



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Vivienda consumo casi cero: Integración de energías renovables

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Íñigo Pérez Peñalver
Director: Ana María Nieto Morote

Cartagena, 19 de julio de 2021



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Contenido

1.	Introducción	1
2.	Evolución normativa europea	3
3.	Definiciones de Consumo Cero	7
3.1.	Principios de diseño	9
3.2.	Criterios a considerar	10
4.	Desarrollo concepto Consumo Cero a nivel europeo.	13
4.1.	Reglamento Delegado Nº244/2012	15
4.2.	Recomendación 2016/1318	17
5.	Marcos de regulación	19
5.1.	Marco de obligado cumplimiento	19
5.1.1.	Código técnico de la edificación (CTE).....	19
5.2.	Marcos voluntarios.....	24
5.2.1.	Estándar Passivhaus	25
6.	Caso de estudio	35
6.1.	Vivienda.....	35
6.2.	Datos climáticos	39
6.2.1.	Radiación	39
6.2.2.	Recurso eólico	41
6.2.3.	Temperatura.....	43
7.	Instalación renovable híbrida.....	44
7.1.	Instalación fotovoltaica	44
7.2.	Instalación eólica.....	48
8.	Método de cálculo.....	53
8.1.	Método de cálculo instalación fotovoltaica	53
8.2.	Método de cálculo instalación eólica.....	55
9.	Predimensionado de la instalación	57
9.1.	Predimensionado categoría Passivhaus Premium	59
9.1.1.	Alternativa 1	59
9.1.2.	Alternativa 2	62
9.1.3.	Alternativa 3	65
9.2.	Predimensionado categoría Passivhaus Plus	68
9.2.1.	Alternativa 1	68
9.2.2.	Alternativa 2	70
9.2.3.	Alternativa 3	73

10.	Análisis económico	77
10.1.	Parámetros del estudio económico	77
10.2.	VAN vivienda con instalación renovable	78
10.2.1.	Passivhaus Premium.....	83
10.2.2.	Passivhaus Plus.....	89
11.	Conclusión	95
	Bibliografía	99
	Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas	101
	Passivhaus Premium.....	101
	Passivhaus Plus.....	112
	Anexo II. Planos vivienda.....	123
	Anexo III. Ficha técnica panel fotovoltaico	127
	Anexo IV: Fichas técnicas inversores.....	130
	Anexo V: Fichas técnicas aerogeneradores.....	140

1. Introducción

El consumo energético mundial crece cada año, lo que conlleva un mayor uso de combustibles fósiles y demás recursos energéticos. Esto choca con una sociedad que está cada vez más concienciada con los problemas del cambio climático o de la contaminación atmosférica.

Con el fin de poder atenuar estos problemas, surgió el protocolo de Kioto en 1997, el cual tenía por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A partir de este acuerdo, la Unión Europea ha ido realizando una serie de medidas para poder cumplir con los acuerdos establecidos en este protocolo.

Uno de los principales puntos de consumo energético de la sociedad actual son los inmuebles, ya sean viviendas, escuelas, hospitales u otros edificios. En su conjunto, los edificios son responsables actualmente del 40% del consumo de energía final de la Unión Europea, así como del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

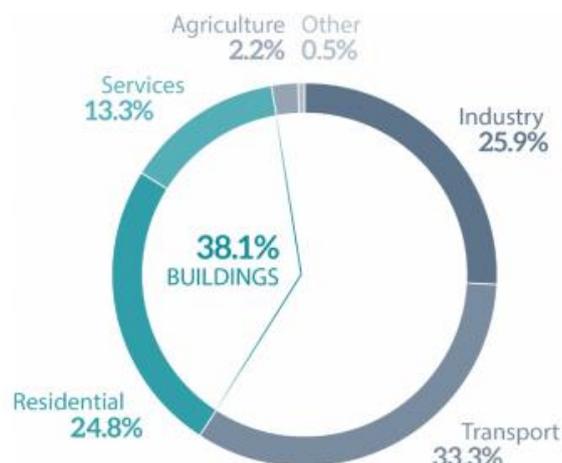


Ilustración 1. Distribución consumo energético Europa 2014.

El parque inmobiliario, actualmente es considerado poco eficiente, pues desde la Unión Europea se indica que alrededor del 75% de los edificios no alcanza los valores de eficiencia energética deseados, lo que conlleva a un mayor consumo energético del estrictamente necesario.

La Unión Europea ha ido desarrollando con los años una serie de Directivas que buscan reducir el consumo energético de este sector. Una de las iniciativas más importantes ha sido el

desarrollo del concepto de “Edificio de Consumo Casi Nulo”, con el que se pretende alcanzar los valores de eficiencia energética deseados, reduciendo así el tan elevado consumo del sector.

Este trabajo tiene por objeto, además de realizar un análisis de este concepto, predimensionar una instalación renovable que cumpla con el estándar Passivhaus, uno de los estándares más reconocidos a nivel internacional que incluye el concepto de consumo cero.

2. Evolución normativa europea

La Unión Europea ha ido introduciendo medidas para reducir el consumo energético del sector inmobiliario. Estas medidas se han ido recogiendo en las diversas Directivas que se han publicado durante el paso de los años, tal y como se muestra en la Ilustración 2:

Directivas en materia de eficiencia energética de edificios



Ilustración 2. Directivas en materia de eficiencia energética de edificios.

La primera directiva realizada en este campo fue la Directiva 93/76/CEE, de 13 de septiembre, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética, conocida por sus siglas en inglés SAVE. Su objetivo, como indica en su artículo 1, es la limitación de los Estados miembros de las emisiones de dióxido de carbono, a través de la mejora de la eficiencia energética.

Esta Directiva no es específica de eficiencia energética en edificios, pero indica la importancia de la eficiencia en los edificios para reducir las emisiones de dióxido de carbono. En sus consideraciones iniciales, indica que los sectores de la vivienda y el terciario absorben cerca del 40% del consumo de energía en Europa. Además, también indica que esta Directiva no confiere poder legislativo a los Estados miembros en esta materia, por lo tanto, no establece obligaciones en este campo.

Entre los principales aspectos mencionados en la Directiva sobre eficiencia energética en los edificios, y que en las posteriores Directivas se abordarán en mayor profundidad destacan:

- En su artículo 2, indica que los Estados deben realizar programas para realizar una certificación energética de los edificios, incluyendo la descripción de sus características energéticas.
- En su artículo 5, establece que los Estados realicen programas para instalar aislamientos térmicos eficaces en los edificios de nueva construcción.
- En su artículo 9, establece que los Estados miembros deben informar cada dos años a la Comisión establecida sobre los resultados de las medidas adoptadas a partir de lo indicado en esta Directiva.

Posteriormente, se publicó la Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. Esta fue la primera directiva dedicada exclusivamente a la eficiencia energética en los edificios. El objetivo de la Directiva, como indica su artículo 1, es el fomento de la eficiencia energética en los edificios de la Comunidad, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia.

En sus consideraciones iniciales se indica que esta Directiva busca ser un instrumento jurídico, mediante el cual se puedan implementar acciones más concretas a las establecidas en la anterior Directiva (Directiva 97/76/CEE). También indicar que esta Directiva busca cumplir con los objetivos establecidos en el Protocolo de Kioto.

Esta directiva entró en vigor el 4 de enero de 2003, y tuvo que ser aplicada por todos los Estados miembros antes del 4 de enero de 2006. Algunos de los principales aspectos que contemplaba son:

- En su artículo 4, indica que los Estados miembros deben establecer unos requisitos de uso de energía tanto en los edificios nuevos, como en los existentes que requieran grandes obras de renovación, teniendo en cuenta las condiciones ambientales. Estos requisitos establecidos deben ser revisados cada 5 años.
Además, en este artículo se establece un listado de edificios los cuales, a decisión de los Estados miembros, pueden ser, o no, incluidos en lo establecido en esta Directiva; como son los edificios y monumentos protegidos, edificios religiosos, construcciones provisionales con un plazo de utilización inferior a dos años, edificios de viviendas destinados a una utilización inferior a cuatro meses y edificios independientes con superficie útil inferior a 50 m².
- En su artículo 7, establece que los Estados miembros deben asegurar la existencia de un certificado energético de los edificios. La validez de esta certificación no puede ser superior a 10 años.
- En su anexo, establece las condiciones generales que debe tener la metodología de cálculo realizada por los diferentes Estados para determinar la eficiencia energética. Además, se indican los aspectos relativos a los consumos y generación de energía que se deben tener en cuenta, así como cuales deben ser las categorías en las que tienen que clasificarse los edificios.

Esta última Directiva analizada fue refundida posteriormente en la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. En sus consideraciones iniciales, señala que el Parlamento Europeo, tras la Resolución de 31 de enero de 2008, abogó por reforzar las medidas establecidas en la Directiva 2002/91/CE, para así poder alcanzar el objetivo establecido por el Consejo Europeo de marzo de 2007 de una reducción del 20% de consumo energético en el año 2020.

También se busca, con la ayuda de esta Directiva, reducir en 2020 las emisiones de gases de efecto de invernadero en, al menos, un 20% con respecto a 1990; y en caso de conseguirse un acuerdo internacional, aumentar la reducción a un 30%.

Su objetivo, como indica en el artículo 1, es fomentar la eficiencia energética de los edificios de la Unión Europea, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales.

Además, es en la Directiva 2010/31/UE donde se introduce el concepto de “Edificio de Consumo Casi Nulo”, pues en su artículo 2, se define como un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, además, la poca energía demandada debe estar cubierta por fuentes de energía renovables. Tomándose como “edificio” cualquier construcción techada con paredes en la que se utiliza energía para acondicionar el aire interior.

Otros aspectos a tener en cuenta de la Directiva 2010/31/UE relacionados con el concepto de “Edificio de Consumo Casi Nulo” son:

- En su artículo 4, indica que son los Estados miembros los que deben establecer los requisitos necesarios de eficiencia energética para poder catalogar una vivienda dentro del término de “Edificio de Consumo Casi Nulo”. Estos requisitos pueden ser diferentes para edificios nuevos y edificios existentes, y también distinguirse según la categoría del edificio. Se recogen los mismos edificios que pueden quedar exentos de aplicación que los mencionados en la Directiva 2002/91/CE.
- En su artículo 5, indica que los Estados deben establecer los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos establecidos de eficiencia energética.
- En su artículo 9, establece dos fechas máximas para la implementación de este tipo de edificios, el 31 de diciembre de 2018 para todos los edificios nuevos públicos, y el 31 de diciembre de 2020 para todos los edificios nuevos de carácter general.
- En su artículo 11, a la certificación energética de los edificios establecida en la anterior Directiva, se incluyen recomendaciones que deben establecer los Estados para la mejora de la eficiencia energética.
- En su Anexo I establece un marco general para el cálculo de la eficiencia energética de los edificios, estableciendo cuales son los aspectos que deben tenerse en cuenta, así como la clasificación que debe establecerse para los edificios. Como novedad con respecto a la anterior Directiva, se especifica que la eficiencia energética debe determinarse a partir de la energía consumida anualmente por el edificio (real o calculada). Además, deberá incluir un indicador de eficiencia energética y un indicador numérico de la energía primaria consumida.
- En su Anexo III, se establecen las líneas generales de un marco metodológico para la determinación de los niveles óptimos de rentabilidad para los requisitos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos.

En 2018, esta última Directiva fue modificada por la Directiva 2018/844/UE, de 30 de mayo, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. Además, también modifica la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética.

Entre las principales modificaciones realizadas por la Directiva, destaca la inserción de una estrategia de renovación a largo plazo. Cada Estado miembro debe establecer una estrategia a largo plazo de apoyo a la renovación del parque inmobiliario tanto público como privado.

El objetivo de establecer esta estrategia es transformar el parque inmobiliario a edificios de una gran eficiencia energética y descarbonizados antes de 2050. En esta hoja de ruta, se tienen que incluir indicadores del progreso, teniendo como objetivo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de un 80%-95% comparando con 1990. Además, se deben establecer unos hitos intermedios para los años 2030, 2040 y 2050.

También, se establecen modificaciones en el anexo I, el método de cálculo de la eficiencia energética, como pueden ser:

- Se añade que el indicador de consumo de energía primaria para expresar la eficiencia energética debe ser $kWh/(m^2 \cdot a)$, tanto para certificación energética como para el cumplimiento de los requisitos mínimos de eficiencia energética.
- Los Estados miembros deben describir su metodología de cálculo a partir de las normas ISO 52000, realizadas a partir del mandato M/480.
- Se añade al Anexo I un marco general para la valoración del grado de preparación de los edificios para aplicaciones inteligentes.
Para ello, la Comisión debe establecer un indicador para determinar la preparación para aplicaciones inteligentes de los edificios, así como una metodología de cálculo.

3. Definiciones de Consumo Cero

El concepto de viviendas más respetuosas con el medio ambiente es relativamente moderno, y está experimentando un gran crecimiento en los últimos años. Este crecimiento en gran parte se debe al impulso que se está dando desde las administraciones, como se ha podido ver en el punto anterior que presenta la normativa europea.

El gran crecimiento que está experimentando el concepto de “Edificios de Consumo Cero” en los últimos años hace que hayan surgido diferentes definiciones. Estas definiciones son similares, pero tienen ciertos matices que las diferencian. Entre las principales definiciones existentes, se pueden destacar las siguientes:

Edificios de consumo casi cero (NZEB: Nearly Zero Energy Buildings)

Son los que producen un 30% o más de la energía requerida por el edificio mediante energía renovable in-situ.

Edificio de energía neta cero (NZSE: Net Zero Site Energy)

Son los que producen al menos, tanta energía como la utilizada anualmente por el edificio. La energía contabilizada es la que llega al edificio y el rango de medida es anual.

Edificio de energía producida neta cero (NZSE: Net Zero Source Energy)

Un edificio de energía producida neta cero es aquel que produce al menos tanta energía como la consumida anualmente, contabilizando la energía desde la fuente de producción. Contabilizar desde la fuente de producción se refiere a la energía primaria requerida para producir y llevar la energía hasta el lugar de consumo. En la Ilustración 3 se pueden apreciar los procesos y pérdidas que existen desde la energía primaria hasta la energía útil:



Ilustración 3. Transformación de energía primaria a energía útil.

Para poder estimar la energía consumida total, la energía importada y exportada debe ser multiplicada por unos factores de conversión.

$$PE = \frac{PE_{nren}}{A_{net}}$$

Donde:

$$PE_{nren} = \sum_i (E_{deliv,i} \cdot f_{deliv,nren,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \cdot f_{exp,nren,i})$$

Siendo:

- PE = indicador de energía primaria ($kWh/m^2 \cdot \text{año}$).
- A_{net} = superficie neta utilizada, calculada según la definición de cada país (m^2).
- PE_{nren} = energía primaria no renovable ($kWh/m^2 \cdot \text{año}$).
- $E_{deliv,i}$ = es la energía entregada al edificio ($kWh/año$) de la energía transportada i .
- $f_{deliv,nren,i}$ = es el factor de energía primaria no renovable para la energía entregada i .
- $E_{exp,i}$ = es la energía exportada por el edificio (kWh/m^2) de la energía transportada i .
- $f_{exp,nren,i}$ = es el factor de energía primaria no renovable para la energía entregada compensada por la energía i . Tiene el mismo valor que $f_{deliv,nren,i}$ siempre que a nivel nacional no se defina otro valor diferente.

De igual forma se pueden expresar las emisiones de carbono de la energía utilizada:

$$PE_{CO_2} = \frac{Emission\ CO_2}{A_{net}} = \frac{\sum_i (E_{deliv,i} \cdot CE_{deliv,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \cdot CE_{exp,i})}{A_{net}}$$

Siendo:

- PE_{CO_2} = indicador de emisiones de CO_2 ($kgCO_2/m^2 \cdot \text{año}$).
- $Emission\ CO_2$ ($kgCO_2/año$).
- $CE_{deliv,i}$ = es el coeficiente de emisiones de CO_2 por la energía entregada ($kgCO_2/kWh$).
- $CE_{exp,i}$ = es el coeficiente de emisiones de CO_2 por la energía exportada, depende de la definición de cada país ($kgCO_2/kWh$).

Edificio de coste neto energético cero (NZEC: Net Zero Energy Cost)

La cantidad de energía que el dueño paga a las empresas comercializadoras por los servicios y usos energéticos durante un año, es al menos la misma cantidad de energía que la compañía paga al dueño del edificio por la energía vertida a la red en un año.

Edificios de energía cero en su ciclo de vida (LCZEB: Life Cycle Zero Energy Buildings)

Un edificio de energía cero incluye la energía interna del edificio y sus componentes junto con el uso anual energético. Se trata de un edificio donde la energía primaria usada durante la etapa de utilización y la energía interna de los materiales y sistemas que lo forman (incluyendo la energía empleada para producirlos), es igual o menor a la energía producida por los sistemas de energía renovable que dispone el edificio durante su ciclo de vida.

Edificios de coste óptimo de energía neta cero (NZECOB: Net Zero Energy Cost Optimal Buildings)

Este término viene indicado en la normativa europea antes analizada. Se requiere tener un valor de rendimiento energético para conseguir un coste óptimo del edificio. En la normativa europea se incluía una metodología para poder hacer el cálculo del valor del rendimiento. Además, este valor se ha de recalcular cada cinco años, pues es un valor muy dependiente de la evolución tecnológica mediante mejoras de rendimientos y reducciones de costes.

3.1. Principios de diseño

A pesar de las diferentes definiciones existentes, todas ellas comparten los mismos principios de diseño y los mismos objetivos.

El diseño de un Edificio de Consumo Casi Nulo (ECCN) se basa en cuatro principios de diseño, los cuales pueden ser implementados en mayor o menor profundidad. Estos principios de diseño son:

1. Reducir la demanda energética de las nuevas construcciones, tomándose como demanda de energía la suma de calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, ...
2. Mejorar la calidad medioambiental interior, consiguiendo una sensación de confort térmico. En este punto se incluye el control de la calidad del aire mediante ventilación mecánica.
3. Fijar un porcentaje de la demanda energética a ser cubierta por fuentes de energía renovable. También hay que tener en cuenta aspectos relacionados con el almacenamiento de la energía.
4. Reducir el consumo de energía primaria y las emisiones de gases de efecto invernadero anuales.



Ilustración 4. Principios de diseño Vivienda Consumo Cero.

Además de estos cuatro principios de diseño, la definición de un Edificio de Consumo Casi Nulo viene completada por las tres etapas que debe seguir el diseño, denominadas “Trias Energética”. Estos pasos son:

1. Reducir la demanda de energía implementando medidas de ahorro energético.
2. Utilización de fuentes de energía renovable.
3. Utilizar la energía fósil más limpia posible.

Estas etapas se deben desarrollar en orden. Primeramente, el diseño del edificio se debe realizar de tal forma que se minimice la energía requerida. Una vez que la demanda energética del edificio se ha visto reducida, se puede pasar al siguiente punto, la utilización de fuentes renovables. Para el uso de las fuentes renovables, hay que tener en cuenta las condiciones climáticas del entorno, para así utilizar aquellas que puedan ser más útiles. Tras cubrir la máxima energía posible requerida por la vivienda con fuentes de energía renovable, se ha de cubrir el excedente de energía requerida (si la hubiese) con la energía de origen fósil más sostenible que se pueda.



Ilustración 5. Trias Energetica

La unión de los cuatro principios de diseño con las etapas de Trias Energética permiten la selección de soluciones óptimas para conseguir el ahorro de energía que se busca con estas definiciones.

3.2. Criterios a considerar

Como se ha comentado anteriormente, todas las definiciones de Edificios Consumo Cero tienen los mismos principios de diseño, pero más allá de estos principios, existen diferencias entre unas definiciones y otras.

Los criterios que hay que tener en cuenta a la hora de realizar una definición de Edificio de Consumo Cero son los siguientes puntos:

- Límite físico
- Periodo de balance.
- Conexión a sistemas energéticos externos.
- Unidades de medida para realizar el balance.
- Consumos incluidos en el balance.
- Tipos de energía incluidas en la definición.

Además, estos puntos son donde se originan las diferencias entre las diferentes definiciones antes analizadas.

A continuación, se va a hacer un análisis de las variaciones existentes en cada uno de los puntos considerados.

Límite físico

El concepto de Edificio de Consumo Cero puede considerarse para una única edificación, o para un grupo de edificios. En el caso de que se considere un grupo de edificios, el balance de energía no se realiza para cada edificio por separado, sino que se llevaría a cabo para el grupo de edificios considerado.

Periodo de balance

El periodo de tiempo en el que realizar el balance entre la energía consumida y la energía producida puede tener una gran variación. Se puede hablar desde un balance horario, diario, mensual, anual o hasta de un balance que incluya el ciclo de vida completo del edificio (desde su construcción hasta el final de su vida útil).

Conexión a sistemas energéticos externos.

Otro punto en el que existen variaciones en las definiciones es la posibilidad de conexión a sistemas energéticos externos. Existen definiciones las cuales permiten que los edificios puedan conectarse a sistemas energéticos externos, como puede ser la red eléctrica, sistemas de calefacción o refrigeración urbanas, redes de distribución de biomásas o biocombustibles, etc. En los casos en los que se permite que los edificios puedan hacer intercambios de energía con el exterior, se evita la necesidad de existencia de sistemas de almacenamiento, mientras que en los casos en los que no se permite esta conexión, se han de colocar sistemas de almacenamiento de energía.

Unidades de medida para hacer el balance

Existe más de una unidad que se puede emplear para realizar el balance de energía. Entre las unidades aplicadas con una mayor frecuencia destaca la energía primaria, aunque también se utilizan indicadores de consumo de energía final o de energía importada desde el exterior. Otras unidades menos utilizadas, pero también existentes, son las emisiones equivalentes de CO_2 , la exergía o el costo de la energía. Existe la posibilidad de no utilizar solo uno de los indicadores antes mencionados, sino utilizar la combinación de varios indicadores.

Las unidades utilizadas para realizar el balance son completadas con el empleo de unos factores de conversión. Estos factores aportan una mayor o menor importancia en el balance a cada una de las energías según el origen de esta, la energía perdida en el transporte, ...

Consumos incluidos en el balance

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta para catalogar una edificación como Edificio de Consumo Cero, independientemente de la definición usada, es la cantidad de energía consumida.

Sin embargo, según la definición, se incluyen unos tipos de consumo de energía u otros. Algunas definiciones solo incluyen consumos de energía operacionales (calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación) y no incluyen otros consumos, como el producido por los electrodomésticos o la recarga de vehículos eléctricos.

Por otro lado, existen otras definiciones que indican que deben tenerse en cuenta la energía interna, es decir, la cantidad de energía utilizada en la fabricación, mantenimiento y demolición del edificio.

Suministro de energía renovable

La energía renovable consumida por el edificio puede provenir de energías renovables generadas “in-situ” o lejos del edificio, dependiendo de la viabilidad para generar la energía en el lugar o la posibilidad de transportarla. En la Ilustración 6 se pueden apreciar los tipos de energía renovable según su lugar de generación.

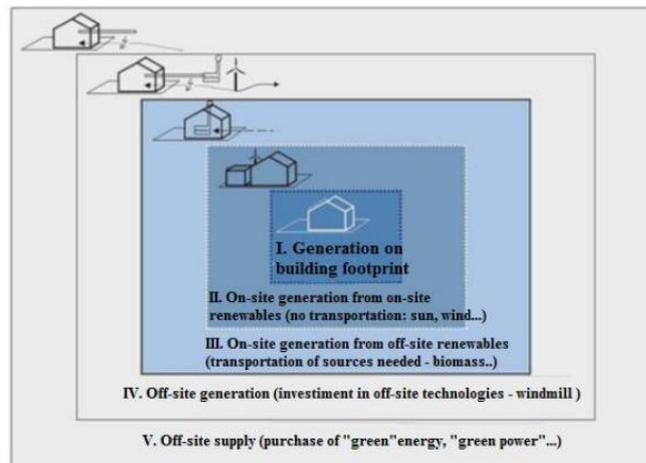


Ilustración 6. Tipos de energía renovable según su lugar de producción.

Esta energía producida, al igual que la energía consumida, puede venir complementada con unos factores de conversión, que dan una mayor o menor importancia en el balance a la energía producida, según donde ha sido producida.

4. Desarrollo concepto Consumo Cero a nivel europeo.

La Unión Europea realizó una definición del Edificio de Consumo Casi Nulo poco precisa. Este margen de maniobra que permite la Unión Europea con la definición de este término es para que cada Estado pueda adaptarla a sus condiciones.

Un claro ejemplo de esta diferencia de necesidades se puede apreciar en la variación de la distribución de consumos entre los países del norte de Europa con los países del sur. En la Ilustración 7 se puede apreciar la diferencia de consumos de calefacción y refrigeración entre diferentes países europeos.

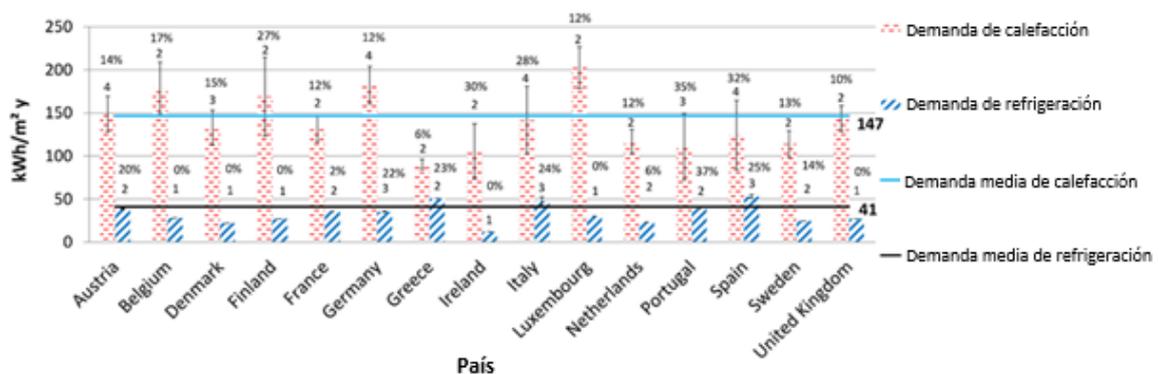


Ilustración 7. Consumo de calefacción y refrigeración por países.

En 2016, la Comisión Europea hizo una recopilación de cómo se estaba desarrollando la definición de los ECCN en los diferentes países de la Unión Europea. En la Ilustración 8 y la Ilustración 9, las cuales fueron presentadas en este estudio, se puede comprobar la existencia de las diferencias antes mencionadas en las definiciones de los países que ya las habían establecido en ese momento.

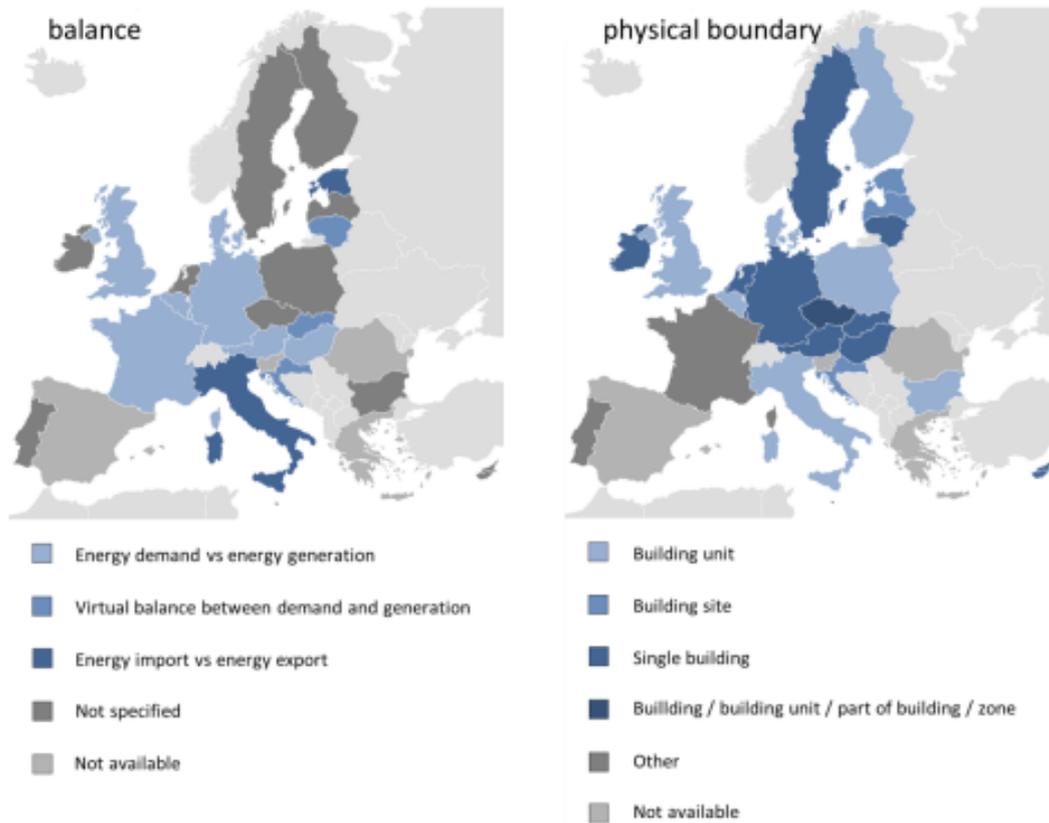


Ilustración 8. Diferencias en el balance y el límite físico de las definiciones de los ECCN.

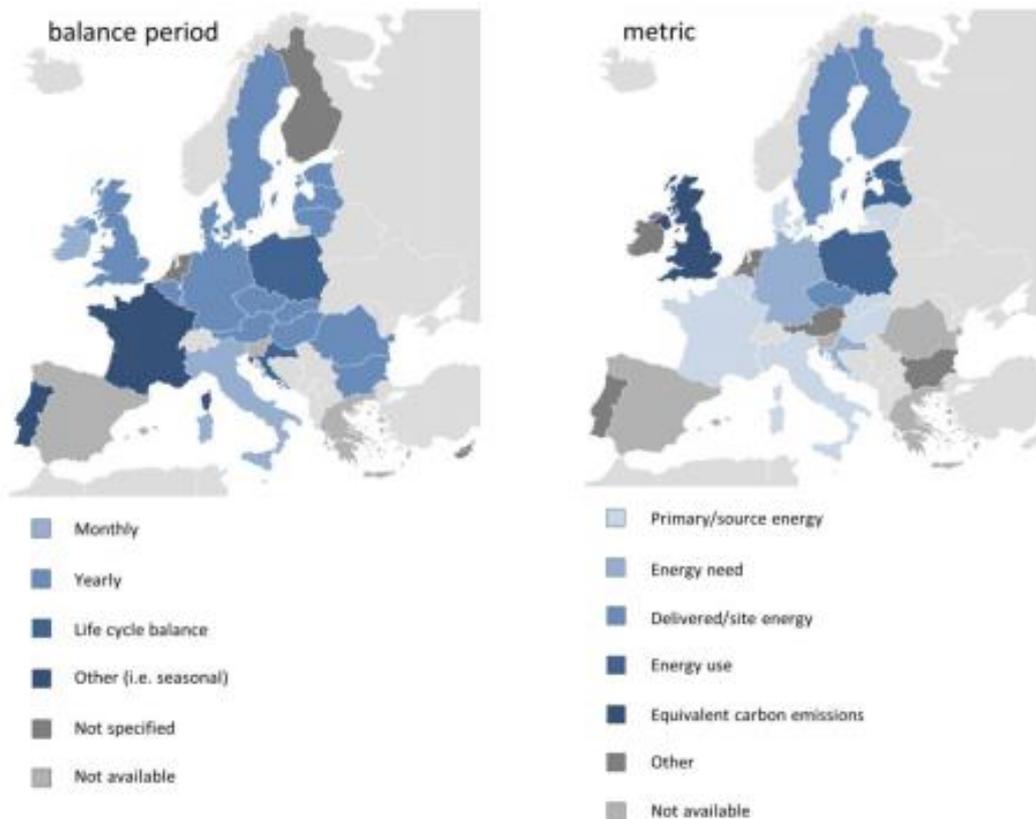


Ilustración 9. Diferencias en el periodo de balance y la unidad de medida de las definiciones de los ECCN.

Tras ver la gran cantidad de variantes existentes en la definición del ECCN, la Unión Europea realizó la Recomendación 2016/1318, de 29 de julio, “sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo”.

A pesar de estas diferencias existentes entre las definiciones de cada Estado miembro, todos los valores establecidos se basan en un nivel óptimo de eficiencia energética. Para poder establecer este valor óptimo, la Unión Europea, mediante un acto delegado, estableció un marco metodológico comparativo para así poder calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos. Este acto delegado fue el Reglamento delegado Nº 244/2012, de 16 de enero.

A continuación, se van a analizar ambos documentos realizados por la Unión Europea como complemento de las Directivas antes analizadas sobre el concepto de Edificio de Consumo Cero. Con estos documentos se busca dar un impulso y una ayuda a los Estados miembros para poder desarrollar la legislación sobre Viviendas Consumo Cero.

4.1. Reglamento Delegado Nº244/2012

Como se ha indicado antes, la Directiva 2010/31/UE, en su artículo 5, indicó que, mediante un acto delegado, se tenía que establecer un marco metodológico comparativo para así poder calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos, surgiendo así el Reglamento delegado Nº 244/2012, de 16 de enero.

El marco metodológico establecido en este Reglamento se desarrolla de acuerdo con lo establecido en Anexo III de la Directiva 2010/31/UE.

Este Reglamento Delegado, en su Anexo I, establece las bases de este marco metodológico. Los puntos que tienen que desarrollar cada uno de los Estados miembros, y en los que se divide este del marco metodológico, son:

1. Establecimiento de edificios de referencia.

Los Estados miembros deben establecer edificios de referencia para las categorías de edificios unifamiliares, bloques de apartamentos, edificios de oficinas, centros de enseñanza, hospitales hoteles y restaurantes, etc.

2. Identificación de las medidas de eficiencia energética, de las medidas basadas en fuentes de energía renovables y/o de los paquetes y variantes de unas y otras medidas aplicables a cada edificio de referencia.

Se han de definir medidas de eficiencia energética para todos los parámetros de cálculo que tengan impacto directo o indirecto en la eficiencia de los edificios, así como medidas que utilicen energías renovables.

3. Cálculo de la demanda de energía primaria resultante de la aplicación a los edificios de referencia de las medidas definidas y de sus paquetes.

Los Estados han de determinar la eficiencia energética de las medidas tomadas calculando tanto la energía necesaria para calefacción y refrigeración, como la energía suministrada para calefacción, refrigeración, agua caliente, ventilación e iluminación con respecto a la superficie.

La energía que ha de producirse in situ se debe deducir a partir de la energía primaria demandada y de la energía suministrada. Esta energía primaria que consume el edificio se ha de calcular utilizando los diferentes factores de conversión establecidos por los diferentes Estados.

Los resultados obtenidos de la eficiencia energética han de expresarse con respecto a metros cuadrados de superficie útil según el edificio de referencia, y, además, se deberá incluir la demanda de la energía primaria.

4. Cálculo del coste global como valor actual neto por cada edificio de referencia.

Se distinguen en este apartado dos tipos de costes, a nivel financiero y a nivel macroeconómico. En el cálculo de estos costes intervienen los costes de inversión iniciales, de funcionamiento, de energía, de eliminación, o los costes de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el anexo II del Reglamento se establecen unos valores como previsión de una evolución de los costes de la energía que pueden utilizar los Estados.

El coste global a nivel financiero se calcula según la siguiente fórmula:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left(\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right)$$

Siendo:

- τ : periodo de cálculo.
- $C_g(\tau)$: coste global.
- C_I : costes de inversión iniciales de la medida j.
- $C_{a,i}(j)$: coste anual durante el año i de la medida j.
- $V_{f,\tau}(j)$: valor residual de la medida j al final del periodo de cálculo (τ).
- $R_d(i)$: factor de actualización aplicable al año i, basado en la tasa de actualización r (determinada por los Estados) y el número de años p. Se calcula de la siguiente forma:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p$$

El coste global a nivel macroeconómico se calcula de la siguiente forma:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left(\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i) + C_{C,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right)$$

Siendo:

- $C_{C,i}(j)$: coste del carbono de la medida j durante el año i.

La principal diferencia entre ambos costes es que en los costes a nivel financiero se deben incluir los costes debidos a los impuestos aplicables, mientras que en los costes a nivel macroeconómico no se tienen en cuenta. Por otro lado, en los costes a nivel macroeconómico, se tienen en cuenta los costes de las emisiones de gases de efecto invernadero ($C_{C,i}$).

EL periodo de cálculo a analizar debe ser de treinta años para edificios públicos y residenciales, y de veinte años para los edificios comerciales y no residenciales.

5. Realización de un análisis de sensibilidad para los datos relativos a los costes, incluidos los precios de la energía.

Los Estados miembros deben realizar un análisis de sensibilidad de cada uno de los parámetros que intervienen, con el objetivo de ver la importancia de cada uno en la optimización de los costes.

Asimismo, deben realizar un análisis de sensibilidad de la tasa de actualización. Para los costes a nivel macroeconómico los Estados miembros deben utilizar dos valores de tasas de actualización, siendo una de ellas el 3%.

6. Derivación de un nivel de eficiencia energética óptimo en términos de costes para cada edificio de referencia.

Los Estados miembros deben elegir cuál de los diferentes cálculos van a utilizar como referencia, los costes financieros o macroeconómicos. Los costes calculados deben ser comparados con los obtenidos en el periodo de tiempo anterior, para así ver la diferencia entre los requisitos energéticos.

En este Reglamento Delgado se incluye, en su Anexo III, un modelo de referencia para que puedan utilizar los Estados miembros para cumplir con cada uno de los puntos recogidos en el Anexo I de este Reglamento.

4.2. Recomendación 2016/1318

La Recomendación 2016/1318, de 26 de julio, surge como complemento a las Directivas europeas para el desarrollo de los Edificios de Consumo Casi Nulo.

En este documento se indica la imposibilidad de aplicar los mismos valores objetivo para todos los ECCN, debido a la diferencia de las condiciones climáticas existentes y la rentabilidad de las medidas de eficiencia energética en las diferentes zonas de la Unión Europea.

Además, los valores de eficiencia que en este momento pueden considerarse apropiados para un ECCN, en unos años puede no servir, pues el nivel de eficiencia debe venir determinado por las mejores tecnologías disponibles, así como de las consideraciones jurídicas y políticas de cada país.

Los valores numéricos de referencia se han de presentar en términos de necesidades energéticas, pues estas necesidades son el punto de partida para el cálculo de la energía primaria requerida.

Este documento establece unos valores referencia diferenciando entre cuatro zonas climáticas, y en cada una de estas zonas se distingue entre edificios de oficinas y viviendas unifamiliares nuevas. Los valores considerados son los siguientes:

Zona mediterránea

- Oficinas: consumo de energía primaria neta de $20 - 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $80 - 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.

- Vivienda unifamiliar nueva: consumo de energía primaria neta de $0 - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $50 - 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.

Zona oceánica

- Oficinas: consumo de energía primaria neta de $40 - 55 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $85 - 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.
- Vivienda unifamiliar nueva: consumo de energía primaria neta de $15 - 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $50 - 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.

Zona continental

- Oficinas: consumo de energía primaria neta de $40 - 55 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $85 - 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.
- Vivienda unifamiliar nueva: consumo de energía primaria neta de $20 - 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $50 - 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.

Zona nórdica

- Oficinas: consumo de energía primaria neta de $55 - 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $85 - 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.
- Vivienda unifamiliar nueva: consumo de energía primaria neta de $40 - 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$, con normalmente, un uso de energía primaria de $65 - 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ cubierto por $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{año})$ procedentes de fuentes renovables in situ.

5. Marcos de regulación

Cada uno de los Estados miembros ha ido realizando sus propias normas adaptándolas a las Directivas surgidas de normativa europea. Además, de forma paralela al proceso regulatorio que está desarrollando cada uno de los Estados, ha ido surgiendo una serie de iniciativas y normas voluntarias también denominados estándares.

En el caso de España, se ha desarrollado el Código Técnico de la Edificación (CTE) como normativa de obligado cumplimiento en edificación, mientras que a nivel internacional se ha establecido como un referente el estándar Passive House.

5.1. Marco de obligado cumplimiento

5.1.1. Código técnico de la edificación (CTE)

En España, las características que han de tener los Edificios de Consumo Casi Nulo vienen recogidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE). El CTE fue modificado en 2019 para poder cumplir con las exigencias indicadas por la Unión Europea para los ECCN recogidas en las Directivas 2010/31/UE y 2018/844/UE. Con esta modificación se actualizaron los requisitos de eficiencia energética presentes en el anterior CTE.

Más concretamente, las diferentes características vienen recogidas en el Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” del CTE. Este documento está organizado en los siguientes 6 capítulos:

- HE0: Limitación del consumo energético.
- HE1: Condiciones para el control de la demanda energética.
- HE2: Condiciones de las instalaciones térmicas.
- HE3: Condiciones de las instalaciones de iluminación.
- HE4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir demanda de ACS.
- HE5: Generación mínima de energía eléctrica.

La aplicación de este documento afecta a la totalidad de los edificios existentes, independientemente del tipo de edificio o de uso, aunque sí varían los niveles exigibles en función de las características del edificio.

En el CTE, se define el Edificio de Consumo Casi Nulo como aquel edificio, ya sea nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” en lo referente a la limitación del consumo energético para edificios de nueva construcción.

Por lo tanto, los requisitos que tienen que cumplir los ECCN en España vienen recogidos en cada uno de los diferentes capítulos de este documento. A continuación, se presentan los principales puntos de cada uno de los capítulos relacionados con las características que han de tener los edificios residenciales para ser considerados como ECCN.

Sección HE 0

Los contenidos de esta sección son de aplicación a los edificios de nueva construcción y a los edificios ya existentes que cumplen las siguientes características:

- Ampliaciones en las que se aumente más de un 10% la superficie o volumen del edificio, en el caso que la superficie útil ampliada sea superior a $50 m^2$.
- Cambios en el uso del edificio, siendo la superficie útil superior a $50 m^2$.
- Reformas en las que se cambien las instalaciones de generación térmica y más de un 25% de la superficie de la envolvente del edificio.

Asimismo, quedan excluidos de aplicación edificios que están protegidos oficialmente, las construcciones provisionales con un plazo de uso menor a dos años, edificios aislados de superficie útil menor a $50 m^2$, y los edificios industriales, de defensa y agrícolas de baja demanda energética.

En este capítulo se limita el consumo energético de los edificios según la zona climática de invierno en la que se encuentren y del tipo de edificio. Estas limitaciones de consumo son de energía primaria no renovable y de energía primaria total. Además, parte de este consumo ha de provenir de fuentes de energía renovable.

El consumo de energía primaria no renovable debe ser inferior a los recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Valor límite $C_{ep,nren,lim}[kWh/m^2 \cdot año]$ para uso residencial privado.

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25

Por otro lado, el consumo de energía primaria total debe ser inferior a los recogidos en Tabla 2.

Tabla 2. Valor límite $C_{ep,tot,lim}[kWh/m^2 \cdot año]$ para uso residencial privado.

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15

Los datos de consumos de energía primaria se consiguen a partir de los datos de consumo final. Para poder hacer esta conversión de consumos es necesario aplicar unos factores de conversión o de paso.

Los factores de paso se definen según el vector energético (gas natural, electricidad, ...) y según el destino de consumo (suministro o exportación a red). Los factores de paso a energía primaria están formados por dos partes, una parte renovable ($f_{ep,ren}$) y otra no renovable ($f_{ep,nren}$), siendo la suma de ambos el valor final del factor de paso a energía primaria.

Tabla 3. Factores de paso vigentes actualmente.

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Como se puede apreciar en la Tabla 3, para un vector energético como puede ser la biomasa, el factor de paso de energía no renovable es casi nulo puesto que casi toda la energía proviene de fuentes renovables, por lo que el factor de paso a energía primaria total es prácticamente igual al factor de paso a energía primaria renovable.

Sección HE 1

Los contenidos de esta sección son de aplicación a los mismos edificios y tienen las mismas excepciones que la Sección HE 0.

Esta sección habla de cuales han de ser las características que debe tener la envolvente térmica de los edificios de aplicación de esta sección. Se limitan las necesidades de energía primaria requerida para poder alcanzar el bienestar térmico.

En el Anejo C se define la envolvente térmica como el conjunto formado por todos los cerramientos y particiones interiores, incluyendo puentes térmicos, los cuales delimitan todos

los espacios habitables del edificio o de parte de este. El proyectista podrá incluir también los espacios no habitables o excluir ciertos espacios habitables (espacios muy ventilados, espacios con grandes aberturas, así como escaleras o ascensores).

La envolvente térmica de los edificios han de cumplir las siguientes condiciones:

- La transmitancia térmica (U) de los elementos pertenecientes a la envolvente no deben superar los siguientes valores límites (U_{lim})

- Tabla 4. Valores límite de transmitancia térmica U_{lim} [W/m^2K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_r) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

- El coeficiente global de transmisión del calor a través de la envolvente (K) no superará los valores límite (K_{lim}) de la Tabla 5.

Tabla 5. Valores límite de coeficiente global de transmisión de calor K_{lim} [W/m^2K] para uso residencial privado.

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A \leq 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A \geq 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A \leq 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A \geq 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

- Con respecto al control solar de la envolvente térmica, los edificios nuevos o los que experimenten modificaciones superiores al 25% de la superficie de la envolvente térmica, el parámetro de control solar ($q_{sol,jul}$) no puede superar los valores de la Tabla 6.

Tabla 6. Valor límite del parámetro de control solar $q_{sol;jul}$ [$kWh/m^2 \cdot mes$].

Uso	$q_{sol;jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

- La permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente que pertenezcan a la envolvente térmica (Q_{100}) no debe superar los valores de la Tabla 7.

Tabla 7. Valor límite de permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica $Q_{100,lim}$ [$m^3/h \cdot m^3$].

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,lim}$) [*]	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

* La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa, Q_{100} .

Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($\leq 27 m^3/h \cdot m^2$) y clase 3 ($\leq 9 m^3/h \cdot m^2$) de la UNE-EN 12207:2017.

La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

- Además, en los edificios de uso residencial privado con una superficie útil total superior a $120 m^2$, el cambio de aire con una diferencia de presión de $50 Pa$ (n_{50}) no debe superar los valores límite de la Tabla 8.

Tabla 8. Valor límite de relación de cambio de aire con una presión de $50 Pa$, n_{50} [h^{-1}].

Compacidad V/A [m^3/m^2]	n_{50}
V/A ≤ 2	6
V/A ≥ 4	3

Los valores límite de las compacidades intermedias ($2 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

Por otro lado, la transmitancia térmica existente entre las diferentes particiones interiores no debe superar los valores de la Tabla 9.

Tabla 9. Transmitancia térmica límite de las particiones interiores, U_{lim} [W/m^2K].

	Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso	Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes	Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Sección HE 2

Para la aplicación de esta sección, el Código Técnico de la Edificación remite a la información recogida en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).

El RITE establece las condiciones que tienen que cumplir las instalaciones de ventilación, climatización, calefacción y agua caliente sanitaria.

Sección HE 3

En esta sección se regulan las características que han de tener las instalaciones de iluminación, garantizando un uso eficiente y el confort lumínico.

La aplicación de esta sección excluye a las instalaciones interiores de iluminación de las viviendas, ya sea de edificios nuevos o reformas de edificios ya existentes.

Sección HE 4

En esta sección se busca satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria (ACS) empleando en parte energía procedente de fuentes de energía renovable, ya sea producida en el propio edificio o a través de la conexión a un sistema urbano.

El ámbito de aplicación de esta sección es para:

- Edificios de nueva construcción o edificios existentes sometidos a grandes reformas cuyo consumo de ACS sea superior a 100 l/d de acuerdo con el Anejo F de este documento.
- Ampliaciones no incluidas en el anterior apartado, en las que la demanda inicial de ACS del edificio fuese superior a 5000 l/d, y la ampliación suponga un incremento de la demanda superior al 50%.
- Climatización de piscinas cubiertas nuevas o existentes en las que se renueve la instalación de generación térmica.

La contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables ha de cubrir el 70% de la demanda energética anual de ACS. Esta contribución puede reducirse a un 60% en el caso de que la demanda de ACS sea inferior a 5000 l/d.

Sección HE 5

En esta sección se busca establecer como han de ser los sistemas de generación de energía eléctrica procedentes de renovables.

La aplicación de esta sección excluye a todos los edificios de uso residencial privado.

5.2. Marcos voluntarios

Los marcos regulatorios voluntarios, también denominados estándares, se han ido desarrollando de forma paralela a la normativa obligatoria establecida por los diferentes países.

El desarrollo de estos estándares comenzó después de la primera crisis del petróleo en los años 70, cuando se empezaron a realizar los primeros estudios sobre ahorro energético en viviendas. Tras estas primeras investigaciones, surgieron los primeros estándares en la década de los 90.

Estos estándares son utilizados en algunos casos por los diferentes Estados como referencia para elaborar su propia normativa.

5.2.1. Estándar Passivhaus

Se trata de uno de los estándares más aceptados en materia de Edificio de Consumo Casi Nulo a nivel europeo y mundial. Este estándar voluntario que fue desarrollado en 1988 por el profesor Bo Adamson, de la Universidad de Lund (Suecia), y por Wolfgang Feist, del instituto Alemán de Edificación y Medio Ambiente.

La principal característica de este estándar es que centra la atención en la optimización de los recursos mediante diferentes características como son el diseño, la orientación y el aislamiento del edificio.

El primer proyecto desarrollado según este estándar fue en la ciudad alemana de Darmstadt, en 1990, con la construcción de un edificio formado por cuatro viviendas en hilera.



Ilustración 10. Primer edificio certificado con el estándar Passivhaus.

Con las medidas empleadas en el estándar, se tiene como objetivo reducir el consumo de calefacción y refrigeración de los edificios entre un 75 y 90%, lo que conlleva una gran reducción del consumo energético, haciendo posible cubrir este consumo restante con fuentes de energía renovables.

5.2.1.1. Principios de diseño

Para poder conseguir unos valores de confort térmico con costes energéticos reducidos y rentables económicamente, se debe cumplir con una serie de requisitos relacionados con criterios de confort e higiene. Los principios de diseño básicos del estándar son los siguientes:

- Eliminación de los puentes térmicos

Los puentes térmicos son producidos en los puntos en los que se debilita la envolvente térmica del edificio. Esta debilitación se puede deber a un cambio en la composición o, a que se encuentran diferentes elementos constructivos como pueden ser las ventanas o puertas del edificio.

Eliminar los puentes térmicos reduce el consumo energético de la vivienda, además de evitar problemas generados por la condensación. Evitando los puentes térmicos se eliminan puntos de diferente temperatura, lo que reduce el confort térmico de los usuarios.

- Control de infiltraciones

Evitar las infiltraciones indeseadas se consigue mediante tratamientos de estanqueidad y hermeticidad. Evitar infiltraciones no significa que la vivienda no renueve su aire, sino que las renovaciones de aire se hacen de forma controlada, evitando pérdidas indeseadas que generen un mayor consumo de energía para poder climatizar la vivienda.

Uno de los criterios para poder conseguir la certificación, como se verá más adelante es $n_{50} \leq 0,6 r/h^{-1}$, lo que significa que la vivienda renueva su aire, como máximo un 60% en una hora.

- Ventilación controlada con recuperación de calor.

Un sistema de ventilación asegura una renovación de aire continua y controlada dentro de la vivienda, asegurando una buena calidad del aire. El sistema de ventilación propuesto en este estándar incluye una serie de filtros por los que pasa el aire al entrar a la vivienda, evitando así la entrada de partículas indeseadas desde el exterior.

Al disponer de un sistema de recuperación de calor, el aire que entra a la vivienda es atemperado con el aire que sale, aprovechando así la energía de este y reduciendo el consumo energético que conllevaría esta atemperación del aire.

- Ventanas y puertas con altas prestaciones.

Son las zonas más débiles de la envolvente térmica de un edificio, lo que conlleva que sean uno de los puntos más susceptibles de pérdidas de calor y frío. Para reducir estas pérdidas, además de utilizar cerramientos con buenas características térmicas, también se ha de estudiar la colocación idónea.

- Aislamiento térmico.

El aislamiento térmico es básico para poder conseguir una buena envolvente térmica. La principal técnica empleada para poder conseguirlo es la utilización de mayores espesores de material.

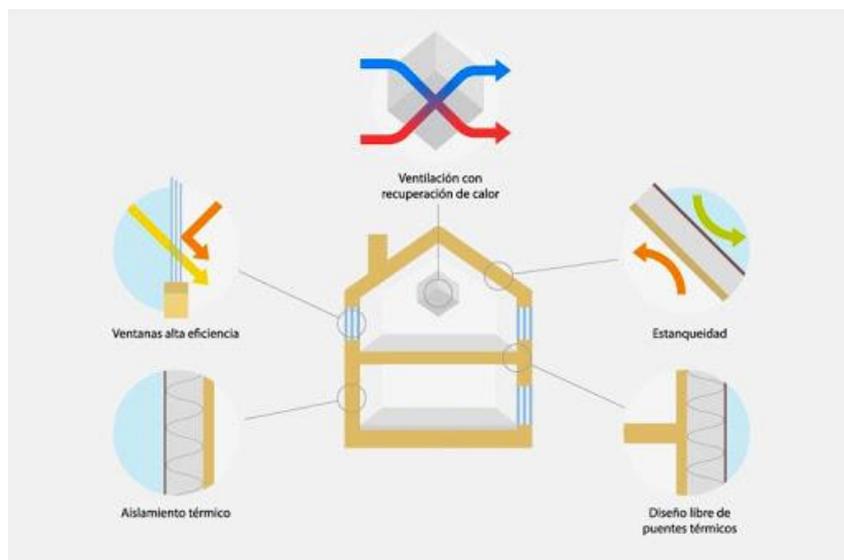


Ilustración 11. Principios básicos estándar Passivhaus.

Para poder con estos cinco principios básicos del diseño de las viviendas Passivhaus, el estándar establece unos valores cuantificables a cumplir según la zona climática en la que se encuentra la vivienda. Los valores establecidos por el estándar son los que se pueden apreciar en la Tabla 10. El estándar Passivhaus ha realizado una división por zonas climáticas como se recoge en la Ilustración 12.

Tabla 10. Valores límites estándar Passivhaus según zona climática.

Zona climática	Criterio de higiene $f_{Rsi} \geq 0.25 \text{ m}^2\text{KW}$ \geq^3	Criterio de confort Valor-U de la ventana instalada ¹ \leq	Criterios de eficiencia		
			Valor-U del componente exterior del edificio $U_{opaco} * f_{PHI}^2 \leq$	Detalles estrictamente opacos $f_{Rsi} \geq 0.25 \text{ m}^2\text{KW}$ \geq^3	Ausencia de puentes térmicos $\Psi_a \leq^4$
	[-]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[-]	[W/(mK)]
1 Polar	0.80	0.45 (0.35)	0.09	0.90	0.01
2 Frío	0.75	0.65 (0.52)	0.12	0.88	
3 Frío-templado	0.70	0.85 (0.70)	0.15	0.86	
4 Cálido-templado	0.65	1.05 (0.90)	0.30	0.82	
5 Cálido	0.55	1.25 (1.10)	0.50	0.74	
6 Caluroso	Ninguno	1.25 (1.10)	0.50	0.74	
7 Muy caluroso	Ninguno	1.05 (0.90)	0.25	0.82	

1 aplica para ventanas verticales con un tamaño de prueba de 1.23x1.48m. Los criterios para otros componentes transparentes del edificio pueden ser tomados de los criterios de certificación pertinentes. El valor entre paréntesis se refiere al valor del acristalamiento.
2 $f_{R, PHI}$ - Factor de reducción: siempre 1; excepto en áreas en contacto con el terreno y hacia un sótano sin calefacción en las zonas climáticas 1-4: 0.6.
3 $f_{Rsi} \geq 0.25 \text{ m}^2\text{KW}$ \geq ver Sección 3.8
4 coeficiente de pérdidas por puentes térmicos basado en dimensiones y longitudes exteriores. Construcciones específicas como esquinas interiores están exentas de este criterio.

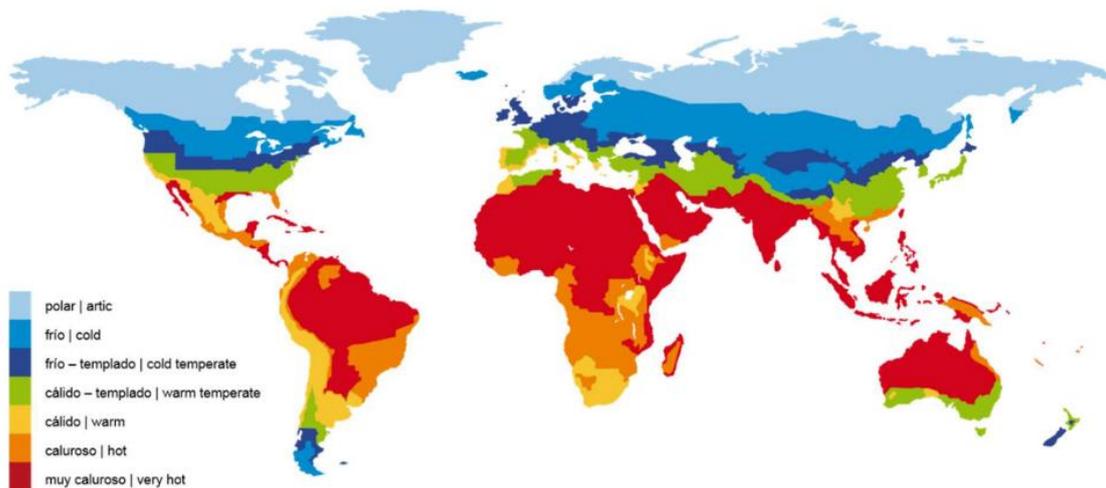


Ilustración 12. División por zonas climáticas del estándar Passivhaus.

Para asegurarse el cumplimiento de los requerimientos necesarios, el Passiv Institut ha desarrollado una certificación propia. Con esta certificación busca asegurar el cumplimiento de las características que deben cumplir los componentes de la vivienda. Estos elementos susceptibles de obtener certificación son las carpinterías exteriores, los equipos de ventilación, sistemas de fachadas, aislamientos, etc.



Ilustración 13. Certificado componentes Passivhaus.

A estos cinco principios básicos hay que sumar otras acciones importantes del estándar para asegurar el buen funcionamiento del edificio, sobre todo para climas cálidos, como pueden ser:

- Protección solar exterior, reduciéndose así las ganancias de energía solar.
- Ventilación natural nocturna junto con la inercia térmica, consiguiendo así un “free cooling” cuando las temperaturas del exterior son favorables.
- Sistemas de agua caliente sanitaria (ACS), equipos e iluminación eficientes, reduciendo así el consumo de energía primaria y las ganancias internas de calor.
- Instalaciones de refrigeración y calefacción eficientes.

Un edificio Passivhaus se diseña con el objetivo de tener pocas pérdidas de calor en invierno, lo cual ayuda a reducir la entrada de calor en verano. Pero, una vez que el edificio ha ganado calor en verano, este también se disipará más lentamente, de ahí la importancia de llevar a cabo estas acciones adicionales, especialmente para los edificios que se encuentran en climas más cálidos.

Con el certificado de Passivhaus, se considera que el edificio requiere de un aporte energético muy pequeño para calentarse o refrigerarse, haciendo innecesario un sistema “tradicional” de aire acondicionado o calefacción. La energía necesaria puede aportarse mediante el aire de renovación higiénica, pues solo necesita una fuente adicional de calor en momentos puntuales.

5.2.1.2. Categorías

A la hora de poder certificar una casa como Passivhaus, se pueden encontrar tres categorías diferentes: Passivhaus Classic, Plus y Premium.



Ilustración 14. Certificado según categorías Passivhaus.

Las tres categorías comparten los siguientes requisitos:

- Demanda máxima para calefacción de $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ o carga de calefacción menor a 10 W/m^2 .
- Demanda máxima para refrigeración de $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, o carga de refrigeración menor a 10 W/m^2 .
- Valor de ensayo de estanqueidad al aire $\leq 0,6/h \ n_{50}$. (Renovaciones de aire por hora según EN 13829 para una presión de 50 pascales).

Además de estas características comunes, las categorías presentes en el certificado Passivhaus presentan las siguientes diferencias:

Passivhaus Classic

- Demanda de energía primaria renovable $\leq 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, con una posible desviación de $\pm 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Passivhaus Plus

- Demanda de energía primaria renovable $\leq 45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, con una posible desviación de $\pm 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Generación de energía primaria renovable $\geq 60 \text{ kWh/m}^2(\text{de terreno}) \cdot \text{a}$.

Passivhaus Premium

- Demanda de energía primaria renovable $\leq 30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, con una posible desviación de $\pm 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Generación de energía primaria renovable $\geq 120 \text{ kWh/m}^2(\text{de terreno}) \cdot \text{a}$.

En la Ilustración 15 se presenta de forma esquemática las diferencias entre las categorías existentes en el estándar Passivhaus.



Ilustración 15. Criterios diferenciales entre categorías Passivhaus.

Los valores de energía primaria renovable consumida se conocen a partir de los valores de energía final consumida. Para poder hacer esta conversión hay que utilizar los factores de paso de energía primaria renovable.

El estándar, como se puede ver en la Tabla 11, hace diferenciación para algunos factores de paso según la zona geográfica en la que se encuentre la vivienda, pues entre otras cosas, no se producen las mismas pérdidas de transporte de energía en unas zonas u otras.

Tabla 11. Factores de paso a energía primaria Passivhaus.

Tipo de energía	Fuente de energía	Factores de paso		
		Stuttgart	Madrid	México DF
Combustible	Gasoil	2,3		
Combustible	Gas natural	1,75		
Combustible	GLP	1,75		
Combustible	Hulla	2,3		
Combustible	Biogas	1,1		
Combustible	Madera, pellets, biomasa	1,1		
Electricidad	Primaria	1,00	1,00	1,0
Electricidad	Vivienda	1,30	1,25	1,25
Electricidad	Producción ACS	1,30	1,25	1,20
Electricidad	Calefacción	1,80	1,75	1,00
Electricidad	Refrigeración	1,10	1,35	1,20
Electricidad	Deshumidificación	1,25	1,55	1,70
Electricidad	IFV, eólica, hidroeléctrica	1,0		

Esta división en diferentes categorías dentro del estándar Passivhaus fue introducido en la última modificación del estándar en 2015. Esta modificación se debió a un intento de modernización del estándar, pues las características presentes hasta ese momento eran las mismas que las impuestas en la creación del estándar (1988). Anteriormente, se distinguía entre viviendas residenciales y no residenciales, existiendo una única categoría para cada uno de estos tipos de vivienda.

En esta modificación se han introducido los nuevos conceptos de demanda de energía primaria renovable (EPR) y la producción de energía primaria renovable. Estos dos conceptos no están referenciados a la misma superficie, mientras que la demanda de energía primaria está referida a la superficie de referencia energética (SRE), la producción de energía primaria renovable está referenciada a la superficie de terreno que ocupa la vivienda. Con esta diferenciación, se busca que tengan las mismas oportunidades de obtener la certificación una vivienda unifamiliar o un edificio.

A continuación, se va a realizar un ejemplo para explicar mejor esta diferencia de referencia entre ambos conceptos, así como la desviación permitida de demanda de energía.

Suponiendo un edificio de cuatro plantas con una superficie útil de 100 m^2 y ocupa 120 m^2 de terreno. Si este edificio consume $60 \text{ kWh/m}^2 \cdot a$, y quiere obtener la certificación de Passivhaus Plus (Consumo $EPR \leq 45 \text{ kWh/m}^2 \cdot a$).

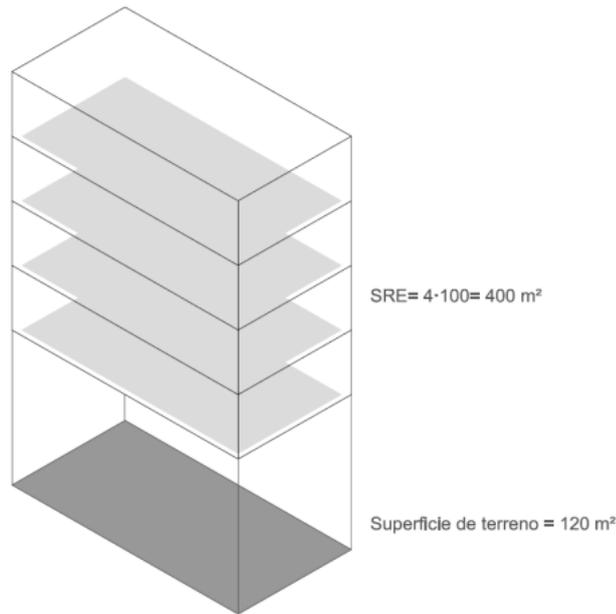


Ilustración 16. Vivienda ejemplo desviaciones permitidas por el estándar.

Al tener el edificio un desvío de $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot a$, aún puede optar a la certificación Plus del estándar. Para ello debe compensar el exceso de demanda de energía con una mayor generación de energía renovable.

Desviación del consumo de energía primaria renovable:

$$60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a} - 45 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a} = 15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a}$$

Considerando la superficie útil del edificio, la desviación total del edificio es:

$$15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a} \cdot 400 \text{ m}^2 = 6000 \frac{\text{kWh}}{a}$$

Una vez conocida la desviación total de consumo de energía al año, y sabiendo cual es la superficie de terreno ocupada por el edificio, el aumento de generación de energía renovable que tiene que haber para que el edificio pueda ser considerado como Passivhaus Plus sería:

$$\frac{6000 \frac{\text{kWh}}{a}}{120 \text{ m}^2} = 50 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a}$$

Por lo tanto, se puede apreciar que, para este edificio, un aumento de desviación en el consumo de $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot a$, se puede ver compensado con un aumento en la generación de energía renovable de $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot a$.

Con esta nueva clasificación, se busca adaptar el estándar al concepto de Vivienda de Consumo Casi Nulo, pues a diferencia de este concepto, el estándar Passivhaus no incluía la producción de energía renovable anteriormente.

En el proceso de certificación del edificio bajo el estándar Passivhaus se utiliza el “Programa de Planificación Passivhaus” (PHPP), desarrollado por el mismo organismo creador del estándar. Se

trata de una herramienta informática compuesta por una serie de hojas de cálculo que ayuda a la obtención en la fase de diseño de los valores necesarios como la transmitancia térmica, el balance de energía o el cálculo de cargas térmicas.

Se ha de mencionar que la institución que desarrolló el estándar Passivhaus, Passiv Institut, también ha desarrollado otros certificados menos exigentes. Para aquellas viviendas que no sean nuevas, y cumplir las condiciones de este estándar conllevaran costes muy elevados, el estándar se denomina EnerPHit. Para las viviendas que no alcancen los requerimientos de Passivhaus, ya sean nuevas o no, pero están cerca de alcanzarlos, pueden obtener un certificado con requisitos menos exigentes denominado “Low Energy Building”.

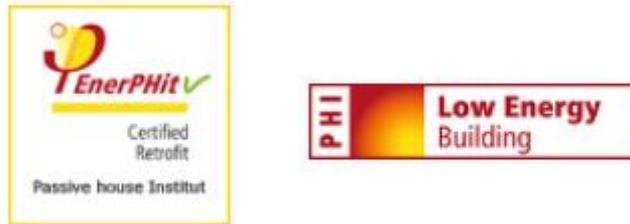


Ilustración 17. Certificados EnerPHit y Low Energy Building.

5.2.1.3. Situación en España

Aunque el primer edificio construido bajo el estándar Passivhaus fue en 1990, no fue hasta 20 años después cuando se construyó en España la primera casa pasiva. A partir de este momento, el número de viviendas construidas bajo este estándar ha ido creciendo de forma exponencial, desde solo 2 dos proyectos certificados en 2009, hasta los 110 proyectos certificados en el año 2020.

Este crecimiento ha sido diferente en cada país. En España el crecimiento ha sido muy grande, lo cual se debe a la ausencia de un estándar propio, como sucede en otros países europeos como pueden ser Francia o Italia, los cuales disponen de los estándares propios Effinergie y CasaClima respectivamente.

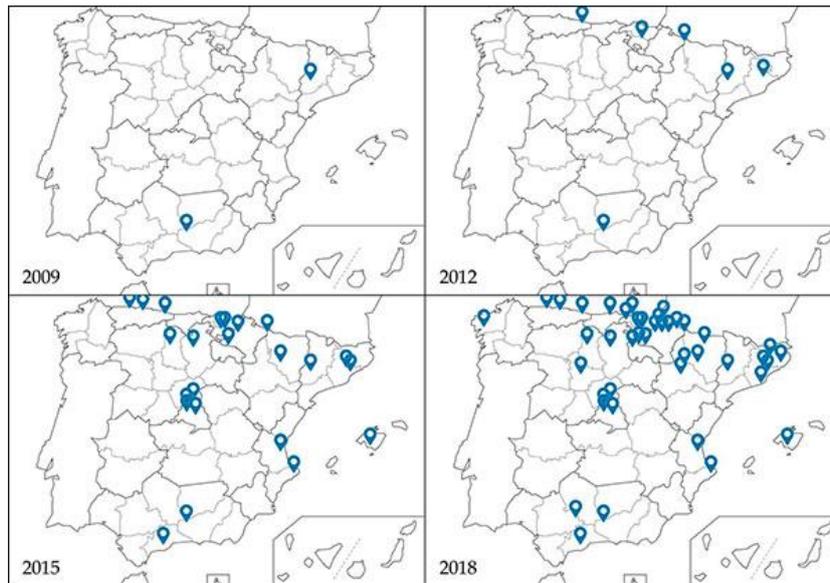


Ilustración 18. Evolución de viviendas en España certificadas con el estándar Passivhaus.



Ilustración 19. Viviendas con estándar Passivhaus en 2020.

Entre los diferentes edificios que existen en España con este estándar, se pueden destacar los siguientes edificios:

- Assyce – Ecoholística: fue el primer edificio certificado en España con el estándar Passivhaus, su certificación se realizó en 2009. Se trata de una vivienda unifamiliar aislada de la red que está situada en el municipio de Moraleda de Zafayona, en la provincia de Granada.



Ilustración 20. Assyce – Ecoholística (Granada)

- Edificio “Bolueta”: se trata del edificio más alto del mundo que cumpla con las condiciones requeridas por este estándar. Este edificio está situado en la ciudad de Bilbao, cuenta con una altura de 88 metros y fue terminada su construcción en 2018.



Ilustración 21. Torre Bolueta (Bilbao)

6. Caso de estudio

6.1. Vivienda

La vivienda a analizar en el presente trabajo se encuentra situada en la comarca de Cartagena, al sureste de la Península Ibérica.

Esta vivienda cumple con los requisitos constructivos y de consumo energético para poder ser certificada como vivienda Passivhaus. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es el predimensionamiento de la instalación de producción de energía renovable requerida por el estándar para cada una de sus categorías.



Ilustración 22. Localización de la vivienda a analizar.

El esquema de la vivienda objeto del trabajo se muestra en la Ilustración 23, mientras que los detalles se pueden encontrar en el Anexo II. Planos vivienda.

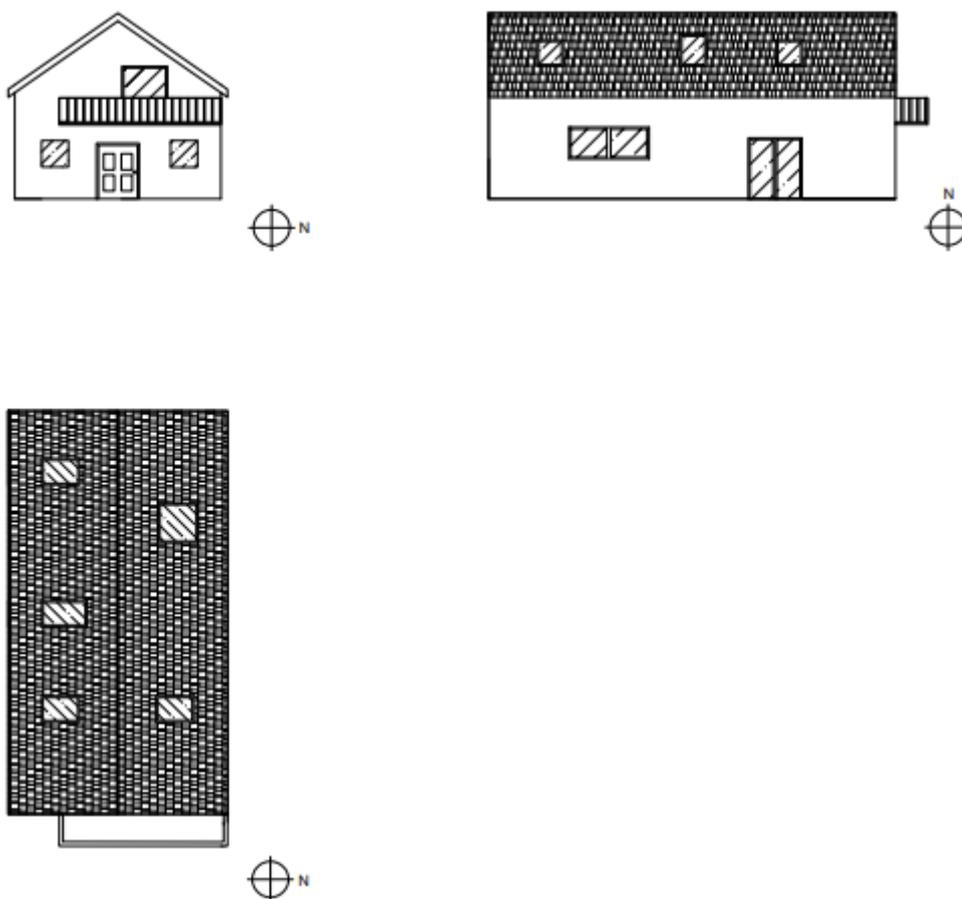


Ilustración 23. Vivienda caso de estudio.

Las principales características constructivas de la vivienda necesarias para poder conocer los valores requeridos por los marcos regulatorios (CTE y Passivhaus) se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Principales características constructivas de la vivienda.

Descripción vivienda	
Superficie útil de la vivienda	135 m ²
Superficie construida	117 m ²
Volumen	355 m ³
Ángulo cubierta	35°

Una vez conocidas la ubicación en la que se va a emplazar la vivienda y sus principales características constructivas, se pueden determinar los valores requeridos por los marcos regulatorios (CTE y Passivhaus) para poder considerar la vivienda como Edificio de Consumo Casi Nulo.

La zona climática en la que se encuentra la vivienda según su ubicación en cada uno de los marcos regulatorios es:

- En el CTE la vivienda está incluida en la zona climática de invierno B3.
- En passivhaus la vivienda está incluida en el clima “cálido”.

En la Tabla 13 se muestra una comparativa de cuales han de ser algunas de las principales características constructivas para poder considerar como Edificio de Consumo Casi Nulo según los dos marcos regulatorios analizados en el punto anterior:

Tabla 13. Comparativa Passivhaus y CTE para la vivienda del caso de estudio.

		Passivhaus plus	Passivhaus premium	CTE
Transmitancias térmicas	Cubierta	<0,5		<0,44
	Fachada	<0,5		<0,56
	Suelo	<0,5		<0,75
	Vidrios	<1,1		No hay exigencia
	Huecos	<1,25		<2,3
	Coefficiente Global de transmisión de calor a través de la envolvente	<0,5		<0,7
Permeabilidad al paso del aire		n50<0,6		No aplica
Consumos energéticos	Energía primaria renovable	<45	<60	No hay exigencia
	Energía Primaria no renovable	No hay exigencia		<28
	Energía Primaria Total ($kWh/m^2 \cdot a$)	<45	<60	<56
Producción de Energía Renovable	Para ACS	No especifica		> 70% de la demanda
	Para electricidad	No especifica		No aplica
	Total ($kWh/m^2 \cdot a$)	>60	>120	No hay exigencia

Esta vivienda cumple con los requisitos constructivos obligatorios por el CTE así como también los requeridos por estándar Passivhaus.

Los datos de consumos horarios de la vivienda por cada día tipo de mes se muestran en la Tabla 14. Estos datos serán requeridos para poder ir haciendo el balance entre la energía producida por la instalación renovable y la energía consumida por la vivienda.

Tabla 14. Consumos energéticos por día tipo de cada mes.

Hora	Consumos día tipo mes (Wh)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	133,66	116,81	108,09	129,50	185,00	255,83
2	93,89	89,33	116,02	92,24	112,06	169,67
3	103,37	79,81	85,89	87,21	115,23	109,15
4	102,21	80,08	77,44	96,20	107,56	130,29
5	83,94	85,10	85,89	96,46	99,37	90,39
6	84,64	101,75	87,48	104,39	110,21	103,86
7	131,12	123,16	109,94	130,29	118,66	115,49
8	316,12	223,59	169,67	105,98	151,44	122,63
9	222,93	170,99	238,91	192,93	227,81	136,64
10	75,62	96,46	146,15	128,97	192,93	187,38
11	136,44	150,38	212,75	202,18	302,34	403,30
12	232,87	344,89	392,99	433,16	258,47	658,86
13	129,50	518,53	176,54	554,47	236,01	525,93

14	169,28	323,22	520,38	664,68	308,95	518,26
15	685,66	521,44	432,64	540,99	659,13	294,41
16	904,19	435,81	269,84	371,06	321,37	532,27
17	655,13	399,07	195,57	210,90	281,99	223,85
18	402,38	205,61	321,37	175,22	223,06	190,81
19	1160,64	253,19	282,26	215,13	421,54	225,17
20	1342,18	850,21	464,61	719,12	808,98	625,83
21	2125,65	1205,41	1068,51	936,63	686,88	420,48
22	2131,43	723,35	662,83	809,77	814,79	752,95
23	2430,21	518,00	278,82	468,84	372,11	694,28
24	639,41	237,59	226,76	245,79	259,26	616,31

Hora	Consumos día tipo mes (Wh)					
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	466,20	635,08	523,55	139,01	116,29	235,21
2	562,93	715,42	441,09	154,61	80,87	98,84
3	610,50	664,68	403,83	111,00	90,12	79,81
4	596,23	640,36	373,70	93,82	86,69	78,76
5	523,55	592,00	327,71	82,19	134,79	91,18
6	507,16	545,49	190,81	91,18	112,85	99,37
7	382,42	406,21	168,09	129,76	131,61	127,91
8	252,13	204,03	269,31	197,69	176,01	111,53
9	236,80	169,14	187,91	119,46	182,36	155,40
10	215,66	169,41	257,41	170,46	91,71	87,21
11	208,26	164,65	303,14	181,56	187,38	190,81
12	356,79	194,78	317,41	214,86	195,04	540,46
13	476,77	232,31	359,16	270,10	134,79	626,89
14	534,91	284,11	158,31	390,09	151,44	143,24
15	473,86	320,05	340,40	308,16	462,50	569,01
16	384,54	297,06	862,36	268,51	384,80	320,84
17	479,41	275,65	271,42	189,23	220,41	209,58
18	235,48	273,01	190,02	423,65	250,81	198,48
19	276,18	330,09	239,71	669,70	341,46	256,62
20	474,66	283,58	416,78	394,31	309,21	732,07
21	723,88	274,86	494,21	573,76	618,43	1075,64
22	939,54	343,04	583,81	1156,78	1527,57	1108,41
23	366,04	795,24	1100,75	473,86	1033,09	1045,25
24	540,73	703,79	588,83	168,09	485,49	289,39

A partir de estos datos de consumo se puede conseguir el consumo final de la vivienda, y mediante el factor de conversión del estándar, obtener el consumo de energía primaria.

El consumo de energía final anual de la vivienda, a partir del consumo de cada día tipo es:

$$E_{fin} = 3196,48 \text{ kWh}$$

El consumo de energía final por metro cuadrado de superficie útil (135 m^2) es:

$$E_{fin} = \frac{3196,48}{135} = 23,68 \text{ kWh/m}^2$$

Para pasarlo a términos de consumo de energía primaria, hay que multiplicarlo por el factor de conversión, quedando:

$$\text{Passivhaus} \rightarrow E_{prim} = E_{fin} \cdot \text{Factor de paso} = 23,68 \cdot 1,25 = 29,6 \text{ kWh/m}^2$$

Por lo que cumple con los valores de consumo establecidos en la categoría Passivhaus Premium.

6.2. Datos climáticos

Para poder realizar el predimensionamiento de la instalación de energía renovable se necesita disponer de los datos climáticos de la ubicación de la vivienda. Los datos necesarios en este caso van a ser los valores de radiación, el recurso eólico y la temperatura.

6.2.1. Radiación

Una vez conocida la localización de la vivienda ya pueden obtenerse los valores de radiación. Para ello, se va a utilizar el software europeo "PVGIS".

En este software, se introduce la localización de la vivienda y el ángulo de inclinación que van a tener los paneles fotovoltaicos. En este caso, la inclinación a la que se va a obtener la radiación solar va a ser 35° .

Los valores de radiación necesarios son mensuales. En PVGIS, se pueden obtener valores de radiación mensuales desde 2005 a 2016 y, para tener una mayor precisión, se va a realizar una media por meses de los valores de radiación de estos años.

Por lo tanto, los valores obtenidos mediante el software PVGIS para la ubicación de cartagena y una inclinación de 35° son:

Tabla 15. Radiación mensual Cartagena.

Mes	Radiación mensual media (kWh/m^2)
Enero	145,64
Febrero	145,38
Marzo	184,03
Abril	192,05
Mayo	208,69
Junio	213,98
Julio	222,87
Agosto	216,82
Septiembre	188,59
Octubre	168,62
Noviembre	135,74
Diciembre	133,72

Los datos de radiación horarios para la misma ubicación e inclinación se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Radiación horaria por día tipo de mes

Hora	Radiación por día tipo de mes (Wh/m^2)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	29,59	40,28
7	0	0	65,88	108,72	139,15	146,60
8	60,69	157,67	271,28	293,60	325,60	340,34
9	291,53	365,81	470,91	484,32	513,15	538,47
10	451,60	533,87	634,22	645,00	671,79	708,51
11	564,91	654,20	748,72	760,38	786,33	832,58
12	626,06	719,43	809,51	822,61	848,31	900,48
13	632,39	726,11	816,08	829,06	854,88	907,73
14	583,92	674,57	767,74	779,85	805,68	853,63
15	482,60	566,58	665,57	676,35	702,91	742,12
16	332,50	408,69	512,89	525,28	553,43	581,47
17	133,88	213,47	319,71	339,33	370,64	387,64
18	0	27,4801	113,96	147,65	180,00	188,93
19	0	0	3,06	22,99	50,32	55,56
20	0	0	0	0	2,60	8,47
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

Hora	Radiación por día tipo de mes (Wh/m^2)					
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	34,77	12,97	0	0	0	0
7	139,46	114,82	68,40	11,77	0	0
8	337,10	308,53	250,76	198,20	90,71	51,15
9	540,58	517,35	455,24	401,85	301,01	265,56
10	716,54	699,50	634,60	574,89	464,48	420,88
11	844,74	832,89	765,59	698,48	581,92	530,57

12	915,05	905,83	837,21	765,77	645,47	589,55
13	922,63	913,42	844,90	772,90	652,15	595,66
14	866,58	855,64	787,88	719,42	601,84	549,02
15	751,17	735,48	670,03	608,50	496,28	450,76
16	585,06	563,30	500,39	445,88	342,65	305,62
17	385,55	357,98	298,97	247,32	147,32	102,56
18	182,34	154,76	105,07	50,81	2,60	0
19	49,03	29,97	6,42	0	0	0
20	6,09	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

6.2.2. Recurso eólico

Para obtener información sobre el recurso eólico disponible se va a utilizar el software de la NASA "POWER Data Access Viewer". Este software permite obtener la cantidad de horas al año en las que se produce cada una de las diferentes velocidades del viento.

De este software se han obtenido datos desde el año 2015 al año 2019 para una altura de 10 metros. Para poder trabajar con unos datos más robustos, se va a trabajar con la media de los valores obtenidos de cada año.

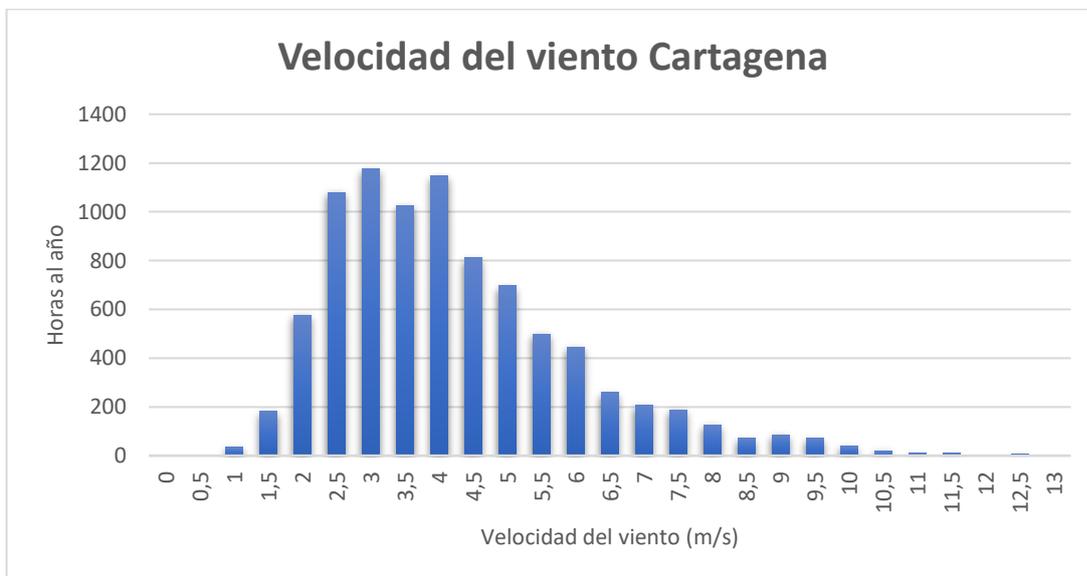


Ilustración 24. Velocidad del viento en Cartagena.

Además, también se han obtenido los datos de velocidad del viento media horaria para cada día tipo de mes, como se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17. Velocidad del viento por horas del día.

Velocidad del viento día tipo mes a 10 m de altura (m/s)						
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	4,71	3,80	3,23	2,91	3,34	2,97
2	3,91	2,51	3,81	3,52	4,83	2,66
3	3,83	2,33	3,54	4,39	3,75	2,92
4	3,88	2,61	4,64	4,25	3,44	3,18
5	3,05	3,08	4,24	3,31	3,39	2,28
6	2,82	2,99	3,74	2,77	3,29	2,46
7	3,11	2,93	3,57	3,36	3,80	4,21
8	4,02	3,77	5,09	3,70	4,69	4,33
9	4,57	4,37	6,99	4,41	4,78	5,34
10	5,60	4,49	6,27	4,84	5,20	6,28
11	5,58	5,14	6,02	6,04	5,96	6,61
12	5,33	4,92	7,13	5,99	6,07	6,87
13	5,76	6,57	6,99	6,81	5,73	8,03
14	5,82	6,14	6,08	7,31	7,15	7,92
15	6,05	6,73	7,03	6,89	7,89	7,79
16	6,22	6,57	6,85	6,95	7,83	7,80
17	4,88	5,60	6,48	5,58	7,86	7,32
18	5,07	3,68	6,08	5,73	7,08	7,12
19	4,55	2,25	5,13	4,89	6,35	5,63
20	5,09	2,54	3,98	4,52	4,60	4,09
21	4,50	2,77	3,49	3,13	3,05	3,67
22	3,15	2,52	2,59	2,67	3,67	3,10
23	3,22	2,07	3,03	2,24	3,90	2,79
24	4,61	3,62	3,90	2,70	3,19	3,26

Velocidad del viento día tipo mes a 10 m de altura (m/s)						
Hora	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	2,85	2,21	2,23	2,33	4,47	3,51
2	3,19	1,97	1,97	2,91	3,79	3,06
3	2,79	2,28	2,06	2,12	2,93	3,90
4	2,46	2,08	2,36	2,02	4,49	3,96
5	2,48	1,80	1,75	2,12	3,06	4,13
6	2,01	2,05	1,84	1,63	3,70	4,43
7	2,76	2,32	2,75	1,27	4,40	4,11
8	4,16	3,07	2,97	1,33	4,02	3,90
9	4,53	3,81	3,60	1,99	6,19	4,35
10	5,50	4,73	4,06	3,33	7,10	4,17
11	5,63	4,63	4,20	3,76	6,20	4,61
12	5,24	5,16	4,98	4,60	6,38	5,91
13	6,14	5,87	4,73	5,60	6,27	6,07
14	7,01	5,87	5,50	5,80	7,01	5,65

15	7,12	6,22	5,14	5,18	6,56	6,10
16	7,30	6,04	5,42	5,07	5,23	6,66
17	6,31	5,79	4,33	4,31	4,23	6,32
18	5,12	4,50	3,90	3,58	3,58	4,53
19	5,09	4,39	3,09	3,78	3,50	5,04
20	4,12	3,78	3,13	2,39	2,60	4,40
21	3,29	3,34	2,10	2,98	2,90	2,55
22	2,53	2,00	2,78	1,79	1,99	3,86
23	2,48	2,50	1,72	1,93	1,85	3,55
24	3,24	2,24	2,03	2,79	4,64	3,88

Para esta instalación no se requiere disponer de la rosa de los vientos, pues los aerogeneradores dedicados a autoconsumo se orientan automáticamente en la dirección del viento.

6.2.3. Temperatura

El otro dato climático necesario para poder realizar el predimensionamiento de la instalación renovable es la temperatura, pues se necesita para poder realizar la elección de los paneles fotovoltaicos a colocar en la instalación.

En la Ilustración 25 se muestra una evolución temporal de las temperaturas máximas y mínimas de la ubicación en la que se encuentra la vivienda del caso de estudio. En la Tabla 18 se muestran los datos más significativos del histórico de temperaturas.

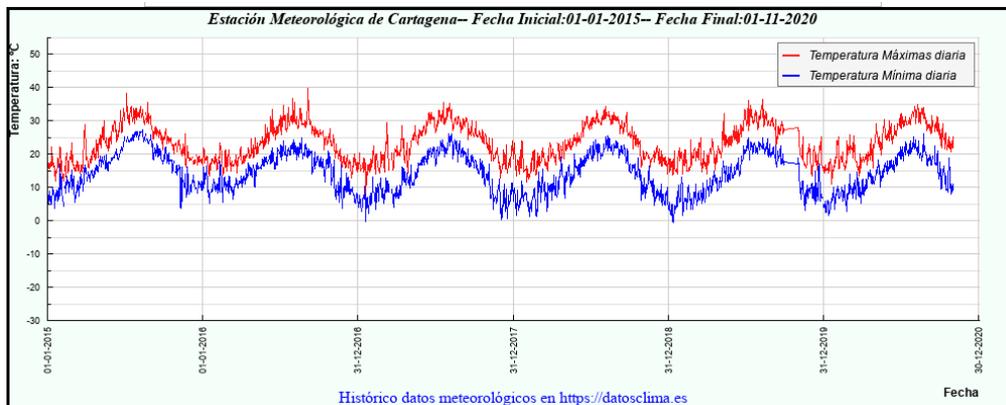


Ilustración 25. Evolución temporal de temperaturas de Cartagena.

Tabla 18. Datos significativos de temperatura de Cartagena.

CARACTERÍSTICA / VALOR	(Temperatura °C)	FECHA
Temperatura Máxima más alta Registrada:	39.7	05-09-2016
Temperatura Máxima más baja Registrada:	5.5	18-01-2017
Temperatura Mínima más alta Registrada:	27.3	13-08-2015
Temperatura Mínima más baja Registrada:	-0.7	12-01-2019
Mayor diferencia de temperaturas en un mismo día (Tmax-Tmin):	20.4	10-03-2017
Mayor ascenso de temperaturas Máximas en 24 h:	8	entre 19-01-2017 y 20-01-2017
Mayor ascenso de temperaturas Mínimas en 24 h:	9.7	entre 19-12-2019 y 20-12-2019
Mayor descenso de Temperaturas máximas en 24h:	10.5	entre 17-01-2017 y 18-01-2017
Mayor descenso de Temperaturas mínimas en 24 h:	11.5	entre 08-11-2015 y 09-11-2015

7. Instalación renovable híbrida

Las instalaciones de producción de energía híbridas son aquellas que combinan la producción de energía mediante diferentes técnicas, las cuales suelen complementarse para poder realizar un suministro lo más adaptado posible a la demanda requerida.

En el caso de las instalaciones de producción de energías renovables, existen diversas opciones de combinación, siendo una de las más comunes la compuesta por energía solar fotovoltaica y energía eólica.

Estas dos tecnologías se complementan muy bien entre ellas, puesto que los paneles fotovoltaicos producen su energía durante las horas de sol, mientras que la tecnología eólica produce la energía aprovechando el viento, el cual producirse suele en mayor medida tanto por la noche como en aquellos días en los que no hay prácticamente horas de sol. Esta combinación hace que el suministro de energía sea más estable y eficiente.

A continuación, se muestra un análisis de las dos tecnologías que conforman el caso de estudio de este trabajo, la instalación solar fotovoltaica y la instalación eólica.

7.1. Instalación fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica es aquella que produce energía eléctrica mediante la utilización de la energía solar. En el caso de estar destinada al autoconsumo de una vivienda, la instalación está compuesta por los siguientes elementos:

- Panel solar fotovoltaico.
- Inversor.
- Regulador.
- Sistema de almacenamiento de energía.

La totalidad de estos elementos no están siempre presentes, ya que los dos últimos elementos son colocados principalmente cuando se trata de una vivienda aislada de la red.

La instalación de sistemas de almacenamiento tales como baterías no suelen realizarse en aquellas viviendas que tienen acceso a la red. Estas viviendas pueden adquirir energía de la red en las horas en las que los paneles fotovoltaicos no producen energía, y por lo tanto no se instalan baterías ya que incrementan de forma considerable el coste de la instalación.

Las instalaciones que no disponen de sistemas de almacenamiento tampoco disponen de regulador, pues el fundamento de este es proteger las baterías frente a sobrecargas o sobredescargas las cuales pueden dañarlas.

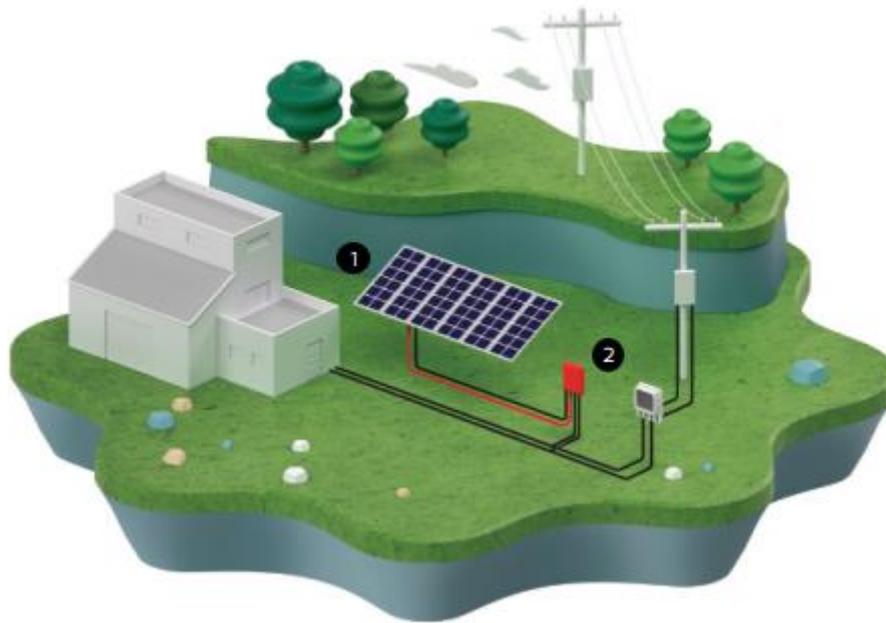


Ilustración 26. Esquema instalación fotovoltaica conectada a red.

Los elementos de una instalación fotovoltaica conectada a red son los siguientes:

Panel solar fotovoltaico

Se trata del elemento de la instalación que genera la energía eléctrica. Esta generación se produce a partir de la energía solar incidente. La transformación de energía se produce mediante un elemento semiconductor, a partir de un fenómeno denominado efecto fotovoltaico.

Un panel fotovoltaico suele estar formado por las siguientes capas:

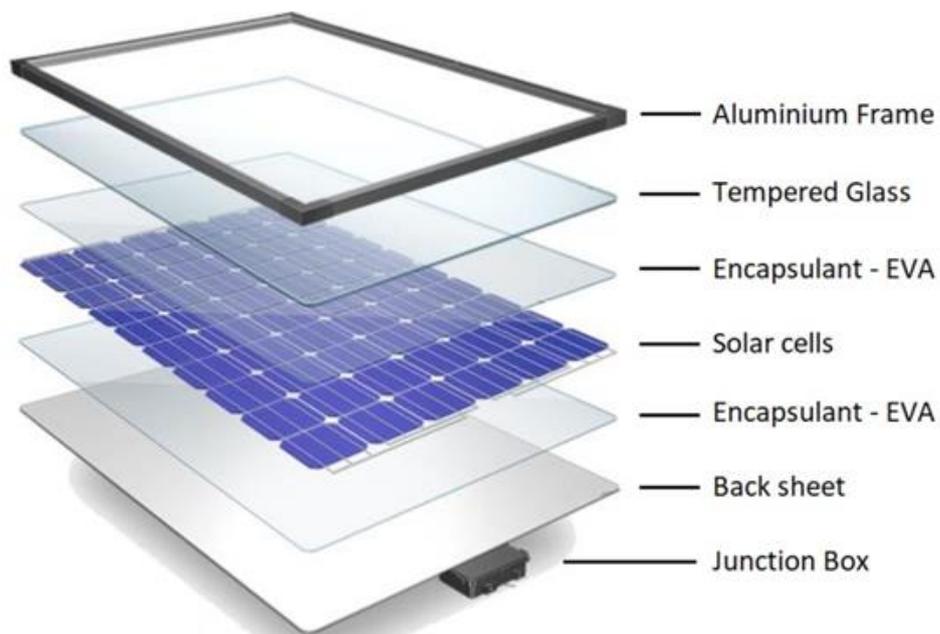


Ilustración 27. Componentes de un panel fotovoltaico.

Una instalación fotovoltaica está formada normalmente por más de un panel. Los paneles que conforman la instalación están conectados entre sí, estas conexiones pueden ser en serie o en paralelo, según los valores de tensión e intensidad deseados.

En una conexión en serie de paneles fotovoltaicos, el polo negativo de un panel fotovoltaico es conectado con el positivo del siguiente y viceversa. En el conexionado en paralelo, los polos positivos de los paneles son conectados entre sí, y de igual forma con los polos negativos.

Cuando las instalaciones tienen un número considerable de paneles, la instalación dispone de conexiones en serie y en paralelo de paneles, estas conexiones en las que aparecen los dos tipos se denominan conexiones mixtas.

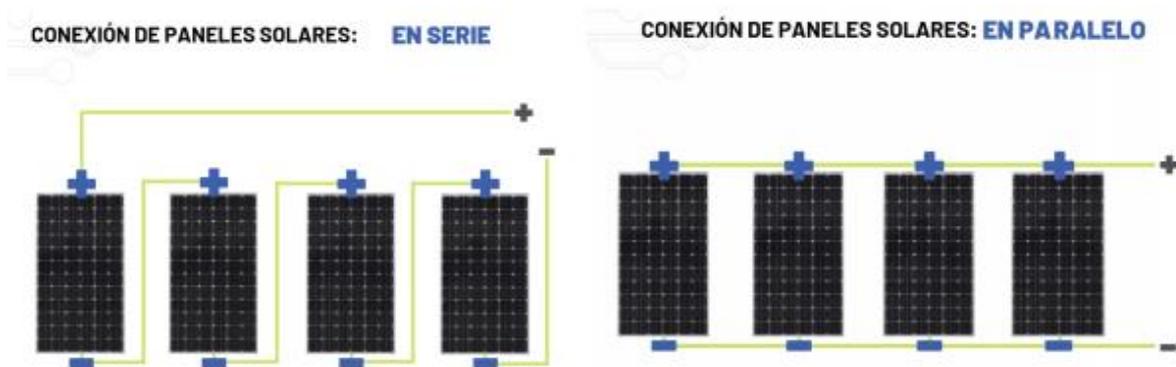


Ilustración 28. Disposiciones de conexionado de paneles fotovoltaicos.

La célula semiconductores de los paneles fotovoltaicos puede estar realizada mediante diversos procesos de fabricación y diferentes materiales, los principales modelos de células fotovoltaicas son:

- Silicio monocristalino: Está formado por un único cristal de silicio con una estructura uniforme. Debido a la pureza del material, se trata de las células con mayor rendimiento, alcanzando valores de hasta el 25%. Se caracterizan por tener un color azul oscuro homogéneo. Como aspecto negativo de este tipo de células se puede destacar que su proceso de fabricación es más caro y presentan una disminución del rendimiento a altas temperaturas.
- Silicio policristalino: Está formado por un conjunto de cristales de silicio. El proceso de fabricación es más económico que el de las células monocristalinas, pero su rendimiento es inferior (valores de hasta el 16%). Su aspecto característico tiene un color irregular y está formado por células cuadradas.
- Capa delgada: Se forman colocando varias capas de materiales fotovoltaicos sobre una base. Pueden estar constituidos por diferentes materiales como silicio amorfo, telururo de cadmio, cobre, etc. El proceso de fabricación es más simple que para los dos casos anteriores, y presenta un aspecto homogéneo. Su rendimiento es inferior (valores entre el 7% y el 13%) y disponen de una menor vida útil que los casos anteriores.



Ilustración 29. Módulos de silicio monocristalino, silicio policristalino y capa delgada.

Inversor

La finalidad de este componente es convertir la corriente continua que le llega procedente de los paneles fotovoltaicos a corriente alterna, pues al tratarse de una vivienda conectada a red, todos los consumos son en corriente alterna (230 V y 50 Hz).



Ilustración 30. Inversor fotovoltaico.

En una instalación fotovoltaica, puede haber diferentes tipos de inversores:

- **Inversor centralizado:** Un solo inversor está conectado a un conjunto de paneles fotovoltaicos. Este tipo de disposición es la más económica, puesto que se dispone de un solo inversor, haciendo además más fácil su mantenimiento. Suele estar situado dentro de la vivienda. Este tipo de disposición presenta un gran problema, pues la potencia de salida del conjunto de paneles vendrá limitada por el panel que menos produzca. Esta es la razón de que este tipo de disposición no sea óptima en aquellas instalaciones que pueden presentar sombras en alguna zona.

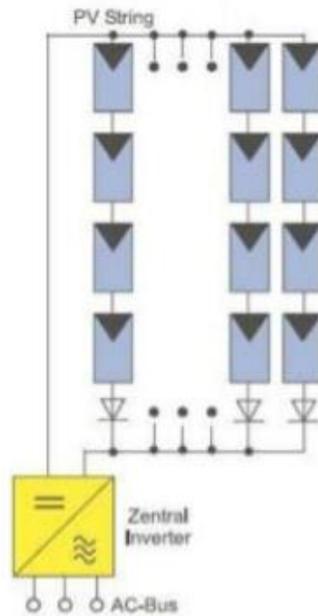


Ilustración 31. Disposición inversor centralizado.

- Microinversor: Este tipo de inversor se coloca uno para cada panel fotovoltaico, por lo que están situados fuera de la vivienda. A pesar de que la colocación de estos inversores suele aumentar la inversión necesaria, las instalaciones con este tipo de inversores presentan una mayor eficiencia, pues la producción de energía de cada panel fotovoltaico no depende de otros paneles.

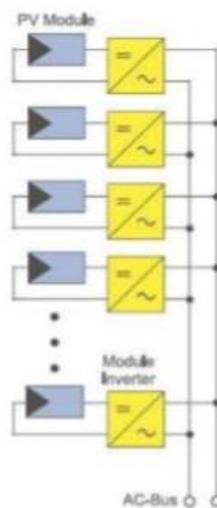


Ilustración 32. Disposición microinversores

7.2. Instalación eólica

Las instalaciones eólicas son aquellas que producen energía aprovechando la energía del viento.

Al igual que para el caso de las instalaciones fotovoltaicas, al tratarse de una vivienda conectada a la red, no se dispone de sistemas de almacenamiento de energía, pues su instalación encarece considerablemente el coste.

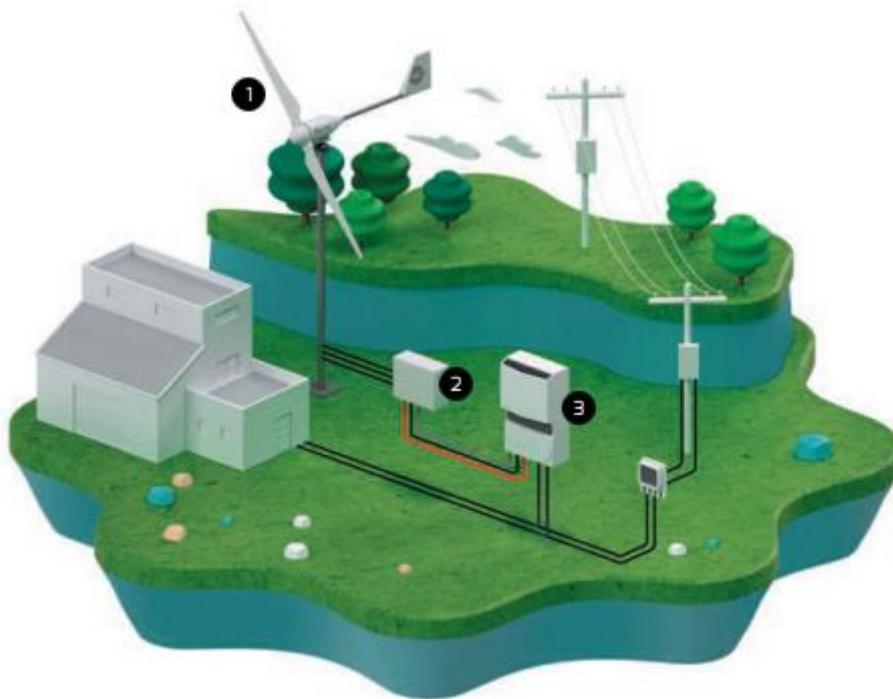


Ilustración 33. Esquema instalación eólica de conexión a red.

Los principales componentes de una instalación eólica destinada a autoconsumo en una vivienda conectada a la red son:

- Aerogenerador.
- Regulador.
- Inversor.

A continuación, se va a proceder a realizar un análisis de cada uno de estos componentes.

Aerogenerador

El aerogenerador es el elemento que transforma la energía del viento en energía eléctrica.

Los aerogeneradores destinados al autoconsumo son catalogados como “Mini-aerogeneradores”, y suelen tener las siguientes características:

Tabla 19. Características mini-aerogeneradores

	Potencia (kW)	Radio de rotor (m)	Aplicaciones
Mini-aerogeneradores	1 – 10	1 – 3	Granjas, viviendas, bombeo, etc

Este tipo de aerogeneradores pueden presentar dos diferentes disposiciones:

- Eje horizontal: son de este tipo el 99% de los aerogeneradores instalados, su rendimiento suele ser bastante superior al de los aerogeneradores de eje vertical. Este tipo de aerogeneradores presentan dos o tres palas, aunque también pueden presentar una sola pala con un contrapeso. Este tipo de aerogeneradores pueden ser a barlovento (el viento encuentra antes el rotor que la torre) o a sotavento (el viento encuentra antes la torre que el rotor).



Ilustración 34. Aerogenerador eje horizontal.

- Eje vertical: presentan el 1% de los aerogeneradores instalados, y pueden ser de tipo Savonius, Darrieus o Giromill. El rendimiento de este tipo de aerogeneradores suele ser por debajo de la mitad de los aerogeneradores de eje horizontal.

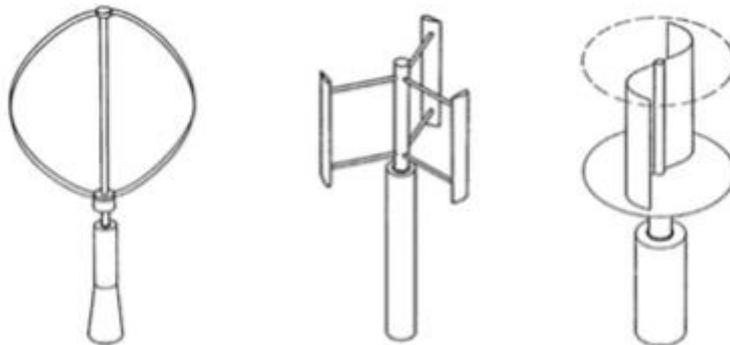


Ilustración 35. Diferentes modelos de aerogeneradores de eje vertical.

Ya se trate de un tipo de aerogenerador u otro, todos están constituidos por las siguientes partes:

- Rotor: es la parte del aerogenerador que transforma la energía del viento en energía mecánica.
- Multiplicador: se trata de un conjunto de engranajes que transforman la baja velocidad de giro del rotor a una mayor velocidad.
- Generador: transforma la energía mecánica producida por el rotor en energía eléctrica.
- Timón o aleta de colar: es el sistema que utilizan los aerogeneradores para orientarse según la dirección del viento.
- Limitador de potencia: se trata de un sistema de seguridad que busca regular la velocidad de giro de las palas en aquellos momentos en los que exista demasiada velocidad del viento y se pueda dañar el aerogenerador.

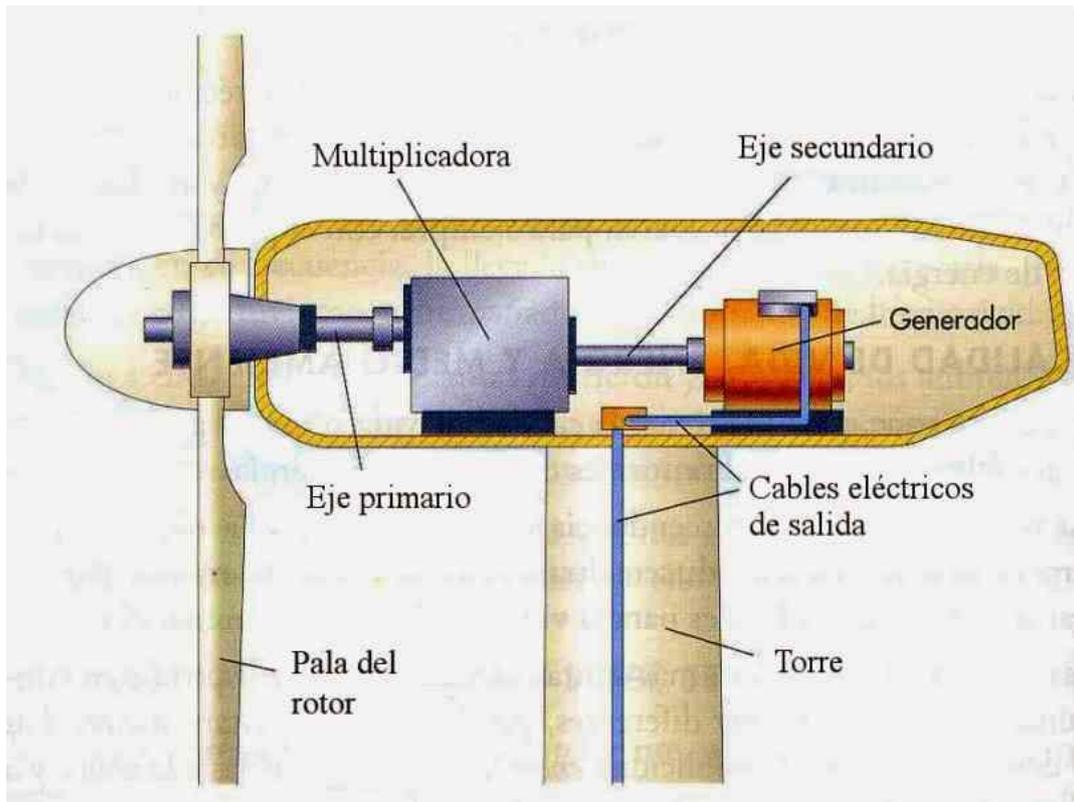


Ilustración 36. Componentes de un aerogenerador.

Regulador

Se encarga de gestionar y controlar el funcionamiento del aerogenerador y la energía producida para alimentar el resto de consumos. Estos dispositivos tienen una salida en corriente continua, a partir de la cual alimentan al inversor de conexión a red.

Debe existir un regulador para cada aerogenerador, puesto que monitoriza el comportamiento del aerogenerador controlando todos sus parámetros.



Ilustración 37. Interface.

Inversor

Al igual que los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador produce energía eléctrica en corriente continua, mientras que la vivienda, en el caso que se utilice como autoconsumo, o la red eléctrica, en caso de que se utilice para exportar la energía producida, trabajan en corriente alterna.

Es por esta razón que la instalación requiere de un inversor, el cual transforme la energía continua saliente del aerogenerador en energía alterna utilizable por la vivienda y por la red eléctrica.

Normalmente, en una instalación híbrida como la de este trabajo, el inversor utilizado en la instalación eólica es distinto al utilizado en la instalación fotovoltaica, pues los inversores de las instalaciones fotovoltaicas no suelen estar preparados para cambios tan bruscos de producción de electricidad como producen los aerogeneradores.



Ilustración 38. Inversor eólico.

8. Método de cálculo

8.1. Método de cálculo instalación fotovoltaica

El primer paso para dimensionar una instalación fotovoltaica es ver como de grande tiene que ser, es decir, cuantos paneles fotovoltaicos son necesarios. Para ello, se necesita saber cuánta energía producirán. Para calcular la energía generada por la instalación fotovoltaica se utiliza la siguiente fórmula:

$$E_p = \frac{G_m(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{G_{CEM}}$$

Donde:

- $G_m(\alpha, \beta)$: es la energía de la radiación solar, expresada en kWh/m^2 . Se calcula para la orientación e inclinación que van a tener los paneles fotovoltaicos en la instalación.
- P_{mp} : es la potencia pico de la instalación, expresada en kW .
- G_{CEM} : $1 kW/m^2$. Condiciones en las que se hacen las pruebas de potencia de los módulos fotovoltaicos.
- PR : es el rendimiento de la instalación, también llamado "performance ratio". Es en este término donde se incluyen las pérdidas de todo el conjunto de la instalación. En este trabajo se va a considerar un valor de 0,8.

Analizando la fórmula de la generación de energía eléctrica de la instalación fotovoltaica, se puede apreciar que depende de los valores de radiación que tenga la ubicación en la que se encuentre la instalación, así como de las características de los módulos fotovoltaicos instalados.

El término de la potencia pico de la instalación (P_{mp}), se obtiene de la siguiente forma:

$$P_{mp} = n^{\circ} \text{ de módulos} \cdot \text{potencia de los módulos}$$

Tras determinar los paneles necesarios a instalar para poder producir la energía requerida, hay que analizar como se conectan estos paneles entre ellos. Como se ha indicado anteriormente, estas conexiones pueden ser en serie o en paralelo.

La tensión de la instalación es la tensión de un panel fotovoltaico por el número de módulos en serie, mientras que la intensidad de la instalación es la de un módulo por el número de ramas en paralelo. El grupo de módulos conectados en serie se denomina ramal o cadena.

$$V_{inst} = V_{módulo} \cdot n^{\circ} \text{ módulos en serie}$$

$$I_{inst} = I_{módulo} \cdot n^{\circ} \text{ de ramales}$$

Una instalación fotovoltaica tiene que cumplir con las siguientes características:

- El cociente entre la potencia pico de la instalación (P_{mp})/ potencia nominal del inversor (W) debe tener valores comprendidos entre 1 y 1,2.
- A cada seguidor del punto PMP, se deben conectar módulos idénticos, con la misma orientación, y evitando sombreado parcial, puesto que sino se reduciría notablemente la producción de la instalación.

Para analizar como va a ser la conexión entre los diferentes módulos, se calcula cual es el número máximo y mínimo de módulos fotovoltaicos a colocar por ramal, obteniendo así cuantos ramales han de colocarse en la instalación. Esta organización viene determinada por las características del inversor colocado en la instalación.

Número máximo de módulos por ramal

El número máximo de módulos fotovoltaicos por ramal viene determinado por el cociente entre la tensión del circuito abierto del generador fotovoltaico y la tensión máxima de entrada al inversor. Este cociente de ser mayor que la unidad.

$$n_{max} = \frac{\text{Tensión máxima de entrada en el inversor (V)}}{\text{Tensión a circuito abierto del módulo a temperatura mínima}}$$

$$n_{max} = \frac{U_{max} (INV)}{U_{ca}(T_{min} \text{ panel})}$$

Pudiendo expresarse $U_{ca}(T_{min} \text{ panel})$ de las dos formas siguientes:

$$U_{ca}(T_{min} \text{ panel}) = U_{ca}(STC) + [(T_{min} \text{ panel} - 25(^{\circ}C)) \cdot \Delta U] \quad \text{con } \Delta U \text{ en } mV/^{\circ}C$$

$$U_{ca}(T_{min} \text{ panel}) = U_{ca}(STC) \cdot \left[1 + (T_{min} \text{ panel} - 25(^{\circ}C)) \cdot \frac{\Delta U}{100} \right] \quad \text{con } \Delta U \text{ en } \%/^{\circ}C$$

Para calcular la temperatura del panel, ya sea la temperatura mínima ($T_{min} \text{ panel}$) o la temperatura máxima ($T_{max} \text{ panel}$), se utiliza la siguiente fórmula:

$$T_p = T_a + \left(\frac{TONC - 20}{800} \right) \cdot I$$

Cada uno de los términos de la ecuación son:

- T_p = Temperatura de panel fotovoltaico ($^{\circ}C$)
- T_a = Temperatura ambiente de la ubicación de la instalación ($^{\circ}C$)
- I = Irradiancia solar (W/m^2)
- $TONC$ = Temperatura de operación nominal del módulo fotovoltaico. Es la temperatura que alcanza el módulo fotovoltaico cuando indican $800 W/m^2$ a una temperatura ambiente de $20^{\circ}C$ y velocidad de viento de $1 m/s$. Suelen ser valores del orden de $47^{\circ}C$.

En climas similares al de España, en invierno se suelen considerar una temperatura mínima de $-5^{\circ}C$ y una irradiancia solar de $100 W/m^2$, mientras que, en verano, se considera una temperatura máxima de $45^{\circ}C$ y una irradiancia solar de $1000 W/m^2$.

Número mínimo de módulos por ramal.

El número mínimo de módulos fotovoltaicos por ramal viene determinado por el cociente entre el valor de la tensión de entrada mínima al inversor y la tensión de máxima potencia del módulo fotovoltaico. Este cociente debe ser menor que la unidad.

$$n_{min} = \frac{\text{Tensión mínima de entrada al inversor en PMP}}{\text{Tensión del módulo en PMP a la temperatura máxima}} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T_{max\ panel})}$$

Puede expresarse $U_{PMP}(T_{min\ panel})$ de las dos formas siguientes:

$$U_{PMP}(T_{min\ panel}) = U_{PMP}(STC) + [(T_{máx\ panel} - 25(^{\circ}C)) \cdot \Delta U] \quad \text{con } \Delta U \text{ en } mV/^{\circ}C$$

$$U_{PMP}(T_{min\ panel}) = U_{PMP}(STC) \cdot \left[1 + (T_{max\ panel} - 25(^{\circ}C)) \cdot \frac{\Delta U}{100} \right] \quad \text{con } \Delta U \text{ en } \%/^{\circ}C$$

La temperatura máxima ($T_{max\ panel}$) se calcula de la misma forma que para el número máximo de ramales.

Número de ramales en paralelo.

El número de ramales en paralelo que tiene que tener la instalación se determina de la siguiente forma:

$$n_{ramales} = \frac{P_{pmp,FV}}{P_{pmp,ramal}}$$

Además, los ramales colocados en la instalación fotovoltaica han de cumplir que la corriente de cortocircuito máxima de cada ramal de la instalación, por el número de ramales en paralelo, tiene que ser menor que la corriente máxima admisible de entrada al inversor.

$$n_{ramales} \cdot I_{CC,ramal} \leq I_{max,INV}$$

La corriente de cortocircuito máxima de cada ramal ($I_{CC,ramal}$) se obtiene según la temperatura máxima del módulo fotovoltaico:

$$I_{CC,ramal} = I_{CC,(T_{max})} = I_{CC}(STC) \cdot \left[1 + (T_{p\ max} - 25(^{\circ}C)) \cdot \frac{\Delta I}{100} \right] \quad \text{con } \Delta I \text{ en } \%/^{\circ}C$$

8.2. Método de cálculo instalación eólica

Para poder dimensionar la instalación eólica, al igual que para la instalación fotovoltaica, el primer paso es ver cuanta energía puede producir cada aerogenerador, y a partir de aquí poder determinar el tamaño necesario que debe tener la instalación.

Para conocer la energía eléctrica que puede producir un aerogenerador se necesita conocer su curva característica y las características del recurso eólico. La producción de energía eléctrica anual de un aerogenerador se puede expresar según la siguiente fórmula:

$$E_p = \sum_{i=0}^n P_i \cdot h_i$$

Donde:

- E_p : es la energía eléctrica producida anual por el aerogenerador.
- P_i : potencia del aerogenerador a la velocidad del viento i .
- h_i : horas anuales en las que se produce viento a la velocidad i .

En una instalación eólica destinada para autoconsumo de una vivienda, no se requiere de un estudio de dirección del viento, pues estos aerogeneradores disponen de un mecanismo mediante el cual se orientan automáticamente hacia la dirección del viento.

Es por esta razón que no se ha realizado una rosa de los vientos para analizar la dirección principal del viento en la ubicación elegida.

9. Predimensionado de la instalación

El dimensionado de la instalación de generación de energía renovable va a realizarse para poder cumplir con la producción de energía renovable de las categorías Plus y Premium del estándar Passivhaus.

La estrategia a seguir en el dimensionado de la instalación va a ser primeramente determinar la cantidad de energía que se va a poder producir mediante los paneles fotovoltaicos y posteriormente, en caso de que fuera necesario, completar la producción de energía necesaria mediante aerogeneradores.

En el caso de que los paneles fotovoltaicos produjesen toda la energía necesaria, se va a sustituir algunos paneles por aerogeneradores, para así poder estudiar diversas alternativas de instalación renovable y poder decantarse por el caso más favorable económicamente.

Los paneles fotovoltaicos van a instalarse en el lado de la cubierta orientado al sur, pues esta es la orientación idónea para los paneles fotovoltaicos en esta ubicación geográfica.

Se va a aprovechar la inclinación de la cubierta (35°) para colocar los paneles, ya que corresponde con la inclinación idónea, pues normalmente se sigue la regla de que los paneles solares tienen que tener una inclinación similar a la latitud geográfica en la que se encuentran. Además, de esta forma se evita tener que dejar espacio entre paneles fotovoltaicos para que no generen sombras unos a otros.

Al ser una superficie limitada donde se van a colocar los paneles fotovoltaicos, se ha decidido usar aquellos paneles fotovoltaicos que tengan un mayor rendimiento, considerando rendimiento como la relación potencia/área, pues será este modelo el que pueda producir una mayor cantidad de energía ocupando el menor espacio posible.

Los paneles fotovoltaicos analizados son los indicados en la Tabla 20:

Tabla 20. Rendimiento de cada modelo de módulo fotovoltaico.

Modelo	Potencia (W)	Área (m²)	Rendimiento
AMS 270W	270	1,63	165,96
SCL 320W P1	320	1,94	164,92
SAYA-P350-72	350	1,94	180,38
ESPSC 400M	400	1,99	201,42
Tiger Mono-facial 460 W	460	2,22	207,22

Como se puede apreciar, el panel fotovoltaico que tiene una mejor relación potencia/área es el modelo “Tiger Mono-facial 460 W”, por lo que este es el modelo que se va a utilizar para realizar la instalación renovable. Sus características se pueden encontrar en el Anexo III. Ficha técnica panel fotovoltaico.

Con respecto a la instalación de energía eólica, se propone utilizar aerogeneradores de la marca “Bornay”. Esta marca dispone de aerogeneradores de potencias de 600 W, 1500 W, 3000 W y 6000 W. Para este caso se van a utilizar los de potencia de 1500 W y de 3000 W. Las características de estos dos modelos de aerogenerador se pueden encontrar en Anexo V: Fichas técnicas aerogeneradores.

Estos modelos de aerogenerador tienen incorporados un regulador, por lo tanto, el otro componente del que requiere la instalación es un inversor. En la instalación eólica se va a proceder a instalar un inversor por cada aerogenerador.

Para cada una de las categorías de estudio, se van a analizar tres alternativas, en las cuales se va a buscar lo siguiente:

- Alternativa 1: toda la energía suministrada por los paneles fotovoltaicos.
- Alternativa 2: un tercio de la energía suministrada por aerogeneradores y dos tercios por los paneles fotovoltaicos.
- Alternativa 3: dos tercios de la energía suministrada por aerogeneradores y un tercio por los paneles fotovoltaicos.

El conexionado de los paneles fotovoltaicos, como se ha visto anteriormente, depende tanto de las características de los paneles como las características del inversor utilizado.

Como los módulos fotovoltaicos utilizados en las diferentes alternativas de Passivhaus Premium y Passivhaus Plus son el mismo modelo, se van a obtener a continuación todos los valores requeridos para poder hacer el conexionado. Los datos requeridos se encuentran en la hoja de características en el Anexo IV: Fichas técnicas inversores. Mientras que como en cada alternativa si difiere el inversor utilizado, este dato sí se obtendrá en cada una de las diferentes alternativas.

En primer lugar, se va a calcular la tensión en circuito abierto del módulo a temperatura mínima:

$$U_{ca}(T_{min\ panel}) = U_{ca}(STC) \cdot \left[1 + (T_{min\ panel} - 25(^{\circ}C)) \cdot \frac{\Delta U}{100} \right]$$

$$U_{ca}(T_{min\ panel}) = 51,9 \cdot \left[1 + (2,425 - 25) \cdot \frac{(-0,29)}{100} \right] = 55,30\ V$$

Siendo $T_{min\ panel}$:

$$T_{min,p} = T_{min} + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800} \right) \cdot I = -0,7 + \left(\frac{45 - 20}{800} \right) \cdot 100 = 2,425\ ^{\circ}C$$

Otro dato a obtener de los módulos fotovoltaicos es la tensión del módulo en PMP a temperatura máxima:

$$U_{PMP}(T_{min\ panel}) = U_{PMP}(STC) \cdot \left[1 + (T_{max\ panel} - 25(^{\circ}C)) \cdot \frac{\Delta U}{100} \right]$$

$$U_{PMP}(T_{min\ panel}) = 43,24 \cdot \left[1 + (70,95 - 25) \cdot \frac{-0,29}{100} \right] = 37,48\ V$$

Donde $T_{max\ panel}$ se obtiene de:

$$T_{max,p} = T_{max} + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800}\right) \cdot I = 39,7 + \left(\frac{45 - 20}{800}\right) \cdot 1000 = 70,95\ ^\circ C$$

El último dato requerido de los paneles fotovoltaicos es la intensidad de cortocircuito del ramal:

$$I_{CC,ramal} = I_{CC,(T_{max})} = I_{CC}(STC) \cdot \left[1 + (T_{p\ max} - 25(^{\circ}C)) \cdot \frac{\Delta I}{100}\right]$$

$$I_{CC,ramal} = I_{CC,(T_{max})} = 11,5 \cdot \left[1 + (70,95 - 25) \cdot \frac{0,048}{100}\right] = 11,75\ A$$

9.1. Predimensionado categoría Passivhaus Premium

El dimensionado de la instalación se va a realizar para poder cumplir con la producción de energía renovable de la categoría Passivhaus Premium, es decir:

$$Generación\ de\ energía\ primaria\ renovable \geq 120kWh/m^2(de\ terreno) \cdot a$$

Como se presentó anteriormente, la generación de energía renovable primaria viene referenciado con respecto a la superficie de terreno ocupado por la vivienda. La vivienda en la que se va a realizar el estudio tiene una superficie ocupada de terreno de $117m^2$.

Con esta superficie de terreno ocupada, la energía primaria renovable anual que se ha de generar es:

$$120 \frac{kWh}{m^2(de\ terreno) \cdot a} \cdot 117m^2 = 14040\ kWh/a$$

9.1.1. Alternativa 1

Como primera aproximación para esta alternativa, se estudia cuánta energía se produciría colocando el mayor número de paneles fotovoltaicos posible en el lado sur de la cubierta.

Como se puede apreciar en la Ilustración 39, 20 es el número máximo de paneles fotovoltaicos que pueden instalarse en el lado sur de la cubierta.

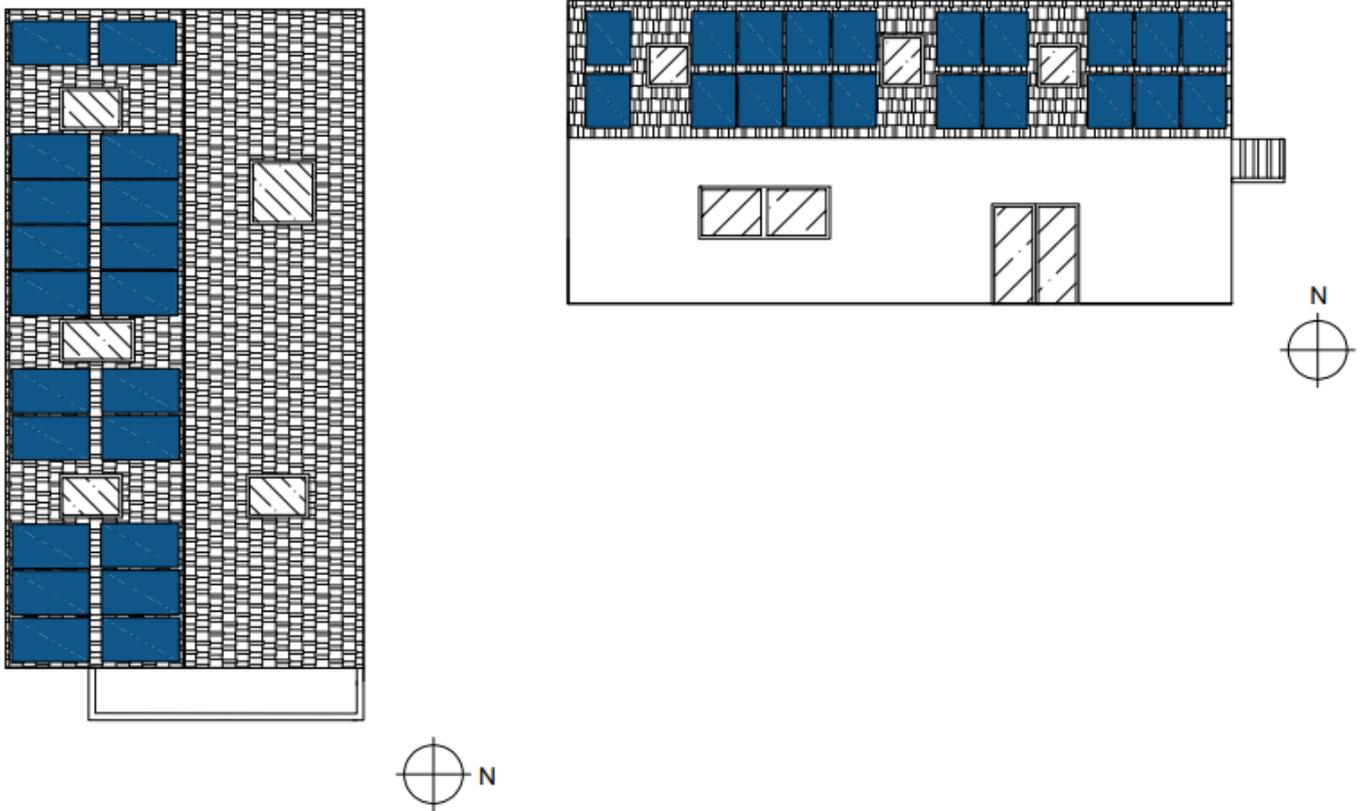


Ilustración 39. Disposición de los máximos paneles en la cubierta

Con los datos de radiación para la inclinación de la cubierta, la energía producida es la indicada en la Tabla 21.

Tabla 21. Generación eléctrica paneles fotovoltaicos x20.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	1071,87
Febrero	1069,98
Marzo	1354,46
Abril	1413,48
Mayo	1535,94
Junio	1574,90
Julio	1640,32
Agosto	1595,78
Septiembre	1388,05
Octubre	1241,07
Noviembre	999,06
Diciembre	984,17
Total	15869,09

Como se puede comprobar en la Tabla 21, con esta cantidad de paneles solares se genera más energía de la necesaria, por lo tanto, no es necesario colocar tantos paneles.

Reduciendo el número de paneles a 18, la cantidad de energía producida por la instalación es:

Tabla 22. Generación energía paneles fotovoltaicos x18.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	964,69
Febrero	962,98
Marzo	1219,01
Abril	1272,13
Mayo	1382,35
Junio	1417,41
Julio	1476,29
Agosto	1436,20
Septiembre	1249,25
Octubre	1116,97
Noviembre	899,16
Diciembre	885,75
Total	14282,18

Por lo tanto, se puede apreciar que con 18 paneles fotovoltaicos se produce la energía requerida para poder ser catalogada la vivienda como Passivhaus Premium. Por lo que la potencia instalada es:

$$P_{mp} = 18 \cdot 460 = 8,28 \text{ kW}$$

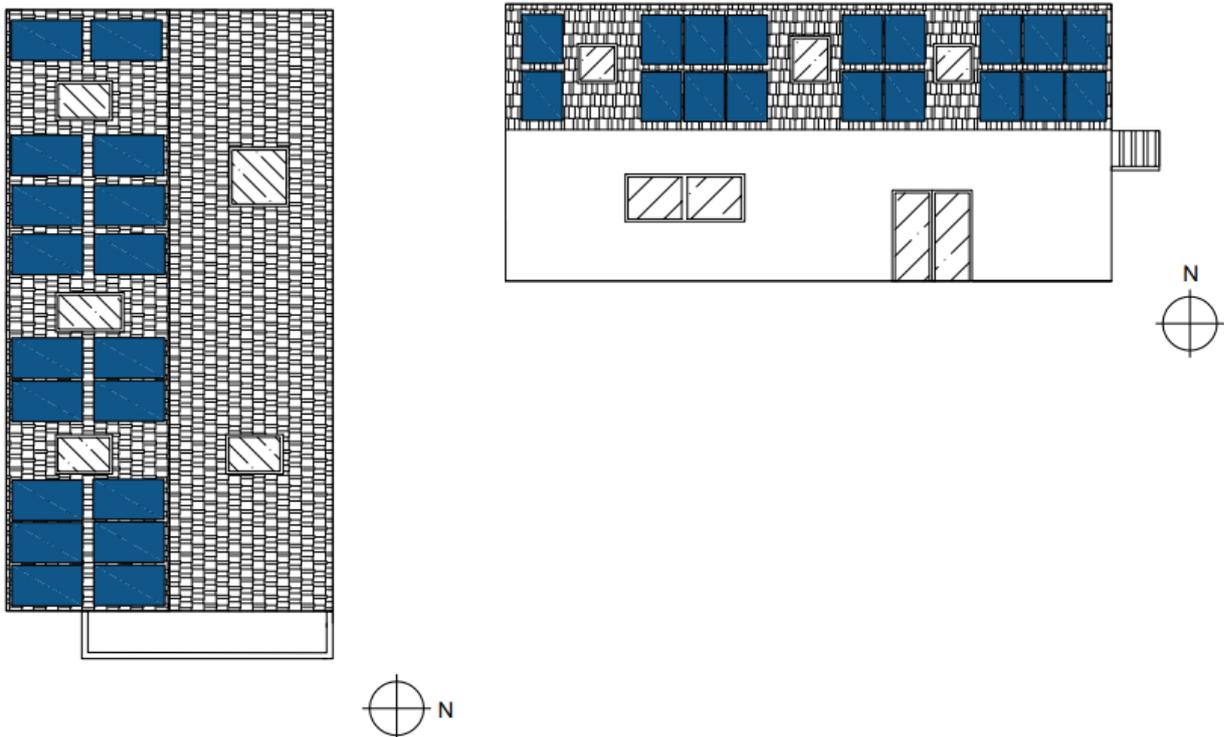


Ilustración 40. Disposición alternativa 2 Passivhaus Premium.

Para determinar cómo es la conexión de los paneles entre ellos se necesitan los datos del inversor. El inversor seleccionado tiene que cumplir la siguiente relación:

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

La potencia total instalada en esta alternativa es $P_{mp} = 8,28 \text{ kW}$, por lo que la potencia nominal del inversor tiene que ser:

$$8,28 \text{ kW} \geq \text{Potencia nominal inversor} \geq \frac{8,28}{1,2} = 6,9 \text{ kW}$$

Se selecciona el inversor SYMO 7.0-3-M con potencia nominal de 7000 W (hoja de características en Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

El número de módulos máximo por ramal viene determinado por la siguiente ecuación:

$$n_{max} = \frac{U_{max}(INV)}{U_{ca}(T_{min} \text{ panel})} = \frac{1000}{51,9} = 19,27 \approx 19$$

El número de módulos mínimo por ramal es:

$$n_{min} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T_{max} \text{ panel})} = \frac{228}{37,48} = 6,08 \approx 6$$

Por otro lado, los ramales deben cumplir con la siguiente característica:

$$n_{ramales,max} = \frac{I_{max,INV}}{I_{CC,ramal}} = \frac{16}{11,75} = 1,36 \approx 1$$

Por lo tanto, las características de la instalación son:

Tabla 23. Características Alternativa 1 Passivhaus Premium.

Instalación fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	18 paneles Tiger Mono-facial 460 W (1 ramal de 18 paneles)
	Inversor fotovoltaico	1 SYMO 7.0-3-M
Instalación eólica	Aerogeneradores	-
	Inversor eólico	-

9.1.2. Alternativa 2

Para esta alternativa, se va a reducir el número de paneles fotovoltaicos colocados, instalando un aerogenerador en su lugar. El aerogenerador colocado, como se ha comentado anteriormente, es de la marca "Bornay", el modelo de 3000 W .

El inversor eólico colocado para este aerogenerador es el modelo 3024/V TAURO BC, cuyas características se encuentran en el Anexo IV: Fichas técnicas inversores.

Con los datos del recurso eólico de la ubicación y los datos de la curva característica del aerogenerador, la energía producida por este sería:

Tabla 24. Generación de energía anual "Bornay 3000W" x1.

Velocidad (m/s)	Tiempo (h)	Potencia (W)	Energía generada (kWh)
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	34	0	0
1,5	182	0	0
2	576	0	0
2,5	1080	100	108,00
3	1176	175	205,80
3,5	1027	375	385,13
4	1147	490	562,03
4,5	811	650	527,15
5	696	760	528,96
5,5	499	1000	499,00
6	446	1175	524,05
6,5	259	1300	336,70
7	206	1520	313,12
7,5	187	1825	341,28
8	125	1950	243,75
8,5	72	2050	147,60
9	86	2250	193,50
9,5	72	2375	171,00
10	38	2500	95,00
10,5	19	2575	48,93
11	10	2800	28,00
11,5	10	3000	30,00
12	0	3075	0
12,5	5	3150	15,75
13	0	3250	0
Total			5304,74

Una vez conocida la energía generada por el aerogenerador, y sabiendo cual es la energía total que se necesita producir en esta categoría del estándar, el número de paneles fotovoltaicos requeridos para completar la producción de energía son 12.

La energía producida por 12 paneles fotovoltaicos es la recogida en la Tabla 25:

Tabla 25. Generación energía paneles fotovoltaicos x12.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	643,12
Febrero	641,99
Marzo	812,68
Abril	848,09

Mayo	921,56
Junio	944,94
Julio	984,19
Agosto	957,47
Septiembre	832,83
Octubre	744,64
Noviembre	599,44
Diciembre	590,50
Total	9521,45

Siendo la potencia fotovoltaica instalada:

$$P_{mp} = 12 \cdot 460 = 5,52 \text{ kW}$$

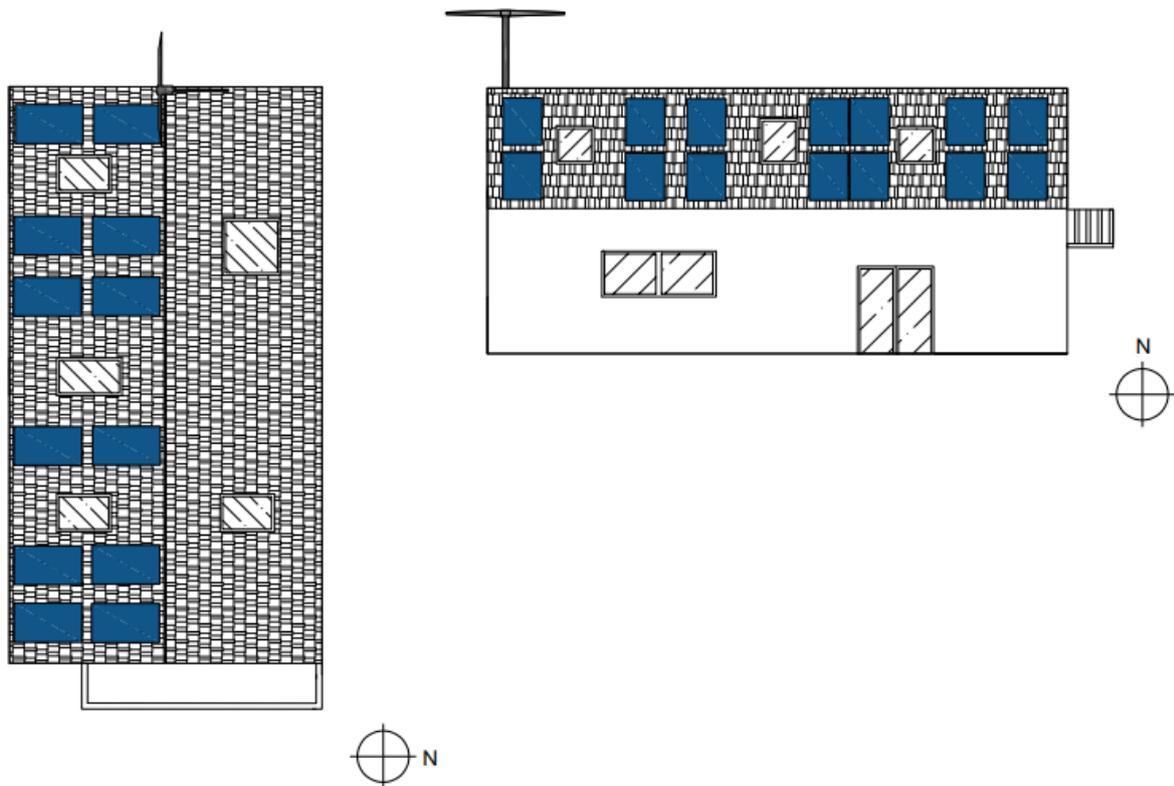


Ilustración 41. Disposición alternativa 2 Passivhaus Premium.

El inversor seleccionado, siendo la potencia fotovoltaica instalada de 5,52 W, tiene que tener una potencia comprendida entre:

$$5,52 \geq \text{Potencia nominal inversor} \geq \frac{5,52}{1,2} = 4,6 \text{ kW}$$

Se propone seleccionar el inversor SYMO 5.0-3-M con potencia nominal de 5000 W (hoja de características en Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

El máximo número de módulos por ramal es:

$$n_{max} = \frac{U_{max} (INV)}{U_{ca}(T_{min} panel)} = \frac{1000}{51,9} = 19,27 \approx 19$$

El mínimo número de módulos por ramal es:

$$n_{min} = \frac{U_{PMP} (INV)}{U_{PMP}(T_{max} panel)} = \frac{163}{37,48} = 4,34 \approx 4$$

Por otro lado, los ramales deben cumplir con la siguiente característica:

$$n_{ramales,max} = \frac{I_{max,INV}}{I_{CC,ramal}} = \frac{16}{11,75} = 1,36 \approx 1$$

Las características de la instalación son:

Tabla 26. Características Alternativa 2 Passivhaus Premium.

Instalación fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	12 paneles Tiger Mono-facial 460 W (1 ramal de 12 paneles)
	Inversor fotovoltaico	1 SYMO 5.0-3-M
Instalación eólica	Aerogeneradores	1 Bornay 3000W
	Inversor eólico	1 TAURO BC 3024/V

9.1.3. Alternativa 3

Para esta tercera alternativa, se instalan dos aerogeneradores "Bornay" de 3000 W, y la energía deficitaria se va a cubrir con la instalación de los paneles fotovoltaicos requeridos.

Como se ha comentado anteriormente, cada aerogenerador dispone de su propio inversor, por lo tanto, se instalan dos inversores del modelo 3024/V TAURO BC, cuyas características se encuentran en Anexo IV: Fichas técnicas inversores.

La energía producida por los dos aerogeneradores es la recogida en la Tabla 27.

Tabla 27. Generación de energía anual "Bornay 3000W" x2.

Velocidad (m/s)	Tiempo (h)	Potencia (W)	Energía generada (kWh)
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	34	0	0
1,5	182	0	0
2	576	0	0
2,5	1080	100	216,00
3	1176	175	411,60
3,5	1027	375	770,25
4	1147	490	1124,06
4,5	811	650	1054,30

5	696	760	1057,92
5,5	499	1000	998,00
6	446	1175	1048,10
6,5	259	1300	673,40
7	206	1520	626,24
7,5	187	1825	682,55
8	125	1950	487,50
8,5	72	2050	295,20
9	86	2250	387,00
9,5	72	2375	342,00
10	38	2500	190,00
10,5	19	2575	97,85
11	10	2800	56,00
11,5	10	3000	60,00
12	0	3075	0
12,5	5	3150	31,50
13	0	3250	0
Total			10609,47

Para completar la producción necesaria de esta categoría del estándar, se instalan 5 paneles fotovoltaicos, cuya generación viene recogida en la Tabla 28.

Tabla 28. Generación energía paneles fotovoltaicos x5.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	267,97
Febrero	267,49
Marzo	338,62
Abril	353,37
Mayo	383,99
Junio	393,72
Julio	410,08
Agosto	398,94
Septiembre	347,01
Octubre	310,27
Noviembre	249,77
Diciembre	246,04
Total	3967,27

Siendo la potencia fotovoltaica instalada:

$$P_{mp} = 5 \cdot 460 = 2,3 \text{ kW}$$

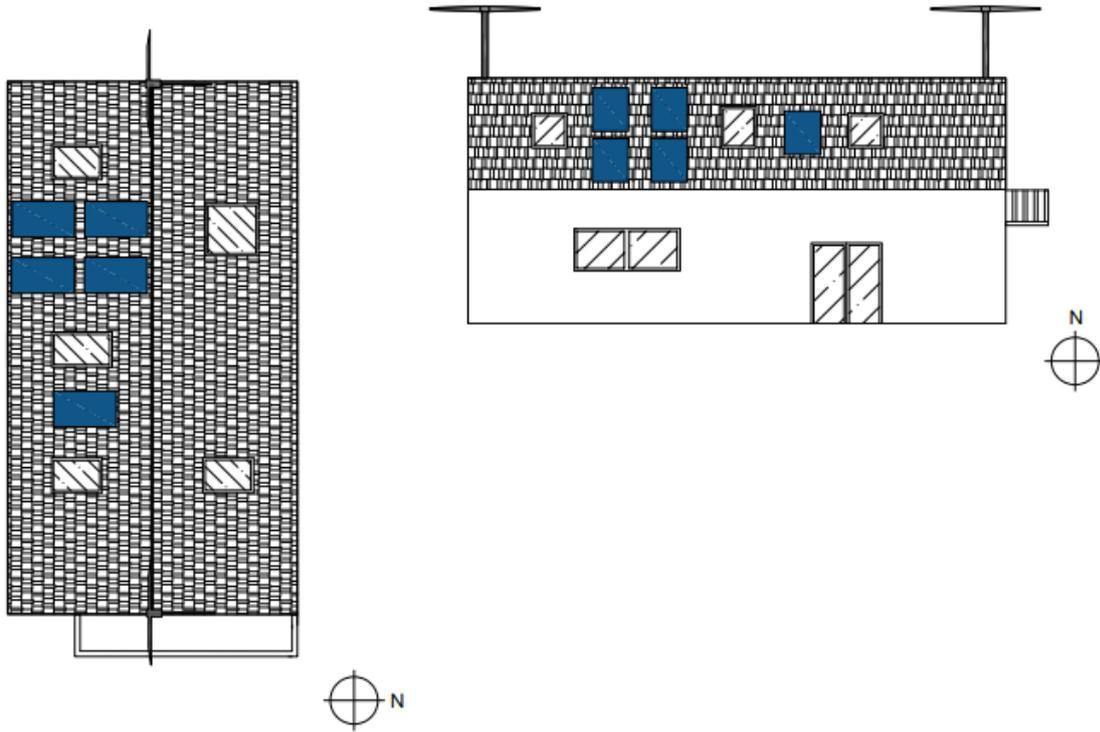


Ilustración 42. Disposición alternativa 3 Passivhaus Premium.

El inversor seleccionado, siendo la potencia fotovoltaica instalada de 2,3 W, tiene que tener una potencia comprendida entre:

$$2,3 \geq \text{Potencia nominal inversor} \geq \frac{2,3}{1,2} = 1,91 \text{ kW}$$

Se selecciona el inversor GW2000-XS con potencia nominal de 2000 W (hoja de características en Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

El máximo número de módulos por ramal es:

$$n_{max} = \frac{U_{max}(INV)}{U_{ca}(T_{min} \text{ panel})} = \frac{500}{51,9} = 9,63 \approx 9$$

El número de módulos mínimo por ramal es:

$$n_{min} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T_{max} \text{ panel})} = \frac{50}{37,48} = 1,33 \approx 1$$

Por otro lado, los ramales deben cumplir con la siguiente característica:

$$n_{ramales,máx} = \frac{I_{max,INV}}{I_{CC,ramal}} = \frac{12,5}{11,75} = 1,06 \approx 1$$

Las características de la instalación son:

Tabla 29. Características Alternativa 3 Passivhaus Premium.

Instalación fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	5 paneles Tiger Mono-facial 460 W (1 ramal de 5 paneles)
	Inversor fotovoltaico	1 GW2000-XS
Instalación eólica	Aerogeneradores	2 Bornay 3000W
	Inversor eólico	2 TAURO BC 3024/V

9.2. Predimensionado categoría Passivhaus Plus

El dimensionado de la instalación se realiza para poder cumplir con la producción de energía renovable de la categoría Passivhaus Plus, es decir:

$$\text{Generación de energía primaria renovable} \geq 60 \text{ kWh/m}^2 (\text{de terreno}) \cdot a$$

Como se presentó anteriormente, la generación de energía renovable primaria viene referenciado con respecto a la superficie de terreno ocupado por la vivienda. La vivienda en la que se va a realizar el estudio tiene una superficie ocupada de terreno de

Al ser la superficie de terreno ocupada 117 m^2 , la energía primaria renovable anual que se ha de generar es:

$$60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 (\text{de terreno}) \cdot a} \cdot 117 \text{ m}^2 = 7020 \text{ kWh/a}$$

9.2.1. Alternativa 1

Al igual que en el caso de Passivhaus Premium, la primera alternativa de instalación renovable a considerar está formada en su totalidad por paneles fotovoltaicos. El número de paneles fotovoltaicos requeridos para poder satisfacer la producción de energía requerida, como se ve en la Tabla 30, son 9:

Tabla 30. Generación energía paneles fotovoltaicos x9.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	482,34
Febrero	481,49
Marzo	609,51
Abril	636,07
Mayo	691,17
Junio	708,70
Julio	738,14
Agosto	718,10
Septiembre	624,62
Octubre	558,48
Noviembre	449,58
Diciembre	442,88
Total	7141,09

Siendo la potencia fotovoltaica instalada:

$$P_{mp} = 9 \cdot 460 = 4,14 \text{ kW}$$

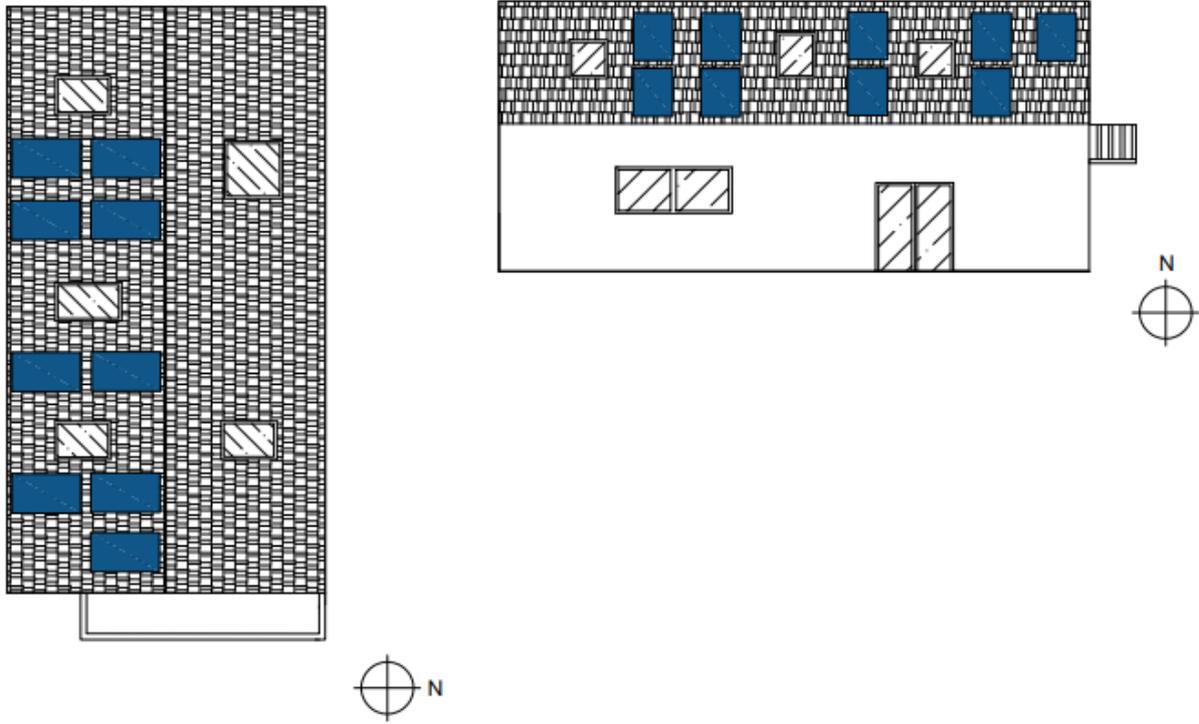


Ilustración 43. Disposición Alternativa 1 Passivhaus Plus.

El inversor seleccionado, siendo la potencia fotovoltaica instalada de 4,14 W, tiene que tener una potencia comprendida entre:

$$4,14 \geq \text{Potencia nominal inversor} \geq \frac{4,14}{1,2} = 3,45 \text{ kW}$$

Se selecciona el inversor SYMO 3.7-3-S con potencia nominal de 3700 W (hoja de características en Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

El máximo número de módulos por ramal es:

$$n_{max} = \frac{U_{max}(INV)}{U_{ca}(T_{min} \text{ panel})} = \frac{1000}{51,9} = 19,27 \approx 19$$

El número de módulos mínimo por ramal es:

$$n_{min} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T_{max} \text{ panel})} = \frac{250}{37,48} = 6,67 \approx 6$$

Por otro lado, los ramales deben cumplir con la siguiente característica:

$$n_{ramales,max} = \frac{I_{max,INV}}{I_{CC,ramal}} = \frac{16}{11,75} = 1,36 \approx 1$$

Las características de la instalación son:

Tabla 31. Características Alternativa 1 Passivhaus Plus.

Instalación fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	9 paneles Tiger Mono-facial 460 W (1 ramal de 9 paneles)
	Inversor fotovoltaico	1 SYMO 3,7-3-S
Instalación eólica	Aerogeneradores	-
	Inversor eólico	-

9.2.2. Alternativa 2

Para esta alternativa se va a reducir se va a reducir el número de paneles fotovoltaicos instalando en su lugar un aerogenerador "Bornay" de 1500 W. El inversor utilizado para el aerogenerador es el modelo 1524 TAURO BC (características en el Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

La energía producida por el aerogenerador es la recogida en la Tabla 32:

Tabla 32. Generación de energía anual "Bornay 1500W" x1.

Velocidad (m/s)	Tiempo (h)	Potencia (W)	Energía generada (kWh)
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	34	0	0
1,5	182	60	10,92
2	576	80	46,08
2,5	1080	120	129,60
3	1176	170	199,92
3,5	1027	210	215,67
4	1147	270	309,69
4,5	811	320	259,52
5	696	400	278,40
5,5	499	480	239,52
6	446	550	245,30
6,5	259	620	160,58
7	206	700	144,20
7,5	187	830	155,21
8	125	925	115,63
8,5	72	1000	72,00
9	86	1050	90,30
9,5	72	1120	80,64
10	38	1200	45,60
10,5	19	1280	24,32
11	10	1310	13,10

11,5	10	1420	14,20
12	0	1560	0
12,5	5	1600	8,00
13	0	1620	0
Total			2858,40

El resto de energía requerida para poder ser certificado como Passivhaus Plus se produce mediante 5 paneles fotovoltaicos. La energía producida por estos es:

Tabla 33. Generación energía paneles fotovoltaicos x5.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	321,56
Febrero	320,99
Marzo	406,34
Abril	424,04
Mayo	460,78
Junio	472,47
Julio	492,10
Agosto	478,73
Septiembre	416,42
Octubre	372,32
Noviembre	299,72
Diciembre	295,25
Total	4760,73

Siendo la potencia fotovoltaica instalada:

$$P_{mp} = 5 \cdot 460 = 2,3 \text{ kW}$$

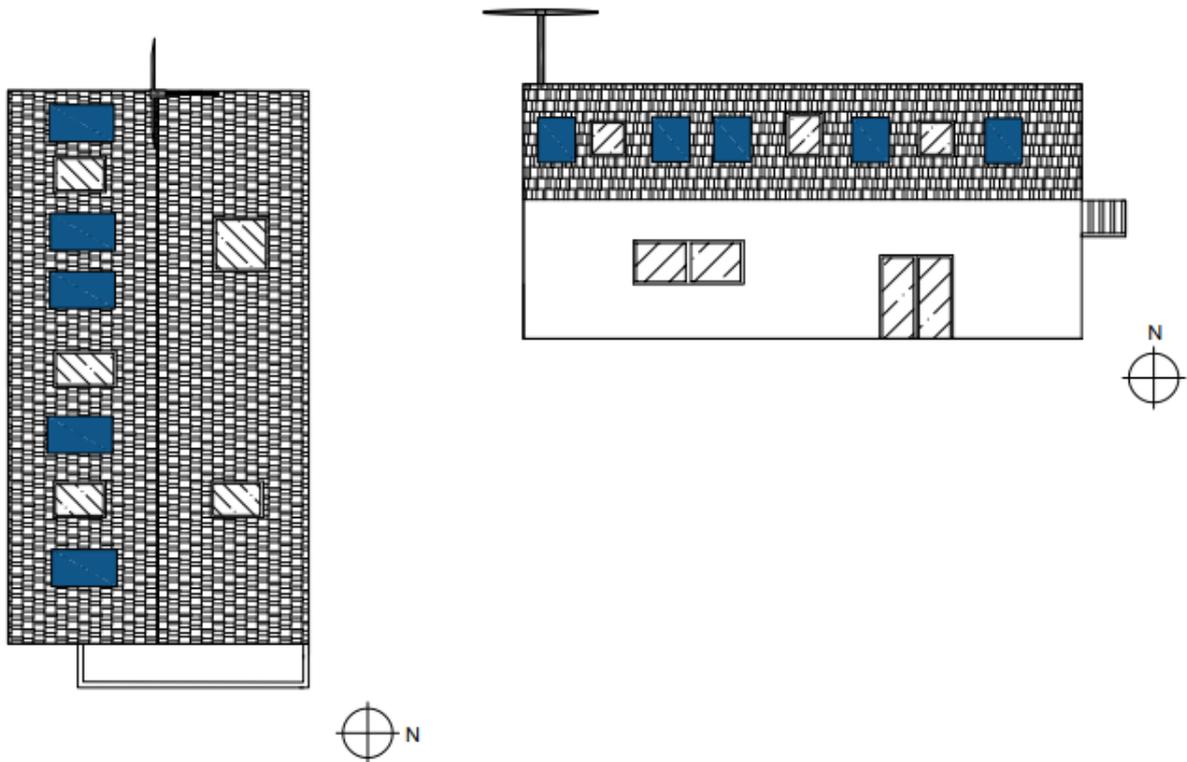


Ilustración 44. Disposición Alternativa 2 Passivhaus Plus.

El inversor seleccionado, siendo la potencia fotovoltaica instalada de 2,3 W, tiene que tener una potencia comprendida entre:

$$2,3 \geq \text{Potencia nominal inversor} \geq \frac{2,3}{1,2} = 1,91 \text{ kW}$$

Se selecciona el inversor GW2000-XS con potencia nominal de 2000 W (hoja de características en Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

El máximo número de módulos por ramal es:

$$n_{max} = \frac{U_{max}(INV)}{U_{ca}(T_{min} \text{ panel})} = \frac{500}{51,9} = 9,63 \approx 9$$

El número de módulos mínimo por ramal es:

$$n_{min} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T_{max} \text{ panel})} = \frac{50}{37,48} = 1,33 \approx 1$$

Por otro lado, los ramales deben cumplir con la siguiente característica:

$$n_{ramales, \text{m} \acute{a}x} = \frac{I_{max, INV}}{I_{CC, ramal}} = \frac{12,5}{11,75} = 1,06 \approx 1$$

Las características de la instalación son:

Tabla 34. Características Alternativa 2 Passivhaus Plus.

Instalación fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	5 paneles Tiger Mono-facial 460 W (1 ramal de 5 paneles)
	Inversor fotovoltaico	1 GW2000-XS
Instalación eólica	Aerogeneradores	1 Bornay 1500W
	Inversor eólico	1 TAURO BC 1524

9.2.3. Alternativa 3

Para esta última alternativa ,se colocan 2 aerogeneradores “Bornay” de 1500 W, y se va a producir la energía complementaria que se requiera con paneles fotovoltaicos. Cada aerogenerador va a disponer de un inversor modelo 1524 TAURO BC.

La energía eólica producida por los dos aerogeneradores es:

Tabla 35. Generación de energía anual "Bornay 1500W" x2.

Velocidad (m/s)	Tiempo (h)	Potencia (W)	Energía generada (kWh)
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	34	0	0
1,5	182	60	21,84
2	576	80	92,16
2,5	1080	120	259,20
3	1176	170	399,84
3,5	1027	210	431,34
4	1147	270	619,38
4,5	811	320	519,04
5	696	400	556,80
5,5	499	480	479,04
6	446	550	490,60
6,5	259	620	321,16
7	206	700	288,40
7,5	187	830	310,42
8	125	925	231,25
8,5	72	1000	144,00
9	86	1050	180,60
9,5	72	1120	161,28
10	38	1200	91,20
10,5	19	1280	48,64
11	10	1310	26,20
11,5	10	1420	28,40
12	0	1560	0
12,5	5	1600	16,00

13	0	1620	0
Total			5716,19

Para complementar esta energía, se van a instalar 2 paneles fotovoltaicos, cuya instalación produce la energía mostrada la Tabla 36:

Tabla 36. Generación energía paneles fotovoltaicos x2.

Mes	Generación energía eléctrica (kWh)
Enero	107,19
Febrero	107,00
Marzo	135,45
Abril	141,35
Mayo	153,59
Junio	157,49
Julio	164,03
Agosto	159,58
Septiembre	138,81
Octubre	124,11
Noviembre	99,91
Diciembre	98,42
Total	1586,91

Siendo la potencia fotovoltaica instalada:

$$P_{mp} = 2 \cdot 460 = 0,92 \text{ kW}$$

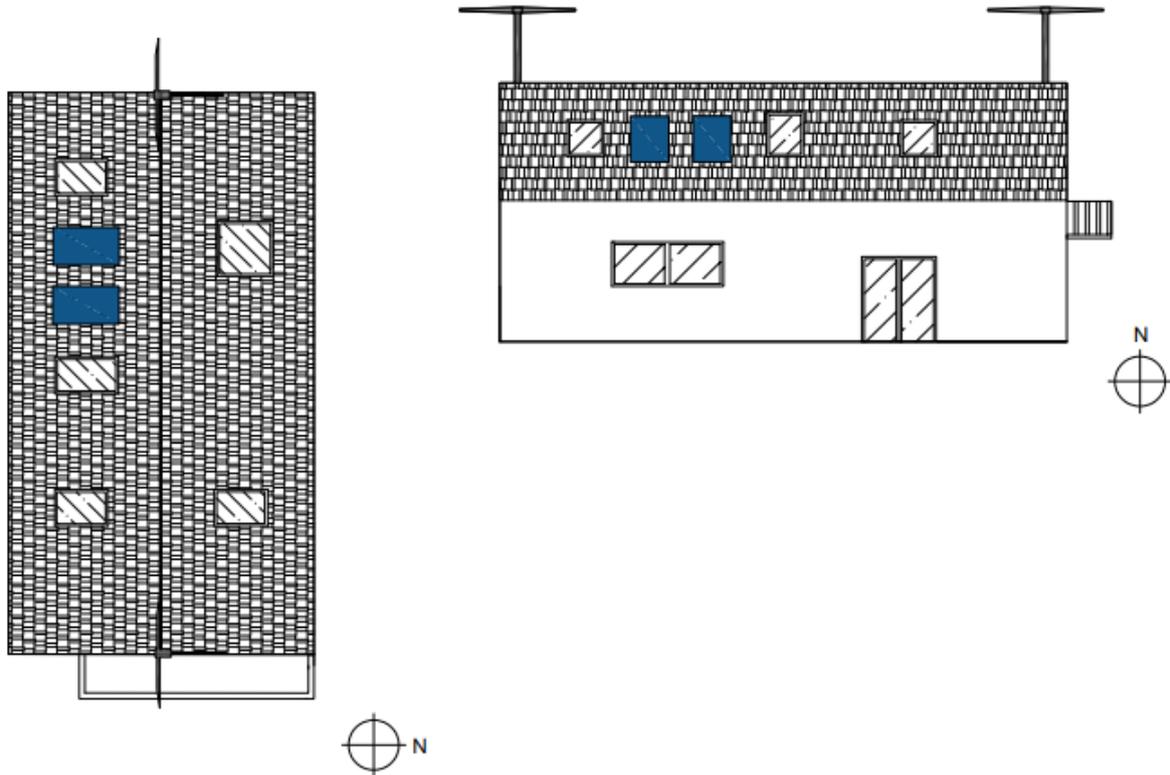


Ilustración 45. Disposición Alternativa 3 Passivhaus Plus.

El inversor seleccionado, siendo la potencia fotovoltaica instalada de $0,92 \text{ W}$, tiene que tener una potencia comprendida entre:

$$0,92 \geq \text{Potencia nominal inversor} \geq \frac{0,92}{1,2} = 0,77 \text{ kW}$$

Se selecciona el inversor YC1000-3 con potencia nominal de 900 W (hoja de características en Anexo IV: Fichas técnicas inversores).

El máximo número de módulos por ramal es:

$$n_{max} = \frac{U_{max}(INV)}{U_{ca}(T_{min} \text{ panel})} = \frac{55}{51,9} = 1,05 \approx 1$$

El número mínimo de módulos por ramal es:

$$n_{min} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T_{max} \text{ panel})} = \frac{16}{37,48} = 0,43 \approx 0$$

Por otro lado, los ramales deben cumplir con la siguiente característica:

$$n_{ramales,max} = \frac{I_{max,INV}}{I_{CC,ramal}} = \frac{14,8}{11,75} = 1,26 \approx 1$$

Como el inversor dispone de 4 entradas, y como mucho puede haber un ramal formado por un panel en cada entrada, se va a conectar un panel a una entrada.

Las características de la instalación son:

Tabla 37. Características Alternativa 3 Passivhaus Plus.

Instalación fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	2 paneles Tiger Mono-facial 460 W (1 ramal de 2 paneles)
	Inversor fotovoltaico	1 YC1000-3 2 entradas: 1 panel por entrada
Instalación eólica	Aerogeneradores	2 Bornay 1500W
	Inversor eólico	2 TAURO BC 1524

10. Análisis económico

Tras realizar el análisis técnico de la instalación, y comprobar la viabilidad técnica de esta, se realiza un análisis económico para comprobar cuál de las alternativas estudiadas técnicamente para el caso de Passivhaus Premium y Plus es más rentable en términos económicos.

10.1. Parámetros del estudio económico

En un análisis de rentabilidad económica de un proyecto, los parámetros a tener en cuenta son:

- Inversión: los costes de inversión de un proyecto están formados por la suma de dos cuantías:
 - Capital fijo: está formado por el valor monetario de aquellos bienes que se adquieren una sola vez durante la realización de un proyecto, y son utilizados a lo largo de su vida útil.
 - Capital circulante: está formado por el capital necesario para el funcionamiento normal de la instalación mientras los ingresos del proyecto no sean suficientes para poder compensar a los gastos producidos.

Esta inversión puede provenir tanto de medios propios como de préstamos bancarios.

- Ingresos: son los beneficios económicos que se obtienen de la explotación del proyecto realizado, pueden tener carácter puntual o recurrente.
- Costes: están formados por tres cuantías diferentes:
 - Costes de operación: incluyen todos los costes requeridos (directos e indirectos) necesarios para poder realizar la explotación del proyecto.
 - Costes financieros: cuando se ha requerido de un préstamo para poder hacer frente a la inversión requerida, los costes de inversión están compuestos por el interés del préstamo.
 - Costes de depreciación: se trata de una cuantificación económica del desgaste de los equipos producido por la explotación del proyecto. Esta cuantía solo se considera en el caso de que el proyecto sea de una empresa.

- Beneficio bruto: se define como los ingresos obtenidos del proyecto menos los costes requeridos:

$$\text{beneficio bruto} = \text{ingresos} - \text{costes}$$

- Beneficio neto: se define como el beneficio bruto menos los impuestos:

$$\text{beneficio neto} = \text{beneficio bruto} - \text{impuestos}$$

- Pago a principal: si se ha requerido de un préstamo para hacer frente a la inversión requerida por el proyecto, es la parte del préstamo al que hacer frente.
- Cash Flow o flujo de caja: se define como la diferencia entre los fondos generados y las inversiones realizadas cada, y todo ello a lo largo de la vida del proyecto.

$$CF = \text{Beneficio neto} - \text{pago a principal} + \text{costes de depreciación}$$

Tras introducir todos los parámetros que intervienen para realizar el análisis económico, para poder cuantificar la rentabilidad de un proyecto llevado a cabo se va utilizar las siguientes técnicas:

- Valor actualizado neto (VAN): Se trata del valor actualizado de los flujos de caja esperados (cobros menos pagos) originados por una inversión.

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

Donde:

- I_0 = inversión propia.
- CF = Cash Flow.
- t = número de años del análisis.
- i = tasa de actualización, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

Siendo:

- e = interés del capital.
- k = inflación anual.
- r = prima de riesgo.

- Tasa interna de retorno (TIR): Consiste en el valor de la tasa de actualización en la que el valor actual de los ingresos es igual al valor actual de las salidas, es decir, es el interés para el cual el valor actual neto (r) es cero.

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

Solo tiene interés la tasa interna de retorno en aquellos proyectos en los que el VAN es positivo.

10.2. VAN vivienda con instalación renovable

Antes de realizar el análisis de flujo de caja anual, hay que conocer cuál es la inversión que hay que realizar para colocar la instalación renovable, es decir, hay que conocer el coste de la instalación fotovoltaica y de la instalación eólica.

Para conocer el precio de la instalación fotovoltaica, se dispone del precio de los paneles fotovoltaicos y del inversor usado en cada una de las alternativas (Tabla 39). A partir de estos precios, y con la distribución de costes típicos de una instalación fotovoltaica conectada a la red de la Tabla 38, se puede conocer el coste de la instalación.

Tabla 38. Distribución de precios de una instalación fotovoltaica

Parte de la instalación	Porcentaje (%)
Paneles fotovoltaicos	40-55
Inversor	20-25
Estructura soportante	10
Contador bidireccional	3
Protecciones de la instalación	5
Legalización	5
Mano de obra y materiales	8

Tabla 39. Coste unitario componentes instalación fotovoltaica.

Componente de la instalación	Coste
Panel fotovoltaico (ud)	180 €
Inversor SYMO 7.0-3-M (ud)	2050 €
Inversor SYMO 5.0-3-M (ud)	1300 €
Inversor GW2000-XS (ud)	520 €
Inversor SYMO 3,7-3-S (ud)	1050 €
Inversor YC1000-3 (ud)	480 €

De la instalación eólica se conoce tanto el precio del aerogenerador como del inversor (Tabla 41), además una instalación eólica suele cumplir la distribución de precios de la Tabla 40.

Tabla 40. Distribución de precios de una instalación eólica.

Parte de la instalación	Porcentaje (%)
Aerogenerador + inversor	80
Resto de la instalación (cableado, protecciones, mano de obra, ...)	20

Tabla 41. Coste unitario componentes instalación eólica.

Componente de la instalación	Coste
Aerogenerador Bornay 1500W (ud)	3800 €
Aerogenerador Bornay 3000W (ud)	5800 €
Inversor TAURO BC 1524 (ud)	560 €
Inversor TAURO BC 3024/V (ud)	820 €

La inversión inicial considerada en cada caso de estudio va a ser realizada mediante inversión propia.

Al tratarse de una instalación con venta de energía a la red, se va a dividir el análisis del flujo de caja anual en dos partes, una de venta de energía a la red, y otra de autoconsumo. De cada una de estas dos partes se va a obtener un flujo de caja, a partir de los cuales se obtiene el flujo de caja total anual.

Cada uno de los costes analizados en cada uno de los análisis, a excepción del precio de venta de la electricidad, van a ir siendo incrementados según el IPC, quedando de la siguiente forma:

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

Siendo $IPC = 1\%$.

A la hora de analizar el VAN, se va a utilizar la siguiente tasa de actualización:

$$i = e + k \cdot (1 + e) + r = 3,70 \%$$

Donde:

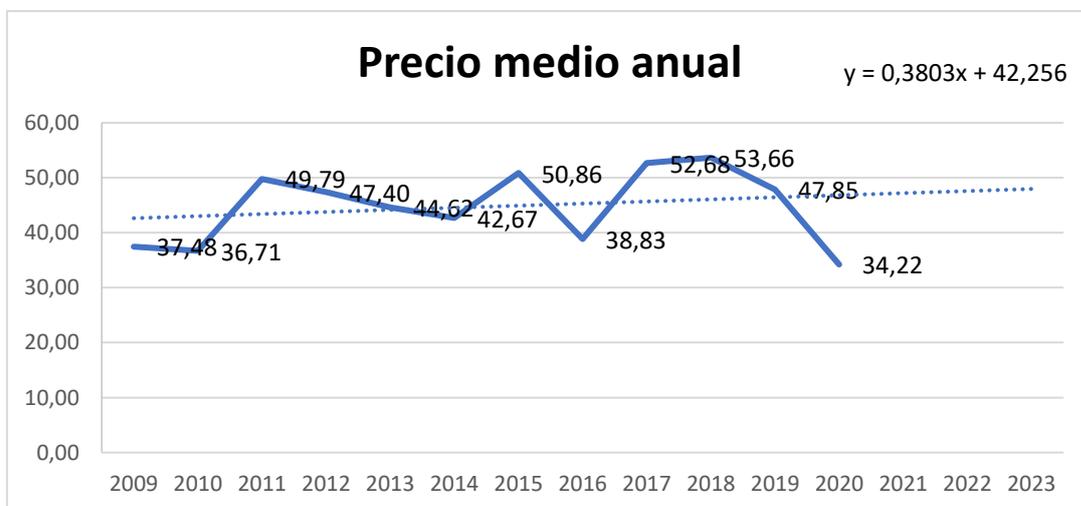
- interés del capital, $e = 1,50\%$
- inflación anual, $k = 1\%$
- prima de riesgo, $r = 1,20\%$

Análisis instalación venta de energía

En la parte de venta de energía a la red, se van a considerar los siguientes parámetros:

Ingresos: se trata del beneficio económico obtenido por la venta de la energía producida sobrante de la instalación a la red. El precio al que se vende a la red la energía sobrante producida en la instalación viene establecido por la Comisión Nacional de Mercado y Competencia (CNMC).

Para poder establecer una tendencia de cómo van a ir variando estos precios durante los años del estudio económico, se va a sacar una recta de tendencia a partir de los valores existentes de los últimos años, como se muestra en la Figura 1.



- Figura 1. Evolución precios CNMC.

Costes de mantenimiento: se va a considerar el 1% de la instalación. El coste de mantenimiento incluido en este análisis va a considerarse la parte proporcional de la energía producida que se vende a la red. Quedando de la siguiente forma:

$$\text{Costes mant.} = 0,01 \cdot \text{Inv. inicial} \cdot \frac{\text{Energía vendida a la red}}{\text{Energía producida}}$$

Costes de depreciación: se va a considerar el 4% de la inversión inicial.

Con estos ingresos y costes se obtiene el beneficio bruto, al cual se le aplican los siguientes impuestos:

- Impuesto de sociedades: se trata de un 25% sobre la base del beneficio bruto. En caso de ser beneficio bruto negativo no es de aplicación esta cuantía.
- Impuesto de la electricidad: es una cuantía del 7% del dinero obtenido por la venta de energía a la red.

A partir de estas cuantías analizadas se obtiene el beneficio neto y el flujo de caja de esta parte.

Análisis instalación autoconsumo

En esta parte del análisis se van a considerar los siguientes parámetros:

Factura eléctrica: Los costes de la factura eléctrica están formados tanto por el término de potencia como por la energía consumida no cubierta por la producción de la instalación renovable y se obtiene de la red.

Una factura eléctrica se puede descomponer en las siguientes partes:

- Facturación por potencia contratada: se trata de una cuantía que depende de la potencia contratada y del número de días de la factura. Está formada por una cuantía por peaje de acceso de potencia (una cuantía diferente para cada uno de los dos periodos en los que se divide la potencia, punta y llano) y otra cuantía de comercialización.
- Facturación por energía consumida: es una cuantía variable, depende de la electricidad consumida en el periodo de la factura. Está formado por unos cargos de energía dependientes del periodo (punta, llano y valle), unos peajes de acceso también dependientes del periodo y un coste de energía común para toda la energía consumida.
- Impuesto de electricidad: se trata de un impuesto específico, su valor es 5.11269632%, y se aplica sobre las cuantías de energía consumida y potencia contratada.
- Alquiler de equipos de medida: esta cuantía es debida a que los equipos de medida no pertenecen al cliente normalmente, por lo que el mantenimiento es realizado por la empresa comercializadora, pagando el cliente una cuantía mensual.
- Impuesto de aplicación: esta parte de la factura corresponde al IVA que tiene cualquier factura, se trata del 21% de la cuantía de la factura.

A continuación, se incluye el esquema que sigue la factura eléctrica:

Tabla 42. Esquema factura eléctrica.

Factura anual	
Concepto	Cálculos
Facturación por potencia contratada (P)	
Potencia contratada	Potencia kW x 3,113 Eur/kW y año x N/365 días
Peaje de acceso punta	Potencia kW x 30,672775 Eur/kW y año x (N/365) días
Peaje de acceso valle	Potencia kW x 1,42423 Eur/kW y año x (N/365) días
Facturación por energía consumida (E)	
Cargos energía Punta	Consumo punta kWh x 0,10574 €/kWh
Cargos energía Llano	Consumo llano kWh x 0,021148 €/kWh
Cargos energía Valle	Consumo valle kWh x 0,005287 €/kWh
Peaje de acceso Punta	Consumo punta kWh x 0,027378 €/kWh

Peaje de acceso Llano	Consumo llano kWh x 0,020624 €/kWh
Peaje de acceso Valle	Consumo valle kWh x 0,000714 €/kWh
Coste energía	Consumo kWh x 0,108 €/kWh
Impto. Electricidad	(P + E)€ x 5,11269632%
Alquiler de equipos medida	N días x 0,026667 €
Subtotal	<i>E + P + Imp. elec. + Alquiler equipos</i>
IVA	<i>Subtotal x 21 %</i>
TOTAL	<i>Subtotal + IVA</i>

Costes de mantenimiento: al igual que en la otra parte del análisis, el coste de mantenimiento incluido en este análisis va a ser la parte proporcional de la energía producida que se dedica a cubrir los consumos de la vivienda. Quedando de la siguiente forma:

$$\text{Costes mant.} = 0,01 \cdot \text{Inv. inicial} \cdot \frac{\text{Energía autoconsumo}}{\text{Energía producida}}$$

En esta parte del análisis no se aplica ningún impuesto, por lo tanto, el beneficio neto es igual al beneficio bruto.

10.2.1. Passivhaus Premium

10.2.1.1. Alternativa 1

La inversión requerida en esta alternativa, conocidos los precios de los principales elementos que forman la instalación (Tabla 39) y la distribución de precios típicos (Tabla 38), suponiendo que los paneles fotovoltaicos son el 40% del coste de la instalación:

$$\text{Coste total instalación} = \frac{3240}{0.4} \approx 8125 \text{ €}$$

Con este coste de la instalación, el inversor supondría:

$$\text{Coste del inversor (\%)} = \frac{2050}{8550} = 0,25 \rightarrow 25\%$$

Por lo que está dentro de los márgenes esperados.

Para los costes de la factura eléctrica y los ingresos por energía vendida a la red se ha realizado una comparativa horaria para cada mes entre la energía consumida y la energía vendida. Este balance se encuentra en el

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas.

El resultado del balance para esta alternativa es:

Tabla 43. Balance energía comprada/vendida a la red Passivhaus Premium Alt. 1.

Energía vendida a la red		1928,85 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	665,99 kWh
	Periodo llano	644,36 kWh
	Periodo valle	618,50 kWh

Con los flujos de caja de la Tabla 44, se obtiene un VAN para esta alternativa de:

$$VAN = -12190,23 \text{ €}$$

Tabla 44. Flujos de caja anuales Passivhaus Premium Alt. 1.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																												
Años	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12			
Inversión	8.125																											
Inversión propia	8.125																											
		Red	toconsum	Red	toconsum																							
Ingresos		607,27		612,16		617,05		621,94		626,84		631,73		636,62		641,52		646,41		651,30		656,19		661,09				
Costes																												
Costes de funcionamiento		73,96	7,29	74,70	7,36	75,45	7,43	76,20	7,51	76,97	7,58	77,74	7,66	78,51	7,74	79,30	7,81	80,09	7,89	80,89	7,97	81,70	8,05	82,52	8,13			
Factura			634,44		640,78		647,19		653,66		660,20		666,80		673,47		680,20		687,00		693,87		700,81		707,82			
Costes de depreciación		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85				
Beneficio bruto		237,45	-641,72	241,61	-648,14	245,75	-654,62	249,89	-661,17	254,02	-667,78	258,14	-674,46	262,26	-681,20	266,37	-688,01	270,47	-694,89	274,56	-701,84	278,64	-708,86	282,72	-715,95			
Impuesto sociedades 15%	25,00%	59,36		60,40		61,44		62,47		63,51		64,54		65,56		66,59		67,62		68,64		69,66		70,68				
Impuesto a la electricidad 7,00%		42,51		42,85		43,19		43,54		43,88		44,22		44,56		44,91		45,25		45,59		45,93		46,28				
Peaje de acceso 0,00 €																												
Beneficio neto		135,58	-641,72	138,35	-648,14	141,12	-654,62	143,88	-661,17	146,64	-667,78	149,39	-674,46	152,13	-681,20	154,87	-688,01	157,60	-694,89	160,33	-701,84	163,05	-708,86	165,76	-715,95			
Pago a principal (amortización préstamo)																												
Cash Flow	-8.125,00	431,43	-641,72	434,20	-648,14	436,97	-654,62	439,73	-661,17	442,49	-667,78	445,24	-674,46	447,98	-681,20	450,72	-688,01	453,45	-694,89	456,18	-701,84	458,90	-708,86	461,61	-715,95			
Cash Flow anual		-210,29		-213,94		-217,65		-221,44		-225,29		-229,22		-233,22		-237,29		-241,44		-245,66		-249,96		-254,34				

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																													
Años	13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25				
Inversión																													
Inversión propia																													
		Red	toconsum	Red	toconsum																								
Ingresos		665,98		670,87		675,77		680,66		685,55		690,44		695,34		700,23		705,12		710,02		714,91		719,80		724,69			
Costes																													
Costes de funcionamiento		83,34	8,21	84,18	8,29	85,02	8,38	85,87	8,46	86,73	8,54	87,59	8,63	88,47	8,72	89,35	8,80	90,25	8,89	91,15	8,98	92,06	9,07	92,98	9,16	93,91	9,25		
Factura			714,90		722,05		729,27		736,56		743,93		751,37		758,88		766,47		774,13		781,87		789,69		797,59		805,57		
Costes de depreciación		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85		295,85			
Beneficio bruto		286,79	-723,11	290,85	-730,34	294,90	-737,64	298,94	-745,02	302,97	-752,47	307,00	-760,00	311,02	-767,60	315,02	-775,27	319,02	-783,02	323,01	-790,85	327,00	-798,76	330,97	-806,75	334,93	-814,82		
Impuesto sociedades 15%	25,00%	71,70		72,71		73,72		74,73		75,74		76,75		77,75		78,76		79,76		80,75		81,75		82,74		83,73			
Impuesto a la electricidad 7,00%		46,62		46,96		47,30		47,65		47,99		48,33		48,67		49,02		49,36		49,70		50,04		50,39		50,73			
Peaje de acceso 0,00 €																													
Beneficio neto		168,47	-723,11	171,17	-730,34	173,87	-737,64	176,56	-745,02	179,24	-752,47	181,92	-760,00	184,59	-767,60	187,25	-775,27	189,91	-783,02	192,56	-790,85	195,20	-798,76	197,84	-806,75	200,47	-814,82		
Pago a principal (amortización préstamo)																													
Cash Flow		464,32	-723,11	467,02	-730,34	469,72	-737,64	472,41	-745,02	475,09	-752,47	477,77	-760,00	480,44	-767,60	483,10	-775,27	485,76	-783,02	488,41	-790,85	491,05	-798,76	493,69	-806,75	496,32	-814,82		
Cash Flow anual		-258,79		-263,32		-267,92		-272,61		-277,38		-282,23		-287,16		-292,17		-297,26		-302,44		-307,71		-313,06		-318,50			

10.2.1.2. Alternativa 2

La inversión requerida en esta alternativa, conocidos los precios de los principales elementos que forman la instalación eólica (Tabla 41) y fotovoltaica (Tabla 39) y la distribución de precios típicos de ambas instalaciones (Tabla 38 y Tabla 40), la inversión a realizar es:

$$\text{Coste total instalación fotovoltaica} = 4337,5 \text{ €}$$

$$\text{Coste total instalación eólica} = 8275 \text{ €}$$

$$\text{Coste total ambas instalaciones} = 12612,5 \text{ €}$$

Para los costes de la factura eléctrica y los ingresos por energía vendida a la red se ha realizado una comparativa horaria para cada mes entre la energía consumida y la energía vendida. Este balance se encuentra en el

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas.

El resultado del balance para esta alternativa es:

Tabla 45. Balance energía comprada/vendida a la red Passivhaus Premium Alt. 2.

Energía vendida a la red		12892,62 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	321,74 kWh
	Periodo llano	533,76 kWh
	Periodo valle	316,34 kWh

Con los flujos de caja de la Tabla 46, se obtiene un VAN para esta alternativa de:

$$VAN = -13699,79 \text{ €}$$

Tabla 46. Flujos de caja anuales Passivhaus Premium Alt. 2.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																											
Años	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		
Inversión	12.613																										
Inversión propia	12.613																										
		Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum
Ingresos		608,53		613,43		618,34		623,24		628,14		633,05		637,95		642,85		647,75		652,66		657,56		662,46			
Costes																											
Costes de funcionamiento		109,01	17,12	110,10	17,29	111,20	17,46	112,31	17,64	113,43	17,81	114,57	17,99	115,71	18,17	116,87	18,35	118,04	18,54	119,22	18,72	120,41	18,91	121,62	19,10		
Factura			463,99		468,63		473,31		478,05		482,83		487,65		492,53		497,46		502,43		507,46		512,53		517,66		
Costes de depreciación		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03	
Beneficio bruto		63,50	-481,10	67,31	-485,92	71,11	-490,78	74,90	-495,68	78,68	-500,64	82,45	-505,65	86,21	-510,70	89,95	-515,81	93,69	-520,97	97,41	-526,18	101,12	-531,44	104,82	-536,75		
Impuesto sociedades 15%	25,00%	15,87		16,83		17,78		18,73		19,67		20,61		21,55		22,49		23,42		24,35		25,28		26,21			
Impuesto a la electricidad 7,00%		42,60		42,94		43,28		43,63		43,97		44,31		44,66		45,00		45,34		45,69		46,03		46,37			
Peaje de acceso 0,00 €																											
Beneficio neto		5,03	-481,10	7,54	-485,92	10,05	-490,78	12,55	-495,68	15,04	-500,64	17,53	-505,65	20,00	-510,70	22,47	-515,81	24,92	-520,97	27,37	-526,18	29,81	-531,44	32,24	-536,75		
Pago a principal (amortización préstamo)																											
Cash Flow		-12.612,50	441,05	-481,10	443,57	-485,92	446,08	-490,78	448,58	-495,68	451,07	-500,64	453,55	-505,65	456,03	-510,70	458,49	-515,81	460,95	-520,97	463,40	-526,18	465,84	-531,44	468,27	-536,75	
Cash Flow anual			-40,05		-42,35		-44,70		-47,11		-49,57		-52,09		-54,68		-57,32		-60,02		-62,78		-65,60		-68,48		

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																											
Años	13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		
Inversión																											
Inversión propia																											
		Red	toconsum																								
Ingresos		667,37		672,27		677,17		682,08		686,98		691,88		696,79		701,69		706,59		711,49		716,40		721,30		726,20	
Costes																											
Costes de funcionamiento		122,83	19,29	124,06	19,48	125,30	19,68	126,55	19,87	127,82	20,07	129,10	20,27	130,39	20,48	131,69	20,68	133,01	20,89	134,34	21,10	135,68	21,31	137,04	21,52	138,41	21,74
Factura			522,83		528,06		533,34		538,67		544,06		549,50		555,00		560,55		566,15		571,81		577,53		583,31		589,14
Costes de depreciación		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03		436,03	
Beneficio bruto		108,51	-542,12	112,18	-547,54	115,85	-553,02	119,50	-558,55	123,13	-564,13	126,76	-569,77	130,37	-575,47	133,97	-581,23	137,56	-587,04	141,13	-592,91	144,69	-598,84	148,23	-604,83	151,77	-610,88
Impuesto sociedades 15%	25,00%	27,13		28,05		28,96		29,87		30,78		31,69		32,59		33,49		34,39		35,28		36,17		37,06		37,94	
Impuesto a la electricidad 7,00%		46,72		47,06		47,40		47,75		48,09		48,43		48,77		49,12		49,46		49,80		50,15		50,49		50,83	
Peaje de acceso 0,00 €																											
Beneficio neto		34,67	-542,12	37,08	-547,54	39,48	-553,02	41,88	-558,55	44,26	-564,13	46,64	-569,77	49,00	-575,47	51,36	-581,23	53,71	-587,04	56,04	-592,91	58,37	-598,84	60,68	-604,83	62,99	-610,88
Pago a principal (amortización préstamo)																											
Cash Flow		470,69	-542,12	473,11	-547,54	475,51	-553,02	477,90	-558,55	480,29	-564,13	482,66	-569,77	485,03	-575,47	487,39	-581,23	489,73	-587,04	492,07	-592,91	494,40	-598,84	496,71	-604,83	499,02	-610,88
Cash Flow anual			-71,43		-74,44		-77,51		-80,64		-83,84		-87,11		-90,44		-93,84		-97,31		-100,84		-104,44		-108,12		-111,86

10.2.1.3. Alternativa 3

La inversión requerida en esta alternativa, conocidos los precios de los principales elementos que forman la instalación eólica (Tabla 41) y fotovoltaica (Tabla 39) y la distribución de precios típicos de ambas instalaciones (Tabla 38 y Tabla 40), la inversión a realizar es:

$$\text{Coste total instalación fotovoltaica} = 2207,5 \text{ €}$$

$$\text{Coste total instalación eólica} = 16550 \text{ €}$$

$$\text{Coste total ambas instalaciones} = 18757,5 \text{ €}$$

Para los costes de la factura eléctrica y los ingresos por energía vendida a la red se ha realizado una comparativa horaria para cada mes entre la energía consumida y la energía vendida. Este balance se encuentra en el

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas.

El resultado del balance para esta alternativa es:

Tabla 47. Balance energía comprada/vendida a la red Passivhaus Premium Alt. 3.

Energía vendida a la red		12585,63 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	178,08 kWh
	Periodo llano	438,56 kWh
	Periodo valle	249,59 kWh

Obteniéndose un VAN de:

$$\text{VAN} = -19485,67 \text{ €}$$

Tabla 48. Flujos de caja anuales Passivhaus Premium Alt. 3.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																									
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
Inversión	18.758																								
Inversión propia	18.758																								
		Red	Itococonsum																						
Ingresos		594,04		598,83		603,61		608,40		613,19		617,97		622,76		627,54		632,33		637,12		641,90		646,69	
Costes																									
Costes de funcionamiento		158,27	29,30	159,85	29,60	161,45	29,89	163,07	30,19	164,70	30,49	166,34	30,80	168,01	31,11	169,69	31,42	171,38	31,73	173,10	32,05	174,83	32,37	176,58	32,69
Factura			392,12		396,04		400,00		404,00		408,04		412,12		416,24		420,40		424,61		428,85		433,14		437,47
Costes de depreciación		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08	
Beneficio bruto		-197,31	-421,42	-194,11	-425,64	-190,92	-429,89	-187,75	-434,19	-184,60	-438,53	-181,46	-442,92	-178,33	-447,35	-175,23	-451,82	-172,14	-456,34	-169,07	-460,90	-166,01	-465,51	-162,97	-470,17
Impuesto sociedades 15% 25,00%		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Impuesto a la electricidad 7,00%		41,58		41,92		42,25		42,59		42,92		43,26		43,59		43,93		44,26		44,60		44,93		45,27	
Peaje de acceso 0,00 €																									
Beneficio neto		-238,90	-421,42	-236,03	-425,64	-233,18	-429,89	-230,34	-434,19	-227,52	-438,53	-224,71	-442,92	-221,93	-447,35	-219,16	-451,82	-216,40	-456,34	-213,66	-460,90	-210,94	-465,51	-208,24	-470,17
Pago a principal (amortización préstamo)																									
Cash Flow	-18.757,50	394,19	-421,42	397,06	-425,64	399,91	-429,89	402,74	-434,19	405,57	-438,53	408,37	-442,92	411,16	-447,35	413,93	-451,82	416,68	-456,34	419,42	-460,90	422,14	-465,51	424,84	-470,17
Cash Flow anual		-27,24		-28,58		-29,99		-31,45		-32,97		-34,55		-36,19		-37,89		-39,66		-41,48		-43,37		-45,32	

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																									
Años	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25												
Inversión																									
Inversión propia																									
		Red	Itococonsum																						
Ingresos		651,48		656,26		661,05		665,83		670,62		675,41		680,19		684,98		689,77		694,55		699,34		704,13	
Costes																									
Costes de funcionamiento		178,34	33,02	180,13	33,35	181,93	33,68	183,75	34,02	185,59	34,36	187,44	34,70	189,32	35,05	191,21	35,40	193,12	35,76	195,05	36,11	197,00	36,48	198,97	36,84
Factura			441,85		446,27		450,73		455,24		459,79		464,39		469,03		473,72		478,46		483,24		488,08		492,96
Costes de depreciación		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08		633,08	
Beneficio bruto		-159,95	-474,87	-156,95	-479,62	-153,96	-484,41	-151,00	-489,26	-148,05	-494,15	-145,12	-499,09	-142,21	-504,08	-139,31	-509,12	-136,44	-514,22	-133,58	-519,36	-130,75	-524,55	-127,93	-529,80
Impuesto sociedades 15% 25,00%		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Impuesto a la electricidad 7,00%		45,60		45,94		46,27		46,61		46,94		47,28		47,61		47,95		48,28		48,62		48,95		49,29	
Peaje de acceso 0,00 €																									
Beneficio neto		-205,55	-474,87	-202,89	-479,62	-200,24	-484,41	-197,61	-489,26	-194,99	-494,15	-192,40	-499,09	-189,82	-504,08	-187,26	-509,12	-184,72	-514,22	-182,20	-519,36	-179,70	-524,55	-177,22	-529,80
Pago a principal (amortización préstamo)																									
Cash Flow		427,53	-474,87	430,20	-479,62	432,85	-484,41	435,48	-489,26	438,09	-494,15	440,69	-499,09	443,26	-504,08	445,82	-509,12	448,36	-514,22	450,88	-519,36	453,38	-524,55	455,86	-529,80
Cash Flow anual		-47,34		-49,42		-51,57		-53,78		-56,06		-58,41		-60,82		-63,30		-65,85		-68,48		-71,17		-73,93	

10.2.2. Passivhaus Plus

10.2.2.1. Alternativa 1

La inversión requerida en esta alternativa, conocidos los precios de los principales elementos que forman la instalación fotovoltaica (Tabla 39) y la distribución de precios típicos de la instalación (Tabla 38), la inversión a realizar es:

$$\text{Coste total instalación} = 4087,5 \text{ €}$$

Para los costes de la factura eléctrica y los ingresos por energía vendida a la red se ha realizado una comparativa horaria para cada mes entre la energía consumida y la energía vendida. Este balance se encuentra en el

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas.

El resultado del balance para esta alternativa es:

Tabla 49. Balance energía comprada/vendida a la red Passivhaus Plus Alt. 1.

Energía vendida a la red		5842,52 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	691,98 kWh
	Periodo llano	654,49 kWh
	Periodo valle	625,79 kWh

Obteniéndose un VAN de:

$$\text{VAN} = -12379,98 \text{ €}$$

Tabla 50. Flujos de caja anuales Passivhaus Plus Alt. 1.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																												
Años	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12			
Inversión	4.088																											
Inversión propia	4.088																											
		Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	
Ingresos		275,77		277,99		280,21		282,43		284,65		286,88		289,10		291,32		293,54		295,76		297,99		300,21				
Costes																												
Costes de funcionamiento		33,79	7,08	34,13	7,15	34,47	7,22	34,82	7,30	35,17	7,37	35,52	7,44	35,87	7,52	36,23	7,59	36,59	7,67	36,96	7,74	37,33	7,82	37,70	7,90			
Factura			645,40		651,85		658,37		664,95		671,60		678,32		685,10		691,95		698,87		705,86		712,92		720,05			
Costes de depreciación		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18				
Beneficio bruto		106,80	-652,48	108,68	-659,00	110,56	-665,59	112,44	-672,25	114,31	-678,97	116,18	-685,76	118,05	-692,62	119,91	-699,54	121,77	-706,54	123,63	-713,60	125,48	-720,74	127,33	-727,95			
Impuesto sociedades 15%	25,00%	26,70		27,17		27,64		28,11		28,58		29,05		29,51		29,98		30,44		30,91		31,37		31,83				
Impuesto a la electricidad 7,00%		19,30		19,46		19,61		19,77		19,93		20,08		20,24		20,39		20,55		20,70		20,86		21,01				
Peaje de acceso 0,00 €																												
Beneficio neto		60,79	-652,48	62,05	-659,00	63,31	-665,59	64,56	-672,25	65,81	-678,97	67,06	-685,76	68,30	-692,62	69,54	-699,54	70,78	-706,54	72,02	-713,60	73,25	-720,74	74,48	-727,95			
Pago a principal (amortización préstamo)																												
Cash Flow		-4.087,50	195,97	-652,48	197,23	-659,00	198,48	-665,59	199,73	-672,25	200,98	-678,97	202,23	-685,76	203,48	-692,62	204,72	-699,54	205,96	-706,54	207,19	-713,60	208,43	-720,74	209,66	-727,95		
Cash Flow anual			-456,51		-461,78		-467,11		-472,51		-477,99		-483,53		-489,14		-494,83		-500,58		-506,41		-512,31		-518,29			

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																											
Años	13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		
Inversión																											
Inversión propia																											
		Red	toconsum																								
Ingresos		302,43		304,65		306,87		309,09		311,32		313,54		315,76		317,98		320,20		322,43		324,65		326,87		329,09	
Costes																											
Costes de funcionamiento		38,08	7,98	38,46	8,06	38,85	8,14	39,23	8,22	39,63	8,30	40,02	8,39	40,42	8,47	40,83	8,55	41,24	8,64	41,65	8,73	42,06	8,81	42,48	8,90	42,91	8,99
Factura			727,25		734,52		741,87		749,29		756,78		764,35		771,99		779,71		787,51		795,38		803,34		811,37		819,48
Costes de depreciación		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18		135,18			
Beneficio bruto		129,17	-735,23	131,01	-742,58	132,85	-750,01	134,69	-757,51	136,51	-765,08	138,34	-772,73	140,16	-780,46	141,98	-788,26	143,79	-796,15	145,60	-804,11	147,41	-812,15	149,21	-820,27	151,01	-828,47
Impuesto sociedades 15%	25,00%	32,29		32,75		33,21		33,67		34,13		34,59		35,04		35,49		35,95		36,40		36,85		37,30		37,75	
Impuesto a la electricidad 7,00%		21,17		21,33		21,48		21,64		21,79		21,95		22,10		22,26		22,41		22,57		22,73		22,88		23,04	
Peaje de acceso 0,00 €																											
Beneficio neto		75,71	-735,23	76,94	-742,58	78,16	-750,01	79,38	-757,51	80,59	-765,08	81,81	-772,73	83,02	-780,46	84,23	-788,26	85,43	-796,15	86,63	-804,11	87,83	-812,15	89,03	-820,27	90,22	-828,47
Pago a principal (amortización préstamo)																											
Cash Flow		210,89	-735,23	212,11	-742,58	213,33	-750,01	214,55	-757,51	215,77	-765,08	216,98	-772,73	218,19	-780,46	219,40	-788,26	220,61	-796,15	221,81	-804,11	223,01	-812,15	224,20	-820,27	225,39	-828,47
Cash Flow anual			-524,34		-530,47		-536,67		-542,95		-549,31		-555,75		-562,26		-568,86		-575,54		-582,30		-589,14		-596,07		-603,08

10.2.2.2. Alternativa 2

La inversión requerida en esta alternativa, conocidos los precios de los principales elementos que forman la instalación eólica (Tabla 41) y fotovoltaica (Tabla 39) y la distribución de precios típicos de ambas instalaciones (Tabla 38 y Tabla 40), la inversión a realizar es:

$$\text{Coste total instalación fotovoltaica} = 2207,5 \text{ €}$$

$$\text{Coste total instalación eólica} = 5450 \text{ €}$$

$$\text{Coste total ambas instalaciones} = 7657,5 \text{ €}$$

Para los costes de la factura eléctrica y los ingresos por energía vendida a la red se ha realizado una comparativa horaria para cada mes entre la energía consumida y la energía vendida. Este balance se encuentra en el

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas

El resultado del balance para esta alternativa es:

Tabla 51. Balance energía comprada/vendida a la red Passivhaus Plus Alt. 2.

Energía vendida a la red		4947,95 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	433,37 kWh
	Periodo llano	548,35 kWh
	Periodo valle	326,10 kWh

Obteniéndose un VAN de:

$$VAN = -14212,61 \text{ €}$$

Tabla 52. Flujos de caja anuales Passivhaus Plus Alt. 2.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																									
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
Inversión	7.658																								
Inversión propia	7.658																								
		Red	toconsum																						
Ingresos		233,54		235,42		237,31		239,19		241,07		242,95		244,83		246,71		248,60		250,48		252,36		254,24	
Costes																									
Costes de funcionamiento		55,42	21,15	55,97	21,37	56,53	21,58	57,10	21,80	57,67	22,01	58,25	22,23	58,83	22,46	59,42	22,68	60,01	22,91	60,61	23,14	61,22	23,37	61,83	23,60
Factura			502,41		507,44		512,51		517,64		522,81		528,04		533,32		538,66		544,04		549,48		554,98		560,53
Costes de depreciación		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68	
Beneficio bruto		-43,56	-523,57	-42,23	-528,80	-40,91	-534,09	-39,59	-539,43	-38,28	-544,83	-36,98	-550,28	-35,68	-555,78	-34,39	-561,34	-33,10	-566,95	-31,82	-572,62	-30,54	-578,35	-29,27	-584,13
Impuesto sociedades 15% 25,00%		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Impuesto a la electricidad 7,00%		16,35		16,48		16,61		16,74		16,87		17,01		17,14		17,27		17,40		17,53		17,67		17,80	
Peaje de acceso 0,00 €																									
Beneficio neto		-59,91	-523,57	-58,71	-528,80	-57,52	-534,09	-56,34	-539,43	-55,16	-544,83	-53,99	-550,28	-52,82	-555,78	-51,66	-561,34	-50,50	-566,95	-49,35	-572,62	-48,21	-578,35	-47,07	-584,13
Pago a principal (amortización préstamo)																									
Cash Flow	-7.657,50	161,77	-523,57	162,97	-528,80	164,16	-534,09	165,34	-539,43	166,52	-544,83	167,70	-550,28	168,86	-555,78	170,03	-561,34	171,18	-566,95	172,33	-572,62	173,48	-578,35	174,61	-584,13
Cash Flow anual		-361,79		-365,83		-369,93		-374,09		-378,30		-382,58		-386,91		-391,31		-395,77		-400,29		-404,87		-409,52	

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																									
Años	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25												
Inversión																									
Inversión propia																									
		Red	toconsum																						
Ingresos		256,12		258,00		259,89		261,77		263,65		265,53		267,41		269,29		271,18		273,06		274,94		276,82	
Costes																									
Costes de funcionamiento		62,45	23,84	63,07	24,08	63,70	24,32	64,34	24,56	64,99	24,81	65,63	25,05	66,29	25,30	66,95	25,56	67,62	25,81	68,30	26,07	68,98	26,33	69,67	26,59
Factura			566,13		571,79		577,51		583,29		589,12		595,01		600,96		606,97		613,04		619,17		625,36		631,62
Costes de depreciación		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68		221,68	
Beneficio bruto		-28,01	-589,97	-26,75	-595,87	-25,50	-601,83	-24,26	-607,85	-23,02	-613,93	-21,79	-620,06	-20,56	-626,27	-19,34	-632,53	-18,13	-638,85	-16,92	-645,24	-15,73	-651,69	-14,53	-658,21
Impuesto sociedades 15% 25,00%		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Impuesto a la electricidad 7,00%		17,93		18,06		18,19		18,32		18,46		18,59		18,72		18,85		18,98		19,11		19,25		19,38	
Peaje de acceso 0,00 €																									
Beneficio neto		-45,94	-589,97	-44,81	-595,87	-43,69	-601,83	-42,58	-607,85	-41,47	-613,93	-40,37	-620,06	-39,28	-626,27	-38,19	-632,53	-37,11	-638,85	-36,04	-645,24	-34,97	-651,69	-33,91	-658,21
Pago a principal (amortización préstamo)																									
Cash Flow	175,75	-589,97	176,87	-595,87	177,99	-601,83	179,10	-607,85	180,21	-613,93	181,31	-620,06	182,40	-626,27	183,49	-632,53	184,57	-638,85	185,64	-645,24	186,71	-651,69	187,77	-658,21	188,82
Cash Flow anual		-414,23		-419,00		-423,84		-428,74		-433,72		-438,76		-443,86		-449,04		-454,28		-459,60		-464,98		-470,44	

10.2.2.3. Alternativa 3

La inversión requerida en esta alternativa, conocidos los precios de los principales elementos que forman la instalación eólica (Tabla 41) y fotovoltaica (Tabla 39) y la distribución de precios típicos de ambas instalaciones (Tabla 38 y Tabla 40), la inversión a realizar es:

$$\text{Coste total instalación fotovoltaica} = 1155 \text{ €}$$

$$\text{Coste total instalación eólica} = 10900 \text{ €}$$

$$\text{Coste total ambas instalaciones} = 12055 \text{ €}$$

Para los costes de la factura eléctrica y los ingresos por energía vendida a la red se ha realizado una comparativa horaria para cada mes entre la energía consumida y la energía vendida. Este balance se encuentra en el

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas.

El resultado del balance para esta alternativa es:

Tabla 53. Balance energía comprada/vendida a la red Passivhaus Plus Alt. 3.

Energía vendida a la red		5142,22 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	262,67 kWh
	Periodo llano	456,19 kWh
	Periodo valle	228,16 kWh

Obteniéndose un VAN de:

$$VAN = -17745,06 \text{ €}$$

Tabla 54. Flujos de caja anuales Passivhaus Plus Alt. 3.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																										
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													
Inversión	12.055																									
Inversión propia	12.055																									
		Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	Red	toconsum	
Ingresos		242,71		244,67		246,62		248,58		250,53		252,49		254,45		256,40		258,36		260,31		262,27		264,22		
Costes																										
Costes de funcionamiento		83,86	36,69	84,70	37,05	85,55	37,42	86,41	37,80	87,27	38,18	88,14	38,56	89,02	38,94	89,91	39,33	90,81	39,73	91,72	40,12	92,64	40,52	93,56	40,93	
Factura			418,31		422,49		426,72		430,99		435,30		439,65		444,05		448,49		452,97		457,50		462,08		466,70	
Costes de depreciación		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46
Beneficio bruto		-176,61	-455,00	-175,49	-459,55	-174,38	-464,14	-173,28	-468,78	-172,19	-473,47	-171,11	-478,21	-170,03	-482,99	-168,97	-487,82	-167,91	-492,70	-166,86	-497,62	-165,83	-502,60	-164,80	-507,63	
Impuesto sociedades 15% 25,00%		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
Impuesto a la electricidad 7,00%		16,99		17,13		17,26		17,40		17,54		17,67		17,81		17,95		18,08		18,22		18,36		18,50		
Peaje de acceso 0,00 €																										
Beneficio neto		-193,60	-455,00	-192,62	-459,55	-191,65	-464,14	-190,68	-468,78	-189,73	-473,47	-188,78	-478,21	-187,84	-482,99	-186,92	-487,82	-186,00	-492,70	-185,09	-497,62	-184,18	-502,60	-183,29	-507,63	
Pago a principal (amortización préstamo)																										
Cash Flow		-12.055,00	141,86	-455,00	142,84	-459,55	143,81	-464,14	144,77	-468,78	145,73	-473,47	146,67	-478,21	147,61	-482,99	148,54	-487,82	149,46	-492,70	150,37	-497,62	151,27	-502,60	152,16	-507,63
Cash Flow anual			-313,14		-316,71		-320,33		-324,01		-327,74		-331,53		-335,38		-339,28		-343,24		-347,25		-351,33		-355,46	

CÁLCULO DEL CASH-FLOW																											
Años	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25														
Inversión																											
Inversión propia																											
		Red	toconsum																								
Ingresos		266,18		268,13		270,09		272,05		274,00		275,96		277,91		279,87		281,82		283,78		285,74		287,69		289,65	
Costes																											
Costes de funcionamiento		94,50	41,34	95,44	41,75	96,40	42,17	97,36	42,59	98,34	43,02	99,32	43,45	100,31	43,88	101,32	44,32	102,33	44,76	103,35	45,21	104,39	45,66	105,43	46,12	106,48	46,58
Factura			471,36		476,08		480,84		485,65		490,50		495,41		500,36		505,37		510,42		515,52		520,68		525,89		531,14
Costes de depreciación		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46		335,46	
Beneficio bruto		-163,78	-512,70	-162,77	-517,83	-161,76	-523,01	-160,77	-528,24	-159,79	-533,52	-158,82	-538,86	-157,86	-544,24	-156,90	-549,69	-155,96	-555,18	-155,03	-560,73	-154,11	-566,34	-153,20	-572,01	-152,29	-577,73
Impuesto sociedades 15% 25,00%		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Impuesto a la electricidad 7,00%		18,63		18,77		18,91		19,04		19,18		19,32		19,45		19,59		19,73		19,86		20,00		20,14		20,28	
Peaje de acceso 0,00 €																											
Beneficio neto		-182,41	-512,70	-181,54	-517,83	-180,67	-523,01	-179,82	-528,24	-178,97	-533,52	-178,14	-538,86	-177,31	-544,24	-176,49	-549,69	-175,69	-555,18	-174,89	-560,73	-174,11	-566,34	-173,33	-572,01	-172,57	-577,73
Pago a principal (amortización préstamo)																											
Cash Flow		153,05	-512,70	153,92	-517,83	154,78	-523,01	155,64	-528,24	156,48	-533,52	157,32	-538,86	158,15	-544,24	158,96	-549,69	159,77	-555,18	160,56	-560,73	161,35	-566,34	162,12	-572,01	162,89	-577,73
Cash Flow anual			-359,66		-363,91		-368,22		-372,60		-377,04		-381,54		-386,10		-390,73		-395,42		-400,17		-405,00		-409,88		-414,84

11. Conclusión

Se ha podido comprobar que, para el caso de estudio, existe una viabilidad técnica para poder producir la energía requerida mediante la instalación renovable. Además, se ha comprobado que esta energía puede obtenerse ya sea mediante uso únicamente de energía fotovoltaica, como combinándolo con energía eólica.

Desde el punto de vista del análisis económico, en la Tabla 55 se puede comprobar que para ambos casos de estudio (Passivhaus Plus y Passivhaus Premium), la alternativa más rentable económicamente de las analizadas es la instalación compuesta totalmente por paneles fotovoltaicos.

Tabla 55. Comparativa VAN alternativas analizadas.

Alternativa	Passivhaus Premium	Passivhaus Plus
Fotovoltaica	-12.190,23 €	-12.379,98 €
2/3 Fotovoltaica 1/3 eólica	-13.699,79 €	-14.212,61 €
1/3 Fotovoltaica 2/3 eólica	-19.485,67 €	-17.745,06 €

Se puede apreciar (Tabla 56) como aquella instalación que dispone de más porcentaje de energía producida por energía eólica se adapta mejor a los consumos horarios de la vivienda. Aunque producen la misma energía anual las tres alternativas, la instalación fotovoltaica produce toda la energía concentrada en las horas de sol, mientras que la instalación eólica distribuye más la energía producida. Esto hace que se necesite comprar menos energía a la red.

Tabla 56. Comparativa energía comprada de la red en cada alternativa.

Alternativa	Passivhaus Premium	Passivhaus Plus
Fotovoltaica	1928,85 kWh	1972,27 kWh
2/3 Fotovoltaica - 1/3 eólica	1171,84 kWh	1307,82 kWh
1/3 Fotovoltaica - 2/3 eólica	866,24 kWh	957,96 kWh

Por el contrario, la inversión requerida para la misma potencia en la instalación eólica es bastante superior a la requerida en la instalación fotovoltaica, lo que hace que no sea compensada la menor energía comprada a la red con el aumento de inversión requerida.

Se ha podido comprobar cuál de las instalaciones analizadas es más económica, pero esto no indica que colocar la instalación sea rentable, pues puede ser más rentable no colocar ninguna instalación renovable, aunque ello conlleve no cumplir con el estándar Passivhaus.

Para analizar si es rentable colocar una instalación renovable en la vivienda, hay que comparar los VAN obtenidos de las diferentes alternativas con el VAN de la vivienda en el caso de que toda la energía consumida sea obtenida de la red eléctrica.

El análisis económico de la vivienda sin instalación renovable se puede ver en la Tabla 57, obteniéndose un VAN de:

$$VAN = -16.619,85$$

Tabla 57. Flujos de caja anuales vivienda sin instalación renovable.

CÁLCULO DEL CASH-FLOW													
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión	0												
Inversión propia	0												
Préstamo (Financiación)	0												
Ingresos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costes													
Costes de funcionamiento		930,80	940,10	949,51	959,00	968,59	978,28	988,06	997,94	1007,92	1018,00	1028,18	1038,46
Costes financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costes de depreciación		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beneficio bruto		-930,80	-940,10	-949,51	-959,00	-968,59	-978,28	-988,06	-997,94	-1007,92	-1018,00	-1028,18	-1038,46
Impuestos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beneficio neto		-930,80	-940,10	-949,51	-959,00	-968,59	-978,28	-988,06	-997,94	-1007,92	-1018,00	-1028,18	-1038,46
Pago a principal		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flow	0	-930,80	-940,10	-949,51	-959,00	-968,59	-978,28	-988,06	-997,94	-1007,92	-1018,00	-1028,18	-1038,46

CÁLCULO DEL CASH-FLOW													
Años	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Inversión													
Inversión propia													
Préstamo (Financiación)													
Ingresos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costes													
Costes de funcionamiento	1048,844541	1059,33	1069,93	1080,63	1091,43	1102,35	1113,37	1124,50	1135,75	1147,11	1158,58	1170,16	1181,86
Costes financieros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costes de depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beneficio bruto	-1048,844541	-1059,33	-1069,93	-1080,63	-1091,43	-1102,35	-1113,37	-1124,50	-1135,75	-1147,11	-1158,58	-1170,16	-1181,86
Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beneficio neto	-1048,844541	-1059,33	-1069,93	-1080,63	-1091,43	-1102,35	-1113,37	-1124,50	-1135,75	-1147,11	-1158,58	-1170,16	-1181,86
Pago a principal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flow	-1048,844541	-1059,33	-1069,93	-1080,63	-1091,43	-1102,35	-1113,37	-1124,50	-1135,75	-1147,11	-1158,58	-1170,16	-1181,86

En la Figura 2 y en la Figura 3 se puede apreciar la comparativa con los VAN obtenidos de los diferentes casos analizados, viendo que alternativas son rentables:

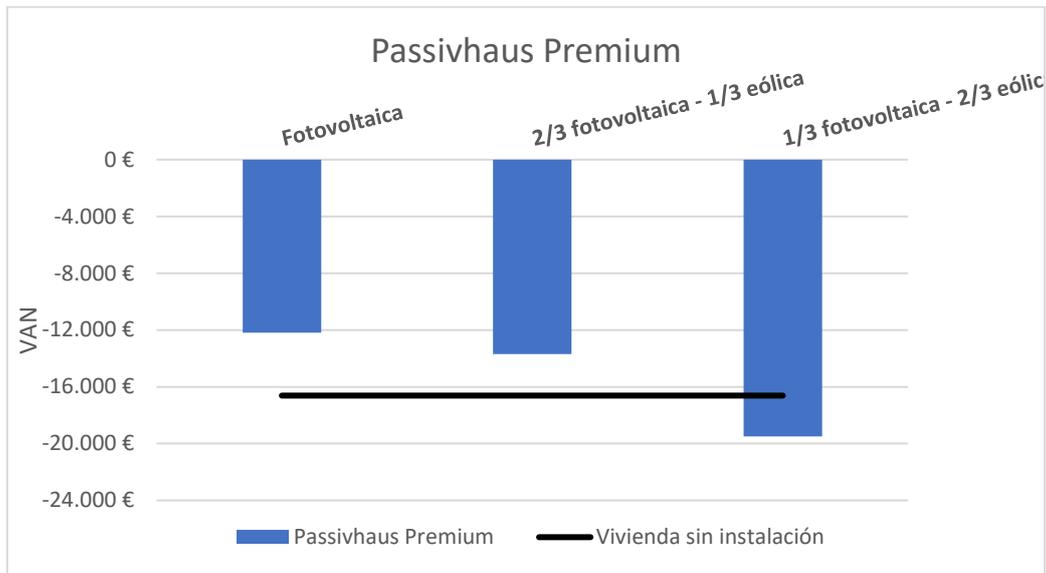


Figura 2. Comparativa VAN alternativas Passivhaus Premium con vivienda sin instalación.

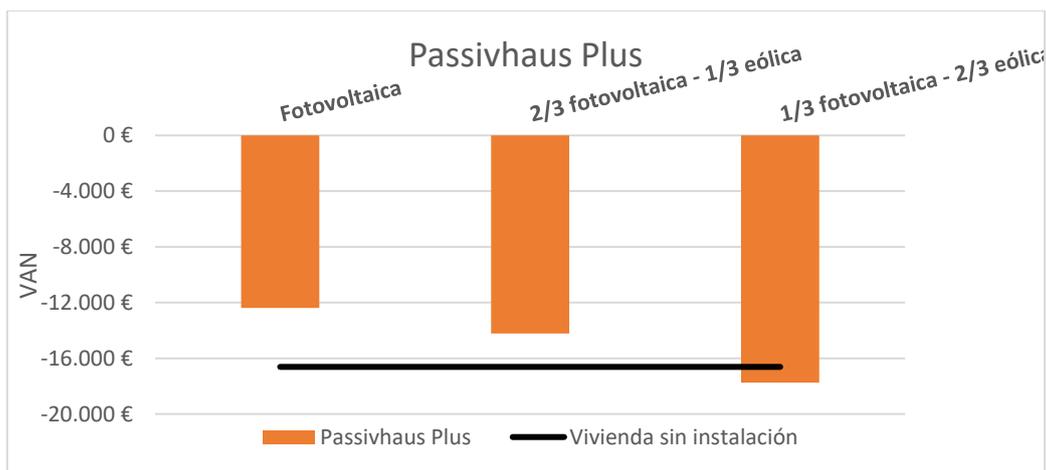


Figura 3. Comparativa VAN alternativas Passivhaus Plus con vivienda sin instalación.

Se puede apreciar como las dos primeras alternativas de cada categoría del estándar son rentables, pero como se ha indicado antes, siempre la alternativa formada en su totalidad por energía fotovoltaica es la más rentable en ambos casos.

También se puede apreciar que la alternativa más rentable de todas las analizadas es la alternativa solo formada por energía fotovoltaica para poder cumplir con la categoría Premium del estándar Passivhaus. Por lo que, al ser una vivienda que ya cumple con los consumos para esta categoría, la opción más rentable es certificar la vivienda con la categoría Passivhaus Premium.

Bibliografía

- «Clima Cartagena: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Cartagena - Climate-Data.org». <https://es.climate-data.org/europe/espana/region-de-murcia/cartagena-3213/#climate-graph>.
- AZEB, «Definition of indicators and assessment methods for cost effective nZEB and Energy+ Buildings». abr. 2019.
- P. Zangheri, D. D'Agostino, European Commission, y Joint Research Centre, *Development of the NZEBs concept in Member States towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe*. Luxembourg: Publications Office, 2016.
- «Directiva (UE) 2018/ del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética», p. 17.
- «Directiva (UE) 2018 del Parlamento Europeo y del .pdf». Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=ES>
- «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios», p. 23.
- Código Técnico de la Edificación, «Documento Básico HE Ahorro de energía». dic. 20, 2019.
- A. Shady, *Net zero energy buildings (nzeb)*, 1st edition. Cambridge, MA: Elsevier, 2018.
- «POWER Data Access Viewer». <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- «RECOMENDACIÓN (UE) 2016/ 1318 DE LA COMISIÓN - de 29 de julio de 2016 - sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo», p. 12.
- «RECOMENDACIÓN (UE) 2016 1318 DE LA COMISIÓN.pdf». Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=ES>
- «Reglamento Delegado (UE) no 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012, que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos

- pertinente a efectos del EEE», p. 19.
- «Reglamento Delegado (UE) no 2442012 de la Comisió.pdf». Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:081:0018:0036:ES:PDF>
 - Energiehaus Architekten SL, «Requisitos energéticos mínimos - criterios de certificación».
 - Nieto Morote, Ana María. Apuntes asignatura Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cartagena.

Anexo I. Balance Consumo – Generación alternativas estudiadas

Passivhaus Premium

Alternativa 1

Partiendo de los datos de radiación (Tabla 16) y la fórmula de producción de energía de los paneles fotovoltaicos, la energía producida por los 18 paneles fotovoltaicos instalados es la indicada en la Tabla 59.

Comparando con la energía consumida diaria (Tabla 14), el balance de energía para día tipo de mes quedaría como se indica en la Tabla 60. Siendo negativos los valores que indican que hay que comprar energía de la red, y positivos aquellos valores que indican energía producida sobrante, y por tanto será vendida a la red.

Multiplicando los valores obtenidos para cada día tipo por el número de días de cada mes, se obtiene la energía anual vendida a la red y comprada de esta:

Tabla 58. Energía comprada y vendida a la red anualmente Passivhaus Premium Alt. 1.

Energía vendida a la red		1928,85 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	665,99 kWh
	Periodo llano	644,36 kWh
	Periodo valle	618,50 kWh

Tabla 59. Producción energía eléctrica diaria 18 paneles.

Producción energía fotovoltaica diaria 18 paneles (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	195,97	266,84	230,35	85,91	0	0	0	0
7	0	0	436,41	720,15	921,71	971,05	923,76	760,56	453,11	77,94	0	0
8	402,03	1044,43	1796,96	1944,80	2156,77	2254,44	2232,98	2043,69	1661,06	1312,88	600,89	338,81
9	1931,12	2423,10	3119,28	3208,14	3399,10	3566,80	3580,81	3426,92	3015,51	2661,86	1993,89	1759,05
10	2991,42	3536,35	4201,04	4272,49	4449,96	4693,15	4746,35	4633,46	4203,61	3808,07	3076,75	2787,93
11	3741,95	4333,40	4959,55	5036,78	5208,65	5515,01	5595,58	5517,07	5071,28	4626,72	3854,65	3514,50
12	4147,00	4765,50	5362,22	5448,96	5619,23	5964,78	6061,29	6000,25	5545,66	5072,44	4275,57	3905,16
13	4188,96	4809,77	5405,72	5491,69	5662,73	6012,78	6111,53	6050,49	5596,61	5119,66	4319,84	3945,64
14	3867,89	4468,33	5085,48	5165,73	5336,84	5654,44	5740,22	5667,74	5218,93	4765,44	3986,56	3636,71
15	3196,77	3753,01	4408,71	4480,15	4656,08	4915,79	4975,74	4871,84	4438,26	4030,71	3287,37	2985,83
16	2202,46	2707,16	3397,37	3479,48	3665,94	3851,63	3875,41	3731,29	3314,61	2953,51	2269,73	2024,41
17	886,82	1414,01	2117,77	2247,69	2455,10	2567,73	2553,86	2371,25	1980,40	1638,25	975,87	679,34
18	0	182,03	754,84	978,06	1192,34	1251,45	1207,82	1025,15	695,99	336,56	17,220	0
19	0	0	20,24	152,28	333,34	368,04	324,798	198,541	42,535	0	0	0
20	0	0	0	0	17,22	56,09	40,35	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 60. Balance energía producida - consumida Passivhaus Premium Alt. 1.

Balance energía por día tipo de mes (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	-133,66	-116,81	-108,09	-129,50	-185,00	-255,83	-466,20	-635,08	-523,55	-139,01	-116,29	-235,21
2	-93,89	-89,33	-116,02	-92,24	-112,06	-169,67	-562,93	-715,42	-441,09	-154,61	-80,87	-98,84
3	-103,37	-79,81	-85,89	-87,21	-115,23	-109,15	-610,50	-664,68	-403,83	-111,00	-90,12	-79,81
4	-102,21	-80,08	-77,44	-96,20	-107,56	-130,29	-596,23	-640,36	-373,70	-93,82	-86,69	-78,76
5	-83,94	-85,10	-85,89	-96,46	-99,37	-90,39	-523,55	-592,00	-327,71	-82,19	-134,79	-91,18
6	-84,64	-101,75	-87,48	-104,39	85,76	162,98	-276,82	-459,58	-190,81	-91,18	-112,85	-99,37
7	-131,12	-123,16	326,46	589,85	803,04	855,56	541,34	354,35	285,03	-51,83	-131,61	-127,91
8	85,91	820,84	1627,29	1838,83	2005,34	2131,81	1980,85	1839,66	1391,76	1115,19	424,88	227,28
9	1708,19	2252,11	2880,37	3015,21	3171,29	3430,17	3344,01	3257,78	2827,61	2542,41	1811,54	1603,65
10	2915,80	3439,88	4054,89	4143,52	4257,03	4505,77	4530,70	4464,06	3946,20	3637,61	2985,04	2700,71
11	3605,52	4183,02	4746,80	4834,60	4906,31	5111,71	5387,33	5352,42	4768,15	4445,15	3667,28	3323,69
12	3914,14	4420,61	4969,22	5015,79	5360,76	5305,92	5704,50	5805,47	5228,25	4857,57	4080,53	3364,69
13	4059,46	4291,24	5229,17	4937,22	5426,72	5486,85	5634,76	5818,19	5237,45	4849,56	4185,06	3318,75
14	3698,62	4145,11	4565,10	4501,05	5027,89	5136,17	5205,30	5383,63	5060,63	4375,35	3835,13	3493,47
15	2511,11	3231,57	3976,07	3939,16	3996,95	4621,37	4501,87	4551,79	4097,86	3722,55	2824,87	2416,82
16	1298,27	2271,36	3127,53	3108,42	3344,57	3319,36	3490,87	3434,23	2452,24	2684,99	1884,93	1703,57
17	231,69	1014,94	1922,20	2036,79	2173,11	2343,88	2074,44	2095,60	1708,98	1449,03	755,46	469,77
18	-402,38	-23,59	433,47	802,83	969,28	1060,64	972,35	752,15	505,96	-87,09	-233,59	-198,48
19	-1160,64	-253,19	-262,02	-62,85	-88,19	142,87	48,62	-131,55	-197,17	-669,70	-341,46	-256,62
20	-1342,18	-850,21	-464,61	-719,12	-791,76	-569,74	-434,31	-283,58	-416,78	-394,31	-309,21	-732,07
21	-2125,65	-1205,41	-1068,51	-936,63	-686,88	-420,48	-723,88	-274,86	-494,21	-573,76	-618,43	-1075,64
22	-2131,43	-723,35	-662,83	-809,77	-814,79	-752,95	-939,54	-343,04	-583,81	-1156,78	-1527,57	-1108,41
23	-2430,21	-518,00	-278,82	-468,84	-372,11	-694,28	-366,04	-795,24	-1100,75	-473,86	-1033,09	-1045,25
24	-639,41	-237,59	-226,76	-245,79	-259,26	-616,31	-540,73	-703,79	-588,83	-168,09	-485,49	-289,39

Alternativa 2

Con los datos de radiación (Tabla 16) y la fórmula de producción de energía de los paneles fotovoltaicos, la energía producida por los 9 paneles fotovoltaicos instalados en esta alternativa es la recogida en la Tabla 62.

Por otro lado, con los datos de viento horarios (Tabla 17) y la fórmula de producción de energía de los aerogeneradores, la energía producida por el aerogenerador instalado en esta alternativa es la recogida en la Tabla 63.

Comparando esta energía producida con la energía consumida diaria (Tabla 14), el balance de energía para día tipo de mes quedaría según la Tabla 64.

Multiplicando los valores obtenidos para cada día tipo por el número de días de cada mes, se obtiene la energía anual vendida a la red y comprada de esta:

Tabla 61. Energía comprada y vendida a la red anualmente Passivhaus Premium Alt. 2.

Energía vendida a la red		12892,62 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	321,74 kWh
	Periodo llano	533,76 kWh
	Periodo valle	316,34 kWh

Tabla 62. Producción energía eléctrica diaria 9 paneles.

Producción energía fotovoltaica diaria 9 paneles (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	97,99	133,42	115,17	42,95	0	0	0	0
7	0	0	218,20	360,07	460,85	485,53	461,88	380,28	226,56	38,97	0	0
8	201,01	522,21	898,48	972,40	1078,39	1127,22	1116,49	1021,84	830,53	656,44	300,45	169,40
9	965,56	1211,55	1559,64	1604,07	1699,55	1783,40	1790,40	1713,46	1507,76	1330,93	996,95	879,52
10	1495,71	1768,17	2100,52	2136,24	2224,98	2346,58	2373,18	2316,73	2101,81	1904,04	1538,37	1393,96
11	1870,98	2166,70	2479,77	2518,39	2604,33	2757,51	2797,79	2758,53	2535,64	2313,36	1927,33	1757,25
12	2073,50	2382,75	2681,11	2724,48	2809,61	2982,39	3030,64	3000,12	2772,83	2536,22	2137,79	1952,58
13	2094,48	2404,89	2702,86	2745,84	2831,36	3006,39	3055,77	3025,25	2798,31	2559,83	2159,92	1972,82
14	1933,95	2234,17	2542,74	2582,87	2668,42	2827,22	2870,11	2833,87	2609,47	2382,72	1993,28	1818,35
15	1598,38	1876,50	2204,35	2240,08	2328,04	2457,89	2487,87	2435,92	2219,13	2015,35	1643,68	1492,91
16	1101,23	1353,58	1698,68	1739,74	1832,97	1925,82	1937,70	1865,64	1657,30	1476,75	1134,87	1012,21
17	443,41	707,01	1058,89	1123,85	1227,55	1283,87	1276,93	1185,62	990,20	819,13	487,94	339,67
18	0	91,01	377,42	489,03	596,17	625,73	603,91	512,58	347,99	168,28	8,61	0
19	0	0	10,12	76,14	166,67	184,02	162,40	99,27	21,27	0	0	0
20	0	0	0	0	8,61	28,05	20,175	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 63. Producción energía eléctrica diaria 1 aerogenerador Bornay 3000W

Producción energía eólica diaria 1x Bornay 3000W (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	702,70	402,22	249,20	176,34	275,43	189,46	164,91	60,16	61,73	74,94	620,10	321,08
2	435,89	102,92	405,91	324,45	744,98	127,17	240,22	32,65	32,65	176,34	400,38	208,55
3	411,47	75,81	329,53	592,52	389,40	177,63	152,62	68,19	42,11	48,98	180,23	433,99
4	428,32	119,53	678,51	544,68	302,79	235,78	95,05	44,80	80,20	37,57	626,52	451,18
5	207,16	212,75	540,58	267,60	289,78	68,19	97,97	18,17	14,50	48,98	208,55	506,15
6	158,71	193,48	385,77	147,83	262,94	94,09	36,94	41,45	21,11	6,51	374,96	605,21
7	219,83	180,23	336,37	280,18	402,22	530,38	146,65	74,08	145,47	-7,66	596,74	498,17
8	470,55	394,88	842,59	374,96	696,08	571,57	516,20	211,35	189,46	-5,93	470,55	433,99
9	652,37	586,21	1555,26	598,86	729,33	932,93	639,41	405,91	346,72	34,46	1258,21	579,92
10	1031,46	624,38	1288,82	751,71	881,80	1293,52	993,81	711,55	484,29	272,28	1598,28	518,22
11	1026,75	861,01	1192,12	1199,21	1170,85	1415,07	1045,60	674,14	528,35	391,22	1260,57	667,59
12	930,60	778,75	1607,29	1182,67	1213,39	1514,21	895,70	867,93	801,44	663,23	1328,73	1151,93
13	1095,19	1401,12	1555,26	1488,99	1083,37	1925,12	1239,35	1137,74	709,34	1031,46	1286,47	1213,39
14	1116,46	1236,99	1215,75	1674,38	1616,29	1887,12	1564,35	1135,38	993,81	1109,37	1564,35	1050,32
15	1203,94	1461,36	1573,41	1518,79	1876,51	1842,38	1605,04	1269,99	858,70	874,86	1398,80	1222,83
16	1267,64	1401,12	1507,34	1543,89	1855,21	1844,52	1669,94	1201,58	963,32	835,71	893,38	1433,62
17	762,95	1031,46	1366,17	1026,75	1865,87	1676,60	1302,92	1104,64	571,57	565,33	538,54	1305,27
18	833,42	369,60	1215,75	1081,01	1591,51	1605,04	851,79	628,66	433,99	339,80	339,80	639,41
19	648,05	64,92	856,40	769,71	1317,01	1045,60	842,59	590,42	215,57	398,54	319,39	824,25
20	840,30	107,98	456,96	635,11	663,23	492,20	502,15	396,71	225,57	84,72	117,39	596,74
21	630,81	147,83	316,04	225,57	207,16	364,27	262,94	277,01	46,18	190,80	173,77	109,01
22	228,47	104,93	116,33	130,51	366,04	218,41	105,94	36,31	150,22	17,23	35,07	422,67
23	246,19	42,78	201,64	63,32	432,10	152,62	97,97	100,92	12,77	29,15	22,64	332,94
24	667,59	350,20	433,99	136,17	240,22	256,79	252,22	63,32	39,49	152,62	678,51	426,43

Tabla 64. Balance energía producida - consumida Passivhaus Premium Alt. 2.

Balance energía por día tipo de mes (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	569,04	285,40	141,10	46,84	90,43	-66,37	-301,29	-574,92	-461,82	-64,07	503,82	85,86
2	342,00	13,59	289,89	232,21	632,92	-42,50	-322,71	-682,77	-408,44	21,73	319,51	109,71
3	308,10	-4,01	243,64	505,31	274,17	68,48	-457,88	-596,49	-361,72	-62,02	90,11	354,18
4	326,11	39,46	601,08	448,48	195,23	105,49	-501,18	-595,56	-293,50	-56,25	539,84	372,42
5	123,21	127,65	454,69	171,13	190,40	-22,20	-425,58	-573,83	-313,22	-33,21	73,76	414,98
6	74,07	91,73	298,29	43,44	283,38	168,12	-316,66	-446,77	-169,70	-84,67	262,11	505,84
7	88,71	57,07	517,36	629,98	898,02	1062,25	380,07	174,92	279,45	-85,46	465,13	370,25
8	422,45	867,58	1870,90	1565,52	1982,50	1951,90	1752,72	1369,78	1027,53	671,63	695,13	548,33
9	1716,86	2030,62	3395,87	2544,69	2767,59	3174,16	2789,82	2521,38	2169,16	1689,58	2405,12	1597,22
10	2950,12	2885,48	3943,36	3471,06	3655,51	4234,91	3942,39	3631,12	3029,28	2640,53	3557,73	2289,62
11	3384,95	3599,56	4285,74	4354,89	4340,94	4688,44	4567,74	4187,53	3606,06	3294,14	3642,96	2819,77
12	3462,40	3610,86	4789,11	4382,14	4701,07	4831,87	4579,77	4673,31	4181,14	3829,99	3984,07	3214,91
13	3758,33	4089,11	4982,53	4595,64	4622,52	5407,70	4836,94	4939,10	4081,25	4174,47	4031,58	3216,93
14	3525,78	3892,66	4085,69	4453,53	4865,23	5138,48	4856,24	4629,77	4314,79	3896,24	4070,62	3331,55
15	2649,46	3441,93	4079,92	3964,56	4321,43	4825,15	4448,33	4197,83	3477,14	3253,84	3127,87	2644,38
16	1831,75	2770,09	3502,42	3492,48	3977,80	3880,00	3869,01	3392,04	2310,69	2536,20	2021,73	2462,38
17	699,03	1575,06	2582,44	2314,31	3220,61	3164,58	2526,08	2409,82	1620,41	1468,27	968,70	1548,59
18	431,04	285,33	1397,60	1557,83	2163,34	2248,52	1421,53	1039,09	707,96	140,53	100,48	440,93
19	-512,60	-188,26	587,63	656,10	1117,70	1065,79	782,95	392,69	4,22	-271,16	-22,06	567,63
20	-501,88	-742,22	-7,66	-84,02	-134,27	-96,23	54,40	113,13	-191,21	-309,60	-191,82	-135,33
21	-1494,84	-1057,57	-752,46	-711,06	-479,72	-56,21	-460,94	2,15	-448,03	-382,97	-444,66	-966,63
22	-1902,96	-618,42	-546,50	-679,26	-448,75	-534,54	-833,59	-306,73	-433,59	-1139,55	-1492,50	-685,74
23	-2184,02	-475,22	-77,19	-405,53	59,98	-541,66	-268,07	-694,31	-1087,98	-444,71	-1010,45	-712,31
24	28,18	112,61	207,23	-109,61	-19,05	-359,52	-288,50	-640,48	-549,34	-15,46	193,02	137,04

Alternativa 3

Con los datos de radiación (Tabla 16) y la fórmula de producción de energía de los paneles fotovoltaicos, la energía producida por los 5 paneles fotovoltaicos instalados en esta alternativa es la recogida en la Tabla 66

Con los datos de viento horarios (Tabla 17) y la fórmula de producción de energía de los aerogeneradores, la energía producida por los dos aerogeneradores instalados en esta alternativa es la recogida en la Tabla 67

Comparando esta energía producida con la energía consumida diaria (Tabla 14), el balance de energía para día tipo de mes quedaría como se indica en Tabla 68

Multiplicando los valores obtenidos para cada día tipo por el número de días de cada mes, se obtiene la energía anual vendida a la red y comprada de esta:

Tabla 65. Energía comprada y vendida a la red anualmente Passivhaus Premium Alt. 3.

Energía vendida a la red		12585,63 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	178,08 kWh
	Periodo llano	438,56 kWh
	Periodo valle	249,59 kWh

Tabla 66. Producción energía eléctrica diaria 5 paneles.

Producción energía fotovoltaica diaria 5 paneles (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	54,44	74,12	63,99	23,86	0	0	0	0
7	0	0	121,22	200,04	256,03	269,74	256,60	211,27	125,86	21,65	0	0
8	111,67	290,12	499,16	540,22	599,10	626,23	620,27	567,69	461,41	364,69	166,91	94,11
9	536,42	673,08	866,47	891,15	944,19	990,78	994,67	951,92	837,64	739,41	553,86	488,62
10	830,95	982,32	1166,96	1186,80	1236,10	1303,65	1318,43	1287,07	1167,67	1057,80	854,65	774,42
11	1039,43	1203,72	1377,65	1399,10	1446,85	1531,95	1554,33	1532,52	1408,69	1285,20	1070,74	976,25
12	1151,95	1323,75	1489,50	1513,60	1560,90	1656,88	1683,69	1666,74	1540,46	1409,01	1187,66	1084,77
13	1163,60	1336,05	1501,59	1525,47	1572,98	1670,22	1697,65	1680,69	1554,61	1422,13	1199,96	1096,01
14	1074,41	1241,20	1412,63	1434,93	1482,45	1570,68	1594,50	1574,37	1449,70	1323,73	1107,38	1010,20
15	887,99	1042,50	1224,64	1244,49	1293,36	1365,50	1382,15	1353,29	1232,85	1119,64	913,16	829,40
16	611,79	751,99	943,71	966,52	1018,32	1069,90	1076,50	1036,47	920,72	820,42	630,48	562,34
17	246,34	392,78	588,27	624,36	681,97	713,26	709,40	658,68	550,11	455,07	271,08	188,71
18	0	50,56	209,68	271,68	331,21	347,63	335,51	284,76	193,33	93,49	4,78	0
19	0	0	5,62	42,30	92,60	102,23	90,22	55,15	11,82	0	0	0
20	0	0	0	0	4,78	15,58	11,209	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 67. Producción energía eléctrica 2 aerogeneradores Bornay 3000W

Producción energía eólica diaria 2x Bornay 3000W (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1405,41	804,43	498,39	352,68	550,86	378,92	329,81	120,32	123,46	149,89	1240,21	642,15
2	871,78	205,83	811,81	648,90	1489,96	254,34	480,43	65,30	65,30	352,68	800,75	417,10
3	822,93	151,62	659,07	1185,05	778,81	355,27	305,24	136,37	84,22	97,97	360,46	867,98
4	856,64	239,07	1357,02	1089,36	605,58	471,56	190,10	89,61	160,41	75,14	1253,04	902,35
5	414,32	425,50	1081,17	535,19	579,55	136,37	195,93	36,35	29,00	97,97	417,10	1012,31
6	317,42	386,96	771,54	295,67	525,88	188,18	73,88	82,89	42,22	13,02	749,92	1210,42
7	439,66	360,46	672,73	560,35	804,43	1060,76	293,29	148,16	290,93	-15,31	1193,49	996,33
8	941,11	789,75	1685,19	749,92	1392,17	1143,14	1032,40	422,69	378,92	-11,86	941,11	867,98
9	1304,75	1172,43	3110,52	1197,71	1458,67	1865,86	1278,82	811,81	693,45	68,92	2516,43	1159,85
10	2062,92	1248,76	2577,63	1503,41	1763,59	2587,04	1987,62	1423,11	968,58	544,57	3196,55	1036,44
11	2053,49	1722,01	2384,25	2398,43	2341,70	2830,13	2091,21	1348,27	1056,69	782,45	2521,14	1335,17
12	1861,19	1557,50	3214,58	2365,34	2426,77	3028,42	1791,40	1735,85	1602,87	1326,46	2657,46	2303,87
13	2190,37	2802,25	3110,52	2977,97	2166,74	3850,23	2478,70	2275,49	1418,68	2062,92	2572,93	2426,77
14	2232,92	2473,98	2431,50	3348,77	3232,57	3774,24	3128,69	2270,76	1987,62	2218,74	3128,69	2100,64
15	2407,88	2922,71	3146,83	3037,57	3753,02	3684,75	3210,07	2539,98	1717,40	1749,72	2797,59	2445,66
16	2535,27	2802,25	3014,68	3087,77	3710,41	3689,03	3339,88	2403,15	1926,64	1671,42	1786,76	2867,23
17	1525,90	2062,92	2732,33	2053,49	3731,74	3353,21	2605,84	2209,28	1143,14	1130,66	1077,07	2610,54
18	1666,83	739,19	2431,50	2162,02	3183,01	3210,07	1703,58	1257,33	867,98	679,61	679,61	1278,82
19	1296,09	129,84	1712,79	1539,42	2634,01	2091,21	1685,19	1180,84	431,14	797,08	638,79	1648,51
20	1680,60	215,97	913,92	1270,21	1326,46	984,40	1004,31	793,41	451,15	169,43	234,78	1193,49
21	1261,62	295,67	632,09	451,15	414,32	728,53	525,88	554,02	92,36	381,59	347,54	218,02
22	456,94	209,86	232,66	261,03	732,08	436,81	211,89	72,62	300,44	34,46	70,15	845,34
23	492,37	85,55	403,27	126,63	864,19	305,24	195,93	201,85	25,53	58,31	45,28	665,89
24	1335,17	700,41	867,98	272,35	480,43	513,59	504,45	126,63	78,98	305,24	1357,02	852,87

Tabla 68. Balance energía producida - consumida Passivhaus Premium Alt. 3.

Balance energía por día tipo de mes (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1271,74	687,62	390,30	223,18	365,86	123,09	-136,39	-514,76	-400,09	10,87	1123,92	406,94
2	777,89	116,51	695,79	556,66	1377,90	84,67	-82,50	-650,12	-375,79	198,07	719,88	318,26
3	719,57	71,80	573,18	1097,84	663,58	246,12	-305,26	-528,30	-319,61	-13,03	270,34	788,17
4	754,42	158,99	1279,59	993,16	498,01	341,27	-406,13	-550,76	-213,29	-18,68	1166,36	823,59
5	330,37	340,40	995,27	438,73	480,18	45,99	-327,62	-555,65	-298,72	15,78	282,31	921,13
6	232,78	285,21	684,07	191,27	470,11	158,43	-369,30	-438,73	-148,59	-78,16	637,07	1111,04
7	308,54	237,30	684,01	630,10	941,80	1215,00	167,47	-46,78	248,71	-123,43	1061,87	868,42
8	736,66	856,28	2014,67	1184,16	1839,84	1646,74	1400,55	786,35	571,02	155,14	932,01	850,57
9	1618,24	1674,52	3738,08	1895,93	2175,05	2720,00	2036,69	1594,59	1343,18	688,87	2887,93	1493,07
10	2818,25	2134,62	3598,44	2561,24	2806,76	3703,31	3090,40	2540,77	1878,84	1431,90	3959,50	1723,65
11	2956,49	2775,36	3549,15	3595,35	3486,20	3958,78	3437,28	2716,14	2162,24	1886,08	3404,50	2120,61
12	2780,27	2536,35	4311,09	3445,78	3729,20	4026,44	3118,31	3207,81	2825,93	2520,61	3650,08	2848,17
13	3224,47	3619,77	4435,57	3948,97	3503,72	4994,52	3699,58	3723,87	2614,13	3214,95	3638,10	2895,90
14	3138,06	3391,97	3323,75	4119,01	4406,08	4826,66	4188,28	3561,02	3279,02	3152,39	4084,63	2967,59
15	2610,21	3443,78	3938,83	3741,07	4387,24	4755,83	4118,36	3573,22	2609,85	2561,20	3248,25	2706,05
16	2242,88	3118,43	3688,56	3683,24	4407,36	4226,66	4031,84	3142,56	1985,00	2223,32	2032,44	3108,73
17	1117,10	2056,63	3125,03	2466,95	4131,72	3842,62	2835,83	2592,31	1421,83	1396,50	1127,73	2589,66
18	1264,46	584,14	2319,80	2258,48	3291,16	3366,88	1803,61	1269,09	871,29	349,45	433,59	1080,34
19	135,45	-123,34	1436,16	1366,59	2305,07	1968,27	1499,23	905,90	203,25	127,38	297,33	1391,89
20	338,42	-634,24	449,30	551,09	522,27	374,16	540,86	509,83	34,37	-224,88	-74,43	461,42
21	-864,03	-909,74	-436,42	-485,48	-272,56	308,05	-197,99	279,16	-401,86	-192,17	-270,89	-857,62
22	-1674,49	-513,49	-430,17	-548,74	-82,71	-316,14	-727,65	-270,42	-283,37	-1122,32	-1457,42	-263,07
23	-1937,83	-432,45	124,45	-342,21	492,08	-389,03	-170,10	-593,39	-1075,22	-415,56	-987,81	-379,36
24	695,77	462,82	641,22	26,56	221,17	-102,73	-36,28	-577,16	-509,85	137,16	871,53	563,47

Passivhaus Plus

Alternativa 1

Partiendo de los datos de radiación (Tabla 16) y la fórmula de producción de energía de los paneles fotovoltaicos, la energía producida por los 9 paneles fotovoltaicos instalados es la indicada en la Tabla 70:

Comparando con la energía consumida diaria (Tabla 14), el balance de energía para día tipo de mes quedaría según se indica en la Tabla 71. Siendo negativos los valores que indican que hay que comprar energía de la red, y positivos aquellos valores que indican energía producida sobrante, y por tanto será vendida a la red.

Multiplicando los valores obtenidos para cada día tipo por el número de días de cada mes, se obtiene la energía anual vendida a la red y comprada de esta:

Tabla 69. Energía comprada y vendida a la red anualmente Passivhaus Plus Alt. 1.

Energía vendida a la red		5842,52 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	691,98 kWh
	Periodo llano	654,49 kWh
	Periodo valle	625,79 kWh

Tabla 70. Producción energía eléctrica diaria 9 paneles.

Producción energía diaria fotovoltaica 9 paneles (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	97,99	133,42	115,17	42,95	0	0	0	0
7	0	0	218,20	360,07	460,85	485,53	461,88	380,28	226,56	38,97	0	0
8	201,01	522,21	898,48	972,40	1078,39	1127,22	1116,49	1021,84	830,53	656,44	300,45	169,40
9	965,56	1211,55	1559,64	1604,07	1699,55	1783,40	1790,40	1713,46	1507,76	1330,93	996,95	879,52
10	1495,71	1768,17	2100,52	2136,24	2224,98	2346,58	2373,18	2316,73	2101,81	1904,04	1538,37	1393,96
11	1870,98	2166,70	2479,77	2518,39	2604,33	2757,51	2797,79	2758,53	2535,64	2313,36	1927,33	1757,25
12	2073,50	2382,75	2681,11	2724,48	2809,61	2982,39	3030,64	3000,12	2772,83	2536,22	2137,79	1952,58
13	2094,48	2404,89	2702,86	2745,84	2831,36	3006,39	3055,77	3025,25	2798,31	2559,83	2159,92	1972,82
14	1933,95	2234,17	2542,74	2582,87	2668,42	2827,22	2870,11	2833,87	2609,47	2382,72	1993,28	1818,35
15	1598,38	1876,50	2204,35	2240,08	2328,04	2457,89	2487,87	2435,92	2219,13	2015,35	1643,68	1492,91
16	1101,23	1353,58	1698,68	1739,74	1832,97	1925,82	1937,70	1865,64	1657,30	1476,75	1134,87	1012,21
17	443,41	707,01	1058,89	1123,85	1227,55	1283,87	1276,93	1185,62	990,20	819,13	487,94	339,67
18	0	91,01	377,42	489,03	596,17	625,73	603,91	512,58	347,99	168,28	8,61	0
19	0	0	10,12	76,14	166,67	184,02	162,40	99,27	21,27	0	0	0
20	0	0	0	0	8,61	28,05	20,175	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 71. Balance energía producida - consumida Passivhaus Plus Alt. 1.

Balance energía por día tipo de mes (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	-133,66	-116,81	-108,09	-129,50	-185,00	-255,83	-466,20	-635,08	-523,55	-139,01	-116,29	-235,21
2	-93,89	-89,33	-116,02	-92,24	-112,06	-169,67	-562,93	-715,42	-441,09	-154,61	-80,87	-98,84
3	-103,37	-79,81	-85,89	-87,21	-115,23	-109,15	-610,50	-664,68	-403,83	-111,00	-90,12	-79,81
4	-102,21	-80,08	-77,44	-96,20	-107,56	-130,29	-596,23	-640,36	-373,70	-93,82	-86,69	-78,76
5	-83,94	-85,10	-85,89	-96,46	-99,37	-90,39	-523,55	-592,00	-327,71	-82,19	-134,79	-91,18
6	-84,64	-101,75	-87,48	-104,39	-12,22	29,56	-391,99	-502,53	-190,81	-91,18	-112,85	-99,37
7	-131,12	-123,16	108,26	229,78	342,19	370,03	79,46	-25,93	58,47	-90,79	-131,61	-127,91
8	-115,10	298,63	728,81	866,42	926,95	1004,59	864,36	817,82	561,22	458,75	124,43	57,87
9	742,63	1040,56	1320,73	1411,14	1471,74	1646,77	1553,60	1544,32	1319,85	1211,48	814,59	724,12
10	1420,09	1671,71	1954,37	2007,27	2032,05	2159,20	2157,52	2147,32	1844,39	1733,57	1446,67	1306,75
11	1734,54	2016,32	2267,02	2316,21	2301,98	2354,21	2589,53	2593,88	2232,50	2131,79	1739,95	1566,44
12	1840,63	2037,86	2288,12	2291,32	2551,14	2323,53	2673,86	2805,35	2455,42	2321,35	1942,74	1412,11
13	1964,98	1886,36	2526,32	2191,37	2595,36	2480,46	2579,00	2792,94	2439,14	2289,73	2025,14	1345,93
14	1764,67	1910,94	2022,36	1918,19	2359,47	2308,96	2335,19	2549,76	2451,16	1992,63	1841,85	1675,11
15	912,73	1355,07	1771,72	1699,08	1668,91	2163,48	2014,00	2115,87	1878,73	1707,20	1181,18	923,91
16	197,04	917,77	1428,85	1368,68	1511,60	1393,55	1553,17	1568,59	794,94	1208,24	750,07	691,36
17	-211,72	307,93	863,31	912,95	945,56	1060,02	797,51	909,97	718,78	629,90	267,52	130,09
18	-402,38	-114,60	56,05	313,81	373,11	434,91	368,43	239,57	157,97	-255,37	-242,20	-198,48
19	-1160,64	-253,19	-272,14	-138,99	-254,86	-41,15	-113,78	-230,82	-218,44	-669,70	-341,46	-256,62
20	-1342,18	-850,21	-464,61	-719,12	-800,37	-597,78	-454,48	-283,58	-416,78	-394,31	-309,21	-732,07
21	-2125,65	-1205,41	-1068,51	-936,63	-686,88	-420,48	-723,88	-274,86	-494,21	-573,76	-618,43	-1075,64
22	-2131,43	-723,35	-662,83	-809,77	-814,79	-752,95	-939,54	-343,04	-583,81	-1156,78	-1527,57	-1108,41
23	-2430,21	-518,00	-278,82	-468,84	-372,11	-694,28	-366,04	-795,24	-1100,75	-473,86	-1033,09	-1045,25
24	-639,41	-237,59	-226,76	-245,79	-259,26	-616,31	-540,73	-703,79	-588,83	-168,09	-485,49	-289,39

Alternativa 2

Con los datos de radiación (Tabla 16) y la fórmula de producción de energía de los paneles fotovoltaicos, la energía producida por los 5 paneles fotovoltaicos instalados en esta alternativa es la indicada en la Tabla 73.

Con los datos de viento horarios (Tabla 17) y la fórmula de producción de energía de los aerogeneradores, la energía producida por el aerogenerador instalado en esta alternativa es la indicada en la Tabla 74.

Comparando esta energía producida con la energía consumida diaria (Tabla 14), el balance de energía para día tipo de mes quedaría como se recoge en la Tabla 75.

Multiplicando los valores obtenidos para cada día tipo por el número de días de cada mes, se obtiene la energía anual vendida a la red y comprada de esta:

Tabla 72. Energía comprada y vendida a la red anualmente Passivhaus Plus Alt. 2.

Energía vendida a la red		4947,95 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	433,37 kWh
	Periodo llano	548,35 kWh
	Periodo valle	326,10 kWh

Tabla 73. Producción energía eléctrica diaria 5 paneles.

Producción energía fotovoltaica diaria 5 paneles (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	54,44	74,12	63,99	23,86	0	0	0	0
7	0	0	121,22	200,04	256,03	269,74	256,60	211,27	125,86	21,65	0	0
8	111,67	290,12	499,16	540,22	599,10	626,23	620,27	567,69	461,41	364,69	166,91	94,11
9	536,42	673,08	866,47	891,15	944,19	990,78	994,67	951,92	837,64	739,41	553,86	488,62
10	830,95	982,32	1166,96	1186,80	1236,10	1303,65	1318,43	1287,07	1167,67	1057,80	854,65	774,42
11	1039,43	1203,72	1377,65	1399,10	1446,85	1531,95	1554,33	1532,52	1408,69	1285,20	1070,74	976,25
12	1151,95	1323,75	1489,50	1513,60	1560,90	1656,88	1683,69	1666,74	1540,46	1409,01	1187,66	1084,77
13	1163,60	1336,05	1501,59	1525,47	1572,98	1670,22	1697,65	1680,69	1554,61	1422,13	1199,96	1096,01
14	1074,41	1241,20	1412,63	1434,93	1482,45	1570,68	1594,50	1574,37	1449,70	1323,73	1107,38	1010,20
15	887,99	1042,50	1224,64	1244,49	1293,36	1365,50	1382,15	1353,29	1232,85	1119,64	913,16	829,40
16	611,79	751,99	943,71	966,52	1018,32	1069,90	1076,50	1036,47	920,72	820,42	630,48	562,34
17	246,34	392,78	588,27	624,36	681,97	713,26	709,40	658,68	550,11	455,07	271,08	188,71
18	0	50,56	209,68	271,68	331,21	347,63	335,51	284,76	193,33	93,49	4,78	0
19	0	0	5,62	42,30	92,60	102,23	90,22	55,15	11,82	0	0	0
20	0	0	0	0	4,78	15,58	11,209	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 74. Producción energía eléctrica diaria 1 aerogenerador Bornay 1500W

Producción energía eólica diaria 1x Bornay 1500W (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	361,74	240,65	177,67	146,36	188,66	152,11	141,30	90,89	91,74	98,72	328,43	207,55
2	254,27	112,68	242,15	208,94	378,86	124,17	173,88	74,91	74,91	146,36	239,91	160,38
3	244,40	99,17	211,03	317,33	235,45	146,93	135,80	95,19	80,68	84,67	148,07	253,51
4	251,22	120,60	351,97	298,09	200,01	172,00	108,84	82,26	101,42	77,95	331,01	260,45
5	159,78	162,18	296,44	185,39	194,63	95,19	110,27	65,16	62,43	84,67	160,38	282,59
6	138,54	153,86	233,98	133,64	183,44	108,37	77,57	80,29	67,26	55,87	229,58	322,43
7	165,22	148,07	213,83	190,64	240,65	292,34	133,10	98,27	132,57	38,90	319,03	279,38
8	268,26	237,67	418,60	229,58	359,07	308,90	286,63	161,58	152,11	41,92	268,26	253,51
9	341,43	314,79	726,28	319,88	372,52	455,75	336,20	242,15	218,07	76,04	593,42	312,26
10	496,74	330,15	606,76	381,58	434,68	608,81	481,01	365,32	273,79	187,35	746,20	287,45
11	494,77	426,14	564,87	567,92	555,75	662,59	502,67	350,20	291,52	236,19	594,45	347,56
12	454,78	392,57	750,40	560,81	574,02	707,44	440,39	428,98	401,80	345,80	624,26	547,66
13	523,56	656,36	726,28	695,94	518,57	904,03	585,24	541,61	364,42	496,74	605,73	574,02
14	532,57	584,22	575,04	781,92	754,60	885,07	730,47	540,61	481,01	529,56	730,47	504,65
15	569,95	683,42	734,66	709,53	879,81	862,96	749,35	598,55	425,20	431,83	655,32	578,09
16	597,52	656,36	704,30	721,04	869,28	864,01	779,81	568,93	468,33	415,79	439,44	670,91
17	386,15	496,74	640,80	494,77	874,54	782,97	612,93	527,56	308,90	306,39	295,62	613,96
18	414,85	227,40	575,04	517,57	743,05	749,35	422,37	331,87	253,51	215,24	215,24	336,20
19	339,68	93,46	424,26	388,89	619,11	502,67	418,60	316,48	163,39	239,16	206,86	411,11
20	417,67	115,12	262,78	334,47	345,80	276,98	280,98	238,42	167,67	103,70	119,59	319,03
21	332,74	133,64	205,48	167,67	159,78	225,23	183,44	189,32	83,06	152,69	145,23	115,61
22	168,90	113,65	119,09	125,72	225,95	164,61	114,14	77,18	134,72	64,47	76,42	248,93
23	176,40	81,07	157,40	92,60	252,74	135,80	110,27	111,71	61,08	72,67	68,32	212,43
24	347,56	219,49	253,51	128,33	173,88	180,87	178,95	92,60	79,11	135,80	351,97	250,45

Tabla 75. Balance energía producida - consumida Passivhaus Plus Alt. 2.

Balance energía por día tipo de mes (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	228,08	123,84	69,58	16,86	3,66	-103,72	-324,90	-544,19	-431,81	-40,29	212,14	-27,66
2	160,39	23,35	126,13	116,70	266,80	-45,50	-389,05	-640,51	-366,19	-8,24	159,03	61,53
3	141,03	19,35	125,13	230,11	120,23	37,78	-474,70	-569,49	-323,15	-26,33	57,95	173,69
4	149,00	40,52	274,53	201,89	92,45	41,71	-487,38	-558,10	-272,28	-15,87	244,33	181,69
5	75,84	77,08	210,55	88,93	95,26	4,80	-413,28	-526,84	-265,29	2,48	25,59	191,41
6	53,90	52,11	146,50	29,25	127,67	78,63	-365,61	-441,34	-123,56	-35,31	116,73	223,06
7	34,10	24,92	225,11	260,39	378,02	446,58	7,28	-96,67	90,35	-69,21	187,41	151,46
8	63,81	304,21	748,09	663,83	806,73	812,50	654,78	525,24	344,21	208,92	259,16	236,09
9	654,92	816,88	1353,83	1018,10	1088,90	1309,89	1094,07	1024,93	867,80	695,99	964,92	645,48
10	1252,07	1216,00	1627,56	1439,42	1477,85	1725,09	1583,79	1482,99	1184,05	1074,68	1509,15	974,66
11	1397,76	1479,49	1729,77	1764,84	1700,25	1791,24	1848,74	1718,07	1397,07	1339,83	1477,80	1133,00
12	1373,86	1371,42	1846,91	1641,25	1876,44	1705,46	1767,30	1900,94	1624,86	1539,95	1616,88	1091,96
13	1557,66	1473,88	2051,32	1666,94	1855,54	2048,32	1806,12	1990,00	1559,87	1648,77	1670,90	1043,14
14	1437,71	1502,20	1467,29	1552,16	1928,10	1937,49	1790,06	1830,87	1772,41	1463,21	1686,41	1371,61
15	772,28	1204,48	1526,67	1413,02	1514,03	1934,04	1657,63	1631,78	1317,65	1243,31	1105,98	838,48
16	305,13	972,54	1378,18	1316,51	1566,22	1401,64	1471,78	1308,34	526,69	967,69	685,12	912,41
17	-22,65	490,45	1033,50	908,23	1274,52	1272,38	842,92	910,59	587,59	572,23	346,28	593,09
18	12,48	72,35	463,34	614,03	851,20	906,16	522,40	343,63	256,82	-114,93	-30,79	137,72
19	-820,96	-159,73	147,62	216,06	290,17	379,73	232,65	41,54	-64,50	-430,54	-134,60	154,49
20	-924,51	-735,09	-201,84	-384,65	-458,39	-333,27	-182,47	-45,16	-249,11	-290,61	-189,62	-413,05
21	-1792,91	-1071,77	-863,03	-768,96	-527,10	-195,25	-540,43	-85,54	-411,15	-421,07	-473,20	-960,03
22	-1962,53	-609,70	-543,74	-684,05	-588,84	-588,34	-825,40	-265,86	-449,09	-1092,31	-1451,15	-859,48
23	-2253,80	-436,93	-121,43	-376,25	-119,37	-558,47	-255,76	-683,52	-1039,67	-401,19	-964,77	-832,82
24	-291,85	-18,10	26,75	-117,46	-85,38	-435,45	-361,78	-611,20	-509,72	-32,28	-133,52	-38,94

Alternativa 3

Con los datos de radiación (Tabla 16) y la fórmula de producción de energía de los paneles fotovoltaicos, la energía producida por los 2 paneles fotovoltaicos instalados en esta alternativa es la indicada en la Tabla 77.

Con los datos de viento horarios (Tabla 17) y la fórmula de producción de energía de los aerogeneradores, la energía producida por los dos aerogeneradores instalados en esta alternativa es la indicada en la Tabla 78.

Comparando esta energía producida con la energía consumida diaria (Tabla 14), el balance de energía para día tipo de mes quedaría como se recoge en la Tabla 79.

Multiplicando los valores obtenidos para cada día tipo por el número de días de cada mes, se obtiene la energía anual vendida a la red y comprada de esta:

Tabla 76. Energía comprada y vendida a la red anualmente Passivhaus Plus Alt. 3.

Energía vendida a la red		5142,22 kWh
Energía comprada a la red	Periodo punta	262,67 kWh
	Periodo llano	456,19 kWh
	Periodo valle	228,16 kWh

Tabla 77. Producción energía eléctrica diaria 2 paneles.

Producción energía fotovoltaica diaria 2 paneles (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	21,77	29,65	25,59	9,55	0	0	0	0
7	0	0	48,49	80,02	102,41	107,89	102,64	84,51	50,35	8,66	0	0
8	44,67	116,05	199,66	216,09	239,64	250,49	248,11	227,08	184,56	145,88	66,77	37,65
9	214,57	269,23	346,59	356,46	377,68	396,31	397,87	380,77	335,06	295,76	221,54	195,45
10	332,38	392,93	466,78	474,72	494,44	521,46	527,37	514,83	467,07	423,12	341,86	309,77
11	415,77	481,49	551,06	559,64	578,74	612,78	621,73	613,01	563,48	514,08	428,29	390,50
12	460,78	529,50	595,80	605,44	624,36	662,75	673,48	666,69	616,18	563,60	475,06	433,91
13	465,44	534,42	600,64	610,19	629,19	668,09	679,06	672,28	621,85	568,85	479,98	438,40
14	429,77	496,48	565,05	573,97	592,98	628,27	637,80	629,75	579,88	529,49	442,95	404,08
15	355,20	417,00	489,86	497,79	517,34	546,20	552,86	541,32	493,14	447,86	365,26	331,76
16	244,72	300,80	377,49	386,61	407,33	427,96	430,60	414,59	368,29	328,17	252,19	224,93
17	98,54	157,11	235,31	249,74	272,79	285,30	283,76	263,47	220,04	182,03	108,43	75,48
18	0	20,23	83,87	108,67	132,48	139,05	134,20	113,91	77,33	37,40	1,91	0
19	0	0	2,25	16,92	37,04	40,89	36,09	22,06	4,73	0	0	0
20	0	0	0	0	1,91	6,23	4,483	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

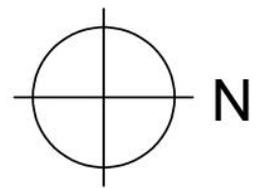
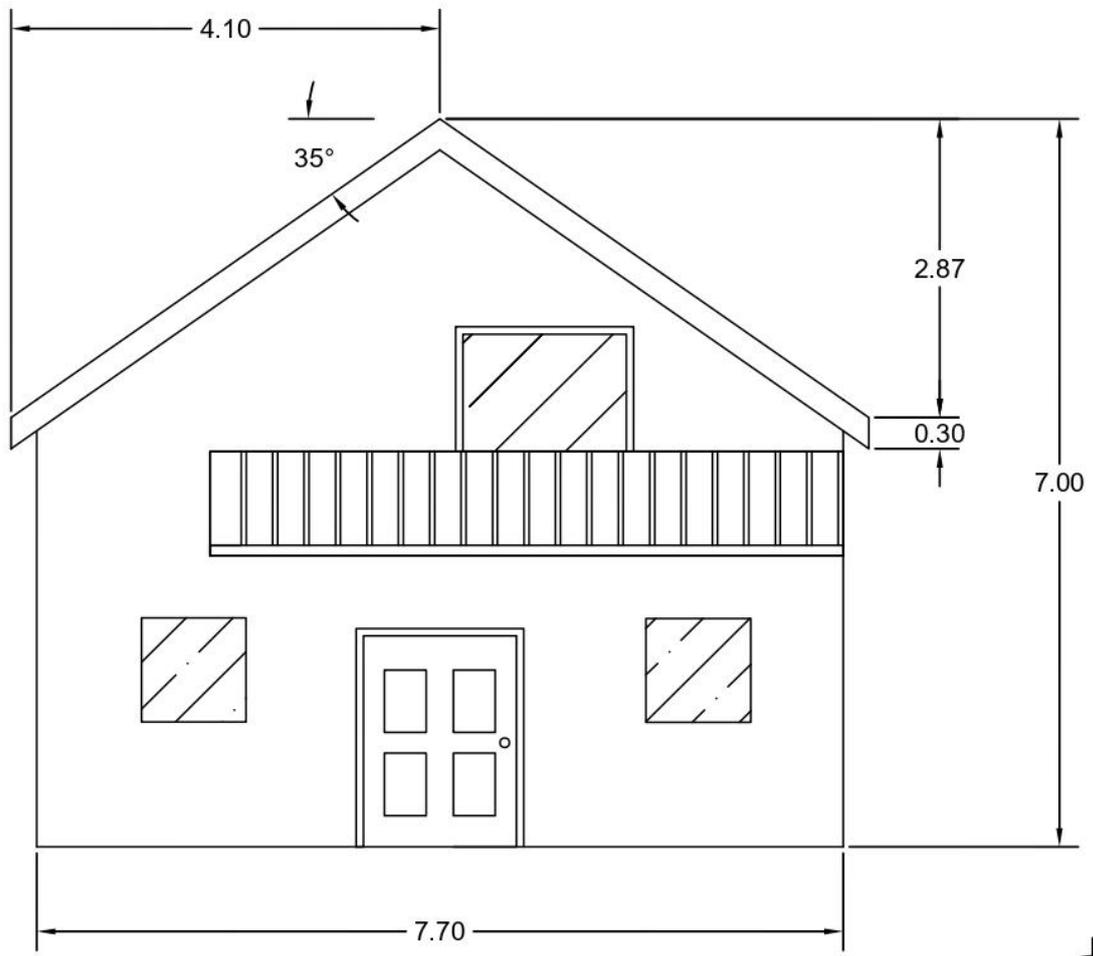
Tabla 78. Producción energía eléctrica 2 aerogeneradores Bornay 1500W

Producción energía eólica diaria 2x Bornay 1500W (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	723,48	481,30	355,34	292,73	377,32	304,22	282,61	181,78	183,48	197,44	656,86	415,10
2	508,55	225,36	484,29	417,88	757,71	248,34	347,76	149,81	149,81	292,73	479,81	320,76
3	488,80	198,33	422,05	634,66	470,91	293,87	271,61	190,38	161,36	169,35	296,15	507,02
4	502,43	241,20	703,94	596,18	400,03	344,01	217,69	164,52	202,84	155,90	662,02	520,89
5	319,56	324,36	592,88	370,78	389,25	190,38	220,55	130,32	124,85	169,35	320,76	565,19
6	277,07	307,72	467,96	267,28	366,89	216,74	155,13	160,57	134,52	111,74	459,17	644,86
7	330,43	296,15	427,66	381,28	481,30	584,67	266,21	196,55	265,14	77,81	638,05	558,76
8	536,52	475,35	837,21	459,17	718,13	617,80	573,27	323,16	304,22	83,83	536,52	507,02
9	682,85	629,58	1452,56	639,75	745,03	911,49	672,41	484,29	436,14	152,08	1186,84	624,52
10	993,48	660,30	1213,52	763,17	869,35	1217,63	962,03	730,64	547,58	374,70	1492,40	574,89
11	989,53	852,29	1129,74	1135,83	1111,49	1325,19	1005,34	700,41	583,04	472,39	1188,89	695,12
12	909,57	785,13	1500,80	1121,62	1148,04	1414,87	880,79	857,96	803,60	691,61	1248,53	1095,32
13	1047,12	1312,72	1452,56	1391,88	1037,14	1808,06	1170,48	1083,23	728,85	993,48	1211,46	1148,04
14	1065,14	1168,43	1150,07	1563,83	1509,20	1770,15	1460,94	1081,22	962,03	1059,13	1460,94	1009,30
15	1139,90	1366,83	1469,33	1419,06	1759,61	1725,92	1498,70	1197,09	850,40	863,65	1310,64	1156,19
16	1195,04	1312,72	1408,60	1442,08	1738,55	1728,02	1559,63	1137,86	936,67	831,58	878,88	1341,83
17	772,29	993,48	1281,61	989,53	1749,08	1565,94	1225,86	1055,12	617,80	612,78	591,24	1227,92
18	829,70	454,80	1150,07	1035,14	1486,11	1498,70	844,74	663,75	507,02	430,47	430,47	672,41
19	679,36	186,91	848,51	777,79	1238,22	1005,34	837,21	632,96	326,78	478,32	413,72	822,22
20	835,33	230,24	525,56	668,94	691,61	553,96	561,97	476,83	335,33	207,41	239,18	638,05
21	665,48	267,28	410,96	335,33	319,56	450,46	366,89	378,64	166,12	305,39	290,46	231,22
22	337,80	227,30	238,18	251,44	451,90	329,21	228,28	154,37	269,44	128,94	152,84	497,87
23	352,81	162,14	314,79	185,19	505,49	271,61	220,55	223,43	122,16	145,34	136,64	424,85
24	695,12	438,98	507,02	256,65	347,76	361,73	357,89	185,19	158,23	271,61	703,94	500,91

Tabla 79. Balance energía producida - consumida Passivhaus Plus Alt. 3.

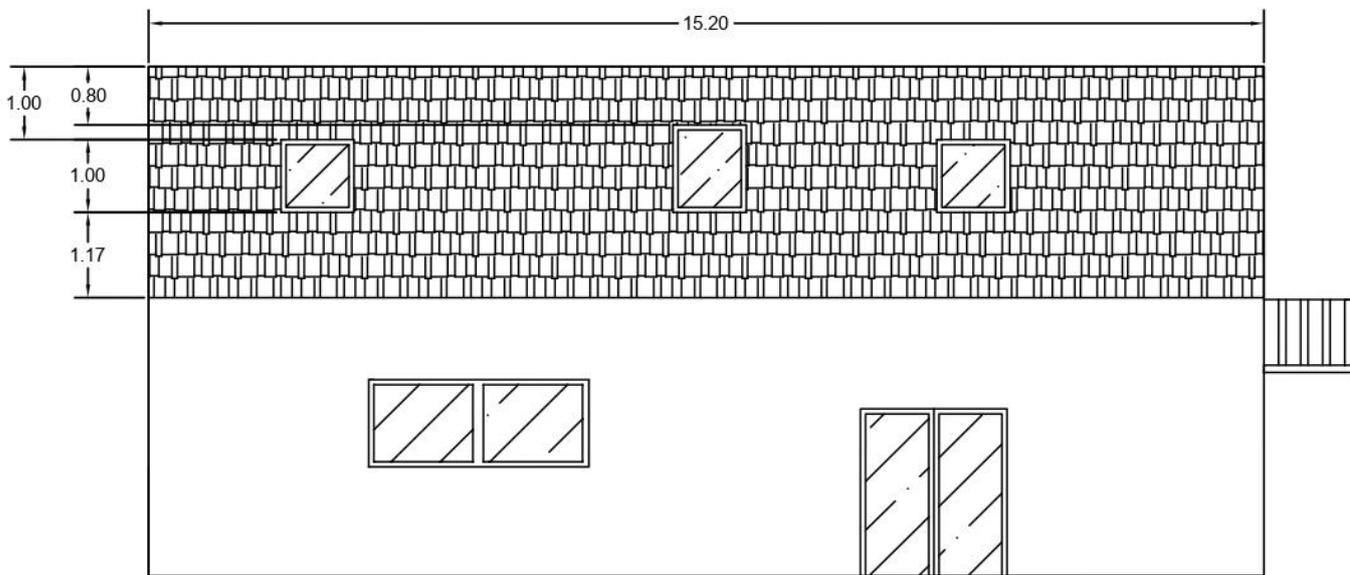
Balance energía por día tipo de mes (Wh)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	589,82	364,49	247,25	163,23	192,32	48,39	-183,59	-453,30	-340,07	58,43	540,57	179,89
2	414,66	136,03	368,27	325,64	645,65	78,66	-215,17	-565,61	-291,28	138,12	398,94	221,91
3	385,43	118,52	336,16	547,44	355,68	184,72	-338,89	-474,30	-242,47	58,35	206,03	427,20
4	400,22	161,12	626,50	499,98	292,46	213,71	-378,54	-475,84	-170,86	62,08	575,34	442,13
5	235,61	239,26	506,99	274,32	289,88	100,00	-303,00	-461,68	-202,86	87,15	185,97	474,01
6	192,44	205,97	380,48	162,89	256,68	112,88	-352,03	-384,92	-56,30	20,56	346,32	545,49
7	199,31	172,99	317,71	250,98	362,64	469,18	-116,21	-209,66	97,05	-51,95	506,44	430,84
8	265,07	251,76	667,54	353,19	566,70	495,17	321,14	119,13	34,92	-113,85	360,50	395,49
9	674,50	458,59	1213,64	446,82	517,22	774,86	435,61	315,15	248,23	32,62	1004,49	469,12
10	1250,24	563,83	1067,37	634,20	676,42	1030,25	746,37	561,23	290,17	204,23	1400,70	487,68
11	1268,87	701,91	916,99	933,65	809,15	921,89	797,08	535,76	279,90	290,82	1001,51	504,31
12	1137,48	440,24	1107,81	688,46	889,57	756,01	524,00	663,19	486,20	476,74	1053,49	554,86
13	1383,06	794,19	1276,01	837,41	801,13	1282,13	693,71	850,92	369,68	723,38	1076,67	521,15
14	1325,63	845,21	629,70	899,16	1200,25	1251,88	926,03	797,11	803,72	669,04	1309,50	866,06
15	809,44	845,40	1036,69	878,06	1100,49	1431,50	1024,84	877,04	510,00	555,50	848,14	587,18
16	535,57	876,91	1138,76	1071,03	1417,18	1195,75	1175,09	840,81	74,30	563,06	494,08	1020,99
17	215,70	594,41	1086,04	778,63	1467,09	1342,09	746,44	779,47	346,38	423,55	370,82	1018,34
18	427,33	249,19	828,70	859,92	1263,05	1307,89	609,26	390,74	316,99	6,82	179,67	473,93
19	-481,28	-66,27	566,25	562,66	816,68	780,17	561,03	302,87	87,08	-191,38	72,26	565,60
20	-506,84	-619,97	60,94	-50,18	-117,37	-71,87	87,31	193,26	-81,45	-186,90	-70,03	-94,02
21	-1460,17	-938,12	-657,54	-601,30	-367,32	29,98	-356,99	103,78	-328,09	-268,38	-327,97	-844,42
22	-1793,63	-496,05	-424,65	-558,34	-362,89	-423,74	-711,26	-188,68	-314,37	-1027,84	-1374,73	-610,55
23	-2077,40	-355,86	35,97	-283,65	133,37	-422,67	-145,49	-571,81	-978,59	-328,52	-896,45	-620,40
24	55,72	201,39	280,26	10,87	88,50	-254,58	-182,84	-518,60	-430,60	103,52	218,45	211,51

Anexo II. Planos vivienda



Nombre:
Íñigo Pérez Peñalver

Nº plano:
1

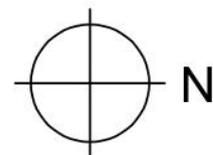
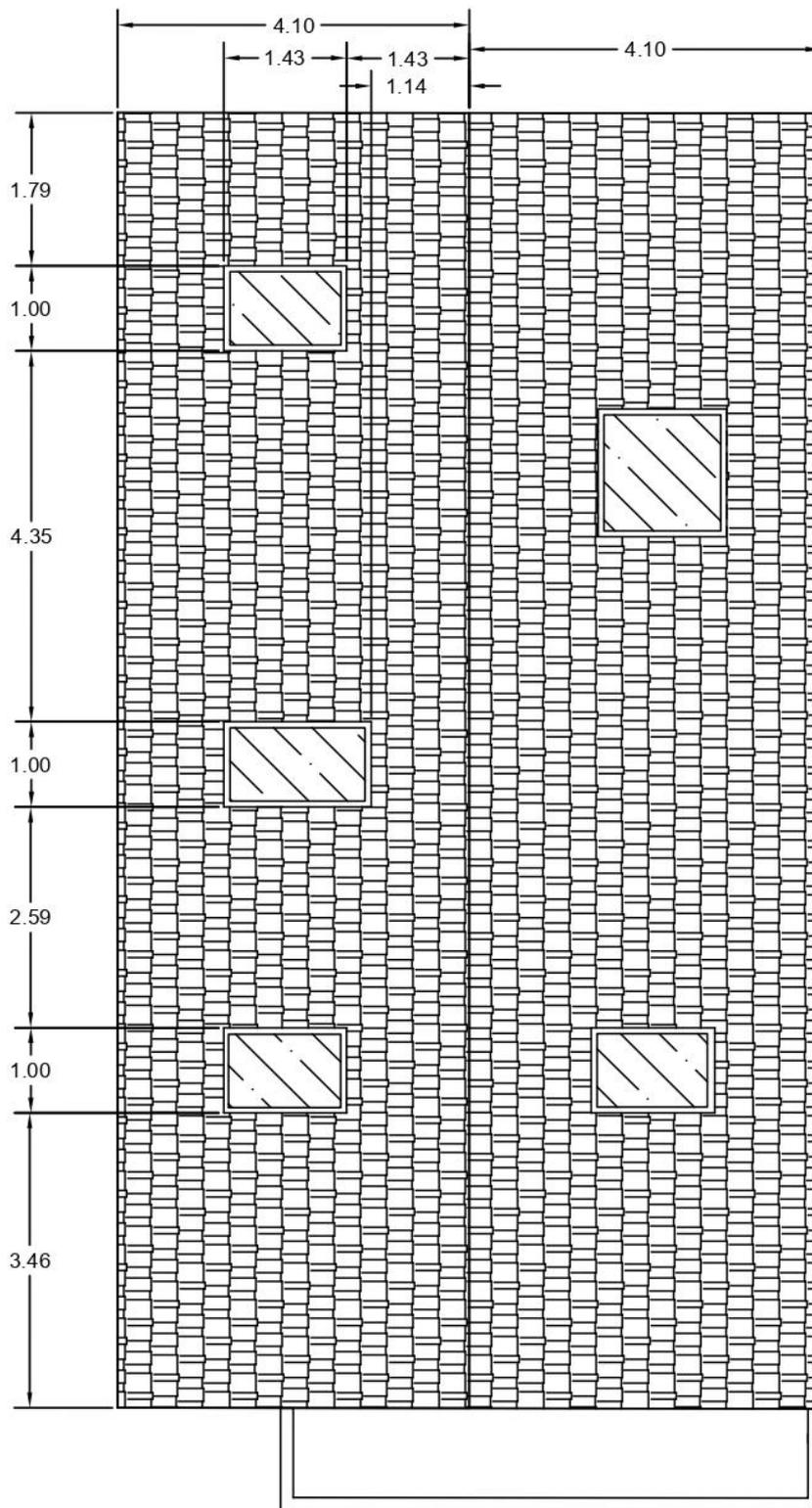


Nombre:

Íñigo Pérez
Peñalver

Nº plano:

2



Nombre:

Íñigo Pérez
Peñalver

Nº plano:

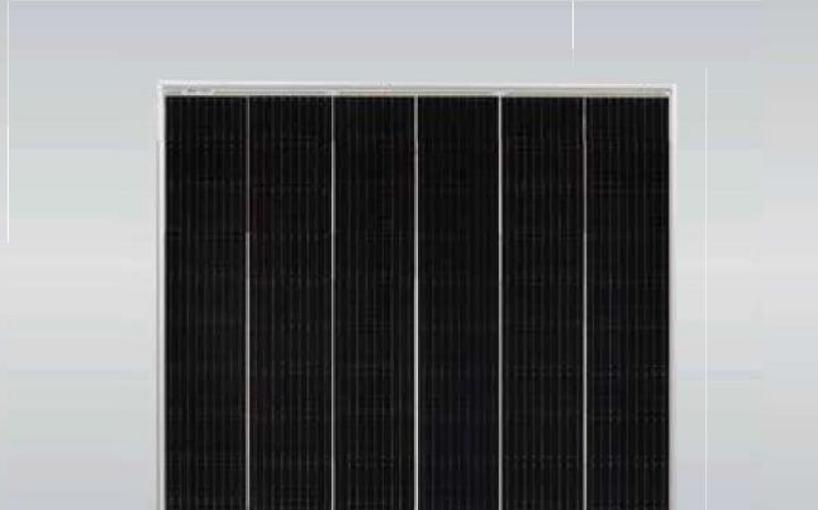
3

Anexo III. Ficha técnica panel fotovoltaico

Tiger Mono-facial 440-460 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%



KEY FEATURES



TR technology + Half Cell

TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 20.78%)



9BB instead of 5BB

9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.



Higher lifetime Power Yield

2.5% first year degradation,
0.6% linear degradation



Best Warranty

12 year product warranty,
25 year linear power warranty



Reduce Hot-spot issues

TR technology reduced the cell current in both bus bars and finger grid line to reduce hot-spot issues



Avoid debris, cracks and broken gate risk effectively

9BB technology using circular ribbon that could avoid debris, cracks and broken gate risk effectively



POSITIVE QUALITY™
Continuous Quality Assurance

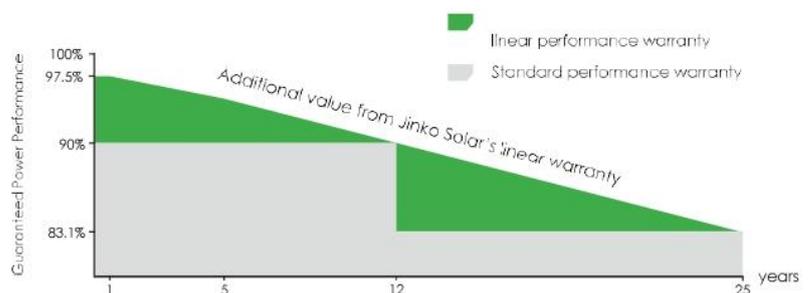


CLEAN ENERGY COUNCIL
MEMBER

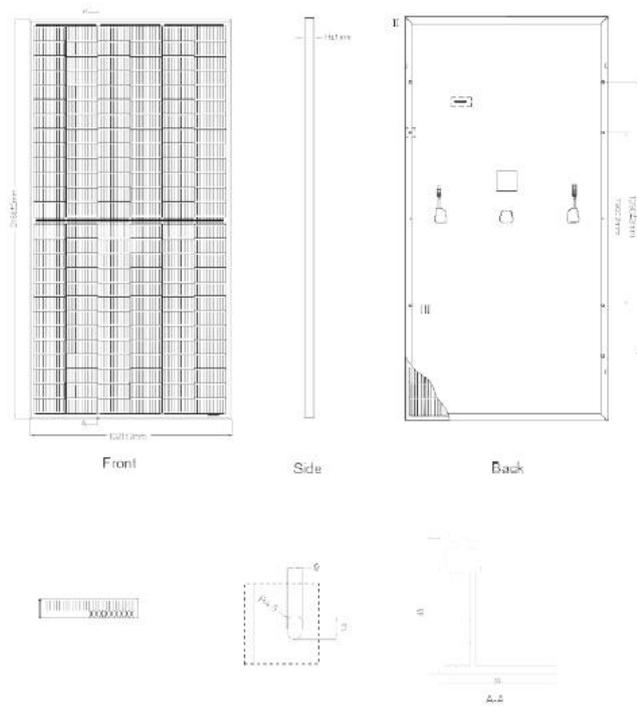
- ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730 certified product

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty
0.6% Annual Degradation Over 25 years



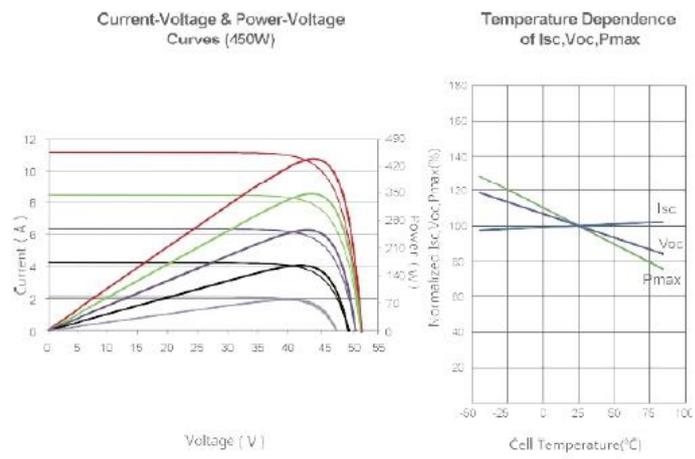
Engineering Drawings



Packaging Configuration

[Two pallets = One stack]
 27pcs/pallets, 54pcs/stack, 540pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2x78)
Dimensions	2168x1021x40mm (85.35x40.20x1.57 inch)
Weight	25.4 kg (56.0 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM440M-7RL3-V		JKM445M-7RL3-V		JKM450M-7RL3-V		JKM455M-7RL3-V		JKM460M-7RL3-V	
	STC	NOCT								
Maximum Power (Pmax)	440Wp	327Wp	445Wp	331Wp	450Wp	335Wp	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.81V	39.44V	42.92V	39.46V	43.02V	39.57V	43.13V	39.69V	43.24V	39.75V
Maximum Power Current (Imp)	10.28A	8.30A	10.37A	8.39A	10.46A	8.46A	10.55A	8.53A	10.64A	8.61A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.50V	48.51V	51.60V	48.60V	51.70V	48.70V	51.80V	48.79V	51.90V	48.88V
Short-circuit Current (Isc)	11.14A	9.00A	11.23A	9.07A	11.32A	9.14A	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A
Module Efficiency STC (%)	19.88%		20.10%		20.33%		20.56%		20.78%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

* STC: ☀️ Irradiance 1000W/m² 📏 Cell Temperature 25°C ☁️ AM=1.5
 NOCT: ☀️ Irradiance 800W/m² 📏 Ambient Temperature 20°C ☁️ AM=1.5 🌬️ Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance: ± 3%

Anexo IV: Fichas técnicas inversores



YC1000-3

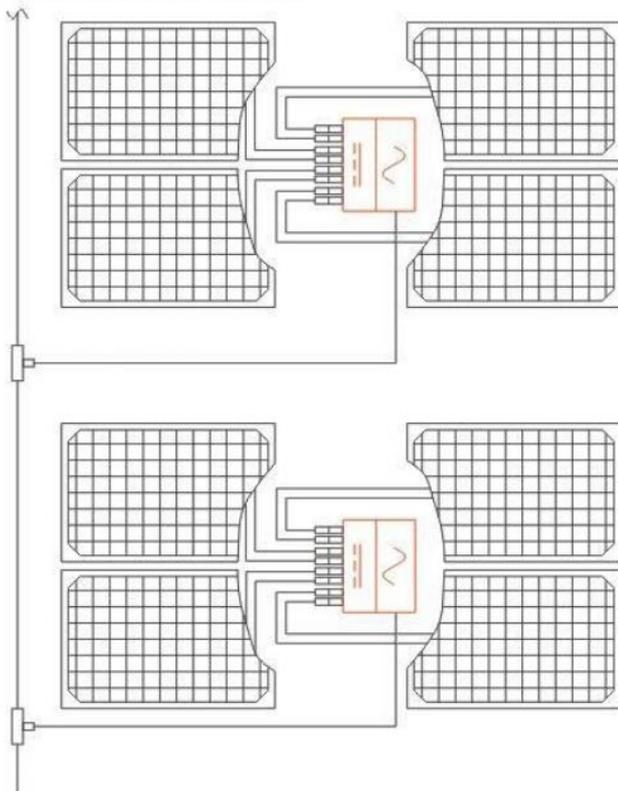
3-Phase Microinverter

- Single unit connects up to four modules
- Maximum 1130W AC output
- True 3-phase output
- Wireless communication and monitoring
- Up to 10 microinverters can be linked in a single 20A circuit*

*Please see YC1000 user manual on specifics for 230/400VAC.

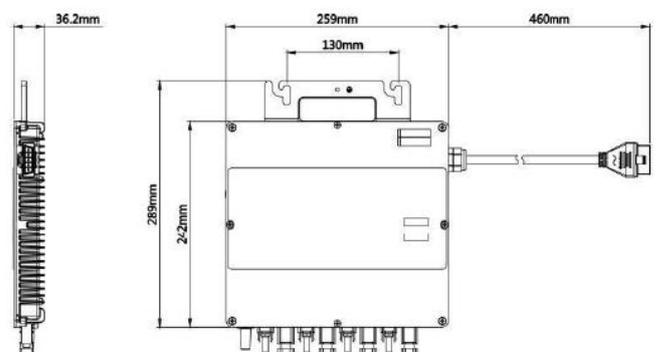
World's first true 3-phase microinverter – only from APsystems

WIRING SCHEMATIC



The YC1000 is the industry's first true 3-phase solar microinverter, handling commercial grid voltages of 230/400 with 1130 watts maximum output, Wireless communication and an integrated ground. Each YC1000 supports up to 4 solar modules.

DIMENSIONS



YC1000-3 3-Phase Microinverter Datasheet

Region

Netherlands,France,Portugal,Switzerland,etc.

Model

YC1000-3-EU

Input Data (DC)

Recommended PV Module Power (STC)Range	Up to 350 Wp (4 Module configuration) Up to 450 Wp (3 Module configuration)
--	--

MPPT Voltage Range 16V-55V

Operation Voltage Range 16V-55V

Maximum Input Voltage 60V

Startup Voltage 22V

Maximum Input Current 14.8A×4

Output Data (AC)

3-Phase Grid Type 230V/400V

Rated Output Power 900W

Maximum Output Power 1130W

Maximum Output Current 1.64A×3

Nominal Output Voltage/Range 230V×3/184V-253V*

Adjustable Output Voltage Range 149V-278V

Nominal Output Frequency/Range 50Hz/48Hz-51Hz*

Adjustable Output Frequency Range 45.1Hz-54.9 Hz

Power Factor >0.99

Total Harmonic Distortion <3%

Maximum Units per Branch 10units per 20AX3 AC breaker/12units per 25AX3 AC breaker

Efficiency

Peak Efficiency 95.5%

CEC Weighted Efficiency 95%

Nominal MPPT Efficiency 99.9%

Night Power Consumption 300mW

Mechanical Data

Operating Ambient Temperature Range -40°C to +65°C

Storage Temperature Range -40°C to +85°C

Dimensions (W x H x D) 259mm × 242mm × 36mm

AC BUS Maximum Current 20A(2.5mm²)

Weight 3.5kg

Enclosure Rating IP67

Cooling Natural Convection - No Fans

Features & Compliance

Communication Wireless

Safety and EMC Compliance EN 62109-1; EN 62109-2;EN61000-6-1; EN61000-6-2;
EN61000-6-3; EN61000-6-4;

Grid Connection Compliance EN50438;VDE126-1-1

Transformer Design High Frequency Transformers, Galvanically Isolated

* Programmable through ECU in field to meet customer need.

© All Rights Reserved

Specifications subject to change without notice - please ensure you are using the most recent update found at www.APsystems.com

Rue des Monts dor ZAC de Follieuses Sud-Les Echets 01700 Miribel, France | +33-481 65 60 40 | APsystems.com | emea@APsystems.com



SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS SYMO

/ Máxima flexibilidad para las aplicaciones del futuro



/ Tecnología SnapInverter



/ Comunicación de datos integrada



/ Diseño SuperFlex



/ Seguimiento inteligente GMP



/ Smart Grid Ready



/ Inyección cero



/ Con un rango de potencia nominal entre 3,0 y 20,0 kW, el Fronius Symo es el inversor trifásico sin transformador para todo tipo de instalaciones. Gracias a su flexible diseño, el Fronius Symo es perfecto para instalaciones en superficies irregulares o para tejados con varias orientaciones. La conexión a Internet a través de WLAN o Ethernet y la facilidad de integración de componentes de otros fabricantes hacen del Fronius Symo uno de los inversores con mayor flexibilidad en comunicaciones en el mercado. El inversor Fronius Symo puede completarse de manera opcional con un Fronius Smart Meter, que es un equipo que envía la información más completa al sistema de monitorización, consiguiendo además, que el inversor no incluya energía a la red eléctrica.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

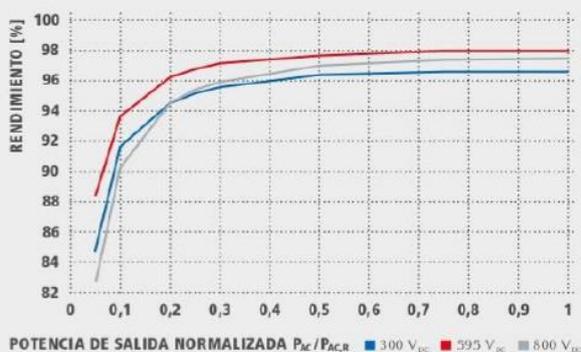
DATOS DE ENTRADA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max.1}$ / $I_{dc\ max.2}^{2)}$				16 A / 16 A		
Máx. corriente de cortocircuito por serie FV (MPP ₁ /MPP ₂) ¹⁾				24 A / 24 A		
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\ min.}$)				150 V		
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)				200 V		
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,n}$)				595 V		
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\ max.}$)				1.000 V		
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ min.}$ - $U_{mpp\ max.}$)	200 - 800 V	250 - 800 V	300 - 800 V		150 - 800 V	
Número de seguidores MPP		1			2	
Número de entradas CC		3			2-2	
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\ max.}$)	6,0kW _{pin}	7,4kW _{pin}	9,0kW _{pin}	6,0kW _{pin}	7,4kW _{pin}	9,0kW _{pin}
DATOS DE SALIDA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac,n}$)	3.000 W	3.700 W	4.500 W	3.000 W	3.700 W	4.500 W
Máxima potencia de salida	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac\ max.}$)	+3 A	5,3 A	6,5 A	+3 A	5,3 A	6,5 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)		3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frecuencia (rango de frecuencia)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Coefficiente de distorsión no lineal		< 3 %				
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac}$)		0,70 - 1 ind / cap		0,85 - 1 ind / cap		
DATOS GENERALES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)			645 x 431 x 204 mm			
Peso		16,0 kg			19,9 kg	
Tipo de protección			IP 65			
Clase de protección			1			
Categoría de sobretensión (CC / CA) ⁴⁾			2 / 3			
Consumo nocturno			< 1 W			
Concepto de inversor			Sin Transformador			
Refrigeración			Refrigeración de aire regulado			
Instalación			Instalación interior y exterior			
Margen de temperatura ambiente			-25 - +60 °C			
Humedad de aire admisible			0 - 100 %			
Máxima altitud		2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)				
Tecnología de conexión CC	3 x CC+ y 3 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ²			4 x CC+ y 4 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ² ⁴⁾		
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ²			5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ² ⁴⁾		
Certificados y cumplimiento de normas	OVE / ONORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, C83/2, UNE 206007-1, SI 4777 ⁴⁾ , CEI 0-21 ⁴⁾ , NRS 097					

¹⁾ Esto se aplica a Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M y 4.5-3-M.

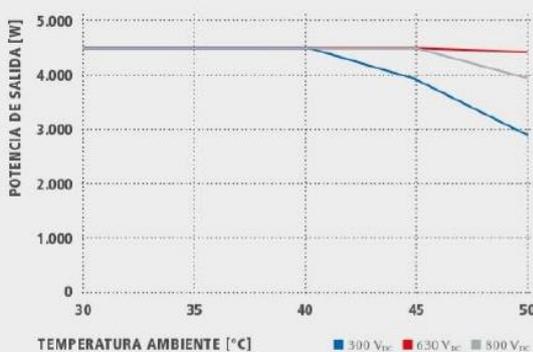
⁴⁾ De acuerdo con IEC 62109-1.

⁴⁾ 16 mm² sin necesidad de terminales de conexión. Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 4.5-3-S



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 4.5-3-S



DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %					
Rendimiento europeo (η_{EU})	96,2 %	96,7 %	97,0 %	96,5 %	96,9 %	97,2 %
η con 5 % P_{ACR} ¹⁾	80,3 / 83,6 / 79,1 %	83,4 / 86,4 / 80,6 %	84,8 / 88,5 / 82,8 %	79,8 / 85,1 / 80,8 %	81,6 / 87,8 / 82,8 %	83,4 / 90,3 / 85,0 %
η con 10 % P_{ACR} ¹⁾	87,8 / 91,0 / 86,2 %	90,1 / 92,5 / 88,7 %	91,7 / 93,7 / 90,3 %	86,5 / 91,6 / 87,7 %	87,9 / 93,6 / 90,5 %	89,2 / 94,1 / 91,2 %
η con 20 % P_{ACR} ¹⁾	92,6 / 95,0 / 92,6 %	93,7 / 95,7 / 93,6 %	94,6 / 96,3 / 94,5 %	90,8 / 95,3 / 93,0 %	91,9 / 96,0 / 94,1 %	92,8 / 96,5 / 95,1 %
η con 25 % P_{ACR} ¹⁾	93,4 / 95,6 / 93,8 %	94,5 / 96,4 / 94,7 %	95,2 / 96,8 / 95,4 %	91,9 / 96,0 / 94,2 %	92,9 / 96,6 / 95,2 %	93,5 / 97,0 / 95,8 %
η con 30 % P_{ACR} ¹⁾	94,0 / 96,3 / 94,5 %	95,0 / 96,7 / 95,4 %	95,6 / 97,2 / 95,9 %	92,8 / 96,5 / 95,1 %	93,5 / 97,0 / 95,8 %	94,2 / 97,3 / 96,3 %
η con 50 % P_{ACR} ¹⁾	95,2 / 97,3 / 96,3 %	96,9 / 97,6 / 96,7 %	96,4 / 97,7 / 97,0 %	94,3 / 97,5 / 96,5 %	94,6 / 97,7 / 96,8 %	94,9 / 97,8 / 97,2 %
η con 75 % P_{ACR} ¹⁾	95,6 / 97,7 / 97,0 %	96,2 / 97,8 / 97,3 %	96,6 / 98,0 / 97,4 %	94,9 / 97,8 / 97,2 %	95,0 / 97,9 / 97,4 %	95,1 / 98,0 / 97,5 %
η con 100 % P_{ACR} ¹⁾	95,6 / 97,9 / 97,3 %	96,2 / 98,0 / 97,5 %	96,6 / 98,0 / 97,5 %	95,0 / 98,0 / 97,4 %	95,1 / 98,0 / 97,5 %	95,0 / 98,0 / 97,6 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %					

¹⁾ Y con $U_{mpp, min.} / U_{dc} / U_{mpp, max.}$

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí					
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia					
Seccionador CC	Sí					
Protección contra polaridad inversa	Sí					

INTERFACES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interfaz receptor del control de onda					
USB (Conector A) ¹⁾	Datalogging, actualización de inversores via USB					
2 conectores RJ 45 (RS422) ¹⁾	Fronius Solar Net					
Salida de aviso ¹⁾	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)					
Datalogger y Servidor web	Incluido					
Input externo ¹⁾	Interfaz S0-Meter / Input para la protección contra sobretensión					
RS485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador					

¹⁾ También disponible en la versión light.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

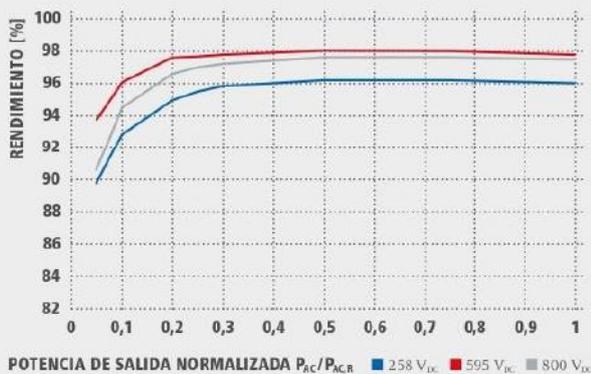
DATOS DE ENTRADA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ máx. 1} / I_{dc\ máx. 2}$)			16 A / 16 A	
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP ₁ /MPP ₂)			24 A / 24 A	
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\ mín.}$)			150 V	
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)			200 V	
Tensión de entrada nominal ($U_{dc, n}$)			595 V	
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\ máx.}$)			1.000 V	
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ mín.} - U_{mpp\ máx.}$)	163 - 800 V	195 - 800 V	228 - 800 V	267 - 800 V
Número de seguidores MPP			2	
Número de entradas CC			2 + 2	
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\ máx.}$)	10.0kW _{ptoc}	12.0kW _{ptoc}	14.0kW _{ptoc}	16.4kW _{ptoc}
DATOS DE SALIDA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac, n}$)	5.000 W	6.000 W	7.000 W	8.200 W
Máxima potencia de salida	5.000 VA	6.000 VA	7.000 VA	8.200 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac\ máx.}$)	7,2 A	8,7 A	10,1 A	11,8 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)		3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (-20 % / -30 %)		
Frecuencia (rango de frecuencia)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Coefficiente de distorsión no lineal		< 3%		
Factor de potencia ($\cos \phi_{ac, n}$)		0.85 - 1 ind. / cap.		
DATOS GENERALES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)		645 x 431 x 204 mm		
Peso	19,9 kg			21,9 kg
Tipo de protección		IP 65		
Clase de protección		1		
Categoría de sobretensión (CC / CA) ¹⁾		2 / 3		
Consumo nocturno		< 1 W		
Concepto de inversor		Sin Transformador		
Refrigeración		Refrigeración de aire regulada		
Instalación		Instalación interior y exterior		
Margen de temperatura ambiente		-25 - +60 °C		
Humedad de aire admisible		0 - 100 %		
Máxima altitud		2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)		
Tecnología de conexión CC		4 x CC+ y 4 x CC bornes roscados 2,5 - 16mm ² †		
Tecnología de conexión principal		5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16mm ² †		
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 6001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21, NRS 097			

¹⁾ De acuerdo con IEC 62109-1.

† 16 mm² sin necesidad de terminales de conexión.

Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 8.2-3-M



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 8.2-3-M



DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %			
Rendimiento europeo (η_{EU})	97,3 %	97,5 %	97,6 %	97,7 %
η con 5 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	84,9 / 91,2 / 85,9 %	87,8 / 92,6 / 87,8 %	88,7 / 93,1 / 89,0 %	89,8 / 93,8 / 90,6 %
η con 10 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	89,9 / 94,6 / 91,7 %	91,3 / 95,6 / 93,0 %	92,0 / 95,9 / 94,7 %	92,8 / 96,1 / 94,5 %
η con 20 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	93,2 / 96,7 / 95,4 %	94,1 / 97,1 / 95,9 %	94,5 / 97,3 / 96,3 %	95,0 / 97,6 / 96,6 %
η con 25 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	93,9 / 97,2 / 96,0 %	94,7 / 97,5 / 96,5 %	95,1 / 97,6 / 96,7 %	95,5 / 97,7 / 97,0 %
η con 30 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	94,5 / 97,4 / 96,5 %	95,1 / 97,7 / 96,8 %	95,4 / 97,7 / 97,0 %	95,8 / 97,8 / 97,2 %
η con 50 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	95,2 / 97,9 / 97,3 %	95,7 / 98,0 / 97,5 %	95,9 / 98,0 / 97,5 %	96,2 / 98,0 / 97,6 %
η con 75 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	95,3 / 98,0 / 97,5 %	95,7 / 98,0 / 97,6 %	95,9 / 98,0 / 97,6 %	96,2 / 98,0 / 97,6 %
η con 100 % $P_{AC,R}$ ¹⁾	95,2 / 98,0 / 97,6 %	95,7 / 97,9 / 97,6 %	95,8 / 97,9 / 97,5 %	96,0 / 97,8 / 97,5 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %			

¹⁾ Y con $U_{MPp\ min.}/U_{AC,r}/U_{MPp\ máx.}$

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí			
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia			
Seccionador CC	Sí			
Protección contra polaridad inversa	Sí			

INTERFACES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interface receptor del control de onda			
USB (Conector A) ²⁾	Datalogging, actualización de inversores vía USB			
2 conectores RJ 45 (RS422) ²⁾	Fronius Solar Net			
Salida de aviso ²⁾	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)			
Datalogger y Servidor web	Incluido			
Input externo ²⁾	Interface SG-Meter / Input para la protección contra sobretensión			
RS485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador			

²⁾ También disponible en la versión light.

Serie XS

MPPT único, Monofásico



Ficha técnica	GW700-XS	GW1000-XS	GW1500-XS	GW2000-XS	GW2500-XS	GW3000-XS
Datos de entrada de cadena FV						
Potencia máx. entrada CD (W)	910	1300	1950	2600	3250	3900
Tensión máx. entrada CD (V)	500	500	500	500	500	500
Rango de tensión MPPT (V)	40-450	40-450	50-450	50-450	50-450	50-450
Tensión de arranque (V)	40	40	50	50	50	50
Min. Voltaje de alimentación (V)	50	50	75	75	75	75
Tensión nominal entrada CD (V)	360	360	360	360	360	360
Corriente máx. entrada (A)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Corriente máx de cortocircuito (A)	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6
No. de rastreadores MPPT	1	1	1	1	1	1
No. de cadenas de entrada por rastreador	1	1	1	1	1	1
Datos de salida CA						
Potencia nominal de salida (W)	700	1000	1500	2000	2500	3000
Potencia máx. aparente de salida (VA)	770*1	1100*1	1650*1	2200*1	2750*1	3300*1
Tensión nominal de salida (V)	230	230	230	230	230	230
Frecuencia nominal de salida (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Corriente máx. de salida (A)	3.5	4.8	7.2	9.6	12	14.3
Factor de potencia de salida	~1 (Ajustable desde 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo)					
THDi de salida (salida nominal)	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Eficiencia						
Eficiencia máx.	97.2%	97.2%	97.3%	97.5%	97.6%	97.6%
Euro eficiencia	96.0%	96.4%	96.6%	97.0%	97.2%	97.2%
Protección						
Protección anti-isla	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de polaridad inversa de entrada	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Detección resistencia de aislamiento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección contra Sobretensiones (SPD) CC	Integrado (Tipo III)					
Protección contra Sobretensiones (SPD) CA	Integrado (Tipo III)					
Unidad de Monitorización de Corriente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobrecorriente de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección cortocircuito de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobretensión de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Datos generales						
Rango temp. operativa (°C)	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60
Humedad relativa	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Altitud operativa (m)	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000
Enfriamiento	Convección natural					
Interfaz del usuario	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED
Comunicación	WiFi ó LAN ó RS485					
Peso (kg)	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Tamaño (ancho*alto*largo mm)	295*230*113	295*230*113	295*230*113	295*230*113	295*230*113	295*230*113
Grado de protección	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Autoconsumo nocturno (W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Topología	Sin transformador					

*1: Para Bélgica Máx. Potencia aparente de salida (VA); GW700-XS es 700; GW1000-XS es 1000; GW1500-XS es 1500; GW2000-XS es 2000; GW2500-XS es 2500; GW3000-XS es 3000.
 *: Visite el sitio web de GoodWe para obtener los últimos certificados.



INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO

INVERSOR SENOIDAL

TAURO BC



Referencia: MU-17-AH

INFORMACIÓN TÉCNICA

MODELO	712	1512	824	1524	1524/V	2024/V	3024/V	848	1548	2548	2548/V	5048/V	4120/V
Especificaciones Eléctricas													
Potencia Nominal a 20°C	700 VA	1500 VA	800 VA	1500 VA	1500 VA	2000 VA	3000 VA	800 VA	1500 VA	2500 VA	2500 VA	5000 VA	4000 VA
Tensión Nominal de Entrada	12 Vdc			24 Vdc				48 Vdc			120 Vdc		
Rango Tensión de Entrada (Vdc)	10-16			20-32				40-64			100-160		
Desconexión Automática Baja Tensión (Vdc)	10.8-11.6			21.9-23.2				43.8-46.4			108-116		
Potencia Pico de Arranque	+300%												
Intensidad máxima de Pico de Arranque en DC	160 A	150 A	180 A	300 A	350 A	150 A	180 A	350 A	90 A				
Forma de Onda	Senoidal Pura												
Tensión Nominal de Salida	230 Vac o 110 Vac (según modelo)												
Rango Tensión de salida	± 7 %												
Frecuencia Nominal de Salida	50 Hz o 60Hz (según modelo)												
Rango Frecuencia de salida	± 0,1 Hz												
Distorsión Armónica Media	< 4 %												
Rendimiento Máximo	93 %												
Potencia en Régimen Constante	450 VA	1400 VA	500 VA	900 VA	1350 VA	1800 VA	2800 VA	600 VA	900 VA	1100 VA	2300 VA	4200 VA	3800 VA
Opción de tensión de salida 110V y 60Hz	Sí	Sí	Sí	Sí		No	Sí			Sí		Sí	Sí
Sensibilidad para Arranque Automático	9 W												
Consumo aprox. en Vacío a tensión nominal generando AC.	0.70 A	0,80 A	0.35 A	0.39 A	0.65 A	0.85 A	0.15 A	0.25 A	0.30 A	0.86 A	0.30 A		
Consumo Medio en automático	70 mA		48 mA	60 mA	70 mA	32 mA	38 mA	90 mA	38 mA				
Consumo Mínimo en automático	47 mA		33 mA	33 mA	25 mA								
Sistema de Aislamiento	Transformador toroidal según norma VDE-0550												
Especificaciones Físicas													
Fomato (ver página siguiente)	A	B	A	B	A	B	A	B					
Sistema de Refrigeración (por convección)	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada					
Rango de Temperatura de Trabajo	-5 / +40 °C												
Humedad Relativa Máxima (sin condensación)	< 95%												
Dimensiones aprox. (en mm.)	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233					
Peso (aprox.)	14 Kg	30 Kg	14 Kg	17 Kg	34 Kg	34 Kg	14 Kg	17 Kg	19 Kg	34 Kg	32 Kg		
Índice de protección	IP20												
Material envolvente	Chapa de Aluminio pintada con resina EPOXI en caliente												
Tornillería	Acero Inox												

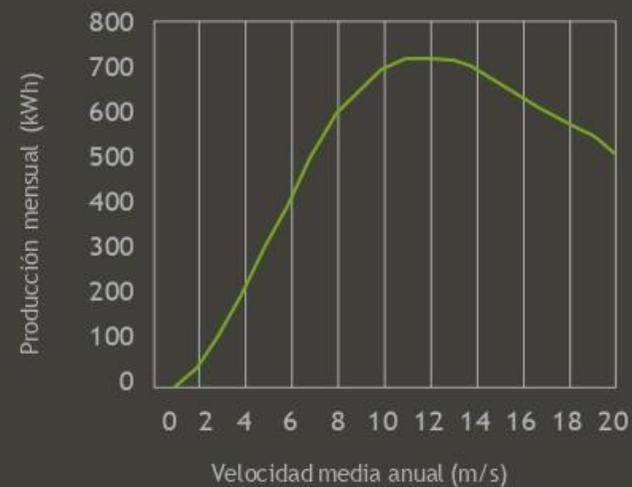
Anexo V: Fichas técnicas aerogeneradores

BORNAY1500

Curva de potencia



Energía



➔ 20 21

Características técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	2,86 mts
Material	Fibra de vidrio/carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1. Regulador electrónico 2. Pasivo por inclinación

Características eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	1500 w
Voltaje	24, 48, 120 v
RPM	@ 700
Regulador	24 v 80 Amp 48 v 40 Amp 120v. Conexión red

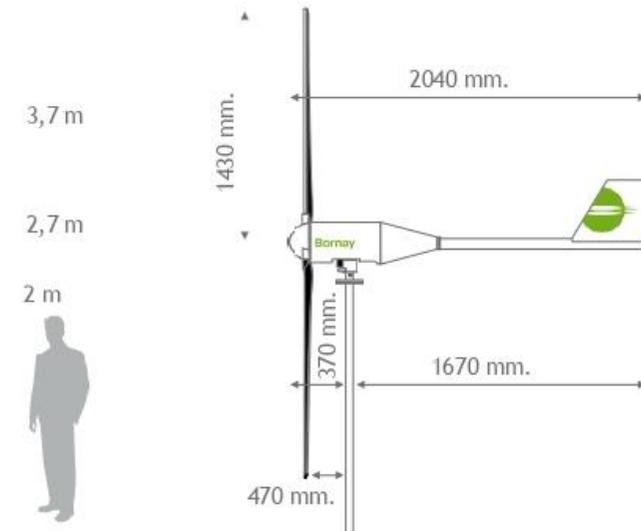
Velocidad del viento

Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad del viento	60 m/s

Características físicas

Peso aerogenerador	41 kg
Peso regulador	8 kg
Embalaje	50 x 77 x 57 cm - 57 kg
Dimensiones - peso	153 x 27 x 7 cm - 6,8 kg
Total	0,23 m ³ - 61,8 Kgr
Garantía	3 años

Bornay 



➤ 22 23

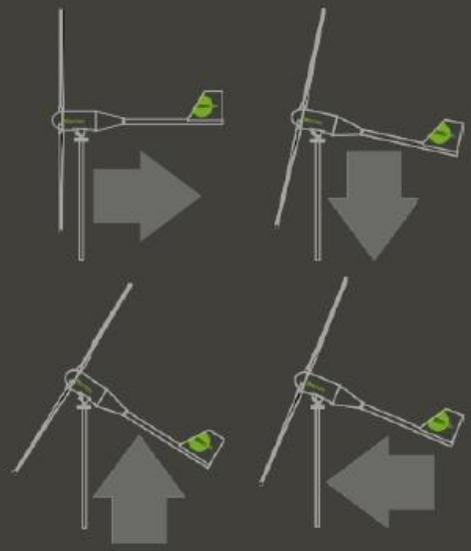
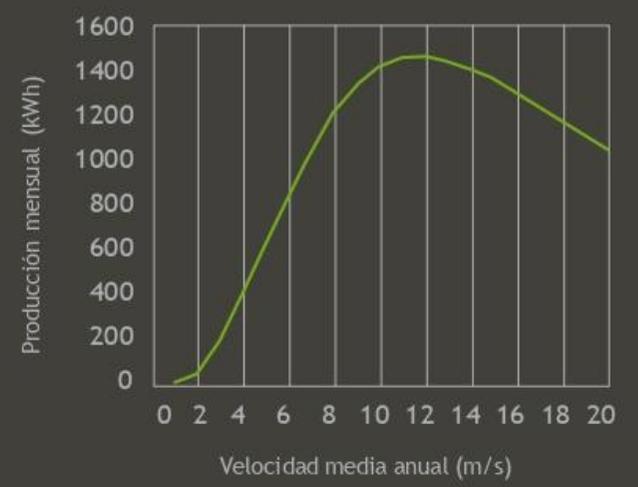


BORNAY3000

Curva de potencia



Energía





Característica técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	4 mts
Material	Fibra de vidrio/carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1. Regulador electrónico 2. Pasivo por inclinación

Características eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	3000 w
Voltaje	24, 48, 120 v
RPM	@ 500
Regulador	24 v 150 Amp 48 v 75 Amp 120v. Conexión a red

Velocidad del viento

Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad del viento	60 m/s

Características físicas

Peso aerogenerador	93 kg
Peso regulador	14 kg
Embalaje	120 x 80 x 80 cm - 135 kg
Dimensiones - peso	220 x 40 x 15 cm - 19 kg
Total	0,90 m ³ - 154 Kgr
Garantía	3 años

