

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

*INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA
EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA
VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL
REGATO*

Alumno/Alumna: Goitia, Sánchez, Aitor

Director/Directora: Mazón, Sainz-Maza, Javier

Curso: 2017-2018

Fecha: 7, 7, 2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS	PAG.
0 Resúmenes.....	6
0.1 Castellano.....	6
0.2 Euskera.....	6
0.3 Inglés.....	6
1 Objetivo.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Objetivo.....	7
1.3 Localización.....	7
2 Estudio climatológico.....	10
2.1 PVGIS.....	10
2.2 PVsyst.....	13
2.3 Meteonorm.....	18
2.4 NASA.....	20
2.5 Comparación entre bases de datos.....	22
3 Vivienda.....	24
3.1 Distribución de la vivienda.....	25
3.2 Planos de la vivienda.....	26
3.3 Electrodomésticos.....	27
3.4 Iluminación.....	31
4 Dimensionamiento.....	32
4.1 Determinación de las necesidades del usuario.....	32
4.2 Determinación de la energía solar disponible.....	33
4.3 Dimensionamiento del campo de captación.....	34
4.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación.....	35
4.5 Selección del regulador.....	37
4.6 Selección del convertidor.....	37
4.7 Dimensionamiento del cableado.....	38
4.8 Ubicación de los módulos.....	38
5 Componentes.....	40
5.1 Paneles fotovoltaicos.....	40
5.2 Estructura de soporte.....	42

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

5.3 Regulador.....	42
5.4 Batería.....	43
5.5 Inversor.....	44
5.6 Cableado.....	44
6 Análisis económico.....	46
6.1 Inversión.....	46
6.2 Ahorro.....	48
6.3 Payback.....	51
6.4 VAN y TIR.....	51
7 Planificación de la implantación.....	52
8 Conclusiones.....	54
9 Bibliografía.....	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Plano de la zona.....	8
Ilustración 2: El Regato	8
Ilustración 3: Zona final vivienda.....	9
Ilustración 4: Orientación S-N pie de calle	9
Ilustración 5: Página PVGIS.....	11
Ilustración 6: PVsyst búsqueda lugar.....	13
Ilustración 7: Datos radiación PVsyst	14
Ilustración 8: Trayectoria sol	14
Ilustración 9: Tabla irradiación El Regato	15
Ilustración 10: Irradiación 22 de diciembre.....	16
Ilustración 11: Irradiación 22 de junio.....	16
Ilustración 12: Irradiación 17 de marzo.....	17
Ilustración 13: Irradiación 26 de septiembre	18
Ilustración 14: Meteonorm tabla irradiación El Regato	19
Ilustración 15: Datos radiación NASA.....	21
Ilustración 16: Planta baja vivienda.....	26
Ilustración 17: Planta superior vivienda	26
Ilustración 18: Capacidad batería según temperatura.....	36
Ilustración 19: Paneles Aleo S 19/300	40
Ilustración 20: Curvas paneles solares	41
Ilustración 21: Regulador FLEXmax	42
Ilustración 22: Batería Enersys Powersafe	43
Ilustración 23: inversor Victron Energy	44
Ilustración 24: cable solar.....	45
Ilustración 25: Gráfico coste seccionado.....	47
Ilustración 26: Datos económicos iberdrola.....	48
Ilustración 27: Diagrama de Gantt	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos radiación PVGIS	11
Tabla 2: Datos radiación Meteonorm.....	19
Tabla 3: Comparación datos radiación	22
Tabla 4: Distribución vivienda	25
Tabla 5: Información electrodomésticos por habitación	28
Tabla 6: Datos iluminación por habitación.....	31
Tabla 7: Coeficientes de pérdidas.....	33
Tabla 8: Datos radiación a 33º por PVGIS.....	33
Tabla 9: Datos paneles solares	40
Tabla 10: Coste elementos	46
Tabla 11: Gastos totales instalación	46
Tabla 12: porcentaje de generación mensual	49
Tabla 13: Ahorro anual	50
Tabla 14: Tareas del proyecto	52

0. Resúmenes

0.1 Castellano

Este trabajo se basa en el estudio y diseño de una instalación fotovoltaica en una vivienda unifamiliar en el barrio baracaldés de El Regato. En los siguientes apartados se procederá a explicar el contexto, el alcance y los objetivos del proyecto.

Además, se explicarán los programas y bases de datos utilizadas para la obtención de datos y el dimensionamiento de la instalación, escogiendo de todas ellas la más adecuada para la creación final de la instalación.

- Palabras clave: instalación fotovoltaica, bases de datos, dimensionamiento.

0.2 Euskera

Obra honek instalazio fotoboltaiko baten aztertzea eta diseinatzea ditu helburu. Aztertuko den etxea, etxe elkarri atxikia da, Erreka-Aldean, barakaldoko auzoan kokatuta. Hurrengo ataletan, proiektuaren testuingurua, esparrua eta helburuak azalduko ditugu.

Gainera, datuak eta instalazioaren dimentsioak lortzeko erabili diren programak eta datu-baseak azalduko dira, datu guzti honetatik, gure proiektuari amoldatzen diren honenak erabiliko ditugu.

- Hitz-gakoak: instalazio fotoboltaikoa, datu-baseak, instalazioaren dimentsioak.

0.3 Inglés

This work is based on the study and design of a photovoltaic system in a detached house, in this case in El Regato, in the outskirts of Barakaldo. It will explain the context, scope and objectives expected of the project. It will begin by proposing the different technologies to be used while carrying out a feasibility analysis, choosing the most appropriate technology for the project.

- Keywords: photovoltaic system, database, sizing.

1. OBJETIVO

1.1 Introducción

Hoy en día el sistema de distribución de energía está sufriendo cambios constantes en post de una electrificación del sistema, además de otros factores tales como la interconexión entre países, la mejora de infraestructura y el punto más interesante para este estudio, la implementación de energías renovables para que aporten energía al sistema.

En concreto, el sol es una fuente inagotable de energía que podemos convertir en energía eléctrica de forma sencilla. Además es una opción interesante para el autoconsumo de viviendas, que por distintos motivos, como el estar alejada de núcleos urbanos, no pueda acceder con facilidad a la red eléctrica.

Por lo tanto, se va a proceder a realizar el diseño de una instalación fotovoltaica (ya sea aislada o conectada a la red) capaz de satisfacer ciertas necesidades eléctricas de una vivienda. Suponiendo que esta vivienda se trate de un edificio unifamiliar en la zona que se especificará posteriormente.

Para realizar un diseño exitoso, es necesario conocer la zona en la que se encuentra la vivienda y llevar a cabo un estudio de radiación de la misma. Una vez realizado este estudio se compararán datos y se escogerán los más adecuados.

El siguiente paso es definir tanto la demanda de iluminación como de los diferentes electrodomésticos disponibles en la vivienda, para poder dimensionar a partir de estos datos la instalación.

Por último, se seleccionarán los componentes necesarios para la instalación que permitan generar la energía necesaria para cubrir las necesidades de la vivienda.

1.2 Objetivo

El objetivo es realizar una instalación fotovoltaica que permita autoabastecer parcialmente a la vivienda de energía eléctrica. Para ello, se va a realizar un estudio sobre el consumo de una vivienda unifamiliar en el barrio baracaldés de El Regato (consumo para luz y para electrodomésticos) y se realizará un análisis de los datos climatológicos relevantes para la obtención de energía eléctrica de origen solar.

1.3 Localización

La vivienda en cuestión se encuentra en el barrio de El Regato en la localidad de Baracaldo, municipio situado en el territorio histórico y provincia de Vizcaya en el País Vasco, ubicado en la comarca del Gran Bilbao, en la margen izquierda del río Nervión con una población que ronda los 100000 habitantes.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

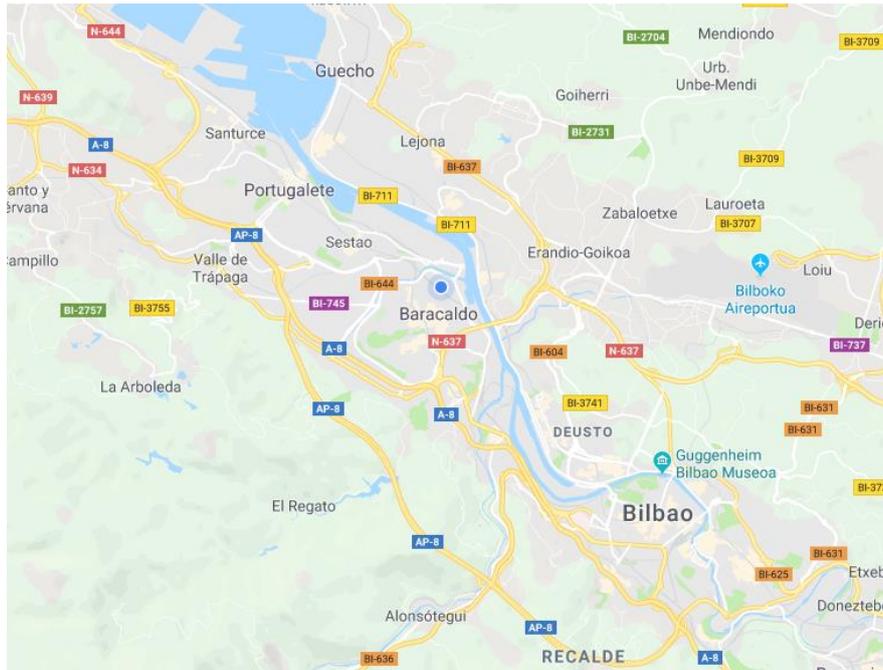


Ilustración 1: Plano de la zona

Baracaldo está formado por grandes bloques de viviendas en una zona con numerosos desniveles y poco espacio libre para la edificación de nuevas viviendas. Por eso el barrio de El Regato, que está a una distancia considerable del núcleo urbano, y que dispone de una zona amplia para edificar supone un lugar óptimo para la ubicación de nuestra vivienda.

A continuación se muestra una captura (Google maps) de la zona del barrio de El Regato:



Ilustración 2: El Regato

Concretamente, la zona donde se encontrará nuestra vivienda es la siguiente:

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO



Ilustración 3: Zona final vivienda

Este solar es idóneo, ya que dispone del tamaño suficiente para nuestra instalación, además de ser una zona bien comunicada. Y aunque el terreno tenga cierta inclinación, no es lo suficientemente elevada como para que no se pueda realizar la construcción de la vivienda.

A continuación se adjunta una imagen del solar en función de la orientación que debería tomar la vivienda.



Ilustración 4: Orientación S-N pie de calle

Siendo la latitud: 43.264 y la longitud: -3.017 grados.

2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

En este apartado se expondrán tanto los datos climatológicos necesarios para la instalación sobre la zona de nuestra vivienda, concretamente datos sobre radiación solar, como la forma en la que se han obtenido dichos datos.

La obtención de esta información es de gran utilidad para evitar imprevistos y para saber de una forma aproximada cuándo vamos a poder hacer frente a la demanda de nuestra vivienda y de qué manera, es decir, si vamos a ser capaces de autoabastecernos con la instalación fotovoltaica que diseñemos o si por el contrario va a ser necesaria la conexión con la red eléctrica.

Para obtener la radiación disponible en el emplazamiento de nuestra vivienda, se han utilizado datos procedentes de diferentes bases y páginas. Estas bases de datos pertenecen a entidades de diferentes ámbitos así como páginas oficiales pertenecientes a la comisión europea.

Estas bases consultadas han sido las siguientes: Meteonorm, NASA, PVGIS y PVsyst. De tal forma que nos permiten obtener datos sobre radiación de la ubicación exacta de nuestra vivienda.

Por último, se compararán todos los datos, y se elegirán unos en función de la disponibilidad de los datos por parte del PVsyst y de la veracidad de los mismos.

2.1 PVGIS

PVGIS hace referencia a Photovoltaic Geographical Information System, que es una herramienta de cálculo de energía solar fotovoltaica online que se ha desarrollado a partir de datos de radiación solar estimados a través de satélites. Almacena datos de las regiones de África, el Sudeste Asiático y de la cuenca europea del Mediterráneo.

Es un programa bastante práctico donde nos permite estudiar la radiación para una latitud y longitud concretas, de tal forma que nos permite obtener datos para la zona exacta de ubicación de nuestra vivienda. Además nos da el dato de la inclinación óptima del panel en función de la posición. También ofrece datos de radiación en función del día de la semana, del mes y otros parámetros y nos permite realizar una estimación de una instalación fotovoltaica conectada a la red, tal y como se estudia en este documento.

Al entrar en el enlace a la página de PVGIS, nos encontramos con dos zonas características. La primera, situada a la izquierda (se puede observar en la ilustración 4), nos encontramos un mapa y unos espacios en blanco para poder situar el estudio de radiación en el punto exacto en el que se encuentra la vivienda. Se puede obtener la localización introduciendo el nombre de la población, situándonos en el mapa y señalando la zona que se quiera estudiar o directamente colocando los grados de latitud y longitud en los que se encuentra.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Mientras que en la zona de la derecha se dan unas opciones de visualización de resultados, bastante útil para ver solamente los datos que sean relevantes para el estudio.

De tal forma que se adjunta una captura de la página:

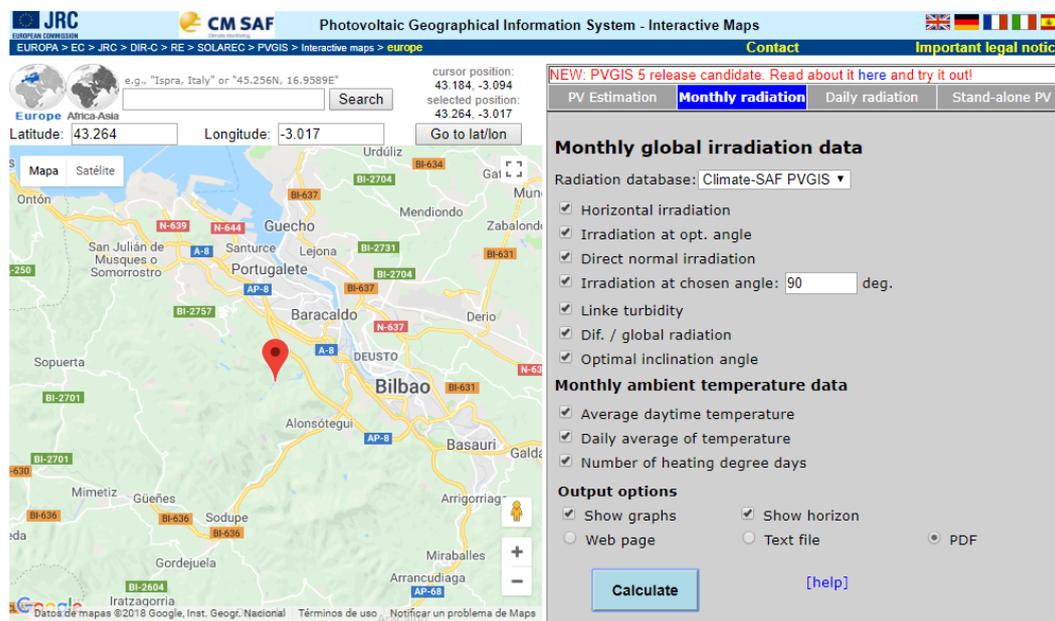


Ilustración 5: Página PVGIS

Los datos que obtenemos son los siguientes:

MES	H_h	H_{opt}	$H_{(90)}$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Enero	1220	1700	1580	55	8,4	240
Febrero	1980	2670	2340	52	7,9	223
Marzo	3420	4180	3160	42	11	177
Abril	4190	4550	2740	28	13,6	131
Mayo	4880	4870	2390	15	15,4	40
Junio	5340	5140	2270	9	18,4	3
Julio	5420	5320	2410	13	20,4	0
Agosto	4690	4950	2710	24	20,8	0
Septiembre	3900	4640	3260	39	19,4	22
Octubre	2590	3420	2880	50	16,9	87
Noviembre	1410	1980	1830	56	12,4	213
Diciembre	756	753	459	15	9,2	238
Anual	3320	3680	2330	31	14,5	1374

Tabla 1: Datos radiación PVGIS

Donde:

- **H_h**: Radiación en el plano horizontal (Wh/(m²*día))
- **H_{opt}**: Radiación en el plano inclinado óptimo (Wh/(m²*día))
- **H₍₉₀₎**: Radiación a 90 grados (Wh/(m²*día))
- **I_{opt}**: Inclinación óptima (deg.)
- **T_{24h}**: media de temperatura en 24 horas (°C)
- **N_{DD}**: Número de calentamiento grados-días (-)

Además de estos datos, PVGIS ofrece bastantes más pero no son relevantes para este proceso.

Se puede observar que dan tres tipos de datos de radiación, la radiación directa, la radiación que se obtendría para un panel situado a 90º de la perpendicular y por último, la radiación obtenida cuando el panel está colocado con la inclinación óptima.

Los datos son distribuidos en meses o días en función de la opción escogida, en este caso han sido distribuidos por meses. Los datos guardan relación entre sí, ya que se puede observar que durante el invierno, los paneles colocados perpendicularmente obtienen mayor radiación que los que están colocados horizontalmente, dándose el caso contrario en verano. Por este motivo, el grado de inclinación óptimo varía durante las diferentes épocas del año, siendo de unos 50º durante el invierno y de una media de 15 durante los meses más cálidos, siendo la media final del año de unos 31º. Esto sucede al estar la vivienda situada en el hemisferio norte.

Para obtener la inclinación óptima de forma teórica se debe seguir la siguiente ecuación:

$$\beta = \text{Lat} - 10 \quad (1)$$

Como se ha mencionado antes, la vivienda está situada en latitud 43.264 grados, por lo que la inclinación óptima teórica sería del orden de 33.264 grados, dato algo distinto del obtenido mediante la página, de tal forma que teniendo esto en cuenta se procede a repetir el análisis mediante PVGIS, siendo los nuevos resultados los que se representarán posteriormente en la tabla 8.

Estos datos corresponden a una inclinación óptima teórica, en los que se puede observar que la radiación mejora considerablemente para todos los meses del año

Los datos obtenidos a partir de la simulación, distan un poco de la realidad, ya que en la tabla aparece que hay valores mayores para la inclinación teórica óptima que para la que la simulación entiende que es óptima.

2.2PVsyst

El PVsyst es una herramienta informática de pago que sirve para el análisis, cálculo y dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas. Fue desarrollado por la Universidad de Ginebra y tiene disponible una versión demo que será la utilizada en este estudio.

El programa ofrece datos sobre radiación solar en diferentes puntos del planeta a través de datos provenientes de otras bases de datos como Meteonom y la NASA, las cuales serán estudiadas posteriormente. Por lo que lo primero que se debe hacer es buscar la ubicación del estudio.

En la base de datos de este programa se encuentra Bilbao como el punto más cercano a la ubicación deseada, sin embargo, el programa cuenta con una herramienta que permite buscar el punto concreto deseado y crear una tabla de datos para ese lugar, por lo que es vital para el estudio de la radiación definir en primer lugar ese punto.

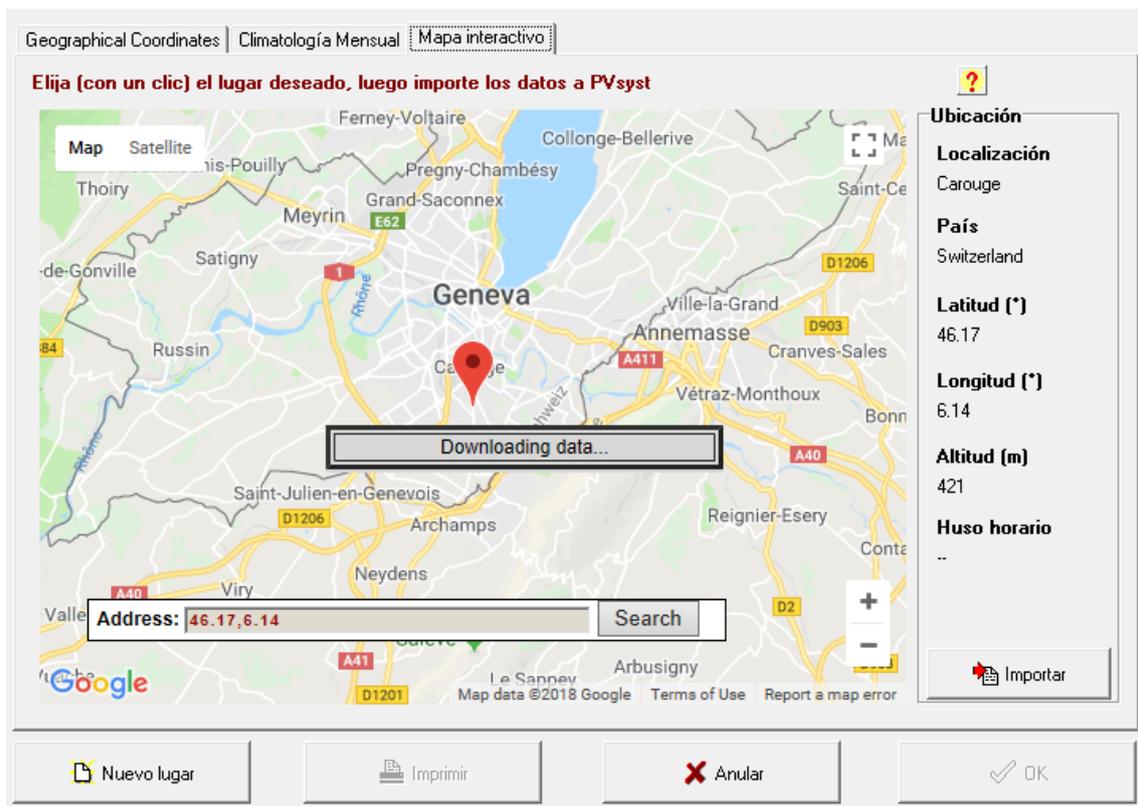


Ilustración 6: PVsyst búsqueda lugar

Por lo que se procede a crear una base de datos para el lugar exacto de nuestra vivienda.

Una vez definido el lugar, se procede a obtener los datos de radiación:

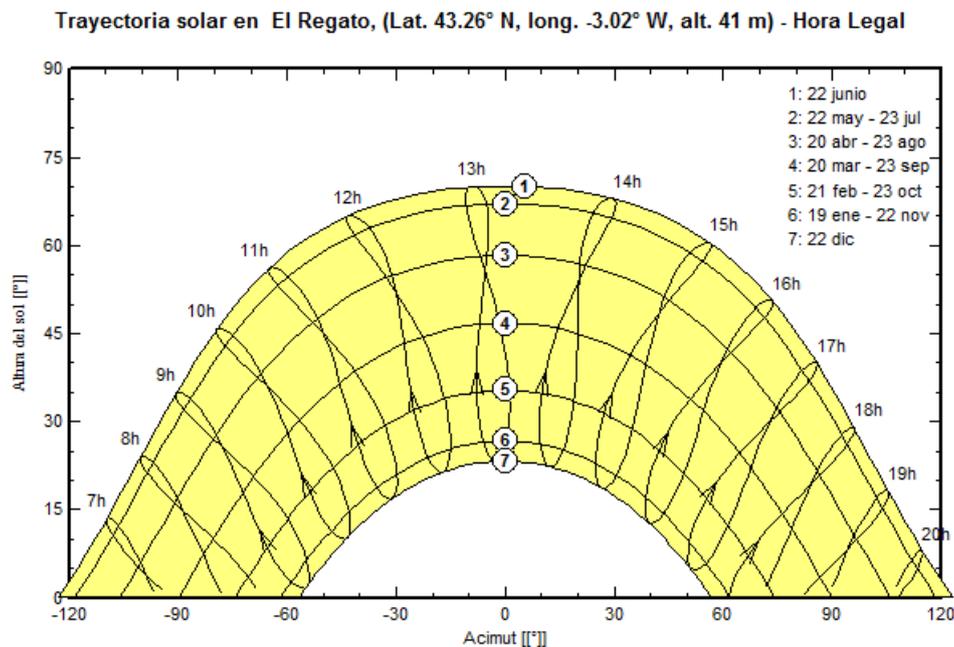
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Lugar El Regato (España)				
Origen de datos: <input type="text" value="Meteonorm 7.1 (1995-2010)"/>				
	Irrad. Global	Difuso	Temp.	VelViento
	kWh/m ² .día	kWh/m ² .día	°C	m/s
Enero	1.34	0.82	9.4	2.89
Febrero	2.12	1.26	9.7	2.99
Marzo	3.31	1.84	12.3	3.29
Abril	4.24	2.37	13.3	3.11
Mayo	5.05	3.05	16.7	2.80
Junio	5.45	2.69	20.0	2.70
Julio	5.35	2.77	21.7	2.70
Agosto	4.69	2.77	22.0	2.49
Septiembre	3.78	1.90	19.5	2.30
Octubre	2.57	1.28	17.2	2.79
Noviembre	1.52	0.85	12.1	2.80
Diciembre	1.14	0.72	9.7	2.99
Año	3.39	1.86	15.3	2.8

Ilustración 7: Datos radiación PVsyst

Estos datos se han obtenido mediante el programa PVsyst, accediendo a la base de datos de Meteonorm, también existe la opción para obtener estos datos mediante la base de datos de la NASA.

Además, este programa permite conocer la altura del sol en cualquier día del año:



En esta última imagen se pueden apreciar varios datos, en primer lugar la altura que llega a alcanzar el sol a lo largo del año, así como su posición por horas a lo largo del día,

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

de tal forma que se puede observar que el sol alcanza su mayor altura en el punto 1 que corresponde al 22 de junio, y su mínimo se sitúa en el punto 7 que corresponde al 22 de diciembre.

Además de estos datos, el PVsyst también permite obtener gráficos y tablas para un mayor detalle en la irradiación, como por ejemplo, la siguiente tabla:

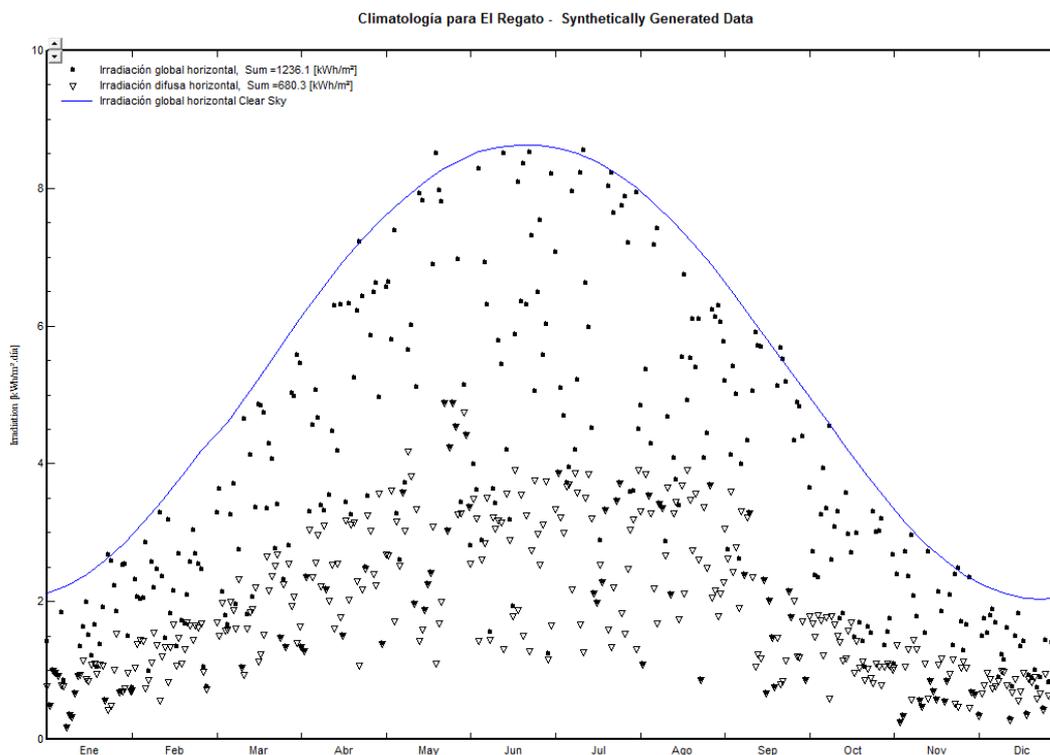


Ilustración 9: Tabla irradiación El Regato

En esta tabla se puede observar mediante una línea azul, la irradiación global horizontal en función del mes del año, se puede ver como hay una mayor irradiación en los meses de verano, mientras que desciende drásticamente en los meses invernales. Además, el programa dibuja unos triángulos inversos que hacen referencia a la radiación difusa.

La radiación difusa es el efecto generado cuando se dispersa la radiación solar que alcanza la superficie de la atmósfera. Lo habitual es que este tipo de radiación suponga el 15% de la radiación global en días soleados. Este tipo de radiación es complementaria a la radiación directa, que es la que tendrá un efecto mayor en los paneles solares. Sin embargo, al no tratarse de una tecnología de concentración, los paneles serán capaces de obtener energía a través de la radiación directa, la difusa y la reflejada.

Con el fin de obtener valores más concretos, el programa PVsyst nos permite conocer la radiación en función del día, por lo que se podrán definir mejor las diferencias entre un día de verano y uno de invierno:

Como días extremos se han escogido el 22 de diciembre y el 22 de junio tal y como nos han aparecido en la trayectoria solar en la ilustración 8.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Para el 22 de diciembre:

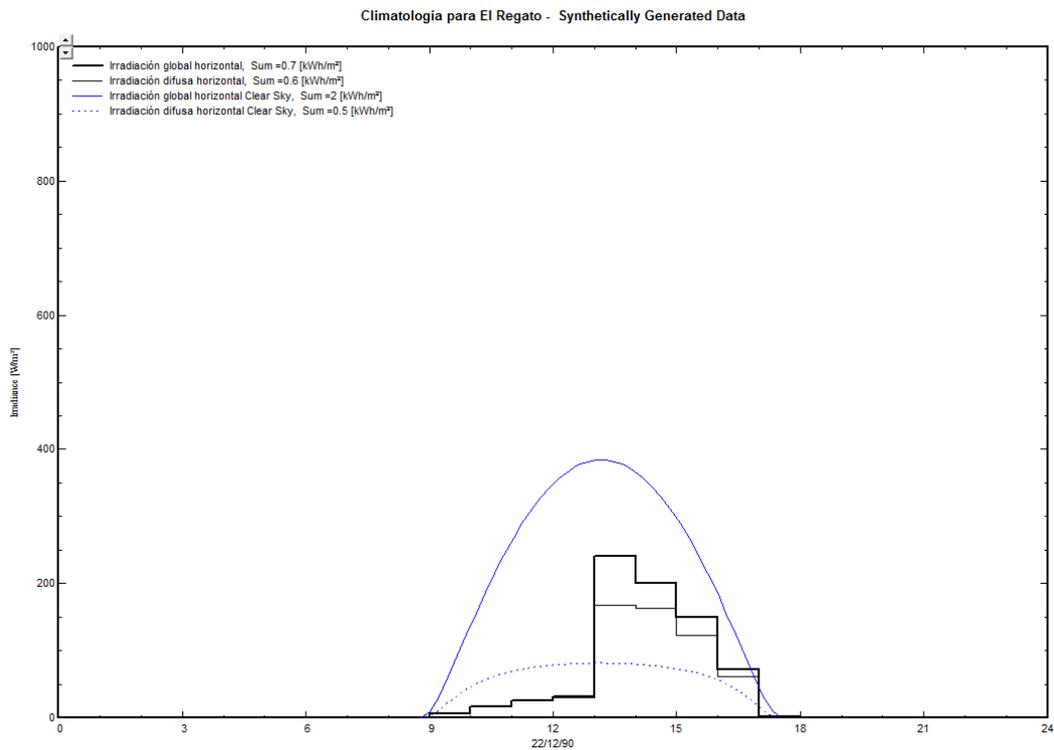


Ilustración 10: Irradiación 22 de diciembre

Para el 22 de junio:

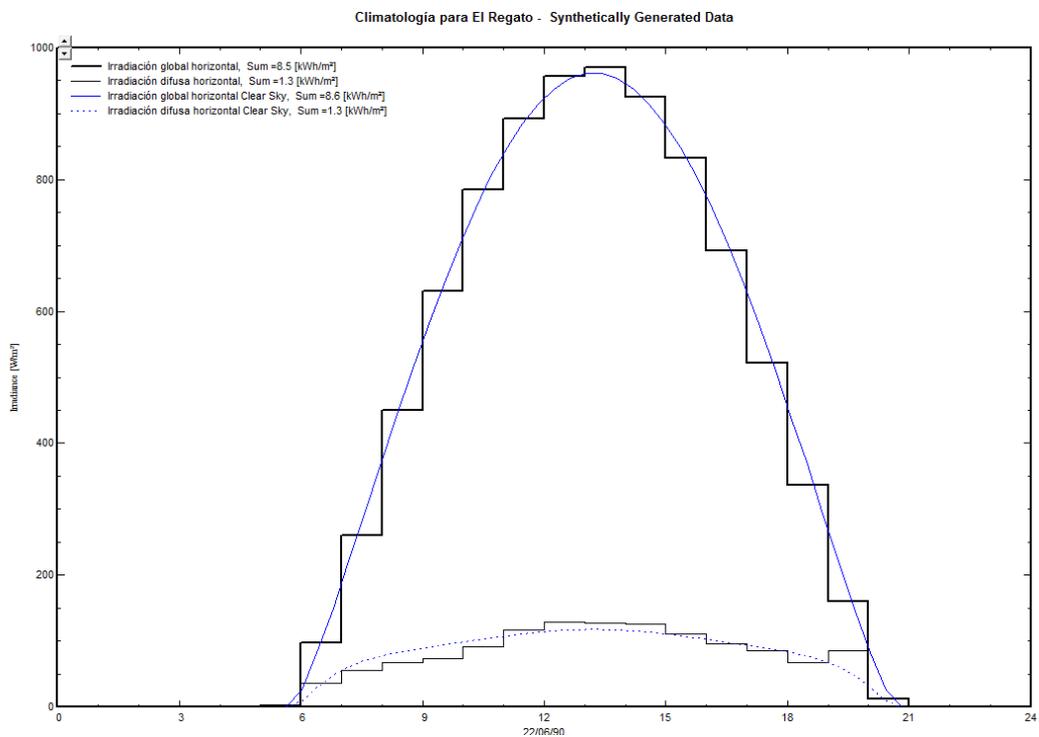


Ilustración 11: Irradiación 22 de junio

En las ilustraciones 10 y 11, lo que se representa mediante la línea azul es la irradiación global horizontal con el cielo despejado, y la azul a trazos representa la irradiación difusa

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

para un día despejado. Mientras que la línea negra gruesa representa la irradiación global horizontal y la fina, la difusa.

Las diferencias se ven a primera vista y el resultado es algo obvio, ya que se puede observar que para el 22 de diciembre, en su punto máximo, alcanza los 400 W/m² de irradiación, mientras que en junio llega más o menos a los 950 W/m².

Cabe destacar que para los días cercanos al solsticio de verano, la irradiación global es de valor similar a la directa, mientras que la difusa queda muy por debajo de este valor, mientras que para un día de invierno, el valor de la difusa no dista tanto de la global.

En la ilustración 10 se puede ver que la irradiación comienza a las nueve de la mañana y termina más o menos a las seis de la tarde, obteniendo 9 horas de irradiación. Este dato se puede contrastar de forma matemática, ya que a cada hora la tierra gira 15°, por lo que el número de horas de luz solar es de:

$$\text{Nº de horas de luz} = \frac{2 \cdot w_s}{15}$$

Donde el valor de w_s es el siguiente:

$$w_s = \cos(-\tan(L) \cdot \tan(\delta(n))) \quad (2 \text{ y } 3)$$

$$\delta(n) = 23.45 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (4)$$

Siendo n el número de día comprendido entre 1 y 365.

Por lo que según la fórmula matemática se obtiene un número de 8.7 horas para el día 22 de diciembre, lo que coincide con la ilustración proporcionada por el PVsyst.

A continuación se procede a exponer dos imágenes más para dos días intermedios entre los dos extremos ya expuestos, como son:

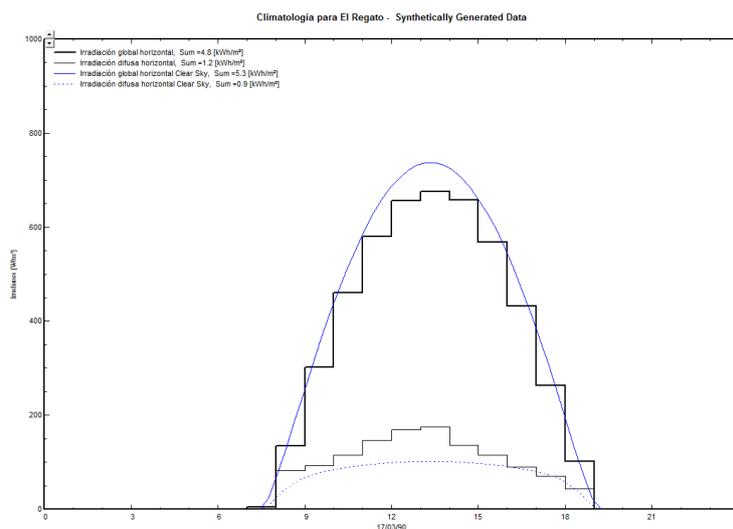


Ilustración 12: Irradiación 17 de marzo

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

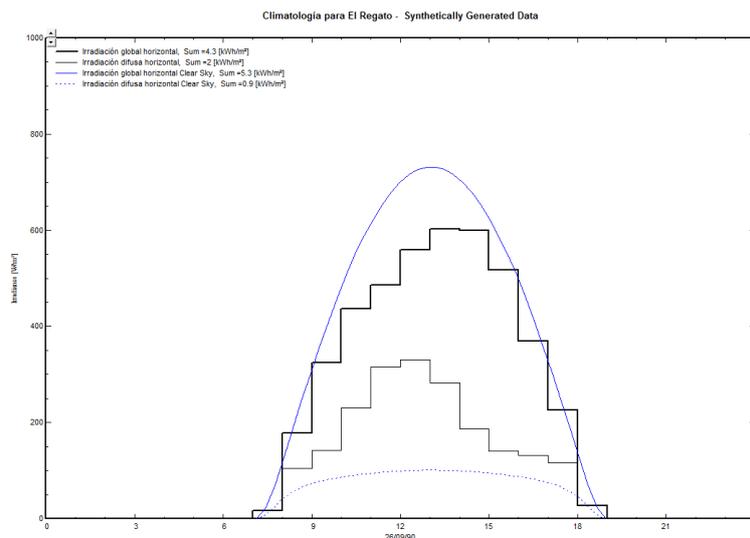


Ilustración 13: Irradiación 26 de septiembre

De tal forma que podemos concluir que la distribución diaria de irradiación se simétrica respecto a los dos días mencionados anteriormente (22 de diciembre y 22 de junio), y que en general, en los meses de más irradiación, esta se mantiene ascendente pero de forma estable, mientras que en los meses de menor irradiación, en los de invierno, la pendiente decreciente es más pronunciada.

2.3 Meteonorm

Meteonorm es una base de datos de radiación total disponible por mes para el lugar seleccionado a través de la interfaz. Los datos que aporta este programa no son recogidos por ningún satélite como en otros casos, sino que se realiza una interpolación con datos de los últimos años para hacer una media.

Una vez definidos los diferentes parámetros que el programa precisa, se presenta una tabla de datos con diferentes tipos de información para el lugar escogido, que se presentan a continuación.

Se ha de especificar que los datos obtenidos mediante el programa de Meteonorm, van a ser los mismos que los utilizados por el programa PVSyst, en el anterior apartado, siendo la única diferencia, que el programa PVSyst permite una obtención mayor a nivel de tablas y gráficos que ayudan a representar la situación de la radiación en la zona.

Como se puede observar, la ilustración diferencia dos bloques en diferentes colores, el primero de ellos, el amarillo, supone la radiación global total en la zona especificada, mientras que el segundo, el naranja, supone la radiación difusa.

El Regato

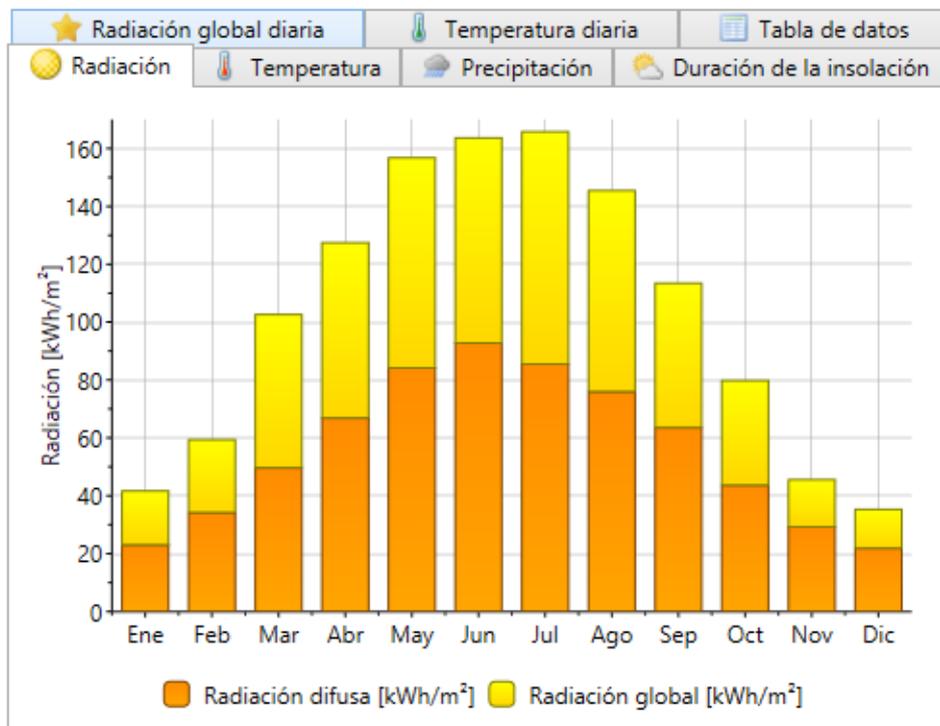


Ilustración 14: Meteonorm tabla irradiación El Regato

Al igual que en el resto de datos consultados, y como es normal, la radiación es mayor para los meses veraniegos que para los invernales, mientras que la diferencia entre la radiación global y la difusa es también mayor en los meses de verano que en los meses de invierno.

Ahora se mostrarán los datos en una tabla:

	Gh (kWh/m ²)	Dh (kWh/m ²)	Bn (kWh/m ²)	Ta (°C)	Td (°C)	FF (m/s)
Enero	42	23	56	9,5	4,1	2,9
Febrero	59	34	59	9,8	3,9	3
Marzo	103	50	104	12,2	5,2	3,3
Abril	127	67	100	13,5	7	3,1
Mayo	157	84	115	16,6	10,5	2,8
Junio	164	93	108	20,3	14,2	2,7
Julio	166	85	125	21,5	15,5	2,7
Agosto	145	76	111	22	16	2,5
Septiembre	113	64	90	19,8	13,9	2,3
Octubre	80	44	77	17,3	11	2,8
Noviembre	46	29	46	12,2	6,9	2,8
Diciembre	35	22	43	9,7	4,3	3
Anual	1234	671	1034	15,4	9,4	2,8

Tabla 2: Datos radiación Meteonorm

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Donde:

- Gh: Radiación global horizontal
- Dh: Radiación difusa horizontal
- Bn: Radiación directa normal
- Ta: Temperatura ambiental
- Td: Temperatura de bulbo seco
- FF: Velocidad del viento

Cabe destacar que en esta tabla los datos no están en función del número de días de cada mes, puesto que para compararlos con los demás datos se deberán dividir estos valores por el número de días de cada mes.

Como es ya habitual, se puede observar que la radiación global es mayor en los meses estivales, mientras que decrece para los meses invernales. Además, como se ha podido observar en la ilustración 14, la diferencia entre radiación global y la difusa es mayor para los meses veraniegos.

Además este programa permite observar que por lo general, la velocidad del viento desciende en los meses de verano y como es lógico, que aumenta la temperatura ambiente. Por otro lado, esta temperatura ambiente es bastante baja en verano comparándola con otros lugares de España, lo cual supone un beneficio en el caso de este estudio, ya que la tecnología fotovoltaica funciona mejor en lugares fríos, viendo reducida su eficiencia en función del aumento de temperatura.

2.4 NASA

En este caso se procederá a estudiar la base de datos de la agencia aeroespacial estadounidense. Esta agencia tiene desarrolladas bases de datos a través de los numerosos satélites meteorológicos que dispone en órbita, habiendo almacenado datos durante los últimos veintidós años.

Para la obtención de estos datos, los satélites miden 115 puntos del mundo e interpolan estos datos para obtener una media en el lugar donde se requiera hacer la instalación.

Obteniendo los datos a través del programa PVsyst, quedan definidos en la siguiente ilustración:

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Lugar El Regato (España)				
Origen de datos Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005				
	Irrad. Global	Difuso	Temp.	VeViento
	kWh/m ² .día	kWh/m ² .día	°C	m/s
Enero	1.61	0.68	8.1	0.00
Febrero	2.43	0.98	8.3	0.00
Marzo	3.77	1.37	10.0	0.00
Abril	4.87	1.85	11.2	0.00
Mayo	5.78	2.21	14.4	0.00
Junio	6.19	2.35	17.5	0.00
Julio	6.22	2.21	19.7	0.00
Agosto	5.42	1.92	20.3	0.00
Septiembre	4.32	1.49	18.6	0.00
Octubre	2.79	1.11	15.6	0.00
Noviembre	1.75	0.76	11.6	0.00
Diciembre	1.34	0.60	9.3	0.00
Año	3.88	1.46	13.7	0.0
	 <input type="button" value="Pegar"/>	 <input type="button" value="Pegar"/>	 <input type="button" value="Pegar"/>	 <input type="button" value="Pegar"/>

Ilustración 15: Datos radiación NASA

En la anterior tabla se muestra la interfaz del programa PVsyst con los datos de radiación obtenidos de la base de datos de la NASA, en el cual encontramos la radiación global, la radiación difusa y la temperatura, en función del mes en el que se encuentre, mientras que no se obtienen datos de la velocidad del viento.

Vuelve a darse el mismo caso que en obtención de datos anteriores, es decir, los meses con mayor radiación son los veraniegos, mientras que las temperaturas más bajas y por tanto más interesantes para la instalación se dan en los meses de invierno.

También se mantiene una mayor diferencia entre radiación global y difusa en los meses estivales.

2.5 Comparación entre bases de datos

En este subapartado se procederá a estudiar las diferencias entre las diferentes bases de datos expuestas para posteriormente elegir los datos de una de ellas, que serán los utilizados a la hora de realizar las operaciones de dimensionamiento de la instalación.

En total se han obtenido datos de tres bases diferentes (PVGIS, Meteonorm y la NASA), mientras que el programa PVsyst, ha ofrecido una mayor información en cuanto al tipo de radiación y a la posición del sol en función de la época del año para las bases de datos de Meteonorm y la NASA.

Por lo que en la siguiente tabla se muestra la comparativa en cuanto a radiación global:

	PVGIS	Meteonorm	NASA
Enero	1,22	1,35	1,61
Febrero	1,98	2,11	2,43
Marzo	3,42	3,32	3,77
Abril	4,19	4,23	4,87
Mayo	4,88	5,06	5,78
Junio	5,34	5,47	6,19
Julio	5,42	5,35	6,22
Agosto	4,69	4,68	5,42
Septiembre	3,9	3,77	4,32
Octubre	2,59	2,58	2,79
Noviembre	1,41	1,53	1,75
Diciembre	0,756	1,13	1,34
Anual	3,32	3,38	3,88

Tabla 3: Comparación datos radiación

En esta última tabla se puede comparar fácilmente las diferencias entre las distintas bases de datos utilizadas. En la tabla se ha resumido toda la información a la radiación global en kWh/m²día.

Estas diferencias son:

1. Los datos proporcionados por la plataforma PVGIS y los obtenidos por el programa de Meteonorm son muy similares, mientras que los cedidos por el programa PVsyst mediante el banco de datos de la NASA supera considerablemente al resto.
2. La base que proporciona cuadro de radiación menor en la zona es la de la plataforma PVGIS.
3. Meteonorm sería la base de datos que más se ajustaría a la media de todas las bases de datos.
4. Tanto la NASA como Meteonorm realizan una interpolación para obtener los datos en la zona deseada, mientras que la plataforma PVGIS los obtiene directamente en las coordenadas exactas.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Por estas razones, tras comparar detenidamente cada caso, se concluye que la base de datos que mejor puede representar el panorama climatológico para el posterior dimensionamiento de la instalación es la de Meteonorm, ya que por un lado permite obtener una información más detallada a través del programa PVsyst y además supone los valores más cercanos a la media de los datos obtenidos.

Por otro lado, la NASA quedaría descartada por tener unos valores muy elevados al resto de datos obtenidos, aunque el estudio de sus datos también podría ser aprovechado para recabar más información mediante el programa PVsyst.

Por último, aunque los valores de la plataforma PVGIS sean cercanos a los de Meteonorm, no se van a considerar en este estudio ya que no se podría ahondar en estos datos al no disponer el programa PVsyst de su base de datos.

3. VIVIENDA

En el siguiente apartado se procederá a definir el tipo de vivienda que se va a estudiar para la instalación, así como datos básicos sobre la misma, localización, distribución y cantidad de electrodomésticos de los que dispone.

Localización y datos básicos:

La vivienda para la que se estudiará el colocar la instalación fotovoltaica es una vivienda unifamiliar de dos pisos con una zona reservada como garaje que se encuentra situada en el barrio baracaldés de El Regato.



Como ya se ha explicado, la vivienda cuenta con dos pisos, además de un pequeño terreno alrededor de la casa. En el primero de los pisos, la vivienda dispone de un salón-comedor, una cocina, con acceso a dos estancias dedicadas a lavandería y despensa y un aseo, además del mencionado garaje y el espacio que ocupan el vestíbulo, las escaleras y un pequeño mirador en uno de los extremos de la planta, mientras que en el piso superior se encuentran tres habitaciones y dos baños.

A la hora de realizar un estudio sobre el consumo energético de cualquier vivienda, se pueden distinguir diferentes apartados. Por un lado se debe tener en cuenta la calefacción de la vivienda, que supone el mayor gasto energético. Por otro encuentran todos los electrodomésticos y aparatos electrónicos que conectemos a los enchufes. Además, se tendrá en cuenta la capacidad de iluminación de la casa. Y por último se podrían tener en cuenta diferentes factores como el agua caliente o el aire acondicionado.

3.1 Distribución de la vivienda

La distribución espacial de la vivienda es la siguiente:

	Habitación	Superficie(m ²)
Planta Baja	Cocina	21
	Lavandería (Cocina)	3
	Despensa (Cocina)	3
	Aseo	3
	Salón-Comedor	73
	Garaje (2 Plazas)	43
	Vestíbulo	5
	Mirador	22
Primera Planta	Escaleras	6
	Baño 1	8
	Baño 2	8
	Habitación 1	21
	Vestidor (Habitación 1)	9
	Habitación 2	16
	Habitación 3	15
	Pasillo	22
	Planta Baja	173
	Primera Planta	99
	Total	278

Tabla 4: Distribución vivienda

De todo el espacio físico ocupado por la vivienda, la tabla 5 aporta la información total y parcial del espacio ocupado por cada habitación, diferenciando entre planta baja y primera planta.

El resultado es una vivienda de 278 metros cuadrados que ocupa la mayoría del espacio en la planta baja, concretamente en el salón comedor, hecho que habrá que tener en cuenta a la hora de definir el gasto por iluminación en esta habitación.

3.2 Planos de la vivienda

Los planos de la casa son:

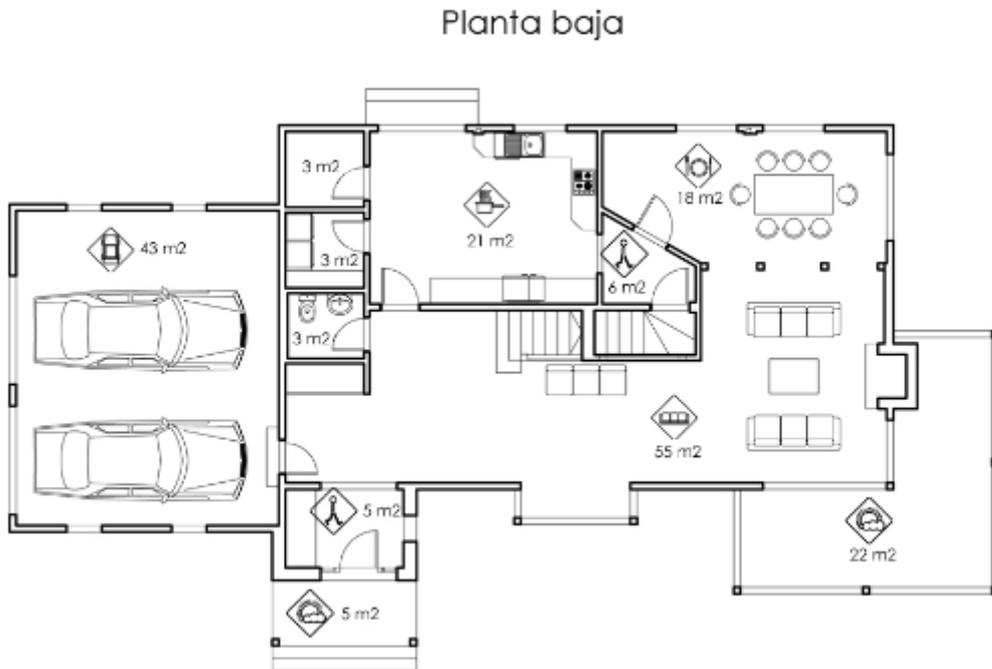


Ilustración 16: Planta baja vivienda

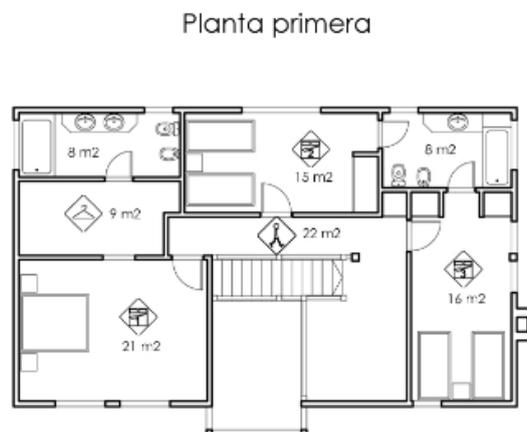


Ilustración 17: Planta superior vivienda

Las ilustraciones 16 y 17 hacen referencia a los planos de la vivienda para la cual se va a realizar el estudio. Los planos han sido obtenidos de una página de venta de viviendas unifamiliares.

3.3 Electrodomésticos:

Uno de los apartados a tener en cuenta sobre el consumo de una vivienda es la referente a los electrodomésticos de los que dispone. Para facilitar los cálculos, se ha optado por separar la distribución de electrodomésticos en función de la habitación en la que están.

Para obtener el consumo eléctrico década electrodoméstico se han utilizado datos de potencia obtenidos a través de referencias de electrodomésticos encontradas en la red, mientras que el uso diario se ha obtenido mediante la experiencia personal.

Una gran mayoría de los valores obtenidos se encontraban en franjas de diferentes valores, por lo que, en esos casos, se ha elegido un valor intermedio.

Los datos de uso diario hacen referencia al uso diario medio de cada electrodoméstico durante todo el año.

A continuación, se presenta una tabla con cada uno de los elementos de los que disponen las habitaciones de la vivienda:

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

	Electrodoméstico	Potencia (W)	Horas de uso diario (h)
COCINA	Frigorífico	300	4
	Congelador	200	4
	Placa de inducción	1200	2
	Microondas	1200	0,2
	Horno	1750	0,02
	Lavavajillas	1800	0,5
	Lavadora	1800	1
	Secadora	1500	1
	Campana	100	0,5
	Batidora	400	0,1
	Tostadora	1200	0
SALÓN-COMEDOR	Televisión 50p	150	4
	Piano	40	0,2
	Videoconsola	180	0,05
	Equipo de sonido	200	1
	Reproductor DVD	150	1
	Lámpara Auxiliar	32	0,5
	Plancha	1100	0,285
	Teléfono inalámbrico	25	2
	Decodificador	150	2
HABITACIÓN 1	Pantalla	48	3
	Router WIFI	5	24
	Altavoces	180	3
	Equipo de sonido	200	1
	Impresora	50	0,2
	Lámpara Auxiliar	32	0,5
	Cargador móvil	4	1
	PC sobremesa	220	3
HABITACIÓN 2	Pantalla	48	1
	Altavoces	180	1
	Lámpara Auxiliar	32	0,5
	Cargador móvil	4	1
	PC sobremesa	220	1
BAÑO	Alisador pelo	800	0,2
	Cepillo de dientes	1	0,2
	Cargador Maquinilla afeitarse	8	0,02
	Secador pelo	1500	0,2
OTROS	Cargador móvil	4	1
	Cortacésped	1000	0,143
	Extractores aire x3	10	1

Tabla 5: Información electrodomésticos por habitación

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

A continuación se procede a explicar la potencia total de los electrodomésticos en cada habitación (la potencia total estará lejos de la potencia conectada simultáneamente, ya que tener todos los electrodomésticos conectados a la vez no sería viable), y también las horas de uso diario de cada electrodoméstico. La energía consumida se calculará mediante la fórmula:

$$E_{consumida} = \sum_{i=1}^{i=n} P_i h_i \quad (5)$$

- En la cocina:

Tendríamos consumiendo diariamente 8965 Wh a través de los diferentes electrodomésticos que componen esta habitación. (Siendo la potencia total de los mismos de 11450 W, aunque no se podrían conectar todos a la vez).

- En el salón-comedor:

Consume diariamente según la ecuación (5) 1646,5 Wh.

- En la habitación principal:

El consumo diario es de 1562 Wh.

- En la otra habitación:

El consumo diario asciende a 468 Wh.

- En cada baño:

Tendríamos un consumo de energía de 460,36 Wh por baño, para un total de 920,72 Wh entre los dos baños.

- Otros:

157 Wh de energía consumida por el resto de electrodomésticos.

Mientras que la tercera habitación y el aseo únicamente consumirían energía mediante la iluminación.

En total tendríamos un consumo diario de 13,719 kWh en cuanto a electrodomésticos se refiere.

Conclusiones sobre electrodomésticos:

- Para diseñar una instalación fotovoltaica es imprescindible conocer de manera rigurosa los datos de consumo de la vivienda en estudio, ya que la exactitud de estos datos determinará el correcto funcionamiento de la instalación.
- Como se ha podido ir viendo en las diferentes tablas, en lo que a electrodomésticos se refiere, la cocina tiene un consumo mucho mayor que cualquier otra habitación de nuestra vivienda.
- Los datos de consumo de energía se dan en Wh mientras que el total se da en kWh.
- Según la OCU, el consumo anual medio de una vivienda unifamiliar aislada es de 15.513 kWh, pero teniendo en cuenta la calefacción que supone más o menos el 50 % del consumo eléctrico. Mientras que nuestra vivienda consumiría 5.007,44 kWh, que coincide con los datos oficiales si contamos con que nuestra vivienda no cuenta con calefacción.

3.4 Iluminación:

Un apartado importante de consumo energético de una vivienda es la relacionada con la iluminación. Aunque en principio solo supone en torno a un 4% del total en una vivienda, los gastos por iluminación han de tenerse en cuenta en el estudio.

Teniendo en cuenta las dimensiones de la vivienda, en la cocina cuenta con dos lámparas fluorescentes, en el salón-comedor tiene dos lámparas con seis bombillas cada una, la entrada se compone por seis bombillas led.

Por otro lado cada habitación dispone de una lámpara de cuatro bombillas cada una, mientras que cada baño cuenta con seis bombillas led. (El aseo de la planta baja dispone solo de tres).

Las zonas de pasillo dispondrán de un LED cada 0.75m, de tal forma que sumarán un total de 16 bombillas.

La despensa y la zona de lavandería tienen un LED cada una, mientras que el garaje cuenta con diez LED, el porche suma otros ocho LED y por último, el vestidor de una de las habitaciones cuenta con otras 4.

Por lo que en total, la vivienda cuenta con 85 bombillas LED y dos lámparas fluorescentes.

	Bombillas LED	Lámparas fluorescentes LED	Uso diario (h)	Consumo total (Wh)
Cocina	0	2	3	54
Salón-Comedor	12	0	2	120
Entrada	6	0	0,5	15
Habitaciones (x3)	12	0	1	60
Baños (x2)	12	0	1	60
Aseo	3	0	0,2	3
Pasillo	16	0	0,3	24
Despensa-Lavandería	2	0	0,2	2
Garaje	10	0	0,2	10
Porche	8	0	1	40
Vestidor	4	0	0,5	10
Total	85	2	-	398

Tabla 6: Datos iluminación por habitación

Estos datos se obtienen suponiendo un consumo de 5W para cada bombilla LED y de 9W para cada lámpara fluorescente LED, de tal manera que obtenemos un consumo total de 398 Wh en iluminación al día.

En total, tendríamos un consumo de 14,117 kWh entre electrodomésticos e iluminación.

4. DIMENSIONAMIENTO

4.1 Determinación de las necesidades del usuario

Una vez obtenidos los datos de radiación del lugar donde se situará la vivienda, y los datos de consumo de la misma, el siguiente paso que se debe realizar es el del dimensionamiento de la instalación. Por lo que en el siguiente apartado, se procederá a dimensionar la instalación.

Debemos tener en cuenta que nuestra vivienda no estará aislada de la red, es decir, que podrá consumir energía a través de la misma, de tal forma que no va a ser necesario dimensionar la instalación para que cubra el total de las necesidades de la vivienda.

Concretamente, se dimensionará de tal manera que aproveche al máximo la energía procedente del sol en los meses veraniegos, concretamente en junio, aunque durante el invierno dependa en su mayoría de la red eléctrica.

Se va a tener en cuenta que el consumo de la vivienda es constante durante todo el año y se adapta a las tablas sobre electrodomésticos e iluminación aportadas en el apartado anterior.

Por lo que la energía consumida será:

$$E_{consumida} = \sum_{i=1}^{i=n} P_i h_i \quad (5)$$

Siendo,

- n: el número total de receptores.
- P_i : la potencia nominal de cada receptor.
- h_i : las horas de utilización de cada receptor.

En el apartado anterior ya se ha calculado cuanto es la energía consumida por la iluminación y los electrodomésticos a través de la fórmula (5), que ha sido de 14117Wh. Por lo que para el mes de junio que cuenta con 30 días, tendremos un consumo de:

$$E_{consumida} = 423510 \text{ Wh} \quad (6)$$

Sabemos que nuestros electrodomésticos están conectados a una red que funciona a corriente alterna a 230 V. Además, con el dato de la energía consumida durante todo junio, obtenemos el dato en Ah:

$$Q_{consumida} = \frac{423510}{48} = 8823,125 \text{ Ah} \quad (7)$$

Por tener un margen de seguridad (MS), al valor del consumo calculado se le suma un 20% del total. De tal forma que:

$$N_{usuario} = Q_{consumida} * (1 + MS) = 10587,75 \text{ Ah} \quad (8)$$

(Todos estos datos están dados para todo el mes de junio).

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Por otro lado, también se deben considerar el conjunto de pérdidas de la futura instalación, debidas a diferentes causas y cuyos coeficientes se exponen en la siguiente tabla:

		Coeficiente	
Pérdidas en las baterías	k_b	0,08	8%
Pérdidas autodescarga diaria	k_a	0,005	0,50%
Pérdidas eficiencia inversor	k_c	0,07	7%
Pérdidas eficiencia regulador	k_r	0,05	5%
Pérdidas varias	k_v	0,03	3%
Pérdidas totales	Total K_t	0,765	76,50%

Tabla 7: Coeficientes de pérdidas

Una vez obtenidos estos coeficientes, que fluctuarán dependiendo del tipo de instalación, obtenemos de nuevo el dato de amperios hora para el mes de junio.

$$C_{max} = \frac{N_{usuario}}{K_t} = 13840,2 \text{ Ah} \quad (9)$$

Por día el valor sería de $C_{max} = 461,34 \text{ Ah}$.

2.2 Determinación de la energía solar disponible

Ahora que ya son conocidos los datos de necesidades del usuario, el siguiente paso es determinar la energía solar disponible en la zona de la vivienda, esto ya se ha estudiado en el apartado 2 del trabajo, quedando un dato por obtener a través de PVGIS que sería la radiación óptima para un ángulo de 33º, que se expone en la siguiente tabla:

	H(33º)
Enero	1720
Febrero	2690
Marzo	4200
Abril	4540
Mayo	4840
Junio	5090
Julio	5270
Agosto	4930
Septiembre	4650
Octubre	3450
Noviembre	2000
Diciembre	748
Anual	3680

Tabla 8: Datos radiación a 33º por PVGIS

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Estos datos se obtendrían mediante la página de PVGIS para una inclinación de nuestra latitud menos 10º, que serían unos 33º.

Otros datos que se deben tener en cuenta son la orientación ideal del panel, que como ya se ha especificado, al estar en el hemisferio norte, lo ideal es que el panel se oriente hacia el sur, hecho que se produce en el caso actual ya que uno de los lados del tejado, donde posteriormente se colocaran los paneles, tiene esta orientación. Por otro lado es importante conocer la inclinación óptima que deben tener las placas, en este caso se utilizará el criterio ya mencionado de la latitud de la ubicación menos 10º que nos da como resultado los 33º de inclinación para los paneles.

El resto de parámetros y datos importantes en este apartado, se han especificado en el apartado número 2.

4.3 Dimensionamiento del campo de captación

Son varios los aspectos que se deben tener en cuenta para el dimensionamiento:

- La tecnología de los módulos a emplear.
- La potencia de pico (cresta) del módulo.
- La tensión de funcionamiento.
- La producción eléctrica de un módulo en una jornada.
- La estructura del campo fotovoltaico.

Lo principal es definir la función que deben tener los paneles solares. En este caso, sabemos que los paneles van a suponer el autoconsumo parcial de la demanda energética de la vivienda, es decir, que la vivienda va a estar conectada a la red. La mayor parte de las aplicaciones fotovoltaicas se hacen con módulos de silicio monocristalino, por lo que esta será la tecnología empleada.

Además, los paneles serán de 300 W y 24V, que es potencia suficiente para el caso que se estudia, ya que la vivienda estaría conectada a la red. Mientras que el valor nominal de la tensión es de 48V.

Para diseñar el campo de captación es necesario obtener un dato clave que es el equivalente de las horas solares de pico. Esto es la potencia pico que puede producir el panel, que es la potencia máxima del panel que se puede mantener durante x horas.

Para calcular cuánto producirá un módulo fotovoltaico en una jornada determinada, con una energía expresada en Wh/m²*día, se va a asimilar la energía solar al producto de la radiación en condiciones normales por un cierto número de horas que se denominan Horas de Pico Solar (HPS).

$$HPS = \frac{E_{sol}}{1000} = \frac{5470}{1000} = 5,47 h \quad (10)$$

El valor 1000 por el que se divide la energía solar es una constante para condiciones normales, mientras que la energía solar se ha obtenido en el apartado 2 a través de la

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

plataforma meteonorm para el mes de junio que es el que se está estudiando en este caso.

Además, teniendo en cuenta que el rendimiento de los paneles es de alrededor del 90%, podemos obtener la potencia que obtiene cada panel en un día de junio.

Por lo que la energía solar proporcionada por el panel será:

$$E_{panel} \left(\frac{Wh}{día} \right) = HPS \left(\frac{h}{día} \right) * P_{pico}(W) R_{dto_{panel}} = 5,47 * 300 * 0,9 = 1476,9 \quad (11)$$

Que pasado a amperios hora al día será:

$$Q_{panel} = \frac{E_{panel}}{V_{nominal_{cc}}} = \frac{1476,9}{48} = 30,77 \text{ Ah/día} \quad (12)$$

Para la potencia total necesaria se emplea la siguiente fórmula:

$$P_{módulos} = \frac{C_{max}}{HPS * \eta_{panel}} = \frac{461,34}{5,47 * 0,9} = 93,71 \text{ W} \quad (13)$$

Ahora que ya es conocida la potencia total necesaria, se procede a componer un campo de módulos en paralelo del campo a construir.

Se debe redondear el número de módulos obtenidos al valor entero superior y a veces al número par superior para cableados dobles.

$$N_{ramas_{paralelo}} = \frac{C_{max} V_{nominal_{cc}}}{E_{panel}} = \frac{461,34 * 48}{1476,9} = 15 \quad (14)$$

Por lo que el número de ramas necesarias en paralelo serán 15.

Y para el número de módulos en serie se utiliza la siguiente fórmula:

$$N_{módulos_{serie}} = \frac{V_{nominal_{cc}}}{V_{nominal_{panel}}} = \frac{48}{24} = 2 \quad (15)$$

Por lo que se deberán colocar 2 paneles en serie, formando un total de 30 paneles.

4.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación

Para la acumulación del sistema debemos usar baterías, que son el componente de la instalación con la vida útil más corta. Como la instalación que se está tratando es relativamente sencilla, se pueden utilizar unas baterías algo más baratas, ya que el lugar es de fácil acceso.

Los parámetros fundamentales para su elección son:

- La autonomía sin aporte solar.
- La capacidad.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

- La profundidad de descarga.
- El efecto de la temperatura.

Además de otros aspectos como el mantenimiento, el coste etc...

Se ha establecido según las recomendaciones del IDEA, que la autonomía sin aporte solar ($D_{\text{autonomía}}$) sea de 3 días. Una vez establecida la autonomía, el siguiente paso es obtener la capacidad útil de la batería:

$$C_u = D_{\text{autonomía}} C_{\text{max}} = 1384,02 \text{ Ah día} \quad (16)$$

Esta capacidad es la capacidad realmente disponible sobre el terreno, no la nominal.

El siguiente parámetro que se debe calcular es el de la profundidad de descarga (PD) que será:

$$\text{PD} = 1\text{-ECA} \quad (17)$$

Este parámetro es importante cuando la batería sufre una demanda fuerte y esté sometida a ciclos frecuentes. En este caso, como la vivienda está conectada a la red, no hay que tener especial cuidado con el parámetro.

La profundidad de descarga PD puede establecerse en un 70% para una autonomía de 3 días, también habrá que tener en cuenta el efecto de la temperatura y la reducción de capacidad que esta provoca.

De tal forma que en la siguiente tabla podemos observar la caída de capacidad en función de la temperatura:

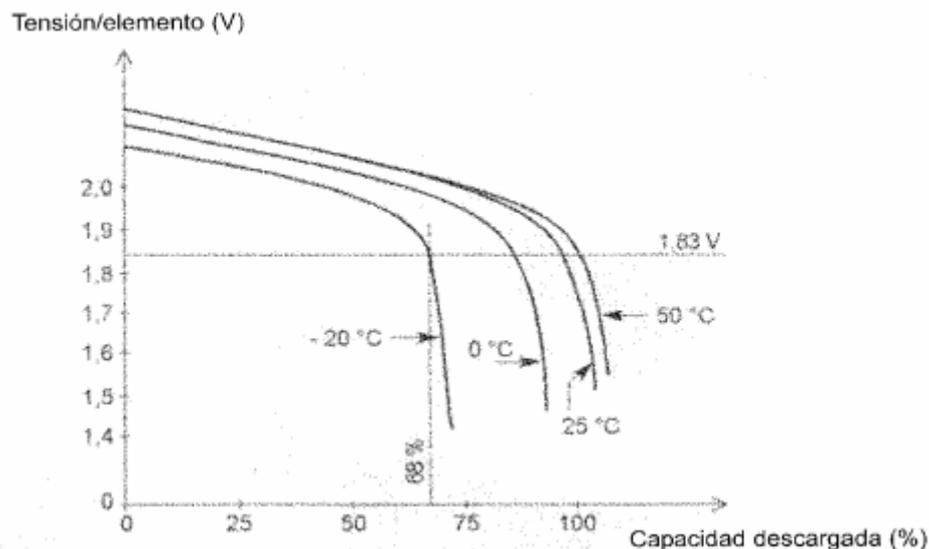


Ilustración 18: Capacidad batería según temperatura

Donde se puede observar que por ejemplo la batería tendría disponible una capacidad del 68% a -20°C si se descargase hasta los 1,83V. El coeficiente de reducción de temperatura se supondrá constante y de valor 0,7.

Por lo tanto, se calcula la capacidad nominal de la siguiente forma:

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

$$C_{sistema_acumulación} = \frac{C_{max} D_{autonomía}}{PD * RT} = \frac{461,34 * 3}{0,7 * 0,7} = 2824,53 \text{ Ah} \quad (18)$$

Una vez obtenida la capacidad total necesaria, queda ver cuantas baterías conviene poner en paralelo y cuantas en serie.

De tal forma que en paralelo queden:

$$N_{baterías \text{ paralelo}} = \frac{C_{sistema \text{ acumulacion}}}{C_{nominal \text{ batería}}} = \frac{2824,53}{1440} = 1,96 \quad (19)$$

Es decir, 2 baterías en paralelo.

Y en serie:

$$N_{baterías \text{ serie}} = \frac{V_{nominal \text{ cc}}}{V_{nominal \text{ batería}}} = \frac{48}{24} = 2 \quad (20)$$

Por lo que nos quedan 2 baterías en serie, haciendo un total de cuatro baterías.

4.5 Selección del regulador

Lo primero que se debe hacer en este apartado es decidir el tipo de regulador que se debe instalar. Debemos elegir entre un regulador de carga simple, que haga que la batería se cargue y la proteja ante sobrecargas pero no va a solucionar posibles problemas de descargas, o bien un regulador de carga-descarga que es el adecuado para instalaciones en viviendas, ya que las personas pueden sobrepasar los consumos previstos.

Por lo que el regulador deberá ser de carga-descarga.

El regulador se dimensionará teniendo en cuenta:

- Tensión.
- Corriente de entrada.
- Corriente de salida.

Es decir, que su tensión nominal sea la del campo fotovoltaico, 48 VDC, mientras que su corriente dependerá de los receptores, por lo que tendrá que ser suficiente (del orden del 125% el valor de la carga máxima).

Su elección se especificará en el apartado de componentes.

4.6 Selección del convertidor

La función del convertidor es la de alterar las características de la tensión e intensidad para adecuarlas a los usos que necesiten.

Los datos que caracterizan al convertidor son:

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

- Potencia nominal.
- Tensión nominal.
- Tensión y frecuencia de salida.
- Rendimiento

Al igual que el regulador, su elección se especificará en otro apartado.

4.7 Dimensionamiento del cableado

Es necesario elegir una sección adecuada para el cableado, ya que de no hacerlo, se puede obtener una caída de tensión más elevada que en el conductor, por lo que se produciría un aumento de la corriente y posteriormente de temperatura, lo que puede ocasionar peligro de incendio o que se produzcan cortocircuitos.

Primero se calcula el valor de la sección de forma matemática y posteriormente se comprueba la corriente máxima admisible para la sección elegida.

Para el cálculo de la sección se debe tener en cuenta:

- El material que lo compone y su conductividad.
- La longitud del cable.
- La corriente que atravesará el conductor.
- La caída de tensión entre sus extremos.

Por lo que la sección será:

$$S = \frac{2LI}{kU} \quad (21)$$

Donde,

- L: longitud de la línea (positivo + negativo) (10m)
- I: intensidad nominal
- k: conductividad del cobre (a 70°C)
- U: caída de tensión máxima

En el caso de una vivienda se considerará una caída de tensión del 3%.

Sabiendo que la conductividad en el cobre es de 46,82 m/Ωmm², obtenemos una S de 29,15 mm², que entrando en tablas supondrá una sección de 35mm².

4.8 Ubicación de los módulos

Como ya se ha explicado en apartados anteriores, el techo es lo suficientemente grande como para que entren los 30 paneles de la instalación, por lo que éstos irán en el tejado con una inclinación de 33º con orientación al sur.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Al estar todos los paneles situados en la superficie de la vivienda, no es necesario calcular la distancia a la que se deben colocar unos con otros.

5. COMPONENTES

En este apartado se procederá a especificar cada uno de los componentes necesarios para la instalación, que se han ido exponiendo según el subapartado en anteriores páginas.

Todos los componentes necesarios son, los paneles, el regulador, las dos baterías, el inversor y el cableado. Los componentes se han escogido principalmente por su disponibilidad en el programa PVsyst, para poder dimensionar de una manera más sencilla la instalación.

5.1 Paneles fotovoltaicos

Para la generación solar se ha decidido utilizar los paneles de 300W y 24V monocristalino de la marca Aleo, concretamente el modelo Aleo S 19/300.



Ilustración 19: Paneles Aleo S 19/300

Se exponen a continuación algunos de los datos más importantes:

Potencia	300 W
Tensión en el máximo punto de potencia (V_{mp})	29,89 V
Corriente en el máximo punto de potencia (I_{mp})	9,93 A
Eficiencia del módulo	18,00%
Tensión en circuito abierto	37,62 V
Corriente en cortocircuito	9,97A
Tensión máxima del sistema	1000 V

Tabla 9: Datos paneles solares

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

En el programa PVsyst está disponible la versión de 26V pero no supondrá una gran diferencia de resultados con respecto a los de 24V. Se compone de 60 células formadas en 6 x 10, disponible en el mercado desde el 2015.

Además, se recogen las curvas características del panel proporcionadas por el programa PVsyst:

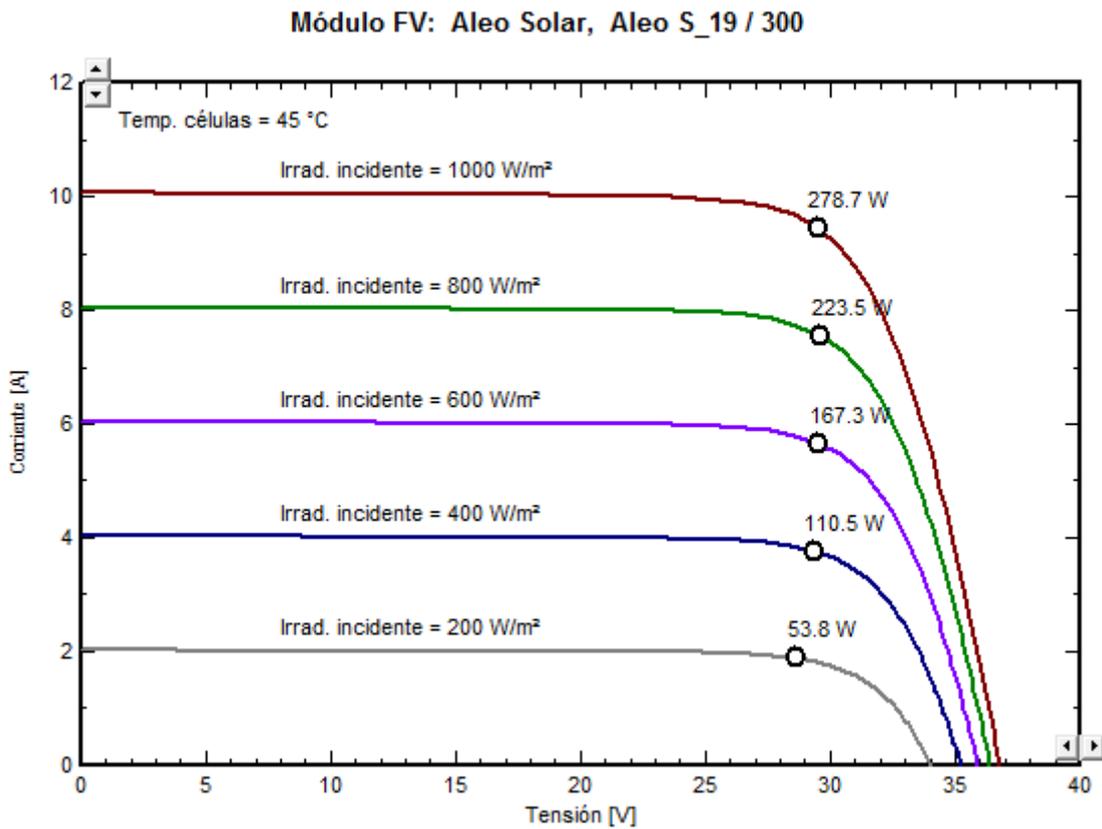


Ilustración 20: Curvas paneles solares

5.2 Estructuras de soporte

Las estructuras de soporte serán FA160821703 para cada tres módulos con inclinación de 33º situados en el tejado.

5.3 Regulador

El regulador utilizado en la instalación es el FLEXmax 80 de la marca OutBack Power. Que dispone de la tecnología de seguimiento del punto de máxima potencia, con el que cada regulador de carga realiza un seguimiento constante de la potencia.

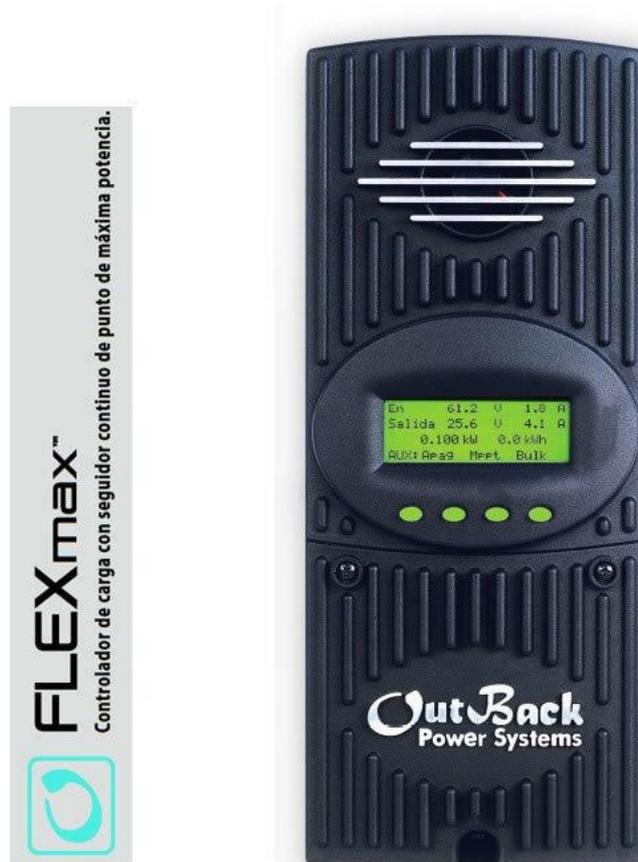


Ilustración 21: Regulador FLEXmax

Este regulador es válido para un rango de tensiones de 12 a 60 V, por lo que es ideal para el caso que nos ocupa de 48 V.

Para esta tensión en corriente continua, el regulador dispone de una entrada máxima de 5000 W.

Otro dato importante del regulador es que su eficiencia es del 98% aproximadamente.

Como se puede observar en la ilustración 21, el regulador cuenta con una pantalla retroiluminada que registra datos de los últimos 128 días para su revisión.

5.4 Batería

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, se ha optado por una batería de plomo abierto, que se compone de vasos de 2V cada uno que disponen de un alto rango de autonomías y una vida útil superior a los 20 años. De tal forma que necesitamos 12 para conformar cada batería de 24V.

Concretamente se han elegido las baterías de plomo abierto OPZS de la marca Enersys Powersafe. Con un coste total de 1940,18 euros.



Ilustración 22: Batería Enersys Powersafe

5.5 Inversor

El inversor seleccionado ha sido el modelo Quattro 24/1500/200-100/100 de Victron Energy. El rango de tensión con el que trabaja de entrada de tensión es de 38 – 66 V. Mientras que la salida está a 230V.



Ilustración 23: inversor Victron Energy

La eficacia máxima es del 96%.

5.6 Cableado

El cable va a ser el encargado de transportar la energía eléctrica en corriente continua entre los diferentes componentes de la instalación, desde que es generada en el panel solar, hasta que por último es llevada al inversor, donde esta corriente pasa de continua a alterna.

En el caso del cable solar, por lo general, debe transportar corrientes mucho más elevadas que en el resto de los casos, ya que la instalación tiene una tensión baja en comparación con las instalaciones de consumo. Ya que las caídas de tensión y las pérdidas de energía dependen de la corriente, el cable tendrá una sección mayor que los cables de consumo.

Se pueden diferenciar tres tramos que formaran parte del recorrido del cable:

- Del panel solar al regulador.
- Del regulador a la batería.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

- De la batería al inversor.

En los cables utilizados para unir los diferentes paneles solares, lo habitual es que la sección del cable sea de 6 mm^2 , y se estima que se necesitarán unos 2,5 metros debido a los paneles.

Mientras que en el caso de la unión de los paneles solares con el regulador, la sección suele ser de 16 mm^2 . Como se ha especificado en el apartado anterior, en esta instalación se utilizará un cable de 35 mm^2 de sección.

Del mismo modo será la sección que unan los tramos del regulador a la batería y de la batería al inversor.

Por lo que se utilizará un cable fabricado por una misma empresa en todos los tramos, pero de diferente sección para cada uno de ellos.



Ilustración 24: cable solar

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 Inversión

En este apartado se procederá a realizar un estudio económico sobre la instalación, se hará una aproximación del valor del valor de costes de la instalación y también se estudiará cuánto dinero se ahorraría con los paneles solares en los diferentes meses del año, ya que la instalación ha sido creada para aprovechar el máximo el mes de junio, por lo que los meses más alejados de este, apenas se aprovechará la energía solar. De tal forma que obtendremos con el coste de la instalación y el dinero ahorrado por año, el tiempo de amortización de los paneles.

Para empezar con este análisis económico, se procede a exponer en la siguiente tabla el valor de cada uno de los componentes utilizados en la instalación.

Elemento	Nº	Coste unitario	Coste total
Paneles	30	209,00 €	6.270,00 €
Soportes	10	87,54 €	875,40 €
Baterías	4	653,39 €	2.613,56 €
Regulador	2	666,31 €	1.332,62 €
Inversor	1	2.790,44 €	2.790,44 €
		TOTAL	13.882,02 €

Tabla 10: Coste elementos

Teniendo en cuenta todos los elementos necesarios para realizar la operación, la inversión total necesaria que obtenemos de los componentes es de 13.882,02 €.

Si tenemos en cuenta otros gastos debidos a imprevistos, o a gastos financieros o indirectos, nuestro presupuesto quedaría:

COSTES DIRECTOS		13.882,02 €
Indirectos	2%	277,64 €
SUBTOTAL 1		14.159,66 €
Imprevistos	3%	424,79 €
SUBTOTAL 2		14.584,45 €
Financieros	2%	291,69 €
TOTAL INSTALACIÓN		14.876,15 €

Tabla 11: Gastos totales instalación

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Para diferenciar de forma visual donde se queda la mayor parte de nuestro presupuesto, se procede a insertar un gráfico con los valores de cada componente:

Coste total de instalación por componentes

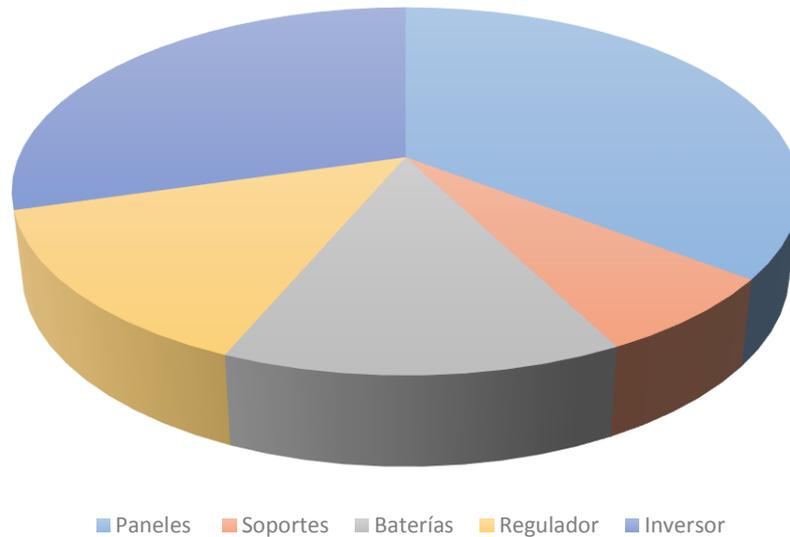


Ilustración 25: Gráfico coste seccionado

De tal forma que se puede observar como la mayor parte del coste de la instalación se debe fundamentalmente a los paneles y al inversor. (En la gráfica anterior, los valores de los componentes están en función del coste directo de la instalación).

6.2 Ahorro

A continuación se procede a estudiar la cantidad de dinero ahorrada durante el año en función del mes mediante nuestra instalación.

Para ello, se van a tomar datos de la cantidad de energía que la vivienda va a ser capaz de autoabastecerse, de tal manera que multiplicando esa energía por el precio de mercado de la red eléctrica, concretamente de los datos de energía de Iberdrola, que es la empresa contratada por la vivienda para el suministro de energía, se pueda obtener el dinero que la vivienda ahorra mensualmente con la instalación.

Debido a la alta demanda de energía que requiere la vivienda, se contrata el plan estable de Iberdrola con una potencia de 5,5 kW.

De tal forma que en la propia página de Iberdrola se pueden encontrar los siguientes datos:



Ilustración 26: Datos económicos Iberdrola

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

Como se puede observar, existe un coste fijo y uno variable en función del consumo. En el caso de la vivienda que se está estudiando, al tener contratada una potencia de 5,5 kW, el coste fijo que pagaremos mensualmente (realmente en la página viene como periodo promocionado, pero se entiende que estos periodos son por lo general contados por meses). Mientras que el coste variable será de 0,126988 euros por cada kWh.

Como la instalación ha sido creada para obtener el máximo rendimiento en junio, que va a ser el mes que más radiación tengamos, lo primero que se debe estudiar es cuanta energía van a generar los paneles en los meses que no sean junio, de tal manera que con los datos obtenidos de radiación que se pueden observar en la tabla 3, se va a realizar un porcentaje, para ver cuanta energía menos generará el sistema en los diferentes meses.

De tal forma que:

	Meteonorm	% respecto a Junio
Enero	1,35	24,68%
Febrero	2,11	38,57%
Marzo	3,32	60,69%
Abril	4,23	77,33%
Mayo	5,06	92,50%
Junio	5,47	100,00%
Julio	5,35	97,81%
Agosto	4,68	85,56%
Septiembre	3,77	68,92%
Octubre	2,58	47,17%
Noviembre	1,53	27,97%
Diciembre	1,13	20,66%
Anual	3,38	61,79%

Tabla 12: porcentaje de generación mensual

Al final del apartado 3 se ha obtenido que el consumo diario de energía de la vivienda era de 14,117 kWh sumando lo consumido por electrodomésticos y por iluminación, por lo que se obtendrá un consumo anual de 5.152,71 kWh.

Por lo tanto, si se considera que el consumo es estable durante todo el año, el consumo mensual sería de 429,39 kWh.

Al crear la instalación de tal forma que se maximice su uso en junio, el mes de junio no se va a consumir energía de la red, mientras que en el resto de meses, el consumo de energía será en función del porcentaje de generación obtenido en la tabla 12.

De tal forma que teniendo en cuenta el precio por kWh que cobra Iberdrola y el porcentaje de generación de los paneles de la instalación, se obtendrá una tabla con el dinero ahorrado en cada mes.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

	Meteonorm	% respecto a Junio	Energía generada por los paneles (kWh)	Dinero ahorrado
Enero	1,35	24,68%	105,97	13,46 €
Febrero	2,11	38,57%	165,62	21,03 €
Marzo	3,32	60,69%	260,60	33,10 €
Abril	4,23	77,33%	332,05	42,17 €
Mayo	5,06	92,50%	397,19	50,44 €
Junio	5,47	100,00%	429,39	54,53 €
Julio	5,35	97,81%	419,99	53,33 €
Agosto	4,68	85,56%	367,39	46,65 €
Septiembre	3,77	68,92%	295,94	37,58 €
Octubre	2,58	47,17%	202,54	25,72 €
Noviembre	1,53	27,97%	120,10	15,25 €
Diciembre	1,13	20,66%	88,71	11,27 €
TOTAL AHORRADO AÑO				404,53 €

Tabla 13: Ahorro anual

Como conclusiones de la tabla anterior, el mayor ahorro, como es lógico se producirá en los meses veraniegos, mientras que el ahorro en los meses invernales será mínimo. Obteniendo un ahorro anual de 404,53 euros debidos a nuestra instalación.

Además, se le debe sumar a este valor, el obtenido al reducir la potencia contratada, es decir, al disponer de energía renovable proveniente del autoconsumo parcial de la instalación, se podría contratar menos potencia de tal forma que se pasaría de una potencia contratada de 5,5 kW como se ha dicho antes a una de 2,3 kW que serían suficientes para complementar la instalación.

Por lo que habría que multiplicar la diferencia por el valor fijo de potencia:

$$5,5 - 2,3 = 3,2 \text{ kW} \rightarrow 3,2 \text{ kW} * 42,043426 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{año}} = 134,54 \text{ €} \quad (22)$$

Lo que sumaría un ahorro total de 539,07 euros.

6.3 Payback

El payback es un dato básico y sencillo dentro del análisis económico, que es vital obtener. Es un indicador que representa cuanto tiempo necesita la instalación para que la inversión inicial se convierta en rentable. De tal forma que se estudia (realizado anteriormente) el coste total de la instalación (14.876,15 euros) y el ahorro anual que supone (539,07 euros).

$$PB = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{14.876,15}{539,07} = 27,6 \text{ años} \quad (23)$$

Por lo que el periodo de tiempo que debe transcurrir desde que se crea la instalación hasta que sale rentable es de algo más de 25 años.

Por lo general, el tiempo de vida útil de una instalación fotovoltaica es de unos 40 años, aunque la garantía de los componentes no suele superar los 25 años.

Por lo tanto, el payback, al ser de 27 años coincide más o menos con el tiempo de garantía de los componentes.

6.4 VAN y TIR

Al ser la vida útil de la instalación de 40 años, se puede realizar un análisis más concreto a nivel económico mediante los indicadores de VAN y TIR.

Comenzando por el VAN, o Valor Anual Neto, su obtención se realizará mediante la fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (24)$$

Siendo:

- V_t : flujo de caja en el periodo t
- I_0 : inversión inicial
- n : número de periodos considerados
- k : tipo de interés

De tal forma que si se supone un Coste de capital inicial del 4%, se obtendría un VAN negativo del orden de -4.206,46 €.

Por otro lado, el TIR se obtiene cuando el VAN se iguala a cero, en este caso se obtiene un TIR del 2%.

Los cálculos, tablas y gráficas correspondientes a este apartado se añadirán en uno de los anexos del trabajo para que no ocupen un espacio innecesario en este apartado.

Obtenemos que el margen de beneficio del proyecto es mínimo, con un valor de TIR muy pequeño.

7. PLANIFICACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

En este apartado se realizará una descripción de la planificación de lanzamiento del proyecto, para ello se realizará primero una breve descripción de las tareas necesarias para la instalación:

- **Análisis de datos:** En este apartado del trabajo, se agruparán las diferentes tareas de reunión de información, tanto de los datos de radiación, como los datos de consumo de la vivienda y potencia de los electrodomésticos.
- **Contratación y compras:** Para este apartado, se agruparán las tareas relacionadas con la compra de los componentes necesarios para la instalación, además de la evaluación de alternativas, selección de proveedores etc.
- **Obra civil:** Esta tarea consistirá en la realización del montaje de la instalación, así como las diferentes pruebas del mismo y su final adaptación.
- **Realización de cálculos:** En esta tarea se resumirán las diferentes pruebas realizadas a la instalación una vez esté en funcionamiento, de tal manera que se evalúen los resultados y se estudie un plan de mejora.
- **Conclusiones**
- **Generación de los documentos asociados**

De tal forma que para la óptima visualización del flujo temporal, se procede a añadir al documento un diagrama de Gantt que muestre de manera clara y esquematizada las tareas y fases del diseño:

Actividad	Nombre	Fecha de inicio	Duración	Fecha de Terminación
1	Análisis de datos	15/03/2018	80	03/06/2018
2	Obtención datos radiación	20/03/2018	35	24/04/2018
3	Obtención datos potencia electrodomésticos	25/03/2018	10	04/04/2018
4	Obtención datos iluminación	30/03/2018	5	04/04/2018
5	Contratación y compras	03/06/2018	15	18/06/2018
6	Paneles	04/06/2018	3	07/06/2018
7	Baterías	07/06/2018	3	10/06/2018
8	Resto de componentes	10/06/2018	2	12/06/2018
9	Obra civil	18/06/2018	40	28/07/2018
10	Montaje inicial	20/06/2018	20	10/07/2018
11	Estudio del sistema	21/06/2018	5	26/06/2018
12	Montaje final	24/06/2018	10	04/07/2018
13	Conclusiones	28/07/2018	15	12/08/2018
14	Documentación	12/08/2018	60	11/10/2018

Tabla 14: Tareas del proyecto

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

El diagrama de Gantt reducido obtenido es el siguiente:

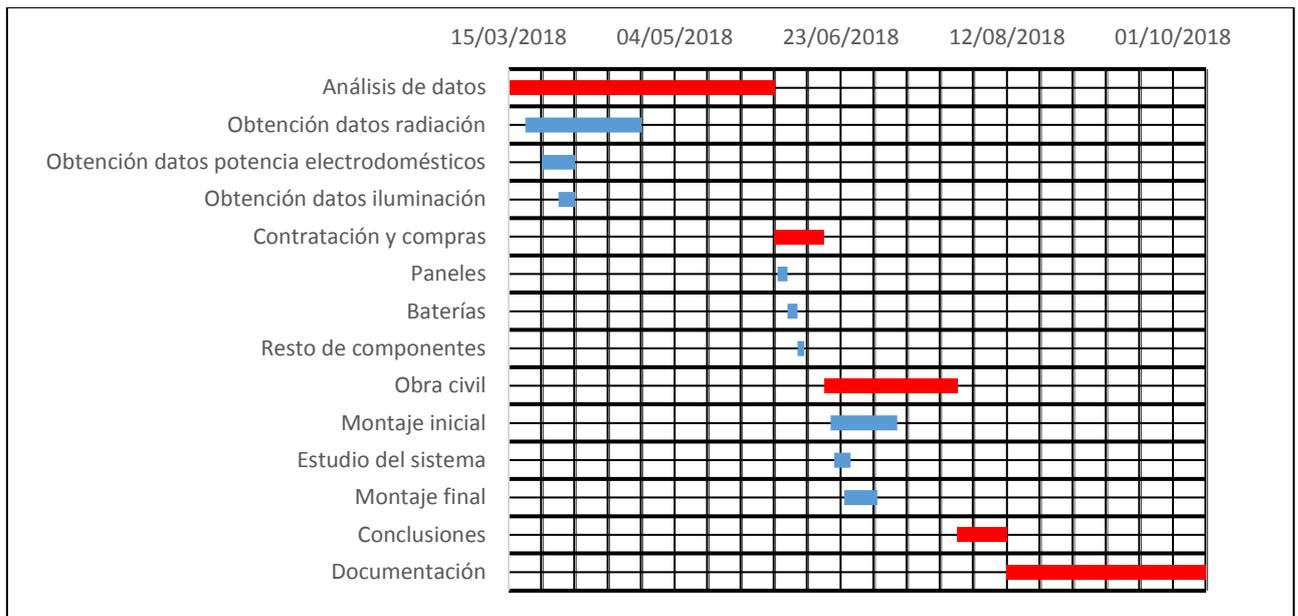


Ilustración 27: Diagrama de Gantt

Con el diagrama de Gantt se puede apreciar a primera vista el tiempo de implantación de cada una de las tareas que conforman el proyecto. En este caso se obtiene que la fecha de inicio del proyecto es el quince de marzo del 2018, mientras que su finalización se da el once de octubre del 2018.

Las tareas críticas y principales son las mencionadas anteriormente, pudiendo observar su inicio y su finalización tanto en la tabla como en el diagrama de Gantt.

8. CONCLUSIONES

En este apartado se procederá a destacar una serie de puntos que son importantes:

- En relación con las bases de datos cabe destacar que las opciones a la hora de elegir una son muy variadas, es decir, que una persona normal dispone de una gran variedad de bases de datos a nivel de radiación a su disposición. Además, los datos aportados por unas y otras no difiere mucho, salvando algunas excepciones.
- Los programas de PVsyst y Meteonorm proporcionan un extra de información en cuanto a radiación solar, pudiendo llegar a disponer de todas sus funciones en las versiones de pago. Concretamente el PVsyst dispone de un sistema muy intuitivo y completo para la creación de instalaciones fotovoltaicas ya sea aisladas o conectadas a la red.
- Los paneles han sido colocados en el tejado para provocar el mínimo impacto posible en el terreno y aprovechando la inclinación del mismo para captar más radiación solar. El espacio disponible en el tejado de la vivienda ha sido suficiente para colocar todos los paneles necesarios para la instalación.
- Al ser un barrio con vecinos, se ha de tener en cuenta que en los terrenos colindantes al de la vivienda, no se creen estructuras que puedan provocar la pérdida de rendimiento de los paneles, es decir, que no arrojen sombra sobre los paneles.
- En cuanto al análisis económico, cabe destacar, que la inversión inicial no es muy elevada. Es decir, supone un esfuerzo económico, pero tampoco tanto como para que no sea posible realizar la instalación. Además hay que ser conscientes de que una vez excedido el periodo de payback, la instalación permitirá obtener un ahorro mayor al gasto realizado.
- El hecho de que la vivienda esté conectada a la red implica dos cuestiones muy importantes para el proyecto. Por un lado, toda la energía generada por los paneles va a ser consumida por nuestra vivienda, ya que al estar dimensionada para junio, no vamos a tener excedente de energía que vayamos a perder en ningún momento. Y por otro lado, en caso de que la instalación falle o surja algún imprevisto, nuestra vivienda va a disponer siempre de energía, ya que está conectada a la red, por lo que se podrían realizar operaciones de mantenimiento

o arreglar la instalación si fuera necesario sin cortar el suministro energético de la vivienda.

- Debido al punto anterior, también se debe decir, que en el caso de no estar conectada a la red, nuestra instalación (en caso de haber sido dimensionada para el mes peor y no para el mejor) supondría un ahorro mayor económicamente, ya que se ahorraría también el precio fijo en su totalidad. Sin embargo, esto supondría la necesidad de una instalación mayor para satisfacer las necesidades de los meses invernales.
- De todas formas, el beneficio económico que obtendremos de la instalación será prácticamente nulo, ya que se deben esperar 27 años para que la instalación sea rentable. Sin embargo, los beneficios de la instalación se obtienen de otros aspectos. Por ejemplo, prácticamente la totalidad de energía consumida por la vivienda en los meses de verano será energía limpia de origen renovable, por lo que nuestra vivienda será respetuosa con el medio ambiente. Además, la instalación seguirá aportando energía limpia a la vivienda el resto del año. Otro factor a tener en cuenta es el de la capacidad de suministro de la vivienda, es decir, al estar conectada la instalación y a su vez a la red eléctrica, si una de las dos falla, la otra puede seguir aportando energía, por lo que la vivienda no se quedará sin energía en ningún momento.
- Si la instalación se hubiera dimensionado para el mes peor, y se hubiese aislado la vivienda de la red, la inversión inicial debería ser muy superior a la obtenida en este estudio, sin embargo el ahorro anual que supondría la instalación sería mucho mayor, por lo que sería interesante estudiar hasta qué punto es más rentable aislar la vivienda de la red y dimensionar para el mes peor o como en este caso, mantener la conexión a la red pero contratando menos potencia mientras se crea una instalación enfocada en aprovechar los meses de verano.
- Cabe destacar en el apartado económico que es sorprendente el volumen de dinero ahorrado anualmente simplemente por el hecho de reducir la potencia contratada, suponiendo en el caso de esta vivienda casi un 25% del total ahorrado, por lo que hay que tener en cuenta que una instalación de este tipo puede ser útil también para reducir la potencia contratada.

9. BIBLIOGRAFÍA

Vivienda

- <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/cuanta-energia-consume-una-casa-571584#>
- http://www.ine.gob.ni/DAC/consultas/Tabla_Aparatos_Elec_Agost10.pdf
- https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Consumo_de_algunos_electrodom%C3%A9sticos
- <https://www.yaencontre.com/noticias/energia/la-potencia-necesitan-mis-electrodomesticos/>
- <http://www.electrocalculator.com/tabla-agrupada.php>

Radiación

- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html
- <https://www.nasa.gov/>
- <http://www.meteonorm.com/>

Componentes

- https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios?gclid=CjwKCAjw1ZbaBRBUEiwA4VQCIYxfFhQMKKprWQfN9wdKPKJ-Sk_TnsNHVTS9Yv5fgcgEZqYcBxj3TxoCpQkQAvD_BwE
- <http://www.shop.ilportaledelsole.com/300W-Solar-Panel-Monocrystalline-24V>
- <https://www.tutiendaenergetica.es/bateria-estacionaria-enersys-hawker-powersafe-5-opzs-250>
- https://www.teknosolar.com/inversor-phoenix-48-5000?gclid=CjwKCAjw1ZbaBRBUEiwA4VQCIa-W6DXljL1yO-0HJb7jy-46anRniPQRt5j5q9cNMZG9vu8bG4HphoCnNwQAvD_BwE
- <https://www.photovoltaik4all.de/solarmodule/aleo-s19-300-watt-mono-high-efficiency>

Dimensionamiento

- Apuntes asignatura Generación Solar

ANEXO I

NORMATIVA APLICABLE

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

La normativa que regula el autoconsumo fotovoltaico se encuentra recogida en el real decreto 900/2015. Anteriormente tuvo lugar la reforma eléctrica del Gobierno en julio de 2013 que añadió al boe datos sobre el autoconsumo fotovoltaico. Los decretos que recogían información eran:

- LEY 54/1997
- REAL DECRETO 661/2007
- REAL DECRETO LEY 1/2012
- REAL DECRETO 1955/2000
- REAL DECRETO 1699/2011
- REAL DECRETO 842/2002
- REAL DECRETO 1110/2007
- REAL DECRETO 900/2015

Con la Ley 54/1997 del 27 de noviembre se inició un proceso de liberalización en las actividades de generación y comercialización de energía eléctrica. Destacan los siguientes artículos de dicha Ley:

- ARTÍCULO 1.1
- ARTÍCULO 9
- ARTÍCULO 27

En cuanto al tipo de modalidad de instalación la Ley recoge dos modalidades diferentes:

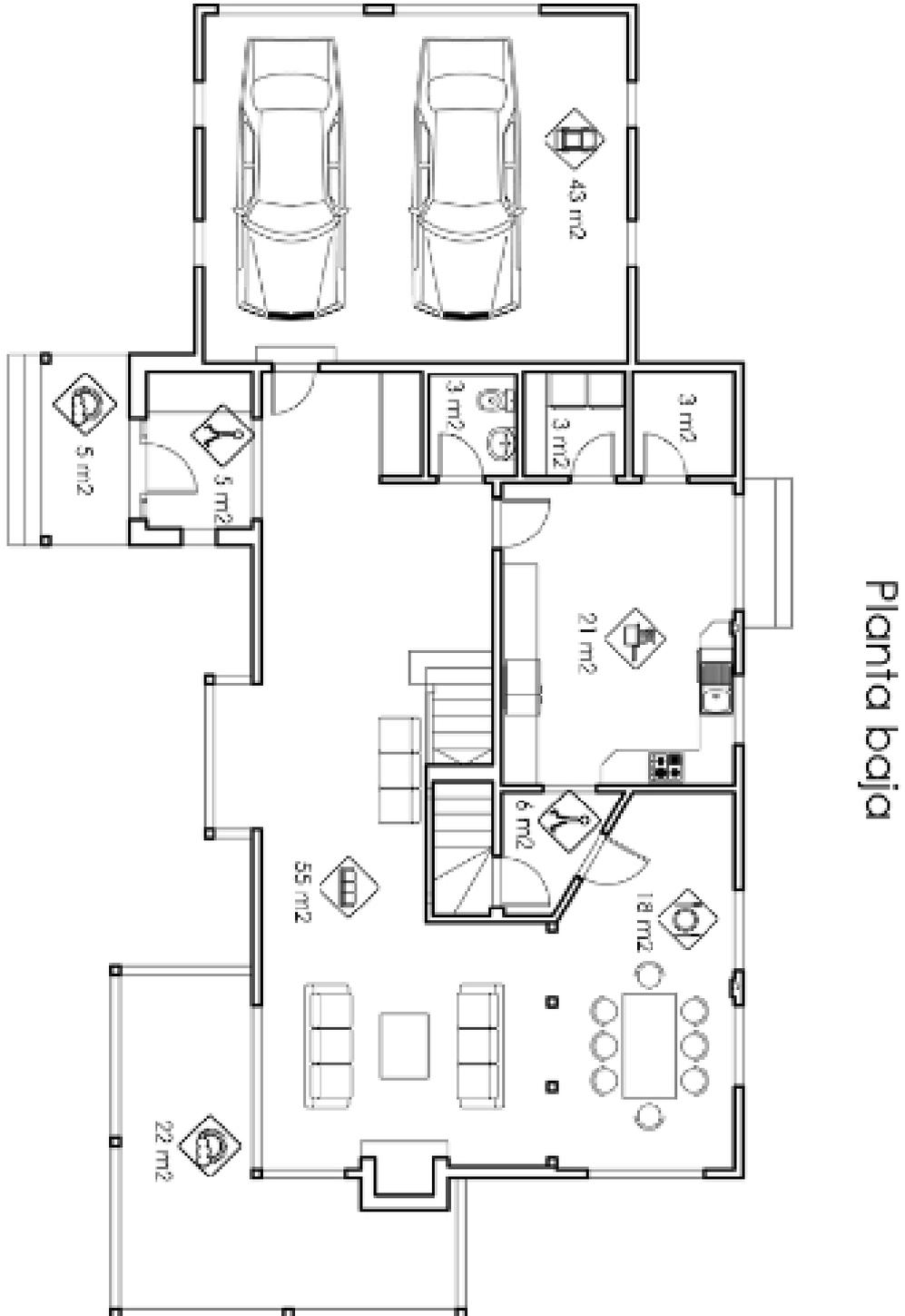
1. Modalidad de autoconsumo tipo 1 (único punto de suministro, que disponga de red interior y no esté dada de alta en el correspondiente registro).
2. Modalidad de autoconsumo tipo 2 (consumidor de energía eléctrica en un punto de suministro que está asociado a una o varias instalaciones inscritas en el registro o que compartan infraestructura de conexión con una línea directa).

ANEXO II

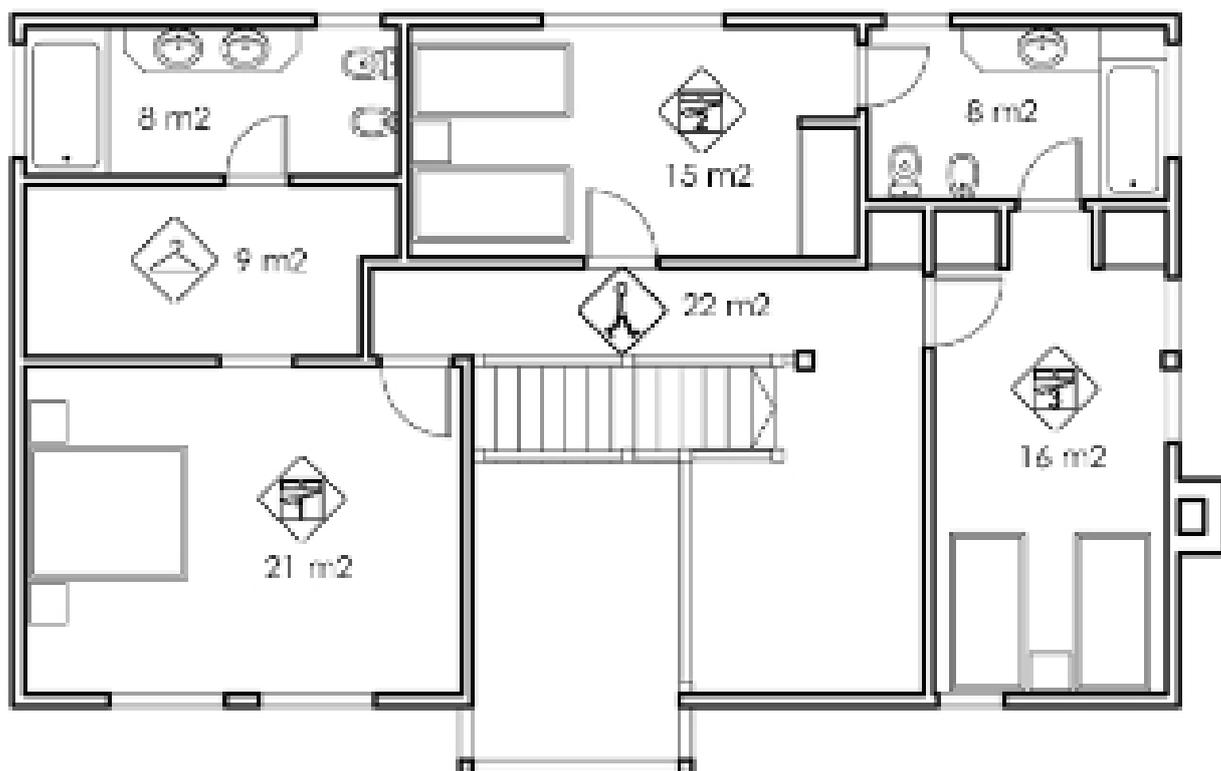
PLANOS DE LA VIVIENDA AMPLIADOS

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

PLANOS AMPLIADOS DE LA VIVIENDA:



Planta primera



ANEXO III

GRÁFICAS Y TABLAS DE VAN Y TIR

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

TABLAS Y GRÁFICA DE VAN Y TIR EN FUNCIÓN DEL COSTE DE CAPITAL

GRÁFICA DE FLUJO DE CAJA:

	INGRESOS	GASTOS	FLUJO DE CAJA
Año 0	0	-14.876,15 €	-14.876,15 €
Año 1	539,07 €	0	539,07 €
Año 2	539,07 €	0	539,07 €
Año 3	539,07 €	0	539,07 €
Año 4	539,07 €	0	539,07 €
Año 5	539,07 €	0	539,07 €
Año 6	539,07 €	0	539,07 €
Año 7	539,07 €	0	539,07 €
Año 8	539,07 €	0	539,07 €
Año 9	539,07 €	0	539,07 €
Año 10	539,07 €	0	539,07 €
Año 11	539,07 €	0	539,07 €
Año 12	539,07 €	0	539,07 €
Año 13	539,07 €	0	539,07 €
Año 14	539,07 €	0	539,07 €
Año 15	539,07 €	0	539,07 €
Año 16	539,07 €	0	539,07 €
Año 17	539,07 €	0	539,07 €
Año 18	539,07 €	0	539,07 €
Año 19	539,07 €	0	539,07 €
Año 20	539,07 €	0	539,07 €
Año 21	539,07 €	0	539,07 €
Año 22	539,07 €	0	539,07 €
Año 23	539,07 €	0	539,07 €
Año 24	539,07 €	0	539,07 €
Año 25	539,07 €	0	539,07 €
Año 26	539,07 €	0	539,07 €
Año 27	539,07 €	0	539,07 €
Año 28	539,07 €	0	539,07 €
Año 29	539,07 €	0	539,07 €
Año 30	539,07 €	0	539,07 €

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO PARCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL REGATO

VALOR DEL VAN EN FUNCIÓN DEL COSTE DE CAPITAL:

Coste Capital	-4.206,46 €
0%	6.686,65 €
1%	2.824,04 €
2%	-129,63 €
3%	-2.415,67 €
4%	-4.206,46 €
5%	-5.626,20 €

