



Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

Trabajo de Fin de Grado

AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA A PARTIR DEL DISEÑO E INSTALACIÓN DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

Asier Martín Abad

Curso Académico 2023/2024

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Índice de figuras | 3 |
| Índice de tablas | 4 |
| 1. Resumen..... | 5 |
| 2. Introducción..... | 7 |
| 2.1 EL CAMBIO CLIMATICO EN LA SOCIEDAD..... | 7 |
| 2.2 ENERGÍAS RENOVABLES..... | 9 |
| 2.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA..... | 12 |
| 3. Objetivos..... | 15 |
| 4. Solución técnica / Resultados..... | 16 |
| 4.1 EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN..... | 16 |
| 4.2 ANALISIS GENERAL DE LOS CONSUMOS DE LA VIVIENDA ACTUALES..... | 17 |
| 4.3 ANALISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR Y CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA..... | 22 |
| 4.4 CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA..... | 29 |
| 4.5 ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA A PARTIR DE PVGIS..... | 32 |
| 4.6 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA..... | 36 |
| 4.6.1 PANELES SOLARES..... | 36 |
| 4.6.2 INVERSOR..... | 37 |
| 4.6.3 CABLEADO..... | 38 |
| 4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO Y AHORRO OBTENIDO (TRS)..... | 43 |
| 4.8 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ | 45 |
| 5. Conclusiones..... | 47 |

| | |
|----------------------|----|
| 6. Bibliografía..... | 48 |
|----------------------|----|

| | |
|---------------|----|
| Apéndice..... | 50 |
|---------------|----|

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Gráfico de la potencia energética generada por las diferentes fuentes de energía renovables a nivel mundial en 2022 | 11 |
| Figura 2. Energía solar fotovoltaica generada en España de 2010 a 2022..... | 12 |
| Figura 3. Generación de energía solar fotovoltaica en España en los últimos 5 años | 13 |
| Figura 4. Generación de energía renovable por tecnologías en España en los últimos 5 años...14 | |
| Figura 5. a) Distrito del emplazamiento | 16 |
| Figura 5. b) Barrio del emplazamiento | 16 |
| Figura 6. Consumo eléctrico de una vivienda por usos..... | 18 |
| Figura 7. Consumo eléctrico detallado por electrodomésticos | 19 |
| Figura 8. Datos horarios de la irradiancia a día 5 de marzo en Arganzuela (Madrid)..... | 23 |
| Figura 9. Datos horarios de la irradiancia a día 6 de marzo en Arganzuela (Madrid)..... | 24 |
| Figura 10. Media diaria de la radiación global medida en un año (2022/2023) | 25 |
| Figura 11. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en otoño de 2023 | 27 |
| Figura 12. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en otoño de 2023 | 27 |
| Figura 13. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en otoño de 2023 | 28 |
| Figura 14. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en otoño de 2023 | 28 |
| Figura 15. Elementos que componen un sistema fotovoltaico | 30 |
| Figura 16. Estructura coplanar sobre tejado | 30 |
| Figura 17. Paneles en posición libre sobre tejado | 30 |
| Figura 18. Irradiación captada mensualmente a partir de la instalación fotovoltaica | 33 |
| Figura 19. Consumo eléctrico en la vivienda frente a la producción obtenida mensualmente a partir de la instalación fotovoltaica | 35 |
| Figura 20. Características técnicas y prestaciones de la placa solar | 37 |
| Figura 21. Inversor Huawei SUN 2000 | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 22. Curva de eficiencia del inversor | 38 |
| Figura 23. Tabla de las secciones comerciales del cable de cobre | 41 |
| Figura 24. Métodos para las instalaciones del cableado..... | 42 |
| Figura 25. Ficha técnica del inversor Huawei SUN2000 con sus especificaciones técnicas... | 51 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Análisis del consumo y gasto eléctrico de la vivienda durante 2023 | 20 |
| Tabla 2. Valores de las distintas irradiancias solares globales medidas en 10 kJ/m ² en 2023... | 25 |
| Tabla 3. Valores de las distintas irradiancias solares globales halladas en kWh/m ² en 2023... | 25 |
| Tabla 4. Valores obtenidos a partir de PVGIS..... | 34 |
| Tabla 5. Coste y cantidad de equipos necesarios en la instalación fotovoltaica..... | 43 |
| Tabla 6. Método de los porcentajes para el total de la instalación fotovoltaica..... | 44 |
| Tabla 7. Desglose del cálculo del ahorro mensual a partir de la energía excedente de la instalación..... | 45 |
| Tabla 8. Valores obtenidos de reducción de emisiones de CO ₂ | 46 |

I. Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado se desarrolla debido a que hoy en día uno de los problemas más grandes que tiene la sociedad en frente es el cambio climático, el cual sigue avanzando y si no se hace nada puede que sea un final cercano el que se tenga delante. Es por ello, por lo que hay que implementar el desarrollo de tecnologías renovables y más en un país como España en el cual por la orografía y por la localización en que se encuentra es un gran país para desarrollar fuentes de energía renovables. Una de las más importantes será la tecnología solar, y dentro de esta, dicho TFG se ha centrado en el desarrollo de la solar fotovoltaica de autoconsumo para el autoabastecimiento eléctrico de una vivienda unifamiliar situada en el barrio de delicias, Madrid.

Este proyecto se ha podido realizar mediante una secuencia de pasos. El cual comienza por hacer un estudio de los valores de consumo eléctrico a través de las facturas eléctricas de la vivienda, tanto en años anteriores, como en el año 2023 más concretamente, sobre el cual se centra el estudio. A final del año se ha obtenido que la vivienda unifamiliar tiene un consumo anual de 3.940 kWh, por lo que se realizará un pago total de 865,72€. Una vez conocido ese valor y ayudados de un programa de simulación, PVGIS, se pudo realizar una simulación mediante la cual gracias a una capacidad instalada de 2,76 kWp, repartidas en 6 módulos solares de 460W cada uno de ellos, y una vez añadidos al simulador una serie de parámetros como el ángulo de inclinación de los paneles, localización... se pudo concluir que se obtendría un valor de producción anual de energía fotovoltaica de 4.465,72 kWh, lo cual sería necesario para autoabastecer la vivienda. A excepción, de los meses de enero, julio y agosto, durante los cuales se obtiene que el consumo mensual de la vivienda será superior que esa producción mensual obtenida y, por tanto, será necesario durante esos 3 meses comprar esa energía de la red al precio del PVPC, precio que varía en función del día y la hora, pero que será en torno a $0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$.

Una vez se realizan dichos cálculos, se procede a la selección del tipo y cantidad de paneles necesarios, inversores y resto de elementos que conforman la instalación fotovoltaica. De este modo una vez calculados todos los elementos técnicos necesarios, se realiza el análisis económico de la instalación, así como un estudio de la rentabilidad aplicando la ecuación de la tasa de retorno simple (TRS). Para el cálculo de la inversión total que supone dicha instalación, se ha empleado el método de Peters y Timmerhaus, también conocido como método de los porcentajes, el cual tendrá en cuenta tanto los costes directos como pueden ser el equipo, materiales, construcción... lo cual sumará un coste de 8.265,68€. Mientras los costes indirectos como son interconexiones, puesta en marcha... sumarán un total de 2.107,75€, lo cual hará un coste total de inversión de 10.373,42€. Por lo que para hallar la rentabilidad del proceso se divide ese valor obtenido entre el ahorro anual que será la suma de esos 865,72€ que era el gasto anual eléctrico de la vivienda, más los 47,04€ que es la suma del dinero que se conseguirá con la venta de los excedentes de la energía producida por la instalación fotovoltaica en

esos 9 meses que sí se autoabastece a partir de la energía solar obtenida. Por tanto, se obtiene que sí será un proceso rentable, y el valor obtenido de la TRS será de 11,36 años.

Para concluir, se finalizará con un pequeño apartado de las reducciones de emisiones de CO₂ que se han obtenido al desarrollar esta tecnología de solar fotovoltaica de autoconsumo obteniéndose que anualmente se evitará la emisión de 3.617,23 tCO₂.

Finalmente, se puede concluir que es necesario invertir en sistemas de este tipo, ya que es una fuente de energía renovable, sencilla, limpia, rentable y muy importante para proteger al planeta frente al cambio climático.

2. Introducción

2.1 EL CAMBIO CLIMATICO EN LA SOCIEDAD

Hoy en día se vive en primer plano los efectos del cambio climático. Un cambio climático el cual afecta a todas las regiones del mundo. Este cambio está provocando variaciones que hace unos años atrás eran impensables y las cuales se están volviendo una amenaza muy grave.

El cambio climático se define como la alteración del clima y las temperaturas de la Tierra que afecta a los ecosistemas y origina cambios que directa o indirectamente son producidos por la actividad humana. El exceso de emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), que se producen principalmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación masiva, está acelerando el calentamiento global a un ritmo alarmante. Este problema, causado en gran medida por la dependencia energética de los combustibles fósiles y los patrones insostenibles de consumo, está teniendo consecuencias cada vez más graves y devastadoras en todo el planeta. [1]

Los impactos incluyen olas de calor más intensas y frecuentes, sequías más prolongadas, lluvias torrenciales catastróficas, derretimiento de los casquetes polares y la subida del nivel del mar. Los países en desarrollo que menos han contribuido a esta crisis son algunos de los más afectados, poniendo en peligro vidas y medios de subsistencia. Si no se reducen drásticamente las emisiones en esta década, el cambio climático inducido por el hombre amenazará la estabilidad de los ecosistemas y sociedades en todo el mundo.

Los cambios recientes en el clima, como el aumento en la temperatura media de la atmósfera, hacen necesarias acciones globales para limitar a escala mundial la emisión de gases de efecto invernadero (CO_2 , metano, etc.), para evitar una subida de temperaturas globales de hasta 4°C para 2100 que será irreversible.

Aunque bien es cierto que el cambio climático no es sinónimo de calentamiento global, ya que son diversas las causas que lo propician y múltiples las consecuencias que da lugar, frecuentemente está asociado a dicho fenómeno de incremento de la temperatura promedio en la atmósfera y en los océanos. Por otro lado, tampoco es correcto confundir calentamiento global con cambio climático. Y es que el primero se refiere al incremento de la temperatura media de la Tierra, originado éste por el llamado efecto invernadero, esto es, aquel que brota como resultado de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Así, tanto el calentamiento global como el efecto invernadero no son sino algunos de los factores que influyen en el cambio climático.

El calentamiento global es el resultado de la energía solar absorbida por la Tierra. Esta a su vez se calienta y emite calor hacia la atmósfera en forma de rayos infrarrojos. Estos no consiguen salir de la atmósfera y vuelven a ser emitidos a la superficie terrestre para acabar recalentándola, lo que se conoce

como el efecto invernadero. Entonces, si el efecto invernadero es un fenómeno natural y necesario para la Tierra, ¿por qué se habla de cambio climático como consecuencia de este efecto invernadero? Debido a que ha habido un aumento de este efecto invernadero en los últimos años. Por acción de su actividad, el ser humano ha sido el causante de que la atmósfera haya recibido más gases y mayor cantidad de partículas, favoreciendo el aumento de la temperatura por encima de los niveles naturales, que como se ha explicado, origina el calentamiento global. Se postula que, si la temperatura promedio global llega a aumentar más de 4°C con respecto a las temperaturas preindustriales, los sistemas naturales ya no podrán adaptarse en muchas partes del mundo y por ende no podrán proveer para mantener a la población como hasta la fecha, debido a que se producirá un agotamiento de los recursos naturales.

No obstante, lo que aún genera controversia es la fuente y razón de lo anterior, pues pese a que existen diferentes teorías, la mayoría de la comunidad científica ha señalado que hay más de un 90% de certeza de que el aumento se debe al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero por las actividades humanas (deforestación y quemas de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, entre otras), cuyas conclusiones son compartidas por las academias de ciencia de la mayoría de los países industrializados.

Principalmente hay dos factores que son los más relevantes a la hora de hablar del reciente aumento del efecto invernadero. Han sido los cambios en la actividad volcánica y los cambios en la radiación solar, que han contribuido en aumentar diez veces más la adición de gases de efecto invernadero desde la Revolución Industrial. Mientras que, por otro lado, el desarrollo de la ganadería produce una cantidad de metano durante la digestión. La tala de selvas y deforestación de árboles en todo el mundo han provocado se reduzca con ello una de sus funciones principales como es la de absorber el CO₂ del ambiente, por ende, ese CO₂ que no es captado y almacenado por dichos árboles, será liberado a la atmósfera y así continuará aumentando el efecto invernadero. Es de gran rigor hacer hincapié en que esta deforestación y degradación forestal es una de las principales causas provocadas por el hombre, debido a que supone el 25% del total de los gases de efecto invernadero de todo el planeta.

Como se viene diciendo, entre las causas del cambio climático se menciona la influencia del ser humano. Éste es la responsable de una gran parte de los cambios drásticos que se están dando en la atmósfera terrestre. En concreto el aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera en los últimos 650.000 años, particularmente desde la Revolución Industrial como ya se ha mencionado.

En cuanto al clima es influenciado por los gases de efecto invernadero y por otros factores como los aerosoles, que actúan alterando la radiación solar entrante y la radiación solar saliente, las cuales tienen una importancia vital, debido a que forman parte del equilibrio energético de la Tierra. Por otro lado, los gases fluorados (derivados de los anteriores), los cuales son sustancias dañinas que se concentran en la atmósfera y afectan a la capa de ozono provocando un impacto directo en la salud medioambiental, causan un efecto de calentamiento tan potente que es 23.000 veces superior al producido por el CO₂.

Sin embargo, son emitidos en proporciones menores y la legislación de la UE prevé su eliminación progresiva.

Cabe destacar que la mayor contribución de la acción humana proviene, como se ha mencionado anteriormente, de la combustión de combustibles fósiles, algunos como carbón, gas y petróleo, que liberan a la atmósfera dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), etc. Esta adición del uso de los combustibles fósiles, su quema sin freno y de manera exponencial, han hecho que hoy en día se pueda decir que se ha llegado a una situación crítica y sobre la que hay que actuar rápida y eficazmente. Es por ello por lo que, en los últimos años, muchas empresas y algunos sectores industriales están comenzando a realizar medidas recortadoras de gases de efecto invernadero, tanto por buscar una mejora ambiental y ayudar a frenar el cambio climático, como para buscar un ahorro económico, y así mejorar su competitividad y su reputación corporativa.

Cada vez son más las empresas y organizaciones que se suman en la lucha contra el cambio climático y que ponen medidas para reducir emisiones. Como ejemplo está la ONG española de Manos Unidas, organización que ha sido capaz de reducir el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero en base a instalar nuevos métodos con tecnologías respetuosas para el medio ambiente y con energías renovables.

Gracias a estos avances, los gobiernos de todo el mundo están empezando a realizar acciones contra este cambio climático a nivel internacional utilizando energías renovables, tanto por su eficiencia energética como su ahorro de dinero a largo plazo para el contribuyente, para hacer posible un futuro más sostenible.

2.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables, de las que se va a hablar, son un tipo de energía que está ganando mucha fuerza en los últimos años debido a que proceden de diferentes fuentes naturales. Como su propio nombre indica, se renuevan continuamente, ya que se reponen con mayor rapidez de lo que se consumen ya que se basan en la utilización de recursos naturales inagotables, como pueden ser la energía solar, hidráulica, eólica... caracterizadas también por su abundancia y que se pueden encontrar en cualquier entorno natural. Con el añadido de, como se ha dicho anteriormente, todas estas tienen la gran ventaja de producir muchas menos emisiones dañinas a la atmósfera, y, por tanto, juegan un papel fundamental en la transición energética, y contribuyen en mayor medida a un futuro más limpio y sostenible que las generadas a partir de combustibles fósiles como el carbón, el gas o el petróleo. [2]

Algunas de las energías renovables más implementadas en la sociedad son las siguientes:

- Energía hidráulica: es aquella que aprovecha la energía del movimiento del agua al elevarse o descender desde zonas pronunciadamente altas. Normalmente estas se obtienen de dos lugares:

- Los embalses. En los cuales se obtiene energía a partir del agua almacenada y estancada de las plantas hidroeléctricas generadas, llegando a producir, a parte de la energía que se indica, agua potable, agua para regadíos, un control ante inundaciones y sequías y servicios de navegación.
- Los ríos. En los cuales sus plantas hidroeléctricas fluviales utilizan la energía que se produce gracias al flujo de agua generado al caer sobre las aspas de la turbina y que la hace girar cuando se elevan las compuertas que la sostienen, y así, conectada con un generador eléctrico que permite que se dé el fenómeno de la electricidad.

En la actualidad, esta fuente de energía es de las más rentables y la que mayor potencia aporta a nivel mundial (dentro de las renovables), pero al mismo tiempo, de las más influenciadas por el cambio climático o incluso por los cambios en los ecosistemas ya que alteran los patrones de precipitaciones generando sequías. Además, otro aspecto para tener en cuenta dentro de esta fuente de energía son sus infraestructuras, ya que abarcan mucho espacio en los ecosistemas y pueden llegar a generar aspectos negativos y, por ello, lo que habría que potenciar es esta misma fuente, pero a pequeña escala para su mayor respeto con el medioambiente.

- Energía eólica: es aquella que aprovecha el movimiento del aire, es decir, su energía cinética y gracias al uso de grandes turbinas o aerogeneradores, los cuales han ido evolucionando para ser más eficientes y sacar el máximo rendimiento posible, para finalmente acabar obteniendo electricidad. Un método de obtención que se ha implementado mucho en los últimos años es el uso de turbinas eólicas sobre la superficie acuática, ya sea en alta mar o en aguas dulces. Es una forma potente de obtención de energía a partir de turbinas más altas y con un radio de los rotores mayores, lo que permite que aumente la generación de energía de forma proporcional.

En la actualidad es la tercera fuente de energía que mayor potencia aporta a nivel mundial. El potencial técnico mundial respecto a la energía eólica supera la producción global de energía eléctrica, debido a que se ha implementado en muchos lugares del mundo y en muchos de ellos se dan velocidades de los vientos muy fuertes lo que ayuda a producir más energía.

- Bioenergía: es aquella energía que procede de la transformación de la biomasa, es decir, material orgánico, como madera, estiércol, el carbón... que puede aprovecharse para generar calor, electricidad y combustibles. La mayor parte de la biomasa es utilizada para zonas rurales, en las cuales sirve para aportar calor en las viviendas, aportar luz, para cocinar, etc.

Esta bioenergía tiene un potencial enorme, debido a que permite utilizar una gran variedad de tipos de residuos orgánicos para convertirlos en energía de forma rentable y sostenible. Con el añadido de que tiene gran peso en la lucha para la transición energética, debido a que es un tipo de energía que consigue pocas emisiones de carbono a la atmósfera, prácticamente nulas. Además de contribuir a la economía circular por el hecho de la reutilización de los recursos.

Es la energía renovable con mayor crecimiento en los últimos años, hasta un 30% desde 2018 y, de cara al futuro, es una de las opciones más prometedoras para buscar un sustituto de los combustibles fósiles.

- **Energía solar:** es la que más abunda, y la segunda que mayor potencia genera a nivel mundial. Es aquella que se puede obtener a partir de la radiación emitida por el sol. Cabe destacar que la velocidad a la que la Tierra intercepta esta energía solar es aproximadamente 10.000 veces superior a la velocidad con la que la sociedad consume dicha energía.

Dicha energía solar es muy versátil a la hora de obtener beneficios de ella, debido a que puede usarse como tecnología para la producción de calor, refrigeración, luz natural, electricidad, y además de combustibles para numerosas aplicaciones. Las tecnologías solares tienen más de una opción para su aprovechamiento. Por ejemplo, se puede usar convirtiendo la radiación del sol en energía térmica, a partir de colectores o paneles solares, lo que se llama sistema fototérmico. O, por otro lado, también está la opción de convertir esa luz solar en electricidad, a partir de paneles o placas fotovoltaicas, que es el llamado sistema fotovoltaico, sobre el cual se va a centrar el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado.

Como conclusión y para poder apreciar lo que se ha explicado de una forma más representativa, a continuación, se muestra en la Figura 1 un gráfico de la potencia energética generada por cada una de las fuentes de energías renovables a nivel mundial en el año 2022.

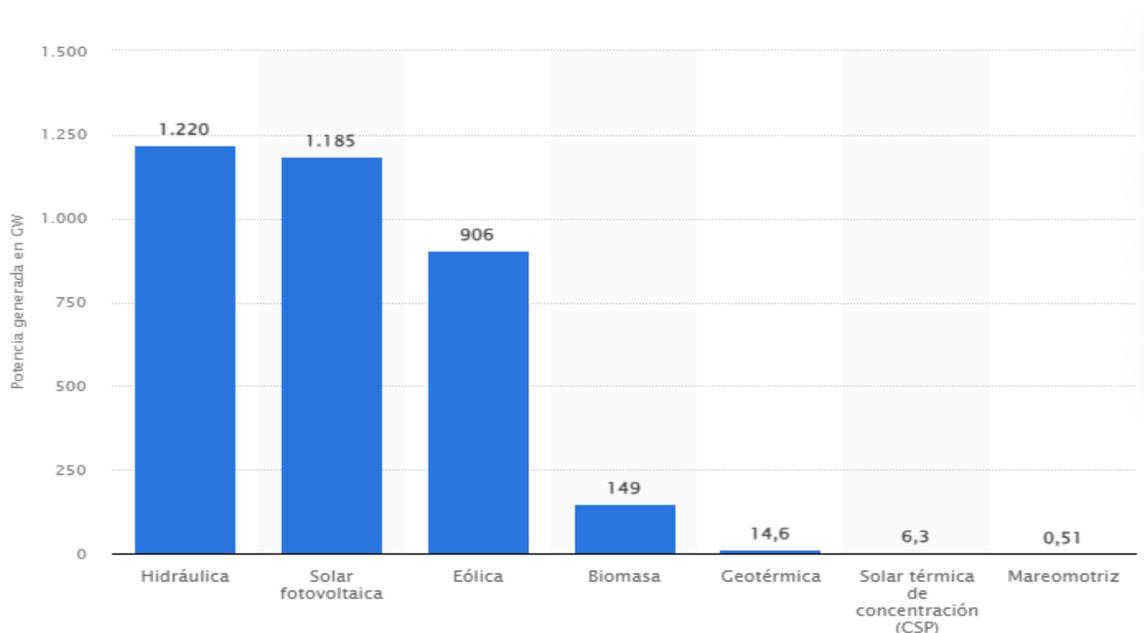


Figura 1. Potencia energética generada por las diferentes fuentes de energía renovables a nivel mundial en 2022. [3]

2.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica como se ha explicado con anterioridad es la que se obtiene a partir del aprovechamiento de la luz solar mediante unos paneles o placas fotovoltaicas a partir de las cuales se obtiene electricidad, gracias a los inversores que transforman la corriente continua en corriente alterna. Cada uno de estos paneles solares se basan principalmente en la célula solar fotovoltaica, la cual transforma directamente la energía solar en eléctrica utilizando el efecto fotoeléctrico. El funcionamiento que lleva a cabo cada una de las células fotovoltaicas se resume en la absorción de una partícula de luz (el fotón) por la estructura. Dicho fotón, al entrar en contacto con la capa p, libera un electrón, que se transportará hacia el circuito para comenzar a dar vida a la energía eléctrica. Cada célula, se conecta a las demás células del módulo fotovoltaico a través de unas tiras metálicas que forman los circuitos necesarios en serie y en paralelo. [4]

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable que no tiene emisiones, es sencilla y ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años, en parte con la llegada de las comunidades solares, las cuales son una multitud de tejados que se convierten en generadores de energía solar comunitaria de la que se abastece a un gran grupo de personas, y en gran medida también, gracias al ahorro energético que suponen las nuevas instalaciones de autoconsumo solar, en la que se centra este TFG y, que posteriormente, se desarrollará con mayor detalle. Este autoconsumo solar, se basa en la autogeneración de electricidad mediante la instalación de cualquier tipo de generadores eléctricos basados en fuentes de energía renovable. La Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, en su artículo 9, define el autoconsumo eléctrico como “el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación de próximas a las de consumo y asociadas a los consumidores”. [5]

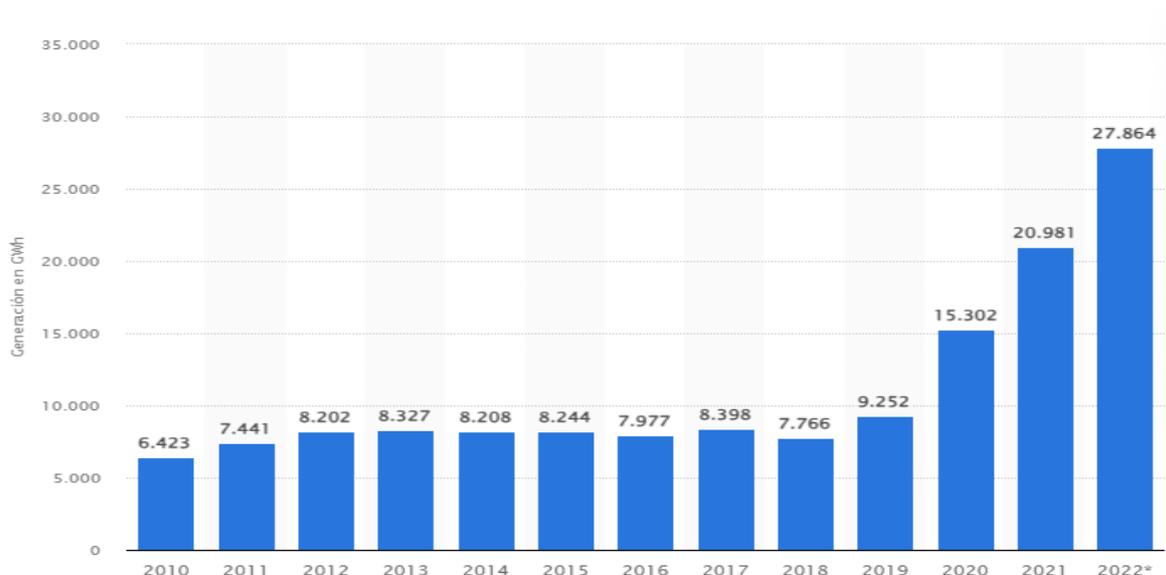


Figura 2. Energía solar fotovoltaica generada en España de 2010 a 2022. [3]

En este sector se ha visto un crecimiento exponencial en los últimos años (Figura 2) como se ha dicho con anterioridad, pero el verdadero “boom” ha sido en los últimos 5 años. En gran medida se ha visto beneficiado este sector debido a que en la última década se ha producido un abaratamiento de los costes de fabricación de los paneles solares haciendo que sean más asequibles para el consumidor y por tanto que mucha gente apueste por esta fuente de energía. Se ha convertido en la forma más económica de producir electricidad. Los paneles solares tienen una media de vida útil alrededor de los 30 años, y hay gran variedad de paneles que se adaptan en función de la potencia que se vaya a necesitar, etc. También se ha visto beneficiado este sector a partir del año 2019, cuando se eliminó el llamado “impuesto al sol”, el cual obligaba a la gente que instalaba placas solares a pagar un impuesto al Estado por hacer ese tipo de instalación. Desde entonces los equipos de autoconsumo aumentaron en mayor medida y se prevé que siga el crecimiento exponencial.

Por otro lado, cabe destacar que también se ha aumentado el desarrollo de esta tecnología renovable, debido a que ha habido ayudas desde la Unión Europea para promover las energías renovables y para continuar con la lucha contra la dependencia de combustibles fósiles. Además, se han realizado subvenciones de placas solares del programa Next Generation, el cual fue una de las principales iniciativas para el fomento de esta solar fotovoltaica en España. Este programa de ayuda para el autoconsumo llegó a su fin en diciembre de 2023, pero aún sigue estando activa para los miles de posibles beneficiarios que la pidieron y siguen a la espera de recibir su cobro. Son ayudas financiadas con fondos europeos de recuperación y constaba de seis subprogramas según el sector y la tecnología a desarrollar. Por ejemplo, a particulares que instalasen placas solares se les podía dar hasta 1.110€/kWp. [6]

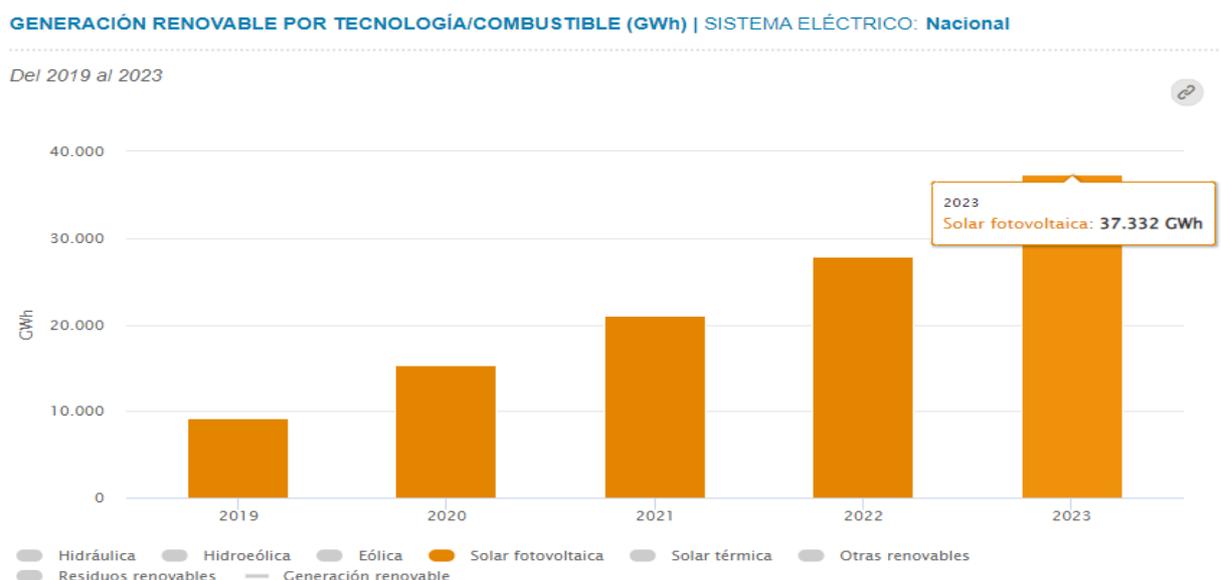


Figura 3. Generación de energía solar fotovoltaica en España en los últimos 5 años. [7]

Del 2019 al 2023

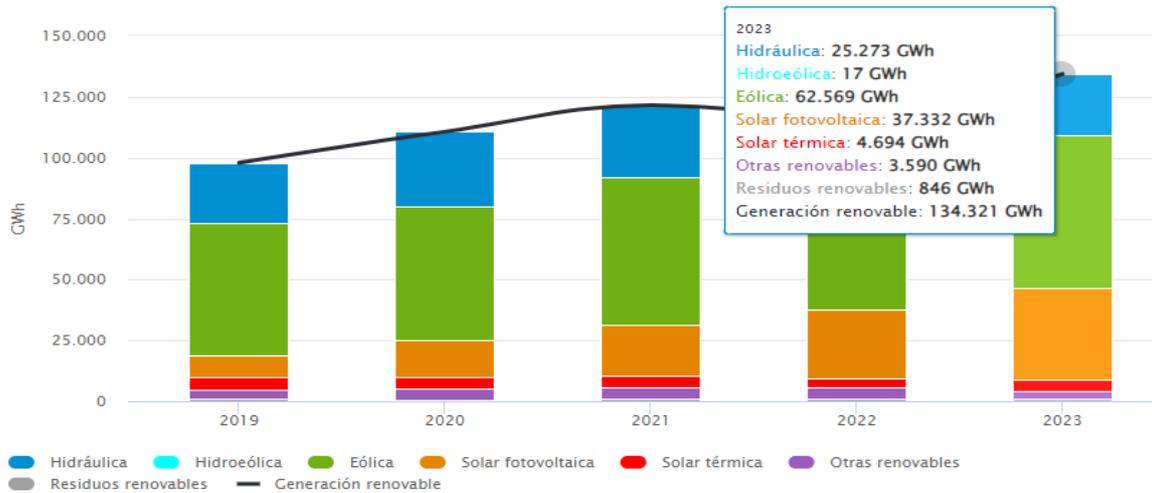


Figura 4. Generación de energía renovable por tecnologías en España en los últimos 5 años. [7]

Observando la Figura 3 se puede apreciar el gran incremento de esta energía solar fotovoltaica en los últimos 5 años a nivel nacional. Por otra parte, como se puede ver en la Figura 4, se sigue dentro de un periodo de crecimiento ya que en el año 2022 se generaron 27.906 GWh de energía a través de la solar fotovoltaica mientras que en 2023 se produjo un aumento de 9.426 GWh, llegando así a los 37.332 GWh. Además, ha pasado de representar el 23,9% de la generación total de energías renovables en España en el año 2022 a representar en 2023 el 27,8% del total de las renovables, lo cual es un dato muy esperanzador.

3. Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es hacer el estudio tanto técnico como económico de una instalación fotovoltaica en una vivienda particular, perteneciente a un bloque de edificios de una urbanización del barrio de Delicias (Madrid), para el autoabastecimiento eléctrico a partir de dicha instalación.

Para ello se establecen una serie de objetivos secundarios como son:

- Análisis de la zona: radiación solar y climatología.
- Evaluación de los consumos eléctricos de la vivienda lo que permitirá determinar la potencia necesaria para la instalación.
- Diseño de la instalación: se utilizará PVGIS para hacer la simulación de la instalación. También se determinará el número de paneles necesarios en función del modelo seleccionado, tipo de inversor, cableado, etc.
- Evaluación económica del proyecto: se determinará la inversión de la instalación, así como su rentabilidad a partir de la tasa de retorno simple.
- Cálculo de las emisiones de CO₂ ahorradas: una de las ventajas de las energías renovables es el ahorro de emisiones de gases contaminantes, de manera que es importante determinar cuál es dicho ahorro gracias al autoabastecimiento mediante la instalación fotovoltaica.

Con la consecución de todos estos objetivos se podrá determinar la posibilidad de autoabastecerse eléctricamente gracias a un desarrollo más sostenible y limpio, mediante el uso de una de las tecnologías renovables más implementadas en España en los últimos años como es la solar fotovoltaica.

4. Solución técnica / Resultados

4.1 EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Como se ha indicado anteriormente, la implantación fotovoltaica se hará como ejemplo en la vivienda actual donde resido. Ésta se encuentra ubicada en la calle del Oriana, número 19, en el distrito de Arganzuela, barrio Delicias y con el código postal de 28045 (Madrid) y se terminó su construcción para su respectiva venta en el año 2000. Este emplazamiento tiene una latitud de $40^{\circ}23'45''N$ y una altitud sobre el nivel del mar de 596 metros.

Seguidamente se puede ver en la Figura 5 a) y b) la distribución y ubicación de la zona, extraída de los planos regulados por el Área SER (Servicio de Estacionamiento Regulado) de la comunidad de Madrid.

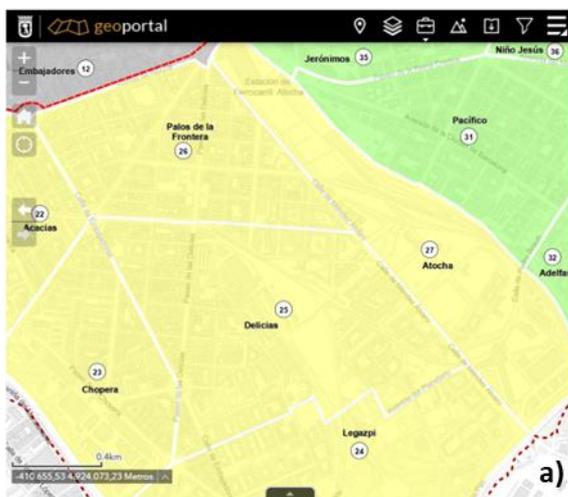


Figura 5 a). Distrito del emplazamiento.

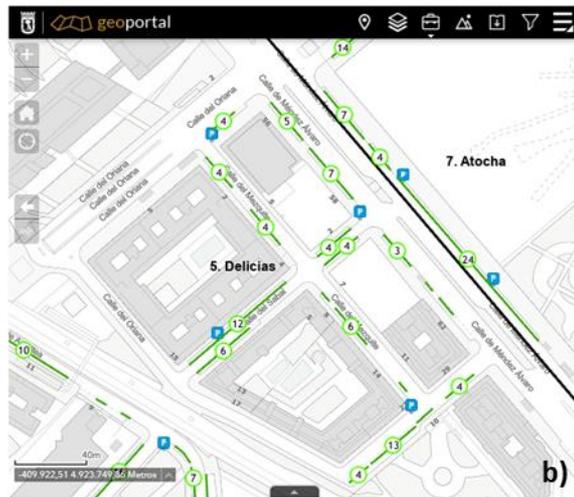


Figura 5 b). Barrio del emplazamiento [8].

Se trata de una urbanización compuesta por 7 portales, cada uno de ellos consta de 7 plantas, entre los que puede haber 2, 3, 4 o hasta 5 letras por portal, por lo tanto, cuenta con un total de 132 viviendas a sostener con la supuesta implantación fotovoltaica que ha de dar y generar la electricidad a todas ellas. Además, esta urbanización cuenta con un garaje de 2 plantas, trasteros correspondientes a cada bloque de viviendas, piscina y pista de pádel para los propietarios de dicha urbanización. Cabe destacar que hay que tener en cuenta todas las zonas comunes comentadas, ya que también habría un que invertir un porcentaje de la electricidad conseguida con la instalación para abastecerlas.

Cada vivienda cuenta con una superficie sobre plano de entre 80-100 metros cuadrados, y por lo que se sabe, desde que se construyó, no se ha modificado la forma de climatización ni se han incorporado mecanismos para el autoconsumo, además de que tampoco ha habido ninguna integración de aislamiento térmico en la fachada, conservando así el ladrillo visto y los ventanales originales.

Dicho esto, para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, y con el objetivo de hacerlo más concreto, se va a realizar la investigación de solo una de esas viviendas particulares para que los datos sean más concisos y poder adquirir resultados más certeros. Para ello se van a utilizar los datos de la

compañía Naturgy, con la que se ha contratado la electricidad en el domicilio sobre el cual se va a hacer el estudio, y con la cual se sacará toda la información de costes y consumo eléctrico. Esta comercializadora viene regulada por el Real Decreto-ley 10/2022, de 13 de mayo, donde las comercializadoras en mercado libre pueden elegir voluntariamente repercutir el importe de la energía asociada a la compensación del mecanismo ibérico, dentro de sus costes de aprovisionamiento, o bien, trasladarlo de forma diferenciada a sus consumidores. En este caso, en dicho domicilio sobre el cual se va a trabajar se ha optado por esta última opción.

Además, en este mismo Real Decreto-ley 10/2022, se habla del despliegue de fondos Next Generation, de los que se ha hecho referencia con anterioridad. Estos fondos han reforzado el ámbito europeo en el fenómeno de recuperación económica mundial, con especial impacto en el ámbito energético, tras haber pasado la crisis generada por el Covid-19, con un incremento sustancial de la cotización de todos los precios de los combustibles fósiles en la segunda mitad del año 2021 [9].

4.2 ANALISIS GENERAL DE LOS CONSUMOS DE LA VIVIENDA ACTUALES

Se define como consumo eléctrico al volumen de energía que se usa en un periodo determinado de tiempo. Habitualmente la medida es en kWh (kilovatios hora), a la cual las comercializadoras le ponen precio a la unidad. En términos de unidades, 1 vatio equivale a consumir 1 Julio durante 1 segundo.

En España, las tarifas eléctricas expresan el kWh en céntimos de euro en torno a (0,001€/kWh), por lo tanto, para identificar el precio del consumo o calcular la factura de consumo, habría que multiplicar la cantidad de kWh consumidos por ese dato aproximado de 0,001€, el cual dependerá de cada comercializadora, además de conocer el tiempo de uso de los aparatos que dispone la vivienda. Para concluir este apartado, se examinará con facturas reales de la vivienda particular, el consumo e importe exacto que aportará Naturgy, la compañía eléctrica contratada, como ya se ha explicado.

Para exponer el caso real del consumo de dicha vivienda, se va a elaborar un listado con los electrodomésticos y equipos eléctricos más comunes y su rango de potencia habitual [10].

- Aire acondicionado: entre 0,9-2 kW.
- Televisor: entre 0,1-0,4 kW.
- Microondas: entre 0,9-1,5 kW.
- Frigorífico: entre 0,2-0,4 kW.
- Horno: entre 1,2-3 kW.
- Bombilla LED: 0,003-0,012 kW.

Una vez desarrollados los aparatos básicos de una vivienda, se va a elaborar un listado con las horas aproximadas de encendido de cada uno de estos dispositivos en un día del supuesto real de la vivienda sobre la que se hace el estudio.

- Aire acondicionado: entre 2 y 3 horas.
- Televisor: entre 4 y 6 horas.

- Microondas: como máximo 1 hora.
- Frigorífico: 24 horas.
- Horno: entre 0 y 15 minutos.
- Bombilla LED: entre 6 y 8 horas

Por lo tanto, si se quisiera examinar el consumo eléctrico del televisor, sería:

$$0,4 \text{ kW} * 6 \text{ horas} = 2,4 \text{ kWh (diario)} \rightarrow 2,4 \text{ kWh} * 30 \text{ días} = 72 \text{ kWh (mensual)}$$

Y si se quisiera saber el gasto económico mensual que conllevaría, sería tan simple como multiplicar ese consumo eléctrico por el coste del kWh:

$$72 \text{ kWh/mes} * 0,001 \text{ €/kWh} = 0,072 \text{ €/mes}$$

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) muestra en un informe de Consumos del Sector Residencial en España entre el año 2019 y 2020, cómo es el consumo de electricidad en los hogares españoles. De este estudio se han extraído los datos y generado dos gráficos circulares los cuáles se muestran en las Figuras 6 y 7.

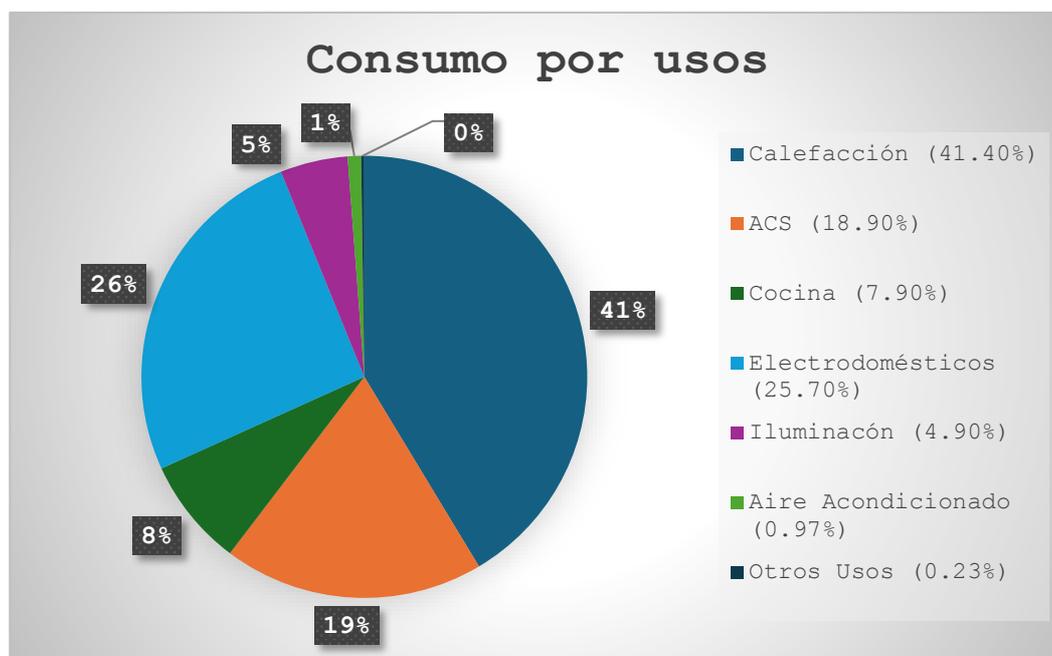


Figura 6. Consumo eléctrico de una vivienda por usos.

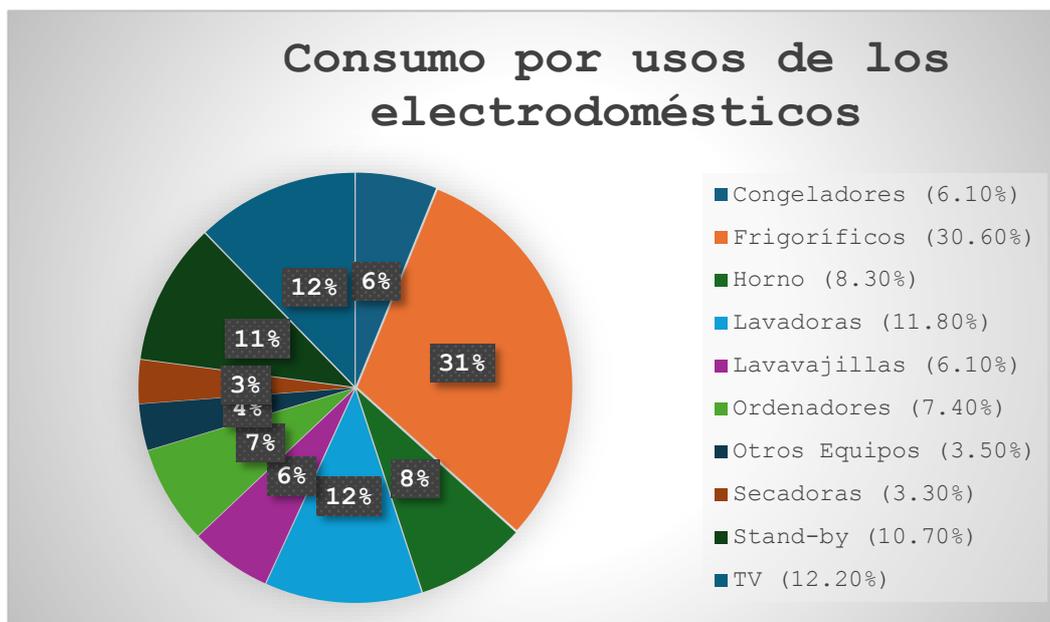


Figura 7. Consumo eléctrico detallado por electrodomésticos.

Observando los resultados, se podría decir que el gráfico recogido en la Figura 6 indica que lo que más consume en una vivienda es la calefacción seguido de los electrodomésticos; y según el gráfico de la Figura 7 que dentro de los electrodomésticos el que más consume es el frigorífico, ya que este es el único que se mantiene encendido y en uso permanente durante su vida útil [10].

Volviendo al caso real del que se está hablando, y antes de exponer las facturas extraídas durante un año, con su gasto y consumo, se va a especificar los factores que afectan directa o indirectamente en el consumo eléctrico de un hogar. Ya que dentro de cada vivienda puede haber numerosas variables que pueden modificar que haya un mayor o menor consumo.

El primer factor que se va a explicar ya que tiene una gran influencia en el consumo que se lleve a cabo diariamente será el número de miembros que componen la vivienda. En el caso los integrantes de la vivienda objeto de estudio se trata de una familia de cuatro miembros, llegando a deducir que generalmente se tendrá mayor dimensión de la vivienda, por lo tanto, se necesita mayor energía para enfriar o calentar la temperatura del lugar. También al haber más personas que si se compara con una vivienda de uno, dos o tres individuos, por lo general se hará más tiempo de uso de los electrodomésticos y, por tanto, un mayor consumo diario, lo que implicará un mayor gasto.

El siguiente factor que afecta directamente al consumo eléctrico será las características de la vivienda, ya que no todas tienen las mismas. Hablando de la propia habría que destacar que, la orientación del hogar, aunque luego se hable más detenidamente en el siguiente apartado, favorece la entrada de luz durante casi todo el día, ya que es una casa que tiene el salón con grandes ventanales orientados hacia el sur, por tanto, el sol está dando todo el día en invierno, primavera y otoño, lo que repercute en un gran ahorro tanto en calefacción, como en luz. Cabe destacar también de cara al aislamiento de la vivienda, que se cuenta en todos los dormitorios de la casa con dobles ventanas lo que beneficia una

mayor optimización de la temperatura que se tenga en el piso, y reduce las pérdidas de calor al exterior. Y el resto habitáculos que no cuentan con esta ventaja de la doble ventana, como son la cocina y ventanales amplios del salón, han sido reforzadas con un buen aislamiento en una reforma. Por último, también consta de aislamiento la puerta de entrada a la casa, en la que se instaló un burlete de goma por el cerco de la puerta con el mismo fin de reducir las pérdidas de temperatura del piso y tener un buen aislamiento tanto térmico, como acústico.

Como último factor a tener en cuenta, es el estilo de vida que quieren tomar los residentes de la vivienda. Por ejemplo, maximizando la eficiencia para reducir el consumo energético, o controlando el uso de los aparatos además de elegir programas de bajo consumo que no conlleven un elevado gasto. También cabe destacar, que en los últimos años y con el afán de controlar el cambio climático, como se comentaba con anterioridad se han desarrollado por las compañías energéticas ratios de uso para minimizar los gastos. Hablando de la vivienda analizado en concreto, este estilo de vida no se llevaría a cabo, ya que se utilizará una tarifa plana, con un gasto fijo por mes.

Una vez expuestos los estilos de vida, los porcentajes de gastos, y ejemplos de cómo se podría hallar las facturas de electricidad de un hogar, se va a continuar con el caso particular de la vivienda sobre la cual se hace el estudio. Para posteriormente, poder analizar si resulta eficiente y rentable tras luego compararlas con el supuesto de inversión e implantación de las placas fotovoltaicas.

Según la Red Eléctrica Española (REE), el consumo medio mensual de un hogar en el país alcanza los 270 kWh, es decir, un consumo medio anual de 3.272 kWh.

A continuación, compararemos estos datos con las facturas reales de mi residencia actual.

Tabla I. Análisis del consumo y gasto eléctrico de la vivienda durante 2023.

| Meses | Gasto mensual | Consumo mensual |
|------------------|----------------------|------------------------|
| <i>Diciembre</i> | 80,13 € | 240 kWh |
| <i>Enero</i> | 71,53 € | 297 kWh |
| <i>Febrero</i> | 71,10 € | 289 kWh |
| <i>Marzo</i> | 71,55 € | 306 kWh |
| <i>Abril</i> | 71,51 € | 288 kWh |
| <i>Mayo</i> | 71,55 € | 308 kWh |
| <i>Junio</i> | 71,51 € | 353 kWh |
| <i>Julio</i> | 71,55 € | 502 kWh |
| <i>Agosto</i> | 71.55 € | 563 kWh |

Tabla I (cont.). Análisis del consumo y gasto eléctrico de la vivienda durante 2023.

| Meses | Gasto mensual | Consumo mensual |
|--------------|-----------------|------------------|
| Septiembre | 71,51 € | 248 kWh |
| Octubre | 71,55 € | 280 kWh |
| Noviembre | 70,72 € | 266 kWh |
| TOTAL | 865,72 € | 3.940 kWh |

Esta tabla muestra un breve resumen de los datos recogidos en las facturas del consumo del 2023 aportadas por la compañía. Como se puede apreciar, se muestra el gasto mensual de electricidad, el cual se fracciona en función del mes en una serie de variables, como son:

- “Tarifa plana de luz”, la cual se ha estipulado con la compañía que se paga una mensualidad fija, como se explicó con anterioridad, que en este caso serán 70,36€.
- “Importe de la energía asociada al mecanismo ibérico regulado por el Real Decreto ley 10/2022, de 13 mayo”, en el cual se multiplica la potencia de kWh consumida en este periodo por el precio del kWh (€/kWh) estipulado por la compañía en función de dicho periodo.
- “Financiación del Bono Social”, es un cargo que aparece en la factura de la luz por normativa y que es obligatorio para todos los consumidores. “El bono social será asumido por los sujetos del sector eléctrico que participan en las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica, incluyendo la producción, transporte distribución y comercialización de energía eléctrica, así como por los consumidores directos en el mercado” [11]. Esta línea añadida en la factura aparecerá como una línea extra, con el importe que corresponda multiplicado por los días facturados. Este precio se ha reducido mucho en los últimos años pasando a estar en torno a los 3 céntimos de euro al día.

En la Tabla I, cada uno de los meses mostrados van de mediados de dicho mes a mediados del mes siguiente, es por ello, que se comienza con la primera factura de mediados de diciembre del 2022 hasta el día 17 de enero de 2023, y así consecutivamente se seguirá mes a mes. Siendo la última factura la de noviembre, que abarca desde el 18 de ese mes hasta el 17 de diciembre, donde se concluye el total de facturas aportadas del año 2023. Y es ahí donde se hace un recuento final del consumo y del gasto anual que se ha obtenido.

Cabe destacar que, los meses con un mayor consumo (kWh) son los de julio y agosto, debido a que son los meses más calurosos del año, y como consecuencia, en los que más consumo de aire acondicionado ha habido. Dado que el aire acondicionado de la casa se mueve por una instalación eléctrica, es por eso por lo que en los meses de mayor calor se observa ese mayor consumo. Mientras

que, los meses de temperaturas bajas, se hará un mayor consumo de la calefacción, pero esta factura pertenece a la del gas, la cual no se está teniendo en cuenta en este estudio.

Por último, es importante destacar que se ha llevado a cabo un estudio previo de los datos de consumo anuales de la vivienda unifamiliar en años previos al 2023, a pesar de que se muestran los datos de este último año, debido a que son los valores más recientes. Este estudio previo permite afirmar que, durante años anteriores en la vivienda, el total del consumo anual se mantiene en torno a los 4.000kWh como es el caso del último año en curso. Es necesario realizar este estudio previo para cerciorarse de que se mantiene ese consumo anual en unos valores similares a 2023. Ya que, en caso contrario, en el que cada año variase mucho el consumo anual de la vivienda, sería necesario para realizar dicha instalación fotovoltaica de forma eficiente, hacer un sobredimensionamiento para que los años con mayor consumo también pueda autoabastecerse la vivienda a partir de la energía obtenida por la instalación. Pero en cuyo caso, los años con menores consumos va a haber un excedente de energía mayor, el cual habría que verter a la red eléctrica pública y se obtendría una bonificación por esa energía excedente cedida.

4.3 ANALISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR Y CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA

La radiación solar es la energía emitida por el Sol en forma de radiación electromagnética, se transmite en forma de ondas electromagnéticas en todas las direcciones a través del espacio. Esta también determina las dinámicas y tendencias atmosféricas y climatológicas como pueden ser, el mantenimiento de una temperatura compatible con la vida en la Tierra o, la formación del viento, la cual es clave al mismo tiempo para la generación de energía eólica. Cabe destacar que, dicha radiación solar es imprescindible para el desarrollo de la vida en la Tierra.

Esta energía se mide en superficie horizontal mediante un sensor de radiación o piranómetro, que se sitúa orientado al sur y en un lugar libre de sombras. Los datos se recogen en unidades de potencia, lo que también es llamado irradiancia solar, la cual se refiere a la medida de la radiación solar incidente en un punto específico de la Tierra, cuya unidad será vatios por metro cuadrado (W/m^2). Estos datos recogidos suelen hacerse en intervalos de diez minutos o de 24 horas para establecer medidas. En el caso de que se quiera pasar la radiación solar de unidades de potencia a unidades de energía, los datos obtenidos en vatios por metro cuadrado han de multiplicarse por la cantidad de segundos que comprenden 10 minutos (600 s) o 24 horas (86.400 s) y el resultado obtenido finalmente en términos de energía será en julios por metro cuadrado (J/m^2) [12].

También cabe destacar, aunque de forma breve, los diferentes tipos de radiación solar según:

- I. La forma en la que llega a la Tierra: directa (radiación que traspasa la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra sin sufrir ninguna dispersión), difusa (radiación que alcanza la superficie

terrestre, pero habiendo sufrido múltiples desviaciones) y reflejada (radiación que es reflejada por la propia superficie terrestre).

2. Los tipos de rayos: infrarrojos IR (emiten calor), visibles VI (se perciben en forma de colores) y ultravioleta UV (son invisibles al ojo humano y son percibidos por la piel) [12].

Una vez definido el concepto, se van a extraer datos reales de la zona de implantación fotovoltaica, distrito de Arganzuela, ya que, si se contara con algún tipo de tecnología de captación solar, estos datos serían de gran utilidad para prever la energía que producirán estas instalaciones. Aunque han de tenerse en cuenta factores como el ángulo de incidencia de radiación solar, la declinación, la latitud, el ángulo horario y sobre todo la previsión metrológica.

Como ejemplo, se ha tomado la radiación solar del día 5 de marzo de 2024, invierno. Se realiza el estudio del día, teniendo en cuenta la salida del sol a las 7:45h y el ocaso a las 19:09h. Por lo tanto, las horas dentro de este intervalo serán sobre las que se realiza el estudio de radiación solar captada en el distrito de Arganzuela, donde se realiza el estudio. En la figura 8, se puede ver con claridad la irradiancia medida a cada hora del día (W/m^2). Cabe destacar que este ejemplo se ha tomado en un mes de invierno, por lo tanto, los valores que se muestren serán muy inferiores que, en los meses del resto del año, debido a que el periodo con temperaturas más bajas y con menos radiación solar en Madrid, es sin duda invierno.

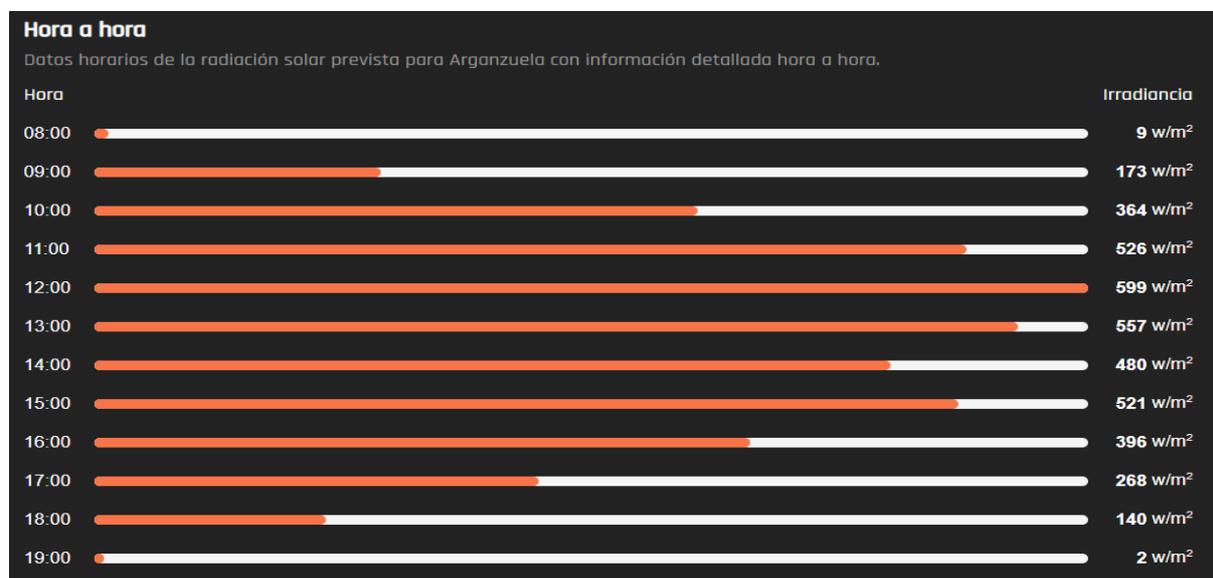


Figura 8. Datos horarios de la irradiancia a día 5 de marzo en Arganzuela (Madrid).

Como se puede observar, las horas de mayor radiación solar durante el día se obtienen entre las 11h y la 13h, lo que cuadra con la lógica, debido a que en invierno el sol alcanza su punto más alto en torno a las 12:30h. La irradiancia total del día durante esas horas será de $4.035 W/m^2$, teniendo en cuenta que las temperaturas han oscilado entre los 12 grados de máxima y 3 grados de mínima, sin nubes y con vientos moderados del sureste. Pero, si por ejemplo se procede a realizar la comparación con el

siguiente día, 6 de marzo de 2024, los resultados serían totalmente distintos como se refleja en la Figura 9 que se muestra a continuación.

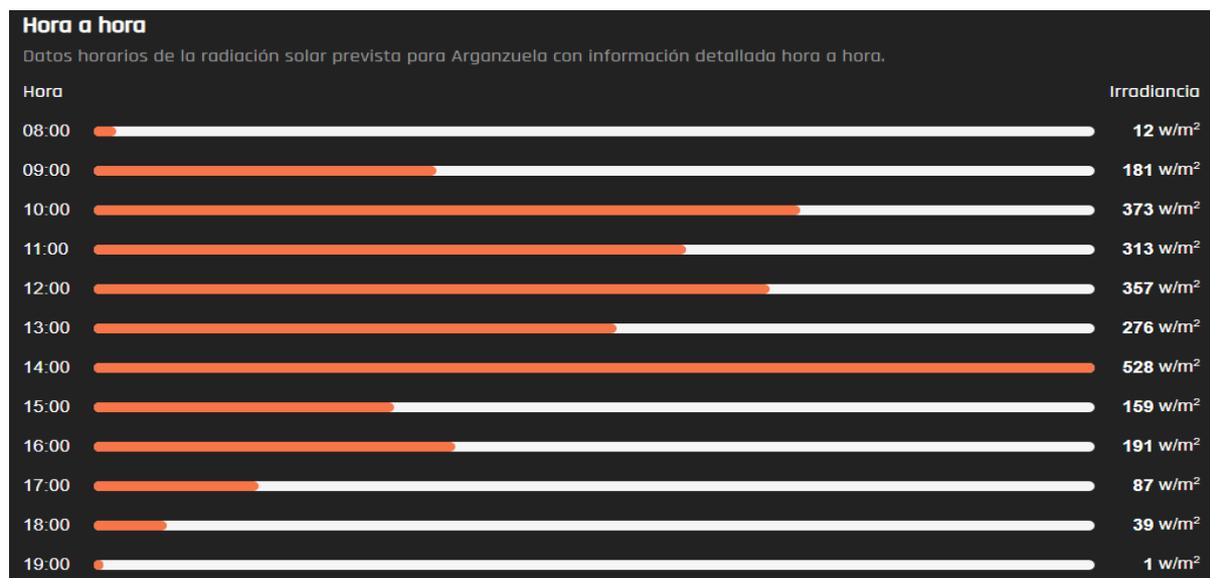


Figura 9. Datos horarios de la irradiancia a día 6 de marzo en Arganzuela (Madrid).

En esta última, se puede ver cómo las horas de mayor radiación, teniendo en cuenta que se trata de la misma zona de estudio, han disminuido considerablemente en comparación con el día anterior, llegando a su máximo a las 14h de la tarde. Las temperaturas se mantienen entre 14 grados de máxima y 3 grados de mínima, sin nubes y con vientos de 6 km/h. Cabe destacar, que en la suma de horas de sol de dicho día la irradiancia total captada será 2.517 W/m², es decir, reduciéndose en casi un 40% los valores de irradiancia total obtenidos el día anterior.

Por lo tanto, y como se puede comprobar, la energía solar no es una ciencia exacta y de tipo fijo, si no que fluctuará en gran medida en función de la meteorología de cada uno de los días venideros, de la zona en la que se aplique el estudio, de si hace un día despejado o nublado, así como la época del año en la que se realice. Pero dicho esto, no se puede olvidar que España es uno de los países que se posicionan como de los mejores del mundo en cuanto a energía solar, debido a numerosos aspectos como la cantidad de horas de luz solar que recibe nuestro país con una media de más de 300 días de sol y más de 2.500 horas de sol anuales. Por último, y no menos importante, el apoyo público de cara a esta energía renovable, con medidas como la derogación del “Impuesto al Sol” en 2018, y el apoyo en este país por la impulsión de las energías renovables.

A continuación, también se han podido extraer datos sobre la evolución anual de la irradiación solar en Madrid. Estos han sido adquiridos del informe de “Resumen mensual de la radiación solar” elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) durante el año 2023.

Todos estos datos se muestran a continuación en las tablas 2 y 3. Datos que han sido recogidos por La Red Radiométrica Nacional situada en Madrid, formada por distintas estaciones en el país y dotadas

de instrumentos para la medida continua de la radiación solar en banda ancha (global, directa, difusa, ultravioleta e infrarroja atmosférica y terrestre). [14]

Tabla 2. Valores de las distintas irradiancias solares globales medidas en 10 kJ/m² en 2023.

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mes | 27966 | 35371 | 56727 | 72602 | 74731 | 75177 | 85051 | 80950 | 50292 | 34914 | 25436 | 22178 |
| Día | 902 | 1263 | 1830 | 2420 | 2352 | 2506 | 2933 | 2611 | 1676 | 1204 | 848 | 715 |

Estos datos de la Tabla 2 están recogidos en unidades de 10 kJ/m², así nos lo muestra la AEMET en sus estudios, por lo tanto, para obtener los valores de irradiancia medidos en kW/m², como los que se muestran en la tabla 3, habría que realizar la conversión necesaria multiplicando el primer término por 0,0028, dado que 1 kJ/m² equivale a 0,00028 kWh/m².

Tabla 3. Valores de las distintas irradiancias solares globales halladas en kWh/m² en 2023.

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Mes | 78,30 | 99,03 | 158,83 | 203,28 | 209,25 | 210,50 | 238,14 | 226,66 | 140,82 | 97,76 | 71,22 | 62,09 |
| Día | 2,526 | 3,537 | 5,124 | 6,776 | 6,750 | 7,017 | 7,682 | 7,311 | 4,694 | 3,154 | 2,374 | 2,002 |

La primera fila (Mes) se refiere al total de radiación en el mes. La fila siguiente (Día) se refiere a la radiación diaria media dentro del mes, adquirida de la división del total con el número de días correspondientes al mes determinado. Si ahora estos datos que aparecen en la Tabla 2 se llevan a un gráfico, en un periodo anual, se aprecia lo mostrado en la Figura 10, siendo la línea azul oscuro la que se ha obtenido de la Tabla 2, respecto a la media diaria de la irradiancia. Se observa además que, la línea azul oscuro, con la que se comparan el resto de los datos, durante los meses de otoño sigue más o menos el recorrido de la media generada, hasta los meses de invierno, donde se ve que por ejemplo en diciembre hay menos radiación solar que lo que se expone en la media (línea negra), aunque posteriormente sube de forma rápida y exponencial hasta situarse cerca de la línea roja de máxima radiación obtenida, incluso llegando a situarse en el mes de abril por encima de la máxima. El resto de los meses se sitúa de nuevo cercano a la línea de la media, salvo los meses de verano julio y agosto, en los que vuelve a ser alta la radiación llegando a alcanzarse prácticamente los valores de las máximas.

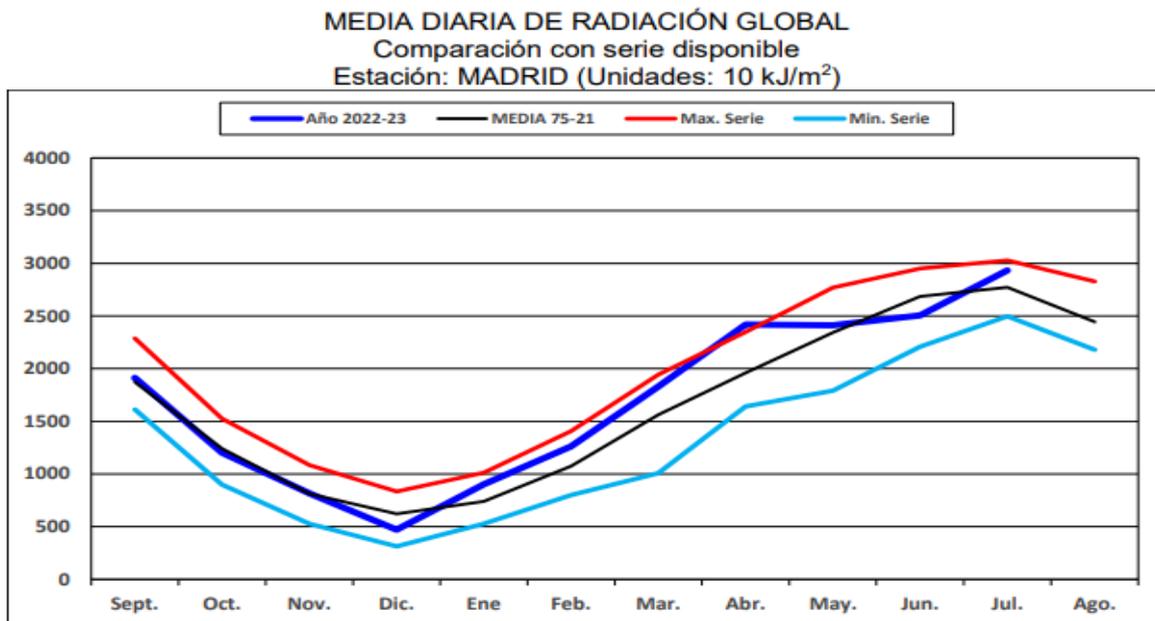


Figura 10. Media diaria de la radiación global medida en un año (2022/2023).

Lo que hace resaltar estos datos, es que la radiación solar está por lo general en un estado extremo, por lo tanto, se da un aumento de la radiación solar anual, lo que conlleva una mayor cantidad de julios por metro cuadrado. Esto es una gran ventaja para las instalaciones fotovoltaicas a la hora obtener una mayor energía del sol, aumentará la producción de los paneles y será más cercana a su grado óptimo, pero, al mismo tiempo supone un problema para el planeta.

La climatología también es un factor importante para el desarrollo de este proyecto. Se puede definir como la ciencia que estudia el clima, estado físico medio de la atmósfera (aire), hidrosfera (agua líquida), biosfera (flora y fauna), litosfera (superficie continental) y criosfera (hielo y nieve). Así como sus variaciones estadísticas espaciotemporales, de acuerdo con las condiciones meteorológicas durante un periodo de tiempo prolongado (temperatura, precipitación, humedad, viento, presión atmosférica o insolación) [15].

Como principalmente se está hablando para la investigación de datos del año 2023, se han recopilado informes meteorológicos con datos de la AEMET respecto a las temperaturas que se dieron durante todo el año, separándolas por periodos estacionales, para posteriormente analizarlas y elaborar una conclusión (Figura 11).

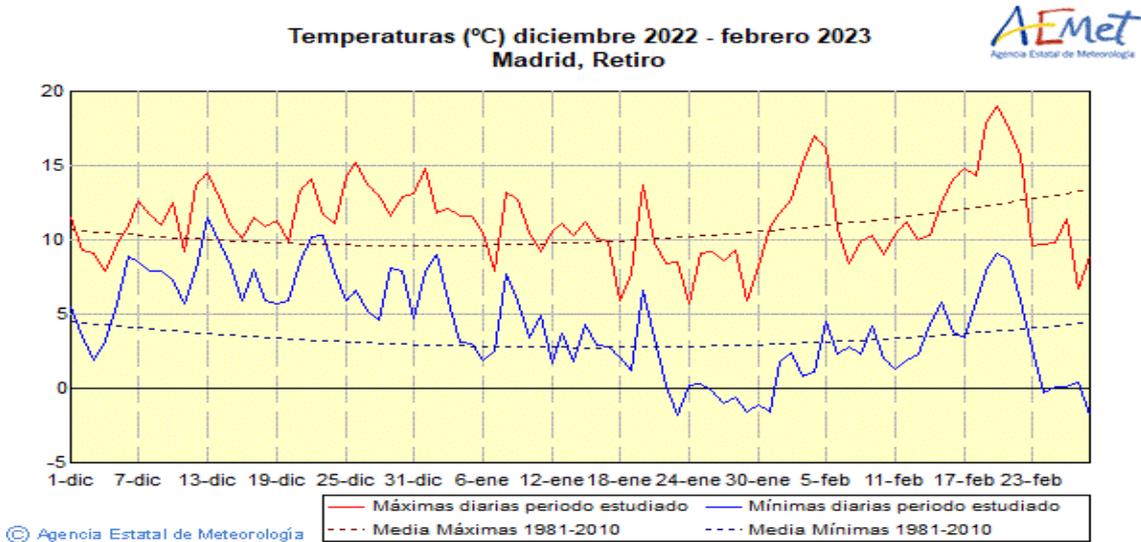


Figura 11. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en invierno de 2022/2023. [16]

En el primer gráfico de líneas obtenido a partir de los valores de la AEMET, Figura 11, se detallan las temperaturas en la estación de invierno. Se aprecia con claridad cómo las líneas continuas, tanto la roja (máximas), como la azul (mínimas), en la mayoría del periodo están por encima de las líneas discontinuas, las cuales representan las medias de temperaturas medidas años atrás. Debido a que es la estación de mayor frío del año, con menor radiación solar y días por lo general con muchas nubes, esto provoca que no se vea tanta oscilación de temperaturas, suelen estar unos grados por encima las máximas de las medias y, por tanto, las mínimas también por lo general se encuentran unos grados por encima de la media. Las temperaturas máximas oscilan toda la estación entre 18 y 7 grados, y las temperaturas mínimas, entre 11 y -2 grados. Siendo intervalos pequeños, comparados con el resto de los periodos estacionales, los cuales se observarán a continuación.

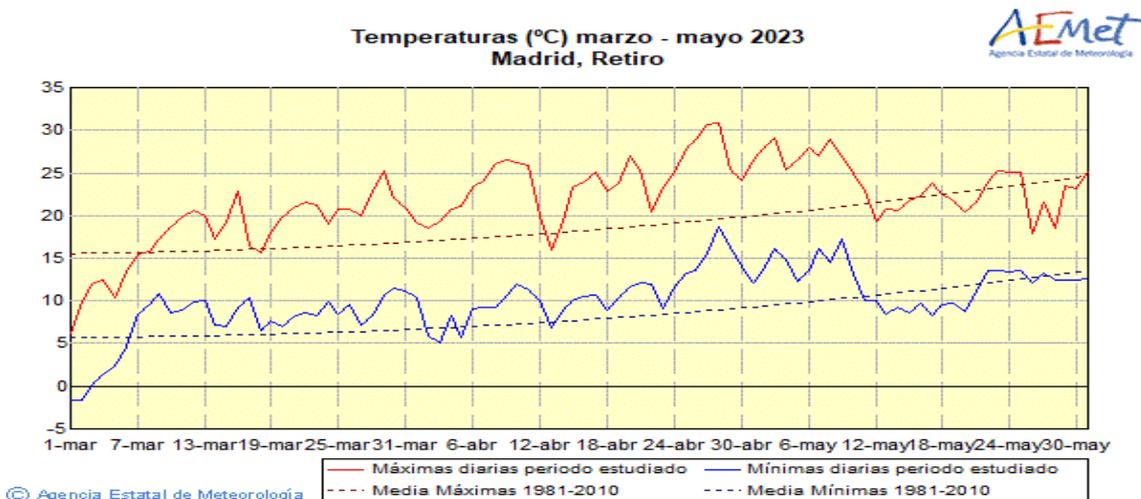


Figura 12. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en primavera de 2023. [16]

En el segundo gráfico de líneas, representado en la Figura 12, se detallan las temperaturas en la estación de primavera. También guarda similitud con la Figura 11 en cuanto a que las temperaturas máximas y

mínimas en este periodo se encuentran por lo general por encima de las medias de años atrás. En este periodo se dieron temperaturas extremadamente altas, que no se acostumbran a ver en esas fechas del año, y se debe en gran medida, como se ha comentado, al cambio climático. Hay una variación de las temperaturas máximas entre 31 y 5 grados, y las mínimas entre 18 y -1 grados. La temperatura media de esta primavera de 2023 fue en torno a 14,2 °C lo que significa que estuvo 1,8 °C por encima de la media de años atrás.

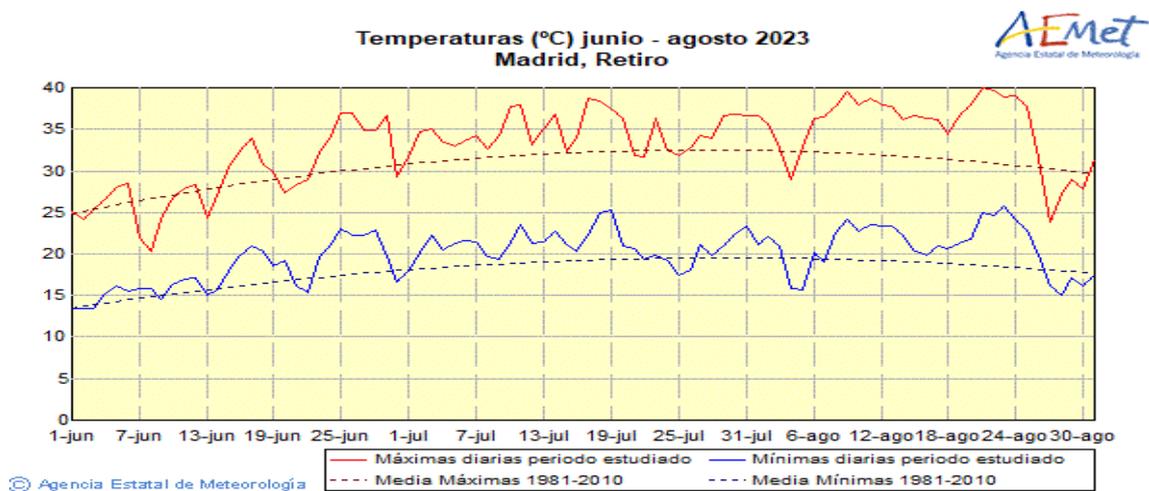


Figura 13. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en verano de 2023. [16]

En el tercer gráfico de líneas representado en la Figura 13, se detallan las temperaturas de la estación de verano. Sigue manteniendo la tendencia de los gráficos anteriores, de estar tanto máximas y mínimas, por encima de los valores de las medias. Siendo la estación más cálida del año, además destaca, por ser en particular, uno de los veranos más cálidos desde muchos años atrás con algunas máximas muy cercanas e incluso llegando a los 40 grados en la ciudad. Dichas máximas oscilan entre 40 y 20 grados, mientras que las mínimas oscilan entre 26 y 13 grados. La temperatura media sería de 23,4 °C en el periodo estacional, con 1,3 °C por encima en años anteriores.

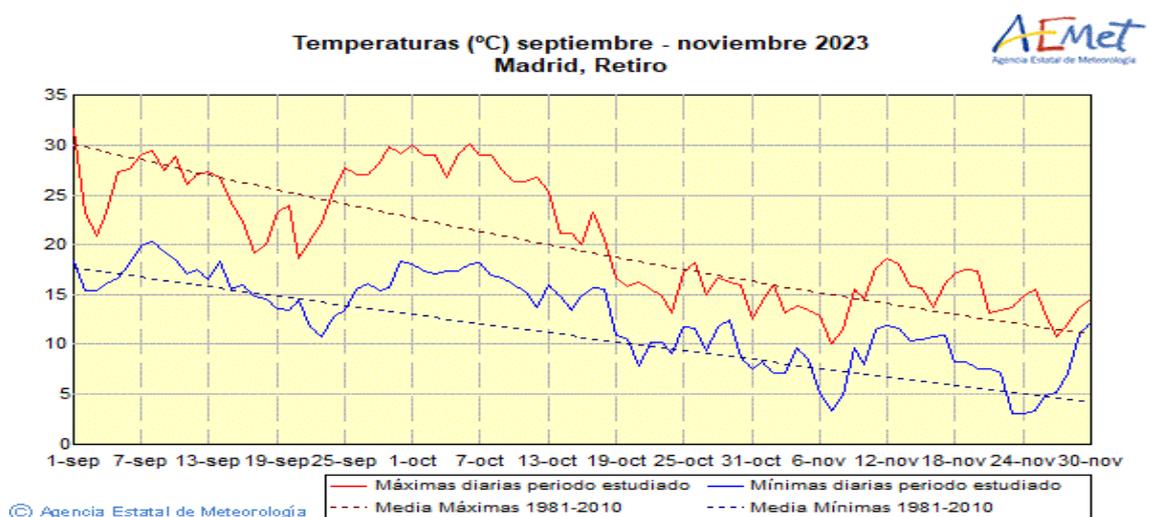


Figura 14. Datos de temperaturas máximas, mínimas y sus medias en otoño de 2023. [16]

Por último, el cuarto gráfico, representado en la Figura 14, corresponde a la estación de otoño. El último de los gráficos ratifica la tendencia de los anteriores, y éste será uno de los otoños más cálidos desde tiempos atrás, manteniendo esas temperaturas por lo general por encima de las medias. Las temperaturas máximas oscilarán entre 30 y 10 grados, abriendo un gran abanico de temperaturas, mientras que las mínimas oscilarán entre 20 y 4 grados. Hubo un periodo de unos 15 días, en torno a la segunda quincena de octubre, donde bajaron las temperaturas, incluso llegando a estar las máximas por debajo de la línea de la media de años anteriores, hasta que llegó la segunda semana de noviembre donde comienzan a subir exponencialmente las temperaturas, para darse un mes de noviembre considerado como cálido y con altas temperaturas. La temperatura media será de 16,3 °C en dicho periodo estacional de otoño, estando 1,9 °C por encima de años anteriores. Estos gráficos se actualizan de forma diaria con los datos disponibles en el Banco de Datos Climatológico.

Como conclusión, cabe destacar que, tanto la climatología como la radiación solar, de la zona en la que se realiza el estudio durante el periodo de año 2023, han aumentado considerablemente. En gran medida esto está siendo una de las causas del cambio climático que estamos sufriendo hoy en día en nuestra sociedad a nivel nacional y a escala mundial, como se ha expuesto con anterioridad.

En cualquier caso, para la implantación del sistema fotovoltaico que se va a estudiar, estos datos y resultados ayudarán a captar una mayor potencia solar y, por lo tanto, que la inversión sea positiva y se obtengan unos valores más altos de irradiancia obtenida, como se verá más adelante al detalle en la Figura 19.

4.4 CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

En primer lugar, es importante hacer un breve resumen de lo que se habló anteriormente en la introducción. Para ello se va a mencionar algunos de los elementos imprescindibles de un sistema fotovoltaico, así como de su funcionamiento.

Ya se explicó cómo se captaba esa energía del sol a partir de las células solares o fotovoltaicas, y cómo éstas permiten la conversión a corriente continua. Dichas células están comunicadas dentro de cada módulo solar y pueden unirse entre ellas en serie o en paralelo. La suma de éstas formará cada uno de los módulos solares. Y la suma de “x” números de módulos solares dispuestos en la misma fila, formarán lo que se conoce como panel solar. El cual cuando se le añaden los elementos necesarios para conseguir producir electricidad algunos como inversor, batería, cableado, medidor... se convertirá en un sistema fotovoltaico al completo (Figura 15).

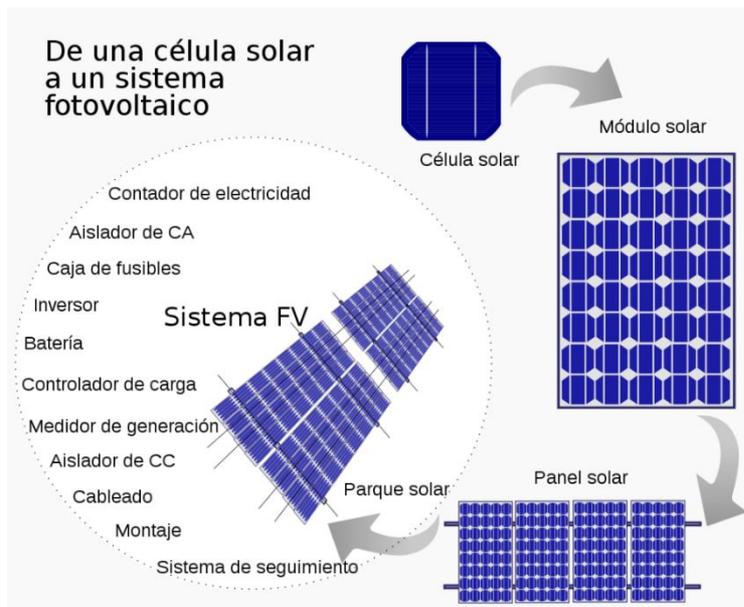


Figura 15. Elementos que componen un sistema fotovoltaico.

Aparte de lo explicado, cabe destacar que, para poder realizar una correcta instalación fotovoltaica es necesario conocer el espacio que se tiene disponible para la instalación de dichos paneles. Debido a que, en función del número de módulos a instalar, puede ser que se necesite de un gran espacio para su implantación, así como un espacio entre cada uno de ellos para que no se vean afectados los rendimientos de los mismos por las sombras que puedan crear los

otros. Este caso expuesto, sería si los paneles tienen una posición libre dentro de una estructura plana, ya sea un tejado plano (Figura 17), en una explanada en el suelo o, como en el caso particular que se va a trabajar, en la superficie de una azotea de un bloque de edificios. Mientras que también está la opción de una estructura coplanar (Figura 16) para los paneles fotovoltaicos, los cuales van pegados al tejado donde se implantan, y en cuyo caso, habría que tener en cuenta la inclinación que tenga el propio tejado con respecto a la horizontal. Cabe destacar, que en los paneles que son instalados en una estructura coplanar, al no tener tanto hueco por debajo del panel como uno instalado en posición libre, se van a recalentar mucho más conforme vaya acumulando radiación dicho panel y tendrán, por lo general, un porcentaje de pérdidas mayor que los de posición libre, los cuales se ventilan con mayor facilidad. En contraposición, los coplanares tienen la ventaja de que no necesitan guardar esa distancia entre paneles solares, debido a que, entre ellos, al ir pegados a la superficie en la que se instalen, no van a generar sombras, por ello se puede optimizar mucho mejor el espacio del que se disponga para la instalación.



Figura 16. Estructura coplanar sobre tejado.



Figura 17. Paneles en posición libre sobre tejado.

Es vital tener en cuenta para este tipo de instalaciones, que tanto la orientación, como la inclinación de los paneles es un factor muy importante si se quiere maximizar la energía a obtener.

La mejor orientación para las placas será la orientación al sur, ya que es la que mejor va a aprovechar esa radiación solar para generar mayor electricidad. Esta orientación es lo que se define como azimut, lo cual es un término que se va a referir al ángulo que se utiliza para conocer la posición de algo, en este caso de tu casa, o más en concreto la dirección hacia dónde colocar los paneles solares, sobre la Tierra medido desde el Norte o el Sur, hacia el Este u Oeste. En el programa de simulación PVGIS, que posteriormente se usará para analizar la producción de energía mensual a lo largo de un año de la instalación fotovoltaica que se quiere instalar, aparecerá como una de las variables a introducir el grado azimutal o azimut, el cual lo va a referenciar desde el punto cardinal del Sur como 0° y, a partir de este, se contará el punto cardinal Oeste (90°) y el punto del Este (-90°). En función del valor introducido y de una serie de variables más, que más tarde se explicarán, se consigue hacer una aproximación de lo que se va a conseguir producir anualmente con la instalación implantada.

Otra de las variables a introducir en el programa de simulación del cual se ha hablado, será la inclinación de los paneles de la instalación. Este es el factor clave para el rendimiento de dicha instalación fotovoltaica. Ya se tenga una instalación de las placas en una estructura coplanar, anclados en un tejado, o una posición libre, en una azotea o en una llanura en el campo, es vital saber el grado de inclinación óptimo de la instalación, para así maximizar la producción de energía solar y maximizar el beneficio producido a través de dichos paneles. Este valor de inclinación óptima de los paneles va a venir marcado por la latitud del emplazamiento donde se vayan a instalar, siguiendo la Ecuación 1. En la cual β será la inclinación óptima de los paneles en grados y θ representa el valor de la latitud, también en grados, del emplazamiento donde se sitúen dichos paneles.

$$\beta(^{\circ}) = 3,7 + 0,69 * \theta(^{\circ})$$

Ecuación 1

Este valor será imprescindible de calcular si se tiene un caso de cubierta plana y se quiere disponer los paneles inclinados mediante una estructura instalada de posición libre, como va a ser el caso particular de este TFG. En cuyo caso, podría darse una situación en la cual se posicionen los diferentes paneles solares muy cercanos entre sí, se formen una serie de sombras, al ir variando la posición del Sol en función de la hora del día y de la época del año, por lo cual esas sombras serían un factor negativo para tener en cuenta. Esto afectaría los rendimientos y no se conseguiría maximizar las horas de Sol al día, dado que, en los momentos de sombras, el panel no trabajará a su 100% de efectividad. Para poder calcular ese valor se debe de tener en cuenta dos ecuaciones que se expondrán a continuación. En la Ecuación 2, se sigue una relación básica de trigonometría sobre la cual se podrá obtener la altura de las placas respecto a la horizontal (h) en función de su diagonal (L) expresadas las dos en metros, y se utilizará el seno del ángulo hallado previamente en la Ecuación 1 (β). En la Ecuación 3, se obtendrá la

distancia mínima en metros a la que habría que disponer los paneles solares para que no se vean afectados por dichas sombras. Se hallará esa distancia mínima (x) a partir de la altura de las placas (h) obtenida en la ecuación 2 y de la latitud del emplazamiento (θ).

$$h(m) = L(m) * \sin(\beta)$$

Ecuación 2

$$x(m) = \frac{h(m)}{\tan(61^\circ - \theta(^{\circ}))}$$

Ecuación 3

Una vez se ha tenido en cuenta estos factores que afectan directamente a la instalación fotovoltaica, cabe destacar, que se necesitará tener en cuenta muchos más elementos para que se pueda dar el correcto funcionamiento de la instalación. Estos elementos que son imprescindibles y sobre los cuales se detallarán sobre los que hayan sido seleccionados, así como los cálculos correspondientes llevados a cabo para el desarrollo de la electricidad, requerimientos técnicos... son algunos como tipos de paneles solares empleados, el inversor, tipo de cableado y de corriente, etc.

4.5 ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA A PARTIR DE PVGIS

Para llevar a cabo una simulación del caso real de este Trabajo de Fin de Grado, se va a llevar a cabo la ayuda de la aplicación de PVGIS. Dicha aplicación es un software de cálculo fotovoltaico con el que se podrá saber la energía solar fotovoltaica producida por un sistema fotovoltaico ubicado en cualquier punto de España.

Para ello es necesario seleccionar una serie de variables en relación con la instalación que se quiere instalar, para que el programa pueda trabajar de forma exacta. Algunas de esas variables son:

- Ubicación exacta del emplazamiento donde se quieren instalar los paneles. Se ha introducido la calle del Oriana y el número del portal para dar detalles más precisos. Al seleccionar un emplazamiento dentro España se selecciona la base de datos de radiación solar más adecuada la cual es PVGIS-SARAH2.
- Se señala el tipo de tecnología fotovoltaica que se desea. En este caso se seleccionará silicio monocristalino.
- Hay que introducir la potencia pico instalada (kWp), la total de la suma de los paneles que vaya a tener la instalación.
- Se debe introducir las pérdidas del sistema (%), ya que todo sistema fotovoltaico va a tener pérdidas. Es un poco subjetivo este valor ya que no se sabe con total certeza el valor del que se habla hasta que no se lleva a cabo esa instalación. Pero se le asignará por defecto un 14% de pérdidas, dado que se tiene unos paneles en posición libre (menor % de pérdidas).

- Se selecciona la posición del montaje, en donde se puede variar entre las dos opciones explicadas con anterioridad, paneles de posición libre los cuales irán sobre una estructura con cierta inclinación, o la otra opción, sobre tejado/integrado en el edificio, el cual será una estructura coplanar integrada en un tejado con una cierta inclinación propia. En este caso, se seleccionará la opción de posición libre de los paneles.
- Se pide el ángulo de inclinación de los paneles ($^{\circ}$), el cual se podrá hallar con la fórmula de la Ecuación 1. En este caso la inclinación óptima será de $31,3^{\circ}$.
- Por último, se pide indicar el azimut ($^{\circ}$). En este caso en la aplicación se tendrá en cuenta como referencia el Sur (0°). También se da la opción de optimizar la inclinación y el azimut. En este caso se dispondrán los paneles hacia el Sur, por tanto, siendo 0° el valor introducido. De esta forma, con la orientación de los paneles hacia el Sur se maximizará la producción de energía de cada uno de los paneles.

Volviendo a la simulación realizada en PVGIS de la instalación fotovoltaica, también se han obtenido una serie de datos de la irradiancia captada en plano fijo mensualmente, durante el año estudiado. A continuación, se muestra gráficamente para poder apreciar con mayor claridad los resultados.

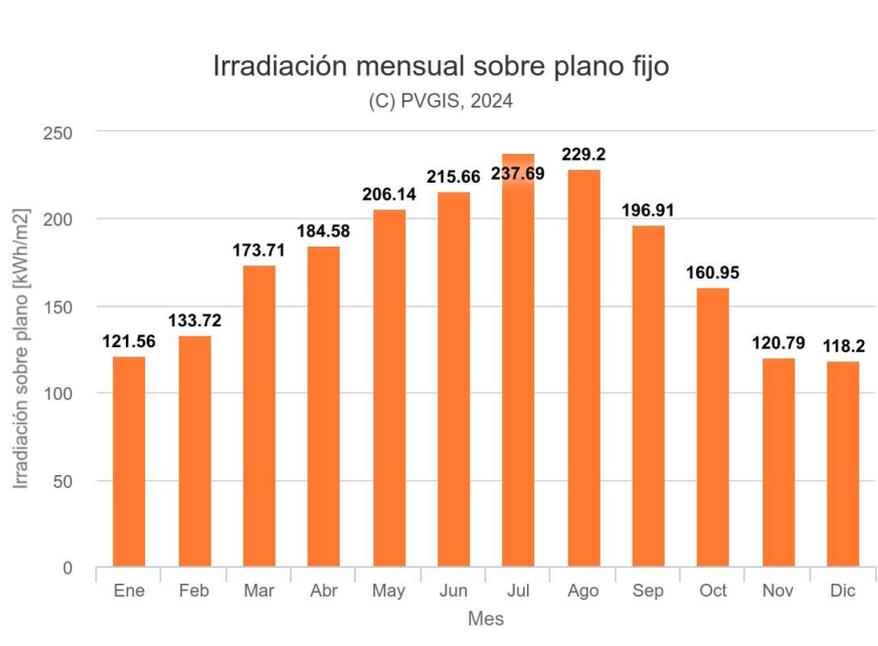


Figura 18. Irradiación captada mensualmente a partir de la instalación fotovoltaica.

Como era de esperar, en junio, julio y agosto, los meses de verano, se aprecia una mayor irradiación solar que en el resto. El mes de julio es el que más destaca con los valores mayores como se podía prever, de hecho, en la Figura 13 mostrada con anterioridad, ya se habló de los valores altos de temperaturas durante todo el mes oscilando entre 35 y 40 grados, por lo tanto, es coherente que sea cuando mayor irradiancia capten los paneles solares. Por consiguiente, al ser tanto julio, como agosto

los meses más calurosos, es por ello por lo que en la vivienda se aumentó el uso del aire acondicionado y, como resultado, se obtienen los valores de consumo en la vivienda mucho más altos que el resto de los meses, incluso llegando a superar el consumo a la producción de energía fotovoltaica, como se comentó.

Una vez introducidos los parámetros que se han indicado se va a realizar la simulación y se van a obtener los datos obtenidos en la Tabla 4.

Primero de todo, cabe destacar cómo se han conseguido algunos de estos datos. Se debe explicar que como se ha mencionado con anterioridad, la potencia instalada en dicha aplicación requiere del valor (kWp) de la suma de todos los módulos fotovoltaicos instalados. Para saber cuántos iban a ser necesarios en dicha instalación se ha usado el dato de 460 Wp, que es la potencia que van a tener cada uno de los paneles instalados, debido a que se ha elegido un módulo fotovoltaico Canadian 460W Hiku6 del cual se hablará más tarde. Además, se disponía del valor del consumo anual eléctrico de la vivienda durante el año 2023, el cual fue de 3.940 kWh, a pesar de que se contrató con la comercializadora Naturgy un consumo máximo de 5.000 kWh/año. Es por ello, que la producción anual de energía fotovoltaica debería de estar en torno a ese valor.

Tabla 4. Valores obtenidos a partir de PVGIS

| Orientación | Capacidad instalación Fotovoltaica | Inclinación de los paneles | Porcentaje de eficiencia del sistema | Producción anual de energía FV (kWh) | Producción anual de energía Fotovoltaica (kWh) por kW instalado | Irradiación anual sobre el plano fijo |
|--------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| SUR Azimut (0°) | 2,76 kWp | 31,3° | 86 % | 4.465,72 kWh | 1.618,01 $\frac{\text{kWh}}{\text{año}}$ | 2.099,11 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ |

Para ello se hizo el estudio de lo que se generaría en una instalación con un solo panel solar de 460Wp, es decir, 0,46kWp y el valor obtenido fue de 744,3 kWh/año. Por tanto, haciendo un cálculo simple se obtiene que con 6 paneles solares del mismo modelo que el mencionado, se podrá autoabastecer esta vivienda sobre la que se está trabajando. Dicho esto, se concluye que, la instalación fotovoltaica constará de 6 módulos fotovoltaicos de 460Wp cada uno, es decir, la capacidad o potencia pico instalada será de 2,76 kWp. Obteniendo con dicha instalación fotovoltaica un total de energía anual de 4.465,72 kWh, mientras que, si se divide ese valor conseguido por el número de kWp total de la instalación, se obtiene finalmente el valor mostrado en la tabla 4 de producción anual por kW instalado.

$$\frac{4.465,72 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{2,76 \text{ kWp}} = 1.618,01 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{año}}$$

A continuación, cabe destacar que para mostrar todo de una manera más visual, intuitiva y poder realizar una comparativa de ambos casos, se ha realizado un gráfico con los datos que se obtuvieron con anterioridad del consumo de la vivienda a lo largo del año 2023 y la producción de energía fotovoltaica obtenida mensualmente a partir de la simulación de PVGIS.

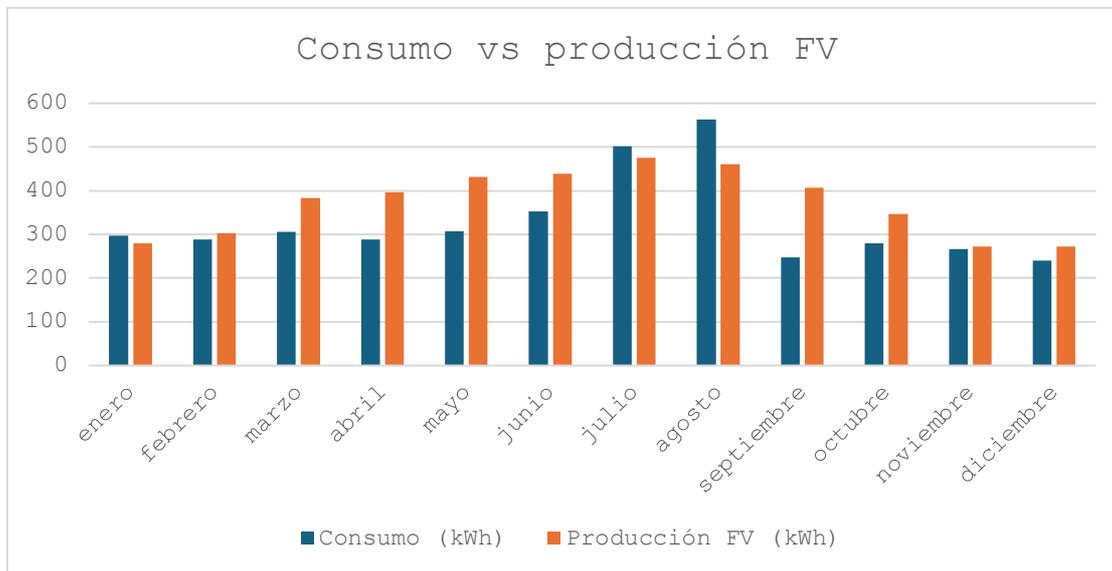


Figura 19. Consumo eléctrico en la vivienda frente a la producción obtenida mensualmente a partir de la instalación fotovoltaica.

Como se puede apreciar visualmente en la Figura 19, la mayoría de los meses del año es superior la producción obtenida a partir de la planta fotovoltaica al consumo de la vivienda, a excepción de los meses de enero, julio y agosto. Por tanto, durante la mayor parte del año la vivienda se puede autoabastecer con la instalación fotovoltaica y, aparte de autoabastecerse, habrá una energía excedente, la cual se verterá a la red eléctrica pública y por la que se recibirá una compensación económica que se aplicará a las facturas de la luz con placas solares, por esa energía cedida. Ese precio de los excedentes de autoconsumo dependerá de los kWh sobrantes y de si la vivienda se adhiere al mercado libre o al mercado regulado. En este caso como se ha explicado con anterioridad, la vivienda tiene un acuerdo con la compañía dentro del mercado regulado, por lo tanto, ese valor del precio de los excedentes de la energía será de $0,07 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$. Aunque, es importante destacar que, estas compensaciones económicas por el excedente tienen un límite, el cual será el consumo eléctrico. Lo que significa que nunca te van a pagar dinero, sino que puedes conseguir que se reduzca el precio de la factura a cero. Pero también es vital recordar que, este descuento en el precio solo afecta a la parte variable de la factura, es decir, al consumo, ya que los cargos fijos como son impuestos, alquiler del contador, etc., se tienen que seguir pagando y no se puede reducir mientras se siga estando conectado a la red.

Por el contrario, los meses de enero, julio y agosto en los cuales es superior el consumo de la vivienda a la energía obtenida a partir de los paneles fotovoltaicos, será necesario comprar esa energía de la red al precio del PVPC (Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor), el cual para el mercado regulado

hoy en día es de $0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$, pero es importante destacar que éste será un valor que varía cada hora y día, siendo el mejor momento para realizar esa compensación de excedentes entre las 8h y las 10h, y el peor a partir de las 14h.

Por último, cabe mencionar la posibilidad de no conectar la instalación fotovoltaica a la red, y de esta forma sería una instalación fotovoltaica de autoconsumo aislada. En cuyo caso sería vital disponer de batería o baterías en función de la potencia de la instalación. Estas baterías harían la función de un depósito en el cual se almacena la energía obtenida por los paneles, de manera que cuando los paneles no estén produciendo la energía suficiente para autoabastecer las necesidades de la vivienda, se tirarían de las baterías donde estaría la energía acumulada. Gracias a estas baterías, se compensan las horas del día en las que no existe luz solar y que, por lo tanto, no se puede obtener esa energía a partir de los paneles solares. También sería necesario un regulador de carga, con el objetivo de cuidar las baterías, consiguiendo que no lleguen a sobrecargarse las anteriores. El principal punto positivo de esta instalación aislada es que te convierte en una entidad energéticamente independiente y autosuficiente. En contraposición, el principal punto negativo de dicha instalación es que aumenta en gran medida el coste de la instalación, además de un mayor riesgo de que surjan problemas con el autoabastecimiento que si te conectases a la red.

4.6 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

4.6.1 PANELES SOLARES

Cada panel solar se compondrá de un módulo fotovoltaico de modelo Canadian 460W HIKU6 MONO PERC. Como puede intuirse es un tipo de módulo de tecnología canadiense, con una potencia de 460Wp, y siendo uno de los fabricantes de clase mundial más usados en los últimos años, debido a su elevada capacidad de fabricación y de una muy alta calidad. Constará de 120 células monocristalinas de un alto rendimiento.

Se ha elegido la opción de usar células monocristalinas debido a que son generalmente la mejor opción para poder maximizar la eficiencia y minimizar el espacio necesario, aunque con un costo inicial algo superior pero finalmente se obtiene una mayor rentabilidad. Tienen unos mejores rendimientos que el resto de las opciones, ante los días en los que existe una baja luz, por nieblas, nubes, etc. Lo que hace que se optimice la energía solar. Además de tener una vida útil y unas garantías mayores al resto, ya que como se puede observar en la siguiente figura tiene una garantía de 12 años en los materiales y de 25 años en la producción, lo cual son valores muy altos. En la Figura 20 se muestran las características del panel.

| | | | |
|-----------|---|--------------------|--|
| Potencia: | 460 Wp | Numero de celulas: | 120 |
| Vmp (V): | 34.8 V | Tipo de célula: | Monocristalina |
| Imp (A): | 13.24 A | Dimensiones: | 1903 x 1134 x 30 mm |
| Garantía: | 12 años en materiales y 25 años en la producción. | Fabricante: | Americano |
| Peso: | 24,2 kg (con marco) | Servicio técnico: | Consultar con el Servicio Técnico de Cambio Energético |

Figura 20. Características técnicas y prestaciones de la placa solar [18].

A estas características técnicas se le añadirá los valores de intensidad de cortocircuito (I_{sc}) la cual tendrá un valor de 14 A. El valor del voltaje de circuito abierto (V_{oc}) que será de 41,4 V. Además, de tener una eficiencia máxima cada uno de los módulos solares de 21,3 % el cual es un valor bastante bueno.

Por último, volver a comentar que para completar la instalación fotovoltaica se han utilizado 6 paneles solares como el mencionado, para poder llegar a ese valor de producción anual de energía fotovoltaica de 4465,72 kWh y poder autoabastecer la vivienda.

4.6.2 INVERSOR.

En primer lugar, cabe destacar la función de dicho inversor para poder realizar el correcto desarrollo de una instalación de autoconsumo de energía solar fotovoltaica, ya que es indispensable. Su función será la de convertir la CC (corriente continua) que se recoge por las células fotovoltaicas de los paneles solares, en CA (corriente alterna) para que sea apta para el consumo eléctrico doméstico y sea compatible con la red eléctrica, por si hay que verter los excedentes de energía eléctrica a esa red.

Va a ser importante la relación que se tenga entre los paneles fotovoltaicos y el inversor, la cual será la potencia de CC del sistema solar dividida por la potencia máxima de CA del inversor, la cual suele establecerse por los fabricantes de inversores y de sistemas solares en general con un valor máximo de 1,55. Es vital el dimensionamiento correcto de la potencia del inversor, debido a que en caso de tener una relación mayor a dicho valor, lo que ocurriría en una instalación en la que estés obteniendo un valor alto de energía captada por los paneles fotovoltaicos, es que se vería limitado el valor de energía a transformar por el inversor, por tanto no estaría trabajando de forma optima ni el inversor, ni por consecuente la instalación fotovoltaica, acumulando pérdidas de energía. Y, por otro lado, en caso de tener la relación demasiado baja, supondrá el uso de inversores de una potencia superior y,

por ende, un mayor coste de la instalación, además de que estaría perdiendo energía el inversor al no estar cerca de su capacidad total de operación, es decir, tampoco sería eficiente.

En este caso en particular, se instalará un tipo de inversor modelo monofásico de la marca Huawei, el modelo SUN2000-2KLT-LI (Figura 21). Ya que será el más adecuado para la potencia máxima de CC de la instalación fotovoltaica que será de 2,76kWp, el valor máximo de potencia de salida de este inversor será de 2kW. Es por ello por lo que, siguiendo con el cálculo explicado con anterioridad, se obtendrá una relación bastante buena de 1,38.



Figura 21. Inversor Huawei SUN 2000.

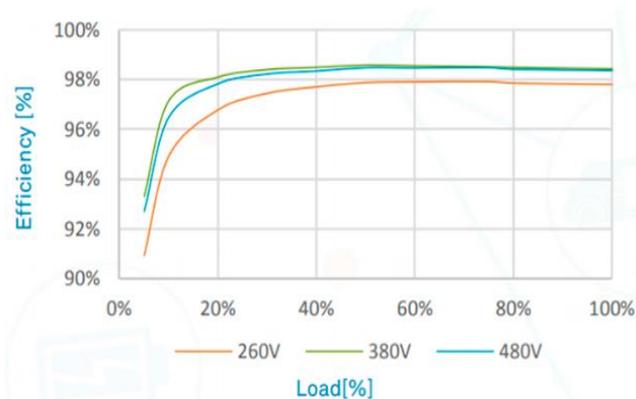


Figura 22. Curva de eficiencia del inversor.

En la Figura 22, se muestra la curva de la eficiencia de dicho inversor, la cual se puede apreciar gráficamente cómo ofrecerá un elevado porcentaje de eficiencia de funcionamiento, de más del 98%. Este será un inversor de conexión a red, ya que se trata de una instalación fotovoltaica conectada a red, pero al ser un modelo de inversor híbrido también tendría la posibilidad de añadir baterías y conectarse a ellas para poder aumentar el ratio de autoconsumo, y de alguna manera tener menor dependencia de la red eléctrica.

4.6.3 CABLEADO

Finalmente, y una vez comentado los elementos que se utilizarán dentro de la instalación, faltará especificar cómo se comunicarán entre ellos con las distintas configuraciones e interconexiones posibles. Ya que esto variará en función de los paneles, inversor y demás elementos empleados en la instalación.

Un aspecto fundamental para el dimensionamiento del cableado es tener en cuenta lo que se comenta en el reglamento de la guía técnica de aplicación en instalaciones generadoras de baja tensión: “Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5% para la intensidad nominal” [19]. Cabe destacar que habrá que analizar tanto el cableado que conecta las placas solares con el

inversor utilizado, los cuales van a estar operando en condiciones de corriente continua, como el cableado que sale del inversor con destino final el cuadro eléctrico general del cliente, el cual operará en condiciones de corriente alterna.

Primero de todo, se realizará el estudio de la sección mínima del cable de corriente continua, que seguirá el criterio de la caída de tensión máxima permitida, como se ha expuesto con anterioridad. La siguiente expresión se muestra en la ecuación 4.

$$S_{cc} = \frac{2 * L * I}{\gamma * \Delta U}$$

Ecuación 4

Donde:

- S es el valor que se busca, el cual corresponde con la sección mínima del cable, (mm²).
- L es la longitud total de cables de la línea, contando desde el panel hasta el inversor, (m).
- I es la intensidad del panel, (A).
- γ es la conductividad del cable, ($\frac{m}{mm^2 * \Omega}$).
- ΔU es la caída de tensión máxima permitida (V), la cual se ha especificado que se establece en 1,5% desde la generación de la electricidad, es decir, los paneles solares hasta la conexión de la red eléctrica.

Para los valores tanto de la conductividad del cable, como de la caída máxima de tensión habrá unas regulaciones impuestas por el (IDAE) Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. En la cual se expresa que tendrán que ser conductores de material de cobre (Cu) y la caída de tensión máxima como se ha mencionado de 1,5 %. Para su correcto cálculo habrá que tener en cuenta tanto la tensión de cortocircuito de la rama de los paneles solares de corriente continua, como la rama que llevará la tensión de la salida del inversor al cuadro eléctrico, el cual será la tensión de corriente alterna. Ambas ecuaciones se expresan a continuación:

$$\Delta U_{CC} = \frac{1,5}{100} * U_{OC}$$

Ecuación 5

$$\Delta U_{CA} = \frac{1,5}{100} * U_{AC}$$

Ecuación 6

Como se ha determinado que el cableado debe ser de cobre, se ha consultado en la bibliografía los valores medios que se establecen para el cobre a las diferentes temperaturas. Se va a predeterminar para hacer el cálculo de la sección del cable con la ecuación 4, que la conductividad a un valor medio de 20 °C será de $56 \frac{m}{mm^2 * \Omega}$ [20].

De esta misma forma se realizará para aplicar el método con el cableado de corriente alterna, en donde existirán unas pequeñas variaciones que se expondrán en la siguiente ecuación 7. Donde la “L” será la longitud entre la salida del inversor y el cuadro general eléctrico el cual se situará en el cuarto de contadores del edificio en la planta baja, los valores de la intensidad “I” y de voltaje “ ΔU ”, vendrán marcados por el modelo de inversor que se haya utilizado en la instalación y, por último, aparecerá un factor de potencia el cual se va a considerar la unidad “ $\cos \theta$ ”, debido a que se estimará como nulo el desfase entre la potencia activa y la aparente.

$$S_{CA} = \frac{\sqrt{3} * L * I * \cos \theta}{\gamma * \Delta U}$$

Ecuación 7

Una vez se ha explicado teóricamente cuales serían los pasos a seguir se procederá a ejemplificar cada uno de los casos dentro de la instalación que se ha llevado a cabo para este Trabajo de Fin de Grado. Para ello se va a empezar por el cálculo de la caída de tensión máxima permitida para el cableado de corriente continua, siguiendo la ecuación 5:

$$\Delta U_{CC} = \frac{1,5}{100} * 34,8V * 6 = 3,132V$$

Se obtiene que el “ ΔU ” será de 3,132 V en toda la rama de corriente continua de los paneles solares, y como se tienen 6 paneles solares se multiplica por ese valor para obtener la caída de tensión total de los paneles, y multiplicada por la tensión máxima de cada uno de los paneles que es 34,8 V por panel instalado. A continuación, para poder establecer la sección mínima del cableado, se continúa desarrollando la ecuación 4, teniendo en cuenta que la longitud “L” que habrá desde los paneles solares al inversor, el cual se situará en la planta baja en el cuadro de contadores, es de unos 30 metros:

$$S_{CC} = \frac{2 * 30m * 14A}{56 \frac{m}{mm^2 * \Omega} * 3,132V} = 4,789mm^2$$

Siendo, por tanto, la sección mínima del cable de corriente alterna de un área o sección de 4,789 mm². Por lo que el cable que se debería de elegir para esta instalación debería de ser el que tenga una sección inmediatamente superior al calculado, siendo esta la de 6 mm², dentro de las secciones de cables de cobre comercializada que se muestran en la Figura 23.

| | mm ² |
|-----|-----------------|
| | Cobre |
| 2,5 | |
| 4 | |
| 6 | |
| 10 | |
| 16 | |
| 25 | |
| 35 | |
| 50 | |
| 70 | |
| 95 | |
| 120 | |
| 150 | |
| 185 | |
| 240 | |
| 300 | |

Figura 23. Tabla de las secciones comerciales del cable de cobre [20].

Antes de seguir aplicando criterios, cabe destacar que el tipo de cable que se utilizará para toda la instalación será uno de tipo PV ZZ-F, de cobre, que se ha diseñado específicamente para su uso en instalaciones fotovoltaicas, debido a que serán cables unipolares de doble aislamiento y con una gran resistencia a la intemperie. Para la parte de corriente continua que se ha calculado, se dispondrá como es lógico de dos cables de este tipo, ya que será uno para el polo positivo y otros para el negativo. Y, el tipo de instalación del cable, en toda esa longitud desde que sale de los paneles solares hasta que llegue al cuarto de contadores donde se encuentre ese inversor, y también el cuadro eléctrico general, será un tipo de cableado grapado a la pared. Es por ello por lo que será del tipo BI (Figura 24), dentro los posibles métodos de instalación para el cableado, los cuales se muestran a continuación [20].

| Instalación de referencia | | | Tabla y columna | | | |
|---------------------------|--|----|---|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | | Intensidad admisible para los circuitos simples | | | |
| | | | Aislamiento PVC | | Aislamiento XLPE-EPR | |
| | | | Número de conductores | | | |
| | | | 2 | 3 | 2 | 3 |
| | Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante | A1 | columna 4 | columna 3 | columna 7 | columna 6 |
| | Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante | A2 | columna 3 | columna 2 | columna 6 | columna 5 |
| | Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera/mamp. | B1 | columna 6 | columna 5 | columna 10 | columna 8 |
| | Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera/map. | B2 | columna 5 | columna 4 | columna 8 | columna 7 |
| | Cables unipolares; o multipolares sobre una pared de madera/mamp. | C | columna 8 | columna 6 | columna 11 | columna 9 |
| | Cable multiconductor en conductos enterrados | D | columna 3 | columna 4 | columna 5 | columna 6 |
| | Cable multiconductor al aire libre. Distancia al muro \geq a 0,3 veces ϕ del cable | E | columna 9 | columna 7 | columna 12 | columna 10 |
| | Cables unipolares en contacto al aire libre. Distancia al muro \geq ϕ del cable | F | columna 10 | columna 8 | columna 13 | columna 11 |
| | Cables unipolares espaciados al aire libre. Distancia entre ellos \geq el ϕ del cable | G | — | Ver UNE 20460-5-523 | — | Ver UNE 20460-5-523 |

Figura 24. Métodos para las instalaciones del cableado.

Una vez se ha especificado todo lo necesario para el cableado de corriente continua, se procede a hacer los cálculos del cableado de corriente alterna. En este caso es necesario comenzar calculando la caída máxima de tensión de alterna, descrito con anterioridad en la ecuación 6:

$$\Delta U_{CA} = \frac{1,5}{100} * 220V = 3,3V$$

Y, siguiendo el desarrollo de la ecuación 7, se halla la sección mínima para el cable de corriente alterna:

$$S_{CA} = \frac{\sqrt{3} * 3m * 10A * 1}{56 \frac{m}{mm^2} * \Omega * 3,3V} = 0,282mm^2$$

Siendo, por tanto, el cable de 1,5 mm² el que se utilizará para llevar ese tramo de cable desde la salida del inversor al cuadro eléctrico general.

4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO Y AHORRO OBTENIDO (TRS)

Una vez se ha especificado con detalle los materiales, las características y el método de empleo que se van a llevar a cabo dentro de la instalación, ahora se podrá realizar de forma más concisa y exacta un análisis de costes de la misma. Además, también conocidos los datos del consumo de la vivienda unifamiliar y de la producción de energía fotovoltaica, se podrá realizar un estudio económico de todo ello, para estudiar si va a ser rentable o no esta instalación fotovoltaica para el autoconsumo, y en caso afirmativo, ver a partir de cuantos años de realizar la instalación comenzaría a dar beneficios. Esto se llevará a cabo con la ecuación del TRS (Tasa de Retorno Simple) que se muestra a continuación:

$$TRS = \frac{\text{Coste de la instalación}}{\text{Ahorro anual}}$$

Ecuación 8

Cabe destacar que el precio medio de una instalación fotovoltaica de autoconsumo para una vivienda unifamiliar es de en torno a 1.500€ por cada kilovatio que se ha generado sin tener en cuenta los impuestos. Si se tiene en cuenta que como media un hogar consume 4,4 kW entonces resulta un coste inicial de este proyecto de 6.600€ (más IVA) [17]. Este dato se comparará con el obtenido en este caso en particular de la vivienda estudiada.

En primer lugar, en la Tabla 5 se muestran detallados los costes y cantidades de los principales equipos empleados para la instalación fotovoltaica.

Tabla 5. Coste y cantidad de equipos necesarios en la instalación fotovoltaica.

| Equipo | Método | Precio unitario (€) | Cantidad | Precio total (€) |
|---|-------------------|---------------------|----------|------------------|
| Paneles solares, modelo CanadianSolar Hiku6 Mono PERC 460W | Búsqueda catálogo | 150 | 6 | 900 |
| Inversor monofásico, marca Huawei, modelo SUN2000-4.6KTL-L1 | Búsqueda catálogo | 1100 | 1 | 1100 |
| Vatímetro Huawei y conector RS485 | Búsqueda catálogo | 330 | 1 | 330 |
| PRECIO TOTAL DEL EQUIPO (E) | - | - | - | 2330 |

A continuación, se aplicará el método de Peters y Timmerhaus (Tabla 6) para estimar el precio del resto de componentes de la instalación. En dicha tabla se aprecian los porcentajes de cada una de las actividades dentro de la instalación, así como una separación entre los costes directos e indirectos.

Tabla 6. Método de los porcentajes para el total de la instalación fotovoltaica.

| Método de los porcentajes | | |
|--|----------------------------------|-------------------|
| Partida | Porcentaje | Dinero (€) |
| Equipo | E | 2330 |
| Materiales (M) | 65% E | 1514,50 |
| Ingeniería de detalle de proyecto pequeño | 45% (E+M) | 1730,03 |
| Ingeniería de Proceso, licencias y catalizadores | No evaluable en esta instalación | - |
| Construcción | 60% (E+M) | 2306,70 |
| Supervisión de la construcción | 10% (E+M) | 384,45 |
| TOTAL ÁREA DE PROCESO (€) (ISBL) | | 8265,68 |
| Servicios auxiliares | 4% ISBL | 330,63 |
| Off-sites o Interconexiones | 8% ISBL | 661,25 |
| Gastos de puesta en marcha | 3,5% ISBL | 289,30 |
| Contingencias e imprevistos | 10% ISBL | 826,57 |
| INVERSIÓN TOTAL (€) | | 10373,42 |

Como se puede apreciar en la Tabla 6 el coste total del área de proceso o ISBL es de 8.265,68€ y se corresponde con los costes directos de la instalación. Mientras que, lo que recogido en la parte inferior de la Tabla 6: servicios auxiliares, interconexiones... suman la parte de costes indirectos. Entre unos y otros, el resultado del coste total de la instalación es el que se observa en la última celda de la Tabla 6, el cual suma un valor de 10.373,42€.

Por otro lado, para poder calcular esa tasa de retorno simple de la que se ha hablado, aún se necesita hallar el valor del ahorro anual que se lleva a cabo. Para ello se va a hacer una suma del precio que se pagó por el consumo anual de la vivienda durante el año 2023, el cual ya fue calculado en la Tabla I en el apartado “4.2 sobre análisis del consumo de la vivienda”, valor que es de 865,72€. Al que habrá que sumarle ese excedente de energía que se ha obtenido de la producción fotovoltaica por encima del

consumo y el cual va a ser cedido a la red eléctrica, por el cual se obtendrá una compensación económica, que corresponderá a 0,07€ por kWh de excedente, como se explicó con anterioridad.

Tabla 7. Desglose del cálculo del ahorro mensual a partir de la energía excedente de la instalación.

| Meses | En | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|------|-------|
| Excedente (kWh) | NO HAY | 13,22 | 77,21 | 108,53 | 123,36 | 85,72 | NO HAY | NO HAY | 158,93 | 66,64 | 6,4 | 32,02 |
| Precio ahorro mensual (€) | - | 0,92 | 5,40 | 7,60 | 8,635 | 6,00 | - | - | 11,125 | 4,665 | 0,45 | 2,241 |

Finalmente, si se realiza el sumatorio de los precios calculados mes a mes durante todo el año, se asciende a un ahorro total al año por esa energía excedente de la instalación fotovoltaica de 47,04 €. Este valor es una estimación en base a los datos de consumo del año 2023, pero en función del año, puede haber ligeras variaciones en los consumos mensuales de la vivienda, dado que no es un valor fijo, sino que variará en función de los convivientes y del consumo que lleven mensualmente.

Dicho esto, finalmente se procede a hallar la Tasa de Retorno Simple (TRS) a partir de la ecuación 8, y con los datos que se han ido mostrando.

$$TRS = \frac{10.373,42€}{(865,72 + 47,04) \frac{€}{año}} = 11,36 \text{ años}$$

Como se muestra, será un proyecto en el que la inversión será recuperada a los 11 años, pero teniendo en cuenta que estos paneles fotovoltaicos tienen una garantía en la producción de 25 años. Por tanto, se concluye que es una instalación rentable, que comenzará a generar beneficios económicos a partir del doceavo año tras su instalación.

Por otra parte, no hay que olvidar que además de los beneficios económicos esta instalación tendrá beneficios ambientales, ya que al producir la electricidad de manera renovable se minimizarán las emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes.

4.8 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

Si bien es cierto que la energía solar fotovoltaica es de gran ayuda en la búsqueda de un futuro más sostenible y con menos contaminación, cabe destacar que no es del todo cierto que sus emisiones de CO₂ sean nulas. Debido a que en la fabricación de paneles fotovoltaicos y demás procesos de la cadena de suministro no es del todo nula la huella de carbono.

También será importante destacar que esa huella podrá ser mayor o menor en función de una serie de factores, como pueden ser:

- El rendimiento anual de la instalación fotovoltaica.
- La vida útil de los módulos. La cual estará entre los 25 y los 35 años.
- La duración de los inversores, periodo medio entre 10 y 30 años.
- La eficiencia del sistema a la salida del inversor, tipo de sistema de la instalación, etc.

Bien dicho este dato de que no es al 100 % limpia, hay que seguir destacando que es una tecnología muy sostenible en comparación con otras fuentes de energía que emiten miles y miles de emisiones de CO₂ a la atmósfera aumentando la degradación progresiva del medio ambiente. Es por ello por lo que en este último apartado se procede a calcular el ahorro de emisiones de CO₂. Para llevar a cabo esta estimación, se hará un estudio mes a mes de todo el año 2023. Para ello se va a partir de los datos mensuales obtenidos de la producción fotovoltaica en kWh, obtenidos de la figura 19. Los resultados de ahorro de emisiones de CO₂ se recogen en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores obtenidos de reducción de emisiones de CO₂ [21].

| Meses | Producción FV mensual (kWh) | tep ahorradas | Emisiones tCO₂ ahorradas |
|-------------------|------------------------------------|----------------------|--|
| <i>Enero</i> | 279,91 | 55,98 | 226,73 |
| <i>Febrero</i> | 302,22 | 60,44 | 244,80 |
| <i>Marzo</i> | 383,21 | 76,64 | 310,40 |
| <i>Abril</i> | 396,53 | 79,31 | 321,19 |
| <i>Mayo</i> | 431,36 | 86,27 | 349,40 |
| <i>Junio</i> | 438,72 | 87,74 | 355,36 |
| <i>Julio</i> | 475,12 | 95,02 | 384,85 |
| <i>Agosto</i> | 460,66 | 92,13 | 373,13 |
| <i>Septiembre</i> | 406,93 | 81,39 | 329,61 |
| <i>Octubre</i> | 346,64 | 69,33 | 280,78 |
| <i>Noviembre</i> | 272,4 | 54,48 | 220,64 |

| | | | |
|--------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Diciembre | 272,02 | 54,40 | 220,34 |
| TOTAL | 4.465,72 | 893,14 | 3.617,23 |

Como se puede apreciar se determina que, al cabo de un año, el ahorro de emisiones en toneladas de CO₂ será de 3.617,23. Ese ahorro de toneladas de CO₂ es el equivalente de 893,14 toneladas de petróleo evitadas. Estos datos implican un gran ahorro de emisiones y de consumo de combustible que beneficiará en gran medida al planeta contribuyendo a la descarbonización del sector energético y apostando por la consecución de un futuro energético más sostenible y limpio.

5. Conclusiones

Tras haber hecho un exhaustivo estudio de todo lo que supone la implantación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo para una vivienda unifamiliar, se puede determinar que:

- Es vital el uso de un simulador para obtener resultados que nos son imprescindibles para el posible desarrollo del proceso.
- Cabe destacar, factores que influirán en gran medida para la obtención de resultados favorables o menos favorables en la simulación, como pueden ser el emplazamiento, climatología y radiación que influirá en dicha zona, así como el grado de inclinación de los paneles solares utilizados, que se guían por la ecuación 1.
- Se puede concluir que la implantación de esta instalación fotovoltaica garantiza tanto al medioambiente, como a la economía de la familia una mejora. Debido a que, aunque suponga una inversión inicial, finalmente tras 11 años se conseguirá recuperar esa inversión además de obtener un beneficio económico en los siguientes años hasta que se pueda seguir utilizando dicha instalación la cual tendrá una vida media de entorno a 20-25 años, con sus consecuentes revisiones periódicas, etc.
- La energía solar fotovoltaica se puede garantizar que desempeña un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, por un futuro energético más sostenible y limpio. El desarrollo de esta tecnología de bajas emisiones de carbono se ha obtenido que mediante este proceso se puede favorecer en un ahorro de 3.617,23 toneladas de CO₂ anuales, lo que equivale con 893,14 toneladas de petróleo evitadas.

6. Bibliografía

- [1] Manos Unidas, el cambio climático. [En línea]. <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/lucha-contra-cambio-climatico>
- [2] Naciones Unidas, acción por el clima (las energías renovables). [En línea]. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [3] Datos estadísticos de las energías renovables en el mundo. [En línea]. <https://es.statista.com/estadisticas/638825/generacion-mundial-de-energia-renovable-por-tipo-de-fuente-energetica/>
- [4] Enel Green Power, célula fotovoltaica o célula solar [En línea]. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/celula-fotovoltaica>
- [5] Repsol, el autoconsumo energético. [En línea]. Available: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/que-es-el-autoconsumo/index.cshtml>
- [6] Selectra, subvenciones de placas solares. [En línea]. <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/subvenciones>
- [7] Red eléctrica (REData), generación de energía. [En línea]. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-renovables>
- [8] Distritos y barrios, Ayuntamiento de Madrid. [En línea]. <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Arganzuela/Direcciones-y-telefonos/Distritos-y-barrios/?vgnextfmt=default&vgnextoid=5a86befb3fd31810VgnVCM200001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=fbf1283017e28010VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>
- [9] Agencia estatal Boletín Oficial del Estado (BOE), Real Decreto-ley 10/2022, de 13 de mayo. [En línea]. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-7843>
- [10] Endesa, «cómo calcular el consumo eléctrico de tu casa», [En línea]. [https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/calcular-consumo-electrico-casa#:~:text=Seg%C3%BAn%20Red%20El%C3%A9ctrica%20Espa%C3%Blola%20\(REE,Espa%C3%Bl%20\(2020%2D2019\).](https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/calcular-consumo-electrico-casa#:~:text=Seg%C3%BAn%20Red%20El%C3%A9ctrica%20Espa%C3%Blola%20(REE,Espa%C3%Bl%20(2020%2D2019).)
- [11] Naturgy, «¿qué es la financiación del Bono Social y por qué aparece en mi factura?», [En línea]. https://www.naturgy.es/ayuda/preguntas_gestiones_frecuentes/financiacion_bono_social_factura_luz

- [12] Iberdrola, «radiación solar: qué es y cómo se produce», [En línea].
<https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>
- [13] Energía solar en Arganzuela, radiación solar 15 días. [En línea].
<https://www.radiacionsolar.es/arganzuela.html>
- [14] Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Informe de radiación solar en 2023. [En línea].
https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/radiacion_ozono
- [15] Definición de climatología, El tiempo.es «¿qué es la climatología?». [En línea].
<https://www.eltiempo.es/noticias/meteopedia/climatologia>
- [16] AEMET, Análisis estacional: Madrid, Retiro. [En línea].
https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/analisis_estacional?w=3&l=3195&datos=temp
- [17] MYGREENHOUSE, precio de una instalación fotovoltaica. [En línea].
<https://mygreenhouse.es/blog/precio-instalacion-fotovoltaica/>
- [18] Módulo fotovoltaico Canadian 460W Hiku6 Mono PERC, “cambio energético”. [En línea].
<https://www.cambioenergetico.com/producto/modulo-fotovoltaico-canadian-460w-hiku6-mono-perc/>
- [19] Instalaciones generadoras de baja tensión, “guía técnica de aplicación”. [En línea].
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/bt/Guia_bt_40_sep13R1.pdf
- [20] “Cálculo de la sección de cable para paneles solares”, [En línea]. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>
- [21] “Cálculo de las emisiones de CO2 evitadas en instalación de energía solar”, [En línea].
<https://esirenovables.es/calculo-emisiones-co2-evitadas-instalacion-autoconsumo-energia-solar-fotovoltaica>

Apéndice

I. NORMATIVA GENERAL EN ESPAÑA PARA UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA.

Algunas de las normativas más importantes para tener en cuenta a nivel nacional, y que están impuestas para cualquier particular o cualquier colectivo que quiera hacer la implantación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo estará sujeta a varios reglamentos y normativas que deben cumplirse para asegurar su legalidad y seguridad. Algunas de ellas son las citadas a continuación:

- Real Decreto 244/2019: Regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Este decreto establece el marco normativo para la conexión a la red, la compensación de excedentes y las modalidades de autoconsumo.
- Real Decreto 413/2014: Regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. Es aplicable en algunos aspectos para instalaciones fotovoltaicas.
- Real Decreto 900/2015: Establece las condiciones para el autoconsumo de energía eléctrica. Aunque algunas de sus disposiciones han sido modificadas por el Real Decreto 244/2019, sigue siendo relevante en algunos puntos.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT): Incluye el Reglamento aprobado por el Real Decreto 842/2002 y las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) aplicables a instalaciones fotovoltaicas.
- Código Técnico de la Edificación (CTE): Incluye el Documento Básico HE Ahorro de Energía, que establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones para contribuir a la eficiencia energética de los edificios.
- Orden TED/668/2020: Regula la concesión de las ayudas a la inversión en instalaciones de producción de energía eléctrica de tecnología solar fotovoltaica.
- Ley 24/2013 del Sector Eléctrico: Regula el sector eléctrico en su conjunto, incluyendo aspectos relacionados con el autoconsumo.
- Normas UNE: Las Normas UNE (Asociación Española de Normalización) aplicables a las instalaciones fotovoltaicas, como la UNE 206007-1, que establece los requisitos para la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Reglamento (UE) 2016/631: Reglamento de la Comisión por el que se establecen los códigos de red relativos a los requisitos de conexión de generadores a la red eléctrica.
- Normativa local: Las normativas específicas de las comunidades autónomas y ayuntamientos que pueden establecer requisitos adicionales o específicos para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

2. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR HUAWEI SUN2000.

SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1 Especificaciones técnicas

| Especificaciones técnicas | SUN2000 -2KTL-L1 | SUN2000 -3KTL-L1 | SUN2000 -3.68KTL-L1 | SUN2000 -4KTL-L1 | SUN2000 -4.6KTL-L1 | SUN2000 -5KTL-L1 | SUN2000 -6KTL-L1 ¹ |
|---|--|---------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Eficiencia | | | | | | | |
| Eficiencia Máxima | 98.2 % | 98.3 % | 98.4 % | 98.4 % | 98.4 % | 98.4 % | 98.4 % |
| Eficiencia europea | 96.7 % | 97.3 % | 97.3 % | 97.5 % | 97.7 % | 97.8 % | 97.8 % |
| Entrada (FV) | | | | | | | |
| Entrada de CC máxima recomendada ² | 3,000 Wp | 4,500 Wp | 5,520 Wp | 6,000 Wp | 6,900 Wp | 7,500 Wp | 9,000 Wp |
| Máx. tensión de entrada | 600 V ³ | | | | | | |
| Tensión de arranque | 100 V | | | | | | |
| Rango de tensión de operación de MPPT | 90 V ~ 560 V ³ | | | | | | |
| Tensión nominal de entrada | 360 V | | | | | | |
| Máx. intensidad por MPPT | 12.5 A | | | | | | |
| Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT | 18 A | | | | | | |
| Cantidad de MPPTs | 2 | | | | | | |
| Máx. número de entradas por MPPT | 1 | | | | | | |
| Entrada (Batería CC) | | | | | | | |
| Batería compatible | LG Chem RESU 7H_R / 10H_R | | | | | | |
| Rango de tensión de operación | 350 ~ 450 Vcc | | | | | | |
| Max. corriente de operación | 10 A @7H_R / 15 A @10H_R | | | | | | |
| Potencia de carga máxima | 3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R | | | | | | |
| Potencia máxima de descarga @ 7H_R | 2,200 W | 3,300 W | 3,500 W | 3,500 W | 3,500 W | 3,500 W | 3,500 W |
| Potencia máxima de descarga @ 10H_R | 2,200 W | 3,300 W | 3,680 W | 4,400 W | 4,600 W | 5,000 W | 5,000 W |
| Batería compatible | HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh ~ 30kWh ¹ | | | | | | |
| Rango de tensión de operación | 350 ~ 560 Vdc | | | | | | |
| Max. corriente de operación | 15 A | | | | | | |
| Potencia de carga máxima | 5,000 W ⁴ | | | | | | |
| Potencia máxima de descarga | 2,200 W | 3,300 W | 3,680 W | 4,400 W | 4,600 W | 5,000 W | 5,000 W |
| Salida | | | | | | | |
| Conexión a la red eléctrica | Monofásica | | | | | | |
| Potencia de salida nominal | 2,000 W | 3,000 W | 3,680 W | 4,000 W | 4,600 W | 5,000 W ⁵ | 6,000 W |
| Máx. potencia aparente de CA | 2,200 VA | 3,300 VA | 3,680 VA | 4,400 VA | 5,000 VA ⁶ | 5,500 VA ⁷ | 6,000 VA |
| Tensión nominal de Salida | 220 Vac / 230 Vac / 240 Vac | | | | | | |
| Frecuencia nominal de red de CA | 50 Hz / 60 Hz | | | | | | |
| Máx. intensidad de salida | 10 A | 15 A | 16 A | 20 A | 23 A ⁸ | 25 A ⁸ | 27.3 A |
| Factor de potencia ajustable | 0.8 leading ... 0.8 lagging | | | | | | |
| Máx. distorsión armónica total | ≤ 3 % | | | | | | |
| Salida para SAI | Sí (a través de Backup Box-B0 ¹) | | | | | | |
| Protección & Características | | | | | | | |
| Protección anti-isla | Sí | | | | | | |
| Protección contra polaridad inversa de CC | Sí | | | | | | |
| Monitorización de aislamiento | Sí | | | | | | |
| Protección contra descargas atmosféricas CC | Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11 | | | | | | |
| Protección contra descargas atmosféricas CA | Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11 | | | | | | |
| Monitorización de la corriente residual | Sí | | | | | | |
| Protección contra sobreintensidad de CA | Sí | | | | | | |
| Protección contra cortocircuito de CA | Sí | | | | | | |
| Protección contra sobretensión de CA | Sí | | | | | | |
| Protección contra sobrecalentamiento | Sí | | | | | | |
| Protección de falla de arco | Sí | | | | | | |
| Carga inversa de la batería desde la red | Sí | | | | | | |
| Datos generales | | | | | | | |
| Rango de temperatura de operación | -25 ~ +60 °C | | | | | | |
| Humedad relativa de operación | 0 %RH ~ 100 %RH | | | | | | |
| Altitud de operación | 0 ~ 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 2000 m) | | | | | | |
| Ventilación | Convección natural | | | | | | |
| Pantalla | Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar | | | | | | |
| Comunicación | RS485, WLAN a través del módulo WLAN incorporado en el inversor Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional); 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional) | | | | | | |
| Peso (incluido soporte de montaje) | 12.0 kg | | | | | | |
| Dimensiones (incluido soporte de montaje) | 365mm * 365mm * 156 mm | | | | | | |
| Grado de protección | IP65 | | | | | | |
| Consumo de energía durante la noche | < 2,5 W | | | | | | |
| Compatibilidad con optimizadores | | | | | | | |
| Optimizador compatible con MBUS CC | SUN2000-450W-P | | | | | | |
| Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud) | | | | | | | |
| Seguridad | EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2 | | | | | | |
| Estándares de conexión a red eléctrica | G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116 | | | | | | |

¹ Disponible en Q3 del 2020.

² La potencia fotovoltaica de entrada máxima del inversor es de 10.000 Wp cuando las cadenas largas se diseñen y conecten al completo de optimizadores de potencia SUN2000-450W-P.

³ El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirán a 495 V cuando el inversor se conecte y funcione con la batería LG.

⁴ 2.500 W en las baterías HUAWEI ESS de 5kWh

⁵ AS4777.2:4.991W. * 6. VDE-AR-N 4105: 4.600VA / AS4777.2:4.999VA. * 7. AS4777.2: 4.999VA / C10/11:5.000VA. * 8. AS4777.2: 21.7A.

Versión No.:03-(20200622)

SOLAR.HUAWEI.COM/ES/

Figura 25. Ficha técnica del inversor Huawei SUN2000 con sus especificaciones técnicas.