

Proyecto Fin de Máster

Máster en Sistemas de Energía Eléctrica

Estudio comparativo de producción eléctrica
fotovoltaica para autoconsumidores y comunidad
energética

Autor: María Emilia Sempértegui Moscoso

Tutor: Jesús Manuel Riquelme Santos

Dpto. Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Proyecto Fin de Máster
Máster en Sistemas de Energía Eléctrica

Estudio comparativo de producción eléctrica fotovoltaica para autoconsumidores y comunidad energética

Autor:

María Emilia Sempértegui Moscoso

Tutor:

Jesús Manuel Riquelme Santos

Profesor Titular

Dpto. Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2023

Proyecto Fin de Carrera: Estudio comparativo de producción eléctrica fotovoltaica para autoconsumidores y comunidad energética

Autor: María Emilia Sempértegui Moscoso

Tutor: Jesús Manuel Riquelme Santos

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, hermano y familia por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de esta etapa de mi vida. Sin su amor, sacrificio y apoyo, no habría sido posible llegar hasta aquí.

A mis compañeros y amigos que han estado a mi lado en todo momento. Su amistad ha sido fundamental para superar los desafíos y disfrutar de los momentos especiales en este camino.

También quiero agradecer a mi tutor, por brindarme su tiempo y apoyo para poder realizar este trabajo.

María Emilia Sempértegui Moscoso

Sevilla, 2023

Resumen

El presente trabajo muestra una comparación de producción eléctrica fotovoltaica para 20 consumidores residenciales; en primer lugar, cuando las instalaciones están dimensionadas para suplir las demandas individuales de cada usuario de la forma más óptima posible, luego cuando bajo estas condiciones deciden conformar una comunidad energética, y; finalmente se analiza el escenario cuando deciden consolidarse como una comunidad energética y la instalación se dimensiona para la demanda del conjunto de usuarios.

El capítulo 2 presenta el marco teórico sobre las instalaciones fotovoltaicas, la clasificación y sus componentes.

En el capítulo 3 se desarrolla el marco teórico acerca de las comunidades energéticas, las actividades que éstas pueden desarrollar, ventajas, barreras, cómo son las comunidades energéticas en España y, su marco regulatorio.

El capítulo 4 muestra la metodología empleada para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos y las consideraciones adoptadas donde se analizan los perfiles de demanda de energía eléctrica de los usuarios y se determina la potencia de instalación en función de la viabilidad económica de las mismas (valor actual neto), que se calcula con el coste de energía eléctrica comprada a la red eléctrica, el coste de la energía inyectada, además de un presupuesto referencial que supone el emplazamiento de las instalaciones y el coste de mantenimiento de los mismos. Asimismo, se calcula la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de la inversión.

El capítulo 5 presenta un análisis de los resultados obtenidos para los casos de estudio: sistema fotovoltaico para autoconsumo y sistema fotovoltaico para comunidad energética (usuarios que tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad, y usuarios que no tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad).

Finalmente, el capítulo 6 trata sobre las conclusiones generales del trabajo.

Abstract

This thesis is about a comparison of photovoltaic electricity production for 20 residential consumers amongst three main topics: firstly, installations designed to supply each user's demands; secondly, users with their installations decide to form an energetic community and lastly, the users form a new community and the photovoltaic installation supplies the global demand.

Chapter 2 provides the theoretical framework on photovoltaic installations, their classification, and components.

Chapter 3 develops the theoretical framework on energy communities, including the activities the communities could engage, advantages, barriers, and also information about energy communities in Spain, and the regulatory framework.

Chapter 4 presents the methodology used for design photovoltaic systems and the considerations adopted. It also analyzes the electricity demand profiles of users and determines the installation capacity based on their economic viability (net present value), which is calculated using the cost of electricity purchased from the grid, the cost of injected energy to the grid, a rough estimate and maintenance price of the installations. Additionally, the internal rate of return and the recovery period of the investment are calculated.

Chapter 5 presents an analysis of the results obtained for the case studies: photovoltaic system for self-consumption and photovoltaic system for energy community (users with a photovoltaic installation who want to form a community and users without a photovoltaic installation who want to form a community).

Finally, chapter 6 presents the conclusions.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
2 Instalación solar fotovoltaica	3
2.1. Clasificación	3
2.2. Componentes	3
3 Comunidades energéticas	7
3.1 Antecedentes	7
3.2 Comunidades energéticas en Europa	9
3.3 Marco regulatorio en España	10
3.3.1 Modalidades de autoconsumo	10
3.3.2 Compensación simplificada	10
3.3.3 Autoconsumo colectivo	10
4 Metodología	11
4.1 Localización	11
4.2 Perfiles de consumo	12
4.2.1 Consumo individual	12
4.2.2 Consumo colectivo	13
4.3 Datos de irradiación y temperatura	14
4.4 Inclinación óptima	14
4.5 Precio de facturación por energía consumida y compensación de energía excedente	15
4.6 Componentes de la instalación	15
4.6.1 Paneles solares	15
4.6.2 Inversores monofásicos	16
4.6.3 Inversores trifásicos	16
4.7 Sistema fotovoltaico para autoconsumo individual	17
4.8 Sistema fotovoltaico para comunidad energética	20
4.8.1 Usuarios que tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética	20
4.8.2 Usuarios que no tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética	21
5 Análisis de resultados	25
5.1 Sistema fotovoltaico para autoconsumo	25
5.2 Sistema fotovoltaico para comunidad energética	26
5.2.1 Usuarios que tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética	26
5.2.2 Usuarios que no tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética	31

6 Conclusiones	43
Referencias	47
Anexo 1: Ficha técnica panel	49
Anexo 2: Ficha técnica inversores monofásicos	50
Anexo 3: Ficha técnica inversores trifásicos	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Demanda promedio mensual.	12
Tabla 2 Irradiación solar mensual.	14
Tabla 3 Irradiación solar para diferentes ángulos de inclinación.	14
Tabla 4 Coste medio mensual de energía.	15
Tabla 5 Características principales módulo fotovoltaico JA Solar 400 W [19].	15
Tabla 6 Comparativa entre diferente número de paneles solares.	18
Tabla 7 Resultados del autoconsumo individual.	18
Tabla 8 Comparativa entre diferente número de paneles solares.	21
Tabla 9 Resultados factura anual con y sin instalación fotovoltaica.	25
Tabla 10 Resumen parámetros de rentabilidad.	26
Tabla 11 Resultados costes con y sin instalación fotovoltaica.	26
Tabla 12 Resumen parámetros de rentabilidad – Reparto igualitario.	27
Tabla 13 Coeficientes potencia fotovoltaica instalada.	27
Tabla 14 Resumen parámetros de rentabilidad – Potencia fotovoltaica instalada.	28
Tabla 15 Coeficientes consumo de energía en horas de sol.	28
Tabla 16 Resumen parámetros de rentabilidad – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.	29
Tabla 17 Coeficientes demanda de energía.	30
Tabla 18 Resumen parámetros de rentabilidad – Demanda de energía.	30
Tabla 19 Resultados costes con y sin instalación fotovoltaica.	31
Tabla 20 Número de horas tipologías – Reparto igualitario.	32
Tabla 21 Resumen parámetros de rentabilidad – Reparto igualitario.	33
Tabla 22 Número de horas tipologías – Potencia fotovoltaica instalada.	34
Tabla 23 Número de paneles – Potencia fotovoltaica instalada.	35
Tabla 24 Resumen parámetros de rentabilidad – Potencia fotovoltaica instalada.	35
Tabla 25 Número de horas tipologías – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.	37
Tabla 26 Número de paneles – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.	37
Tabla 27 Resumen parámetros de rentabilidad – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.	38
Tabla 28 Número de horas tipologías – Demanda de energía.	39
Tabla 29 Número de paneles – Demanda de energía.	40
Tabla 30 Resumen parámetros de rentabilidad – Demanda de energía.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Efecto fotovoltaico [5].	4
Figura 3.1 Representación de una comunidad energética [10].	7
Figura 4.1 Ubicación de viviendas para instalación de paneles fotovoltaicos.	11
Figura 4.2 Vista de las viviendas bajo estudio.	12
Figura 4.3. Día típico demanda de clientes.	13
Figura 4.4. Día típico demanda de colectiva.	13
Figura 4.5 Módulo fotovoltaico JA Solar [18].	15
Figura 4.6 Inversor Goodwe [20].	16
Figura 4.7 Inversor Huawei [22].	16
Figura 4.8. Distribución paneles fotovoltaicos.	19
Figura 4.9 Demanda y generación de energía por cliente.	19
Figura 4.10. Demanda y generación de energía de las instalaciones operando como un conjunto.	20
Figura 4.11 Demanda y generación de energía de la comunidad.	21
Figura 4.12. Distribución paneles fotovoltaicos.	22
Figura 5.1 Tipología cliente – Reparto igualitario.	32
Figura 5.2 Tipología cliente – Potencia fotovoltaica instalada.	34
Figura 5.3 Tipología cliente – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.	36
Figura 5.4 Tipología cliente – Demanda de energía.	39

1 INTRODUCCIÓN

El aumento constante en los precios de la energía eléctrica en los últimos años, además de la promoción de la energía procedente de fuentes renovables, ha generado un creciente interés y una inclinación hacia la adopción de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica en las viviendas. El objetivo principal de este enfoque es aprovechar la radiación solar disponible para la producción de energía eléctrica local, lo que a su vez conlleva una reducción significativa en los costes de facturación de la electricidad.

Sin embargo, en algunos países, se está apostando por una tendencia innovadora que va más allá de la simple adopción de paneles solares en las viviendas individuales. Esta tendencia denominada "comunidades energéticas" representa un enfoque colectivo y colaborativo para la generación y gestión de energía eléctrica, ya que son un grupo de vecinos o ciudadanos que se unen con el propósito de generar, consumir, almacenar e incluso vender la energía eléctrica que producen a partir de fuentes de energía renovable.

Las comunidades energéticas obtienen independencia energética, consiguiendo beneficios sociales, medioambientales, así como económicos; además de que prometen desempeñar un papel crucial en el futuro de la producción y el uso de energía eléctrica a nivel local y global.

Objeto del proyecto

El objetivo de este trabajo es estudiar y comparar la producción de los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica utilizados tanto para el autoconsumo individual como para el suministro de una comunidad energética. Para este proceso, se emplea una base de datos con perfiles de consumo energético de 20 usuarios residenciales, así como datos de temperatura e irradiación solar, con la finalidad de dimensionar el sistema fotovoltaico individual como colectivo.

En los dos casos se calculan indicadores financieros como la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el periodo de recuperación de la inversión (payback), con el fin de evaluar la viabilidad económica y rentabilidad de este tipo de instalaciones.

Finalmente, se lleva a cabo un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los escenarios propuestos: sistema fotovoltaico para autoconsumo y sistema fotovoltaico para comunidad energética. Este último abarca tanto a usuarios que tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad, y usuarios que no tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad. El objetivo es proporcionar una visión de la eficiencia y los beneficios que las instalaciones fotovoltaicas pueden ofrecer en diferentes panoramas de uso, permitiendo a las partes interesadas tomar decisiones en relación con la adopción de esta tecnología de energía solar.

2 INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una tecnología limpia y renovable que se ha convertido en una alternativa cada vez más popular para la generación de energía eléctrica. A diferencia de las fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles, la energía solar no produce emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático.

La tecnología fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, en el cual la energía de la luz se convierte en energía eléctrica al liberar electrones de algunos materiales cuando estos absorben radiación solar [1].

En la actualidad, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una opción viable y rentable para la generación de energía eléctrica en todo el mundo, y se espera que su uso siga creciendo en los próximos años. Además, la tecnología fotovoltaica está evolucionando constantemente, con el desarrollo de materiales más eficientes y la implementación de nuevas técnicas de producción, lo que permitirá que la energía solar sea económica y, por lo tanto, más accesible para todos.

2.1. Clasificación

Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos: aquellos que están aislados de la red eléctrica y aquellos que están conectados a ella. Los sistemas aislados son independientes y la energía eléctrica que se genera se consume en el mismo punto de la instalación. Estos sistemas incluyen baterías para almacenar la energía eléctrica generada y garantizar el suministro eléctrico en momentos de déficit o nula generación.

Por otro lado, los sistemas no aislados son aquellos que están conectados a la red eléctrica convencional y no son autosuficientes. En caso de déficit de generación de energía, la red eléctrica suministra energía a la instalación; mientras que, en caso de excedente de generación, la energía sobrante se inyecta a la red eléctrica. En este caso, no es necesario el uso de baterías para almacenar energía.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica son cada vez más populares debido a que permiten a los propietarios de viviendas y empresas reducir sus costes de energía y, en algunos casos, incluso generar ingresos mediante la venta de energía sobrante a la red eléctrica. Además, estos sistemas pueden contribuir a reducir la huella de carbono y a mejorar la sostenibilidad energética, ya que la energía solar es una fuente limpia y sobre todo renovable.

2.2. Componentes

Las instalaciones fotovoltaicas están formadas por los siguientes componentes [2]:

- **Paneles fotovoltaicos:** las celdas fotovoltaicas son conjuntos de dispositivos que convierten la energía lumínica en energía eléctrica [3]. Esta tecnología se basa en el efecto fotoeléctrico, que ocurre cuando la luz incide sobre ciertos materiales, produciendo un flujo de electrones (Figura 2.1). Los paneles solares más comunes son los que utilizan silicio como material base, debido a sus propiedades ópticas y su alta eficiencia para convertir la energía solar en electricidad. Para que el silicio pueda conducir electricidad, es necesario someterlo a un proceso de dopaje, que consiste en la adición de impurezas como fósforo y boro [4]. Esto permite que el material tenga una carga eléctrica que facilite la generación de corriente eléctrica a partir de la luz solar. La tecnología fotovoltaica sigue evolucionando y se están desarrollando nuevos materiales para mejorar la eficiencia de la

conversión de energía solar en electricidad y reducir el coste de producción de los paneles solares.

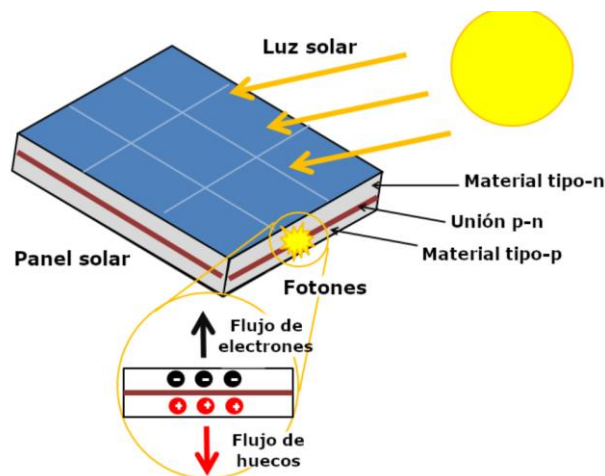


Figura 2.1 Efecto fotovoltaico [5].

Los paneles fotovoltaicos pueden ser [6]:

- Paneles de silicio monocristalinos: formados por un solo cristal de silicio, en donde los átomos del semiconductor están orientados en una sola dirección. Tienen un mayor nivel de pureza, por lo que la eficiencia de estos paneles es alta.
- Paneles de silicio policristalinos: compuestos por cristales de silicio orientados de manera irregular, por lo que la eficiencia de este tipo de paneles es menor que la de los paneles monocristalinos. Su proceso de elaboración es más barato.
- Paneles de capa fina o amorfos: son paneles flexibles que se adaptan a cualquier superficie. La eficiencia de estos paneles menor que la de los paneles policristalinos, así como su coste.
- **Inversor:** dispositivo electrónico que convierte la corriente continua producida por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna de frecuencia comercial, para su uso, a través de transistores IGBT [2].

Los inversores modernos suelen contar con tecnología de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), que les permite adaptarse a las variaciones en la intensidad de la luz solar para maximizar la producción de energía.

Los inversores pueden ser de diferentes tipos y tamaños, dependiendo de la potencia que deben manejar y el tipo de instalación fotovoltaica en la que se utilizan. Según el tipo de instalación a la que se conecten, existen inversores de red que convierten la energía de corriente continua a corriente alterna con las mismas características de la red de distribución de energía, e inversores de instalaciones aisladas, los cuales convierten la energía de corriente continua a corriente alterna, con el voltaje y frecuencia adecuado para su aplicación.

Además, existen inversores que se adaptan a las necesidades de la instalación, como los inversores centrales, que se utilizan en grandes instalaciones solares, en donde todos los paneles fotovoltaicos están conectados a un único inversor; así como inversores de cadena o string, que se utilizan en instalaciones más pequeñas y permiten la interconexión de paneles solares aislados en grupos distintos (cadena), que exploran de forma autónoma el punto de rendimiento máximo. También existen micro inversores, que son inversores de pequeña potencia que se instalan en cada uno de los paneles solares y permiten un mayor control sobre el rendimiento del sistema.

- **Estructura de soporte:** las estructuras de soporte desempeñan un papel esencial en el rendimiento de los paneles solares, ya que garantizan su estabilidad y maximizan la eficiencia de generación de energía. En entornos donde las condiciones meteorológicas pueden variar significativamente, es

importante contar con sistemas que impidan el desplazamiento no deseado de los paneles.

Para ello, es posible emplear estructuras de montaje fijas como móviles. Las estructuras fijas ofrecen una sujeción sólida y confiable, manteniendo los paneles en una posición específica durante todos los días. Sin embargo, los sistemas móviles introducen un nivel adicional de versatilidad, ya que permiten ajustar la orientación de los paneles a lo largo del día, siguiendo la trayectoria del sol. Esta capacidad de seguimiento solar permite aprovechar al máximo la exposición a la luz solar, lo que se traduce en una mayor generación de energía.

Los sistemas de seguimiento solar pueden ser un eje o de dos ejes. Los sistemas de un eje permiten que los paneles sigan el movimiento del sol en una dirección, generalmente de este a oeste, lo que optimiza la generación de energía durante el día. Por otro lado, los sistemas de dos ejes permiten un seguimiento más preciso del sol en ambas direcciones, lo que maximiza aún más la producción de energía, especialmente en áreas donde la incidencia solar varía significativamente a lo largo del año.

- **Batería:** elemento encargado de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos para su posterior uso.

Las baterías son un elemento importante en las instalaciones fotovoltaicas, ya que permiten utilizar la energía almacenada cuando exista poca o nula producción de energía mediante los paneles fotovoltaicos, o consumir la energía de las baterías en lugar de abastecerse de la red eléctrica; sin embargo, hay que tener presente que estos elementos encarecen el precio de una instalación fotovoltaica [7].

Son prescindibles en sistemas conectados a la red e indispensables en sistemas aislados.

Otros componentes de las instalaciones fotovoltaicas son reguladores de carga, equipos de protección y conexión a tierra, y el cableado eléctrico.

3 COMUNIDADES ENERGÉTICAS

3.1 Antecedentes

En el marco jurídico Español, en el Real Decreto-ley 23/2020, se definen a las comunidades energéticas como “entidades jurídicas basadas en la participación abierta y voluntaria, autónomas y efectivamente controladas por socios o miembros que están situados en las proximidades de los proyectos de energías renovables que sean propiedad de dichas entidades jurídicas y que éstas hayan desarrollado, cuyos socios o miembros sean personas físicas, pymes o autoridades locales, incluidos los municipios y cuya finalidad primordial sea proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde operan, en lugar de ganancias financieras” [8]. En otras palabras, una comunidad energética se fundamenta en el concepto de autoconsumo energético local; es decir, la generación de energía para uso propio o compartido, en donde los participantes pueden compartir la energía producida de manera que se logre una mayor eficiencia en el uso de recursos, y se obtenga un beneficio colectivo.

Las comunidades energéticas sitúan a los ciudadanos en el centro del sistema energético, brindándoles de herramientas y recursos para que puedan desempeñar un rol más participativo como usuarios de la energía [9]. Además, estas comunidades tienen el potencial de revolucionar la forma en que se produce, consume y distribuye la energía en un país. Al fomentar la generación de energía renovable y la eficiencia energética a nivel local, las comunidades energéticas contribuyen a la reducción de las emisiones de carbono y al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad y cambio climático establecidos por cada país.

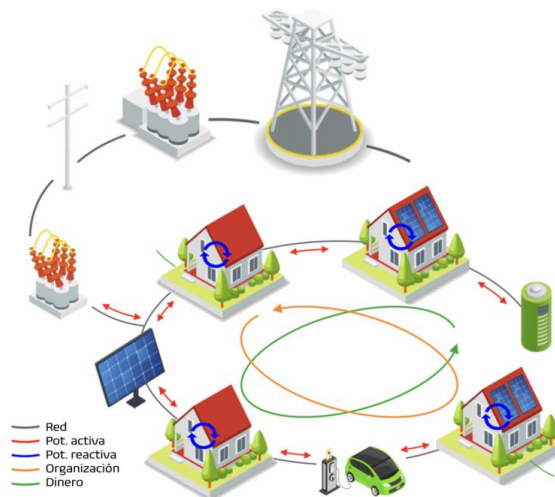


Figura 3.1 Representación de una comunidad energética [10].

Las comunidades energéticas se dividen en dos formas jurídicas:

- **Comunidades de energías renovables:** entidades basadas en la participación voluntaria y abierta; conformadas por personas físicas, autoridades locales o pequeñas empresas, y controladas por socios o miembros que se encuentren en las proximidades de los proyectos de energías renovables. Su finalidad es la de obtener beneficios ambientales, sociales, etc., y la reducción de la factura de energía eléctrica, en lugar de ganancias económicas [11]. Estas comunidades pueden trabajar en todos los

sectores de energía eléctrica, siempre y cuando sea renovable.

- **Comunidades ciudadanas de energía:** entidades basadas en la participación voluntaria y abierta, y que están conformadas por personas físicas, autoridades locales o pequeñas empresas que se unen para generar, consumir y gestionar su propia energía, que puede ser de origen renovable, con la finalidad de reducir la dependencia energética [11]. Las actividades realizadas están limitadas al sector de energía eléctrica, procedente o no de fuentes renovables.

Estas formas jurídicas deben estar integradas por un mínimo de cinco participantes, y que al menos el 51 % de los miembros sean personas físicas, además de que al menos el 51 % de las acciones de la comunidad pertenezcan a miembros que tengan un interés directo en la actividad de la comunidad y su impacto [12].

Las principales actividades que las comunidades energéticas pueden desarrollar son [13]:

- Generar energía a partir de fuentes de energía renovable: mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas u otras tecnologías limpias, las comunidades pueden producir su propia energía verde y disminuir su dependencia de fuentes no renovables.
- Ofrecer servicios de eficiencia energética: promoviendo el uso responsable y eficiente de la energía en los hogares y empresas, las comunidades energéticas pueden contribuir a la reducción del consumo y al ahorro de costes.
- Producir, suministrar, consumir, almacenar y distribuir energía: las comunidades pueden gestionar su propia red de suministro y distribución de energía, permitiendo una mayor autonomía y flexibilidad en el abastecimiento.
- Proporcionar servicios de recarga de vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos: facilitando la adopción de la movilidad eléctrica y otros servicios sostenibles, las comunidades energéticas promueven un estilo de vida más respetuoso con el medio ambiente.

Algunas de las ventajas de las comunidades energéticas son [14]:

- Abandono de los combustibles fósiles, debido a que las comunidades energéticas promueven el uso de energías renovables, disminuyendo de manera significativa las emisiones de carbono a la atmósfera.
- Mayor eficiencia en el consumo de energía.
- Alternativas de inversión comunitaria para el desarrollo de energías renovables: permiten a los ciudadanos invertir en proyectos de energía renovable y beneficiarse económicamente de dichas inversiones.
- Participación comunitaria en la aceptación de proyectos de energía renovable: al involucrar a los miembros de la comunidad en el desarrollo de proyectos energéticos, se fomenta la aceptación social y la integración de las energías limpias en la sociedad.
- Plantear proyectos de energía comunitaria para favorecer, con menores precios, a vecinos con menores recursos: mediante esquemas de tarifas preferenciales o programas de acceso a la energía, las comunidades energéticas pueden contribuir a la inclusión energética y al bienestar de los más vulnerables.
- Desarrollo de la economía local: al impulsar la instalación de infraestructuras y tecnologías renovables a nivel local, se generan empleos y oportunidades económicas en la región.
- Promover comunidades más fuertes: al trabajar juntos en proyectos energéticos, los miembros de la comunidad fortalecen los lazos sociales y la cooperación entre vecinos.
- Redistribución de beneficios financieros: los ingresos generados por la producción y venta de energía renovable pueden reinvertirse en la comunidad para financiar proyectos adicionales o servicios sociales.

Frente a las ventajas que existen, también hay barreras que impiden el desarrollo de las comunidades energéticas, como por ejemplo [13]:

- Ausencia de un marco normativo adecuado o insuficientemente desarrollado: la falta de regulaciones

claras y favorables puede dificultar la implementación de proyectos energéticos comunitarios.

- Desinterés por parte de la ciudadanía: a pesar de los beneficios que ofrecen las comunidades energéticas, puede haber falta de conciencia o interés por parte de algunos ciudadanos para participar en estas iniciativas. La falta de información sobre los beneficios y el funcionamiento de estas comunidades puede ser un obstáculo para su adopción masiva.
- Complejidad en la ejecución de trámites administrativos: los trámites y permisos necesarios para la constitución y operación de una comunidad energética pueden ser complicados y costosos. Los procesos burocráticos y las regulaciones pueden ralentizar o desalentar la creación de estas comunidades, especialmente para aquellos que no tienen experiencia previa en el sector energético.
- Escasa motivación entre los miembros de la comunidad: es fundamental que los miembros de la comunidad estén comprometidos y motivados para participar activamente en el proyecto. Si no existe un sentido de pertenencia o una visión compartida, la comunidad energética puede enfrentar dificultades para mantenerse activa y sostenible a largo plazo.
- Cambios en las regulaciones o disminución de los incentivos: las políticas gubernamentales y los incentivos financieros pueden cambiar con el tiempo, lo que afecta la viabilidad económica de los proyectos de energía renovable. La inestabilidad en los incentivos puede disminuir la confianza de los inversionistas y afectar la rentabilidad de las comunidades energéticas.
- Obstáculos para acceder a financiamiento: la falta de confianza de los inversionistas en proyectos comunitarios, el alto riesgo percibido o la falta de garantías pueden dificultar la obtención de financiamiento necesario para la puesta en marcha y el crecimiento de estas iniciativas. La búsqueda de fuentes de financiamiento sostenibles es un desafío que debe enfrentar la comunidad energética.
- Falta de tiempo de dedicación: la gestión y operación de una comunidad energética requiere tiempo y dedicación por parte de los miembros involucrados. La falta de tiempo disponible puede limitar la participación activa y comprometida de algunos ciudadanos en la comunidad energética.

Para la constitución de una comunidad energética es necesario seguir un proceso de desarrollo que consta de cinco fases [15]:

- **Constitución o adecuación legal:** obtener información sobre las comunidades energéticas, cómo funcionan, cuáles son sus objetivos. Contactar con un miembro de otra comunidad para obtener asesoría; y consolidar un soporte local y administrativo.
- **Definición de objetivos y alcances:** revisión de comunidades que han tenido éxito. Necesario tener soporte técnico para la redacción del proyecto, así como un plan de financiación.
- **Instalación e integración:** Determinar los aspectos de financiación del proyecto, y seleccionar proveedores que brinden asesoramiento para la constitución de la comunidad.
- **Gestión de la comunidad:** Determinar una gobernanza comunitaria para el correcto funcionamiento de la comunidad. Controlar y monitorizar los resultados y el cumplimiento de objetivos.
- **Comunicación:** compartir experiencias y promover la creación de más comunidades energéticas.

3.2 Comunidades energéticas en Europa

A nivel de europeo, las comunidades energéticas han obtenido reconocimiento legal en el marco “Clean energy for all Europeans package”, en la Directiva (EU) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, y en la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo referente al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables [16].

En las legislaciones de Alemania, Dinamarca, Polonia, el Reino Unido y Francia, se otorga reconocimiento a las comunidades energéticas, mientras que, en otros países, como es el caso de España, se espera que lo hagan a corto plazo. Este ámbito legislativo se ve reflejado en que, actualmente, existen alrededor de 1800 comunidades energéticas en Alemania, 700 en Dinamarca, 500 en Países Bajos y 33 en España [16].

3.3 Marco regulatorio en España

Las comunidades energéticas existentes en España utilizan las normativas que rigen el autoconsumo colectivo (Real Decreto 244/2019), en el cual se regula las condiciones en las que los consumidores pueden generar su propia energía eléctrica y utilizarla para su consumo, permitiendo también la compensación de excedentes de energía en la red eléctrica. El objetivo principal del Real Decreto 244/2019 es fomentar y regular el autoconsumo individual y colectivo de energía renovable como una forma de promover la eficiencia energética y la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles [17].

3.3.1 Modalidades de autoconsumo

En el artículo 4 del Real Decreto mencionado anteriormente, se explican las dos modalidades de autoconsumo [17]:

- **Modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes:** instalaciones de autoconsumo conectadas a la red eléctrica que tienen instalado un mecanismo de antivertido que impide la inyección de energía excedentaria a la red.
- **Modalidad de suministro con autoconsumo con excedentes:** instalaciones que, además de suministrar energía para autoconsumo, pueden inyectar energía a la red eléctrica.
 - **Acogidos a compensación:** el consumidor y el productor optan por acogerse a un mecanismo de compensación de excedentes.
Cuando no se consume en su totalidad la energía eléctrica generada, ésta puede inyectarse a la red, y se compensará el coste de energía comprada a la red eléctrica con los excedentes de energía vertidos a la red.
 - **No acogidos a compensación:** casos de autoconsumo con excedentes que no cumplen con alguno de los requisitos para acogerse a la compensación o que no opten por acogerse a esa modalidad.

Además, al ser instalaciones de autoconsumo conectadas a la red eléctrica, la conexión de las instalaciones puede realizarse de dos maneras:

- **Instalaciones próximas en red interior:** con conexión a la red interior del consumidor o consumidores.
- **Instalaciones próximas a través de red:** con conexión en un punto exterior a la red, en donde los consumidores se unen a la fuente de generación a través de la red pública.

3.3.2 Compensación simplificada

El mecanismo de compensación simplificada entre los déficits de consumo y los excedentes de las instalaciones de generación consiste en un saldo en términos económicos de la energía excedentaria inyectada a la red. En ningún caso el valor económico de la energía horaria excedentaria podrá ser mayor al valor económico de la energía horaria consumida en el periodo de facturación mensual [17].

3.3.3 Autoconsumo colectivo

Cada mes, la empresa distribuidora encargada de la lectura revisa el contador de generación neta horaria de una instalación de autoconsumo y proporciona la información necesaria a la comercializadora para llevar a cabo el proceso de facturación y compensación de excedentes de energía a cada consumidor de manera individual [17].

Debe existir coeficientes de reparto entre todos los consumidores para la correcta distribución de la energía generada por la instalación. Estos coeficientes pueden estar definidos por la potencia a facturar, la aportación económica a la instalación de generación o cualquier criterio en el que estén de acuerdo todos los participantes [17].

4 METODOLOGÍA

El presente estudio se aplica a un grupo de 20 clientes residenciales, en donde se analizan los beneficios de las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo individual, así como para consumo colectivo.

Para ello, se realiza el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para autoconsumo así como para una comunidad energética, a partir de datos de demanda de energía eléctrica con discretización horaria en un periodo de un año, así como datos de temperatura, irradiación, precio de facturación por energía consumida y el precio de la energía excedentaria de autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada.

4.1 Localización

Para el caso de estudio, la ubicación de las viviendas es la siguiente:

- Calle: Avenida del Barrerillo
- Municipio: Bormujos
- Provincia: Sevilla
- Latitud: 37.3807°
- Longitud: -6.0682°
- Altitud: 123 metros.

A continuación, se presenta el mapa con la ubicación de las viviendas.



Figura 4.1 Ubicación de viviendas para instalación de paneles fotovoltaicos.

En la página web de Sede Electrónica de Catastro se ha obtenido los datos descriptivos de las viviendas, en donde la superficie construida de cada vivienda está entre los 116 y 118 m², y el área de las cubiertas para el futuro emplazamiento de los módulos fotovoltaicos varían entre 31.95 m² (7.33 m x 4.36 m) y 35.40 m² (8.12 m x 4.36 m).

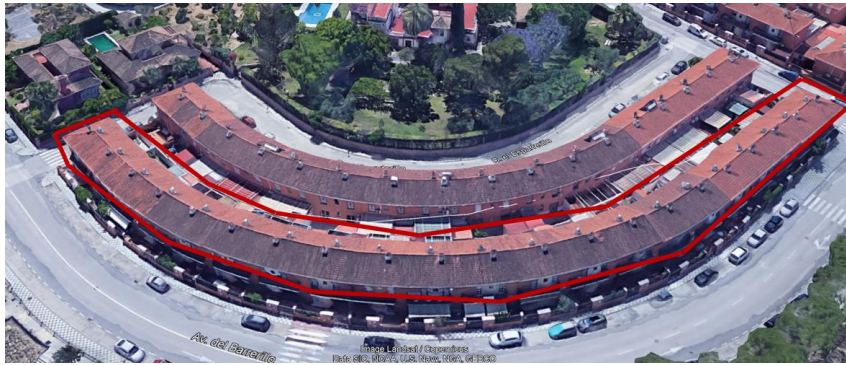


Figura 4.2 Vista de las viviendas bajo estudio.

4.2 Perfiles de consumo

Se analizan los perfiles de demanda de energía individual de los 20 usuarios, así como el consumo colectivo.

4.2.1 Consumo individual

En la Tabla 1 se indica la demanda promedio mensual de cada cliente y en la Figura 4.3 se presenta el día típico de consumo de cada usuario para comprender los patrones de consumo diario.

Tabla 1 Demanda promedio mensual.

Clientes	Demanda promedio mensual [kWh]
1	192.851
2	358.622
3	244.046
4	762.445
5	379.123
6	273.855
7	313.088
8	112.484
9	302.805
10	229.852
11	198.975
12	131.196
13	118.086
14	234.260
15	399.045
16	175.500
17	358.854
18	241.969
19	238.073
20	217.999

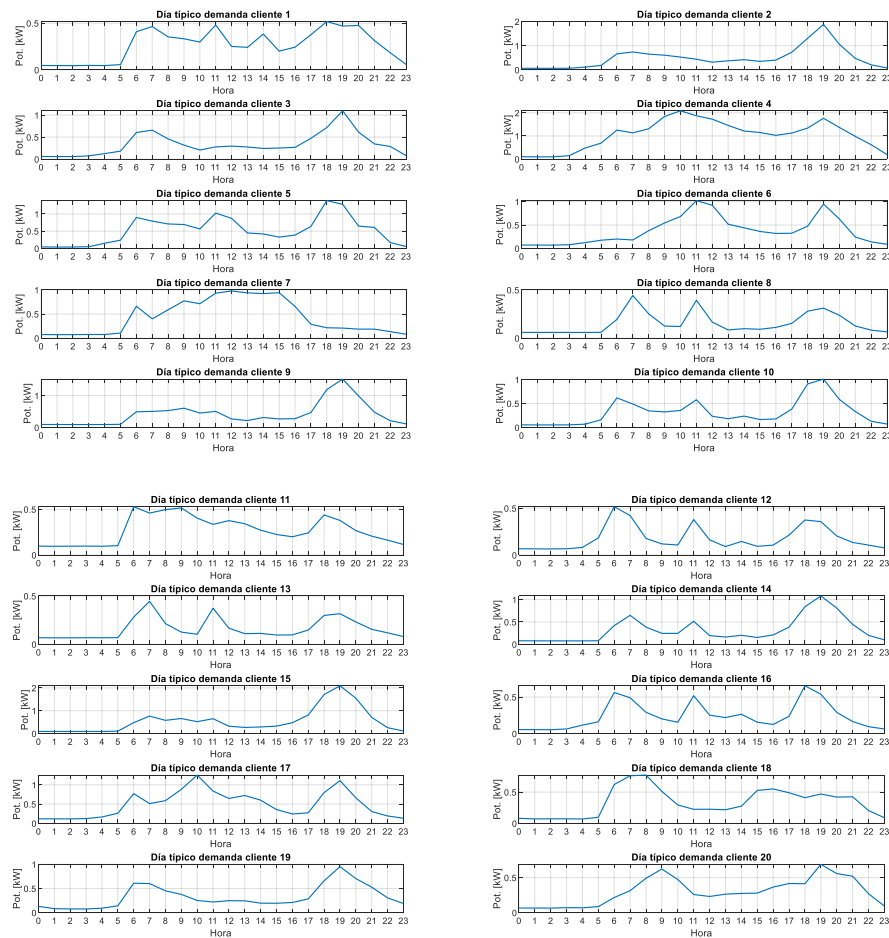


Figura 4.3. Día típico demanda de clientes.

En la Figura 4.3 se observa la variación del consumo de energía de los clientes a lo largo del día, en donde se aprecia como algunos clientes alcanzan la demanda máxima de energía a partir de las 18:00 horas y otros en las mañanas, dependiendo de las costumbres y hábitos de consumo de cada usuario.

4.2.2 Consumo colectivo

Para el consumo colectivo se sumaron las demandas de los 20 usuarios antes descritos, obteniéndose un solo perfil de consumo.

La demanda promedio mensual es 5483.13 kWh.

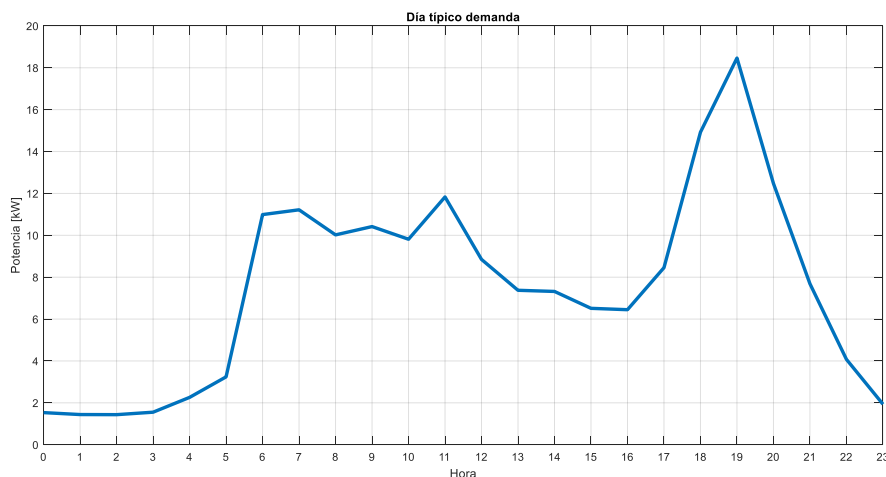


Figura 4.4. Día típico demanda de colectiva.

Como se aprecia en la Figura 4.4, el máximo consumo de energía se registra a las 19:00 horas, coincidiendo con el momento en que los usuarios regresan del trabajo.

4.3 Datos de irradiación y temperatura

Los datos de irradiación y temperatura horaria en un periodo de un año se han obtenido en la web PVGIS (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR), introduciendo los datos de ubicación de las viviendas.

La página también proporciona el ángulo de inclinación óptimo, el cual tiene un valor de 35°.

Los datos de irradiación solar mensual y temperatura media se presentan a continuación:

Tabla 2 Irradiación solar mensual.

Mes	Irradiación plano horizontal [kWh/m ² /día]	Irradiación en plano de inclinación óptima [kWh/m ² /día]	Temperatura media [°C]
Enero	2.946	5.200	10.1
Febrero	4.258	6.518	12.5
Marzo	5.399	6.797	15.9
Abril	5.986	6.330	16.6
Mayo	7.662	7.261	23.4
Junio	8.241	7.435	23.9
Julio	7.660	7.095	26.5
Agosto	7.268	7.421	28.2
Septiembre	5.571	6.539	24.9
Octubre	4.344	5.995	20.4
Noviembre	2.664	4.113	14.3
Diciembre	2.442	4.353	12.5

4.4 Inclinación óptima

Para conocer la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos es necesario tener los datos de irradiación para distintos ángulos de inclinación. Se obtienen los datos de irradiación a través de PVGIS para un ángulo de inclinación de 15°, 30°, 45° y 60°. En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos.

Tabla 3 Irradiación solar para diferentes ángulos de inclinación.

Mes	Irradiación plano horizontal [kWh/m ² /día]	Irradiación inclinación 15° [kWh/m ² /día]	Irradiación inclinación 30° [kWh/m ² /día]	Irradiación inclinación 45° [kWh/m ² /día]	Irradiación inclinación 60° [kWh/m ² /día]
Enero	2.946	4.075	4.977	5.585	5.854
Febrero	4.258	5.442	6.319	6.821	6.909
Marzo	5.399	6.230	6.721	6.829	6.538
Abril	5.986	6.351	6.388	6.084	5.457
Mayo	7.662	7.749	7.431	6.744	5.716
Junio	8.241	8.157	7.666	6.789	5.590
Julio	7.660	7.660	7.288	6.538	5.473
Agosto	7.268	7.594	7.527	7.046	6.179
Septiembre	5.571	6.204	6.514	6.470	6.063
Octubre	4.344	5.244	5.867	6.161	6.098
Noviembre	2.664	3.409	3.978	4.329	4.431
Diciembre	2.442	3.395	4.162	4.687	4.930
Año	64.440	71.508	74.837	74.082	69.239

A través de los datos de la Tabla 3, se determina que el ángulo óptimo de inclinación es 30°; sin embargo, inclinar los módulos fotovoltaicos implica dejar una distancia de separación entre filas para evitar que se produzcan sombras que afecten el rendimiento de la instalación, reduciéndose el espacio para ubicar los paneles solares y por ende el número de paneles a instalar. Por esta razón, se selecciona la inclinación de 15° que es similar a la propia inclinación de la cubierta de las casas.

4.5 Precio de facturación por energía consumida y compensación de energía excedente

Como se indicó anteriormente, para este estudio se utiliza el coste de facturación de energía consumida y el coste de compensación de energía excedente.

Los precios medios mensuales se presentan en la Tabla 4, en donde se observa que el coste de compensación de excedentes de energía eléctrica es menor al coste de compra de energía a la comercializadora.

Tabla 4 Coste medio mensual de energía.

Mes	Coste e. consumida [€/MWh]	Coste e. excedente [€/MWh]
Enero	285.86	201.38
Febrero	286.31	199.83
Marzo	387.60	282.85
Abril	268.61	191.06
Mayo	259.95	186.70
Junio	290.94	169.14
Julio	331.38	142.30
Agosto	395.60	154.50
Septiembre	315.86	140.37
Octubre	226.65	126.57
Noviembre	189.44	114.84
Diciembre	206.45	96.15

4.6 Componentes de la instalación

Para el estudio se ha seleccionado un conjunto de componentes comerciales de las instalaciones fotovoltaicas, con el fin de obtener un presupuesto referencial.

4.6.1 Paneles solares

Para el dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas, se elige el panel JA Solar de 400 W de silicio monocristalino. La ficha técnica puede encontrarse en el Anexo 1.



Figura 4.5 Módulo fotovoltaico JA Solar [18].

Las características principales del módulo fotovoltaico son:

Tabla 5 Características principales módulo fotovoltaico JA Solar 400 W [19].

Modelo	JA Solar JAM72S03-400/PR
Peso [kg]	22.5
Dimensiones [mm]	2000x991x40
Número de células	144 (6x24)
Potencia [W]	400
Tensión circuito abierto (Voc) [V]	49.17
Tensión punto máxima potencia (Vmp) [V]	40.92
Corriente cortocircuito (Isc) [A]	10.34
Corriente máxima (Imp) [A]	9.78
Eficiencia del módulo [%]	20.2

Los paneles fotovoltaicos a instalarse en las viviendas de los 20 consumidores serán de las mismas potencia, modelo y fabricante.

En función de la superficie disponible de las viviendas, cada cliente puede instalar como máximo 11 paneles fotovoltaicos.

4.6.2 Inversores monofásicos

Para el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos para autoconsumo individual, se ha escogido inversores monofásicos de diferentes potencias de la marca Goodwe, debido a que la potencia pico de instalación fotovoltaica varía de acuerdo al consumo de energía eléctrica de cada cliente. La ficha técnica de los mismos se presenta en el Anexo 2.



Figura 4.6 Inversor Goodwe [20].

Estos inversores tienen incorporadas las siguientes protecciones [21]:

- Protección anti-isla.
- Protección de polaridad inversa de entrada.
- Detección de resistencia de aislamiento.
- Dispositivo de protección contra sobretensiones en corriente continua.
- Dispositivo de protección contra sobretensiones en corriente alterna.
- Unidad de monitorización de corriente residual.
- Protección de sobrecorriente de salida.
- Protección cortocircuito de salida.
- Protección de sobretensión de salida.

4.6.3 Inversores trifásicos

Para el caso de comunidad energética, se ha escogido inversores trifásicos de diferentes potencias de la marca Huawei. La ficha técnica de los mismos se presenta en el Anexo 3.



Figura 4.7 Inversor Huawei [22].

Estos inversores tienen incorporadas las siguientes características y protecciones [23] [24]:

- Dispositivo de desconexión del lado de entrada.

- Protección anti-isla.
- Protección contra sobreintensidad de corriente alterna.
- Monitorización a nivel de string.
- Protección contra polaridad inversa de corriente continua.
- Detección de resistencia de aislamiento de corriente continua.
- Descargador de sobretensiones de corriente continua.
- Descargador de sobretensiones de corriente alterna.
- Protección ante fallo por arco eléctrico.

4.7 Sistema fotovoltaico para autoconsumo individual

La potencia instalada de cada usuario es definida en función del mayor valor actual neto (VAN) de la instalación fotovoltaica, a través de los valores de facturación de energía eléctrica que los usuarios pagan sin y con la instalación, el coste de inversión y mantenimiento.

Para ello, se calcula la cantidad de energía que los módulos solares producirían en cada hora, empleando la ecuación 4-1, en donde se considera el número de paneles a instalar, la potencia del panel, la eficiencia de la instalación y las horas solares picos (HSP), que se define como una unidad que mide el número de horas de una supuesta irradiación solar constante de 1 kW/m² [25].

$$\text{Energía generada}[kWh] = N^{\circ} \text{ paneles} * \text{Potencia panel}[kW] * \text{HSP}[h] * \text{Eficiencia} \quad (4-1)$$

La eficiencia de la instalación tiene en cuenta las pérdidas y factores que afectan a la instalación fotovoltaica [26], como por ejemplo:

- Dispersión de los parámetros entre módulos: 2 %.
- Efecto de polvo y suciedad: 1 %.
- Pérdidas por reflectancia angular y espectral: 2 %.
- Factor de sombras: 1 %.
- Pérdidas debido al efecto de la temperatura: calculadas en función de la temperatura e irradiación.
- Pérdidas en el cableado en corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y el inversor: definidas en 1.5 %.
- Pérdidas en el cableado en corriente alterna entre el inversor y el tablero de distribución: definidas en 0.5 %.
- Pérdidas por disponibilidad de la instalación: establecidas en 5 %.
- Eficiencia del inversor: depende de la potencia y viene definido por el fabricante.
- Pérdidas por el no seguimiento del punto de máxima potencia debido a la instalación de estructuras de montaje fijas: establecidas en 5 %.

En función de estos valores, se obtiene la eficiencia energética de la instalación y las horas solares pico para cada hora.

Cada usuario tiene sus necesidades y diferentes hábitos de consumo, por lo que no todos necesitan instalar la misma cantidad de módulos fotovoltaicos. El número de paneles está limitado por la superficie de la cubierta de las viviendas, que, para el caso de estudio, los usuarios pueden instalar máximo 11 paneles solares debido a que la construcción de las casas y el tamaño de los techos es similar para todos.

A medida que aumenta la potencia de instalación fotovoltaica menor será la factura de energía eléctrica, pero el coste de la inversión será mayor, por lo que para el dimensionamiento de las instalaciones se compara la

energía de generación fotovoltaica con el consumo de energía eléctrica de cada cliente, de esta forma se puede conocer la energía autoconsumida por el usuario, la energía excedentaria y la que requiere comprar de la red durante un año, con el fin de optimizar los recursos económicos del usuario. Con estos datos y el coste de la instalación y mantenimiento, se obtienen los valores de coste anual sin y con paneles fotovoltaicos, así como el ahorro y el valor actual neto (VAN) de la instalación.

Para el cálculo del VAN se tiene en cuenta una vida útil de los paneles solares de 25 años, y una degradación anual de 0.5 %; además del coste anual de mantenimiento de los módulos, el cual se considera como un 2 % del coste total de la instalación, y se supone un valor de inflación anual de electricidad de 2 %, y una tasa de interés del 5 %.

Por ejemplo, en la Tabla 6 se muestra el coste anual con y sin paneles, así como el ahorro que supone la instalación de diferente número de módulos fotovoltaicos para el usuario 1; además de la inversión y el valor actual neto.

Tabla 6 Comparativa entre diferente número de paneles solares.

No. de paneles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Coste anual sin paneles [€]	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84	663.84
Coste anual con paneles [€]	619.53	539.32	465.94	396.85	363.69	371.64	399.23	459.48	497.09	549.51	616.73
Ahorro anual [€]	44.31	124.52	197.90	266.99	300.15	292.20	264.61	204.36	166.75	114.33	47.11
Inversión [€]	1077.42	1556.57	2072.42	2615.60	3094.75	3664.84	4214.55	4975.60	5465.38	6041.77	6780.82
VAN [€]	997.64	2481.05	3855.22	5161.55	5836.31	5824.82	5471.15	4602.73	4063.80	3289.32	2296.27
Payback [años]	10.73	7.63	6.83	6.56	6.77	7.64	8.74	10.73	12.09	14.01	16.76

En función de los datos de la Tabla 6 se selecciona el sistema conformado por 5 paneles solares (2 kW), ya que con este número de paneles el VAN es mayor. En este caso, la instalación con este número de módulos fotovoltaicos supone mayores beneficios frente a la instalación de otro número de paneles, ya que requiere una inversión moderada y una pronta recuperación de la inversión.

Siguiendo este ejemplo, se selecciona el número de paneles necesarios para cada usuario, teniendo en cuenta la limitación de la superficie de la cubierta de las viviendas.

Tabla 7 Resultados del autoconsumo individual.

Cliente	No. Paneles	Potencia instalada [W]	Potencia inversor [W]	Rendimiento instalación [%]
1	5	2000	2000	24.57
2	10	4000	4200	23.25
3	7	2800	3000	21.24
4	11	4400	5000	58.54
5	10	4000	4200	29.64
6	7	2800	3000	39.71
7	7	2800	3000	46.53
8	3	1200	1500	23.52
9	9	3600	3600	21.65
10	7	2800	3000	20.09
11	5	2000	2000	32.11
12	4	1600	2000	18.44
13	3	1200	1500	22.50
14	7	2800	3000	19.22
15	10	4000	4200	22.86
16	5	2000	2000	23.51
17	9	3600	3600	35.80
18	7	2800	3000	26.50
19	7	2800	3000	19.20
20	6	2400	2500	26.87

En la Tabla 7 se muestra el número de paneles a instalarse por cada usuario (en total 139), la potencia instalada, así como la potencia del inversor monofásico y el rendimiento de la instalación obtenido al dividir la energía autoconsumida para el total de energía generada. Los datos económicos de todos los usuarios (VAN, TIR, payback) se presentan en el Capítulo 5.

La Figura 4.8 muestra la distribución de los paneles fotovoltaicos en cada vivienda.

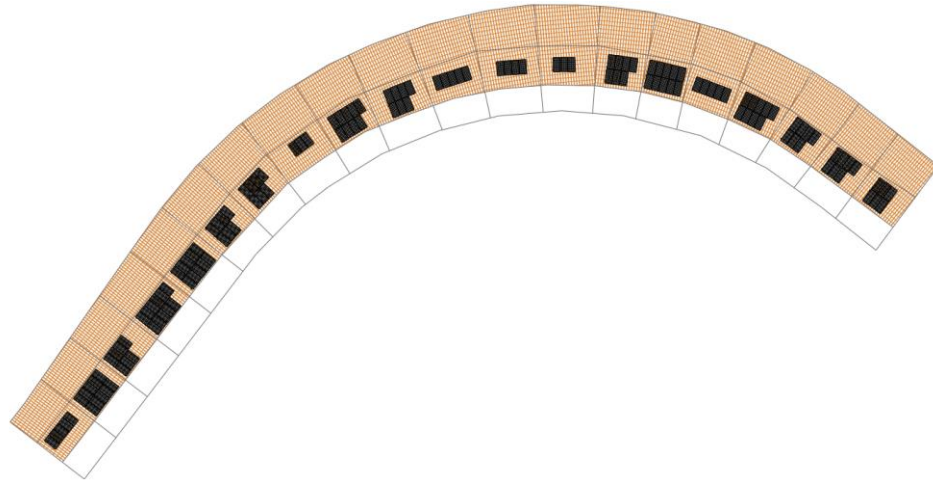


Figura 4.8. Distribución paneles fotovoltaicos.

En la Figura 4.9 se muestra la energía consumida y generada durante el periodo de un año para los clientes. Como se observa, en algunos casos durante las horas de sol, la energía generada es mayor a la energía consumida, por lo que existe excedentes de energía que se inyectan a la red eléctrica.

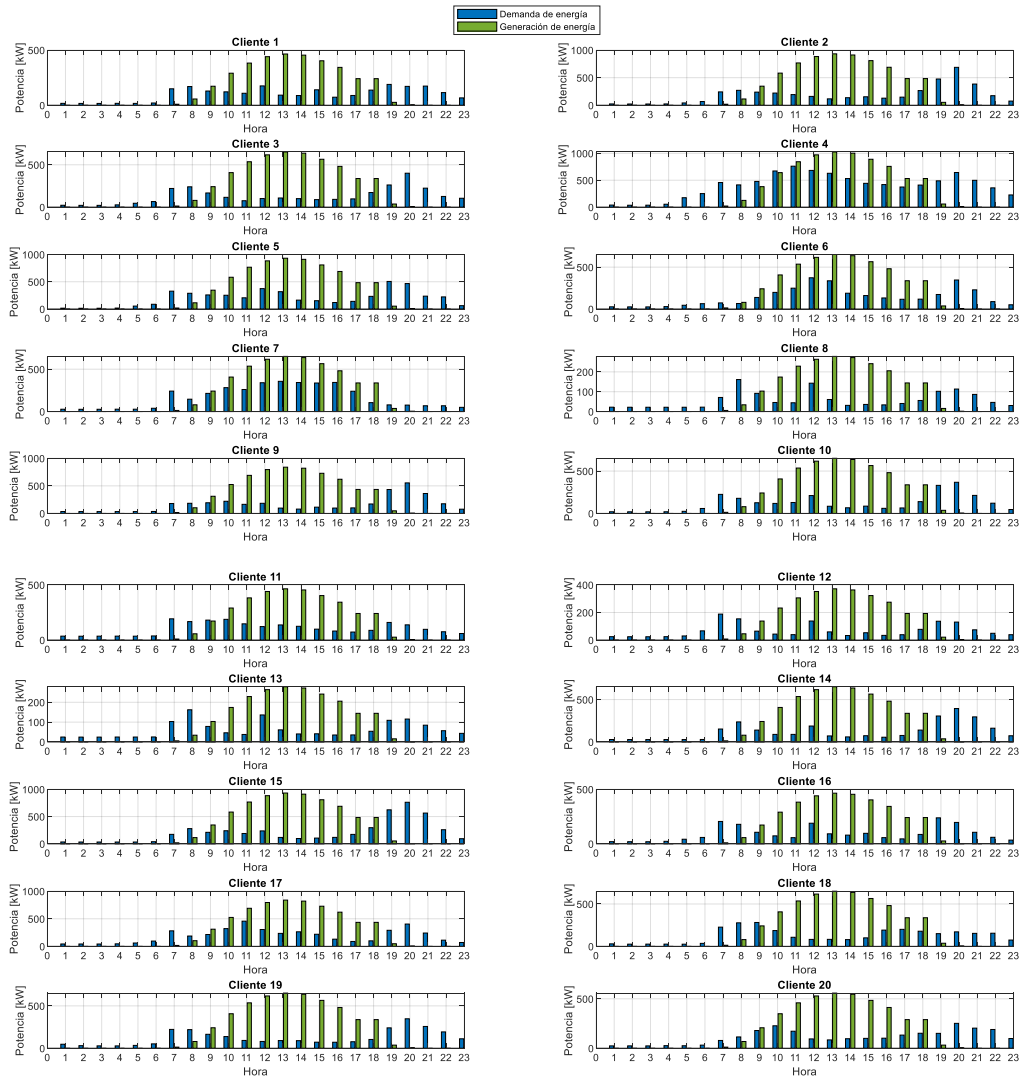


Figura 4.9 Demanda y generación de energía por cliente.

4.8 Sistema fotovoltaico para comunidad energética

Este apartado se divide en dos secciones:

- Usuarios que ya tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética.
- Usuarios que no tienen instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética.

En estos dos casos, la comunidad energética será constituida por los 20 clientes analizados anteriormente.

4.8.1 Usuarios que tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética

Este escenario tiene en cuenta que los clientes ya cuentan con una instalación fotovoltaica en sus viviendas y se unen para formar una comunidad energética, siendo la potencia total de instalación 55.60 kWp (139 paneles), correspondiente a la suma de las potencias de instalación individual de los usuarios.

Se obtiene la demanda total de los clientes y la energía total generada de todas las instalaciones (Figura 4.10), a partir de la suma de los valores individuales de cada usuario.

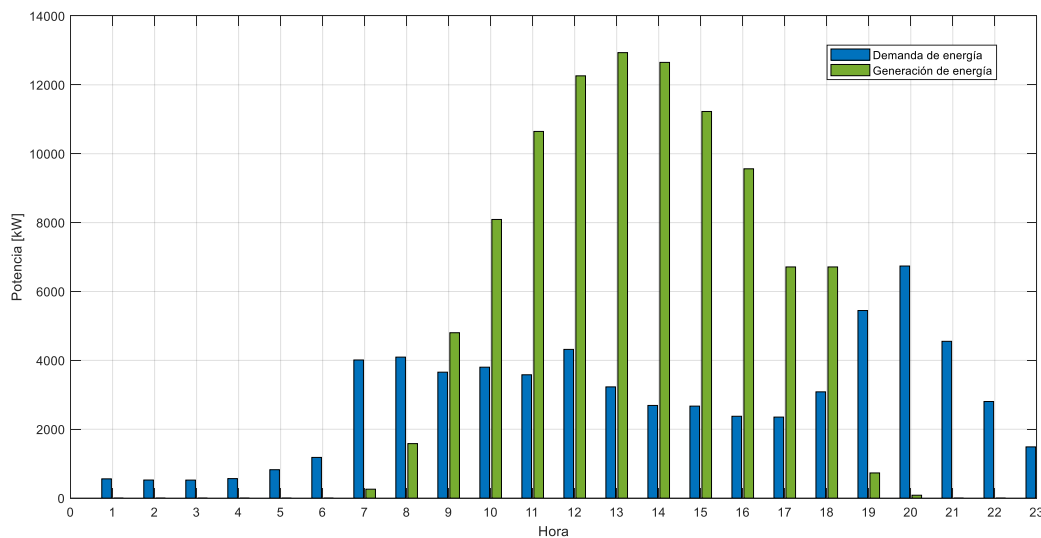


Figura 4.10. Demanda y generación de energía de las instalaciones operando como un conjunto.

Con los datos de energía y demanda en conjunto, se calcula la energía autoconsumida, energía excedentaria y la cantidad de energía que consumen de la red eléctrica, y se obtiene los valores de facturación mensual y anual que la comunidad tendría que pagar en términos de energía.

El ahorro económico que representa el beneficio de operar los sistemas fotovoltaicos individuales como un conjunto se comparará con la sumatoria de los beneficios individuales de cada cliente. Si este valor fuese menor a la sumatoria individual significaría que no existe ninguna ventaja de trabajar en conjunto; caso contrario, les conviene unir sus instalaciones y operar como una comunidad energética, ya que así obtendrían un mayor rendimiento de sus instalaciones, y por lo tanto un mayor beneficio económico.

Si el valor fuese superior, se analizarán cuatro criterios de reparto de este beneficio económico adicional a los usuarios (diferencia de ahorro con instalaciones individuales y con instalaciones individuales en comunidad), en función de:

- Reparto igualitario.
- Potencia fotovoltaica instalada.
- Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.
- Demanda de energía.

4.8.2 Usuarios que no tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética

En este escenario los usuarios se unen como un solo cliente, por lo que se va a buscar la potencia de instalación fotovoltaica óptima para el conjunto, teniendo en cuenta de que la instalación constará con un solo inversor trifásico para toda la comunidad.

Para el dimensionamiento de la instalación se tiene en cuenta que el número de paneles máximo a instalar está limitado por la superficie de las cubiertas. Dado que son 20 clientes y cada vivienda puede tener un máximo de 11 paneles solares, se pueden instalar un total de 220 módulos fotovoltaicos.

Aplicando el mismo criterio utilizado para el dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas individuales, en función de la energía generada, el consumo de energía eléctrica del conjunto de clientes, además de la inversión, el ahorro que supone la instalación y el VAN de la misma, se selecciona que el número de paneles óptimo a instalar es 152 (Tabla 8).

Tabla 8 Comparativa entre diferente número de paneles solares.

No. de paneles	...	104	112	120	128	136	144	152	160	168	...
Coste anual sin paneles [€]	...	19445.81	19445.81	19445.81	19445.81	19445.81	19445.81	19445.81	19445.81	19445.81	...
Coste anual con paneles [€]	...	9767.48	9204.27	8809.11	8734.06	8661.54	8607.83	8622.06	8714.68	8821.67	...
Ahorro anual [€]	...	9678.33	10241.54	10636.70	10711.75	10784.28	10837.99	10823.75	10731.13	10624.14	...
Inversión [€]	...	55189.84	58986.63	62783.42	68049.87	71977.17	75793.45	79609.72	83425.99	87218.33	...
VAN [€]	...	178414.71	188925.42	196548.44	198992.80	201100.18	202859.91	203451.98	202697.14	201690.15	...

En la Figura 4.11 se presenta la energía generada por la instalación fotovoltaica de 152 paneles (8 strings de 19 paneles conectados en serie) y un inversor trifásico de 50 kW, frente al consumo de energía total de la comunidad.

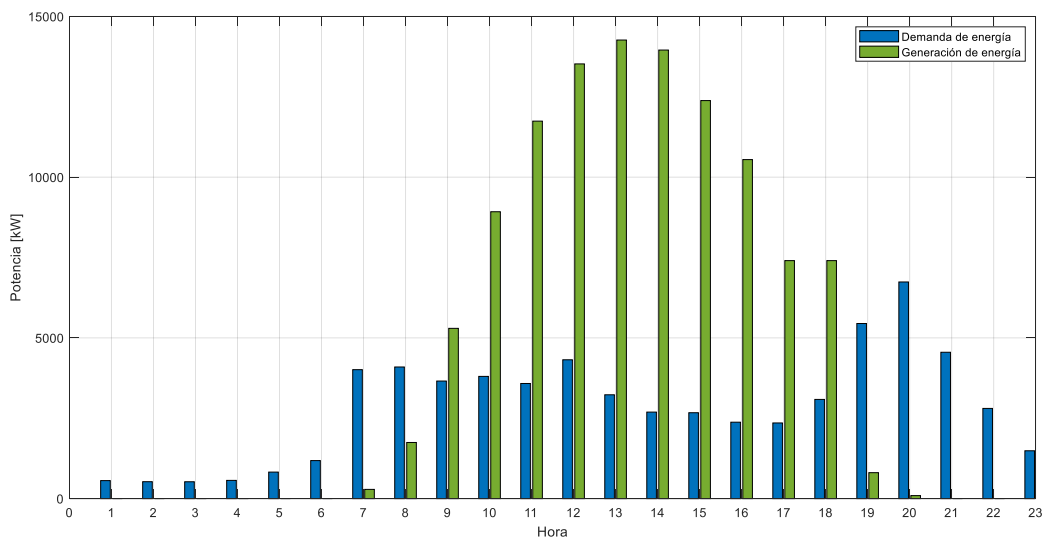


Figura 4.11 Demanda y generación de energía de la comunidad.

La Figura 4.12 presenta la distribución de los paneles fotovoltaicos. Se ha considerado la instalación de los paneles en todas las cubiertas de las viviendas, pero en última instancia son los usuarios los que deberían negociar y permitir el tipo de configuración.

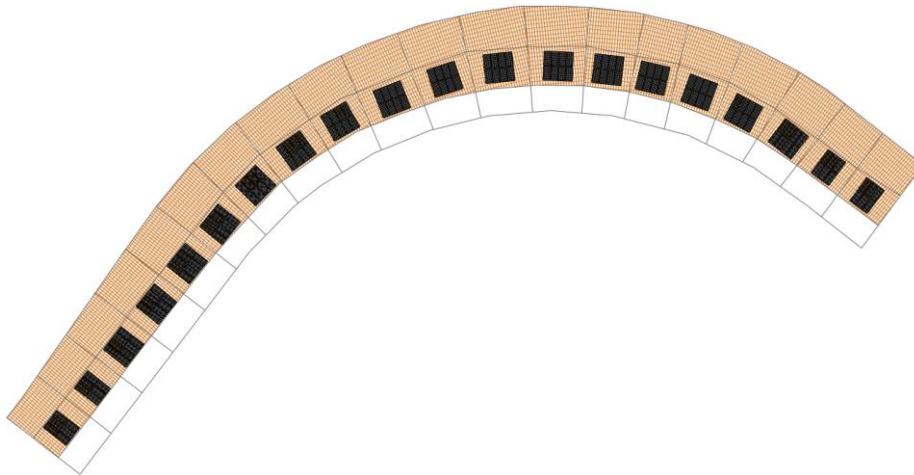


Figura 4.12. Distribución paneles fotovoltaicos.

En una comunidad energética, el enfoque principal es tratar a la comunidad en su conjunto como una sola entidad en lo que se refiere a la compra y compensación de energía. Esto significa que, en lugar de considerar a cada persona o entidad dentro de la comunidad como un cliente individual, la comercializadora de energía establece acuerdos y contratos con la comunidad en su totalidad, tratándolo como un solo usuario.

Dentro de la comunidad, el líder o administrador debe encargarse de negociar acuerdos entre todos los miembros que la componen. En este caso, la energía eléctrica generada por la instalación fotovoltaica se repartirá en función de los cuatro criterios listados anteriormente: reparto igualitario, mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol, demanda anual de los usuarios y, finalmente con respecto a la potencia fotovoltaica que cada usuario hubiese instalado de manera individual.

Con base en esto, puede haber usuarios que con el reparto tengan exceso o déficit de energía, por lo que se considera un intercambio de energía interno entre los usuarios, en donde el precio al cual se vende y compra la energía entre los miembros de la comunidad tiene que ser conveniente para todos. Para este estudio, el precio de venta y compra de energía entre usuarios se ha considerado como el precio de la energía excedentaria de autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada (precio al que compensa la energía eléctrica inyectada a la red la comercializadora), el cual es menor al término de facturación de energía activa.

La distribución de energía excedente destinada a la compra entre los miembros de la comunidad se llevará a cabo entre los usuarios que presenten un déficit energético, con los mismos criterios previamente expuestos, siguiendo un proceso iterativo, hasta finalizar la cantidad de energía excedente destinada al intercambio entre socios. En el caso de que la energía excedente de la comunidad alcance su cupo y los usuarios no hayan cubierto su demanda, éstos tendrán que adquirir la cantidad restante de energía necesaria de la red eléctrica.

De igual forma, la energía excedente destinada a la venta entre los miembros de la comunidad se llevará a cabo entre los usuarios que presenten un exceso de energía, siguiendo los mismos criterios de reparto anteriormente mencionados.

Es importante destacar que, si la diferencia entre la energía utilizada de la red y la energía vertida es negativa, la comunidad no compra energía a la red. Por tanto, si algún cliente consume más energía de la que le corresponde de la parte autogenerada, compra a la comunidad al precio de la energía vertida a la red si la comunidad tiene excedente de energía; caso contrario, tendrá que comprar parte a la comunidad y parte a la red.

En resumen, un cliente podrá estar en una de las siguientes situaciones según la fracción de autoconsumo que le corresponde y si la comunidad compra o vende a la red.

- a) La comunidad tiene excedente de energía.
 - 1) El cliente consume más que la parte que le corresponde de su autoconsumo: el cliente compra a la comunidad.
 - 2) El cliente consume menos que la parte que le corresponde:

- i. El cliente vende a la comunidad.
 - ii. El cliente vende a la comunidad y a la red.
 - iii. El cliente vende a la red.
- b) Comunidad con déficit de generación.
 - 1) El cliente consume más que la parte autogenerada que le corresponde.
 - i. El cliente con la parte que le corresponde de compra a la comunidad cubre su demanda; por lo tanto, sólo compra a la comunidad.
 - ii. El cliente compra a la comunidad y a la red.
 - iii. El cliente compra a la red.
 - 2) El cliente consume menos que la parte que le corresponde de su autoconsumo: el cliente vende a la comunidad y/o a la red.

Finalmente, el coste de término de energía que cada cliente tiene que pagar se basa en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Coste término de energía}[\text{€}] & \qquad \qquad \qquad (4-2) \\ & = \text{Coste compra energía red} + \text{Coste compra energía comunidad} \\ & - \text{Coste energía excedente inyectada red} \\ & - \text{Coste venta energía comunidad} \end{aligned}$$

Dependiendo de las situaciones descritas anteriormente, existirán casos en los cuales algunos términos de la ecuación son cero; ya que, podrían existir clientes que no vendan energía a la comunidad o no inyecten energía a la red debido a que con la parte que les corresponde no cubren su demanda o compran energía de la comunidad y/o de la red y por lo tanto no tienen excedente de energía; o usuarios que no compren energía a la comunidad ya que con su parte autogenerada cubren su demanda y pueden tener exceso de energía que venden a la comunidad y pueden inyectar a la red eléctrica.

Finalmente, el coste que cada miembro tendrá que pagar a la comunidad estará definido como:

$$\text{Coste}[\text{€}] = \text{Coste mantenimiento} + \text{Coste inversión} + \text{Coste término de energía} \quad (4-3)$$

En donde el coste de mantenimiento e inversión se reparte, de igual manera, en función de los criterios.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se analizan los resultados obtenidos del dimensionamiento de los paneles solares, y se presentan los parámetros económicos obtenidos para determinar la rentabilidad y viabilidad de las instalaciones fotovoltaicas.

5.1 Sistema fotovoltaico para autoconsumo

En la Tabla 9 se presentan los costes cuando el cliente no tiene módulos fotovoltaicos (facturación de energía eléctrica por parte de la comercializadora) y cuando tiene instalados los paneles fotovoltaicos (facturación de energía eléctrica por parte de la comercializadora, coste de inversión y mantenimiento de los módulos), además del ahorro que supone para el cliente la instalación de los mismos. Los datos de esta tabla se obtienen al utilizar los valores horarios de energía calculados en función del número de paneles a instalarse, y elaborar una tabla con la energía comprada a la comercializadora, la energía excedente, el coste de energía comprada, coste del excedente para cada mes, y el coste total de energía eléctrica para cada mes, en donde; si la diferencia entre el valor económico de la energía utilizada de la red y la energía vertida es negativo, el cliente no paga por término de energía.

Como se observa, la instalación de paneles fotovoltaicos en una vivienda supone un gran ahorro para los usuarios, ya que les permite reducir significativamente sus costes de energía eléctrica a lo largo del tiempo.

Tabla 9 Resultados factura anual con y sin instalación fotovoltaica.

Cliente	Coste anual sin paneles [€]	Coste anual con paneles [€]	Ahorro anual [€]
1	663.84	363.69	300.15
2	1293.50	701.46	592.05
3	875.16	478.98	396.18
4	2649.71	1575.09	1074.61
5	1352.46	682.68	669.78
6	962.28	449.40	512.89
7	1050.21	470.85	579.37
8	400.23	238.66	161.57
9	1100.29	595.37	504.92
10	825.80	448.29	377.52
11	697.08	355.76	341.32
12	459.89	275.94	183.95
13	416.16	251.11	165.05
14	852.80	465.23	387.57
15	1474.16	814.11	660.05
16	618.26	342.94	275.32
17	1265.24	608.56	656.68
18	847.89	437.08	410.81
19	862.49	472.58	389.90
20	778.38	406.97	371.41
Total	19445.83	10434.75	9011.10

Con los datos de la Tabla 9 se procede a calcular el VAN, TIR, tiempo de recuperación del capital y el porcentaje del coste anual con paneles con respecto al coste anual que los usuarios pagan sin las instalaciones fotovoltaicas.

Tabla 10 Resumen parámetros de rentabilidad.

Cliente	No. paneles	Coste anual con paneles [€]	Inversión [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	5	363.69	3094.75	5836.31	18.39	6.77	54.79
2	10	701.46	6041.77	11498.52	18.50	6.73	54.23
3	7	478.98	4214.55	7732.08	18.07	6.90	54.73
4	11	1575.09	6780.82	19953.05	24.79	4.81	59.44
5	10	682.68	6041.77	12834.34	19.86	6.22	50.48
6	7	449.40	4214.55	9737.57	21.00	5.82	46.70
7	7	470.85	4214.55	10879.98	22.63	5.35	44.83
8	3	238.66	2072.42	3230.82	16.34	7.74	59.63
9	9	595.37	5465.38	9874.53	17.90	7.00	54.11
10	7	448.29	4214.55	7411.37	17.59	7.13	54.29
11	5	355.76	3094.75	6543.82	19.80	6.24	51.04
12	4	275.94	2615.60	3734.47	15.50	8.23	60.00
13	3	251.11	2072.42	3290.61	16.52	7.65	60.34
14	7	465.23	4214.55	7584.13	17.85	7.02	54.55
15	10	814.11	6041.77	12667.08	19.69	6.28	55.23
16	5	342.94	3094.75	5409.64	17.53	7.16	55.47
17	9	608.56	5465.38	12482.82	20.83	5.87	48.10
18	7	437.08	4214.55	7983.20	18.44	6.75	51.55
19	7	472.58	4214.55	7624.22	17.91	6.97	54.79
20	6	406.97	3664.84	7185.83	18.85	6.59	52.28

En la Tabla 10 se observa como el VAN es positivo y mayor a cero, lo que significa que la instalación de paneles fotovoltaicos es rentable, recuperando su capital de inversión y obteniendo beneficios.

De igual manera, la TIR es positiva y mayor a la tasa de interés, lo que indica de que la instalación de paneles es beneficioso para los usuarios.

Se observa como el usuario 4 es el que tiene un mayor gasto de inversión y un menor periodo de recuperación de la inversión debido a que el ahorro anual que supone la instalación de paneles fotovoltaicos es mayor frente a los otros usuarios; mientras que el usuario 12 es el que recupera la inversión en mayor tiempo.

Con el porcentaje obtenido también se identifica que, con las instalaciones fotovoltaicas, los usuarios están pagando menos de lo que pagaban sin paneles; siendo los clientes 6, 7, y 17 los que pagan menos de la mitad de lo que pagaban por coste de energía eléctrica y, por tanto; los más beneficiados con la instalación.

5.2 Sistema fotovoltaico para comunidad energética

5.2.1 Usuarios que tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética

Al igual que para el autoconsumo individual, se calcula el coste anual sin y con paneles fotovoltaicos cuando los usuarios funcionan como un conjunto.

En este escenario, la cantidad de energía adquirida a través del proveedor de energía disminuye en comparación con el escenario en el que cada instalación fotovoltaica funciona de manera independiente.

Tabla 11 Resultados costes con y sin instalación fotovoltaica.

Cliente	Coste anual sin paneles [€]	Coste anual con paneles [€]	Ahorro anual [€]
Cliente total	19445.81	9757.26	9688.56

Al comparar el valor de coste anual de la Tabla 11 con el presentado en la Tabla 9, se determina que existe un menor coste anual con la instalación de paneles y por lo tanto un mayor ahorro de dinero cuando los usuarios se unen constituyéndose en una comunidad (de 9011.10 € a 9688.56 €). El beneficio económico que supone esta forma de operación es 677.46 €, que representa un 7 % de aumento en la rentabilidad de las instalaciones. Este valor es destacable porque se consigue este beneficio sin necesidad de realizar ninguna inversión o acción adicional, únicamente debido a la decisión de los usuarios de unirse y formar una comunidad.

Este beneficio adicional se repartirá en función de los criterios mencionados en el apartado 4.8.1.

- **Reparto igualitario:** el reparto del beneficio se realiza a todos los usuarios por igual; es decir, a todos los usuarios se les reparte 33.87 €.

Tabla 12 Resumen parámetros de rentabilidad – Reparto igualitario.

Cliente	No. Paneles	Coste anual con paneles [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	5	329.82	6418.38	19.55	6.33	49.68
2	10	667.59	12080.61	19.09	6.49	51.61
3	7	445.11	8314.12	18.93	6.56	50.86
4	11	1541.22	20535.24	25.31	4.71	58.17
5	10	648.81	13416.51	20.45	6.02	47.97
6	7	415.53	10319.68	21.83	5.57	43.18
7	7	436.98	11462.09	23.46	5.14	41.61
8	3	204.79	3812.90	18.10	6.89	51.17
9	9	561.50	10457.05	18.56	6.70	51.03
10	7	414.42	7993.47	18.46	6.74	50.18
11	5	321.89	7126.02	20.95	5.83	46.18
12	4	242.07	4316.52	16.91	7.45	52.64
13	3	217.24	3872.70	18.28	6.81	52.20
14	7	431.36	8166.34	18.71	6.64	50.58
15	10	780.24	13249.30	20.28	6.07	52.93
16	5	309.07	5991.87	18.70	6.64	49.99
17	9	574.69	13064.91	21.48	5.67	45.42
18	7	403.21	8565.70	19.29	6.42	47.55
19	7	438.71	8206.38	18.77	6.62	50.87
20	6	373.10	7768.07	19.83	6.23	47.93

Al comparar estos valores con los de la Tabla 10, se evidencia un incremento del VAN y TIR debido a la disminución del coste anual con paneles. Por consiguiente, se observa una reducción del periodo de recuperación de la inversión para todos los usuarios, mejorando este valor entre el 2 y el 11 %. Se evidencia que, además de los clientes 6 y 7, los usuarios 1, 5, 11, 16, 17, 18 y 20 también tienen una reducción de más del 50 % en sus costes de energía en comparación con lo que pagan sin las instalaciones fotovoltaicas.

- **Potencia fotovoltaica instalada:** los coeficientes se calculan al dividir la potencia de instalación de cada cliente para la suma de la potencia de instalación de todos los usuarios. Este valor se multiplica por el beneficio económico antes mencionado.

En este caso, los clientes que tienen una mayor potencia de instalación reciben un mayor valor de ese reparto, como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13 Coeficientes potencia fotovoltaica instalada.

Cliente	Potencia fotovoltaica [W]	Coeficiente	Reparto [€]
1	2000	0.0360	24.37
2	4000	0.0719	48.74
3	2800	0.0504	34.12
4	4400	0.0791	53.61
5	4000	0.0719	48.74
6	2800	0.0504	34.12
7	2800	0.0504	34.12
8	1200	0.0216	14.62
9	3600	0.0647	43.87
10	2800	0.0504	34.12
11	2000	0.0360	24.37
12	1600	0.0288	19.50
13	1200	0.0216	14.62
14	2800	0.0504	34.12
15	4000	0.0719	48.74
16	2000	0.0360	24.37
17	3600	0.0647	43.87
18	2800	0.0504	34.12
19	2800	0.0504	34.12
20	2400	0.0432	29.24

Tabla 14 Resumen parámetros de rentabilidad – Potencia fotovoltaica instalada.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	339.32	6255.06	19.23	6.44	51.11
2	652.72	12336.06	19.35	6.40	50.46
3	444.86	8318.31	18.93	6.56	50.83
4	1521.48	20874.44	25.60	4.65	57.42
5	633.94	13671.96	20.71	5.91	46.87
6	415.28	10323.87	21.84	5.57	43.16
7	436.73	11466.27	23.47	5.14	41.59
8	224.04	3482.07	17.10	7.36	55.98
9	551.51	10628.75	18.75	6.62	50.12
10	414.17	7997.65	18.46	6.74	50.15
11	331.39	6962.70	20.63	5.93	47.54
12	256.44	4069.44	16.32	7.75	55.76
13	236.49	3541.87	17.28	7.28	56.83
14	431.11	8170.53	18.72	6.64	50.55
15	765.37	13504.76	20.54	5.96	51.92
16	318.57	5828.55	18.37	6.77	51.53
17	564.70	13236.61	21.67	5.62	44.63
18	402.96	8569.89	19.30	6.42	47.53
19	438.46	8210.56	18.77	6.62	50.84
20	377.73	7688.50	19.70	6.27	48.53

Si se comparan estos valores con los de la Tabla 10, se evidencia un incremento del VAN y TIR debido a la disminución del coste anual, siendo el cliente 4 el que tiene mayor rentabilidad entre todos los usuarios (20874.44 €). La mejora en el tiempo de recuperación del capital varía entre el 3 y el 6 %.

Con respecto a los valores de la Tabla 12, se observa como en algunos casos el coste anual y VAN difieren por muy poco, por lo que el periodo de recuperación de la inversión se mantiene (usuario 3, 6, 7, 10, 14, 18 y 19). Además, a los clientes 1, 8, 11, 12, 13, 16 y 20, este reparto no les resulta conveniente, ya que, al tener la menor potencia de instalación, reciben una menor cantidad de dinero y, por lo tanto, el periodo de recuperación de la inversión es mayor.

- **Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol:** los coeficientes se calculan al dividir la sumatoria de la demanda de energía de cada usuario durante las horas de sol para la suma total de estos valores de demanda. Este valor se multiplica por el beneficio económico antes mencionado.

Este criterio reparte una mayor cantidad de beneficio a los usuarios que consumen mayor cantidad de energía cuando existe generación de energía, es decir, los usuarios que están aprovechando mejor las instalaciones fotovoltaicas.

Tabla 15 Coeficientes consumo de energía en horas de sol.

Cliente	Consumo de energía en horas de sol [kWh]	Coficiente	Reparto [€]
1	1434.863	0.0361	24.46
2	2386.016	0.0600	40.68
3	1535.239	0.0386	26.17
4	6140.482	0.1545	104.68
5	2865.815	0.0721	48.86
6	2221.762	0.0559	37.88
7	3038.461	0.0765	51.80
8	785.514	0.0198	13.39
9	1933.998	0.0487	32.97
10	1543.940	0.0389	26.32
11	1514.504	0.0381	25.82
12	843.154	0.0212	14.37
13	781.285	0.0197	13.32
14	1433.190	0.0361	24.43
15	2453.996	0.0618	41.84
16	1225.201	0.0308	20.89
17	2802.153	0.0705	47.77
18	1843.379	0.0464	31.43
19	1405.036	0.0354	23.95
20	1550.114	0.0390	26.43

Como se identifica en la Tabla 15, el cliente 4 es el beneficiario principal de la distribución de dinero, ya que tiene un valor de coeficiente alto por tener mayor demanda de energía durante las horas de sol.

Tabla 16 Resumen parámetros de rentabilidad – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	339.23	6256.64	19.23	6.44	51.10
2	660.78	12197.52	19.21	6.45	51.08
3	452.81	8181.79	18.73	6.63	51.74
4	1470.41	21752.04	26.37	4.50	55.49
5	633.82	13673.97	20.71	5.91	46.86
6	411.52	10388.47	21.93	5.54	42.77
7	419.05	11770.13	23.90	5.04	39.90
8	225.27	3460.93	17.04	7.39	56.28
9	562.40	10441.53	18.54	6.71	51.11
10	421.97	7863.68	18.26	6.82	51.10
11	329.94	6987.61	20.68	5.92	47.33
12	261.57	3981.43	16.10	7.86	56.88
13	237.79	3519.49	17.22	7.31	57.14
14	440.80	8004.11	18.47	6.74	51.69
15	772.27	13386.13	20.42	6.03	52.39
16	322.05	5768.70	18.25	6.82	52.09
17	560.79	13303.73	21.75	5.60	44.32
18	405.65	8523.63	19.23	6.44	47.84
19	448.63	8035.90	18.52	6.72	52.02
20	380.54	7640.09	19.62	6.30	48.89

Al comprar estos valores con los de la Tabla 10, se evidencia que existe una mejora en el periodo de recuperación del capital que varía entre el 4 y el 6 %; además de que los indicadores financieros mejoran.

Con este criterio, el porcentaje del coste con paneles con respecto al coste sin paneles mejora, y en algunos clientes disminuye por debajo del 50 %; es decir, algunos usuarios están pagando con la instalación fotovoltaica menos de la mitad de lo que pagaban sin paneles.

En relación al escenario de reparto igualitario, la Tabla 16 muestra cómo los usuarios 2, 4, 5, 6, 7, 15 y 17 son aquellos que experimentan un beneficio más significativo (menor porcentaje). Como resultado, se observa un aumento en el VAN y TIR, lo que conduce a una reducción en el período necesario para recuperar la inversión.

En comparación con los datos presentados en la Tabla 14, se constata que este enfoque de distribución resulta beneficioso para los usuarios 6, 7, 11 y 17 dado que se registra una disminución de coste anual, lo que a su vez se traduce en un aumento del ahorro anual y en la disminución del período requerido para la recuperación de la inversión. Los clientes 1 y 5 mantienen el mismo periodo de recuperación del capital con este criterio (6.44 y 5.91 años), ya que el reparto del beneficio y el coste anual no difiere en grandes cantidades entre los dos criterios de reparto.

- **Demanda de energía:** los coeficientes se calculan al dividir la sumatoria de la demanda de energía de los usuarios durante un periodo de un año para la suma total de las demandas de todos los usuarios.

Tabla 17 Coeficientes demanda de energía.

Cliente	Demanda anual de energía [kWh]	Coeficiente	Reparto [€]
1	2314.208	0.035	23.83
2	4303.468	0.065	44.31
3	2928.548	0.045	30.15
4	9149.342	0.139	94.20
5	4549.471	0.069	46.84
6	3286.263	0.050	33.84
7	3757.058	0.057	38.68
8	1349.810	0.021	13.90
9	3633.660	0.055	37.41
10	2758.219	0.042	28.40
11	2387.701	0.036	24.58
12	1574.351	0.024	16.21
13	1417.028	0.022	14.59
14	2811.122	0.043	28.94
15	4788.543	0.073	49.30
16	2106.003	0.032	21.68
17	4306.244	0.065	44.34
18	2903.632	0.044	29.90
19	2856.873	0.043	29.41
20	2615.992	0.040	26.93

Como se observa en la Tabla 17, este criterio reparte una mayor cantidad de beneficio a los usuarios que tienen una mayor demanda de energía anual, tal como se evidencia en el caso del cliente 4.

A continuación, se presentan los parámetros de rentabilidad.

Tabla 18 Resumen parámetros de rentabilidad – Demanda de energía.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	339.86	6245.84	19.21	6.45	51.20
2	657.15	12259.86	19.28	6.43	50.80
3	448.83	8250.29	18.83	6.59	51.29
4	1480.89	21571.89	26.21	4.53	55.89
5	635.84	13639.23	20.67	5.92	47.01
6	415.56	10318.96	21.83	5.57	43.19
7	432.17	11544.64	23.58	5.12	41.15
8	224.76	3469.60	17.06	7.38	56.16
9	557.96	10517.90	18.63	6.67	50.71
10	419.89	7899.32	18.32	6.80	50.85
11	331.18	6966.25	20.63	5.93	47.51
12	259.73	4013.06	16.18	7.82	56.48
13	236.52	3541.28	17.28	7.28	56.83
14	436.29	8081.47	18.59	6.69	51.16
15	764.81	13514.28	20.55	5.96	51.88
16	321.26	5782.25	18.28	6.81	51.96
17	564.22	13244.74	21.68	5.62	44.59
18	407.18	8497.23	19.19	6.46	48.02
19	443.17	8129.73	18.66	6.66	51.38
20	380.04	7648.69	19.63	6.30	48.82

En concordancia con los resultados previamente analizados, se observa una mejora significativa en los indicadores financieros (aumento VAN, TIR y disminución tiempo de recuperación del capital), en comparación con el escenario de autoconsumo individual (Tabla 10). La mejora del periodo de recuperación del capital varía entre el 4 y el 6 %.

En el contexto de un reparto equitativo, se identifica que los usuarios 2, 4, 5, 7, 9, 15 y 17 disminuyen el tiempo de recuperación de la inversión, mientras que el cliente 6 tiene el mismo periodo de recuperación ya que el coste anual no difiere en un valor significativo, por lo que el VAN y TIR también son iguales al caso del reparto igualitario.

Los usuarios 4, 7, 11, 15 y 17 tienen un menor porcentaje con respecto al criterio de la potencia fotovoltaica instalada, lo que equivale a que tienen un menor coste anual. De estos clientes, el 11, 15 y

17, mantienen el periodo de recuperación de la inversión debido a que no existe una diferencia significativa entre los costes anuales.

Al comparar los datos de la Tabla 16 con los de la Tabla 18, se evidencia que los clientes 2, 3, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19 y 20 resultan beneficiados con este tipo de reparto.

El rendimiento fotovoltaico de la instalación trabajando de manera conjunta es superior (33.77 %) al rendimiento de los sistemas fotovoltaicos operando de manera individual (23.91 %) debido a que existe un mejor reparto de energía y un mejor aprovechamiento de la energía generada, siendo más eficiente el sistema.

Al analizar los cuatro criterios de reparto, se evidencia que si bien, todos los usuarios obtienen un beneficio adicional por constituirse como una comunidad, no todos se benefician de la misma manera. Existen diferencias notables en los niveles de ventaja experimentados por los distintos miembros de la comunidad. Algunos clientes disfrutaban de beneficios más sustanciales, mientras que otros obtienen ventajas menos marcadas en términos de reducción de costes energéticos.

5.2.2 Usuarios que no tienen una instalación fotovoltaica y quieren formar una comunidad energética

Al igual que en los escenarios anteriores, en la Tabla 19 se presenta el coste anual con y sin paneles fotovoltaicos para este caso de estudio, en donde se observa que los usuarios, al estar establecidos como una comunidad, tienen que pagar un coste anual (facturación de energía eléctrica, coste inversión y mantenimiento) de 8622.06 €, obteniendo un ahorro de 10823.75 €.

Tabla 19 Resultados costes con y sin instalación fotovoltaica.

Cliente	Coste anual sin paneles [€]	Coste anual con paneles [€]	Ahorro anual [€]
Cliente total	19445.81	8622.06	10823.75

En este escenario, el valor de inversión es menor (79609.72 €) con respecto a la suma de los valores de inversión de cada usuario cuando tienen sus propias instalaciones fotovoltaicas (85048.27 €), a pesar de que el número de paneles solares es mayor en la comunidad (152 paneles) en comparación con la suma de las instalaciones individuales (139 paneles). Esto se debe a que el coste de un solo inversor para la comunidad es mucho más económico que el conjunto de inversores utilizados individualmente, el cual compensa el aumento del número de paneles fotovoltaicos.

Debe indicarse también que, en la comunidad, el ahorro anual es mejor que la suma de los ahorros individuales cuando tienen su propia instalación (9011.10 €), e incluso mayor que cuando conforman la comunidad (9688.56 €), debido a varios factores: 1) la inversión inicial es menor; 2) en la comunidad se reduce el coste de mantenimiento de la instalación (1592.19 €) con respecto a la suma del coste de mantenimiento de las instalaciones individuales (1700.96 €); y 3) el coste de energía eléctrica que la comunidad paga a la comercializadora es inferior a la suma del coste de energía eléctrica de las instalaciones individuales, ya que en la comunidad existe el intercambio de energía entre usuarios, y por lo tanto, ya no compran energía de la red eléctrica sino a los miembros de la comunidad.

El rendimiento de la instalación, obtenido al dividir la energía autoconsumida para la energía total generada, es 31.08 %, el cual es superior al caso de autoconsumo individual pero menor al caso en que los clientes tienen su propia instalación y deciden conformar una comunidad energética, ya que en ese caso se está aprovechando de mejor manera la energía generada por las instalaciones.

Se distribuye la energía, inversión, y mantenimiento, siguiendo los criterios de reparto.

- **Reparto igualitario:**

A modo de ejemplo e ilustración de lo mencionado en la sección 4.8.2, en la Figura 5.1 se presenta como el usuario 4 pasa a ser de una tipología a otra a lo largo de un día (1 de enero).

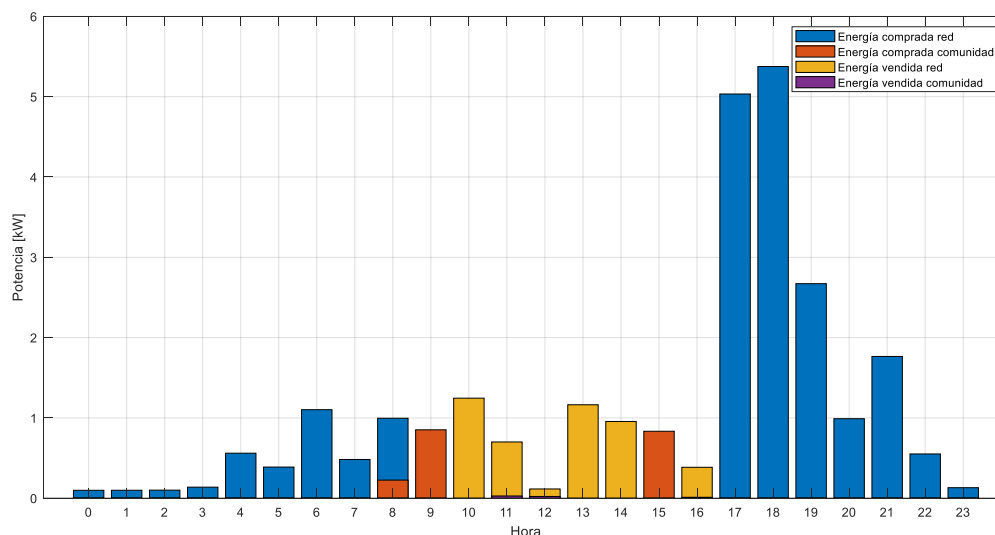


Figura 5.1 Tipología cliente – Reparto igualitario.

En la figura se observa cómo en las primeras horas del día el usuario compra energía de la red debido a que no existe generación fotovoltaica. A las 8:00, 9:00 y a las 15:00 horas, existe excedente de energía en la comunidad debido a que el usuario compra energía de la misma. Desde las 10:00 se evidencia que el usuario tiene excedente de energía ya que está vendiendo a la red, y que muy pocas horas (11:00, 12:00 y 16:00) el cliente vende energía también a la comunidad. Finalmente, a partir de las 17:00 horas, cuando ya no existe generación fotovoltaica, el usuario compra energía de la red eléctrica.

En la Tabla 20 se indica el número de horas anuales durante las cuales los clientes son de una tipología u otra, considerando únicamente las horas de producción solar (existe generación).

Tabla 20 Número de horas tipologías – Reparto igualitario.

Cliente	No. horas compra a comunidad	No. horas vende a comunidad	No. horas vende a red y comunidad	No. horas compra red y comunidad	No. horas vende a red
1	667	2478	2068	389	3030
2	1019	2128	1897	595	2859
3	732	2417	2090	484	3052
4	2186	965	859	712	1821
5	1123	2030	1809	598	2771
6	615	2540	2015	317	2977
7	1017	2140	1670	358	2632
8	373	2786	2242	272	3204
9	826	2335	2010	487	2972
10	689	2474	2079	424	3041
11	626	2539	2121	387	3083
12	413	2754	2257	298	3219
13	404	2765	2248	291	3210
14	657	2514	2136	444	3098
15	1026	2147	1907	575	2869
16	586	2589	2184	420	3146
17	971	2206	1845	478	2807
18	886	2293	1935	483	2897
19	678	2503	2090	431	3052
20	619	2564	2054	323	3016

En este análisis de distribución, se destaca que el usuario 4 es el que compra energía de la comunidad, y de la red y comunidad de forma simultánea un mayor número de horas, debido a su elevado consumo energético. Por otro lado, el cliente 8, a pesar de ser el que adquiere energía de la comunidad un menor número de horas de entre todos los usuarios (373 horas), registra la mayor cantidad de horas en las que vende energía, ya que su demanda energética es baja, permitiéndole vender el excedente. Además, el usuario 12 se posiciona como el principal vendedor de energía tanto a la comunidad como a la red, y el que mayor número de horas vende energía únicamente a la red.

A continuación, se presentan los parámetros de rentabilidad obtenidos para este tipo de reparto.

Tabla 21 Resumen parámetros de rentabilidad – Reparto igualitario.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	Inversión [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	293.43	3980.49	7237.92	17.97	6.94	44.20
2	584.59	3980.49	13054.78	26.80	4.42	45.19
3	345.27	3980.49	9978.52	22.18	5.47	39.45
4	1523.42	3980.49	20226.96	37.37	3.05	57.49
5	578.20	3980.49	14177.72	28.46	4.13	42.75
6	310.37	3980.49	12075.38	25.34	4.70	32.25
7	358.99	3980.49	12750.78	26.34	4.50	34.18
8	252.84	3980.49	3405.43	11.68	11.22	63.17
9	450.07	3980.49	12046.23	25.29	4.71	40.90
10	326.90	3980.49	9445.96	21.38	5.70	39.59
11	280.85	3980.49	8025.19	19.19	6.46	40.29
12	255.36	3980.49	4387.36	13.36	9.69	55.53
13	252.99	3980.49	3676.68	12.15	10.74	60.79
14	337.69	3980.49	9724.45	21.80	5.58	39.60
15	757.88	3980.49	13181.43	26.99	4.39	51.41
16	272.24	3980.49	6818.73	17.31	7.27	44.03
17	470.16	3980.49	14535.46	28.99	4.05	37.16
18	327.04	3980.49	9823.05	21.95	5.54	38.57
19	340.44	3980.49	9843.65	21.98	5.53	39.47
20	303.31	3980.49	9036.29	20.75	5.89	38.97

Con este tipo de reparto, cada cliente tendría un equivalente de 152 paneles para los 20 usuarios, dando como resultado 7.6 módulos fotovoltaicos por cada usuario.

En la tabla se evidencia el cliente 4 es el más favorecido por este criterio de reparto, logrando recuperar su inversión en menos de 4 años. Por otro lado, los usuarios con un consumo de energía más bajo (8, 12, 13) recuperan la inversión en un tiempo superior a 9 años, debido a que los costes de inversión resultan ser notablemente elevados en comparación con la demanda de energía de éstos.

Al comparar los valores obtenidos con los de la Tabla 10, se evidencia que los clientes 1, 8, 11, 12, 13 y 16 experimentan un incremento en el tiempo requerido para recuperar el capital inicial debido a que la inversión presenta un aumento significativo en contraste con los valores correspondientes a sus instalaciones individuales. Por ejemplo, el cliente 8 invierte más debido a que ahora tienen un mayor número de paneles fotovoltaicos en comparación con los que instala individualmente (3). Además, con la instalación individual el coste anual con paneles es 238.66 € y, en comunidad 252.84 €, a pesar de tener un mayor número de paneles que le permite cubrir su demanda de energía y a su vez vender la energía excedente; sin embargo, al ser un cliente con un bajo consumo de energía, el aumento del coste de inversión y mantenimiento resultan perjudiciales para este cliente ya que aumenta el periodo de recuperación del capital.

Asimismo, el coste anual de los usuarios 8, 13 y 16 aumenta con respecto a los valores de la Tabla 10; mientras que el coste anual de los demás clientes disminuye. Con respecto a los usuarios en los cuales aumenta el coste anual, el tiempo de recuperación de la inversión empeora entre el 2 y el 45 %, mientras que en los usuarios en los cuales el coste anual disminuye, el tiempo de recuperación del capital mejora entre el 11 y 37 %.

Al comparar los datos con los registrados en la Tabla 12, se observa que, los usuarios 1, 8, 11, 12, 13 y 16 recuperan la inversión en mayor tiempo, siendo menos rentable para ellos unirse en una comunidad con la instalación fotovoltaica dimensionada desde un inicio. Por ejemplo, el usuario 8 enfrenta un aumento en los costes de inversión y mantenimiento, lo que extiende su período de recuperación de capital de 7 a 11 años. En contraposición, el cliente 4 experimenta una disminución en su coste de inversión, pasando de 6780.82 € a 3980.49 €. Además, el coste anual también se reduce de 1541.22 € a 1523.42 €, lo que mejora su período de recuperación de capital. En consecuencia, para este usuario, unirse a la comunidad resulta beneficioso.

Con respecto al coste anual con paneles, los usuarios 8, 11, 12, y 13 son aquellos que aumentan este valor con respecto a los de la Tabla 12, empeorando el tiempo de recuperación del capital entre el 10 y el 62 %; mientras que los demás usuarios disminuyen el valor del coste anual, mejorando el periodo

de recuperación entre el 5 y 35 %.

- **Potencia fotovoltaica instalada:** el reparto de la energía generada, coste de inversión y mantenimiento se realiza en función de la potencia fotovoltaica que los usuarios hubiesen instalado de manera individual.

De igual manera, a modo de ejemplo e ilustración de lo mencionado en la sección 4.8.2, en la Figura 5.2 se presenta cómo el usuario 4 pasa a ser de una tipología a otra a lo largo del día 01 de enero con este tipo de reparto.

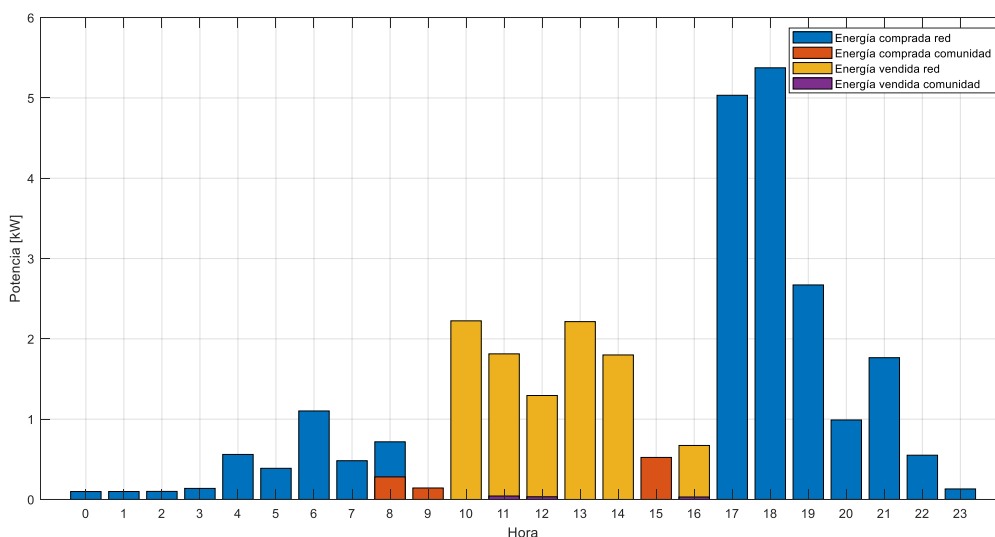


Figura 5.2 Tipología cliente – Potencia fotovoltaica instalada.

En la figura se observa que a las 8:00 horas el usuario compra energía tanto a la red como a la comunidad, y que a las 9:00 y a las 15:00 horas el usuario únicamente compra energía de la comunidad debido al exceso de energía de la misma. A las 11:00, 12:00 y 16:00 horas el cliente vende energía tanto a la comunidad como a la red, mientras que a las 10:00, 13:00 y 14:00 horas sólo se vende energía a la red.

En la Tabla 22 se indica el número de horas anuales durante las cuales los clientes son de una tipología u otra, considerando únicamente las horas de producción solar.

Tabla 22 Número de horas tipologías – Potencia fotovoltaica instalada.

Cliente	No. horas compra a comunidad	No. horas vende a comunidad	No. horas vende a red y comunidad	No. horas compra red y comunidad	No. horas vende a red
1	803	1979	1626	429	3029
2	774	2008	1736	493	3064
3	697	2085	1771	460	2493
4	1396	1386	1200	615	2996
5	816	1966	1703	491	3000
6	572	2210	1707	293	2651
7	977	1805	1358	335	3001
8	750	2032	1708	458	3091
9	628	2154	1798	401	3052
10	644	2138	1759	396	2950
11	802	1980	1657	455	3108
12	589	2193	1815	389	3038
13	722	2060	1745	460	3107
14	612	2170	1814	414	3021
15	751	2031	1728	477	3042
16	719	2063	1749	472	3004
17	706	2076	1711	405	2912
18	836	1946	1619	461	3067
19	803	1979	1626	429	2972
20	774	2008	1736	493	3029

Se resalta que el usuario 4 sobresale como el que compra energía tanto de la comunidad como de la red un mayor número de horas debido a su alto consumo de energía. Por otra parte, en este esquema de distribución, el cliente 6 se presenta como el que menos energía compra de la comunidad y, al mismo tiempo, como el mayor vendedor de energía en número de horas. Además, el usuario 12 se destaca como el principal proveedor de energía tanto a la red como a la comunidad, sumando un total de 1815 horas, mientras que el usuario 11 el que mayor número de horas vende energía únicamente a la red.

En la Tabla 23 se indica el número de módulos fotovoltaicos que le corresponde accionariamente a cada usuario con este tipo de reparto, en donde se evidencia que al usuario 4 posee el mayor número de paneles, mientras que al usuario 8 se le asigna el menor número de módulos fotovoltaicos.

Tabla 23 Número de paneles – Potencia fotovoltaica instalada.

Cliente	No. paneles
1	5.5
2	10.9
3	7.7
4	12.0
5	10.9
6	7.7
7	7.7
8	3.3
9	9.8
10	7.7
11	5.5
12	4.4
13	3.3
14	7.7
15	10.9
16	5.5
17	9.8
18	7.7
19	7.7
20	6.6

Tabla 24 Resumen parámetros de rentabilidad – Potencia fotovoltaica instalada.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	Inversión [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	304.03	2863.66	6810.85	21.41	5.69	45.80
2	585.52	5727.32	13421.85	21.20	5.76	45.27
3	396.41	4009.12	9106.03	20.76	5.89	45.30
4	1283.04	6300.05	24866.26	30.73	3.78	48.42
5	574.25	5727.32	14628.64	22.47	5.40	42.46
6	363.29	4009.12	11172.26	23.86	5.05	37.75
7	411.86	4009.12	11848.54	24.87	4.80	39.22
8	179.44	1718.20	4170.84	21.70	5.61	44.83
9	490.70	5154.59	11605.49	20.64	5.93	44.60
10	378.52	4009.12	8565.23	19.93	6.19	45.84
11	293.32	2863.66	7566.13	23.00	5.26	42.08
12	214.46	2290.93	4719.77	19.47	6.36	46.63
13	188.82	1718.20	4283.28	22.10	5.50	45.37
14	389.76	4009.12	8835.91	20.35	6.05	45.70
15	682.58	5727.32	14858.34	22.71	5.33	46.30
16	280.31	2863.66	6435.26	20.61	5.94	45.34
17	493.79	5154.59	14386.99	23.89	5.04	39.03
18	380.39	4009.12	8912.57	20.46	6.01	44.86
19	392.44	4009.12	8956.38	20.53	5.96	45.50
20	339.14	3436.39	8301.39	21.63	5.63	43.57

Los datos obtenidos indican que todos los clientes resultan beneficiados con este tipo de reparto, en comparación con el escenario de autoconsumo individual (Tabla 10). Todos los usuarios reducen su coste anual con paneles, mejoran el valor actual neto, así como la tasa de interna de retorno y disminuyen el tiempo de recuperación de la inversión, mejorando su valor entre 10 y el 28 %.

Al comparar estos valores con los presentados en la Tabla 14 se evidencia que todos los usuarios están pagando por coste de energía, inversión y mantenimiento menos de la mitad de lo que pagaban sin paneles solares, debido a que el porcentaje del coste con paneles con respecto a sin paneles es menor al 50 %. Además, todos los clientes tienen una mejora en los indicadores financieros, ya que el VAN y TIR aumentan, así como el tiempo de recuperación del capital disminuye. El intervalo del periodo de recuperación de la inversión mejora entre el 6 y el 24 %.

Con respecto a los valores obtenidos con un reparto igualitario (Tabla 21), se observa que los clientes 1, 8, 11, 12, 13, 16 y 20 pagan una menor inversión, disminuyendo el tiempo de recuperación del capital, destacando los usuarios 8, 12 y 13 que reducen de 11 a 5 años, 9 a 6 años y de 10 a 5 años, respectivamente. La mejora del tiempo de recuperación de la inversión varía entre el 4 y el 50 %.

- **Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol:**

Como en los dos casos anteriores, a modo de ejemplo se presenta cómo el usuario 4 pasa a ser de una tipología a otra con este tipo de reparto a lo largo de un día.

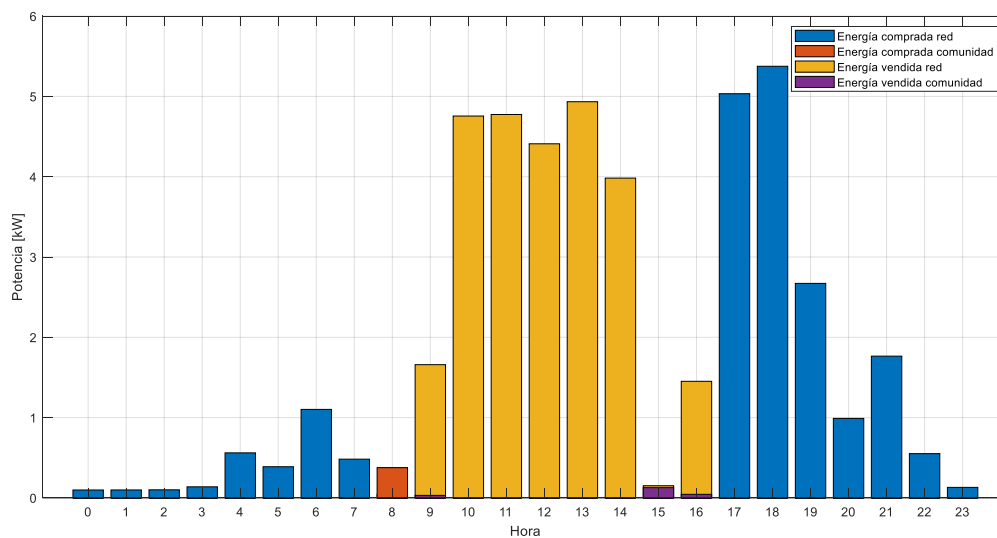


Figura 5.3 Tipología cliente – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.

Se evidencia que desde las 0:00 hasta las 7:00 horas no existe generación de energía por lo que el usuario compra energía de la red eléctrica. Además, se aprecia que únicamente a las 8:00 horas existe compra de energía a la comunidad y a las 15:00 horas venta de energía a la comunidad, mientras que a las 9:00 y 16:00 horas existe venta de energía tanto a la comunidad como a la red.

En la Tabla 25 se indica el número de horas anuales durante las cuales los clientes son de una tipología u otra, considerando únicamente las horas de producción solar.

Tabla 25 Número de horas tipologías – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.

Cliente	No. horas compra a comunidad	No. horas vende a comunidad	No. horas vende a red y comunidad	No. horas compra red y comunidad	No. horas vende a red
1	809	1782	1423	427	2915
2	884	1707	1465	534	2957
3	842	1749	1469	516	2961
4	675	1916	1564	439	3056
5	821	1770	1503	478	2995
6	495	2096	1576	277	3068
7	592	1999	1450	251	2942
8	802	1789	1487	485	2979
9	816	1775	1479	476	2971
10	778	1813	1470	453	2962
11	761	1830	1488	445	2980
12	709	1882	1563	457	3055
13	763	1828	1533	492	3025
14	785	1806	1499	487	2991
15	854	1737	1473	507	2965
16	816	1775	1494	500	2986
17	647	1944	1574	394	3066
18	903	1688	1383	485	2875
19	809	1782	1423	427	2937
20	884	1707	1465	534	2933

Se observa que el usuario 18 es el que compra energía a la comunidad un mayor número de horas (903 en total), y el cliente 6 el que menor número de horas compra energía a la comunidad, pero el que tiene un mayor número de horas en donde vende energía a la comunidad y a la red.

Por otro lado, los usuarios 2 y 20 son aquellos que compran energía a la red y a la comunidad un mayor número de horas (534).

En la Tabla 26 se indica el número de módulos fotovoltaicos que le corresponde a cada usuario con este tipo de reparto.

Tabla 26 Número de paneles – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.

Cliente	No. paneles
1	5.5
2	9.1
3	5.9
4	23.5
5	11.0
6	8.5
7	11.6
8	3.0
9	7.4
10	5.9
11	5.8
12	3.2
13	3.0
14	5.5
15	9.4
16	4.7
17	10.7
18	7.1
19	5.4
20	5.9

Tabla 27 Resumen parámetros de rentabilidad – Mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	Inversión [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	304.50	2874.55	6805.18	21.34	5.71	45.87
2	594.56	4780.05	13058.72	23.54	5.13	45.97
3	410.39	3075.64	8661.04	24.04	5.01	46.89
4	1078.49	12301.59	29697.29	21.62	5.63	40.70
5	573.76	5741.26	14640.01	22.44	5.40	42.42
6	376.85	4450.99	11036.02	22.02	5.52	39.16
7	502.82	6087.13	10741.07	17.63	7.12	47.88
8	179.45	1573.67	4138.96	22.93	5.28	44.84
9	503.80	3874.49	11099.80	24.33	4.91	45.79
10	378.28	3093.07	8368.45	23.38	5.17	45.81
11	294.91	3034.10	7576.20	22.12	5.49	42.31
12	213.38	1689.14	4606.35	23.51	5.13	46.40
13	191.18	1565.20	4209.29	23.28	5.19	45.94
14	405.96	2871.20	8308.07	24.50	4.88	47.60
15	706.83	4916.24	14263.81	24.55	4.87	47.95
16	278.47	2454.52	6377.16	22.73	5.33	45.04
17	503.33	5613.72	14323.68	22.45	5.40	39.78
18	370.49	3692.95	9013.49	21.78	5.59	43.70
19	418.81	2814.79	8241.34	24.71	4.83	48.56
20	335.81	3105.44	8286.05	23.15	5.22	43.14

Al comparar estos datos con los presentes en la Tabla 10, se aprecia que los usuarios 4, 6, 7 y 17 son aquellos que tienen un mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol, por lo que están haciendo mayor uso de la instalación fotovoltaica y, por lo tanto, tienen que pagar una mayor inversión. En el caso de los clientes 4 y 7, estos aumentan el periodo de recuperación del capital, mientras que los usuarios 6 y 17, recuperan la inversión en menor tiempo, ya que a pesar de que la inversión inicial sea mayor, el coste total anual (coste de energía, coste de mantenimiento e inversión) es menor; es decir, están pagando menos por concepto de energía.

Todos los clientes tienen un menor coste anual con paneles, a excepción del usuario 7, el cual incrementa su valor de 470.85 € a 502.82 €.

Los usuarios 4 y 7 empeoran el tiempo de recuperación de la inversión entre el 17 y 33 %; mientras que los demás usuarios mejoran el periodo entre el 5 y el 38%.

Con respecto a los datos de la Tabla 16, el cliente 4 y 7 aumentan su periodo de recuperación del capital; mientras que para el resto de usuarios, el tiempo de recuperación del capital mejora entre el 0.36 y el 35 %.

Con este criterio de reparto, todos los usuarios pagan menos de la mitad de lo que pagarían sin tener instalación fotovoltaica. Además de que recuperan la inversión en un tiempo menor a 8 años, en comparación con los datos obtenidos en la Tabla 21.

En comparación con el reparto en función de la potencia fotovoltaica que los usuarios instalarían de manera individual, los clientes 1, 4, 5, 6, 7, 11 y 17 son aquellos que tienen un mayor valor de inversión inicial; sin embargo, el usuario 5 mantiene el periodo de recuperación de la inversión (5.40 años) mientras que en los otros usuarios el tiempo aumenta, debido a que la diferencia entre el valor de inversión con respecto a los de la Tabla 24 difieren en mayor cantidad, siendo relevante el valor del usuario 4 ya que con este criterio de reparto paga 12301.59 € y con el criterio de la potencia fotovoltaica paga 6300.05 €.

- **Demanda de energía:**

Como se mencionó anteriormente, en la Figura 5.4 se muestra cómo el usuario 4 pasa a ser de una tipología a otra con este tipo de reparto a lo largo de un día.

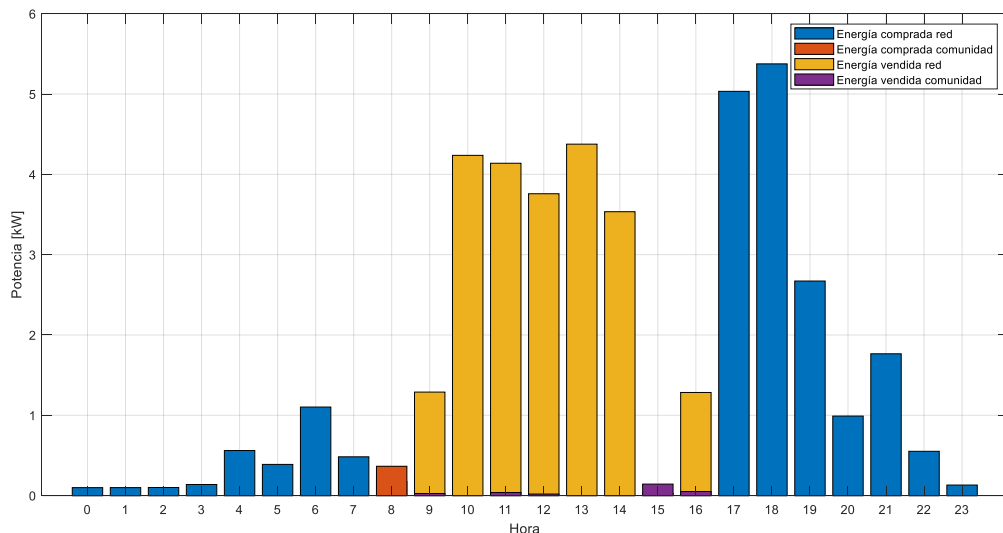


Figura 5.4 Tipología cliente – Demanda de energía.

Se observa que, en este día, únicamente en una hora el cliente compra energía a la comunidad. Además, con este tipo de reparto, se evidencia que existe un mayor número de horas que el usuario vende energía a la red y a la comunidad simultáneamente.

En la Tabla 28 se indica el número de horas anuales durante las cuales los clientes son de una tipología u otra, considerando únicamente las horas de producción solar.

Tabla 28 Número de horas tipologías – Demanda de energía.

Cliente	No. horas compra a comunidad	No. horas vende a comunidad	No. horas vende a red y comunidad	No. horas compra red y comunidad	No. horas vende a red
1	806	1854	1502	420	2908
2	817	1843	1586	507	2992
3	755	1905	1621	478	3027
4	736	1924	1598	453	3004
5	826	1834	1578	497	2984
6	571	2089	1602	293	3008
7	837	1823	1344	301	2750
8	764	1896	1583	461	2989
9	708	1952	1618	439	3024
10	730	1930	1585	434	2991
11	790	1870	1546	447	2952
12	654	2006	1660	416	3066
13	713	1947	1635	454	3041
14	681	1979	1655	438	3061
15	735	1925	1624	461	3030
16	781	1879	1588	480	2994
17	687	1973	1617	399	3023
18	921	1739	1443	489	2849
19	806	1854	1502	420	3019
20	817	1843	1586	507	2938

En la tabla se aprecia que el usuario 6 adquiere energía de la red y la comunidad durante un menor número de horas al año (293) y, al mismo tiempo, es el mayor vendedor de energía a la comunidad en términos de horas. Además, al igual que en la Tabla 25, los usuarios 2 y 20 son los que más tiempo dedican a comprar energía tanto de la red como de la comunidad.

El usuario 18 es el que más tiempo compra energía a la comunidad, y el cliente 12 el que más número de horas vende energía a la red eléctrica.

En la Tabla 29 se indica el número de módulos fotovoltaicos que le corresponde a cada usuario con este tipo de reparto.

Tabla 29 Número de paneles – Demanda de energía.

Cliente	No. paneles
1	5.3
2	9.9
3	6.8
4	21.1
5	10.5
6	7.6
7	8.7
8	3.1
9	8.4
10	6.4
11	5.5
12	3.6
13	3.3
14	6.5
15	11.1
16	4.9
17	9.9
18	6.7
19	6.6
20	6.0

Tabla 30 Resumen parámetros de rentabilidad – Demanda de energía.

Cliente	Coste anual con paneles [€]	Inversión [€]	VAN [€]	TIR [%]	Payback [años]	% coste con paneles/sin paneles
1	312.85	2800.01	6645.43	21.38	5.70	47.13
2	603.46	5206.85	12999.50	22.12	5.49	46.65
3	411.72	3543.31	8740.81	21.94	5.54	47.04
4	1076.52	11069.97	29460.98	23.11	5.23	40.63
5	588.79	5504.49	14329.90	22.76	5.32	43.53
6	375.15	3976.11	10961.19	23.69	5.09	38.99
7	445.34	4545.74	11390.81	22.18	5.48	42.41
8	184.40	1633.16	4066.91	22.08	5.50	46.07
9	502.31	4396.44	11239.85	22.48	5.39	45.65
10	384.41	3337.22	8316.66	22.09	5.50	46.55
11	302.91	2888.93	7406.87	22.53	5.38	43.45
12	215.45	1904.84	4618.07	21.69	5.61	46.85
13	194.32	1714.49	4187.96	21.80	5.58	46.69
14	395.39	3401.23	8605.99	22.33	5.44	46.36
15	699.08	5793.75	14589.33	22.25	5.46	47.42
16	286.31	2548.09	6262.96	21.89	5.56	46.31
17	511.10	5210.21	14101.58	23.38	5.16	40.40
18	380.02	3513.16	8810.30	22.19	5.47	44.82
19	406.38	3456.59	8595.66	22.06	5.51	47.12
20	346.16	3165.14	8121.22	22.54	5.38	44.47

Los datos obtenidos en la Tabla 30 indican que el cliente 4 es el que tiene una mayor demanda de energía anual debido a que incurre en un mayor coste de inversión. Además de que todos los usuarios tienen el porcentaje del coste con paneles con respecto a sin paneles menor al 50 %.

Todos los clientes tienen un menor coste anual en comparación con los datos en el que cada usuario tiene su propia instalación fotovoltaica (Tabla 10). Además, todos recuperan la inversión en un tiempo inferior a 6 años; sin embargo, los usuarios 4 y 7 son los únicos que aumentan el periodo de recuperación del capital, empeorando este tiempo entre el 2 y el 9 %, mientras que los demás usuarios mejoran el tiempo de recuperación de la inversión entre el 12 y 32 %.

Con respecto a los datos de la Tabla 18, el cliente 7 es el único que aumenta el coste anual con paneles de 432.17 € a 445.34 €, y que junto con el usuario 4, tienen una tasa interna de retorno menor, y por lo tanto recuperan la inversión inicial en mayor tiempo (meses de diferencia).

Los clientes 4, 8, 12, 13 y 15 son aquellos que tienen que pagar un menor coste anual en comparación con los valores de reparto igualitario de la Tabla 21; sin embargo, en los usuarios 4 y 15 aumenta el tiempo de recuperación del capital debido a que la inversión es mayor, mientras que los clientes 8, 12

y 13 disminuyen su periodo de recuperación del capital ya que la inversión es menor.

Al comparar estos valores con los obtenidos con respecto al reparto en función de la potencia fotovoltaica (Tabla 24), se aprecia que los clientes 1, 4, 6, 7, 11, 13, 15 y 17 tienen una menor tasa interna de retorno y aumentan el periodo de recuperación de la inversión, siendo el caso más evidente el del usuario 4 que incrementa de 3 a 5 años. El tiempo de recuperación del capital en estos usuarios empeora entre el 0.17 y el 38 %.

En relación a los datos de la Tabla 27, hay clientes que tienen que pagar una menor inversión y coste anual (4, 6 y 7), aumentando el VAN y TIR y por lo tanto recuperan más rápido la inversión. En este caso destaca el usuario 7, ya que logra reducir el tiempo de recuperación de la inversión de 7 a 5 años.

Al analizar detenidamente los cuatro criterios mencionados, se observa que el enfoque de reparto igualitario emerge como la modalidad menos beneficiosa. Esto se debe a que los usuarios con una demanda energética más baja se ven obligados a invertir en la instalación sin poder aprovecharla al máximo, lo que resulta en un período de recuperación de la inversión que supera los 9 años.

El criterio basado en la potencia fotovoltaica instalada resulta beneficioso con respecto al autoconsumo individual y cuando los usuarios se unen con sus instalaciones y conforman una comunidad, ya que, en todos los clientes, el coste anual con paneles frente al coste sin paneles es menor al 50 %, además que el tiempo de recuperación de la inversión también disminuye.

El reparto en función del mayor consumo durante las horas de sol demuestra ser más beneficiosos para ciertos clientes, ya que, en estos casos, sin embargo, existen usuarios que tienen mayor ventaja ya que recuperan la inversión en menor tiempo.

En última instancia, el método de reparto vinculado a la demanda anual de energía sería la alternativa más equitativa para todos los usuarios, dado que experimentan una reducción de más del 50 % en sus costes de energía con la instalación fotovoltaica en comparación con el coste de la energía eléctrica sin paneles solares. Todos los usuarios logran recuperar su inversión en un lapso entre 5 y 6 años, sin embargo; si se comparan los valores con los obtenidos cuando los usuarios tienen sus propias instalaciones y cuando conforman una comunidad, el periodo de recuperación del capital de algunos clientes, así como el coste anual incrementa.

6 CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo se ha querido destacar la importancia de la generación eléctrica fotovoltaica de una comunidad energética frente a la generación eléctrica para autoconsumo residencial individual, ya que hoy en día el aumento de los precios de la energía tiene un impacto significativo en la sociedad.

Para ello, se analizaron casos de estudio mediante un enfoque técnico-económico de las instalaciones fotovoltaicas, analizando los datos de consumo y generación de energía, con el propósito de evaluar el impacto económico y energético de las instalaciones cuando funcionan para autoconsumo individual o una comunidad energética.

En primer lugar, se dimensionó y determinó la potencia óptima de las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo individual de 20 clientes residenciales en función del valor actual neto de las mismas, la cual se obtuvo de acuerdo al coste de inversión, mantenimiento y el ahorro que representa la instalación de los paneles fotovoltaicos en la facturación de energía. Estos datos permiten determinar la ventaja de las instalaciones fotovoltaicas en las viviendas, ya que permiten a los usuarios autoconsumir energía, además de recibir una compensación económica por la inyección de energía a la red eléctrica.

En el caso de autoconsumidores individuales, la instalación de paneles fotovoltaicos representa un gran ahorro debido a la disminución en los costes de facturación de energía eléctrica; además de que, si bien las instalaciones requieren un alto coste de inversión, el tiempo de recuperación del capital es bajo, obteniendo beneficios de las instalaciones a lo largo de su vida útil.

En la situación en la que los usuarios que ya tienen sus instalaciones fotovoltaicas deciden conformar una comunidad energética, existe un mayor ahorro en las facturas de energía eléctrica en comparación con la sumatoria de los ahorros individuales, lo que muestra que se aprovecha mejor la energía generada por los paneles. El conformarse como una comunidad con sus propias instalaciones dota de un beneficio extra a los usuarios, el cual representa un 7 % de aumento en la rentabilidad de las instalaciones. La diferencia entre el coste anual con paneles obtenido de la sumatoria de todos los usuarios con el coste anual con paneles de los usuarios operando como una comunidad, se distribuyó a los usuarios en función de cuatro criterios: el primero en función de un reparto equitativo, en donde todos los usuarios reciben el beneficio económico por igual; el segundo en función de la potencia fotovoltaica instalada de cada usuario, en donde los clientes que tienen una mayor potencia de instalación reciben un mayor reparto de dinero; el tercero en función del mayor consumo de energía con respecto a las horas de sol, en donde los usuarios que hacen mejor uso de las instalaciones fotovoltaicas reciben un mayor reparto; y el cuarto criterio en función de la demanda de energía anual, en donde los usuarios que tienen una mayor demanda de energía reciben un mayor beneficio.

Estos cuatro casos de reparto resultan en un beneficio adicional para todos los usuarios; no obstante, hay formas de reparto que benefician más a unos clientes que a otros, en donde el periodo de recuperación de la inversión disminuye, mientras que, en otros casos, obtienen un menor beneficio económico o simplemente no experimentan impactos significativos en los valores analizados.

Además, el rendimiento de las instalaciones individuales funcionando como un conjunto es mayor en comparación con el total de las instalaciones que funcionan de manera individual, ya que se aprovecha mejor la energía generada por los paneles fotovoltaicos.

En el caso en el que los usuarios deciden formar una comunidad energética y se dimensiona la instalación fotovoltaica para el conjunto, se obtuvo que la potencia óptima de instalación es 60.80 kWp frente a los 55.60 kWp de la suma de las instalaciones individuales; sin embargo, el coste de inversión resulta menor (79609.72 € en comparación a 85048.27 €), ya que el coste de un único inversor para la comunidad es considerablemente

menor en comparación con el uso de múltiples inversores utilizados en las instalaciones individuales.

Además, se evidencia que al trabajar como una comunidad en donde la instalación se dimensiona desde un principio, el coste anual con paneles es de 8622.06 €, siendo menor al coste anual con paneles cuando los usuarios tienen sus propias instalaciones (10434.75 €) y cuando los mismos se unen para formar una comunidad (9757.26 €), debido a una menor inversión inicial, menor coste de mantenimiento y menor coste por término de energía eléctrica.

El coste de inversión, mantenimiento, así como la energía generada por la instalación fotovoltaica se distribuyeron en función de los criterios mencionados anteriormente, obteniéndose que existen clientes que pueden tener déficit, así como exceso de energía, por lo que se consideró un intercambio interno de energía entre los miembros de la comunidad, siendo el precio de compra y venta el precio de la energía excedentaria de autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada. El reparto de la energía excedente destinada a la venta entre los integrantes de la comunidad se realizó entre los usuarios que tienen exceso de energía en función de los criterios; además, el reparto de la energía excedente destinada a la compra entre los integrantes de la comunidad se realizó entre los clientes que tienen un déficit de energía, nuevamente en función de los criterios. En caso de que ya se distribuya toda la energía excedente que pueden comprar los miembros de la comunidad, y los usuarios todavía no han cubierto su demanda, se compra energía a la red eléctrica. De esta manera, el coste que los usuarios pagan a la comunidad está conformados por el coste de mantenimiento, inversión y coste de energía (coste de energía comprada a la red eléctrica, coste de energía comprada a la comunidad, coste de energía excedente inyectada a la red y coste de energía excedente vendida a la comunidad).

Al analizar los cuatro criterios de reparto con respecto a los valores obtenidos cuando los usuarios tienen instalaciones individuales y cuando se conforman una comunidad, se determina que el reparto igualitario resulta la opción menos beneficiosa para clientes que tienen un bajo consumo de energía debido a que deben asumir costos de inversión altos, lo que, a su vez, aumenta el período de recuperación de la inversión entre un 2 y un 45 % con respecto al autoconsumo individual y entre un 9 y 63 % con respecto a cuando se unen con sus instalaciones.

En relación al mayor consumo de energía durante las horas de sol, es relevante señalar que solo un usuario experimenta un aumento en los costes anuales cuando se compara con la situación de tener instalaciones individuales y cuando se integran en una comunidad energética. Cabe destacar que, en este contexto, el período de recuperación de la inversión de ciertos clientes se extiende en un rango que oscila entre un 17 y un 33 % en el caso del autoconsumo individual, y entre un 25 y un 41 % al unirse a una comunidad energética.

En primera instancia, el criterio de demanda de energía se presenta como una opción ventajosa para todos los usuarios, ya que les permite recuperar la inversión en un período similar, situado en el rango de 5 a 6 años. Además, este enfoque reduce el coste anual asociado a los paneles fotovoltaicos a menos de la mitad de lo que los usuarios incurrirían si carecieran de esta tecnología. No obstante, el período de recuperación del capital para ciertos clientes se extiende, mostrando un aumento que varía entre un 2 y un 9 % en comparación con el autoconsumo individual y entre el 7 y 15 % cuando se unen como comunidad, por lo que este reparto no beneficia de manera uniforme a todos los usuarios, lo que plantea cuestiones importantes en términos de equidad y rentabilidad.

Finalmente, el enfoque basado en la potencia fotovoltaica que los usuarios hubiesen instalado de manera individual se presenta como la opción más ventajosa. Si se comparan los valores de coste anual en relación al autoconsumo individual, se revela una mejora que oscila entre el 12 y el 25 %. En contraste, al compararlos con el escenario en el que los usuarios se unen para formar una comunidad, se observa una mejora en los costes que varía entre el 5 y el 20 %.

Es importante destacar que, además de estas ventajas, el período de recuperación de la inversión se reduce de manera significativa. En comparación con el autoconsumo individual, la disminución se encuentra en un rango que va del 10 al 20 %. Por otro lado, al compararse con el escenario de constituir una comunidad energética, este período se reduce en un rango más amplio, que va desde el 6 al 24 %.

En resumen, las instalaciones fotovoltaicas ofrecen una serie de ventajas significativas para los usuarios. En primer lugar, se traducen en un ahorro sustancial en los gastos de energía, lo que beneficia directamente a los usuarios al reducir sus facturas. Además, la creación de comunidades energéticas agrega un valor adicional, ya

que se comparten los costes iniciales sustanciales asociados con la instalación de paneles fotovoltaicos, lo que acorta el período de recuperación de la inversión y lo hace más asequible para todos los participantes.

REFERENCIAS

- [1] Corporativa Iberdrola, «¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?», Iberdrola. Accedido: 6 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- [2] Akshay VR, «What Are The Basic Components Of Photovoltaic System?», Republic Of Solar. Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://thesolarlabs.com/ros/basic-components-of-photovoltaic-system/>
- [3] Iluminet, «¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas?», Iluminet revista de iluminación. Accedido: 4 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
- [4] Solarama, «Silicio en paneles solares: Todo lo que necesitas saber». Accedido: 4 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://solarama.mx/blog/silicio-en-paneles-solares/>
- [5] University of Calgary, «Célula fotovoltaica», Enciclopedia de Energía. Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/C%C3%A9lula_fotovoltaica
- [6] Grupo Turelectric, «Tipos de paneles solares: eficiencia y rentabilidad», Grupo Turelectric. Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://grupoturelectric.com/tipos-de-paneles-solares-eficiencia-y-rentabilidad/>
- [7] Miruna Hilcu, «Placas solares con baterías», Otovo Blog. Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/baterias-para-placas-solares/>
- [8] Jefatura del Estado, *Real Decreto-ley 23/2020*, vol. BOE-A-2020-6621. 2020, pp. 43879-43927. Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2020/06/23/23>
- [9] Agencia Andaluza de la Energía, «Comunidades energéticas», Agencia Andaluza de la Energía. Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/transicion-energetica/comunidades-energeticas>
- [10] Ped Interact, «Integration of innovative technologies of positive energy districts into a holistic architecture». Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ped-interact.eu/>
- [11] Jefatura del Estado, *Ley 24/2013*, vol. BOE-A-2013-13645. 2013. Accedido: 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>
- [12] MITECO, «El MITECO publica la propuesta del Real Decreto para regular las comunidades energéticas». Accedido: 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-miteco-publica-la-propuesta-del-real-decreto-para-regular-las-comunidades-energ%C3%A9ticas/tcm:30-561485>
- [13] IDAE, «Comunidades Energéticas | Idae». Accedido: 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>
- [14] Amigos de la Tierra, Amigos de la Tierra Europa, REScoop.eu, y Energy Cities, «Comunidades energéticas: una guía práctica para recuperar la energía comunitaria», abr. 2021. Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.rescoop.eu/toolbox/community-energy-a-practical-guide-to-reclaiming-power-spanish-edition>
- [15] Aleksandar Ivancic *et al.*, «Guía para el desarrollo de instrumentos de fomento de comunidades

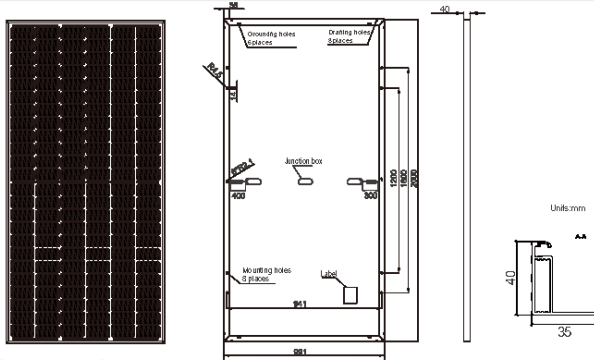
- energéticas locales (Documento de trabajo)». IDAE, marzo de 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guia_para-desarrollo-instrumentos-fomento_comunidades_energeticas_locales_20032019.pdf
- [16] BBVA, «¿Qué son las comunidades energéticas y cómo funcionan?», BBVA NOTICIAS. Accedido: 29 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-las-comunidades-energeticas-y-como-funcionan/>
- [17] Ministerio para la Transición Ecológica, *Real Decreto 244/2019*, vol. BOE-A-2019-5089. 2019, pp. 35674-35719. Accedido: 30 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>
- [18] «JAM72S03 380-400 PR». [En línea]. Disponible en: https://d3g1qce46u5dao.cloudfront.net/data_sheet/ja_solar_72_cell_mono_perc_slv_wht_half_cell_panel.pdf
- [19] JA Solar, «Ficha técnica JA Solar JAM54S30 390-415W».
- [20] GoodWe, «GoodWe XS Series 0.7-3KW Single Phase 2 MPPT Small Residential Solar Inverter», GoodWe. Accedido: 8 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.goodwe.com/xs-series-single-phase-residential-solar-inverter>
- [21] GoodWe, «Catálogo autoconsumo residencial Goodwe».
- [22] «Inversor Huawei SUN2000-40KTL-M3 Trifásico 40kW». Accedido: 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-40ctl-m3-trifasico>
- [23] Huawei, «Ficha técnica SUN2000-30/36/40KTL-M3».
- [24] Huawei, «Ficha técnica SUN2000-50KTL-M3».
- [25] HelioEsfera, «Horas de sol pico ¿Qué es y para qué sirve?», HelioEsfera. Accedido: 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.helioesfera.com/horas-de-sol-pico-que-es-y-para-que-sirve/>
- [26] Javier Méndez Muñoz y Rafael Cuero García, *Energía solar fotovoltaica*, 7ma edición. Madrid: FC Editorial. Fundación Confemetal, 2011. Accedido: 16 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.marcialpons.es/libros/energia-solar-fotovoltaica/9788492735778/>

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA PANEL

JASOLAR

JAM72S03 380-400/PR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	22.5kg±3%
Dimensions	2000mm×991mm×40mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4 Compatible(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Packaging Configuration	27 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S03 -380/PR	JAM72S03 -385/PR	JAM72S03 -390/PR	JAM72S03 -395/PR	JAM72S03 -400/PR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	380	385	390	395	400
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	48.05	48.32	48.61	48.91	49.17
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	39.80	40.07	40.34	40.63	40.92
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	10.09	10.15	10.21	10.28	10.34
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	9.55	9.61	9.67	9.73	9.78
Module Efficiency [%]	19.2	19.4	19.7	19.9	20.2
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.051%/°C				
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.289%/°C				
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.360%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

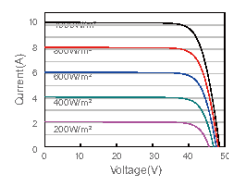
TYPE	JAM72S03 -380/PR	JAM72S03 -385/PR	JAM72S03 -390/PR	JAM72S03 -395/PR	JAM72S03 -400/PR
Rated Max Power(P _{max}) [W]	281	285	289	292	296
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	44.51	44.80	45.04	45.30	45.56
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	36.81	37.05	37.29	37.52	37.76
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	8.08	8.13	8.18	8.23	8.28
Max Power Current(I _{mp}) [A]	7.64	7.69	7.74	7.79	7.84
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G				

OPERATING CONDITIONS

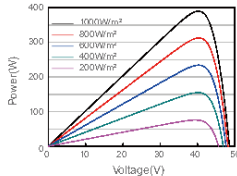
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load,Front	5400Pa
Maximum Static Load,Back	2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

CHARACTERISTICS

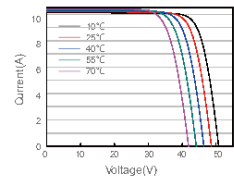
Current-Voltage Curve JAM72S03-390/PR



Power-Voltage Curve JAM72S03-390/PR



Current-Voltage Curve JAM72S03-390/PR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20180927A

ANEXO 2: FICHA TÉCNICA INVERSORES MONOFÁSICOS

Serie XS

MPPT único, Monofásico



Ficha técnica	GW700-XS	GW1000-XS	GW1500-XS	GW2000-XS	GW2500-XS	GW3000-XS
Datos de entrada de cadena FV						
Potencia máx. entrada CD (W)	910	1300	1950	2600	3250	3900
Tensión máx. entrada CD (V)	500	500	500	500	500	500
Rango de tensión MPPT (V)	40-450	40-450	50-450	50-450	50-450	50-450
Tensión de arranque (V)	40	40	50	50	50	50
Tensión nominal entrada CD (V)	360	360	360	360	360	360
Corriente máx. entrada (A)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Corriente máx de cortocircuito (A)	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6
No. de rastreadores MPPT	1	1	1	1	1	1
No. de cadenas de entrada por rastreador	1	1	1	1	1	1
Datos de salida CA						
Potencia nominal de salida (W)	700	1000	1500	2000	2500	3000
Potencia máx. aparente de salida (VA)	770	1100	1650	2200	2750	3300
Tensión nominal de salida (V)	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230
Frecuencia nominal de salida (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Corriente máx. de salida (A)	3.5	4.8	7.2	9.6	12	14.3
Factor de potencia de salida	~1 (Ajustable desde 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo)					
THDI de salida (salida nominal)	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Eficiencia						
Eficiencia máx.	97.2%	97.2%	97.3%	97.5%	97.6%	97.6%
Euro eficiencia	96.0%	96.4%	96.6%	97.0%	97.2%	97.2%
Protección						
Protección anti-isla	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de polaridad inversa de entrada	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Detección resistencia de aislamiento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Dispositivo de protección contra sobretensiones en CD	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)
Dispositivo de protección contra sobretensiones CA	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)	Integrado (Tipo III)
Unidad de Monitorización de Corriente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobrecorriente de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección cortocircuito de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobretensión de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Datos generales						
Rango temp. operativa (°C)	-25~60	-25~60	-25~60	-25~60	-25~60	-25~60
Humedad relativa	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%
Altitud operativa (m)	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000
Enfriamiento	Convección natural					
Interfaz del usuario	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED
Comunicación	WiFi ó LAN	WiFi ó LAN	WiFi ó LAN	WiFi ó LAN	WiFi ó LAN	WiFi ó LAN
Peso (kg)	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Tamaño (ancho*alto*largo mm)	295*230*113	295*230*113	295*230*113	295*230*113	295*230*113	295*230*113
Grado de protección	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Autoconsumo nocturno (W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Topología	Sin transformador					

Serie DNS

Doble MPPT, Monofásico



Ficha técnica	GW3000D-NS	GW3600D-NS	GW4200D-NS	GW5000D-NS	GW6000D-NS
Datos de entrada de cadena FV					
Potencia máx. entrada CD (W)	3900	4680	5460	6500	7200
Tensión máx. entrada CD (V)	600	600	600	600	600
Rango de tensión MPPT (V)	80-550	80-550	80-550	80-550	80-550
Tensión de arranque (V)	120	120	120	120	120
Tensión nominal entrada CD (V)	360	360	360	360	360
Corriente máx. entrada (A)	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
Corriente máx. de cortocircuito (A)	13.8/13.8	13.8/13.8	13.8/13.8	13.8/13.8	13.8/13.8
No. de rastreadores MPPT	2	2	2	2	2
No. de cadenas de entrada por rastreador	1	1	1	1	1
Datos de salida CA					
Potencia nominal de salida (W)	3000*1	3680*1	4200*1	5000*1	6000*1
Potencia máx. aparente de salida (VA)	3000	3680	4200	5000	6000
Tensión nominal de salida (V)	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230
Frecuencia nominal de salida (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Corriente máx. de salida (A)	13.6	16	19	22.8	27.3
Factor de potencia de salida	~1 (Ajustable desde 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo)				
THDi de salida (salida nominal)	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Eficiencia					
Eficiencia máx.	97,8%	97,8%	97,8%	97,8%	97,8%
Euro eficiencia	97,5%	97,5%	97,5%	97,5%	97,5%
Protección					
Protección anti-isla	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de polaridad inversa de entrada	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Detección resistencia de aislamiento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Unidad de Monitorización de Corriente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobrecorriente de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección cortocircuito de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobretensión de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Datos generales					
Rango temp. operativa (°C)	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60
Humedad relativa	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Altitud operativa (m)	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000
Enfriamiento	Convección natural				
Interfaz del usuario	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED
Comunicación	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN
Peso (kg)	13	13	13	13	13,5
Tamaño (ancho*alto*largo mm)	354*433*147	354*433*147	354*433*147	354*433*147	354*433*147
Grado de protección	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Autoconsumo nocturno (W)	<1	<1	<1	<1	<1
Topología	Sin transformador				

ANEXO 3: FICHA TÉCNICA INVERSORES TRIFÁSICOS

SUN2000-12/15/17/20KTL-M2 Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000 -12KTL-M2	SUN2000 -15KTL-M2	SUN2000 -17KTL-M2	SUN2000 -20KTL-M2
Eficiencia				
Máxima eficiencia	98.50%	98.65%	98.65%	98.65%
Eficiencia europea ponderada	98.00%	98.30%	98.30%	98.30%
Entrada				
Potencia FV máxima de entrada ¹	18,000 Wp	22,500 Wp	25,500 Wp	30,000 Wp
Tensión máxima de entrada ²	1,080 V			
Rango de tensión de operación ³	160 V ~ 950 V			
Tensión de arranque	200 V			
Tensión nominal de entrada	600 V			
Intensidad de entrada máxima por MPPT	22 A			
Intensidad de cortocircuito máxima	30 A			
Cantidad de MPPTs	2			
Cantidad máxima de entradas por MPPT	2			
Salida				
Conexión a red eléctrica	Tres fases			
Potencia nominal activa de CA	12,000 W	15,000 W	17,000 W	20,000 W
Máx. potencia aparente de CA	13,200 VA	16,500 VA	18,700 VA	22,000 VA
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W + N + PE			
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz			
Máx. intensidad de salida	20 A	25.2 A	28.5 A	33.5 A
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo			
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %			
Características y protecciones				
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Si			
Protección anti-isla	Si			
Protección contra sobreintensidad de CA	Si			
Protección contra cortocircuito de CA	Si			
Protección contra sobretensión de CA	Si			
Protección contra polaridad inversa CC	Si			
Protección contra descargas atmosféricas CC	Type II			
Protección contra descargas atmosféricas CA	Si, Clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11			
Monitorización de corriente residual	Si			
Protección contra fallas de arco	Si			
Control del receptor Ripple	Si			
Recuperación integrada de PID ⁴	Si			
Datos generales				
Rango de temperatura de operación	-25 ~ + 60 °C			
Humedad de operación relativa	0 % RH ~ 100% RH			
Altitud de operación	0 - 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 2,000 m)			
Ventilación	Convección natural			
Pantalla	LED Indicators; WiFi integrada + aplicación FusionSolar			
Comunicación	RS485; WLAN / Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional) 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)			
Peso (incluida ménsula de montaje)	25 kg			
Dimensiones (incluida ménsula de montaje)	525 x 470 x 262 mm			
Grado de protección	IP65			
Consumo de energía durante la noche	< 5,5 W ⁵			

SUN2000-30/36/40KTL-M3
Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3	SUN2000-40KTL-M3
Eficiencia			
Máxima eficiencia			98.7%
Eficiencia europea ponderada			98.4%
Entrada			
Tensión máxima de entrada ¹			1,100 V
Intensidad de entrada máxima por MPPT			26 A
Intensidad de cortocircuito máxima			40 A
Tensión de arranque			200 V
Rango de tensión de operación ²			200 V ~ 1000 V
Tensión nominal de entrada			600 V
Cantidad de entradas			8
Cantidad de MPPTs			4
Salida			
Potencia nominal activa de CA	30,000 W	36,000 W	40,000 W
Máx. potencia aparente de CA	33,000 VA	40,000 VA	44,000 VA
Tensión nominal de Salida	230 Vac / 400 Vac, 3W/N+PE		
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz		
Intensidad nominal de salida	43.3 A	52.0 A	57.8 A
Máx. intensidad de salida	47.9 A	58.0 A	63.8 A
Factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD		
Máx. distorsión armónica total	< 3%		
Características y protecciones			
Dispositivo de desconexión del lado de entrada			Sí
Protección anti-isla			Sí
Protección contra sobreintensidad de CA			Sí
Protección contra polaridad inversa CC			Sí
Monitorización a nivel de string			Sí
Descargador de sobretensiones de CC			Sí
Descargador de sobretensiones de CA			Sí
Detección de resistencia de aislamiento CC			Sí
Monitorización de corriente residual			Sí
Protección ante fallo por arco eléctrico			Sí
Control del receptor Ripple			Sí
Recuperación PID integrada ³			Sí
Comunicación			
Display	Indicadores LED, WLAN Integrado + FusionSolar APP		
RS485	Sí		
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Opcional)		
Monitoring BUS (MBUS)	Sí (transformador de aislamiento requerido)		
Especificaciones generales			
Dimensiones (Ancho x Profundo x Alto)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)		
Peso (Kit de herramientas para soporte de suelo incluido)	43 kg (94.8 lb)		
Nivel de Ruido	< 46 dB		
Rango de temperaturas en operación	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)		
Ventilación	Convección natural		
Max. Altitud de operación	0 - 4,000 m (13,123 ft.)		
Humedad relativa	0% RH ~ 100% RH		
Conector de CC	Staubli MC4		
Conector de CA	Terminal PG impermeable + conector OT/DT		
Grado de Protección	IP 66		
Tipología	Sin transformador		
Consumo de energía durante la noche	≤ 5.5W		

SUN2000-50KTL-M3

Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-50KTL-M3
Efficiency	
Max. Efficiency	98.5%
European Efficiency	98.0%
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	30 A
Max. Current per Input	20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
Output	
Rated AC Active Power	50,000 W
Max. AC Apparent Power	55,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	55,000 W
Rated Output Voltage	400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	72.2 A @ 400Vac, 60.1 A @ 480Vac
Max. Output Current	79.8 A @ 400Vac, 66.5 A @ 480Vac
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Arc Fault Protection	Yes
Ripple Receiver Control	Yes
Integrated PID Recovery ³	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (Isolation Transformer required)
Optimizer Compatibility	
DC MBUS Compatible Optimizer	MERC-1100/1300W-P
General Data	
Dimensions (W x H x D)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)
Weight (with mounting plate)	49 kg (108.1 lb)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0% RH ~ 100% RH
DC Connector	Amphenol HH4
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP 66
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	≤ 5.5W