



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Anteproyecto de diseño de vivienda bioclimática en una finca rural de la Sierra de Aracena

Autor: Beatriz Ortega Sánchez

Tutor: Cristian Fábrega Gallego

Curs acadèmic: 2022/2023

Màster en Energies Renovables i
Sostenibilitat Energètica

Índice del trabajo

Abstract	5
1 Introducción y objetivos.....	6
1.1 Introducción	6
1.2 Estado del arte arquitectura bioclimática en España	7
1.3 Objetivo	7
1.4 Metodología e hipótesis inicial	8
2 Vivienda bioclimática en Sierra de Aracena y Picos de Aroche	9
2.1 Análisis climático	9
2.1.1 Sol y radiación solar.....	9
2.1.2 Viento	10
2.1.3 Temperaturas.....	10
2.1.4 Precipitaciones, humedad relativa y vegetación derivada	11
2.2 Diseño de arquitectura bioclimática y pasiva	11
2.2.1 Ubicación exacta y orientación	11
2.2.2 Principales factores medioambientales	13
2.2.2.1 Áreas geográficas y terreno	13
2.2.2.2 Vegetación.....	14
2.2.2.3 Agua.....	15
2.2.3 Consideraciones constructivas pasivas	15
2.2.3.1 Layout.....	15
2.2.3.2 Materiales de construcción sostenibles.....	16
2.2.3.3 Semienterramiento	17
2.2.3.4 Aislamientos térmicos y barreras radiantes.....	18
2.2.3.5 Puentes térmicos.....	21
2.2.3.6 Acristalamientos.....	22
2.2.3.7 Sistemas pasivos de calefacción solar	22
2.2.3.8 Sistemas pasivos de refrigeración	24
2.2.3.9 Sistemas pasivos de iluminación	27
2.3 Cálculo de la demanda energética mediante <i>HULC</i>	28
2.3.1 Resultados comparativos	28
2.4 Autosuficiencia energética sostenible	31
2.4.1 Sistema de geotermia.....	31
2.4.2 Sistema de aerotermia	32
2.4.3 Sistemas de climatización puntuales	32
2.4.4 Placas solares térmicas.....	34

2.4.5	Placas solares fotovoltaicas.....	34
3	Conclusiones.....	36
4	Bibliografía	37
5	Anexos.....	39
5.1	Anexo 1. Diagramas solares en la ubicación de la vivienda y cálculo del voladizo para el sombreado de los ventanales principales	39
5.2	Anexo 2. Modelo de cálculo sistema de geotermia	42
5.3	Anexo 3. Ficha técnica bomba de calor aerotermia.....	43
5.4	Anexo 4. Dimensionamiento de las placas solares térmicas	45
5.5	Anexo 5. Dimensionamiento de las placas fotovoltaicas y almacenamiento	49

Índice de imágenes

Imagen 1.	Zonificación climática de Andalucía por municipios [V].....	9
Imagen 2.	Topografía de la ubicación de la vivienda	10
Imagen 3.	Localización, vista en planta y perfil de la construcción actual (37.987436N, -6.326034W).....	12
Imagen 4.	Localización propuesta para la vivienda bioclimática (37.987436N, -6.326034W) con pendiente orientada hacia el sur	12
Imagen 5.	Capturas de pantalla de la aplicación “Ephemeris”, a) Datos de 23 de junio de la localización de la construcción actual; b) Datos de 23 de Junio de la localización propuesta para la nueva vivienda; c) Datos de 23 de Diciembre de la localización propuesta	13
Imagen 6.	Majanos (montículos de piedras) recolectados por antepasados de familiares para limpieza del campo	14
Imagen 7.	Muestras de alcornoque recién descorchado, corcho seco y leña de encina seca ...	14
Imagen 8.	Instalación de abastecimiento de agua de la finca	15
Imagen 9.	Planta de la vivienda bioclimática diseñada.....	16
Imagen 10.	Fachadas delantera sur y trasera norte de la vivienda bioclimática diseñada	16
Imagen 11.	Zona excavada en la misma finca para carril de tránsito de vehículos, donde se puede apreciar la geología del suelo con roca mayoritariamente del tipo pizarra	17
Imagen 12.	Opción en HULC para especificar que una solera o un cerramiento está en contacto directo con el terreno	18
Imagen 13.	Comparación en HULC de paredes interiores no sostenibles y sostenibles	19
Imagen 14.	Comparación en HULC de muros exteriores no sostenibles y sostenibles	20
Imagen 15.	Materiales introducidos en HULC que conforman las paredes y soleras en contacto con el terreno.....	20
Imagen 16.	Suelo radiante tradicional y eléctrico [XIV].....	20
Imagen 17.	Materiales introducidos en HULC que conforman la cubierta y transmitancia térmica resultante.....	21
Imagen 18.	Cálculo de puentes térmicos una vez finalizado el modelo de la vivienda	22
Imagen 19.	Trayectoria solar en la localización elegida (37.9835N, -6.3301W) durante el solsticio de verano e invierno, el día más largo y corto del año respectivamente. Diagramas solares obtenidos de SunEarthTools [XXII].	23

Imagen 20. Aislamiento de la tierra del aire frío de invierno y tubos enterrados para ventilación	24
Imagen 21. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habituales	25
Imagen 22. Sistema de ventilación propuesto para satisfacer el caudal mínimo requerido por el CTE.....	25
Imagen 23. Dimensiones y sistemas de sombreado con lamas de las ventanas de las fachadas este y oeste	26
Imagen 24. Parra que hace de porche refrigerante y alberca a la sombra de un gran eucalipto como superficie de agua que refrigera el entorno de la vivienda.	27
Imagen 25. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas sin voladizos y sin lamas	29
Imagen 26. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo pequeño de 1,35 m de longitud y sin lamas.....	29
Imagen 27. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo grande de 3 m de longitud y sin lamas.....	29
Imagen 28. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo grande de 3 m de longitud y con lamas en las ventanas pequeñas orientadas al este y oeste	30
Imagen 29. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo grande de 3 m de longitud, con voladizos extra laterales y con lamas en las ventanas pequeñas.....	30
Imagen 30. Tabla IV.1 del documento para la calificación de la eficiencia energética de los edificios, donde se determinan las clases de eficiencia para edificios de uso residencial privado (vivienda) de tipo unifamiliar, en climas peninsulares [XVIII].....	31
Imagen 31. Distintos tipos de aprovechamiento de la leña de encina. De izquierda a derecha, chimenea abierta tradicional, chimenea insertable o casete y caldera de gasificación de leña	33
Imagen 32. En la primera imagen, instalación existente en la vivienda de una finca cercana. En la segunda imagen, instalación placas fotovoltaicas como elemento de sombreado.....	35
Imagen 33. Carta y diagrama solares obtenidos de SunEarthTools [XXII]	39
Imagen 34. Elevaciones límites solares y trigonometría para sacar la longitud óptima del voladizo a instalar.....	39
Imagen 35. Relaciones trigonométricas con longitud de voladizo de 3 metros	40
Imagen 36. Diagrama solar con zona protegida por el voladizo de 3 metros.....	40
Imagen 37. Opciones de dispositivos de sombra estacionales y sostenibles	41
Imagen 38. Condiciones para la utilización del monograma según los distintos tipos de suelo	42
Imagen 39. Nomograma para calcular la longitud y superficie de un cambiador geotérmico horizontal	42
Imagen 40. Irradiancia y temperatura media diaria en julio en la localización elegida, obtenidos de PVGIS [XXIII].....	46
Imagen 41. Irradiancia y temperatura media diaria en diciembre en la localización elegida, PVGIS [XXIII].....	47
Imagen 42. Distribución del perfil de consumo horario proporcionado por PVGIS [XXIII]	49

Abstract

The aim of this work was to design, in a basic and synthesised way, a bioclimatic single-family house under the premise of improving the comfort of the inhabitants, maximising energy efficiency and reducing energy consumption. Furthermore, as it would be located in a rural system in the Dehesa of Sierra Morena, the main idea was to design both the house and the auxiliary systems by reducing the environmental impact, taking advantage of local resources and minimising the use of materials, systems and technologies that could negatively affect the environment and the ecosystems in which it is located.

The following list is a summary of the main aspects that have been analysed and the conclusions reached from the study of the different active and passive technologies for the design of this bioclimatic house.

- Aiming the circular economy, the idea was to make use of the existing foundations of the ruins of a 150-year-old building. However, given the degree of degradation of these foundations and their poor orientation in bioclimatic terms, it was decided to prioritise the south orientation for the passive design and another location was chosen.
- Thanks to the model designed in HULC software, the good results of the semi-burial and the local materials have been confirmed, thanks to their high thermal inertia and thermal insulation properties.
- Also, regarding the energy demand results obtained in HULC, it has been possible to check the solar gain of all the openings in the envelope of the house, regardless of their orientation. The software also made possible the sizing of the main overhang thanks to the solar gain contributions calculated for each of the models. The reduction of cooling demand has been prioritised over heating demand, with the use of shading elements in the main and secondary windows.
- In view of the good bioclimatic design of the house and its reduced energy needs, the use of continuous air-conditioning systems, such as geothermal or aérothermal, has been discarded due to the impossibility of making them profitable in the short term. An installation of solar thermal panels for SHW (Sanitary Hot Water) production and photovoltaic panels for the electrification of the house has been dimensioned.

This work has been developed around the concepts of passive architecture, circular economy, minimum environmental impact, energy efficiency and renewable energies, giving them the importance they should have in each and every one of the sectors involved in our economic and productive system to avoid climate cataclysm in future years.

1 Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Se ha llegado a un punto en que es innegable la situación de emergencia climática en la que la humanidad se encuentra. Desde el comienzo del Antropoceno, la acción y presión humana ha forzado al sistema terrestre con sus diferentes prácticas poco o nada respetuosas con los ecosistemas a una trayectoria aceleradora que se aleja rápidamente del estado estable del Holoceno de los últimos 12000 años, siendo este el único estado demostrado del sistema terrestre que puede sustentar el mundo tal y como lo conocemos. De esta manera, los expertos han demostrado que 7 de los 8 límites del sistema terrestre han sido sobrepasados, siendo estos necesarios para mantener la resiliencia y estabilidad del sistema terrestre y, por lo tanto, minimizar la exposición a daños significativos para los seres humanos derivados del cambio del sistema terrestre [I].

Con el conocimiento de esta información, es necesaria la acción e intervención inmediata para intentar revertir parte del daño que la actividad humana ha causado durante los últimos siglos o, al menos, evitar que el impacto del colapso que sufrirán las generaciones futuras sea mayor. Afortunadamente, desde hace aproximadamente 3 décadas se están llegando a ciertos acuerdos internacionales para hacer que cada uno de los países y sectores responsables minimicen su impacto ambiental en términos de energía consumida y toneladas de emisiones de CO₂.

El sector de la construcción tiene una huella de carbono muy elevada si se tiene en cuenta las emisiones directas e indirectas. En el año 2021, las emisiones de CO₂ directas derivadas del uso de combustibles fósiles en edificios fue el 8% respecto a las emisiones globales, pero, a su vez, indirectamente también se emitió otro 19% para la generación de electricidad y calor usado posteriormente en los edificios y un 6% adicional derivado de la producción de cemento, acero y aluminio usado en la construcción de edificios. De igual forma, se ha contabilizado que el funcionamiento de los edificios representa el 30% del consumo de energía final global [II]. Todo esto se puede deber a diversas razones, entre las que destacaría el crecimiento demográfico y el aumento de la demanda energética de dicha población, la edad media y el consumo energético de los edificios existentes y el creciente consumo de equipos y cargas de refrigeración debido al cambio climático.

Por lo tanto, sabiendo que el sector de la construcción es responsable de alrededor de un tercio de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía y los procesos, es necesario restringir las emisiones en toda su cadena de valor. Para ello y para llegar a los objetivos 2030 y 2050, se han considerado dos estrategias principales.

Primeramente, se ha reforzado la necesidad de una transición energética que haga al sistema económico actual ser independiente de los “sucios” combustibles fósiles y que se sustituya el modelo energético por fuentes de energías alternativas, renovables y sostenibles.

En segundo lugar, se ha puesto también sobre la mesa la necesidad de modificar los procesos productivos del sector de la construcción hacia un ahorro y una eficiencia energética que se adecue a los estándares establecidos. Hay un gran margen de mejora en el campo del ahorro de la edificación, sobre todo en su implementación, porque la mayoría de las tecnologías ya están inventadas y en comercialización.

Es decir, para reducir el impacto ambiental del sector de la edificación, es necesario que estos sean menos demandantes de energía, y que a la vez la poca energía que consuman provenga de fuentes renovables y respetuosas con el ecosistema que les rodea. Es importante también que la economía circular se interiorice en el sector de la construcción, sobre todo en lo referente al uso de materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente en todo su ciclo de vida, y en el diseño de los edificios responsable con su futuro impacto durante las etapas de uso, operatividad y desmantelamiento.

1.2 Estado del arte arquitectura bioclimática en España

El uso de la arquitectura bioclimática está en auge debido al aumento de la concienciación social ambiental, al replanteamiento del modelo de gestión de los recursos energéticos y a la implementación de normativas constructivas cada vez más restrictivas que incluyen unos indicadores de eficiencia energética mínimos. La arquitectura bioclimática consiste en diseñar un edificio con el objetivo de reducir su consumo energético total a la vez que se proporcionan las condiciones de confort óptimas para los habitantes de esta. Para esto, se tiene en consideración los datos climáticos locales, los recursos ambientales como el sol, viento, aire, vegetación, suelo y cielo y los distintos criterios arquitectónicos que permitan aprovechar estos recursos para reducir el consumo energético de calefacción, refrigeración e iluminación.

Las principales regulaciones que se deben tener en cuenta en España a la hora de construir/rehabilitar un edificio en base a estos criterios de construcción son:

1. Requisito básico de ahorro de energía – Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).
2. Código Técnico de Edificación (CTE) – Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Última modificación: Real Decreto 732 2019.
3. RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios – Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
4. Normativa Europea de *Nearly zero-energy buildings*.

Además de los diferentes aspectos constructivos para tener en cuenta, también cabe destacar la importancia de las características geográficas y las condiciones climáticas locales para desarrollar estrategias de diseño de climatización pasiva.

1.3 Objetivo

El objetivo de este trabajo es presentar un diseño básico de una casa rural para uso particular bajo los criterios de arquitectura pasiva y bioclimática, implementando elementos arquitectónicos para mejorar el confort climático y la eficiencia energética y utilizando sistemas de energías alternativas y renovables que hagan a la vivienda autosuficiente.

En la medida de lo posible, se busca utilizar para la construcción y operatividad de la casa los recursos propios y locales del entorno, como lo son las piedras de los restos de una antigua vivienda, el corcho de los alcornoques o la leña de encina de la propia finca.

Además, se pretende hacer un estudio de la demanda energética del diseño propuesto para poder satisfacer las necesidades de los convivientes con fuentes de energía renovable, así como el dimensionamiento de estas.

En ningún caso se pretende hacer un estudio de viabilidad económica para este proyecto.

1.4 Metodología e hipótesis inicial

Para el desarrollo de este proyecto, se van a tomar una serie de criterios de construcción aprendidos en la asignatura de “Gestión energética en sectores no industriales: edificación y transporte”, impartida en el Máster de Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universidad de Barcelona. En primera instancia, se seleccionan los siguientes criterios arquitectónicos pasivos para el diseño de la vivienda:

- Localización determinada por la construcción dedicada a la ganadería extensiva para reaprovechamiento de la cimentación existente.
- Principales ventanales con orientación sur para calefacción solar pasiva y para aprovechamiento de la energía solar para la iluminación diurna durante todo el año.
- Aislamiento térmico adecuado de la envolvente exterior del edificio y estanqueidad al aire de las estructuras herméticas y cerramientos. Para ello, se plantea utilizar los recursos principales locales: piedra común y pizarra como elemento constructor, cal como aglutinante, corcho como elemento aislante.
- Semienterramiento de la vivienda para mejores prestaciones energéticas aprovechando la inercia térmica del terreno.
- Voladizos y elementos de sombras para evitar la sobreexposición de radiación en verano.
- Elementos de ventilación estratégicamente colocados.

Con las anteriores precondiciones supuestas y el software *HULC* (Herramienta Unificada Líder-Calender) [XXV] se plantea conseguir un modelo de comportamiento y demanda energética de la vivienda.

En cuanto a los sistemas de energía, se presupone el uso de placas solares fotovoltaicas para la electrificación de la vivienda (ya que no cuenta con acceso a la red por su remota localización), el uso de la geotermia como principal fuente de ACS y climatización, y la quema de biomasa como fuente de energía térmica extra para calefacción en invierno. Para el cálculo y dimensionamiento de estos sistemas también se pretende usar los conocimientos aprendidos y temarios suministrados en las asignaturas del mismo Máster.

Como ya se ha comentado, no se pretende hacer un análisis de viabilidad económica del proyecto, por lo que se presupone presupuesto infinito para la implementación de este proyecto asegurando en todo momento la elección de los aspectos más sostenibles para la obtención de la mejor prestación energética de la vivienda.

2 Vivienda bioclimática en Sierra de Aracena y Picos de Aroche

La vivienda por diseñar se destinará para uso residencial para una familia reducida de 2 personas en una finca rural situada en Cala, un pueblo situado al nordeste de la provincia de Huelva, casi en la frontera con Extremadura. Concretamente, el pueblo y la finca pertenece al Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche, un espacio protegido que ocupa todo el norte de la provincia con sus dehesas y pequeñas elevaciones cubierta principalmente de bosques de encinas y alcornoques.

Para lograr el máximo confort dentro de la vivienda con el mínimo consumo energético bajo los criterios bioclimáticos, es importante analizar y aprovechar las condiciones climáticas del entorno en el que se encontrará.

2.1 Análisis climático

Cala está caracterizada por el clima general de esta zona serrana nororiental, incluyéndose dentro de la variante mediterránea-continental, con mayores rasgos húmedos, aunque con el cambio climático cada vez se puede sentir menos este tipo de clima [IV].

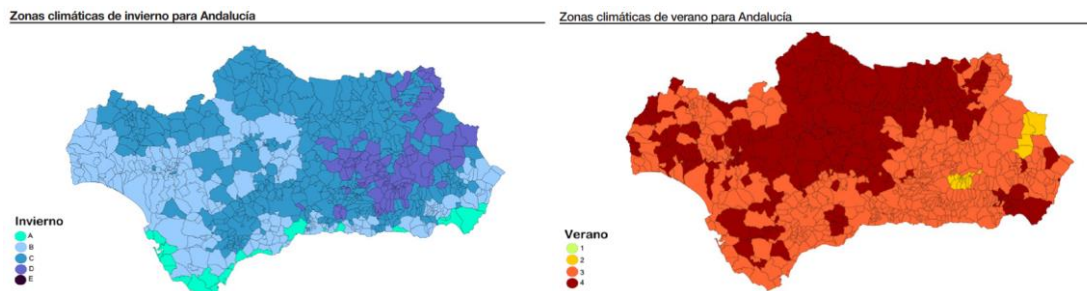


Imagen 1. Zonificación climática de Andalucía por municipios [V].

Con una altitud sobre el nivel del mar entre 600 y 650 m y según la sección HE1 del documento básico de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación, el municipio de Cala tiene una zonificación climática establecida C4 [V]. En la Imagen 1 se puede ver gráficamente las distintas zonificaciones climáticas de los numerosos municipios de Andalucía. Conocer este dato es importante para poder determinar las necesidades energéticas de una vivienda en dicha ubicación, ya que tendrá valores de parámetros de cálculo diferentes, como son la transmitancia térmica y la permeabilidad del aire. Como utilizaremos la última versión del software oficial *HULC* [XXV], especificando la zona climática de nuestra ubicación se garantiza que se verifican correctamente las exigencias de demanda y consumo del DB-HE según el criterio establecido por el CTE.

2.1.1 Sol y radiación solar

Es esencial estudiar la trayectoria del sol durante todo el año en un diseño bioclimático, ya que debe considerarse como la principal fuente de energía de nuestra vivienda, pudiendo ser aprovechado tanto para calentamiento pasivo como activo, o para obtener energía fotovoltaica. Se deben evitar también lugares donde haya árboles u otro tipo de obstáculos que den sombras para aprovechar el máximo potencial solar. Analizando la geometría solar podremos determinar la influencia exacta que tendrá el sol en nuestro edificio, por lo que podremos diseñar distintos aspectos y elementos importantes como orientación, elementos captadores y de sombra, placas solares, etc.

Los principales parámetros a determinar en la trayectoria solar en nuestra ubicación son la elevación y el azimut solar para cada hora y día del año, aunque los puntos singulares que se considerarán en el diseño bioclimático son las elevaciones máximas y mínimas sobre el horizonte según la orientación principal.

Existen diversas herramientas para calcular la posición del sol en cualquier lugar de la tierra en cualquier momento del año. Lo ideal para un diseño bioclimático es contar con los diagramas cilíndrico y estereográfico solares en la longitud y latitud exacta de nuestra vivienda. En este trabajo se hará uso de la plataforma online *SunEarthTools* [XXII], los gráficos obtenidos se muestran en el anexo 1 y se analizarán en capítulos posteriores.

La ganancia solar no se determina únicamente con la trayectoria solar y los objetos de sombras. También hay que tener en cuenta las condiciones atmosféricas continuamente cambiantes debido a las nubes y otros factores climáticos. Para obtener las horas esperadas de sol que tendrán un efecto en la radiación solar real se utilizará la plataforma *PVGIS* [XXIII]. De igual manera, los resultados se adjuntarán en el anexo 2 y se analizarán en capítulos posteriores, especialmente en el de dimensionamiento de paneles solares.

2.1.2 Viento

El viento puede afectar también al confort climático dentro de una vivienda, por lo que, para un diseño bioclimático correcto, conviene conocer la dirección, velocidad y frecuencia dominante durante todo el año. En invierno se debe proteger la vivienda de los vientos dominantes para evitar turbulencias, pero en verano conviene aprovechar las brisas para favorecer la ventilación y climatización interior de los edificios.

Los datos de vientos pueden ser recolectados de la estación meteorológica más cercana a nuestra localización, aunque las condiciones locales cercanas al edificio, como la topografía, la vegetación u otros objetos altos pueden afectar directamente al flujo de viento que debe considerarse para el diseño. En el caso de nuestro municipio y localización exacta, los vientos no son relevantes debido a la topografía de la localización ya que la ubicación se encuentra protegida por los montes y vegetación del entorno, como se puede visualizar en la Imagen 2 [VII]. Por lo tanto, no consideraremos el viento como un factor determinante en nuestro diseño.



Imagen 2. Topografía de la ubicación de la vivienda

2.1.3 Temperaturas

La temperatura local exterior también es un factor determinante a la hora de diseñar nuestra vivienda bioclimática. Tanto en invierno como en verano, nos interesa que el frío o calor del ambiente no penetre en el edificio para que la temperatura confort del interior se mantenga entre los 18 y 24 °C, según la *ISO 7730* [XXIV].

De igual forma que los datos de viento, los datos de temperatura se pueden obtener de las estaciones meteorológicas cercanas a la ubicación. Los datos registrados indican que, en Cala, los veranos son cortos y cálidos y los inviernos son largos y fríos. Durante el transcurso del año,

la temperatura generalmente varía de 2 °C a 33 °C y rara vez baja a menos de -2 °C o sube a más de 37 °C. Por lo tanto, la temperatura media es de 15,5 °C [VII].

2.1.4 Precipitaciones, humedad relativa y vegetación derivada

La precipitación media anual es una pieza vital de los datos climáticos, aunque no necesariamente de nuestro diseño bioclimático. No obstante, la cantidad de lluvia y de los días de lluvia anuales influye directamente en la temperatura del aire, la humedad relativa y la cantidad de horas de sol.

Las principales formas de precipitación son la llovizna, la lluvia, la aguanieve, la nieve y el granizo. En Cala, los veranos son áridos y mayormente despejados y los inviernos son parcialmente nublados. El cambio climático ha provocado que los episodios de precipitaciones en Cala sean cada vez más esporádicos, provocando una degradación de la biodiversidad del entorno y una bajada de las reservas de los acuíferos.

En los montes bajos de este municipio también cursaban antiguamente numerosos arroyos que ayudaban a conformar un paisaje de extraordinaria belleza y atractivo. Desafortunadamente, el cambio climático ha puesto de manifiesto la sequía en la Andalucía Occidental, por lo que ya únicamente se puede disfrutar de los arroyos con agua circulante en las escasas ocasiones de precipitaciones puntuales, registradas normalmente en los meses de diciembre y enero, y prácticamente nulas en verano [VII].

La humedad relativa en el interior de la vivienda para una situación de confort habitacional debe estar entre el 30 y 70%, basándose en el punto de rocío ya que este determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Al ser el clima de Cala uno, seco, la humedad se mantiene generalmente entre esos valores de confort.

2.2 Diseño de arquitectura bioclimática y pasiva

Independientemente de los parámetros climáticos que tengamos en nuestra localidad, al basar el estudio de este trabajo en los resultados del software oficial *HULC* [XXV], y al contar su última versión con los últimos valores límites de la regulación aplicable, se comprobará de manera automática si la solución constructiva elegida e ingresada en el programa es adecuada para mantener los valores de confort interiores.

Una vez analizados los aspectos climáticos generales del entorno que afectarán directamente al consumo energético de la vivienda, cabe entrar en el detalle de diseño pasivo, e ir introduciéndolos en el programa para poder analizar los resultados obtenidos.

2.2.1 Ubicación exacta y orientación

Además de los aspectos climáticos generales del entorno estudiados en el capítulo anterior, es muy importante también tener en cuenta todos los aspectos micro-climáticos que pueden tener un efecto directo en la climatización del edificio a construir. Las decisiones que se tomen en la planificación del emplazamiento y la orientación del edificio tendrán un gran impacto en la eficiencia y consumo energético que tendrá el edificio a lo largo de toda su vida útil.

En este caso de estudio, se tiene una ventaja principal frente a aquellos edificios de nueva construcción en ciudades o zonas urbanizadas, y es que no está condicionado a lidiar con ciertos factores de diseño que afecten a la localización y orientación, como son seguir las líneas de las calles, zonas de actividad o respetar la orientación con el resto de los edificios y el acceso a la

calle. Al contar con una extensión de finca de dehesa de aproximadamente 45 hectáreas sin urbanizar, se puede escoger la mejor localización y orientación en base a las limitaciones de la topografía y la flora existente.

En primera instancia, se barajaba como hipótesis colocar la nueva vivienda en la misma localización donde se situaba actualmente una construcción dedicada al ganado de la familia. Las coordenadas de esta construcción son 37.987436N, -6.326034W.



Imagen 3. Localización, vista en planta y perfil de la construcción actual (37.987436N, -6.326034W).

De esta forma, se podría aprovechar parte de la cimentación existente y de los materiales de esta, ahorrando recursos y energía. No obstante, a la hora de estudiar esta posibilidad se descartó por varias razones, entre las que destacaba que la construcción existente tenía orientación sureste debido a la colina donde se situaba, como se puede observar en la Imagen 3. Si se quiere aprovechar la máxima ganancia solar como criterio de arquitectura pasiva, la mejor opción es que la nueva vivienda tenga orientación sur.

Por lo tanto, para encontrar una localización cuya orografía permitiese colocar la vivienda con la fachada principal con orientación sur, se estudiaron distintas zonas de la finca, dando lugar a las coordenadas 37.9835N, -6.3301W. Como se puede visualizar en la Imagen 4, este lugar es cercano al camino de la propiedad y existe un claro de árboles que permitiría la construcción de la vivienda, sin necesidad de modificar la flora del entorno y que permitiría a su vez que la vegetación no interfiriese en la radiación solar incidente en la casa.



Imagen 4. Localización propuesta para la vivienda bioclimática (37.9835N, -6.3301W) con pendiente orientada hacia el sur

Existen diversas aplicaciones móviles donde se puede consultar la elevación y el azimut solar para cada hora y día del año en base a los mapas cartográficos. En la Imagen 5 se muestra la utilizada en este trabajo, que es capaz de proporcionar las posiciones de los objetos astronómicos que ocurren naturalmente en el cielo en un momento determinado para una posición específica. En la imagen 5a se puede ver como la construcción actual tiene una orientación que desaprovecharía la ganancia solar de las últimas horas de sol del día. Por otro

lado, en las imágenes 5b y 5c podemos observar estos parámetros solares en la nueva localización propuesta tanto en el solsticio de verano como el de invierno, y en base a ello se puede observar como la orientación sur sería la óptima para aprovechar la ganancia solar.



Imagen 5. Capturas de pantalla de la aplicación "Ephemeris", a) Datos de 23 de junio de la localización de la construcción actual; b) Datos de 23 de Junio de la localización propuesta para la nueva vivienda; c) Datos de 23 de Diciembre de la localización propuesta

Para introducir estas consideraciones mencionadas en *HULC* [XXV], al crear el proyecto, en una pestaña de "Datos generales" se debe introducir la localidad donde se situará la nueva vivienda, la altitud y la zona climática, además de otros factores de diseño como el tipo de edificio y su uso, la superficie construida, cubierta, altura total...

2.2.2 Principales factores medioambientales

Existen diversas consideraciones medioambientales que se deben tener en cuenta durante la planificación y diseño de la nueva vivienda, para poder prevenir futuros problemas en la construcción y o minimizar los impactos ambientales sobre el entorno y los ecosistemas que nos rodea. Se procede a detallarlas a continuación.

2.2.2.1 Áreas geográficas y terreno

Cada tipo de suelo tiene una estructura especial, y para cada uno de ellos existe una solución constructiva diferente. En este caso, según la información recolectada por la junta de Andalucía, en los suelos de la sierra de Aracena predominan las rocas metamórficas, con pizarras y calizas que desarrollan a su vez suelos luvisoles y cambisoles [VIII]. Esto influye en la pendiente, naturaleza y esquistosidad del material, que hace que el suelo tenga una gran tendencia a moverse. A nivel constructivo, al ser más bien un tipo de suelo calizo y pedregoso, posee sales calcáreas que puede ser usado como relleno de construcciones, pero no es apto para la agricultura.

De esta manera, siendo una de las ideas de circularidad y sostenibilidad de este proyecto aprovechar los recursos locales, se pretende utilizar esta roca como elemento constructivo principal de la nueva vivienda. Además de la que se pueda obtener durante la fase de extracción del terreno para poder enterrar parte de la vivienda, por toda la extensión de la finca existen "majanos" dispersos de piedras recogidas por los antepasados de mis familiares. En la Imagen 6 se pueden visualizar estos montículos de piedra que se recogían antiguamente para limpiar y despejar el campo para la agricultura o ganadería, así como para tenerlas recolectadas en el momento que fuera necesario con el fin de construir alguna pared de piedra o estructura habitacional.



Imagen 6. Majanos (montículos de piedras) recolectados por antepasados de familiares para limpieza del campo

Además, otra de las tradiciones del área que permitía aprovechar los recursos locales era la obtención de cal artesanal a partir de la calcinación de la piedra caliza para su uso como aglomerante en las construcciones. Los hornos de cal y la arquitectura tradicional vernácula desaparecieron el siglo pasado, cuando apareció el cemento, pero no se puede negar el valor de la cal para elaboración de morteros, con grandes propiedades como su gran poder aglomerante, impermeabilidad al agua, gran adherencia y plasticidad, poca retracción y resistencia al fuego. Existían numerosos hornos de cal por la zona, en la finca de hecho hay uno, pero no están activos desde mediados del siglo pasado. No obstante, en Morón de la Frontera, un pueblo a 150 km se encuentra el único horno de cal artesanal en activo desde mediados del siglo XIX, además de importantes canteras de roca caliza muy pura, con un 98% de carbonato cálcico [X].

2.2.2.2 Vegetación

La diversidad de plantas permite al arquitecto o diseñador modificar el microclima que tendrá la vivienda, ya que la presencia de árboles puede afectar tanto al viento como al sombreado que llega a incidir en la envolvente de la casa. La temperatura del aire que incide en la casa se puede ver modificada si la brisa ha pasado por una superficie con vegetación, agua o una superficie de cemento. La ubicación de los edificios y las distancias y ángulos que forman entre sí tiene una influencia importante en el flujo del viento y las sombras de unos sobre otros. La vegetación existente en la localización se ve representada con las dehesas de encinas, en las zonas más secas, alcornoques en las zonas más húmedas, ambos de hoja perenne. Los arbustos del sotobosque son escasos y dispersos, sobre todo en verano que deja una extensión lisa y seca.

De esta vegetación también se pueden extraer recursos locales renovables que servirán tanto para la construcción y aislamiento de la nueva vivienda, con el caso del corcho natural, como para climatizar y calefactar la misma con la quema de la biomasa local, la leña de encina, Se muestran estos recursos la Imagen 7.



Imagen 7. Muestras de alcornoque recién descorchado, corcho seco y leña de encina seca

2.2.2.3 Agua

El suministro de agua puede depender del clima, y como ya se ha comentado anteriormente, las precipitaciones en Cala cada vez son más dispersas y escasas. Es por eso por lo que debido a la baja cantidad, calidad y ocurrencia local de lluvias hace del territorio un área mayormente seca, a excepción de los meses de primavera, ya que controla la idoneidad de la zona para la vida.

Además, la ubicación y la altitud del suministro de agua es crucial para el abastecimiento final en la vivienda, las obras de construcción, el drenaje superficial, la vegetación y muchos otros factores. En el caso de esta finca, el abastecimiento de agua actual sirve para suplir la demanda de ganado que haya en ese momento. Para ello, desde hace 5 años se cuenta con una instalación de pozo de 4 m de profundidad y una bomba solar conectada a 4 placas solares de 330 W, que permite extraer agua y elevarla a un depósito de 10.000 L a aproximadamente 70 m de desnivel. Esta instalación se muestra en la Imagen 8.



Imagen 8. Instalación de abastecimiento de agua de la finca

2.2.3 Consideraciones constructivas pasivas

2.2.3.1 Layout

El diseño de los edificios tiene un gran impacto en el confort interno y el consumo energético durante su uso, siendo muy importante la consideración de la trayectoria solar a la hora de determinar la orientación y localización de las habitaciones.

La distribución de la vivienda se puede diseñar para maximizar el ahorro energético, integrando su localización y configuración con otras estrategias de diseño sostenible para la iluminación natural, la refrigeración y la calefacción. La zonificación de espacios debe aprovecharse para ahorrar energía y reducir las emisiones de carbono teniendo en cuenta lo siguiente:

- Maximizar la luz natural diurna para reducir la iluminación eléctrica.
- Orientar el eje largo del edificio en el eje este-oeste para que las fachadas se enfrenten al norte y al sur.
- Proporcionar distribuciones de espacios abiertos para maximizar la penetración de la luz natural hacia el interior.
- Integrar los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado con la zonificación de espacios y proporcionar controles individuales ajustables.
- Agrupar los espacios con gran afluencia de personas (por ejemplo, salones, dormitorios, etc.) en las zonas perimetrales norte y sur para obtener el máximo beneficio de la luz natural para los ocupantes.

- Se deben suprimir en lo posible las fachadas orientadas hacia los vientos fríos, especialmente los del norte, y en esto es útil el semienterramiento propuesto en este diseño.

La Imagen 9 muestra la distribución escogida para la vivienda. Para facilitar los cálculos, se presupone que en la casa vivirán dos personas por lo que no necesitarán más espacio que el diseñado, en una única planta.

Aunque la cocina y el salón comedor estén en el mismo espacio, la pared norte de la cocina estará en contacto con el terreno porque será la fachada semienterrada. A pesar de esto, se propone instalar unos ventanales en la parte superior de esta fachada por si se quiere ventilar la vivienda de forma natural, apreciables en la Imagen 10.

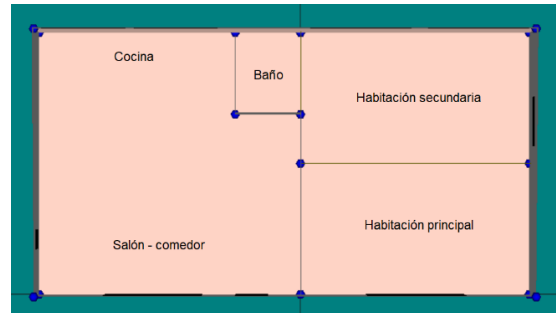


Imagen 9. Planta de la vivienda bioclimática diseñada

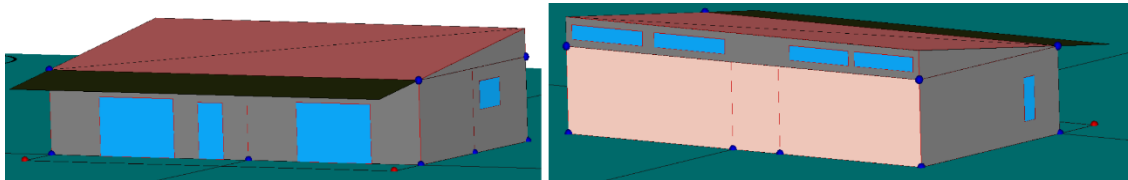


Imagen 10. Fachadas delantera sur y trasera norte de la vivienda bioclimática diseñada

2.2.3.2 Materiales de construcción sostenibles

Como ya se ha mencionado en los capítulos anteriores, se utilizarán principalmente los siguientes materiales locales y sostenibles para la construcción de la casa:

- **Piedra** como material estructural en lugar de ladrillo. Como se ha comentado previamente, las piedras que se encuentran en esta zona son mayormente piedra caliza, arenisca y pizarra, y estas presentan grandes ventajas como material de construcción frente al ladrillo. La piedra natural ofrece una versatilidad y durabilidad inigualables, con un bajo coste de mantenimiento en el tiempo. Sus espesores y propiedades mecánicas le proporcionan un aislamiento acústico y una alta inercia térmica para mantener el calor en invierno y el frío en verano. Además, es un material ignífugo que tiene la capacidad de resistir el fuego y el calor.
- **Corcho** en vez de otros aislantes contaminantes como lana de vidrio. Este es un producto completamente natural, renovable y biodegradable y muy abundante en la zona donde se va a construir la nueva vivienda, incluso en la propia finca de la propiedad. El corcho es un material muy ligero e impermeable, químicamente inerte y resistente a la corrosión biológica, lo que lo convierte en un excelente aislamiento térmico, acústico y de vibraciones. Además, tiene alta resistencia mecánica, es resistente a las llamas y es extremadamente durable [XIII]. Aunque para extraer, transportar y procesar el corcho hasta convertirlo en un producto para la construcción también se consume energía, se necesita 5 veces menos energía que la utilizada para producir otros aislamientos como pueden ser los derivados de plásticos, con el valor añadido de ser un material 100% natural, reutilizable y reciclable [XIV].
- **Cal** hidráulica en vez de cemento como mortero y aglomerante, disminuyendo considerablemente la huella de carbono de la vivienda ya que la industria productora del cemento es una de las más contaminantes que existen. Como ya se comentó

previamente, la piedra caliza es un recurso abundante en la zona de estudio, del cual se puede sacar este producto tan versátil y útil para la construcción como lo es la cal artesanal. Además de buena resistencia mecánica durabilidad y plasticidad, la cal es muy beneficiosa frente a los efectos de absorción hídrica, dilatación y retracción, además de permitir la regulación del vapor de agua entre la base soporte, el revestimiento y el entorno, garantizando una buena respuesta frente a la humedad y una óptima calidad ambiental en locales interiores [XI].

- Por último, para algunos acabados, forjados y cerramientos se usará **madera** de origen sostenible en vez de plásticos. Las antiguas casas de otro cortijo de la familia están construidas en parte con madera de chopo, de algunas choperas que se encontraban en la cercanía de la finca. Esta madera es muy ligera, blanda y tiene pequeña tendencia a curvarse, a la vez que tiene una gran relación resistencia-peso.

Todos estos materiales aparecen en las bases de datos y librerías utilizadas en el software *HULC* [XXV], y con ellos todas sus propiedades específicas necesarias para calcular las demandas energéticas de la vivienda, como son el espesor, la conductividad, la densidad, el calor específico o la resistencia térmica. Aun así, si alguno de los materiales a utilizar no existiera en la base de datos, es posible su creación con la inserción de las anteriores propiedades mencionadas.

Con estos materiales, ya sean opacos o semitransparentes, se procederá a crear en el modelo de *HULC* los cerramientos y particiones interiores que formarán parte de la estructura completa de la vivienda.

2.2.3.3 *Semienterramiento*

Cuando se diseña una vivienda en un terreno inclinado se puede presuponer que la obra va a suponer mayor coste económico que si fuese plano. Al tener un suelo rocoso en esta zona, como bien se puede apreciar en la Imagen 11, es cierto que será más costosa su excavación, pero la propia resistencia del terreno permitirá que la vivienda se pueda sustentar sobre una cimentación más sencilla. Además, lo que parece un inconveniente se puede enfocar como ventaja en términos de eficiencia energética de la vivienda si esta es semienterrada. Al estar rodeada parte de la vivienda por una gran masa de tierra que consta con una gran inercia térmica, esta se ve beneficiada de la constancia térmica, energía y refrigeración de la tierra.



Imagen 11. Zona excavada en la misma finca para carril de tránsito de vehículos, donde se puede apreciar la geología del suelo con roca mayoritariamente del tipo pizarra

Una masa térmica adecuada, proporcionada por el semienterramiento y las paredes de piedra, proporciona dos ventajas principales: en invierno almacena el calor solar recogido durante el día y lo irradia a las habitaciones por la noche, mientras que en verano se calienta más lentamente que una estructura ligera, siempre que exista una ventilación adecuada durante la noche.

En este caso, la inclinación de la zona elegida para la vivienda es de aproximadamente 10° , por lo que podremos enterrar una de las fachadas unos dos metros, eligiendo la norte ya que es la más fría. Para evitar cualquier problema por posibles humedades, suele bastar con resolver constructivamente con cámaras y forjados sanitarios que permitan la ventilación y el filtrado de agua hacia el terreno. No obstante, en terrenos con poca humedad con climas fríos y secos, se puede aprovechar directamente la inercia térmica del terreno para disminuir las pérdidas de calor, utilizando la construcción enterrada como solución eficiente con el terreno como regulador de la temperatura. En los casos en los que la calefacción sea por suelo radiante, además de proteger la losa de la filtración de posibles humedades, se recomienda ejecutar una losa de cimentación de grosor medio superior a los 0,3 m, que regulará muy bien la temperatura gracias a su gran masa. En los casos en que no haya calefacción por suelo radiante, incluso se puede plantear no aislar dicha losa del terreno, ya que este actúa como aislamiento natural.

Las losas de cimentación se suelen construir de hormigón armado, no obstante, en busca del desarrollo y diseño sostenible de la vivienda, se puede usar la piedra como base para la cimentación, como hacían antiguamente los antepasados de esta propiedad para construir sus casas. Esto implica cavar una zanja y llenarla con piedras de tamaño uniforme que darán estabilidad y resistencia a la estructura. Además, se puede añadir también cal para lograr la estabilización y compactación de este suelo.

Para introducir las superficies que van a estar semienterradas, en la Imagen 12 se muestra la posibilidad que ofrece HULC como soleras y paredes que están en contacto con el terreno.



Imagen 12. Opción en HULC para especificar que una solera o un cerramiento está en contacto directo con el terreno

Además, la excavación que se realiza en la pendiente para el semienterramiento se puede aprovechar para soterrar un tubo canadiense, siendo esta una solución de ventilación muy económica que nos permite aprovechar la inercia de la tierra para precalentar el aire que vamos a introducir para ventilación a través de un tubo inmerso en tierra.

2.2.3.4 Aislamientos térmicos y barreras radiantes

Para una protección térmica correcta de la envolvente del edificio se deben tener en cuenta los tres tipos de transferencia de calor en cada uno de los elementos constructivos: conducción, convección y radiación. Los aislantes térmicos son materiales diseñados específicamente para reducir el flujo de calor limitando la conducción, la convección o ambas. En cambio, las barreras radiantes son materiales que reflejan la radiación. Hay que tener en cuenta que los buenos

aislantes no son necesariamente buenas barreras radiantes, y viceversa. El metal, por ejemplo, es un excelente reflector, pero un mal aislante.

En el caso de un edificio, las estructuras opacas en las que hay que tener en cuenta este tipo de elementos constructivos son las siguientes:

Paredes sólidas: el aislamiento de las paredes sólidas tanto externas como internas puede reducir substancialmente los costes de calefacción y las emisiones de CO₂ asociadas. Los aislamientos de paredes interiores suelen ser más sencillos y baratos que los de paredes exteriores, aunque igualmente es importante hacer los cálculos y análisis pertinentes ya que puede reducir la superficie de suelo de las habitaciones y se debe evitar la condensación entre estancias a diferentes temperaturas. El aislamiento no debe utilizarse en ningún caso para cubrir, ocultar o aislar la humedad.

- Paredes internas. Hay tres alternativas para aislarlas: placas aislantes rígidas, placas aislantes con una pared de montantes o materiales aislantes especiales. Si las paredes aisladas van a soportar elementos pesados, como muebles de cocina, la mejor opción es la pared de montantes, en las que una estructura de metal o madera se fija a la pared y se rellena con fibra de vidrio. En cambio, la técnica de las placas aislantes consiste en colocar placas de yeso con aislamiento rígido en el interior de las paredes, el cual suele ser de poliestireno expandido o extruido (EPS o XPS), poliuretano o espuma fenólica, entre 0,06 y 0,1 m de profundidad. En términos de sostenibilidad, se propone intercambiar cualquiera de los aislantes previamente mencionados y provenientes de combustibles fósiles a otro aislante sostenible como es el corcho de alcornoque. A su vez, el yeso se puede intercambiar también por cal artesanal.

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,013	0,250	825	1000	
2	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,013	0,250	825	1000	
3	MW Lana mineral [0.04 W/(mK)]	0,040	0,041	40	1000	
4	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,013	0,250	825	1000	
5	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,013	0,250	825	1000	
6						

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	0,550	1125	1000	
2	Placas de corcho	0,100	0,065	450	1500	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	0,550	1125	1000	
4						

Imagen 13. Comparación en HULC de paredes interiores no sostenibles y sostenibles

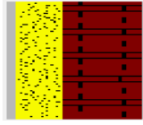
Como se aprecia en la Imagen 13, la solución elegida tiene una menor transmitancia térmica total, por lo que supone un mayor aislamiento que es lo que se busca.

- Paredes externas. Este tipo de aislamiento puede aplicarse sin perturbar el hogar y sin reducir la superficie habitable del mismo. Existe un método de aislamiento exterior que consiste en rellenar grietas y huecos en la mampostería, reduciendo las corrientes de aire y aumentando la vida útil de la pared de una casa. Este método reduce la condensación en paredes interiores y puede ayudar a prevenir la humedad. En este caso, para evitar el uso

de aislantes no sostenible, se ha optado por aislantes naturales como el corcho y mortero de cal ente las grietas de las piedras, como se muestra en la Imagen 14. Como ya se ha comentado previamente, el corcho no se puede pudrir, por lo que es una gran opción para colocarlo en las paredes, soleras y tejados donde pueda haber mucha concentración de humedad.

Nombre: MURO EXTERIOR


Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,030	0,550	1125	1000	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/(mK)]	0,140	0,038	30	1000	
3	1 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60	0,240	0,667	1220	1000	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,010	0,550	1125	1000	
5	Cámara de aire sin ventilar horizontal 5 cm					0,160
6	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,015	0,250	825	1000	
7	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,015	0,250	825	1000	
8						



U_M 0,22 [W/m²K]
U_C 0,22 [W/m²K]
U_S 0,22 [W/m²K]

Nombre: Muro_piedra_sostenible

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	0,800	1525	1000	
2	Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	0,200	2,200	2400	1000	
3	Corcho Expandido puro 100 < d < 150	0,200	0,049	125	1560	
4	Cámara de aire sin ventilar horizontal 2 cm					0,160
5	Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	0,200	2,200	2400	1000	
6	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	0,800	1525	1000	
7						



U_M 0,21 [W/m²K]
U_C 0,22 [W/m²K]
U_S 0,21 [W/m²K]

Imagen 14. Comparación en HULC de muros exteriores no sostenibles y sostenibles

Paredes/soleras en contacto con el terreno: como se ha comentado anteriormente, como en el caso de esta vivienda se sustentará sobre un suelo rocoso y seco, la distribución de materiales que compondrán las paredes y soleras que estarán en contacto con el terreno será la que se muestra en la Imagen 15, con el objetivo de aprovechar la inercia térmica del terreno.

Nombre: Sólida_cámara_carilana

Composición del Ceramieno:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo):

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	0,050	2,200	2400	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,080	0,550	1125	1000	
3	Granito [2500 < d < 2700]	0,020	2,800	2600	1000	
4	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,120	2,000	1450	1050	
5						

Grupo Material: Pétreos y suelos

Material: Esquisto Pizarra (2000 < d < 2800)

0,020 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M 2,47 [W/m²K]
U_C 2,56 [W/m²K]
U_S 2,25 [W/m²K]

Aceptar

Nombre: Muro_cámara_carilana

Composición del Ceramieno:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo):

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	0,200	2,200	2400	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	0,550	1125	1000	
3	Granito [2500 < d < 2700]	0,120	2,800	2600	1000	
4	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,180	2,000	1450	1050	
5						

Grupo Material: Pétreos y suelos

Material: Esquisto Pizarra (2000 < d < 2800)

0,020 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M 2,56 [W/m²K]
U_C 2,78 [W/m²K]
U_S 2,32 [W/m²K]

Aceptar

Imagen 15. Materiales introducidos en HULC que conforman las paredes y soleras en contacto con el terreno



Imagen 16. Suelo radiante tradicional y eléctrico [XIV]

Más adelante, se estudiarán los sistemas de energía que pueden llegar a calefactar la casa. Si finalmente se obtienen mejores resultados y se decide proceder con la instalación de un suelo radiante, se puede complementar con el uso de corcho 100% natural como aislante, ya que es capaz de reducir el proceso de calentamiento de horas a minutos, como puede apreciarse en la

Imagen 16. Esto incrementaría la inercia térmica del sistema manteniendo el calor después de apagarse, lo que supondría una gran reducción del consumo eléctrico, uno de los objetivos principales de la arquitectura pasiva. Sobre el suelo radiante se realiza una capa de recrecido con mortero de cal destinado a la ejecución de capas de relleno y nivelación de pavimentos interiores [XIV].

Tejado y cubierta: Hay diversos tipos de aislamiento para buhardillas, siendo los principales acolchados, soplado o en placas, con materiales como fibra de vidrio o roca, lana mineral o natural, celulosa o poliestireno. Alguno de estos materiales puede ser reciclados, pero en general todos tienen un gran impacto ambiental. No instalarlo tampoco es una opción ya que se ha demostrado que instalar 0,27 m de aislamiento en un desván en comparación con la ausencia de aislamiento, puede ahorrar alrededor de una tonelada de CO₂ al año [VI].

Una vez más, podemos encontrar en el corcho un material más respetuoso con el medio ambiente y con igual o mayor capacidad de aislamiento que los anteriores. En la Imagen 17 se muestra la transmitancia térmica resultante con la solución constructiva propuesta. Cuando este material se encuentra en la cubierta, lo hace en forma de placas, paneles o simplemente granulado entre vigas, y funciona perfectamente como aislante térmico y acústico [XIV]. Es importante añadir las capas que sean necesarias en las localizaciones y ángulos precisos, para cerrar cualquier hueco existente entre la vigueta y el acolchado y para llegar a la estanqueidad y profundidad requerida para el aislamiento efectivo.

Como se ha comentado anteriormente, el corcho es resistente al fuego, por lo que con su poder ignífugo y retardante de llamas podrá proteger la vivienda en caso de incendio.

Nombre:

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	0,120	2,200	2400	1000	
2	Betún fieltro o lámina	0,020	0,230	1100	1000	
3	Placas de corcho	0,200	0,065	450	1500	
4	FU con viguetas de madera con entrevigado	0,310	1,335	840	800	
5						

Grupo Material:

Material:

Espesor [m]:

U_M: [W/m²K]
U_C: [W/m²K]
U_S: [W/m²K]

Aceptar

Imagen 17. Materiales introducidos en HULC que conforman la cubierta y transmitancia térmica resultante

2.2.3.5 Puentes térmicos

Las principales pérdidas de calor de un edificio se producen a través de los cerramientos, por un diseño que ofrezca una gran superficie de contacto con el exterior, o en general, por los llamados puentes térmicos, que son todos aquellos elementos estructurales, incluyendo a los cerramientos, que supongan una pérdida de calor por encima de los otros elementos, en uniones entre diferentes materiales, esquinas, vigas... Para evitar las pérdidas de calor se debe asegurar la estanqueidad de los elementos constructivos, aislando adecuadamente los muros,

soleras y cubiertas y evitando los puentes térmicos dando continuidad a los aislamientos, es decir, todo lo que hemos comentado en los apartados anteriores.

Los puentes térmicos se calculan automáticamente por el programa una vez que está el modelo completo finalizado. Se hace en la base de datos, definiendo y calculando su “pérdida” energética para cada tipo de puente térmico, como se puede observar en la Imagen 18. Aunque el valor dado por defecto calculado por el programa es muy conservador, es preferible utilizarlo para estar del lado de la seguridad en caso de desconocimiento real de los valores por catálogo.

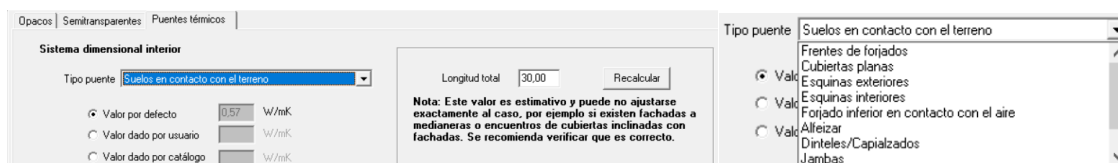


Imagen 18. Cálculo de puentes térmicos una vez finalizado el modelo de la vivienda

2.2.3.6 Acristalamientos

La disposición semienterrada de la vivienda permite minimizar el área de exposición exterior para mantener de forma natural y pasiva el confort interior, el cual viene reforzado con la orientación sur de la fachada con grandes superficies de vidrios con dobles acristalamientos protegidos por un voladizo inclinado de la cubierta superior, permitiendo así controlar el soleamiento tanto en verano como en invierno. Estos ventanales principales estarán además protegidos además con una persiana en caso de que se quiera evitar la entrada total de radiación solar y por un voladizo que se calculará en los capítulos posteriores.

Estos acristalamientos se refieren a las estructuras transparentes o huecos en un edificio. Se debe utilizar en la medida de lo posible doble acristalamiento o doble ventana, que es mejor que lo primero tanto desde el punto de vista acústico como térmico. La proporción de acristalamiento de las habitaciones tiene un gran efecto sobre el comportamiento energético de los edificios y las condiciones de confort en el interior. Las aberturas pequeñas permiten que entre menos radiación solar en el interior en verano, aunque también reduce significativamente la ganancia solar en invierno, aspecto que no interesa en climas fríos. Durante el diseño, la proporción de superficies opacas y transparentes debe establecerse de acuerdo con las condiciones climáticas locales. Se recomienda utilizar aberturas más pequeñas en las zonas meridionales a clima más cálido, mientras que las superficies transparentes más grandes se recomiendan en caso de condiciones climáticas frías.

Como nos encontramos en una zona climática C4, conocida por sus altas irradiancias y temperaturas, se puede optar en los ventanales principales con orientación sur por un acristalamiento espectralmente selectivo para evitar un sobrecalentamiento excesivo, permitiendo que solo una parte de los rayos solares atraviesen estas superficies acristaladas. El doble acristalamiento selectivo tendría la capacidad de reflejar un alto porcentaje de los rayos del sol en el caluroso verano de esta zona, sin dejar de funcionar como un cristal bajo emisor durante el invierno, que es cuando queremos que el doble acristalamiento provoque efecto invernadero dejando entrar el calor estancado en la vivienda.

2.2.3.7 Sistemas pasivos de calefacción solar

La idea del diseño de estos sistemas pasivos de calefacción solar es aprovechar la ganancia térmica de la energía de la radiación solar sin necesidad del uso de ningún dispositivo mecánico o eléctrico. El objetivo final de estos sistemas va en la línea con el objetivo de la arquitectura

pasiva, que es reducir el consumo total de energía convirtiendo lo máximo posible la energía solar en calor utilizable.

Como ya se ha comentado en ocasiones anteriores, durante el diseño de estos sistemas pasivos se debe analizar y considerar los datos locales de clima en relación con la trayectoria solar del año completo, tanto la orientación como la inclinación. Teniendo en cuenta toda esta información, se puede maximizar de manera correcta la ganancia solar cuando convenga.

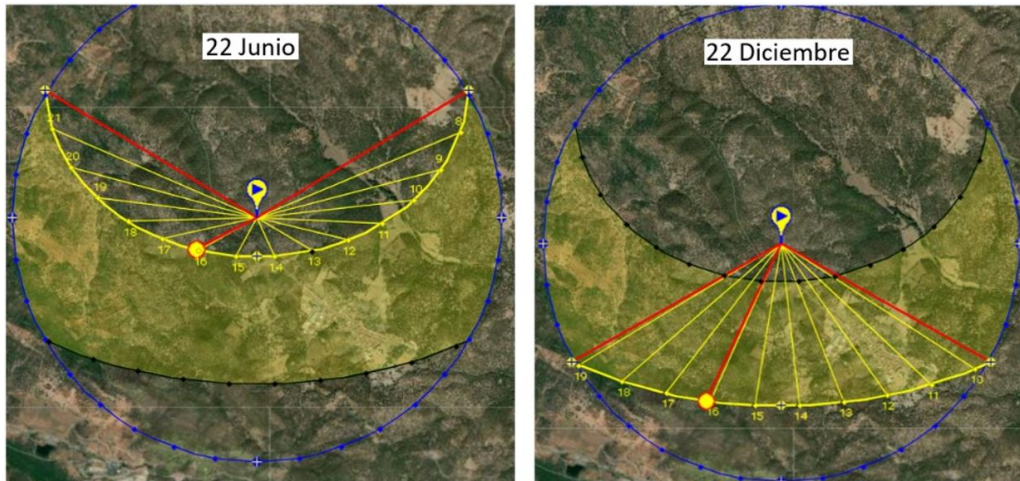


Imagen 19. Trayectoria solar en la localización elegida (37.9835N, -6.3301W) durante el solsticio de verano e invierno, el día más largo y corto del año respectivamente. Diagramas solares obtenidos de SunEarthTools [XXII].

Con ayuda de los diagramas solares en la localización elegida de la Imagen 19 y del anexo 1 obtenidos en la plataforma *SunEarthTools* [XXII], se pueden diseñar correctamente los sistemas pasivos como se hará en los capítulos a continuación. Tampoco se debe olvidar que en verano estos sistemas pueden ocasionar un sobrecalentamiento, por lo que es necesario analizar su efecto sobre la vivienda y añadir las soluciones de sombra necesarias para aplicar el correcto balance de ganancia solar en el año.

Las principales características de los sistemas solares pasivos son:

- Zonas acristaladas transparentes en paredes exteriores y techados con orientación preferible sur, que recogen y dejan pasar la energía solar al interior de la vivienda.
- Superficies interiores absorbentes, preferiblemente de color oscuro para absorber la radiación solar.
- Muros y suelos interiores, preferiblemente pesados y gruesos, con gran capacidad e inercia térmica para almacenar el máximo calor posible e irradiarlo de nuevo en horas nocturnas que no haya radiación solar.
- Distribución del calor almacenado mediante ventilación y radiación natural.
- Envoltorio exterior adecuadamente aislado y hermético para minimizar la pérdida de calor a través del edificio, incluyendo estructuras opacas y transparentes.

Existen tanto sistemas pasivos solares directos como indirectos. En los sistemas directos, la energía solar entra directamente en las habitaciones del edificio a través de ventanas acristaladas y se absorbe por las estructuras internas, que son capaces de almacenar dicho calor y liberarlo durante la noche, es decir, que tienen una inercia térmica elevada.

Como se ha comentado previamente, las áreas acristaladas deben enfocarse hacia el sur y su área de superficie debe alinearse con la capacidad de almacenamiento de calor de la pared y

suelo internos tras el acristalamiento. En el caso de nuestra vivienda, para este cometido se han instalados dos grandes ventanales 3 x 2,1 m en el salón y dormitorio, frente a un suelo de piedra pizarra con gran capacidad de almacenamiento de calor. Estos ventanales también serán capaces de crear efecto invernadero cuando la radiación esté incidiendo directamente, por lo que de nuevo es importante recordar que estos sistemas pasivos de calefacción pueden provocar un sobrecalentamiento en verano y es importante tomar medidas para paliarlo. En concreto, para estos ventanales grandes se instalará un voladizo y para el resto de las ventanas un sistema de lamas.

Existen otro tipo de sistemas pasivos solares, que son los de ganancia indirecta, con los que los rayos de sol no alcanzan el espacio interior, sino que la energía es absorbida por el muro másico y lentamente se transfiere hacia dentro del edificio por conducción. Ejemplos de esto son el muro Trombe, el termosifón, las paredes o tejados másicos, los espacios solares... pero todos estos sistemas son diseñados principalmente para climas mucho más fríos que el que tenemos en nuestra localización, por lo que no conviene su planteamiento.

2.2.3.8 Sistemas pasivos de refrigeración

En la arquitectura pasiva, además de maximizar la ganancia solar en invierno, se debe prestar mucha atención al sobrecalentamiento en verano sobre todo en países del sur de Europa. En este caso, como la vivienda se situará en una zona climática C4, es importante proveer de las principales herramientas bioclimáticas para evitar este sobrecalentamiento.

La refrigeración pasiva significa que la temperatura de una habitación se puede mantener a un nivel aceptable y confortable sin necesidad de usar ninguna fuente de energía externa. Las principales técnicas que se van a usar en este trabajo se expondrán a continuación.

Enfriamiento directo por tierra: el enfoque más eficiente de refrigeración por tierra es construir directamente el edificio en el suelo, parcial o completamente. En los edificios de una sola planta es más sencillo, ya que se planta directamente el suelo del edificio en la tierra sin aislamiento para dejar que la capacidad e inercia térmica del terreno se aproveche como refrigeración, como se puede ver en la Imagen 20. Para evitar la pérdida de calor en invierno, la tierra de alrededor del edificio debe aislarse de los vientos fríos de inviernos, pero no del edificio [VI].

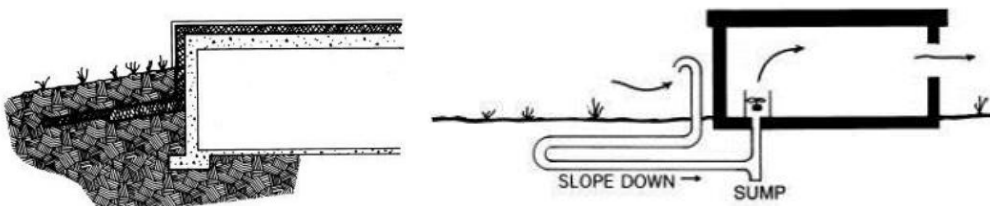


Imagen 20. Aislamiento de la tierra del aire frío de invierno y tubos enterrados para ventilación

Como se ha comentado previamente, ya que se va a proceder a la excavación para el semienterramiento de la vivienda, se puede aprovechar para instalar un sistema de enfriamiento indirecto por tierra, mediante tubos de ventilación. Estos tubos se entierran en el terreno lo máximo posible para aprovechar esta temperatura constante y deben estar inclinados para recoger el agua condensada del aire en un sumidero. Pueden utilizarse directamente para tener una ventilación de confort, para enfriar la masa térmica del edificio por la noche o incluso en invierno, aunque con menor eficiencia, para disminuir la demanda de calefacción. En relación con este tema, en el capítulo 3.2.3 se planteará y estudiará la posibilidad del uso de geotermia como sistema de refrigeración y calefacción de la vivienda.

Ventilación: la ventilación natural es el proceso que intercambia aire del interior de un edificio hacia el exterior sin necesidad de ningún equipo mecánico. Para este fin, se suele aprovechar el movimiento de aire causado por las diferencias de presiones debido a la diferencia de temperatura o a la incidencia del viento. Para este fin, como se podía observar en la Imagen 10, se planea instalar unos ventanales en la parte superior de la fachada norte que permita ventilar naturalmente con los vientos predominantes del norte, lo cual puede reducir drásticamente la necesidad de refrigeración. Existen otros sistemas de ventilación que pueden ayudar a refrigerar un edificio pero que son más complejos y costosos de diseñar e instalar, como una torre de viento, un pozo de ventilación, una chimenea solar, etc.

Además de la ventilación natural requerida en momentos puntuales, el caudal constante de ventilación de la vivienda viene dado por los requerimientos descritos en el documento básico de salubridad DB en la sección HS3 del CTE, y se debe calcular conforme a las indicaciones expuestas allí y en la Imagen 21 para asegurar que la vivienda se pueda ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual en el uso del edificio.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Imagen 21. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habituales

De esta forma, el caudal mínimo a introducir en el programa, en la pestaña de datos generales que se define al inicio del proyecto, es de 24 L/s. Y para satisfacer dicho caudal mínimo de ventilación, se puede proponer instalar un sistema sencillo de ventilación, siempre teniendo en cuenta que, también por requerimiento del CTE, se debe ventilar desde los locales secos hacia los locales húmedos. En la Imagen 22 se muestra el sistema de ventilación introducido.

Imagen 22. Sistema de ventilación propuesto para satisfacer el caudal mínimo requerido por el CTE

Sombreado: para evitar el sobrecalentamiento en esta zona climática en los meses de verano, es importante diseñar sistemas de sombras que garanticen que las radiaciones solares no incidan directamente en todos los cerramientos, en los opacos, pero sobre todo en los transparentes, creando un efecto invernadero y una excesiva demanda de refrigeración externa.

Se puede reducir considerablemente la carga de refrigeración mediante el uso de dispositivos de sombreado solares, tanto exteriores como interiores, voladizos de tejado, jardinería o acristalamientos especiales. Una combinación de diferentes estrategias puede ser útil en función de la fachada de la vivienda que se esté diseñando, y de la orientación que tenga cada una de ellas.

Existen números tipos de grupos de dispositivos de sombra, siendo las clasificaciones más conocidas: fijas o móviles, opacas o transparentes, interiores o exteriores... La selección de uno u otro dispositivo dependerá de los recursos y espacio disponible y de los requerimientos de sombreado específicos de cada cerramiento.

Las reglas generales en cuanto a sombreado para un buen diseño y que se incluyen en esta vivienda son:

- Los acristalamientos hacia el este y el oeste se deben minimizar, ya que las inclinaciones solares hacia esas orientaciones son difíciles de sombrear arquitectónicamente.
- Los acristalamientos hacia el sur se deben diseñar con salientes o voladizos.
- En caso de que no se usen dispositivos de sombra exteriores, deben diseñarse las ventanas con bajos factores de ganancia solar.

Por lo tanto, en base a las recomendaciones básicas anteriores, se han definido las siguientes ventanas mostradas en la Imagen 23 orientadas al este y al oeste con un sistema de lamas horizontales que permitiría en los meses de veranos sombrear enteramente los acristalamientos, mientras que en invierno permitiría que la radiación solar incidiera directamente en ellos.

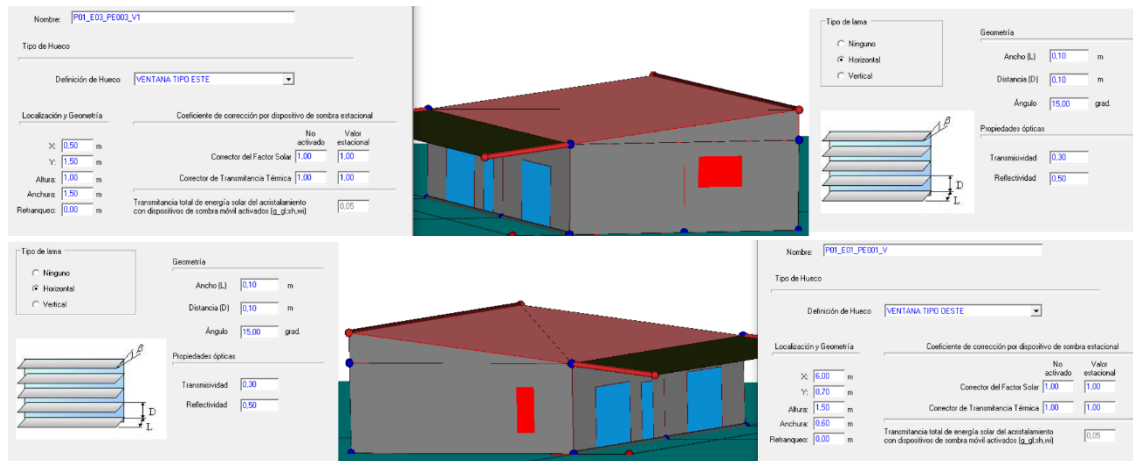


Imagen 23. Dimensiones y sistemas de sombreado con lamas de las ventanas de las fachadas este y oeste

Para el cálculo de las dimensiones óptimas del voladizo principal se han llevado a cabo una serie de cálculos especificados en el anexo 1, donde se ha analizado la trayectoria solar en la ubicación exacta de la vivienda y la radiación incidente en cada hora y día del año. Tras tener estos datos, se ha procedido a realizar distintos modelos con distintos tamaños de voladizo en el software HULC para ver el resultado de ganancia solar y demanda energética resultante. Esta comparativa de resultados se comentará en el capítulo 2.3.

Vegetación y superficies de agua: estas soluciones de arquitectura pasiva tienen un efecto positivo en distintos aspectos en el interior del edificio y en el microclima generado en los alrededores adyacentes al mismo, debido principalmente al sombreado y a la evaporación relativa a la vegetación. Una sombra de un árbol siempre va a ser mejor que una sombra artificial

ya que las hojas del árbol siguen al sol, estas no se calientan y radian calor hacia abajo y parte de la energía solar se transfiere en forma de calor latente en la evaporación en sus raíces y hojas.

Previamente se comentó en el capítulo de los principales factores medioambientales que la vegetación existente en la localización se ve representada principalmente con las encinas y los alcornoques, ambos de hoja perenne y que por lo tanto dan sombra tanto en invierno como en verano. La opción de sotobosque natural en verano no es posible, ya que los arbustos son escasos y dispersos dejando el clima sin precipitaciones una extensión alrededor de la vivienda lisa y seca difícil para refrigerar.

Otra posibilidad es la instalación de fachadas y tejados verdes, ya que en verano la vegetación por sí sola es capaz de disminuir la temperatura del ambiente local en 1 o 2 °C debido a su evaporación, y también mejora la calidad del aire por la emisión de oxígeno. Además, si es capaz de dar sombra extra, reduce aún más la temperatura, como bien se ha experimentado ya en otra de las fincas de la familia mostrada en la Imagen 24, donde tienen una parra centenaria que da sombra a la fachada sureste y hace de porche natural, estando verde y dando fruto aun cuando el resto del entorno está secándose.

Por otro lado, una alberca natural o artificial cercana a la vivienda puede moderar el clima y la temperatura del entorno, ya que el agua tiene una capacidad calorífica específica alta. De esta forma, en verano puede disminuir la temperatura mediante la evaporación del agua de superficie además del efecto de almacenamiento de calor, mientras que en invierno la evaporación se disminuye y la energía térmica de las estaciones más calientes proporciona un ligero efecto de calentamiento del medio ambiente, que depende sobre todo de la masa de agua almacenada.



Imagen 24. Parra que hace de porche refrigerante y alberca a la sombra de un gran eucalipto como superficie de agua que refrigera el entorno de la vivienda.

2.2.3.9 *Sistemas pasivos de iluminación*

La luz natural es un factor crucial en el diseño de la arquitectura pasiva y bioclimática. Para la iluminación de la vivienda se debe considerar el horario de apertura y uso del edificio, así como la orientación y las superficies acristaladas y las dimensiones del edificio y de los espacios interiores, con la profundidad frente a la fachada principal por la que entrará la luz natural.

Puede que la luz natural no proporcione suficiente iluminación para el uso requerido a determinadas horas, aunque no por eso se debe evitar usarla lo máximo posible, ya que puede suponer una reducción importante en el consumo de energía.

Es importante combinar la luz natural con sistemas de iluminación artificial. Por lo tanto, además de los grandes ventanales con orientación sur, las ventanas secundarias al este y al oeste y los lucernarios en la fachada norte, se deben instalar los sistemas de iluminación necesarios, que sean de bajo consumo y que cuenten con una buena difusión, para suplir a la luz natural cuando esta no sea suficiente durante el día, y para tener suficiente visibilidad por la noche para las actividades que se requieran.

2.3 Cálculo de la demanda energética mediante *HULC*

2.3.1 Resultados comparativos

Tras la adición de todos los aspectos y elementos constructivos comentados anteriormente en el modelo del software *HULC* [XXV], se puede proceder al cálculo de la demanda energética de la vivienda.

Lo vital en esta parte del proyecto es comprobar que las soluciones constructivas elegidas cumplen con la legislación vigente en los puntos críticos de transmitancia térmica, demandas del edificio objeto y control solar.

Una vez obtenido este cumplimiento, también se puede utilizar esta herramienta para calcular qué soluciones constructivas son mejores que otras. Como se detalla en el Anexo 1, a medida que aumenta la longitud del voladizo se puede ver disminuida la demanda de refrigeración mientras que se ve aumentada la de calefacción. Por lo tanto, teniendo en cuenta que, en la zona climática de estudio C4 la demanda de refrigeración será más exigente que la de calefacción por las elevadas temperaturas de verano, conviene alargar todo lo posible el voladizo para evitar que los rayos del sol incidan directamente sobre los vidrios de las ventanas principales de la fachada sur, provocando un efecto invernadero indeseado. Además, las predicciones climáticas indican que las temperaturas en verano en los años futuros cercanos están siendo y serán más extremas, por lo que la demanda energética se verá sobre todo incrementada por la refrigeración en esta zona climática, no por la calefacción.

Por otro lado, a pesar de que se vea aumentada la demanda de calefacción con el aumento de la longitud del voladizo, como se comentará en el capítulo posterior esta se podrá suplir en caso de necesidad con una fuente de energía renovable con recursos naturales y locales que “sobran” del ambiente, es decir, con quema de la biomasa de leña de encina. En cambio, la demanda de refrigeración, que puede ser más complicado satisfacer, se puede ver disminuida fácilmente de esta manera.

En las imágenes 25, 26, 27 y 28, se puede observar como la demanda de refrigeración se puede ver reducida en un 25% con un voladizo pequeño de 1,35 m, en un 32% con un voladizo grande de 3 m y hasta en un 40% con la instalación de lamas en las ventanas pequeñas este y oeste, que permite reducir su ganancia solar un 65% en verano. No obstante, con todas estas soluciones constructivas orientadas principalmente a reducir el sobrecalentamiento de la vivienda en verano, la demanda de calefacción en invierno se puede ver aumentada en un 63%.

Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0,59	0,54	NO APLICA							
Demandas del edificio Objeto:			CUMPLE							
- Calefacción [kWh/m²año]	8,50	15,00								
- Refrigeración [kWh/m²año]	10,74	15,00								
Control solar, q_soljul [kWh/m².mes]	0,54	2,00	CUMPLE							
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,52	-	NO APLICA							
Compacidad [m³/m²]	1,11									
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m²]	120,00									
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m²]	409,44									
Superficie de huecos, A _{huecos} [m²]	22,50									
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	184,75									
Detalle por componentes:										
Huecos Opacos Puentes Térmicos Espacios										
Núm.	Nombre	Construcción	Área [m²]	U [W/m²K]	Orientación	% Marco	g_gtwi	g_gtshwi	F_shobst	Ganancia_jul [kWh/m²]
1	P01_E03_PE003_V1	VENTANA TIPO ESTE	1,50	1,14	E	25,00	0,61	0,05	1,00	4,54
2	P01_E04_ME001_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,99	3,69
3	P01_E01_PE001_V	VENTANA TIPO OESTE	0,90	1,14	O	25,00	0,42	0,05	1,00	4,92
4	P01_E01_PE003_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,75	2,79
5	P01_E01_PE003_V_1	Puerta_principal	2,00	2,20	S	100,00	0,70	1,00	0,99	0,00
6	P02_E01_ME002_V1	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
7	P02_E01_ME002_V2	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
8	P02_E01_ME002_V3	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
9	P02_E01_ME002_V4	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43

Imagen 25. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas sin voladizos y sin lamas

Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0,59	0,54	NO APLICA							
Demandas del edificio Objeto:			CUMPLE							
- Calefacción [kWh/m²año]	9,94	15,00								
- Refrigeración [kWh/m²año]	8,25	15,00								
Control solar, q_soljul [kWh/m².mes]	0,44	2,00	CUMPLE							
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,52	-	NO APLICA							
Compacidad [m³/m²]	1,11									
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m²]	120,00									
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m²]	409,44									
Superficie de huecos, A _{huecos} [m²]	22,50									
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	184,75									
Detalle por componentes:										
Huecos Opacos Puentes Térmicos Espacios										
Núm.	Nombre	Construcción	Área [m²]	U [W/m²K]	Orientación	% Marco	g_gtwi	g_gtshwi	F_shobst	Ganancia_jul [kWh/m²]
1	P01_E03_PE003_V1	VENTANA TIPO ESTE	1,50	1,14	E	25,00	0,61	0,05	1,00	4,54
2	P01_E04_ME001_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,63	2,34
3	P01_E01_PE001_V	VENTANA TIPO OESTE	0,90	1,14	O	25,00	0,42	0,05	1,00	4,92
4	P01_E01_PE003_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,60	2,23
5	P01_E01_PE003_V_1	Puerta_principal	2,00	2,20	S	100,00	0,70	1,00	0,62	0,00
6	P02_E01_ME002_V1	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
7	P02_E01_ME002_V2	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
8	P02_E01_ME002_V3	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
9	P02_E01_ME002_V4	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43

Imagen 26. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo pequeño de 1,35 m de longitud y sin lamas

Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0,59	0,54	NO APLICA							
Demandas del edificio Objeto:			CUMPLE							
- Calefacción [kWh/m²año]	12,93	15,00								
- Refrigeración [kWh/m²año]	7,34	15,00								
Control solar, q_soljul [kWh/m².mes]	0,43	2,00	CUMPLE							
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,52	-	NO APLICA							
Compacidad [m³/m²]	1,11									
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m²]	120,00									
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m²]	409,44									
Superficie de huecos, A _{huecos} [m²]	22,50									
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	184,75									
Detalle por componentes:										
Huecos Opacos Puentes Térmicos Espacios										
Núm.	Nombre	Construcción	Área [m²]	U [W/m²K]	Orientación	% Marco	g_gtwi	g_gtshwi	F_shobst	Ganancia_jul [kWh/m²]
1	P01_E03_PE003_V1	VENTANA TIPO ESTE	1,50	1,14	E	25,00	0,61	0,05	1,00	4,54
2	P01_E04_ME001_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,60	2,22
3	P01_E01_PE001_V	VENTANA TIPO OESTE	0,90	1,14	O	25,00	0,42	0,05	1,00	4,92
4	P01_E01_PE003_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,57	2,11
5	P01_E01_PE003_V_1	Puerta_principal	2,00	2,20	S	100,00	0,70	1,00	0,59	0,00
6	P02_E01_ME002_V1	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
7	P02_E01_ME002_V2	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
8	P02_E01_ME002_V3	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
9	P02_E01_ME002_V4	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43

Imagen 27. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo grande de 3 m de longitud y sin lamas

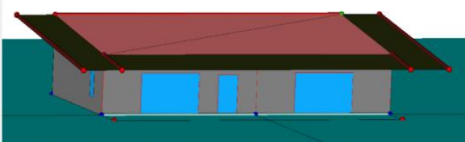
Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0,59 / 0,54
NO APLICA	
CUMPLE	
Demandas del edificio Objeto:	
- Calefacción [kWh/m²año]	13,86 / 15,00
- Refrigeración [kWh/m²año]	6,64 / 15,00
Control solar, q_soljul [kWh/m².mes]	0,37 / 2,00
CUMPLE	
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,52 / -
NO APLICA	
Compacidad [m³/m²]	1,11
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m²]	120,00
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m²]	409,44
Superficie de huecos, A _{huecos} [m²]	22,50
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	184,75

Detalle por componentes:										
Huecos Opacos Puentes Térmicos Espacios										
Núm.	Nombre	Construcción	Área [m²]	U [W/m²K]	Orientación	% Marco	g_g _{twi}	g_g _{tsh,wi}	F_shobst	Ganancia_jul [kWh/m²]
1	P01_E03_PE003_V1	VENTANA TIPO ESTE	1,50	1,14	E	25,00	0,61	0,05	0,35	1,57
2	P01_E04_ME001_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,60	2,22
3	P01_E01_PE001_V	VENTANA TIPO OESTE	0,90	1,14	O	25,00	0,42	0,05	0,35	1,71
4	P01_E01_PE003_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,57	2,11
5	P01_E01_PE003_V_1	Puerta_principal	2,00	2,20	S	100,00	0,70	1,00	0,59	0,00
6	P02_E01_ME002_V1	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
7	P02_E01_ME002_V2	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
8	P02_E01_ME002_V3	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
9	P02_E01_ME002_V4	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43

Imagen 28. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo grande de 3 m de longitud y con lamas en las ventanas pequeñas orientadas al este y oeste

Podemos observar en la Imagen 28 como, en comparación con las anteriores, las orientaciones este y oeste de las ventanas provocan una mayor ganancia de calor no deseada en verano que en invierno porque es difícil controlar el resplandor del sol del este y del oeste debido a los bajos ángulos de insolación a primera hora de la mañana y última de la tarde. Por lo tanto, es importante proteger también estos huecos, aunque sean pequeños y, además de las lamas ya añadidas, se pueden buscar otras soluciones constructivas como más voladizos en las fachadas este y oeste o unos aleros externos removibles a instalar solo en verano, como en la Imagen 29.

Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0,59 / 0,54
NO APLICA	
CUMPLE	
Demandas del edificio Objeto:	
- Calefacción [kWh/m²año]	14,20 / 15,00
- Refrigeración [kWh/m²año]	6,46 / 15,00
Control solar, q_soljul [kWh/m².mes]	0,36 / 2,00
CUMPLE	
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,52 / -
NO APLICA	
Compacidad [m³/m²]	1,11
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m²]	120,00
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m²]	409,44
Superficie de huecos, A _{huecos} [m²]	22,50
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	184,75



Detalle por componentes:										
Huecos Opacos Puentes Térmicos Espacios										
Núm.	Nombre	Construcción	Área [m²]	U [W/m²K]	Orientación	% Marco	g_g _{twi}	g_g _{tsh,wi}	F_shobst	Ganancia_jul [kWh/m²]
1	P01_E03_PE003_V1	VENTANA TIPO ESTE	1,50	1,14	E	25,00	0,61	0,05	0,31	1,39
2	P01_E04_ME001_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,59	2,19
3	P01_E01_PE001_V	VENTANA TIPO OESTE	0,90	1,14	O	25,00	0,42	0,05	0,24	1,19
4	P01_E01_PE003_V	Ventanales_principales	6,30	1,72	S	20,00	0,70	0,05	0,55	2,07
5	P01_E01_PE003_V_1	Puerta_principal	2,00	2,20	S	100,00	0,70	1,00	0,59	0,00
6	P02_E01_ME002_V1	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
7	P02_E01_ME002_V2	LUCERNARIO NORTE	1,50	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
8	P02_E01_ME002_V3	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43
9	P02_E01_ME002_V4	LUCERNARIO NORTE	1,25	1,29	N	20,00	0,61	0,05	0,98	2,43

Imagen 29. Resultados demandas de calefacción, refrigeración y ganancias solares en las ventanas con voladizo grande de 3 m de longitud, con voladizos extra laterales y con lamas en las ventanas pequeñas

En cualquier caso, al tener unas demandas de calefacción y refrigeración inferiores a 30 kWh/m²año, se puede confirmar que la vivienda está bien aislada y es muy eficiente desde el punto de vista energético. En la Imagen 30 se definen los límites superiores de demanda energética de calefacción y refrigeración para viviendas unifamiliares en climas peninsulares, por lo que se podría calificar la clase de eficiencia energética de la vivienda como A [XVIII].

Límite superior de la clase	Demanda		Consumo de EP _{nr}				Emisiones			
	[kWh/m ² · año]		[kWh/m ² · año]				[kgCO _{2e} /m ² · año]			
	cal.	ref.	cal.	ref.	ACS	total	cal.	ref.	ACS	total
<i>Zona C4</i>										
A	19,7	13,9	28,6	14,2	6,4	38,8	6,3	3,5	1,6	8,9
B	32,0	20,0	46,3	20,4	7,5	67,0	10,2	5,0	1,8	15,3
C	49,5	28,4	71,8	29,0	9,1	109,3	15,9	7,1	2,2	25,0
D	76,2	41,4	110,5	42,3	11,5	171,6	24,4	10,4	2,8	39,3
E	125,7	50,9	226,2	52,0	26,9	305,1	51,5	12,7	6,5	70,8
F	147,0	62,6	278,3	63,9	29,3	384,4	66,5	15,7	7,6	87,1

Imagen 30. Tabla IV.1 del documento para la calificación de la eficiencia energética de los edificios, donde se determinan las clases de eficiencia para edificios de uso residencial privado (vivienda) de tipo unifamiliar, en climas peninsulares [XVIII]

De igual forma, en el capítulo posterior se procederá a encontrar la mejor solución en términos de autosuficiencia energética sostenible.

2.4 Autosuficiencia energética sostenible

En este apartado se pretende analizar y seleccionar el sistema óptimo de climatización y producción de ACS de la vivienda en base a los resultados de las necesidades energéticas finales de la Imagen 28. Además, teniendo en cuenta que la finca en cuestión se encuentra a las afueras del pueblo y no tiene acceso a la red eléctrica, será necesaria también la instalación de placas solares fotovoltaicas con almacenamiento, por lo que se procederá a su dimensionamiento aproximado.

2.4.1 Sistema de geotermia

En primer lugar, se planteó la posibilidad de diseñar un sistema geotérmico para la vivienda con idea de aprovechar la excavación realizada para el semienterramiento de la fachada norte para colocar a su vez una instalación de cambiador geotérmico horizontal bajo la cimentación de la vivienda.

La bomba de calor geotérmica es una máquina térmica con un elevado rendimiento que permite transferir calor entre una unidad exterior a la vivienda, en este caso el terreno, y el interior de esta, pudiendo funcionar de forma reversible, proporcionando calor en invierno y frío en verano. Si se desea tener el menor impacto ambiental posible y se quiere hacer uso de los recursos del entorno, el calor natural del terreno puede ser una fuente valiosa de energía local, competitiva y sostenible para aplicaciones directas del calor, como son la calefacción, la refrigeración y la producción de agua caliente sanitaria (ACS). La idea de los cambiadores horizontales de baja entalpía es aprovechar la inercia térmica que tiene el terreno a cierta profundidad para conseguir que el gradiente de temperatura a satisfacer cuando se activa la calefacción o refrigeración sea más pequeño y, por lo tanto, sea mayor el rendimiento y menor el consumo energético para alcanzar el confort en el interior de la vivienda, que es finalmente el objetivo de la arquitectura bioclimática.

En el modelo definitivo de la vivienda con los resultados exitosos en *HULC*, las demandas de calefacción y refrigeración fueron respectivamente 13,86 y 6,64 kWh/m²año. Cogiendo el valor de calefacción como la demanda energética más limitante, teniendo en cuenta que la bomba de calor se supone encendida 1500 h/año a plena carga y que la superficie habitable a calefactar es de 120 m², tendríamos una potencia de calefacción de 1,1 kW. Si además suponemos que la potencia térmica de ACS necesaria es de 0,2 kW/persona, pasamos a necesitar una potencia total de calefacción y ACS de 1,5kW.

Como se puede observar en el nomograma del anexo 2, donde se detalla el modelo de cálculo de captadores geotérmicos horizontales, esta necesidad energética de 1,5 kW es un valor muy reducido para considerar la instalación de un sistema geotérmico. Es una buena noticia ya que esto nos indica que el aislamiento y el diseño pasivo de la vivienda se ha llevado a cabo correctamente, y que se puede llegar a un confort interior de la vivienda sin necesidad de llevar a cabo la alta inversión de este tipo de instalación.

2.4.2 Sistema de aerotermia

Otro tipo de sistema de bomba de calor similar al anterior es la aerotermia, que consiste en el aprovechamiento de la energía del aire que rodea a la vivienda mediante un sistema de intercambio con el interior del edificio basado en el ciclo de Carnot.

Los sistemas de aerotermia son bombas de calor con elevados rendimientos, tanto para el COP (*Coefficient Of Performance*) como para el EER (*Energy Efficiency Ratio*) y permiten el calentamiento de aire y agua tanto para calefacción y refrigeración por suelo radiante/refrescante como para su consumo por ACS. Al igual que en las instalaciones solares térmicas, estos sistemas cuentan con intercambiadores, con acumuladores de agua para consumo o con depósitos de inercia para apoyar a la aerotermia en casos de demanda de calor.

Aunque no es objetivo de este trabajo calcular la viabilidad económica del proyecto, es importante comentar que un sistema de aerotermia requiere de un presupuesto inicial más bajo que un sistema de geotermia. No obstante, el coste de operatividad y de uso anual seguramente sea mayor ya que el rendimiento es más bajo que el sistema de geotermia, al ser el gradiente de temperatura a superar mayor por la temperatura ambiente que es más variable según la estación. Además, si la electricidad para activar la bomba de calor aerotérmica se obtiene de fuentes renovables, por ejemplo, de energía solar fotovoltaica, se produce la combinación perfecta para una vivienda pasiva, produciendo un mínimo impacto medioambiental debido a su alta eficiencia energética y su bajo consumo.

Teniendo en cuenta las demandas de calefacción y refrigeración resultantes del modelo de *HULC* y las potencias limitantes calculadas en el capítulo anterior, sumando una potencia total de calefacción y ACS de 1,5kW, se podría buscar una bomba de calor aerotérmica que cumpla con estos requerimientos. Aun siendo una potencia baja, ya que la mayoría de los sistemas de aerotermia que se instalan son de potencias entre 5 y 20 kW, si se le da un margen de seguridad a dichos valores obtenidos, la bomba de calor de aerotermia *Genia Air Max 4*, cuya ficha técnica se adjunta en el anexo 3, podría cumplir con estos requerimientos.

De nuevo, teniendo en cuenta que estos sistemas están pensados para funcionar de forma continua, por su elevada inercia térmica y baja capacidad de respuesta rápida frente a parones del sistema, podríamos descartar el sistema de aerotermia en base a las bajas necesidades energéticas de la vivienda. Con esta baja demanda energética resultaría imposible rentabilizar este tipo de sistema a corto o medio plazo.

2.4.3 Sistemas de climatización puntuales

En vista de lo analizado anteriormente, si la demanda de calefacción de la vivienda diseñada es de 13,86 kWh/m²año, es posible que no sea necesario instalar un sistema de calefacción continuo. Dado que la demanda es relativamente baja, es probable que la vivienda retenga suficiente calor por sí misma, especialmente al estar bien aislada.

No obstante, teniendo en cuenta que las temperaturas en los meses más fríos del invierno en la localización elegida para la vivienda bioclimática pueden llegar a los 2 °C [VII], quizás si es posible considerar un sistema puntual de calefacción para días concretos donde se vuelva necesario.

La leña de encina es un recurso sostenible y con alto poder calórico, que podría permitir mantener limpio el monte y reducir el coste tanto económico como ambiental del transporte en comparación a otros combustibles, al estar disponible directamente en la misma finca donde se ubicaría la vivienda bioclimática.

Las casas tradicionales del pueblo cuentan con una chimenea abierta, con los inconvenientes que esta opción clásica conlleva: la combustión es incompleta ya que hay libre circulación del aire, por lo que se quedan carbones sin quemar y muchas cenizas, y la columna de aire caliente dentro de la salida de humos de la chimenea funciona como gran aspirador que desperdicia el calor y hace que entre el aire frío por todos los posibles resquicios de los cerramientos. Existen alternativas más válidas a estas chimeneas, como lo son las insertables o casetes, que permiten pasar del 25% de rendimiento a un 75%, ya que cuentan con un sistema de circulación de aire forzado que calienta el aire frío de la estancia sin mezclarlo con los humos de salida. Permite además llevar el calor a las habitaciones contiguas sin necesidad de la instalación de conductos extras, aunque siempre sería posible hacerlo para recuperar y aprovechar ese calor. Hay insertables que disponen de un intercambiador de con agua para calefactar con suelo radiante o radiadores o para producción de ACS, pudiendo llegar a un rendimiento del sistema de un 80%. Otra opción aún más interesante y eficiente, llegando hasta un 90%, son las calderas de gasificación de leña, que se instalan junto a un depósito de inercia y que sirven tanto para calefacción y para agua caliente [XIX]. En la Imagen 31 podemos visualizar los distintos tipos de aprovechamiento de la leña de encina, ordenados de menos a mayor eficiencia.



Imagen 31. Distintos tipos de aprovechamiento de la leña de encina. De izquierda a derecha, chimenea abierta tradicional, chimenea insertable o casete y caldera de gasificación de leña

De la misma manera que con la calefacción, siendo la demanda de refrigeración de 6,6 kWh/m²año, es probable que la vivienda mantenga una temperatura confortable durante los períodos de calor sin la necesidad de un sistema de refrigeración adicional.

Sin embargo, al ser una zona con veranos muy calurosos rozando los 36 °C en los meses calurosos como julio o agosto [VII], se puede considerar también la instalación de algún tipo de sistema de refrigeración para momentos puntuales. Existen opciones eficientes y de poco consumo energético, como aires acondicionados de alta eficiencia energética, sistemas de enfriamiento evaporativo o ventiladores. Estos últimos son mucho más económicos y de bajo consumo que los primeros, y aunque no bajen la temperatura interior de la vivienda, si son capaces de bajar la temperatura corporal ya que hace que circule el aire de alrededor, evitando

que se quede quieto en la superficie de nuestro cuerpo y se sature. Provocando más movimiento de aire seco alrededor de nuestro cuerpo, se facilita la evaporación que roba calor de nuestro organismo y que permite la refrigeración natural del mismo.

2.4.4 Placas solares térmicas

Una buena opción al estar ante una vivienda de nueva construcción y tener presupuesto ilimitado es una instalación con doble sistema para calefacción y producción de ACS: chimenea o caldera de gasificación de leña para el invierno y paneles térmicos de energía solar para el verano. No obstante, sería necesario disponer de espacio para la caldera, para el depósito de inercia y para el almacenamiento de la leña.

La conversión de la radiación del sol en calor es la aplicación más fácil y efectiva de la energía solar, y los sistemas solares térmicos están diseñados para absorber la máxima radiación y minimizar las pérdidas térmicas al ambiente.

Para el dimensionamiento de los colectores termosolares, se ha seguido una metodología usada en la asignatura del máster de *Energía solar, fotovoltaica y termoeléctrica* para el cálculo sencillo del suministro energético de (pequeños) sistemas solares térmicos, desarrollada por la Federación Europea de la Industria Solar Térmica (*ESTIF*) [XX]. Se procederá a dimensionar y calcular la producción de ACS a partir de un colector solar térmico en el anexo 4.

De los resultados obtenidos y analizados en el anexo 4, podemos ver como el colector seleccionado es capaz de producir 6890 L de ACS en julio y 2030 L de en diciembre. Teniendo en cuenta que para edificios de uso residencial privado se considera una demanda de referencia de ACS de 28 L/persona-día, que habrá dos personas en la vivienda y que ambos meses tienen 31 días, la producción mínima de ACS necesaria es de 1736 L/mes. Por lo tanto, esta producción con un depósito de 200 L sería suficiente para abastecer a esta vivienda, aunque en invierno quizás puede ser necesario utilizar el sistema auxiliar en momentos puntuales para una demanda extra de ACS o calefacción.

2.4.5 Placas solares fotovoltaicas

Por último, teniendo en cuenta que la vivienda no tendrá acceso a la red eléctrica del municipio ya que se encuentra en una finca en las afueras del pueblo, es necesario el estudio y dimensionamiento de una instalación eléctrica para autoabastecimiento. Para la electrificación de esta vivienda unifamiliar, se opta directamente por el uso de placas solares fotovoltaicas debido al alto recurso solar disponible en la zona. Si el terreno hubiese tenido un viento constante y adecuado, los generadores eólicos podrían haber sido una alternativa viable, pero no es el caso.

Se plantea hacer una instalación como la que tiene una vivienda en la cercanía que tampoco tiene acceso a la red eléctrica, mostrada en la Imagen 32. Esta cuenta con 6 placas fotovoltaicas de 400 W de la marca *Amerisolar* [XXVII], dos baterías de 250 Ah (6 kWh) y un inversor + cargador multifunción de 3 kW, ambos de la marca *PlusEnergy* [XXVIII]. Esta instalación es suficiente para la demanda eléctrica de la vivienda, teniendo en cuenta que tanto el termo para ACS como la cocina están equipados para funcionar con gas y la climatización no consume energía ya que no disponen de sistema de refrigeración y cuentan con chimenea para calefactar la vivienda. Además, esta vivienda cuenta con un generador de gasoil como sistema de apoyo para los picos de demanda.

Para el dimensionamiento de la instalación de la vivienda bioclimática, necesitaremos más potencia y capacidad de almacenamiento ya que se desea electrificar todo lo posible para evitar el uso de combustibles fósiles tanto en el equipamiento de la vivienda como en el sistema auxiliar de apoyo a la instalación fotovoltaica.

Además, a diferencia de la instalación existente en la vivienda de la Imagen 32, se pretende instalar las placas con la inclinación óptima para maximizar la conversión de energía solar en eléctrica. Si no es posible su instalación en el tejado, también se plantea construir una estructura extra que además pueda funcionar como elemento de sombra.



Imagen 32. En la primera imagen, instalación existente en la vivienda de una finca cercana. En la segunda imagen, instalación placas fotovoltaicas como elemento de sombreado

El análisis del dimensionamiento de las placas solares fotovoltaicas está detallado en el anexo 5. Se ha analizado la diferencia de los resultados en dos supuestos diferentes: potencia instalada de 6000 W (dimensionamiento aproximado con baterías 25 kWh) o de 5400 W (kit solar paneles + baterías 22 kWh + inversores adjuntos al final del anexo 5).

En el primero de los ejemplos vemos como, para igual consumo, cuando se instala mayor potencia de los módulos fotovoltaicos hay un mayor porcentaje de días con batería llena, que se darán sobre todo en verano, y un menor porcentaje de días con batería vacía, en comparación con el segundo ejemplo. También disminuye en el primer ejemplo la energía que falta por tener la batería descargada, aunque aumenta significativamente la energía no capturada debido a que hay mayor porcentaje de días con la batería llena.

Para ambos casos estudiados, se puede decir que la instalación está sobredimensionada, ya que no estamos aprovechando las baterías en todo su rango de carga, pero cuando hablamos de instalaciones aisladas sin acceso a la red, es importante garantizar el suministro eléctrico suponiendo que puede haber varios días sin recurso solar. La decisión variará en función del presupuesto disponible y de la alternativa del sistema de apoyo.

3 Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue diseñar de forma básica y sintetizada una vivienda bioclimática unifamiliar bajo la premisa de mejorar el confort de los habitantes, maximizando la eficiencia energética y reduciendo el consumo energético. Además, como se ubicaría en un sistema rural de la dehesa de Sierra Morena, se pretendía diseñar tanto la vivienda como los sistemas auxiliares con la finalidad de reducir el impacto ambiental, aprovechando los recursos locales y minimizando el uso de materiales, sistemas y tecnologías que pudiesen afectar negativamente al entorno y a los ecosistemas en los que se encuentra.

En la opinión de la autora, este trabajo le ha servido en gran medida para aplicar lo aprendido en muchas de las asignaturas cursadas en el máster cursado de Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universidad de Barcelona. Empezando por aquella que le dio la idea para realizar este trabajo, *Gestión energética en sectores no industriales: edificación y transporte*, y siguiendo con otras que le han ayudado a complementar el mismo con conocimientos valiosos y métodos de cálculo para el dimensionamiento de las instalaciones de energías renovables, como *Materiales para la Sostenibilidad, Energía solar fototérmica, fotovoltaica y termoeléctrica o Energía geotérmica y bomba de calor*.

A continuación, se muestra una síntesis de los principales aspectos que se han analizado y las conclusiones a las que se ha llegado a partir del estudio de las diferentes tecnologías activas y pasivas para el diseño de la vivienda bioclimática. Además, se muestran las modificaciones que se han tenido que hacer a las hipótesis iniciales para llegar al modelo de vivienda bioclimática óptimo.

- En aras de la economía circular, se quería aprovechar unas cimentaciones existentes de unas ruinas de una construcción de hace 150 años. No obstante, dado el grado de degradación de estas y su mala orientación en términos bioclimáticos, se decidió priorizar la orientación sur para el diseño pasivo y se eligió otra localización.
- Gracias al modelo diseñado en el software *HULC* se han confirmado los buenos resultados del semienterramiento y los materiales locales, gracias a su elevada inercia térmica y propiedades de aislamiento térmico.
- También, en vista de los resultados de demanda energética obtenidos en *HULC*, se ha podido comprobar la ganancia solar de todos los huecos de la envolvente de la vivienda, independientemente de su orientación, y se ha priorizado la reducción de la demanda de refrigeración frente a la de calefacción, con el uso de elementos de sombras. El software también ha permitido dimensionar el voladizo principal gracias a las contribuciones de ganancia solar calculadas para cada uno de los modelos.
- En vista del buen diseño bioclimático de la vivienda y de sus reducidas necesidades energéticas, se ha descartado el uso de sistemas continuos de climatización, como la geotermia o aerotermia, y se ha dimensionado una instalación de placas termo solares para producción de ACS y de placas fotovoltaicas para la electrificación de la vivienda.

Este trabajo ha sido desarrollado entorno a los conceptos de arquitectura pasiva, economía circular, mínimo impacto ambiental, eficiencia energética y energías renovables, dándoles la importancia que deberían tener en todos y cada uno de los sectores que intervienen en nuestro sistema económico y productivo para evitar el cataclismo climático en los años futuros.

4 Bibliografía

- I. ROCKSTRÖM, J., GUPTA, J., QIN, D. ET AL., (2023), SAFE AND JUST EARTH SYSTEM BOUNDARIES. NATURE [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/s41586-023-06083-8](https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8)
- II. IEA (2022), BUILDINGS, IEA, PARIS. [HTTPS://WWW.IEA.ORG/REPORTS/BUILDINGS](https://www.iea.org/reports/buildings), LICENSE: CC BY 4.0
- III. B. OZARISOY, H. ALTAN, (2021) SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF BIOCLIMATIC DESIGN ELEMENTS: THEORIES, METHODOLOGIES AND CASES IN THE SOUTH-EASTERN MEDITERRANEAN CLIMATE, ENERGY AND BUILDINGS, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENBUILD.2021.111281](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111281).
- IV. EXCMO AYUNTAMIENTO DE CALA (23 DE JUNIO DE 2023). LOCALIZACIÓN Y ENTORNO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.CALA.ES/ES/MUNICIPIO/LOCALIZACION/](https://www.cala.es/es/municipio/localizacion/)
- V. JUNTA DE ANDALUCÍA & AICIA (2023), GUÍA DE DISEÑO INTEGRAL DE VIVIENDAS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES EN ANDALUCÍA. [HTTPS://WWW.JUNTADEANDALUCIA.ES/SITES/DEFAULT/FILES/2020-10/GUIA%20DISEÑO%20INTEGRAL%20VIVIENDA%20ENERG%20EFICIENTES.PDF](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-10/guia%20diseño%20integral%20vivienda%20energ%20eficientes.pdf)
- VI. KÁROLY MATOLCSY, GUIDE FOR BIOCLIMATIC DESIGN, 2015, [HTTPS://SMART-CITIES-MARKETPLACE.EC.EUROPA.EU/SITES/DEFAULT/FILES/PIMES_GUIDE_FOR_BIOCLIMATIC_DESIGN.PDF](https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/sites/default/files/pimes_guide_for_bioclimatic_design.pdf)
- VII. SPARK, W. (21 DE JUNIO DE 2023). EL CLIMA Y EL TIEMPO PROMEDIO EN TODO EL AÑO EN CALA. OBTENIDO DE [HTTPS://ES.WEATHERSPARK.COM/Y/33251/CLIMA-PROMEDIO-EN-CALA-ESPA%C3%B1A-DURANTE-TODO-EL-A%C3%B1O](https://es.weatherspark.com/y/33251/clima-promedio-en-cala-espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o)
- VIII. JUNTA DE ANDALUCÍA (26 DE JUNIO DE 2023). TIPOLOGÍA DE SUELOS EN LA COMUNIDAD ANDALUZA. [HTTPS://WWW.JUNTADEANDALUCIA.ES/MEDIOAMBIENTE/WEB/BLOQUES_TEMATICOS/ESTADO_Y_CALIDAD_DE_LOS_RECURSOS_NATURALES/SUELO/CRITERIOS_PDF/HUELVA.PDF](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/bloques_tematicos/estado_y_calidad_de_los_recursos_naturales/suelo/criterios_pdf/huelva.pdf)
- IX. MANZABA CAMPOS, D. (27 DE SEPTIEMBRE DE 2015). TIPOS DE SUELO. OBTENIDO DE [HTTPS://ES.SLIDESHARE.NET/DORIANNYSMANZABACAMPOS/CONSTRUCCIN-II-TIPOS-DE-SUELO](https://es.slideshare.net/doriannysmanzabacampos/construccin-ii-tipos-de-suelo)
- X. GORDILLO'S CAL DE MORON, (27 DE JUNIO DE 2023), EL OFICIO DE «CALERO», [HTTPS://WWW.GORDILLOSCALDEMORON.COM/GORDILLOS/](https://www.gordilloscaldemoron.com/gordillos/)
- XI. RODRIGUEZ M.REYES, GONZALEZ A.M., CANIVELL J., ROMERO A., (5 DE JULIO DE 2023), UNIVERSIDAD DE SEVILLA, LA CAL DE MORÓN EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL ANDALUZA, [HTTPS://CORE.AC.UK/DOWNLOAD/PDF/51405877.PDF](https://core.ac.uk/download/pdf/51405877.pdf)
- XII. BERNAVÉI VALERIA (13 DE SEPTIEMBRE DE 2021). VIDRIO SELECTIVO: QUÉ ES Y CUANDO UTILIZARLO. [HTTPS://WWW.INTEREMPRESAS.NET/VIDRIO-PLANO/ARTICULOS/366353-VIDRIO-SELECTIVO-QUE-ES-Y-CUANDO-UTILIZARLO.HTML](https://www.interempresas.net/vidrio-plano/articulos/366353-vidrio-selectivo-que-es-y-cuando-utilizarlo.html)
- XIII. CORCHO24 (6 DE JULIO DE 2023). VIDRIO SELECTIVO PROPIEDADES DEL CORCHO: TÉRMICA, ACÚSTICA Y MÁS [HTTPS://CORCHO24.ES/PROPIEDADES-DEL-CORCHO/](https://corcho24.es/proiedades-del-corcho/)
- XIV. SLOW STUDIO, (7 DE JULIO DE 2023) EL CORCHO EN CONSTRUCCIÓN, [HTTPS://WWW.SLOWSTUDIO.ES/RESEARCH/EL-CORCHO-EN-CONSTRUCCION](https://www.slowstudio.es/research/el-corcho-en-construccion)
- XV. MITMA (14 DE JUNIO DE 2022), DOCUMENTO BÁSICO HS SALUBRIDAD, CTE [HTTPS://WWW.CODIGOTECNICO.ORG/PDF/DOCUMENTOS/HS/DBHS.PDF](https://www.codigotecnico.org/pdf/documentos/HS/DBHS.pdf)
- XVI. E-FICIENCIA (29 DE JUNIO DE 2020) VOLADIZOS: DIMENSIONES ÓPTIMAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA, [HTTPS://E-FICIENCIA.COM/VOLADIZOS-DIMENSIONES-OPTIMAS-PARA-LA-REDUCCION-DE-LA-DEMANDA-ENERGETICA/#OBJETIVO-DEL-ESTUDIO-DIMENSIONES-OPTIMAS-DE-LOS-VOLADIZOS-PARA-LA-REDUCCION-DE-LA-DEMANDA-ENERGETICA](https://e-ficiencia.com/voladizos-dimensiones-optimas-para-la-reduccion-de-la-demanda-energetica/#objetivo-del-estudio-dimensiones-optimas-de-los-voladizos-para-la-reduccion-de-la-demanda-energetica)
- XVII. JOSE IGNACIO MARÍN MILLÁN, UCLM (27 DE FEBRERO – 1 DE MARZO. 2012), CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES GEOTÉRMICAS DE MUY BAJA TEMPERATURA, [HTTP://GEOCESA.COM/WEB/FORMACION/TEMA_2_CARACTERIZACION_DEL_TERRENO.PDF](http://geocesa.com/web/formacion/tema_2_caracterizacion_del_terreno.pdf)
- XVIII. IDAE (NOVIEMBRE 2015), CALIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS, [HTTPS://ENERGIA.GOB.ES/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUM](https://energia.gob.es/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUM)

- ENTOS RECONOCIDOS/NORMATIVA MODELOS UTILIZACION/20151123-CALIFICACION-EFICIENCIA-ENERGETICA-EDIFICIOS.PDF
- XIX. MANCEBO QUINTANA J. M., (CONSULTADO EL 15/07/2023), GUÍA INFORMATIVA SOBRE EL USO DE LEÑA PARA CALEFACCIÓN, [HTTP://WWW.VILLAREJODELVALLE.ES/PDF/GUIA_LENAS_CALEFACCION.PDF](http://www.villarejodelvalle.es/pdf/guia_lenas_calefaccion.pdf)
- XX. EUROPEAN SOLAR THERMAL INDUSTRY FEDERATION (30 AUGUST 2007) OBJECTIVE METHODOLOGY FOR SIMPLE CALCULATION OF THE ENERGY DELIVERY OF (SMALL) SOLAR THERMAL SYSTEMS, [HTTP://WWW.ESTIF.ORG/FILEADMIN/ESTIF/CONTENT/POLICES/DOWNLOADS/SIMPLE_CALCULATION.PDF](http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/polices/downloads/simple_calculation.pdf)
- XXI. MINISTERIO DE FOMENTO (20 DE DICIEMBRE DE 2019), DOCUMENTO BÁSICO HE AHORRO DE ENERGÍA, [HTTPS://WWW.CERTIFICADOSENERGETICOS.COM/WPCONTENT/UPLOADS/2020/06/Dcche_2019.PDF](https://www.certificadosenergeticos.com/wp-content/uploads/2020/06/Dcche_2019.pdf)
- XXII. SUNEARTHTOOLS, HERRAMIENTAS PARA CONSUMIDORES Y DISEÑADORES DE ENERGÍA SOLAR (CONSULTADO 06/2023) [HTTPS://WWW.SUNEARTHTOOLS.COM/DP/TOOLS/POS_SUN.PHP?LANG=ES](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es)
- XXIII. EUROPEAN COMMISSION, PVGIS, PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (CONSULTADO 07/2023), [HTTPS://RE.JRC.EC.EUROPA.EU/PVG_TOOLS/EN/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- XXIV. UNE, UNA NORMA ESPAÑOLA, (25 DE OCTUBRE DE 2006), UNE-EN ISO 7730:2006, [HTTPS://WWW.UNE.ORG/ENCUENTRA-TU-NORMA/BUSCA-TU-NORMA/NORMA?C=N0037517](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517)
- XXV. CTE, (ÚLTIMA VERSIÓN 11 DE MAYO DE 2023) HERRAMIENTA UNIFICADA LIDER-CALENER (HULC), [HTTPS://WWW.CODIGOTECNICO.ORG/PROGRAMAS/HERRAMIENTAUNIFICADALIDERCALENER.HTML](https://www.codigotecnico.org/programas/herramientaunificada LiderCALENER.html)
- XXVI. ESPECIFICACIONES KIT SOLAR SECOND LIFE BATTERY, (CONSULTADO EL 9 DE JULIO DE 2023) [HTTPS://BATTERYSECONDLIFE.COM/PACK-12-X-450W-PANELES-2-BATERIA-2-VICTRON-5KVA.HTML](https://batterysecondlife.com/pack-12-x-450w-paneles-2-bateria-2-victron-5kva.html)
- XXVII. AMERISOLAR MONOCRYSTALLINE MODULE (2020), [HTTPS://TEKSOLAR.IND.BR/WP-CONTENT/UPLOADS/2021/07/AMERISOLAR-AS-6M-HCB-MODULE-SPECIFICATION-2008-1002-40MM_COMPRESSED.PDF](https://teksolar.ind.br/wp-content/uploads/2021/07/Amerisolar-AS-6M-HCB-Module-Specification-2008-1002-40mm_compressed.pdf)
- XXVIII. MUST SOLAR - PLUSENERGY, INVERSOR CARGADOR DE ALTA FRECUENCIA PV-1800 [HTTPS://AUTOSOLAR.ES/PDF/MANUAL-MUST-SOLAR-3000-5000.PDF](https://autosolar.es/pdf/manual-must-solar-3000-5000.pdf)
- XXIX. APUNTES DE LA ASIGNATURAS “GESTIÓN ENERGÉTICA EN SECTORES NO INDUSTRIALES: EDIFICACIÓN Y TRANSPORTE”, “ENERGÍA SOLAR FOTOTÉRMICA, FOTOVOLTAICA Y TERMOELÉCTRICA” Y “ENERGÍA GEOTÉRMICA Y BOMBA DE CALOR”, IMPARTIDAS EN EL MÁSTER DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA.

5 Anexos

5.1 Anexo 1. Diagramas solares en la ubicación de la vivienda y cálculo del voladizo para el sombreado de los ventanales principales

Para el cálculo del voladizo principal, es necesaria saber la trayectoria solar en la ubicación exacta elegida para la construcción de la nueva vivienda. Para ello, se va a utilizar la plataforma online *SunEarthTools* [XXII] que proporciona los diagramas solares adjuntos en la Imagen 33, en los que aparece de forma gráfica la orientación, en el eje de *Azimuth*, e inclinación solar, en el eje de *Elevation*, para cada hora y día del año.

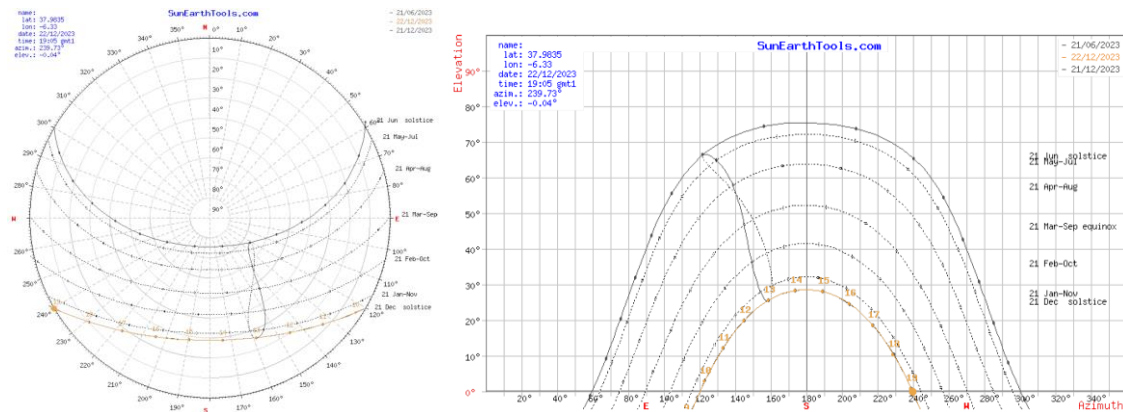


Imagen 33. Carta y diagrama solares obtenidos de SunEarthTools [XXII]

De la misma forma, esta plataforma es capaz de sacar la inclinación solar máxima que tiene el sol en sus respectivos solsticios, en el día más largo del verano y en el día más corto del invierno. Teniendo en cuenta estos parámetros máximos detallados en la Imagen 34 y que la inclinación del voladizo es la de la cubierta, de $7,125^\circ$, si quisiésemos aprovechar toda la ganancia solar posible del invierno tendríamos calcular la longitud del voladizo para la cual la **elevación solar** es $28,58^\circ$, medida a partir del límite superior de la ventana. De esta manera, garantizaríamos que todas las radiaciones del invierno que van a estar por debajo de esta inclinación máxima van a penetrar por toda la superficie de los acristalamientos y van a suponer una ganancia solar térmica que reducirá la demanda de calefacción. La longitud del voladizo asociada a esta elevación solar es de 1,35 m y tiene la escala que se puede observar en la Imagen 34.

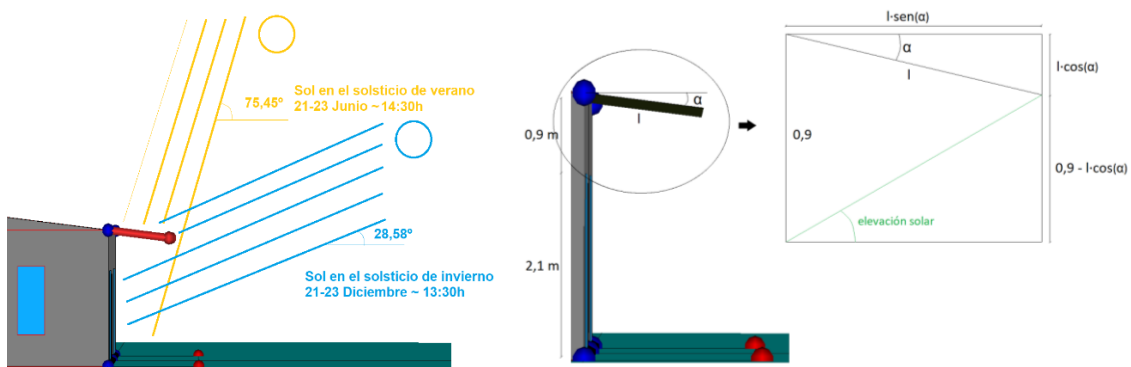


Imagen 34. Elevaciones límites solares y trigonometría para sacar la longitud óptima del voladizo a instalar

No obstante, aunque con este voladizo la demanda de calefacción sea mínima en invierno, se puede observar cómo esta longitud es bastante corta y dejaría pasar gran parte de la radiación en verano, haciendo muy elevada la demanda de refrigeración. Está demostrado cómo, a medida que se aumenta la longitud del voladizo, se reduce la demanda anual de refrigeración, pero también aumenta la demanda anual total de calefacción [XVI].

Por lo tanto, teniendo en cuenta que queremos proteger la fachada sur de la mayor parte de las radiaciones solares de verano, se puede probar con un voladizo de 3 m de longitud. En la Imagen 35 podemos observar que la protección que ejerce este voladizo es mucho mayor que el ejemplo anterior, no obstante, habrá una inclinación por debajo de la cual los rayos del sol incidirán en los ventanales o al menos en su parte baja, con valor $\alpha = 41,5^\circ$. Además, es necesario estudiar en planta donde termina el techo y la orientación del sol a partir de esa hora, porque a primera hora de la mañana y última hora de la tarde, estas radiaciones solares no se verán afectadas por el voladizo tal y como está diseñado. Con estas premisas, tenemos un valor de $\beta = 40,31^\circ$, es decir, aproximadamente 60° respecto al sur.

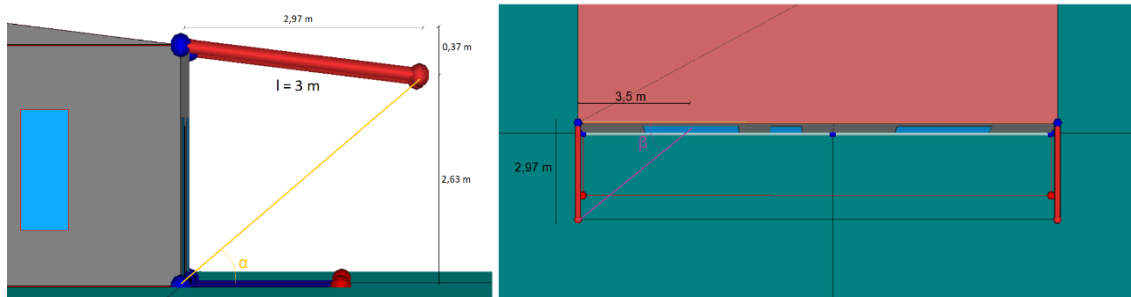


Imagen 35. Relaciones trigonométricas con longitud de voladizo de 3 metros

En la Imagen 36 se ha marcado en el diagrama solar la elevación e inclinación solar a partir de las cuales los ventanales principales quedan protegido por el voladizo de 3 m.

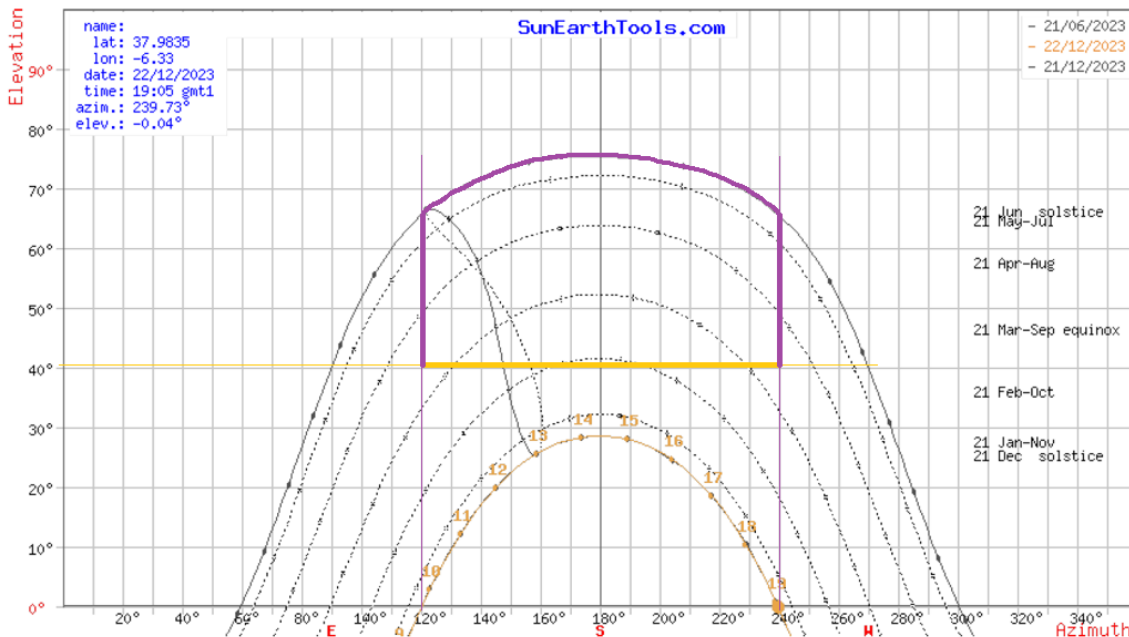


Imagen 36. Diagrama solar con zona protegida por el voladizo de 3 metros

Se puede observar como en los meses de invierno más duros las radiaciones solares inciden al menos en parte o totalmente sobre los ventanales, aprovechando esa ganancia solar, desde octubre a febrero. No obstante, en los meses de verano podemos comprobar como en algunas horas de sol todavía intenso – entre las 10 y 12 h de la mañana y 17 y 19 h de la tarde – el sol sigue incidiendo en los ventanales. Se podría resolver este problema aumentando el alero hacia los lados este y oeste, con un parasol vertical o con otro tipo de dispositivos de sombras estacionarios que solo se coloquen a partir de un nivel de radiación y temperatura determinado.

Estos dispositivos de sombras no incluidos en los predefinidos en el modelo de diseño de la vivienda pueden añadirse en el programa mediante los coeficientes de corrección por dispositivo de sombra estacional. Se puede aplicar para toldos que se colocan solamente en la temporada veraniega, o a otros dispositivos de sombra integrados en los acristalamientos que se hagan funcionar solo en verano. La duración de la temporada veraniega se ha predefinido en el programa de junio a septiembre, aunque se puede cambiar en caso de necesidad.

En la Imagen 37 se presentan diferentes complementos sostenibles para el voladizo fijo. Como dispositivo de sombra estacional adaptado a este entorno se podría instalar un toldo textil entre los árboles que están en la fachada sur y el propio voladizo fijo ya instalado en la vivienda. Otra opción sería fabricarlo de forma artesanal con cañizo o esparto de la zona e instalarlo en una estructura sencilla delante de la vivienda, de forma que se pudiese retirar en invierno para que no se deteriore en exceso y permita atravesar la radiación solar para aprovechar la ganancia térmica aportada. Otra alternativa sostenible para evitar que los rayos de sol de las horas aun intensas de los días de verano que no están cubiertas por el voladizo fijo entren en la vivienda es colocar un panel de corcho natural aislante en la parte baja de las ventanas. Como el corcho es un material abundante en la zona, sería tan simple como juntar varios paneles y colocarlos como pantalla en la ventana cuando se quiera impedir que incida el sol en el cristal, evitando el efecto invernadero, y retirarlo cuando se quiera lo contrario.



Imagen 37. Opciones de dispositivos de sombra estacionales y sostenibles

Además, para los edificios residenciales, el programa tiene en cuenta de forma automática las persianas integradas en los acristalamientos a fin de oscurecer el interior de las viviendas y evitar radiaciones indeseadas.

Los resultados de demanda energética con las distintas soluciones arquitectónicas para sombreado están comparados en el capítulo 2.3.

5.2 Anexo 2. Modelo de cálculo sistema de geotermia

La Norma alemana VDI 4640 facilita un modelo de cálculo aproximado para un cambiador de calor geotérmico horizontal para una pequeña instalación como es una vivienda unifamiliar. Esta norma proporciona un método simplificado para determinar la longitud del tubo que intercambiará el calor con el suelo y superficie del terreno necesaria para poder instalarlo.

Para poder utilizar este método de cálculo, son necesarios datos como el coeficiente de rendimiento de la bomba de calor a instalar (unidimensional), la carga de calefacción requerida por la vivienda (kW) y la capacidad de extracción de calor del terreno donde se instalará en sistema (W/m²). Además, se proporciona un nomograma y unas condiciones para la utilización de este en función del tipo de sistema a instalar y de las características del suelo, en la Imagen 38 e Imagen 39 respectivamente [XVII].

SUELO	EXTRACCIÓN DE CALOR (W/m ²)	TIPO
Arenoso, saturado de agua, con elevada radiación solar	35 a 40	[1]
Limoso-arenoso, húmedo, con exposición regular a la radiación solar	20 a 30	[2] [3]
Pedregoso, seco y sombrío	8 a 12	[4]

Imagen 38. Condiciones para la utilización del monograma según los distintos tipos de suelo

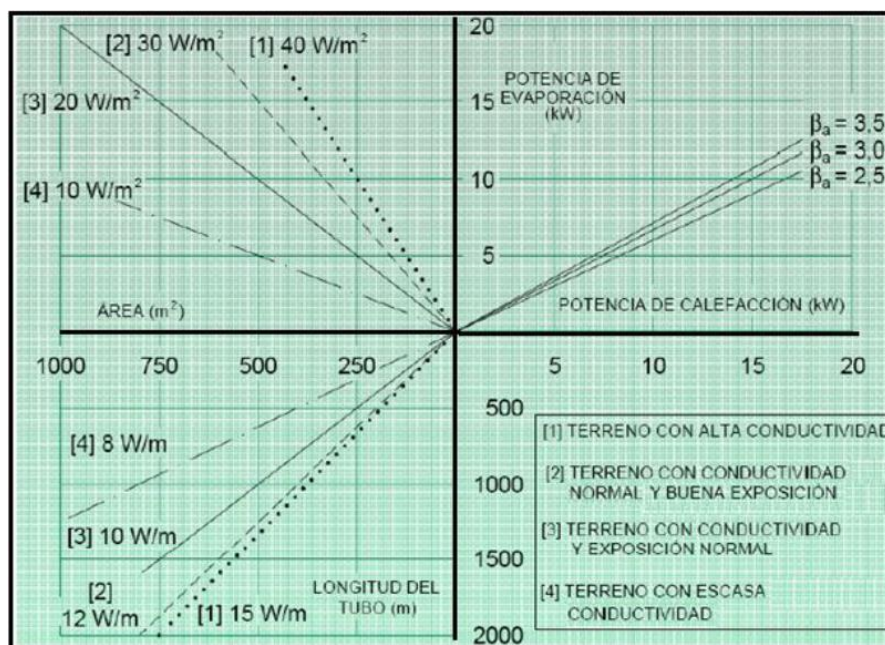


Imagen 39. Nomograma para calcular la longitud y superficie de un cambiador geotérmico horizontal

5.3 Anexo 3. Ficha técnica bomba de calor aerotermia

Datos técnicos

Genia Air Max

Características	Ud	Genia Air Max 4	Genia Air Max 6	Genia Air Max 8	Genia Air Max 12	Genia Air Max 12T	Genia Air Max 15	Genia Air Max 15T
Alimentación eléctrica UE		230V/50Hz				400V/50Hz	230V/50Hz	400V/50Hz
Eficiencia Energética Calef. 35 °C/55 °C (A+++ - D)		A+++ / A++						
ηs Calefacción 35 °C	35 °C	180	186	187	200		187	186
	55 °C	131	136	135	144		143	
PCA (Potencial Calentamiento Atmosférico)	EN 517/2014	3						
CO ₂ , equivalente	Por máquina	t	0,0018	0,0027		0,0039		
Rango de trabajo (mín - máx)	Calefacción	°C	-25 +43					
	ACS		-20 +43					
	Refrigeración		+15 +46					
Potencia Calefacción ¹ (mín - máx) PERMANENTE	A7/W35	kW	2,2-5,5	3,1-7,8	2,9-10,1	5,5-14,0		5,5-18,1
	A7/W45		2,0-5,5	2,7-7,5	2,5-9,6	5,4-13,5		5,5-17,4
	A7/W55		1,8-5,3	2,2-7,5	2,3-9,4	4,8-13,1		4,8-17,1
COP ²	A7/W35		4,80	4,79		5,38		
	A7/W45		3,56	3,55		4,10		
	A7/W55		2,80	2,93		3,11		
Potencia Refrigeración ¹ (mín - máx) PERMANENTE	A35/W7	kW	1,8-5,0	2,5-6,3	2,5-7,7	4,4-10,0		4,4-12,8
	A35/W18		2,4-5,6	3,6-7,1	3,6-9,6	6,0-13,4		6,0-17,3
EER ²	A35/W7		3,37	3,46		3,52		
	A35/W18		4,29	4,21		4,58		
Temperatura máxima sin resistencia eléctrica de apoyo	Calefacción	°C	75					
	ACS		70					
Presión sonora Ud. Exterior a 3m, direct.-2 / A7W35	modo normal	dB(A)	36	37		40		43
	modo noche		28		33			
Rendimientos en ACS								
Genia Set Max		FW 200-6						
Eficiencia Energética ACS ³ Rango A+ - F	Clima cálido	%	A+					
ηwh ACS			169	190		193		
COP ACS EN 16147 (A14) ⁵			3,81	4,41		4,43		
Perfil de carga			L	XL				
Eficiencia Energética ACS ³ Rango A+ - F	Clima medio	%	A+					
ηwh ACS			154	171		163		
COP ACS EN 16147 (A7) ⁵			3,50	3,99		3,76		
Perfil de carga			L	XL				
Eficiencia Energética ACS ³ Rango A+ - F	Clima frío	%	A+					
ηwh ACS			137	167		149		
COP ACS EN 16147 (A2) ⁵			2,99	3,77		3,41		
Perfil de carga			L	XL				
Acumulador de ACS		FE 150 BM			FEW 500 MR⁶			
Eficiencia Energética ACS ⁴ Rango A+ - F	Clima cálido	%	A+					
ηwh ACS				237		247		
COP ACS EN 16147 (A14) ⁵				4,91		5,63		
Perfil de carga				L		XL		
Eficiencia Energética ACS ⁴ Rango A+ - F	Clima medio	%	A+					
ηwh ACS				189		201		
COP ACS EN 16147 (A7) ⁵				3,96		4,61		
Perfil de carga				L		XL		
Eficiencia Energética ACS ⁴ Rango A+ - F	Clima frío	%	A					
ηwh ACS				168		170		
COP ACS EN 16147 (A2) ⁵				3,49		3,90		
Perfil de carga				L		XL		

Características		Ud	Genia Air Max 4	Genia Air Max 6	Genia Air Max 8	Genia Air Max 12	Genia Air Max 12T	Genia Air Max 15	Genia Air Max 15T	
Rendimiento en calefacción										
Eficiencia estacional Calefacción etaS	Clima cálido W35	%	220	229	228		256		245	
	Clima medio W35		180	186	187		200		187	
	Clima frío W35		152	162	159		168			
Calefacción SCOP EN 14825	Clima cálido W35		5,57	5,81	5,78		6,48		6,19	
	Clima medio W35		4,56	4,71	4,75		5,07		4,74	
	Clima frío W35		3,88	4,13	4,05		4,27		4,28	
Eficiencia estacional Calefacción etaS	Clima cálido W55	%	155		162		176		172	
	Clima medio W55		131	136	135		144		143	
	Clima frío W55		113	121	119		127		125	
Calefacción SCOP EN 14825	Clima cálido W55		3,94	4,12	4,13		4,47		4,38	
	Clima medio W55		3,34	3,47	3,45		3,67		3,65	
	Clima frío W55		2,90	3,10	3,05		3,24		3,20	
Rendimiento en refrigeración										
SEER EN 14825	A35W7		4,08		4,42		4,61		4,58	
Unidad Exterior			HA 4-6 O B3 230V	HA 6-6 O B3 230V	HA 8-6 O B3 230V	HA 12-6 O B3 230V	HA 12-6 O B3 400V	HA 15-6 O B3 230V	HA 15-6 O B3 400V	
Peso neto		kg	114		128		194	210	194	210
Refrigerante							R290			
Carga de refrigerante		kg	0,6		0,9			1,3		
Dimensiones sin embalaje	alto/an/prof	mm	765/1.100/450		965/1.100/450		1.565/1.100/450			
Caudal bomba Calefacción		l/h	780	1.050	1.300		2.065		2.500	
Presión disponible		kPa	58	50	40		55		38	
Caudal mínimo		l/h	400		540		995			
Caudal máximo Ventilación		m³/h	2.300		3.000		6.000			
Conexiones hidráulicas		"	G 1 1/4							
Corriente máxima		A	14,3		15,0		23,3	15,0	23,3	15,0
Potencia sonora EN 12102	A7W35	dB(A)	51	50		58			61	
	Modo silencio		46				51			
	ErP A7/W55		52		57		60		61	
Unidad interior - torre hidráulica			FW 200-6							
Alimentación eléctrica			230V / 50 Hz							
Dimensiones sin embalaje	alto/an/prof	mm	1.880/595/693							
Peso neto		kg	143							
Volumen equivalente agua a 40 °C	Acumul. 70 °C entrada 10 °C	l	370							
Volumen acumulación		l	185							
Tiempo de calentamiento a temperatura nominal	EN 16147	min	192		125		80			
Máx. presión circuito calef.		bar	3							
Potencia sonora EN 12102	A7 /W35	dB(A)	<30							
Conexiones hidráulicas	Bomba de calor	"	G 1 1/4							
	Circuito calefacción		G 1							
Unidad interior - módulo hidráulico			HE 9-6 WB							
Alimentación eléctrica			230-400V / 50 Hz							
Dimensiones sin embalaje	alto/an/prof	mm	720/440/350							
Peso neto		kg	20							
Máx. presión circuito calef.		bar	3							
Potencia sonora EN 12102	A7 /W35	dB(A)	<29							
Conexiones hidráulicas	Bomba de calor	"	G 1 1/4							
	Circuito calefacción		G 1							

(1) Rangos de potencia seleccionados de rating graph
 (2) VDE 2657-7-TL2-8 (certificado S2), datos s/EN 14.511:2018
 (3) Datos referidos a combinación torre hidráulica. Ensayo de soporte TÜV Rheinland Report No.: HP1022020S1 y HP1132020S1
 (4) Datos referidos a combinación módulo hidráulico y acumulador ACS. Ensayo de soporte TÜV Rheinland Report No.: HP1022020S4 y HP1172020S1
 (5) Los valores de los ensayos mostrados aquí cumplen con la tabla 4 del epígrafe 7.14.2 de la normativa EN 16.147, por lo tanto se considera el mismo valor de SCOP ACS que de COP ACS.
 (6) Datos referidos a combinación con módulo hidráulico y acumulador ACS de 200 l disponibles. Ensayo de soporte TÜV Rheinland Report No HP1022020S5

5.4 Anexo 4. Dimensionamiento de las placas solares térmicas

Para el dimensionamiento de las placas solares térmicas y para la evaluación de los datos requeridos, se ha seguido una metodología desarrollada por la Federación Europea de la Industria Solar Térmica (*ESTIF*).

La irradiación solar G (W/m²) y la temperatura ambiente del aire T_a (°C) de la ubicación elegida se extraerán de la base de datos *PVGIS* [XXIII] para los meses de más y menos radiación, en la que habrá a su vez menos y más demanda de ACS. Están ambas representadas gráficamente en la Imagen 40 y la Imagen 41 para distintos meses significativos para el dimensionamiento. Con los datos anteriores, los parámetros característicos de eficiencia del colector escogido y las ecuaciones mostradas a continuación, seremos capaces de obtener un volumen de ACS producido a una temperatura de proceso de 60 °C, que es la temperatura de referencia de ACS a la que se calcula la demanda energética a partir del Anejo F del nuevo documento de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación [XXI].

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \quad (1)$$

$$\frac{Q}{S} = \eta \cdot G \quad (2)$$

$$Q_{month} = \frac{Q_{day}}{S \cdot t} \cdot S \cdot t \cdot K_{ms} \quad (3)$$

$$V_{month} = \frac{Q_{month}}{C_{v,w} \cdot (T - T_w)} \quad (4)$$

Todos los parámetros de la ecuación (1) son proporcionados por la herramienta *PVGIS* [XXIII] o por el fabricante del colector en sus especificaciones, excepto la temperatura media del colector T_m (°C), que normalmente no se conoce y es difícil de calcular, ya que depende del sistema seleccionado y de las condiciones de funcionamiento en un momento dado (como el clima, el área del colector, el parámetro de eficiencia, la capacidad de almacenamiento, las pérdidas de calor, el control...). Pero en el estudio para determinar esta metodología, se demostró que una buena aproximación de este parámetro es el valor constante de la temperatura a la que el colector suele suministrar más energía a los sistemas. *ESTIF* proporcionó algunas recomendaciones/sugerencias de estos valores y coeficientes de pérdidas de calor en función de la aplicación deseada de los colectores, en nuestro caso:

- T_m (°C) recomendada para el cálculo del rendimiento anual del captador = Temperatura de proceso + 10 °C.
- Las pérdidas de calor se cubren con el factor $K_{ms}=0,9$.

Así, teniendo la irradiancia y la temperatura ambiente del aire para cada hora, con la ecuación (1) podemos calcular la eficiencia del colector para cada hora del día. Después, conociendo la irradiancia y la eficiencia del colector para cada hora, podemos calcular la energía entregada cada hora por este colector solar mediante (2). Sumando todas las energías de cada hora, podemos obtener la energía entregada por el colector para un día, con la que podemos calcular la mensual con (3). Por último, con (4) se llega al volumen de agua que puede ser calentado a esa temperatura de proceso con esta energía solar.

Los resultados mostrados a continuación, muestran como durante el invierno se calienta una cantidad significativamente menor de agua en comparación con el verano, debido a la menor radiación solar, menor número de horas y a las condiciones climáticas adversas.

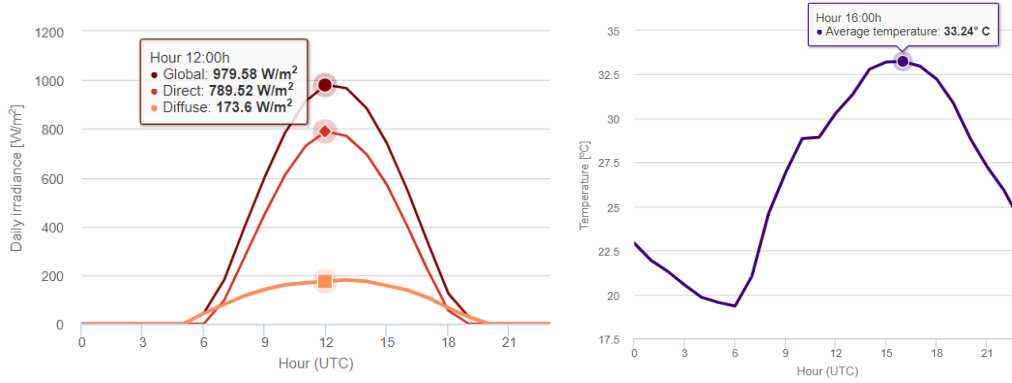


Imagen 40. Irradiancia y temperatura media diaria en julio en la localización elegida, obtenidos de PVGIS [XXIII]

Resultados Julio:

Latitude (decimal degrees): 37.991
 Longitude (decimal degrees): -6.333
 System Location: Cala, Huelva

Radiation database: PVGIS-SARAH2
 Results for: July
 Slope of plane: 34°
 Azimuth of plane: 0°
 South orientation

Collector Brand: WOLF
 Collector Model: CRK-12
 T process: 60 °C
 Tm: 70 °C
 ?0: 64,2 %
 a1: 0,885 W·m⁻²·K
 a2: 0,001 W·m⁻²·K²
 S: 2 m²
 t: 31 days
 kms: 0,9
 N: 1 collectors
 Cv: 4,1796 kJ·l⁻¹·K⁻¹
 Densidad agua: 1000 kg·m³

time(UTC)	W-m-2 G(i)	°C Td	% eff	W-m-2 Q/S
0:00:00	0	22,92	#iDIV/0!	#iDIV/0!
1:00:00	0	21,94	#iDIV/0!	#iDIV/0!
2:00:00	0	21,31	#iDIV/0!	#iDIV/0!
3:00:00	0	20,54	#iDIV/0!	#iDIV/0!
4:00:00	0	19,84	#iDIV/0!	#iDIV/0!
5:00:00	0	19,55	#iDIV/0!	#iDIV/0!
6:00:00	43,2	19,34	-45,52346204	-19,6661356
7:00:00	180,52	21,03	38,86402011	70,1573291
8:00:00	397,17	24,61	53,56717222	212,7527379
9:00:00	603,94	26,9	57,57664172	347,72837
10:00:00	785,34	28,86	59,34841984	466,0868804
11:00:00	913,5	28,93	60,0364866	548,4333051
12:00:00	979,58	30,31	60,45339981	592,1894139
13:00:00	966,72	31,37	60,50918706	584,9544131
14:00:00	883,7	32,8	60,31793142	533,02956
15:00:00	738,94	33,21	59,61063495	440,4868259
16:00:00	548,72	33,24	58,02492025	318,3943424
17:00:00	333,06	32,97	53,94876272	179,6817491
18:00:00	125,18	32,23	36,35767463	45,5125371
19:00:00	28,91	30,85	-60,94864234	-17,6202525
20:00:00	0	28,85	#iDIV/0!	#iDIV/0!
21:00:00	0	27,25	#iDIV/0!	#iDIV/0!
22:00:00	0	25,91	#iDIV/0!	#iDIV/0!
23:00:00	0	24,14	#iDIV/0!	#iDIV/0!
	7528,48	29,705	54,88460428	4339,407464
Wh-m-2-day-1		°C	%	Wh-m-2-day-1

MJ	m ³
Q system month 871,7001714	V water per month 6,884326417

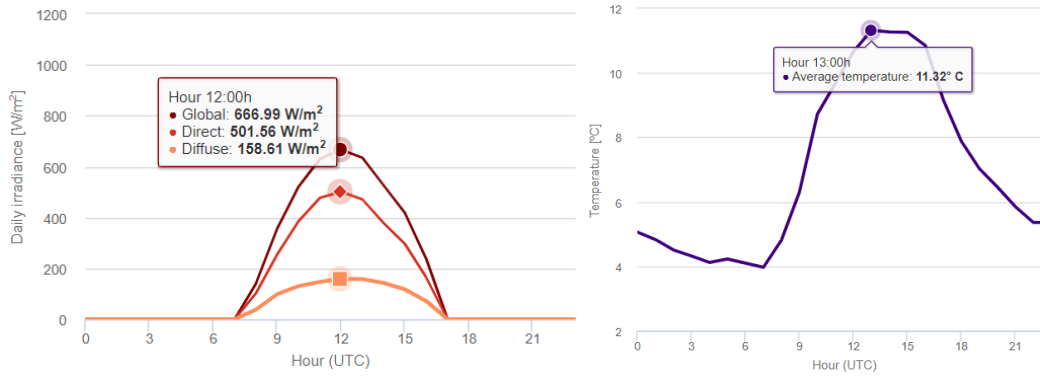


Imagen 41. Irradiancia y temperatura media diaria en diciembre en la localización elegida, PVGIS [XXIII]

Resultados Diciembre:

Latitude (decimal degrees): 37.991
 Longitude (decimal degrees): -6.333
 System Location: Cala, Huelva

Radiation database: PVGIS-SARAH2
 Results for: December
 Slope of plane: 34°
 Azimuth of plane: 0°
 South orientation

Collector Brand: WOLF
 Collector Model: CRK-12
 T process: 60 °C
 Tm: 70 °C
 ?0: 64,2 %
 a1: 0,885 W·m-2·K
 a2: 0,001 W·m-2·K-2
 S: 2 m2
 t: 31 days
 kms: 0,9
 N: 1 collectors
 Cv: 4,1796 kJ·l-1·K-1
 Densidad agua: 1000 kg·m3

time(UTC)	W·m-2 G(i)	°C Td	% eff	W·m-2 Q/S
0:00:00	0	5,06	#iDIV/0!	#iDIV/0!
1:00:00	0	4,83	#iDIV/0!	#iDIV/0!
2:00:00	0	4,51	#iDIV/0!	#iDIV/0!
3:00:00	0	4,32	#iDIV/0!	#iDIV/0!
4:00:00	0	4,12	#iDIV/0!	#iDIV/0!
5:00:00	0	4,23	#iDIV/0!	#iDIV/0!
6:00:00	0	4,1	#iDIV/0!	#iDIV/0!
7:00:00	0	3,97	#iDIV/0!	#iDIV/0!
8:00:00	140,16	4,81	20,00558926	28,0398339
9:00:00	355,81	6,3	47,21560102	167,99783
10:00:00	520,72	8,72	53,06387341	276,3142016
11:00:00	629,89	9,68	55,14735551	347,3676776
12:00:00	666,99	10,66	55,79850439	372,1704444
13:00:00	635,13	11,32	55,48129007	352,3783176
14:00:00	526,22	11,27	53,66728309	282,4079771
15:00:00	417,18	11,26	50,91190191	212,3942724
16:00:00	237,56	10,85	40,69163474	96,6670475
17:00:00	0,03	9,16	-191752,152	-57,5256456
18:00:00	0	7,88	#iDIV/0!	#iDIV/0!
19:00:00	0	7,03	#iDIV/0!	#iDIV/0!
20:00:00	0	6,46	#iDIV/0!	#iDIV/0!
21:00:00	0	5,85	#iDIV/0!	#iDIV/0!
22:00:00	0	5,36	#iDIV/0!	#iDIV/0!
23:00:00	0	5,36	#iDIV/0!	#iDIV/0!
	4129,69	9,43	47,99811482	2135,737602

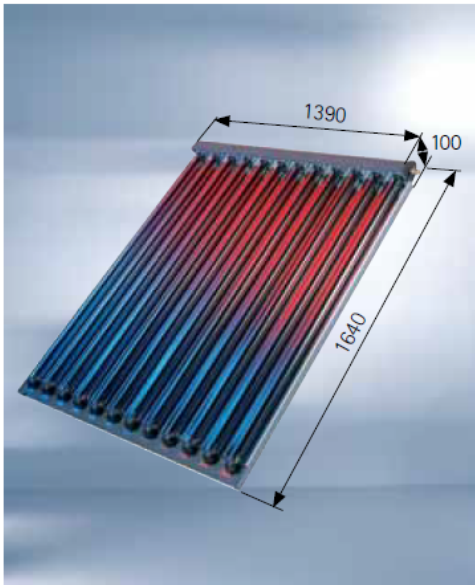
Wh·m-2·day-1 °C % Wh·m-2·day-1

MJ	m3
Q system month 429,0269695	V water per month 2,029817159

Especificaciones del colector termosolar escogido: WOLF CRK-12

ComfortLine

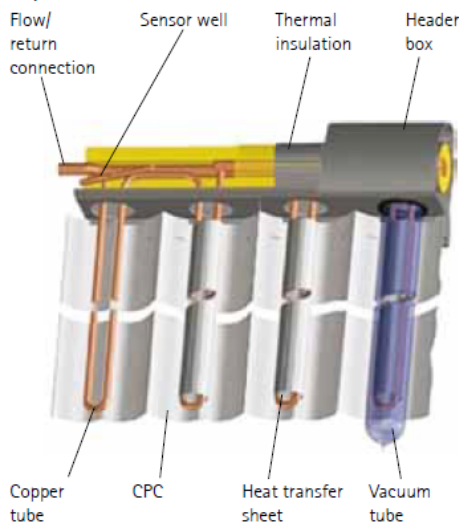
High performance CRK vacuum tube collectors
for solar heating systems used for DHW heating
for solar heating systems used for central heating backup



CRK benefits at a glance:

- Solar-Keymark certified
- The CRK collectors meet the requirements set for the "blue Angel" certificate of environmental excellence acc. to RAL UZ 73
- Powerful: High performance on the smallest of footprints; high yields particularly during spring and autumn; especially suitable for a combination of DHW heating and central heating backup
- Durable: Direct flow collector designed similar to a Thermos flask, enables a life-long vacuum and therefore ensures high thermal insulation
- Constant: Absorber with highly selective coating on the external surface of the internal glass tube inside the high vacuum and therefore protected from environmental influences, no degradation and thus permanently high efficiency
- Flexible: Modular layouts for ideal matching to the space available on the roof
- High aesthetics: Elegant appearance through small tube diameter, optimised distance between pipes and appealing design
- Easy to install: Compact and handy; fully assembled; ready to plug in; suitable for rooftop installation and freestanding installation
- Warranty: 5 years

Specification



The CPC (Compound Parabolic Concentrator) increases the efficiency of the tubes by its specific geometry. Thus, even diffuse sunlight is directed to the absorber, in case of an unfavourable irradiation angle.

Vacuum tube collector	Typ	CRK-12
Connections (flat sealing with union nut)	mm	15
Angle of inclination		15° to 90°
Absorption (energy absorption)	%	> 93,5
Emissions	%	≤ 6
Optical efficiency *	%	64,2
Heat loss coefficient a ₁ *	W/(m ² K)	0,885
Heat loss coefficient a ₂ *	W/(m ² K ²)	0,001
Max. idle temperature	°C	272
Irradiation angle correction factor K _{50°} *	%	89 / 99
longitudinal / transversal	C _{4#} in kJ/(m ² K)	8,416
Effective thermal capacity *	bar	10
Max. operating pressure	mbar	5
Pressure drop (at 15 litres/h x m ² and 40°C)	pce.	12
Number of vacuum tubes per collector	mm	47 / 36 / 1,6
Diameter of glass tubes	m ²	2,28
Gross area	m ²	2,0
Effective absorber area	l	1,6
Content	kg	37,6
Weight (dry)		ANRO LS (undiluted)
Heat transfer medium		011-7S321 R
Solar-Keymark registration no.		

* Values to EN 12975

5.5 Anexo 5. Dimensionamiento de las placas fotovoltaicas y almacenamiento

Para dimensionar una instalación de placas fotovoltaicas con almacenamiento sin acceso a la red eléctrica para una vivienda unifamiliar lo primero es determinar la demanda de energía, y lo vamos a hacer en el mes más desfavorable que es diciembre, donde se supone que vamos a tener un mayor consumo y una menor cantidad de recurso solar. Considerando que los electrodomésticos y la iluminación de la vivienda va a ser de bajo consumo, que el buen diseño de arquitectura pasiva no va a requerir de climatización eléctrica, podemos estimar un consumo reducido. A pesar de esto, los electrodomésticos de cocina serán eléctricos, ya que se quiere evitar el uso de combustibles fósiles como el gas, por lo que se puede estimar un consumo de 300 kWh/mes, lo que se traduce en diariamente 10 kWh/día.

La plataforma de *PVGIS* [XXIII] tiene una herramienta para maximizar el autoconsumo en sistemas fuera de la red (*off-grid*). Los parámetros usados para definir el consumo son el consumo medio diario y la distribución del perfil de consumo horario, el cual puede ser proporcionado por el programa, como el que se muestra en la Imagen 42, que es el introducido para este caso de estudio.

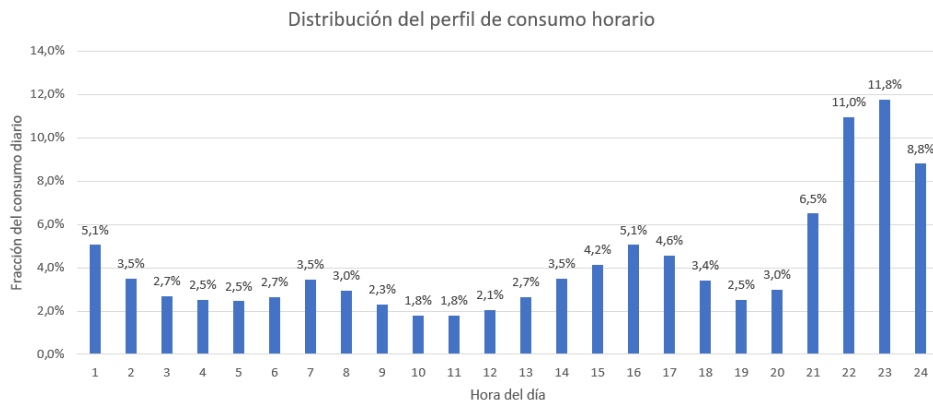


Imagen 42. Distribución del perfil de consumo horario proporcionado por *PVGIS* [XXIII]

Los parámetros del sistema son la potencia nominal de la instalación, la inclinación y orientación de los módulos, la energía de las baterías y el límite de corte de la batería, que es el nivel mínimo de carga al que debe de llegar para que no se deteriore con cada ciclo de carga. Como valores preestablecidos y optimizados, la inclinación y orientación de los módulos se definirán como 65º y 0º respectivamente, y el límite de la batería, del 20%, ya que se supone de litio que tiene una mayor resistencia al desgaste con los ciclos completos de carga.

Teniendo este dato, podemos ser capaces de dimensionar la capacidad de las baterías, ya que esta será aquella que nos permita tener aun autoabastecimiento durante, al menos, 2 días. Teniendo en consideración también el límite de corte de la batería, la energía nominal almacenada por la batería debe ser:

$$Capacidad\ neta\ baterías = \frac{2\ días \cdot 10\ kWh\ (consumo\ diario)}{0,8\ (límite\ de\ carga)} = 25\ kWh \xrightarrow{\frac{1}{12V}} 2000\ Ah$$

Dependiendo del presupuesto, se podrá escoger una combinación de baterías u otra, incluso instalar más capacidad de la necesaria. Una combinación posible que cumpla el requerimiento de lo anterior serían 2 baterías de 1000 Ah.

Además, para poder calcular la potencia requerida de la instalación, se necesita también saber el número de horas de sol pico (HSP) en el mes más desfavorable para el que estamos haciendo el cálculo. Este parámetro nos muestra el recurso solar disponible con el número de horas al día en ese mes con una hipotética irradiancia de 1000 W/m² y que en conjunto suman la irradiación total de ese día. Para calcular este parámetro, podemos sacar los datos concretos de la ubicación exacta de *PVGIS* [XXIII], que tiene una base de datos de las irradiaciones desde 2005 hasta 2020.

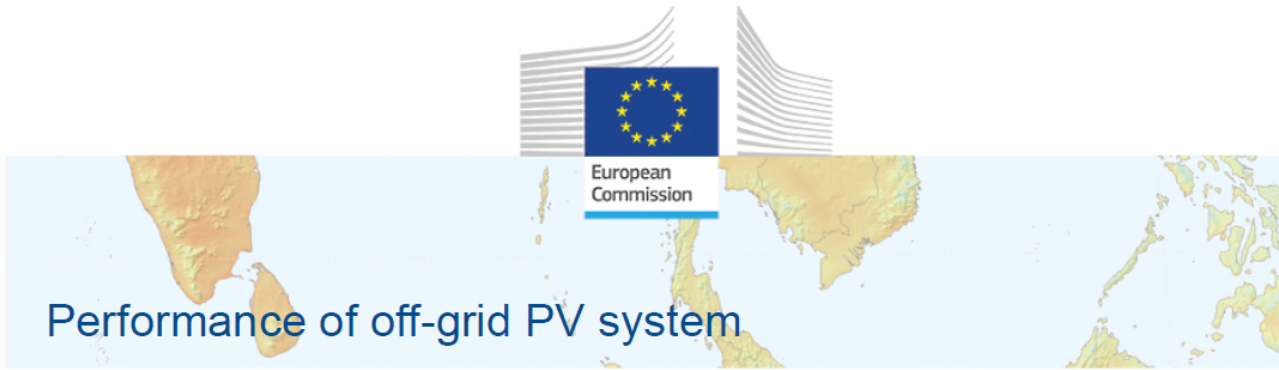
Año	Mes	H(i_opt)_m
2005	Diciembre	126,76
2006	Diciembre	143,22
2007	Diciembre	141,71
2008	Diciembre	109,19
2009	Diciembre	94,85
2010	Diciembre	95,91
2011	Diciembre	149,07
2012	Diciembre	123,92
2013	Diciembre	139,29
2014	Diciembre	142,35
2015	Diciembre	132,86
2016	Diciembre	139,07
2017	Diciembre	134,77
2018	Diciembre	148,4
2019	Diciembre	115,88
2020	Diciembre	106,22
Irradiación media (kWh/m2/mes)		127,72
Irradiación media (Wh/m2/día)		4119,90
HSP (h)		4,12

Teniendo este dato, podemos ser capaces de dimensionar la potencia requerida, ya que esta será aquella que nos permita cargar por completo las baterías en un día que no haya recurso solar.

$$\text{Potencia instalación fotovoltaica} = \frac{25 \text{ kWh (capacidad baterías)}}{4,12 \text{ h (HSP)}} \sim 6 \text{ kW}$$

Cabe mencionar que cuando hablamos de instalaciones aisladas sin acceso a la red, es importante garantizar el suministro eléctrico, lo cual deriva en un sobredimensionamiento de la instalación solar. El razonamiento lógico para una instalación con baterías conectada a la red, sería dimensionarlo con respecto al consumo diario más un plus para que vaya cargando las baterías poco a poco en los días consecutivos y soleados.

Una vez introducidos estos datos en *PVGIS* [XXIII], es capaz de devolverte una estimación de la producción eléctrica, del rendimiento de la batería y de la probabilidad del estado de carga de la batería al final del día para cada mes. A continuación, se adjuntan los resultados de la simulación de la instalación fotovoltaica en dos supuestos diferentes: potencia instalada de 6000 W (dimensionamiento aproximado con baterías 25 kWh) o de 5400 W (kit solar paneles + baterías 22 kWh + inversores adjuntos al final del anexo).

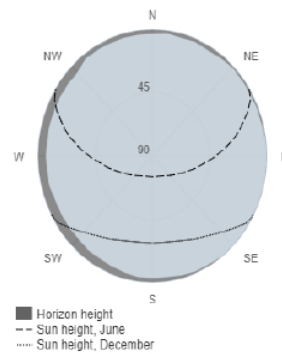


PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

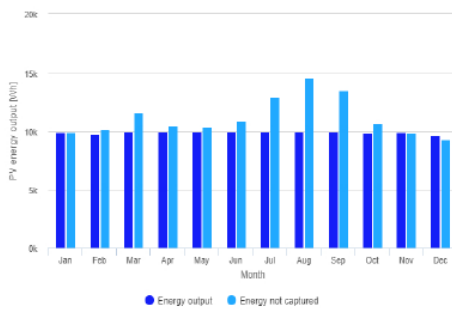
Provided inputs

Latitude/Longitude:	37.987,-6.326	Slope angle:	62 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle	0 °
Database used:	PVGIS-SARAH2	Simulation outputs	
PV installed:	6000 Wp	Percentage days with full battery:	84.46 %
Battery capacity:	25000 Wh	Percentage days with empty battery:	2.67 %
Cutoff limit:	20 %	Average energy not captured:	13281.36 Wh
Consumption per day:	10000 Wh	Average energy missing:	2778.75 Wh

Outline of horizon at chosen location:



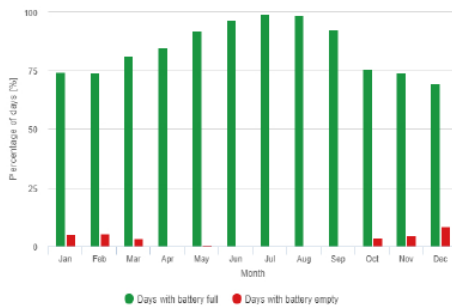
Power production estimate for off-grid PV:



Monthly average performance

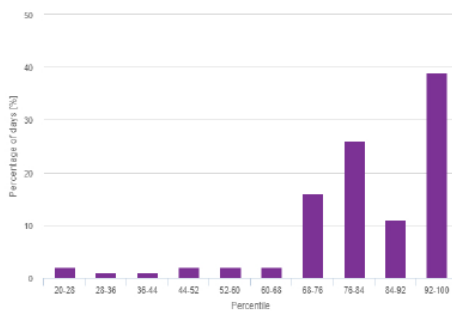
Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	9942.9	9950.9	74.4	5.2
February	9763.4	10210.8	74.1	5.6
March	10005.2	11590.7	81.5	3.6
April	10012.4	10490.4	84.8	0.0
May	9969.2	10369.0	91.7	0.6
June	10021.6	10906.7	96.5	0.0
July	9997.5	12960.2	99.4	0.0
August	9995.9	14598.1	98.6	0.0
September	9971.3	13536.5	92.5	0.0
October	9849.0	10712.8	75.8	3.8
November	9913.9	9840.2	74.0	4.8
December	9645.8	9325.0	69.5	8.5

Battery performance for off-grid PV system:



E_d: Average energy production per day [Wh/day].
 E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].
 f_f: Percentage of days when battery became full [%].
 f_e: Percentage of days when battery became empty [%].

Probability of battery charge state at the end of the day:



Cs	Cb
20-28	2.0
28-36	1.0
36-44	1.0
44-52	2.0
52-60	2.0
60-68	2.0
68-76	16.0
76-84	26.0
84-92	11.0
92-100	39.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].
 Cb: Percentage of days with this charge state [%].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

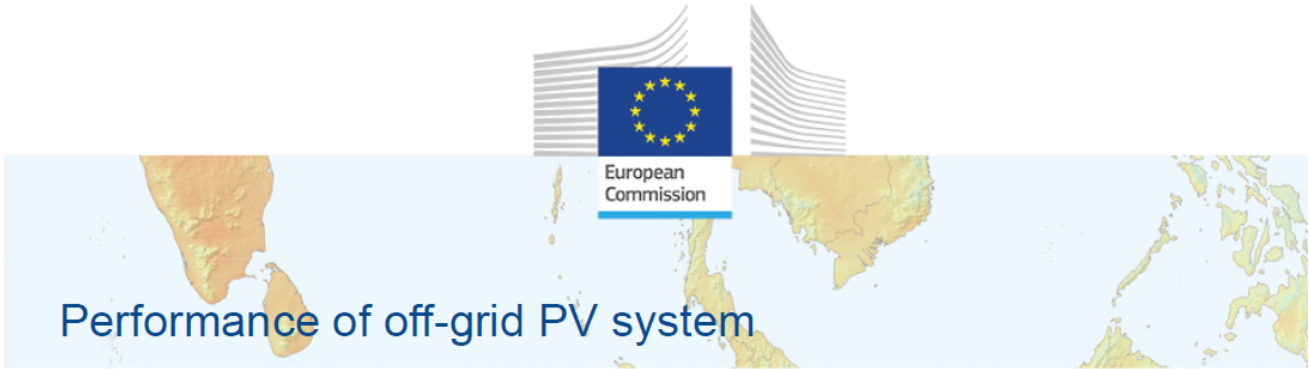
It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or acquired in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

PVGIS ©European Union, 2001-2023.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2023/07/17





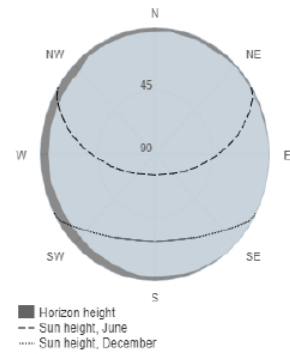
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

Provided inputs

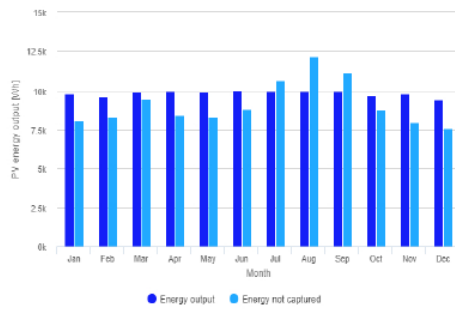
Latitude/Longitude: 37.987,-6.326
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV installed: 5400 Wp
 Battery capacity: 22000 Wh
 Cutoff limit: 20 %
 Consumption per day: 10000 Wh

Slope angle: 62 °
 Azimuth angle: 0 °
Simulation outputs
 Percentage days with full battery: 82.06 %
 Percentage days with empty battery: 4.78 %
 Average energy not captured: 11171.61 Wh
 Average energy missing: 2899.89 Wh

Outline of horizon at chosen location:



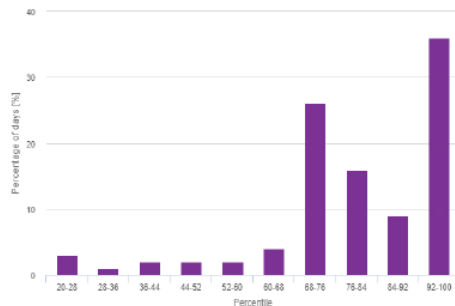
Power production estimate for off-grid PV:



Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	9804.3	8100.1	71.6	9.3
February	9641.7	8335.1	69.9	8.3
March	9949.0	9487.3	78.2	5.8
April	9988.5	8464.0	80.4	1.3
May	9948.3	8356.2	89.3	1.2
June	10020.9	8814.6	94.6	0.6
July	9997.5	10664.4	99.4	0.0
August	9996.2	12138.4	98.6	0.0
September	9962.7	11194.3	91.0	0.4
October	9742.6	8763.0	72.4	7.5
November	9800.3	7978.3	71.0	8.8
December	9461.0	7612.8	67.3	14.4

E_d: Average energy production per day [Wh/day].
 E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].
 f_f: Percentage of days when battery became full [%].
 f_e: Percentage of days when battery became empty [%].

Cs	Cb
20-28	3.0
28-36	1.0
36-44	2.0
44-52	2.0
52-60	2.0
60-68	4.0
68-76	26.0
76-84	16.0
84-92	9.0
92-100	36.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].
 Cb: Percentage of days with this charge state [%].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.
 For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en



PVGIS ©European Union, 2001-2023.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2023/07/17

Especificaciones kit solar *Second Life Battery* [XXVI]

Pack 12 x 450w Paneles, 2 Baterías, 2 Victron 5kVA

Cantidad		Productos
12	x	Panel Solar Trina-TallMAX 450w Nuevo a estrenar -
1	x	Protección sobretensiones continua -
2	x	VE.Bus RJ45 UTP Cable -
2	x	Caja de embarrado 240A - Barra cobre 210mm x 40mm x 5mm (1 fila de 10 agujeros de 8mm a 20mm)
2	x	Cable ROJO UltraFlexible 1m de 35mm ² -
2	x	Cable NEGRO UltraFlexible 1m de 35mm ² -
1	x	Victron Cerbo GX -
1	x	VE.Direct Cable 1,8m -
2	x	Batería 11kWh + Caja BMS Daly 250A + Cableado -
2	x	Victron MultiPlus-II 5000VA/48V/70A -
1	x	Pack perfilería aluminio 12 paneles 14400mm -
1	x	Victron Regulador MPPT 250/85 VE.Can -
1	x	Int. magnetotérmico de C. Continua - 500V a 40A
1	x	cable Interfaz MK3 - USB -
1	x	Pack alimentación Cerbo Batería 11kW BMS Daly -
1	x	Conmutador Hager 3 posiciones 2P 63A -

