



Universidad de
Oviedo



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS

Mención en Recursos Energéticos, Combustibles y Explosivos

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Autor(a): Andrea Fernández Chavarría

Tutor(a): Juan Carlos Ríos Fernández

Julio, 2024



Universidad de
Oviedo





Universidad de
Oviedo



Declaración de Originalidad del Trabajo Fin de Grado

D./Dña. Andrea Fernández Chavarría estudiante del Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros y Energéticos de la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo, declaro bajo mi responsabilidad que:

El Trabajo de Fin de Grado aquí presentado con título “Diseño Energético de una vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables” ha sido realizado bajo mi autoría, es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Para que así conste, firmo la presente declaración.

En Mieres, a 1 de Julio de 2024.

Andrea Fernández Chavarría



Relación del TFG con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS con los que se relaciona el TFG:



Justificación:

ODS 3: La vivienda Passivhaus garantiza una excelente calidad del aire interior y confort térmico, mejorando la salud de sus ocupantes.

ODS 7: Promueve el uso de energías renovables y la eficiencia energética, lo cual es clave en una vivienda Passivhaus.

ODS 11: Fomenta la construcción de viviendas sostenibles y eficientes que mejoran la calidad de vida en entornos urbanos.

ODS 12: Implementa materiales y prácticas de construcción sostenibles, reduciendo el impacto ambiental de la vivienda.

ODS 13: Contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el diseño eficiente y el uso de energías limpias.

ODS 15: Minimiza el impacto ambiental de la construcción, protegiendo los ecosistemas y promoviendo el uso sostenible de la tierra.



RESUMEN

En este **Trabajo Final de Grado** se presenta una memoria técnica, compuesta por una memoria descriptiva y unos anexos, del diseño energético de una vivienda unifamiliar aislada con certificación *Passivhaus*, ubicada en la ciudad de Gijón, en el Principado de Asturias. La finalidad de esta memoria es servir como base en el desarrollo futuro del proyecto de la vivienda.

Este TFG aborda el diseño energético de una vivienda pasiva, aplicando los principios del estándar *Passivhaus*. Para lograrlo, se analizarán y aplicarán estrategias como el aislamiento térmico avanzado, la hermeticidad del edificio, la ventilación mecánica con recuperación de calor y el aprovechamiento óptimo de la energía solar. Además, se evaluará la integración de tecnologías de energías renovables, tales como paneles solares fotovoltaicos, sistemas de energía eólica y soluciones de almacenamiento de energía, para minimizar la dependencia de fuentes de energía no renovables

El objetivo principal es demostrar que es posible crear un hogar que no solo cumpla con los requisitos de eficiencia energética y sostenibilidad, sino que también ofrezca un alto nivel de confort y habitabilidad para sus ocupantes.

También se presentan ciertos aspectos constructivos de la vivienda desarrollados paralelamente en otro TFG titulado *“Diseño y Cálculo de una Vivienda Unifamiliar Aislada Bajo el Estándar Passivhaus”*.

Para finalizar el documento, se detallan una serie de conclusiones, donde no solo se busca demostrar la viabilidad técnica y económica de las viviendas pasivas abastecidas con energías renovables, sino también destacar la importancia de avanzar hacia un futuro más sostenible y consciente del medio ambiente.



ABSTRACT

In this **Final Degree Project**, a technical report is presented consisting of a descriptive report and annexes on the energy design of a detached single-family house with Passivhaus certification, located in the city of Gijón, Principality of Asturias. The purpose of this report is to serve as a base in the future development of the housing project.

This project presents the energy design of a passive house by applying the principles of the Passivhaus standard. To achieve this, strategies such as advanced thermal insulation, building airtightness, mechanical ventilation with heat recovery, and the optimal use of solar energy will be analyzed and implemented. Additionally, the integration of renewable energy technologies, such as photovoltaic solar panels, wind energy systems, and energy storage solutions, will be evaluated to minimize dependence on non-renewable energy sources.

The principal objective is to demonstrate the feasibility of creating a home that not only meets energy efficiency and sustainability requirements but also provides a high level of comfort and livability for its occupants.

Additionally, certain construction aspects of the house are presented, developed concurrently in another TFG titled “Diseño y Cálculo de una Vivienda Unifamiliar Aislada Bajo el Estándar Passivhaus.”

To summarize the report, a series of conclusions are detailed, aiming not only to demonstrate the technical and economic viability of passive houses supplied with renewable energies but also to emphasize the importance of advancing towards a more sustainable and environmentally conscious future.



Universidad de
Oviedo



MEMORIA DESCRIPTIVA



Índice De Contenido

1.	Antecedentes.....	11
1.1.	Necesidad de un futuro más sostenible.....	11
1.2.	Arquitectura pasiva.....	11
1.3.	Energías renovables.....	13
1.4.	Energía solar.....	13
1.5.	Estándar passivhaus.....	16
1.6.	Principios básicos passivhaus.....	16
1.7.	Criterios passivhaus.....	19
1.8.	Estándar passivhaus en españa.....	19
1.9.	Contexto de la edificación en españa.....	19
1.10.	Implementación del estándar passivhaus en españa.....	20
1.11.	Beneficios y perspectivas.....	20
1.12.	Software phpp 	21
2.	Objeto.....	21
3.	Características de la vivienda.....	22
3.1.	Situación y emplazamiento.....	22
3.2.	Datos característicos.....	23
3.3.	Microclima.....	25
4.	Diseño de vivienda aplicando los principios del estándar passivhaus.....	25
4.1.	Diseño bioclimático.....	25
4.2.	Protección solar.....	27
4.3.	Aislamiento térmico.....	28



4.3.1.	Fachadas	29
4.3.2.	Cubierta vegetal.....	29
4.3.3.	Cubierta invertida	30
4.3.4.	Solera	30
4.4.	Hermeticidad al paso del aire	31
4.5.	Carpinterías de altas prestaciones.....	32
4.6.	Ausencia de puentes térmicos.....	32
4.7.	Ventilación mecánica con recuperación de calor	33
4.8.	Calefacción y acs	34
5.	Diseño de instalación solar	36
5.1.	Instalación solar térmica.....	36
5.2.	Instalación solar fotovoltaica.....	37
6.	Análisis de resultados y conclusiones	39

Índice De Ilustraciones

Ilustración 1.	Radiación solar en España. Fuente: PlaSol	15
Ilustración 2.	Regla del rotulador. Fuente: Passive House Institute	17
Ilustración 3.	Regla del lápiz. Fuente: Passive House Institute.....	18
Ilustración 4:	Ubicación del Principado de Asturias. Fuente: Google Maps.....	22
Ilustración 5:	Ubicación del barrio de Somió, en la localidad de Gijón. Fuente: Google Maps	22
Ilustración 6:	Ubicación exacta de la vivienda. Fuente: Google Maps	23
Ilustración 7:	Fachada sur, entrada principal de la vivienda. Fuente: Elaboración propia	24
Ilustración 8:	Fachada oeste de la vivienda. Fuente: Elaboración propia	24



Ilustración 9. Orientación solar a las ocho de la tarde en el mes de junio (verano). Fuente: Elaboración propia..... 26

Ilustración 10. Orientación solar a las ocho de la tarde en el mes de diciembre (invierno). Fuente: Elaboración propia..... 26

Ilustración 11. Control entrada radiación solar con voladizos y lamas verticales. Fuente: Elaboración propia..... 28

Ilustración 12. Sección fachadas. Fuente: Elaboración propia..... 29

Ilustración 13. Sección cubierta vegetal. Fuente: Elaboración propia 29

Ilustración 14. Sección cubierta invertida. Fuente: Elaboración propia..... 30

Ilustración 15. Sección solera. Fuente: Elaboración propia 31

Ilustración 16. Balance energético de calefacción (método mensual). Fuente: PHPP.. 34

Ilustración 17. Calentamiento de ACS y pérdidas por distribución en kWh/a. Fuente: PHPP..... 35

Ilustración 18. Ubicación de los paneles solares (área en rojo). Fuente: Elaboración propia 36

Ilustración 19. Demanda de calor cubierta por energía solar. Fuente: PHPP..... 37

Ilustración 20. Rendimiento mensual de los módulos fotovoltaicos. Fuente: PHPP 38

Ilustración 21 .Clasificación de la vivienda pasiva con la herramienta PHPP. Fuente: PHPP..... 39

Índice De Tablas

Tabla 1. Valores radiación solar global zonas en España. Fuente: PlaSol 15

Tabla 2 .Valores críticos para certificación Passivhaus Classic. Fuente: Passive House Institute [7] 19

Tabla 3.Disposición de estancias por plantas y superficies ocupadas. Fuente: Elaboración propia 23

Tabla 4. Características de la carpintería según fabricante. Fuente: Smartwin 32

Tabla 5 .Valores-U promedio de toda la envolvente térmica. Fuente: PHPP 32



Tabla 6. Características de los paneles solares fotovoltaicos según fabricante. Fuente: AIKO 38

Tabla 7. Valores específicos en referencia a SRE de la vivienda obtenidos. Fuente: PHPP 39



1. Antecedentes

1.1. NECESIDAD DE UN FUTURO MÁS SOSTENIBLE

En la actualidad, la búsqueda de un mundo más sostenible no solo es una aspiración, sino una necesidad imperativa. A medida que enfrentamos desafíos ambientales globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la escasez de recursos, se hace evidente que el modelo actual de desarrollo no es viable a largo plazo.

La **sostenibilidad** se presenta como la clave para revertir esta tendencia, especialmente en sectores críticos como la edificación. La construcción y operación de edificaciones representan una parte significativa del consumo de recursos naturales y energía, así como una fuente considerable de emisiones de gases de efecto invernadero. Adoptar prácticas sostenibles en la edificación no solo reduce estos impactos negativos, sino que también promueve entornos más saludables y eficientes para quienes los ocupan. Desde la planificación y el diseño hasta la elección de materiales y tecnologías constructivas, cada decisión en el ciclo de vida de un edificio puede contribuir significativamente a la mitigación de la huella ambiental y al fomento de comunidades más resilientes y habitables. [2]

En este documento, exploraremos cómo la sostenibilidad en la edificación no solo beneficia al medio ambiente, sino que también genera valor económico y mejora la calidad de vida de las personas, sentando así las bases para un futuro más equitativo y próspero.

1.2. ARQUITECTURA PASIVA

La arquitectura pasiva es un enfoque de diseño y construcción que busca maximizar la eficiencia energética y el confort interior de los edificios, aprovechando al máximo los recursos naturales disponibles, tales como la radiación solar, el viento y la inercia térmica. Este enfoque se basa en una serie de estrategias y principios que permiten reducir al mínimo la necesidad de sistemas de climatización artificial, logrando así un menor consumo de energía y una mayor sostenibilidad ambiental. [5]

A continuación, se detallan los aspectos más importantes de la arquitectura pasiva, teniendo en cuenta los conceptos previamente mencionados:

La **compacidad** de un edificio, definida como el cociente entre el volumen del espacio interior y la superficie envolvente, es crucial para minimizar las pérdidas térmicas. Un valor cercano a 1 indica una mayor compacidad, lo que se traduce en menos posibilidades de disipación de calor a través de infiltraciones, evaporación y convección. En climas fríos, se busca maximizar la compacidad para reducir las pérdidas térmicas, mientras que



en climas cálidos no es necesario un uso tan estricto de esta estrategia, ya que se prioriza la creación de sombras con una envolvente más extensa.

La **orientación** del edificio con relación al entorno es fundamental para el diseño pasivo. Una orientación adecuada favorece el balance entre pérdidas y ganancias energéticas, priorizando las mejores orientaciones para las zonas de mayor uso del edificio. Aunque en muchos casos no es posible cambiar la orientación del volumen completo del edificio, la distribución interior puede optimizarse para mejorar los resultados térmicos.

El análisis del **clima** incluye la consideración de parámetros como la continentalidad y la termicidad invernal y estival. La continentalidad, expresada como la diferencia en grados entre la temperatura media del mes más cálido y la del mes más frío, ayuda a adecuar la envolvente del edificio a las variaciones de temperatura durante el año. La termicidad invernal y estival determina el tipo de aislamiento y el nivel de ventilación natural necesarios para adaptarse a las condiciones climáticas.

El **microclima** del lugar de emplazamiento es un factor crítico, influido principalmente por la acción del sol y el viento. El sol calienta el aire y la tierra, que a su vez irradian el calor recibido, mientras que el viento modifica estas condiciones a través del movimiento del aire. La radiación solar directa e indirecta afecta la temperatura interior del edificio, por lo que las protecciones solares deben optimizar la incidencia solar en invierno y moderarla en verano.

La **ventilación** es una estrategia clave para mantener el confort térmico y la calidad del aire interior. La ventilación cruzada es la más eficiente para disipar el calor y disminuir la humedad, requiriendo una corriente de viento mínima de 2.5 m/s y una distancia máxima entre ventanas de cinco veces la altura del piso al cielorraso. La ventilación por efecto chimenea es útil en edificios de planta profunda y entornos densos, mejorando el confort interior en ausencia de ventilación cruzada eficiente.

La **inercia térmica** de la envolvente opaca permite controlar la carga solar del edificio, absorbiendo energía solar durante el día y liberándola cuando las temperaturas disminuyen. Materiales con alta capacidad calorífica, mediana conductividad térmica, alta densidad y espesor considerable son ideales para amortiguar los cambios de temperatura. En climas con alta amplitud térmica diaria, la envolvente debe amortiguar estos cambios dentro del edificio.

El **Factor de Forma** (FF) cuantifica la relación entre la forma de un edificio y su capacidad de intercambio térmico con el exterior. Un menor FF indica un intercambio térmico reducido, siendo deseable en climas fríos. En climas templados o cálidos, se busca un balance dependiendo del microclima, evaluando si un FF alto es necesario para mejorar la eficiencia energética.

Los dispositivos de **protección solar**, como persianas venecianas, cortinas, toldos y voladizos, son esenciales para controlar la incidencia de la radiación solar. Estos dispositivos permiten optimizar la luz natural y reducir las ganancias solares en verano, asegurando un balance adecuado para las necesidades de calefacción y refrigeración. La reflectividad solar de los materiales de la envolvente también contribuye a minimizar el



impacto de la radiación solar durante el verano, reduciendo así la demanda de refrigeración.

El **confort interior** se refiere a la apreciación del ambiente por parte del usuario, influido por factores biológicos, sociológicos y psicológicos. Los principales parámetros son el confort higrotérmico, visual, acústico y la calidad del aire interior. El confort higrotérmico se logra cuando los intercambios de calor entre los usuarios y el ambiente interior son adecuados, considerando la temperatura del aire, la radiación de los materiales, la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura operativa.

La **tecnología** y el **diseño** del edificio también juegan un papel importante en la arquitectura pasiva. La reducción del tamaño de las aberturas, la adopción de diferentes materiales para la envolvente y la implementación de tecnologías como la rotura de puente térmico y vidrios de baja emisión pueden compensar las diferencias energéticas no alcanzadas solo con la compacidad del edificio.

En resumen, la arquitectura pasiva integra una serie de estrategias y principios que buscan maximizar la eficiencia energética y el confort interior mediante el aprovechamiento de los recursos naturales. Este enfoque permite diseñar edificios sostenibles y energéticamente eficientes, adecuados a las condiciones climáticas específicas de cada ubicación. [10]

1.3. ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables derivan de fuentes naturales que se reponen más rápidamente de lo que se consumen, generando menores emisiones en comparación con las energías no renovables como el carbón, el petróleo y el gas. Estas energías limpias incluyen la solar, eólica, geotérmica, y más. Sin embargo, algunas renovables como la biomasa, aunque son naturales, pueden emitir dióxido de carbono y otras partículas contaminantes al igual que los combustibles fósiles. La creciente preocupación mundial por el calentamiento global, la dependencia de energías no renovables, el aumento de los costos energéticos, y los frecuentes cortes de suministro subrayan la necesidad de implementar sistemas de energía renovable a gran escala para satisfacer las demandas energéticas de forma sostenible.

Este trabajo, se centrará en la energía solar, puesto que será la implementada en la vivienda.

1.4. Energía Solar

La energía solar, como destacó Herman Scheer, ex presidente de la *Asociación Europea de Energías Renovables* ofrece un potencial energético vasto, capaz de cubrir las necesidades humanas con creces. El sol envía a la Tierra más energía en un cuarto de hora de la que la humanidad utiliza en un año. Aunque no toda esta energía es aprovechable,



su potencial utilizable es inmenso. La energía solar es inagotable y renovable, aunque presenta desventajas como la variabilidad en su intensidad, la falta de disponibilidad durante la noche y su baja densidad de potencia. Para utilizarla eficientemente, es necesaria su conversión en otras formas de energía, como calor o electricidad.

La **energía solar térmica** aprovecha la radiación solar para calentar agua o aire en viviendas mediante paneles solares térmicos. Sus beneficios incluyen ahorro económico al reducir costos energéticos, sostenibilidad ambiental al disminuir emisiones de CO₂, independencia energética, durabilidad con bajo mantenimiento, y acceso a subvenciones e incentivos para su instalación. Es una solución eficiente y renovable para la producción de agua caliente y calefacción en hogares.

La **energía solar fotovoltaica** se basa en el uso de células fotovoltaicas para convertir la energía solar en electricidad. Estas células se agrupan en paneles, cuya orientación y disposición son fundamentales para maximizar la eficiencia del sistema al permitir la máxima captación de la radiación solar y evitar sombreados.

La utilización de instalaciones solares en viviendas ofrece numerosas ventajas tanto a nivel ambiental como económico, especialmente cuando se integran con el concepto de casas pasivas. En primer lugar, las instalaciones fotovoltaicas permiten a las viviendas generar su propia electricidad de manera limpia y renovable, reduciendo así su dependencia de fuentes de energía convencionales y contribuyendo a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Por su parte, las instalaciones térmicas complementan eficientemente las estrategias de diseño pasivo al proporcionar calor para agua caliente y calefacción de manera renovable y sostenible, reduciendo el consumo energético total de la vivienda, alinea con principios de diseño pasivo y fortalece la autonomía energética, todo mientras reduce la huella ambiental.

Desde el punto de vista **económico**, el uso de paneles solares puede significar un ahorro significativo a largo plazo en los costos de energía eléctrica, especialmente en viviendas pasivas que ya están diseñadas para ser altamente eficientes en términos energéticos. La combinación de una envolvente bien aislada, la hermeticidad al aire y el control de puentes térmicos en las casas pasivas asegura que la demanda de energía para calefacción, refrigeración e iluminación sea mínima, lo cual optimiza el rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas.

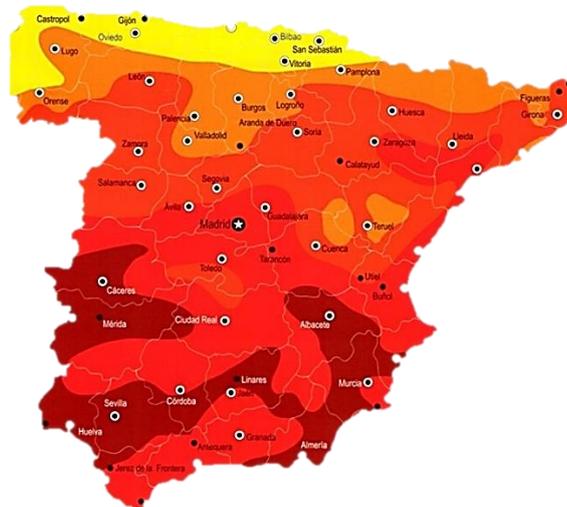


Ilustración 1. Radiación solar en España. Fuente: PlaSol

Tabla 1. Valores radiación solar global zonas en España. Fuente: PlaSol

RADIACIÓN SOLAR			
ZONA	MJ/m ² día	kWh/m ² día	kWh/m ² año
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$	$H < 1389$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$	$1389 \leq H < 1531$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$	$1531 \leq H < 1683$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$	$1683 \leq H < 1825$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$	$H \geq 1825$

Además, las viviendas pasivas están diseñadas para maximizar la captación de energía solar, ya sea para la calefacción pasiva en invierno o para la minimización del sobrecalentamiento en verano, lo que se alinea perfectamente con la instalación de paneles solares fotovoltaicos. La orientación adecuada de las viviendas pasivas y la optimización de la superficie disponible en el tejado para la instalación de paneles solares aseguran una mayor eficiencia energética y una mayor producción de electricidad limpia.

Por tanto, integrar instalaciones solares fotovoltaicas en viviendas pasivas no solo promueve la autosuficiencia energética y la reducción de la huella de carbono, sino que también mejora la rentabilidad económica a largo plazo y refuerza el compromiso con la sostenibilidad ambiental. Esta combinación ofrece un modelo de construcción avanzado que no solo beneficia a los propietarios y habitantes de las viviendas, sino que también contribuye positivamente a la mitigación del cambio climático y a la creación de comunidades más resilientes y energéticamente eficientes.



1.5. ESTÁNDAR PASSIVHAUS

El estándar Passivhaus es un sistema de construcción voluntario que busca optimizar la eficiencia energética de los edificios, proporcionando un confort térmico elevado con un consumo de energía mínimo. Este estándar, originado en Alemania, se basa en principios clave como un aislamiento térmico excepcional, una alta hermeticidad al aire, y un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor. La meta principal es limitar la demanda de calefacción y refrigeración a menos de 15 kWh/m² al año y mantener la demanda total de energía primaria por debajo de 120 kWh/m² al año. [3]

Para lograrlo, los edificios Passivhaus deben tener una envolvente térmica de alta eficiencia que minimice las pérdidas de calor en invierno y la ganancia de calor en verano, eliminando los puentes térmicos y utilizando ventanas de altas prestaciones. Además, la hermeticidad al aire se asegura mediante técnicas constructivas avanzadas que previenen infiltraciones no deseadas, mientras que la ventilación controlada con recuperación de calor garantiza un suministro constante de aire fresco sin perder el calor del aire interior expulsado.

Aunque el enfoque principal del estándar es la **eficiencia energética** durante el uso del edificio, también se considera la sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida de la construcción. Esto implica evaluar y reducir el consumo de recursos y energía en la producción, transporte y colocación de materiales, fomentar la reutilización y reciclaje de los mismos, y priorizar la utilización de materiales locales para minimizar el impacto ambiental.

Adaptado a las diversas zonas climáticas del país, el estándar se aplica en proyectos residenciales y comerciales, demostrando que es posible alcanzar altos niveles de eficiencia energética y confort en diferentes contextos. La formación y certificación de profesionales, junto con el desarrollo de materiales locales compatibles con el estándar, están facilitando su adopción más amplia en el sector de la construcción español.

En resumen, el **estándar Passivhaus** representa un enfoque integral para la construcción de edificios sostenibles y energéticamente eficientes, combinando técnicas de diseño y construcción avanzadas con una visión a largo plazo de sostenibilidad ambiental y confort humano.

1.6. Principios básicos Passivhaus

AISLAMIENTO

El aislamiento térmico es fundamental en el estándar Passivhaus. Se requiere un aislamiento muy superior al convencional en todas las partes de la envolvente del edificio, incluyendo paredes, techos y suelos. Este aislamiento reduce significativamente las



pérdidas de calor en invierno y la ganancia de calor en verano, manteniendo una temperatura interior constante y reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración. El objetivo es crear una barrera efectiva contra el intercambio de calor con el exterior, lo cual contribuye a la eficiencia energética y al confort térmico. [6]

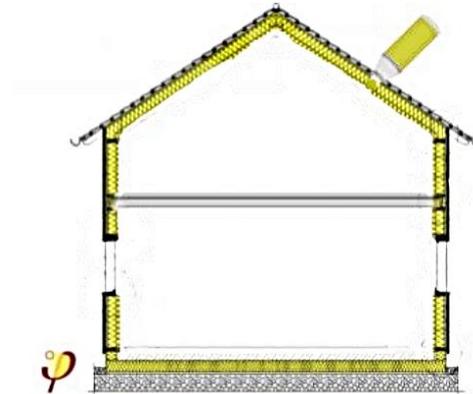


Ilustración 2. Regla del rotulador. Fuente: Passive House Institute

Una regla que se utiliza a la hora de proyectar un edificio Passivhaus es la “Regla del Rotulador”, Ilustración 2. Consiste en que tenemos que poder trazar una línea continua alrededor de la envolvente, siguiendo el trazado por donde hemos previsto colocar el aislamiento térmico. Esto implica que todas las partes del edificio, incluidas las paredes, el techo y el suelo, deben estar bien aisladas y conectadas entre sí de manera que no haya pérdida de calor. Los puentes térmicos, que son áreas donde el aislamiento se ve comprometido, deben ser minimizados o eliminados.

HERMETICIDAD AL PASO DE AIRE

La hermeticidad es crucial para evitar infiltraciones no controladas de aire que pueden llevar a pérdidas de calor y una disminución del confort interior. En los edificios Passivhaus, se aplican técnicas de construcción avanzadas para asegurar que la envolvente del edificio sea extremadamente hermética. Se utilizan materiales y métodos específicos para sellar todas las juntas y conexiones, garantizando que el aire no pueda entrar ni salir de forma descontrolada. Esto se verifica mediante pruebas de presión (Blower Door Test) para asegurar que el nivel de hermeticidad cumpla con el estándar (menos de 0.6 renovaciones de aire por hora a 50 Pa).

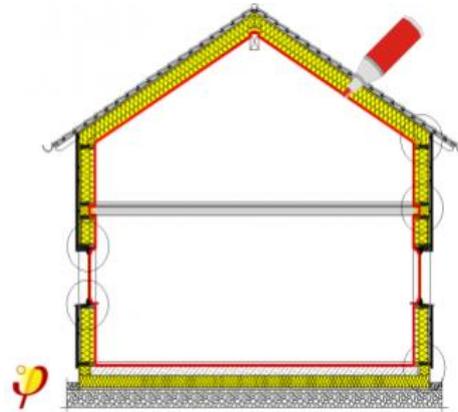


Ilustración 3. Regla del lápiz. Fuente: Passive House Institute

La regla del lápiz, Ilustración 3, es una regla teórica, al igual que la regla del rotulador del aislamiento. Si uno puede dibujar una línea continua alrededor del edificio en un plano seccionado sin levantar el lápiz, la barrera de hermeticidad del edificio es continua. Esto significa que no debe haber grietas, huecos o interrupciones en la barrera que puedan permitir la entrada o salida de aire no controlado.

CARPINTERÍAS DE ALTAS PRESTACIONES

Las ventanas y puertas en un edificio Passivhaus son de alta eficiencia térmica, con marcos bien aislados y vidrios múltiples que incluyen recubrimientos de baja emisividad y relleno de gas inerte entre las capas de vidrio. Estas carpinterías minimizan las pérdidas de calor y las ganancias solares no deseadas, contribuyendo significativamente al aislamiento térmico global del edificio. Además, las ventanas suelen tener un factor solar optimizado para maximizar la ganancia solar en invierno y minimizarla en verano, mejorando así el rendimiento energético durante todo el año.

AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS

Los puentes térmicos son áreas en la envolvente del edificio donde el aislamiento es interrumpido, permitiendo que el calor se escape más fácilmente. En un edificio Passivhaus, se presta especial atención al diseño y construcción para eliminar estos puentes térmicos. Esto implica un cuidadoso detalle en las conexiones entre diferentes elementos constructivos (como entre paredes y techos o en la instalación de ventanas) y el uso de materiales que eviten la conducción de calor a través de estos puntos. La eliminación de puentes térmicos no solo mejora la eficiencia energética, sino que también previene problemas de condensación y moho.

VENTILACIÓN MECÁNICA CON RECUPERADOR DE CALOR

La ventilación mecánica con recuperación de calor (MVHR) es esencial en un edificio Passivhaus. Este sistema asegura un suministro constante de aire fresco a los espacios interiores, al mismo tiempo que recupera el calor del aire de salida para calentar el aire



entrante. Esto permite mantener una buena calidad del aire interior sin perder energía valiosa. Los sistemas MVHR son altamente eficientes y pueden recuperar hasta el 90% del calor del aire que se expulsa, lo que reduce significativamente la necesidad de calefacción adicional. Además, estos sistemas están equipados con filtros para mejorar la calidad del aire interior, eliminando contaminantes y alérgenos.

1.7. Criterios Passivhaus

Los criterios del estándar para obtener el certificado de casa pasiva se pueden ver a continuación:

Tabla 2. Valores críticos para certificación Passivhaus Classic. Fuente: Passive House Institute [7]

CRITERIOS	VALORES
<i>Demanda de calefacción</i>	15 [kWh/m ² año]
<i>Carga de calefacción</i>	10 [W/m ²]
<i>Demanda de refrigeración</i>	15 [kWh/m ² año]
<i>Carga de refrigeración</i>	10 [W/m ²]
<i>Demanda PE (no renovable)</i>	100 [kWh/m ² año]
<i>Demanda PER</i>	60 [kWh/m ² año]
<i>Hermeticidad</i>	0,6/h

1.8. ESTÁNDAR PASSIVHAUS EN ESPAÑA

La industria de la construcción en España presenta ciertas ventajas y desafíos en comparación con otras regiones. En términos generales, España cuenta con una economía desarrollada, una gobernanza relativamente estable y códigos de construcción y energéticos modernos que se aplican de manera consistente. Sin embargo, la implementación del estándar Passivhaus en el país también requiere superar algunos obstáculos.

1.9. Contexto de la edificación en España

España es una economía desarrollada con una infraestructura robusta y un marco regulatorio avanzado. Sin embargo, la burocracia y la variabilidad en la aplicación de normativas pueden ralentizar ciertos proyectos.

Los códigos de construcción en España están actualizados y alineados con las directrices europeas, lo que facilita la implementación de estándares como el Passivhaus. A pesar de esto, la adaptación a las normativas específicas del Passivhaus puede requerir cambios significativos en las prácticas tradicionales.



Existe una creciente especialización en la mano de obra, gracias a programas de formación y certificación específicos para Passivhaus. No obstante, aún se necesita una mayor difusión y formación continua para alcanzar niveles óptimos de especialización en todo el sector.

1.10. Implementación del estándar Passivhaus en España

En España, la aplicación del estándar Passivhaus ha ido ganando terreno, especialmente en áreas donde se busca una mayor eficiencia energética y sostenibilidad. Desde la primera certificación Passivhaus en España, ha habido un crecimiento significativo en el número de proyectos certificados.

- **Adaptación climática:** España presenta una gran diversidad climática, desde las zonas frías del norte hasta las cálidas del sur. Esto requiere una adaptación cuidadosa del estándar Passivhaus a las distintas condiciones climáticas, utilizando estrategias bioclimáticas específicas para cada región.
- **Proyectos y certificaciones:** Varios proyectos emblemáticos han sido certificados, demostrando que es posible construir según el estándar Passivhaus en diferentes contextos climáticos y urbanos. Estos proyectos no solo mejoran la eficiencia energética, sino que también aumentan el confort y la calidad de vida de los habitantes.
- **Costos y materiales:** A pesar de los beneficios a largo plazo, el costo inicial de construcción bajo el estándar Passivhaus puede ser más alto debido a la necesidad de materiales específicos y técnicas avanzadas. Sin embargo, el aumento de la demanda y la producción local de materiales certificados está ayudando a reducir estos costos.
- **Formación y concienciación:** La concienciación sobre los beneficios del estándar Passivhaus está en aumento, apoyada por instituciones y asociaciones dedicadas a la promoción de la construcción pasiva. La formación especializada para arquitectos, ingenieros y constructores es clave para una implementación más amplia y efectiva del estándar.

1.11. Beneficios y perspectivas

La implementación del estándar Passivhaus en España promete numerosos beneficios, incluyendo una significativa reducción en el consumo energético y las emisiones de CO₂, lo cual es crucial en la lucha contra el cambio climático. Además, mejora la calidad del aire interior y proporciona un alto nivel de confort térmico, lo que es especialmente relevante en un contexto de aumento de temperaturas y eventos climáticos extremos.

En conclusión, mientras que la adopción del estándar Passivhaus en España enfrenta ciertos desafíos, los avances en formación, adaptación climática y desarrollo de materiales



locales están allanando el camino para una construcción más sostenible y eficiente. Con el apoyo continuo de las instituciones y una mayor concienciación pública, España está bien posicionada para liderar en la implementación de construcciones pasivas a nivel europeo y global.

1.12. SOFTWARE PHPP |



Para la realización de este trabajo, se empleará el programa **PHPP** (*Passive House Planning Package*), una herramienta esencial para el diseño de casas pasivas, encargada del cálculo del balance energético de los edificios según el estándar Passivhaus. Este software cuantifica la demanda de calefacción, refrigeración y la energía primaria anual del edificio, permitiendo determinar si una construcción cumple con los requisitos del estándar. Para utilizar el PHPP, es necesario cargar datos climáticos del entorno, superficies, valores de U de la envolvente, tipos de ventanas y sus sombras, ventilación estimada, condiciones de verano, instalaciones y valores de energía primaria. La herramienta también permite calcular el factor de reducción de sombras debido a objetos exteriores o retranqueos del edificio, y considerar el efecto de protecciones solares móviles, barandillas y protecciones vegetales. Además, el PHPP relaciona la hermeticidad del edificio con la demanda energética, optimizando el ahorro energético a medida que se mejora la construcción hermética.

2. Objeto

Desarrollar una vivienda pasiva bajo el Estándar Passivhaus en Asturias, España, enfocándose en un diseño bioclimático que se ajuste al lugar de implantación y microclima local, incorporando estrategias pasivas para optimizar el rendimiento energético. El diseño debe asegurar que la demanda de energía para calefacción y refrigeración sea inferior a $15\text{Wh/m}^2\text{a}$, eliminando puentes térmicos y garantizando un aislamiento térmico eficiente con una transmitancia térmica de la envolvente opaca $\leq 0,5\text{ W/m}^2\text{K}$ y carpinterías de altas prestaciones con una transmitancia térmica $\leq 1,25\text{ W/m}^2\text{K}$. Además, la vivienda debe ser hermética, cumpliendo con un valor de $\leq 0,6$ renovaciones por hora a N_{50} , y estar diseñada para funcionar suministrada con energías renovables.

3. Características de la vivienda

3.1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La vivienda en estudio está situada en el barrio de Somió, Gijón, en Asturias. La parcela presenta una topografía accidentada con rocas de caliza y marga, características comunes en la región, y está integrada en un entorno natural rodeado de vegetación autóctona. [1]

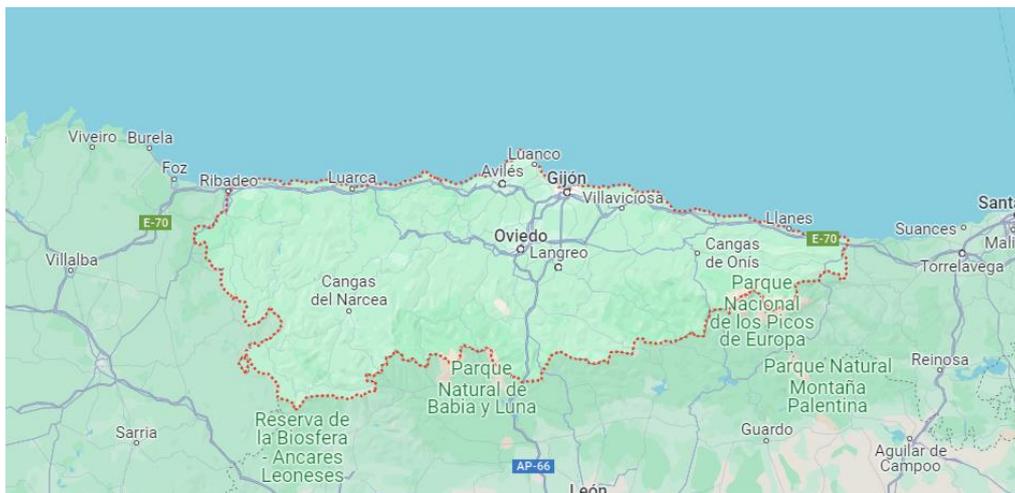


Ilustración 4: Ubicación del Principado de Asturias. Fuente: Google Maps



Ilustración 5: Ubicación del barrio de Somió, en la localidad de Gijón. Fuente: Google Maps



Ilustración 6: Ubicación exacta de la vivienda. Fuente: Google Maps

3.2. DATOS CARACTERÍSTICOS

La vivienda cuenta con tres plantas distribuidas como se muestra en la Tabla 3 y en el ANEXO III. La suma del área de estas habitaciones sirve para estimar la **Superficie de Referencia Energética (SRE)** en **367 m²** que se tendrá en cuenta para el cálculo de la demanda energética. También es interesante resaltar la **Huella Projectada del Edificio** de **210 m²** para la generación de energía renovable.

Tabla 3. Disposición de estancias por plantas y superficies ocupadas. Fuente: Elaboración propia

PLANTA BAJA		PRIMERA PLANTA		ÁTICO	
Estancia	Superficie	Estancia	Superficie	Estancia	Superficie
Recibidor	12,5 m ²	Dormitorio 1	18,2 m ²	Dormitorio principal	34 m ²
Salón	53,3 m ²	Terraza 1	15,5 m ²	Terraza principal.	25 m ²
Cocina	23 m	Baño 1	8,7 m ²	Baño principal	15,6 m ²
Comedor	24,3 m ²	Vestidor 1	6,9 m ²	Vestidor principal	10,9 m ²
Aseo	6,5 m ²	Dormitorio 2	19,5 m ²		
Alacena	11,5 m ²	Terraza 2	15,7 m ²		
Gimnasio	23,3 m ²	Baño 2	6,4 m ²		
Hueco escalera	8,5 m ²	Vestidor 2	5,9 m ²		
Patio de luz	18,7 m ²	Despacho	18,9 m ²		
Pasillo	11,6 m ²	Pasillo	30 m ²		
Garaje	30 m ²				



La vivienda cuenta con numerosas cristaleras y dispone de un patio de luz que aporta mayor luminosidad a la estancia a lo largo del día como se puede ver en las ilustraciones a continuación.



Ilustración 7: Fachada sur, entrada principal de la vivienda. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8: Fachada oeste de la vivienda. Fuente: Elaboración propia



3.3. MICROCLIMA

Esta zona disfruta de un microclima templado caracterizado por temperaturas moderadas, alta humedad y precipitaciones frecuentes. Los veranos son cálidos, pero raramente calurosos, con máximas que rara vez superan los 25-30°C, mientras que los inviernos son suaves, con mínimas que rara vez caen por debajo de los 5°C.

La proximidad al mar Cantábrico influye notablemente, proporcionando brisas marinas que moderan las temperaturas y mantienen un clima más estable y agradable durante todo el año.

La alta humedad y las precipitaciones constantes, más comunes en otoño e invierno, pero presentes todo el año, contribuyen a una vegetación exuberante y verde. La combinación de estos factores climáticos favorece la formación de niebla y rocío, especialmente en las mañanas y tardes. Este entorno natural agradable y las condiciones climáticas favorables hacen de Somió una zona muy atractiva para vivir.

4. Diseño de vivienda aplicando los principios del estándar Passivhaus

4.1. DISEÑO BIOCLIMÁTICO

El estándar Passivhaus tiene en cuenta como primera medida el diseño bioclimático donde se estudiarán y aprovecharán los recursos disponibles en la parcela como ser las condicionantes en cuanto al clima, radiación solar, obtención de luz natural, vegetación, lluvia y vientos para sacar el mayor provecho de los mismos y que contribuyan a la reducción de los consumos energéticos. [4]

Esta vivienda cuenta con una orientación norte de la sala de estar y suroeste de las habitaciones, lo cual le dota de las siguientes ventajas:

- **Optimización de la Ganancia Solar:** El salón orientado al norte permite evitar el sobrecalentamiento durante los meses más cálidos, al recibir menos radiación directa. Por otro lado, las habitaciones al suroeste aprovechan la mayor ganancia solar en invierno, ayudando a calentar naturalmente esos espacios durante los meses fríos.



Ilustración 9. Orientación solar a las ocho de la tarde en el mes de junio (verano). Fuente: Elaboración propia



Ilustración 10. Orientación solar a las ocho de la tarde en el mes de diciembre (invierno). Fuente: Elaboración propia

- **Equilibrio Térmico en Diferentes Estaciones:** Esta disposición crea un equilibrio térmico dentro de la vivienda. En invierno, las habitaciones al suroeste reciben más calor solar, reduciendo la necesidad de calefacción, mientras que el salón al norte mantiene una temperatura más fresca y confortable. En verano, el salón al norte no se sobrecalienta fácilmente, mientras que las habitaciones al suroeste pueden beneficiarse de estrategias de sombreado para mitigar el calor.



- **Iluminación Natural y Confort Visual:** Tanto el salón al norte como las habitaciones al suroeste reciben una buena cantidad de luz natural a lo largo del día, proporcionando un ambiente interior luminoso y confortable. Esto reduce la dependencia de la iluminación artificial y mejora la calidad del espacio habitable.
- **Eficiencia Energética:** La combinación de estas orientaciones puede reducir significativamente el consumo de energía en calefacción y refrigeración. Esto no solo disminuye los costos operativos del hogar, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la generación de energía.
- **Aprovechamiento del Entorno Exterior:** Ambas orientaciones permiten disfrutar de vistas panorámicas y conexiones visuales con el entorno exterior, mejorando la calidad de vida de los residentes y promoviendo un ambiente interior más acogedor y conectado con la naturaleza.

4.2. PROTECCIÓN SOLAR

La protección solar en las casas pasivas es crucial para regular la ganancia térmica y mantener el confort térmico interior, reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración. Sirve para evitar el sobrecalentamiento en verano y maximizar la entrada de calor en invierno.

En este caso, se ha optado por voladizos en todas las habitaciones, que bloquean el sol alto del verano mientras permiten la entrada del sol bajo del invierno, unido a cristales especiales que reducen la cantidad de calor solar que entra sin bloquear la luz y lamas verticales que permiten la regulación a la entrada de radiación solar dependiendo de las necesidades, Ilustración 11.

Como añadido se pueden disponer cortinas y estores interiores que, aunque son menos eficaces, ayudan a controlar la luz solar y proporcionan aislamiento adicional.



Ilustración 11. Control entrada radiación solar con voladizos y lamas verticales. Fuente: Elaboración propia

4.3. AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento en una casa pasiva es fundamental para maximizar la eficiencia energética y el confort interior. Utilizar materiales de alta calidad y técnicas avanzadas ayuda a minimizar las pérdidas de calor en invierno y evitar el sobrecalentamiento en verano.

Para la estructura y el cerramiento de la vivienda, se eligió un sistema de paneles de madera maciza contralaminada (CLT) de la empresa KLH. Estos paneles, que actúan como muros de carga y losas en los forjados, permiten grandes luces con espesores reducidos.

Como aislante térmico, se ha optado por el corcho, no solo para ayudar a mejorar la eficiencia energética y el confort interior, sino también para promover prácticas constructivas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Las capas restantes de los cerramientos se exponen a continuación:

4.3.1. Fachadas

1. Panel KLH $e=100\text{ mm}$
2. Lámina de control de vapor y barrera 100% a infiltración de aire.
3. Aislamiento de planchas rígidas de corcho aglomerado negro, $e=100\text{ mm}$, entre rastreles verticales de madera.
4. Lámina impermeabilizante transpirable.
5. Cámara de aire $e=40\text{ mm}$ con rastreles verticales.
6. Mallazo de fibra de vidrio.
7. Revestimiento madera termotratada.

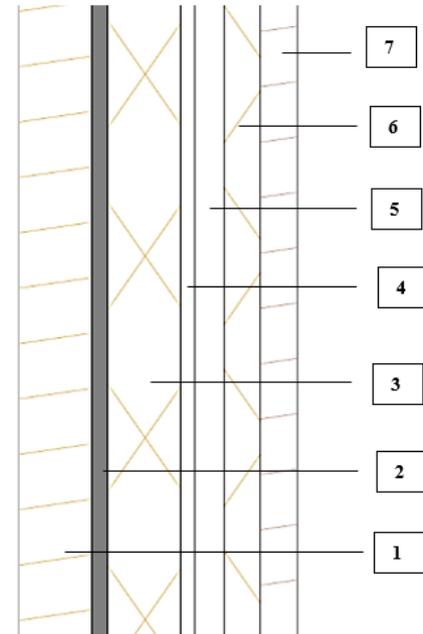


Ilustración 12. Sección fachadas. Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Cubierta vegetal

1. Panel KLH $e=160\text{ mm}$
2. Lámina transpirable.
3. Lámina geotextil.
4. Aislamiento térmico compuesto por corcho granulado, $e=100\text{ mm}$, entre rastreles de madera.
5. Panel de fibra de madera. $e=22\text{ mm}$
6. Cubierta ecológica extensiva Zinco.

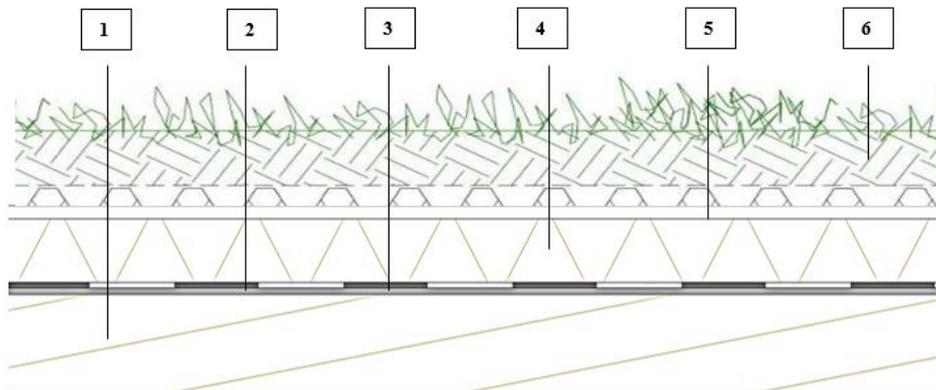


Ilustración 13. Sección cubierta vegetal. Fuente:
Elaboración propia



4.3.3. Cubierta invertida

1. Panel KLH $e=200\text{ mm}$
2. Impermeabilizante caucho.
3. Vidrio celular $e=100\text{mm}$
4. Lámina geotextil.
5. Cantos rodados $e=25\text{ mm}$

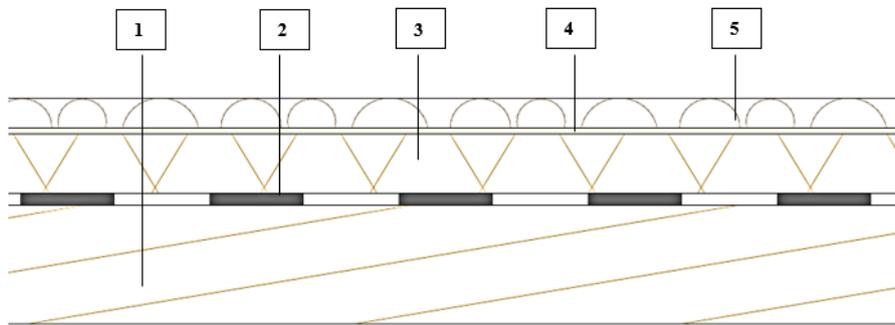


Ilustración 14. Sección cubierta invertida. Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Solera

1. Lámina geotextil.
2. Hormigón de limpieza.
3. Vidrio celular $e=100\text{mm}$
4. Losa hormigón. $e=400\text{mm}$
5. Aislamiento térmico compuesto por corcho granulado, $e=60\text{mm}$,
6. Solera cal $e=60\text{mm}$
7. Lámina corcho negro $e=5\text{mm}$
8. Pavimento roble

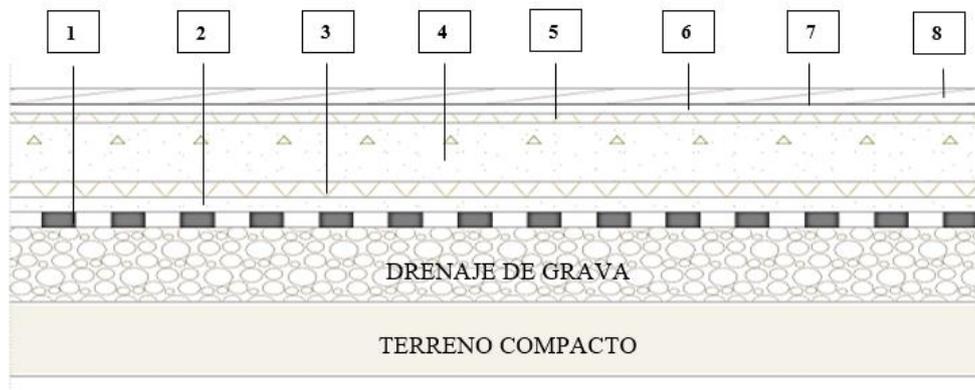


Ilustración 15. Sección solera. Fuente: Elaboración propia

4.4. HERMETICIDAD AL PASO DEL AIRE

Para asegurar la hermeticidad al paso del aire en una vivienda construida con paneles de madera contralaminada, se diseñó la línea de estanqueidad al aire por la cara exterior de estos paneles, permitiendo dejarlos visibles desde el interior.

Para las paredes externas, la estructura de CLT será equipada con una línea continua de estanqueidad en la cara exterior de los paneles. Se utilizará una lámina de Proclima, y durante el montaje de la estructura de madera, se colocarán cintas de compresión entre los paneles. Además, las juntas externas de unión entre los paneles de madera se sellaron con cinta Proclima. El sistema de estanqueidad de la cubierta es idéntico al empleado en la pared exterior, donde se colocó la lámina estanca al aire por el exterior de los paneles.

Las ventanas se instalarán por el exterior del panel, alineadas con el aislamiento. Todos los cables de la instalación eléctrica de la vivienda serán conducidos por un único punto, que se selló herméticamente bajo la puerta de instalaciones.

Este enfoque integral, que incluye el uso de materiales de alta calidad y técnicas de sellado específicas, asegura una excelente hermeticidad al paso del aire en la vivienda de CLT, contribuyendo significativamente a su eficiencia energética y confort. Las pruebas de hermeticidad, como el test de **“Blower Door”**, se realizarán para identificar y corregir cualquier posible infiltración de aire antes de finalizar la construcción. Además, se establecerán procedimientos de mantenimiento periódico para asegurar que no haya deterioro en los sellos y juntas, garantizando así la eficiencia energética y el confort del edificio a largo plazo.



4.5. CARPINTERÍAS DE ALTAS PRESTACIONES

Para la resolución de las **carpinterías**, se optó, para las cristaleras, por marcos de madera de la marca Smartwin, en el modelo *Smartwin Solar*, con certificado Passivhaus con triple acristalamiento bajo emisivo con cámara de Argón al 90%. Mientras, para las puertas correderas se optó por el modelo Smartwin Sliding, también certificado y con el mismo acristalamiento.

Todas las características de la carpintería se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Características de la carpintería según fabricante. Fuente: Smartwin

PARÁMETROS	VALORES
<i>Transmitancia marco (Uf)</i>	0,67
<i>Transmitancia vidrio (Ug)</i>	0,53
<i>Transmitancia total (Uw)</i>	0,627
<i>Intercalario aislante (Psi_g)</i>	0,04 W/mK
<i>Aislación acústica</i>	46 dB

Como se ha comentado al inicio, la envolvente térmica debe garantizar una transmitancia inferior a 0,5 W/m²K. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el PHPP.

Tabla 5. Valores-U promedio de toda la envolvente térmica. Fuente: PHPP

GRUPO DE SUPERFICIES	VALOR-U PROMEDIO [W/m ² K]
<i>Fachadas</i>	0,285
<i>Cubierta vegetal</i>	0,254
<i>Cubierta invertida</i>	0,263
<i>Solera</i>	0,241
<i>Ventanas al norte</i>	0,601
<i>Ventanas al sur</i>	0,622
<i>Ventanas al oeste</i>	0,629
<i>Puerta exterior</i>	0,326
<i>Valor-U medio de la envolvente térmica</i>	0,315

4.6. AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS

Los puentes térmicos son zonas de un edificio que presentan una resistencia térmica significativamente menor en comparación con el resto de la envolvente. En construcciones con paneles CLT (madera laminada cruzada), es crucial diseñar adecuadamente para minimizar estos puentes térmicos y mejorar la eficiencia energética



de la vivienda. Entre las soluciones implementadas para garantizar la ausencia de puentes térmicos se encuentran:

- Continuidad de las capas de aislamiento térmico por el exterior de los paneles CLT para evitar interrupciones en la barrera térmica
- Las uniones de las fachadas con los forjados, cubiertas, solera y entre las propias fachadas, se realizan sellándolas con lámina estanca de Proclima.
- Marcos de ventanas y puertas con un bajo coeficiente de transferencia térmica, bien selladas y aisladas en sus perímetros para evitar infiltraciones
- La elección de fachadas ventiladas que incorporan una cámara de aire entre el aislamiento y el revestimiento exterior, mejorando la capacidad de disipar el calor y reduciendo la transferencia térmica.

4.7. VENTILACIÓN MECÁNICA CON RECUPERACIÓN DE CALOR

El edificio cuenta con un sistema de **ventilación mecánica con recuperación de calor**, diseñado según los estándares de una casa pasiva balanceada. La máquina de ventilación utilizada es el modelo Zehnder ComfoAir Q350, certificada por el Instituto Passivhaus, con un rendimiento del 96%.

Los conductos de aire exterior, tanto de entrada como de salida, están aislados y se dirigen hacia la fachada, como se mencionó anteriormente. El recuperador de calor está ubicado en la planta baja, que forma parte de la envolvente térmica. Los tubos de impulsión y extracción en la planta baja están colocados bajo la solera del forjado de esa planta y aislados con corcho. Las rejillas de impulsión están instaladas directamente en el suelo, mientras que las rejillas de extracción de los baños están ubicadas a 20 cm del techo.

Para las estancias de la primera y segunda planta, los conductos discurren por el forjado intermedio, el cual está relleno de corcho granulado. Las rejillas de impulsión están también colocadas directamente en el suelo, y las rejillas de extracción se encuentran a 20 cm del techo.

La extracción se ha instalado en los baños, aseo, cocina y cuarto de instalaciones, mientras que las rejillas de impulsión se encuentran en las habitaciones, el salón y el despacho.

La implementación de este sistema, calculado en el Anexo I, nos aporta una eficiencia de recuperación de calor del 90,4%. Esto significa que, durante el periodo de calefacción, el sistema puede transferir el 90,4% del calor del aire saliente (por ejemplo, de habitaciones o espacios) al aire entrante (que es el aire fresco introducido en el edificio). Esto ayuda a precalentar el aire fresco, reduciendo así la carga de calefacción necesaria para mantener una temperatura confortable en el interior

4.8. CALEFACCIÓN Y ACS

La vivienda está diseñada para aprovechar al máximo las ganancias solares y minimizar las pérdidas de calor, logrando una muy baja **demanda de calefacción** de solo 1 kWh/(m²año). Esto refleja un diseño excelente en términos de eficiencia energética y cumplimiento con los estándares Passivhaus.

La Ilustración 16 proporciona un análisis detallado del balance energético de calefacción en la vivienda.

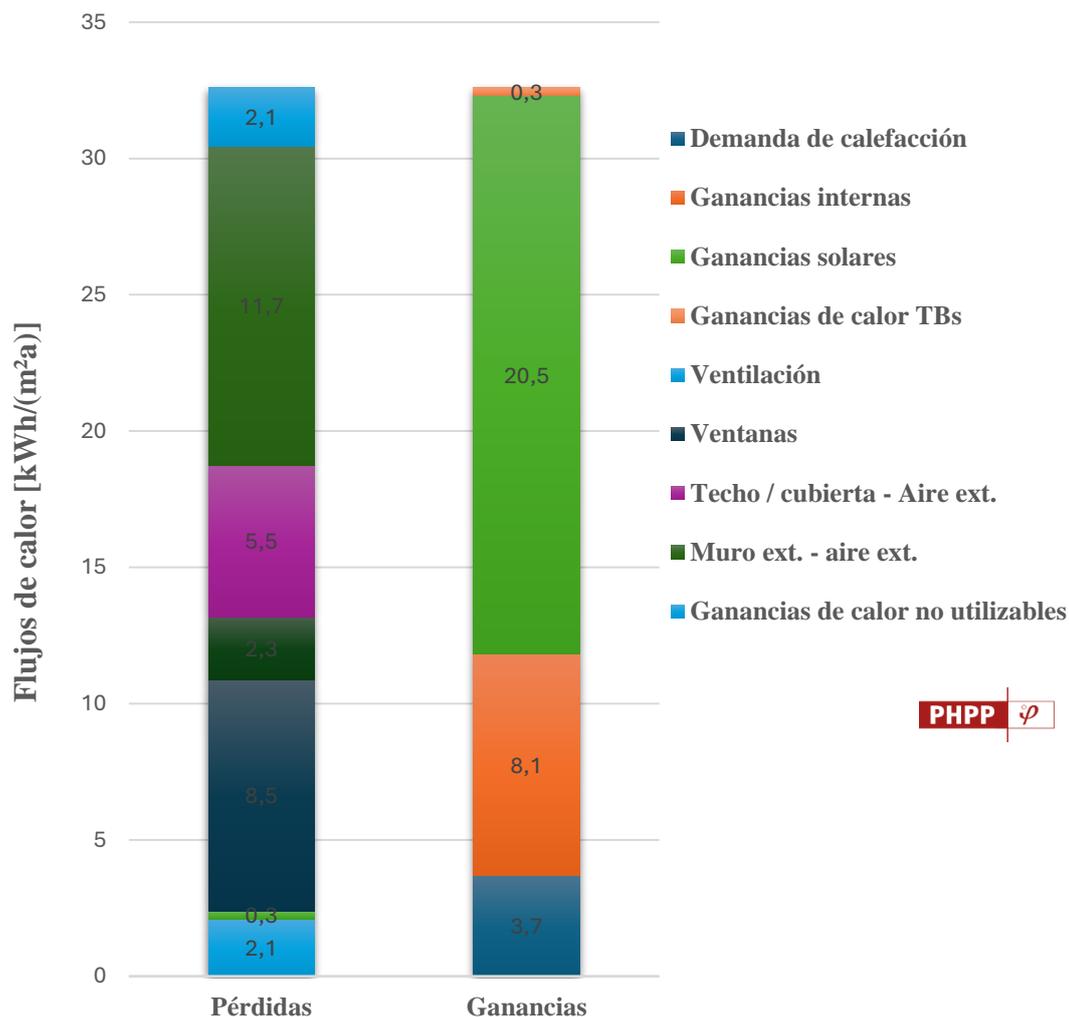


Ilustración 16. Balance energético de calefacción (método mensual). Fuente: PHPP

Como se puede observar, las pérdidas de calor se distribuyen principalmente entre las ventanas (8,5 kWh/(m²año)), el muro exterior (11,7 kWh/(m²año)), el techo (5,5 kWh/(m²año)) y las ganancias de calor no utilizables (2,1 kWh/(m²año)), sumando aproximadamente 27 kWh/(m²año). Por otro lado, las ganancias de calor provienen principalmente de las ganancias solares (20,5 kWh/(m²año)), seguidas de las ganancias



internas (8,1 kWh/(m²año)) y las ganancias de calor por TBs (0,3 kWh/(m²año)), totalizando alrededor de 29 kWh/(m²año).

El equilibrio entre las pérdidas y ganancias de calor, con una ligera ventaja de estas últimas, indica un diseño eficiente en captación solar y aislamiento térmico. A pesar de que las fachadas son la mayor fuente de pérdidas de calor, las ganancias solares e internas contribuyen significativamente a mantener baja la demanda de calefacción

En resumen, el balance energético de calefacción de esta vivienda demuestra un diseño optimizado que equilibra de manera efectiva las pérdidas y ganancias de calor, resultando en una demanda energética mínima y una alta eficiencia energética

Una vez obtenida la necesidad de calefacción a suministrar a la vivienda, se procede a diseñar el sistema. Este, consta de una estufa estanca de pellets que cubrirá el 50% de la demanda de calefacción del edificio, mientras que el sistema de ventilación son recuperación de calor, apartado 4.7, cubrirá el otro 50%, apoyado por un el sistema de captación solar hasta en un 13%.

En cuanto a la **demanda de agua caliente sanitaria (ACS)**, se han estimado una demanda para duchas (con 60°C) de 16 litros por persona al día y una demanda para otros usos (con 60°C) de 9 litros por persona y día. Para 4 habitantes, esto se refleja en una demanda de calor útil para el ACS de 7,8 kWh/(m²año). Teniendo en cuenta las diversas pérdidas por distribución y almacenamiento, mostradas en la Ilustración 17, la demanda total para ACS resulta de 8,4 kWh/(m²año).

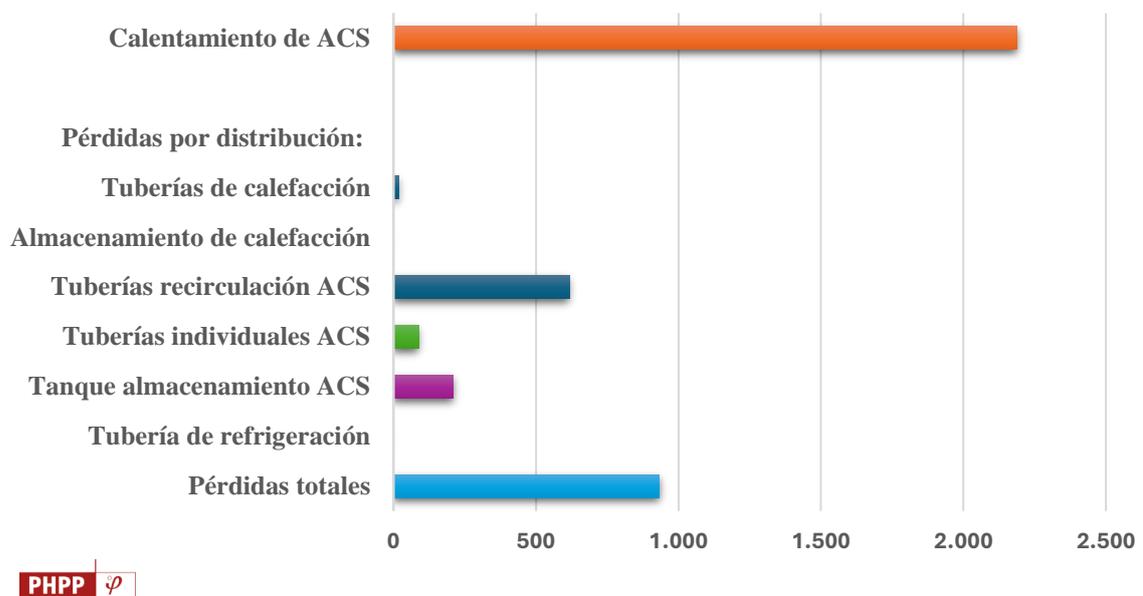


Ilustración 17. Calentamiento de ACS y pérdidas por distribución en kWh/a. Fuente: PHPP



Para satisfacer la demanda de ACS se ha diseñado una instalación solar, apartado 5, que cubrirá el 90% de la demanda, cubriéndose el 10% restante por el sistema de recuperación de calor.

5. Diseño de instalación solar

Para optimizar el consumo de energías primarias en la vivienda se han diseñado dos vías de aprovechamiento solar para satisfacer la demanda de todos los habitantes. Una instalación solar térmica empleada para el ACS y como apoyo a la calefacción, y una instalación solar fotovoltaica para generación de energía.

5.1. Instalación solar térmica

El sistema cuenta con 4 captadores solares planos, modelo Wolf-TopSon F3-1, con una superficie total de 9,2 m². Se encuentran colocados en la cubierta superior de la vivienda orientada al sur para garantizar su máxima captación solar, Ilustración 18. Como se ha comentado, estos paneles se utilizarán tanto para el agua caliente sanitaria (ACS) como para apoyar la calefacción. [8]



Ilustración 18. Ubicación de los paneles solares (área en rojo). Fuente: Elaboración propia

La instalación también dispone de un depósito interacumulador Wolf-SEM-1 de 500 litros, que no solo almacena el agua caliente generada por los captadores solares, sino que también incorpora una resistencia eléctrica para el respaldo en días de baja radiación solar.

Durante el invierno, este depósito precalienta el ACS y suministra calor a la batería de agua del postcalentador de aire, integrada en el sistema de ventilación Zehnder, asegurando un suministro constante de aire caliente y mejorando el confort térmico del hogar.

Los captadores solares planos Wolf-TopSon F3-1 son altamente eficientes en la captación y transferencia de calor solar, lo que maximiza el uso de energía renovable. El uso del depósito interacumulador permite almacenar grandes cantidades de agua caliente, asegurando la disponibilidad de ACS incluso en días con poca luz solar. Esto reduce significativamente la dependencia de fuentes de energía no renovables y los costos operativos de la vivienda, como puede observarse en la Ilustración 19. Además, la resistencia eléctrica del depósito actúa como un sistema de respaldo eficiente, evitando el uso excesivo de electricidad en comparación con sistemas de calefacción convencionales.

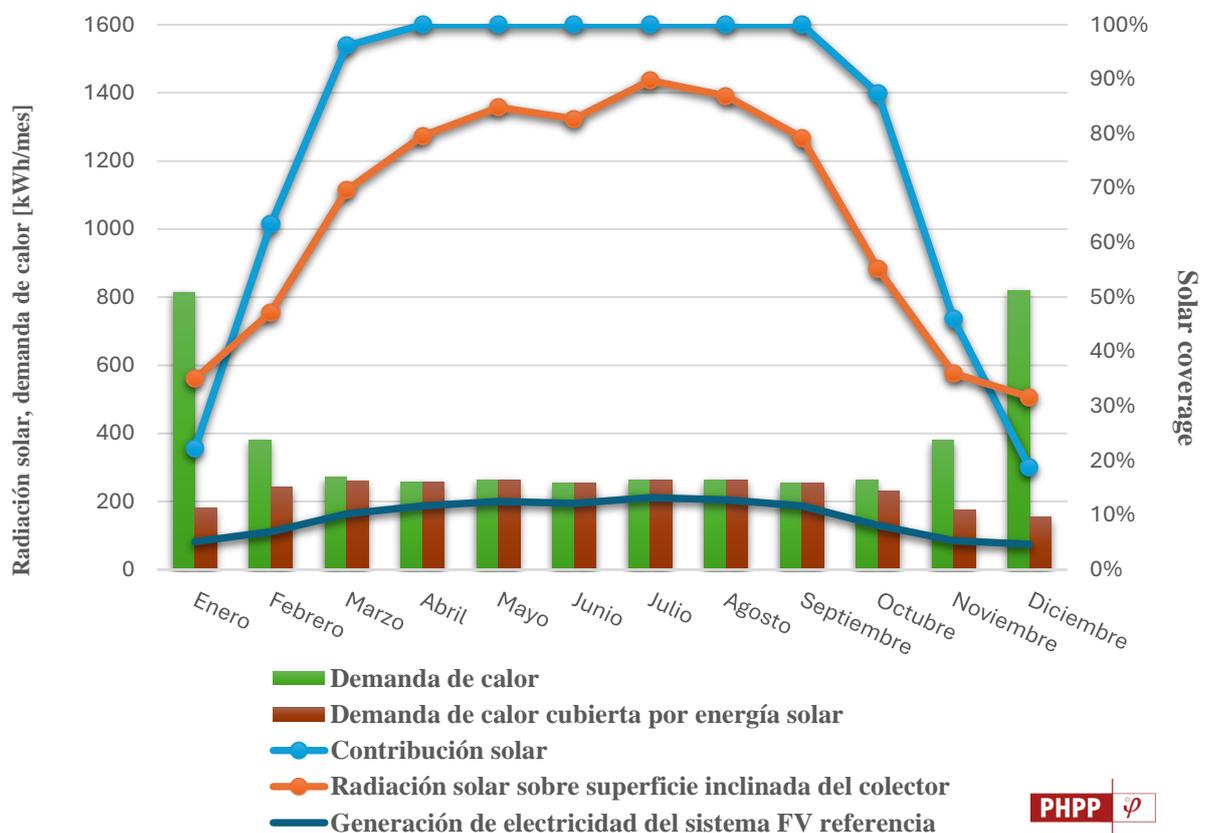


Ilustración 19. Demanda de calor cubierta por energía solar. Fuente: PHPP

5.2. Instalación solar fotovoltaica

Por su parte, la instalación fotovoltaica, cuenta con 12 paneles modelo AIKO-A620-MAH72Mw y un área de 30 m² en la misma ubicación que los térmicos, Ilustración 18, aprovechando eficientemente el espacio disponible y asegurando una captación óptima

de la energía solar. Cada uno de estos paneles aporta una potencia de hasta 620 W, dando una capacidad total de 7,44 kW, ANEXO II.

Estos paneles fotovoltaicos generan electricidad que puede ser utilizada directamente en la vivienda para alimentar electrodomésticos, iluminación y sistemas de calefacción y refrigeración, o puede ser almacenada en baterías para su uso durante la noche o en días nublados. La integración de esta instalación fotovoltaica con la vivienda Passivhaus no solo reduce la dependencia de la red eléctrica y disminuye los costos energéticos, sino que también contribuye a la sostenibilidad y reducción de la huella de carbono del hogar.

Las características de los paneles son las siguientes:

Tabla 6. Características de los paneles solares fotovoltaicos según fabricante. Fuente: AIKO

PARÁMETROS	VALORES [STC]
P_{max} [W]	620
V_{mp} [V]	45,08
I_{mp} [A]	13,76
Eficiencia del módulo [%]	24,0
Nº de células	144·(6·24)
Dimensiones [mm]	2278·1134·35

A continuación, se muestra el rendimiento aprovechado del conjunto de módulos fotovoltaicos por mes.

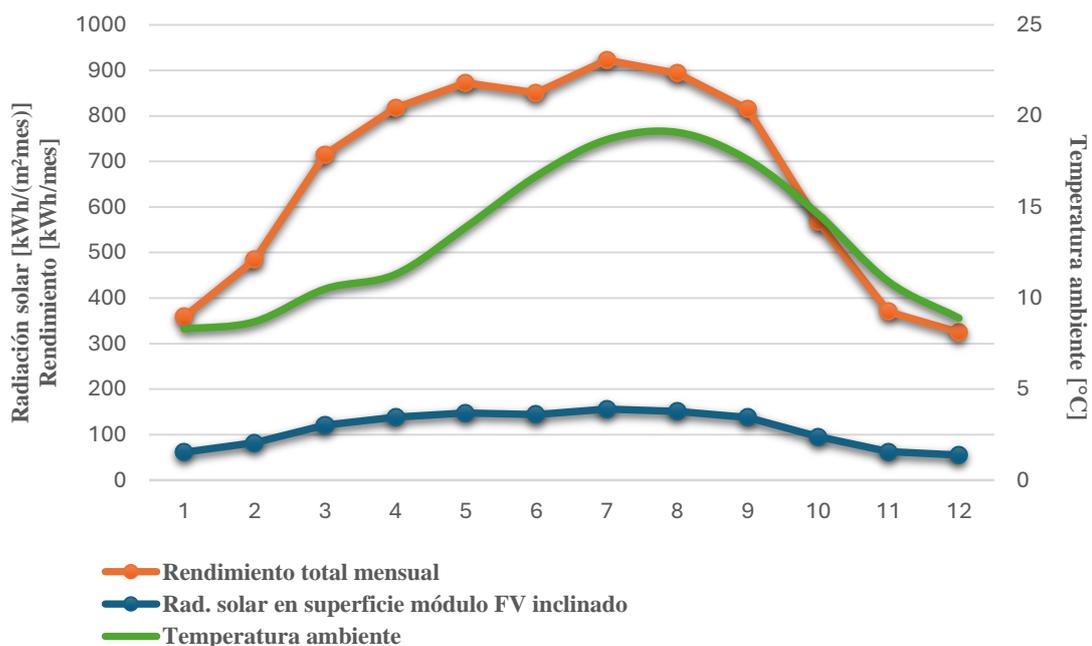


Ilustración 20. Rendimiento mensual de los módulos fotovoltaicos. Fuente: PHPP

6. Análisis de resultados y conclusiones

Una vez diseñada toda la envolvente térmica de la vivienda y la instalación fotovoltaica, se procede a introducir todas las características descritas en el Software de análisis PHPP.

Los valores específicos de la vivienda obtenidos son los siguientes:

Tabla 7. Valores específicos en referencia a SRE de la vivienda obtenidos. Fuente: PHPP

CLASES EN SUBDIVISIONES	VALOR ACTUAL	CRITERIOS PHI	CRITERIOS CASA PASIVA			CLASE ALCANZADA
			Classic	Plus	Premium	
Demanda de calefacción	4	≤ 30		15		Premium
Carga de calefacción	8	≤ -		10		
Demanda de refrigeración	-	≤ -		-		Premium
Hermeticidad n ₅₀	-	≤ 1		0,6		Premium
PER en relación con SRE	21	≤ 75	60	45	30	Plus
Generación de PER	45	≥ -	0	60	120	
Demanda de PE (energía primaria no renovable)	18	≤ 100		100		Premium

Comparando estos resultados con los criterios expuestos en la Tabla 2, la vivienda estudiada cumple con los requerimientos para la **Certificación Passivhaus Plus**.

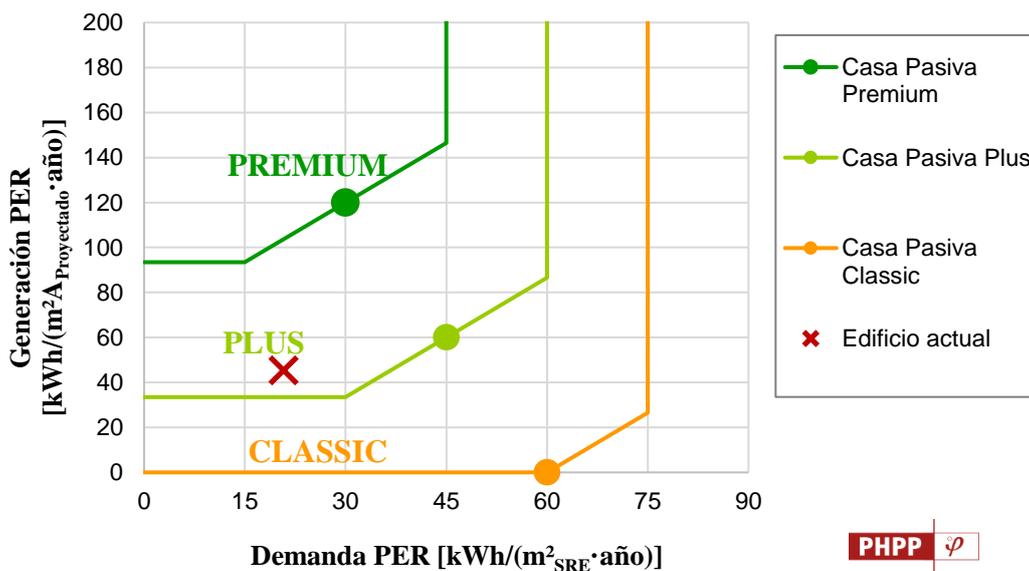


Ilustración 21. Clasificación de la vivienda pasiva con la herramienta PHPP. Fuente: PHPP



Se podría conseguir la certificación Premium definiendo más área de captación solar fotovoltaica o complementándolo con otras energías renovables como solar térmica para satisfacer la demanda de ACS y calefacción.

La obtención de la **Certificación Passivhaus Plus** demuestra que la vivienda alcanza altos estándares de eficiencia energética, reduciendo significativamente la demanda de calefacción y refrigeración, lo que se traduce en menores costos operativos y una menor huella de carbono. La certificación refleja un fuerte compromiso con la sostenibilidad ambiental, utilizando energías renovables y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, además de emplear materiales y técnicas constructivas respetuosas con el medio ambiente, lo que contribuye a un menor impacto ecológico.

El diseño pasivo asegura un confort térmico superior durante todo el año y garantiza una alta calidad del aire interior, mejorando la salud y el bienestar de los ocupantes. Aunque la inversión inicial puede ser mayor, los ahorros significativos en consumo energético a largo plazo amortizan esta inversión, proporcionando beneficios económicos sostenibles y aumentando el valor de la propiedad en el mercado inmobiliario. La herramienta PHPP ha demostrado ser precisa y fiable en la planificación y evaluación energética, facilitando la obtención de la certificación y sirviendo como una herramienta integral para el diseño y la optimización de edificios eficientes.

Obtener la certificación Casa Pasiva Plus no estuvo exento de desafíos, pero superar estos obstáculos ha sido crucial para el éxito del proyecto, fomentando la innovación y la mejora continua en técnicas de construcción. Este proceso establece un modelo a seguir para futuras construcciones sostenibles, promoviendo prácticas de construcción responsables y eficientes, y contribuyendo al desarrollo de normativas y estándares más estrictos en eficiencia energética y sostenibilidad.



7. Bibliografía

- [1]. Fernández Chavarría, A. (2024). *Diseño y Cálculo de una Vivienda Unifamiliar Aislada Bajo el Estándar Passivhaus*. TFG Universidad de Oviedo.
- [2]. Neila González, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Editorial Munilla-Lería.
- [3]. Wassouf, M. (2022). *De la casa pasiva al estándar Passivhaus*. Editorial GG, SL.
- [4]. Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili S.A.
- [5]. Smith, J. A. (2010). *Diseño sostenible: Estrategias y técnicas*. EcoHabitat Press
- [6]. Passivhaus-international-org. (2011). *Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo*. Madrid
- [7]. Passive House Institute. (n.d.). *Estándar Passivhaus*. <https://passivehouse.com/>
(Consultado el 15 de abril de 2024)
- [8]. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2007). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*. Boletín Oficial del Estado.
- [9]. Ayuntamiento de Gijón. (2019). *Plan General de Ordenación Urbana de Gijón*. Ayuntamiento de Gijón
- [10]. Comunidad valenciana, F. p. (2014). *Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación*. Instituto Valenciano de la Edificación.



Universidad de
Oviedo



*ANEXO I: CÁLCULO CAUDAL DE AIRE DE
VENTILACIÓN*



Índice De Contenido

1. Demanda aire de impulsión	44
2. Demanda aire de extracción	44
3. Tasa de renovación de aire	44

Índice De Tablas

Tabla 1 .Dimensionamiento demanda aire de extracción. Fuente: Elaboración propia .	44
--	----



1. Demanda aire de impulsión

$$D_{\text{aire impulsión}} = A_i \cdot P$$

Donde:

- **D_{impulsión}**: Demanda de aire de impulsión [m³/h]
- **A_i**: Aire de impulsión por persona (30 m³ por persona)
- **P**: número de habitantes de la vivienda (4 personas)

$$D_{\text{aire impulsión}} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Demanda aire de extracción

Tabla 1 .Dimensionamiento demanda aire de extracción. Fuente: Elaboración propia

HABITACIONES DE EXTRACCIÓN DE AIRE	Baño	Cocina	Aseo	Alacena
Nº	3	1	1	1
DEMANDA DE AIRE DE EXTRACCIÓN POR ESTANCIA [m ³ /h]	40	60	20	20
TOTAL DEMANDA AIRE EXTRACCIÓN [m ³ /h]	220			

3. Tasa de renovación de aire

$$Q_{\text{aire ventilación}} = SRE \cdot h \cdot tr$$

Donde:

- **Q_{aire ventilación}**: Tasa de caudal de aire medio [m³/h]
- **SER**: Superficie de Referencia Energética (367 m²)
- **h**: altura de referencia de la estancia (2,5 m)
- **tr**: tasa de aire de renovación (0,3/h)

$$Q_{\text{aire ventilación}} = 276 \text{ m}^3/\text{h}$$



Universidad de
Oviedo



*ANEXO II: CÁLCULO INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA*



Índice De Contenido

1.	Cálculo producción solar fotovoltaica	47
1.1.	Potencia instalada	47
1.2.	Horas de Sol Pico	47
1.3.	Producción mensual.....	48

Índice De Tablas

Tabla 1 .	Valores HSP mensual. Fuente: Elaboración propia	47
Tabla 2 .	Valores rendimiento mensual de la instalación. Fuente: Elaboración propia ..	48



1. Cálculo producción solar fotovoltaica

Para aprovechar todo el área disponible de la cubierta, se ha decidido instalar 12 módulos fotovoltaicos. Para las características aportadas por el fabricante, mostradas en la Tabla 6, la producción anual instalada se calcula a continuación.

1.1. Potencia instalada

$$P_{\text{instalada}} = W_{\text{panel}} \cdot n$$

Donde:

- **P_{instalada}**: Potencia total instalada [W]
- **W_{panel}**: Potencia de cada panel según fabricante [W]
- **n**: número de paneles

$$P_{\text{instalada}} = 620 \text{ W} \cdot 12 \text{ paneles} = 7.440 \text{ W}$$

1.2. Horas de Sol Pico

Para las Horas de Sol Pico (HSP) se tomarán los valores correspondientes a una latitud de 43,5° (Gijón) con una inclinación de los paneles de 20°.

Tabla 1. Valores HSP mensual. Fuente: Elaboración propia

MES	HSP
Enero	1,64
Febrero	2,45
Marzo	3,26
Abril	3,86
Mayo	3,98
Junio	4,01
Julio	4,21
Agosto	4,08
Septiembre	3,84
Octubre	2,59
Noviembre	1,74
Diciembre	1,48



1.3. Producción mensual

$$E = P_{\text{instalada}} \cdot \text{HSP} \cdot D \cdot \eta$$

Donde:

- **E:** Rendimiento total mensual [kWh/mes]
- **HSP:** Horas de Sol Pico para cada mes
- **D:** Días del mes
- **η :** Rendimiento de la instalación (0,95)

Tabla 2. Valores rendimiento mensual de la instalación. Fuente: Elaboración propia

MES	RENDIMIENTO MENSUAL [Wh]
<i>Enero</i>	359
<i>Febrero</i>	484
<i>Marzo</i>	715
<i>Abril</i>	818
<i>Mayo</i>	872
<i>Junio</i>	851
<i>Julio</i>	923
<i>Agosto</i>	894
<i>Septiembre</i>	815
<i>Octubre</i>	568
<i>Noviembre</i>	370
<i>Diciembre</i>	325
TOTAL	7.994



Universidad de
Oviedo



ANEXO III: PLANOS



Índice De Planos

Plano 1: *Distribución planta baja de la vivienda*

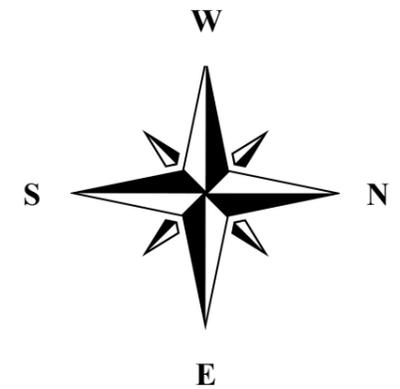
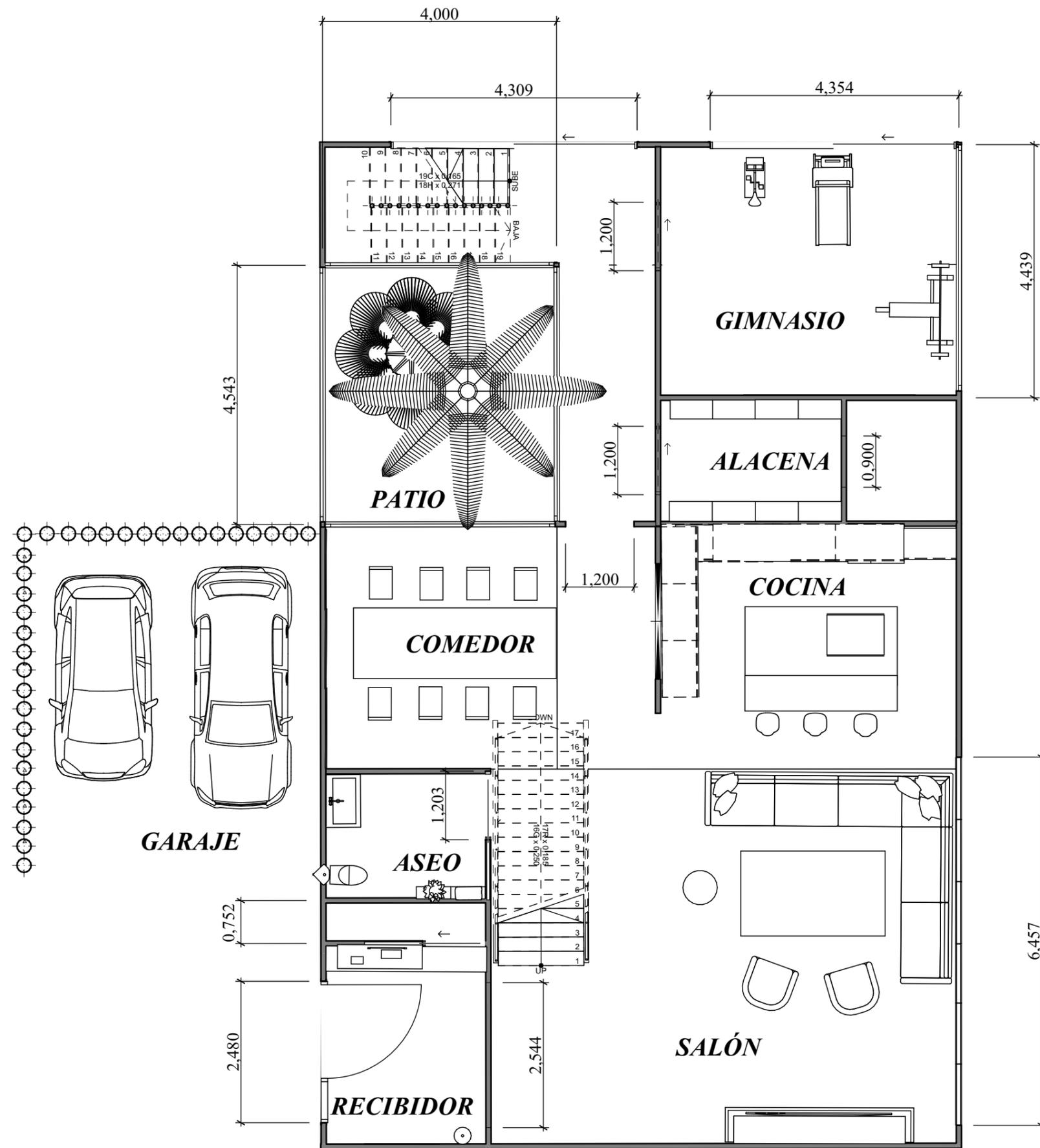
Plano 2: *Distribución primera planta de la vivienda*

Plano 3: *Distribución ático de la vivienda*

Plano 4: *Alzado sur de la vivienda*

Plano 5: *Alzado oeste de la vivienda*

Plano 6: *Alzado norte de la vivienda*



Proyecto:

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Plano:

Distribución planta baja de la vivienda

Autor:



Andrea Fernández Chavarría

Escala:

1:80

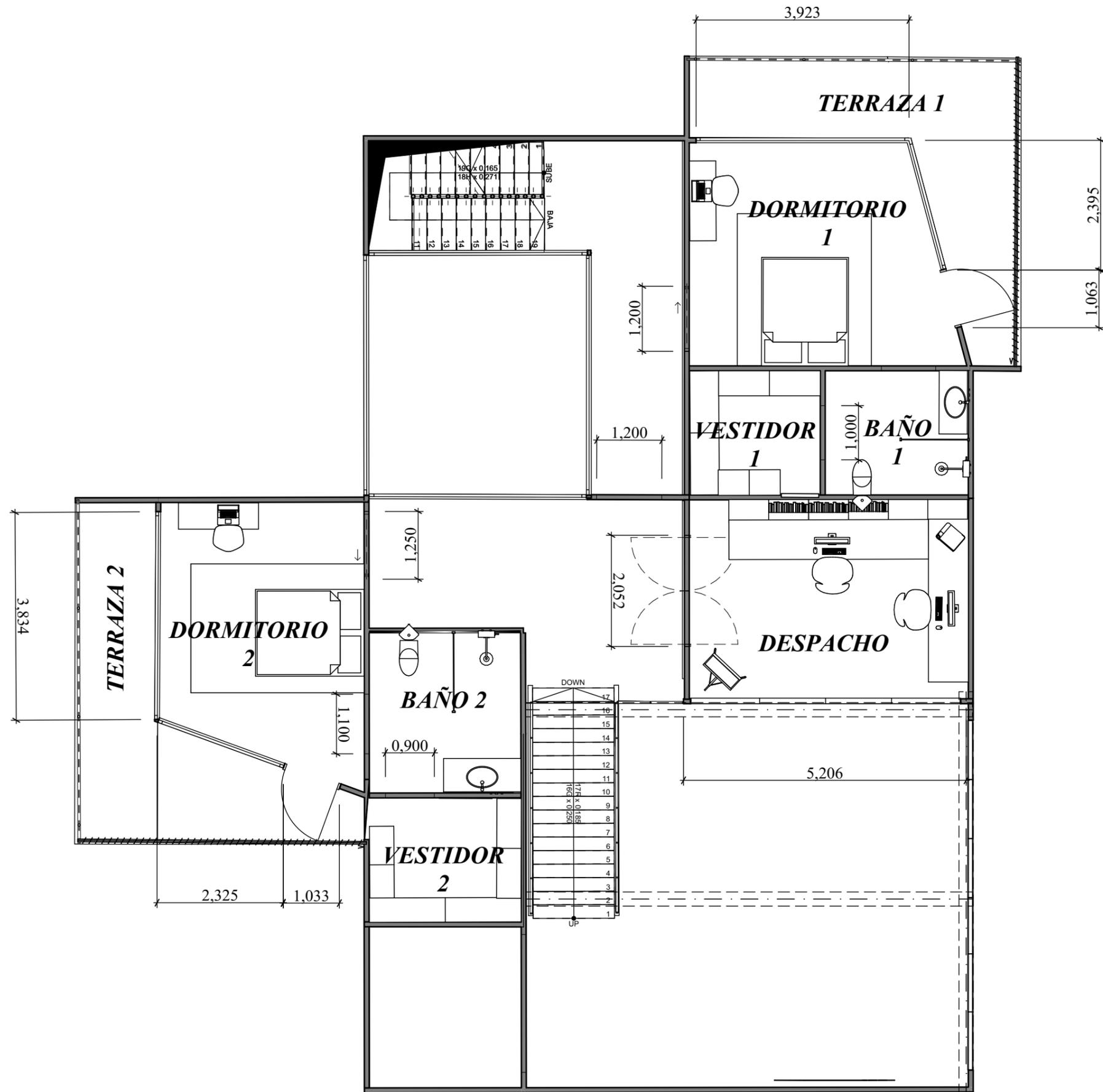
Fecha:

29/06/2024

Nº:

01 /06





Proyecto:

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Plano:

Distribución primera planta de la vivienda

Autor:

Andrea Fernández Chavarría

Escala:

1:80

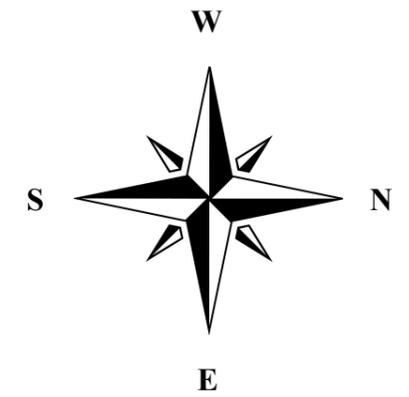
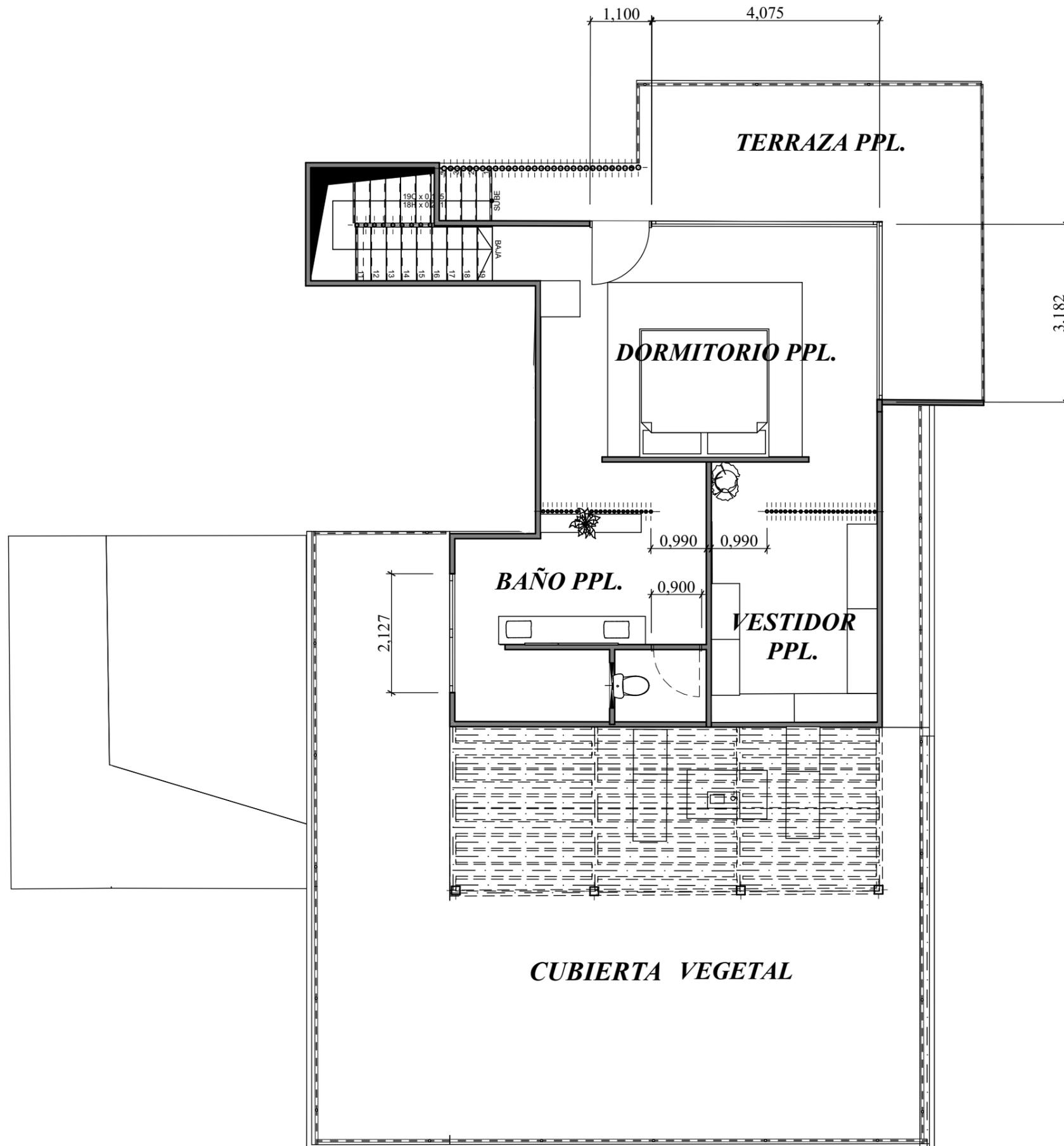
Fecha:

29/06/2024

Nº:

02 /06





Proyecto:

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Plano:

Distribución planta ático de la vivienda

Autor:

Andrea Fernández Chavarría

Escala:

1:80

Fecha:

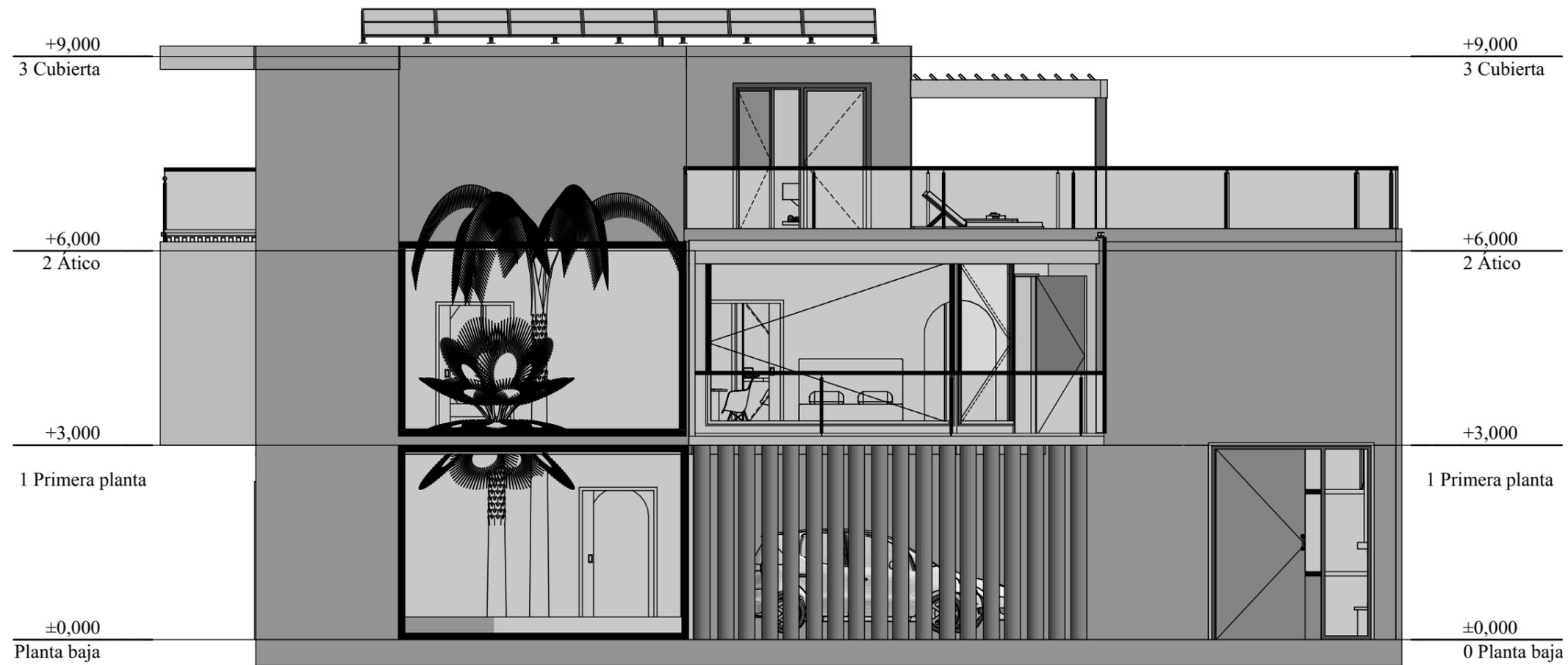
29/06/2024

Nº:

03 /06



CHAVARRÍA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



Proyecto:

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Plano:

Alzado sur de la vivienda

Autor:

Andrea Fernández Chavarría

Escala:

1:80

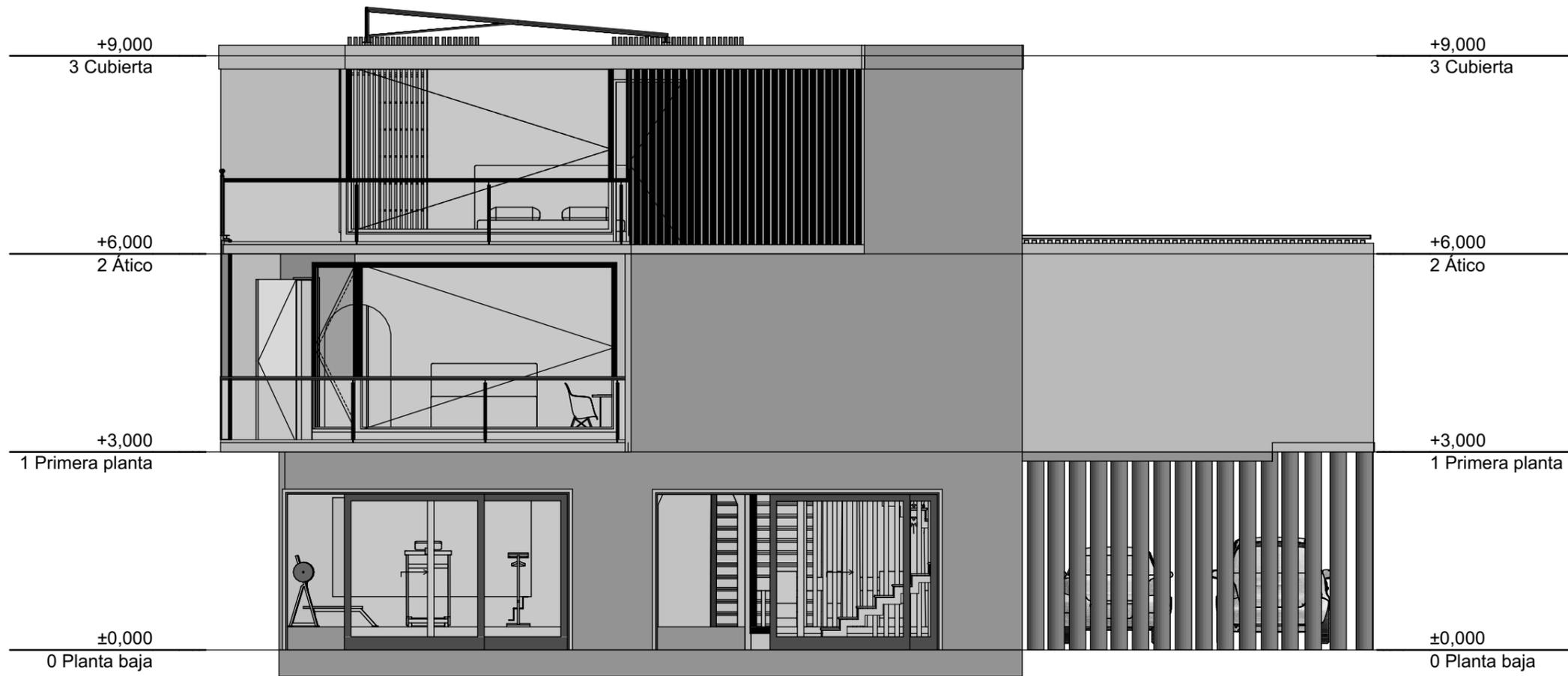
Fecha:

29/06/2024

Nº:

04 /06





Proyecto:

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Plano:

Alzado oeste de la vivienda

Autor:

Andrea Fernández Chavarría

Escala:

1:80

Fecha:

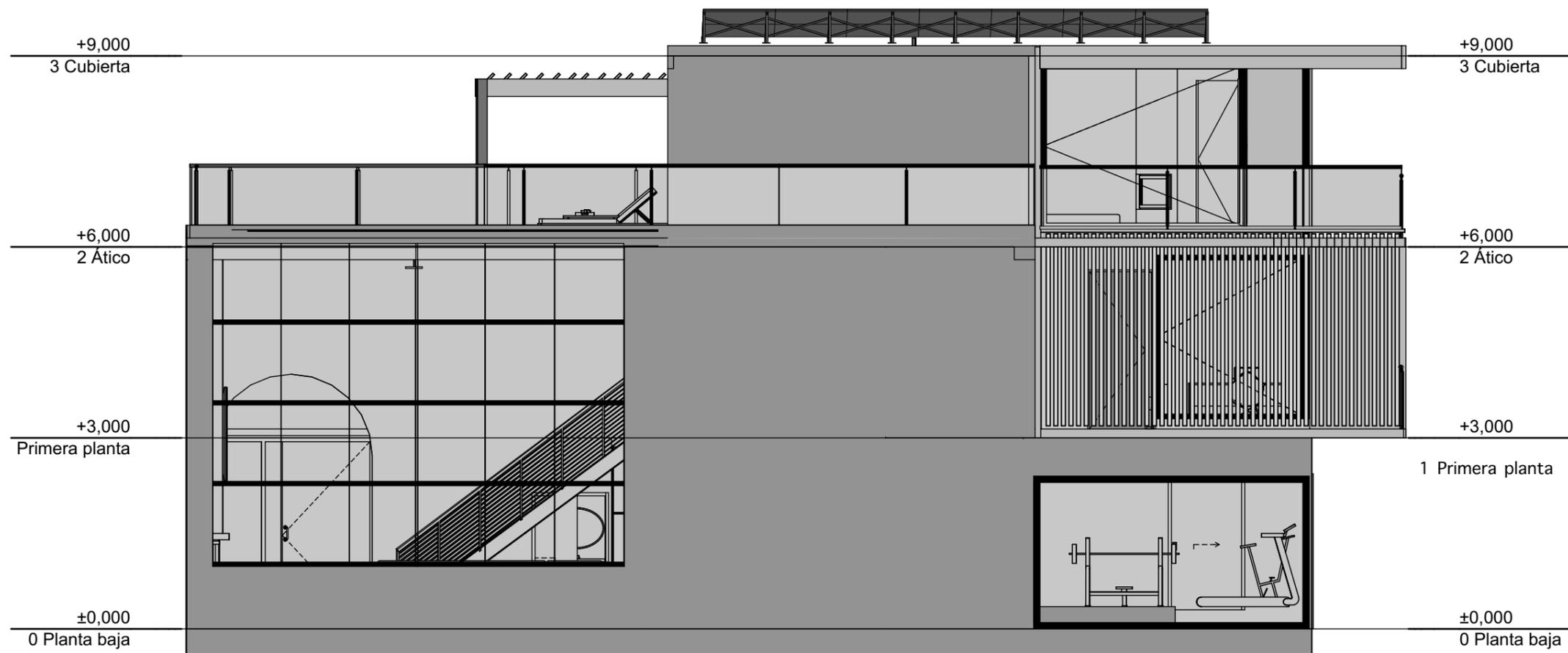
29/06/2024

Nº:

05 /06



CHAVARRÍA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



Proyecto:

Diseño Energético de una Vivienda Pasiva Unifamiliar Bajo Estándar Passivhaus y Abastecida con Energías Renovables

Plano:

Alzado norte de la vivienda

Autor:



Andrea Fernández Chavarría

Escala:

1:80

Fecha:

29/06/2024

Nº:

06 /06

