimitada es el proyecto que estamos estudiando. Las otras placas que se ven fuera de la zona delimitada son de proyectos distintos más recientes. En consecuencia, la zona delimitada son los 160 módulos TSM 375 de la marca TRINA SOLAR, con una potencia de 375 Wp cada módulo.

·**Cajas de conexión:** se utilizan también cuatro cajas de conexión y tienen la misma función que en el sistema 1.

·**Cuadro de contínea:** va a contener los mismos elementos de protección que en el sistema 1.

·**Inversor:** se utiliza un inversor de las mismas características que el del sistema 1.

5.RESULTADOS

Uno de los objetivos del proyecto es estimar el recurso solar en esta zona de Jaén y ver cuál sería la forma más eficiente de aprovechar el mismo cambiando o no la inclinación de los módulos. Primero tendremos en cuenta la carta solar en Jaén que es muy importante para saber el trazado del sol y el número de horas durante todo el año.

A continuación veremos la carta solar justo en la ubicación del proyecto:

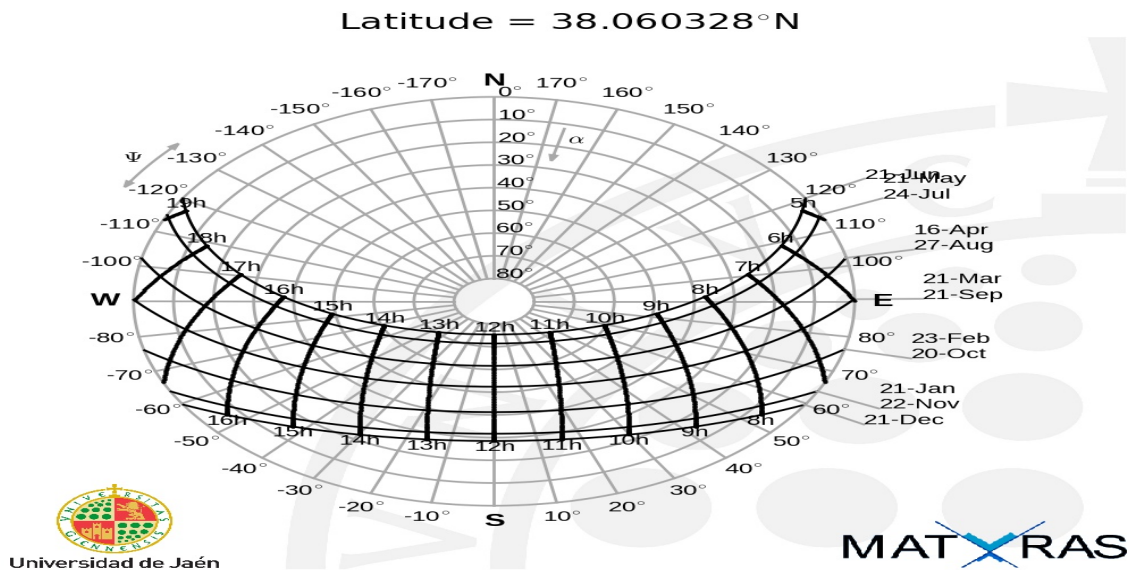


Figura 5.1: Carta solar del proyecto

Fuente: Universidad de Jaén MATRAS <https://matras.ujaen.es/cartaSolar.php>

En esta carta solar se puede ver el recorrido que realiza el sol durante todo el año en acimut y en elevación. A través de la carta solar podemos saber la elevación del sol según el mes en el que esté y el ángulo entre el sur y el sol acimut.

α = Elevación del sol

θ = Acimut

En los meses de verano el número de horas de sol es mayor ya que el sol sale en torno a las 5:00 de la mañana y se esconde a las 19.00 de la tarde y en invierno el número de horas de sol es menor; en diciembre la puesta de sol es en torno a las 7:15 y el atardecer se produciría en torno a las 17:00 de la tarde.

El mes que más número de horas de sol tiene Jaén es Julio con unas 401 '7 horas al mes de media. El mes que menos número de horas de sol hay en Jaén es Enero con 196 '8 horas. En total habrá unas 3407'82 horas al año. (*Clima Jaén: Temperatura, Climograma Y Tabla Climática Para Jaén*, n.d.)

A través de la carta solar podemos saber la elevación que tiene el sol. En verano podemos observar que la inclinación del sol va a ser mucho mayor que en invierno, por lo que sin realizar todavía ningún cálculo sabremos que en invierno la placa se pondrá más inclinada y en verano se pondrá menos.

Con respecto a la radiación solar cada mes será diferente y en verano habrá una mayor radiación que en invierno. En la siguiente imagen podemos diferenciar entre las distintas radiaciones y ver el total en cada mes:

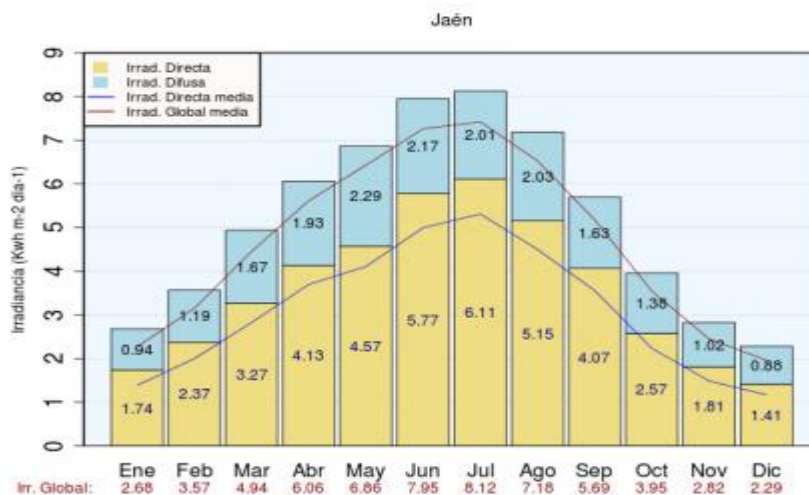


Figura 5.2: Irradiancia al mes en Jaén

Fuente: Aemet/datos climáticos/ atlas radiación solar

Esta imagen nos proporciona información sobre la irradiación global de Jaén en cada mes. La radiación que llega a la atmósfera se divide en dos tipos:

- Radiación directa (DNI): radiación que atraviesa la atmósfera sin ser dispersada.
- Radiación difusa (DIF): radiación que es dispersada por la atmósfera y finalmente se recibe en la superficie terrestre.

5.1. Primera opción

5.1.1 Cálculo de radiación para una inclinación de 7 °

Lo primero que haremos será calcular el recurso solar que tiene Jaén con una latitud de 37'78° y a diferentes inclinaciones de los módulos. Esta nos muestra el recurso solar de Jaén a distintas pendientes de los módulos y habiendo tenido en cuenta las posibles nubes, fenómenos de extinción de radiación en la atmósfera etc.

	ENE	FEB.	MAR	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AGO	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
0°	2,6	3,3	4,7	5,4	6,7	7,4	7,6	7,0	5,7	4,0	2,9	2,1
5°	2,9	3,6	4,9	5,5	6,7	7,4	7,6	7,1	5,9	4,3	3,2	2,3
10°	3,2	3,8	5,1	5,6	6,7	7,3	7,5	7,2	6,2	4,6	3,5	2,5
15°	3,5	4,0	5,3	5,6	6,7	7,2	7,4	7,2	6,3	4,8	3,8	2,7
20°	3,7	4,2	5,5	5,6	6,6	7,0	7,3	7,2	6,5	5,0	4,1	2,9
25°	3,9	4,4	5,6	5,6	6,5	6,9	7,1	7,1	6,6	5,2	4,3	3,1
30°	4,1	4,5	5,7	5,6	6,3	6,6	6,9	7,0	6,6	5,4	4,5	3,2
35°	4,3	4,6	5,7	5,5	6,1	6,4	6,7	6,9	6,6	5,5	4,7	3,4
40°	4,4	4,7	5,7	5,4	5,9	6,1	6,4	6,7	6,6	5,6	4,9	3,5
45°	4,6	4,7	5,7	5,3	5,7	5,8	6,1	6,5	6,5	5,6	5,0	3,5
50°	4,7	4,8	5,7	5,1	5,4	5,5	5,8	6,2	6,4	5,6	5,1	3,6
55°	4,7	4,8	5,6	4,9	5,2	5,2	5,5	5,9	6,3	5,6	5,1	3,7
60°	4,7	4,7	5,3	4,5	4,5	4,4	4,7	5,3	5,9	5,5	5,1	3,7
65°	4,7	4,7	5,3	4,5	4,5	4,4	4,7	5,3	5,9	5,5	5,1	3,7
70°	4,7	4,6	5,1	4,2	4,2	4,0	4,3	4,9	5,6	5,4	5,1	3,6
75	4,6	4,5	4,9	3,9	3,8	3,6	3,9	4,5	5,3	5,2	5,0	3,6
80°	4,6	4,3	4,7	3,7	3,4	3,2	3,4	4,1	5,0	5,0	4,9	3,5
85°	4,4	4,2	4,4	3,4	3,1	2,8	3,0	3,7	4,6	4,8	4,8	3,4
90°	4,3	4,0	4,1	3,0	2,7	2,5	2,6	3,2	4,2	4,5	4,6	3,3

Figura 5.3: Radiación media mensual solar de Jaén a distintas inclinaciones

Fuente: Universidad de Jaén

Como podemos ver esta imagen nos da la radiación diaria media mensual que contiene Jaén y la radiación a distintas inclinaciones del módulo puesto. Por lo tanto, gracias a esta tabla y a los siguientes cálculos podremos saber la radiación total que obtienen los módulos en la inclinación actual y si se podría mejorar la radiación total para obtener más energía.

En primer lugar calcularemos la radiación que obtienen las placas de la remodelación de 2017 a una inclinación de 7° en todo el año . Los cálculos son los siguientes:

1. Tenemos una tabla con la radiación que se obtiene en Jaén en una pendiente de 5 y 10 grados así que haremos una interpolación para saber la radiación al mes que se obtiene con una inclinación de 7°. Ejemplo:

Pendiente: $10^{\circ}-5^{\circ}=5^{\circ}$

$$\text{Enero: } (3'2-2'9) \frac{Kw \cdot h}{m^2 \cdot día} = 0'3 \frac{Kw \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

2. Hacemos una regla de 3 con la diferencia de la radiación y las pendientes.

$$5^{\circ} \rightarrow 0'3$$

$$10^{\circ}-7^{\circ}=3^{\circ}$$

$$3^{\circ} \rightarrow X$$

3. Por último, lo que nos haya salido en X lo restamos a la radiación de enero con una inclinación de 10 ° y obtendremos esta interpolación para una pendiente de 7° que es la que hay actualmente.

A continuación se mostrará una imagen de los resultados obtenidos para cada uno de los meses del año:

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	5	2,9	3,6	4,9	5,5	6,7	7,4	7,6	7,1	5,9	4,3	3,2	2,3
	10	3,2	3,8	5,1	5,6	6,7	7,3	7,5	7,2	6,2	4,6	3,5	2,5
Diferencia	5	0,3	0,2	0,2	0,1	0	-0,1	-0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2
Cálculo para pendiente 7 °	7°	0,18	0,12	0,12	0,06	0	-0,06	-0,06	0,06	0,18	0,18	0,18	0,12
Resultado final	7°	3,02	3,68	4,98	5,54	6,7	7,36	7,56	7,14	6,02	4,42	3,32	2,38
10-7=3	3												

Figura 5.4: Radiación diaria media mensual en Jaén para una inclinación de 7°

Fuente: Elaboración propia

En esta imagen hemos realizado la interpolación explicada anteriormente y los cuadros amarillos son los resultados para una inclinación de 7°. Esta radiación se mide en $\frac{Kw*h}{m^2 * dia}$.

Una vez calculada la irradiancia máxima que se puede obtener en la zona de estudio con una pendiente de 7° vamos a calcular el ángulo de elevación solar y el ángulo acimutal que serán necesarios para aplicar un factor de corrección, ya que a una pendiente de 7 grados los rayos del sol no van caer de forma perpendicular al módulo; por lo tanto tendremos que saber el ángulo acimutal para que una vez que se realicen los cálculos pertinentes se multiplique por la irradiancia máxima y nos dé el recurso solar real que se podrá obtener.

La elevación solar se ha obtenido gracias a la información que nos da la carta solar. Se han recogido los datos de la altura solar de los distintos meses del año a las 12:00 para tener una fijación hacia el sur. La información extraída es la siguiente:

-Mayo y junio:75 Julio:71° Agosto y abril:61° Diciembre:29°

Febrero y octubre: 41° Enero y noviembre:31° Marzo y septiembre:52°

Una vez obtenida las distintas alturas del sol en los distintos meses se hará una suma total y se divide entre el número de meses del año para poder saber la elevación solar media del año.

$$75 + 75 + 41 + 41 + 71 + 31 + 31 + 61 + 61 + 29 + 52 + 52 = 620$$

$$\frac{620}{12} = 51'6 \quad \text{Ya habríamos obtenido la elevación solar } \alpha = 51'6$$

Una vez hemos obtenido la elevación solar tendremos que calcular el ángulo acimutal. A continuación se mostrará una imagen explicativa de los distintos ángulos que se van a tener al instalar nuestra placa en condiciones reales (Pendiente de 7°):

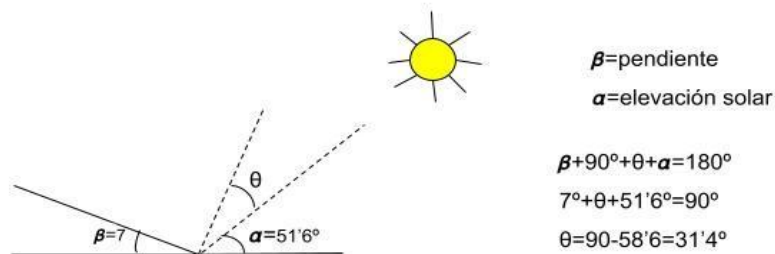


Figura 29: Imagen explicativa de la inclinación real de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura se pueden ver los distintos ángulos. Como se puede observar, el vector normal (perpendicular a la placa) no coincide con la dirección de los rayos del sol, por lo que el ángulo acimutal será >0 y no podremos obtener la irradiancia máxima para esta pendiente de 7°.

Se sabe que $\alpha+\theta+\beta=90$; tenemos todas las incógnitas menos θ (Ángulo acimutal) por lo que se puede despejar y sale lo siguiente; $\theta=31'4$.

El siguiente paso será estimar el recurso solar real que llegará al módulo fotovoltaico. Para ello se realizarán los siguientes pasos:

1. Realizamos la función coseno (31'4) pasándolo a radianes
2. Multiplicar lo obtenido por el máximo recurso solar para una pendiente de 7°

En la siguiente foto se mostrará una imagen con el cálculo realizado:

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Irradiancia máxima media mensual	7°	3,02	3,68	4,98	5,54	6,7	7,36	7,56	7,14	6,02	4,42	3,32	2,38
Irradiancia real		2,58	3,14	4,25	4,73	5,72	6,28	6,45	6,09	5,14	3,77	2,83	2,03
Cos 31'4	0,853551												

Figura 5.5: Cálculo de la irradiancia real (Posición real)

Fuente: Elaboración propia

En color azul tenemos los resultados del recurso real que llega a las placas fotovoltaicas que se encuentran en la zona de estudio.

5.1.2 Cálculo de radiación para dos posiciones fijas

En este trabajo nuestro principal objetivo será mejorar y optimizar el recurso solar mediante la pendiente de las placas. La idea es cambiar la orientación de los módulos fotovoltaicos dos veces al año, una a mediados de primavera y otra a mediados de otoño. La idea principal es tener dos inclinaciones distintas durante el año, ya que como sabemos observando la carta solar el sol se va a encontrar más alto en verano y se necesitará tener el módulo en horizontal, mientras que en invierno al encontrarse el sol más bajo habrá que darle a los módulos una mayor inclinación.

En la siguiente foto se puede ver el fenómeno que se comenta anteriormente:

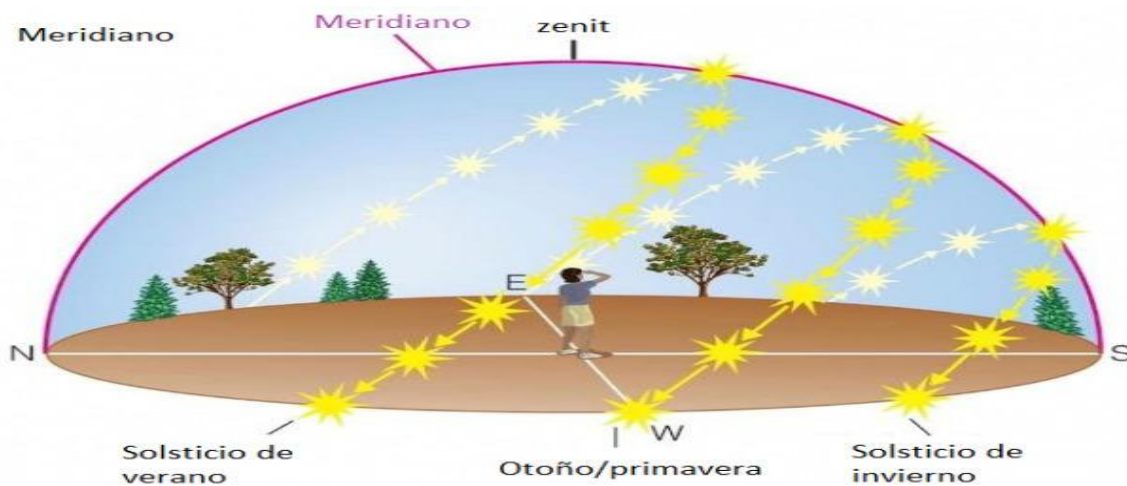


Figura 5.6: Altura del sol en las cuatro estaciones del año

Fuente: Heliosfera

Las distintas alturas del sol en verano e invierno viene formado por el ángulo de declinación que tiene la tierra ($23,5^\circ$). Este ángulo fue originado por una masa muy grande que desplazó el eje de la tierra hace millones de años.

A continuación realizaremos los cálculos pertinentes para la radiación solar:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0°	2,6	3,3	4,7	5,4	6,7	7,4	7,6	7	5,7	4	2,9	2,1
5°	2,9	3,6	4,9	5,5	6,7	7,4	7,6	7,1	5,9	4,3	3,2	2,3
10°	3,2	3,8	5,1	5,6	6,7	7,3	7,5	7,2	6,2	4,6	3,5	2,5
15°	3,5	4	5,3	5,6	6,7	7,2	7,4	7,2	6,3	4,8	3,8	2,7
20°	3,7	4,2	5,5	5,6	6,6	7	7,3	7,2	6,5	5	4,1	2,9
25°	3,9	4,4	5,6	5,6	6,5	6,9	7,1	7,1	6,6	5,2	4,3	3,1
30°	4,1	4,5	5,7	5,6	6,3	6,6	6,9	7	6,6	5,4	4,5	3,2
35°	4,3	4,6	5,7	5,5	6,1	6,4	6,7	6,9	6,6	5,5	4,7	3,4
40°	4,4	4,7	5,7	5,4	5,9	6,1	6,4	6,7	6,6	5,6	4,9	3,5
45°	4,6	4,7	5,7	5,3	5,7	5,8	6,1	6,5	6,5	5,6	5	3,5
50°	4,7	4,8	5,7	5,1	5,4	5,5	5,8	6,2	6,4	5,6	5,1	3,6
55°	4,7	4,8	5,6	4,9	5,2	5,2	5,5	5,9	6,3	5,6	5,1	3,7
60°	4,7	4,7	5,3	4,5	4,5	4,4	4,7	5,3	5,9	5,5	5,1	3,7
65°	4,7	4,7	5,3	4,5	4,5	4,4	4,7	5,3	5,9	5,5	5,1	3,7
70°	4,7	4,6	5,1	4,2	4,2	4	4,3	4,9	5,6	5,4	5,1	3,6
75°	4,6	4,5	4,9	3,9	3,8	3,6	3,9	4,5	5,3	5,2	5	3,6
80°	4,6	4,3	4,7	3,7	3,4	3,2	3,4	4,1	5	5	4,9	3,5
85°	4,4	4,2	4,4	3,4	3,1	2,8	3	3,7	4,6	4,8	4,8	3,4
90°	4,3	4	4,1	3	2,7	2,5	2,6	3,2	4,2	4,5	4,6	3,3

Figura 5.7: Radiación media mensual solar de Jaén a distintas inclinaciones

Fuente: Universidad de Jaén y elaboración propia

Con esta tabla he querido remarcar en amarillo y en verde la mayor radiación que se puede obtener dependiendo de la pendiente de los módulos fotovoltaicos y dependiendo del mes en el que estemos. Para cambiar dos veces la inclinación de las placas, si tenemos en cuenta esta imagen podremos ver que en los meses octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo la mayor radiación se obtiene en pendientes muy parecidas.

Finalmente, para saber la inclinación que se implementará en otoño-invierno se realizará una media de las mayores radiaciones que se pueden obtener con ciertas pendientes en los meses que se encuentran en color verde (Octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo). La otra inclinación que impondremos en primavera, verano se hará realizando la media de las mayores radiaciones que se pueden obtener con ciertas pendientes en los meses que se encuentran en color amarillo (Abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre).

5.1.2.1 Inclinación óptima otoño-invierno

En primer lugar realizaremos el cálculo de la inclinación de los módulos fotovoltaicos para el periodo de otoño e invierno, es decir, para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Los resultados son los siguientes:

	Pendienteº	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Suma total por pendiente
	35	5,5	4,7	3,4	4,3	4,6	5,7	28,2
	40	5,6	4,9	3,5	4,4	4,7	5,7	28,8
	45	5,6	5	3,5	4,6	4,7	5,7	29,1
	50	5,6	5,1	3,6	4,7	4,8	5,7	29,5
	55	5,6	5,1	3,7	4,7	4,8	5,6	29,5
	60	5,5	5,1	3,7	4,7	4,7	5,3	29
	65	5,5	5,1	3,7	4,7	4,7	5,3	29
Media	50	5,6	5,1	3,6	4,7	4,8	5,7	29,5

Figura 5.8: Cálculo para la inclinación más óptima en invierno y otoño

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos han sido los siguientes:

1. Se han recogido datos sobre las pendientes que pueden obtener una mayor radiación en estos meses establecidos.
2. Se ha realizado el promedio de todas las pendientes.
3. La inclinación óptima para obtener la mayor radiación en estos meses es 50°.

Una vez calculada la irradiancia máxima para una pendiente de 50° calcularemos la radiación real que llegará a la zona de estudio con esta misma pendiente. Como se ha hecho anteriormente con la pendiente de 7° habrá que averiguar la elevación solar y el ángulo acimutal para aplicar esa corrección debido a que no está la placa 90° con respecto al sol.

La elevación solar se ha obtenido al recoger los datos de la altura solar de los 6 meses fijados del año a las 12:00 para tener una fijación hacia el sur. La información extraída es la siguiente:

-Diciembre:29° Octubre y febrero: 41° Enero y noviembre:31° Marzo:52°

Una vez obtenida las distintas alturas del sol en estos meses se hará una suma total y se divide entre seis meses para poder saber la elevación solar media del año.

$$41 + 31 + 29 + 31 + 41 + 52 = 225$$

$$\frac{225}{6} = 37'5 \quad \text{Ya habríamos obtenido la elevación solar } \alpha = 37'5$$

Una vez hemos obtenido la elevación solar tendremos que calcular el ángulo acimutal. A continuación se mostrará una imagen explicativa de los distintos ángulos que se van a tener al instalar nuestra placa en condiciones de pendiente óptima a 50°:

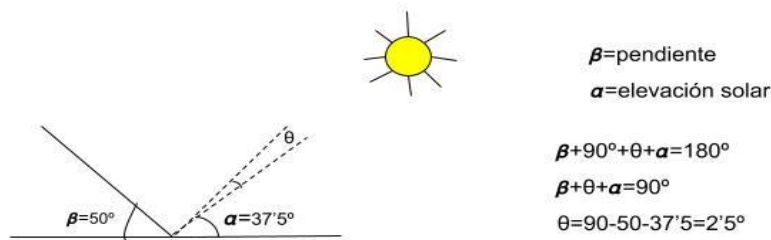


Figura 5.9: Imagen explicativa de la primera posición óptima de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura se pueden ver los distintos ángulos. Como se puede observar, el vector normal (perpendicular a la placa) no coincide con la dirección de los rayos del sol, por lo que el ángulo acimutal será >0 y no podremos obtener la irradiancia máxima para esta pendiente de 50° .

Se sabe que $\alpha+\theta+\beta=90$; tenemos todas las incógnitas menos θ (Ángulo acimutal) por lo que se puede despejar y sale lo siguiente; $\theta=2'5$.

El siguiente paso será estimar el recurso solar real que llegará al módulo fotovoltaico. Para ello se realizarán los siguientes pasos:

1. Realizamos la función coseno ($2'5$) pasándolo a radianes
2. Multiplicar lo obtenido por el máximo recurso solar para una pendiente de 50°

La imagen siguiente nos propicia el cálculo realizado:

	Pendiente ^º	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Irradiancia máxima media mensual	50°	5,6	5,1	3,6	4,7	4,8	5,7
Irradiancia real		5,59	5,10	3,60	4,70	4,80	5,69
cos 2'5	0,99904822						

Figura 5.10: Cálculo de la irradiancia real (1 posición)

Fuente: Elaboración propia

En color azul tenemos los resultados del recurso real que llega a las placas fotovoltaicas que se encuentran en la zona de estudio.

5.1.2.2 Inclinación óptima primavera-verano

Por último, se realizará el cálculo de la inclinación de los módulos fotovoltaicos para el periodo de primavera y verano, es decir, para los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Los resultados son los siguientes:

	Pendienteº	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Suma total por pendiente
	0	5,4	6,7	7,4	7,6	7	5,7	39,8
	5	5,5	6,7	7,4	7,6	7,1	5,9	40,2
	10	5,6	6,7	7,3	7,5	7,2	6,2	40,5
	15	5,6	6,7	7,2	7,4	7,2	6,3	40,4
	20	5,6	6,6	7	7,3	7,2	6,5	40,2
	25	5,6	6,5	6,9	7,1	7,1	6,6	39,8
Media	12,5							
Diferencia entre 15 y 10	5	0	0	-0,1	-0,1	0	0,1	
Cálculo para esta pendiente	12,5	0	0	-0,05	-0,05	0	0,05	
Resultado final	12,5*	5,6	6,7	7,25	7,45	7,2	6,25	40,45
	2,5							

Figura 5.11: Cálculo para la inclinación más óptima en primavera y verano

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos que se han realizado son los siguientes:

1. Se han recogido datos sobre las pendientes que pueden obtener una mayor radiación en estos meses establecidos.
2. Se ha realizado el promedio de todas las pendientes.
3. El resultado más óptimo para obtener la mayor radiación en estos meses es que la placa esté inclinada unos 12,5°.
4. Averiguar la radiación que llega con esta pendiente para los meses comentados mediante la interpolación.

Ejemplo:

Pendiente: 15°-10°=5°

$$\text{Septiembre: } (6'3-6'2) \frac{Kw*h}{m2*día} = 0'1 \frac{Kw*h}{m2*día}$$

5. Hacemos una regla de 3 con la diferencia de la radiación y las pendientes.

$$5° \rightarrow 0'1 \quad 15°-12,5°=2,5°$$

$$2,5° \rightarrow X$$

6. Por último, lo que nos haya salido en X lo restamos a la radiación de septiembre con una inclinación de 15 ° y obtendremos esta interpolación para una pendiente de 12,5°. En este caso la X=0'05; 6'3-0'05=6'25 $\frac{Kw*h}{m2*día}$

Una vez calculada la irradiancia máxima para una pendiente de 12'5° calcularemos la radiación real que llegará a la zona de estudio con esta misma pendiente. Como

se ha hecho anteriormente con la pendiente de 50° y 7° habrá que averiguar la elevación solar y el ángulo acimutal para aplicar esa corrección debido a que no está la placa 90° con respecto al sol.

La elevación solar se ha obtenido al recoger los datos de la altura solar de los 6 meses fijados del año a las 12:00 para tener una fijación hacia el sur. La información extraída es la siguiente:

-Abril y agosto: 61° Mayo y junio: 75° Julio: 71° Septiembre: 52°

Una vez obtenida las distintas alturas del sol en estos meses se hará una suma total y se divide entre seis meses para poder saber la elevación solar media del año.

$$75 + 75 + 71 + 61 + 61 + 52 = 395$$

$$\frac{395}{6} = 65'8 \quad \text{Ya habríamos obtenido la elevación solar } \alpha = 65'8$$

Una vez hemos obtenido la elevación solar tendremos que calcular el ángulo acimutal. A continuación se mostrará una imagen explicativa de los distintos ángulos que se van a tener al instalar nuestra placa en condiciones de pendiente óptima a $12'5^\circ$:

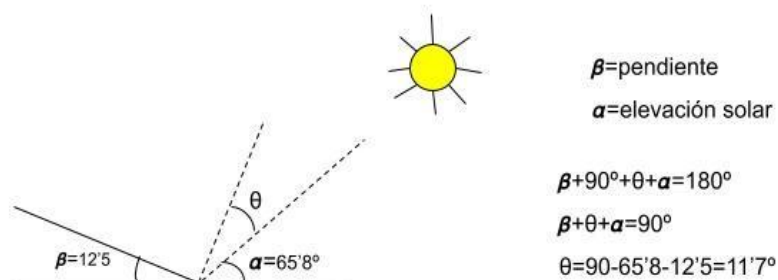


Figura 5.12: Imagen explicativa de la segunda posición óptima de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura se pueden ver los distintos ángulos. Como se puede observar, el vector normal (perpendicular a la placa) no coincide con la dirección de los rayos del sol, por lo que el ángulo acimutal será >0 y no podremos obtener la irradiancia máxima para esta pendiente de $12'5^\circ$.

Se sabe que $\alpha+\theta+\beta=90$; tenemos todas las incógnitas menos θ (Ángulo acimutal) por lo que se puede despejar y sale lo siguiente; $\theta=11'7$.

El siguiente paso será estimar el recurso solar real que llegará al módulo fotovoltaico. Para ello se realizarán los siguientes pasos:

3. Realizamos la función coseno ($11'7$) pasándolo a radianes

4. Multiplicar lo obtenido por el máximo recurso solar para una pendiente de 12'5°

La imagen siguiente nos propicia el cálculo realizado:

	Pendienteº	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Irradiancia máxima media mensual	12,5	5,6	6,7	7,25	7,45	7,2	6,25
Irradiancia real		5,48	6,56	7,10	7,30	7,05	6,12
cos 11'7	0,97922281						

Figura 5.13: Cálculo de la irradiancia real (2 posición)

Fuente: Elaboración propia

En color azul tenemos los resultados del recurso real que llega a las placas fotovoltaicas que se encuentran en la zona de estudio.

A continuación, vamos a verificar que cambiar la pendiente de placas fotovoltaicas fijas dos veces al año (en verano y en invierno) sale más rentable que dejarlo como se encuentra actualmente (sobre la fachada de los aparcamientos con una inclinación de los 7°).

5.1.3 Cálculo de energía generada con inclinación actual de 7°

-En primer lugar calcularemos la energía generada por el sistema 1

La potencia de los módulos del sistema 1 a unas condiciones reales de irradiancia $800 \frac{W}{m^2}$, velocidad del viento 1,5 m/s y a una temperatura ambiente de unos 20°C es de 189 Wp según la fuente (TECHNOSUN, 2012). Una vez tenemos esta información obtendremos la energía generada por el sistema 1, la fórmula es la siguiente:

Energía generada anual= Potencia del módulo (Kw)*Irradiancia real media anual a pendiente de 7°*Rendimiento del módulo*365 días

$$\text{Energía generada anual} = 0'189 \text{ Kw} * 4'42 \frac{\text{Kw} \cdot \text{h}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} * 0'158 * 365 \text{ días} = 48'17 \text{ Kwh}$$

Una vez que tenemos la energía generada por un módulo durante un año, para saber la energía total generada por todos los módulos que componen el sistema 1 se multiplicará por el número de módulos.

$$48'17 \text{ Kwh} * 240 \text{ módulos} = 11562'33 \text{ Kwh}$$

-En segundo lugar calcularemos la energía generada por el sistema 2

La potencia de los módulos del sistema 2 a unas condiciones reales de irradiancia $800 \frac{W}{m^2}$, velocidad del viento 1,5 m/s y a una temperatura ambiente de unos 20°C es de 283 Wp según la fuente (Enertic.ar,2002). Una vez tenemos esta información obtendremos la energía generada por el sistema 2, la fórmula es la siguiente:

Energía generada anual= Potencia del módulo (Kw)*Irradiancia media anual a pendiente de 7°*Rendimiento del módulo*365 días

$$\text{Energía generada anual} = 0'283 \text{ Kw} * 4'42 \frac{\text{Kw} * \text{h}}{\text{m}^2 * \text{día}} * 0'207 * 365 \text{ días} = 94'50 \text{ Kwh}$$

Una vez que tenemos la energía generada por un módulo durante un año, para saber la energía total generada por todos los módulos que componen el sistema 2 se multiplicará por el número de módulos.

$$94'50 \text{ Kwh} * 160 \text{ módulos} = 15121'4 \text{ Kwh}$$

La producción anual total de los dos sistemas para la pendiente actual de 7° es $11562'33 + 15121'4 = 26683'7 \text{ Kwh}$

5.1.4 Cálculo de energía generada para dos posiciones fijas

-En primer lugar calcularemos la energía generada por el sistema 1

La potencia de los módulos del sistema 1 a unas condiciones reales de irradiancia $800 \frac{W}{m^2}$, velocidad del viento 1,5 m/s y a una temperatura ambiente de unos 20°C es de 189 Wp según la fuente (TECHNOSUN, 2012). Una vez tenemos esta información obtendremos la energía generada por el sistema 1, la fórmula es la siguiente:

Energía generada anual= Potencia del módulo (Kw)*Irradiancia media anual a pendiente de 12'5 y 50°*Rendimiento del módulo*365 días

$$\text{Energía generada anual} = 0'189 \text{ Kw} * 5'76 \frac{\text{Kw} * \text{h}}{\text{m}^2 * \text{día}} * 0'158 * 365 \text{ días} = 62'78 \text{ Kwh}$$

Una vez que tenemos la energía generada por un módulo durante un año, para saber la energía total generada por todos los módulos que componen el sistema 1 se multiplicará por el número de módulos.

$$62'78 \text{ Kwh} * 240 \text{ módulos} = 15067'64 \text{ Kwh}$$

-En segundo lugar calcularemos la energía generada por el sistema 2

La potencia de los módulos del sistema 2 a unas condiciones reales de irradiancia $800 \frac{W}{m^2}$, velocidad del viento 1,5 m/s y a una temperatura ambiente de unos 20°C

es de 283 Wp según la fuente (Enertic.ar,2002) . Una vez tenemos esta información obtendremos la energía generada por el sistema 2, la fórmula es la siguiente:

Energía generada anual= Potencia del módulo (Kw)*Irradiancia media anual a pendiente de 12'5 y 50°*Rendimiento de una célula*365 días

$$\text{Energía generada anual} = 0'283 \text{ Kw} * 5'76 \frac{\text{Kw} * \text{h}}{\text{m}^2 * \text{día}} * 0'207 * 365 \text{ días} = 123'16 \text{ Kwh}$$

Una vez que tenemos la energía generada por un módulo durante un año, para saber la energía total generada por todos los módulos que componen el sistema 2 se multiplicará por el número de módulos.

$$123'16 \text{ Kwh} * 160 \text{ módulos} = 19705'71 \text{ Kwh}$$

La producción anual total de los dos sistemas para las pendientes de 12'5 y 50° es $15067'64 + 19705'71 = 34773'35 \text{ Kwh}$

5.2. Segunda opción

5.2.1 Cálculo de radiación para una inclinación óptima

Otra opción aparte de haber calculado la inclinación óptima en verano y en invierno y cambiar la pendiente de las placas dos veces al año es poner una sola inclinación óptima que fuera fija durante todo el año como se encuentra actualmente, pero optimizando el recurso solar.

Se haría de la siguiente manera:

En primer lugar hay que encontrar la pendiente más óptima para todo el año, por lo que se sumará toda la irradiancia solar de la tabla utilizada anteriormente y la pendiente que tenga una mayor suma total será la más óptima para nuestro estudio.

Lo podemos ver en la siguiente tabla:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Suma total
0°	2,6	3,3	4,7	5,4	6,7	7,4	7,6	7	5,7	4	2,9	2,1	59,4
5°	2,9	3,6	4,9	5,5	6,7	7,4	7,6	7,1	5,9	4,3	3,2	2,3	61,4
10°	3,2	3,8	5,1	5,6	6,7	7,3	7,5	7,2	6,2	4,6	3,5	2,5	63,2
15°	3,5	4	5,3	5,6	6,7	7,2	7,4	7,2	6,3	4,8	3,8	2,7	64,5
20°	3,7	4,2	5,5	5,6	6,6	7	7,3	7,2	6,5	5	4,1	2,9	65,6
25°	3,9	4,4	5,6	5,6	6,5	6,9	7,1	7,1	6,6	5,2	4,3	3,1	66,3
30°	4,1	4,5	5,7	5,6	6,3	6,6	6,9	7	6,6	5,4	4,5	3,2	66,4
35°	4,3	4,6	5,7	5,5	6,1	6,4	6,7	6,9	6,6	5,5	4,7	3,4	66,4
40°	4,4	4,7	5,7	5,4	5,9	6,1	6,4	6,7	6,6	5,6	4,9	3,5	65,9
45°	4,6	4,7	5,7	5,3	5,7	5,8	6,1	6,5	6,5	5,6	5	3,5	65
50°	4,7	4,8	5,7	5,1	5,4	5,5	5,8	6,2	6,4	5,6	5,1	3,6	63,9
55°	4,7	4,8	5,6	4,9	5,2	5,2	5,5	5,9	6,3	5,6	5,1	3,7	62,5
60°	4,7	4,7	5,3	4,5	4,5	4,4	4,7	5,3	5,9	5,5	5,1	3,7	58,3
65°	4,7	4,7	5,3	4,5	4,5	4,4	4,7	5,3	5,9	5,5	5,1	3,7	58,3
70°	4,7	4,6	5,1	4,2	4,2	4	4,3	4,9	5,6	5,4	5,1	3,6	55,7
75	4,6	4,5	4,9	3,9	3,8	3,6	3,9	4,5	5,3	5,2	5	3,6	52,8
80°	4,6	4,3	4,7	3,7	3,4	3,2	3,4	4,1	5	5	4,9	3,5	49,8
85°	4,4	4,2	4,4	3,4	3,1	2,8	3	3,7	4,6	4,8	4,8	3,4	46,6
90°	4,3	4	4,1	3	2,7	2,5	2,6	3,2	4,2	4,5	4,6	3,3	43

Figura 5.14: Radiación media mensual solar de Jaén a distintas inclinaciones

Fuente: Universidad de Jaén y elaboración propia

Como se puede ver en la tabla las mayores radiaciones solares en Jaén se van a dar con la placa a 30 y 35° (Color morado en la suma total). Por lo tanto, cogemos por ejemplo la pendiente de 30° para realizar los cálculos.

Una vez calculada la irradiancia máxima que se puede obtener en la zona de estudio y con una pendiente de 30° vamos a calcular el ángulo de elevación solar y el ángulo acimutal, que serán necesarios para aplicar un factor de corrección, ya que a una pendiente de 30° los rayos del sol no van a caer de forma perpendicular al módulo; por lo tanto tendremos que saber el ángulo acimutal para que una vez que se realicen los cálculos pertinentes se multiplique por la irradiancia máxima y nos dará el recurso solar real que se podrá obtener.

La elevación solar se ha obtenido gracias a la información que nos da la carta solar. Se han recogido los datos de la altura solar de los distintos meses del año a las 12:00 para tener una fijación hacia el sur. La información extraída es la siguiente:

-Mayo y junio:75 Julio:71° Agosto y abril:61° Diciembre:29°

Febrero y octubre: 41° Enero y noviembre:31° Marzo y septiembre:52°

Una vez obtenidas las distintas alturas del sol en los distintos meses se hará una suma total y se divide entre el número de meses del año para poder saber la elevación solar media del año.

$$75 + 75 + 41 + 41 + 71 + 31 + 31 + 61 + 61 + 29 + 52 + 52 = 620$$

$$\frac{620}{12} = 51'6 \quad \text{Ya habríamos obtenido la elevación solar } \alpha = 51'6$$

Una vez hemos obtenido la elevación solar tendremos que calcular el ángulo acimutal. A continuación se mostrará una imagen explicativa de los distintos ángulos que se van a tener si quisiéramos instalar nuestra placa en unas condiciones más óptimas que las actuales:

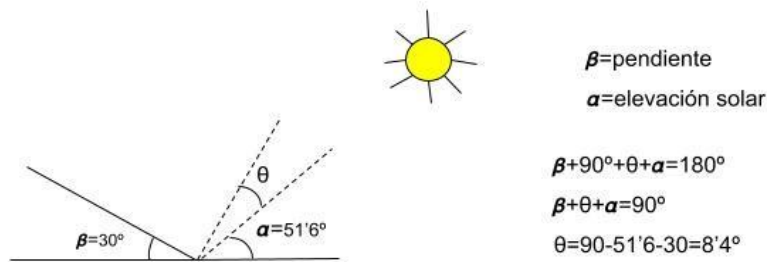


Figura 5.15: Imagen explicativa de la inclinación óptima anual de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura se pueden ver los distintos ángulos. Como se puede observar, el vector normal (perpendicular a la placa) no coincide con la dirección de los rayos del sol, por lo que el ángulo acimutal será >0 y no podremos obtener la irradiancia máxima para esta pendiente de 30° .

Se sabe que $\alpha + \theta + \beta = 90$; tenemos todas las incógnitas menos θ (Ángulo acimutal) por lo que se puede despejar y sale lo siguiente; $\theta = 8'4^\circ$.

El siguiente paso será estimar el recurso solar real que llegará al módulo fotovoltaico. Para ello se realizarán los siguientes pasos:

3. Realizamos la función coseno ($8'4$) pasándolo a radianes
4. Multiplicar lo obtenido por el máximo recurso solar para una pendiente de 30°

En la siguiente foto se mostrará una imagen con el cálculo realizado:

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Irradiancia máxima media mensual	30°	4,1	4,5	5,7	5,6	6,3	6,6	6,9	7	6,6	5,4	4,5	3,2
Irradiancia real		4,06	4,45	5,64	5,54	6,23	6,53	6,83	6,92	6,53	5,34	4,45	3,17
Cos $8'4$	0,98927233												

Figura 5.16: Cálculo de la irradiancia óptima (Posición real)

Fuente: Elaboración propia

La irradiancia real se encuentra azul clarito y esta sería la radiación real que llegaría a la zona de estudio teniendo en cuenta que las placas estuvieran con una pendiente de 30°.

5.2.2 Cálculo de energía generada para una inclinación óptima

A continuación se realizarán los cálculos pertinentes para saber la energía que se genera en los sistemas con esta pendiente:

-En primer lugar calcularemos la energía generada por el sistema 1

La potencia de los módulos del sistema 1 a unas condiciones reales de irradiancia $800 \frac{W}{m^2}$, velocidad del viento 1,5 m/s y a una temperatura ambiente de unos 20°C es de 189 Wp según la fuente (TECHNOSUN, 2012). Una vez tenemos esta información obtendremos la energía generada por el sistema 1, la fórmula es la siguiente:

Energía generada anual= Potencia del módulo (Kw)*Irradiancia real media anual a pendiente de 30°*Rendimiento del módulo*365 días

$$\text{Energía generada anual} = 0'189 \text{ Kw} * 5'47 \frac{\text{Kw} * \text{h}}{\text{m}^2 * \text{día}} * 0'158 * 365 \text{ días} = 59'62 \text{ Kwh}$$

Una vez que tenemos la energía generada por un módulo durante un año, para saber la energía total generada por todos los módulos que componen el sistema 1 se multiplicará por el número de módulos.

$$59'62 \text{ Kwh} * 240 \text{ módulos} = 14308'8 \text{ Kwh}$$

-En segundo lugar calcularemos la energía generada por el sistema 2

La potencia de los módulos del sistema 2 a unas condiciones reales de irradiancia $800 \frac{W}{m^2}$, velocidad del viento 1,5 m/s y a una temperatura ambiente de unos 20°C es de 283 Wp según la fuente (Enertic.ar,2002). Una vez tenemos esta información obtendremos la energía generada por el sistema 2, la fórmula es la siguiente:

Energía generada anual= Potencia del módulo (Kw)*Irradiancia media anual a pendiente de 30°*Rendimiento del módulo*365 días

$$\text{Energía generada anual} = 0'283 \text{ Kw} * 5'47 \frac{\text{Kw} * \text{h}}{\text{m}^2 * \text{día}} * 0'207 * 365 \text{ días} = 116'96 \text{ Kwh}$$

Una vez que tenemos la energía generada por un módulo durante un año, para saber la energía total generada por todos los módulos que componen el sistema 2 se multiplicará por el número de módulos.

$116'96 \text{ Kwh} * 160 \text{ módulos} = 18713'6 \text{ Kwh}$

La producción anual total de los dos sistemas para la pendiente actual de 7° es $14308'8 + 18713'6 = 33022'4 \text{ Kwh}$

En el resultado final se generaría los siguiente:

- Para la pendiente de 7° : $26683'7 \text{ Kw/h}$
- Para las dos pendientes de $12'5$ y 50° : $34773'5 \text{ Kw/h}$
- Para la pendiente de 30° : $33022'4 \text{ Kw/h}$

6.CONCLUSIONES

La iniciativa de este proyecto llamado "UNIVER" se creó en 1995 gracias al rector de la Universidad y no empezó su funcionamiento hasta 2005. Este proyecto genera energía que se inyecta directamente a red ya que en ese momento daban y siguen dando subvenciones bastante importantes. Para no perder esa subvención se realizó la remodelación de este proyecto en 2017 que es la parte que se ha tratado en este trabajo. La pendiente actual de los módulos fotovoltaicos es de 7° , simplemente se ha aprovechado la propia pendiente del techo del aparcamiento para generar electricidad. En este caso esta pendiente favorecería la generación de electricidad en verano ya que el sol se encuentra en una posición más alta y la pendiente de 7° es prácticamente horizontal .

Como la energía se inyecta a la red se quiere obtener la mayor generación de energía, independientemente de la cantidad de energía gastada por la universidad y la época en la que gastarías más. Si estas placas fueran de autoconsumo se podría hablar de la implantación de baterías para acumular la energía y gastarla en la universidad pero como no es el caso este estudio no contiene baterías. Si fuese de autoconsumo habría que pensar en introducir una mayor inclinación en los módulos para obtener un mayor recurso en invierno y primavera que sería cuando la universidad se encuentra en un mayor funcionamiento, como no es el caso; se decidió poner una menor inclinación o aprovechando la propia pendiente del techo a 7° .

Una vez sacado las conclusiones de todo lo anterior tiene sentido que se haya puesto esa pendiente aunque se podría obtener mayor recurso solar para casi todo el año si aumentamos un poco más esa pendiente actual. Las conclusiones obtenidas finalmente en este proyecto es que no se está obteniendo toda la energía que se podría generar ya que no tenemos el ángulo óptimo de las placas. En este caso para aprovechar aún mejor el recurso solar se han obtenido dos formas de hacerlo y son las siguientes:

1. Se ha encontrado que poner dos orientaciones diferentes (como siempre teniendo en cuenta la orientación de las placas hacia el sur) genera más electricidad que actualmente, en concreto unos 8089,3 Kw/h de más (Ver figura 6.1). La primera orientación de las placas se encontrará fija de abril a septiembre sucesivamente con una inclinación de $12'5^{\circ}$, por lo tanto para primavera y verano se necesita una menor inclinación de las placas ya que el sol se encuentra en una posición más alta. La segunda orientación de las placas se encontrará fija de septiembre a marzo sucesivamente con una inclinación de 50° , por lo tanto para otoño e invierno se necesita una mayor inclinación de las placas debido a que el sol se encuentra en una posición más baja. Hay que comentar que este caso es posible y rentable ya que el trabajo de cambiar cada medio año la pendiente de las placas las harían los propios trabajadores de la Universidad de Jaén, si tuviéramos que llamar a una empresa externa seguramente no sería rentable.
2. En el caso de que solo queramos implementar una orientación fija para todo el año habría que corregir la que hay actualmente para obtener una mayor generación de electricidad. Mediante una serie de cálculos hemos obtenido que la mejor orientación fija en la zona de estudio para poder obtener el mayor recurso solar posible sería que los módulos estuvieran inclinados unos 30° .

Como se puede ver en la siguiente gráfica la forma más óptima para aprovechar el mayor recurso solar posible será la primera la incorporación de estos módulos con una pendiente de $12'5^{\circ}$ en los meses de primavera, verano (Desde abril hasta septiembre) y posteriormente cambiarlos a una pendiente de 50° en otoño, invierno (Desde octubre hasta marzo). Esta sería mejor opción aunque se puede ver que con una orientación fija adecuada como es la de 30° para todo el año es también una buena opción y generaría mucho más electricidad que actualmente.

En concreto se genera lo siguiente:

Para la pendiente de 7°:26683'7 Kw/h

Para las dos pendientes de 12'5 y 50°:34773'5 Kw/h

Para la pendiente de 30°:33022'4 Kw/h

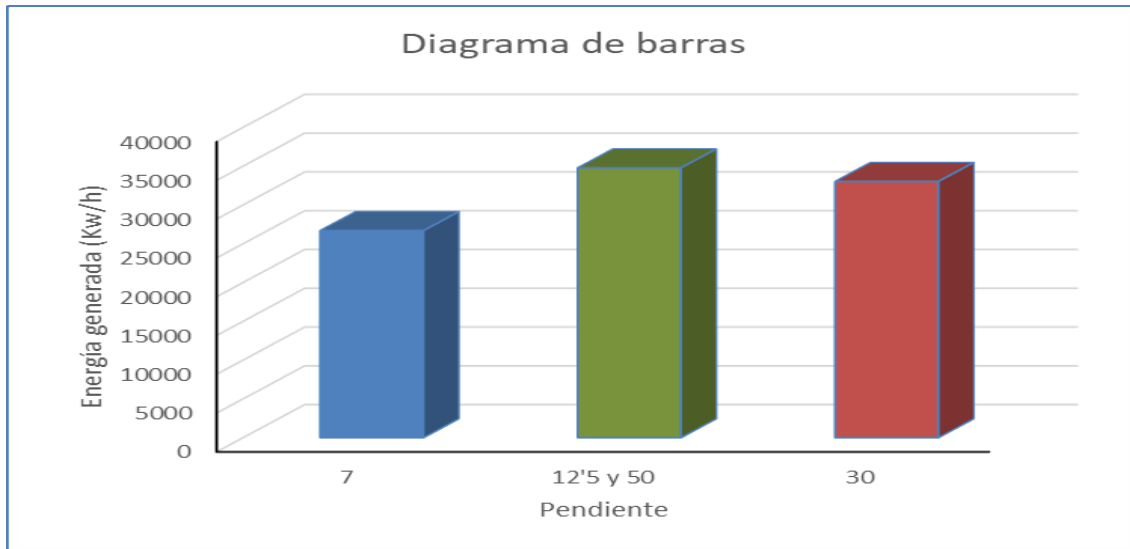


Figura 6.1: Energía generada a diferentes pendientes de los módulos

Fuente: Elaboración propia

Batería virtual

A continuación hablaremos un poco del concepto de batería virtual ya que se está poniendo en práctica de forma muy rápida. Es una técnica más eficiente económicamente para los usuarios que generan electricidad que incluso implementar una batería real.

Este concepto trata de lo siguiente:

Un usuario tiene muchas placas en su casa y genera electricidad, esta electricidad a priori es para autoconsumo, por lo que se gasta al instante para la casa. Puede llegar un momento en que la generación de electricidad sea mayor que el consumo del hogar, por lo que la compañía de electricidad encargada de esta función (como por ejemplo Endesa) utilizará la energía sobrante y en vez de pagarle al cliente el precio del Kw/h lo restará en su factura de la luz. Por lo tanto la compañía cobrará la diferencia entre lo producido por el cliente y su propio consumo.

Esto tiene una ventaja para los pequeños usuarios de generación de electricidad porque anteriormente la energía sobrante se inyectaba a red y te pagaban por el precio del Kw/h pero el precio va a ser muy bajo, por lo que ahora se resta a la factura de la luz que es mucho mayor del precio de electricidad que le van a cobrar.

En este estudio no se utiliza esta técnica ya que la energía se inyecta directamente a red, aunque si alguna vez se quisiera utilizar esta energía generada para el autoconsumo estoy seguro que se utilizará.

Posibles impactos ambientales de las placas fotovoltaicas

No se generaría ningún impacto ya que el aparcamiento y los techos donde irían las placas están contruidos. Lo único que produciría impacto sería la finalización del uso de las propias placas, pero se reciclarán con PV Cycle donde intentan recuperar la mayor cantidad de materiales posibles.

7.BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J. D., Gómez, A., & Lara, J. (n.d.). *Horas de sol al mes*. Radiacion. Retrieved

April 18, 2023, from

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/04proyectos/01divulgacion/Conoce_Jaen/
www/Radiacion.htm#GR%C3%81FICOS%20DISPONIBLES](http://www.ujaen.es/investiga/solar/04proyectos/01divulgacion/Conoce_Jaen/www/Radiacion.htm#GR%C3%81FICOS%20DISPONIBLES)

Aguilar, J. D., Gómez, A., & Lara, J. (n.d.). *Radiación solar*. Radiacion. Retrieved

April 18, 2023, from

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/04proyectos/01divulgacion/Conoce_Jaen/
www/Radiacion.htm#GR%C3%81FICOS%20DISPONIBLES](http://www.ujaen.es/investiga/solar/04proyectos/01divulgacion/Conoce_Jaen/www/Radiacion.htm#GR%C3%81FICOS%20DISPONIBLES)

aireyelectricidad.com. (2021, July 22). *Limitador de sobretensiones - Te mostramos*

las preguntas frecuentes sobre este componente eléctrico. material eléctrico

online en aire y electricidad. Retrieved March 3, 2023, from

https://aireyelectricidad.com/blog/15_limitador-de-sobretensiones.html

areatecnología. (n.d.). *El Interruptor Magnetotérmico. Funcionamiento, Curvas,*

Selectividad. Area Tecnologia. Retrieved March 1, 2023, from

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/magnetotermico.html>

Clima Jaén: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Jaén. (n.d.).

Climate-Data.org. Retrieved April 19, 2023, from

<https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/jaen-1125/>

Colegio oficial de ingenieros Andalucía oriental & Gómez, P. (2021, Mayo 24).

“SUSTITUCIÓN MÓDULOS DAÑADOS EN GENERADOR 2 DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PROYECTO UNIVER” (Vol. 2) [Sustitución de 60 kWp de módulos en generador fotovoltaico 2 situado en los aparcamientos del Campus “Las Lagunillas” de la Universidad de Jaén (Jaén)]. Jaén, Jaén, España.

Colegio oficial de ingenieros industriales Andalucía oriental. (2017, 6 12).

“SUSTITUCIÓN MÓDULOS DAÑADOS EN INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PROYECTO UNIVER” (Vol. 1). Jaén, Jaén, España.

Diodo de derivación de la caja de conexiones fotovoltaicas para la protección del panel solar - Conocimiento - DS New Energy. (2021, February 19). chino

solares Poder sistema, solares tablero Proveedores & Fabricantes - SD

Nuevo Energía. Retrieved April 17, 2023, from

<https://www.dsisolar.com/info/pv-junction-box-s-bypass-diode-for-solar-panel-54221810.html>

Diodos de derivación en célula fotovoltaica | Construcción de celda solar. (n.d.).

Electronica Lugo. Retrieved February 15, 2023, from

<https://electronicalugo.com/diodos-de-derivacion-en-celula-fotovoltaica-construccion-de-celda-solar/>

e Juana Sardón, J. M., De Francisco García, A., Fernández González, J., Santos

García, F., Herrero García, M. Á., & Crespo Martínez, A. (2003). *Energías renovables para el desarrollo* (1st ed.). José María De Juana.

Enertic.ar. (n.d.). *PS-M-0880 D Datasheet_HoneyM_DE08M(II)_EN_2020_D_web*.

ENERTIK. Retrieved March 21, 2023, from

https://enertik.ar/folletos/tsm/folleto_tsm375de08m_ii.pdf

ENERTIK. (n.d.). *PS-M-0880 D Datasheet_HoneyM_DE08M(II)_EN_2020_D_web*.

ENERTIK. Retrieved April 18, 2023, from

https://enertik.ar/folletos/tsm/folleto_tsm375de08m_ii.pdf

García Arbelaez, C., Rodríguez Becerra, M., Mance, H., & Barrera, X. (2015).

Cambio climático: lo que está en juego. FLACSO.

Gonzalez, M., Jurado, E., Aguirre, O., & Jiménez, J. (2003, Julio-Septiembre).

CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL: ORIGEN Y CONSECUENCIAS. *Ciencia UANL*, 6(3), 10.

Grupo IDEA. (2004). *WEB CURSOSOLAR*. IDEA (c) 2005 - Curso de Energía Solar

Fotovoltaica -. Retrieved April 18, 2023, from

<http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/index.htm>

Grupo IDEA (Investigación y Desarrollo de Energía Solar y Automática) Universidad

de Jaén. (2006, Enero). Un sistema fotovoltaico conectado a la red de 200 kWp. *Proyecto Univer (UNiversidad VERde)*, (370), 4.

https://www.researchgate.net/profile/Catalina_Casas/publication/232067281_UN_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_CONECTADO_A_LA_RED_DE_200KWP/links/0912f50767ac591acb000000.pdf

HelioEsfera, Rosado, J., & Rosado, D. (2019, October 10). *Coordenadas y carta*

solar. HelioEsfera. Retrieved April 18, 2023, from

<https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/>

IPCC, Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos

sobre el Cambio Climático, Stocker, T., Plattner, G.-K., Tignor, M., & Allen, S.

(2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas*. Serge Planton.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

La latitud y la longitud. (n.d.).

<https://vcastello.files.wordpress.com/2014/09/representacion-de-la-tierra.pdf>

Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2017, Febrero 17). *Orden*

ETU/130/2017 [se actualizan los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, a efectos de su aplicación al semiperiodo reg]. España.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-1793>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *Orden IET/1045 de 2014* [“Es una tecnología fija .Contiene una variación de potencia $5\text{Kw} < P < 100\text{Kw}$ y su].

España. <https://www.boe.es/boe/dias/2014/06/20/pdfs/BOE-A-2014-6495.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014, Junio 6). *Decreto 413 de 2014* [Se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, cogeneración y residuos.]. España.

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-6123>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014, Julio 3). *Orden IET/1168/2014 de 3 de Julio* [Se inscribirán automáticamente en el registro de régimen retributivo específico, regulado en el título V del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable]. España.

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-7113

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2007, Mayo 27). *Decreto 661 de 2007* [Se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial]. España. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-10556>

Potenad. (n.d.). *Aislamiento Galvánico - Transformadores*. Potenad. Retrieved April 18, 2023, from <https://www.potenad.com/noticias/preguntas-tecnicas/aislamiento-galvanico>

Proyecto ALTENER. (2001, Septiembre). *"Iniciativas Prioritarias del Plan de Desarrollo de las Energías Renovables en España* (IDAE ed.). Madrid, Madrid, España. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5074_IniciativasPrioritariasPFER_A2001_A_0a5924d3.pdf

Proyecto BioCambio, Gallardo, B., & Capdevila, L. (2018, Julio). *Cambio Climático y Especies Exóticas Invasoras en la Red de Parques Nacionales: diagnóstico, adaptación y gobernanza*.

PV CYCLE. (2012). *El sistema de recogida y reciclaje de paneles fotovoltaicos en Europa*. <https://www.technosun.com/descargas/LDK-folleto-PVCYCLE-ES.pdf>

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. (n.d.). *Home*. Demanda de energía eléctrica en tiempo real. Retrieved April 22, 2023, from <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/nacional/acumulada/2023-04-21>

Rodríguez, L. L. (2004). *PROYECTO UNIVER -JAÉN-*. PROYECTO UNIVER -JAÉN-. Retrieved April 18, 2023, from http://www.ujaen.es/investiga/solar/04proyectos/02univer/00_presentacion/presenta.htm

Sáncho, J. M., Riesgo, J., Jiménez, C., Sánchez, M. D. C., Montoro, J., & López, M. (n.d.). *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima*

de EUMETSAT.

https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf

TECHNOSUN. (2012). *Paneles solares REC PE Peak Energy Series - Modelo REC 250PE Q2*. TECHNO SUN Solar Energy Wholesaler. Retrieved February 20, 2023, from

<https://www.technosun.com/es/productos/panel-solar-REC-250PE-Q2.php>

Tendencias de población en el mundo, datos y gráficos. (2022, November 15).

EpData. Retrieved April 17, 2023, from

<https://www.epdata.es/datos/tendencias-poblacion-mundo-datos-graficos/411>

Universidad Veracruzana. (n.d.). *ESTACIONES DEL AÑO Y TEMPORADAS*

CLIMÁTICAS – Dirección de Comunicación de la Ciencia. Universidad

Veracruzana. Retrieved April 22, 2023, from

<https://www.uv.mx/cienciauv/blog/estacionesdelanoytemporadasclimaticas/>