

Trabajo Fin de Grado

Integración solar fotovoltaica para reducción del consumo eléctrico del municipio de Banastás

Photovoltaic solar integration for electric consum
reduction of Banastás small village

Autora

Silvia Casas Aguirre

Director

José Francisco Sanz Osorio

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2019

RESUMEN

En la actualidad se está fomentando el uso de las energías renovables para la generación de energía eléctrica. La energía solar fotovoltaica es una de las energías que más se está incrementando en los últimos años. Esto se debe a la disminución del precio de los módulos fotovoltaicos y a un ligero aumento de su rendimiento. Uno de los objetivos de este trabajo es analizar y comparar la generación de energía fotovoltaica respecto al consumo eléctrico en el municipio de Banastás, Huesca.

Dicha localidad, ha sido dividida en Ayuntamiento, industria, naves o almacenes, viviendas principales y viviendas de uso vacacional. Se ha analizado la producción de energía fotovoltaica de los módulos instalados en los tejados mediante el programa Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), y se ha comparado con el consumo eléctrico en cada grupo. A su vez, se ha realizado un análisis del tipo de instalación, conectada a red o aislada además de un análisis de la rentabilidad económica del tipo de instalación seleccionada. El estudio se completa con una comparación de las instalaciones fotovoltaicas individuales y colectivas.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is one of the energies that is increasing the most in recent years. This is due to the decrease in the price of photovoltaic modules and a slight increase in their performance. One of the objective of this work is to analyze and compare the generation of photovoltaic energy with respect to grid electricity consumption in the municipality of Banastás, Huesca.

This town has been divided into City Hall, industry, warehouses or warehouses, main houses and holiday homes. The photovoltaic energy production of the modules installed on the roofs was analyzed using the program of the Photovoltaic Geographic Information System (PVGIS), and compared with the electricity consumption in each group. In turn, an analysis of the type of installation, connected to the network or isolated, as well as an analysis of the economic profitability of the type of installation selected has been performed. The study is completed with a comparison of individual and Local Community Energy (LCE).

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría comenzar el trabajo agradeciendo a todas las personas que han contribuido para hacerlo posible.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi director, José Francisco Sanz Osorio su dedicación y ayuda en la resolución de cualquier problema.

Quiero agradecer también a todos los vecinos de Banastás, al personal del Ayuntamiento y de Industrias Anjosa por su colaboración y ayuda al ceder sus facturas de consumo eléctrico.

Para terminar, quiero agradecer a toda mi familia por todo su apoyo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
2.1 Fuentes de energía.....	1
2.2 Fuentes de energía renovables	2
2.3 Consumo de energía.....	3
2.4 Energía eléctrica.....	4
2.5 Generación de energía eléctrica en España.....	5
2.6 Energía solar.....	5
2.7 Energía solar fotovoltaica.....	8
2.8 Efecto fotoeléctrico.....	15
3. NORMATIVA	17
3.1 Instalaciones conectadas a red	17
3.2 Instalaciones aisladas	18
4. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO	19
5. CÁLCULO DE LA INCLINACIÓN Y AZIMUT ÓPTIMOS	20
6. GENERACIÓN ANUAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA	22
7. CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL	25
7.1 Consumo de las viviendas principales.....	25
7.2 Consumo Ayuntamiento y zonas comunes	28
7.3 Consumo de los almacenes o naves	28
7.4 Consumo de las viviendas de uso vacacional	28
7.5 Consumo en la industria	29
7.6 Consumo total en el pueblo	30
8. TIPOS DE INSTALACIONES	31
8.1 Instalaciones conectadas a red	33
8.2 Instalaciones aisladas	40
9. RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED	40
10. INSTALACIONES COLECTIVAS	50
11. CONCLUSIONES	56
12. BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	60

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Tejados numerados del municipio

ANEXO II: Características técnicas del módulo fotovoltaico

ANEXO III: Inclinación de los tejados

ANEXO IV: Cálculo de los parámetros de cada grupo

ANEXO V: Producción de los módulos del municipio

ANEXO VI: Consumo Ayuntamiento y zonas comunes

ANEXO VII: Consumo total en el municipio

ANEXO VIII: Precios de las tarifas de Endesa

ANEXO IX: Cálculo del coste de la electricidad en la industria

ANEXO X: Costes de los inversores

ANEXO XI: Consumo en el mes más desfavorable

ANEXO XII: Cálculos de la instalación colectiva del primer grupo

ANEXO XIII: Cálculos de la instalación colectiva del segundo grupo

ANEXO XIV: Cálculos de la instalación colectiva del tercer grupo

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es una forma de generar energía de forma limpia que permite una menor dependencia de la red eléctrica. Hasta este año, la normativa referente al autoconsumo de energía era muy restrictiva y con muchos inconvenientes, pero con el reciente Real Decreto 244/2019 se facilita y promueve este tipo de energía.

Con este trabajo se pretende analizar la potencia que podría ser instalada para generar energía fotovoltaica en el municipio de Banastás. Para la instalación de módulos se va a medir la superficie de los tejados orientados al sur, y así obtener la energía que se podría generar. Esta energía se va a calcular mediante el programa PVGIS.

Por otra parte, para poder comparar la generación con el consumo, se van a obtener datos de consumos de varios habitantes del pueblo y otros, se van a estimar.

Una vez obtenidos los consumos y la generación de energía del pueblo, se van a analizar dos tipos de instalaciones fotovoltaicas, aislada y conectada a red, y se va a calcular su rentabilidad.

Para concluir el trabajo se va a comparar una instalación solar fotovoltaica individual y colectiva.

Por último, remarcar que la bibliografía de este trabajo se ha realizado con el gestor bibliográfico Mendeley.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 FUENTES DE ENERGÍA

La energía se produce en diferentes fuentes y se almacena de distintas formas. Estas fuentes se pueden clasificar en primarias y secundarias, dependiendo de si se puede utilizar directamente la energía o si es necesario transformarla. Otra forma de clasificar las fuentes de energía es en renovables o no renovables [1].

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales como el sol, viento, agua, biomasa vegetal y animal. La energía de estas fuentes se caracteriza por ser inagotable a escala humana, unas debido a la capacidad de regenerarse por medios naturales y otras por la inmensa cantidad de energía que contienen [2].

2.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Las principales fuentes de energía renovables son las siguientes:

- Biomasa: el nombre genérico hace referencia a la sustancia constituida por los seres vivos, la cual almacena energía que podrá ser utilizada de diferentes formas, principalmente de combustión para calentamiento directo, sistemas de calefacción y/o producción de biocombustibles (etanol, metanol, metano). También los residuos orgánicos pueden ser usados en plantas de generación de electricidad mediante turbinas de gas [1].
- Energía hidráulica: es la energía que se obtiene de saltos de agua. Mediante turbinas hidráulicas se extrae la energía de un salto de agua, transformándola en energía mecánica de rotación, que acoplándolas con un eje de un alternador que le produce el movimiento necesario para generar energía eléctrica [3], [4].
- Energía eólica: es la energía que se extrae del viento. Se utiliza su fuerza para generar electricidad mediante , generalmente, aerogeneradores [4], [5].
- Energía solar: el Sol produce constantemente energía electromagnética que llega a la Tierra, siendo esta radiación su principal fuente de energía.

La energía solar puede transformarse directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas o de forma indirecta, a través de sistemas térmicos de concentración que son utilizados para producir el vapor que mueve las turbinas generadoras. La energía solar puede subdividirse en tres grupos:

- Energía solar directa: una de las aplicaciones de energía solar es directamente como luz solar, utilizada para la iluminación de recintos.
- Energía solar térmica: energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento. Como por ejemplo, la climatización de viviendas o la calefacción.
- Energía solar fotovoltaica: energía solar aprovechada por medio de células fotoeléctricas, capaces de convertirla en un potencial eléctrico, sin que tenga lugar un efecto térmico [1], [4].
- Energía geotérmica: energía que consiste en extraer calor del magma incandescente de la Tierra, por medio de vapor, es decir, se aprovecha el calor del subsuelo para climatizar, tanto para calefacción, refrigeración y Agua Caliente Sanitaria (ACS) [4], [6].
- Energías marinas: dentro de estas existen tecnologías claramente diferenciadas, en función del tipo de aprovechamiento energético como es la energía de las corrientes, la energía de las olas, la energía de las mareas, la energía maremotérmica y la energía del gradiente salino [7].

2.3 CONSUMO DE ENERGÍA

Actualmente el porcentaje de utilización mundial de energías fósiles esta en torno a un 85%, pero como se puede observar en la *Ilustración 1*, se está produciendo un auge de las energías renovables. Esto se debe a que tienen un escaso impacto ambiental al generar pocos o nulos contaminantes y no emplear recursos finitos [8].

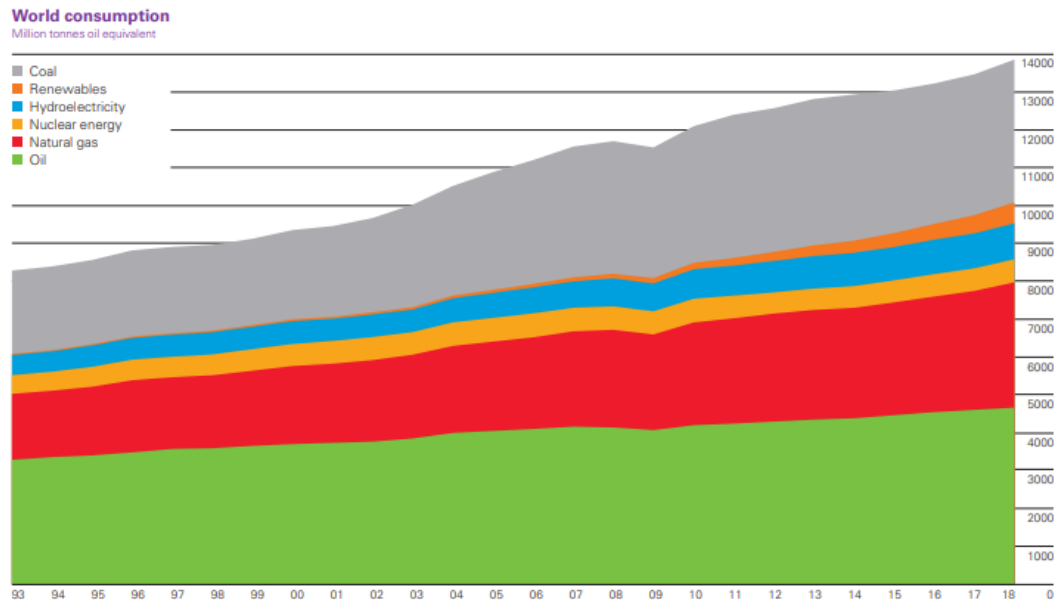


Ilustración 1. Consumo energía global en 2018.

Fuente: BP Statistical Review

En 2018, el consumo de energía total aumentó un 2,9%, pero los aumentos más significativos se dieron en la demanda del gas natural (aumentando hasta un 48% del consumo total) y en las energías renovables (alcanzando un 18% de la demanda).

En Europa la demanda de combustibles fósiles fue de un 72% y la de fuentes de energía renovables (sin incluir la energía hidráulica) de un 8%.

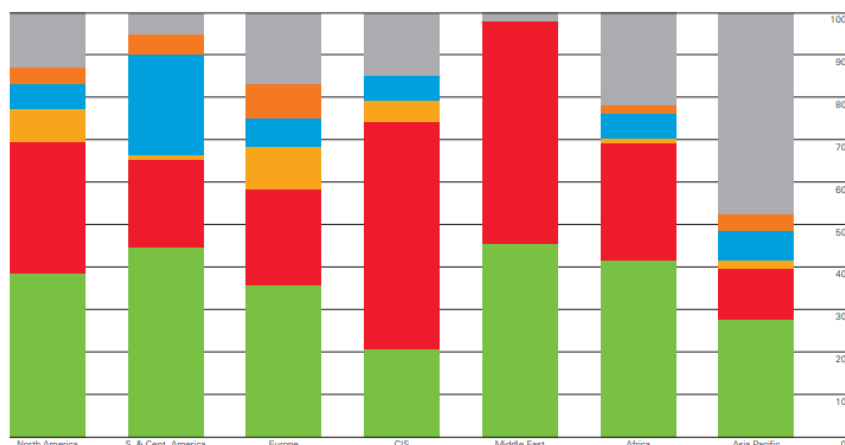


Ilustración 2. Consumo de energía primaria en % en Europa en 2018.

Fuente: BP Statistical Review

En España el consumo de energías renovables es superior a la media de Europa, pero sigue siendo muy inferior respecto a el consumo de combustibles fósiles.

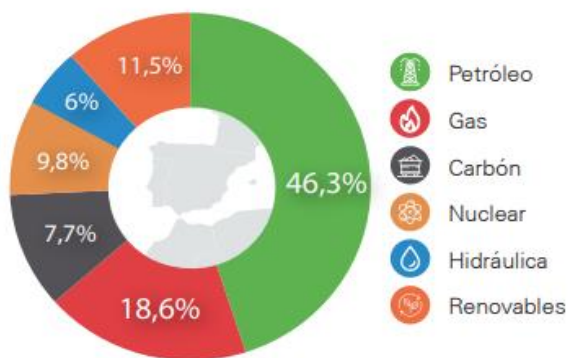


Ilustración 3. Consumo de energía primaria en España en 2016.

Fuente: BP Statistical Review.

2.4 ENERGÍA ELÉCTRICA

La electricidad es la principal energía secundaria y permite su transporte entre lugares lejanos de forma económica y eficaz. La generación de electricidad a gran escala se realiza en centrales eléctricas que pueden clasificarse en varios tipos dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada.

Los tipos de centrales eléctricas son las centrales térmicas, las centrales hidroeléctricas, las centrales nucleares y las centrales de energías renovables. Estas últimas centrales se dividen en parques eólicos, centrales solares térmicas de alta temperatura, centrales marinas, centrales de olas, centrales geotérmicas y por último están las centrales solares fotovoltaicas [2].

2.5 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA

En España, en el año 2018, la contribución de las energías renovables a la generación de electricidad supuso un 40,1% del total, produciéndose un gran aumento respecto al 2017 que fue un 33,7%. Este aumento se debe, en gran parte, al aumento de la generación en las centrales hidráulicas [9].

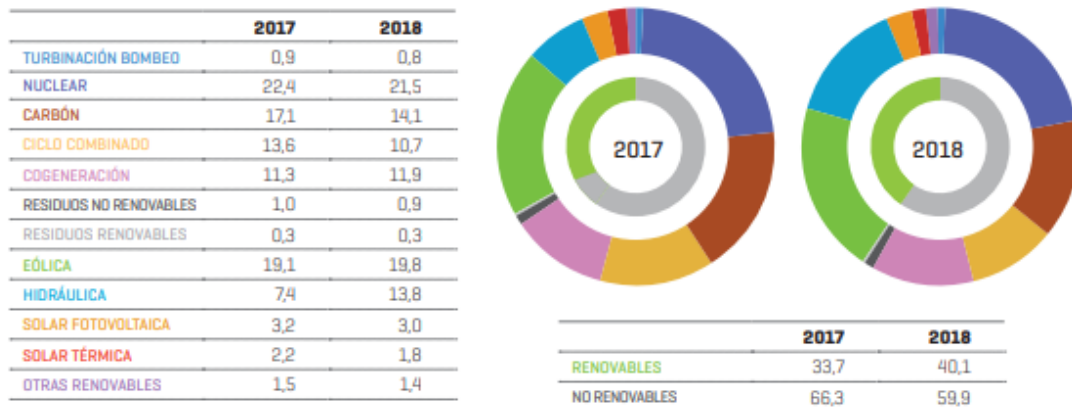


Ilustración 4. Generación eléctrica (%) en España en el 2017 y 2018.

Fuente: Red Eléctrica de España.

2.6 ENERGÍA SOLAR

La energía solar, como su nombre indica, es la energía procedente del Sol. El Sol es una estrella con forma de disco cuya forma es esférica con un diámetro de aproximadamente 1.392.000 km y su masa de $1,9891 \times 10^{30}$ kg, unas 332.981 veces la masa de la Tierra. La composición del Sol es de un 74,9 % H₂; 23,8 % He; 1% O₂; 0,3% metales. En el Sol se pueden distinguir cinco regiones: atmósfera (corona y cromosfera), fotosfera, zona convectiva, zona radiativa y núcleo [1], [10].



Ilustración 5. Regiones del Sol.

Fuente: sites.google.com/site/astronomia

La fuente de toda energía solar se encuentra en su núcleo, en el que se producen las reacciones de fusión nuclear. En este proceso cuatro átomos de hidrógeno se fusionan para producir uno de helio.

Esta energía emitida por el Sol se desplaza por el espacio en forma de onda electromagnética. Al incidir las ondas electromagnéticas sobre los medios materiales, ceden su energía en forma de fotones (partículas sin masa).

La energía solar que llega a la capa exterior de la atmósfera se distribuye en diferentes longitudes onda, lo que constituye el espectro solar extraterrestre. La única banda visible es entre $0,38\mu\text{m}$ y $0,78\mu\text{m}$ [1].

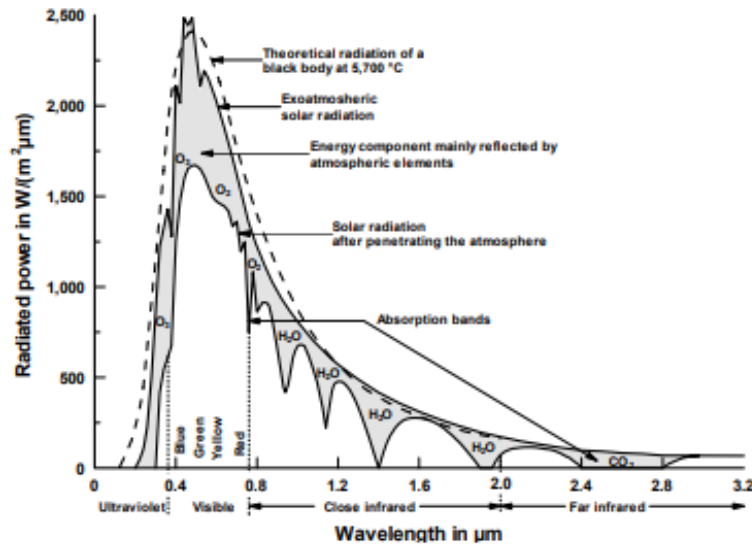


Ilustración 6. Irradiancia espectral.

Fuente: Renewable Energy. Tecnology, Economis and Enviroment Martin Kaltschmitt el Al. Springer.

Debido a la excentricidad de la eclíptica, la distancia de la Tierra al Sol varía y la irradiancia o energía solar recibida en el exterior de la atmósfera, será diferente para cada día del año y su valor está dado por la siguiente expresión [1]:

$$G_{on} = G_c * [1 + 0,034 * \cos \frac{360 * n}{365,25}]$$

Siendo:

- N: día del año contado desde el 1 enero.
- G_c : constante solar, 1.367 W/m^2 .
- G_{on} : irradiancia diaria del día depende del mes del año.

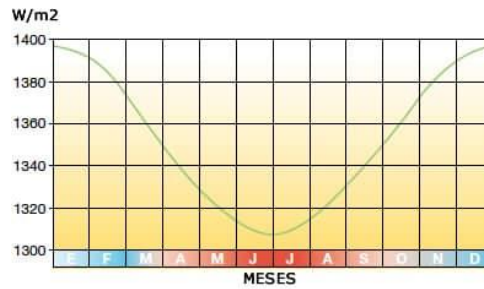


Ilustración 7. Variación de la radiación solar extraterrestre (Gon).

Fuente: SunFields Europa.

Los mecanismos de difusión dentro de la atmósfera de la Tierra causan que la radiación solar que se recibe en la superficie terrestre sea de tres tipos: radiación directa (Gd), difusa (Gs) y reflejada (Gr). La radiación directa es la que incide directamente sobre una superficie, la radiación difusa es la absorbida y difundida por la atmósfera y por último la radiación refleja es aquella que antes de incidir sobre una superficie es reflejada en la superficie terrestre. La suma de estas tres radiaciones es la radiación global (G) [11].

$$G = Gd + Gs + Gr$$

- Radiación directa a nivel del suelo: es la radiación recibida por el Sol sin que sus rayos hayan variado de dirección. La radiación directa depende de los siguientes ángulos que varían en función de la posición en la tierra, la hora y el día del año:
 - Declinación solar: debido a la inclinación de la Tierra sobre su eje de rotación y a la rotación de la Tierra alrededor del sol.
 - Altura solar: altura de los rayos sobre la superficie horizontal.
 - Ángulo acimutal (azimut): ángulo de giro del Sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el Sur, si estamos en el hemisferio Norte.
 - Inclinación de la placa
- Radiación difusa: es la radiación recibida después de que los rayos del Sol hayan variado de dirección a consecuencia de fenómenos de reflexión y de dispersión en la atmósfera (nubes, tormentas, etc.).
- Radiación reflejada o de albeldo: es aquella recibida por una superficie después de que la radiación solar se encuentre reflejada sobre un cuerpo cercano [12].

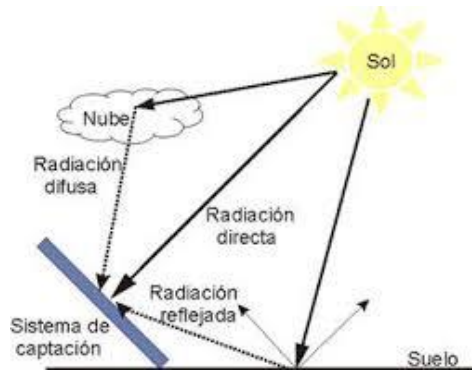


Ilustración 8. Tipos de radiación solar.

Fuente: monografías.com

Los aparatos con los que se mide la radiación solar reciben los nombres de piranómetro, cuya función es medir la radiación global o difusa, si se le añade un anillo de sombra; el pirheliómetro, encargado de medir la radiación directa y por último el pirgeómetro que mide la radiación reflejada [13].

España recibe una elevada radiación solar en el sur de la península y valores más bajos en el norte como se puede observar en la *Ilustración 9* [14].

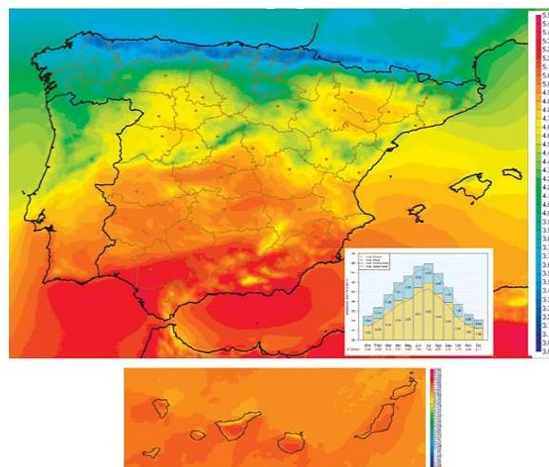


Ilustración 9. Radiación solar en España.

Fuente: AEMET.

2.7 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Con el término fotovoltaico se designan los distintos fenómenos y tecnologías que permiten la conversión directa de la energía de la radiación solar en energía eléctrica mediante el empleo de células solares. El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Edmund Becquerel en 1.839, pero no fue hasta 1.941 cuando se fabricó la primera célula solar de selenio, con la que se

conseguía una eficiencia del 1%. Desde entonces se han producido grandes avances que han hecho de la tecnología fotovoltaica una tecnología madura y fiable [1].

La principal ventaja de la energía solar fotovoltaica es que se genera energía de forma limpia, renovable y silenciosa. Además, los paneles fotovoltaicos son modulares y tienen una fácil instalación. Por el contrario, las desventajas o inconvenientes son la dificultad de almacenamiento, un complejo y caro proceso de fabricación de los módulos, una elevada inversión inicial y una producción de energía variable según la climatología y la época del año.

Tipos de instalación fotovoltaicas

Existen dos tipos fundamentales de instalaciones solares fotovoltaicas y dependen de su configuración a la hora de conectarse a la red o no.

- Conectadas a red: Instalaciones que se encuentran conectadas a la red eléctrica que les proporciona electricidad en los momentos en los que no se genera electricidad suficiente. Con la actual legislación las instalaciones conectadas a red se subdividen en varios tipos dependiendo del excedente de energía:

- Autoconsumo sin excedentes: necesitan un equipo que garantice que no se vierte energía a la red.
- Autoconsumo con excedentes: en ocasiones vierte electricidad a la red eléctrica.

Existen dos bloques:

- Excedentes acogidos a compensación: en la factura se compensa la energía vertida a la red.
- Excedente no acogido a compensación: excedente de energía vertido a la red, pero a diferencia del grupo anterior, el precio de la energía será el que recoja la legislación de instalaciones generadoras de electricidad.

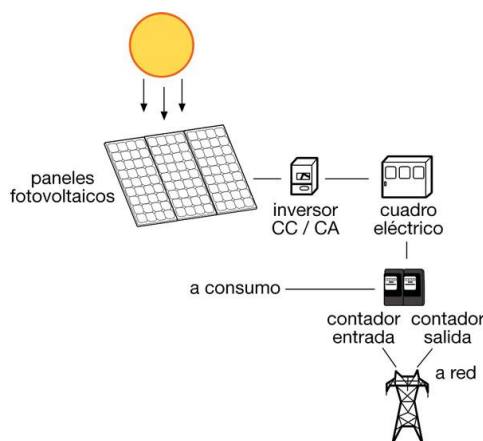


Ilustración 10. Componentes de una instalación solar fotovoltaica conectada a red.

Fuente: Energía FV.

- Instalaciones aisladas: Instalaciones que no tienen conexión a la red eléctrica, consumen únicamente lo que producen. Poseen baterías que almacenan el excedente de electricidad que producen para abastecerse en los momentos que no se produce [15].

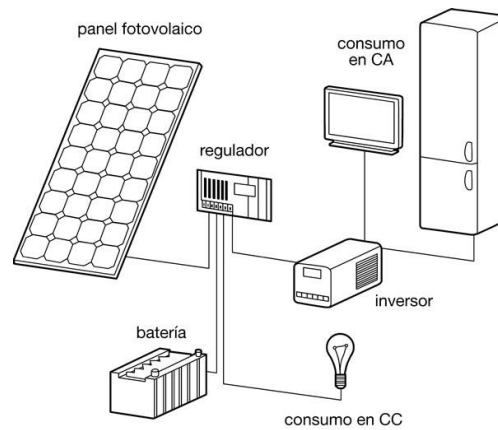


Ilustración 11. Componentes de una instalación solar fotovoltaica aislada.

Fuente: Energía FV.

La principal diferencia en las instalaciones conectadas a red y aisladas es que en las autónomas se cuenta con los acumuladores para almacenar energía y los reguladores de carga de estos, mientras que, en las instalaciones conectadas a la red, la energía no se almacena, sino que se pone a disposición de los usuarios a través de la red eléctrica.

- **Componentes de una instalación fotovoltaica**

A) Módulos fotovoltaicos

Una célula fotovoltaica está formada por materiales semiconductores y al incidir un haz de fotones sobre ellos se genera un flujo de electrones en el interior del material. Al incidir la luz se genera potencia eléctrica y cuando la luz se extingue la electricidad desaparece [16].

Generalmente la tensión proporcionada por una sola célula no tiene utilidad, al alcanzar valores del orden de 0,6 V a circuito abierto en células de silicio cuando la mayoría de los circuitos se funciona a mínimo 5 V. Por lo tanto, es necesario conectar un determinado número de células en serie o en paralelo para conseguir tensiones de utilidad y recibe el nombre de panel o módulo fotovoltaico. Además, estos paneles deberán conectarse en serie o paralelo entre sí para formar un generador fotovoltaico [16].

Existen varios tipos de células existentes en el mercado, aunque las más utilizadas son las que se fabrican con silicio monocristalino. Estas células tienen una eficiencia superior porque su estructura interna es más uniforme y presenta menos resistencia al desplazamiento eléctrico.

Dentro de los módulos monocristalinos, la célula partida incrementa la eficiencia porque mejora la respuesta del módulo cuando hay condiciones de sombra. Es aconsejable que el módulo sea el adecuado para la instalación en cuestión, por ello hay que conjugar de forma correcta que los niveles de tensión y potencia sean acordes a los equipos que vayan conectados. El módulo fotovoltaico escogido también debe cumplir unos mínimos de calidad que aseguren la amortización de la instalación en el tiempo esperado. Teniendo en cuenta esto, se sabrá qué tipo de módulo se necesita:

- Módulos de 36 células: hasta 150 Wp (Vatios/pico) y con precios de 0,64 -0,8 €/Wp.
- Módulo de 60 células: hasta 300 Wp (Vatios/pico) y con precios de 0,37 -0,74 €/Wp.
- Módulo de 72 células: hasta 350 Wp (Vatios/pico) y con precios de 0,37 -0,72 €/Wp.
- Módulo de 120 y 144 células: con eficiencias entre 19% y 22% y con precios de 0,41 - 1,02 €/Wp.

La garantía de los módulos solares actuales es de 25 a 30 años para los monocristalinos y entre 20 y 25 años para los policristalinos [17].

Las células fotovoltaicas son muy frágiles y sensibles a la humedad y al polvo por lo que deben protegerse de forma adecuada mediante una superficie transparente que suele ser de vidrio templado de bajo contenido en hierro (cristal). Entre el vidrio y las células se sitúa el material encapsulante, cuya misión es impedir la entrada de agua y polvo y reducir las pérdidas por reflexión. La cubierta posterior suele ser de Tedlar u otro vidrio que permita que los paneles se puedan emplear como cerramientos semitransparentes en edificios. El panel fotovoltaico se completa con un marco, generalmente de aluminio, para darle mayor protección y facilitar su montaje en instalaciones [1].

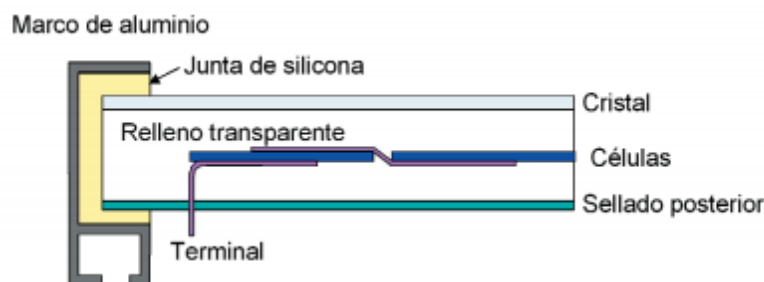


Ilustración 12. Esquema de un módulo fotovoltaico.

Fuente: Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación.

Un módulo o panel fotovoltaico se suele caracterizar por su potencia pico, que es la potencia que suministraría en el punto de máxima potencia en condiciones estándar, es decir bajo una irradiancia de 1.000 W/m², una temperatura de célula de 25°C y un espectro de 1,5 AM (masa de aire). El rendimiento máximo de un panel suele ser algo menor que el de las células individuales,

debido a los espacios que quedan sin cubrir con material fotovoltaico. En la *Ilustración 13* se representa la curva de trabajo de un módulo o panel fotovoltaico.

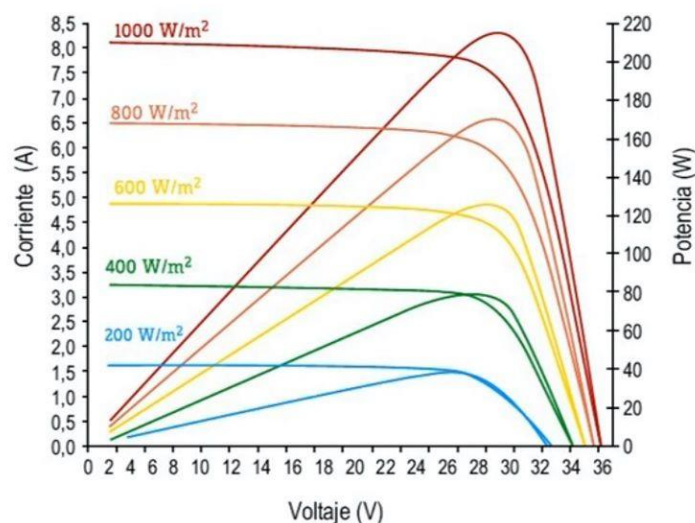


Ilustración 13. Curva I-V del funcionamiento de un módulo fotovoltaico.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

Los valores de tensión y corriente del módulo dependen de la insolación, de la temperatura de la célula, de la masa de aire que atraviese la radiación solar y de la resistencia óhmica de la carga conectada [3].

B) Estructura o soporte

Los módulos fotovoltaicos precisan estructuras estables, rígidas y durables que soporten el desgaste climatológico, la fuerza del viento, el peso de la nieve y otras condiciones igualmente adversas. Por eso los soportes para placas solares son una pieza fundamental para las instalaciones solares fotovoltaicas. Las estructuras se clasifican en dos bloques:

- Estructuras fijas: muy utilizadas en el ámbito de los módulos fotovoltaicos planos. Dotan a los paneles de ángulos fijos, determinados por la latitud del lugar, que maximizan la eficiencia de la instalación. Existen modelos para tejado, pared, suelo, poste e inclusive con integración arquitectónica.
- Estructuras móviles: su concepción es bastante distinta, gracias a uno o dos ejes móviles consiguen aumentar la captación solar de los módulos fotovoltaicos realizando un seguimiento del Sol (una forma similar al proceder de los girasoles, por ejemplo). Obviamente esta movilidad requiere de un consumo eléctrico y su mayor complejidad mecánica también conlleva más operaciones de mantenimiento [18].

C) Inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, iguala a la utilizada en la red eléctrica: 220V de valor eficaz y una frecuencia de 50Hz.

Este equipo es el elemento central de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la de la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total. El inversor dispone de funciones de protección, para garantizar tanto la calidad de la electricidad vertida a la red como la seguridad de la propia instalación. Los parámetros que determinan las características y prestaciones de un inversor son los siguientes:

- Potencia: determinará la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en condiciones óptimas.
- Fases: normalmente los inversores menores de 5kW son monofásicos y los mayores de 15kW son trifásicos.
- Rendimiento energético: debería ser alto en toda la gama de potencias de trabajo. Los modelos actuales del mercado tienen un rendimiento medio en torno al 90%.
- Protecciones: el inversor debería incorporar algunas protecciones generales, que como mínimo serían un interruptor automático, un funcionamiento en “isla”, un limitador de tensión máxima y mínima, un limitador de frecuencia máxima y mínima, protección contra contactos directos, protección contra sobrecargas, protección contra cortocircuitos y bajos niveles de emisión e inmunidad de armónicos [19].

D) Batería o acumulador.

La llegada de energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de acumulación de energía en las instalaciones aisladas para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizan las baterías o acumuladores.

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares o a través de un regulador de carga y pueden entregar su energía a la salida de la instalación donde sea consumida.

Uno de los parámetros más importantes a la hora de elegir un acumulador es la capacidad (Q). Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah) y depende de los siguientes parámetros [19], [20]:

$$Q = \frac{1,1 \times Ct \times D}{V \times Mpd}$$

Siendo:

- Ct: el consumo total (Wh/día)
- D: los días de autonomía, en este caso se seleccionarán 3 días.
- Mpd: la máxima profundidad de descarga. Dato proporcionado por el fabricante.
- V: la tensión de trabajo (entre 12,24 y 48 voltios). Dato proporcionado por el fabricante.

El consumo total (Ct) está compuesto por el consumo en continua (Ccc) y el consumo en alterna (Cca).

$$Ccc = \frac{100 + Eb}{100} \times Tc$$

Tc= Consumo en continua (Wh/día)

Eb: Margen de seguridad de captación (15%)

$$Cca = \frac{100 + Eb}{100} \times \frac{Tc}{Ei}$$

Ei: Eficiencia del inversor (85%)

E) Regulador de carga.

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema que de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tienen como misión evitar situaciones de carga y sobrecarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil [19].

F) Protecciones.

- Especificaciones para instalaciones aisladas:
 - Si la instalación tiene tensiones superiores a 48 V deberá tener, como mínimo, una toma de tierra conectada a la estructura soporte del generador y a los marcos metálicos de los módulos.
 - El sistema de protecciones asegurará la protección de las personas frente a contactos directos e indirectos. En caso de existir una instalación previa no se alterarán las condiciones de seguridad de esta.
 - La instalación estará protegida frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones. Se prestará especial atención a la protección de la batería frente a cortocircuitos mediante un fusible, disyuntor magnetotérmico u otro elemento que cumpla con esta función
- Toma de tierra: Se debe tener una toma de tierra del generador fotovoltaico (en la estructura soporte y marco metálicos) y otra de la instalación correspondiente a los consumos de alterna.

- Protección contra contactos directos: Esta protección consiste en tomar las medidas destinadas a proteger las personas contra los peligros que pueden derivarse de un contacto con las partes activas de los materiales eléctricos. Salvo indicación contraria, los medios a utilizar vienen expuestos y definidos en la Norma UNE 20.460 -4-41, que son habitualmente:
 - Protección por aislamiento de las partes activas.
 - Protección por medio de barreras o envolventes.
 - Protección por medio de obstáculos.
 - Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento.

También se debe proteger la instalación con interruptores diferenciales, al ofrecer una protección eficaz contra los contactos tanto directos como indirectos.

- Protección contra contactos indirectos: El corte automático de la alimentación después de la aparición de un fallo está destinado a impedir que una tensión de contacto de valor suficiente se mantenga durante un tiempo tal que puede dar como resultado un riesgo. Para evitarlo, se emplean dispositivos del tipo:
 - Dispositivos de protección de máxima corriente, tales como fusibles, interruptores automáticos.
 - Diferenciales.
- Protección contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones:
 - Sobrecargas, cortocircuitos: fusibles y magnetotérmicos (Pías).
 - Sobretensiones red (por tormentas, etc.): varistores (en los paneles) [21].

2.8 EFECTO FOTOELÉCTRICO

Debido a que la radiación solar incidente sobre la superficie de las células está comprendida entre 0,38 y 0,78 μm de longitud de onda, los materiales apropiados para su fabricación deben de ser especialmente sensibles a tal radiación ya que el efecto de concesión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material. Los materiales más utilizados en la fabricación de células son de tipo semiconductores, de manera que una célula convencional es un diodo especialmente diseñado para aprovechar con la máxima eficiencia la energía de los fotones que incide sobre su superficie.

Los electrones presentes en un átomo aislado pueden ocupar unos niveles energéticos denominados niveles permitidos, mientras que existen otros niveles que no pueden ser ocupados, niveles prohibidos. Cuando un átomo aislado pasa a formar parte de una estructura cristalina, interacciona con otros átomos próximos del cristal y los niveles energéticos sufren un desdoblamiento que da origen a bandas de energía. Aparece una banda energética más externa en la que se encuentran los electrones libres de moverse entre los distintos átomos, denominada

banda de conducción. Los electrones de las capas más externas que intervienen en los enlaces químicos se denominan electrones de valencia y ocupan la banda de valencia, que puede solaparse con la banda de conducción o quedar separada de ella por una banda prohibida.

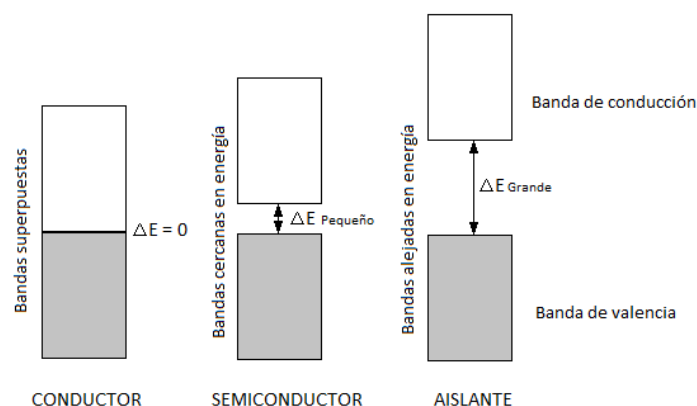


Ilustración 14. Bandas de energía.

Fuente: <http://www.quimitube.com/videos/enlace-metalico-teoria-de-bandas>

Si se expone a un material semiconductor a una temperatura superior, los átomos reciben un aporte de energía exterior y algunos electrones pueden alcanzar la banda de conducción dejando el hueco correspondiente en la banda de valencia. Tanto los electrones en la banda de conducción como los huecos en la banda de valencia son capaces de moverse bajo la acción de un campo eléctrico.

Cuando en una estructura cristalina de un semiconductor puro (intrínseco) se le añaden impurezas de otro elemento con distinto número de electrones de valencia, resulta otro tipo de semiconductor denominado extrínseco. Cuando existen electrones no ligados que ocupan un nivel próximo a la banda de conducción se le denomina de tipo “n”, por el contrario, cuando aparecen huecos libres de moverse de un átomo a otro el semiconductor se denomina de tipo “p”. A continuación, se muestra un resumen de los semiconductores tipo “n” y tipo “p”.

Semiconductores tipo “n”	Semiconductores tipo “p”
<ul style="list-style-type: none"> - Gran número de electrones libres en la banda de conducción que son los portadores de carga mayoritarios. - Iones positivos correspondientes al elemento donador. - Electrones y huecos creados por la agitación térmica que son los portadores de carga minoritarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran número de huecos en la banda de valencia, portadores de carga mayoritarios. - Gran número de iones negativos procedentes de las impurezas que han captado un electrón y generado un hueco. - Electrones y huecos correspondientes a la agitación térmica, portadores minoritarios.

Tabla 1. Resumen semiconductores tipo “n” y “p”.

Fuente: *Energías renovables para el desarrollo*, De Juana, José M.^a y elaboración propia.

Cuando se ponen en contacto un semiconductor tipo “n” y uno tipo “p”, se forma una unión p-n y en la zona de contacto los electrones libres de tipo n caen en los huecos de semiconductores tipo p por movimiento de difusión. Debido a este movimiento aparecen cargas positivas en la zona n de la unión no compensadas por electrones libres, al igual que unas cargas negativas en la zona p como consecuencia de la ocupación de los huecos existente. Esto origina un campo eléctrico en la zona de unión en sentido de n a p.

Al aplicar una tensión de p a n (polarización directa) se origina un campo eléctrico contrario al mencionado, por lo que la zona de transición del campo eléctrico se ve reducida y el movimiento de difusión en la unión puede continuar a partir de un valor de la tensión aplicada. Si se aplica la tensión desde n a p (polarización inversa) el campo eléctrico se suma al ya existente y la difusión de electrones se ve obstaculizada no permitiendo el paso de corriente en la unión.

3. NORMATIVA

Para poder llevar a cabo una instalación fotovoltaica se deben cumplir todas las leyes que la rigen.

3.1 INSTALACIONES CONECTADAS A RED

– Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

Esta Ley distingue la producción en régimen ordinario de la producción en régimen especial e identifica también el marco económico de retribución para cada uno de estos modelos de generación de electricidad. La actividad de generación en régimen especial recoge la generación de energía eléctrica en instalaciones de potencia no superior a 50 MW que utilicen como energía primaria energías renovables o residuos, y aquellas otras como la cogeneración que implican una tecnología con un nivel de eficiencia y ahorro energético considerable [22], [23].

– Norma UNE-EN 62466: Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Requisitos mínimos de documentación, puesta en marcha e inspección de un sistema. – Resolución de 31 de mayo de 2001 por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

– Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión. En este Decreto se da un paso más al simplificar las condiciones de conexión de estas instalaciones hasta 100kVA [23].

– Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

– Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (B.O.E. de 18-9-2002).

– Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

En este Código se establece la obligatoriedad de incorporar instalaciones solares térmicas y paneles fotovoltaicos en ciertas instalaciones [23].

– Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, deroga al Real Decreto 436/2004, pero manteniendo su esquema básico. Así, se mantiene la doble opción de retribución, es decir, venta a tarifa regulada, que es el precio fijo que recibe el productor por la energía vertida al sistema, o directamente en el mercado, percibiendo el precio negociado en el mismo más una prima, teniendo la retribución total unos límites superior e inferior horarios. Este Real Decreto también elimina el incentivo a participar en el mercado [23].

– Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.

– Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico [24].

– Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

En este último decreto se declara que se va a recibir un saldo por cada kilovatio vertido a la red y este saldo se descontará de la factura eléctrica. Se establecen dos modalidades de consumo:

Autoconsumo sin excedentes. Estas instalaciones necesitarán un equipo anti vertido que garantice que no se vierte nada de energía a la red. Su tramitación administrativa es mínima.

Autoconsumo con excedentes. Son aquellas instalaciones que en ciertos momentos van a mandar energía solar a la red eléctrica, por ejemplo, una vivienda o industria sin actividad en horas centrales del día. Dentro de esta modalidad distinguimos dos bloques importantes:

Modalidad con excedentes acogidos a compensación. En esta modalidad la comercializadora eléctrica compensará en nuestra factura eléctrica la energía vertida a la red. A esta modalidad, sin duda la más relevante del Real Decreto podrán acogerse las viviendas y las industrias con potencias instaladas inferiores a 100 kW.

Modalidad con excedentes no acogida a compensación simplificada. Estas instalaciones son aquellas, en principio mayores de 100 kW, cuyos excedentes van a ser volcados a la red, pero en régimen de venta, no de compensación. El precio de la energía vertida será el dispuesto por la legislación de instalaciones generadoras de electricidad [15], [25].

3.2 INSTALACIONES AISLADAS

-RD 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el reglamento electrotécnico para baja tensión

- RD 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción de autoconsumo.

- RD 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.

- RD 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

- RD 413/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.

- Orden IET/1168/2014, de 3 de julio, por la que se determina la fecha de inscripción automática de determinadas instalaciones en el registro de régimen retributivo.

- RD 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción de autoconsumo.

4. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO

Se va a realizar un estudio para optimizar la instalación de generación fotovoltaica en Banastás, un municipio perteneciente a la Comarca de la Hoya de Huesca, con una población aproximada de 265 habitantes y una superficie de 4,6 km². Se encuentra a una altitud de 532 metros y geográficamente situado en latitud 42°10'52" al Norte y longitud 00°27'02" al Oeste.



Ilustración 15. Municipio de Banastás.

Fuente: Google Earth.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), Banastás cuenta con un total de 117 viviendas familiares, entre ellas 103 son viviendas principales y 14 son viviendas de uso vacacional. Ha quedado descartada de este estudio una vivienda principal que ya posee una instalación de módulos fotovoltaicos. Además de las 116 viviendas, se han tenido en cuenta los 9 almacenes o naves, la fábrica con su oficina y almacén, el edificio del Ayuntamiento, el pabellón, el salón municipal y el bar, que hacen un total de 131 tejados, numerados en el **ANEXO I**.

5. CÁLCULO DE LA INCLINACIÓN Y AZIMUT ÓPTIMOS

En primer lugar, para seleccionar el tipo de módulos a utilizar se han comparado varios de la marca AutoSolar y se puede observar que el Panel Solar 310W Monocristalino ERA tiene las mejores prestaciones, al alcanzar un 19% de eficiencia. Por ello, y la buena relación potencia precio que presenta, se decide seleccionar este tipo de módulo. Las características de estos módulos se han incluido en el **ANEXO II**.

Modelo	Precio (€)	Rendimiento (%)	Potencia pico (Wp)	Relación (€/Wp)	Número de células	Dimensiones (mm³)
Talesun Policristalino	129,12	16,50%	270	0,478	60P	1.650 x 992 x 35
Amerisolar Policristalino	211,54	17,21%	280	0,755	60P	1.640 x 992 x 35
Policristalino Waaree	246,1	16%	320	0,769	72P	1.960 x 990 x 42
Monocristalino ERA	148,6	19,00%	310	0,479	60M	1.650 x 990 x 35
Monocristalino ERA	123,42	17,97%	180	0,685	60M	1.482 x 676 x 35

Tabla 2. Tipos de módulos monocristalinos de 60 células.

Fuente: AutoSolar y elaboración propia.

Una vez seleccionado el módulo 310W Monocristalino ERA con un rendimiento de 19% y unas dimensiones de 1.650 x 990 x 35 mm³, se va a proceder al cálculo de los ángulos de inclinación y azimut óptimos para generar la mayor energía posible. Para ello, se ha utilizado el programa PVGIS. Este programa es una herramienta de cálculo, que calcula la generación de energía de los módulos fotovoltaicos. Para ello, deben introducirse las características del módulo (potencia nominal, pérdidas y tipo de material).

La generación de energía del módulo depende, entre otros parámetros, de su inclinación y azimut. Por ello, se ha variado la inclinación de 10 en 10 grados para un azimut de 0 grados hasta conseguir la producción máxima de energía. Como se puede observar en la *Tabla 3*, al pasar de una inclinación de 30 a 40 grados se aprecia que la generación de energía no ha aumentado, por lo que se ha variado el ángulo entre estos valores hasta encontrar el ángulo óptimo de 37 grados.

Inclinación(°)	0	10	20	30	35	37	40
Azimut 0 grados							
Energía producida (kWh)							
Enero	14,5	18,8	22,5	21,1	26,6	27	27,6
Febrero	21,3	25,8	29,4	26,9	33,4	33,8	34,3
Marzo	33,6	37,6	40,7	35,5	43,4	43,6	43,8
Abril	39,3	41,4	42,6	35,7	42,7	42,6	42,3
Mayo	47,9	48,7	48,6	39,5	46,6	46,2	45,5
Junio	50,4	50,5	49,6	39,8	46,6	46	45,2
Julio	53	53,5	53	42,7	50,3	49,6	48,7
Agosto	47	48,9	49,8	41,2	49,1	48,9	48,4
Septiembre	35,6	39	41,4	35,6	43,2	43,3	43,3
Octubre	25,6	30	33,6	30,1	37,2	37,5	37,9
Noviembre	16	20,4	24,1	22,6	28,4	28,8	29,4
Diciembre	12,8	17,2	21,1	20,3	25,7	26,2	26,8
Total	397	431,8	456,4	391	473	473,5	473,2

Tabla 3. Variación de la energía producida variando la inclinación del panel.

Fuente: elaboración propia con los datos del PVGIS

A modo de ejemplo, en la *Ilustración 16* se puede observar la mínima producción de energía, que se obtiene con un ángulo de 0 grados y la máxima producción, con el ángulo de 37 grados.

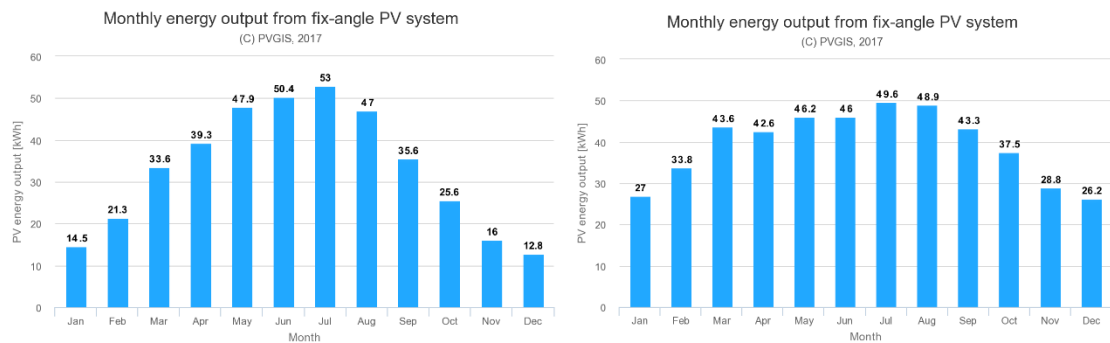


Ilustración 16. Producción de energía mensual del módulo fotovoltaico para una inclinación de 0 (gráfico izquierdo) y 37 grados (gráfico derecho).

Fuente: PVGIS.

Una vez calculada la inclinación óptima de 37 grados para el azimut con orientación sur (0 grados), se va a variar el azimut de 15 en 15 grados desde 0 hasta 90 grados para esta inclinación. Los resultados pueden verse en la *Tabla 4*.

Inclinación: 37 °							
Azimut (°)	0	15	30	45	60	75	90
Energía producida (kWh)							
Enero	27	26,4	24,9	22,8	30,2	17,2	14,2
Febrero	33,8	33,2	31,7	29,5	26,7	23,7	20,3
Marzo	43,6	42,8	41,4	39,2	36,7	33,8	30,6
Abril	42,6	42,3	41,8	40,7	39,3	37,6	35,5
Mayo	46,2	46	45,8	45,4	44,5	43,7	42,4
Junio	46	45,9	45,9	45,7	45,4	44,9	44,1
Julio	49,6	49,6	49,9	49,8	49,4	48,9	47,7
Agosto	48,9	48,7	48,3	47,3	46,2	44,4	42,2
Septiembre	43,3	42,8	41,8	40,1	38,1	35,5	32,6
Octubre	37,5	37	35,6	33,4	30,8	27,7	24,4
Noviembre	28,8	28,4	26,9	24,7	22,1	19,1	15,9
Diciembre	26,2	25,6	24,1	21,9	19,1	16,2	13,1
Total	473,5	468,7	458,1	441	429	392,7	363

Tabla 4. Energía generada por los módulos con una inclinación de 0 grados y un azimut de 37 grados.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Se puede observar que al aumentar el ángulo de azimut disminuye la generación de energía del módulo, por lo tanto, el ángulo de azimut óptimo es 0 grados.

6. GENERACIÓN ANUAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Inicialmente se han numerado los tejados del pueblo, estos tejados pertenecen a los almacenes, al Ayuntamiento, al bar, al pabellón, a la industria y a las viviendas del municipio. Ver en el **ANEXO I**.

A continuación, se ha medido con Calc Maps [26], que es una herramienta de Google Maps, la superficie de todos los tejados con orientación sur que poseen espacio suficiente para la instalación de módulos fotovoltaicos, excluyendo los espacios ocupados por chimeneas, terrazas y aleros. Esta superficie de tejados se ha reducido un 5% para evitar posibles contactos entre los módulos. Se han descartado del estudio todas las viviendas sin un tejado con orientación sur o con un tejado en esta orientación con poca superficie que no permita la instalación de un módulo fotovoltaico.

Como también se debe tener en cuenta la inclinación de cada tejado y no hay ninguna herramienta digital con la que se pueda obtener de manera directa, se han fotografiado todos los tejados con orientación sur, teniendo en cuenta que la fotografía debe realizarse de lejos y de forma frontal a cada tejado para no cambiar el ángulo de estos mediante la perspectiva de la imagen. Una vez realizadas las fotografías se han medido los ángulos de los tejados con un transportador. Ver en el **ANEXO III**.

El municipio de Banastás fue destruido en la Guerra Civil y lo primero que se reconstruyó fue el centro del pueblo, por esta razón las viviendas ubicadas alrededor de la plaza del Ayuntamiento poseen una estructura similar y la inclinación de sus tejados es la misma. El resto de las viviendas construidas a posteriori tienen diferente ángulo de inclinación de sus tejados a elección de los dueños.

Una vez tomados todos los datos, se han organizado y dividido las viviendas en varios grupos, dependiendo de la inclinación de sus tejados. El primer grupo abarca todos los tejados con inclinaciones entre de 0 y 4 grados y los siguientes son entre 5 a 9 grados, 10 a 14 grados, de 15 a 19 grados, de 20 a 24 grados y el último grupo lo conforman las viviendas con tejados inclinados entre 25 y 29 grados.

Se ha realizado una tabla en el **ANEXO IV** incluyendo las medidas de los ángulos de inclinación y azimut de los tejados de todas las casas, la superficie libre de cada tejado con orientación sur y el número de módulos y su potencia. A modo de ejemplo, se muestra la *Tabla 5* con el grupo de tejados con inclinación del tejado entre 5 a 9 grados.

Ángulo 5° a 9°	Inclinación (°)	Azimet (°)	Superficie (m2)	Número de módulos	Potencia módulos (kWp)
Tejado 2	7	22	12,35	7	2,17
Tejado 3	7	22	68,4	41	12,71
Tejado 5	8	22	3,8	2	0,62
Tejado 10	6	22	60	36	11,16
Tejado 14	8	22	34,2	20	6,2
Tejado 23	9	22	19,95	12	3,72
Tejado 52	8	-13	13,3	8	2,48
Tejado 80	9	13	15,2	9	2,79
Tejado 83	9	13	11,4	6	1,86
Tejado 96	8	44	500	306	94,86
Tejado 97	8	44	20,9	12	3,72

Tabla 5. Cálculos para las viviendas con inclinación del tejado entre 5 y 9 grados.

Fuente: Elaboración propia.

El número de paneles fotovoltaicos que se pueden colocar en cada tejado depende de su superficie y de las dimensiones del panel. Debe mencionarse que se ha tenido en cuenta la separación entre módulos en el cálculo de la superficie de tejados disponible.

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Superficie tejado}}{\text{Superficie de cada módulo}}$$

Una vez calculados los módulos que se van a colocar en cada tejado, se va a calcular la potencia nominal de todos los módulos de cada tejado. El cálculo de la potencia nominal se ha realizado con la siguiente ecuación:

$$P_n (kW) = \text{Número de módulos} \times 310 \frac{W}{1 \text{ módulo}} (\text{potencia de un módulo}) \times \frac{1 kW}{1.000 W}$$

Una vez realizado el cálculo de la potencia instalada se va a proceder, mediante PVGIS, al cálculo de la generación de energía de los módulos de los diferentes tejados. Para ello, se deben incluir los ángulos de azimet e inclinación anteriormente mencionados.

Los resultados de la energía producida por los módulos de cada tejado se encuentran en el **ANEXO V** y se ha incluido en a *Tabla 6* la generación total de estos módulos.

Mes	Energía generada (kWh/mes)						TOTAL (kWh)
	0º a 4º	a 10º	10º a 15º	15º a 20º	20º a 25º	25º a 29º	
Enero	2.668	8.255	3.379	11.707	4.211	1.409,40	31.629
Febrero	3.792	11.440	4.579	15.567	5.508	1.826,40	42.712
Marzo	5.804	16.927	6.591	21.780	7.429	2.463,00	60.994
Abril	6.624	18.898	7.203	23.321	7.893	2.549,50	66.489
Mayo	76	22.383	8.396	26.758	8.944	2.869,80	69.426
Junio	8.320	23.189	8.659	27.389	9.097	2.896,40	79.550
Julio	8.798	24.649	9.215	29.322	9.770	3.125,10	84.879
Agosto	7.886	22.365	8.477	27.333	9.214	2.972,50	78.247
Septiembre	6.098	17.669	6.828	22.411	7.684	2.503,70	63.194
Octubre	4.516	13.427	5.325	17.877	6.374	2.070,50	49.589
Noviembre	2.916	8.991	3.671	12.685	4.551	1.521,30	34.335
Diciembre	2.386	7.503	3.116	10.896	3.979	1.341,30	29.221
Total (kWh/año)	59.884	195.694	75.440	247.045	84.654	27.549	690.265

Tabla 6. Producción módulos fotovoltaicos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

7. CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL

En este apartado se va a calcular el consumo anual de todos los grupos que forman el pueblo. Se pidió a los vecinos del municipio ceder los datos de los consumos de sus viviendas para elaborar este trabajo, mediante grupos de “WhatsApp” de vecinos del pueblo y entrevistas personales casa por casa, a lo que algunos de ellos accedieron facilitando todas sus facturas de electricidad de un año. Los diversos consumos del Ayuntamiento del municipio y de sus zonas comunes se consiguieron tras varias reuniones con el secretario del Ayuntamiento, aportando también las facturas de electricidad de todo un año. Por último, se acordó una cita con los propietarios de la industria del municipio que facilitaron sus facturas y consumos eléctricos correspondientes al año.

7.1 CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS VIVIENDA PRINCIPALES

Como no se han conseguido datos del consumo de cada vivienda, se ha realizado una estimación utilizando de base el *Proyecto SECH-SPAHOUSEC* realizado por el IDAE en 2016 [27]. En este proyecto se estima el consumo eléctrico anual de viviendas en España a partir del consumo eléctrico de su equipamiento. Estas viviendas las clasifica de dos formas diferentes, por la zona climática a la que pertenecen (atlántico norte, mediterránea o continental) o por el tipo de vivienda (piso o unifamiliar). Banastás por su situación geográfica presenta un clima continental y las viviendas que lo conforman son todas unifamiliares, pero en este proyecto no hay una clasificación conjunta para las viviendas continentales y unifamiliares, por ello se va a realizar un cálculo del consumo mensual de las viviendas continentales y unifamiliares por separado a partir

de los datos de del proyecto y posteriormente, se va a realizar una distribución porcentual a partir del consumo real de una vivienda del pueblo, proporcionado por un vecino.

Según los datos que se han obtenido del proyecto, el consumo medio de una vivienda de 4 personas en la zona continental es de 5.317 kWh/año y el de una vivienda unifamiliar de 5.954 kWh/año.

	Vivienda continental (kWh/año)	Vivienda unifamiliar (kWh/año)
Calefacción	293,57	242,9
ACS	154,64	318,54
Cocina	404,83	334,89
Refrigeración	92,49	95,37
Iluminación	328,9	439,46
Frigoríficos	686,27	685,02
Congelador	96,17	255,08
Lavadora	239,96	260,94
Lavavajillas	141,67	156,05
TV	318,97	294,48
Secadoras	50,81	95,24
Horno	21,85	186,79
Ordenador	168,26	168,67
Otros equipos	95,42	51,23
TOTAL	5.317,46	5.954,22

Tabla 7. Consumo eléctrico medio anual de una vivienda en la zona Continental y de una vivienda unifamiliar en España.

Fuente elaboración propia e IDAE.

Al comparar el consumo anual de una vivienda continental y otra unifamiliar se puede apreciar que no son muy dispares del consumo de una vivienda del pueblo, 5.101 kWh/año, también habitada por 4 personas.

Mes	Consumo (kWh/mes)	Consumo (%)
Enero	554	10,86
Febrero	520	10,19
Marzo	440	8,63
Abril	420	8,23
Mayo	417	8,17
Junio	330	6,47
Julio	320	6,27
Agosto	328	6,43
Septiembre	420	8,23
Octubre	432	8,47
Noviembre	430	8,42
Diciembre	490	9,6
TOTAL (kWh/año)	5.101	100

Tabla 8. Consumo real de una vivienda de Banastás.

Fuente: elaboración propia.

Generalmente, el consumo eléctrico en una vivienda es lineal, aunque puede apreciarse un ligero descenso en invierno debido al uso de gas natural para la calefacción, y un ascenso en verano por el aire acondicionado. Esto no es siempre así, sino que puede variar dependiendo del tiempo en el que se habite la vivienda.

A partir de los porcentajes del consumo mensual de la vivienda del municipio se ha realizado una distribución porcentual para el consumo de las viviendas unifamiliar y continental.

Mes	Consumo vivienda continental (kWh/mes)	Consumo vivienda unifamiliar (kWh/mes)
Enero	577,51	646,66
Febrero	542,07	606,98
Marzo	458,67	513,60
Abril	437,82	490,25
Mayo	434,70	486,75
Junio	344,00	385,20
Julio	333,58	373,52
Agosto	341,92	382,86
Septiembre	437,82	490,25
Octubre	450,33	504,26
Noviembre	448,25	501,92
Diciembre	510,79	571,96
TOTAL (kWh/año)	5.317,46	5.954,22

Tabla 9. Consumo mensual de una vivienda continental y una vivienda unifamiliar.

Fuente: elaboración propia tras consulta de datos del IDAE.

Para obtener los datos del resto de viviendas del municipio se tomará una media de 4 habitantes por vivienda y, para los valores del consumo, se asumirán los datos de una vivienda en la zona continental, al asemejarse más al consumo de una vivienda del municipio. Este cuenta con un total de 102 viviendas principales con un consumo eléctrico anual de 542.581,42 kWh/año.

Mes	Consumo (kWh/mes)
Enero	58.905,96
Febrero	55.290,79
Marzo	46.784,52
Abril	44.657,95
Mayo	44.338,96
Junio	35.088,39
Julio	34.025,10
Agosto	34.875,73
Septiembre	44.657,95
Octubre	45.933,89
Noviembre	45.721,23
Diciembre	52.100,94
Total (kWh/año)	542.381,42

Tabla 10. Consumo eléctrico mensual de las 102 viviendas principales

Fuente: elaboración propia e IDAE.

7.2 CONSUMO AYUNTAMIENTO Y ZONAS COMUNES

La factura del consumo eléctrico del Ayuntamiento, proporcionada por el Ayuntamiento de Banastás se divide en varias secciones: consumo eléctrico de elevación de aguas, Casa Consistorial, bomba de agua, grupo presión, alumbrado público, piscinas y pabellón. A partir de estos consumos se ha elaborado la *Tabla 11* con los consumos mensuales y se ha calculado el consumo anual, 196.961kWh/año. Ver todos los consumos del Ayuntamiento en el **ANEXO VI**.

Mes	Consumo (kWh/mes)
Enero	20.647
Febrero	18.344
Marzo	14.279
Abril	12.108
Mayo	12.524
Junio	12.603
Julio	15.550
Agosto	16.408
Septiembre	12.844
Octubre	16.974
Noviembre	19.903
Diciembre	24.777
Total	196.961

Tabla 11. Consumo eléctrico del Ayuntamiento y zonas comunes de Banastás.

Fuente: elaboración propia.

7.3 CÁLCULO DEL CONSUMO DE LOS ALMACENES O NAVES DEL PUEBLO

Se van a diferenciar entre almacenes de gran tamaño (4 unidades) y almacenes de menor tamaño (5 unidades). El consumo anual de un almacén grande alcanza los 2.634 kWh/año y el de uno pequeño los 1.756 kWh/año. Estos valores de consumo se dividirán de manera constante a lo largo de todos los meses del año, ya que varios propietarios comunicaron que su uso era de forma regular. El consumo total de los 9 almacenes es de 19.316 kWh/año.

7.4 CONSUMO DE LAS VIVIENDAS DE USO VACACIONAL

El consumo de las 14 viviendas vacacionales puede variar mucho dependiendo de su uso. Por ello, se han obtenido los consumos reales de una de estas viviendas, y se ha supuesto que el consumo del resto es el mismo. Cabe mencionar que son viviendas de fin de semana, por eso el consumo no aumenta de forma brusca en el verano.

Mes	Consumo individual (kWh/mes)	Consumo 14 viviendas (kWh/mes)
Enero	50	700
Febrero	20	280
Marzo	30	420
Abril	45	630
Mayo	45	630
Junio	50	700
Julio	90	1.260
Agosto	160	2240
Septiembre	100	1.400
Octubre	80	1.120
Noviembre	40	560
Diciembre	30	420
Total (kWh/año)	740	10.360

Tabla 12. Consumo eléctrico real de las viviendas de uso vacacional.

Fuente: elaboración propia.

7.5 CONSUMO EN LA INDUSTRIA

El consumo de la industria ha sido proporcionado por la empresa que la regenta, Industrias Anjosa. Su factura eléctrica está dividida en 3 secciones: el consumo de la fábrica, el consumo de la oficina y por último el consumo del almacén.

Consumo	Fábrica (kWh)	Oficina (kWh)	Almacén (kWh)	Total(kWh)
Enero	9.600	1.280	2.334	13.214
Febrero	8.750	1.779	2.231	12.760
Marzo	8.340	1.134	1.924	11.398
Abril	6.210	1.280	987	8.477
Mayo	6.006	1.356	907	8.269
Junio	6.102	1.126	894	8.122
Julio	6.098	1.204	843	8.145
Agosto	1.023	580	290	1.893
Septiembre	5.907	820	538	7.265
Octubre	7.450	3.200	4.807	15.457
Noviembre	7.563	1.397	2.832	11.792
Diciembre	8.100	1.462	2.601	12.163
Total	81.149	16.618	21.188	118.955

Tabla 13. Consumo de la industria de Banastás.

Fuente: elaboración propia.

7.6 CONSUMO TOTAL DEL PUEBLO

Con los datos anteriores se ha realizado una gráfica para obtener el total del consumo eléctrico en el municipio y así poder compararlo con la generación de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos. Se han adjuntado los datos mensuales en el **ANEXO VII**.

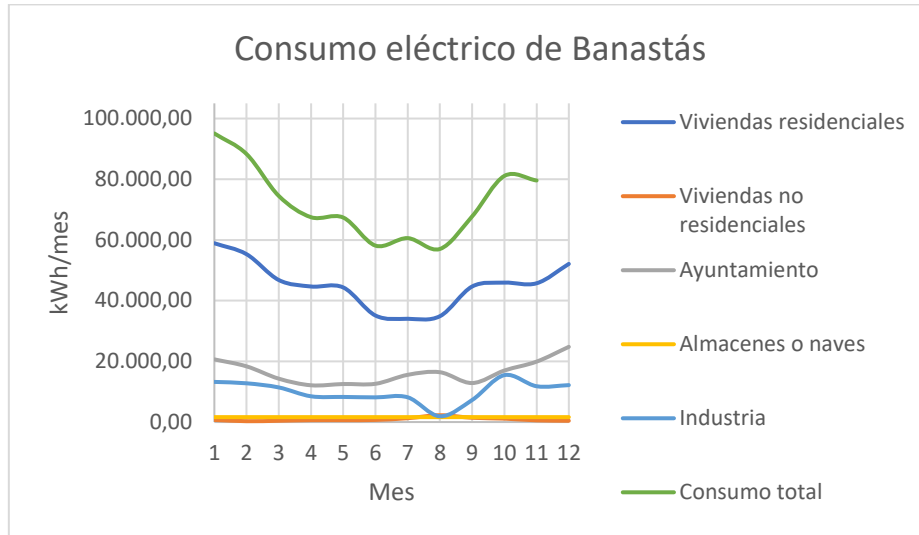


Ilustración 17. Consumo total del municipio de Banastás.

Fuente: elaboración propia.

Al comparar el consumo y producción para cada mes del año, se puede observar que en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se consume más electricidad de la que se genera, al contrario de los meses de verano. Por esta razón, la energía solar fotovoltaica tiene una clara desventaja frente a otras fuentes de generación de energía, su estacionalidad.

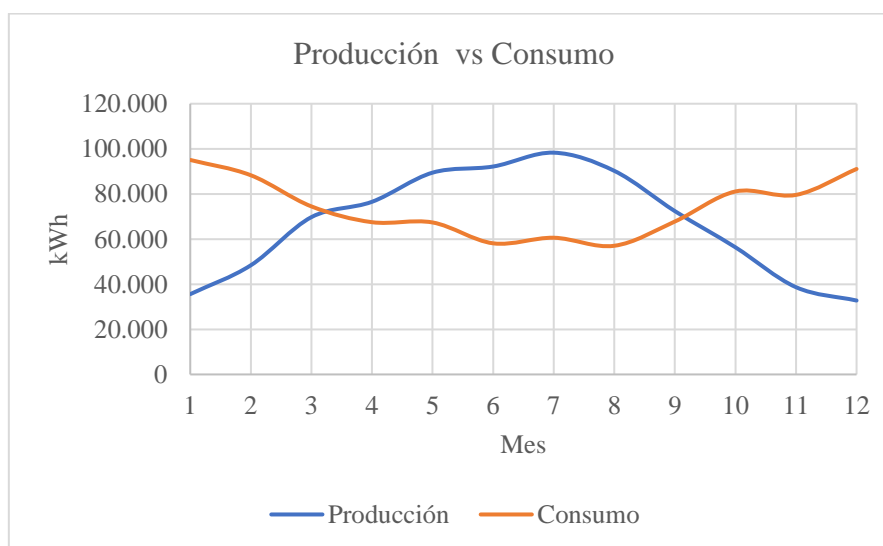


Ilustración 18. Comparación entre el consumo eléctrico y producción de los módulos fotovoltaicos.

Fuente: elaboración propia.

El consumo anual total del municipio es de 887.937 kWh/año y al compararlo con la generación anual de energía de la instalación de los módulos fotovoltaicos de 800.579 kWh/año, se puede apreciar que la energía que se genera es un 90 % de la consumida por lo que no se cubre toda la energía demandada en el municipio.

8. TIPOS DE INSTALACIONES

Una vez realizados los cálculos de la electricidad generada por los módulos fotovoltaicos y la demandada en el municipio, se debe decidir cuál va a ser el tipo de instalación más rentable. Para ello, hay dos opciones, una instalación aislada o una instalación conectada a red.

Se va a comenzar con una materialización de los costes de la instalación de los módulos fotovoltaicos y de su estructura. Hay muchos otros costes relacionados con la instalación de los paneles (inversor, aparamenta y diversos elementos) pero al ser diferentes en una instalación conectada a red y en una instalación aislada se expondrán en los respectivos apartados.

Los módulos fotovoltaicos que se han seleccionado son de la marca AutoSolar, y tienen un coste de 148,60 € cada uno. La estructura que se va a emplear, también se ha seleccionado de la misma marca y tiene un coste de 45,10€.

Panel Solar 310W Monocristalino ERA	148,60€
Estructura Cubierta Inclinada 1 panel KH915	45,10 €

Tabla 14. Precios de los módulos fotovoltaicos y de su estructura.

Fuente: AutoSolar

Por otra parte, debe conocerse el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico. Este decreto marca las pautas de la compra y venta de energía en el caso que se produzca un excedente y la instalación esté conecta a red.

El último punto importante que se debe tener en cuenta es el precio de la energía. Se van a asumir los términos de energía y de potencia de la empresa Endesa.

No se va a tener en cuenta el precio al que se vende la energía a la red eléctrica al variar cada hora.

El coste de la electricidad está dividido en dos términos, el de potencia contratada y el término de energía consumida. Cada uno de estos tiene un precio diferente y dependen del tipo de tarifa que se tenga contrada. En este caso los términos de la factura 3.0A se dividen en varios grupos de potencias contratadas, incluidos en el **ANEXO VIII**.

En la *Tabla 15* se incluyen las tarifas a las que están adscritos los diferentes grupos del pueblo, Ayuntamiento, viviendas, naves e industria.

	Tipo de tarifa
Naves o almacenes	2.0A
Viviendas	2.0A
Ayuntamiento	2.0A, 2.1A, 3.0A
Industria	2.1A, 3.0A

Tabla 15. Tarifa red eléctrica.

Fuente: elaboración propia.

El coste total de la electricidad se calcula sumando los términos de potencia y energía, que se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$TFP(€) = \text{Término de potencia} * \text{Potencia a facturar}$$

$$TFE(€) = \text{Término de energía} * \text{Energía consumida}$$

Siendo TFE el término de facturación de energía y TFP el término de facturación de potencia.

En las tarifas 2.0A y 2.1A los términos de potencia y energía son constantes a lo largo del día, pero en el caso de la tarifa 3.0A estos términos varían dependiendo en qué periodo del día se encuentren. Estos términos de las tarifas 2.0A y 2.1A se incluyen en la *Tabla 16*. La tarifa 3.0A al tener más términos, se adjunta en el **ANEXO VIII**.

Tipo de tarifa	2.0A	2.1A
Energía (€/kWh)	0,132297	0,134748
Potencia (€/ kW día)	0,116191	0,134067

Tabla 16. Peajes de acceso a la red eléctrica, impuestos incluidos.

Fuente: facturas de Endesa.

La potencia contratada, que se puede observar en la *Tabla 17*, es la potencia que tienen actualmente contratada los diferentes grupos del pueblo.

Cabe destacar que el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, deroga las limitaciones del máximo de potencia de generación instalada hasta la potencia contratada del Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, al considerarlos obstáculos para la expansión del autoconsumo. Por ello, se puede instalar una potencia superior a la contratada, como ocurre en algunos casos [25].

Potencia contratada (kW)	
Viviendas residenciales	6,9
Viviendas de uso vacacional	5,75
Nave	5,75
Ayuntamiento	-
o Casa Consistorial	7,5
o Grupo de presión	13,2
o Alumbrado	13,2
o Piscinas	13,2
o Bomba de agua	7,6
o Elevación de aguas	10
Industria	-
o Almacén y oficinas	13,2
o Fábrica	66

Tabla 17. Potencias contratadas de los diferentes grupos.

Fuente: elaboración propia.

8.1 INSTALACIONES CONECTADAS A RED

Al tratarse de viviendas y naves particulares, se va a calcular el coste de la instalación para cada de una de ellas. También se van a separar los costes del Ayuntamiento, de la industria y el de los almacenes.

8.1.1 Costes de electricidad

Ayuntamiento. En los tejados que son propiedad del Ayuntamiento se pueden instalar 322 módulos, con una potencia de 99,82kW (tejados 9, 10, 56 y 72 del **ANEXO I**). Estos módulos generan una energía anual de 133.500 kWh mucho menor a la consumida, 196.961 kWh/año. El total de energía que se necesitaría comprar a la red eléctrica es de 72.846,02 kWh/año y el excedente que se vendería esta misma es de 9.385,00 kWh/año.

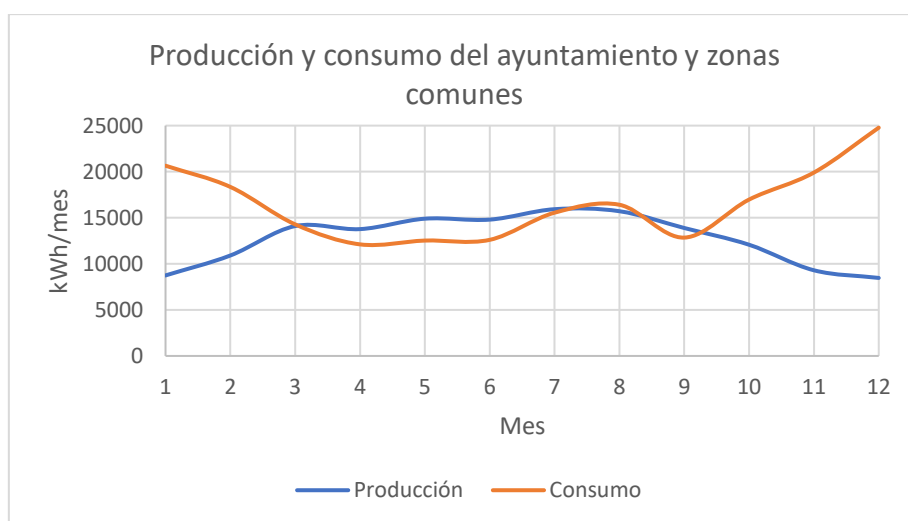


Ilustración 19. Comparación de la producción y el consumo de energía anual del Ayuntamiento y de las zonas comunes.

Fuente: elaboración propia.

Al tener diferentes tipos de tarifas para los distintos consumos se van a calcular por separado. En la *Tabla 18* se muestra el coste de energía consumida sin la instalación de módulos fotovoltaicos.

	Elevación de aguas	Casa Consistorial	Bomba de agua	Grupo presión	Piscinas	Alumbrado	Total
Energía consumida (kWh/año)	66.841,02	9.635,00	32.634	245	34.589	53.017	196.961,02
Potencia contratada (kW)	10	7,5	7,6	13,2	13,2	31	82,5
Coste potencia (€)	424,09	318,07	322,31	645,94	645,93	2.600,95	4.957,31
Coste energía (€)	8.842,86	1.274,2	4.317,38	33,01	4.660,80	7.578,51	9.612,34
Tipo de tarifa	2.0A	2.0A	2.0A	2.1A	2.1A	3.0A	

Tabla 18. Costes de la energía del Ayuntamiento y zonas comunes.

Fuente: elaboración propia.

Los términos de potencia y de energía en las tarifas 2.0A y 2.1A se han calculado multiplicando el peaje de potencia por la potencia contratada y el peaje de energía por la energía consumida. Los cálculos del alumbrado público como se rigen por una tarifa 3.0A de Endesa para potencias entre 15 y 30kW, se han calculado para los distintos períodos y se han incluido en la *Tabla 19*.

Alumbrado sin FV	Consumo (€)	Potencia contratada (kW)	Término de energía (€/kWh)	Término de potencia (€/kW año)	Coste energía (€)	Coste potencia (€)
Periodo 1	1.285,32	31	0,018762	40,728885	24,12	1.262,60
Periodo 2	13.888,32	31	0,01275	24,43733	177,08	757,56
Periodo 3	37.843,36	31	0,00467	16,291555	176,73	505,04
Total	-		-	-	377,92	3.224,99

Tabla 19. Cálculo coste económico de la electricidad para una tarifa 3.0A.

Fuente: elaboración propia.

Una vez calculado el coste de la electricidad sin la instalación fotovoltaica, se va a proceder al cálculo de la energía consumida una vez se hayan instalado los módulos fotovoltaicos. El coste de potencia es el mismo que en el caso anterior.

	Elevación de aguas	Casa Consistorial	Bomba de agua	Grupo presión	Piscinas	Alumbrado
Energía consumida (kWh/año)	24.721,14	3.563,50	12.069,68	90,61	12.792,74	19.608,33
Coste energía (€)	3270,53	471,44	1596,78	12,20	1723,79	4441,90
Tipo de tarifa	2.0A	2.0A	2.0A	2.1A	2.1 ^a	3.0A

Tabla 20. Costes de la energía del Ayuntamiento y zonas comunes con instalación fotovoltaica.

Fuente: elaboración propia.

Los cálculos se han realizado igual que en la instalación sin módulos fotovoltaicos, variando únicamente la energía consumida. Se puede apreciar que el término de potencia permanece constante, al no estar relacionado con la energía que se consume, sino con la potencia contratada.

Industria. Los tejados 96 y 97 del ANEXO I pertenecen a la industria y en su superficie se pueden instalar hasta 318 módulos, con una potencia de 98,58kW. Estos módulos generan un total de 135.711 kWh/año. Se puede observar en la Ilustración 20 que el consumo tiene un fuerte descenso en agosto y un máximo en octubre.

La energía eléctrica anual que se debe suministrar a través de la red eléctrica es de 30.782 kWh debido a que en varios meses la producción de energía es menor que el consumo. Sin embargo, en los meses que la producción es mayor que el consumo, el exceso de energía puede ser vendida y distribuida por la red, 42.541 kWh/año.

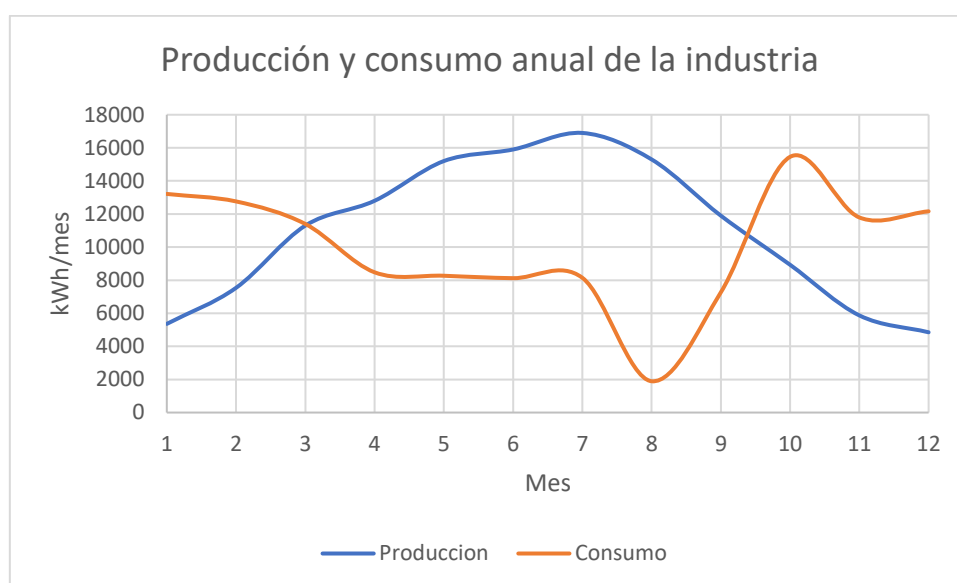


Ilustración 20. Producción y consumo anual de energía eléctrica en la industria.

Fuente: elaboración propia.

En la factura de la industria, la electricidad está dividida en 3 secciones (almacén, oficinas y fábrica) pero dos de ellas (oficinas y almacén) tienen el mismo contrato (misma tarifa y misma potencia contratada) por lo que se van a contabilizar de forma conjunta.

Industria	Oficinas y almacén	Fábrica
Tipo de tarifa	2.1A	3.0A
Potencia contratada (kW)	13,2	66

Tabla 21. Tipo de tarifa y la potencia contratada de la industria.

Fuente: elaboración propia.

Los cálculos del coste del consumo de la fábrica, con la tarifa 3.0A de Endesa para potencias entre 50kW y 100kW se han incluido en el **ANEXO IX**.

Naves. Se van a realizar los cálculos económicos únicamente para dos naves, una de menor tamaño y otra más grande, los tejados 130 y 129 respectivamente en el **ANEXO I**.

- **Nave pequeña.** En el tejado de esta nave se pueden colocar 6 módulos fotovoltaicos con una potencia de 1,86kW. Estos módulos generan al año una energía eléctrica de 2.733 kWh/año, superior al consumo anual de la nave, 1.756 kWh/año. En este caso, se produce un excedente de energía de 1.005,7 kWh/año y se deben suministrar de la red eléctrica 28,66kWh/año.

- **Nave grande.** Los 18 paneles que se pueden colocar en su tejado tienen una potencia de 5,58kW y generan una producción anual de 8.194kWh/año. En este caso el consumo de la nave es muy inferior a la energía generada, 2.634kWh/año. Como ocurre con la nave de menor tamaño, también se produce un excedente de energía en todos los meses del año, 5.560 kWh/año.

En el caso de los dos tipos de naves, presentan una tarifa 2.0A y una potencia contratada de 5,75 kW. El coste del consumo eléctrico sin instalación fotovoltaica y con ella se encuentran en la *Tabla 24*.

Viviendas principales. Para el caso de las viviendas principales se van a estudiar tres de ellas, la primera con un gran tejado principal con orientación sur, la segunda con el tejado principal con orientación sur, pero con menores dimensiones y la tercera con un tejado lateral, más pequeño, con orientación sur. Estas viviendas son respectivamente las numeradas con 11,8 y 15 en el **ANEXO I**.

Vivienda	Superficie de tejado (m2)	Número de módulos	Potencia módulos
8	26	16	4,34
11	20	12	3,1
15	52	31	9,3

Tabla 22. Coste paneles fotovoltaicos de tres viviendas residenciales.

Fuente: elaboración propia.

La producción de estas viviendas se muestra en la *Ilustración 23* junto al consumo medio de una vivienda.

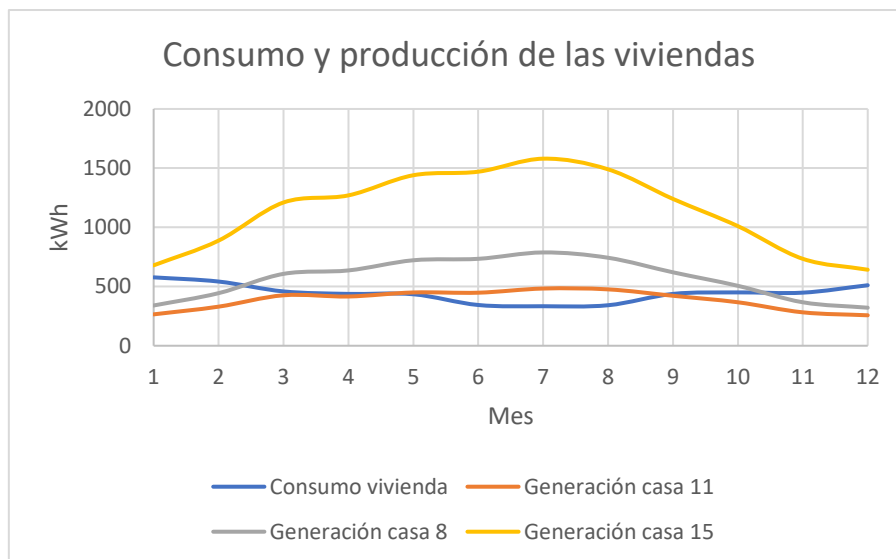


Ilustración 21. Comparación producción y consumo de energía eléctrica de tres viviendas residenciales.

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que en la vivienda 15 se produce un excedente de energía eléctrica durante todos los meses del año, esto se debe a que la superficie de su tejado orientado al sur es mucho mayor que en las otras dos viviendas.

En las viviendas 8 y 11 se aprecia que se produce un excedente de energía en los meses del verano (aumento más acusado en la vivienda 8) pero una escasez de energía en los meses de invierno. El total de energía que se debería consumir de la red eléctrica es de 607 y 1.098 kWh/año y la energía en exceso es de 2.117 y 403 kWh/año respectivamente.

En la vivienda 15, debido a la instalación de un mayor número de módulos solo se produce un excedente de energía de 8.336 kWh/año durante todo el año. A pesar de esto, siempre puede haber días nublados que se genere poca energía eléctrica y necesitar la distribución de la red eléctrica.

Las tres viviendas tienen una potencia contratada de 6,9 kW con una tarifa del tipo 2.0A. El coste de la electricidad consumida antes y después de la instalación fotovoltaica se encuentran en la *Tabla 23*.

Viviendas de uso vacacional. En este caso, se ha seleccionado una vivienda de uso vacacional con un tejado con orientación, la casa 47 en el **ANEXO I**.

En el tejado de esta vivienda se pueden instalar 9 módulos fotovoltaicos con un coste de 2.205 €, incluyendo su estructura. La producción anual de estos módulos es de 3.456 kWh/año y el consumo únicamente de 740 kWh/año casi un quinto de la electricidad que se genera. Por ello, en todos los meses habría un excedente de energía eléctrica de 2.716 kWh/año.

La tarifa contratada es la misma que las viviendas principales, la 2.0A, pero la potencia contratada es de 5,75 kW. Los costes de consumo eléctrico se han incluido en la *Tabla 23*.

Comparación del coste económico de la electricidad con instalación fotovoltaica y sin ella.

En la *Tabla 23* se han incluido todos los costes eléctricos con instalación fotovoltaica y sin ella de la industria, Ayuntamiento, viviendas y naves. Se puede observar que una vez instalados los módulos se obtendría el mayor ahorro en costes de electricidad en el Ayuntamiento, de 7.220€. Por otra parte, el ahorro mínimo se presenta en las viviendas de uso vacacional porque el máximo gasto de estas es en potencia contratada y los módulos fotovoltaicos no afectan a este gasto.

	Coste potencia (€/año)	Coste energía sin FV (€/año)	Coste energía con FV (€/año)	Ahorro (€/año)
Industria	6.183,44	17.642,59	8.669,93	8.972,66
Ayuntamiento	4.957,31	26.707,26	11.516,66	15.190,59
Vivienda 8	292,63	703,48	80,30	623,18
Vivienda 11	292,63	703,48	145,26	558,22
Vivienda 15	292,63	703,48	0,00	703,48
Vivienda vacacional	243,86	97,89	0,00	97,90
Nave pequeña	243,86	232,31	3,79	228,52
Nave grande	243,86	316,57	0,00	316,57

Tabla 23. Coste de la electricidad con y sin instalación fotovoltaica.

Fuente: elaboración propia.

8.1.2 Costes de equipamiento de la instalación

En el apartado 3.5 se han obtenido únicamente los costes de cada módulo y de su estructura, pero para la realización de una instalación conectada a red hacen falta más elementos:

Módulos y estructura. En la *Tabla 24* se pueden observar los costes de los módulos y su estructura para todas las instalaciones del pueblo.

	Número de módulos	Coste módulos (€)	Coste estructura (€)	Coste total (€)
Ayuntamiento	322	47.849,20	14.522,20	62.371,40
Industria	318	47.254,80	14.341,80	61.596,60
Viviendas residenciales	-	-	-	-
Tejado 8	16	2.377,60	721,6	3.099,20
Tejado 11	12	1.783,20	541,2	2.324,40
Tejado 15	31	4.606,60	1.398,10	6.004,70
Viviendas vacacionales (vivienda 47)	9	1.337,40	405,9	1.743,30
Almacenes	-	-	-	-
Tejado 129	18	2.674,80	811,8	3.486,60
Tejado 130	6	891,6	270,6	1.162,20

Tabla 24. Coste de los módulos fotovoltaicos y de su estructura.

Fuente: elaboración propia y AutoSolar.

Inversores. Una de las decisiones que debe tomarse es la elección de un correcto inversor. Para ello, se puede observar en la *Tabla 25* la disposición de estos módulos, sus potencias y los valores de tensión y corriente de funcionamiento de cada instalación. La tensión V_{mpp} , es la tensión de cada módulo, 33,5V, multiplicada por el número de módulos en serie, y la I_{mpp} es la corriente multiplicada por el número de módulos en paralelo. Los inversores seleccionados están en el **ANEXO X**.

	Numero módulos	Filas x Columnas	V_{mpp} (V)	I_{mpp} (A)	Potencia (kW)
Ayuntamiento					
Tejado 9	27	3 x 9	301,5	27,75	8,06
Tejado 10	36	3 x 12	402	27,75	10,54
Tejado 56	44	2 x 22	737	18,5	13,64
Tejado 72	204	6 x 34	1139	55,5	62
Industria					
Tejado 96	306	3 x 102	3417	27,75	94,86
Tejado 97	12	2 x 6	201	18,5	3,72
Viviendas residenciales					
Tejado 8	14	2 x 7	0	18,5	4,34
Tejado 11	10	2 x 5	167,5	18,5	3,11
Tejado 15	30	3 x 10	335	27,75	9,3
Viviendas vacacionales					
Tejado 47	8	2 x 4	134	18,5	2,48
Almacenes					
Tejado 129	18	2 x 9	301,5	18,5	5,58
Tejado 130	6	2 x 3	100,5	18,5	1,86

Tabla 25. Distribución de los módulos en los tejados.

Fuente: elaboración propia y AutoSolar.

Al realizarse un cálculo aproximado y no uno detallado del coste de la instalación se ha desestimado el precio de los cables, conectores y protecciones, al ser irrelevante en comparación con el resto de los componentes.

- **Coste total de los equipamientos de cada instalación**

	Coste instalación (€)
Ayuntamiento	79.282,04
Industria	72.058,76
Viviendas residenciales	-
Tejado 8	4.441,80
Tejado 11	3.641,57
Tejado 15	7.321,87
Vivienda de uso vacacional (Tejado 47)	2.998,19
Almacenes	-
Tejado 129	4.892,31
Tejado 130	2.029,04

Tabla 26. Coste de cada instalación fotovoltaica.

Fuente: elaboración propia.

8.2 INSTALACIÓN AISLADA

En una instalación aislada, el consumo de energía debe ser el mismo que el generado por los módulos fotovoltaicos. Para conseguirlo, se va a calcular la superficie total de módulos fotovoltaicos necesarios.

8.2.1 *Cálculo de una instalación 100% renovable*

La superficie total que ocupan los módulos colocados en los tejados es de 3.488 m² y generan 800.579 kWh/año, es decir, una producción de electricidad inferior a la consumida por el municipio, 887.973 kWh/año. Para producir la misma energía eléctrica que se consume es necesario aumentar 55 kWp de potencia. Los módulos que se deben añadir no se pueden instalar en los tejados al no disponer de espacio suficiente, por esta razón, se colocarán en una parcela sin edificaciones, lo más cercana posible al municipio. La superficie de la parcela debe ser superior a 291 m² porque al estar colocados con la inclinación y el azimut óptimos, 37° y -3° respectivamente, deben tenerse en cuenta las sombras de los módulos.

	Superficie (m ²)	Número paneles	Potencia paneles (kW)
Paneles en tejados	2.868,00	1.834	568,54
Paneles en terreno	>291,00	178	55,00
Paneles totales	>3159,00	2.012	623,54

Tabla 27. Paneles fotovoltaicos necesarios para producir el total de electricidad anual consumida en el municipio.

Fuente: elaboración propia

Con esta superficie de paneles se conseguiría una producción anual de energía eléctrica igual a la consumida en el municipio, pero esto no se cumple en todos de los meses.

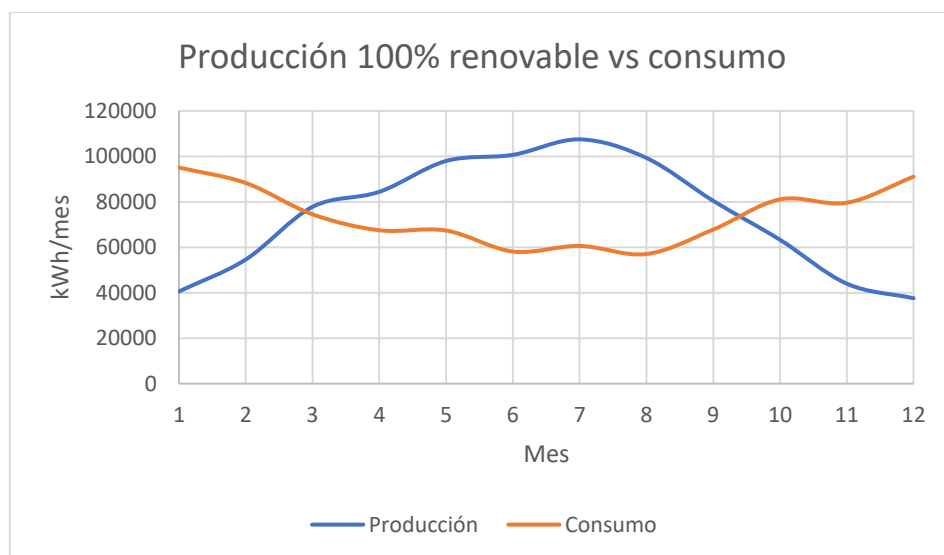


Ilustración 22. Comparación del consumo y producción de los módulos fotovoltaicos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

En los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre el consumo es superior a la producción de los módulos, siendo enero el mes más desfavorable con una diferencia entre el consumo y la producción de 54.511 kWh/año. En los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre se observa lo contrario que el caso anterior, la demanda es inferior que la producción de energía eléctrica.

Una vez calculada la potencia que es necesario instalar, se va a proceder al cálculo del mes peor para el cálculo de las baterías.

8.2.2 Método del mes peor

Se va a calcular la diferencia entre el consumo y la generación de energía en el día del mes en el que menos energía eléctrica se produce y más energía se consume. El mes en el que hay una mayor diferencia de consumo respecto a la generación ha sido calculado en el apartado anterior y se trata de enero con una diferencia de 54.511 kWh/mes.

Para realizar una buena y correcta estimación horaria se deberían obtener los datos reales de consumo horario de las viviendas, de las naves, del Ayuntamiento y de la industria. Al no conseguir ninguno de estos datos se va a realizar una estimación del consumo horario.

- **Producción en el mes peor**

Mediante el PVGIS se han obtenido los datos de producción anual de todos los módulos fotovoltaicos para la alimentación del municipio únicamente con energía generada por los paneles fotovoltaicos. Para ello, se han obtenido datos por separado de la producción de los módulos de los tejados y los colocados en el terreno, al tener distinta inclinación y azimut. En la *Ilustración 24* se muestra un ejemplo de los datos que se deben introducir en el PVGIS para obtener de la generación fotovoltaica horaria de los paneles instalados en el terreno en un año.

The image shows the 'HOURLY RADIATION DATA' form in the PVGIS application. On the left is a sidebar with navigation options: GRID CONNECTED, TRACKING PV, OFF-GRID, MONTHLY DATA, DAILY DATA, HOURLY DATA (selected), and TMY. The main form area contains the following fields and settings:

- Solar radiation database***: PVGIS-CMSAF (dropdown)
- Start year***: 2016 (dropdown)
- End year***: 2016 (dropdown)
- Mounting type***:
 - ☒ Fixed
 - ☐ Vertical axis
 - ☐ Inclined axis
 - ☐ Two-axis
- Slope [°]**: 37 (input field)
- Azimuth [°]**: 0 (input field)
- ☐ Optimize slope
- ☐ Optimize slope and azimuth
- ☒ **PV power**
- PV technology***: Crystalline silicon (dropdown)
- Installed peak PV power [kWp]***: 55 (input field)
- System loss [%]***: 14 (input field)
- ☐ Radiation components

Ilustración 23. Datos necesarios para el cálculo de la producción diaria de los módulos fotovoltaicos instalados en un terreno mediante PVGIS.

Fuente: PVGIS.

En vez de calcular individualmente la generación eléctrica horaria de los módulos colocados en los tejados, se han separado dependiendo de la inclinación de sus tejados, aproximando los ángulos de inclinación y azimut a la media de los tejados de cada grupo.

Grupos	Azimut medio (°)	Inclinación media (°)	Potencia módulos (kW)
Ángulo 0 a 4°	22	4	111,91
Ángulo 5 a 9°	20	7	142,29
Ángulo 10 a 14°	11	12	53,32
Ángulo 15 a 19°	16	17	185,07
Ángulo 20 a 24°	18	22	57,35
Ángulo 25° a 29°	21	26	18,6
Terreno	0	37	55

Tabla 28. Azimut e inclinación y la potencia total de los módulos de los diferentes grupos para el cálculo del consumo horario en un año.

Fuente: elaboración propia.

Se han sumado los datos horarios de generación de energía, obtenidos mediante PVGIS, de los paneles instalados en los tejados y en el terreno en un año. Posteriormente, se ha calculado la producción diaria total en el mes de enero. En la siguiente gráfica, se muestra la producción de los módulos fotovoltaicos para cada día de este mes. Se observa que los días con menor producción son el 3, 4, 8 y 10 con una producción de 181,69 kWh/día, 104,91 kWh/día, 227,03 kWh/día y 271,69 kWh/día.

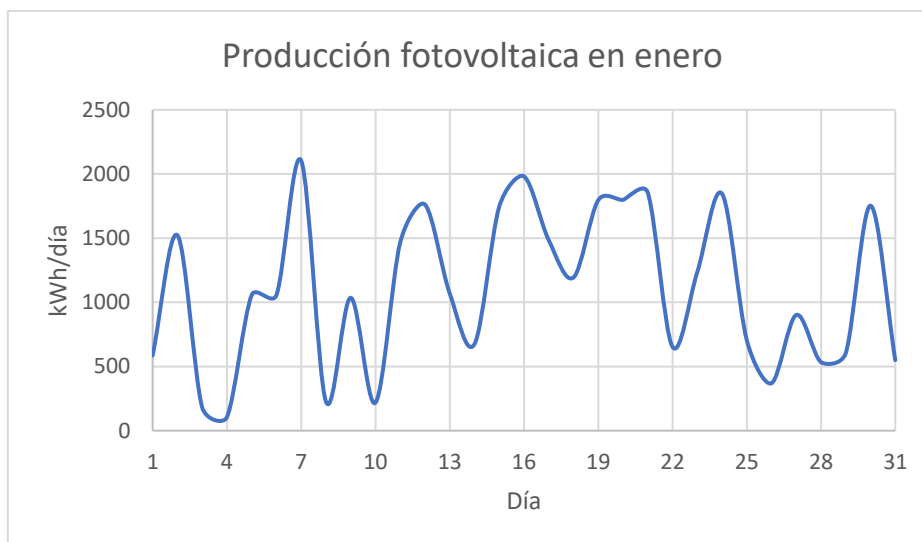


Ilustración 24. Producción de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos en el mes de enero.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

- **Consumo en el mes peor**

Para realizar una estimación del consumo en este mes se van a diferenciar los días entre lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo.

En la *Tabla 29* se incluyen los datos de consumo de las viviendas residenciales y no residenciales, del Ayuntamiento y zonas públicas, de las naves o almacenes y de la industria del municipio.

Mes	Viviendas principales (kWh/mes)	Viviendas uso vacacional (kWh/mes)	Ayuntamiento (kWh/mes)	Almacenes (kWh/mes)	Industria (kWh/mes)	TOTAL (kWh/mes)
Enero	58.905	700,00	20.647,00	1.609	13.214,00	95.076

Tabla 29. Consumo eléctrico en el mes de enero en el municipio de Banastás.

Fuente: elaboración propia.

Viviendas principales. La demanda en enero de las viviendas principales alcanza los 58.905,96 kWh/año. El consumo diario se va a estimar a partir de los datos del proyecto INDEL realizado por la Red Eléctrica de España [28]. En la *Ilustración 26* se muestra una gráfica de este proyecto que representa el consumo de todos los días de la semana respecto al miércoles. Se puede apreciar que los lunes se consume un 5% menos que el miércoles. Los martes, jueves y viernes el consumo eléctrico es el mismo que el miércoles y en los sábados y domingos se aprecia un descenso más pronunciado en el consumo, alcanzándose un consumo 15% y 25% inferior al del miércoles respectivamente. Estos porcentajes van a ser utilizados para realizar los cálculos del consumo semanal para las viviendas principales.

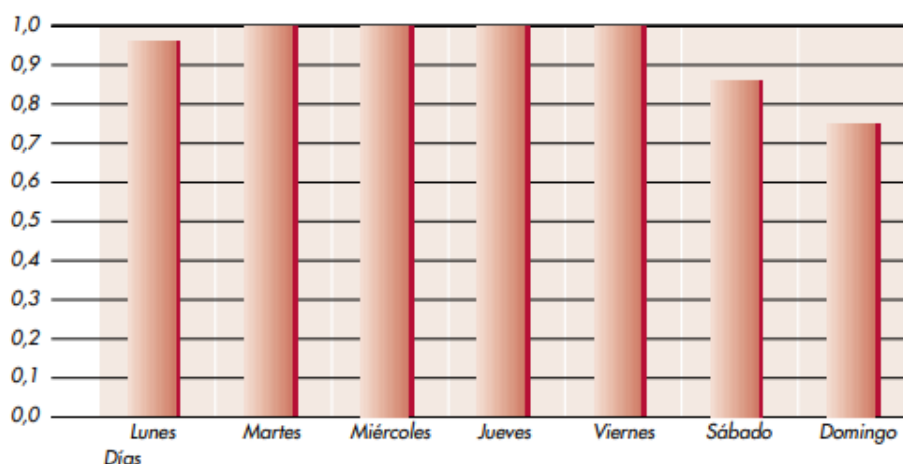


Ilustración 25. Coeficiente de demanda respecto a el miércoles.

Fuente: Proyecto INDEL de la REE.

Para el cálculo del consumo diario de las viviendas principales se va a suponer que en todas las semanas del mes se consume la misma energía eléctrica, es decir, se ha dividido el consumo para cada semana de forma proporcional. En el reparto del consumo entre los días de cada semana de enero, se ha tenido en cuenta el año en el que se han tomado todos los datos, 2016. En este año, el día 1 del mes de enero coincidió en viernes y el día 31 en domingo. Se han incluido todos los consumos de cada día de este mes en el **ANEXO XI**.

La *Tabla 30* muestra los datos de consumo para cada semana del mes de enero.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
% Gráfica REE ¹	0,95	1	1	1	1	0,85	0,75
Consumo							
(kWh/día)	1.939	2.045	2.045	2.045	2.045	1.741	1.536

Tabla 30. Consumo semanal estimado para las viviendas residenciales.

Fuente: elaboración propia y REE.

Viviendas de uso vacacional. En estas viviendas se va a suponer que el consumo eléctrico solo se produce en los fines de semana del mes. El consumo total en el mes de enero es de 700 kWh/mes, y al dividir de forma proporcional este consumo para cada sábado y domingo del mes, se obtiene un consumo de 70 kWh/día. El consumo diario se ha incluido en el **ANEXO XI**.

Almacenes o naves. El consumo total en enero de los almacenes o naves de almacenaje del municipio es de 1.609 kWh. Se va a suponer que consumen electricidad todos los días de la semana excepto el domingo y que este consumo se realiza de forma equitativa entre estos días. Con estas suposiciones el consumo total de los almacenes es de 61,88 kWh/día de lunes a sábado y nulo el domingo. Todos los consumos diarios de enero de los almacenes se han incluido en el **ANEXO XI**.

Ayuntamiento y zonas comunes. El consumo en el mes de enero del Ayuntamiento y de las zonas públicas de Banastás se divide en varias secciones que se muestran en la *Tabla 31*.

Consumo(kWh/mes)						
Mes	Elevación de aguas	Casa Consistorial	Bomba de agua	Grupo presión	Alumbrado público	Piscinas-pabellón
Enero	4.215	1.254	2.427	24	10.435	2.292

Tabla 31. Consumo eléctrico en el mes de enero del Ayuntamiento y de las zonas públicas del municipio.

Fuente: elaboración propia

Se va a suponer un consumo diario constante para las secciones de elevación de aguas, bomba de agua, grupo de presión y alumbrado público, por lo que su consumo se dividirá de forma equitativa para todos los días del mes.

La Casa Consistorial, es decir, el edificio en el que se encuentra el Ayuntamiento únicamente permanece abierto al público los martes y jueves de cada mes para consultas con el secretario del Ayuntamiento, y los miércoles se utiliza una sala para consultas médicas al no haber un centro

¹ Porcentaje de consumo diario respecto al miércoles

médico en el pueblo. Con estos datos, se supone que el consumo diario en el grupo de la casa Consistorial es igual para los martes, miércoles y jueves y nulo para el resto de los días.

En el grupo piscinas - pabellón, se encuentra incluido el bar del municipio. En invierno el bar y el pabellón están abiertos de viernes a domingo, por lo que el consumo el resto de los días es nulo. Se va a suponer que los sábados y domingos el consumo sea el mismo y los viernes un 25% menor. Se han incluido los consumos semanales de los diferentes grupos de consumo del Ayuntamiento y zonas comunes en la *Tabla 32*.

Día	Elevación de aguas (kWh/día)	Casa Consistorial (kWh/día)	Bomba de agua (kWh/día)	Grupo presión (kWh/día)	Alumbrado público (kWh/día)	Piscinas-pabellón (kWh/día)	Total (kWh/día)
Lunes	135,96	0	78,29	0,77	336,61	0	551,63
Martes	135,96	104,5	78,29	0,77	336,61	0	656,13
Miércoles	135,96	104,5	78,29	0,77	336,61	0	656,13
Jueves	135,96	104,5	78,29	0,77	336,61	0	656,13
Viernes	135,96	0	78,29	0,77	336,61	125,5	677,13
Sábado	135,96	0	78,29	0,77	336,61	166,45	718,08
Domingo	135,96	0	78,29	0,77	336,61	166,45	718,08

Tabla 32. Consumo semanal del Ayuntamiento y zonas públicas en el mes de enero.

Fuente: elaboración propia.

Industria. El consumo en la industria está dividido en 3 secciones, la oficina, las naves de almacenamiento y en la fábrica.

Consumo	Fábrica (kWh/mes)	Oficina (kWh/mes)	Almacén (kWh/mes)	Total (kWh/mes)
Enero	9.600	1.280	1.609	13.214

Tabla 33. Consumo de la fábrica en el mes de enero.

Fuente: elaboración propia.

Esta industria permanece cerrada los fines de semana, por lo que se han dividido los consumos de forma equitativa para el resto de los días, obteniendo un consumo de 629,24 kWh/día en los días laborales (lunes a viernes). Los consumos diarios de la industria están en el **ANEXO XI**.

Comparación del consumo y de la producción mensual

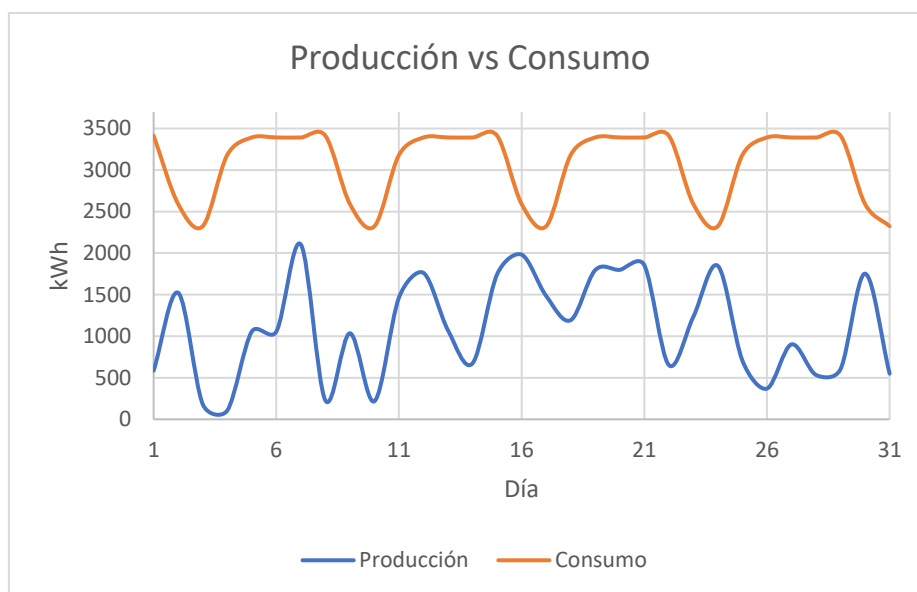


Ilustración 26. Comparación del consumo y producción de electricidad en el mes de enero.

Fuente: elaboración propia.

Comparando el consumo y la producción de energía de todo el pueblo en el mes de enero se aprecia que no hay ningún día de este mes que se produzca energía en exceso, por lo que se decide descartar el uso de baterías para el pueblo. Si se quisiese realizar el coste de las baterías sería muy elevado y no sería rentable frente a una instalación conectada a red.

9. RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED

Como se ha descartado las instalaciones aisladas, en este apartado se va a tratar de determinar la rentabilidad económica de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. Para llevarlo a cabo se necesitan conocer distintos parámetros:

VAN (Valor actual neto). Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Siendo:

- I: Inversión inicial.
- N: número de periodos considerados
- Qn: Flujos de caja anuales
- r: tasa de actualización

Una vez calculado, el VAN puede ser negativo nulo o positivo. Si éste es positivo quiere decir que la inversión produciría ganancias, si es negativo pérdidas y si es nulo no produciría ni ganancias ni pérdidas [29].

Flujo neto de Caja. Es la suma de todos los cobros menos todos los pagos efectuados durante la vida útil del proyecto de inversión [30].

$$\text{Flujo de Caja} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

TIR (Tasa Interna de Rentabilidad). Es la tasa de descuento que hace cero al Valor Actual Neto. Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor [29], [30].

- **Periodo de recuperación.** Es el número de años que se tarda en recuperar la inversión inicial.
- **Amortización lineal.** Es la división del valor de un activo en partes iguales durante un periodo de tiempo.

Se van a analizar las instalaciones fotovoltaicas por separado para obtener la rentabilidad de cada una de forma individual. En el caso de las instalaciones fotovoltaicas, los ingresos son el ahorro económico de energía al año y los gastos son los costes de mantenimiento de la cada instalación. El ahorro económico se va a suponer que aumenta cada año, al preverse un IPC del 1,2%, y respecto a los gastos de mantenimiento, se van a suponer el 1% de la inversión inicial, con un aumento del 2% cada año.

Los módulos fotovoltaicos, según su fabricante, tienen una amortización lineal de 25 años, por lo que se va a tomar también como dato para el cálculo de cada instalación.

- **Ayuntamiento**

Rentabilidad		
Años	3	4
VAN (€)	-7.749,51	16.770,41
TIR	-5%	8%
Periodo de recuperación (años)	5,22	5,22

Tabla 34. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para el Ayuntamiento.

Fuente: elaboración propia.

A pesar de la elevada inversión inicial, de 79.282 €, que supondría la instalación en el ayuntamiento, el tiempo en recuperarla es menor de 5,22 años, y se obtendría un VAN positivo a partir del cuarto año, por lo que sería muy rentable.

- **Industria**

Rentabilidad		
Años	5	6
VAN (€)	-11.672,25	980,86
TIR	0%	0%
Periodo de recuperación (años)	8,03	8,03

Tabla 35. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para la industria.

Fuente: elaboración propia.

Para la instalación de la industria se recuperaría la inversión inicial en un plazo de 8 años y se obtiene un VAN positivo desde el sexto año. Como ocurre con el Ayuntamiento, también resultaría rentable la instalación fotovoltaica.

- **Viviendas principales**

Se va a calcular la rentabilidad de la instalación para los tres tipos de viviendas principales analizadas anteriormente, que son las viviendas 8, 11 y 15, es decir, la vivienda principal de menor tamaño orientada al sur, la vivienda principal no orientada al sur y la vivienda principal de gran tamaño orientada al sur respectivamente.

- Vivienda 8

Rentabilidad		
Años	5	6
VAN (€)	-1,54	927,22
TIR	0%	6%
Periodo de recuperación (años)	7,12	7,12

Tabla 36. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para la vivienda 8.

Fuente: elaboración propia.

En esta vivienda la inversión inicial se recupera a los 7,12 años, pero desde los 6 años de su instalación se puede afirmar que es una inversión rentable, con un VAN positivo de 927,22 €.

- Vivienda 11

Rentabilidad		
Años	4	5
VAN (€)	-366,05	483,35
TIR	-4%	4%
Periodo de recuperación (años)	6,53	6,53

Tabla 37. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para la vivienda 11.

Fuente: elaboración propia.

En esta vivienda el periodo de recuperación de la inversión inicial es de seis años y medio y se obtiene un VAN positivo a partir del quinto año, por lo que sería rentable la inversión.

- Vivienda 15

Rentabilidad		
Años	8	9
VAN (€)	-743,80	144,34
TIR	-2%	0%
Periodo de recuperación (años)	10,4	10,4

Tabla 38. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para la vivienda 15.

Fuente: elaboración propia.

En la vivienda 15 el periodo de recuperación de la inversión inicial es ligeramente superior a los 10,4 años y la inversión sería rentable a partir del noveno año de vida de la instalación, con un VAN de 144,34€.

- Viviendas de uso vacacional

Rentabilidad	
Años	25
VAN (€)	-2.945,29
Periodo de recuperación (años)	22,52

Tabla 39. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para una vivienda de uso vacacional.

Fuente: elaboración propia.

Para una vivienda de uso vacacional no es aconsejable una instalación fotovoltaica debido a que el coste del consumo eléctrico anual es muy bajo comparado con la inversión que debe realizarse. Puede observarse que hasta casi 23 años después no se recupera la inversión inicial, y si se tiene en cuenta que la garantía de los módulos es 25 años, no saldría rentable la inversión porque se tendría un VAN negativo de -2.945,29€.

- Naves o almacenes

- Pequeño tamaño

Rentabilidad		
Años	5	6
VAN (€)	-229,14	82,85
TIR	-5%	1%
Periodo de recuperación (años)	7,5	7,5

Tabla 40. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para un almacén pequeño

Fuente: elaboración propia.

En una nave pequeña la inversión inicial se recuperaría a los 7 años y medio y sería rentable la instalación a partir del sexto año, con un VAN positivo de 82,85 €.

- Gran tamaño

Rentabilidad		
Años	17	18
VAN (€)	-201,39	117,57
TIR	0%	0%
Periodo de recuperación (años)	14,7	14,7

Tabla 41. Rentabilidad de una instalación fotovoltaica para un almacén de gran tamaño.

Fuente: elaboración propia.

La inversión inicial en una nave de mayor tamaño se recuperaría tras casi 15 años de su instalación, pero no sería rentable hasta el año 18, en el que se obtendría un VAN positivo de 117,57 €.

10.INSTALACIONES COLECTIVAS

Una nueva tendencia del mercado son las instalaciones colectivas o Local Community Energy (LCE). Estas instalaciones están formadas por vecinos que realizan una inversión común para la compra de una instalación fotovoltaica conjunta y comparten sus costes.

Los paneles no tienen que estar instalados en todas las viviendas, sino que se instalan en aquellas viviendas que tengan un tejado con condiciones óptimas para generar una mayor cantidad de energía.

Para ello, se van a analizar tres agrupaciones de viviendas del municipio, que se podrán extrapolar al resto del municipio, comparando la rentabilidad de sus instalaciones individuales con una instalación colectiva.

- **Grupo 1:** formado por las viviendas de la *Tabla 42*.

Columna1	Módulos FV	Potencia (kW)	Generación (kWh/año)	Consumo (kWh/año)
Vivienda 7	0	0	0	5.317
Vivienda 11	10	3,1	4.622	5.317
Vivienda 12	35	10,85	15.642	5.317
Vivienda 13	7	2,7	3.228	5.317
Vivienda 15	30	9,3	13.653	5.317
Vivienda 16	0	0	0	5.317
Vivienda 17	0	0	0	5.317
Total	82	25,9	33.917	37.219

Tabla 42. Consumo y producción en una instalación colectiva.

Fuente: elaboración propia y PVGIS:

Comparando el consumo con la generación mensual se observa que se produce un excedente anual de 6.771,39 kWh/año y se necesitaría un consumo de la red de 6.848,64 kWh/año.

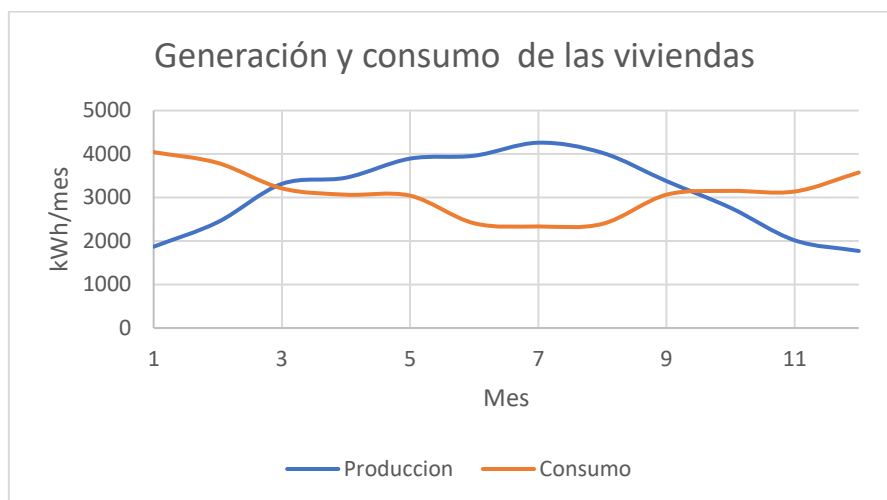


Ilustración 27. Generación y consumo mensual de las viviendas.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Una vez comparada la generación y el consumo se ha calculado el coste de los módulos y de su estructura, 15.883,40€. También se ha seleccionado el inversor que necesitan los módulos de cada tejado, con un coste de 6.729,75€, y se han incluido el **ANEXO XII**. El coste del resto de equipamientos no se va a tener en cuenta.

En el coste de la energía y potencia eléctrica se ha supuesto una potencia contratada de 6,9 kW para cada vivienda, lo que hace un total de 48,3kW, por lo que se ajustaría una tarifa de 30-50kW de Endesa. Los cálculos se han incluido en el **ANEXO XII**.

Coste electricidad sin instalación FV	Coste electricidad con instalación FV
6.933,78 9€/año	2.455,8 €/año

Tabla 43. Coste de electricidad para todas las viviendas con y sin instalación fotovoltaica.

Fuente: elaboración propia.

Con estos datos se ha calculado el ahorro al año energético para el total de las viviendas y la inversión que sería necesario realizar.

Inversión (€)	Ahorro (€/año)
22.610	3.311,16

Tabla 44. Inversión y ahorro de energía

Fuente: elaboración propia.

Analizando la rentabilidad de esta instalación colectiva se obtiene un periodo de recuperación de la inversión de 6,83 años, pero se consigue un VAN positivo desde el año 4.

Rentabilidad		
Años	4	5
VAN (€)	-2.125,02	3.198,27
TIR	-4%	5%
Periodo de recuperación (años)	6,83	6,83

Tabla 45. Rentabilidad de la instalación fotovoltaica colectiva para cada vecino.

Fuente: elaboración propia.

Una vez calculada la rentabilidad para la instalación colectiva, se va a calcular la rentabilidad por separado de cada vivienda. La rentabilidad de la vivienda 11 y de la 15 ha sido calculada en el apartado anterior, por lo que únicamente se calculará la de la vivienda 12 y 13 (ver en el **ANEXO XII**).

	Ahorro (€)	Inversión (€)	Rentabilidad individual	Rentabilidad LCE
Vivienda 7	0	0	No	5 años
Vivienda 11	203,49	3.254,17	5 años	
Vivienda 13	142,29	2.610,79	5 años	
Vivienda 12	234,09	9.620,02	12 años	
Vivienda 17	0	0	No	
Vivienda 16	0	0	No	
Vivienda 15	234,09	7.128,17	9 años	

Tabla 46. Comparación entre la rentabilidad individual y colectiva de las viviendas.

Fuente: elaboración propia.

En la *Tabla 46* se puede observar que con la instalación colectiva se consigue una rentabilidad de la inversión en 5 años. En las instalaciones de las viviendas 11 y 13 se consigue la rentabilidad en el mismo periodo de tiempo, pero en las instalaciones de las viviendas 12 y 15 no se obtendría una rentabilidad hasta el año 12 y 9 respectivamente. Además, la inversión inicial de algunos propietarios con una instalación individual es mayor que la inversión que se realizaría en la instalación colectiva, de 3.230 €. Las únicas viviendas que no les saldría rentable esta instalación son las viviendas 11 y 13.

Una instalación colectiva sería beneficiosa para algunas viviendas por diferentes motivos:

- En las viviendas 9 y 12 se tiene una mayor capacidad de instalar módulos fotovoltaicos y por ello, se produce un gran excedente de energía. Este excedente podrían aprovecharlo otras viviendas que no tienen capacidad de instalar módulos fotovoltaicos y a cambio, los propietarios de estas viviendas se ahorran gran parte de inversión inicial al dividirse los costes entre todos.
- En las viviendas 7, 16 y 17, al no tener capacidad para instalar sus módulos fotovoltaicos, la inversión saldría rentable al quinto año.

- **Grupo 2:** formado por las viviendas de la *Tabla 47*.

	Módulos FV	Potencia módulos (kW)	Generación (kWh/año)	Consumo (kWh/año)
Vivienda 86	0	0	0	790
Vivienda 87	12	3,72	5.362	5.317
Vivienda 88	0	0	0	790
Vivienda 89	4	1,24	1.820,1	5.317
Vivienda 90	6	1,86	2.733	790
Vivienda 91	24	7,44	10.920	5.317
Vivienda 92	0	0	0	5.317
Vivienda 93	8	2,48	3.572	5.317
Vivienda 94	2	0,62	893,7	5.317
Vivienda 95	12	3,2	5.362	5.317

Tabla 47. Consumo y generación de energía de cada vivienda.

Fuente: elaboración propia.

En este caso, la tarifa que deben contratar es la 3.0A con potencias entre 50-100 kW de Endesa, al tener que contratar de 65,55kW teniendo en cuenta la potencia de las viviendas permanentes, de 6,9 kW y de viviendas de uso vacacional, de 5,75 kW.

Una vez se ha analizado la diferencia entre el consumo y la generación de energía, se obtiene que la energía que se consume de la red eléctrica es de 39.442,25 kWh/año sin instalación fotovoltaica y de 11.136,77kWh/año con ella. Ver cálculos en el **ANEXO XIII**.

Los costes de los módulos y su estructura hacen un total de 13.171,6€ y los respectivos inversores de 8.441,07 €. Se han incluido en el **ANEXO XIII**.

Inversión (€)	Ahorro (€/año)
21.612,67	3.001,15

Tabla 48. Inversión y ahorro de la instalación colectiva.

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la *Tabla 48* se ha calculado la rentabilidad de la instalación, y se puede observar en la *Tabla 49* que esta sería rentable tras 5 años desde su instalación y que la inversión inicial se recuperaría en 7,2 años.

Rentabilidad		
Años	4	5
VAN (€)	-3.366,72	1.377,83
TIR	-6%	2%
Periodo de recuperación (años)	6,95	6,95

Tabla 49. Rentabilidad de la instalación colectiva.

Fuente: elaboración propia.

Para poder comparar la instalación colectiva, se han analizado las viviendas por separado (ver en el **ANEXO XIII**) y se ha calculado su rentabilidad, como se puede observar en la *Tabla 50*.

	Ahorro (€)	Inversión (€)	Rentabilidad individual	Rentabilidad LCE
Vivienda 86	0	0	-	5 años
Vivienda 87	566,43	3.641,57	5 años	
Vivienda 88	0	0	-	
Vivienda 89	240,79	1.641,64	5 años	
Vivienda 90	97,89	2.029,04	No	
Vivienda 91	698,91	6.733,41	7 años	
Vivienda 92	0	0	-	
Vivienda 93	446,70	2.804,49	4 años	
Vivienda 94	118,23	387,4	7 años	
Vivienda 95	566,43	3.641,57	5 años	

Tabla 50. Rentabilidad de viviendas con una instalación individual o una colectiva.

Fuente: elaboración propia.

En este caso, gracias a la instalación colectiva se podrían instalar módulos fotovoltaicos en la vivienda 90 porque al tener muy poco consumo no saldría rentable la instalación individual. Por otra parte, la instalación de la vivienda 93 se amortizaría antes de forma individual en vez de colectiva. En este caso, en la vivienda 89 no es más rentable una instalación colectiva que una solar, al tener que hacer una inversión menor, de 1641,64€ frente a 2.161,27€ de la instalación colectiva y tener una rentabilidad a los 5 años.

Para llegar a unas conclusiones más firmes sobre las instalaciones colectivas, se va a analizar un último grupo de viviendas.

- **Grupo 3**

	Módulos FV	Potencia módulos (kW)	Generación (kWh/año)	Consumo (kWh/año)
Vivienda 64	12	3,72	5362	5.317
Vivienda 65	12	3,72	5.362	5.317
Vivienda 66	8	2,48	3572	790
Vivienda 67	0	0	0,00	5.317
Vivienda 68	0	0	0	5.317
Vivienda 69	26	8,06	11.607	5.317
Vivienda 70	12	3,72	5362	5.317
Vivienda 71	4	1,24	1.789	5.317
Total	74	22,94	33.053,6	38.009

Tabla 51. Generación de los módulos y consumo de cada vivienda.

Fuente: elaboración propia.

Los propietarios de esta instalación colectiva de viviendas, debe contratar una potencia de 54,05kW, por lo que se seleccionaría la tarifa de Endesa para potencias de 15-30kW. Los cálculos del coste de energía se encuentran en el **ANEXO XIV**.

El coste total de los módulos, de su estructura y de los inversores asciende a 22.471€. Ver costes en el **ANEXO XIV**.

Inversión (€)	Ahorro (€/año)
22.471	2.367,97

Tabla 52. Inversión y ahorro con la instalación colectiva.

Fuente: elaboración propia.

Una vez calculada la rentabilidad de esta instalación se observa que el periodo de recuperación de la inversión es de 9 años y medio y no se consigue una rentabilidad hasta el séptimo año.

Rentabilidad		
Años	6	7
VAN (€)	-2.860,14	613,35
TIR	-4%	1%
Periodo de recuperación (años)	9,49	9,49

Tabla 53. Rentabilidad de la instalación colectiva.

Fuente: elaboración propia.

Al calcular la rentabilidad de las instalaciones de las viviendas por separado, en la *Tabla 55* se observa que en este caso a la mitad de los propietarios de las viviendas le saldría rentable la instalación colectiva y a la otra mitad no. Esto se debe a que en este grupo se tienen varias viviendas con una instalación fotovoltaica acorde a su consumo y otras no, por ejemplo, la vivienda 66 tiene un consumo muy pequeño al ser una vivienda de uso vacacional. En la vivienda 69 se podrían instalar un elevado número de módulos para favorecer la instalación colectiva, pero si se tuviese que realizar una instalación individual no se instalaría tanta potencia para tener mayor rentabilidad. Los cálculos se han incluido en el **ANEXO XIV**.

	Ahorro (€)	Inversión (€)	Rentabilidad individual	Rentabilidad LCE
Vivienda 64	566,37	3641,57	6,42 años	9,49 años
Vivienda 65	566,37	3641,57	6,42 años	
Vivienda 66	104,51	2804,49	No	
Vivienda 67	-	0	-	
Vivienda 68	-	0	-	
Vivienda 69	699,78	7120,81	10,17 años	
Vivienda 70	566,37	3641,57	6,42 años	
Vivienda 71	236,56	1641,64	6,93 años	

Tabla 54. Rentabilidad de una instalación colectiva comparada con las instalaciones individuales de las viviendas.

Fuente: elaboración propia.

11.CONCLUSIONES

1. El diseño y la orientación del municipio de Banastas no es el óptimo para la producción de energía solar fotovoltaica.
2. En el hipotético caso de que las viviendas con diferente disposición se orientaran hacia el sur, la potencia instalada del pueblo aumentaría 74,4 kW y se generaría un 113% de la energía consumida, en lugar del 90% obtenida en el estudio.

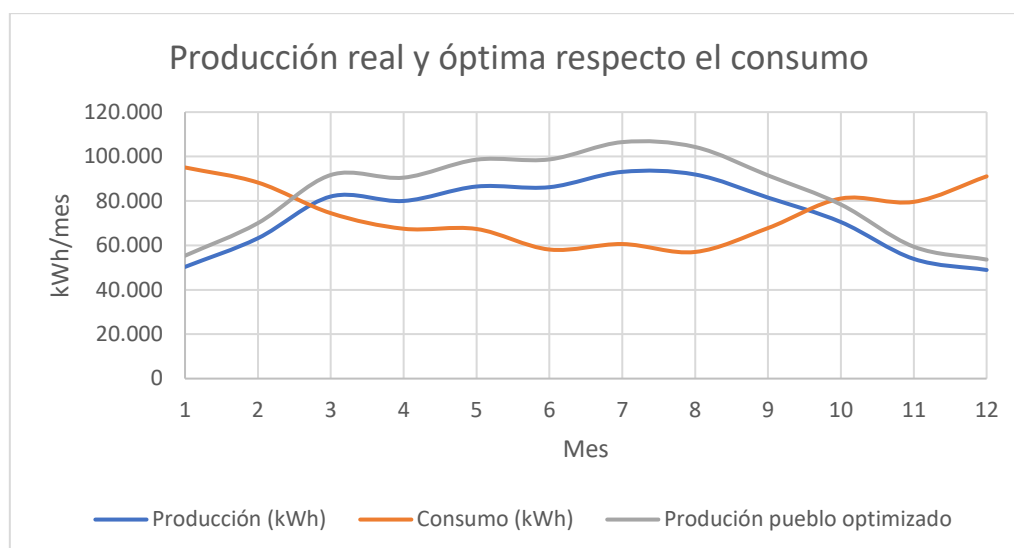


Ilustración 28. Comparación de la producción real e ideal con el consumo del pueblo.

Fuente: elaboración propia

3. Es interesante incorporar una instalación fotovoltaica en el Ayuntamiento de Banastas al obtener un VAN positivo a partir del cuarto año de vida. En el caso de la industria, la instalación fotovoltaica sería rentable desde el sexto año.
4. La aplicación de las instalaciones colectivas reduce los elevados costes de inversión inicial que se generan en algunas instalaciones individuales, gracias a la distribución de los costes entre los propietarios. Esto puede ocasionar un incremento en la aplicación de instalaciones fotovoltaicas al disminuir el riesgo de la inversión.
5. Con las instalaciones colectivas habría una mayor potencia instalada al poder aprovechar toda la superficie de los tejados con buena orientación, porque de forma individual no saldría rentable realizar la inversión de la instalación fotovoltaica.
6. Las instalaciones colectivas no son rentables en aquellas viviendas que poseen el espacio justo en sus tejados para una instalación que genere únicamente la misma energía que se consume.

12.BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. De Juana, José M^a; Francisco García, Adolfo; Fernández González, Jesús; Santos García, Florentino; Herrero García, Miguel Ángel ;Crespo Martínez, *Energías Renovables para el desarrollo*, Internatio. Madrid, 2003.
- [2] J. C. Schallenberg Rodríguez *et al.*, *Energías renovables y eficiencia energética*. .
- [3] M. Ortega Rodríguez, *Energías renovables*, Editorial. Madrid, 2000.
- [4] J. M. Fernández Salgado, *Guía completa de la energía solar fotovoltaica*, A.Madrid V. Madrid, 2007.
- [5] “Energía Eólica: Qué es, Definición y Concepto | Twenergy.” [Online]. Available: <https://twenergy.com/energia/energia-eolica/>. [Accessed: 31-Oct-2019].
- [6] “¿Qué es la energía geotérmica? - Geotermia Vertical.” [Online]. Available: <https://www.geotermiavertical.es/energia-geotermica/>. [Accessed: 31-Oct-2019].
- [7] “Energías del mar.” [Online]. Available: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energias-del-mar>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [8] BP, “Full report – BP Statistical Review of World Energy 2019.”
- [9] E. sistema eléctrico Español, “Comprometidos con la energía inteligente,” 2018. [Online]. Available: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/inf_sis_elec_ree_2018.pdf. [Accessed: 18-Oct-2019].
- [10] “Energía solar | PVEducation.” [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/introducción/energía-solar>. [Accessed: 31-Oct-2019].
- [11] M. Kaltschmitt, W. Streicher, and A. Wiese, Eds., *Renewable Energy*. .
- [12] M. C. Tobajas Vázquez, *Energía solar térmica para instaladores*, Cano Pina,. 2012.
- [13] A. Estatal De Meteorología, “MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO.”
- [14] “Atlas de radiación solar en España - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España.”
- [15] “Claves de la nueva normativa de Autoconsumo Fotovoltaico (RD 244/2019).” [Online].

- Available: <https://www.cambioenergetico.com/blog/claves-de-la-nueva-normativa-de-autoconsumo-fotovoltaico-real-decreto-244-2019/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [16] C. oficial ingenieros de Telecomunicación, *Energía solar fotovoltaica - Grupo de nuevas actividades profesionales.*, vol. 53, no. 9. 2013.
 - [17] “Los 10 paneles solares más eficientes del mercado. (Actualizado) - Energy News.” [Online]. Available: <https://www.energynews.es/los-10-paneles-solares-mas-eficientes/>. [Accessed: 19-Nov-2019].
 - [18] “Soportes para placas solares: el patito feo de las instalaciones - Blog de SOLARMAT.” [Online]. Available: <http://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>. [Accessed: 20-Nov-2019].
 - [19] C. Ramirez, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1,” p. 24, 2008.
 - [20] R. Curso, “Energía solar Fotovoltaica Contenido,” 2019.
 - [21] “Elementos de proteccion de la instalacion fotovoltaica : Energía Solar Fotovoltaica.” [Online]. Available: <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/02/elementos-de-proteccion-de-la.html>. [Accessed: 20-Nov-2019].
 - [22] “BOE.es - Documento BOE-A-1997-25340.” [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-25340>. [Accessed: 02-Nov-2019].
 - [23] “Regulación española de las energías renovables | Energía y Sociedad.” [Online]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-5-regulacion-espanola-de-las-energias-renovables/>. [Accessed: 02-Nov-2019].
 - [24] “BOE.es - Documento BOE-A-2014-3376.” [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-3376>. [Accessed: 10-Nov-2019].
 - [25] “BOE.es - Documento BOE-A-2019-5089.” [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089. [Accessed: 08-Nov-2019].
 - [26] “CALCMAPS - Herramientas Google Maps.” [Online]. Available: <https://www.calcmaps.com/es/>. [Accessed: 25-Oct-2019].
 - [27] Institute for Energy Diversification and Saving - IDAE, “Project Sech-Spahousec, Analysis of the Energetic Consumption of the Residential Sector in Spain,” *Idae*, p. 76, 2016.
 - [28] E. De Viesgo, S. A. E. Reunidas, and D. E. Zaragoza, “RED PROYECTO ATLAS DE

LA DEMANDA ELÉCTRICA ESPAÑOLA INDEL.”

- [29] “Análisis económico,” 2019. [Online]. Available: http://apuntesduoc.pbworks.com/f/Valor_actual_netto.pdf. [Accessed: 12-Nov-2019].
- [30] Integral S.A, “Estudios de viabilidad del proyecto embalse del Quindío - Aspectos ambientales,” p. 81, 2013.

ANEXOS

ANEXO I: Tejados numerados del municipio

Los tejados con los números 9, 10, 56 y 72 pertenecen a propiedades del Ayuntamiento.

Los tejados con números 96 y 97 son de la industria.

El resto de los tejados pertenecen a viviendas principales y de uso vacacional.



Ilustración 29. Viviendas numeradas del municipio.

Fuente: GoogleMaps



Ilustración 30. Viviendas numeradas del municipio.

Fuente: GoogleMaps



Ilustración 31. Viviendas numeradas del municipio.

Fuente: GoogleMaps



Ilustración 32. Viviendas numeradas del municipio.

Fuente: GoogleMaps



Ilustración 33. Viviendas numeradas del municipio.

Fuente: GoogleMaps

ANEXO II: Características técnicas del tipo de módulo fotovoltaico

Panel Solar 310W Monocrystalino ERA de la marca AutoSolar.

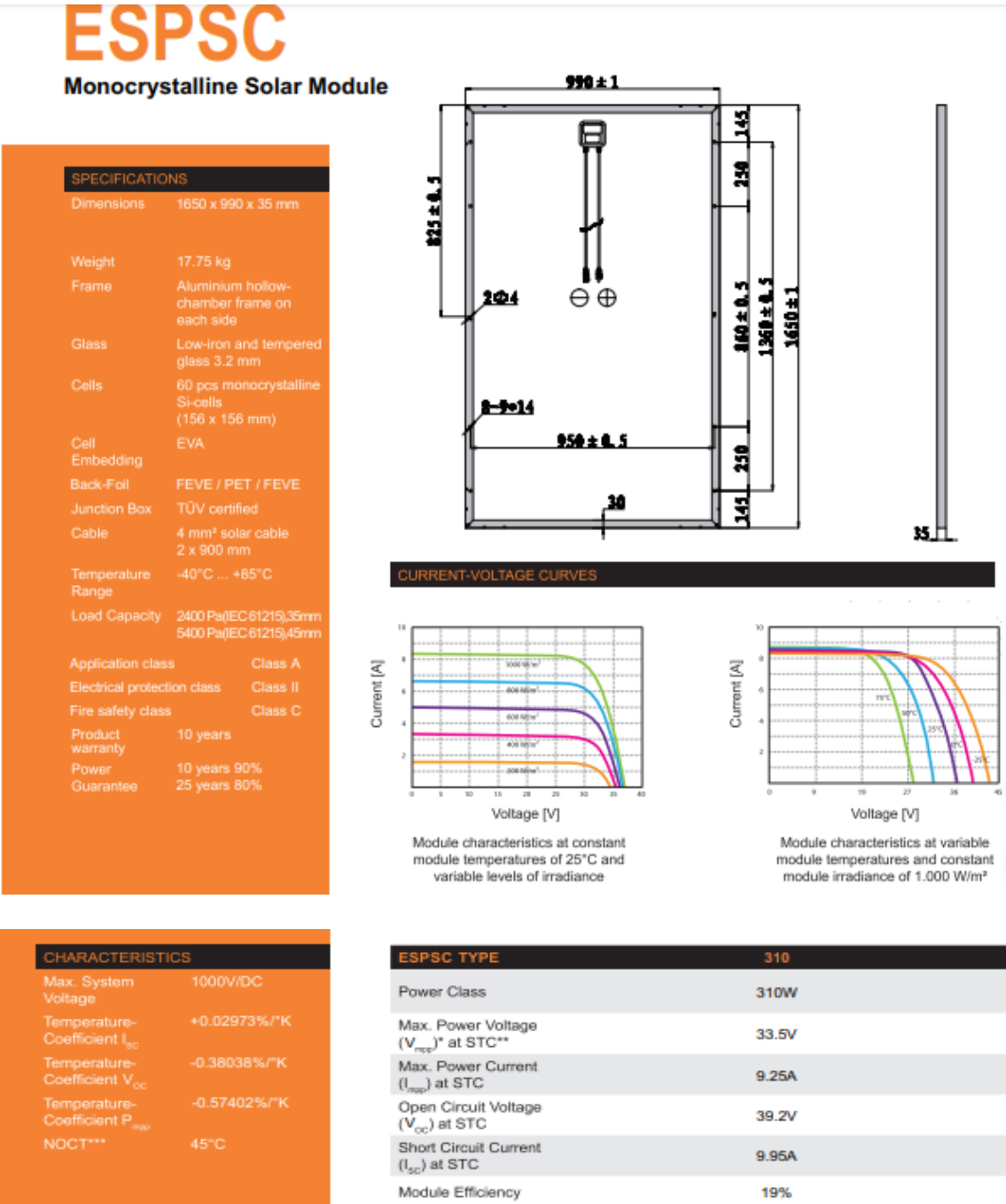


Tabla 55. Características de los módulos fotovoltaicos seleccionados.

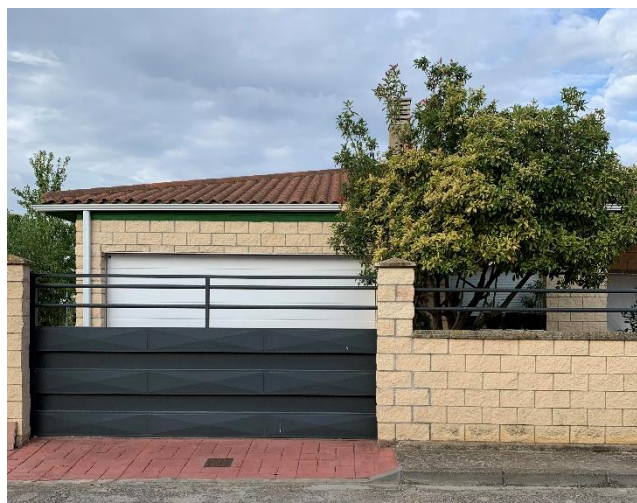
Fuente: Isofotón.

ANEXO III: Inclinación de los tejados



***Ilustración 34.** Tejado con inclinación entre 0 y 4grados.*

Fuente: elaboración propia.



***Ilustración 35.** Tejado del grupo con inclinación entre 5 y 10 grados.*

Fuente: elaboración propia.



***Ilustración 36.** Tejado con inclinación entre 10 y 14 grados.*

Fuente: elaboración propia.



***Ilustración 37.** Tejado con inclinación entre 15 y 19 grados.*

Fuente: elaboración propia.



***Ilustración 38.** Tejado perteneciente al grupo con inclinación entre 20 y 24 grados.*

Fuente: elaboración propia.



***Ilustración 39.** Tejado con inclinación mayor de 25 grados.*

Fuente: elaboración propia.

ANEXO IV: Cálculo de los parámetros de cada grupo

Angulo 0° a 4°	Inclinación (°)	Azimet (°)	Superficie (m²)	Número paneles	Potencia módulos (kWp)
Tejado 18	4	22	13,2	8	2,48
Tejado 19	4	22	133	81	25,11
Tejado 31	4	22	13,3	8	2,48
Tejado 51	4	22	98,8	60	18,6
Tejado 72	4	22	125	200	62

Tabla 56. Inclinación, azimet, superficie, número de paneles y potencia de estos de los tejados del grupo de 0 a 4 grados.

Fuente: elaboración propia.

Ángulo 5° a 9°	Inclinación (°)	Azimet (°)	Superficie (m2)	Número de módulos	Potencia módulos (kWp)
Tejado 2	7	22	12,35	7	2,17
Tejado 3	7	22	68,4	41	12,71
Tejado 5	8	22	3,8	2	0,62
Tejado 10	6	22	60	34	10,54
Tejado 14	8	22	34,2	20	6,2
Tejado 23	9	22	19,95	12	3,72
Tejado 52	8	-13	13,3	8	2,48
Tejado 80	9	13	15,2	9	2,79
Tejado 83	9	13	11,4	6	1,86
Tejado 96	8	44	500	306	94,86
Tejado 97	8	44	20,9	12	3,72

Tabla 57. Inclinación, azimet, superficie, número de paneles y potencia de estos de los tejados del grupo de 5 a 9 grados.

Fuente: elaboración propia.

Ángulo 10° a 14°	Inclinación (°)	Azimet (°)	Superficie (m2)	Número de módulos	Potencia módulos (kWp)
Tejado 11	12	22	18,05	10	3,1
Tejado 13	11	22	12,635	7	2,17
Tejado 21	10	22	32,49	19	5,89
Tejado 24	11	22	18,9525	11	3,41
Tejado 34	11	22	21,66	13	4,03
Tejado 42	14	12	19,855	12	3,72
Tejado 44	14	12	18,05	11	3,41
Tejado 47	14	12	13,5375	8	2,48
Tejado 48	14	12	21,66	13	4,03
Tejado 75	14	13	14,44	8	2,48
Tejado 78	14	13	4,5125	2	0,62
Tejado 81	11	13	16,245	9	2,79
Tejado 105	14	13	9,025	5	1,55
Tejado 110	14	13	19,855	12	3,72
Tejado 111	13	13	16,245	9	2,79
Tejado 117	13	-26	7,22	4	1,24
Tejado 124	11	-15	31,5875	19	5,89

Tabla 58. Inclinación, azimet, superficie, número de paneles y potencia de estos de los tejados del grupo de 10 a 14 grados.

Fuente: elaboración propia

Ángulo 15° a 19°	Inclinación (°)	Azimut (°)	Superficie (m2)	Número de módulos	Potencia módulos (kWp)
Tejado 1	18	22	34,2	20	6,2
Tejado 6	16	22	18,05	11	3,41
Tejado 9	15	22	45,6	26	8,06
Tejado 12	15	22	57,95	35	10,85
Tejado 25	18	22	5,7	3	0,93
Tejado 29	18	22	76,95	47	14,57
Tejado 33	18	22	12,35	7	2,17
Tejado 35	18	22	22,8	13	4,03
Tejado 39	18	13	11,4	6	1,86
Tejado 45	18	13	7,6	4	1,24
Tejado 50	18	22	24,7	15	4,65
Tejado 53	18	22	20,9	12	3,72
Tejado 56	18	22	72	44	13,64
Tejado 58	18	22	19	11	3,41
Tejado 59	18	22	18,05	11	3,41
Tejado 61	18	22	45,6	27	8,37
Tejado 62	18	22	12,35	7	2,17
Tejado 63	18	22	12,35	7	2,17
Tejado 64	18	22	19,95	12	3,72
Tejado 65	18	22	19,95	12	3,72
Tejado 66	18	22	13,3	8	2,48
Tejado 69	18	22	43,7	26	8,06
Tejado 70	18	22	19,95	12	3,72
Tejado 71	18	22	7,6	4	1,24
Tejado 74	15	35	11,4	6	1,86
Tejado 77	16	13	12,35	7	2,17
Tejado 82	16	13	8,55	5	1,55
Tejado 85	17	13	7,6	4	1,24
Tejado 87	16	13	20,9	12	3,72
Tejado 93	18	13	13,3	8	2,48
Tejado 94	18	13	4,75	2	0,62
Tejado 95	19	13	20,9	12	3,72
Tejado 106	19	13	27,55	16	4,96
Tejado 107	19	13	33,25	20	6,2
Tejado 108	19	13	14,25	8	2,48
Tejado 109	19	13	16,15	9	2,79
Tejado 114	18	-15	54,15	33	10,23
Tejado 120	18	-10	37,05	22	6,82
Tejado 121	18	-3	20,9	12	3,72
Tejado 127	18	22	36,1	22	6,82
Tejado 131	18	22	30,4	18	5,58

Tabla 59. Inclinación, azimut, superficie, número de paneles y potencia de estos de los tejados del grupo de 15 a 19 grados.

Fuente: elaboración propia

Ángulo 20° a 24°	Inclinación (°)	Azimut (°)	Superficie (m2)	Número de módulos	Potencia módulos (kWp)
Tejado 8	22	22	24,7	14	4,34
Tejado 15	22	22	49,4	30	9,3
Tejado 20	24	22	10,45	6	1,86
Tejado 22	24	22	15,2	9	2,79
Tejado 36	20	22	54,15	33	10,23
Tejado 37	22	22	10,45	6	1,86
Tejado 49	23	12	8,55	5	1,55
Tejado 54	20	22	5,7	3	0,93
Tejado 79	24	13	7,6	4	1,24
Tejado 89	21	13	7,6	4	1,24
Tejado 90	23	13	10,45	6	1,86
Tejado 91	22	13	39,9	24	7,44
Tejado 99	24	13	7,6	4	1,24
Tejado 122	20	22	12,35	7	2,17
Tejado 123	23	6	11,4	6	1,86
Tejado 129	24	22	11,4	6	1,86
Tejado 130	22	22	30,4	18	5,58

Tabla 60. Inclinación, azimut, superficie, número de paneles y potencia de estos de los tejados del grupo de 20 a 24 grados.

Fuente: elaboración propia.

Ángulo 25° a 29°	Inclinación (°)	Azimut (°)	Superficie (m2)	Número de módulos	Potencia módulos (kWp)
Tejado 32	27	22	19,95	12	3,72
Tejado 38	26	22	39,9	24	7,44
Tejado 68	25	22	2,85	1	0,31
Tejado 98	26	13	38	23	7,13

Tabla 61. Inclinación, azimut, superficie, número de paneles y potencia de estos de los tejados del grupo de 25 a 29 grados.

Fuente: elaboración propia.

ANEXO V: Producción de los módulos del municipio

- Grupo 0 a 4 grados

Mes	Tejado 18 (kWh)	Tejado 19 (kWh)	Tejado 31 (kWh)	Tejado 51 (kWh)	Tejado 72 (kWh)	Total (kWh)
Enero	129	1.310	129	971	3.360	5.899
Febrero	184	1.860	184	1.380	4.820	8.428
Marzo	281	2.850	281	2.110	7.410	12.932
Abril	321	3.250	321	2.410	8.510	14.812
Mayo	386	3.910	386	2.900	10.300	17.882
Junio	403	4.080	403	3.030	10.700	18.616
Julio	426	4.320	426	3.200	11.400	19.772
Agosto	382	3.870	382	2.870	10.200	17.704
Septiembre	296	2.990	296	2.220	7.820	13.622
Octubre	219	2.220	219	1.640	5.750	10.048
Noviembre	142	1.430	142	1.060	3.690	6.464
Diciembre	116	1.170	116	868	3.000	5.270
Total (kWh/año)	3.285	33.260	3.285	24.659	86.960	151.449

Tabla 62. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

- Grupo 5 a 9 grados

Mes	Tejado 2 (kWh)	Tejado 3 (kWh)	Tejado 5 (kWh)	Tejado 10 (kWh)	Tejado 14 (kWh)	Tejado 23 (kWh)
Enero	121	711	34,7	649	347	208
Febrero	170	994	48,5	907	485	290
Marzo	254	1490	72,5	1360	725	434
Abril	285	1670	81,5	1520	815	488
Mayo	339	1990	96,9	1810	969	580
Junio	353	2070	101	1890	1010	603
Julio	374	2190	107	2000	1070	639
Agosto	338	1980	96,5	1810	965	577
Septiembre	265	1550	75,8	1420	758	453
Octubre	200	1170	57,1	1070	571	342
Noviembre	133	776	37,9	708	379	227
Diciembre	110	644	31,4	588	314	188
Total (kWh/mes)	2.942	17.235	840,8	15.732	8.408	5.029

Tabla 63. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Mes	Tejado 52 (kWh)	Tejado 80 (kWh)	Tejado 83 (kWh)	Tejado 96 (kWh)	Tejado 97 (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	145	163	109	5.550	217	8.254
Febrero	200	225	150	7.670	300	11.439
Marzo	295	332	221	11.300	443	16.926
Abril	329	370	246	12.600	493	18.897
Mayo	388	437	291	14.900	582	22.382
Junio	403	453	302	15.400	604	23.189
Julio	427	481	320	16.400	641	24.649
Agosto	388	437	291	14.900	582	22.364
Septiembre	308	346	231	11.800	462	17.668
Octubre	235	264	176	8.990	352	13.427
Noviembre	158	177	118	6.040	237	8.990
Diciembre	132	149	99	5.050	198	7.503
Total (kWh/año)	3.408	3.834	2.554	130.600	5.111	195.693

Tabla 64. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

- Grupo 10 a 14 grados

Mes	Tejado 11 (kWh)	Tejado 13 (kWh)	Tejado 21 (kWh)	Tejado 24 (kWh)	Tejado 34 (kWh)	Tejado 42 (kWh)	Tejado 44 (kWh)	Tejado 47 (kWh)	Tejado 48 (kWh)
Enero	215	137	371	215	254	234	215	156	254
Febrero	291	185	503	291	344	318	291	212	344
Marzo	419	267	724	419	495	457	419	305	495
Abril	458	291	791	458	541	500	458	333	541
Mayo	534	340	922	534	631	582	534	388	631
Junio	551	350	951	551	651	601	551	400	651
Julio	586	373	1010	586	693	640	586	426	693
Agosto	539	343	931	539	637	588	539	392	637
Septiembre	434	276	750	434	513	474	434	316	513
Octubre	339	215	585	339	400	369	339	246	400
Noviembre	233	149	403	233	276	255	233	170	276
Diciembre	198	126	343	198	234	216	198	144	234
Total (kWh/año)	4.797	3.052	8.284	4.797	5.669	5.234	4.797	3.488	5.669

Tabla 65. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Mes	Tejado 75 (kWh)	Tejado 78 (kWh)	Tejado 81 (kWh)	Tejado 105 (kWh)	Tejado 110 (kWh)	Tejado 111 (kWh)	Tejado 117 (kWh)	Tejado 124 (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	156	39	176	97	234	176	78	371	3.378
Febrero	212	53	238	132	318	238	106	503	4.579
Marzo	305	76,2	343	191	457	343	152	724	6.591
Abril	333	83,3	375	208	500	375	167	791	7.203
Mayo	388	97	437	243	582	437	194	922	8.396
Junio	400	100	450	250	601	450	200	951	8.659
Julio	426	107	480	266	640	480	213	1.010	9.215
Agosto	392	98	441	245	588	441	196	931	8.477
Septiembre	316	79	355	197	474	355	158	750	6.828
Octubre	246	61	277	154	369	277	123	585	5.324
Noviembre	170	42	191	106	255	191	84,9	403	3.671
Diciembre	144	36	162	90	216	162	72	343	3.116
Total (kWh/año)	3488	872	3.925	2.179	5.234	3.925	1.744	8.284	75.439

Tabla 66. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

- Grupo 15 a 19 grados

Mes	Tejado 1 (kWh)	Tejado 6 (kWh)	Tejado 9 (kWh)	Tejado 12 (kWh)	Tejado 25 (kWh)	Tejado 29 (kWh)	Tejado 33 (kWh)	Tejado 35 (kWh)	Tejado 45 (kWh)	Tejado 50 (kWh)	Tejado 53 (kWh)
Enero	423	233	572	741	63	995	148	275	127	84,7	318
Febrero	563	310	760	985	84	1.320	197	366	169	113	422
Marzo	788	434	1.060	1.380	118	1.850	276	512	236	158	591
Abril	843	464	1.140	1.480	126	1.980	295	548	253	169	632
Mayo	968	532	1.310	1.690	145	2.270	339	629	290	194	726
Junio	990	545	1.340	1.730	149	2.330	347	644	297	198	743
Julio	1.060	583	1.430	1.860	159	2.490	371	689	318	212	795
Agosto	989	544	1.330	1.730	148	2.320	346	643	297	198	742
Septiembre	811	446	1.090	1.420	122	1.910	284	527	243	162	608
Octubre	647	356	874	1.130	97	1.520	227	421	194	129	486
Noviembre	459	252	619	803	68,8	1.080	161	298	138	91,7	344
Diciembre	369	218	534	693	59,4	930	139	257	119	79,2	297
Total (kWh/año)	8.910	4.917	12.059	15.642	1.340	20.995	3.130	5.809	2.681	1.788	6.704

Tabla 67. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Mes	Tejado 58 (kWh)	Tejado 59 (kWh)	Tejado 61 (kWh)	Tejado 62 (kWh)	Tejado 63 (kWh)	Tejado 64 (kWh)	Tejado 65 (kWh)	Tejado 66 (kWh)	Tejado 69 (kWh)	Tejado 70 (kWh)
Enero	233	233	572	148	148	254	254	169	550	254
Febrero	310	310	760	197	197	338	338	225	732	338
Marzo	434	434	1.060	276	276	473	473	315	1.020	473
Abril	464	464	1.140	295	295	506	506	337	1.100	506
Mayo	532	532	1.310	339	339	581	581	387	1.260	581
Junio	545	545	1.340	347	347	594	594	396	1.290	594
Julio	583	583	1.430	371	371	636	636	424	1.380	636
Agosto	544	544	1.330	346	346	593	593	395	1.290	593
Septiembre	446	446	1.090	284	284	486	486	324	1.050	486
Octubre	356	356	874	227	227	388	388	259	824	388
Noviembre	252	252	619	161	161	275	275	183	596	275
Diciembre	218	218	534	139	139	238	238	158	515	238
Total (kWh/año)	4.917	4.917	12.059	3.130	3.130	5.362	5.362	3.572	11.607	5.362

Tabla 68. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Mes	Tejado 71 (kWh)	Tejado 74 (kWh)	Tejado 77 (kWh)	Tejado 82 (kWh)	Tejado 85 (kWh)	Tejado 87 (kWh)	Tejado 93 (kWh)	Tejado 94 (kWh)	Tejado 95 (kWh)	Tejado 106 (kWh)
Enero	148	106	84	254	169	42	254	339	233	313
Febrero	197	141	113	338	225	56	338	451	312	417
Marzo	276	197	158	473	315	78	473	631	439	585
Abril	295	211	169	506	337	84	506	674	471	624
Mayo	339	242	194	581	387	96	581	774	542	717
Junio	347	248	198	594	396	99	594	792	556	735
Julio	371	265	212	636	424	106	636	848	596	786
Agosto	346	247	198	593	395	98	593	791	555	734
Septiembre	284	203	162	486	324	81	486	649	453	603
Octubre	227	162	129	388	259	64	388	518	360	480
Noviembre	161	115	91	275	183	45	275	367	253	339
Diciembre	139	99	79	238	158	39	238	317	217	293
Total (kWh/año)	3.130	2.236	1.788	5.362	3.572	893	5.362	7.151	4.987	6.626

Tabla 69. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Mes	Tejado 107 (kWh)	Tejado 108 (kWh)	Tejado 109 (kWh)	Tejado 114 (kWh)	Tejado 120 (kWh)	Tejado 121 (kWh)	Tejado 127 (kWh)	Tejado 131 (kWh)	Total (kWh)
Enero	423	169	191	699	466	254	466	381	12.432
Febrero	563	225	253	929	619	338	619	507	16.606
Marzo	788	315	355	1.300	867	473	867	709	23.379
Abril	843	337	379	1.390	927	506	927	759	25.161
Mayo	968	387	436	1.600	1.060	581	1.060	871	28.967
Junio	990	396	446	1.630	1.090	594	1.090	891	29.709
Julio	1.060	424	477	1.750	1.170	636	1.170	954	31.772
Agosto	989	395	445	1.630	1.090	593	1.090	890	29.522
Septiembre	811	324	365	1.340	892	486	892	730	24.101
Octubre	647	259	291	1.070	712	388	712	583	19.116
Noviembre	459	183	206	757	505	275	505	413	13.479
Diciembre	369	158	178	653	435	238	435	356	11.543
Total (kWh/año)	8.910	3.572	4.022	14.748	9.833	5.362	9.833	8.044	265.794

Tabla 70. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

- Grupo 20 a 24 grados

Mes	Tejado 8 (kWh)	Tejado 15 (kWh)	Tejado 20 (kWh)	Tejado 22 (kWh)	Tejado 36 (kWh)	Tejado 37 (kWh)	Tejado 49 (kWh)	Tejado 54 (kWh)	Tejado 79 (kWh)
Enero	340	679	136	204	747	136	113	67	90
Febrero	444	888	178	267	977	178	148	88	118
Marzo	607	1.210	243	264	1.340	243	202	121	162
Abril	636	1.270	255	382	1.400	255	212	127	170
Mayo	722	1.440	289	433	1.590	289	241	144	192
Junio	734	1.470	294	440	1.610	294	245	147	196
Julio	788	1.580	315	473	1.730	315	263	158	210
Agosto	743	1.490	297	446	1.630	297	248	149	198
Septiembre	620	1.240	248	372	1.360	248	207	124	165
Octubre	506	1.010	203	304	1.110	203	269	101	135
Noviembre	367	734	147	220	808	147	122	73	97
Diciembre	321	642	128	193	706	128	107	64	85
Total (kWh/año)	6.828	13.653	2.733	3.998	15.008	2.733	2.377	1.365	1.820

Tabla 71. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

Mes	Tejado 89 (kWh)	Tejado 90 (kWh)	Tejado 91 (kWh)	Tejado 99 (kWh)	Tejado 122 (kWh)	Tejado 123 (kWh)	Tejado 129 (kWh)	Tejado 130 (kWh)	TOTAL (kWh/mes)
Enero	90	136	543	90	158	136	136	407	4.210
Febrero	118	178	711	118	207	178	178	533	5.507
Marzo	162	243	972	162	283	243	243	729	7.429
Abril	170	255	1.020	170	297	255	255	764	7.893
Mayo	192	289	1.150	192	337	289	289	866	8.944
Junio	196	294	1.170	196	342	294	294	881	9.097
Julio	210	315	1.260	210	368	315	315	945	9.770
Agosto	198	297	1.190	198	347	297	297	892	9.214
Septiembre	165	248	993	165	289	248	248	744	7.684
Octubre	135	203	810	135	236	203	203	608	6.374
Noviembre	97	147	587	97	171	147	147	440	4.551
Diciembre	85	128	514	85	150	128	128	385	3.979
Total (kWh/año)	1.820	2733	10.920	1.820	3.185	2.733	2.733	8.194	84.653

Tabla 72. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

- Grupo de 25 a 29 grados

Mes	Tejado 32 (kWh)	Tejado 38 (kWh)	Tejado 68 (kWh)	Tejado 98 (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	284	563	23	539	1.409
Febrero	368	729	30	699	1.826
Marzo	494	985	41	943	2.463
Abril	510	1.020	42	977	2.549
Mayo	572	1.150	47	1.100	2.869
Junio	578	1.160	48	1.110	2.896
Julio	623	1.250	52	1.200	3.125
Agosto	593	1.190	49	1.140	2.972
Septiembre	502	1.000	41	960	2.503
Octubre	416	827	34	793	2.070
Noviembre	307	607	25	582	1.521
Diciembre	271	535	22	513	1.341
TOTAL (kWh/año)	5.518	11.016	458	10.556	27.548

Tabla 73. Generación fotovoltaica mensual de los módulos.

Fuente: elaboración propia y PVGIS.

ANEXO VI: Consumo Ayuntamiento y zonas comunes

Mes	Elevación de aguas	Casa Consistorial	Bomba de agua	Grupo presión	Alumbrado público	Piscinas-Pabellón	Total
	Energía (kWh/mes)						
Enero	4.215	1.254	2.427	24	10.435	2.292	20.647
Febrero	4.305	1.646	2.995	14	7.292	2.092	18.344
Marzo	4.961	1.405	2.748	19	3.071	2.075	14.279
Abril	4.817	1.277	2.953	19	1.069	1.973	12.108
Mayo	5.746	708	2.938	20	899	2.213	12.524
Junio	4.429	545	2.844	19	906	3.860	12.603
Julio	6.529	171	2.693	25	1.256	4.876	15.550
Agosto	6.926	194	3.391	24	1.350	4.478	16.363
Septiembre	4.449	187	3.700	21	1.492	2.995	12.844
Octubre	5.192	175	2.380	22	6.520	2.685	16.974
Noviembre	4.279	650	580	22	11.717	2.655	19.903
Diciembre	10.993	1.423	2.985	16	6.965	2.395	24.777
Total(kWh/año)	66.841	9.635	32.634	245	52.972	34.589	196.916

Tabla 74. Consumo del Ayuntamiento y zonas comunes.

Fuente: elaboración propia.

ANEXO VII: Consumo total en el municipio

Consumo total	Viviendas residenciales (kWh/mes)	Viviendas no residenciales (kWh/mes)	Ayuntamiento (kWh/mes)	Almacenes (kWh/mes)	Industria (kWh/mes)	TOTAL (kWh/mes)
Enero	58.905,96	700,00	20.647,00	1.609,67	13.214,00	95.076,63
Febrero	55.290,79	280,00	18.344,00	1.609,67	12.760,00	88.284,46
Marzo	46.784,52	420,00	14.279,00	1.609,67	11.398,00	74.491,19
Abril	44.657,95	630,00	12.108,00	1.609,67	8.477,00	67.482,62
Mayo	44.338,96	630,00	12.524,00	1.609,67	8.269,00	67.371,63
Junio	35.088,39	700,00	12.603,00	1.609,67	8.122,00	58.123,06
Julio	34.025,10	1.260,00	15.550,00	1.609,67	8.145,00	60.589,77
Agosto	34.875,73	2.240,00	16.408,00	1.609,67	1.893,00	57.026,40
Septiembre	44.657,95	1.400,00	12.844,00	1.609,67	7.265,00	67.776,62
Octubre	45.933,89	1.120,00	16.974,00	1.609,67	15.457,00	81.094,56
Noviembre	45.721,23	560,00	19.903,00	1.609,67	11.792,00	79.585,90
Diciembre	52.100,94	420,00	24.777,02	1.609,67	12.163,00	91.070,63
TOTAL (kWh/año)	542.381,42	10.360,00	196.961,02	19.316,04	118.955,00	887.973,48

Tabla 75. Consumo total en el municipio.*Fuente: elaboración propia.*

ANEXO VIII: Precios de las tarifas de Endesa

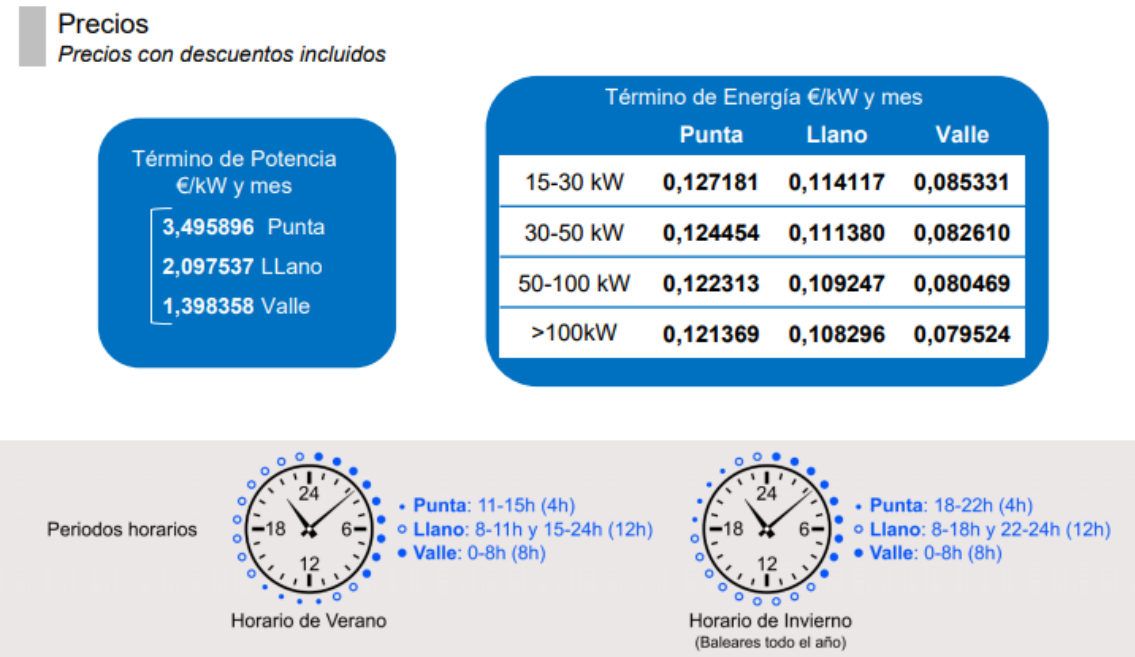


Tabla 76. Tarifas para potencias mayores de 15kW.

Fuente: Endesa.

ANEXO IX: Cálculo del coste de la electricidad en la industria.

- Coste electricidad oficina y almacén sin instalación fotovoltaica.

Consumo oficina y almacén (kWh/año)	37.806
Potencia contratada (kW)	13,2
Coste energía (€)	5094,28
Coste potencia (€)	645,93
Coste total (€)	5.740,22

Tabla 77. Coste de la electricidad sin instalación FV consumida por la oficina y el almacén con una tarifa 2.1A.
Fuente: elaboración propia.

- Coste electricidad oficina y almacén con instalación fotovoltaica

Consumo oficina y almacén (kWh/año)	10.467,00
Potencia contratada (kW)	13,2
Coste energía (€)	1.318,48
Coste potencia (€)	645,93
Coste total (€)	1.964,41

Tabla 78. Coste de la electricidad con instalación FV consumida por la oficina y el almacén con una tarifa 2.1A.
Fuente: elaboración propia.

- Coste electricidad de la fábrica con tarifa 3.0A sin instalación fotovoltaica.

Periodo	Consumo (kWh)	Potencia contratada (kW)	Peaje energía (€/kWh*año)	Peaje potencia (€/kW)	Coste de energía (€)	Coste de potencia (€)
1	2.163,97	66	0,018762	40,728885	40,60	2.688,10
2	16.229,83	66	0,012750	24,437330	206,92	1.612,86
3	62.755,22	66	0,004670	16,291555	293,06	1.075,24
Total	81.149		-	-	540,59	5.376,21

Tabla 79. Coste de la electricidad en la fábrica de la industria sin instalación FV.

Fuente: elaboración propia.

- Coste electricidad de la fábrica con tarifa 3.0A con instalación fotovoltaica.

Periodo	Consumo (kWh)	Potencia contratada (kW)	Peaje energía (€/kWh*año)	Peaje potencia (€/kW)	Coste de energía (€)	Coste de potencia (€)
1	559,97	66	0,018762	40,728885	10,50	2.688,10
2	4.199,78	66	0,012750	24,437330	53,54	1.612,86
3	16.239,17	66	0,004670	16,291555	75,83	1.075,24
Total	20.998,93	66	-	-	139,89	6.866,10

Tabla 80. Coste de la electricidad en la fábrica de la industria con instalación FV.

Fuente: elaboración propia.

ANEXO X: Costes de los inversores

- Inversores:
 - Ayuntamiento
 - Tejado 9: Inversor Red FRONIUS Primo 8.2-1 8.2kW. Precio: 2.084,61€.
 - Tejado 10: Inversor Red FRONIUS Symo 15-3-M 15kW. Precio: 2.840,52€.
 - Tejado 56: Inversor Red FRONIUS Symo 15-3-M 15kW. Precio: 2.840,52€.
 - Tejado 72: Inversor Red 100000W Trifásico INGECON Sun 3PLAY 100TL. Precio 9.144,99€.
 - Industria
 - Tejado 96: Inversor Red 100000W Trifásico INGECON Sun 3PLAY 100TL. Precio 9.144,99€.
 - Tejado 97: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico. Precio 1.317,17€.
 - Viviendas residenciales
 - Tejado 8: Inversor Red FRONIUS Primo 4.6-1 light 4.6kW. Precio 1.342,60€.
 - Tejado 11: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico. Precio 1.317,17€.
 - Tejado 15: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico. Precio 1.317,17€.
 - Viviendas de uso vacacional
 - Tejado 47: Inversor Red FRONIUS Primo 3.0-1 3kW. Precio: 1254,89€.
 - Almacenes
 - Tejado 129: Inversor Red 6000W INGECON Sun 1PLAY 6TL M. Precio: 1.405,71€.
 - Tejado 130: Inversor Red SMA Sunny Boy 2.0kW VL-40. Precio: 866,84€.

ANEXO XI: Consumo en el mes más desfavorable

Día	Viviendas principales (kWh/día)	Viviendas de uso vacacional (kWh/día)	Naves (kWh/día)	Ayuntamiento (kWh/día)	Industria (kWh/día)	Total (kWh/día)
1	2.045	0	61,88	677,13	629,24	3.413,25
2	1.741	70	61,88	718,08	0	2.590,96
3	1.536	70	0	718,08	0	2.324,08
4	1.939	0	62	552	629	3.181,75
5	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
6	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
7	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
8	2.045	0	62	677,13	629,24	3.413,25
9	1.741	70	62	718,08	0	2.590,96
10	1.536	70	0	718,08	0	2.324,08
11	1.939	0	62	552	629,24	3.181,75
12	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
13	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
14	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
15	2.045	0	62	677,13	629,24	3.413,25
16	1.741	70	62	718,08	0	2.590,96
17	1.536	70	0	718,08	0	2.324,08
18	1.939	0	62	552	629,24	3.181,75
19	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
20	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
21	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
22	2.045	0	62	677,13	629,24	3.413,25
23	1.741	70	62	718,08	0	2.590,96
24	1.536	70	0	718,08	0	2.324,08
25	1.939	0	62	552	629,24	3.181,75
26	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
27	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
28	2.045	0	62	656,13	629,24	3.392,25
29	2.045	0	62	677,13	629,24	3.413,25
30	1.741	70	62	718,08	0	2.590,96
31	1.536	70	0	718,08	0	2.324,08

Tabla 81. Consumo diario en el mes más desfavorable.

Fuente: elaboración propia.

ANEXO XII: Cálculos para la instalación colectiva del primer grupo

La marca de todos los inversores AutoSolar.

- Vivienda 11: Inversor HD Wave 3500W SolarEdge Conexión Red Monofásico 1.232,47. Precio 1.317,17€
- Vivienda 13: Inversor Red FRONIUS Primo 3.0-1 3kW. Precio 1.254,89€
- Vivienda 12: Inversor Red FRONIUS Symo 15-3-M 15kW Precio 2.840,52€.
- Vivienda 16: Inversor HD Wave 10000W SolarEdge Conexión Red Monofásico. Precio 1.317,17€

Periodo	Termino potencia	Término energía	Potencia contratada	Energía consumida sin FV	Energía consumida con FV	Coste potencia	Coste energía sin FV	Coste energía con FV2	Ahorro
1	41,950752	0,124454	48,3	14545,89	2676,57	2026,22	1810,29	333,11	1477,18
2	25,170444	0,11138	48,3	13017,83	2395,40	1215,73	1449,92	266,79	1183,12
3	16,780296	0,08261	48,3	9655,26	1776,65	810,48	797,62	146,76	650,85
				37219	6848,64	4052,44	4057,84	746,68	3311,16

Tabla 82. Cálculo del coste de electricidad en la instalación colectiva del primer grupo.

GRUPO 1	Energía consumida sin FV	Energía consumida con FV2	Diferencia de energía (kWh)	Ahorro (€)	Inversión (€)	Periodo retroceso (años)	Rentabilidad
Vivienda 12	5317,46	0	5317,46	703,48	9620,02	13,67	12 años
Vivienda 13	5317,46	2307,96	3009,5	398,14	2610,79	6,55	5 años

Tabla 83. Cálculos para obtener la rentabilidad de la instalación en las viviendas 12 y 13.

ANEXO XIII: Cálculos de la instalación colectiva del segundo grupo

50-100kW	Termino potencia (€/kW x año)	Término energía (€/kWh)	Potencia contratada (kW)	Energía consumida sin FV (kWh/año)	Energía consumida con FV (kWh/año)	Coste potencia (€)	Coste energía sin FV (€)	Coste energía con FV (€)	Ahorro (€)
Periodo 1	41,950752	0,121369	65,55	15.482,65	4.371,63	2.749,87	1.879,11	530,58	1.348,53
Periodo 2	25,170444	0,108296	65,55	13.814,97	3.900,75	1.649,92	1.496,11	422,44	1.073,67
Periodo 3	16,780296	0,079524	65,55	10.144,62	2.864,40	1.099,95	806,74	227,79	578,95
				39.442,25	11.136,77	5.499,74	4.181,96	1.180,80	3.001,16

Tabla 84. Costes y ahorro de la energía de la instalación colectiva del segundo grupo.

	Módulos FV	Potencia módulos (kW)	Consumo (kWh/año)	Módulos (€)	Inversores (€)
Vivienda 86	0	0	790	0	
Vivienda 87	12	3,72	5.317	2324,4	1.317,17
Vivienda 88	0	0	790	0	
Vivienda 89	4	1,24	5.317	774,8	866,84
Vivienda 90	6	1,86	790	1162,2	866,84
Vivienda 91	24	7,44	5.317	4648,8	2.084,61
Vivienda 92	0	0	5.317	0	
Vivienda 93	8	2,48	5.317	1549,6	1254,89
Vivienda 94	2	0,62	5.317	387,4	733,55
Vivienda 95	12	3,2	5.317	2324,4	1.317,17
Total	68	20,56	39589	13171,6	8441,07

Tabla 85. Coste de los módulos e inversores de las viviendas del segundo grupo.

Inversores de la marca AutoSolar:

- Vivienda 87: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico
- Vivienda 89: Inversor Red 6000W INGECON Sun 1PLAY 6TL M
- Vivienda 90: Inversor Red SMA Sunny Boy 2.0kW VL-40
- Vivienda 91: Inversor Red FRONIUS Primo 8.2-1 8.2kW
- Vivienda 93: Inversor Red FRONIUS Primo 3.0-1 3kW
- Vivienda 94: Inversor Red SMA Sunny Boy 1.5kW VL-40
- Vivienda 95: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico

GRUPO 2	Consumo sin FV (kWh/año)	Consumo con FV (kWh)	Ahorro energía (kWh/día)	Ahorro factura (€)
Vivienda 86	740	740	0	0
Vivienda 87	5317,46	1035	4281	566
Vivienda 88	740	740	0	0
Vivienda 89	5317,46	3497	1820	240
Vivienda 90	740	0	740	97
Vivienda 91	5317,46	34	5282	698
Vivienda 92	5317,46	5317	0	0
Vivienda 93	5317,46	1940	3376	446
Vivienda 94	5317,46	4423	893	118
Vivienda 95	5317,46	1035	4281	566

Tabla 86. Coste de los módulos e inversores de las viviendas del segundo grupo.

ANEXO XIV: Cálculos de la instalación colectiva del tercer grupo

50-100kW	Potencia contratada (kW)	Consumo sin FV (kWh/año)	Consumo con FV (kWh/año)	Coste potencia (€)	Coste energía sin FV (€)	Coste energía con FV (€)	Ahorro (€)
Periodo 1	54,05	10.970,17	2.203,37	2.267,44	1.331,44	267,42	1.064,02
Periodo 2	54,05	9.788,54	1.966,04	1.360,46	1.060,06	212,91	847,15
Periodo 3	54,05	7.187,93	1.443,71	906,97	571,61	114,81	456,80
		27.946,64	5.613,12	4.534,88	2.963,11	595,15	2.367,97

Tabla 87. Costes y ahorro de la energía de la instalación colectiva del tercer grupo.

	Módulos FV	Potencia módulos (kW)	Módulos (€)	Inversores (€)
Vivienda 64	12	3,72	2324,4	1.317
Vivienda 65	12	3,72	2324,4	1.317
Vivienda 66	8	2,48	1549,6	1254,89
Vivienda 67	0	0	0	0
Vivienda 68	0	0	0	0
Vivienda 69	26	8,06	5036,2	2.085
Vivienda 70	12	3,72	2324,4	1.317
Vivienda 71	4	1,24	774,8	867
Total	74	22,94	14333,8	8157,85

Tabla 88. Coste de los módulos e inversores de las viviendas del tercer grupo.

- Vivienda 64: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico
- Vivienda 65: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico
- Vivienda 66: Inversor Red FRONIUS Primo 3.0-1 3kW
- Vivienda 69: Inversor Red FRONIUS Primo 8.2-1 8.2kW
- Vivienda 70: Inversor HD Wave 4000W SolarEdge Conexión Red Monofásico
- Vivienda 71: Inversor Red 6000W INGECON Sun 1PLAY 6TL M

GRUPO 3	Potencia contratada (kW)	Consumo sin FV (kWh/año)	Consumo con FV (kWh/año)	Ahorro energía (kWh/año)	Ahorro factura (€)
Vivienda 64	6,9	5.317	1.035,95	4.281,05	566,37
Vivienda 65	6,9	5.317	1.035,95	4.281,05	566,37
Vivienda 66	5,75	790	0,00	790,00	104,51
Vivienda 67	6,9	5.317	5.317,46	0,00	0,00
Vivienda 68	6,9	5.317	5.317,46	0,00	0,00
Vivienda 69	6,9	5.317	27,51	5.289,49	699,78
Vivienda 70	6,9	5.317	1.035,95	4.281,05	566,37
Vivienda 71	6,9	5.317	3.528,86	1.788,14	236,56

Tabla 89. Coste de los módulos e inversores de las viviendas del tercer grupo.