



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Optimización del diseño de una instalación fotovoltaica de autoconsumo en una casa rural situada en Cartagena.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Fernando Mellado Gómez.

Directora: Ana Nieto Morote.



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, Julio 2022.

ÍNDICE

1. Antecedentes.....	3
2. Objetivo del trabajo.....	5
3. Localización de la vivienda y características principales.	6
4. Consumo energético de la vivienda en el año 2021.....	9
5. Principales elementos eléctricos de la vivienda y consumos.....	13
5.1. Elementos eléctricos instalados actualmente.	13
5.2. Elementos eléctricos a instalar en la vivienda.	14
6. Energía consumida año 2021 y energía consumida como vivienda habitual.....	18
7. Tipos de instalaciones de autoconsumo.	20
8. Elementos de un sistema de placas fotovoltaicas para autoconsumo.	23
9. PVGIS.	28
10. Cálculo de energía generada.	31
10.1. Método de cálculo de energía generada y dimensionamiento.	31
10.1.1. Cálculo del número de paneles necesarios.....	31
10.1.2. Cálculo de número máximo de paneles en serie (N _{máx. serie}).	33
10.1.3. Cálculo de número mínimo de paneles en serie (N _{min. serie}).	34
10.1.4. Cálculo de número mínimo de ramales en paralelo (N _{ramales}).....	35
10.1.5. Cálculo de energía generada por el sistema prediseñado.	37
10.2. Cálculo de la instalación fotovoltaica a instalar.	40
10.2.1. Cálculo del número de paneles necesarios.....	42
10.2.2. Cálculo de número máximo de paneles en serie (N _{máx. serie}).	44
10.2.3. Cálculo de número mínimo de paneles en serie (N _{min. serie}).	44
10.2.4. Cálculo de número mínimo de ramales en paralelo (N _{ramales}).....	45
10.3. Instalación seleccionada y posicionamiento.....	46
11. Cálculo de energía generada E _{gen} por el sistema prediseñado.	47
12. Energía generada instalación y energía consumida vivienda.	51
13. Estudio económico.	53
13.1 Coste de la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos.....	54
13.2 Análisis facturas eléctricas y balance económico.	55
13.3 Estudio de viabilidad.....	58
13. Tramitación de la instalación de autoconsumo sin excedentes.....	62
14. Conclusiones.....	64
15. Bibliografía.....	65

1. Antecedentes.

A lo largo de los últimos años, los términos de autoconsumo y energía fotovoltaica, han sido utilizados cada vez con mayor frecuencia por parte de pequeños consumidores de energía eléctrica en España.

Según indica la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) en su anuario estadístico donde se indica la capacidad renovable, España en el año 2021 se ha colocado octava en el ranking de países con mayor capacidad de obtención de energía renovable del mundo [1]. Dentro de la unión europea, en el año 2020, España se situó como el segundo país de Europa en capacidad de generación de energía eólica y el tercer país en capacidad de generación de energía solar [2].

Para el año 2020, España se propuso como objetivo cubrir el 20% de la demanda de la energía del país con fuentes de energía renovables. Como resultado, se ha conseguido el objetivo marcando un porcentaje del 21.2%. Este porcentaje se ha visto influido por el aumento de la energía renovable instalada en el país y por la disminución de energía demandada debido a la crisis del SARS COVID-19 sufrida [3].

Según indica la REE (Red Eléctrica de España), la energía fotovoltaica en 2021 ha sufrido un aumento de la producción del 37,7% con respecto al año anterior y pasa a formar el 8.1% del total de la generación de electricidad en España [4].

Además de la emergente necesidad de obtener un mayor porcentaje de energía de manera renovable, la situación en España con respecto al precio de la electricidad, está afectando seriamente a la economía de la población. El año 2021 ha sido el año con la electricidad más cara de toda la historia en España, teniendo de media un precio de 111,93€/MWh [5]. En el año 2022 seguramente se supere al año 2021. El precio de la luz se ha visto aumentado aún más por el conflicto entre Ucrania y Rusia, marcando en Marzo 2022 records históricos desde 1998, llegando a marcar 544,98€/MWh de media el día 08/03/2022, siendo el pico de 700€/MWh. En esa misma fecha en el año 2021, el precio era de 54,43€/MWh [6].

En el [Gráfico 1](#), se representa a día 10/07/2022 la comparación de los precios diarios de la luz en España entre los años 2021 y 2022.

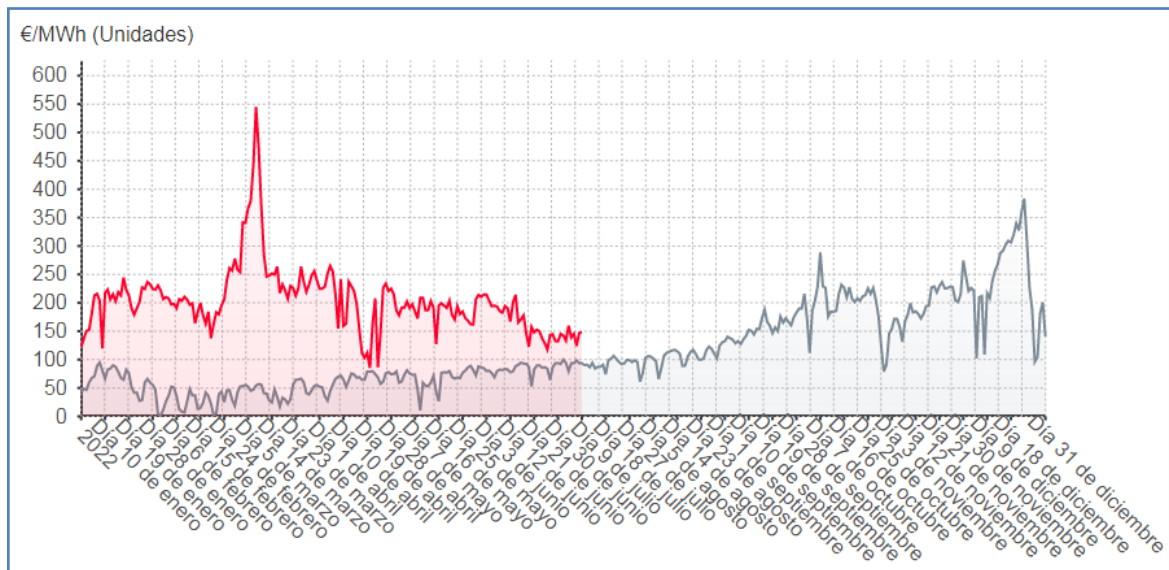


Gráfico 1. Comparativa precios diarios de la luz entre el año 2021 y 2022. [6]

A partir del año 2019, Europa y España han trabajado en conjunto para desarrollar un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) [7]. España tiene como objetivos generales a alcanzar en el año 2030:

- Reducir un 23% las emisiones de gases que producen efecto invernadero con respecto al año 1990.
- Conseguir que en el año 2030 el 42% de la energía utilizada en España, sea de origen renovable.
- Alcanzar un 39,5% de mejora de la eficiencia energética en el año 2030.
- Producir el 74% del total de la electricidad de manera renovable en el año 2030.

2. Objetivo del trabajo.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio para el dimensionamiento y la optimización de un sistema de autoconsumo de electricidad a través de paneles fotovoltaicos en una casa de campo y determinar su rentabilidad económica en la factura de la luz.

Actualmente el uso de la vivienda es de tipo ocasional, pero el objetivo de este trabajo es suponer el consumo energético de la vivienda en el caso de ser utilizada como vivienda principal, dimensionar un sistema de autoconsumo de paneles fotovoltaicos que sea capaz de cubrir la demanda energética durante las horas de radiación solar y comprobar si se genera energía en exceso que se pueda verter a la red.

Se parten de los datos de consumo energético actual que tiene la vivienda durante el periodo de un año y se va a suponer un consumo adicional de electrodomésticos que actualmente no están instalados en la vivienda.

Una vez obtenidos los datos de consumo energético final y los datos de radiación de la zona, se va a calcular y dimensionar una instalación de autogeneración de energía formada por paneles solares para cubrir la demanda energética de la vivienda. Cuando se obtengan los resultados de la capacidad de generación de la instalación real, se va a decidir si el tipo de sistema de autoconsumo a instalar en la vivienda es sin vertido a la red o con vertido y cómo va a influir dicho sistema en la factura eléctrica de la vivienda.

También se va a indicar para el tipo de instalación de autoconsumo a instalar, los trámites necesarios para cumplir con la normativa vigente que regula este tipo de instalaciones en España.

Por último, se va a realizar un balance económico para calcular qué cantidad de ahorro supone a la familia realizar la instalación del sistema de autoconsumo y también para saber si el proyecto es rentable desde el punto de vista económico.

3. Localización de la vivienda y características principales.

La vivienda sobre la que se va a realizar el estudio para la instalación del sistema de obtención de energía renovable, es una vivienda rural situada en el suroeste de España, en el pueblo de Cuesta Blanca de la localidad de Cartagena, Región de Murcia. En la *Imagen 1* se puede ver la localización de la vivienda y en la *Imagen 2*, se puede observar un plano aéreo de la vivienda.



Imagen 1. Localización de la vivienda.



Imagen 2. Vista aérea de la vivienda.

Las coordenadas y la orientación de la vivienda es la siguiente:

Coordenadas	37.643604785748295, -1.1056353834853916
Orientación	Sur

Los meses de mayor uso de la vivienda son de Junio a Octubre, especialmente Julio y Agosto ya que la casa dispone de piscina. Durante el resto de estaciones del año, la casa únicamente es usada por la familia puntualmente los fines de semana.

El uso descrito de la vivienda, se ve reflejado directamente sobre la factura de luz. En el [Gráfico 2](#), se ve representado el gasto mensual de energía eléctrica en kW en la vivienda durante el año 2021. Se puede observar como los meses entre Junio y Octubre, el gasto es más del triple del gasto de energía que el resto del año.

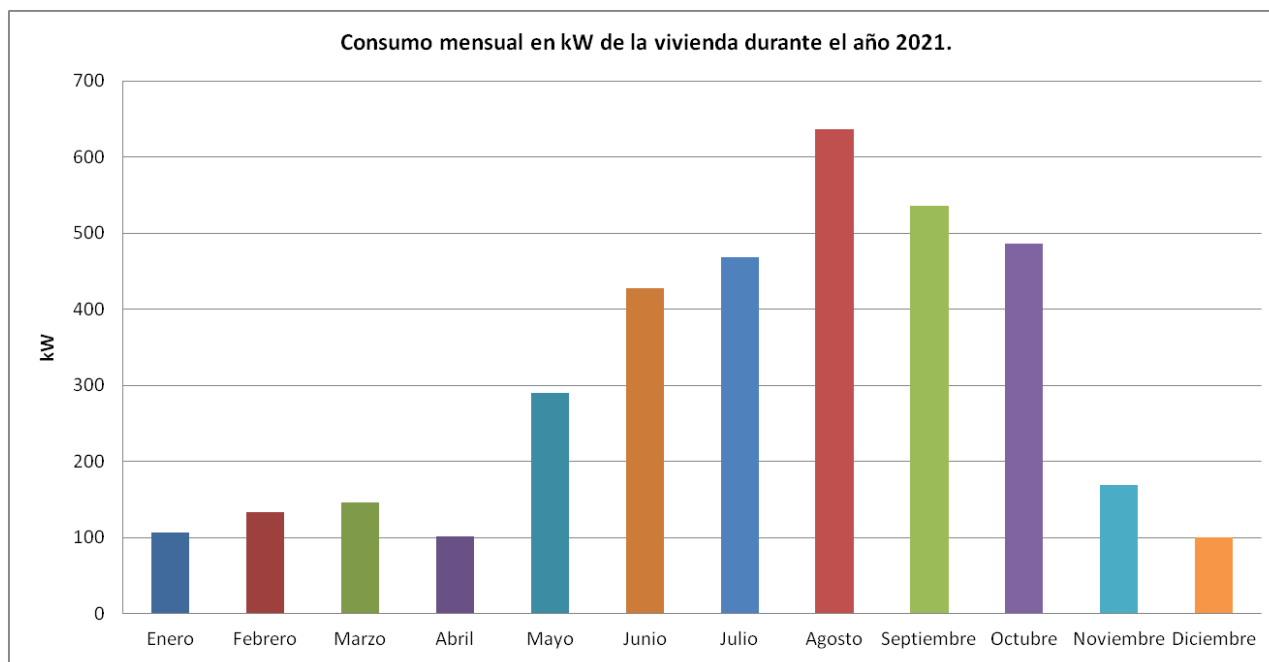


Gráfico 2. Gasto mensual en kW durante el año 2021.

Actualmente, los elementos eléctricos que más consumen son el motor de la piscina y el frigorífico. La casa no dispone de ningún sistema de aire acondicionado, calefacción o sistema de calentamiento de agua.

La vivienda es utilizada por una familia de 5 personas de manera ocasional. Para la realización de este trabajo, se va a estimar que en el futuro, la vivienda va a ser utilizada frecuentemente por la familia y por lo tanto se va a tener en cuenta que en la vivienda se va a instalar un sistema de aire acondicionado con bomba de calor, un conjunto de horno y placa de vitrocerámica y un sistema de calentamiento de agua eléctrico. Más adelante, se detallarán los elementos eléctricos más significantes a tener en cuenta en el cálculo de la instalación y sus potencias consumidas aproximadas.

La vivienda dispone de dos cubiertas donde se puede realizar la instalación del sistema de obtención de energía de paneles fotovoltaicos. En la *Imagen 3* se ve una vista del modelado 3D de la vivienda donde se distinguen claramente las 3 cubiertas que forman la casa y la *Imagen 4* es una vista en planta de las cubiertas donde se indica cuáles son las cubiertas utilizables para la instalación de los paneles fotovoltaicos.

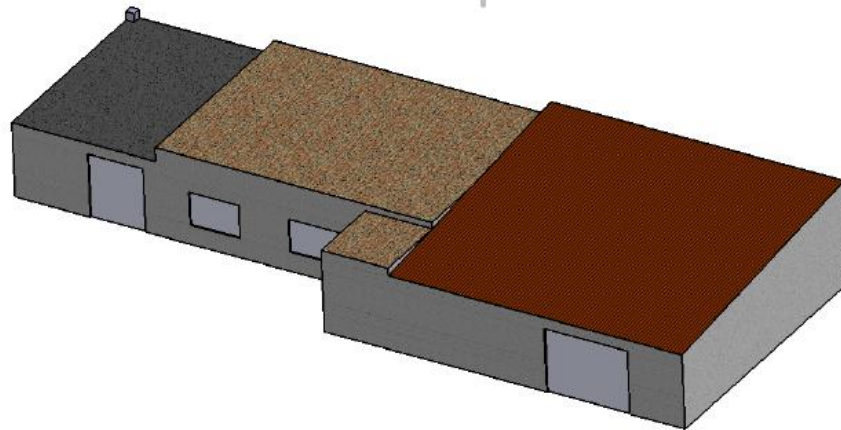


Imagen 3. Vista del modelado 3D de la vivienda.

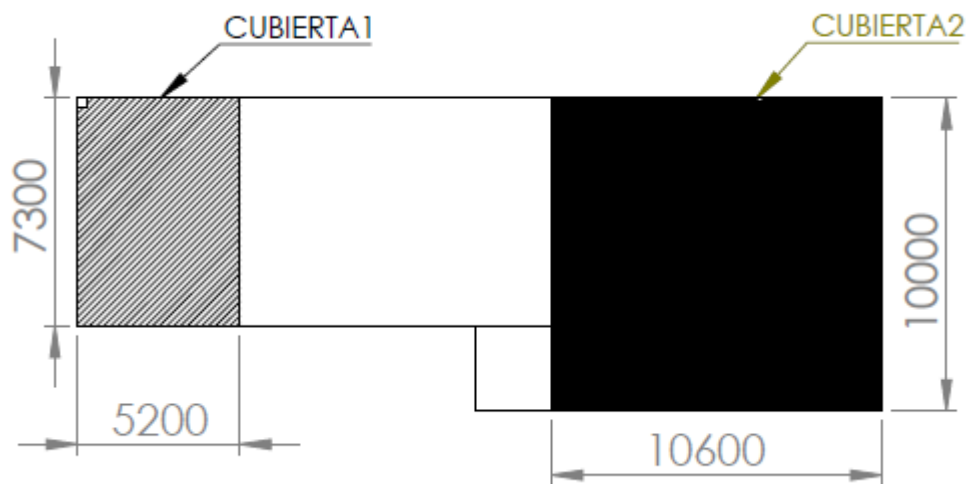


Imagen 4. Vista en planta de las cubiertas.

Superficie útil para la instalación	Cubierta 1: 37,96m ²
	Cubierta 2: 106,4m ²
Ángulo inclinación cubiertas (β)	Cubierta 1 (β_1): 0º
	Cubierta 2 (β_2): 5º

4. Consumo energético de la vivienda en el año 2021.

A partir de la aplicación de la empresa suministradora de energía eléctrica, se han obtenido los consumos por hora de la vivienda a lo largo del año 2021. Para el dimensionamiento de la instalación, se tomarán estos datos como referencia de consumo eléctrico y se les sumarán las aproximaciones de energía consumida de los elementos no instalados actualmente en la casa pero que interesa instalar en el futuro de cara a poder utilizar diariamente la vivienda.

En el *Gráfico 3* y su correspondiente la tabla, se representan los consumos horarios medios en W/h producidos en el año 2021 en función del día de la semana:

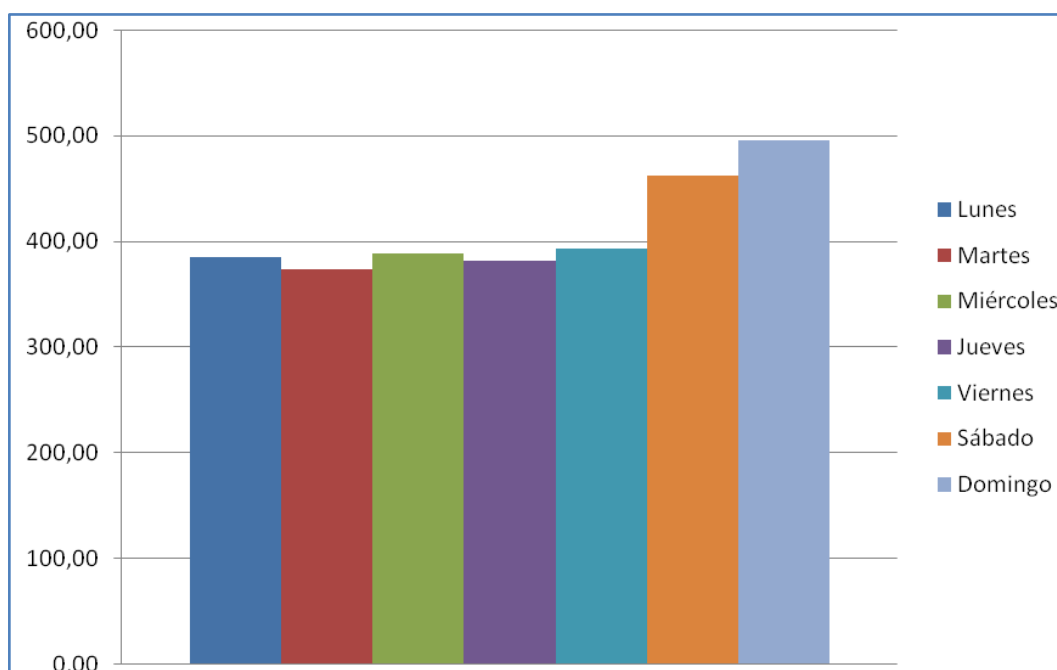
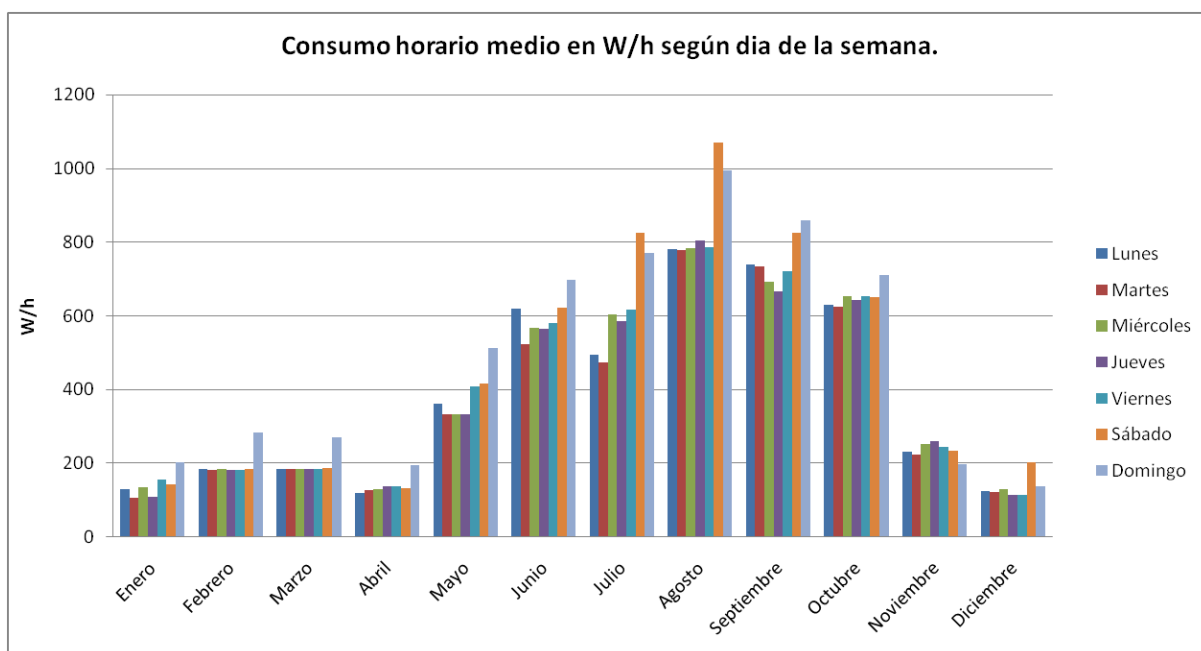


Gráfico 3. Consumo horario medio W/h

Consumo horario medio durante el año 2021 en función del día de la semana.							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
W/h	384	373	388	382	393	462	495

En el *Gráfico 3* se puede observar como durante el fin de semana, el consumo horario medio de la vivienda es superior. Al ser estos datos de todo el año 2021, el consumo medio anual no representa el uso real que la familia le da a la vivienda, ya que como se ha comentado, hay meses del año donde prácticamente no se utiliza.

En el [Gráfico 4](#) y su correspondiente la tabla se representa el consumo horario medio en W/h producido cada día de la semana separando por meses.



[Gráfico 4](#). Consumo diario medio W/h por meses.

Consumo horario medio en W/h por día y mes del año 2021							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Enero	131	107	136	110	157	144	203
Febrero	185	182	186	183	182	184	283
Marzo	184	185	184	184	186	188	272
Abril	120	126	131	138	138	133	196
Mayo	361	334	333	333	408	417	512
Junio	621	523	568	565	581	622	697
Julio	494	473	604	585	617	826	771
Agosto	782	778	783	803	786	1069	994
Septiembre	740	735	692	666	722	826	860
Octubre	630	626	654	642	654	650	711
Noviembre	232	225	252	260	246	233	198
Diciembre	125	122	130	116	115	202	137

Esta vez, en el [Gráfico 4](#) se puede observar claramente como los meses de mayor uso de la vivienda son los meses comprendidos entre Mayo y Octubre. El resto de meses del año, en la [Gráfico 4](#) se puede observar con una mayor claridad que el consumo medio se produce los días de fin de semana, especialmente los domingos.

Si se representa en el *Gráfico 5* el consumo horario medio en W/h para cada hora de los meses de mayor consumo, obtenemos la siguiente gráfica y tabla:

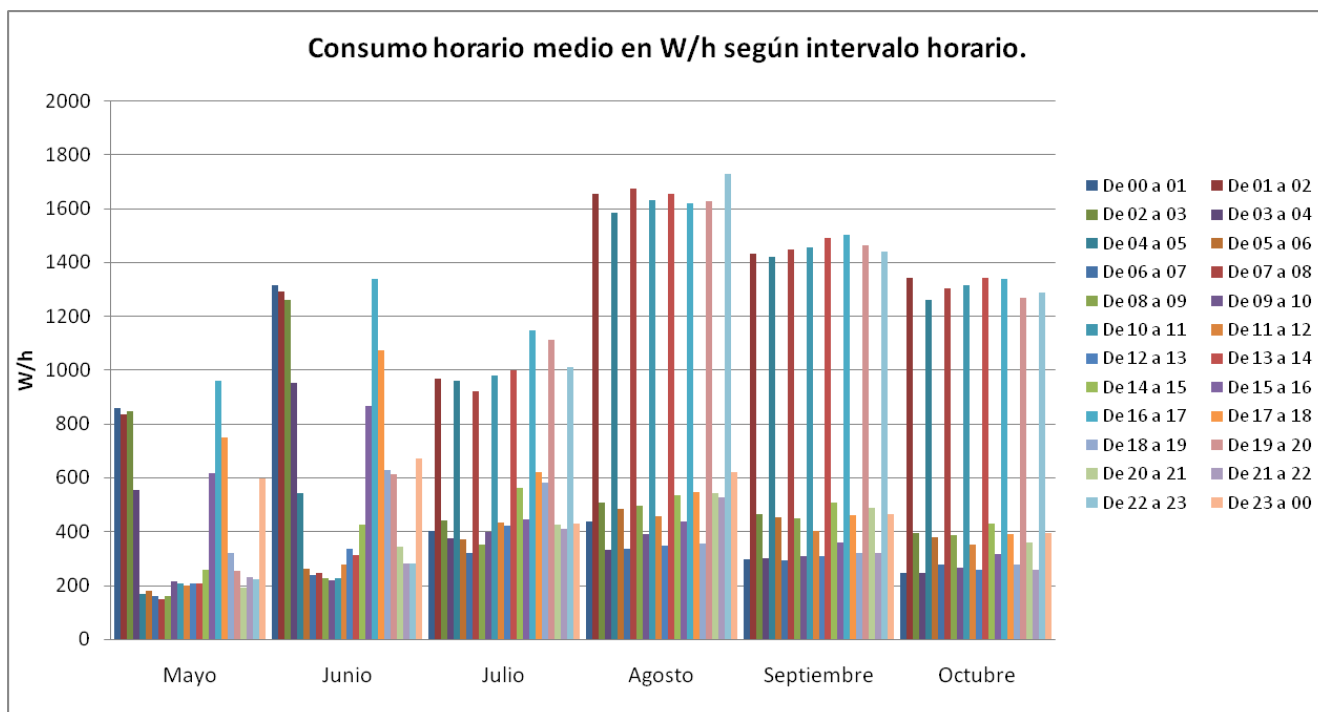


Gráfico 5. Consumo horario **medio** en W/h por horas de los meses de mayor consumo.

Consumo medio en W/h para cada hora en los meses de mayor consumo.												
	De 00 a 01	De 01 a 02	De 02 a 03	De 03 a 04	De 04 a 05	De 05 a 06	De 06 a 07	De 07 a 08	De 08 a 09	De 09 a 10	De 10 a 11	De 11 a 12
Mayo	861	836	849	556	167	179	161	148	160	213	207	198
Junio	1317	1293	1260	953	544	263	238	247	228	218	226	276
Julio	401	970	440	376	960	372	322	923	353	398	980	434
Agosto	437	1655	506	333	1587	486	338	1674	495	392	1632	458
Septiembre	296	1432	463	302	1420	453	294	1449	448	308	1458	404
Octubre	248	1342	394	246	1260	379	276	1305	385	264	1316	353

	De 12 a 13	De 13 a 14	De 14 a 15	De 15 a 16	De 16 a 17	De 17 a 18	De 18 a 19	De 19 a 20	De 20 a 21	De 21 a 22	De 22 a 23	De 23 a 00
Mayo	207	208	258	616	960	750	319	253	193	231	221	599
Junio	337	312	426	869	1339	1073	630	613	345	280	280	671
Julio	420	1000	563	447	1149	621	583	1112	426	410	1013	429
Agosto	346	1656	536	438	1619	547	357	1630	542	526	1732	619
Septiembre	310	1493	507	360	1504	461	319	1464	489	320	1440	465
Octubre	258	1345	430	317	1339	392	279	1270	358	258	1290	395

En la [Gráfico 5](#), se pueden ver las horas de mayor consumo horario medio de cada uno de los meses de verano a lo largo del año 2021. Los picos de consumo que se producen, coinciden con las horas donde está programada la puesta en marcha de la bomba de la depuradora de la piscina. Se pueden distinguir dos tipos de consumos según el mes. En el mes de Mayo y Junio, el temporizador está configurado para que la depuradora se encienda cuatro horas seguidas de noche y tres horas a medio día. En los meses de Julio a Octubre, son los meses de mayor uso de la piscina, por lo que la depuradora está configurada para que trabaje una hora cada tres horas, en total, ocho horas al día.

Con estos datos se tiene el punto de inicio de este proyecto de dimensionamiento de la instalación eléctrica a instalar en la casa para cubrir los consumos de los sistemas eléctricos que tiene la vivienda actualmente y los sistemas eléctricos que se quieren instalar para que la vivienda pueda usarse diariamente.

Como se ha indicado en la introducción, el sistema de obtención de energía a instalar va a ser un sistema de autoconsumo sin almacenamiento formado por placas fotovoltaicas. Como se ha podido comprobar con los datos de consumos medios de la vivienda, actualmente el elemento de mayor consumo eléctrico de la vivienda, es la depuradora de la piscina. Una vez se dimensione el sistema de autoconsumo, se va a estudiar la posibilidad de ajustar los horarios de funcionamiento de la bomba de la piscina para que funcione en las horas que se produzca un exceso de producción de energía con respecto a la consumida por la vivienda.

Su funcionamiento está regulado por un temporizador que hace que cada mes trabaje los siguientes intervalos de tiempo:

Mes	Tramo horario que funciona la bomba	Mes	Tramo horario que funciona la bomba
Enero Febrero Marzo Abril	Puntualmente	Julio Agosto Septiembre Octubre	De 01 a 02 De 04 a 05 De 07 a 08 De 10 a 11 De 13 a 14 De 16 a 17 De 19 a 20 De 22 a 23
Mayo Junio	De 23 a 00 De 00 a 01 De 01 a 02 De 02 a 03 De 15 a 16 De 16 a 17 De 17 a 18		Noviembre Diciembre

Una vez desarrollado en profundidad el estudio del consumo y la generación de energía eléctrica del sistema, se podrá llegar a la conclusión de cuál es el horario de funcionamiento de la piscina que más interesa desde el punto energético.

-Frigorífico de uso habitual.

Actualmente la vivienda dispone de un frigorífico que está conectado durante todo el año. Su consumo energético está incluido en los datos mencionados en el apartado 4.

-Frigorífico adicional de uso en los meses de verano

Este frigorífico solo se conecta en los meses de Julio y Agosto, ya que son los meses donde mayor número de personas van a la casa y hay una mayor demanda de alimentos y bebidas refrigerados. Su consumo energético está incluido en los datos mencionados en el apartado 4.

5.2. Elementos eléctricos a instalar en la vivienda.

Como se ha indicado anteriormente, se va a realizar el dimensionado teniendo en cuenta que la frecuencia de uso de la vivienda aumente e incluso viva allí parte de la familia. Por lo tanto, además de los elementos comentados anteriormente, en el estudio se va a tener en cuenta que la vivienda va a estar equipada con otros aparatos eléctricos básicos.

El consumo de estos elementos se va a obtener a partir de la información de los fabricantes y se va a añadir al consumo energético actual de la vivienda indicado en el apartado 4.

Los elementos que se añadirán a la vivienda serían los siguientes:

- Aparato de aire acondicionado.

Como el objetivo es que la vivienda pueda ser habitada durante todo el año, se considera que uno de los aparatos eléctricos a instalar en la casa sea un sistema de refrigeración y calefacción. El principal uso que se le va a dar es como sistema de refrigeración durante los meses de verano, por lo que sólo se va a considerar un consumo energético regular del sistema dichos meses. Durante los meses de invierno, al tener la casa chimenea, se considera que el consumo del aparato como sistema de calefacción será puntual y despreciable.

El aparato de aire acondicionado que se propone para instalar en la casa, es el que se puede ver en la *Imagen 7*. Es un aire acondicionado de la marca Hisense con una potencia de 3000 frigorías/hora y 3440 kcal/h [9]. Según su hoja de características, la potencia media de este aparato es de 3500W y el consumo del aparato puede variar por varios motivos, como puede ser la temperatura a la que esté la habitación o a la temperatura que se configure el aparato. En el caso de un aparato de 3000 frigorías, el consumo aproximado del aparato es de 1500W/h.



Imagen 7. Aparato de aire acondicionado.

Por lo tanto, se va a considerar que el aparato de aire acondicionado se conectará los meses de Julio y Agosto durante las horas de mayor calor a medio día (desde las 15h a las 18h) y las últimas horas del día (desde las 22h a las 24h) consumiendo 1500W/h durante esas horas.

- Conjunto de horno y placa de inducción.

Actualmente en la casa tanto el horno como la encimera funcionan con gas butano. Tras la instalación del sistema de generación de energía eléctrica y aprovechando que el sistema de calentamiento de agua también va a ser alimentado con energía eléctrica, se va a suponer que se compra un nuevo conjunto de horno y placa de inducción y así se elimina totalmente el uso de gas butano en la casa.

Hay dos opciones para acompañar al horno, placa de inducción o placa de vitrocerámica. Aunque inicialmente el precio de la placa de inducción es mayor, con respecto al consumo eléctrico, decantarse por una placa de inducción es mejor opción. La placa de inducción consume aproximadamente un 30-40% menos que la de vitrocerámica. El conjunto de horno y placa de inducción que se propone instalar en la casa es el de la *Imagen 8* de la marca Balay [10]. Es un conjunto formado por un horno eléctrico de 3300W de potencia y un sistema de placa de inducción con tres zonas que tienen una potencia entre 1400W y 2600W.

El consumo del horno está estimado en 800W/h y el uso medio de la placa de inducción es aproximadamente 1500W/h. Para simplificar los cálculos, se supondrá un consumo medio por parte del conjunto horno y placa de inducción de 1100W/h a lo largo de todo el año durante una hora y media al día, de 14h a 15h y de 21h a 21:30h.



Imagen 8. Sistema de horno y placa de inducción.

- Termo eléctrico.

El elemento que se va a instalar en la casa para la generación de agua caliente es un termo eléctrico. Se va a realizar el cálculo estimado del consumo por hora de un termo eléctrico para sumarle este consumo a los datos obtenidos de consumo actual de la casa, de cara a poder dimensionar la instalación fotovoltaica con los datos que más se acerquen a un consumo futuro cuando la familia utilice la vivienda como vivienda principal o con una frecuencia prácticamente diaria.

El consumo eléctrico del termo, va a venir principalmente relacionado con el tamaño o capacidad del termo. Del mismo modo, la capacidad del termo debe seleccionarse según el número de personas que va a consumir agua caliente de manera diaria. En este caso, se va a suponer que el número de personas que van a hacer uso del agua caliente es de cuatro personas. La capacidad en litros recomendada para este número de personas es de 100 litros. La potencia de un termo de 100 litros normalmente es de 1500W y el tiempo que necesitan para calentar el agua es de 2 horas y 50 min aproximadamente. En este caso se van a suponer que se tardan 3 horas en calentar los 100 litros de agua.

Además de la energía que utiliza el termo para calentar los 100 litros de agua, hay que tener en cuenta el consumo energético del termo para mantener el agua a la temperatura seleccionada durante el resto de día. Este consumo se suele definir como consumo de energía en reposo o de mantenimiento. Este consumo de energía en reposo, se suele indicar en kWh/24h y se indica suponiendo una dispersión térmica a 65°C. Los valores normales de consumo eléctrico en reposo de los termos eléctricos están entre 1 y 2 kWh/24h. Se va a tomar como termo eléctrico a instalar el de la *Imagen 9*. Es un termo de 100 litros y 1500W de la marca Ariston y certificado energético B [11], en cuya ficha técnica se indica que el consumo energético en reposo es de 1,56kWh/24h.

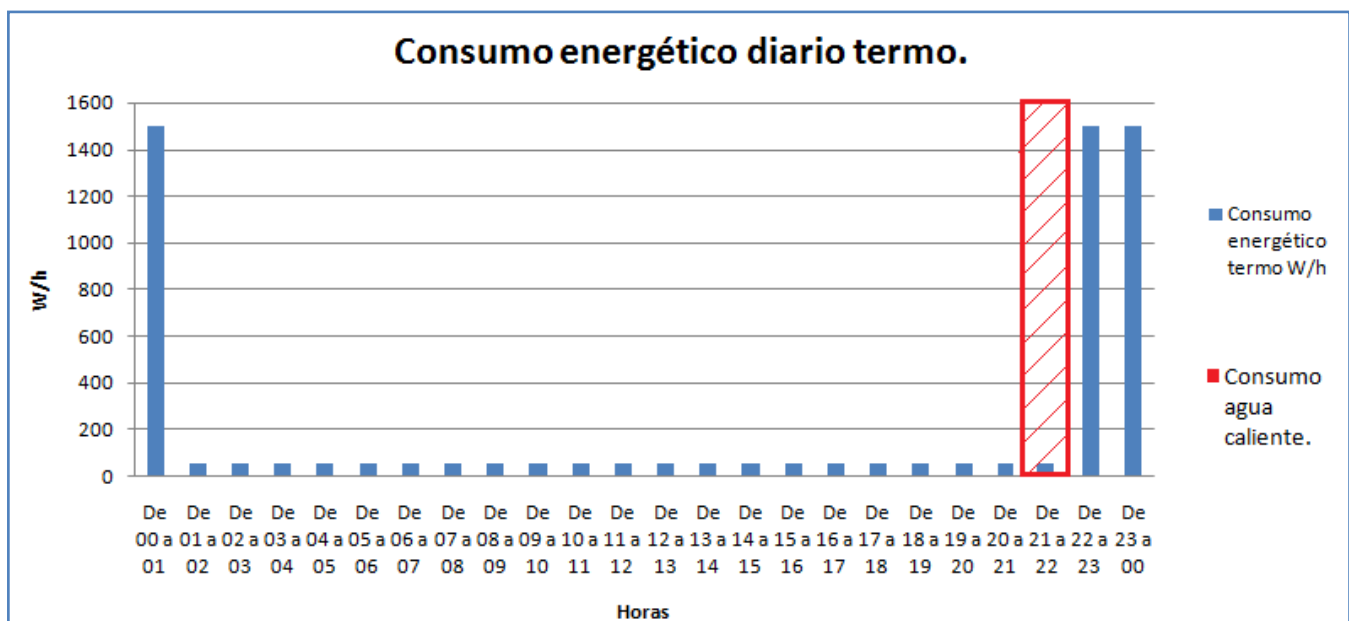


Imagen 9. Termo de 100 litros y 1500W.

Por lo tanto, el consumo eléctrico para calentar 100 litros de agua en el termo eléctrico es de 1,5kWh durante 3 horas al día y el consumo eléctrico para mantener el agua caliente el resto de horas, es de 1,56kWh/24h.

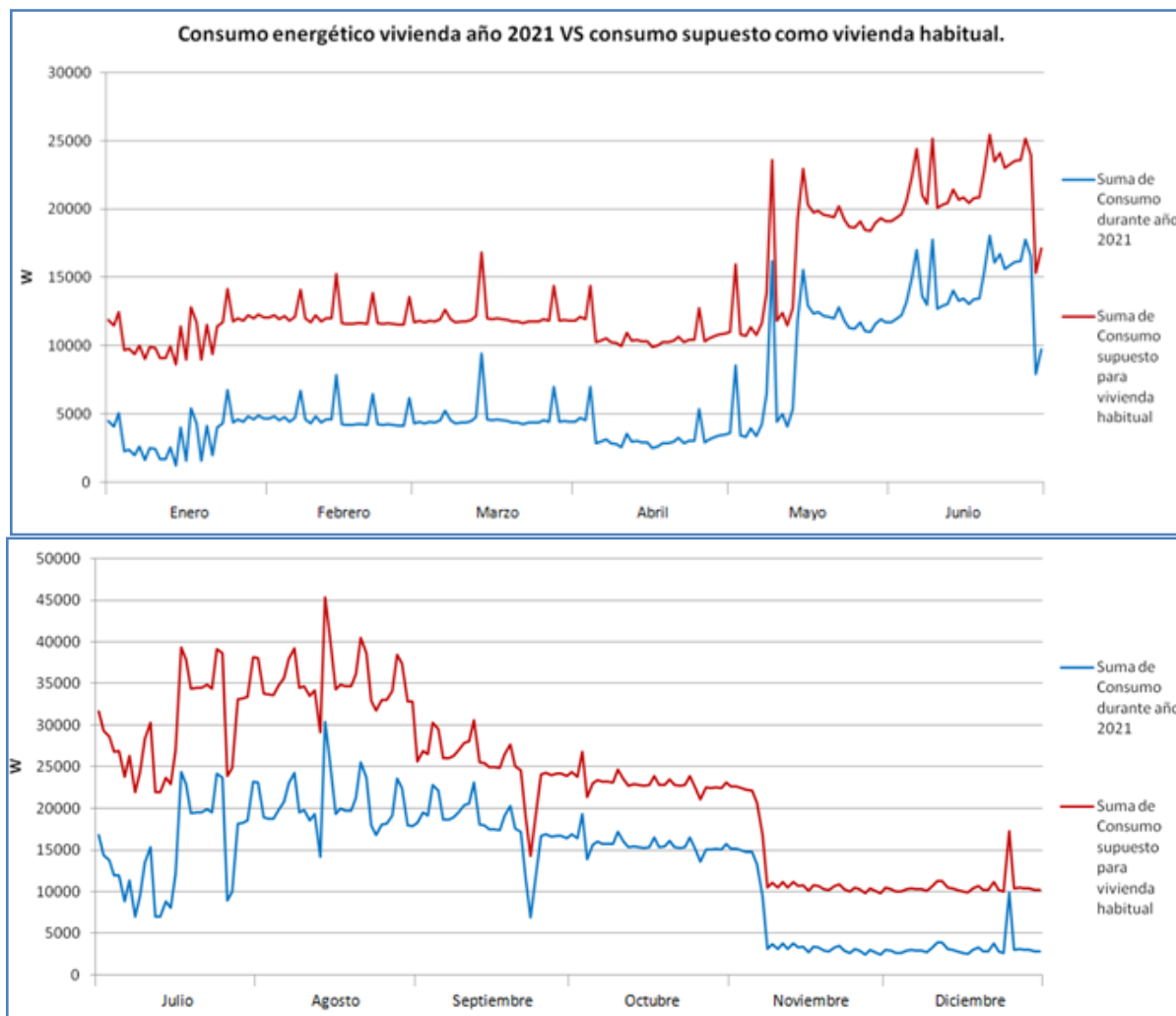
De cara a incluir el consumo eléctrico del termo eléctrico, se van a hacer las siguientes suposiciones:

- La familia consume diariamente los 100 litros de agua caliente entre las 21h y 22h.
- El termo calienta consume 1,5kWh para calentar el agua desde las 22h a la 01h del día siguiente.
- El resto de horas del día, el consumo de mantenimiento del termo es de 60W/h.



6. Energía consumida año 2021 y energía consumida como vivienda habitual.

Tras realizar las suposiciones de consumo de los aparatos eléctricos a instalar en la vivienda, si se representa el consumo energético diario al usar la casa como vivienda habitual y se compara con el consumo energético diario real que se facturó en la vivienda durante el año 2021, se obtiene el [Gráfico 6](#).



[Gráfico 6](#). Comparación energía consumida año 2021 vs energía consumida supuesta.

Se puede concluir que al suponer el consumo de electrodomésticos que no están instalados actualmente, la media de la energía consumida diariamente por la vivienda se verá aumentada notablemente. El electrodoméstico que supone un mayor aumento del consumo con respecto al consumo actual, es el termo eléctrico, que aumenta la energía consumida media de la vivienda.

En el [Gráfico 7](#) se puede observar la comparación entre el consumo horario medio en W/h de la casa durante el año 2021 y el consumo horario medio tras sumar el consumo aproximado de los electrodomésticos que se quieren instalar en la vivienda.

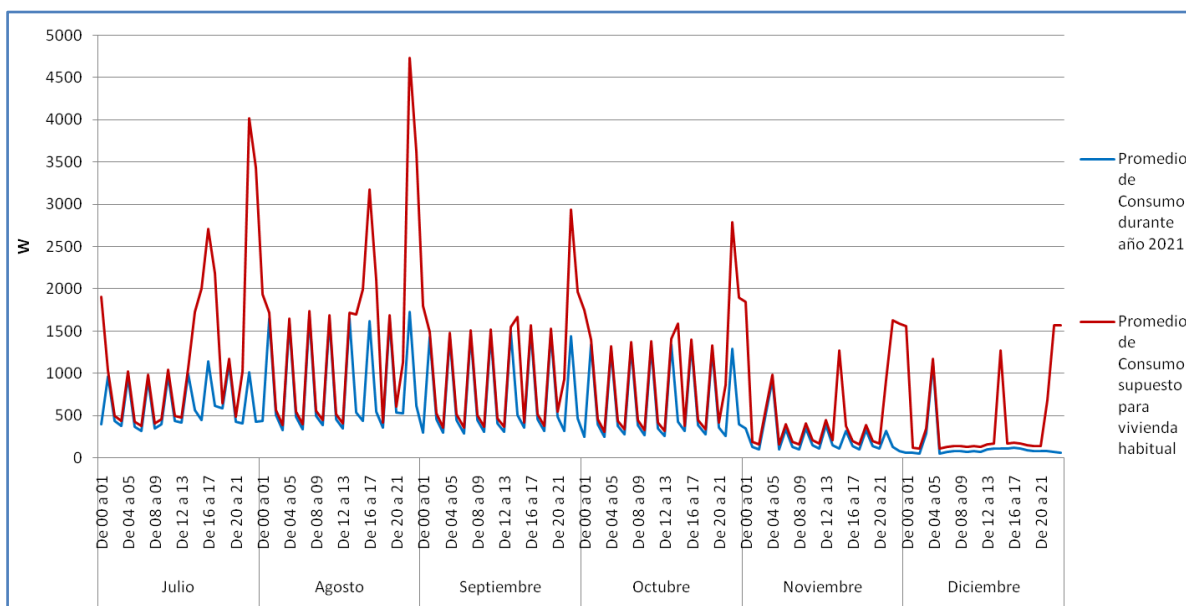
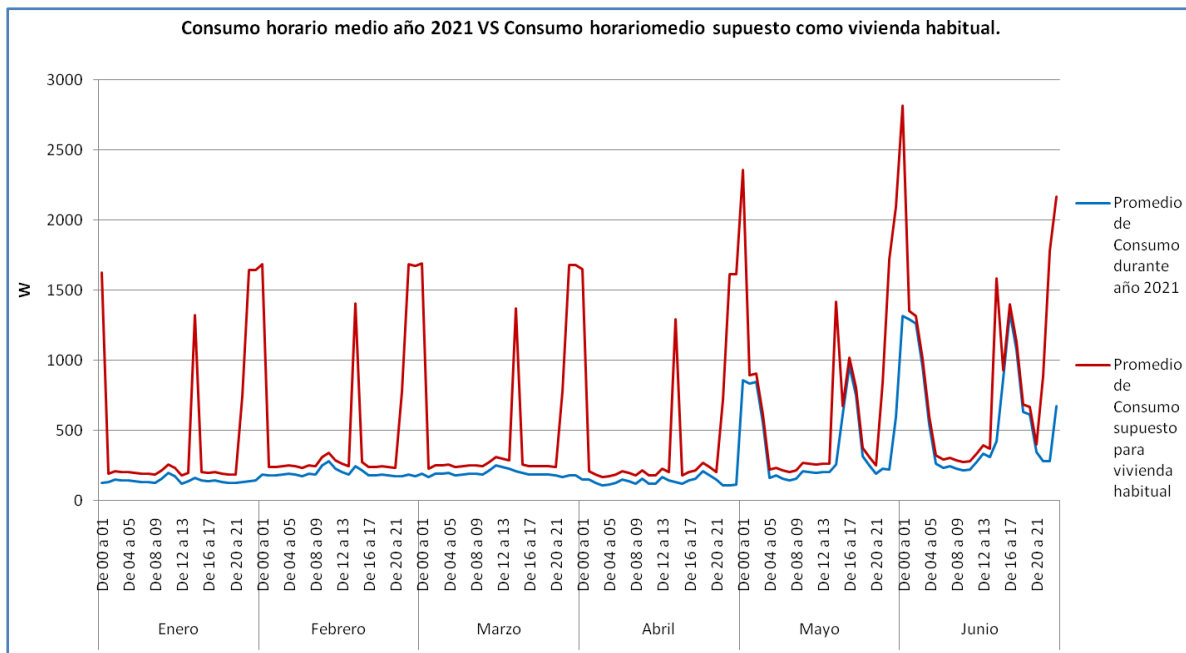


Gráfico 7. Comparación consumo horario medio en W Año 2021 VS consumo final supuesto.

Se representan los consumos horarios medios sin haber realizado aún el ajuste de las horas de funcionamiento de la bomba de la piscina, ya que como se ha comentado, se realizará tras la obtención de los resultados de energía generada por la instalación.

7. Tipos de instalaciones de autoconsumo.

El objetivo de este trabajo es instalar en la vivienda una instalación de autoconsumo formada por paneles fotovoltaicos. En la *Imagen 10* se puede ver un esquema de este tipo de instalación.

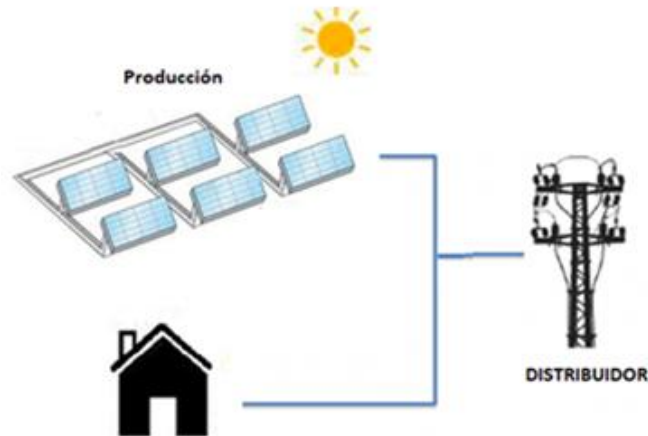


Imagen 10. Esquema de instalación de autoconsumo.

Las instalaciones de autoconsumo son aquellas que están conectadas a la red de electricidad que abastece la vivienda, la nave o el recinto industrial. Éste es el tipo de instalación más común, ya que lo normal es añadir el sistema de energía solar fotovoltaica sobre una infraestructura que ya está conectada inicialmente a la red de abastecimiento de electricidad.

En este caso, el objetivo de la instalación de paneles fotovoltaicos, es intentar disminuir la cantidad de energía que se consume de la red y por lo tanto, disminuir la factura de la electricidad. En este tipo de instalaciones, no se suele añadir ningún elemento de acumulación de energía. En los intervalos de tiempo donde el sistema de paneles solares no produzca la energía suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la vivienda, la energía se consume directamente de la red eléctrica. Normalmente, estas situaciones se dan durante las horas nocturnas y los días donde la radiación solar sea insuficiente.

Dentro de las instalaciones de autoconsumo, podemos distinguir dos modalidades [12]:

- **Modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes.**

Esta modalidad está definida en el artículo 9.1.a) de la Ley 24/2013 de 26 de diciembre. En esta modalidad el sistema no puede verter a la red el exceso de energía generada por los paneles solares. Para ello, el sistema debe instalar obligatoriamente un mecanismo antivertido de energía, de manera que impida la inyección de energía a la red eléctrica.

- **Modalidad de suministro con autoconsumo con excedentes.**

Esta modalidad está definida en el artículo 9.1.b) de la Ley 24/2013 de 26 de diciembre. En esta modalidad, el exceso de energía producida por el sistema de paneles fotovoltaicos puede ser inyectado a la red eléctrica.

Dentro de las instalaciones de autoconsumo con excedentes, se distinguen dos tipos:

- **La modalidad con excedentes acogida a compensación:**

Está formada por los casos de suministro con autoconsumo que tienen excedentes de energía en los que el consumidor de energía de la red eléctrica y el productor de energía acuerden acogerse a un mecanismo de compensación de excedentes. Para poder acogerse a esta modalidad de autoconsumo, se deben cumplir los siguientes requisitos definidos en el Real Decreto 244/2019 de 5 de Abril:

- La fuente de energía primaria debe ser de origen renovable.
- La potencia total del conjunto de instalaciones de producción asociadas no puede ser superior a 100kW.
- En el caso de ser necesaria la realización de un contrato de suministro para servicios auxiliares de producción, el consumidor sólo puede realizar un único contrato de suministro para el consumo asociado y para todos los consumos auxiliares de producción con una empresa comercializadora de electricidad, según lo dispuesto en el artículo 9.2 del Real Decreto 244/2019.
- El consumidor y el productor asociado deben firmar el contrato de compensación de excedentes de autoconsumo definido en el artículo 14 del Real Decreto 244/2019.
- La instalación de producción no puede tener otorgado un régimen retributivo adicional o específico.

- **La modalidad con excedentes no acogida a compensación:**

Está formada por los casos de suministro con autoconsumo que tienen excedentes de energía pero no cumplen con alguno de los requisitos necesarios para acogerse a la compensación o que han decidido voluntariamente no acogerse a esta modalidad.

En el Real Decreto 244/2019 de 5 de Abril se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

En el sistema de autoconsumo sin excedentes, sólo existe una figura principal que es la del sujeto consumidor, mientras que en el sistema con excedentes vertidos a la red, existen las figuras del sujeto consumidor y sujeto productor. El consumidor es el titular del punto de suministro y únicamente se necesita un permiso de acceso y conexión para las instalaciones de consumo, no son necesarios permisos de acceso y conexión de las instalaciones de generación.

En este trabajo se va a realizar el estudio de la capacidad de generación de energía a partir de un sistema de autoconsumo formado por paneles fotovoltaicos para cubrir la energía consumida supuesta de la vivienda y según los resultados de energía generada por la instalación y la cantidad de energía excedente, se va a decidir si el sistema a instalar va a ser sin excedentes o con excedentes vertidos a la red.

8. Elementos de un sistema de placas fotovoltaicas para autoconsumo.

Una instalación de paneles solares para autoconsumo está formada por los siguientes elementos:

- Paneles o módulos solares.
- Inversor o convertidor eléctrico.
- Cableado.
- Sistemas de protección.
- Mecanismo antivertido.

El mecanismo antivertido es un elemento que sólo se utiliza en las instalaciones de autoconsumo sin excedentes.

A continuación se va a explicar brevemente el funcionamiento de los principales elementos que forman el sistema de autoconsumo:

- **Paneles solares.**

Son el principal elemento de la instalación fotovoltaica. Son los elementos utilizados para captar la radiación solar y donde se produce la transformación de la radiación solar en electricidad.

El principio de funcionamiento de estos paneles consiste en la absorción de los fotones de la radiación solar por la célula fotovoltaica, lo que genera la liberación de electrones que forman la corriente eléctrica. Por lo que la célula fotovoltaica está formada por elementos semiconductores que tienen la capacidad de liberar electrones al recibir la energía.

Actualmente, el elemento más utilizado para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio enriquecido, ya que es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Las células o paneles fotovoltaicos suelen dividirse principalmente en células de silicio monocristalino o policristalino. También existen los paneles solares amorfos o de capa fina, pero no van a ser una opción para este proyecto.

En la [Imagen 11](#), se muestra a la izquierda un panel y una célula solar de silicio monocristalino y a la derecha se encuentra un panel y una célula de silicio policristalino.

Los paneles de silicio monocristalino son de color negro, tienen una superficie de mejor acabado y mayor calidad y reflejan menos la luz solar. Por otro lado, los paneles de silicio policristalino son de color azul, tienen la superficie menos uniforme y reflejan una mayor proporción de luz solar.



Imagen 11. Paneles y células monocristalino y policristalino. [13]

Económicamente, fabricar los paneles de silicio monocristalino es más costoso que los de silicio policristalino. Las células de silicio monocristalino se obtienen cortando secciones de una barra de silicio cristalizado en una sola pieza y las células de silicio policristalino se obtienen de la unión de varias secciones de forma desordenada, lo que produce una estructura no homogénea y que produce por lo tanto una disminución de los costes de fabricación pero también una disminución de la eficiencia energética.

Energéticamente, las células de silicio monocristalino son más eficientes que las de silicio policristalino, ya que al tener una estructura más uniforme y homogénea, absorben y producen una mayor cantidad de energía. El rendimiento de las células de silicio monocristalino es cercano al 20%, mientras que las de silicio policristalino tienen un rendimiento aproximado del 15%.

Para obtener la misma energía eléctrica, será necesario instalar una mayor cantidad de paneles fotovoltaicos policristalinos, lo que supone utilizar una mayor superficie, pero un menor coste.

- **Inversor o convertidor eléctrico.**

El inversor es un elemento similar al de la *Imagen 12* que transforma la corriente continua generada en los paneles solares en corriente alterna. La gran mayoría de sistemas eléctricos y electrodomésticos que podemos encontrar en una vivienda trabajan con corriente alterna, por lo que sin el inversor, la electricidad producida en las células fotovoltaicas, no podría utilizarse. Además de realizar la conversión de corrientes, este elemento sirve para sincronizar la frecuencia de la corriente generada con la de la red y algunos son capaces de monitorizar la actividad y el rendimiento energético de la instalación fotovoltaica. El rendimiento de potencia de la mayoría de inversores alcanza el 90-95%, dependiendo de diferencia entre la potencia de entrada y la potencia nominal de funcionamiento del inversor.



Imagen 12. Inversor o convertidor de energía. [14]

Este elemento, al ser el eslabón intermedio entre los paneles fotovoltaicos y la red eléctrica de la vivienda, debe estar preparado para disipar el calor y evitar el sobrecalentamiento. También dispone de dispositivos de protección contra un fallo de aislamiento, contra la posible inversión de la polaridad, y que permiten desconectar al inversor de la red protegiendo a la instalación fotovoltaica frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Actualmente se pueden distinguir tres tipos de inversores solares, los inversores string o inversor centralizado, los microinversores y los optimizadores de potencia. El sistema de funcionamiento es el mismo en todos ellos, pero según el tipo de instalación que se quiera tener, conviene más instalar uno u otro tipo. Las principales diferencias entre ellos son:

-Inversores string o centralizado: son el tipo de inversor más utilizado en la actualidad. En las instalaciones que se usan los inversores string, hay un único inversor para varios paneles solares que han sido instalados y conectados entre sí en serie formando ramales y el inversor se suele colocar en un lugar de fácil acceso y protegido. Toda la energía producida por los paneles se envía a ese inversor, por lo que el inversor como máximo transforma la energía producida por el panel que menos está produciendo en ese momento. Esto puede ser un inconveniente en instalaciones donde a alguno de los paneles le dé la sombra mientras que al resto de paneles del ramal le está incidiendo el sol o en el caso de que un panel sufra una avería. Por el contrario, este tipo de inversor es la opción más barata ya que se puede instalar un único inversor para varios paneles solares.

-Microinversores: en este caso se trata de instalar para cada panel, un microinversor que transforma directamente la energía producida por su panel correspondiente. Este sistema es más eficiente, ya que la energía producida no se ve drásticamente reducida si a algún panel le da la sombra o se avería. Esta opción es más cara que la del inversor string ya que el número de inversores a instalar se multiplica y además la instalación y el mantenimiento suelen ser más costosos ya que los inversores se sitúan en la cubierta bajo los paneles solares.

-Optimizadores de potencia: Este tipo de inversor es una mezcla entre el inversor string y el microinversor. Están instalados en la cubierta bajo los paneles solares y cada uno envía la energía producida a un inversor string o centralizado.

Los optimizadores de energía no realizan la conversión de corriente continua a alterna, su trabajo es acondicionar la energía generada antes de mandarla al inversor centralizado. El utilizar este tipo de inversor es más caro que el inversor string pero el coste con respecto a los microinversores es parecido. Utilizar este tipo de inversor hace que la instalación sea más eficiente que una instalación únicamente con inversor string.

- **Cableado.**

Se utilizan dos tipos de cables en las instalaciones fotovoltaicas, los cables de corriente continua que unen las placas solares entre sí y al inversor y los cables de corriente alterna que conectan el inversor con la red de distribución eléctrica.

En las instalaciones fotovoltaicas instaladas hace algunos años, el cableado utilizado para la conexión entre las placas solares y el sistema eléctrico eran del tipo RV-K. Este tipo de cable es el utilizado en cualquier instalación eléctrica, pero se demostró que estaban muy limitados para usarlos en las instalaciones fotovoltaicas.

Para las instalaciones de paneles fotovoltaicos, se recomienda el uso de cables del tipo PV ZZ-F o denominados comúnmente como cable solar. Estos cables deben cumplir con la norma UNE-EN 50618:2015 Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos. Se pueden utilizar para la conexión entre paneles solares, para la unión de los paneles solares hasta el inversor de corriente y para la unión del inversor. Los tramos de corriente continua estarán formados por el conductor negativo, el positivo y el conductor de protección. Los cables están fabricados con materiales que le permiten ser instalados a la intemperie y soportar todo tipo de condiciones climáticas (lluvia, frío, radiación solar, humedad, etc.) sin verse afectadas sus propiedades ni su rendimiento. Son cables de tipo unipolares que disponen de un doble aislamiento y una alta capacidad de transporte de corriente continua.

El conductor del cable es de cobre electrolítico estañado según la norma UNE-EN 60228:2005 Conductores de cables aislados, recubierto por un aislamiento de goma libre de halógenos (LSZH) y con una cubierta de goma ignífuga libre de halógenos y que genera muy pocos humos y gases en caso de incendio.

Como características destacables son la flexibilidad, la capacidad de alcanzar hasta 120°C, se pueden sumergir en agua permanentemente, resisten condiciones climáticas adversas y tienen una vida útil cercana a los 30 años.

Los conductores de corriente alterna son los que unen el inversor y la red de distribución eléctrica. Estos cables deben cumplir con la normativa de baja tensión o de media tensión según el tipo de instalación fotovoltaica. El tipo de cable utilizado comúnmente para el tramo de corriente alterna, son los cables XLPE (cables aislados de polietileno reticulado). El conductor del cable es de cobre y está aislado por una capa doble de PVC. Soportan una tensión nominal de aislamiento de 0,6/1 kV (tensión nominal de 600V entre un conductor y la tierra y 1000V entre sus conductores) y suelen rutearse por el interior de tubos corrugados o conductos.

- **Mecanismo antivertido (MAV).**

El mecanismo antivertido se define en el Real Decreto 244/2019 de 5 de abril como el dispositivo o el conjunto de dispositivos que se instalan para impedir que la energía generada por los paneles fotovoltaicos sea vertida a la red eléctrica a la que está conectada la vivienda [12]. En la *Imagen 13* se puede ver un ejemplo de mecanismo antivertido [15]. Este elemento debe ser instalado obligatoriamente en los sistemas de autoconsumo sin excedentes y debe cumplir con la normativa de calidad y seguridad industrial que se indica en caso de baja tensión, en la ITC-BT-40.



Imagen 13. Mecanismo antivertido monofásico.

Los mecanismos antivertido no son más que vatímetros calibrados que miden continuamente la energía demandada en la vivienda y regulan la capacidad de generación de energía de los inversores de la instalación fotovoltaica en función de la energía demandada por la vivienda con el objetivo de que no se genere más energía de la que se consume y así limitar o eliminar la energía excedente. Este equipo está formado por un sistema de medida de potencia que realiza la lectura de la potencia que se está intercambiando con la red y un sistema de regulación que está conectado con los inversores fotovoltaicos y limita la generación de energía.

9. PVGIS.

Una vez obtenido el consumo aproximado de la casa en distintos tramos horarios a lo largo del año, hay que realizar un estudio de la capacidad de generación de energía fotovoltaica que tiene la zona donde está situada la vivienda.

Para obtener los datos de la capacidad de energía, se ha utilizado la herramienta gratuita online PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [16].

Esta herramienta ha sido desarrollada por la UE y con ella se puede obtener datos de la radiación solar y realizar cálculos de la producción de un sistema fotovoltaico. Permite obtener una aproximación del potencial energético que hay en la zona donde se quiere instalar el sistema fotovoltaico. Con esta herramienta se pueden obtener datos de cualquier zona de la Unión Europea, África, y de gran parte de América y Asia.

La versión de PVGIS utilizada para este trabajo es la versión Beta 5.2, que aporta datos de radiación hasta el año 2020 [17]. En el manual de usuario se encuentran explicadas todas las funcionalidades y posibilidades de la herramienta [18].

Se ha indicado la localización de la vivienda a partir de las coordenadas indicadas en el apartado 3 y se ha seleccionado como base de datos la PVGIS-SARAH2, que es la recomendada por la herramienta para la zona de Europa. Esta base de datos tiene recopilados los datos de irradiación solar del año 2005 al 2020.

Por último, como en este proyecto hay una cubierta sin inclinación y otra inclinada con un ángulo β_2 de 5° , se han recopilado datos de irradiación global para dos casos: para un ángulo de inclinación óptimo y para una inclinación de 5° . Para la localización indicada, la herramienta indica que la inclinación óptima β_1 es de 35° sobre la horizontal.

Se va a trabajar con los datos de irradiación horaria media para las 24 horas de cada mes. La herramienta arroja para cada una de las 24 horas del día, los valores medios de irradiancia de todos los días de ese mismo mes a lo largo de un conjunto de años.

Los datos obtenidos de irradiancia global en W/m^2 para cada uno de los ángulos de inclinación en el lugar donde se quiere instalar el sistema fotovoltaico son los siguientes:

Suma de Irradiancia global(W/m^2)												
MES	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación	
Horas	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35
De 00 a 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 01 a 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 02 a 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 03 a 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 04 a 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 05 a 06	0	0	0	0	0	0	0	0	5.23	4.53	18.73	15.95
De 06 a 07	0	0	0	0	0.43	0.35	56.2	37.13	127.76	76.38	155.61	81.51
De 07 a 08	0	0	12.73	20.06	108.43	123.54	218.54	200.1	298.14	242.22	335.27	252.95
De 08 a 09	114.27	219.38	170.28	245.91	281.16	327.55	391.15	390.81	475.66	432.17	525.65	452.46
De 09 a 10	258.97	415.21	329.31	448.53	443.28	519.05	551.05	571.96	647.49	620.97	688.56	633.12
De 10 a 11	385.76	578.82	460.52	609.12	569.68	668.03	682.59	723.58	779.06	769.26	828.2	788.93
De 11 a 12	457.74	668.22	553.42	725.1	668.04	786.75	777.46	832.75	866.99	868.34	914.44	886.5
De 12 a 13	490.92	707.75	567.34	739.12	681.89	799.37	795.85	855.09	884.53	888.98	956	931.42
De 13 a 14	466.65	681.9	561.92	733.15	681.57	804.05	766.86	819.28	856.35	855.69	920.69	890.72
De 14 a 15	397.74	593.96	502.81	663.31	600.71	707.28	685.58	725.75	754.63	740.41	823.62	780.98
De 15 a 16	280.98	445.49	382.46	517.37	479.66	564.07	544.72	563.66	612.24	579.73	690.2	628.5
De 16 a 17	137.06	253.1	231.62	331.33	311.46	364.52	376.56	373.18	442.47	391.62	510.09	429.99
De 17 a 18	0.51	0.45	55.6	86.01	133.57	153.7	195.34	174.53	258.26	196.87	318.78	227.52
De 18 a 19	0	0	0	0	0.87	0.75	37.08	23.91	90.56	50.66	136.29	64.99
De 19 a 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.17	5.47	5.14
De 20 a 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 21 a 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 22 a 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 23 a 00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MES	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación		Ángulo de inclinación	
Horas	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35
De 00 a 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 01 a 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 02 a 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 03 a 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 04 a 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 05 a 06	4.23	3.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 06 a 07	127.71	65.65	75.23	45.24	22.85	18.87	0	0	0	0	0	0
De 07 a 08	304.81	232.35	243.94	209.32	182.87	190.55	114.23	153.65	29.6	54.5	0	0
De 08 a 09	493.28	431.02	427.26	408	359.55	392.7	283.15	365.15	184.73	288.67	117.29	221.45
De 09 a 10	666.78	622.44	590.83	592.22	504.08	559.03	425.63	537.12	323.88	470.8	256.09	414.38
De 10 a 11	802.83	776.26	730.59	750.7	629.15	705.51	539.18	672.92	438.46	620.8	376.36	576.29
De 11 a 12	905	891.02	826.73	861.27	700.12	788.02	610.52	761.66	505.96	705.48	445.01	665.92
De 12 a 13	938.91	929.39	878.46	920.8	751.58	851.54	628.35	789.46	511.36	712.19	462.3	688.8
De 13 a 14	921.05	907.23	857.95	896.8	728.72	826.88	592.03	746.44	463.46	648.42	426.82	642.48
De 14 a 15	842.07	814.52	767.92	792.68	625.26	705.64	489.74	622.31	368.67	528.07	342.28	531.39
De 15 a 16	702.53	655.3	630.27	633.68	489.29	546.12	348.64	449.28	244.79	373.69	226.59	383.02
De 16 a 17	522.82	454.62	450.17	428.77	317.05	344.95	183.39	244.69	90.78	162.93	75.78	170.4
De 17 a 18	326.06	244.13	257.19	216.23	133.8	134.69	22.23	28.51	0	0	0	0
De 18 a 19	138.49	65.06	76.83	42.09	4.88	3.92	0	0	0	0	0	0
De 19 a 20	4.95	4.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 20 a 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 21 a 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 22 a 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 23 a 00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Si se representan y se comparan gráficamente los valores de irradiancia global, se obtienen los [Gráfico 8](#) y [Gráfico 9](#) donde se puede comprobar que durante los meses de invierno, la irradiancia global que captaría un sistema fotovoltaico instalado con un ángulo de inclinación de 35° es superior al sistema que está instalado con 5° .

Conforme se aproximan los meses de verano, la irradiancia captada por ambos sistemas se va igualando y en los meses de Junio y Julio, el sistema con una inclinación de 5° captaría mayor cantidad de irradiancia global.

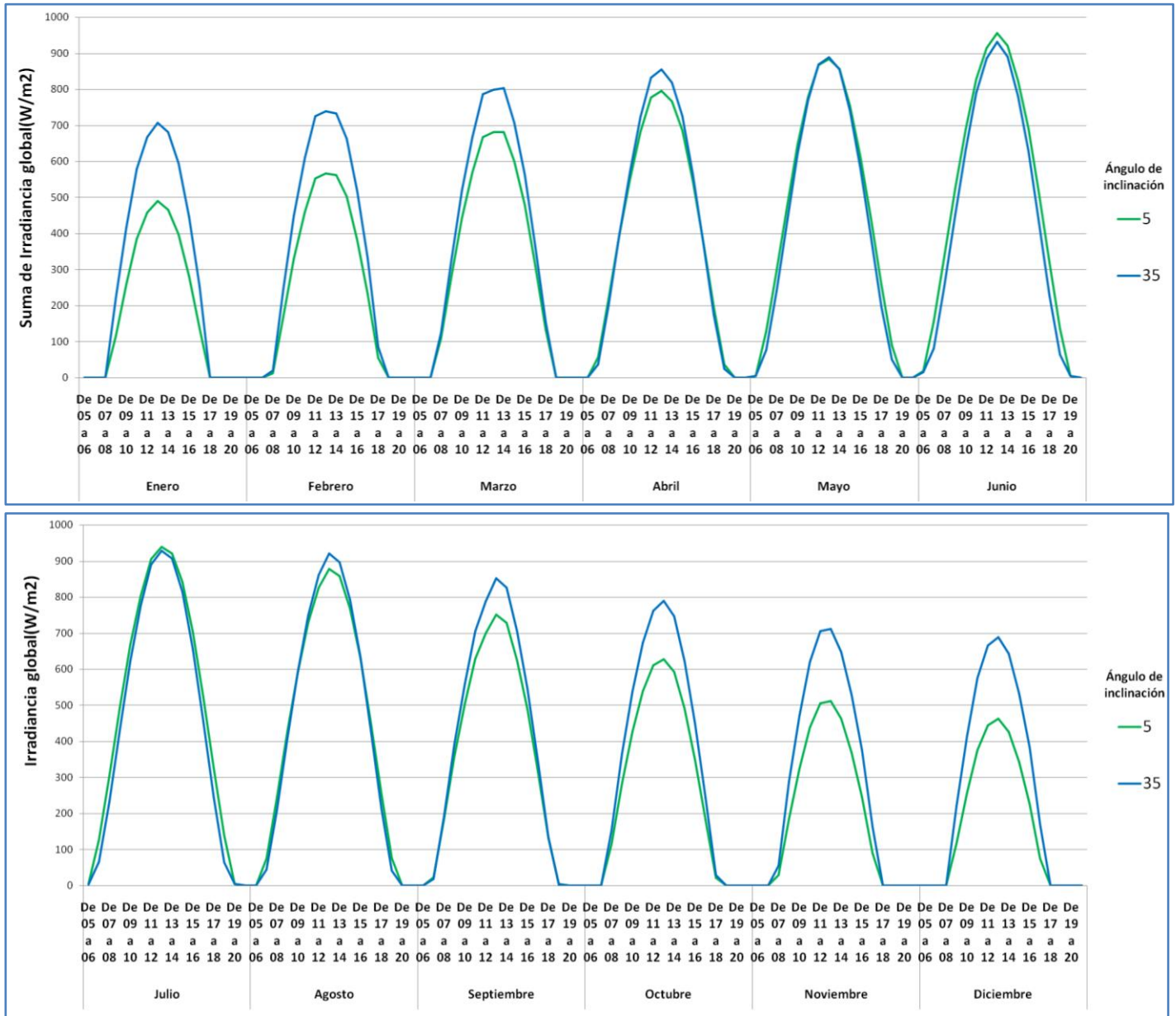


Gráfico 8 y 9. Comparación radiación mensual captada según el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.

10. Cálculo de energía generada.

10.1. Método de cálculo de energía generada y dimensionamiento.

10.1.1. Cálculo del número de paneles necesarios.

Una vez obtenidos los valores de la energía consumida por la vivienda y los valores de radiación solar que se produce en la zona donde está situada, se puede comenzar el proceso de cálculo de la energía generada por la instalación de paneles fotovoltaico.

Para comenzar con los cálculos del dimensionamiento y la preselección de los modelos y prestaciones de los elementos a instalar, se debe definir un valor objetivo de potencia horaria generada. Una vez realizados todos los cálculos de dimensionamiento, se obtendrá el valor de potencia horaria generada real.

Para realizar el cálculo y dimensionamiento de la instalación de paneles fotovoltaicos, se va a seleccionar inicialmente el tipo y modelo de panel fotovoltaico que se quiere instalar en la vivienda. A partir de esa preselección de modelo de panel, se va a calcular el nº de paneles a instalar, se va a seleccionar el inversor a instalar y se va a obtener el número de ramales en paralelo y el número de paneles en serie que puede llevar cada ramal para tener finalmente la instalación más eficiente posible y que genere la energía requerida.

Se va a partir del catálogo de paneles fotovoltaicos de ATERSA donde se realiza la preselección del tipo de panel fotovoltaico y del modelo de panel. Se ha decidido utilizar paneles monocristalinos ya que como se ha indicado en el apartado 8, tienen una mayor capacidad de generación de energía para la misma superficie que los paneles policristalinos con el inconveniente de su mayor costo.

Tras decidir el tipo de panel fotovoltaico y el modelo de panel, del catálogo del fabricante se van a recopilar todas las características técnicas del panel que van a ser necesarias para los cálculos posteriores, como la superficie, las características eléctricas y de temperatura de los paneles y los datos de eficiencia de los paneles.

El número de paneles fotovoltaicos que es necesario instalar, se obtiene a partir de la relación entre el valor objetivo de potencia horaria definido y la potencia máxima del panel preseleccionado.

$$\text{n}^\circ \text{ de paneles} = \frac{\text{Objetivo de potencia horaria}}{\text{Potencia max. por panel}}$$

En el caso de que el resultado tenga decimales, se debe tomar el número entero superior.

La potencia fotovoltaica instalada será la siguiente:

$$\text{Potencia teórica total instalada} = \text{n}^\circ \text{ de paneles} \cdot \text{Potencia max. por panel}$$

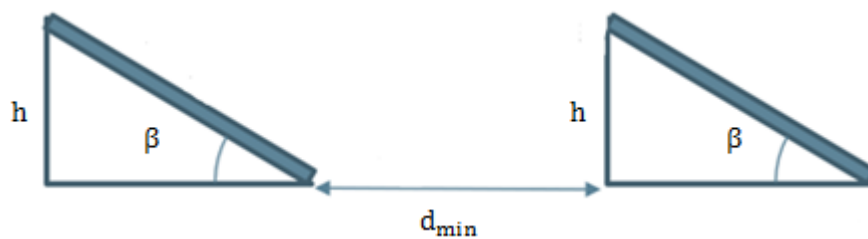
Una vez obtenido el nº de paneles que teóricamente cumplen con las necesidades de potencia pico instalada, se va a comprobar si las limitaciones de espacio de la cubierta, permiten instalar tal cantidad de paneles. Para comprobar si es posible instalar esos paneles en la cubierta, hay que tener en cuenta la posible disposición de los paneles. Se pueden distinguir dos casos, que se instalen con la misma inclinación que la propia cubierta o que se utilice una estructura para instalar las placas solares con una inclinación distinta a la que tiene la cubierta. A continuación se indican los cálculos para comprobar cuántos paneles se pueden instalar en la cubierta según el tipo de instalación que se quiera realizar.

-Paneles instalados con el ángulo de inclinación de la cubierta: en este caso los paneles se disponen con la inclinación de la cubierta y sin una separación mínima entre sí. En el caso de tener varias filas, los paneles de las filas inferiores no producen sombras a los paneles del ramal superior.

En este caso, el número de paneles se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Nº de paneles} = \frac{\text{Superficie de la cubierta (m}^2\text{)}}{\text{Superficie del panel (m}^2\text{)}}$$

-Paneles instalados con inclinación sobre una cubierta horizontal: éste es el caso donde se realice la instalación de los paneles solares inclinados sobre una cubierta horizontal. En este caso se debe de cumplir con una distancia mínima entre los ramales paralelos para evitar que los paneles produzcan sombras sobre otros paneles. El cálculo de esta distancia mínima está definido en el pliego de condiciones técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDAE [19]. La ecuación para obtener la distancia mínima (d_{\min}) entre los módulos en cubierta es:



$$d_{\min} = \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud})} \text{ [m]}$$

Siendo h la altura del panel tras colocarlo inclinado con el ángulo de inclinación β y latitud se obtiene de las coordenadas de localización de la instalación fotovoltaica.

Por lo tanto la superficie que hay que utilizar por cada panel es la siguiente:

$$\text{Sup. para cada panel} = \text{Ancho del panel} \cdot (d_{\min} + \text{largo del panel} \cdot \cos(\beta))$$

El número de paneles en este caso se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Nº de paneles} = \frac{\text{Superficie de la cubierta (m}^2\text{)}}{\text{Sup. para cada panel(m}^2\text{)}}$$

Para obtener el número de ramales que se puede a instalar en paralelo y el número de paneles en serie que puede haber en cada ramal, deben cumplirse las restricciones impuestas por las características técnicas del inversor. Por ejemplo, la corriente de cortocircuito del ramal de paneles fotovoltaicos no puede superar la corriente máxima del inversor.

El inversor se tiene que preseleccionar a partir su potencia nominal. La potencia nominal que debe tener el inversor se obtiene a partir de la potencia teórica instalada y la aplicación de un factor de seguridad que debe oscilar entre 1,15 y 1,2.

$$\frac{\text{Potencia teórica total instalada}}{\text{Potencia nominal del inversor}} \leq 1,15 \text{ ó } 1,2$$

Una vez obtenida la potencia nominal del inversor, ya se puede preseleccionar el tipo y el modelo de inversor que se va a instalar. Tras la selección del inversor, del catálogo del fabricante se van a recopilar todas las características técnicas del inversor que van a ser necesarias para los cálculos posteriores, como la potencia, el voltaje y la corriente límite, etc.

10.1.2. Cálculo de número máximo de paneles en serie ($N_{\text{máx.serie}}$).

Una vez obtenida toda la información del inversor, se tienen que realizar los cálculos de la posible distribución de paneles a realizar en el sistema. Para obtener el número de paneles fotovoltaicos máximo y mínimo que se puede instalar en serie en cada ramal, se tienen que aplicar las siguientes ecuaciones:

$$N_{\text{máx.serie}} = \frac{U_{\text{máx. INV}}}{U_{\text{ca.min. PANEL}}}$$

Siendo:

- $U_{\text{máx. INV}}$: la tensión límite de entrada en el inversor. Se obtiene del catálogo del inversor seleccionado.

- $U_{\text{ca.min. PANEL}}$: la tensión en circuito abierto a temperatura mínima del panel fotovoltaico. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$U_{\text{ca.min. PANEL}} = U_{\text{oc. PANEL}} \cdot \left[1 + (T_{\text{min. PANEL}} - 25) \cdot \frac{\Delta U_{\text{Temp. PANEL}}}{100} \right]$$

Donde cada término se corresponde con:

- $U_{oc.PANEL}$: tensión en circuito abierto del panel. Se obtiene del catálogo del panel seleccionado.
- $\Delta U_{Temp.PANEL}$: coeficiente de temperatura de tensión en circuito abierto del panel. Se obtiene del catálogo del inversor seleccionado.
- $T_{min.PANEL}$: temperatura mínima a la que se encuentra el panel. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$T_{min.PANEL} = T_{amb.MIN} + \frac{(T_{ONC} - 20)}{800} \cdot Irrad_{MIN}$$

Definiendo cada término como:

- $T_{amb.MIN}$: temperatura ambiente mínima. Esta temperatura varía según la zona donde se instale el sistema fotovoltaico.
- T_{ONC} : se define como la temperatura de funcionamiento normal de la célula . Se obtiene del catálogo del panel seleccionado.
- $Irrad_{MIN}$: se refiere al valor de irradiancia mínima en W/m^2 que hay en la zona donde se va a instalar el sistema fotovoltaico.

10.1.3. Cálculo de número mínimo de paneles en serie ($N_{min.serie}$).

$$N_{min.serie} = \frac{U_{PMP.INV}}{U_{PMP.MIN.PANEL}}$$

Siendo:

- $U_{PMP.INV}$: la tensión mínima del rango de tensión de operación de MPPT (Maximum Power Point Tracker). Se obtiene del catálogo del inversor seleccionado.
- $U_{PMP.MIN.PANEL}$: es la tensión con circuito abierto a temperatura máxima del. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$U_{PMP.MIN.PANEL} = U_{PMP.PANEL} \cdot \left[1 + (T_{máx.PANEL} - 25) \cdot \frac{\Delta U_{Temp.PANEL}}{100} \right]$$

Donde cada término se corresponde con:

- $U_{PMP.PANEL}$: tensión en circuito abierto del panel. Se obtiene del catálogo del panel seleccionado.
- $\Delta U_{Temp.PANEL}$: coeficiente de temperatura de tensión en circuito abierto del panel. Se obtiene del catálogo del inversor seleccionado.
- $T_{m\acute{a}x.PANEL}$: temperatura máxima a la que se encuentra el panel. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$T_{m\acute{a}x.PANEL} = T_{amb.M\acute{A}X} + \frac{(T_{ONC} - 20)}{800} \cdot Irrad_{M\acute{A}X}$$

Definiendo cada término como:

- $T_{amb.M\acute{A}X}$: temperatura ambiente máxima. Esta temperatura varía según la zona donde se instale el sistema fotovoltaico.
- T_{ONC} : se define como la temperatura de funcionamiento normal de la. Se obtiene del catálogo del panel seleccionado.
- $Irrad_{M\acute{A}X}$: se refiere al valor de irradiancia máxima en W/m^2 que hay en la zona donde se va a instalar el sistema fotovoltaico.

10.1.4. Cálculo de número mínimo de ramales en paralelo ($N_{ramales}$).

Para calcular el número de ramales en paralelo que se puede instalar, se deben cumplir una serie de restricciones.

La primera restricción que se debe cumplir es la siguiente:

$$I_{m\acute{a}x.INV} \geq I_{sc.RAMAL} \cdot N_{m\acute{a}x.RAMALES}$$

Pudiendo despejar de aquí el número máximo de ramales en paralelo que se pueden instalar:

$$N_{m\acute{a}x.RAMALES} \leq \frac{I_{m\acute{a}x.INV}}{I_{sc.RAMAL}}$$

Siendo:

- $I_{m\acute{a}x.INV}$: se define como la máxima intensidad por MPPT. Se obtiene del catálogo del inversor seleccionado.

- $I_{sc.RAMAL}$: se define como la intensidad de cortocircuito máxima que puede haber en cada ramal. Está definida por los paneles fotovoltaicos instalados y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$I_{sc.RAMAL} = I_{scPANEL} \cdot \left[1 + (T_{m\acute{a}x.PANEL} - 25) \cdot \frac{\Delta I_{Temp.PANEL}}{100} \right]$$

Donde cada término se corresponde con:

- $I_{scPANEL}$: corriente en cortocircuito del panel. Se obtiene del catálogo del panel seleccionado.

- $\Delta I_{Temp.PANEL}$: coeficiente de temperatura de corriente en cortocircuito del panel. Se obtiene del catálogo del inversor seleccionado.

- $T_{m\acute{a}x.PANEL}$: temperatura máxima a la que se encuentra el panel. Se ha obtenido anteriormente para calcular el número mínimo de paneles solares a instalar.

Una vez obtenido el número máximo de ramales que se puede instalar para un inversor centralizado, se comprueba el número de ramales en paralelo que debe conectarse en paralelo a partir de la relación entre la potencia pico del sistema de paneles fotovoltaicos (P_p) y la potencia pico de un ramal de paneles. La fórmula es la siguiente:

$$N_{RAMALES} = \frac{\text{Potencia teórica total instalada}}{\text{Potencia pico por ramal}}$$

Para poder realizar este cálculo, anteriormente ya se ha tenido que decidir el número de paneles fotovoltaicos que se van a instalar en serie para cada ramal.

Lo último que hay que tener en cuenta es el número máximo de paneles por ramal que es capaz de conectar de manera eficiente el inversor preseleccionado. Este número máximo de paneles que se puede conectar por ramal, lo indica el fabricante del inversor.

Una vez llegado a este punto, ya se tiene una primera configuración del sistema de autoconsumo formado por paneles solares para obtener la potencia pico definida.

10.1.5. Cálculo de energía generada por el sistema prediseñado.

El siguiente paso es calcular la energía generada (E_{gen}) por el sistema de paneles teniendo en cuenta las pérdidas por rendimiento de los elementos del sistema. La energía generada se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{gen} = \frac{E_{rad}(\alpha, \beta) \cdot P_p \cdot PR}{E_{RCP}} \quad [W / m^2]$$

Siendo cada uno de los términos:

- $E_{rad}(\alpha, \beta)$: se define como la irradiancia global en W/m^2 que incide para cada uno de los ángulos de inclinación en el lugar donde se quiere instalar el sistema fotovoltaico. Estos valores se obtienen a partir de la herramienta PVGIS.

- P_p : es la potencia fotovoltaica teórica instalada.

- E_{RCP} : se define como productividad de referencia o energía generada en condiciones de prueba de potencia de los módulos fotovoltaicos. Su valor es de $1000 W/m^2$.

- PR: se define como rendimiento global de la instalación (Performance Ratio) y es el término de la ecuación donde se incluyen todas las pérdidas que se pueden dar en el sistema. La fórmula para obtener el PR es la siguiente:

$$PR = \eta_{Temp} \cdot \eta_{cab} \cdot \eta_{Pol} \cdot \eta_{Dis} \cdot \eta_{mpp} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{con} \cdot \eta_{otros}$$

Siendo cada uno de los términos:

- η_{Temp} : Rendimiento por temperatura de los módulos. El incremento de temperatura hace que el rendimiento de los paneles fotovoltaicos disminuya, por lo tanto es necesario que haya una buena ventilación de los módulos tanto por la parte expuesta a la radiación solar como por la parte posterior de los módulos. El valor de η_{Temp} se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\eta_{Temp} = 100 - K_T \cdot (T_c - 25^\circ C)$$

Donde:

- K_T : se define como el coeficiente de temperatura a potencia máxima del panel medido en $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Este valor se obtiene del catalogo del fabricante del panel fotovoltaico.

- T_c : se define como la temperatura media de las células del panel fotovoltaico. Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T_c = T_{\text{amb.MEDIA}} + \frac{(T_{\text{ONC}} - 20^{\circ}\text{C}) \cdot \text{Irrad}_{\text{Media}}}{800}$$

Siendo cada uno de los términos:

- $T_{\text{amb.MEDIA}}$: es la temperatura ambiente media mensual en la localización de la instalación fotovoltaica durante las horas de radiación solar. Este dato se puede obtener de la herramienta PVGIS.

- T_{ONC} : se define como la temperatura de operación nominal de la célula. Este dato se obtiene del catálogo del fabricante y normalmente el valor es de 45°C .

- $\text{Irrad}_{\text{Media}}$: es la radiación media mensual en la localización de la instalación fotovoltaica durante las horas de radiación solar. Este dato se puede obtener de la herramienta PVGIS.

- η_{cab} : Rendimiento en el cableado debido a la resistencia de los cables por la ley de Joule. Estas pérdidas no pueden superar el 3%.

- η_{Pol} : Rendimiento asociado a las pérdidas por suciedad. Las pérdidas por suciedad dependen de la inclinación de los módulos, de la frecuencia de lluvias en la localización donde se encuentran los paneles solares, de si los paneles están situados cerca de carreteras, etc. El porcentaje de perdidas puede estar comprendido entre 0% y 8%.

$$\eta_{\text{Pol}} = 100 - \text{Pérdidas}_{\text{suciedad}}$$

- η_{Dis} : Rendimiento asociado a las pérdidas por dispersión de parámetros, normalmente se obtienen del catálogo del fabricante de los paneles.

- η_{mpp} : Rendimiento asociado a las pérdidas por la eficacia de los algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia. Suele estar incluido en el rendimiento del inversor.

- η_{inv} : Rendimiento asociado a las pérdidas del inversor. El valor de este parámetro se obtiene del catálogo del fabricante vez se selecciona el inversor de la instalación.
- η_{con} : Rendimiento asociado a las pérdidas por la interconexión de módulos, también incluye asimetrías en la generación de fotocorriente entre módulos de una misma ristra.
- η_{otros} : Rendimiento asociado a otras pérdidas.

10.2. Cálculo de la instalación fotovoltaica a instalar.

Una vez definidos y explicados todos los cálculos y consideraciones a realizar para dimensionar y distribuir los paneles solares de la instalación de autoconsumo, se pueden realizar los cálculos para la selección de los elementos que van a formar la instalación de autoconsumo de paneles fotovoltaicos de este trabajo.

A partir del consumo energético horario supuesto para la vivienda y los intervalos horarios donde se recibe radiación solar, se han representado los datos de consumo energético en el *Gráfico 10*.

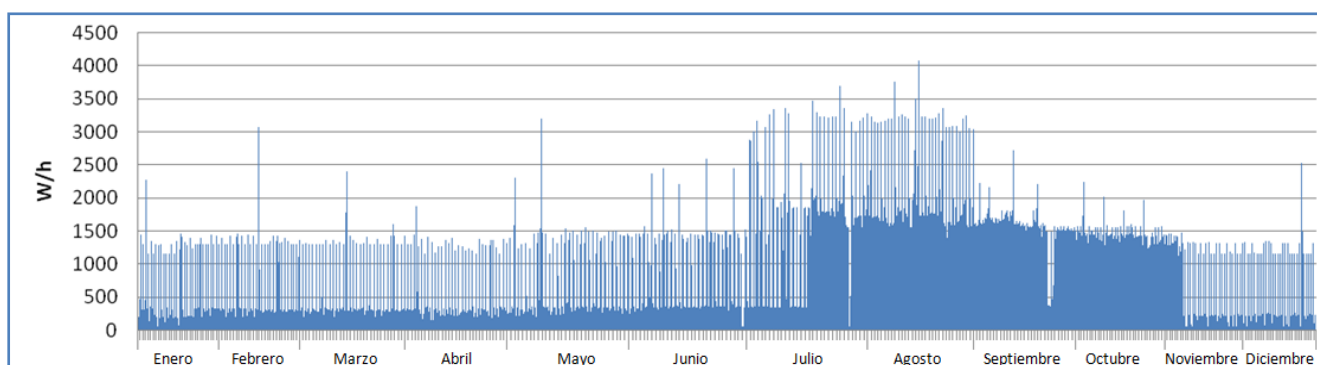


Gráfico 10. Energía consumida horaria durante las horas con radiación solar a lo largo del año.

Se han dividido y representado en el *Gráfico 11* los consumos horarios en intervalos de 500W/h para determinar qué cantidad de energía generada cubriría con el 99% del consumo energético durante las horas con radiación solar.

De un total de 4505 horas de irradiación solar anual, el consumo energético horario de la vivienda se distribuye de la siguiente manera:

Intervalo	Nº de horas anuales dentro del intervalo	Porcentaje del total de horas	Porcentaje acumulado
De 0 a 500 W/h	3132	69,52%	69,52%
De 500 a 1000 W/h	254	5,64%	75,16%
De 1000 a 1500 W/h	530	11,76%	86,93%
De 1500 a 2000 W/h	453	10,06%	96,98%
De 2000 a 2500 W/h	65	1,44%	98,42%
De 2500 a 3000 W/h	17	0,38%	98,80%
De 3000 a 3500 W/h	51	1,13%	99,93%
De 3500 a 4000 W/h	2	0,04%	99,98%
De 4000 a 4500 W/h	1	0,02%	100,00%

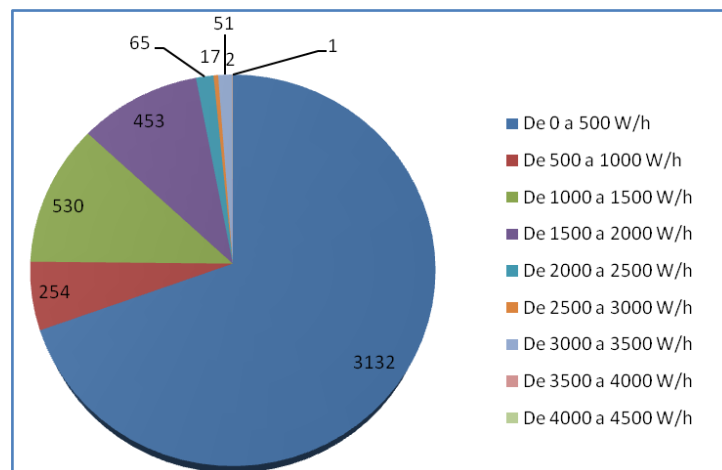
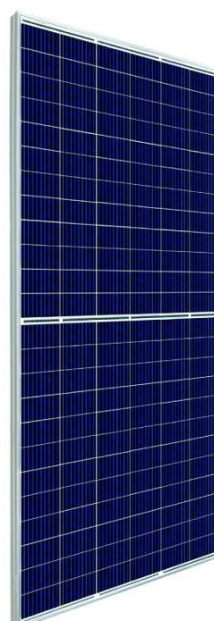


Gráfico 11. Nº de horas anuales dentro de cada intervalo de consumo energético.

Por lo tanto, para cubrir el consumo energético 99% de las horas en las que hay radiación solar, el objetivo de potencia horaria para el que se va a dimensionar la instalación es de 3500W.

Respecto al tipo de panel fotovoltaico, se va a seleccionar un panel fotovoltaico de tipo monocristalino, ya que como se ha explicado en el apartado 8, tienen un mejor rendimiento y es necesario un menor número de paneles monocristalinos para obtener la misma potencia. También se ha elegido un panel de tipo monocristalino porque tras comparar relación potencia/precio en los paneles de la marca ATERSA, es más rentable instalar paneles monocristalinos. El modelo de panel fotovoltaico que se ha seleccionado para comenzar los cálculos de la instalación fotovoltaica y sus características técnicas indicadas en el catálogo por el fabricante [20] son las siguientes:

Panel monocristalino A-450M ATERSA GS (M6x24)



Características eléctricas		A-450M
Potencia Máxima (Pmax)		450 Wp
Tensión Máxima Potencia (Vmp)		41.50 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)		10.85 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)		49.30 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)		11.60 A
Eficiencia del Módulo (%)		20,70
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)		45±2
Especificaciones mecánicas		
Dimensiones (± 2.0 mm.)		2094x1038x35 mm
Peso (± 0.5 kg)		24.0 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)		5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)		2400 Pa
Máx. impacto granizo (diámetro/velocidad)		25 mm / 23 m/s
Características de temperatura		
Coefficiente Temp. de Isc (TK Isc)		0.049 % /°C
Coefficiente Temp. de Voc (TK Voc)		-0.271 % /°C
Coefficiente Temp. de Pmax (TK Pmax)		-0.352 % /°C

10.2.1. Cálculo del número de paneles necesarios.

El número de paneles que se deberían instalar para cubrir con la potencia pico objetivo

$$n^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{3500}{450} = 7,77$$

Que se redondearía a **8 paneles**. Obteniendo una potencia fotovoltaica instalada de:

$$\text{Potencia teórica instalada} = 8 \cdot 450 = \mathbf{3600W}$$

Una vez obtenido el nº de paneles que teóricamente cumplen con las necesidades de potencia pico instalada, se va a comprobar cuántos paneles se podrían instalar en las cubiertas. Para ello se utilizan las dimensiones proporcionadas por el fabricante y los cálculos indicados anteriormente. Como en la vivienda hay dos cubiertas y cada una tiene una inclinación, se van a calcular la distancia mínima de posicionamiento entre paneles y el nº de paneles que se puede instalar en cada cubierta.

- Nº de paneles que se pueden instalar sobre la Cubierta 1 (INCLINACION PANELES ≠ INCLINACION CUBIERTA)

Superficie útil para la instalación	37,96m ²
Ángulo inclinación instalación paneles (β)	35°
Altura h del panel tras inclinarlo	1,201m
Latitud	37,6436°

$$d_{\min} = 2,781m$$

Por lo tanto la superficie que hay que utilizar por cada panel es la siguiente:

$$\text{Sup. para cada panel} = 1,038 \cdot 4,496 = 4,667m^2$$

Al tener que respetar la distancia de 4,496m de largo, no es posible utilizar esta cubierta ya que tiene unas dimensiones de 7,3m de largo y 5,2m de ancho y no se pueden poner los paneles formando dos filas de cuatro respetando la orientación Sur.

-Nº de paneles que se pueden instalar sobre la Cubierta 2 (INCLINACION PANELES = INCLINACION CUBIERTA).

Superficie útil para la instalación	106,4m ²
Ángulo inclinación cubiertas (β)	5°

$$n^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{106,4}{2,094 \cdot 1,038} = 49,95 \text{ paneles} \approx 49$$

En esta cubierta no habría inconveniente para instalar los 8 paneles necesarios. Por lo tanto, los 8 paneles se van a instalar sobre la cubierta 2.

Se va a seleccionar un inversor centralizado de la marca Huawei. Para dimensionar el inversor, se debe realizar la relación entre potencias aplicando un factor de seguridad entre 1,15 y 1,2.

En este caso el factor de seguridad se va a tomar como 1,18.

$$\frac{3600 \text{ W}}{\text{Potencia nominal del inversor}} \leq 1,18$$

Obteniendo que la potencia nominal del inversor debe ser como mínimo 3050,84W.

Se ha seleccionado el modelo SUN2000-3.68KTL-L1, las siguientes características técnicas indicadas en el catálogo por el fabricante [21] son las siguientes:



Especificaciones técnicas		SUN2000 -3.68KTL-L1
Eficiencia		
Eficiencia Máxima		98.4 %
Eficiencia europea		97.3 %
Entrada (FV)		
Entrada de CC máxima recomendada ²		5,520 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
Salida		
Conexión a la red eléctrica		Monofásica
Potencia de salida nominal		3,680 W
Máx. potencia aparente de CA		3,680 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		16 A

El inversor seleccionado tiene como potencia nominal de salida de 3680W.

10.2.2. Cálculo de número máximo de paneles en serie ($N_{\text{máx.serie}}$).

A continuación se recopilan los datos y los cálculos necesarios para obtener el número máximo de paneles en serie ($N_{\text{máx.serie}}$).

$T_{\text{amb. MIN}}$	-2°C
T_{ONC}	45°C
$\text{Irrad}_{\text{MIN}}$	100 W/m^2
$U_{\text{oc.PANEL}}$	$49,30 \text{ V}$
$\Delta U_{\text{Temp. PANEL}}$	$-0,271 \text{ \%/}^{\circ}\text{C}$
$U_{\text{máx. INV}}$	600 V

Al tratarse de una instalación en la región de Murcia, se ha supuesto que la mínima temperatura que se puede dar en la zona es de -2°C y el valor de irradiación mínima es de 100 W/m^2 .

$$T_{\text{min. PANEL}} = -2 + \frac{(45 - 20)}{800} \cdot 100 = 1,125^{\circ}\text{C}$$

$$U_{\text{ca.min. PANEL}} = 49,30 \cdot \left[1 + (1,125 - 25) \cdot \frac{-0,271}{100} \right] = 52,489 \text{ V}$$

$$N_{\text{máx. serie}} = \frac{600}{52,489} = 11,43 \approx 11 \text{ paneles.}$$

10.2.3. Cálculo de número mínimo de paneles en serie ($N_{\text{min.serie}}$).

A continuación se recopilan los datos y los cálculos necesarios para obtener el número máximo de paneles en serie ($N_{\text{min. serie}}$):

$T_{\text{amb. MÁX}}$	45°C
T_{ONC}	45°C
$\text{Irrad}_{\text{MÁX}}$	1000 W/m^2
$U_{\text{PMP. PANEL}}$	$41,50 \text{ V}$
$\Delta U_{\text{Temp. PANEL}}$	$-0,271 \text{ \%/}^{\circ}\text{C}$
$U_{\text{PMP. INV}}$	90 V

Al tratarse de una instalación en la región de Murcia, se ha supuesto que la máxima temperatura que se puede dar en la zona es de 45°C y el valor de irradiación máxima es de 1000W/m².

$$T_{\text{máx.PANEL}} = 45 + \frac{(45 - 20)}{800} \cdot 1000 = 76,3^{\circ}\text{C}$$

$$U_{\text{PMP.MIN.PANEL}} = 41,50 \cdot \left[1 + (76,25 - 25) \cdot \frac{-0,271}{100} \right] = 35,74 \text{ V}$$

$$N_{\text{min.serie}} = \frac{90}{35,74} = 2.218 \approx 3 \text{ paneles.}$$

10.2.4. Cálculo de número mínimo de ramales en paralelo (N_{ramales}).

Estos son los datos y los cálculos necesarios para obtener el número máximo de ramales en paralelo ($N_{\text{máx.RAMALES}}$):

I_{scPANEL}	11,60 A
$T_{\text{máx.PANEL}}$	76,3°C
$\Delta I_{\text{Temp.PANEL}}$	0,049 %/°C
$I_{\text{máx.INV}}$	16 A

$$I_{\text{sc.RAMAL}} = 11,60 \left[1 + (76,3 - 25) \frac{0,049}{100} \right] = 11,89 \text{ A}$$

$$N_{\text{máx.RAMALES}} \leq \frac{16}{11,89} = 1,345 \approx 1 \text{ ramal.}$$

Por lo tanto sólo se podría colocar como máximo 1 ramal en paralelo y el número de paneles fotovoltaicos puede ser máximo de 11 y mínimo de 3 paneles.

10.3. Instalación seleccionada y posicionamiento.

En la *Imagen 14* se muestra la disposición y la ubicación seleccionada para el sistema de autoconsumo a partir de energía fotovoltaica.

Paneles fotovoltaicos	
Tipo	Monocristalino
Modelo	ATERSA A-450M
Potencia máxima (W)	450W
Nº de paneles	8
Distribución	1 ramal de 8 paneles en serie
Inversor fotovoltaico	
Tipo	Centralizado
Modelo	Huawei SUN2000-3.68KTL-L1
Potencia máxima de salida (W)	3680W
Cable de CC que une paneles-Inversor.	
10 m de cable de sección 6mm ²	
Cubierta sobre la que se instalan	
Cubierta 2	
Superficie útil para la instalación	106,4m ²
Ángulo inclinación cubierta (β)	5°

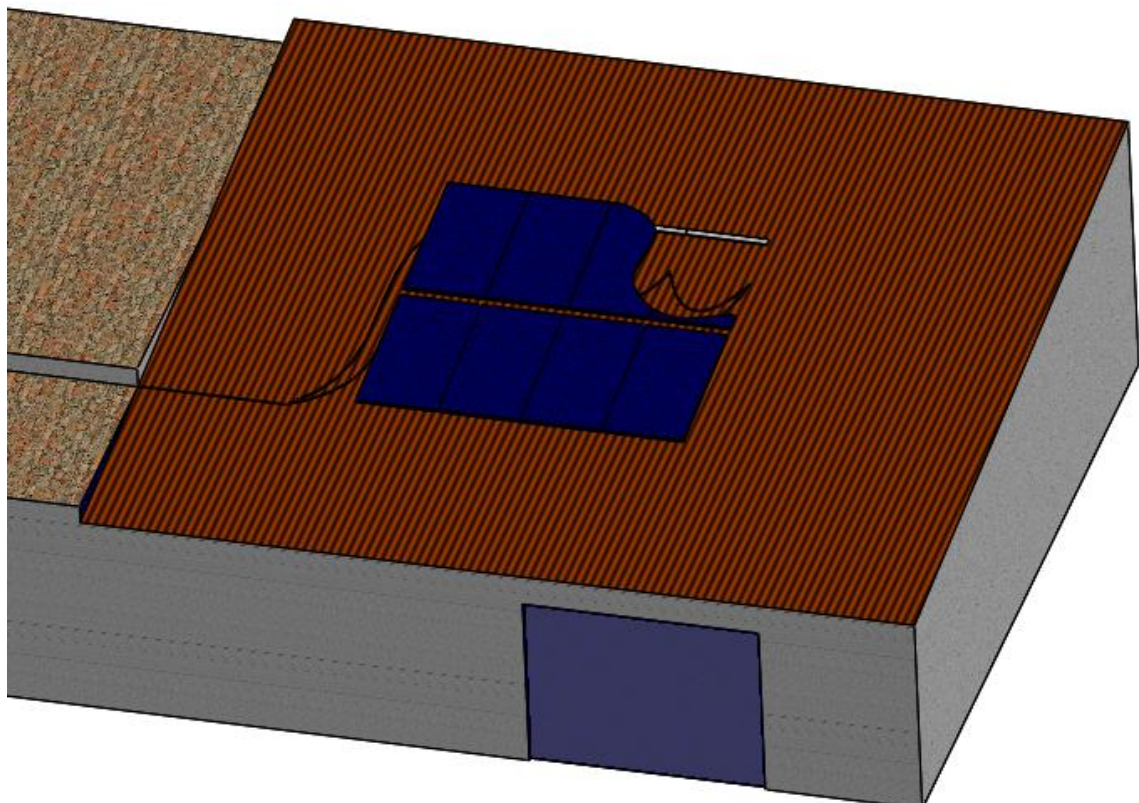


Imagen 14. Disposición sistema de autoconsumo diseñado.

11. Cálculo de energía generada E_{gen} por el sistema prediseñado.

Por último se va a calcular la energía generada (E_{gen}) por el sistema de paneles seleccionado teniendo en cuenta las pérdidas por rendimiento de los elementos del sistema. La energía generada se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{gen} = \frac{E_{rad}(\alpha, \beta) \cdot P_p \cdot PR}{E_{RCP}} \quad [W/m^2]$$

Como se tienen los valores de irradiancia global horarios durante todo el año, la energía generada se va a calcular de todas las horas del año, con el fin de poder comparar con la energía consumida cada hora.

-Irradiancia global $E_{rad}(\alpha, \beta)$:

Se ha obtenido a través de la herramienta PVGIS y se explica detalladamente en el apartado 9. Para la cubierta 2, con una inclinación de $\beta = 5^\circ$, la irradiación global media para cada mes es la siguiente:

Irradiación global			
Mes	Wh/m ² /día	Mes	Wh/m ² /día
Enero	2990,6	Julio	7701,52
Febrero	3828,01	Agosto	6813,37
Marzo	4960,75	Septiembre	5449,2
Abril	6078,98	Octubre	4237,09
Mayo	7099,56	Noviembre	3161,69
Junio	7827,6	Diciembre	2728,52

- Potencia fotovoltaica instalada (P_p):

Como se ha indicado en el apartado 10.2.1. se van a instalar 8 paneles de 450W, resultando una potencia fotovoltaica instalada de 3600W.

-Rendimiento global de la instalación (PR):

$$PR = \eta_{Temp} \cdot \eta_{cab} \cdot \eta_{Pol} \cdot \eta_{Dis} \cdot \eta_{mpp} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{con} \cdot \eta_{otros}$$

- η_{Temp} :

$$\eta_{Temp} = 100 - K_T \cdot (T_c - 25^\circ C)$$

$$T_c = T_{amb.MEDIA} + \frac{(T_{ONC} - 20^\circ C) \cdot Irrad_{Media}}{800}$$

Tomando los siguientes valores:

$$K_T = 0,352\%/^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ONC}} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Irrad}_{\text{Media}} = 1000 \text{ W/m}^2$$

Los datos de la $T_{\text{amb.MEDIA}}$ se han obtenido de la herramienta PVGIS y son los siguientes:

$T_{\text{amb.MEDIA}}$			
Mes	$^{\circ}\text{C}$	Mes	$^{\circ}\text{C}$
Enero	11,43	Julio	25,12
Febrero	12,05	Agosto	25,61
Marzo	13,51	Septiembre	23,10
Abril	15,75	Octubre	19,80
Mayo	18,86	Noviembre	15,32
Junio	22,37	Diciembre	12,36

Obteniendo los siguientes valores de temperatura media de las células del panel fotovoltaico T_c :

Temperatura de la célula fotovoltaica. T_c			
Mes	$^{\circ}\text{C}$	Mes	$^{\circ}\text{C}$
Enero	42,7	Julio	56,4
Febrero	43,3	Agosto	56,9
Marzo	44,8	Septiembre	54,3
Abril	47,0	Octubre	51,1
Mayo	50,1	Noviembre	46,6
Junio	53,6	Diciembre	43,6

Obteniendo los siguientes valores de rendimiento η_{Temp} :

Rendimiento temperatura (η_{Temp})			
Mes	%	Mes	%
Enero	93,8	Julio	89,0
Febrero	93,6	Agosto	88,8
Marzo	93,0	Septiembre	89,7
Abril	92,3	Octubre	90,8
Mayo	91,2	Noviembre	92,4
Junio	89,9	Diciembre	93,4

El valor estimado para el resto de rendimientos es el siguiente:

η_{cab}	97%
η_{Pol}	96%
η_{Dis}	99%
η_{mpp}	99%
η_{inv}	97,3%
η_{con}	100%
η_{otros}	99%

Obteniendo finalmente este rendimiento global de la instalación (PR) para cada mes:

Rendimiento global de la instalación (PR)			
Mes	%	Mes	%
Enero	0,824	Julio	0,782
Febrero	0,823	Agosto	0,781
Marzo	0,818	Septiembre	0,788
Abril	0,811	Octubre	0,799
Mayo	0,801	Noviembre	0,812
Junio	0,791	Diciembre	0,822

Finalmente, se ha obtenido la energía horaria generada para la instalación elegida. El [Gráfico 12](#) representa la energía horaria media generada para cada mes es la siguiente:

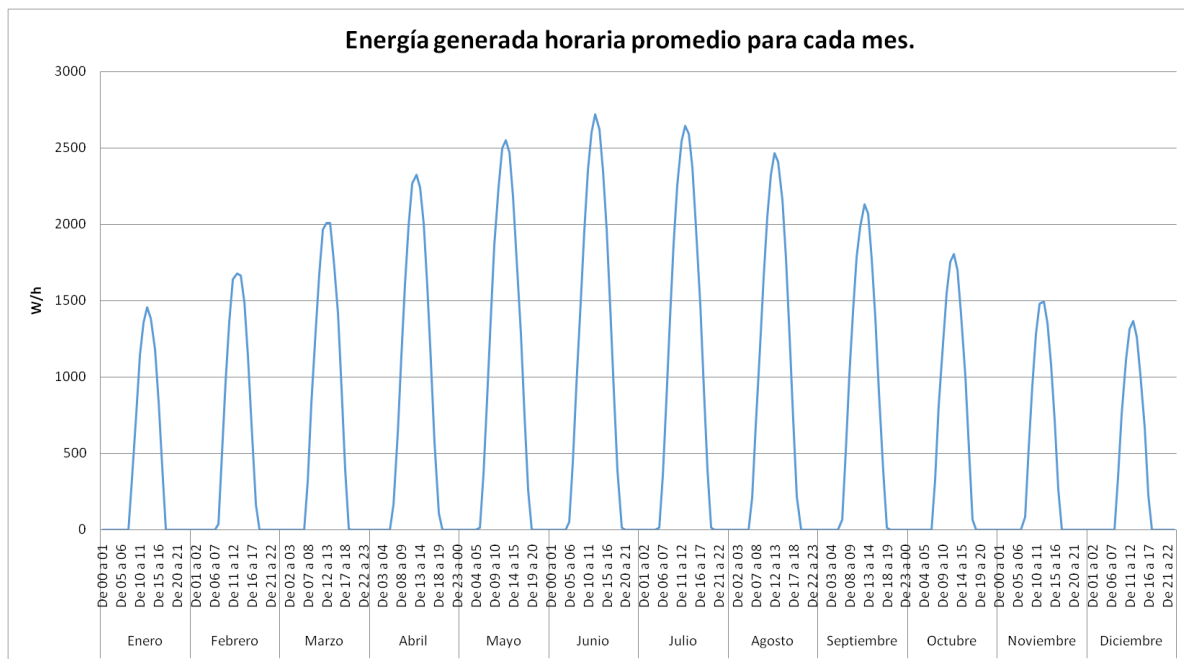


Gráfico 12. Energía generada horaria (Promedio para cada mes)

Hora	Energía generada horaria (W/h)promedio para cada mes.											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
De 00 a 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 01 a 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 02 a 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 03 a 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 04 a 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 05 a 06	0	0	0	0	15,09	53,31	11,91	0	0	0	0	0
De 06 a 07	0	0	1,27	164,09	368,61	442,87	359,57	211,40	64,85	0	0	0
De 07 a 08	0	37,69	319,30	638,10	860,18	954,20	858,19	685,48	518,99	328,38	86,57	0,00
De 08 a 09	339,14	504,21	827,94	1142,09	1372,35	1496,03	1388,83	1200,62	1020,40	813,97	540,26	346,90
De 09 a 10	768,60	975,11	1305,34	1608,97	1868,10	1959,68	1877,32	1660,26	1430,58	1223,55	947,22	757,41
De 10 a 11	1144,90	1363,63	1677,56	1993,04	2247,70	2357,10	2260,37	2052,99	1785,53	1549,97	1282,32	1113,12
De 11 a 12	1358,53	1638,71	1967,20	2270,04	2501,39	2602,55	2548,03	2323,15	1986,94	1755,05	1479,73	1316,16
De 12 a 13	1457,01	1679,93	2007,99	2323,74	2552,00	2720,83	2643,51	2468,51	2132,99	1806,31	1495,52	1367,30
De 13 a 14	1384,98	1663,88	2007,05	2239,09	2470,69	2620,33	2593,22	2410,88	2068,11	1701,90	1355,43	1262,36
De 14 a 15	1180,46	1488,85	1768,93	2001,77	2177,22	2344,07	2370,85	2157,89	1774,49	1407,85	1078,21	1012,33
De 15 a 16	833,93	1132,49	1412,47	1590,48	1766,40	1964,35	1977,98	1771,08	1388,61	1002,23	715,91	670,16
De 16 a 17	406,78	685,84	917,17	1099,49	1276,59	1451,74	1472,00	1265,00	899,79	527,19	265,49	224,13
De 17 a 18	1,51	164,63	393,33	570,36	745,12	907,26	918,02	722,71	379,72	63,90	0	0
De 18 a 19	0	0	2,56	108,27	261,28	387,89	389,92	215,90	13,85	0	0	0
De 19 a 20	0	0	0	0	0,55	15,57	13,94	0	0	0	0	0
De 20 a 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 21 a 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 22 a 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De 23 a 00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

12. Energía generada instalación y energía consumida vivienda.

Una vez obtenida la energía generada horaria promedio para cada mes, se va a comparar con la energía consumida por la vivienda para saber si la instalación está sobredimensionada o hace falta volver a calcularla para obtener una mayor energía que cubra un porcentaje aceptable de la energía consumida.

Tal y como se ha comentado en el apartado 3, aprovechando que se va a instalar un sistema de obtención de energía a partir de paneles fotovoltaicos, se va a ajustar y programar la bomba para que funcione durante las horas que la instalación de autoconsumo es capaz de producir mayor energía y en las horas centrales de mañana, que es cuando los integrantes de la familia están trabajando. Se van a realizar las siguientes modificaciones de horario de funcionamiento de la bomba para cada mes:

Mes	Tramo horario actual	Mes	Tramo horario modificado	Mes	Tramo horario actual	Mes	Tramo horario modificado
Enero Febrero Marzo Abril	Puntualmente	Enero Febrero Marzo Abril	De 11 a 12 De 12 a 13	Julio Agosto Septiembre Octubre	De 01 a 02 De 04 a 05 De 07 a 08 De 10 a 11 De 13 a 14 De 16 a 17 De 19 a 20 De 22 a 23	Julio Agosto Septiembre Octubre	De 08 a 09 De 09 a 10 De 10 a 11 De 11 a 12 De 12 a 13 De 13 a 14 De 16 a 17 De 17 a 18
Mayo Junio	De 23 a 00 De 00 a 01 De 01 a 02 De 02 a 03 De 15 a 16 De 16 a 17 De 17 a 18	Mayo Junio	De 09 a 10 De 10 a 11 De 11 a 12 De 12 a 13 De 13 a 14 De 15 a 16 De 16 a 17				
				Noviembre Diciembre	De 04 a 05	Noviembre Diciembre	De 11 a 12 De 12 a 13

En el *Gráfico 13* se representa el promedio mensual de la energía consumida antes y después de ajustar el horario de la piscina.



Gráfico 13. Energía consumida antes y después de ajustar las horas de la piscina.

En el **Gráfico 14** se representa los promedios mensuales de la energía generada con respecto a la energía consumida:

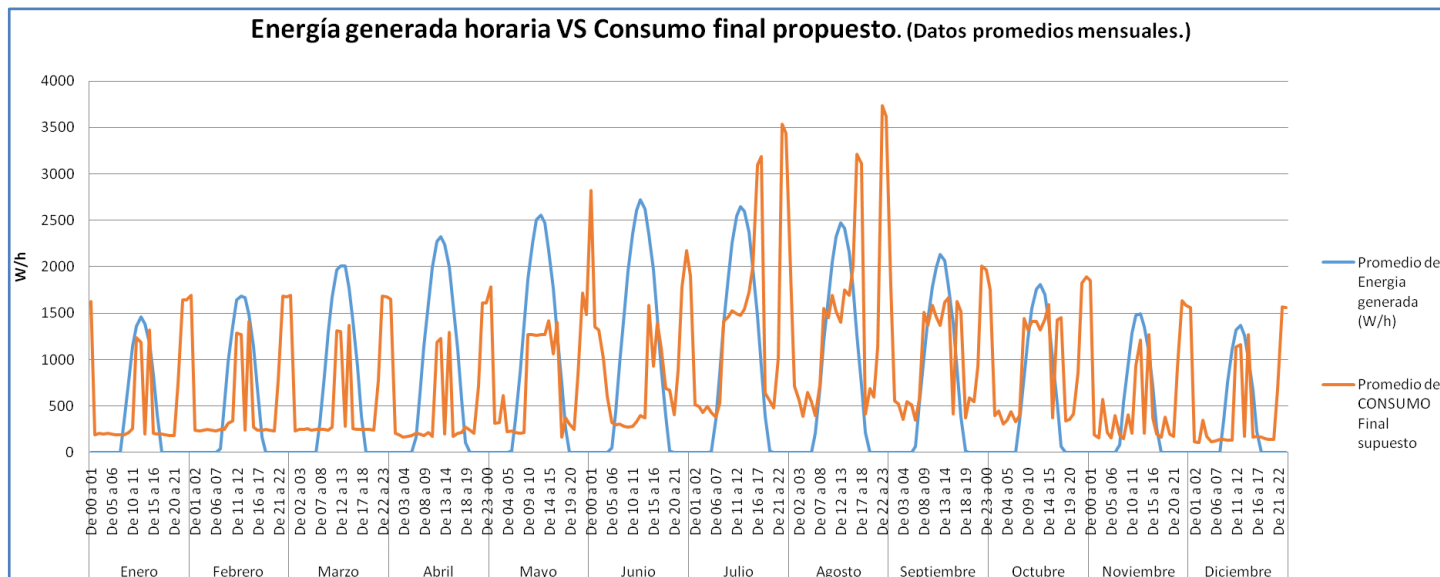


Gráfico 14. Energía generada horaria vs Energía consumida horaria (Promedio mensual).

Se comprueba que la energía generada durante las horas de sol por la instalación fotovoltaica seleccionada, es igual o superior a la energía consumida durante las horas de radiación solar.

Tras comparar la suma de los valores promedio de energía generada mes a mes con respecto a la energía consumida, se determina que el porcentaje de autoabastecimiento de la vivienda alcanza el 75,8%.

Al comparar la energía generada con respecto a la energía consumida a lo largo del año durante las horas donde hay radiación solar, prácticamente el 100% de la energía consumida es generada por la instalación fotovoltaica. Incluso durante los meses de Marzo a Junio, la generación de energía supera al consumo.

La energía generada excedente, no tiene unos valores suficientemente elevados ni regulares como para plantear la realización de la instalación fotovoltaica conectada a la red y acogerse a la modalidad de autoconsumo con excedentes. Únicamente se produce un exceso de energía generada en los meses de Marzo a Junio, y es debido a que esos meses, la bomba de la piscina no está programada para funcionar durante varias horas.

A partir de los resultados obtenidos, se decide que el sistema de autoconsumo a partir de paneles fotovoltaicos, sea de la modalidad de autoconsumo sin excedentes.

13. Estudio económico.

Tras realizar el dimensionado y la selección del sistema de paneles a fotovoltaicos a instalar en la vivienda, se puede realizar un breve análisis económico y de rentabilidad para conocer el impacto de la instalación de paneles fotovoltaicos sobre la factura de la luz y para confirmar que la inversión para el proyecto de la instalación de autoconsumo es rentable.

Para realizar este estudio económico se ha realizado el balance entre costes de la electricidad y de la instalación fotovoltaica. Para los costes de la factura de la luz, se parte de los precios y facturas de la electricidad durante los meses de 2022 aplicándolo a la cantidad de energía consumida supuesta en los apartados anteriores y se supone un porcentaje de aumento anual del precio de la energía. Con respecto al coste de la instalación, se ha obtenido el precio de los elementos necesarios para formar el sistema autoconsumo y se ha realizado una estimación de los costes de mano de obra que puede llevar la instalación.

Como se ha comentado en el apartado anterior, tras realizar la comprobación entre la energía consumida y la generada, la instalación de paneles fotovoltaicos y la energía generada está ajustada de manera que apenas hay energía excedente durante el año. Por lo tanto, como la instalación fotovoltaica no genera una energía excesiva de manera regular durante todo el año, el tipo de instalación de autoconsumo que se va a tramitar para esta vivienda es conectada a la red sin excedentes. Esto afecta al análisis económico ya que la energía excedente de la instalación no va a ser aprovechada y vendida a la compañía eléctrica, lo que producirá que se tarde un mayor periodo de tiempo el recuperar la inversión y que se tenga que seguir pagando por la energía consumida en la franja horaria donde las placas solares no producen energía.

Para realizar el estudio económico, se ha calculado el coste de la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos y se ha estimado el coste de mantenimiento de la instalación fotovoltaica. Una vez obtenido el coste de la instalación, se va a calcular el importe que se hubiera pagado durante el año 2022 y los próximos años si la vivienda consumiera la energía supuesta en el Apartado 5 y 6 del trabajo. Para ello se van a aplicar las tarifas actuales de la factura la vivienda y se ha supuesto un porcentaje de aumento anual de la factura eléctrica.

Se ha determinado el coste de la factura si se consume únicamente la energía que no es capaz de cubrir la instalación fotovoltaica y se ha realizado la comparación entre los importes para obtener así el ahorro que supone la instalación del sistema de autoconsumo.

Finalmente, se ha realizado el flujo de caja anual para obtener el VAN y el TIR y confirmar que la inversión y el proyecto es viable económicamente.

13.1 Coste de la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos.

A continuación se indica en la siguiente tabla los elementos necesarios para la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos, detallando el modelo seleccionado, el precio de cada producto y la cantidad necesaria para este proyecto. Además también se incluyen los precios de mano de obra de instalación tras consultar a una empresa dedicada a la instalación de sistema de autoconsumo de paneles fotovoltaicos.

En la bibliografía del trabajo se encuentran los enlaces a las páginas web donde comprar la mayoría de elementos indicados.

Elemento	Marca/Modelo	Precio € por unidad/metro	Uds.	Coste total (€)	Ref. Bibliográfica.
Paneles fotovoltaicos	ATERSA A-450M	198,22	8	1585,76	[22]
Inversor	Huawei SUN2000-3.68KTL-L1	987	1	987	[23]
Estructura de sujeción paneles.	Estructura 4 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat	131,1	2	262,2	[24]
Vatímetro	CHINT DDSU666-H	139,15	1	139,15	[25]
Juego de conectores	MC4 Weidmüller PV Stick	11,54	1	11,54	[28]
Cables de conexión	TOPSOLAR PV ZZ-F/H1Z2Z2-K NEGRO 6mm	1,82	10	18,2	[26]
	TOPSOLAR PV ZZ-F/H1Z2Z2-K ROJO 6mm	1,82	10	18,2	[27]
Elementos de protección eléctricos	Base y fusibles cilíndricos, diferencial y magnetotérmico	50	1	50	
Mano de obra	Precio total mano de obra Empresa especializada	800	1	800	

TOTAL Inversión €	3872 €
--------------------------	---------------

Hay que tener en cuenta los costes de mantenimiento del sistema de placas solares que hay que realizar periódicamente. El sistema de paneles solares necesita una serie de acciones de mantenimiento preventivo así como comprobaciones de que el sistema se encuentra en las condiciones optimas de operación. Parte de este mantenimiento los puede hacer el propio usuario, como por ejemplo la limpieza de los paneles, la revisión de la estructura de soportado, revisión de los elementos de protección eléctrica y funcionamiento y limpieza de los elementos protectores y de disipación de calor. Por otro lado está el mantenimiento que se debe realizar por una empresa especializada al menos una vez al año, consiste en la comprobación de la intensidad de cortocircuito, la tensión en circuito abierto y la estanqueidad de las cajas de conexiones de los paneles solares, también es necesario comprobar la toma a tierra y el correcto funcionamiento del cuadro eléctrico y aislamiento de los cables.

El precio de estas revisiones se estima en 100€. Lo que supone un 2.58% de la inversión inicial.

13.2 Análisis facturas eléctricas y balance económico.

Para el análisis del coste de la energía consumida supuesta y el ahorro en la factura de la luz que se va a conseguir al instalar el sistema de autoconsumo con placas solares en la casa, se parte de las facturas mensuales que tiene actualmente la vivienda y se van a aplicar las tarifas de estas facturas para calcular cuál sería el importe que habría que pagar al consumir la energía supuesta. En la *Imagen 15* se detallan los diferentes conceptos de la factura de la vivienda de los días 17 de Enero al 14 de Febrero de 2022. En la factura se observa que los conceptos principales de la factura son la potencia contratada, la energía facturada, el coste de alquiler de los equipos, la protección eléctrica del hogar y los diferentes impuesto como el impuesto sobre la electricidad y el IVA reducido y normal.

€ DETALLE DE FACTURA		
ENERGÍA		
Potencia facturada	Punta 3,45 kW x 28 días x 0,111318 €/kW día	10,75 €
	Valle 3,45 kW x 28 días x 0,005054 €/kW día	0,49 €
Total importe potencia hasta 14/02/2022		11,24 €
Energía facturada	86 kWh x 0,169815 €/kWh	14,60 €
Impuesto sobre electricidad	0,5% s/25,84 €	0,13 €
TOTAL ENERGÍA		25,97 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		
Alquiler equipos medida	28 días x 0,02663 €/día	0,75 €
Protección Eléctrica Hogar	0,95 mes x 6,4 €/mes	6,08 €
TOTAL SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		6,83 €
IMPORTE TOTAL		32,80 €
IVA Reducido (*)	10% s/26,72 €	2,67 €
IVA	21% s/6,08 €	1,28 €
TOTAL IMPORTE FACTURA		36,75 €

Imagen 15. Ejemplo de la factura de la vivienda del 17 de Enero al 14 de Febrero de 2022.

La factura tiene conceptos que se consideran gastos fijos y otros conceptos que son los gastos variables en función de la energía consumida.

Los conceptos que forman el gasto fijo se van a tener que pagar sea cual sea el valor de la energía consumida y son los siguientes:

- Potencia facturada Punta.
- Potencia facturada Valle.
- Alquiler de equipos de medida.
- Protección eléctrica del hogar.
- IVA aplicado únicamente al importe de la protección eléctrica del hogar.

Como conceptos que se consideran gastos variables, es decir, el importe varía según la energía consumida, están:

- Energía facturada.
- IVA Reducido aplicado a la suma del coste de la energía y al alquiler de equipos de medida.

Para realizar el análisis económico, se ha calculado el importe de las facturas del año 2022 a partir de la energía consumida supuesta y se han aplicado los precios de las facturas del mes de Enero a Junio del año 2022. El importe de los diferentes conceptos que forman la factura, van variando el precio a lo largo del año, por lo que para el resto de meses del año, se va a suponer que se mantienen los precios del mes de Junio.

En la siguiente tabla se indican los precios y porcentajes de cada concepto de las facturas de los meses de Enero a Junio 2022 y para el resto de meses del año, se va a suponer que no varía el precio o porcentaje de cada uno de los conceptos que forman la factura.

ENERGÍA						
MES	Días	Potencia facturada kW	Potencia facturada Punta €/kW día	Potencia facturada Valle €/kW día	Energía facturada €/kWh	Impuesto sobre la electricidad %s/coste potencia y energía
ene-22	31	3,45	0,111318	0,005054	0,169815	0,5
feb-22	28	3,45	0,111318	0,005054	0,169815	0,5
mar-22	31	3,45	0,111318	0,005054	0,169815	0,5
abr-22	30	3,45	0,1064	0,005054	0,160529	0,5
may-22	31	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
jun-22	30	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
jul-22	31	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
ago-22	31	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
sep-22	30	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
oct-22	31	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
nov-22	30	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5
dic-22	31	3,45	0,1064	0,004738	0,160529	0,5

SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS				IVA	
MES	Días	Alquiler equipos €/día	Proteccion Eléctrica Hogar €/mes	IVA reducido %s/total energía+alquiler equipos	IVA %s/protección del hogar)
ene-22	31	0,02663	6,4	10	21
feb-22	28	0,02663	6,4	10	21
mar-22	31	0,02663	6,4	10	21
abr-22	30	0,02663	6,4	10	21
may-22	31	0,02663	6,4	10	21
jun-22	30	0,02663	6,4	10	21
jul-22	31	0,02663	6,4	10	21
ago-22	31	0,02663	6,4	10	21
sep-22	30	0,02663	6,4	10	21
oct-22	31	0,02663	6,4	10	21
nov-22	30	0,02663	6,4	10	21
dic-22	31	0,02663	6,4	10	21

Tal y como se ha comentado en el apartado 1, el precio de la electricidad en España está subiendo debido a la situación mundial. No obstante, el gobierno de España está implementando medidas para que el precio de la luz no suba de manera drástica, por lo que para realizar el balance económico, se va a suponer que la factura de la luz se va a ver incrementada año a año un valor del 1%.

Teniendo en cuenta que se consume mensualmente la energía supuesta en el apartado 5 y 6 y aplicando para cada mes las tarifas indicadas anteriormente, la factura eléctrica para cada mes sería la siguiente:

MES	Días	Potencia facturada kW	Potencia facturada Punta €/kW día	Potencia facturada Valle €/kW día	COSTE POTENCIA FACTURADA €	Energía consumida kWh	Energía facturada €/kWh	COSTE ENERGÍA FACTURADA €	Impuesto sobre la electricidad %/costeenergíaypotencia	COSTE ENERGÍA €
ene-22	31	3,45	0,111318	0,005054	12,446	398,694	0,169815	67,704	0,5	0,401
feb-22	28	3,45	0,111318	0,005054	11,242	396,433	0,169815	67,320	0,5	0,393
mar-22	31	3,45	0,111318	0,005054	12,446	437,76	0,169815	74,338	0,5	0,434
abr-22	30	3,45	0,1064	0,005054	11,535	383,268	0,160529	61,526	0,5	0,365
may-22	31	3,45	0,1064	0,004738	11,886	612,578	0,160529	98,337	0,5	0,551
jun-22	30	3,45	0,1064	0,004738	11,503	649,387	0,160529	104,245	0,5	0,579
jul-22	31	3,45	0,1064	0,004738	11,886	1047,41	0,160529	168,140	0,5	0,900
ago-22	31	3,45	0,1064	0,004738	11,886	1102,04	0,160529	176,909	0,5	0,944
sep-22	30	3,45	0,1064	0,004738	11,503	774,078	0,160529	124,262	0,5	0,679
oct-22	31	3,45	0,1064	0,004738	11,886	723,455	0,160529	116,136	0,5	0,640
nov-22	30	3,45	0,1064	0,004738	11,503	414,25	0,160529	66,499	0,5	0,390
dic-22	31	3,45	0,1064	0,004738	11,886	360,323	0,160529	57,842	0,5	0,349

MES	Días	Alquiler equipos €/día	Proteccion Eléctrica Hogar €/mes	COSTE SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS €	IVA reducido %s/total energía+alquilerequ岸os	IVA %s/protección del hogar	COSTE TOTAL €
ene-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	97,258
feb-22	28	0,02663	6,4	7,146	10	21	95,414
mar-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	104,592
abr-22	30	0,02663	6,4	7,199	10	21	89,392
may-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	130,503
jun-22	30	0,02663	6,4	7,199	10	21	136,582
jul-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	207,671
ago-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	217,366
sep-22	30	0,02663	6,4	7,199	10	21	158,711
oct-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	150,180
nov-22	30	0,02663	6,4	7,199	10	21	94,854
dic-22	31	0,02663	6,4	7,226	10	21	85,737

TOTAL AÑO 2022 (€) 1568,260

Este sería el coste de la electricidad sin realizar la instalación de autoconsumo en la vivienda. El consumo de la vivienda una vez se instalen los paneles solares disminuye y por lo tanto la factura eléctrica también se ve disminuida provocando un ahorro anual. En la siguiente tabla se pueden ver los valores de la energía final consumida mensualmente, la media de la energía generada por la instalación de paneles y la energía consumida tras instalar los paneles fotovoltaicos en la vivienda.

Mes	Energía consumida kWh	Energía generada por la instalación de autoconsumo kWh	Energía consumida tras instalar los paneles kWh
Enero	398,694	151,150	247,544
Febrero	396,433	163,475	232,958
Marzo	437,76	188,093	249,667
Abril	383,268	167,240	216,028
Mayo	612,578	346,641	265,937
Junio	649,387	235,143	414,244
Julio	1047,41	504,864	542,546
Agosto	1102,04	483,125	618,915
Septiembre	774,078	371,738	402,340
Octubre	723,455	319,904	403,551
Noviembre	414,25	146,180	268,070
Diciembre	360,323	131,529	228,794

Se va a determinar el importe de la factura eléctrica a partir de los valores de la energía consumida tras la instalación del sistema de autoconsumo y se obtiene el ahorro económico en la factura del año 2022.

Aplicando las mismas tarifas detalladas anteriormente, el valor de la factura mensual y el coste total de la electricidad de la vivienda al instalar el sistema de generación de energía es el siguiente:

MES	COSTE TOTAL €	MES	COSTE TOTAL €
ene-22	68,883	jul-22	118,075
feb-22	64,725	ago-22	131,628
mar-22	69,281	sep-22	92,740
abr-22	59,713	oct-22	93,408
may-22	68,987	nov-22	68,912
jun-22	94,853	dic-22	62,395

TOTAL AÑO 2022 (€)	993,600
---------------------------	----------------

El ahorro en la factura de la electricidad si se hubieran instalado los paneles solares en el año 2022 asciende a 574,66€. Este ahorro es superior al 35% de la factura que habría que pagar en el caso de no tener instalado el sistema de autoconsumo.

13.3 Estudio de viabilidad.

Para realizar el estudio de viabilidad económica del proyecto, se van a explicar brevemente los parámetros que se van a utilizar:

-**Inversión:** los costes de inversión van a estar formados por los siguientes elementos:

- Capital fijo: es la cantidad de dinero que se invierte en adquirir los elementos del sistema de autoconsumo y en la mano de obra. Esta inversión sólo se realiza una vez.

- **Ingresos:** son de los beneficios económicos que produce la generación de energía eléctrica. Puede ser de manera puntual o recurrente.

- **Costes:** en este proyecto únicamente hay costes de operación. Se consideran todos los costes requeridos necesarios para poder realizar la explotación del proyecto.

Los costes por año van aumentando por el índice de precio de consumo (IPC), por lo que el cálculo del coste anual se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\text{Costes del año (t)} = \text{costes del año (t - 1)} \cdot (1 + \text{IPC})$$

-**Beneficio bruto:** se define como los ingresos obtenidos del proyecto menos los costes requeridos. En este caso, no hay que pagar impuestos al tratarse de autoconsumo sin excedentes, por lo que el beneficio bruto es igual al beneficio neto.

-**Cash Flow o flujo de caja:** es la diferencia entre los ingresos generados por el sistema y las inversiones realizadas en el proyecto a lo largo de un intervalo de tiempo.

Para cuantificar si un proyecto es rentable económicamente, se utilizan los siguientes indicadores de rentabilidad:

- **Valor actualizado neto (VAN):** permite determinar si el proyecto es rentable después de comparar los futuros ingresos y descontar las inversiones iniciales. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Siendo:

- FC_t : flujos de caja anual del año t.

-t: año.

- I_0 : inversión inicial.

-n: número de años de vida útil del proyecto.

-i: tasa de actualización. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$i = e + k \cdot (1 + e) + r$$

Siendo cada uno de estos términos:

- e: interés del capital.

-k: inflación anual.

-r: prima de riesgo.

En el caso de que el VAN sea mayor o igual a 0, la inversión es rentable. En el caso de que el VAN sea menor a 0, la inversión no es rentable.

- **Tasa interna de retorno (TIR):** es la tasa de interés que hace que el VAN sea cero. Es la tasa obtenida al igualar todos los flujos de caja a la inversión inicial y que provoca que el VAN sea cero.

$$VAN = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Si la TIR es superior a la tasa de actualización i, el proyecto es viable.

-**Payback:** es el periodo de retorno de la inversión realizada.

A continuación se indica el valor de cada uno de los parámetros definido anteriormente:

- En este proyecto la inversión de capital fijo es de 3872€.
- Al no vender electricidad, los ingresos para este proyecto es de 0€.
- El ahorro económico durante el primer año tras la instalación de los paneles solares es de 574,66€. Para los años siguientes el ahorro aumenta un 1%.
- El valor del IPC se ha supuesto del 1%.
- Costes de operación: el mantenimiento del sistema de autoconsumo es de 100€ anual.
- El número de años de vida del proyecto se va a definir en 25 años.
- Tasa de actuación i:
Se ha tomado el siguiente valor para cada uno de los términos de la tasa de actuación:
 - e: 0,30%
 - k: 3,00%
 - r: 1,20%

Obteniendo un valor final de tasa de actuación de $i = 4,51\%$

Una vez definidos los parámetros, ya se obtiene el flujo de caja para obtener el VAN y el TIR del proyecto. En la siguiente tabla se detalla el flujo de caja:

CÁLCULO DEL CASH-FLOW INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA										
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión	3.872									
Inversión propia	3.872									
Préstamo (Financiación)	0									
Ingresos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costes										
Costes de funcionamiento		100,00	101,00	102,01	103,03	104,06	105,10	106,15	107,21	108,29
Ahorro		-574,66	-580,41	-586,21	-592,07	-597,99	-603,97	-610,01	-616,11	-622,27
Costes financieros		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costes de depreciación		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beneficio bruto		474,66	479,41	484,20	489,04	493,93	498,87	503,86	508,90	513,99
Impuestos 0,00%		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beneficio neto		474,66	479,41	484,20	489,04	493,93	498,87	503,86	508,90	513,99
Pago a principal		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cash Flow	-3.872,00	474,66	479,41	484,20	489,04	493,93	498,87	503,86	508,90	513,99

CÁLCULO DEL CASH-FLOW INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA									
Años	10	11	12	13	14	15	16	17	
Inversión									
Inversión propia									
Préstamo (Financiación)									
Ingresos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costes									
Costes de funcionamiento	109,37	110,46	111,57	112,68	113,81	114,95	116,10	117,26	
Ahorro	-628,50	-634,78	-641,13	-647,54	-654,02	-660,56	-667,16	-673,83	
Costes financieros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Costes de depreciación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Beneficio bruto	519,13	524,32	529,56	534,86	540,21	545,61	551,07	556,58	
Impuestos 0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Beneficio neto	519,13	524,32	529,56	534,86	540,21	545,61	551,07	556,58	
Pago a principal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cash Flow	519,13	524,32	529,56	534,86	540,21	545,61	551,07	556,58	

CÁLCULO DEL CASH-FLOW INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA								
Años	18	19	20	21	22	23	24	25
Inversión								
Inversión propia								
Préstamo (Financiación)								
Ingresos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costes								
Costes de funcionamiento	118,43	119,61	120,81	122,02	123,24	124,47	125,72	126,97
Ahorro	-680,57	-687,38	-694,25	-701,19	-708,21	-715,29	-722,44	-729,67
Costes financieros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costes de depreciación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beneficio bruto	562,14	567,76	573,44	579,18	584,97	590,82	596,72	602,69
Impuestos 0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beneficio neto	562,14	567,76	573,44	579,18	584,97	590,82	596,72	602,69
Pago a principal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cash Flow	562,14	567,76	573,44	579,18	584,97	590,82	596,72	602,69

Obteniendo el siguiente valor para el VAN y el TIR:

VAN= 3.895,34

TIR= 12,42%

Por lo tanto el proyecto desde el punto de vista económico es rentable.

13. Tramitación de la instalación de autoconsumo sin excedentes.

Tras comparar los resultados entre la energía consumida por la vivienda y la energía que generaría el sistema de autoconsumo dimensionado, se ha llegado a la conclusión de que la energía generada excedente no es suficiente para acogerse a la modalidad de autoconsumo con excedentes con compensación. Se ha decidido que la instalación de autoconsumo del trabajo se va a acoger a la modalidad de autoconsumo sin excedentes.

Como se ha indicado en el apartado 7, la modalidad de autoconsumo sin excedentes está definida en el artículo 9.1.a) de la Ley 24/2013 de 26 de diciembre. Únicamente existe la figura del consumidor que es el titular del suministro y no existe la figura del productor.

Toda la información para el registro de instalaciones eléctricas de baja tensión necesaria para tramitar y registrar la instalación de autoconsumo sin excedentes en la Región de Murcia, se puede encontrar en la siguiente página web:

[https://sede.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=19&IDTIPO=240&RASTRO=c\\$m40288#solicitudElectronica](https://sede.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=19&IDTIPO=240&RASTRO=c$m40288#solicitudElectronica)

Los procedimientos a seguir para inscribir las instalaciones de producción de energía eléctrica de autoconsumo según las definiciones del ITC-BT-40 del REBT (RD 842/2002) y en el RD 244/2019 [29] son los siguientes:



Región de Murcia
 Consejería de Empresa,
 Industria y Portavocía

Dirección General de Energía
 y Actividad Industrial y Minera

INFORMACIÓN SOBRE TRAMITACIÓN DE

INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO

EN LA REGIÓN DE MURCIA

Teniendo en cuenta las definiciones indicadas en la ITC-BT-40 del REBT (RD 842/2002), y en el RD 244/2019, los procedimientos a seguir para inscribir las instalaciones de producción de energía eléctrica se resumen en:

CLASIFICACIÓN DE INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
Tipo instalación autoconsumo	Características	Registros en la DGEAIM y actuaciones relacionadas	Sujetos y opciones
Suministro con autoconsumo SIN EXCEDENTES	Obligatorio instalar un mecanismo antivertido que cumpla el Anexo I de la ITC-BT-40 del REBT	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto o memoria a empresa distribuidora (I) • Registro de Instalaciones de Baja tensión (V). Código 0019 y • Registro de instalaciones de Alta Tensión, en su caso (IV). Código 0009 o 0007 • Registro Administrativo de Autoconsumo (VI). Sección primera. Código 0019 	<input checked="" type="checkbox"/> Consumidor <input checked="" type="checkbox"/> Autoconsumo individual o colectivo <input checked="" type="checkbox"/> Inst. próximas de red interior

- **Proyecto o memoria a la empresa distribuidora:** se debe presentar el proyecto o memoria [30] a la empresa distribuidora de la luz para que verifique la instalación antes de la puesta en servicio. Por otro lado, según indica el RDL 15/2018 y el art. 7 del RD 244/2019, las instalaciones de autoconsumo sin excedentes, están exentas de obtener los permisos de acceso y conexión.

- **Registro de Instalaciones de Baja tensión:** se debe realizar la inscripción en el Registro a partir de la solicitud normalizada [31] [32] y aportando la documentación necesaria indicada en la propia solicitud.
- **Registro Administrativo de Autoconsumo:** según la ley 24/2013 de 26 de diciembre, el Sector Eléctrico exige a todos los consumidores que se quieran acoger a alguna de las modalidades de autoconsumo, que se registren en el registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica. En la Región de Murcia, la inscripción se realiza incorporando sus datos en el Registro de instalaciones de baja tensión.

14. Conclusiones.

El objetivo principal de este trabajo ha sido realizar la optimización y dimensionamiento de una instalación de autoconsumo para una vivienda rural en Cartagena con el objetivo de que pueda ser utilizada en el futuro como vivienda habitual de una familia.

Para realizar este trabajo, el punto de partida ha sido el consumo de energía eléctrica de la vivienda durante el año 2021 y se ha supuesto el consumo adicional que supondría instalar en la vivienda los electrodomésticos necesarios para poder utilizar la casa como vivienda habitual, como por ejemplo un sistema de aire acondicionado y un termo eléctrico.

Se han dimensionado y seleccionado los elementos necesarios para tener un sistema de paneles solares capaz de cubrir las necesidades energéticas de la vivienda. También se ha realizado la optimización de la distribución de los paneles solares y se ha decidido en qué cubierta de la vivienda deben ser instalados y sus consecuencias desde el punto de vista energético. El sistema de autoconsumo a instalar está formado por 8 paneles monocristalinos de 450W en serie posicionados sobre la cubierta 2 de inclinación 5° y conectados a un inversor centralizado de 3,68 kW.

Una vez dimensionado el sistema de paneles solares, a partir de las características de funcionamiento de cada uno de los elementos de la instalación, se han calculado los rendimientos aproximados y se ha obtenido la media de la energía generada por la instalación a lo largo del año. Al realizar la comparación entre la energía que consume la vivienda y la energía generada, se ha concluido que la capacidad de generación de energía de la instalación dimensionada es suficiente para cubrir prácticamente la totalidad de las necesidades energéticas de la vivienda durante las horas de radiación solar a lo largo de todo el año. Por otro lado, la instalación está optimizada de manera que no se obtiene energía excedente suficiente ni de manera constante a lo largo del año, por lo que no es posible acogerse a la modalidad de autoconsumo con excedentes y se ha decidido que la instalación va a ser acogida a la modalidad de autoconsumo sin excedentes. Esta modalidad obliga a incluir un mecanismo antivertido en la instalación.

Desde el punto económico, a partir de las tarifas que aplicadas a lo largo del año 2022 y suponiendo un aumento anual del precio de la energía, se ha comparado el importe de la factura a partir de la energía que consumiría la vivienda sin el sistema de autoconsumo y con el sistema instalado. Se ha comprobado que al instalar los paneles solares, se consigue un ahorro anual en la factura de la luz de casi 600€ al año, lo que sería más del 35% de la facturación anual.

Por último, se ha realizado el cálculo de la inversión que habría que realizar para comprar todos los componentes del sistema, para contratar una empresa especializada que realice la instalación y también se han tenido en cuenta el coste del mantenimiento y su periodicidad. Una vez conocido el importe total de la inversión, se ha realizado el estudio de la viabilidad económica a partir del flujo de cajas, se ha obtenido el VAN y el TIR y se ha confirmado que el proyecto es viable.

15. Bibliografía.

- [1]: <https://irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>
- [2]: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/12/la-eolica-se-convierte-en-la-principal-fuente-de-generacion-de-energia-electrica-en-espana-en-2021>
- [3]: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/esp%C3%B1a-cumple-los-objetivos-europeos-de-renovables-y-eficiencia-energ%C3%A9tica-en-2020/tcm:30-534576>
- [4]: <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/271221-objetivos-cumplidos-2020.aspx>
- [5]: <https://www.rtve.es/noticias/20220302/precio-luz-maximo-guerra-ucrania/2300530.shtml>
- [6]: <https://www.epdata.es/datos/precio-factura-luz-datos-estadisticas/594>
- [7]: https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf
- [8]: <https://www.leroymerlin.es/fp/14186032/bomba-de-piscina-qp-bravia-0-75-cv-para-una-piscina-superior-a-50-m3>
- [9]: <https://www.elcorteingles.es/electrodomesticos/A42553404-aire-acondicionado-split-1x1-hisense-dj35ve0b-con-3010-frigh-y-3440-kcalh/>
- [10]: <https://www.elcorteingles.es/electrodomesticos/A26476129-conjunto-de-horno-multifuncion--placa-de-induccion-balay-3hi833xp/>
- [11]: <https://www.leroymerlin.es/fp/81988416/termo-electrico-ariston-lydos-eco-blu-100l>
- [12]: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>
- [13]: <http://jardin-solar.blogspot.com/2015/03/monocristalino-o-policristalino.html>
- [14]: <https://solar.huawei.com/es/Products/FusionSolarResidential>
- [15]: <https://autosolar.es/vatimetro/fronius-smart-meter-monofasico-ts-100a>
- [16]: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>
- [17]: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR
- [18]: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en
- [19]: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf

[20]: <https://atersa.shop/app/uploads/2021/01/ATERSA-A-450-M.pdf>

[21]: <https://solar.huawei.com/es-ES/download?p=%2f-%2fmedia%2fSolar%2fattachment%2fpdf%2fes%2fdatasheet%2fSUN2000-2-6KTL-L1.pdf>

[22]: https://atersa.shop/producto/panel-solar-450w-a-450m-atersa-gs-m6x24/?product-page-alternate-benefits=1#tab-link-additional_information

[23]: https://www.wccsolar.net/product-page/inversor-huawei-hibrido-3680w-sun2000l-3-68ktil-red?gclid=CjwKCAjwwo-WBhAMEiwAV4dybcl9faT_CUcEWMdMJwLmkx4Qt5V7wAmYYDtMtQuw7GzTrNdPdWlboxoC_igQAvD_BwE

[24]: <https://autosolar.es/estructuras-cubierta-metalica/estructura-4-paneles-30-45mm-coplanar-falcat>

[25]: <https://atersa.shop/producto/energy-meter-chint-para-solax-x1-boost-y-saj-r5/?product-page-alternate-benefits=1>

[26]: <https://atersa.shop/cable-topsolar-pv-zz-fh1z2z2-k-negro-6mm/>

[27]: <https://atersa.shop/cable-topsolar-pv-zz-fh1z2z2-k-rojo-6mm/>

[28]: <https://atersa.shop/conector-compatible-mc4/>

[29]: <https://mui.carm.es/documents/4106806/15630564/Tramitaci%C3%B3n+de+Instalaciones+de+Autoconsumo+en+la+Regi%C3%B3n+de+Murcia/988745f3-e817-4afa-9d92-151ac21631e8>

[30]: [https://sede.carm.es/documentos/19/Memoria%20t%C3%A9cnica%20de%20dise%C3%B1o%20IEBT%20\(Junio-2021\).doc](https://sede.carm.es/documentos/19/Memoria%20t%C3%A9cnica%20de%20dise%C3%B1o%20IEBT%20(Junio-2021).doc)

[31]: <https://sede.carm.es/documentos/19/Certificado%20de%20instalaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20de%20baja%20tensi%C3%B3n%20septiembre-2020.doc>

[32]: <https://sede.carm.es/documentos/19/Certificado%20de%20reconocimiento%20baja%20tensi%C3%B3n-2014-mod-280720.doc>