



Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

**GRADO EN INGENIERÍA
DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Trabajo de Fin de Grado

**“Estudio técnico y económico de una instalación eléctrica
domiciliaria sostenible empleando energía solar e hidrógeno verde”**

Gabriel Flores Carrascosa

Director: María Gisela Orcajo Rincón

Curso Académico 2023/24



El presente trabajo, titulado “**Estudio técnico y económico de una instalación eléctrica domiciliaria sostenible empleando energía solar e hidrógeno verde**”, constituye la memoria correspondiente a la asignatura. Trabajo de Fin de Grado que presenta **D. Gabriel Flores Carrascosa** como parte de su formación para aspirar al Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Este trabajo ha sido realizado en la **Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología** en el departamento de **Tecnología Química, Energética y Mecánica** bajo la dirección de **María Gisela Orcajo Rincón**.

Móstoles, 04 de octubre de 2023

Índice

1. Memoria	4
1.1 Resumen	4
1.2 Introducción	6
1.2.1 Contexto energético actual	6
1.2.2 Energías renovables y la transición energética.....	8
1.2.3 Hidrógeno Verde	11
1.2.4 Instalaciones sostenibles.....	13
1.3 Objetivos	16
1.4 Solución Técnica/Resultados	17
1.4.1 Consumos energéticos de la vivienda.....	17
1.4.2 Instalación fotovoltaica	20
1.4.2 Instalación de hidrógeno	39
1.4.4 Estudio económico	57
1.5 Conclusiones	70
1.6 Bibliografía.....	71
2. Apéndices	76
2.1 Planos	76
2.2 Tablas	80
2.3 Recibos de luz y gas	92
2.4 Fichas Técnicas	107

1. Memoria

1.1 Resumen

El proyecto tiene como objetivo el diseño y dimensionado de una instalación doméstica de producción de hidrógeno, que sea capaz de proporcionar electricidad y calefacción a una vivienda familiar con un alto grado de independencia de la red eléctrica y del gas natural. La implementación de una instalación de este tipo contribuye al uso de energías renovables, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. Así mismo, brinda a las personas la capacidad de ser autónomos en términos energéticos y fomenta el compromiso con el medio ambiente.

La instalación consta de dos sistemas principales. El primero de ellos es un sistema fotovoltaico diseñado para suministrar energía eléctrica, que cubre la demanda energética completa del mes de diciembre, ya que es el mes de mayor consumo (1806,88 kWh). El sistema ha sido sobredimensionado para garantizar suministro eléctrico durante las horas de luz y a su vez generar un excedente energético en las horas de mayor radiación solar. En estas horas es donde interviene el sistema de almacenamiento, el cual está compuesto por dos subsistemas: uno de almacenamiento a corto plazo, compuesto por dos baterías de litio, y otro de almacenamiento a largo plazo, conformado por un electrolizador que produce hidrógeno, este hidrógeno es almacenado y cuando es necesario genera electricidad con una pila de combustible. El subsistema de almacenamiento a corto plazo ha sido diseñado para ser utilizado de manera continuada durante todo el año. En los meses de mayor radiación solar, puede funcionar en combinación con los paneles solares como única fuente de energía eléctrica para la vivienda. Sin embargo, durante el invierno o en días con poca exposición solar, la capacidad de las baterías no es suficiente para abastecer por completo la demanda energética del hogar. En estos casos, el subsistema de almacenamiento a largo plazo asumirá la función principal de abastecer la demanda energética de la vivienda como complemento a los paneles solares y las baterías.

El sistema fotovoltaico propuesto requiere una potencia pico de 11,33 kilovatios (kW). Después de llevar a cabo un estudio fotovoltaico, se ha determinado que la solución óptima consiste en 23 paneles solares, cada uno con una capacidad de generación de 500 vatios (W).

En cuanto al sistema de almacenamiento de hidrógeno, se ha decidido almacenar una cantidad de 1,2 m³ de hidrógeno que se almacenará en botellas con una capacidad de 50 litros cada una. En total se puede contener 20,04 kg de hidrógeno, esta reserva posteriormente será empleada para alimentar la pila de combustible, pudiendo generar así una potencia de hasta 483,34 kW.

El presente proyecto tiene como principal objetivo el ofrecer una alternativa energética sostenible y viable en el mercado actual. Es importante destacar que, si bien no se busca una independencia total de la red eléctrica convencional, se busca una reducción considerable en la dependencia a este mercado y una mayor autonomía para los usuarios. Además, la instalación propuesta será libre y no usará gas

natural ya que la instalación está preparada para operar exclusivamente con electricidad, lo que representa una ventaja en términos de autonomía del usuario.

Con todas las ventajas que puede ofrecer este tipo de instalación, es importante señalar que actualmente la tecnología aún no está completamente desarrollada, especialmente en España. La idea de este proyecto es hacer una primera aproximación de instalación cuasi-independiente de la red de energía, asequible para particulares. No obstante, aunque los resultados de la inversión necesaria para poder realizar este proyecto son elevados, es importante tener en cuenta que para plazos más largos dentro de la vida útil de la instalación, la misma llega a ser rentable. En este sentido se ha realizado un estudio económico en el que se han supuesto diferentes escenarios para evaluar la viabilidad económica del proyecto, para estos escenarios se ha tenido en cuenta los precios del gas y la electricidad en el mercado a lo largo de los últimos años.

Tras todo lo mencionado y el trabajo realizado, se puede afirmar que esta tecnología es altamente prometedora. En los próximos años, serán mucho más frecuentes este tipo de instalaciones, habiendo actualmente pocos proveedores que estén interesados en atender a particulares, debido a la limitada demanda. Sin embargo, se prevé que en el futuro próximo el mercado se expandirá y habrá precios más competitivos y accesibles. A través de este estudio, se ha logrado demostrar la viabilidad técnica de una instalación renovable híbrida fotovoltaica-hidrógeno, siendo una opción actual y futura debido a su rentabilidad a largo. No obstante, con el crecimiento que se está experimentando en el sector de la producción de hidrógeno verde, en el futuro cercano se podrán desarrollar instalaciones similares con una inversión mucho menor.

1.2 Introducción

1.2.1 Contexto energético actual

En la actualidad son diversos los factores de tipo social, político, técnico y económico que están cambiando las tendencias de consumo de energía, al mismo tiempo que se modifican los modos de producción y abastecimiento. Se observa un incremento en la demanda energética, la cual no solo está influenciada por la actividad económica y las condiciones climatológicas, sino también por la disposición de satisfacer un mayor número de necesidades.

Es por ello por lo que, desde el comienzo de la explotación de los recursos fósiles, el consumo energético mundial ha crecido exponencialmente, multiplicándose por 20 en las últimas décadas. Este crecimiento se ha abastecido y se sigue abasteciendo básicamente con los combustibles fósiles, que en 2019 representan más del 80% (petróleo, carbón y gas natural) de toda la energía consumida a nivel mundial¹, seguido por la energía nuclear con un 5% y los biocombustibles con un 9,4% como se puede apreciar en la *Figura 1*². Mientras la energía hidráulica, con un 2,5% es la fuente renovable que más peso tiene entre las energías renovables, que entre todas ellas suman poco más del 2,2%.

Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2019

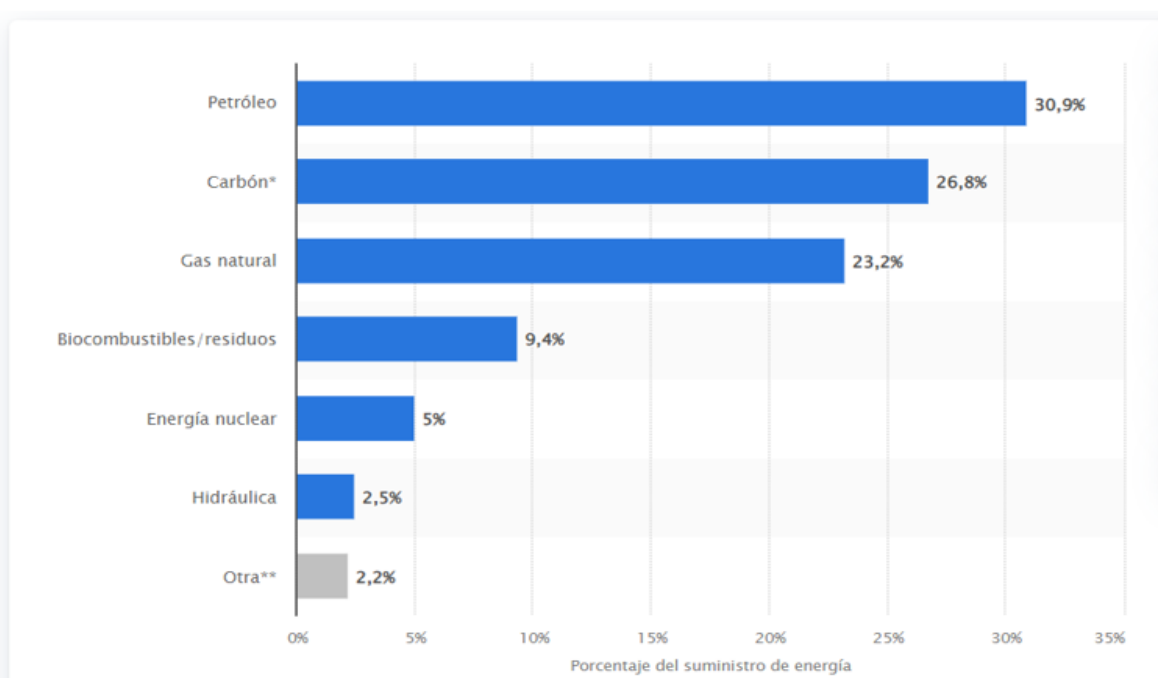


Figura 1. Distribución porcentual del suministro de energía primaria en 2019, según la fuente

¹ Datos obtenidos a partir de las estadísticas BP de 2014, Banco Mundial y OBSAM, del documento: http://www.ime.cat/WebEditor/Pagines/file/10_Contexto%20energetico%20global%20y%20regional.pdf

² Figura obtenida de Statista publicado por Statista Research Department en: <https://es.statista.com/estadisticas/600585/suministro-de-energia-primaria-a-nivel-mundial-por-fuente/>

La tendencia de consumo energético global muestra una creciente dependencia de fuentes no renovables, lo que contribuye al cambio climático y al agotamiento de los recursos. Además, la extracción de combustibles fósiles se concentra en ciertas regiones del mundo, lo que produce grandes flujos internacionales de combustibles y grandes cantidades de dinero. Como consecuencia, los países y regiones que carecen de estos recursos energéticos se ven obligados a depender por completo de países que sí disponen de ellos. El ejemplo actual del gas proveniente de Rusia muestra la vulnerabilidad de Europa que se ha visto obligada a sustituir casi el 75% de las importaciones de gas ruso en un año, debido a la situación política que estamos viviendo.³

En términos de recursos energéticos, España tiene una dependencia casi total de la importación de combustibles fósiles y uranio, debido a que las reservas internas son extremadamente limitadas. Según Carles Riba, experto en ingeniería industrial y profesor de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), las reservas de energía del país son insignificantes en comparación con el total mundial, no llegando al 0,04%. De hecho, España únicamente cuenta con una muy pequeña cantidad de carbón de baja calidad, reservas de uranio muy limitadas y unas reservas de petróleo inexistentes. Esto destaca la vulnerabilidad del país a la volatilidad de los precios y las políticas de los países que exportan los recursos.⁴

Todo esto lo que ha propiciado, es un escenario favorable a la crisis energética que se está viviendo, en los últimos años los precios de la energía han experimentado un aumento constante, y desde 2021 han crecido drásticamente esto es debido a varios factores, entre ellos a la rápida recuperación económica, las condiciones meteorológicas adversas en algunas regiones, así como el aplazamiento de trabajos de mantenimiento de la infraestructura energética debido a la pandemia. Por otro lado, compañías de petróleo y gas y países exportadores han reducido sus inversiones en este sector, lo que ha contribuido a una mayor escasez en el suministro energético. En particular, la decisión de Rusia de recortar el suministro de gas a Europa desde 2021, incluso meses antes de invadir Ucrania ha intensificado esta crisis. Rusia que ha sido el mayor exportador de combustibles fósiles del mundo y proveedor especialmente de Europa ha ido restringiendo cada vez más las exportaciones a través de los gasoductos, llegando incluso a cortar el suministro.

Europa ha tenido que cambiar el gas ruso, a costa de unos precios más altos ya que ha tenido que importar gas natural licuado de los Estados Unidos, Australia y Qatar. Puesto que el gas es el que fija

³ Fuente: Noticia de Antonio Martos Villar del periódico LA INFORMACIÓN: <https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/ue-importaciones-gas-rusia/2881840/>

⁴ Fuente: DEM-Energía, Diagnósis: La primera transición energética de Menorca: http://www.ime.cat/WebEditor/Pagines/file/10_Contexto%20energetico%20global%20y%20regional.pdf

mayoritariamente el precio al que se vende la electricidad, esta se ha disparado y está suponiendo un problema hoy en día.⁵

En España durante el año 2021, se ha alcanzado precios históricos con el precio del MWh, llegando a los 111,93 euros de media según los datos del Operador del Mercado Ibérico de Electricidad (OMIE)⁶, mientras en el 2022 se ha superado los 500 euros/MWh, provocado por los conflictos mencionados. Los precios son un claro reflejo de la situación actual, lo que se ha traducido en preocupación por parte de las personas que no pueden hacer frente a estos precios.⁷

Todo esto ha aumentado todavía más el interés que ya había en las energías renovables y por la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Esto ha traído un debate sobre la necesidad de aumentar la capacidad de almacenamiento de energía y mejorar la eficiencia energética en los hogares y las empresas. Es por ello por lo que se está empezando a hablar de un modelo energético más sostenible y eficiente, es decir, la transición energética.

1.2.2 Energías renovables y la transición energética

La transición energética es un proceso de modificaciones y cambios en los modelos de distribución, producción y consumo de energía, que buscan lograr una mayor sostenibilidad en el sistema energético. El propósito de este proceso es pasar el modelo energético actual, basado en el uso de combustibles fósiles, a un modelo sostenible basado en energías renovables y otras tecnologías que permitan la reducción de emisiones contaminantes.

La urgencia de una transición energética se debe a la necesidad de proteger la Tierra del cambio climático y dejar de depender de los combustibles fósiles como principal fuente de energía. Esta transición permitirá disfrutar de un entorno sostenible, libre de emisiones otorgando un alto grado de independencia energética.

Es debido a esta alta dependencia que, en los últimos años se ha tomado la iniciativa de fomentar y buscar otras alternativas. En este sentido, las energías renovables han adquirido un papel fundamental ya que se están convirtiendo en una parte cada vez más importante del mix energético, con un creciente interés por este tipo de energías, entre las que destacan la energía solar, eólica, hidráulica y biomasa.

⁵ Fuente: IEA Crisis energética mundial: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis?language=es>

⁶ Fuente: Operador del Mercado Ibérico de Electricidad (OMIE): <https://www.omie.es/>

⁷ Fuente: Kelisto ¿Por qué sube el precio de la luz?, de Javier Martínez: <https://www.kelisto.es/electricidad/consejos-y-analisis/por-que-sube-el-precio-de-la-luz-6181#:~:text=El%20aumento%20de%20la%20demanda,el%20precio%20de%20la%20luz.>

En España, durante la última década se ha logrado un gran avance en la producción de energías limpias. En el año 2019, la energía generada por fuentes limpias representa alrededor del 38,9% del total, siendo la energía eólica la principal contribuyente con un 21,5%, seguida por la hidráulica con un 10%, la fotovoltaica el 3,6%. Sin embargo, en 2020 la proporción ha aumentado, llegando a alcanzar un 45,5% como se muestra en la **Figura 2**.⁸



Figura 2. Generación peninsular en el 2019 y 2020

No obstante, según los datos de 2022, las energías limpias representan el 41,3% de la energía renovable total, lo cual se ve afectado por el aumento de la exportación de energía a Francia, que en su mayoría es producida por centrales de ciclo combinado que utilizan gas en la **Figura 3** ⁹se muestra la estructura de la generación de electricidad de 2022.

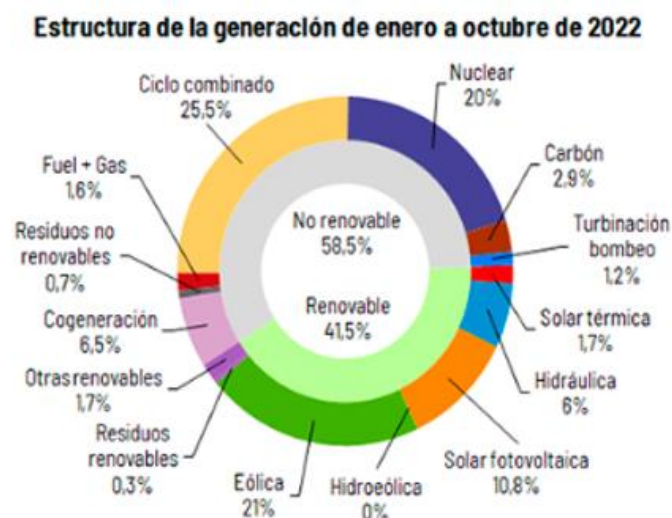


Figura 3. Generación peninsular de enero a octubre 2022

⁸ Fuente: Universidad Rey Juan Carlos Depto. Tecnología Química, Energética y Mecánica: Contenidos de la asignatura energías renovables

⁹ Fuente: Energía Estratégica España: <https://energiaestrategica.es/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-desciende-un-51-en-octubre/>

España posee dos ventajas excepcionales para generar energía renovable y esas son: el viento y el sol. La energía eólica y la energía solar fotovoltaica y térmica (aunque menos usada) son las fuentes de energía renovable más usadas en España. De acuerdo con la información proporcionada por la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (ENTSO-E), España ha logrado posicionarse como el segundo país de la Unión Europea con mayor generación de electricidad a partir de fuentes eólicas y solares durante 2021. Esto ha sido posible gracias a los cambios significativos que se han producido a nivel local en diferentes regiones de España a lo largo de los últimos años.

En cuanto a energía instalada en 2022, el parque fotovoltaico en España ha alcanzado los 16.959 MW, de potencia instalada, es decir, un 14,6% de todas las tecnologías, siguiendo a la hidráulica con un 14,8 %, que se espera que la supere durante el 2023. El objetivo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 es llegar a los 39 GW para el 2030, un objetivo modesto comparado con los 200 GW de fotovoltaica que pretende alcanzar Alemania para 2030.

No obstante, es importante señalar que los datos mencionados no incluyen el autoconsumo en España. A principios de 2022 se han alcanzado los 2,5 GW de potencia instalada para autoconsumo, que ha sufrido un incremento del 85% con respecto de 2021, llegando a instalar 1.151 MW de potencia en este tipo de instalaciones según los datos compartidos por la patronal de renovables, APPA.

Según la Hoja de Ruta del Autoconsumo del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, se espera que se instalen hasta 14 GW de capacidad de autoconsumo hasta 2030, sin embargo, un análisis llevado a cabo por Powen, una empresa especializada en instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo, estima que el mercado potencial de autoconsumo en España podría situarse aproximadamente entre los 20 y 30 GW para el 2030.¹⁰

A pesar de los avances en la producción de energías renovables en España, uno de los principales inconvenientes es el almacenamiento de energía generada. En España se produce mucha cantidad de energía durante el día que no se utiliza en su totalidad, lo que plantea el problema del almacenamiento energético. Para tratar esta cuestión, se está trabajando en opciones para mejorar las capacidades y poder almacenar la máxima energía posible. Entre las soluciones más prometedoras, se encuentran el uso de hidrógeno verde y las centrales eléctricas reversibles o baterías de alta capacidad.

¹⁰ Fuente: World Energy Trade: La fotovoltaica en España bate récords, en 2022 ya ha producido más energía que en todo 2021: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/fotovoltaica-espana-records-en-2022-16474>

1.2.3 Hidrógeno Verde

El hidrógeno es el elemento más ligero y abundante que hay en la Tierra. El hidrógeno se encuentra en un estado gaseoso y es estable bajo la fórmula de molécula formada por dos átomos de hidrógeno: H₂

El hidrógeno forma aproximadamente el 75% de toda la materia del universo y lo encontramos normalmente combinado con otros elementos como el oxígeno, formando agua, o el carbono constituyendo los llamados compuestos orgánicos.

En términos energéticos existen diferentes tipos de hidrógeno: negro, marrón, gris, azul, turquesa, rosa, amarillo, blanco y verde. El ‘color’ del hidrógeno hace referencia a como es producido este tipo de hidrógeno y el impacto que tiene en el medio ambiente, por ejemplo, el hidrógeno azul no reduce la dependencia energética del gas y perpetua un modelo de desarrollo basado en combustibles fósiles, ya que se obtiene a partir del dióxido de carbono obtenido del reformado del gas natural, entonces este hidrógeno es capturado y se almacenado. En la realidad actual el hidrogeno más producido y utilizado por el momento es el gris, que se obtiene mediante el reformado de combustibles y el más barato de producir.¹¹

También existe el hidrógeno producido a partir de energías renovables es el hidrógeno verde, que es un combustible de cero emisiones y producido a partir de energías libres de emisiones como por ejemplo la energía eólica, hidráulica o solar. En términos energéticos podemos considerar al hidrógeno verde una fuente de energía renovable, lo que significa que su disponibilidad es prácticamente ilimitada. A pesar de que el hidrógeno verde pueda ser clasificado como una fuente renovable, a diferencia de otras fuentes renovables como la solar o la eólica, el hidrógeno verde no se encuentra de forma primaria en la naturaleza y debe ser producido. En la producción del hidrógeno es necesario el uso de energía, la cual queda almacenada en el hidrógeno para su posterior uso como fuente de energía que puede ser usada como combustible para vehículos, generación de electricidad y otros usos. Según los datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), actualmente se consume en el mundo unos 70 millones de toneladas de hidrógeno, de todo este hidrógeno casi todo proviene del carbón o el gas natural. Solo el 0,1% del hidrógeno que consumimos es verde, en los próximos años se prevé un aumento en el consumo del hidrógeno verde, ya que el hidrógeno verde tendrá un papel clave en la inminente transición energética que las economías mundiales deberán llevar a cabo en un futuro cercano.¹²

¹¹ Fuente: Hablando en Vidrio: ¿Qué es el hidrógeno verde?: <https://hablandoenvidrio.com/que-es-el-hidrogeno-verde/>

¹² Fuente: Acciona: El hidrógeno Verde: La energía del futuro clave en la descarbonización: https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894

Debido a la necesidad de una fuente de combustible diferente, el hidrógeno se postula como una alternativa al gas natural y como única forma de descarbonizar sectores como el transporte marítimo. En el año 2022, en medio de una crisis energética y con el temor a tener problemas de abastecimiento de gas, el hidrógeno verde se consolidó como una importante alternativa renovable frente al hidrocarburo. El camino para evitar depender de países como Rusia, Argelia, o Estados Unidos, y lograr una descarbonización efectiva, pasa por el hidrógeno, una tecnología ya probada y aceptada, aunque aún falta mucho para instalarse a gran escala.

Los países del Mediterráneo han establecido en el año 2030 como fecha para el gran corredor de hidrógeno, el H2Med, el mayor proyecto para transportar hidrógeno en Europa. El H2Med pretende convertirse en el principal conducto de hidrógeno verde de Europa, España, Francia y Portugal presentaron los primeros detalles del corredor a la Unión Europea, el proyecto al que actualmente se ha sumado Alemania, rondará los 2.500 millones de euros. El corredor está previsto que empiece a funcionar en 2030 y se espera que sea capaz de transportar desde España dos millones de toneladas de hidrógeno, el 10% del total consumido por la UE.¹³

En España se ha hecho una fuerte inversión en el hidrógeno verde, aunque es posible que los plazos para sustituir fuentes de energía contaminantes por alternativas renovables no se correspondan con los tiempos previstos. El país se dirige hacia un futuro en el que podría ser autosuficiente y depender únicamente de la energía solar, eólica e hidráulica, mientras se abandona la nuclear (que será de forma gradual entre 2027 y 2035), el carbón que ya prácticamente no se utiliza y el gas. Sin embargo, es necesario contar con una forma de almacenar la electricidad suficiente como para alimentar todo el territorio cuando no haya viento o sol. En este sentido el hidrógeno podría ser la solución. La manera en que el hidrógeno permite almacenar energía no es algo novedoso, ya que es algo que se lleva haciendo de forma parecida con el gas natural o las presas.¹⁴

España tiene un alto potencial para convertirse en el centro principal del hidrógeno en Europa debido a su ubicación geográfica y climática, a su capacidad de generar energías renovables y una gran capacidad industrial junto con una infraestructura sólida. A pesar de todo la tecnología de electrólisis aún tiene espacio y margen para mejorar y alcanzar precios más competitivos y accesibles. Actualmente es necesaria una gran inversión para la producción de hidrógeno, ya que la producción de este debe ser

¹³ Fuente: Auto Bld: H2Med el gran corredor de transporte de hidrógeno verde se alargará hasta Alemania, de Noelia López: <https://www.autobild.es/noticias/h2med-gran-corredor-transporte-hidrogeno-verde-alargara-alemania-1188710>

¹⁴ Fuente: El Mundo: Las claves del hidrógeno verde, la apuesta de España para ser la ‘pila’ de Europa de la que dependen las renovables, de Guillermo del Palacio: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2023/01/02/63a5a85ffdddfc4238b45c9.html>

continúa para poder amortizar los costos. Es por ello por lo que en la situación actual el hidrógeno verde no es competitivo en precio, aunque se espera que en un futuro lo sea.

1.2.4 Instalaciones sostenibles

En el contexto de la transición energética, las energías renovables junto con los particulares tendrán un rol crucial en los acontecimientos que se van a desempeñar en esta transición. El aumento exponencial de las instalaciones fotovoltaicas de los particulares durante el último año demuestra su creciente importancia como fuente fiable y rentable de energía tanto para instalaciones domésticas como industriales. La motivación principal detrás de estas instalaciones es la rentabilidad económica que ofrecen, y se espera que sigan creciendo en popularidad a medida que los costos de producción sigan disminuyendo y la tecnología avanza.

El autoconsumo de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, especialmente la solar fotovoltaica, está experimentando un crecimiento sin precedentes debido a su gran atractivo económico y por la concienciación ambiental. Esta tendencia se debe en gran medida a la fuerte demanda por parte de hogares e industrial que buscan reducir sus costos energéticos y aumentar su independencia y seguridad energética. Como resultado, el sector fotovoltaico está experimentando un gran aumento en la demanda de instalaciones de autoconsumo.

La rápida expansión del sector se ha visto influenciada por varios factores, entre los cuales destaca el plazo de amortización que se ha reducido significativamente debido a que los precios de la energía en la actualidad se encuentran disparados. Este plazo ha pasado de siete a dos años, aunque la media se sitúa en torno a los cuatro años cuando los costes energéticos se estabilizan. La utilización de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo ha permitido alcanzar un ahorro importante en la factura energética, que puede oscilar entre el 40% y el 80%, tanto en el ámbito doméstico como en el industrial.

La Comisión Europea ha propuesto dentro del Plan Repower EU la instalación obligatoria de paneles solares en todos los edificios de nueva construcción como, públicos, industriales y en edificios residenciales para 2029, todo esto con el objetivo de convertir la energía solar en la mayor fuente de electricidad de la UE. Se pretende instalar más de 320 gigavattios de fotovoltaica para 2025 y casi 600 gigavattios para el año 2030.

Así mismo, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha afirmado en su informe Perspectivas de la energía en el mundo 2020 que los sistemas de energía solar son los que ofrecen actualmente la

electricidad al menor precio. Además, se predijo que para el año 2050, se disparará la producción de energía solar convirtiéndose en la principal fuente de electricidad del mundo.¹⁵

Las fuentes de energía renovable, como la fotovoltaica, presentan una gran desventaja debido a su bajo factor de planta, ya que su producción de energía depende de las condiciones climatológicas y no pueden estar en operación de forma constante, se puede producir energía cuando estas no son favorables. Además, durante las horas punta de producción de energía, se genera un excedente que no puede ser utilizado y termina siendo desperdiciado. En este sentido, los esfuerzos actuales se enfocan en encontrar soluciones efectivas para almacenar la energía generada por estas fuentes renovables, de manera que se pueda utilizar cuando sea necesario, lo cual es fundamental si se busca que las energías renovables sean una alternativa realista a los combustibles fósiles. En este sentido, se ha hablado de la combinación de instalaciones fotovoltaicas con sistemas de almacenamiento de energía, aunque esta tarea es compleja y requiere de importantes inversiones y avances tecnológicos.

Una de las alternativas más prometedoras es la utilización de sistemas de almacenamiento sostenible basados en el hidrógeno verde, los cuales consisten en una combinación de dos tipos de instalaciones: una instalación fotovoltaica y una instalación de producción de hidrógeno mediante la electrólisis. Como se ha mencionado anteriormente, el problema principal de la instalación fotovoltaica es el almacenamiento de energía, y el hidrógeno se presenta como una solución viable ya que los momentos de exceso de energía se pueden usar para producir hidrógeno y almacenarlo para su uso posterior. De esta manera se permitirá almacenar energía para su uso cuando sea necesario, y puede ser utilizado en sistemas domésticos para generar electricidad en momentos en los que no haya sol, así como en la industria y como combustible para vehículos.

El hidrógeno está siendo considerado como una de las principales opciones para el futuro sostenible debido a sus múltiples beneficios. En Alemania, país líder en la transición energética hacia fuentes renovables, el hidrógeno está ganando cada vez más terreno en el sector energético como una alternativa para romper la dependencia de los combustibles convencionales. Esto ha llevado a la aparición de instalaciones que combinan energía solar fotovoltaica con la producción de hidrógeno mediante la electrólisis, con el objetivo de almacenar la energía producida en las horas de alta demanda y utilizarla cuando sea necesario.¹⁶

Un ejemplo de ello es la empresa alemana HPS Picea, la cual ha apostado fuertemente por las instalaciones de hidrógeno verde para particulares. Estas instalaciones ofrecen independencia eléctrica

¹⁵ El sector del autoconsumo se desborda ante su creciente demanda, de Sandra Acosta: <https://www.economista.es/energia/noticias/11803416/06/22/El-sector-del-autoconsumo-se-desborda-ante-su-creciente-demanda.html>

¹⁶ Fuente: Arquitectura sostenible hidrógeno verde para el autoconsumo doméstico: <https://arquitectura-sostenible.es/hidrogeno-verde-autoconsumo-domestico/>

y reducen la huella de carbono al evitar la emisión del CO₂. Así, los particulares pueden disfrutar de una fuente de energía limpia y sostenible durante todo el año, sin depender de los precios y la disponibilidad de la red eléctrica convencional.¹⁷

España cuenta con un gran potencial para el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía mediante hidrógeno, ya que posee unas condiciones climáticas muy favorables para la producción de energía renovable, principalmente solar. De hecho, España es uno de los países con mayor radiación solar de Europa, con una media de 3.000 horas de sol al año, lo que la sitúa en una posición privilegiada para el aprovechamiento de la energía solar, si por ejemplo la comparamos con Alemania que tiene de media 1.600 horas de sol al año, (casi la mitad de la que se posee en España) se puede apreciar la cantidad de potencial que hay para poder hacer frente a la transición energética.¹⁸

En España la iniciativa de empresas como la de HPS Picea podría servir de ejemplo para fomentar instalaciones parecidas en España. Las condiciones climáticas favorables y la ya existencia de instalaciones fotovoltaicas harían que la implementación de sistemas de almacenamiento de hidrógeno sea más sencilla y factible en el país. Además, el alto coste de la electricidad en España podría ser aliviado gracias a la independencia eléctrica que ofrecen estas instalaciones, lo que implicaría un importante ahorro económico para los particulares.

Con todo ello, el inconveniente que tienen estos tipos de instalaciones es que se requiere de una gran inversión, y que la tecnología de este campo todavía tiene mucho margen de mejora, pero fomentar este tipo de instalaciones podría ser una solución a los altos precios de la luz y una manera de avanzar hacia un futuro más sostenible

¹⁷ Fuente: HPS Picea: <https://www.homepowersolutions.de/produkt/>

¹⁸ Fuente: DW, El sol de España se convierte en un factor económico de Stefanie Müller: <https://www.dw.com/es/el-sol-de-espa%C3%B1a-se-convierte-en-un-factor-econ%C3%B3mico/a-62619194>

1.3 Objetivos

El objetivo de este estudio es demostrar la viabilidad técnico-económica de una instalación doméstica renovable híbrida solar fotovoltaica/hidrógeno para una vivienda unifamiliar en España, lo que permite brindar una alternativa a la red eléctrica y de gas convencional y proporcionar una mayor independencia y sostenibilidad a los hogares. No se busca una independencia total, ya que habrá momentos en los que se necesite un aporte mínimo de la red, pero dará al usuario una mayor libertad de abastecimiento energético mediante el autoconsumo.

Para ello se plantea el estudio energético de una vivienda con ocupación de cuatro personas durante el año 2022, teniendo en cuenta todo lo que se ha consumido de luz y de gas. Para ello, se diseña/dimensiona un sistema fotovoltaico capaz de abastecer la vivienda y un sistema de almacenamiento de energía con hidrógeno para periodos de mayor demanda, que se encuentra integrado en la casa. Este sistema de hidrógeno producirá hidrógeno verde mediante electrólisis del agua, en los momentos en los que haya un exceso de energía. De esta manera, se almacenará el hidrógeno y se podrá usar en una pila de combustible para producir electricidad cuando sea necesario. Además, se estudiará la rentabilidad de esta instalación para conocer su viabilidad económica actual y futura, estimando el ahorro económico frente a una vivienda que no tenga sistema de producción y almacenamiento de energía renovable.

Para llevar a cabo este trabajo, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. En primer lugar, realizar un análisis de los consumos energéticos de la vivienda objeto de estudio, en términos de electricidad y gas, para poder determinar la cantidad de energía necesaria para abastecerla.
2. En segundo lugar, diseñar y dimensionar una instalación fotovoltaica para producir la electricidad requerida teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y geográficas de la zona.
3. En tercer lugar, diseñar/dimensionar el sistema de hidrógeno, seleccionando los componentes necesarios para el funcionamiento de la instalación de producción y almacenamiento de hidrógeno. Este paso es crucial para asegurar el suministro energético constante a la vivienda y garantizar un elevado grado de independencia energética.
4. En cuarto lugar, realizar análisis económico para evaluar la rentabilidad de la inversión, considerando diferentes escenarios y variables económicas relevantes. Esta etapa es importante para determinar si la instalación de hidrógeno es viable desde el punto de vista financiero y para establecer las condiciones óptimas para su implementación.

1.4 Solución Técnica/Resultados

1.4.1 Consumos energéticos de la vivienda

Antes de proceder a la instalación de un sistema fotovoltaico, es crucial realizar una evaluación precisa del consumo energético de la vivienda en cuestión. En el presente estudio, se ha considerado una vivienda de 190 m². Para poder determinar el consumo energético de la vivienda, se han recopilado y analizado los recibos eléctricos y de gas correspondientes al periodo de octubre de 2021 hasta octubre de 2022, abarcando así un año completo.

Los resultados de este análisis se han presentado en la *Tabla 1*, donde se destacan los datos más relevantes del consumo eléctrico. Cabe mencionar que los recibos eléctricos y de gas completos se encuentran anexados al final del trabajo en la categoría de apéndices, para una referencia más detallada.

TABLA 1. FACTURAS DE LA LUZ

Facturas de electricidad		
Mes	Consumo en el mes (kWh)	Precio total del importe (€)
Octubre - Noviembre 2021	193	40,12
Noviembre - Diciembre 2021	223	48,01
Diciembre - Enero 2022	290	63,87
Enero - Febrero 2022	221	55,71
Febrero - Marzo 2022	231	57,6
Marzo - Abril 2022	267	66,84
Abril - Mayo 2022	221	53,01
Mayo - Junio 2022	422	84,04
Junio - Julio 2022	552	185,95
Julio - Agosto 2022	678	248,78
Agosto - Septiembre 2022	435	188,45
Septiembre - Octubre 2022	313	57,47

La tabla muestra un desglose de los precios y el consumo eléctrico mensual de la vivienda de estudio. Como se puede observar, el mes de julio destaca por ser el periodo en el que se ha registrado el mayor consumo eléctrico, con un total de 670 kWh durante todo el mes. Cabe destacar que este aumento en el consumo eléctrico en los meses de verano se debe a que la vivienda cuenta con aire acondicionado en las habitaciones, y a que la depuradora de la piscina se encuentra en funcionamiento a diario, generando una alta demanda energética. Es importante tener en cuenta este tipo de factores al momento de analizar el consumo energético de una vivienda, ya que permiten identificar los picos de consumo, y, por ende, diseñar sistemas más eficientes y adaptados a las necesidades específicas de cada caso.

Con el objetivo de garantizar un alto nivel de independencia, y facilitar la sostenibilidad energética en la vivienda de estudio, se ha realizado el estudio para también la instalación fotovoltaica sea capaz de abastecer la calefacción de la vivienda. En la **Tabla 2.**, que contiene los datos más relevantes sobre el consumo de gas utilizado para la calefacción.

TABLA 2. FACTURAS DE GAS

Facturas de gas			
Mes	Consumo (m3)	Consumo (kWh)	Precio total del importe (€)
Septiembre - Noviembre 2021	146	1807,54	175,91
Noviembre - Marzo 2021-2022	599	7415,86	655,15
Marzo - Mayo 2022	134	1608,8	167,24
Mayo - Agosto 2022	29	347,31	68,18
Agosto - Septiembre 2022	13	155,33	42,62

En la Tabla 2 se presenta información detallada sobre el consumo de gas en la vivienda objeto de estudio, correspondiente al periodo de septiembre de 2021 hasta septiembre de 2022. Es importante destacar que estas facturas de gas son emitidas de forma trimestral, a excepción del periodo de noviembre a marzo, el cual hubo un problema con la compañía proveedora y se incluyó hasta febrero. En total, durante este periodo se registró un consumo de 7415,86 kWh, el cual se ha distribuido equitativamente durante los cuatro meses de noviembre a marzo, considerando un consumo mensual medio de 1853,965 kWh para este periodo. Este enfoque puede parecer conservador, ya que en meses como diciembre o enero el consumo será más alto, mientras que en noviembre y febrero será más bajo, pero se ha tomado esta consideración ya que los 1853,965 kWh ya superan de largo a cualquier mes por sí solo, y si se selecciona este consumo para el mes de diseño, no se sobredimensionará en exceso la instalación. Así se cumplirá el objetivo, el cual no es la independencia total, sino parcial, cosa que, si se toma esta medida se podrá cubrir sin problemas la mayor parte de la demanda energética durante el año.

Adicionalmente, se ha evaluado la posibilidad de utilizar una caldera eléctrica en lugar de un sistema de calefacción de gas que tiene la vivienda instalada. Este análisis permitirá determinar cuál sería el consumo energético asociado a la calefacción de la vivienda en caso de sustituir el sistema de gas por uno eléctrico. De esta manera, se podrá comparar el consumo energético entre ambos sistemas y evaluar la viabilidad de la instalación, ya que la mayoría de la energía consumida por la casa proviene del gas, por tanto, si se quiere implementar un sistema de almacenamiento energético con hidrógeno, este será mucho más rentable si también es capaz de proporcionar a la vivienda calefacción.

Para esta parte se tendrá en cuenta el COP¹⁹, un coeficiente que se trata de una medida de la cantidad de la energía térmica que se puede obtener de un sistema por unidad de energía eléctrica que se consume.

¹⁹ Fuente: Vaillant, ¿Qué es el COP?: <https://www.vaillant.es/usuarios/servicios/glosario/cop/>

En las calderas el COP se expresa como la relación entre la cantidad de calor que se produce y la cantidad de energía que consume. El COP puede calcularse mediante la *Expresión 1*.

$$COP = \frac{Q_{producido} (kWt)}{W_{consumido} (kWe)} = \frac{\text{calor producido (kW térmicos)}}{\text{consumo eléctrico (kW eléctricos)}} \quad (1)^{20}$$

De acuerdo con los valores promedio disponibles, el coeficiente de rendimiento de una caldera eléctrica de sitúa en torno a 1,1 mientras que el de una caldera de gas se encuentra en torno a 0,9.

Utilizando la expresión 1 y considerando los 1853,965 kWh como la demanda energética de calefacción para el diseño de la instalación, se puede calcular la cantidad de calor que es producida. Asimismo, teniendo en cuenta el COP de la caldera eléctrica, es posible estimar los kWh que serán necesarios para producir el mismo calor, con esta caldera.

$$Q_{producido} = COP_{CG} * W_{consumido} = 0,9 * 1853,965 = 1668 \text{ kWh}$$

$$W_{consumido} = \frac{Q_{producido}}{COP_{CT}} = \frac{1668,5685}{1,1} = 1516 \text{ kWh}$$

Por tanto, con una caldera eléctrica consumiendo 1516,88 kWh, produciendo la misma cantidad de calor que con una caldera de gas.

A pesar de esto para poder abastecer la cantidad de energía eléctrica que se consume en la vivienda, es más rentable contar con una instalación de gas, ya que el precio del kWh de la electricidad es mucho mayor que el del gas. En concreto, en España en abril de 2023, según los datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el precio medio del kWh de gas para hogares con tarifa regulada se situaba en torno a los 0,056252 euros/kWh mientras que el de la electricidad era de 0,149 euros/kWh. Por ello a no ser que se cuente con una instalación auxiliar, como una instalación fotovoltaica, es mucho más favorable económicamente una caldera de gas.

Por lo tanto, un sistema de calefacción mediante el uso de una caldera eléctrica, aunque reduzca el consumo, no saldrá rentable si no viene acompañado de una instalación fotovoltaica que abarate el precio de la electricidad. Como en este caso si se dispondrá de dicha instalación, se tomarán los 1516,88 kWh para realizar el diseño.

Entonces la adopción de un sistema de calefacción que utilice una caldera eléctrica, si bien puede contribuir a la reducción del consumo energético, resulta insuficiente para para reducir costes

²⁰ Fuente: Universidad Rey Juan Carlos Depto. Tecnología Química, Energética y Mecánica: Contenido de la asignatura energías renovables

económicos. No obstante, en este caso, se contará con una instalación que supondrá un abaratamiento de los costes energéticos, ya que se va a reducir de una manera muy significativa el consumo eléctrico de la red. Con base a esta premisa se va a tomar en cuenta un consumo de 1516,88 kWh para llevar a cabo el diseño correspondiente.

El proceso de diseño de la instalación requiere tener en cuenta diferentes variables, para asegurar que, durante el año, la instalación sea capaz de abastecer energéticamente la vivienda, se ha considerado el mes de diciembre como el mes de diseño, dado que es el mes que presenta mayor consumo eléctrico y será uno de los cuatro meses donde más consumo de gas habrá.

Para cubrir la demanda energética se ha estimado que se requerirá un total de 1806,88 kWh, durante el mes de mayor consumo (diciembre), 290 kWh de electricidad y 1516,88 kWh de calefacción, es decir, el consumo medio al día será de 60,22 kWh, potencia que se tendrá que producir con la instalación fotovoltaica.

1.4.2 Instalación fotovoltaica

1. Lugar de emplazamiento de la instalación

La instalación objeto de proyecto se ubica en una urbanización en el pueblo de Cobisa situado en Toledo sur, pueblo en Carretera CM-40. Mediante la herramienta del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC), se puede obtener la localización detallada, junto con los mapas.

Las coordenadas UTM del centro de la zona donde se localizan las actuaciones objeto de proyecto, referidas a la cartografía oficial, aparecen en el mapa nacional (Escala 1: 50.000) nº 629 – ETRS89 y son las siguientes:

X: 412,948,06 Y: 4405872,7



Figura 4. Localización de la edificación objeto de proyecto, sobre mapa nacional MTN-50.



Figura 5. Situación y emplazamiento de la instalación objeto de proyecto.

En la **Figura 4.**²¹ y en la **Figura 5.**, se muestra la vivienda donde se ubica la instalación objeto de proyecto se encuentra a una altitud de 675 metros sobre el nivel del mar y tiene una latitud de 39°47'54.12'' N.

La parcela tiene suministro de energía eléctrica y telefonía desde red de distribución pública, y suministro de agua potable.

La vivienda en cuestión cuenta con dos áreas específicas en las que se pueden instalar las placas fotovoltaicas para aprovechar la radiación solar y generar energía eléctrica de manera sostenible. La primera tiene una superficie de 13,13 m x 4,83 m, lo que equivale a un total de 64,73 m² de superficie disponible para la instalación de paneles solares. La orientación hacia el sur del tejado garantiza que reciba la máxima radiación solar posible durante el día.

La segunda zona en la que se pueden colocar placas fotovoltaicas es el porche de la casa, que se encuentra justo debajo del tejado y tiene la misma orientación hacia el sur. El porche cuenta con medidas de 7,5 m x 3,59 m, lo que corresponde a una superficie de 26,925 m². Esta área también resulta idónea para la instalación de paneles solares, ya que cumple con las mismas condiciones que el tejado.

En conclusión, si se suman la superficie del tejado y la del porche, se obtiene que la vivienda dispone de un total de 91,655 m² en la que es posible instalar las placas fotovoltaicas para producir electricidad a partir de la radiación solar.

²¹ Fuente: Las figuras 4 y 5 han sido obtenidas mediante el uso de la herramienta Sigpac: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac/default.aspx>

A continuación, se presenta una tabla que resume las superficies disponibles para la instalación de paneles solares en la casa:

TABLA 3. SUPERFICIES DISPONIBLES PARA LA INSTALACIÓN

SUPERFICIE DISPONIBLE	
SUPERFICIE TOTAL DISPONIBLE	91,655 m²
ZONA DEL TEJADO "A"	64,73 m ²
ZONA DEL PORCHE "B"	26,925 m ²

Se recomienda revisar los planos detallados de la casa, que se encuentran en los apéndices, para obtener una mejor comprensión de las zonas específicas para la instalación de los paneles solares.

2. Irradiación solar

Para llevar a cabo el diseño eficiente y adecuado de la instalación, es necesario conocer la irradiación solar que recibe la superficie donde se van a instalar los paneles solares a lo largo del año. La irradiación solar se refiere a la cantidad de energía solar que se recibe en un metro cuadrado, expresado en unidades de kWh/ m² .

Para conocer los valores medios de la irradiancia solar en cada mes del año, donde se van a instalar los paneles solares, se ha consultado en ADRASE los datos de la radiación solar de España durante 2022.

Estos valores se muestran en una gráfica que permite visualizar la variación de la irradiación a lo largo del año. Así se podrá obtener una estimación de la energía que se puede generar en cada mes del año.

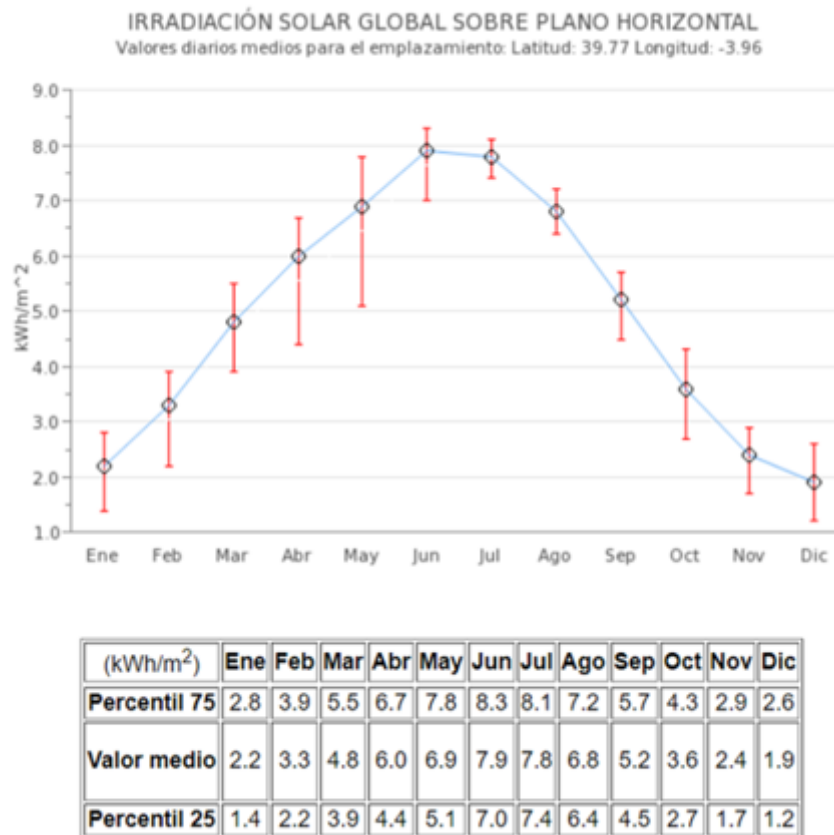


Figura 6. Irradiación solar global sobre un plano horizontal.

Con la gráfica de la **Figura 6**²², se aprecia que el mes donde más irradiación global habrá será en junio con una media de 7,9 kWh/m² por día, y el mes donde menos irradiación global habrá será en diciembre con 1,9 kWh/m² por día y siendo la media anual al día de 4,9 kWh/m².

El problema es que estos datos, corresponden a la irradiación de un plano horizontal en un lugar donde hay 39° de latitud, y la inclinación recomendada (respecto a la horizontal), en general, es la latitud del lugar más 10° o 15°, considerando un ángulo mínimo para el ecuador de 15°, para que la convección se realice adecuadamente, y como máximo 45° para los extremos de los polos.

En este caso la instalación se encuentra en Cobisa (Toledo), con una latitud Norte de 39°, por lo que la orientación de los paneles debe ser sur (justo la que tienen el tejado y el porche).

²² Fuente: ADRASE: <http://www.adrase.es/>

Ahora bien, el propio tejado y el porche ya llevan una inclinación, el porche tiene una inclinación de 13,75°, mientras que el tejado tiene una inclinación de 15°. Esto haría que los paneles estuvieran colocados con menos inclinación respectivamente, para determinar si es mejor colocar los paneles en el plano del tejado y del porche o en una estructura auxiliar, se deben tener en cuenta varios factores. Uno de ellos es la posible pérdida de eficiencia debido a la inclinación del tejado y del porche, que no son las óptimas para la generación de energía solar. Por otro lado, si se coloca una estructura auxiliar, permitiría la posibilidad de ajustar la inclinación de los paneles para maximizar la captación de energía solar.

En las siguientes imágenes se muestran los ángulos del porche y del tejado, estando los planos más detallados en los apéndices del trabajo.



Figura 7. Alzado lateral del porche donde se muestra la inclinación.

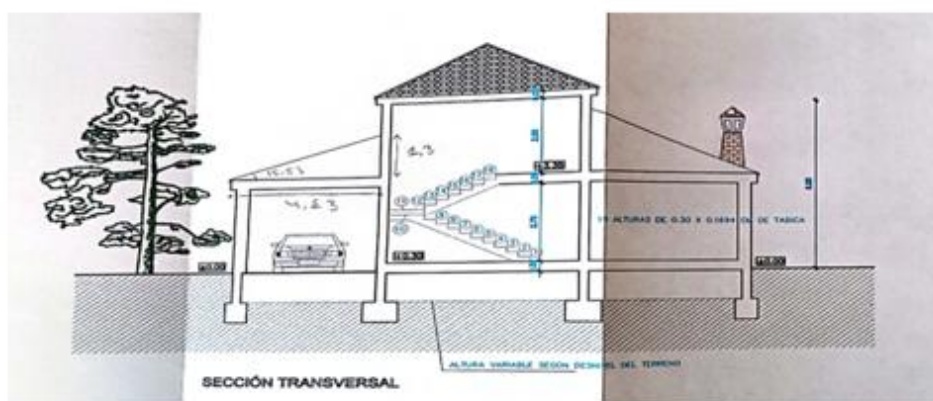


Figura 8. Sección transversal de la casa, se muestra la inclinación del tejado.

Sabiendo la inclinación del tejado y el porche, se puede usar la herramienta online de PVGIS Online tool²³, esta herramienta permite conocer la radiación que llegará a cada plano según su inclinación en el lugar que se especifique, en este caso se han elegido las coordenadas donde se ubica la vivienda.

En la primera gráfica se va a mostrar la irradiancia solar para cada mes del 2020 hasta el 2021, correspondiente a un plano con inclinación de 15°.

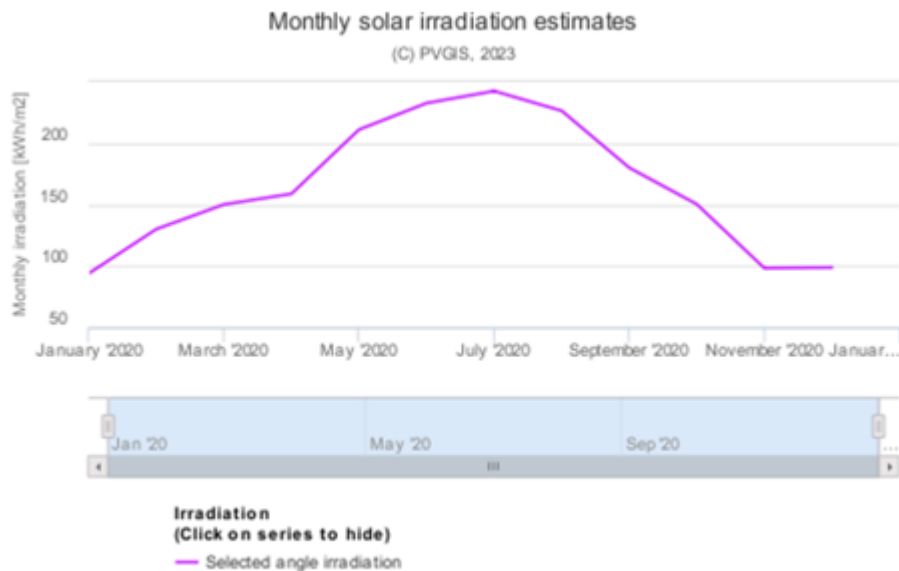


Figura 9. Irradiancia mensual en un plano de 15°.

A partir de esta gráfica se obtiene un valor de una irradiancia media de 164,31 kWh/m² cada mes, obteniendo así una irradiancia media de 5,477 kWh/m² al día.

²³Tanto los datos como las Figuras 9,10 y 11 han sido sacadas de la fuente: European Commission: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

La **Figura 10.**, muestra la irradiancia, pero con la inclinación del porche:

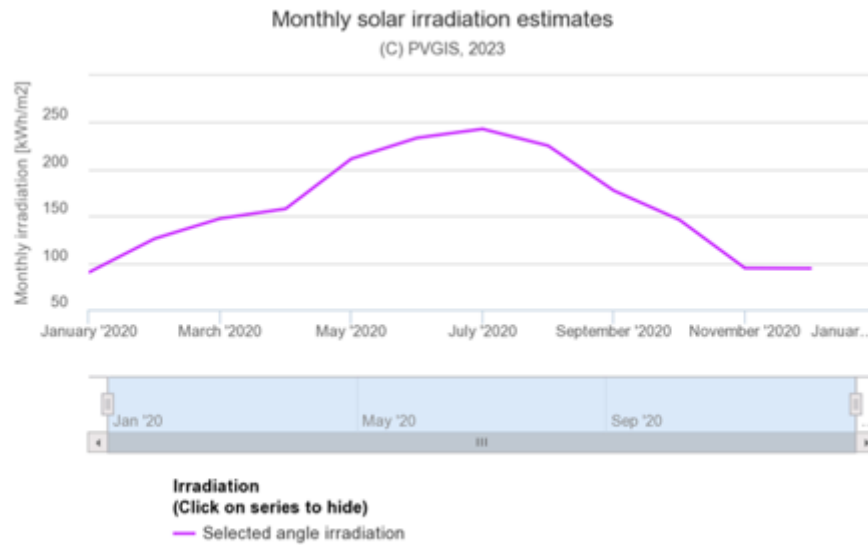


Figura 10. Irradiancia mensual en un plano de 13°

En este caso gráfica se observa un valor de una irradiancia media de $162,34 \text{ kWh/m}^2$ cada mes, obteniendo así una irradiancia media de $5,41 \text{ kWh/m}^2$ al día.

La siguiente gráfica se muestra para el ángulo de inclinación óptimo, con el que se pondrían los paneles gracias a una estructura auxiliar.

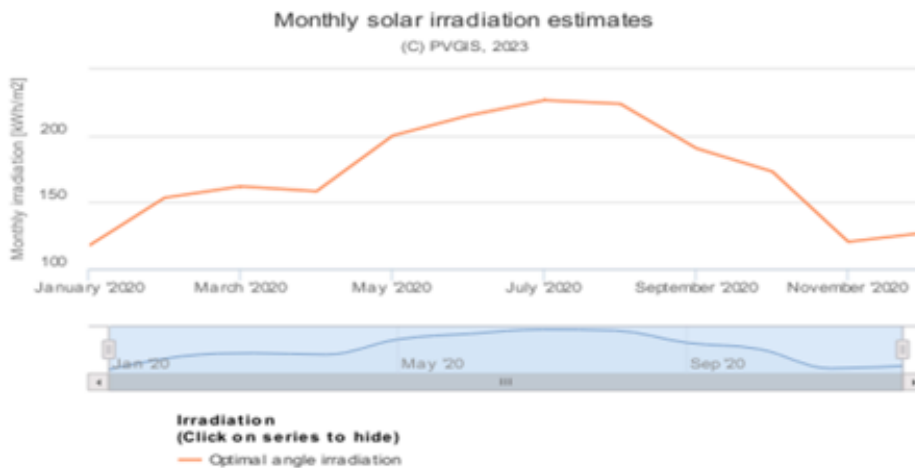


Figura 11. Irradiancia en el plano óptimo

El programa es capaz de calcular cuál sería el ángulo óptimo para obtener la máxima irradiancia posible, este sería de $23,45^\circ$ y se produciría de media por día $5,74 \text{ kWh/m}^2$. Es decir sería necesario que hacer una estructura que inclinara los paneles $7,92^\circ$ ($23,45^\circ - 15,53^\circ$).

Esta propuesta de incrementar la inclinación de los paneles solares podría potencialmente aumentar la cantidad de irradiancia recibida, lo cual tendría un impacto positivo en la producción de energía. Sin

embargo, esta medida conlleva un aumento en los costos asociados con la instalación de la estructura adicional necesaria para lograr esta inclinación. Asimismo, la elevación de los paneles respecto del tejado resultante de esta inclinación adicional limitaría la posibilidad de instalar un mayor número de paneles solares en un espacio determinado, debido a la creación de sombras que reducirían el área disponible para la instalación de paneles. Por estas razones, se ha considerado que una mejor opción es la instalación de paneles en una inclinación de 15 grados, con una disposición pegada al tejado, ya que la irradiancia conseguida con una inclinación de 23 grados no aumentaría la producción tanto como para producir más electricidad con menos paneles.

Para los cálculos y el diseño de la instalación, se utilizará una irradiancia media anual que corresponde con la inclinación de 15 grados, ya que resulta prácticamente idéntica a la obtenida en un plano de inclinación de 13 grados, además la mayor cantidad de paneles llevarán 15° de inclinación debido a que es donde se dispone de una mayor área donde poder colocarlos.

3. Instalación de paneles solares

Con base en la información recopilada en los apartados previos, se cuenta con los datos necesarios para proceder con el diseño de la instalación de paneles solares. Los parámetros de diseño que se considerarán son los siguientes:

- Como mes de diseño se ha seleccionado diciembre, debido a que es el mes en el que se consume una mayor cantidad de energía en la vivienda, se consumen 290 kWh de luz y 1516,88 kWh de calefacción, haciendo un total de 1806,88 kWh.
- Par el cálculo del diseño de la instalación de los paneles solares, se ha considerado una irradiancia media anual de 5,477 kWh/m², esta corresponde al plano del donde se colocarán las placas acostadas. No se ha escogido la irradiancia de diciembre debido a que esta última resultaría insuficiente y llevaría a un sobredimensionamiento excesivo.
- El rendimiento del sistema se ha establecido en función del rendimiento del inversor, dado que los diferentes tipos de paneles solares ya cuentan con la eficiencia en su potencia final. Para la presente instalación, se ha elegido el inversor híbrido tensite 5 kW monofásico AH5M-2, cuyo rendimiento en Europa es del 97%.

A partir de estos datos, se puede obtener la potencia pico del conjunto de placas fotovoltaicas a partir de la siguiente expresión:

$$W_{pv} = \frac{E}{G * \eta_{sistema}} = \frac{\frac{1806,88 \text{ kWh}}{30 \text{ días}}}{5,477 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} * 0,97} = 11,33 \text{ kW} \quad (2)$$

W_{pv}: potencia pico del conjunto de placas fotovoltaicas, cada uno con una potencia pico W_p

E: demanda diaria de energía (Wh)

G: Número medio de horas pico de radiación solar en el mes de diseño y para la inclinación y orientación del conjunto de placas solares (irradiancia global media)

η_{sistema} : Eficiencia total del sistema

Hay que señalar que la irradiación solar media diaria, se suele describir como número medio de horas pico, que es el número de horas de radiación a la potencia pico que se reciben en un lugar cada día. El número medio de horas pico coincide con la irradiación solar media diaria. Es por ello por lo que $(\text{kWh/m}^2 \text{ y día}) = (\text{kW/m}^2) (\text{h/día})$.

Al dividir la potencia total requerida de 11,31 kW entre la potencia unitaria de los paneles solares se obtendrá el número de paneles necesarios para cubrir la demanda energética completa de la vivienda.

Para la instalación se han considerado tres tipos de paneles solares diferentes, el primero es el Panel Solar 550W a-550M ATERS GS PERC, este panel tiene una potencia de 550 W y unas dimensiones de 2,279 m x 1,134 m.

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{11,33 \cdot 1000}{550} = 20,6 \approx 21 \text{ paneles}$$

El segundo panel es el Panel Solar 500 W Deep Blue 3.0 JA Solar, este panel tiene una potencia de 500 W y unas dimensiones de 2,093 m x 1,134 m. Las ventajas frente al otro panel, es que, aparte de ser más económico, es ligeramente más pequeño.

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{11,33 \cdot 1000}{500} = 22,66 \approx 23 \text{ paneles}$$

El tercer panel es el de menor potencia y es el Panel solar policristalino 335 W Jinko Eagle con dimensiones de 1,956 m x 0,992 m

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{11,31 \cdot 1000}{335} = 33,82 \approx 34 \text{ paneles}$$

Las fichas técnicas de los paneles se encuentran en apéndices, siendo las opciones más factibles, las placas de 500 W y de 550 W. Así que solo se considerarán estos dos tipos de paneles para ver la configuración posible de las placas.

La vivienda cuenta con dos zonas disponibles para la instalación de paneles solares el tejado y el porche, y existen dos posibles configuraciones para colocar las placas. La primera opción es la disposición de las placas siguiendo una relación larga del tejado/ancho de la placa y ancho del tejado/largo de la placa. La segunda opción es la contraria siguiendo una disposición larga del tejado/largo de la placa y el ancho del tejado/ancho de la placa.

Para los paneles solares de 550W:

Opción 1: Largo/Ancho y Ancho/Largo

$$\frac{Largo_{porche}}{Ancho_{panel}} = \frac{3,59}{1,134} = 3,165 \approx 3$$

$$\frac{Ancho_{porche}}{Largo_{panel}} = \frac{7,5}{2,279} = 3,29 \approx 3$$

Opción 2: Largo/Largo y Ancho/Ancho

$$\frac{Largo_{porche}}{Largo_{panel}} = \frac{3,59}{2,279} = 1,57 \approx 1$$

$$\frac{Ancho_{porche}}{Ancho_{panel}} = \frac{7,5}{1,134} = 6,61 \approx 6$$

En este caso la configuración apropiada sería la opción 1 ya que se podrían colocar un total de 9 paneles mientras que con la opción dos solo se podrían colocar 6.

Opción 1: Largo/Ancho y Ancho/Largo

$$\frac{Largo_{tejado}}{Ancho_{panel}} = \frac{4,93}{1,134} = 4,33 \approx 4$$

$$\frac{Ancho_{tejado}}{Largo_{panel}} = \frac{13,13}{2,279} = 5,76 \approx 5$$

Opción 2: Largo/Largo y Ancho/Ancho

$$\frac{Largo_{tejado}}{Largo_{panel}} = \frac{4,93}{2,279} = 2,163 \approx 2$$

$$\frac{Ancho_{tejado}}{Ancho_{panel}} = \frac{13,13}{1,134} = 11,57 \approx 11$$

En el tejado la configuración óptima es la dos, ya que caben 22 paneles frente a 20, en total contando las dos zonas disponibles, se pueden colocar un total de 31 paneles, siendo necesarios para abastecer la casa 21, por lo que sería una opción viable.

Para los paneles solares de 500W:

Opción 1: Largo/Ancho y Ancho/Largo

$$\frac{Largo_{porche}}{Ancho_{panel}} = \frac{3,59}{1,134} = 3,165 \approx 3$$

$$\frac{Ancho_{porche}}{Largo_{panel}} = \frac{7,5}{2,093} = 3,58 \approx 3$$

Opción 2: Largo/Largo y Ancho/Ancho

$$\frac{Largo_{porche}}{Largo_{panel}} = \frac{3,59}{2,093} = 1,71 \approx 1$$

$$\frac{Ancho_{porche}}{Ancho_{panel}} = \frac{7,5}{1,134} = 6,61 \approx 6$$

Igual que en el anterior caso la configuración apropiada sería la opción 1 ya que se podrían colocar un total de 9 paneles mientras que con la opción dos solo se podrían colocar 6.

Opción 1: Largo/Ancho y Ancho/Largo

Opción 2: Largo/Largo y Ancho/Ancho

$$\frac{Largo_{tejado}}{Ancho_{panel}} = \frac{4,93}{1,134} = 4,35 \approx 4$$

$$\frac{Largo_{tejado}}{Largo_{panel}} = \frac{4,93}{2,093} = 2,35 \approx 2$$

$$\frac{Ancho_{tejado}}{Largo_{panel}} = \frac{13,13}{2,093} = 6,27 \approx 6$$

$$\frac{Ancho_{tejado}}{Ancho_{panel}} = \frac{13,13}{1,134} = 11,57 \approx 11$$

En el caso del tejado, se produce un cambio en la distribución de los paneles solares, y se ha determinado que la opción más favorable es la opción 1, ya que permite acomodar un total de 24 paneles en comparación a la opción 2 que permitiría un total de 22 paneles. Al utilizar paneles de 500 W, se obtiene espacio para colocar 33 paneles, de los cuales solo se requieren 23 para cubrir la demanda completa de la vivienda.

En las siguientes tablas, se muestra un resumen de las posibles configuraciones de los paneles:

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS PANELES EN EL PORCHE

Opciones de paneles en el porche		
Tipos de paneles	Nº de paneles de 550 W	Nº de paneles de 500 W
Opción 1 (Largo/Ancho y Ancho/Largo)	9	9
Opción 2 (Largo/Largo y Ancho/Ancho)	6	6

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS PANELES EN EL TEJADO

Opciones de paneles en el tejado		
Tipos de paneles	Nº de paneles de 550 W	Nº de paneles de 500 W
Opción 1 (Largo/Ancho y Ancho/Largo)	20	24
Opción 2 (Largo/Largo y Ancho/Ancho)	22	22

Las celdas resaltadas representan el número máximo de paneles que se pueden colocar, en la configuración que se ha seleccionado.

En este apartado, al realizar los redondeos, se ha optado por ser conservadores y seleccionar siempre la opción más desfavorable. Esto asegura que el número de paneles pueda ajustarse dentro de la superficie disponible si riesgo a excederla.

Después de considerar ambas opciones de paneles para la instalación, se ha llegado a la conclusión de que ambas son viables. Sin embargo, la elección final entre los dos tipos de paneles se ha basado en el precio. Después de evaluar los costos, se ha optado por utilizar los paneles de 500 W, ya que presentan un precio de 181,15 € en comparación a los de 550 W que tienen un coste de 215,17 €.

La potencia que se va a podría llegar a generar con 33 paneles de 500 W sería de 16500 W, aunque debido al espacio, dado que no es posible aprovechar completamente el tejado y el porche, se colocarán

las 23 placas necesarias para abastecer la vivienda, dejando espacio por si en un futuro se quiere aumentar la potencia de la instalación. Las 23 placas supondrían un coste total de 4.166 €.

4. Cálculo de inversores

En el contexto de una instalación fotovoltaica, los inversores desempeñan un papel muy importante debido a la necesidad de convertir la corriente continua generada por los paneles solares, mediante el efecto fotovoltaico, en corriente alterna. Esta electricidad es la utilizada por la mayoría de los dispositivos y equipos eléctricos, así como por la red eléctrica convencional.

Además de su papel en la conversión de la corriente, los inversores también cumplen una función crucial en términos de protección y seguridad del sistema fotovoltaico. Estos dispositivos están equipados con mecanismos de protección que actúan ante situaciones de sobretensiones o cortocircuitos, lo cual ayuda a prevenir daños tanto en los paneles solares como en otros componentes del sistema. Para un correcto diseño y dimensionado de los inversores, es necesario conocer las características de los paneles que se van a utilizar, así como las del propio inversor. Las características que se necesitarán para los cálculos de este apartado se encuentran en las siguientes tablas²⁴:

TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES SOLARES

Características de DEEP BLUE 3.0 JAM66S30-500/MR	
Pmx	500 W
Voc	45,59 V
Vmp	38,35 V
Isc	13,93 A
Imp	13,04 A
Eficiencia	21%
α_{Isc} (%°C)	0,045
β_{Voc} (%°C)	-0,275
γ_{Pmp} (%°C)	-0,35
Tmx	85°
Tmin	-40°
Tref	25°

²⁴Las características de los inversores y paneles, han sido sacadas de los proveedores: Auto Solar Placas e inversores: https://autosolar.es/kits-solares?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Busqueda-Placas-solares&utm_term=paneles%20solares&gclid=CjwKCAjwjYKjBhB5EiwAiFdSfr_t6-dchQIJd6826DcjBnT07CjhbkCL6bWC_MP7ZmLXAbGPoWBDChoC-pQQAyD_BwE&gclid=aw.ds
Placas solares 500W: <https://itsenergiasolar.es/producto/panel-solar-policristalino-335w-jinko-72-celulas/>

TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERSORES

Características Inversor Híbrido Tensite 5kW	
Potencia máxima recomendada	7500 W
Tensión de entrada máxima	550 V
Tension nominal de entrada	380 V
Rango de voltaje del MPPT	40-530 V
Tension minima de entrada/ tensión de arranque	40V/50V
Intensidad máxma de entrada	16A en cada MPPT
Intensidad máxima de cortocircuito	20 A
Número de seguidores MPPT	2
Entradas fotovoltaicas para cada MPPT	1

En base a las características técnicas de los equipos disponibles, es posible proceder al diseño y dimensionado de los inversores. El inversor seleccionado se trata del inversor híbrido tensite 5kW monofásico, que tiene un precio de 1800€. Es importante destacar que todas las fichas técnicas correspondientes a los equipos utilizados se encuentran detalladas en el apartado de apéndices.

4.1 Temperatura de operación de la célula

La temperatura es un factor muy importante que tener en cuenta, en el dimensionado de los paneles solares, ya que la temperatura de la célula va a afectar a la eficiencia de la placa. Principalmente la temperatura afecta a los valores de voltaje, que se reducen al aumentar la temperatura. Por ello es importante determinar la temperatura de operación de la célula. Esta se puede hallar mediante la siguiente expresión:

$$T_c = T_a + G * \frac{T_{cn}-20}{800} \quad (3)$$

T_c : La temperatura de operación de la célula

T_a : La temperatura ambiente de la zona

G: Número medio de horas pico de radiación solar en el mes de diseño y para la inclinación y orientación del conjunto de placas solares (irradiancia global media)

T_{cn} : Es la temperatura de operación nominal de la célula (también llamado TONC) y es la temperatura que alcanza cuando se somete a una irradiancia de 800 W/m^2 con distribución espectral AM 1,5 G, a la temperatura ambiente de 20° y velocidad del viento 1 m/s. Suelen ser entorno a los $40-45^\circ\text{C}$.

Para calcular la temperatura de operación a la que van a trabajar las placas, se necesita información sobre las temperaturas donde se van a instalar las placas. En este caso se van a usar las temperaturas registradas en Toledo.²⁵

TABLA 8. TEMPERATURAS DURANTE EL AÑO 2022

Temperaturas durante 2022	
T máxima en el año 2022	42°C
T mínima en el año 2022	-6°C
T ambiente anual	21°C

TABLA 9. TEMPERATURAS CRÍTICAS

Temperaturas durante los meses críticos			
Julio		Diciembre	
Tamb máxima	27° C	Tamb mínima	6°C
Irradiancia	975 W/m2	Irradiancia	237,5 W/m2

Con el uso de la expresión 3 y los datos se puede sacar:

$$T_{cmx} = 27 + 975 * \frac{45 - 20}{800} = 57,46^{\circ}C$$

$$T_{cmin} = 6 + 237,5 * \frac{40 - 20}{800} = 11,93^{\circ}$$

Para determinar la temperatura de operación máxima en la instalación fotovoltaica, se ha considerado la temperatura ambiente durante el mes de julio, combinada con la irradiancia correspondiente a dicho periodo. Además, se ha utilizado la temperatura de operación nominal más elevada para garantizar que no se alcance dicho límite durante el funcionamiento del sistema. Esta aproximación asegura que la instalación pueda operar de manera segura y eficiente, sin exceder los valores máximos de temperatura recomendados.

Se ha llevado un procedimiento análogo para determinar la temperatura de operación mínima. En este caso, se ha tenido en cuenta los valores de diciembre.

Esta metodología permite evaluar y tener en cuenta las condiciones extremas tanto de temperatura alta como baja, optimizando así el rendimiento y la durabilidad de la instalación fotovoltaica.

4.2 Número de módulos en serie por cada inversor

²⁵ Fuente: Weather Spark: Datos meteorológicos Toledo 2022: <https://es.weatherspark.com/h/y/35355/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Toledo-Espa%C3%B1a>

Entre las características del inversor se encuentra el rango de tensiones de máxima potencia (V_{mp}) y la tensión máxima de corriente continua ($V_{DC\ max}$).

La tensión generada por los módulos fotovoltaicos en serie debe situarse dentro de esos márgenes ya que el inversor realiza el seguimiento del punto de máxima potencia.

Para calcular el número máximo y mínimo de módulos en serie hay que tener en cuenta el factor de variación de la tensión máxima y/o de circuito abierto con la temperatura. Este dato viene en la tabla 4, y es necesario hacer una conversión de unidades para tener $V/^{\circ}C$ ya que en la ficha dan el valor en unidades de $\%/^{\circ}C$. Esta conversión se obtiene multiplicando la tensión de circuito abierto de la placa por el valor que marque la ficha.

$$\beta_{V_{OC}} = -0,00275 * V_{OC} = -0,00275 * 45,59 = -0,12537 \frac{V}{^{\circ}C}$$

Con la información proporcionada, como los datos de temperatura y el voltaje a máxima potencia de las placas solares, es posible determinar el rango de voltajes de máxima potencia a temperaturas altas y bajas.

Utilizando las expresiones 4 y 5, que se encuentran detalladas, se puede establecer una relación entre la temperatura y el voltaje a máxima potencia de las placas solares. Estas expresiones permiten estimar el comportamiento del voltaje en función de la temperatura máxima y mínima.

$$V_{mp}(T_{min}) = V_{mp}(T_{ref}) + \beta_{V_{OC}}(T_{min} - T_{ref}) = 38,35 - 0,12537(11,93 - 21) = 36,8 \text{ V} \quad (4)$$

$$V_{mp}(T_{mx}) = V_{mp}(T_{ref}) + \beta_{V_{OC}}(T_{mx} - T_{ref}) = 38,35 - 0,12537(57,46 - 21) = 33,4 \text{ V} \quad (5)$$

Al evaluar estas expresiones y considerar las temperaturas máximas y mínimas esperadas en el entorno de la instalación, se puede obtener el rango de voltajes de máxima potencia para estas condiciones. Este rango de voltajes permite determinar el número de paneles en serie que se pueden conectar, ya que se debe garantizar que el voltaje total se encuentre dentro de los límites compatibles del inversor y del sistema.

De la manera análoga se tiene que hacer para el voltaje de circuito abierto de la placa mediante la expresión 6 y 7:

$$V_{oc}(T_{min}) = V_{oc}(T_{ref}) + \beta_{V_{OC}}(T_{min} - T_{ref}) = 45,59 - 0,12537(11,93 - 21) = 46,7 \text{ V} \quad (6)$$

$$V_{oc}(T_{mx}) = V_{oc}(T_{ref}) + \beta_{V_{OC}}(T_{mx} - T_{ref}) = 45,59 - 0,12537(57,46 - 21) = 41 \text{ V} \quad (7)$$

Con estos datos calculados de los paneles y las características del inversor seleccionado, se podrán sacar el número mínimo y el número máximo de paneles en serie que debe haber para garantizar un correcto funcionamiento de la instalación.

Por lo tanto, el número máximo de paneles en serie que aseguran un equilibrio entre los requisitos del inversor y las características de los paneles que se colocaran será:

$$N_{mx}^{\circ} = \frac{V_{DCMX}(inversor)}{V_{OC-10^{\circ}}} = \frac{550 V}{46,7271 V} = 11,77 \approx 11 \text{ paneles}$$

Mientras que para asegurar un correcto de la instalación el número mínimo de paneles en serie deberá de ser el siguiente:

$$N_{min}^{\circ} = \frac{V_{mpmin}(inversor)}{V_{mpTmx}} = \frac{40 v}{33,429 V} = 1,1965 \approx 2 \text{ paneles}$$

En estos casos siempre se redondea hacia la situación más desfavorable para asegurar que no falle en funcionamiento optando así por un diseño conservador.

Con estos datos llegamos a la conclusión que el número de paneles en serie oscilará entre 2 y 11, como en total son necesarias 23 placas, existen varias opciones para llevar a cabo la instalación.

Cómo se pueden instalar los 23 paneles, se pueden colocar 2 grupos de 8 paneles y 1 grupo de 7 paneles, 3 grupos de 6 paneles y 1 grupo de 5, o 5 grupos de 4 paneles y 1 grupo de 3 paneles. La opción más razonable y mejor distribuida será la de 3 grupos de 6 paneles y un grupo de 5. Pudiendo poner los 5 grupos de 4 paneles en el tejado y 1 grupo de 3 en el porche. Teniendo un total de 23 paneles.

Ahora hay que verificar si la configuración seleccionada es correcta:

$$V_{mptmx} = 6 * 33,429V = 200,5V$$

$$V_{mptmin} = 6 * 36,86289V = 221,2 V$$

$$V_{octmin} = 6 * 46,7271V = 280,4 V$$

Con este sencillo calculo se verifica que se cumplen las condiciones relacionadas con los voltajes:

1. La primera condición establece que el voltaje a máxima potencia a la temperatura máxima se encuentre por encima del voltaje mínimo requerido por el inversor (70V), teniendo un voltaje de 200,574 V se cumple esta condición.
2. La segunda condición implica que el voltaje a mínima potencia a la temperatura mínima se encuentre por debajo del voltaje máximo permitido por el inversor (550 V), como se dispone de 221,17734 V, esta condición también se cumple.

3. La tercera condición implica que el voltaje a circuito abierto de los paneles solares se encuentra por debajo de la tensión máxima de entrada especificada por el inversor (550 V), siendo esta 280,3626 V, asegurando el voltaje no lo superará.

Por lo tanto, se puede asegurar que, respecto a las temperaturas, esta configuración sería válida con el inversor seleccionado. Además, queda verificado que los valores de voltaje generados a lo largo del año no causarían efectos adversos en la instalación, brindando así un desempeño óptimo y seguro al sistema fotovoltaico.

4.3 Número de módulos en paralelo por cada inversor

El proceso de cálculo de las corrientes en los inversores es similar al cálculo de los voltajes. Si, el voltaje limitaba la cantidad de paneles en serie que podían ser colocados, la corriente será el factor limitante que determine el número de paneles en paralelo que se pueden conectar.

En este caso, se requiere conocer las especificaciones del panel, específicamente la corriente a máxima potencia, la corriente de cortocircuito y factor de variación de la corriente máxima y/o de circuito abierto con la temperatura. Además, del inversor, se necesita la intensidad máxima de cortocircuito. Siendo estos los datos fundamentales para asegurar una correcta configuración.

$$\alpha_{I_{OC}} = 0,045 * I_{sc} = 0,00045 * 13,93 = 0,0062685 \frac{A}{^{\circ}C}$$

Utilizando expresiones como la 4 y 5 para la corriente a máxima potencia, se pueden obtener los siguientes parámetros de la corriente a máxima potencia:

$$I_{mp}(T_{min}) = I_{mp} + \alpha_{I_{oc}}(T_{min} - T_{ref}) = 13,93 + 0,0062685(11,93 - 21) = 13 A$$

$$I_{mp}(T_{mx}) = I_{mp} + \alpha_{I_{oc}}(T_{mx} - T_{ref}) = 13,93 + 0,0062685(57,46 - 21) = 13,3 A$$

Aplicando las mismas relaciones para la corriente de circuito abierto se tiene:

$$I_{sc}(T_{min}) = I_{sc} + \alpha_{I_{oc}}(T_{min} - T_{ref}) = 13,04 + 0,0062685(11,93 - 21) = 13,9 A$$

$$I_{sc}(T_{mx}) = I_{sc} + \alpha_{I_{oc}}(T_{mx} - T_{ref}) = 13,04 + 0,0062685(57,46 - 21) = 14,1 A$$

Con las corrientes ya calculadas, es posible determinar el número de inversores necesarios para cada grupo en paralelo de paneles. Este número se obtiene mediante el cociente de la intensidad máxima de cortocircuito y la máxima corriente de cortocircuito a temperatura máxima del panel. Sin embargo, después habrá que realizar las verificaciones para asegurar que se cumplen los valores requeridos para el funcionamiento del sistema

$$N_{mx}^{\circ} = \frac{I_{sc}}{I_{sc}(T_{mx})} = \frac{20}{14,1585} = 1,41 \text{ Inversores}$$

Se observa que la corriente a máxima potencia de los paneles solares es de 14,15 A, la cual se encuentra por debajo de la capacidad de entrada de 16 A de casa una de las entradas MPPT del inversor.

Se puede concluir que se requerirá un inversor por cada grupo de paneles en paralelo instalado. Sin embargo, en el caso del modelo de inversor seleccionado, este cuenta con dos seguidores MPPT independientes. Esto implica que se pueden conectar dos grupos de paneles en paralelo por cada inversor, ya que cada entrada del inversor puede gestionar dos fuentes de energía independientes y funcionar como dos inversores independientes.

Además, este tipo de inversores al ser un inversor híbrido, aparte de convertir la corriente continua a alterna, también tiene la capacidad de gestionar múltiples fuentes de energía, como la energía solar, la de la red eléctrica y la de las baterías de almacenamiento. Esto proporciona al inversor la capacidad de optimizar las fuentes de energía, priorizando la energía solar cuando está disponible, y utilizando la energía de la red eléctrica en momentos de baja generación solar y el almacenado en las baterías para su uso posterior.

4.4 Configuración final seleccionada

En la configuración seleccionada para la instalación de paneles solares en la vivienda, se utilizarán un total de 23 placas solares, las cuales se distribuirán en cuatro grupos en paralelo. De estos grupos, tres de ellos contarán con 6 paneles conectados en serie y se ubicarán en el tejado, mientras que el cuarto grupo, compuesto por 5 placas en series se instalará en el porche.

Para poder conectar estos cuatro grupos en paralelo, se requerirán dos inversores, ya que cada inversor cuenta con dos entradas MPPT independientes cada uno. De esta manera, se garantiza la independencia y eficiencia en el seguimiento de la máxima potencia para cada grupo de paneles.

Para concluir con este apartado de la instalación fotovoltaica, se presentan las siguientes imágenes que ilustran la disposición y distribución de los equipos una vez se hayan instalado:



Figura 12. Distribución de los paneles en el tejado y el porche

Esta imagen ²⁶proporciona una representación visual de cómo quedaría la instalación una vez todos los equipos estén correctamente colocados, teniendo en cuenta las consideraciones técnicas y de eficiencia energética para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema fotovoltaico.

²⁶ Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN): <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/031420.html>

1.4.2 Instalación de hidrógeno

1. Sistemas de almacenamiento

En el apartado anterior se detalló el funcionamiento de la instalación fotovoltaica diseñada para proveer de electricidad y calefacción a la vivienda. Con el objetivo de poder satisfacer una demanda diaria de 60,22 kWh, es imprescindible contar con sistemas de almacenamiento de energía, ya que parte del consumo se generará en momentos en los que no haya radiación solar disponible.

Para garantizar el suministro eléctrico durante los periodos de baja generación por parte de las placas, la instalación está equipada con dos sistemas de almacenamiento de energía. Estos sistemas permitirán utilizar el exceso de energía (producido en las horas punta), en momentos de escasa producción fotovoltaica, asegurando así un suministro continuo y estable de energía para cubrir las necesidades de la vivienda.

El primer sistema de almacenamiento de energía es el sistema de almacenamiento a corto plazo, el cual consta de dos baterías de litio. Este sistema está diseñado para funcionar de manera continuada a lo largo de todo el año. Durante los meses de mayor radiación solar, puede operar en combinación con los paneles solares como la única fuente de energía eléctrica para la vivienda. Sin embargo, durante el invierno o en días con poca exposición solar, la capacidad de las baterías no será suficiente para cubrir la demanda energética del hogar.

Las baterías seleccionadas para este sistema son dos baterías Easy Battery EB348ES, cada una con una capacidad de 15 kWh. Al conectarlas en paralelo, se logra una capacidad total de 30 kWh. Aunque esta capacidad no es suficiente para abastecer la vivienda de manera independiente durante los meses de invierno, es capaz de cubrir la demanda eléctrica durante las horas nocturnas en los meses de verano, ya que la radiación solar durante el día es alta, y hay muchas horas de luz, lo que conlleva pocas horas en las que no hay producción de los paneles, permitiendo a las baterías poder mantener el suministro eléctrico hasta el día siguiente, donde las baterías se recargan nuevamente. Sin embargo, durante el resto del año, este sistema de almacenamiento a corto plazo funcionará como respaldo del sistema de almacenamiento a largo plazo: el sistema de almacenamiento de hidrógeno.

En la *Figura 13. Y 14.*²⁷ Se muestra un esquema del funcionamiento del sistema de almacenamiento a corto plazo

²⁷ Fuente figuras 13,14 y 15: Esquema de la estación de hidrógeno doméstico de HPS PICEA: <https://www.homepowersolutions.de/produkt/>

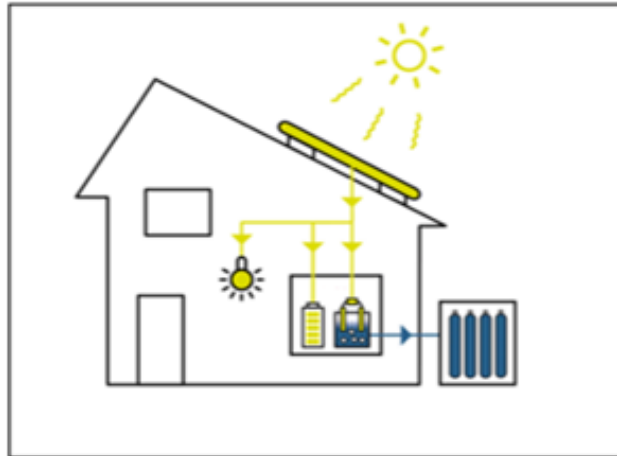


Figura 13. Sistema de almacenamiento a corto plazo durante el día.

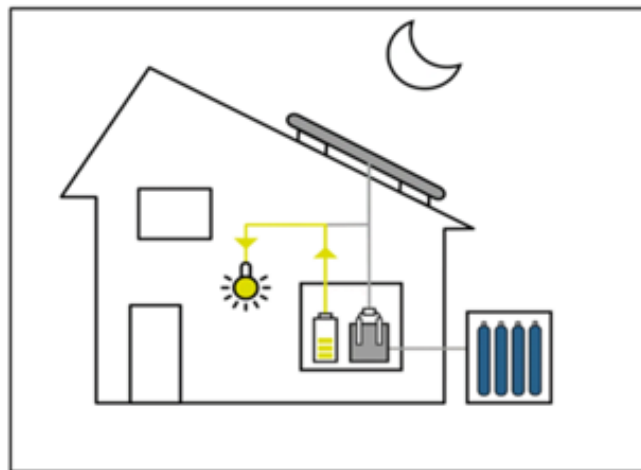


Figura 14. Sistema de almacenamiento a corto plazo durante la noche.

En las imágenes se puede apreciar que durante el día la fuente de energía son las placas solares, además se cargan las baterías y se produce hidrógeno para almacenarlo, mientras que por las noches la fuente de energía son las baterías.

El sistema de almacenamiento a largo plazo es el sistema de almacenamiento de energía mediante hidrógeno. Este sistema se basa en la producción de hidrógeno verde a través de un electrolizador. El electrolizador utiliza corriente eléctrica para llevar a cabo el proceso de electrólisis, mediante el cual se separa el hidrógeno del agua y se almacena posteriormente. Una vez obtenido el hidrógeno, se comprime para su adecuado almacenamiento y posterior uso en una pila de hidrógeno para la generación de electricidad cuando sea necesario.

Este sistema de almacenamiento de energía a largo plazo se emplea cuando las baterías no pueden cubrir por completo el suministro energético de la vivienda, especialmente durante periodos con pocas horas de luz solar. En esta etapa, el sistema de almacenamiento a corto plazo pasa a un segundo plano, y una

vez que se ha agotado la energía almacenada en las baterías, se recurre al sistema de hidrógeno para suministrar electricidad a la vivienda y recargar nuevamente las baterías.

El sistema de almacenamiento de hidrógeno permite almacenar una mayor cantidad de energía en comparación con las baterías, lo que lo convierte en una solución efectiva para abastecer de energía a la vivienda durante periodos prolongados, es decir, cuando se tiene poca radiación solar como en invierno, garantizando un suministro continuo y confiable de energía a la vivienda.

En la **Figura 15**, se ilustra el funcionamiento del sistema de almacenamiento a largo plazo, en meses de invierno.

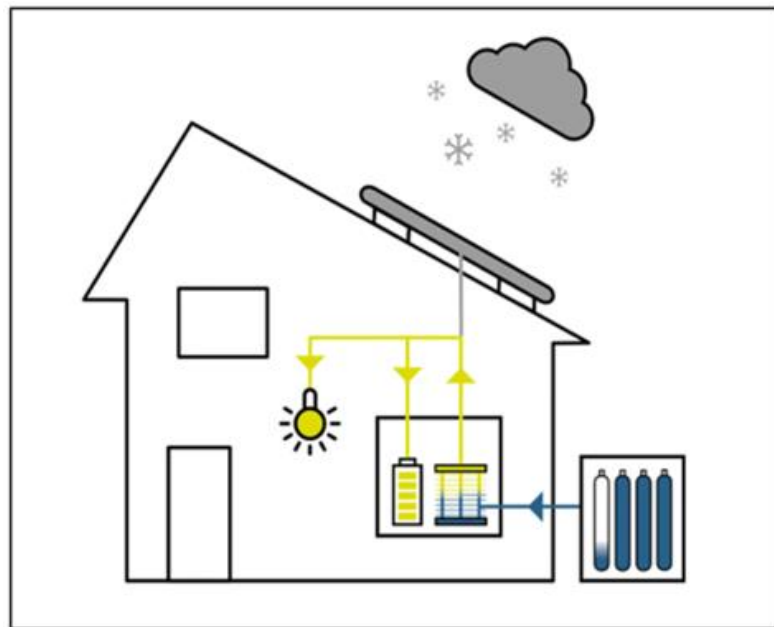


Figura 15. Sistema de almacenamiento a largo plazo

Se puede observar cómo los paneles no están en funcionamiento, y lo que proporciona suministro eléctrico y de calefacción, es el hidrógeno almacenado que se está utilizando.

2. Componentes de los sistemas

2.1 Controlador de carga solar

Un controlador de carga solar (del inglés “solar charge controller”), conocido también como regulador de carga solar, es un dispositivo esencial en los sistemas de energía solar fotovoltaica. Su función principal es regular la carga de las baterías y controlar la cantidad que fluya hacia las baterías o en este caso, que vaya alternando y regulando la electricidad que le llega a las baterías o al electrolizador. También es el que se va a encargar de distribuir la electricidad generada por la pila de combustible.

Al seleccionar un controlador de carga solar, es esencial considerar la capacidad de corriente y voltaje adecuados para el sistema, así como las características específicas para su aplicación. En este trabajo se han evaluado tres posibles opciones para cumplir con los requisitos del proyecto.

La primera opción es un controlador de carga solar PWM (Pulse Width Modulation). Este tipo de controlador es la alternativa más económica y básica, adecuada para sistemas de baja potencia. Los controladores PWM regulan la carga de la batería mediante la modulación del ancho de pulso, lo que permite un control eficiente de la energía solar.

La segunda opción es un controlador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking). Estos controladores son más eficientes en la conversión de energía solar y son ideales para sistemas de mayor potencia. Utilizan técnicas avanzadas de seguimiento del punto de máxima potencia para extraer la máxima cantidad de energía posible de los paneles solares, optimizando así el rendimiento del sistema.

La tercera opción es un controlador de carga All-in-One, que combina múltiples funciones relacionadas con la carga y gestión de la energía solar en un solo dispositivo. Estos controladores están diseñados para simplificar y optimizar la instalación de sistemas solares, además de ofrecer funciones adicionales, como la capacidad de funcionar como inversores.

Para la instalación, se necesitarán dos controladores solares conectados debido a que se cuenta con dos fuentes de energía independientes: los paneles solares y la pila de combustible. El primero controlador que se utilizará es un controlador MPPT. Se ha seleccionado un modelo FLEXMAX MPPT 300 V ²⁸ para esta función. Este controlador se encargará de gestionar la energía producida por los paneles solares.

Dado que se espera recibir voltajes de hasta 280 V de los paneles solares, se ha optado por un controlador capaz de soportar hasta 300 V. También tiene una corriente de entrada máxima de 64 A, ya que, se dispondrá de 4 grupos de paneles, cada grupo tiene una corriente de cortocircuito de 14,15 A, llegado a una corriente máxima de 56,6 A. El controlador distribuirá eficientemente la electricidad generada,

²⁸ Fuente: Renovables del sur: <https://renovablesdelsur.com/reguladores-solares-mppt/801-regulador-solar-outback-flexmax-100-mppt-300v.html>

dependiendo de la demanda de la vivienda en el momento para garantizando una carga óptima de las baterías y un suministro constante.

En el segundo controlador de la instalación, se ha evaluado la opción de utilizar tanto un controlador PWM como un controlador All-in-One. Este controlador es el encargado de recibir la energía de la pila de combustible, por ello la capacidad de transformarla a corriente continua a alterna es lo que ha determinado que se elija el controlador All-in-One. Después de transformar la electricidad, el controlador devuelve la energía al circuito inicial para que el controlador MPPT, distribuya la electricidad.

El modelo seleccionado, es un controlador Rover 60 ²⁹A. Ese controlador tiene una capacidad máxima de voltaje de entrada de 150 V y una corriente máxima de 60 A. También dispone de dos puertos de salida y una entrada, lo que permite realizar las conexiones entre la pila de combustible y el circuito inicial. Sin embargo, debido a que este controlador por sí solo no sería capaz de gestionar la electricidad proveniente de los paneles solares, se requiere una configuración adicional.

Para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro de los controladores solares, se realizará una configuración para ajustar las tensiones y parámetros necesarios. Estos controladores además de estar conectados en serie podrán ser conectados a través de puertos de comunicación o puerto de monitorización, lo que permitirá establecer conexiones externas.

En este caso, la conexión de ambos controladores permitirá que el controlador MPPT sea responsable de gestionar la energía proveniente de los paneles solares y las baterías, mientras que el controlador All-in-One se encargará de controlar la energía que proviene de la pila de combustible. Esta configuración asegurará un funcionamiento eficiente y coordinado de ambos sistemas de generación de energía en la instalación.

²⁹ Fuente: Renogy: <https://es.renogy.com/content/RVR203040/RNG-210324-RVR203040%EF%BC%88SP%EF%BC%89.pdf>

En la siguiente figura se puede apreciar un esquema de como quedaría la distribución de los equipos.

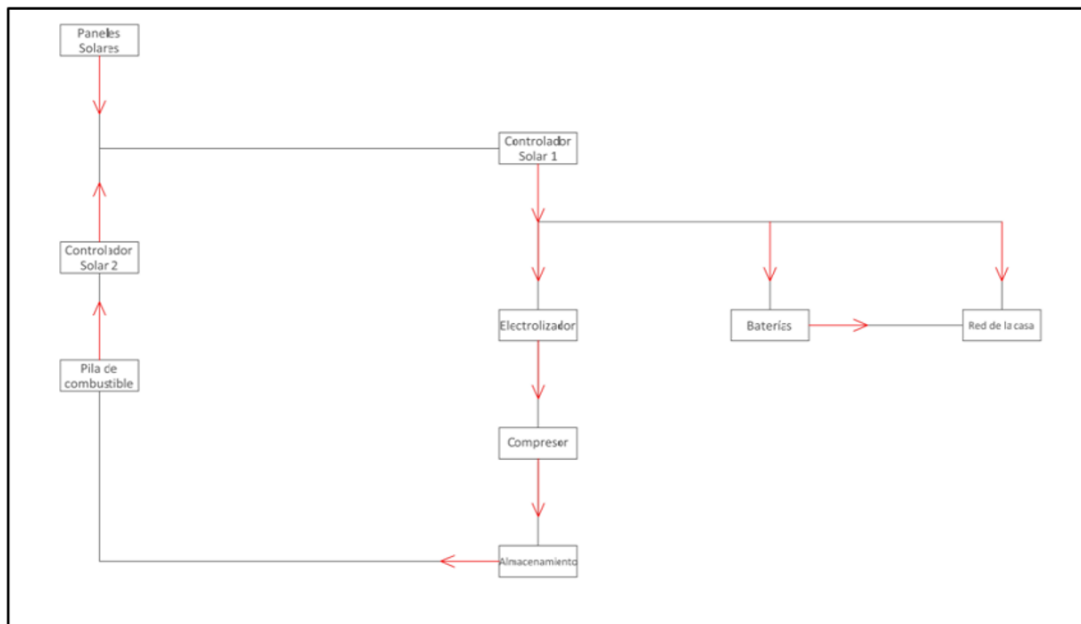


Figura 16. Esquema de las conexiones de la instalación

En el diagrama se puede apreciar lo previamente explicado, la energía solar llegaría a controlador MPPT, para que este distribuya la electricidad entre toda la instalación, cargando las baterías y descargándolas cuando fuera necesario. También es el que pone en marcha al electrolizador para producir hidrogeno, este hidrogeno luego será el que produzca electricidad de la pila de combustible, para que el controlador Rover 60 A, devuelva la electricidad al controlador MPPT.

Los precios de los modelos seleccionados son de 1781 € para el regulador solar FLEXMAX 100 MPPT 300 V, mientras que el controlador Rover 60 tiene un precio de 399 \$, que al convertirlo a euros sería aproximadamente 363 €.

El precio del regulador solar FLEXMAX 100 MPPT 300 V se debe a su capacidad para manejar un mayor voltaje y potencia, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de mayor escala. Por otro lado, el controlador Rover 60 A tiene un precio más económico, lo que lo convierte en una opción más asequible para sistemas de menor potencia.

Considerando los precios de ambos controladores, el costo total de adquirir ambos modelos sería de 2144, 59 €. Las fichas técnicas de los equipos se encuentran el apartado de apéndice del proyecto.

2.2 Baterías

Las baterías desempeñan un papel esencial en la instalación, ya que constituyen el sistema de almacenamiento de energía a corto plazo descrito previamente. Este sistema se utiliza como respaldo del sistema principal y se aprovecha especialmente en los días con mayor disponibilidad de energía

solar. Al seleccionar las baterías, se ha tenido en cuenta principalmente dos aspectos que son: capacidad y precio.

Para este proyecto, se han elegido las baterías Easy Battery EB248ES³⁰, que son baterías recargables de litio utilizadas en sistemas de almacenamiento de energía. El uso de litio confiere a estas baterías una mayor densidad de energía y densidad de carga en comparación con las baterías de plomo-ácido convencionales, lo que las hace ideales para instalaciones solares fotovoltaicas. Estas baterías están diseñadas para ofrecer una alta capacidad de almacenamiento y una larga vida útil.

Una de las ventajas de estas baterías es que tienen una mayor cantidad de ciclos de vida en comparación con las baterías plomo-ácido mencionadas anteriormente. Esto significa que pueden soportar un mayor número de ciclos de carga y descarga antes de que su capacidad se degrade significativamente.

En este trabajo, se consideraron dos tipos de baterías. La primera opción fue la Tesla Powerwall 2³¹, que fue descartada debido a su alto precio en comparación con las baterías TerrePower EB. Estas últimas, cuentan con una capacidad de 12 kWh, son una solución atractiva para el almacenamiento de energía. Utilizan un sistema avanzado de células de litio tipo NMC, lo que les confiere una vida útil estimada de más de 10 años. Además, están diseñadas con sistemas de protección integrados para evitar sobrecargas, sobrecalentamientos y cortocircuito, lo que garantiza su seguridad.

Para la instalación, se requiere una capacidad total de almacenamiento superior a 15 kWh. Por lo tanto, serán necesarias dos de estas baterías, lo que proporcionará los 30 kWh mencionados para el sistema de almacenamiento a corto plazo.

El precio de las dos baterías ascendería a 8712 euros, lo cual es considerablemente más económico que las baterías Tesla, que tendrían un costo de 13634 euros y ofrecen las mismas prestaciones.

2.3 Electrolizador

El electrolizador, es el componente central del sistema de almacenamiento a largo plazo, es el elemento determinante en el diseño de la instalación. Su importancia radica en su capacidad para generar hidrógeno, y en la cantidad de energía almacenada que se puede obtener de este hidrogeno. El rendimiento y las características del electrolizador son factores determinantes en la capacidad de almacenamiento y, en consecuencia, en la viabilidad y eficiencia del sistema.

Dado el significativo impacto económico que presenta la adquisición de un electrolizador, resulta crucial considerar detalladamente su capacidad de generación de hidrógeno. Por tanto, la selección adecuada

³⁰ Fuente: Renovables del sur <https://renovablesdelsur.com/baterias-litio/1128-bateria-litio-terrepower-eb-15kwh-48v-8437026190033.html>

³¹ Fuente: Tesla España: https://www.tesla.com/es_es/powerwall

del electrolizador implica evaluar tanto el rendimiento como el coste del dispositivo, con el objetivo de optimizar la relación entre capacidad de almacenamiento y costo total del sistema.

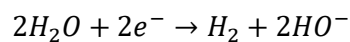
Los electrolizadores emplean electricidad para descomponer una solución líquida en sus componentes produciendo gases como hidrógeno y oxígeno. Se basa en la aplicación de corriente eléctrica a través de electrodos sumergidos en una solución, lo que provoca la separación de los elementos químicos presentes en ella.

La electrolisis es un proceso electroquímico ampliamente utilizado para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno. En este proceso, se requieren dos electrodos, el ánodo y el cátodo, los cuales permiten el flujo de corriente eléctrica.

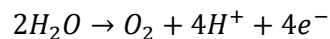
En el ánodo, los iones de agua (H^+ y OH^-) se separan y se depositan, mientras que, en el cátodo, los iones de hidrógeno se reducen y forman gas hidrógeno (H_2). Por otro lado, en el ánodo, los iones de oxígeno se oxidan y forman gas oxígeno O_2 .

Las reacciones de la electrolisis son las siguientes:

La reacción de reducción que se produce en el cátodo



La reacción de oxidación que se produce en el ánodo



La electrolisis es el principio por el que se basan los electrolizadores, pero hay diferentes tipos de electrolizadores disponibles³²:

1. Electrolizadores alcalinos (AEC): Son electrolizadores que usan una solución alcalina como electrolito. Los electrodos están hechos de acero inoxidable y actúan como catalizadores. Este tipo de electrolizadores son los más antiguos y se utilizan en la industria para la producción de hidrógeno a gran escala
2. Electrolizadores de óxido sólido (SOEC): Estos electrolizadores usan una cerámica conductora de óxido sólido como electrolito. Necesitan de altas temperaturas, para que la cerámica se vuelva iónica y permita la conducción de iones de oxígeno. Este tipo de electrolizadores son eficientes en grandes producciones

³² Fuente: IDEA GREEN: <https://ideagreen.es/hidrogeno-verde/tipos-de-electrolizadores/>

3. Electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM): Este tipo de electrolizadores utilizan una membrana polimérica de intercambio de protones como electrólito. La membrana permite el paso de iones de hidrógeno mientras bloquea el paso de iones de oxígeno. Los electrodos están recubiertos de un catalizador, como el platino para facilitar la reacción de oxidación del agua en el ánodo y la reducción de iones de hidrógeno en el cátodo. Este tipo de electrolizadores son compactos, eficientes y adecuados para aplicaciones de baja y media potencia.

En este caso, se trata de una instalación doméstica, el tipo de electrolizador más adecuado es el de membrana de intercambio de protones (PEM). Esto es debido a que es el electrolizador más compacto, y es el que puede funcionar de una manera eficiente a bajas temperaturas y presiones. También este tipo de electrolizadores son los más seguros, ya que no requieren soluciones alcalinas o altas temperaturas, sin embargo, este tipo de electrolizadores es de los más caros.

En la siguiente figura se puede apreciar el funcionamiento de este tipo de electrolizadores:

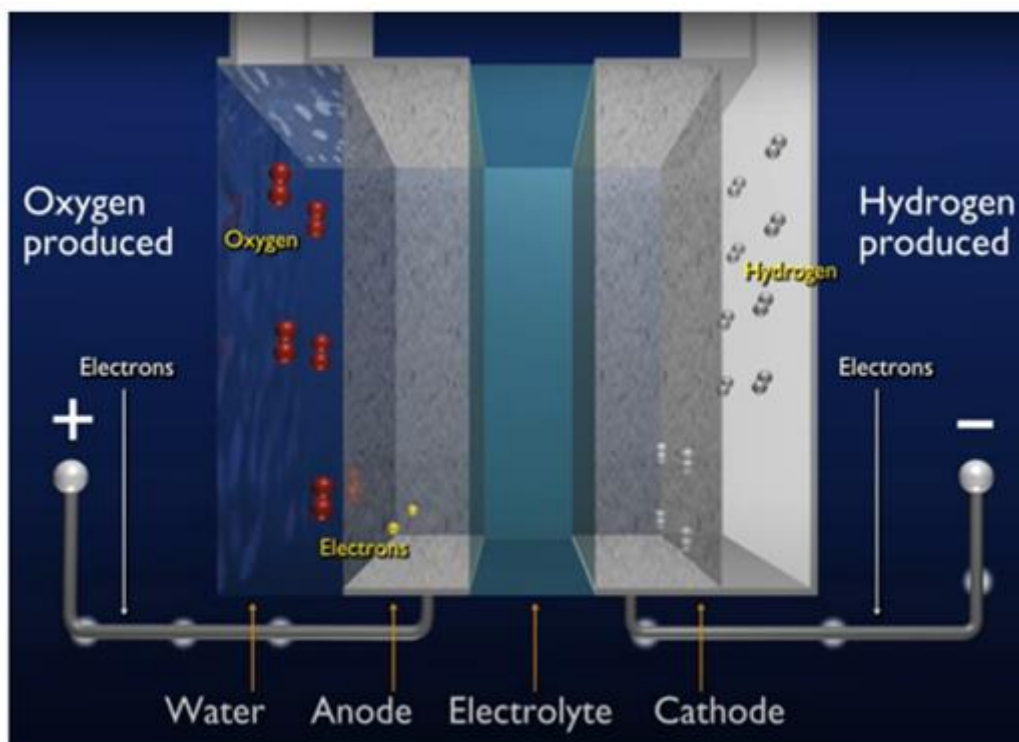


Figura 17. Funcionamiento de un electrolizador PEM

En esta figura³³, se observa el flujo de electrones desde el cátodo hacia el ánodo. El agua se encuentra en el ánodo, y entre el ánodo y el cátodo se encuentra la membrana que actúa como electrolito. Se puede ver como los electrones pasan del cátodo al ánodo a través de esta membrana que permite el flujo de

³³ Fuente: web Wisdomanimated: www.wisdomanimated.com

electrones, descomponiendo las moléculas de agua, para que se desprenda el hidrógeno al recibir captar los electrones. El hidrógeno se desplaza hacia el cátodo, mientras que el ánodo después de que se produzca la reacción de oxidación libera oxígeno.

El proceso de búsqueda de un electrolizador adecuado para la instalación requiere saber el consumo diario de energía de la vivienda (60,22 kWh/día) y las limitaciones de espacio y presupuesto. Aunque encontrar proveedores interesados en suministrar electrolizadores a particulares es complicado, la empresa McPhy ofrece diferentes modelos que podrían ser adecuados para las necesidades, siendo el modelo Baby el más apropiado en este caso.

El electrolizador McPhy Series Baby ³⁴se basa en la tecnología PEM (membrana de intercambio de protones) y se destaca por su diseño compacto y modular, lo que lo hace especialmente adecuado para instalaciones a menor escala. Este modelo se integra fácilmente con sistemas de energía renovable, como la energía solar, y utiliza una tecnología avanzada para optimizar la eficiencia de la producción de hidrógeno, garantizando un rendimiento confiable.

Los electrolizadores PEM como el electrolizador Series Baby mencionado, tienden a generar menos calor en comparación con otros tipos de electrolizadores. No obstante, es crucial que el electrolizador se ubique en un entorno adecuado para evitar el sobrecalentamiento, ya que esto puede resultar en una disminución de la eficiencia y en posibles problemas de funcionamiento. En el caso específico de esta instalación, se ha determinado que el electrolizador será ubicado en el garaje, un espacio amplio y con una temperatura adecuada, dado que el garaje es el área más fresca de la casa y considerando además que el electrolizador no operará de manera continua, se espera que esta ubicación sea suficiente para regular la temperatura del electrolizador y garantizar su funcionamiento en condiciones óptimas.

El electrolizador Series Baby tiene una capacidad de producción de $0,4 \text{ H}_2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ y consume 2kWh de energía eléctrica. Esto significa que por cada kilovatio hora consumido, el electrolizador es capaz de generar 0,4 metro cúbico de hidrógeno.

En cuanto al almacenamiento del hidrógeno, se ha propuesto utilizar 24 botellas de 50 litros, lo que permitiría almacenar un total de 1,2 metros cúbicos de hidrógeno a una presión de 300 bares. Los detalles sobre el almacenamiento y compresión se tratarán de manera más específica en una sección dedicada posteriormente.

Por tanto, para llenar el almacenamiento se necesitará:

³⁴ Fuente: McPhy: <https://mcphy.com/en/equipment-services/electrolyzers/small/>

$$Tiempo = \frac{1,2 m^3}{0,4 \frac{m^3}{h}} = 3 \text{ horas}$$

Se tardaría un total de 3 horas en llenar el almacenamiento completo del suministro de hidrógeno, y en estas tres horas de producción de hidrógeno el electrolizador consumirá:

$$E = 3h * 3 \frac{kW}{h} = 9kW$$

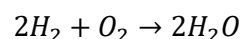
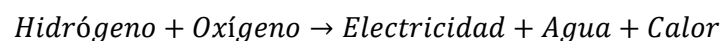
Obtener presupuesto para un electrolizador resulta desafiante debido a que los proveedores generalmente ofrecen presupuestos únicamente a empresas, lo que dificulta el acceso a información detallada. Sin embargo, durante una conversación telefónica con la empresa EFOY, se estimó que un electrolizador con las características mencionadas tiene un costo aproximado de 30.000 euros. Esta cifra proporciona una estimación del precio que se puede esperar para adquirir un electrolizador adecuado para la instalación en cuestión. Cabe destacar que el precio puede variar según el proveedor, las especificaciones exactas y las condiciones del mercado. Esta empresa no es la que proporciona el electrolizador McPhy series Baby, pero este precio aproximado será el que se use para el presupuesto.

2.4 Pila de combustible

La pila de combustible es la pila de hidrógeno que va a proporcionar la electricidad al sistema, mediante el uso del hidrógeno. Este dispositivo convierte la energía química del combustible en energía eléctrica y calor a través de una reacción electroquímica.

Las pilas de combustible son similares a los electrolizadores, ya que estas también se componen de dos electrodos, un cátodo y un ánodo, separados por un electrolito. El combustible, en este caso el hidrógeno, se suministra al ánodo mientras que el oxidante, como el oxígeno del aire se suministra al cátodo. En el ánodo el combustible se oxida produciendo electrones y protones. Los protones se mueven a través del electrolito hacia el cátodo, mientras que los electrones se mueven a través de un circuito externo generando energía eléctrica. En el cátodo los electrones y protones se combinan con el oxidante y forman agua y liberan calor.

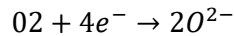
Las reacciones son las siguientes:



Esto sería lo que ocurre en la reacción global, en la pila se produciría una reacción redox que produce calor y electricidad. En el ánodo, el hidrógeno entra en contacto con un catalizador, haciendo que la molécula de hidrógeno se descomponga liberando electrones y creando una corriente eléctrica. Eso es la reacción de oxidación:



En el cátodo, el oxígeno que se pone en contacto con los electrones liberados por la reacción de oxidación, produciendo la reacción de reducción:



Finalmente, al cátodo llegan los protones de hidrógeno, combinando con los iones de oxígeno formando agua:³⁵

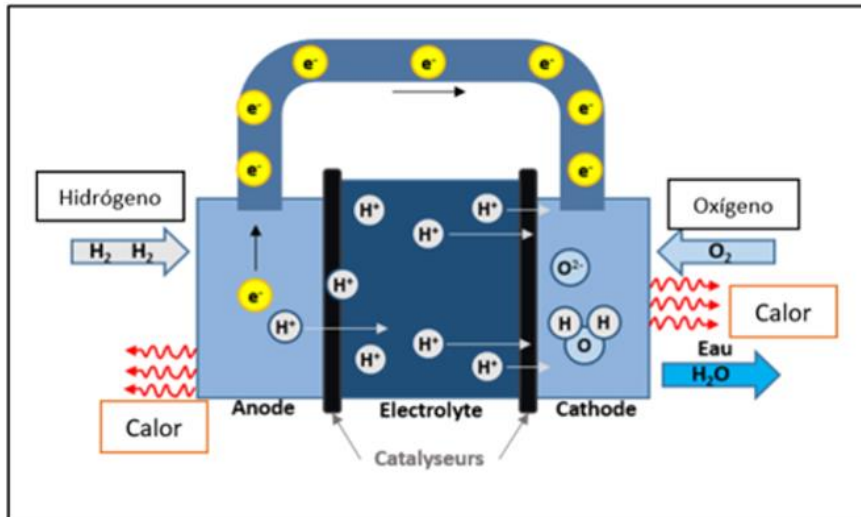
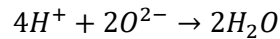


Figura 18. Funcionamiento de una pila de hidrógeno

Para la instalación se ha seleccionado la pila de hidrógeno de la empresa EFOY³⁶, el modelo es EFOY hydrogen fuel cell 2,5, la producción de la pila de hidrógeno es de 0,06 kg H_2 /kWh proporcionando un voltaje de salida de 48 voltios.

Se dispondrá de 1,2 m³ de almacenamiento, repartido en 24 botellas de 50 litros, estas botellas son capaces de almacenar hidrógeno a una presión de hasta 300 bares con estos parámetros es posible calcular los kg de H_2 a partir de la ecuación de los gases reales de Van der Waals.

$$\left(P + a \frac{n^2}{v^2}\right)(V - nb) = nRT$$

³⁵ Fuente: La Figura 18. y la información del funcionamiento han sido obtenidas a partir en H2SYS: <https://h2sys.fr/es/tecnologias/pila-de-combustible/#:~:text=Hidr%C3%B3geno%20%2B%20Ox%C3%ADgeno%20%2E2%86%92%20Electricidad%20%2B%20Agua%20%2B%20Calor&text=En%20la%20pila%20se%20produce,Esto%20es%20la%20oxidaci%C3%B3n.>

³⁶ Fuente: Empresa EFOY: <https://www.pysystems.ca/resources/tech-talk/efoy-fuel-cells/#:~:text=Cost%20The%20cost%20of%20the.%247%2C300%20for%20the%202010%20model.>

Siendo:

P: Presión a la que se encuentra el hidrógeno que es de 300 bares (300×10^5 Pascales)

V: Volumen que ocupa el gas, en este caso el volumen de la botella $0,05 m^3$ (50 litros)

n: Número de moles

R: La constante de los gases ideales $8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

T: Temperatura en grados kelvin $25 + 273 = 298 \text{ K}$

Las constantes a y b son las constantes de Van der Waals, que son específicas para cada gas, siendo a la constante que tiene en cuenta las fuerzas de atracción intermoleculares y b siendo la que tiene en cuenta el volumen ocupado por las moléculas del gas.

Para el hidrógeno estas constantes toman los siguientes valores:

$$a = 0,0247 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^6}{\text{mol}^2}$$

$$b = 26,61 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Por lo que la expresión queda de la siguiente manera:

$$\left(300 \times 10^5 + 0,0247 * \frac{n^2}{0,05^2} \right) (0,05 - n * 26,61 \times 10^{-6}) = 2476,38$$

Como se está trabajando a presiones muy elevadas, se pueden despreciar los factores, frente a los $300 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Obteniendo un total de 605,72 moles por botella. Con este número de moles y conociendo la masa de hidrógeno, se puede deducir la masa de hidrógeno que habrá por botella:

$$n = 605,72 \text{ mol} * \frac{2 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 1211,44 \text{ g} = 1,21 \text{ kg}$$

En estas condiciones, se obtiene un total de 1,21 Kg de hidrógeno por botella, con la pila de combustible seleccionada, se necesitan 0,06 Kg para producir un kWh. Por lo que si la demanda diaria de la vivienda es de 60,22 kWh/día se necesitarán:

$$E = \frac{n_{kg}}{0,06 \text{ kg/kWh}} = 60,22 \text{ kWh}$$

$$n_{kg} = 3,61 \text{ kg de hidrógeno al día}$$

Se necesitaría 3,61 kg de hidrógeno al día para poder mantener la vivienda operativa, por lo que se necesitarían aproximadamente 3 botellas al día para poder cumplir con la demanda. Es por ello por lo que es necesario sobredimensionar el almacenamiento, ya que, en los meses de invierno, la producción de hidrógeno será reducida significativamente.

Con 24 botellas para almacenar hidrógeno, será posible disponer de $1,2 \text{ m}^3$ repartidos en botellas de 50 litros, es decir, en total se dispondría de 29,04 kg de hidrógeno, y con la pila de combustible se podrá generar:

$$E = \frac{29,04 \text{ kg}}{0,06 \text{ kg/kWh}} = 484,34 \text{ kWh}$$

Considerando que el electrolizador tiene un consumo de 3 kWh y que sería necesario que funcione durante 3 horas para producir la cantidad de hidrógeno mencionada, se generaría un total de 475,34 kWh una vez restado el consumo del electrolizador.

Con esta cantidad de energía y teniendo una demanda de 60,22 kWh/día, se podrá alimentar la vivienda de energía durante una semana, si el almacenamiento está lleno. Esto no siempre será posible, ya que no se podrá llenar todos los días al máximo, pero con esta cantidad de energía se garantiza que la vivienda no se quedará sin electricidad mientras se tenga el suficiente hidrógeno almacenado.

El precio de esta pila de combustible asciende a 10.000 euros, siendo un rango de precio competitivo en comparación con otras pilas de combustible de la misma marca. Existen modelos de pilas de combustibles disponibles, con precios que varían desde 7.300 euros hasta 15.000 euros.

2.5 Compresor

En el sistema, es imprescindible la incorporación de un compresor que se encargue de comprimir el hidrógeno con el fin de almacenarlo y tener una mayor cantidad disponible para su uso. El compresor desempeña un papel fundamental al aumentar la presión del hidrógeno, lo que permite su almacenamiento de manera eficiente y facilita su suministro en el momento requerido. En este caso se ha buscado un compresor capaz de comprimir el hidrógeno hasta 300 bares, ya que las botellas de almacenamiento de hidrógeno pueden aguantar estas presiones.

Existen diferentes tipos de compresores como: compresores de pistón, de tornillo, de membrana y de diafragma. Siendo los dos últimos los menos apropiados para este tipo de instalación.

Los compresores de tipo pistón usan un pistón para comprimir el gas de hidrógeno, el pistón hace movimientos alternativos de pistones dentro de cilindros para comprimir el gas. Mientras que los compresores de tornillo utilizan rotores helicoidales para comprimir el gas.

Para la instalación se ha optado por un compresor tipo pistón, siendo el compresor POSEIDON EDITION PE 300-HE de Bauer³⁷, este compresor es un compresor horizontal que ha sido diseñado para comprimir diferentes tipos de gases entre ellos el hidrógeno. Este compresor puede alcanzar presiones de hasta 300 bares, este compresor destaca debido a su robustez, durabilidad y facilidad de uso.

³⁷ Fuente: Bauer Kompressoren: <https://www.bauer-kompressoren.de/es/productos/aire-respirable-deporte/pe-he-250-300-lmin/>

Este compresor usa un sistema de compresión en tres etapas que le permite comprimir el gas de manera eficiente, estando equipado con una unidad de compresión de alta calidad y tecnología avanzada para garantizar un rendimiento fiable y seguro.

Además, el compresor cumple con los estándares y regulaciones de seguridad más rigurosos, proporcionando seguridad para los usuarios.

Este compresor es capaz de comprimir 300 litros por minuto, en este caso al tener 1200 litros de capacidad de almacenamiento, tardaría cuatro minutos en llenar el sistema de almacenamiento al completo.

El coste del compresor POSEIDO EDITION PE 300-HE de Bauer es bastante elevado debido a sus características y rendimiento de alta calidad. El precio total asciende a 14.696 euros³⁸, lo cual refleja la inversión necesaria para adquirir este equipo especializado y eficiente en la compresión de gases.

2.6 Almacenamiento

El sistema de almacenamiento propuesto para la instalación consistirá en la utilización de 24 botellas de almacenamiento de hidrógeno. Estas botellas serán del mismo modelo que las especificadas en el EFOY H2 Cabiner outdorr Energielösung datenblatt, ya que son compatibles con la pila de combustible del sistema y con el compresor. Cada botella tendrá un peso de 6,66kg cuando esté vacía, y una vez llenas de hidrógeno el peso será aproximadamente de 8 kg.

Estas botellas a su vez serán almacenadas en casetas al aire libre, para evitar la acumulación de hidrógeno, se ha escogido colocarlas al lado del garaje, cerca de la instalación de producción de hidrógeno.

Para el almacenamiento de hidrógeno hay que tener en cuenta lo que dice la legislación española³⁹, ya que el almacenamiento de hidrógeno se encuentra regulado por diferentes normativas y leyes, tanto a nivel nacional como europeo que hay que cumplir siendo estas:

1. Ley de Hidrocarburos (Ley 34/1998): En el texto añadido publicado el 30/03/2022, y en vigor a partir del 31/03/200, para aquellas instalaciones que cuenten con una presión máxima de 16 bar, requerirá un informe preceptivo y vinculante de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
2. Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (Real Decreto 656/2017): Establece condiciones y requisitos para almacenamiento de productos químicos.

³⁸ Fuente precio del compresor: Pressure Point Germany: <https://bauer-spareparts.com/100-BAUER-High-Pressure-Compressors/131-BAUER-Poseidon-Edition-TE-TB-HE/Bauer-PE-300-HE-high-pressure-compressor::64.html?language=en>

³⁹ Fuente: BOE: <https://www.boe.es/eli/es/l/1998/10/07/34/con>

3. Real Decreto 2200/1995: Establece normas de seguridad para instalaciones de almacenamiento.

La instalación cumple con los requisitos establecidos por la legislación vigente. La normativa existente se enfoca principalmente en aplicaciones industriales y producciones a gran escala, y aún no existe una regulación específica para las instalaciones domésticas de esta tecnología, dado que el uso de hidrógeno en el ámbito residencial es aun relativamente novedoso. Con todo esto, es posible asegurar que la instalación cumple con los estándares de seguridad establecidos para garantizar un funcionamiento seguro y adecuado.

En cuanto al precio, el precio de la botella para almacenar hidrógeno es de 121 euros, por tanto, para 24 botellas que son necesarias para esta capacidad, el coste ascendería a 2904 euros.

2.7 Refrigeración

Para que el almacenamiento sea eficiente es necesario comprimir el hidrógeno, esto implica aumentar la presión del gas, durante este proceso se produce un aumento de la temperatura del hidrógeno debido a la compresión adiabática. Para garantizar la seguridad y facilitar la manipulación de las botellas es necesario reducir la temperatura del hidrógeno durante esta etapa.

La compresión adiabática es un proceso en el que la compresión del gas se realiza de manera rápida y sin intercambio de calor con el entorno. Como resultado, la energía interna del hidrógeno aumenta, lo que a su vez provoca un incremento en la temperatura del gas. El aumento de la temperatura puede ser un problema, ya que se trata de una instalación doméstica, y una temperatura elevada puede suponer un riesgo para las personas que se encuentren manipulando los equipos.

Por lo tanto, con el fin de asegurar una manipulación fuera de riesgo y segura del hidrógeno comprimido, se requiere un proceso para reducir la temperatura. Este proceso se logra mediante sistemas de enfriamiento, que puedan disipar el calor generado durante las etapas de la compresión. Para poder diseñar un cambiador de calor, para refrigerar el sistema, se requiere conocer el calor que se produce.

Como se ha dicho previamente, se supondrá que la compresión será un proceso adiabático, gracias a esta suposición es posible determinar el calor que se libera, ya que el calor liberado será igual al trabajo realizado por el compresor. En esta instalación el compresor tiene una potencia de 7,5W, y puede comprimir 300 litros por minuto, que es lo mismo que 5 litros por segundo. Con este compresor, es posible llenar las botellas de 50 litros en 10 segundos.

Usando la siguiente expresión es posible determinar el trabajo que realiza el compresor:

$$W = P * t$$

Siendo:

W: Trabajo realizado por el compresor (Julios)

P: Potencia del compresor (Vatios)

T: Tiempo de operación de la compresión (segundos)

$$W = 7500 \text{ W} * 10 \text{ s} = 75 \text{ kJ}$$

Por lo que el calor que se desprenderá en la compresión será también de 75 kJ. Sabiendo que el cambiador de calor tiene que absorber este calor desprendido, es posible comenzar a diseñar el enfriador.

Para ello es necesario determinar la temperatura de salida del hidrógeno, del compresor, usando la siguiente expresión es posible calcular la temperatura final:

$$Q = m_H * C_{pH} * \Delta T$$

Siendo:

Q: El calor liberado en el proceso (J)

m_H : Moles de hidrógeno (mol)

C_{pH} : Calor específico del hidrógeno ($\frac{J}{mol * K}$)

ΔT : Incremento de temperatura (K)

$$75000 \text{ J} = 605,72 \text{ mol} * 28,8 \frac{J}{mol * K} * \Delta T$$

$$\Delta T = 4,29 \text{ K}$$

Si la temperatura inicial, es la temperatura ambiente de 25°C, se puede obtener la temperatura final, siendo esta de 29,3°C.

Como el aumento de temperatura no será significativo, se optará por no poner un enfriador, ya que, manejando estas temperaturas, no será necesario.

2.8 Mantenimiento

Debido a las condiciones de operación a la que se encuentran los equipos, es necesario llevar a cabo un mantenimiento anual de la instalación. Este mantenimiento tiene como objetivo garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de todos los equipos involucrados.

Para estimar el costo del mantenimiento anual, se ha tomado como referencia el servicio proporcionado por la empresa HPS Picea, la cual ofrece servicios de mantenimiento a equipos similares. Según la información que aportan, sus servicios de mantenimiento cuestan 500 € anuales⁴⁰. Este valor servirá como referencia, ya que tomaremos el mismo coste para el mantenimiento de la instalación. Esto es

⁴⁰ Fuente: Es la cantidad que cobra la empresa PICEA: <https://www.homepowersolutions.de/produkt/>

importante ya que este valor servirá como referencia para tener en cuenta en el estudio económico, que del dinero que se ahorrará anualmente, habrá que saber que 500 € serán para el mantenimiento anual de la instalación.

1.4.4 Estudio económico

1. Evolución del mercado energético

En esta sección, se procederá a realizar un análisis para determinar la viabilidad y rentabilidad de la inversión en el equipo doméstico de hidrógeno, considerando el ahorro en electricidad y gas como base para la recuperación de la inversión. A través de diferentes escenarios evaluando si resulta económicamente factible llevar a cabo dicha instalación con el objetivo de generar ahorros y promover la sostenibilidad.

La inversión de un equipo doméstico de hidrógeno supone una inversión elevada para un particular. En este proyecto el desglose de los costos que presentan los equipos se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 9. PRECIO DE LA INSTALACIÓN DOMÉSTICA DE HIDRÓGENO

Coste equipos de hidrógeno	
Equipos	Precio
Instalación fotovoltaica (Paneles + Inversores)	7.767
Controladores Solares	1.781
Baterías	8.712
Electrolizador	30.000
Pila de hidrógeno	10.000
Compresor	14.696
Botellas de almacenamiento	2.904
Precio Total	75.860

La inversión total para la instalación asciende a 75.860 €, lo cual representa una cantidad considerable para una persona de nivel medio. Este aspecto es una de las principales barreras en la adopción de este tipo de instalaciones en la actualidad. Es importante destacar que el precio mencionado incluye el impuesto sobre el valor añadido (IVA) en su totalidad. En países como Alemania, las instalaciones de este tipo están exentas de impuestos, lo que podría reducir significativamente el costo y hacerlo más accesible.

En primer lugar, es necesario examinar la evolución del mercado energético en los últimos años, ya que esto proporcionará un contexto general y sentará las bases para determinar parámetros necesarios, como por ejemplo la tasa de aumento, que será fundamental para proyectar cómo variará el mercado en los próximos años.

En la siguiente gráfica se muestra como ha variado el precio de la electricidad en España:

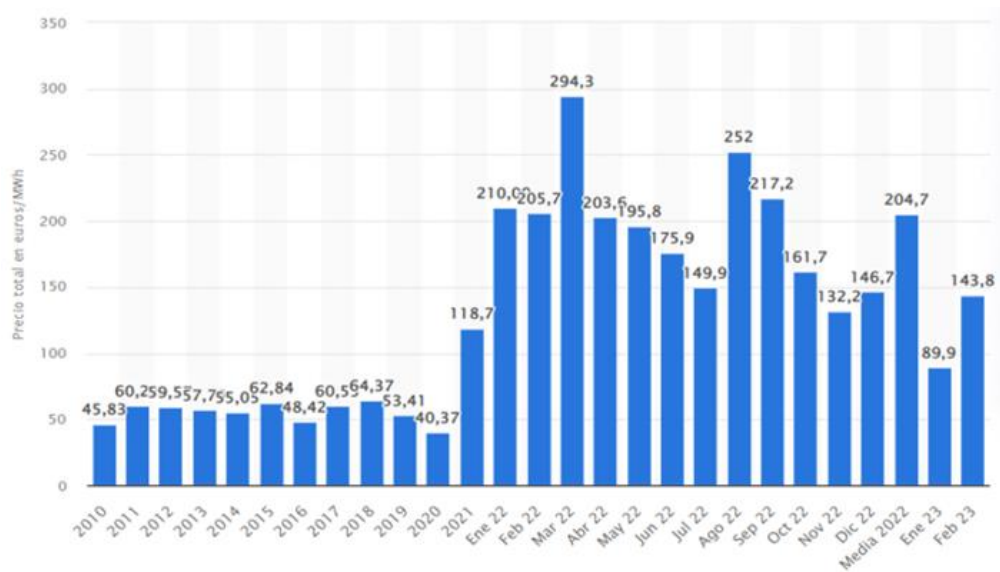


Figura 19. Evolución del precio de la electricidad en España

En la figura 19⁴¹, se observa cómo ha subido el precio de la electricidad en España, de manera exponencial en los últimos años.

En el 2012 el precio del megavatio se situaba en 59,5, € mientras que, en el 2022, el precio medio es de 204,7 €/MWh. Siendo el aumento:

$$\%Aumento = 100 \times \frac{\text{Precio actual} - \text{Precio inicial}}{\text{Precio inicial}} = 100 \times \frac{204,7 - 59,5}{59,5} = 244,03 \%$$

Durante los últimos 10 años, se ha observado un incremento significativo del precio de la electricidad, alcanzando un aumento del 244,03%. Aunque este aumento no ha sido constante a lo largo del tiempo, se puede apreciar una tendencia ascendente en el coste de la electricidad. Se puede observar que los precios aumentaban gradualmente antes de experimentar una disminución durante el año de la pandemia de COVID-19. Sin embargo, posteriormente se produjo un fuerte aumento de los precios, que se ha mantenido en ascenso hasta la fecha actual.

Lo mismo ocurre con el precio del gas natural, en la siguiente tabla se muestran los precios del gas:

⁴¹ Fuente: Statista: Precio medio final anual de la electricidad en España de 2010 a 2022: <https://es.statista.com/estadisticas/993787/precio-medio-final-de-la-electricidad-en-espana/>

TABLA 10. PRECIO DEL GAS NATURAL

Año	'PRECIO DEL GAS NATURAL (TTF)' por años				
	1er día	último día	Máximo	Mínimo	Media
2010	11,6	24,05	24,57	11,09	18,04
2011	24,05	22,3	27,1	21,13	23,39
2012	22,3	26,38	28,48	21,25	24,9
2013	26,38	27,55	29,29	25,32	26,64
2014	27,55	21,3	27,55	15,37	21,43
2015	21,3	14,79	24,1	14,46	19,71
2016	14,79	19,54	19,54	10,61	14,1
2017	19,2	19,63	22,24	14,46	17,24
2018	19,63	21,98	29,24	17,35	22,26
2019	21,98	12,05	22,99	9,38	14,62
2020	12,05	19,12	19,15	3,51	9,63
2021	19,12	70,34	180,27	15,53	47,52
2022	80,43	76,32	339,2	69,8	132,84
2023	77,02	52,73	77,02	52,73	62,09
Año	1er día	último día	Máximo	Mínimo	Media

En esta tabla⁴² se muestra el precio del gas natural, de media en el 2012 el Mwh se encontraba a 24,9 €, mientras que en el 2022 la media ha sido de 132,84€. Lo que significa que el aumento que se ha producido es muy significativo.

$$\%Aumento = 100 \times \frac{132,84 - 24,9}{24,9} = 433,49\%$$

Al analizar los datos proporcionados, se observa que el precio del megavatio hora (MWh) de electricidad es actualmente más caro que el del gas natural. Sin embargo, también se evidencia que el precio del gas ha experimentado un aumento más pronunciado en los últimos 10 años. Si esta tendencia continúa, es plausible que en un futuro próximo el gas natural sea más costoso que la electricidad. En tal caso, la adopción de una caldera eléctrica se volvería rentable por sí sola, en comparación con una caldera de gas, lo que contribuiría a que la inversión en el equipo resulte más favorable en términos económicos.

⁴² Fuente: Temáticas.org: Precio del gas natural: <https://tematicas.org/indicadores-economicos/economia-internacional/precios/precio-del-gas-natural/2012/>

Para determinar si la inversión puede ser recuperable, es necesario saber cuánto se gasta en la vivienda al año, en el consumo energético, para hacer el estudio de la rentabilidad. Para ello se dispone de las tablas del apartado 1.4.1 Consumos de la vivienda, con esos datos se obtiene la siguiente tabla resumen:

TABLA II. CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA DURANTE EL AÑO

Consumo energético de la vivienda			
Consumo al año		Precio anual	Consumo medio al mes
Electricidad	4046 kWh	1.149,85 €	337,167 kWh
Gas	11334,84 kWh	1.109,10 €	944,57 kWh

Bajo la suposición de que los precios se mantengan constantes, se estima que se ahorraría anualmente un total de 1.149,85 € en electricidad y 1.109,10 € en gas. Esto resultaría en un ahorro anual acumulado de 2.258,95 €. Dado que el desembolso inicial de la inversión es de 75.860 €, se necesitarían 36,8 años, es decir, 36 años y 8 meses, para recuperar completamente la inversión. En esta suposición no se considera el valor del dinero en el tiempo, ni las variaciones del precio de la electricidad y el gas.

2. Escenarios futuros

A fin de analizar diferentes escenarios y evaluar el tiempo requerido para recuperar la inversión, se considerarán tres posibles escenarios que reflejen la evolución de los precios de la electricidad y el gas a lo largo del tiempo. Estos escenarios permitirán obtener una perspectiva más completa sobre la viabilidad económica y el período de retorno de la inversión.

A. Escenario A aumento del precio igual que en los últimos 10 años

Para el primer escenario, se considerará que el precio de la luz y del gas, aumenta lo que ha aumentado en los últimos 10 años, para este cálculo, se va a suponer que el precio ha ido aumentando progresivamente a lo largo de los años de manera constante, en lugar de la subida exponencial de los últimos años.

Lo primero que se necesita es determinar la tasa de aumento de los últimos 10 años, para ello se hará uso de la siguiente expresión:

$$(1 + \text{Tasa de aumento})^{N^{\circ} \text{ años}} = \frac{\text{Valor final}}{\text{Valor inicial}}$$

$$(1 + \text{Tasa de aumento})^{10} = \frac{204,7}{59,5} = 3,44$$

$$\text{Tasa de aumento} = 13,15\%$$

La tasa de aumento, o tasa de incremento permite reflejar el porcentaje de cambio en un determinado valor a lo largo del tiempo. En este caso se utiliza para proyectar cómo varían los precios de la

electricidad en el futuro, esta tasa de aumento significa que cada año el precio subirá un 13,15%. Aunque esto no refleje la realidad ya que con este factor se asume que el valor aumenta de manera constante cada año durante los 10 años, sin embargo, en la realidad el aumento ha sido variable respecto de un año a otro debido a factores como la inflación, cambios en la oferta y la demanda y fluctuaciones del precio del mercado. Por lo tanto, esta tasa de aumento proporciona una estimación del aumento promedio anual, aunque hay variaciones con respecto un año al otro.

Repitiendo los cálculos para el gas se obtiene:

$$(1 + \text{Tasa de aumento})^{10} = \frac{132,84}{24,9} = 5,33$$

$$\text{Tasa de aumento} = 18,22\%$$

Ahora con la tasa de aumento de la electricidad y del gas natural se puede apreciar como cambiarán los precios en los próximos años, suponiendo que sigan creciendo de la misma manera que hasta ahora.

En la siguiente tabla se muestra la variación del precio del MWh de electricidad a lo largo de los años, también muestra el gasto anual que se produciría con el consumo medio anual de la vivienda.

TABLA 12. PRECIO DE LA ELECTRICIDAD SEGÚN LA TASA DE AUMENTO

Aumento del precio de la electricidad según el escenario A						
Valor de la electricidad Euro/Mwh						
Año	Valor inicial	Variación	Valor final	Euro/Kwh	Precio mensual con el consumo medio al año (333,167) kwh	Gasto al año €
2012	-	-	59,50	0,060	17,19	206,23
2013	59,50	7,82	67,32	0,067	19,45	233,35
2014	67,32	8,85	76,18	0,076	22,00	264,03
2015	76,18	10,02	86,19	0,086	24,90	298,75
2016	86,19	11,33	97,53	0,098	28,17	338,04
2017	97,53	12,83	110,35	0,110	31,87	382,49
2018	110,35	14,51	124,87	0,125	36,07	432,79
2019	124,87	16,42	141,29	0,141	40,81	489,70
2020	141,29	18,58	159,87	0,160	46,17	554,09
2021	159,87	21,02	180,89	0,181	52,25	626,96
2022	180,89	23,79	204,67	0,205	59,12	709,40
2023	204,67	26,91	231,59	0,232	66,89	802,69
2024	231,59	30,45	262,04	0,262	75,69	908,24
2025	262,04	34,46	296,50	0,297	85,64	1027,67
2026	296,50	38,99	335,49	0,335	96,90	1162,81
2027	335,49	44,12	379,61	0,380	109,64	1315,72
2028	379,61	49,92	429,53	0,430	124,06	1488,74
2029	429,53	56,48	486,01	0,486	140,38	1684,51
2030	486,01	63,91	549,92	0,550	158,84	1906,02
2031	549,92	72,31	622,23	0,622	179,72	2156,66
2032	622,23	81,82	704,06	0,704	203,36	2440,26

En la anterior tabla se muestra una proyección del aumento del precio de la electricidad, considerando un escenario en el que el incremento sigue una tendencia constante similar a la observada hasta la fecha. Es importante destacar que estos valores son estimaciones y no tienen en cuenta a que horas se ha producido el consumo, esto afecta a la precisión de los cálculos, ya que la mayoría del consumo de la vivienda ocurre en momentos en los que el precio de la luz es caro. No obstante, proporcionan una aproximación general del posible aumento del costo de la electricidad fiable.

En base a la proyección de aumento del precio de la electricidad, se observa que, si en los próximos 10 años el incremento sigue la misma tendencia que en los últimos 10 años, se alcanzaría un valor de 704€ por megavatio. Cabe destacar que, en el año 2022, el precio se sitúa en 204,67€ por megavatio, lo que representa un aumento del 244,03 % desde el 2012 que el precio estaba en 59,5 € (MWh, mientras que los 704€ representan un aumento del 243,96% respecto la actualidad.

Aplicando el mismo enfoque al precio del gas, asumiendo que su aumento se mantiene con la tendencia de los últimos 10 años, lo que lleva a considerar una tasa de aumento del 18,22%.

Los precios que obtenemos son los siguientes:

TABLA 13. PRECIO DEL GAS SEGÚN LA TASA DE AUMENTO

Aumento del precio del gas según el escenario A						
Año	Valor de la electricidad Euro/Mwh			Euro/kwh	Precio mensual con el consumo medio al año (944,57 kwh)	Gasto al año €
	Valor inicial	Variación	Valor final			
2012	24,90	4,54	29,44	0,029	27,81	333,70
2013	29,44	5,36	34,80	0,035	32,87	394,50
2014	34,80	6,34	41,15	0,041	38,86	466,37
2015	41,15	7,50	48,64	0,049	45,95	551,35
2016	48,64	8,86	57,50	0,058	54,32	651,80
2017	57,50	10,48	67,98	0,068	64,21	770,56
2018	67,98	12,39	80,37	0,080	75,91	910,96
2019	80,37	14,64	95,01	0,095	89,74	1076,94
2020	95,01	17,31	112,32	0,112	106,10	1273,15
2021	112,32	20,47	132,79	0,133	125,43	1505,12
2022	132,79	24,19	156,98	0,157	148,28	1779,36
2023	156,98	28,60	185,58	0,186	175,30	2103,55
2024	185,58	33,81	219,40	0,219	207,24	2486,82
2025	219,40	39,97	259,37	0,259	244,99	2939,92
2026	259,37	47,26	306,63	0,307	289,63	3475,57
2027	306,63	55,87	362,50	0,362	342,40	4108,82
2028	362,50	66,05	428,54	0,429	404,79	4857,45
2029	428,54	78,08	506,62	0,507	478,54	5742,48
2030	506,62	92,31	598,93	0,599	565,73	6788,76
2031	598,93	109,12	708,05	0,708	668,81	8025,67
2032	708,05	129,01	837,06	0,837	790,66	9487,95

En la tabla presentada, se puede observar que, al aplicar la tasa de aumento prevista, los valores de MWh/€ coinciden con los datos representados en las gráficas. Sin embargo, el gasto anual no coincide con el de la vivienda, esto se debe a que, en el año 2022, cuando el precio del gas estaba más alto, el consumo fue relativamente bajo, siendo más alto en meses donde no llegaba a precios tan elevados, es por ello por lo que, al calcular un promedio anual, los valores resultantes son más altos. No obstante, según los datos, si la tendencia de los últimos años continúa, se estima que para el año 2032 el precio del MWh de gas alcanzará los 708€, en comparación con los 132 € actuales. En este escenario, el MWh de gas se volvería más costoso que el MWh de electricidad.

Para estudiar si con lo que se ahorra de gas y de electricidad al mes, se puede recuperar la inversión, debemos determinar el valor del dinero en el tiempo, para esto se necesita determinar la tasa de descuento. Esta tasa refleja el valor temporal del dinero y el riesgo asociado con los flujos de efectivo futuros, permitiendo así evaluar y comparar la rentabilidad de diferentes proyectos o inversiones.

Existen diferentes métodos para seleccionar una tasa de descuento, ya que esta puede variar según el proyecto o el tipo de interés del préstamo. La determinación de la tasa de descuento puede realizarse considerando diferentes enfoques.

En el sector de las energías renovables, se puede utilizar el conocido Costo Promedio Ponderado de Capital específico para el sector más conocido por las siglas en inglés WACC. El WACC ⁴³del sector de las energías renovables en España oscila entre el 7% y el 9%. Para los cálculos que se van a realizar, se seleccionará una tasa de descuento del 8%, que es ampliamente utilizada para este tipo de proyectos e instalaciones.

Para determinar si la inversión es rentable, es necesario calcular el VAN, que determinará si con el ahorro de cada año, se puede recuperar la inversión realizada, y si se puede, será posible determinar el PayBack y determinar cuánto tiempo tardaremos en recuperar la inversión

Mediante la siguiente expresión podemos determinar el valor actualizado neto (VAN dinámico):

$$VAN = I_0 + \frac{F_1}{(1+r)} + \frac{F_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{F_{n-1}}{(1+r)^{n-1}} + \frac{F_n}{(1+r)^n}$$

VAN: Es la suma de todos los cobros realizados menos los pagos efectuados durante el proyecto de inversión, actualizados al precio inicial.

I_0 : Es la inversión, por lo que el valor será de -75.860 €

F_n : Es el ahorro en energía que se produce cada año, por lo que será dinero que cada año habrá de beneficio

n: Es el año

r: Es la tasa de descuento, en este caso valdrá 0,08 (8%)

Además, en la actualidad en Catilla La Mancha existen subvenciones de un 30%⁴⁴ del presupuesto total para las instalaciones de energías renovables, con un máximo de 30.000 euros por instalación. La inversión que se realizaría sería de un total de 75.860 euros, por lo que se obtendría una ayuda de 22.758 euros, facilitando de esta manera la recuperación de la inversión.

En la siguiente tabla se muestra el ahorro por año, y cuándo se recuperará la inversión:

⁴³ Fuente: Energías renovables y generación distribuida: <http://generaciondistribuida.blogspot.com/2013/08/viabilidad-economica-instalacion-solar.html>

⁴⁴ Fuente: Iberdrola subvenciones: <https://www.iberdrola.es/smart-solar/subvenciones#:~:text=Castilla%20La%20Mancha,del%2030%25%20durante%205%20a%C3%B1os.>

TABLA 14. FLUJO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Flujo Inversión de A				
Año	Año inversión	Inversión (€)	Ahorro (€)	Flujo (€)
2022	1	-53102	2705	2205
2023	2	-50897	3151	2455
2024	3	-48442	3672	2719
2025	4	-45723	4281	3001
2026	5	-42722	4993	3302
2027	6	-39419	5826	3625
2028	7	-35795	6800	3970
2029	8	-31825	7940	4341
2030	9	-27483	9276	4741
2031	10	-22742	10840	5172
2032	11	-17569	12672	5638
2033	12	-11932	14819	6141
2034	13	-5790	17337	6686
2035	14	896	20289	7276
2036	15	8172	23751	7916
2037	16	16088	27814	8611
2038	17	24699	32582	9364
2039	18	34063	38180	10184
2040	19	44247	44753	11074
2041	20	55321	52473	12043

En la tabla se muestra el año, el tiempo que ha pasado desde la inversión, la inversión, y cuánto va quedando por devolver a medida que pasan los años, el ahorro, que es la suma de lo que se ha ahorrado en gas y electricidad al año, y el flujo que sería el ahorro menos los costes de mantenimiento del equipo al año, dividido por uno más la tasa de descuento elevado al año de inversión en el que se encuentre el proyecto.

En el marco del análisis realizado, se ha considerado que la instalación se lleva a cabo en el año 2022, tomando como base el incremento de precios observado en los últimos 10 años. Bajo esta premisa, se estima que la inversión inicial se recuperaría en un periodo de 14 años. A partir de ese punto, los ahorros generados en electricidad y gas experimentarían un crecimiento anual progresivo

Dicho crecimiento se puede visualizar de manera ilustrativa en la siguiente gráfica:

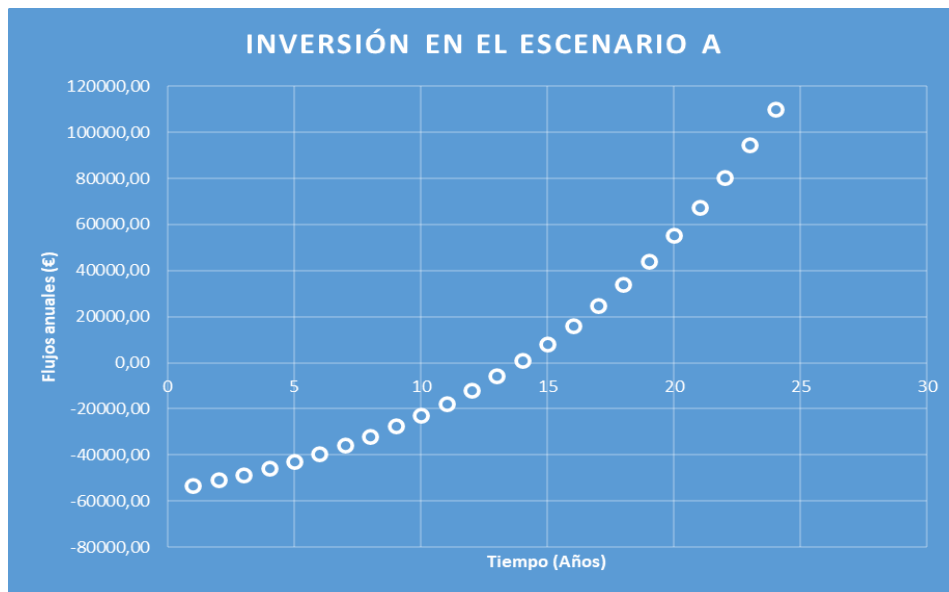


FIGURA 20. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL ESCENARIO A

La gráfica muestra cómo, a medida que transcurren los años, los ahorros acumulados por la instalación aumentan progresivamente. Esta tendencia ascendente refleja el ahorro que se podría llegar a tener a largo plazo.

Es importante mencionar que estos resultados se basan en supuestos y estimaciones establecidas en el análisis. Es recomendable tener en cuenta que los precios y las condiciones del mercado energético pueden variar en el futuro, lo que afectaría a los resultados y plazos mencionados. No obstante, esta proyección proporciona una visión general del potencial de ahorro y retorno de inversión asociados a la instalación de hidrógeno en el contexto analizado.

B. Escenario B, los precios suben con un aumento respecto 2023

Para el escenario B, se plantea un enfoque en el cual se considera el incremento observado en los precios del año 2012 hasta 2023, se supondrá que en los próximos años crecerá con la misma tasa de aumento que en estos 11 años. En este caso también tendremos en cuenta las ayudas del 30%

El aumento del precio de la electricidad que se produce con respecto 2012 es de:

$$\%Aumento = 100 \times \frac{Precio\ actual - Precio\ inicial}{Precio\ inicial} = 100 \times \frac{116,85 - 59,5}{59,5} = 96,38 \%$$

$$(1 + Tasa\ de\ aumento)^{11} = \frac{132,84}{59,5} = 1,9638$$

$$Tasa\ de\ aumento = 6,327\%$$

El aumento que se produce en el gas con respecto a 2012 es de:

$$\%Aumento = 100 \times \frac{62,09 - 24,9}{24,9} = 149 \%$$

$$(1 + Tasa\ de\ aumento)^{11} = \frac{62,09}{24,9} = 2,49$$

$$Tasa\ de\ aumento = 8,65\%$$

Aplicando estas tasas de aumentos, y suponiendo que el precio del mercado creciera con la tendencia de 2023, se puede visualizar en la gráfica el tiempo de recuperación de la inversión en este caso:

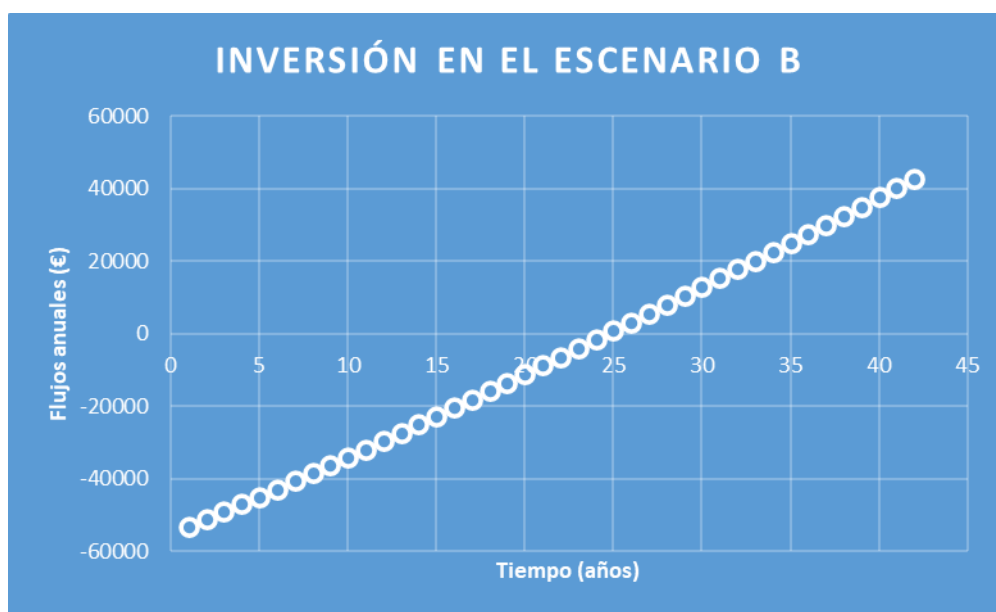


FIGURA 20. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL ESCENARIO B

En este supuesto, lograría recuperarse en un periodo de tiempo de 24 años, un periodo elevado para instalaciones domésticas. Esto se debe a que el ahorro anual generado no sería suficiente para que la instalación resulte rentable a lo largo de los años, teniendo en cuenta la tasa de descuento del 8%. Además, la disminución significativa en el valor del gas en 2023 en comparación con 2022 también afecta a la viabilidad económica de la instalación. Sería necesario esperar hasta el fin del año para evaluar si el precio del gas experimenta un aumento que pudiera modificar la situación.

Las tablas donde se muestra la variación del MW/h se encuentran en el apartado de apéndices del trabajo.

C. Escenario C, reducción de la tasa de descuento

En este escenario, se considerará que se van a tomar medidas desde el gobierno para incentivar este tipo de instalaciones. En algunos países, como Alemania y Países Bajos, no se aplican impuestos por este tipo de instalaciones, y se espera que en España también pueda implementarse esta medida en el futuro.

En este escenario, a pesar de considerar el IVA completo de la instalación se estudiará la rentabilidad de la misa si se reduce la tasa de descuento WACC. Existen precedentes, como la aprobación de la metodología WACC por parte de la CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia), y en el BOE ha salido publicado la reducción del coste medio ponderado en la tasa de retribución de las redes eléctricas del 6,5% al 5,58%⁴⁵

Por lo tanto, suponiendo que, para este tipo de proyectos, el WACC disminuirá del 8% al 5% con el objetivo de evaluar si la instalación será rentable en estas condiciones. Esto junto con la ayuda proporcionada del 30% hará que la inversión sea más fácilmente recuperable.

Se tendrá en cuenta que el aumento del precio de la energía será como en el escenario B, ya que el aumento exponencial del precio que se ha dado en el escenario A, es difícil que se vuelva a producir de la misma manera.

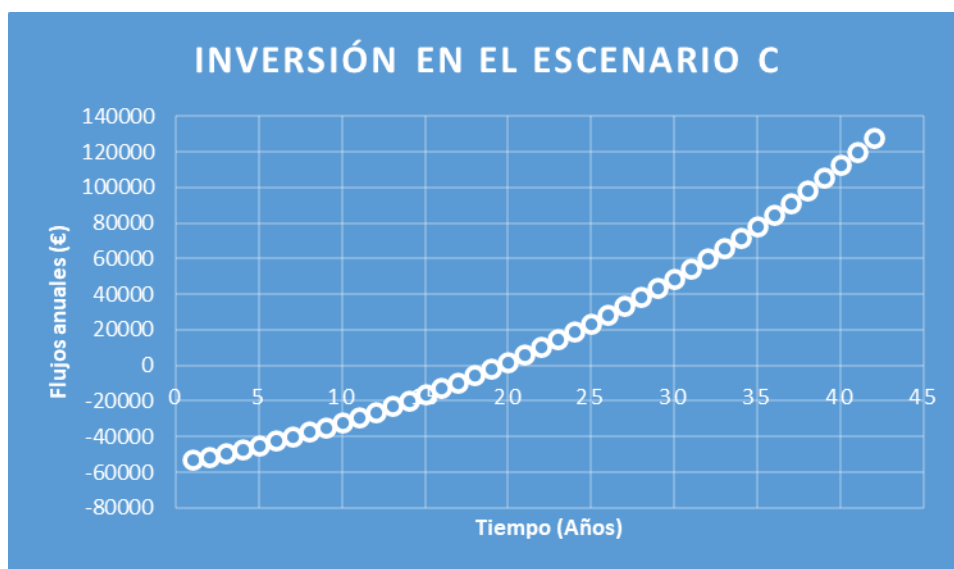


FIGURA 21. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL ESCENARIO C

En este caso, se lograría recuperar la inversión, pero en un periodo de tiempo menos prolongado que el del caso anterior, en el escenario C podríamos recuperar la inversión en un periodo de 19 años. Esto implica que, a largo plazo, con esta tasa de descuento reducida, la inversión sería rentable y proporcionaría al usuario durante todos estos años un alto grado de independencia energética.

⁴⁵ Fuente: Cinco días: Las renovables disfrutarán de su actual tasa de rentabilidad durante 12 años: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/11/20/companias/1574275928_013353.html

D. Escenario D, reducción de la tasa de descuento y sin IVA

En este último supuesto, se mantendrán las mismas suposiciones que en el escenario C, y la perspectiva de una posible eliminación del IVA. Esta medida permitiría reducir significativamente la inversión necesaria para la instalación. Esta opción resulta factible, ya que como se mencionó anteriormente, algunos países han eliminado los impuestos para este tipo de instalaciones, lo que la hace más viables desde el punto de vista económico.

En este caso, considerando que actualmente las instalaciones fotovoltaicas en España están sujetas a un 21% de impuestos (IVA), pero se estipula que en casos de “primera entrega” (nueva construcción) o reformas, se aplica un IVA reducido del 10%, todos los equipos encontrados disponían del impuesto del 21% por lo que si se elimina este impuesto la inversión inicial se reduce en un 21% obteniendo un valor final de inversión de 59.930 €. ⁴⁶

Este descuento del IVA junto con la subvención del 30% hará que la inversión sea fácilmente recuperable.

La recuperación de esta inversión se muestra en la siguiente gráfica:

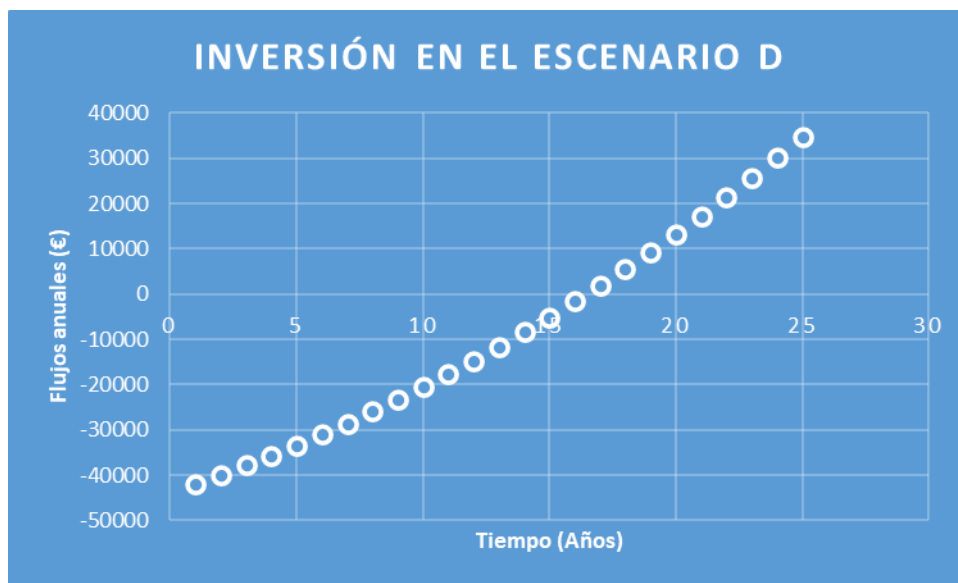


FIGURA 22. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL ESCENARIO D

En este escenario, en el cual se considera un crecimiento de precios igual al de los escenarios B y C, pero en este caso se reduce la tasa de descuento como en el caso C, y también se descuenta el IVA.

⁴⁶ Fuente: Cambio energético: <https://www.cambioenergetico.com/blog/iva-reducido-autoconsumo-paneles-solares/#:~:text=instalaciones%20de%20autoconsumo-%20C2%BFQu%20se%20aplica%20al%20instalar%20placas%20solares%20para%20autoconsumo.el%20impuesto%20asciende%20al%2021%25>.

Logrando de esta manera recuperar la inversión en 16 años. Este período de tiempo es razonable y proporcionaría mayor independencia del mercado, así como un suministro seguro de electricidad y calefacción a lo largo del año.

3. Futuro de la inversión

Como se ha observado en los diferentes escenarios analizados, la rentabilidad de esta instalación se ve limitada por su elevado costo inicial, lo que requiere de ayudas, subvenciones o reducciones de los impuestos como en los supuestos C y D, para poder amortizar la instalación de manera efectiva.

Otras formas de mejorar la rentabilidad podría ser la utilización de hidrógeno almacenado en diferentes aplicaciones. Por ejemplo, si se dispusiera de un vehículo que funcione con hidrógeno, se podría eliminar el gasto en gasolina, lo que contribuiría a una amortización más rápida de la instalación.

Además, se podría considerar la venta directa de hidrógeno como una fuente de ingresos adicional. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en la actualidad en España no existe una infraestructura adecuada para llevar a cabo estas opciones, por lo que tener en cuenta estas posibilidades para suponer beneficios futuros, sería un riesgo ya que se estaría contando con ingresos, que no se van a producir en un futuro cercano debido a que todavía no se tienen los medios para poder aprovechar al máximo todas las posibilidades.

1.5 Conclusiones

En el presente estudio se ha abordado el diseño y dimensionado de una instalación renovable fotovoltaica con almacenamiento de energía empleando baterías e hidrógeno para que una vivienda unifamiliar funcione de manera sostenible y cuasi-independiente. Los objetivos planteados al inicio del trabajo han sido cumplidos, demostrando la viabilidad técnica y económica (aunque a largo plazo) de dicha instalación doméstica en España.

Los resultados obtenidos indican que es factible la instalación de equipos de hidrógeno de manera eficiente como método de almacenamiento de energía en periodos de máxima producción fotovoltaica, y uso posterior en forma de energía eléctrica en periodos de mínima o nula producción fotovoltaica, satisfaciendo la demanda energética de la vivienda, otorgando un alto grado de independencia y autonomía.

Dicha autonomía es posible gracias al sistema fotovoltaico diseñado, que consta de 11,33 kW de potencia pico. Junto con el sistema de almacenamiento de energía formado por las baterías capaces de almacenar hasta 30 kWh, y al almacenamiento de hidrógeno, que con los 1,2 m³ de hidrógeno es posible generar hasta 484,34 kW.

Sin embargo, es fundamental tener en cuenta las limitaciones de este estudio, como la falta de datos a largo plazo sobre la evolución de los precios de la energía, lo que afecta a la rentabilidad a largo plazo de estas instalaciones. No obstante, como se ha mencionado en el trabajo, otro factor determinante de estas instalaciones es el precio de los equipos, ya que, la instalación diseñada supone un coste total de 75.860 euros, inversión que sería recuperada en 14 años en el caso más favorable, y dentro de 24 años en el menos favorable. Para un particular hacer frente a una inversión de este tipo supone un esfuerzo económico importante. La necesidad del cambio a un sistema más limpio va a hacer que este tipo de instalaciones sean cada vez más comunes, implicando un drástico abaratamiento de los equipos en los próximos años cuando la tecnología avance, ya que actualmente está en una fase de inicio, y todavía le queda tiempo para desarrollarse y alcanzar un grado de madurez adecuado.

En resumen, este estudio brinda la evidencia de que es posible y viable la instalación de un equipo doméstico de hidrógeno, y a su vez rentable en diferentes escenarios. En un futuro cercano, se empezarán a comercializar debido a la necesidad que existe debido a la situación del mercado actual.

1.6 Bibliografía

1. y 4. IME (Institut Municipal d'Energia de Barcelona). (s.f.). Contexto energético global y regional. [PDF]. Recuperado de http://www.ime.cat/WebEditor/Pagines/file/10_Contexto%20energetico%20global%20y%20regional.pdf (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
2. Statista. (s.f.). Suministro de energía primaria a nivel mundial por fuente en 2019. Statista. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/600585/suministro-de-energia-primaria-a-nivel-mundial-por-fuente/> (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
3. La Información. (2021, 16 de noviembre). La UE reduce un 27,8% las importaciones de gas desde Rusia por el impulso de las renovables. La Información. Recuperado de <https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/ue-importaciones-gas-rusia/2881840/> (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
5. International Energy Agency. (s.f.). Global Energy Crisis. Recuperado de <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis?language=es> (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
6. OMIE. (2023). OMIE. Disponible en: <https://www.omie.es/> (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
7. Kelisto. (s.f.). Por qué sube el precio de la luz. En Kelisto. Recuperado de <https://www.kelisto.es/electricidad/consejos-y-analisis/por-que-sube-el-precio-de-la-luz-6181#:~:text=El%20aumento%20de%20la%20demanda,el%20precio%20de%20la%20luz.> (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
8. Universidad Rey Juan Carlos. Depto. Tecnología Química, Energía y Mecánica: Contenido de energías renovables
9. Energía Estratégica. (2022, 4 noviembre). La demanda de energía eléctrica de España desciende un 5,1% en octubre. Energía Estratégica. Recuperado de <https://energiaestrategica.es/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-desciende-un-51-en-octubre/> (fecha de acceso: 17 de septiembre de 2023).
10. World Energy Trade. (2022, 4 enero). La fotovoltaica en España bate récords en 2022. World Energy Trade. Recuperado de <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/fotovoltaica-espana-records-en-2022-16474> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
11. Hablando en Vidrio. (s.f.). ¿Qué es el hidrógeno verde? Hablando en Vidrio. Recuperado de <https://hablandoenvidrio.com/que-es-el-hidrogeno-verde/> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).

12. Acciona. (2020). Hidrógeno verde. Disponible en: https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894 (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
13. AutoBild. (2021, 11 diciembre). H2MED: el gran corredor de transporte de hidrógeno verde que se alargará por Alemania. AutoBild. Recuperado de <https://www.autobild.es/noticias/h2med-gran-corredor-transporte-hidrogeno-verde-alargara-alemania-1188710> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
14. El Mundo. (2023, 2 enero). El hidrógeno verde, la apuesta energética de España para 2030. El Mundo. Recuperado de <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2023/01/02/63a5a85ffdddfc4238b45c9.html> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
15. El Economista. (2022, junio 22). El sector del autoconsumo se desborda ante su creciente demanda. En El Economista. Recuperado de <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/11803416/06/22/El-sector-del-autoconsumo-se-desborda-ante-su-creciente-demanda.html> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
16. Arquitectura Sostenible. (s.f.). Hidrógeno verde para autoconsumo doméstico. En Arquitectura Sostenible. Recuperado de <https://arquitectura-sostenible.es/hidrogeno-verde-autoconsumo-domestico/> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
17. Home Power Solutions. (s.f.). Producto. En Home Power Solutions. Recuperado de <https://www.homepowersolutions.de/produkt/> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
18. DW. (2022). El sol de España se convierte en un factor económico. En DW. Recuperado de <https://www.dw.com/es/el-sol-de-espa%C3%B1a-se-convierte-en-un-factor-econ%C3%B3mico/a-62619194> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
19. Vaillant. (s.f.). Glosario: Coeficiente de rendimiento (COP). En Vaillant. Recuperado de <https://www.vaillant.es/usuarios/servicios/glosario/cop/> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
20. Universidad Rey Juan Carlos. Depto. Tecnología Química, Energía y Mecánica: Contenido de energías renovables.
21. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac-/default.aspx> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
22. Asociación para el Desarrollo de la Región de Aliste, Tábara y Alba (ADRASE). (2013)). Página principal. Disponible en: <http://www.adrase.es/> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).

23. Joint Research Centre - European Commission. (s.f.). PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System. Recuperado de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
24. AutoSolar. (s.f.). Kits Solares. Recuperado de https://autosolar.es/kits-solares?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Busqueda-Placas-solares&utm_term=paneles%20solares&gclid=CjwKCAjwjYKjBhB5EiwAiFdSfr_t6-dchQIJd6826DcjBnT07CjhbKCL6bWC_MP7ZmLXAbGPoWBDChoC-pQQA_vD_BwE&gclid=aw.ds (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
24. ITS Energía Solar. (s.f.). Panel Solar Policristalino 335W Jinko 72 Células. Recuperado de <https://itsenergiasolar.es/producto/panel-solar-policristalino-335w-jinko-72-celulas/> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
25. WeatherSpark. (2022). Datos históricos meteorológicos de 2022 en Toledo, España. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/h/y/35355/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Toledo-Espa%C3%B1a> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
26. Instituto Geográfico Nacional (IGN). (s.f.). Mapa topográfico de España. En Catálogo de la Cartoteca Digital del IGN. Recuperado de <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/031420.html> (fecha de acceso: 18 de septiembre de 2023).
27. Home Power Solutions. (s.f.). Producto - Home Power Solutions. Recuperado de <https://www.homepowersolutions.de/produkt/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
28. Renovables del Sur. (s.f.). Regulador Solar Outback Flexmax 100 MPPT 300V. Recuperado de <https://renovablesdelsur.com/reguladores-solares-mppt/801-regulador-solar-outback-flexmax-100-mppt-300v.html> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
29. Renogy. (2021). RNG-210324-RVR203040(SP). pdf. Disponible en: <https://es.renogy.com/content/RVR203040/RNG-210324-RVR203040%EF%BC%88SP%EF%BC%89.pdf> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
30. Renovables del Sur. (2023) Batería de litio TerrePower EB 15kWh 48V. Disponible en: <https://renovablesdelsur.com/baterias-litio/1128-bateria-litio-terrepower-eb-15kwh-48v-8437026190033.html> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
31. Tesla (2023). Powerwall Tesla España. Disponible en: https://www.tesla.com/es_es/powerwall (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
32. Idea Green. "Tipos de Electrolizadores." Disponible en: <https://ideagreen.es/hidrogeno-verde/tipos-de-electrolizadores/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).

33. Wisdomanimated (2012). Electrolisis. Disponible en: www.wisdomanimated.com (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
34. McPhy. (2023). Electrolyzers – Small McPhy. Disponible en: <https://mcphy.com/en/equipment-services/electrolyzers/small/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
35. H2SYS. (s.f.). Pila de combustible. Recuperado de <https://h2sys.fr/es/tecnologias/pila-de-combustible/#:~:text=Hidr%C3%B3geno%20%2B%20Ox%C3%ADgeno%20E2%86%92%20Electricidad%20%2B%20Agua%20%2B%20Calor&text=En%20la%20pila%20se%20produce,Esto%20es%20la%20oxidaci%C3%B3n>. (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
36. PYSYSTEMS. (s.f.). EFOY Fuel Cells. Recuperado de <https://www.pysystems.ca/resources/tech-talk/efoy-fuel-cells/#:~:text=Cost%20The%20cost%20of%20the,%247%2C300%20for%20the%20210%20model>. (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
37. Bauer Kompressoren. (2023). PE-HE 250-300 l/min. Disponible en: <https://www.bauer-kompressoren.de/es/productos/aire-respirable-deporte/pe-he-250-300-lmin/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
38. Bauer Spare Partd (2012). Bauer PE 300 HE High-Pressure Compressor. Disponible en: <https://bauer-spareparts.com/100-BAUER-High-Pressure-Compressors/131-BAUER-Poseidon-Edition-TE-TB-HE/Bauer-PE-300-HE-high-pressure-compressor::64.html?language=en> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
39. BOE. (1998). Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1998-23284#:~:text=Disposiciones%20generales&text=El%20presente%20T%C3%ADtulo%20establece%20el,los%20almacenamientos%20subterr%C3%A1neos%20para%20hidrocarburos>. (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
40. Home Power Solutions. (s.f.). Producto. En Home Power Solutions. Recuperado de <https://www.homepowersolutions.de/produkt/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
41. Statista (2023). Precio medio final de la electricidad en España. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/993787/precio-medio-final-de-la-electricidad-en-espana/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
42. Tematicas.org. (s.f.). Precio del gas natural en 2012. Recuperado de <https://tematicas.org/indicadores-economicos/economia-internacional/precios/precio-del-gas-natural/2012/> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).

43. Generación Distribuida. (2013, agosto). Viabilidad económica de una instalación solar. Recuperado de <http://generaciondistribuida.blogspot.com/2013/08/viabilidad-economica-instalacion-solar.html> (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
44. Iberdrola. (s.f.). Subvenciones para instalaciones solares en Castilla-La Mancha [Página web]. En Iberdrola. Disponible en: <https://www.iberdrola.es/smart-solar/subvenciones#:~:text=Castilla%20La%20Mancha,del%2030%25%20durante%205%20a%C3%B1os>. (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
45. Cinco Días. (2019, noviembre 20). Las empresas eléctricas apuestan por la energía solar en España. Cinco Días. Recuperado de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/11/20/companias/1574275928_013353.html (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).
46. Cambio Energético. (s.f.). ¿Qué IVA se aplica al instalar placas solares para autoconsumo? Cambio Energético. Recuperado de <https://www.cambioenergetico.com/blog/iva-reducido-autoconsumo-paneles-solares/#:~:text=instalaciones%20de%20autoconsumo-,%20BFQu%20C3%A9%20IVA%20se%20aplica%20al%20instalar%20placas%20solares%20para%20autoconsumo,el%20impuesto%20asciende%20al%2021%25>. (fecha de acceso: 19 de septiembre de 2023).

2. Apéndices

2.1 Planos



Tejado

Planta

Escala 1 : 100



TABLA DE DATOS

Superficie	64,73 m ²
Numero de paneles	X
Potencia máxima	X

PROYECTO DE EJECUCION DE:

INSTALACION PANELES FOTOVOLTAICOS EN UNA VIVIENDA FAMILIAR -COBISA TOLEDO-, DEL TERMINO MUNICIPAL DE TOLEDO

FIRMADO:

D. General Flores Garzaosa
INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL

PLANO DE:

PETICIONARIO:

FORMA O: AS | N°: 1 | REF.:
ESCALA: 1:100 - 1:50-1:25 | FECHA:

Instalacion fotovoltaica
Planta
Tejado LOCAL
FEBRERO DE 2023

 Universidad Rey Juan Carlos
 Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS. ESCET

Tejado

Planta

Escala 1 : 100



TABLA DE DATOS

Superficie	51,21 m ²
Numero de paneles	23
Potencia máxima	11500 W

PROYECTO DE EJECUCION DE:

INSTALACION PANELES FOTOVOLTAICOS EN UNA VIVIENDA FAMILIAR ACORISA TOLEDO-, DEL TERMINO MUNICIPAL DE TOLEDO

FIRMADO:

PLANO DE:

E. GONZALEZ CAMERON
INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL

PETICIONARIO:

FORMATO:

ESCALA:

Fecha

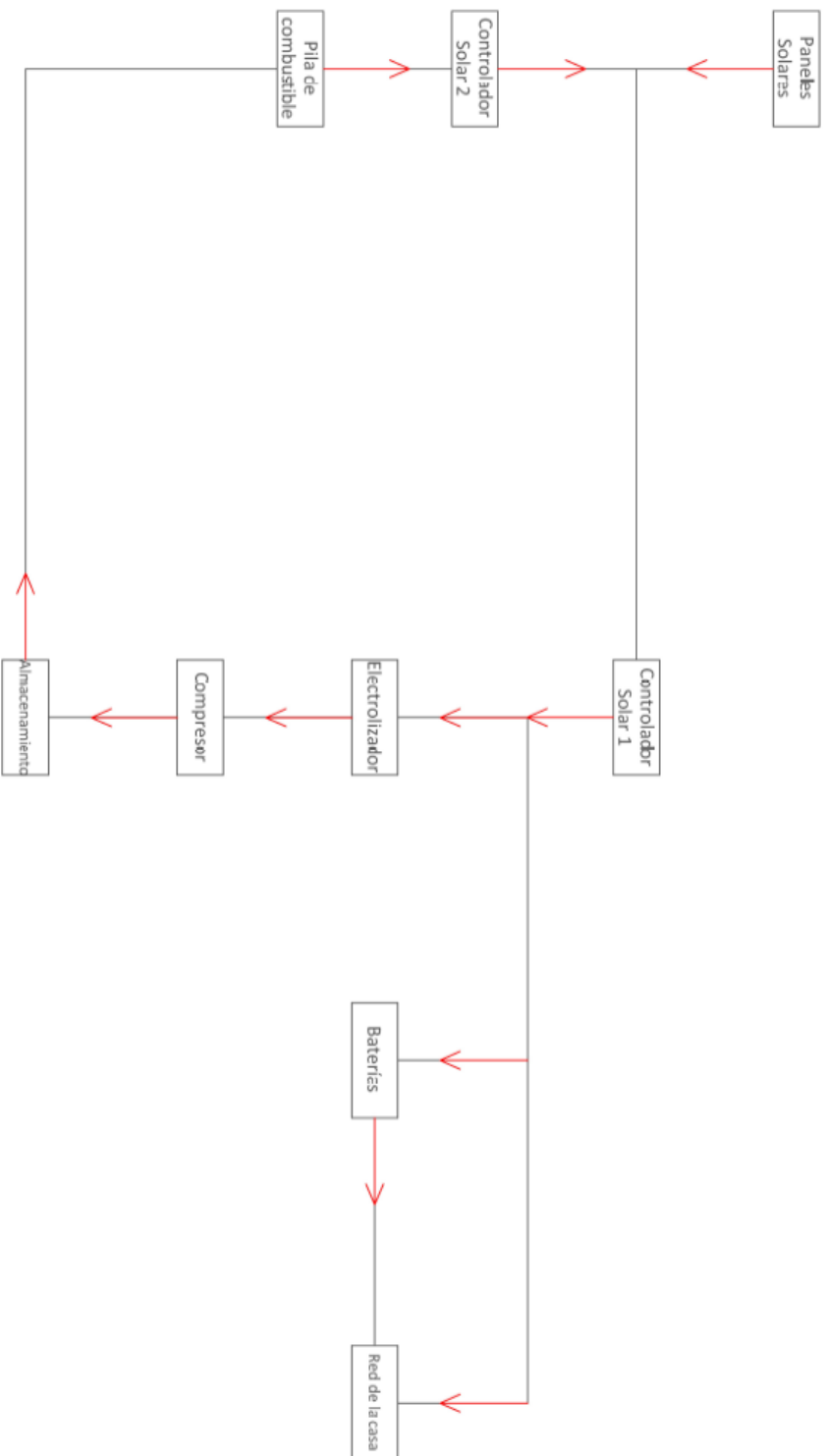
Instalacion fotovoltaica
Torno, LOCAL

FECHA: FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS, EXCT



Esquema de los equipos



2.2 Tablas

Valor de la electricidad Euro/Mwh escenario A						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Cosumo medio al año (333,167 kwh)	Al año
2012	59,5	7,8	67,3	0,067	22,4	269,2
2013	67,3	8,9	76,2	0,076	25,4	304,6
2014	76,2	10,0	86,2	0,086	28,7	344,6
2015	86,2	11,3	97,5	0,098	32,5	389,9
2016	97,5	12,8	110,4	0,110	36,8	441,2
2017	110,4	14,5	124,9	0,125	41,6	499,2
2018	124,9	16,4	141,3	0,141	47,1	564,9
2019	141,3	18,6	159,9	0,160	53,3	639,1
2020	159,9	21,0	180,9	0,181	60,3	723,2
2021	180,9	23,8	204,7	0,205	68,2	818,3
2022	204,7	26,9	231,6	0,232	77,2	925,9
2023	231,6	30,5	262,0	0,262	87,3	1047,6
2024	262,0	34,5	296,5	0,297	98,8	1185,4
2025	296,5	39,0	335,5	0,335	111,8	1341,3
2026	335,5	44,1	379,6	0,380	126,5	1517,7
2027	379,6	49,9	429,5	0,430	143,1	1717,2
2028	429,5	56,5	486,0	0,486	161,9	1943,1
2029	486,0	63,9	549,9	0,550	183,2	2198,6
2030	549,9	72,3	622,2	0,622	207,3	2487,7
2031	622,2	81,8	704,1	0,704	234,6	2814,8
2032	704,1	92,6	796,6	0,797	265,4	3185,0
2033	796,6	104,8	901,4	0,901	300,3	3603,8
2034	901,4	118,5	1019,9	1,020	339,8	4077,7
2035	1019,9	134,1	1154,1	1,154	384,5	4613,9
2036	1154,1	151,8	1305,8	1,306	435,1	5220,6
2037	1305,8	171,7	1477,5	1,478	492,3	5907,2
2038	1477,5	194,3	1671,8	1,672	557,0	6684,0
2039	1671,8	219,8	1891,7	1,892	630,2	7562,9
2040	1891,7	248,8	2140,4	2,140	713,1	8557,4
2041	2140,4	281,5	2421,9	2,422	806,9	9682,7
2042	2421,9	318,5	2740,4	2,740	913,0	10956,0
2043	2740,4	360,4	3100,7	3,101	1033,1	12396,7
2044	3100,7	407,7	3508,5	3,508	1168,9	14026,9
2045	3508,5	461,4	3969,8	3,970	1322,6	15871,4

Valor del gas Euro/Mwh escenario A						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Consumo medio al año (944,57 kwh)	Al año
2012	24,9	4,5	29,4	0,029	27,8	333,7
2013	29,4	5,4	34,8	0,035	32,9	394,5
2014	34,8	6,3	41,1	0,041	38,9	466,3
2015	41,1	7,5	48,6	0,049	45,9	551,3
2016	48,6	8,9	57,5	0,057	54,3	651,7
2017	57,5	10,5	68,0	0,068	64,2	770,5
2018	68,0	12,4	80,4	0,080	75,9	910,9
2019	80,4	14,6	95,0	0,095	89,7	1076,8
2020	95,0	17,3	112,3	0,112	106,1	1273,0
2021	112,3	20,5	132,8	0,133	125,4	1505,0
2022	132,8	24,2	157,0	0,157	148,3	1779,2
2023	157,0	28,6	185,6	0,186	175,3	2103,3
2024	185,6	33,8	219,4	0,219	207,2	2486,5
2025	219,4	40,0	259,3	0,259	245,0	2939,6
2026	259,3	47,3	306,6	0,307	289,6	3475,2
2027	306,6	55,9	362,5	0,362	342,4	4108,4
2028	362,5	66,0	428,5	0,428	404,7	4856,9
2029	428,5	78,1	506,6	0,507	478,5	5741,9
2030	506,6	92,3	598,9	0,599	565,7	6788,0
2031	598,9	109,1	708,0	0,708	668,7	8024,8
2032	708,0	129,0	837,0	0,837	790,6	9486,9
2033	837,0	152,5	989,5	0,989	934,6	11215,4
2034	989,5	180,3	1169,7	1,170	1104,9	13258,9
2035	1169,7	213,1	1382,9	1,383	1306,2	15674,6
2036	1382,9	252,0	1634,8	1,635	1544,2	18530,6
2037	1634,8	297,9	1932,7	1,933	1825,6	21906,8
2038	1932,7	352,1	2284,8	2,285	2158,2	25898,3
2039	2284,8	416,3	2701,1	2,701	2551,4	30616,9
2040	2701,1	492,1	3193,3	3,193	3016,3	36195,3
2041	3193,3	581,8	3775,1	3,775	3565,8	42790,1
2042	3775,1	687,8	4462,9	4,463	4215,5	50586,5
2043	4462,9	813,1	5276,1	5,276	4983,6	59803,3
2044	5276,1	961,3	6237,4	6,237	5891,6	70699,5
2045	6237,4	1136,4	7373,8	7,374	6965,1	83580,9

Flujo Inversión de A				
Año	Año inversión	Inverión (€)	Ahorro (€)	Flujo (€)
2022	1	-53102	2705	2205
2023	2	-50897	3151	2455
2024	3	-48442	3672	2719
2025	4	-45723	4281	3001
2026	5	-42722	4993	3302
2027	6	-39419	5826	3625
2028	7	-35795	6800	3970
2029	8	-31825	7940	4341
2030	9	-27483	9276	4741
2031	10	-22742	10840	5172
2032	11	-17569	12672	5638
2033	12	-11932	14819	6141
2034	13	-5790	17337	6686
2035	14	896	20289	7276
2036	15	8172	23751	7916
2037	16	16088	27814	8611
2038	17	24699	32582	9364
2039	18	34063	38180	10184
2040	19	44247	44753	11074
2041	20	55321	52473	12043

Valor de la luz Euro/Mwh escenario B						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Cosumo medio al año (288,8333) kwh)	Al año
2022	204,67	12,95	217,62	0,22	72,51	870,06
2023	217,62	13,77	231,39	0,23	77,09	925,11
2024	231,39	14,64	246,03	0,25	81,97	983,64
2025	246,03	15,57	261,60	0,26	87,16	1045,88
2026	261,60	16,55	278,15	0,28	92,67	1112,05
2027	278,15	17,60	295,75	0,30	98,53	1182,41
2028	295,75	18,71	314,46	0,31	104,77	1257,22
2029	314,46	19,90	334,36	0,33	111,40	1336,76
2030	334,36	21,15	355,51	0,36	118,44	1421,34
2031	355,51	22,49	378,01	0,38	125,94	1511,27
2032	378,01	23,92	401,92	0,40	133,91	1606,89
2033	401,92	25,43	427,35	0,43	142,38	1708,55
2034	427,35	27,04	454,39	0,45	151,39	1816,65
2035	454,39	28,75	483,14	0,48	160,97	1931,59
2036	483,14	30,57	513,71	0,51	171,15	2053,80
2037	513,71	32,50	546,21	0,55	181,98	2183,75
2038	546,21	34,56	580,77	0,58	193,49	2321,91
2039	580,77	36,75	617,51	0,62	205,74	2468,82
2040	617,51	39,07	656,58	0,66	218,75	2625,02
2041	656,58	41,54	698,13	0,70	232,59	2791,11
2042	698,13	44,17	742,30	0,74	247,31	2967,70
2043	742,30	46,97	789,26	0,79	262,96	3155,47
2044	789,26	49,94	839,20	0,84	279,59	3355,12
2045	839,20	53,10	892,29	0,89	297,28	3567,40
2046	892,29	56,46	948,75	0,95	316,09	3793,10
2047	948,75	60,03	1008,78	1,01	336,09	4033,09
2048	1008,78	63,83	1072,60	1,07	357,36	4288,27
2049	1072,60	67,86	1140,47	1,14	379,97	4559,59
2050	1140,47	72,16	1212,62	1,21	404,01	4848,07
2051	1212,62	76,72	1289,35	1,29	429,57	5154,81
2052	1289,35	81,58	1370,92	1,37	456,75	5480,95
2053	1370,92	86,74	1457,66	1,46	485,64	5827,73
2054	1457,66	92,23	1549,89	1,55	516,37	6196,45
2055	1549,89	98,06	1647,95	1,65	549,04	6588,50
2056	1647,95	104,27	1752,21	1,75	583,78	7005,36
2057	1752,21	110,86	1863,08	1,86	620,72	7448,59
2058	1863,08	117,88	1980,95	1,98	659,99	7919,86
2059	1980,95	125,33	2106,29	2,11	701,75	8420,95
2060	2106,29	133,26	2239,55	2,24	746,15	8953,74
2061	2239,55	141,70	2381,25	2,38	793,35	9520,25
2062	2381,25	150,66	2531,91	2,53	843,55	10122,59
2063	2531,91	160,19	2692,11	2,69	896,92	10763,05

Valor del gas Euro/Mwh escenario B						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/kwh	Consumo medio al año (944,57 kwh)	Al año
2022	132,79	11,48	144,27	0,14	136,27	1635,27
2023	144,27	12,47	156,74	0,16	148,06	1776,67
2024	156,74	13,55	170,30	0,17	160,86	1930,30
2025	170,30	14,73	185,02	0,19	174,77	2097,21
2026	185,02	16,00	201,02	0,20	189,88	2278,56
2027	201,02	17,38	218,41	0,22	206,30	2475,59
2028	218,41	18,89	237,29	0,24	224,14	2689,65
2029	237,29	20,52	257,81	0,26	243,52	2922,23
2030	257,81	22,29	280,10	0,28	264,58	3174,91
2031	280,10	24,22	304,32	0,30	287,45	3449,44
2032	304,32	26,31	330,64	0,33	312,31	3747,72
2033	330,64	28,59	359,23	0,36	339,32	4071,78
2034	359,23	31,06	390,29	0,39	368,66	4423,87
2035	390,29	33,75	424,04	0,42	400,53	4806,40
2036	424,04	36,67	460,70	0,46	435,17	5222,01
2037	460,70	39,84	500,54	0,50	472,80	5673,56
2038	500,54	43,28	543,82	0,54	513,68	6164,15
2039	543,82	47,02	590,85	0,59	558,10	6697,17
2040	590,85	51,09	641,94	0,64	606,36	7276,27
2041	641,94	55,51	697,45	0,70	658,79	7905,45
2042	697,45	60,31	757,76	0,76	715,75	8589,03
2043	757,76	65,52	823,28	0,82	777,64	9331,73
2044	823,28	71,19	894,47	0,89	844,89	10138,64
2045	894,47	77,34	971,81	0,97	917,94	11015,33
2046	971,81	84,03	1055,84	1,06	997,32	11967,83
2047	1055,84	91,30	1147,14	1,15	1083,56	13002,68
2048	1147,14	99,19	1246,34	1,25	1177,25	14127,03
2049	1246,34	107,77	1354,11	1,35	1279,05	15348,59
2050	1354,11	117,09	1471,20	1,47	1389,65	16675,78
2051	1471,20	127,21	1598,41	1,60	1509,81	18117,74
2052	1598,41	138,21	1736,63	1,74	1640,36	19684,38
2053	1736,63	150,17	1886,79	1,89	1782,21	21386,49
2054	1886,79	163,15	2049,94	2,05	1936,31	23235,78
2055	2049,94	177,26	2227,20	2,23	2103,75	25244,97
2056	2227,20	192,59	2419,79	2,42	2285,66	27427,91
2057	2419,79	209,24	2629,03	2,63	2483,30	29799,60
2058	2629,03	227,33	2856,36	2,86	2698,03	32376,37
2059	2856,36	246,99	3103,35	3,10	2931,33	35175,95
2060	3103,35	268,35	3371,69	3,37	3184,80	38217,62
2061	3371,69	291,55	3663,24	3,66	3460,19	41522,30
2062	3663,24	316,76	3980,01	3,98	3759,39	45112,73
2063	3980,01	344,15	4324,16	4,32	4084,47	49013,63

Flujo Inversión de B				
Año	Año inversión	Inversión (€)	Ahorro (€)	Flujo (€)
2022	1	-53102	2505	2005
2023	2	-51097	2702	2039
2024	3	-49058	2914	2070
2025	4	-46988	3143	2098
2026	5	-44890	3391	2125
2027	6	-42766	3658	2149
2028	7	-40616	3947	2172
2029	8	-38444	4259	2193
2030	9	-36251	4596	2213
2031	10	-34038	4961	2231
2032	11	-31806	5355	2249
2033	12	-29558	5780	2265
2034	13	-27293	6241	2280
2035	14	-25013	6738	2294
2036	15	-22720	7276	2307
2037	16	-20413	7857	2319
2038	17	-18093	8486	2331
2039	18	-15762	9166	2342
2040	19	-13420	9901	2353
2041	20	-11068	10697	2363
2042	21	-8705	11557	2372
2043	22	-6333	12487	2381
2044	23	-3951	13494	2390
2045	24	-1561	14583	2399
2046	25	837	15761	2407
2047	26	3244	17036	2415
2048	27	5658	18415	2422
2049	28	8081	19908	2430
2050	29	10510	21524	2437
2051	30	12947	23273	2444
2052	31	15391	25165	2451
2053	32	17842	27214	2458
2054	33	20301	29432	2465
2055	34	22766	31833	2472
2056	35	25237	34433	2479
2057	36	27716	37248	2485
2058	37	30202	40296	2492
2059	38	32694	43597	2499
2060	39	35193	47171	2506
2061	40	37699	51043	2513
2062	41	40211	55235	2520
2063	42	42731	59777	2526

Valor de la luz Euro/Mwh escenario C						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Al día al año (288)	Al año
2022	204,67	12,95	217,62	0,22	72,51	870,06
2023	217,62	13,77	231,39	0,23	77,09	925,11
2024	231,39	14,64	246,03	0,25	81,97	983,64
2025	246,03	15,57	261,60	0,26	87,16	1045,88
2026	261,60	16,55	278,15	0,28	92,67	1112,05
2027	278,15	17,60	295,75	0,30	98,53	1182,41
2028	295,75	18,71	314,46	0,31	104,77	1257,22
2029	314,46	19,90	334,36	0,33	111,40	1336,76
2030	334,36	21,15	355,51	0,36	118,44	1421,34
2031	355,51	22,49	378,01	0,38	125,94	1511,27
2032	378,01	23,92	401,92	0,40	133,91	1606,89
2033	401,92	25,43	427,35	0,43	142,38	1708,55
2034	427,35	27,04	454,39	0,45	151,39	1816,65
2035	454,39	28,75	483,14	0,48	160,97	1931,59
2036	483,14	30,57	513,71	0,51	171,15	2053,80
2037	513,71	32,50	546,21	0,55	181,98	2183,75
2038	546,21	34,56	580,77	0,58	193,49	2321,91
2039	580,77	36,75	617,51	0,62	205,74	2468,82
2040	617,51	39,07	656,58	0,66	218,75	2625,02
2041	656,58	41,54	698,13	0,70	232,59	2791,11
2042	698,13	44,17	742,30	0,74	247,31	2967,70
2043	742,30	46,97	789,26	0,79	262,96	3155,47
2044	789,26	49,94	839,20	0,84	279,59	3355,12
2045	839,20	53,10	892,29	0,89	297,28	3567,40
2046	892,29	56,46	948,75	0,95	316,09	3793,10
2047	948,75	60,03	1008,78	1,01	336,09	4033,09
2048	1008,78	63,83	1072,60	1,07	357,36	4288,27
2049	1072,60	67,86	1140,47	1,14	379,97	4559,59
2050	1140,47	72,16	1212,62	1,21	404,01	4848,07
2051	1212,62	76,72	1289,35	1,29	429,57	5154,81
2052	1289,35	81,58	1370,92	1,37	456,75	5480,95
2053	1370,92	86,74	1457,66	1,46	485,64	5827,73
2054	1457,66	92,23	1549,89	1,55	516,37	6196,45
2055	1549,89	98,06	1647,95	1,65	549,04	6588,50
2056	1647,95	104,27	1752,21	1,75	583,78	7005,36
2057	1752,21	110,86	1863,08	1,86	620,72	7448,59
2058	1863,08	117,88	1980,95	1,98	659,99	7919,86
2059	1980,95	125,33	2106,29	2,11	701,75	8420,95
2060	2106,29	133,26	2239,55	2,24	746,15	8953,74
2061	2239,55	141,70	2381,25	2,38	793,35	9520,25
2062	2381,25	150,66	2531,91	2,53	843,55	10122,59
2063	2531,91	160,19	2692,11	2,69	896,92	10763,05

Valor del gas Euro/Mwh escenario C						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Medio al año (9)	Al año
2022	132,79	11,48	144,27	0,14	136,27	1635,27
2023	144,27	12,47	156,74	0,16	148,06	1776,67
2024	156,74	13,55	170,30	0,17	160,86	1930,30
2025	170,30	14,73	185,02	0,19	174,77	2097,21
2026	185,02	16,00	201,02	0,20	189,88	2278,56
2027	201,02	17,38	218,41	0,22	206,30	2475,59
2028	218,41	18,89	237,29	0,24	224,14	2689,65
2029	237,29	20,52	257,81	0,26	243,52	2922,23
2030	257,81	22,29	280,10	0,28	264,58	3174,91
2031	280,10	24,22	304,32	0,30	287,45	3449,44
2032	304,32	26,31	330,64	0,33	312,31	3747,72
2033	330,64	28,59	359,23	0,36	339,32	4071,78
2034	359,23	31,06	390,29	0,39	368,66	4423,87
2035	390,29	33,75	424,04	0,42	400,53	4806,40
2036	424,04	36,67	460,70	0,46	435,17	5222,01
2037	460,70	39,84	500,54	0,50	472,80	5673,56
2038	500,54	43,28	543,82	0,54	513,68	6164,15
2039	543,82	47,02	590,85	0,59	558,10	6697,17
2040	590,85	51,09	641,94	0,64	606,36	7276,27
2041	641,94	55,51	697,45	0,70	658,79	7905,45
2042	697,45	60,31	757,76	0,76	715,75	8589,03
2043	757,76	65,52	823,28	0,82	777,64	9331,73
2044	823,28	71,19	894,47	0,89	844,89	10138,64
2045	894,47	77,34	971,81	0,97	917,94	11015,33
2046	971,81	84,03	1055,84	1,06	997,32	11967,83
2047	1055,84	91,30	1147,14	1,15	1083,56	13002,68
2048	1147,14	99,19	1246,34	1,25	1177,25	14127,03
2049	1246,34	107,77	1354,11	1,35	1279,05	15348,59
2050	1354,11	117,09	1471,20	1,47	1389,65	16675,78
2051	1471,20	127,21	1598,41	1,60	1509,81	18117,74
2052	1598,41	138,21	1736,63	1,74	1640,36	19684,38
2053	1736,63	150,17	1886,79	1,89	1782,21	21386,49
2054	1886,79	163,15	2049,94	2,05	1936,31	23235,78
2055	2049,94	177,26	2227,20	2,23	2103,75	25244,97
2056	2227,20	192,59	2419,79	2,42	2285,66	27427,91
2057	2419,79	209,24	2629,03	2,63	2483,30	29799,60
2058	2629,03	227,33	2856,36	2,86	2698,03	32376,37
2059	2856,36	246,99	3103,35	3,10	2931,33	35175,95
2060	3103,35	268,35	3371,69	3,37	3184,80	38217,62
2061	3371,69	291,55	3663,24	3,66	3460,19	41522,30
2062	3663,24	316,76	3980,01	3,98	3759,39	45112,73
2063	3980,01	344,15	4324,16	4,32	4084,47	49013,63

Flujo de inversión en C				
Año	Año inversión	Inversión (€)	Ahorro (€)	Flujo (€)
2022	1	-53102	2505	2005
2023	2	-51097	2702	2097
2024	3	-49000	2914	2190
2025	4	-46810	3143	2283
2026	5	-44527	3391	2378
2027	6	-42149	3658	2474
2028	7	-39675	3947	2572
2029	8	-37102	4259	2671
2030	9	-34431	4596	2773
2031	10	-31658	4961	2875
2032	11	-28783	5355	2980
2033	12	-25803	5780	3087
2034	13	-22715	6241	3197
2035	14	-19519	6738	3308
2036	15	-16211	7276	3422
2037	16	-12789	7857	3539
2038	17	-9250	8486	3659
2039	18	-5591	9166	3781
2040	19	-1810	9901	3906
2041	20	2096	10697	4035
2042	21	6131	11557	4167
2043	22	10299	12487	4303
2044	23	14601	13494	4442
2045	24	19043	14583	4585
2046	25	23628	15761	4732
2047	26	28360	17036	4883
2048	27	33243	18415	5039
2049	28	38282	19908	5198
2050	29	43480	21524	5363
2051	30	48843	23273	5533
2052	31	54376	25165	5707
2053	32	60083	27214	5887
2054	33	65969	29432	6072
2055	34	72041	31833	6263
2056	35	78304	34433	6459
2057	36	84763	37248	6662
2058	37	91425	40296	6871
2059	38	98297	43597	7087
2060	39	105383	47171	7309
2061	40	112692	51043	7538
2062	41	120231	55235	7775
2063	42	128005	59777	8019

Valor de la luz Euro/Mwh escenario D						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Al año (288 días)	Al año
2022	204,67	12,95	217,62	0,22	72,51	870,06
2023	217,62	13,77	231,39	0,23	77,09	925,11
2024	231,39	14,64	246,03	0,25	81,97	983,64
2025	246,03	15,57	261,60	0,26	87,16	1045,88
2026	261,60	16,55	278,15	0,28	92,67	1112,05
2027	278,15	17,60	295,75	0,30	98,53	1182,41
2028	295,75	18,71	314,46	0,31	104,77	1257,22
2029	314,46	19,90	334,36	0,33	111,40	1336,76
2030	334,36	21,15	355,51	0,36	118,44	1421,34
2031	355,51	22,49	378,01	0,38	125,94	1511,27
2032	378,01	23,92	401,92	0,40	133,91	1606,89
2033	401,92	25,43	427,35	0,43	142,38	1708,55
2034	427,35	27,04	454,39	0,45	151,39	1816,65
2035	454,39	28,75	483,14	0,48	160,97	1931,59
2036	483,14	30,57	513,71	0,51	171,15	2053,80
2037	513,71	32,50	546,21	0,55	181,98	2183,75
2038	546,21	34,56	580,77	0,58	193,49	2321,91
2039	580,77	36,75	617,51	0,62	205,74	2468,82
2040	617,51	39,07	656,58	0,66	218,75	2625,02
2041	656,58	41,54	698,13	0,70	232,59	2791,11
2042	698,13	44,17	742,30	0,74	247,31	2967,70
2043	742,30	46,97	789,26	0,79	262,96	3155,47
2044	789,26	49,94	839,20	0,84	279,59	3355,12
2045	839,20	53,10	892,29	0,89	297,28	3567,40
2046	892,29	56,46	948,75	0,95	316,09	3793,10
2047	948,75	60,03	1008,78	1,01	336,09	4033,09
2048	1008,78	63,83	1072,60	1,07	357,36	4288,27
2049	1072,60	67,86	1140,47	1,14	379,97	4559,59
2050	1140,47	72,16	1212,62	1,21	404,01	4848,07
2051	1212,62	76,72	1289,35	1,29	429,57	5154,81
2052	1289,35	81,58	1370,92	1,37	456,75	5480,95
2053	1370,92	86,74	1457,66	1,46	485,64	5827,73
2054	1457,66	92,23	1549,89	1,55	516,37	6196,45
2055	1549,89	98,06	1647,95	1,65	549,04	6588,50
2056	1647,95	104,27	1752,21	1,75	583,78	7005,36
2057	1752,21	110,86	1863,08	1,86	620,72	7448,59
2058	1863,08	117,88	1980,95	1,98	659,99	7919,86
2059	1980,95	125,33	2106,29	2,11	701,75	8420,95
2060	2106,29	133,26	2239,55	2,24	746,15	8953,74
2061	2239,55	141,70	2381,25	2,38	793,35	9520,25
2062	2381,25	150,66	2531,91	2,53	843,55	10122,59

Valor del gas Euro/Mwh escenario D						
Año	Valor inicial	Variacion	Valor final	Euro/Kwh	Medio al año (9)	Al año
2022	132,79	11,48	144,27	0,14	136,27	1635,27
2023	144,27	12,47	156,74	0,16	148,06	1776,67
2024	156,74	13,55	170,30	0,17	160,86	1930,30
2025	170,30	14,73	185,02	0,19	174,77	2097,21
2026	185,02	16,00	201,02	0,20	189,88	2278,56
2027	201,02	17,38	218,41	0,22	206,30	2475,59
2028	218,41	18,89	237,29	0,24	224,14	2689,65
2029	237,29	20,52	257,81	0,26	243,52	2922,23
2030	257,81	22,29	280,10	0,28	264,58	3174,91
2031	280,10	24,22	304,32	0,30	287,45	3449,44
2032	304,32	26,31	330,64	0,33	312,31	3747,72
2033	330,64	28,59	359,23	0,36	339,32	4071,78
2034	359,23	31,06	390,29	0,39	368,66	4423,87
2035	390,29	33,75	424,04	0,42	400,53	4806,40
2036	424,04	36,67	460,70	0,46	435,17	5222,01
2037	460,70	39,84	500,54	0,50	472,80	5673,56
2038	500,54	43,28	543,82	0,54	513,68	6164,15
2039	543,82	47,02	590,85	0,59	558,10	6697,17
2040	590,85	51,09	641,94	0,64	606,36	7276,27
2041	641,94	55,51	697,45	0,70	658,79	7905,45
2042	697,45	60,31	757,76	0,76	715,75	8589,03
2043	757,76	65,52	823,28	0,82	777,64	9331,73
2044	823,28	71,19	894,47	0,89	844,89	10138,64
2045	894,47	77,34	971,81	0,97	917,94	11015,33
2046	971,81	84,03	1055,84	1,06	997,32	11967,83
2047	1055,84	91,30	1147,14	1,15	1083,56	13002,68
2048	1147,14	99,19	1246,34	1,25	1177,25	14127,03
2049	1246,34	107,77	1354,11	1,35	1279,05	15348,59
2050	1354,11	117,09	1471,20	1,47	1389,65	16675,78
2051	1471,20	127,21	1598,41	1,60	1509,81	18117,74
2052	1598,41	138,21	1736,63	1,74	1640,36	19684,38
2053	1736,63	150,17	1886,79	1,89	1782,21	21386,49
2054	1886,79	163,15	2049,94	2,05	1936,31	23235,78
2055	2049,94	177,26	2227,20	2,23	2103,75	25244,97
2056	2227,20	192,59	2419,79	2,42	2285,66	27427,91
2057	2419,79	209,24	2629,03	2,63	2483,30	29799,60
2058	2629,03	227,33	2856,36	2,86	2698,03	32376,37
2059	2856,36	246,99	3103,35	3,10	2931,33	35175,95
2060	3103,35	268,35	3371,69	3,37	3184,80	38217,62
2061	3371,69	291,55	3663,24	3,66	3460,19	41522,30
2062	3663,24	316,76	3980,01	3,98	3759,39	45112,73

Flujo de la inversión en D				
Año	Año inversión	Inversión (€)	Ahorro (€)	Flujo (€)
2022	1	-41952	2505	2005
2023	2	-39947	2702	2097
2024	3	-37850	2914	2190
2025	4	-35660	3143	2283
2026	5	-33377	3391	2378
2027	6	-30999	3658	2474
2028	7	-28525	3947	2572
2029	8	-25952	4259	2671
2030	9	-23281	4596	2773
2031	10	-20508	4961	2875
2032	11	-17633	5355	2980
2033	12	-14653	5780	3087
2034	13	-11565	6241	3197
2035	14	-8369	6738	3308
2036	15	-5061	7276	3422
2037	16	-1639	7857	3539
2038	17	1900	8486	3659
2039	18	5559	9166	3781
2040	19	9340	9901	3906
2041	20	13246	10697	4035
2042	21	17281	11557	4167
2043	22	21449	12487	4303
2044	23	25751	13494	4442
2045	24	30193	14583	4585
2046	25	34778	15761	4732
2047	26	39510	17036	4883
2048	27	44393	18415	5039
2049	28	49432	19908	5198
2050	29	54630	21524	5363
2051	30	59993	23273	5533
2052	31	65526	25165	5707
2053	32	71233	27214	5887
2054	33	77119	29432	6072
2055	34	83191	31833	6263
2056	35	89454	34433	6459
2057	36	95913	37248	6662
2058	37	102575	40296	6871
2059	38	109447	43597	7087
2060	39	116533	47171	7309
2061	40	123842	51043	7538
2062	41	131381	55235	7775
2063	42	139155	59777	8019

2.3 Facturas de luz y gas



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

CONTRATO

Titular: MARTA CARRASCOSA CAÑERO
Potencia: Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW
Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA
(TOLEDO)

Nº DE CONTRATO: ~~4511117010073630~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 17/10/2021 – 15/11/2021	Nº FACTURA: 21211117010073630
DÍAS FACTURADOS: 29	FECHA DE EMISIÓN: 17 de noviembre de 2021

ENERGÍA.....	32,60 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	3,59 €
IVA Reducido (*).....	3,34 €
IVA.....	0,59 €

TOTAL **40,12 €**

FECHA PREVISTA DE COBRO: 25/11/2021

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175-28940 Madrid

DY 910 M5 0M5422955 0 1 08 SV08 009222 011087 20211117



~~MARTA CARRASCOSA CAÑERO~~

VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente
y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

**¡Controlar sus consumos
nunca ha sido tan fácil!**

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.

Documento emitido por IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - general@iberdrola.es - C/ Teresa Redondo 1, 28013 Madrid. Teléfono social: 902000000. Para Iberdrola S. 40500 México. Inscrita en el Registro Mercantil de Madrid, tomo 5046, folio 19, hoja B-43881. Inscrita en el ICI - CIF A-45795499



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



CONTRATO

Titular: MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia: Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

Nº DE CONTRATO: 33220955

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 15/11/2021 – 15/12/2021	Nº FACTURA: 21211217010069253
DÍAS FACTURADOS: 30	FECHA DE EMISIÓN: 17 de diciembre de 2021

ENERGÍA.....	36,30 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	6,75 €
IVA Reducido (*).....	3,71 €
IVA.....	1,25 €

TOTAL 48,01 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 25/12/2021

Revista: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 28080 Madrid

DI 910M 5.045473955 0 1 08 19 10 002503 09913 20211217



TITULAR: MARTA CARRASCOSA CAÑERO

**VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30**

45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.

Documento emitido por IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - domicilio fiscal: C/ Tomás de Torquemada, 1, 28013 Madrid - correo electrónico: Para Clientes y Afiliados: iiberdrola@iberdrola.es; Para el Servicio al Cliente: 1122. Inscripción en el Registro Mercantil de España: Tomo 3448, Folio 13, Hoja B-01981. Inscripción 1ª - C.F. A-457418W



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



CONTRATO

Titular: MARTA CARRASCOSA CAÑERO
Potencia: Potencia punta: 4,6 kW
 Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
 C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 21220119010072275~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 15/12/2021 – 17/01/2022	Nº FACTURA: 21220119010072275
DÍAS FACTURADOS: 33	FECHA DE EMISIÓN: 19 de enero de 2022

ENERGÍA.....	49,99 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	7,42 €
IVA Reducido (*).....	5,09 €
IVA.....	1,37 €
TOTAL	63,87 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 27/01/2022

Revista: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 01175 28060 Madrid
 DF 915M E 045472955 0 1 08 5037 007540 010005 20220119
 045472955 0 1 08 5037 007540 010005 20220119

MARTA CARRASCOSA CAÑERO
VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30
45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

CONTRATO

Titular
MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA
(TOLEDO)

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 2080 Madrid

CV 910 M 5 045472045 0 1 00 surt 001441 025211 2090245



~~MARTA CARRASCOSA CAÑERO~~

VIVIENDA:
C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 10055~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN:
17/01/2022 – 14/02/2022

Nº FACTURA:
21220216010069821

DÍAS FACTURADOS:
28

FECHA DE EMISIÓN:
16 de febrero de 2022

ENERGÍA.....43,33 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS..... 6,72 €
IVA Reducido (*)4,41 €
IVA 1,25 €

TOTAL **55,71 €**

FECHA PREVISTA DE COBRO: 24/02/2022

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.

DOCUMENTO ENVÍADO POR IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - (Identificación P.N.M. C/ Tomás Batardón 1, 28018 Madrid) al correo electrónico: Mónica Escudé S. 442698866. Fecha de envío en el Registro Mercantil de Madrid: 17/07/2013. Reg. B-43881. Inscripción 1 - C.F.A. - 4379199



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



CONTRATO

Titular
MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 454729955~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 14/02/2022 – 14/03/2022	Nº FACTURA: 21220316010062773
DIAS FACTURADOS: 28	FECHA DE EMISIÓN: 16 de marzo de 2022

ENERGIA.....	44,70 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	7,03 €
IVA Reducido (*).....	4,55 €
IVA.....	1,32 €
TOTAL	57,60 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 24/03/2022

Revista: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. | Apartado de Correos 61175, 28080 Madrid
Código de barras: 04547299550311041114505200010110712

~~MARTA CARRASCOSA CAÑERO~~
VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30
45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.

Documento emitido por IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - Avenida de Europa, 1, 28033 Madrid. Inscrito en el Registro Mercantil de Madrid, Tomo 5485, Folio 15, Noja B-4391. Inscripción 1ª - C.I.F.A-95758389



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

CONTRATO

Títular
MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos GI 175 28060 Madrid

DY 910M 5 045472855 0 1 08 5057 160136 032013 23229517



045472855003 P1104511145052002011707Z

~~MARTA CARRASCOSA CAÑERO~~

VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 21220517010070415~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN:
18/04/2022 - 15/05/2022

Nº FACTURA:
21220517010070415

DÍAS FACTURADOS:
27

FECHA DE EMISIÓN:
17 de mayo de 2022

ENERGÍA.....	40,57 €
FINANCIACIÓN BONO SOCIAL	0,82 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	6,25 €
IVA Reducido (*)	4,21 €
IVA	1,16 €

TOTAL 53,01 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 25/05/2022

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

CONTRATO

Titular
MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA
(TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 1522065~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 15/05/2022 – 14/06/2022

Nº FACTURA: 21220616010066111

DÍAS FACTURADOS: 30

FECHA DE EMISIÓN: 16 de junio de 2022

ENERGÍA.....	67,83 €
FINANCIACIÓN BONO SOCIAL	0,92 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	7,02 €
IVA Reducido (*)	6,96 €
IVA	1,31 €
TOTAL	84,04 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 24/06/2022

Revisite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 28080 Madrid

DV 810 M 5 045472955 D 1 06 5437 03095 049547 20220616



~~MARTA CARRASCOSA CAÑERO~~

VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Puede encontrar el desglose detallado de los conceptos facturados en el reverso de esta factura. Además, en iberdrola.info/factura-luz le explicamos con detalle la factura, para que entenderla sea más fácil que nunca.



Código de barras: 0454728950031110411114605200010104982



FACTURA DE ELECTRICIDAD
IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



CONTRATO

Titular: MARTA CARRASCOSA CAÑERO
Potencia: Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW
Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

Revisor: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Aguardado de Carreras 51175 1040 Madrid
DIY 910 M 5 045472895 0 1 00 Durc 000666 050237 20220808

~~MARTA CARRASCOSA CAÑERO~~
VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30
45111 COBISA (TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 21220804010109587~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 14/06/2022 – 14/07/2022	Nº FACTURA: 21220804010109587
DÍAS FACTURADOS: 30	FECHA DE EMISIÓN: 4 de agosto de 2022

ENERGÍA.....	105,23 €
CARGOS NORMATIVOS.....	63,98 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	6,95 €
IVA Reducido (*).....	8,50 €
IVA.....	1,29 €
TOTAL	185,95 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 12/08/2022

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

En aplicación del Real Decreto-Ley 10/2022, del 13 de mayo, se incluye un nuevo concepto para la financiación del tope del precio del gas. Este cargo normativo es de aplicación para los consumos realizados a partir del 15 de junio de 2022 en todos los contratos del mercado eléctrico indexados a los mercados mayoristas, o con precio fijo e inicio de vigencia posterior al 26 de abril de 2022, con independencia de su comercializadora. Más información en el reverso de la factura.



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

CONTRATO

Titular
MARTA CARRASCOA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA
(TOLEDO)

Nº DE CONTRATO: ~~21220822010059496~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 14/07/2022 – 15/08/2022
Nº FACTURA: 21220822010059496

DÍAS FACTURADOS: 32
FECHA DE EMISIÓN: 22 de agosto de 2022

ENERGIA.....	139,00 €
CARGOS NORMATIVOS.....	89,63 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	7,32 €
IVA Reducido (*).....	11,47 €
IVA.....	1,36 €

TOTAL **248,78 €**

CUOTA FIJA A PAGAR **81 €**

Fecha cobro cuota fija día 1 de cada mes

Revista: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 2000 Madrid



MARTA CARRASCOA CAÑERO
VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30
45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Su modalidad de pago es de Cuota Fija, por lo que se le cargará la cuota acordada. El importe de esta factura se indica a efectos informativos, y se tendrá en cuenta en la próxima regularización. Puede consultar el saldo actual de su Cuota Fija en Mi Área Cliente o en la App de Iberdrola.

En aplicación del Real Decreto-ley 10/2022, del 13 de mayo, se incluye un nuevo concepto para la financiación del tope del precio del gas. Este cargo normativo es de aplicación para los consumos realizados a partir del 15 de junio de 2022 en todos los contratos del mercado eléctrico indexados a los mercados mayoristas, o con precio fijo e inicio de vigencia, renovaciones, revisiones de precio o prórrogas a partir del 26 de abril de 2022, con independencia de su comercializadora. Más información en el reverso de la factura.





FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

CONTRATO

Titular
MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA
(TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 21220925~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN: 15/08/2022 – 14/09/2022

Nº FACTURA: 21220921010063290

DÍAS FACTURADOS: 30

FECHA DE EMISIÓN: 21 de septiembre de 2022

ENERGÍA.....	93,36 €
CARGOS NORMATIVOS.....	78,23 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	6,95 €
IVA Reducido (*).....	8,62 €
IVA.....	1,29 €

TOTAL 188,45 €

CUOTA FIJA A PAGAR 81 €

Fecha cobro cuota fija día 1 de cada mes

Revista: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 28080 Madrid

07 915 M 5 095472945 0 1 00 0438 007238 029801 20220921



~~Nº DE CONTRATO: 21220925~~

VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Su modalidad de pago es de Cuota Fija, por lo que se le cargará la cuota acordada cada mes natural. El importe de esta factura se indica a efectos informativos, y se tendrá en cuenta en la próxima regularización. Puede consultar el saldo actual de su Cuota Fija en Mi Área Cliente o en la App de Iberdrola.

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. inscrita en el Registro Mercantil de Toledo, Tomo 5489, Folio 15, Page 18-19 del Libro 1º de Inscripción. CIF A-95758389

Documento emitido por IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - domicilio fiscal: C/ Fermín Beltrán, 1, 28033 Madrid. Domicilio social: Plaza Bosquet, 5, 46051 Biblos. Inscrita en el Registro Mercantil de España, tomo 5448, folio 12, hoja B-53861. Inscripción 1ª - CIF A-05753889



FACTURA DE ELECTRICIDAD

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



CONTRATO

Titular
MARTA CARRASCOSA CAÑERO

Potencia:
Potencia punta: 4,6 kW
Potencia valle: 4,6 kW

Dirección de suministro:
C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

~~Nº DE CONTRATO: 454720955~~

RESUMEN DE FACTURA

PERIODO DE FACTURACIÓN:
14/03/2022 - 18/04/2022

Nº FACTURA:
21220421010138485

DÍAS FACTURADOS:
35

FECHA DE EMISIÓN:
21 de abril de 2022

ENERGÍA.....	51,31 €
FINANCIACIÓN BONO SOCIAL	0,58 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS.....	8,15 €
IVA Reducido (*)	5,28 €
IVA	1,52 €
TOTAL	66,84 €

FECHA PREVISTA DE COBRO: 29/04/2022

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 28000 Madrid



MARTA CARRASCOSA CAÑERO

VIVIENDA
C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Ahora su factura más transparente y fácil de entender:

- Información más clara y ordenada.
- Consejos personalizados para que ahorre más.

¡Controlar sus consumos nunca ha sido tan fácil!

Contribuye a reducir la dependencia del gas. Baja la temperatura del termostato y usa la calefacción menos horas.

En aplicación del Real Decreto-ley 6/2022, del 29 de marzo, se incluye un nuevo concepto regulado para la financiación del Bono Social y del coste de suministro de electricidad del consumidor en riesgo de exclusión social. Más información en el reverso de la factura.

IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389

FACTURA DE GAS

Página 1 / 4



IBERDROLA

DATOS DE FACTURA

Periodo de facturación 30/09/2021 - 25/11/2021
Número de factura 21211203010362069
Fecha de emisión de factura 3 de diciembre de 2021
Fecha cobro cuota fija día 1 de cada mes
Factura con lectura real

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

CUOTA FIJA MENSUAL A PAGAR: 130 €
TOTAL IMPORTE FACTURA: 175,91 € (Informativo)

RESUMEN DE FACTURACIÓN

ENERGÍA	134,14 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS	11,86 €
IVA 21% s/142,41 €	29,91 €
TOTAL	175,91 €

> ver detalle de facturación en el reverso

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 28080 Madrid

DY 910 S 1026212121 1 09 SV16 013748 090207 20211203



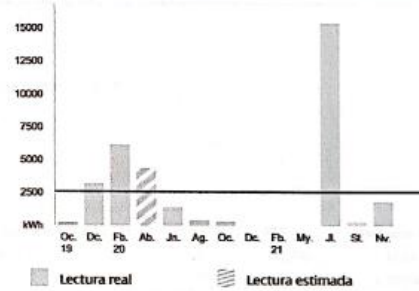
~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Dirección de suministro: C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

EVOLUCIÓN DE CONSUMO



Este gráfico muestra la evolución de su consumo.
Su consumo medio diario en este último periodo facturado ha sido: 3,14 €
Su consumo medio diario en los últimos 12 meses ha sido: 3,76 €

LE AYUDAMOS A ENTENDER SU FACTURA



Su modalidad de pago es de Cuota Fija, por lo que se le cargará la cuota acordada. El importe de esta factura se indica a efectos informativos, y se tendrá en cuenta en la próxima regularización. Puede consultar el saldo actual de su Cuota Fija en Mi Área Cliente o en la App de Iberdrola.

Documento emitido por IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - domicilio fiscal: C/ Teniente Redrinos 1, 28033 Madrid, domicilio social: Plaza Euzkadi 8, 48909 Bilbao; inscrita en el Registro Mercantil de Bilbao, tomo 5448, folio 79, hoja B-43391, inscripción 1ª - CIF A-95758389





IBERDROLA

DATOS DE FACTURA

Periodo de facturación 25/11/2021 – 02/02/2022
 Número de factura 21220223010376631
 Fecha de emisión de factura 23 de febrero de 2022
 Fecha cobro cuota fija día 1 de cada mes
 Factura con lectura real
 Titular **[REDACTED]**
 NIF: **[REDACTED]**
 Número de contrato **[REDACTED]**

CUOTA FIJA MENSUAL A PAGAR: 149 €
 TOTAL IMPORTE FACTURA: 655,15 € (Informativo)

RESUMEN DE FACTURACIÓN

ENERGÍA	527,37 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS	14,86 €
IVA 21% s/537,73 €	112,92 €
TOTAL	655,15 €

> ver detalle de facturación y consumo en el reverso

Revista: IBERDROLA CLIENTES S.A.U. Apartado de Correos 61175 28009 Madrid

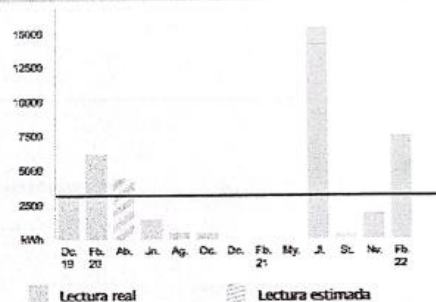


C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Dirección de suministro: C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

EVOLUCIÓN DE CONSUMO



Este gráfico muestra la evolución de su consumo.
 Su consumo medio diario en este último periodo facturado ha sido: 9,49 €
 Su consumo medio diario en los últimos 12 meses ha sido: 4,92 €





DATOS DE FACTURA

Periodo de facturación 24/05/2022 – 03/08/2022
Número de factura 21220809010379797
Fecha de emisión de factura 9 de agosto de 2022
Fecha cobro cuota fija día 1 de cada mes
Factura con lectura real
Titular ~~MARTA GARCIA GONZALEZ~~
NIF: ~~33090903E~~
Número de contrato ~~10062122485~~

CUOTA FIJA MENSUAL A PAGAR: 200 €
TOTAL IMPORTE FACTURA: 68,18 € (informativo)

RESUMEN DE FACTURACIÓN

ENERGÍA	41,38 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS	15,80 €
IVA 21% s/52,38 €	11,00 €
TOTAL	68,18 €

> ver detalle de facturación y consumo en el reverso

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Aguardo de Correos 61175 20000 Madrid

01910 610611171 100 5007 044416 057219 20220809

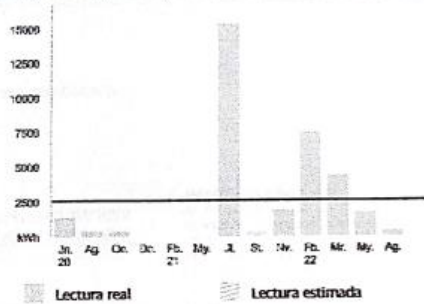


MARTIN GARCIA GONZALEZ

C/ CANDILEJO, 30
45111 COBISA (TOLEDO)

Dirección de suministro: C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

EVOLUCIÓN DE CONSUMO



Este gráfico muestra la evolución de su consumo.
Su consumo medio diario en este último periodo facturado ha sido: 0,96 €
Su consumo medio diario en los últimos 12 meses ha sido: 5,35 €



IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.
CIF A-95758389



IBERDROLA

DATOS DE FACTURA

Periodo de facturación 03/08/2022 – 26/09/2022
Número de factura 21220930010324233
Fecha de emisión de factura 30 de septiembre de 2022
Fecha cobro cuota fija día 1 de cada mes
Factura con lectura real
Titular: ~~XXXXXXXXXX~~
NIF: ~~XXXXXXXXXX~~
Número de contrato ~~XXXXXXXXXX~~

CUOTA FIJA MENSUAL A PAGAR: 130 €
TOTAL IMPORTE FACTURA: 42,61 € (informativo)

RESUMEN DE FACTURACIÓN

ENERGÍA	23,80 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS	12,05 €
IVA 21% s/32,19 €	6,76 €
TOTAL	42,61 €

> ver detalle de facturación y consumo en el reverso

FACTURA DE GAS

Página 1 / 4

Remite: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. Apartado de Correos 61175 20080 Madrid

01 110 5 934 112173 1 09

507 014218 057075 20220930



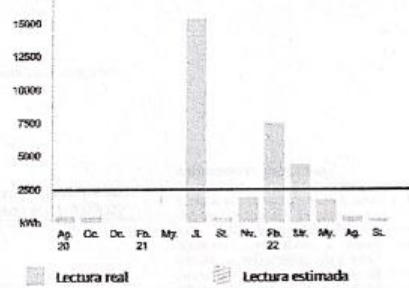
~~XXXXXXXXXX~~

C/ CANDILEJO, 30

45111 COBISA (TOLEDO)

Dirección de suministro: C/ CANDILEJO, 30 45111 COBISA (TOLEDO)

EVOLUCIÓN DE CONSUMO



Este gráfico muestra la evolución de su consumo.
Su consumo medio diario en este último periodo facturado ha sido: 0,79 €
Su consumo medio diario en los últimos 12 meses ha sido: 3,72 €



IBERDROLA CLIENTES, S.A.U. - Candilejo Fiscal - C/ Tomás Batallero 1, 28033 Madrid - Teléfono social: 90200 0000 - Email: clientes@iberdrola.es - Inscrita en el Registro Mercantil de España, Tomo 5448, Folio 13, M-48-13981. Inscipcion 1-07-A-2579189

2.4 Fichas técnicas de los equipos

Baterías Terrepower



Easy Battery 15 kWh 48V

Datos Eléctricos

Capacidad nominal	15 kWh (347Ah)
Voltaje nominal	43.75Vdc
Rango Voltaje funcionamiento	40 - 50 Vdc
Intensidad máxima de carga o descarga	125A
Potencia máxima	5000W
Expectativa de vida	>10 años
Configuración de la batería	Serie paralelo 12s/6p

Datos Generales

BMS datos técnicos	Protecciones: <ul style="list-style-type: none"> • Balanceo Activo • Vmax / Vmin • Cortocircuito • Imax • Temp
Temperatura de funcionamiento	-10°C a 45°C
Temperatura de almacenamiento	-10°C a 45°C
Temperatura óptima	0°C a 30°C
Humedad	<85%
Comunicación BMS	Bluetooth
Parámetros de monitorización por el BMS	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión del sistema y de células • Intensidad • Temperatura • Delta • Potencia • SoC • Ciclos de carga
Tensión nominal de impulso soportada (uimp)	0.5kV OVCII PD2
Tensión nominal de aislamiento (ui)	Conectores: 1000Vdc
Aislamiento	450/750V para circuitos con 67Vdc max.
Grado de contaminación del macroambiente	PD2
Tipo de sistema puesta a tierra	Interior (uso estacionario)
Grado de protección	IP20
Clasificación de compatibilidad electromagnética (cem)	A (Entorno Industrial)
Diseño externo	Conjunto bajo envolvente
Cables de conexión positivo y negativo	Incluido

Datos Mecánicos

Medidas (mm) Largo x Ancho x Alto	1080 x 600 x 230
Peso	100 kg
Montaje	En pared
Certificaciones	CE, UN38.3
Pruebas	IEC 62619, IEC 61439
Garantía	3 Años + 2 opcionales

Los datos anteriores están sujetos a cambios sin previo aviso.

Póngase en contacto con su distribuidor para obtener la información más reciente. Número de versión: 1.0

Compresor PE 300-HE de Bauer

TECHNICAL DATA

Type	Charging rate ¹		Operating Pressure max.		Purification System	Number of Stages	Speed approx.	Drive and Motor Power		Net Weight approx.	Dimensions L x W x H
	l/min	cfm	bar	psig				Motor	kW		
PE 250-HE	250	9	330	4,780	P 31	3	1,450	Three-phase 400 V, 50 Hz ²	5.5	220	110 x 69 x 99
PE 300-HE	300	10	330	4,780	P 31	3	1,800	Three-phase 400 V, 50 Hz ²	7.5	230	110 x 69 x 99

¹ Measured by cylinder filling (10 l) from 0 - 200 bar, ± 5%

² Plug dimension: 16 A

Controlador solar Rover 60

PARAMETERS

Nominal System Voltage	12V/24V/36V/48V Auto Recognition
Rated Charge Current	60A
Rated Load Current	20A
Battery Voltage	9V-70V
Max. PV Input Voltage	150 VDC (25°C), 145VDC (-25°C)
Self-Consumption	0.7W-1.2W
Temperature Compensation	-3mV/°C/2V
Dimensions	285 x 205 x 102mm (11.2 x 8.1 x 4.0 in)
Max Terminal Size	25mm ² 4 AWG
Net Weight	3.6 kg; 7.9 lbs.
Working Temperature	-35°C to + 45°C
Humidity Range	≤ 95% (NC)
Enclose	IP32
Altitude	<3000m
Communication	RS232; RS485
Certification	FCC Part 15 Class B, CE, RoHS, ETL Listed to UL1741 and CSA C22.2

Controlador solar Flex Max 100

Especificaciones de FLEXmax 100

04/2019

Modelo:	FLEXmax 100
Voltaje nominal del sistema de batería	24 VCC / 36 VCC / 48 VCC
Corriente de salida continua máxima	100 A
Corriente de entrada máxima (cortocircuito)	64 A
Arreglo FV máxima (placa de identificación STC)	3500 W / 5250 W / 7000 W (salida de carga limitada a 100A en volaje de batería)
Voltaje máximo del sistema FV1	300 VCC
Rango operativo de volaje de entrada2	30 VCC a 290 VCC
Consumo de energía en espera	~2.5 W
Eficacia de conversión de energía	24 V: 96 % 48 V: 97 %
Eficiencia pico	24 V: 97,5 % 48 V: 98,8 %
Regulación de carga	Tres etapas
Puntos de ajuste de regulación de volaje	Absorción, flotación, silenciosa y ecualización
Carga de compensación	Tiempo de inicio programable, punto de ajuste y duración de volaje, finalización automática al completar
Compensación de la temperatura de la batería	Ajustable de 2 mV/celda/°C a 6 mV/celda/°C
Capacidad de reducción gradual de volaje	Reducción de cualquier volaje de matriz aceptable a cualquier volaje de batería (ejemplo: matriz de 72 VCC a batería de 24 VCC)
Salida de control auxiliar programable	Señal de salida de 12 VCC que se puede programar para diferentes aplicaciones de control (máximo de 0,25 ADC)
Pantalla de estado	Indicadores luminosos
Pantalla y regulador remotos	Compatible con MATE3s
Cableado de red	Sistema exclusivo de red con conectores modulares RJ-45
Registro de datos	128 días
Rango operativo de temperatura3	Ambiente, -25 °C a 60 °C (-13 °F a 140 °F), potencia de salida reducida por encima de 25 °C
Calificación de protección de ingreso	IP54
Tipo de gabinete	3R
Clasificación de altura máxima	10.000 pies
Troquelados de conductos	Parte inferior y lados
Garantía	5 años
Peso (lb/kg)	Unidad: 18,3 / 8,3 Envío: 22 / 10
Dimensiones (alto x ancho x profundidad) (pulg./cm):	Unidad: 22 x 8,8 x 6 / 55,9 x 22,4 x 15,2 Envío: 25,5 x 12 x 10 / 64,8 x 30,5 x 25,4
Opciones	Sensor remoto de temperatura (RTS), HUB4, HUB10.3, MATE3s
Certificaciones	UL 1741, CSA C22.2 No. 1071, IEC 62109-1
Tamaño mínimo del banco de baterías	100 Ah
Rango de carga (salida)	20 VCC a 68 VCC
Características adicionales	GFCI incorporado, ventilador de refrigeración reemplazable en campo

Electrolizador McPhy



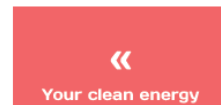
Piel
by
McPhy

On-site clean hydrogen, for light manufacturing or interrupted operating mode

Our new line of Piel electrolyzers comes from a decade-long experience in the gold smithery sector, in precious metal treatment and in metallurgy, and covers a broad spectrum of applications from welding-brazing to high fashion industry. Our proven design solutions, whose reliability has made our product a worldwide success, have joined a renovation that takes our Piel electrolyzer into the future, answering traditional and new requests from an ever-changing industry.

Series	Pressure (barg)	H ₂ flow range (Nm ³ /h)	O ₂ flow range (Nm ³ /h)	Electrical power range at nominal rate (kW)
Baby	1	0.4	0.2	3
P	1 - 2.5	1 - 1.6	0.5 - 0.8	6 - 9
M	1 - 2.5	2.4 - 4.4	1.2 - 2.2	14 - 26
H	4 - 8	3 - 10	1.5 - 5	18 - 60

All of our products are CE marked, in full compliance with the European Union directives [machine, low voltage, electromagnetic compatibility, pressure equipment directive].



Pila de combustible EFOY



Die EFOY Hydrogen Fuel Cell 2.5

Die EFOY Hydrogen Fuel Cell 2.5 ist die Brennstoffzelle und damit das Kernstück Ihrer Energielösung. Hier findet die chemische Reaktion statt und es wird elektrische Energie erzeugt. Je nach Bedarf können Sie Ihre Energielösung mit einer oder zwei EFOY Hydrogen Fuel Cells ausstatten.

EFOY Hydrogen Fuel Cell 2.5

Ausgangsleistung ²	2.500 W
Nennspannung	48 V
Gewicht	28,5 kg
Nennverbrauch	0,06 kg H ₂ / kWh
Abmessungen (L x B x H)	536 x 483 x 311 mm

Almacenamiento de hidrógeno EFOY

Wasserstoff Versorgung

Sie können Ihre Energielösung mit insgesamt 6 Anschlüssen für Wasserstoffflaschen oder mit insgesamt 12 Flaschen bestellen, je nach gewählter Gehäusevariante.

In beiden Fällen werden die Wasserstoffflaschen nicht direkt von SFC geliefert, sondern von Ihrem lokalen Wasserstofflieferanten.



Hydrogen

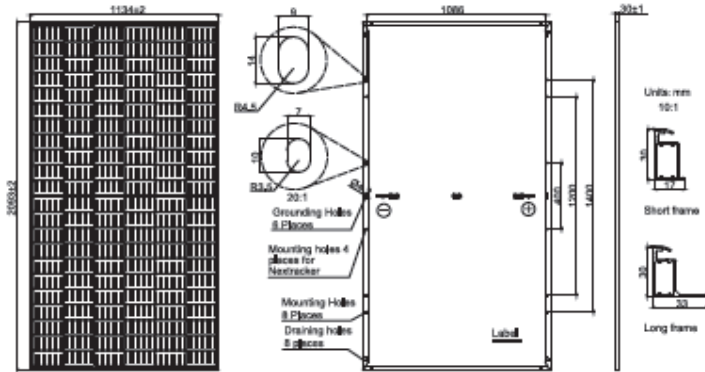
Inhalt	6 x 50 l	12 x 50 l
Druck	300 bar	
Anschlussgewinde	W 21.80 x 1/14 LH (DIN 477 Nr. 1)	
Gewicht	480 kg (6 x 80kg)	960 kg (12 x 80kg)
Nennkapazität	108 kWh	216 kWh
Laufzeit mit vollen H ₂ Flaschen @ 2.5 kW	43,2 h	86,4 h
Laufzeit mit vollen H ₂ Flaschen @ 5.0 kW	21,6 h	43,2 h

Paneles Solares JAM66S30-500/MR



JAM66S30 480-505/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	26,3kg
Dimensions	2093±2mm×1134±2mm×30±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	132(6×22)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/QC 4,10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 200mm(+)/300mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	36pcs/Pallet 792pcs/40HQ Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	480	485	490	495	500	505
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45,07	45,20	45,33	45,46	45,59	45,72
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	37,62	37,81	37,99	38,17	38,35	38,53
Short Circuit Current(Isc) [A]	13,65	13,72	13,79	13,86	13,93	14,00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12,76	12,83	12,90	12,97	13,04	13,11
Module Efficiency [%]	20,2	20,4	20,6	20,9	21,1	21,3
Power Tolerance				0→+5W		
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})				+0,045%/°C		
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})				-0,275%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})				-0,350%/°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	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	363	367	370	374	378	382
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	42,15	42,30	42,43	42,58	42,72	42,86
Max Power Voltage(Vmp) [V]	35,54	35,67	35,76	35,84	35,93	36,02
Short Circuit Current(Isc) [A]	10,99	11,06	11,13	11,20	11,27	11,34
Max Power Current(Imp) [A]	10,21	10,28	10,36	10,44	10,52	10,60
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1,5G					

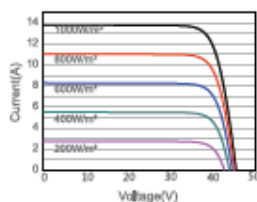
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.

OPERATING CONDITIONS

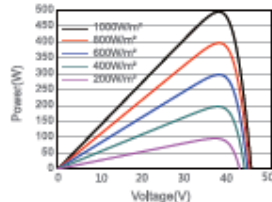
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 C →+85°C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load,Back*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	45±2 C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

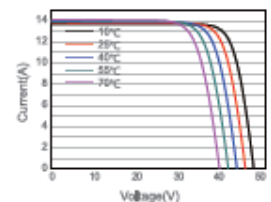
Current-Voltage Curve JAM66S30-495/MR



Power-Voltage Curve JAM66S30-495/MR



Current-Voltage Curve JAM66S30-495/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20220808A

Inversor Híbrido Tensite 5 kW

Entrada fotovoltaica	Máx. potencia del conjunto fotovoltaico	7500Wp STC
	Tensión de entrada máx.	550V
	Rango de tensión MPP/tensión nominal de entrada	40V a 530V/380V
	Tensión mínima de entrada/tensión de arranque	40V / 50V
	Número de rastreadores MPPT independientes/cadenas por entrada MPPT	2 / 1
	Corriente de entrada máx. por rastreador MPP	16A
	Corriente de cortocircuito máx. por rastreador MPP	20A
Entrada de la batería	Tensión nominal de la batería	48V / 51.2V
	Rango de tensión de la batería	40V a 60V
	Corriente de carga máx./Corriente de descarga máx.	100A / 100A
Tipo de batería	Li-Ion	
Salida de CA	Rango de tensión de CA/Tensión nominal de CA	180V a 280V/230V
	Frecuencia nominal de la red de CA	50Hz / 60Hz
	Rango de frecuencia de la red de CA	50 Hz±5Hz/60 Hz±5Hz
	Potencia activa nominal	5000W
	Potencia aparente nominal	5000VA
	Potencia aparente máx.	5000VA
	Corriente nominal de salida de la red (@230 V)	21.7A
	Corriente máx. de salida de la red	22.7A
Armónicos THDi (a potencia nominal)	< 3%	
Entrada de CA	Tensión nominal de la red	a.c. 230V
	Frecuencia nominal de la red	50Hz / 60Hz
	Potencia aparente nominal	6000VA
	Potencia aparente de entrada máx. desde la red	6000VA
	Corriente nominal de entrada desde la red	a.c. 26.1A
Corriente máx. de entrada desde la red	a.c. 27.3A	
Producción de EPS	Tensión nominal de salida	230V
	Frecuencia nominal de salida	50Hz / 60Hz
	Potencia aparente nomina	5000VA
	Potencia aparente de salida máx	5000VA
	Pico de potencia aparente de salida	7500VA, 10s
	Corriente nominal (a 230 V)	21.7A
	Corriente de salida máx.	21.7A
Tiempo máx. de conmutación	≤ 10 ms	
THDi de salida (a carga línea)	< 3%	
Eficiencia	Eficiencia del MPPT	99.9%
	Eficiencia europea/Eficiencia max	97% / 97.6%
	Eficiencia máx. de la batería con respecto a la carga	94.70%
Protección de seguridad	Dispositivo de desconexión del lado de CC	●
	Protección de la polaridad inversa de la entrada de la batería/cadena fotovoltaica	● / ●
	Unidad de monitoreo de corriente residual omnipolar	●
	Protección contra aislamiento	●
	Protección contra fallos de tierra	●
	Protección de la polaridad inversa de la entrada de la batería/cadena fotovoltaica	● / ●
	Protección contra sobretensión de CA	●
Clase de protección (según IEC 42109-1)/ categoría de sobretensión (según IEC 42109-3)	I / AC: III; DC: II	
Datos generales	Factor de potencia a potencia nominal/desplazamiento ajustable	≥0.99/0.8 que lleva a 0.8 de retraso
	Dimensiones (ancho/alto/largo)	494 / 420 / 195 mm
	Peso del dispositivo	21.5 kg
	Rango de temperaturas de funcionamiento	-25 °C _ +60 °C
	Emisiones acústicas (típicas)	30 dB(A)
	Consumo en espera	< 10 W
	Concepto de enfriamiento	Convección natural
	Grado de protección (según IEC 60529)	IP66
	Categoría climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H
	Valor máx. admisible de humedad relativa (sin condensación)	100%
	Altitud máx. en funcionamiento	4000 m (+3000 m reducción de potencia)
País de fabricación	Hecho en R.P.C	
Características	Interfaz de usuario	LED y aplicación
	Comunicación con BMS	RS485 / CAN
	Comunicación con meter	RS485
	Comunicación con el portal	Dongle Wi-Fi
	Otra comunicación	DRM
Control de potencia integrado / Vertido cero	● / ●	