



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Estudio y optimización energética del albergue de Nueno (Huesca) mediante la evaluación de distintas combinaciones de soluciones técnicas y sistemas de energías renovables.

Study and energy optimization of the Nueno country inn (Huesca) by evaluating different combinations of technical solutions and renewable energy systems.

Autor/es

Nausica Russo

Director/es

Ignacio Zabalza

Facultad / Escuela Ingeniería y Arquitectura
Año 2021

*La Eficiencia Energética es una fuente inagotable de energía y de imaginación.
Una vez que se descubre es para siempre*
A. Valero

RESUMEN

El presente trabajo fin de máster tiene como principal objetivo la reducción del consumo de energía del edificio conocido como Mirador de Sabayés, un albergue rural de reciente construcción ubicado en Nueno, en la provincia de Huesca.

La primera fase del trabajo ha consistido en un estudio bibliográfico de manuales, guías y artículos de eficiencia energética. A continuación, se han evaluado y descrito las características constructivas y de la ubicación, y se ha realizado la certificación energética del albergue, con los datos recogidos sobre las instalaciones en el proyecto ejecutivo.

A partir de ahí, el principal cometido de este trabajo ha sido el estudio y análisis detallado de propuestas de mejora en el ámbito energético, poniendo especial énfasis en su repercusión para conseguir reducir el impacto medioambiental y mejorar la sostenibilidad, en el contexto normativo actual de la edificación.

Han sido analizadas diversas estrategias pasivas de disminución del consumo energético y de las emisiones de CO₂, evaluando en primer lugar mejoras en la envolvente térmica, incluyendo optimización del aislamiento térmico en fachadas, huecos, carpinterías y cubierta, en segundo lugar se han analizado las posibilidades de integración de energías renovables, y finalmente se ha valorado el uso de materiales más sostenibles en el diseño de la envolvente térmica. Todas las propuestas se explican detalladamente, analizando su viabilidad y rentabilidad de cara a una futura implantación en el albergue.

Destaca entre los resultados la combinación de varias propuestas en optimización de la envolvente térmica consiguiendo un ahorro energético del 60% en la demanda del albergue, pasando de 87 kWh/m²·año a 36 kWh/m²·año. El uso de materiales sostenibles como el corcho como elemento aislante en la envolvente térmica permitiría obtener una sustancial reducción en las emisiones de CO₂, que en el caso del albergue de Sabayés se estiman en un total de 388,8 tCO₂ eq. evitadas a lo largo de toda su vida útil.

Por último, se ha contextualizado el edificio objeto de este estudio dentro de un marco más amplio, evaluando el grado de eficiencia energética actual de los albergues y casas rurales de la zona, en un radio de 10 km desde el edificio objeto, observando que la mayoría de los edificios se encuentran en la franja más desfavorable de la calificación energética.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	5
2	Recopilación y tratamiento de los datos de partida	7
2.1	Emplazamiento.....	7
2.2	Descripción del edificio	7
2.3	Envolvente térmica	9
2.4	Cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria	11
2.5	Cálculo de los niveles mínimos de ventilación.....	11
2.6	Sistemas e instalaciones existentes	12
3	Medidas de mejora de la envolvente térmica	14
3.1	Análisis de forma, orientación y ubicación	14
3.2	Medidas pasivas	15
3.2.1	Puentes térmicos.....	15
3.2.2	Fachadas.....	16
3.2.3	Ventanas y huecos.....	18
3.2.4	Cubierta.....	19
3.2.5	Combinaciones de medidas de mejora	20
3.2.6	Conclusiones medidas de mejora de la envolvente térmica.....	21
4	Integración de energías renovables	23
4.1	Paneles fotovoltaicos	23
4.2	Paneles solares térmicos.....	24
5	Uso de materiales más sostenibles	26
5.1	Corcho natural: Aislante térmico	26
5.2	Madera reciclada como elemento constructivo	27
5.3	Adobe: técnica constructiva entre pasado y presente.....	29
6	Análisis económico.....	31
7	Estudio comparativo de otros albergues y casas rurales del entorno.....	33
8	Conclusiones.....	35
9	Bibliografía	37

1 INTRODUCCIÓN

El objeto de estudio de este trabajo es un edificio construido en 2017 en la localidad de Sabayés, provincia de Huesca, en un entorno de gran valor paisajístico, cuyo uso es de ámbito hostelero. El estudio se caracteriza por la evaluación de distintas combinaciones de soluciones técnicas y sistemas de energías renovables con el fin de mejorar su eficiencia energética.

En primer lugar, se han detallado los datos previos y de relevancia acerca del edificio, como son: las características climáticas de la zona, su entorno y sus características constructivas, ya que todos ellos son aspectos de gran repercusión a la hora de realizar la evaluación energética y las propuestas de mejora.

Si en el pasado las mejoras en eficiencia energética estaban más enfocadas en las tecnologías activas y por lo tanto en la implementación de equipos con mayor rendimiento, hoy en día con la escasez de materias primas y fuentes de energía y gracias a una mayor conciencia medioambiental, las técnicas constructivas están más dirigidas hacia las medidas pasivas.

Las medidas pasivas son estrategias de adaptación al clima local para reducir la demanda energética de los edificios, mejorando los niveles de confort en su interior gracias a su diseño, sin para ello consumir energía.

El objetivo del trabajo es identificar y evaluar estrategias de mejora orientadas principalmente a la reducción de la demanda energética del edificio y de emisiones de CO₂, con la contribución de medidas pasivas anteriormente mencionadas, explicando de manera exhaustiva cada una de ellas y evaluando su viabilidad económica.

En detalle, por lo que concierne el albergue de Sabayés, se han valorado mejoras de la envolvente térmica en cada uno de sus elementos: cubierta, fachada, huecos y puentes térmicos. Adicionalmente se han evaluado las posibilidades de incorporación de energías renovables, concretamente paneles fotovoltaicos y captadores solares térmicos, y por último se ha analizado el posible uso de materiales más sostenibles en la edificación, incluyendo el corcho, la madera y el adobe.

La metodología seguida ha consistido en el análisis de los documentos existentes sobre el albergue, como el proyecto ejecutivo y los planos, el análisis de guías, manuales y bibliografía existente, y la consecuente modelización del edificio en el programa oficial de certificación de la eficiencia energética CE3X, (Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes). Para la simulación de la instalación fotovoltaica se ha empleado la herramienta PVsyst, que es la más utilizada actualmente en el mercado para cálculos de sistemas fotovoltaicos, mientras que la instalación solar térmica ha sido simulada a través de la aplicación oficial CHEQ₄, software reconocido para la validación del cumplimiento de la sección HE4 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación.

Por otra parte, la estimación de las emisiones de CO₂ evitadas al utilizar materiales más sostenibles, como la madera, el corcho o los paneles de fibra de madera, se ha realizado cotejando las declaraciones ambientales de dichos materiales, y comparándolas con las declaraciones ambientales de los paneles de aislante convencionales a base de espuma de poliestireno expandido (EPS). Además, se han realizado varias visitas a las casas de tierra situadas en las regiones de Abruzzo y Marche, en Italia, cuya referencia se explica detalladamente en el apartado sobre el adobe como material sostenible y elemento constructivo entre pasado y futuro.

Finalmente, para el estudio comparativo de los albergues y casas rurales de la zona se ha recopilado información entrevistando directamente cada uno de los gerentes de los establecimientos, con el fin de realizar un diagnóstico del grado de eficiencia energética de los edificios con uso similar en un radio de 10 km del albergue objeto de este estudio.

2 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS DE PARTIDA

2.1 Emplazamiento

El Albergue de Sabayés se encuentra en el municipio de Nueno, al que pertenece la localidad de Sabayés, a 11 km al norte de Huesca. Sabayés forma parte de la comarca de la Hoya de Huesca, se ubica al pie de la sierra de Gratal, cerca del Río Isuela. El albergue de Nueno es un edificio rural de reciente construcción, caracterizado por un entorno de alto valor paisajístico y natural, que pretende mejorar la oferta turística de la comarca.

El clima de Nueno corresponde a una zona climática del tipo E1 según el CTE-DB-HE (Código técnico de la edificación, 2019), ya que la parcela donde se ubica el albergue se encuentra a más de 700 m de altitud sobre el nivel del mar.

2.2 Descripción del edificio

El edificio tiene una orientación Norte-Sur y está formado por una planta rectangular con unas dimensiones de 8,3 m x 14 m. El proyecto de ejecución fue realizado en abril de 2017 (Gavin, 2017).

En cuanto a su entorno circundante y características de ubicación, cabe destacar que se encuentra en una parcela sin edificaciones colindantes, lo que se tendrá en cuenta a la hora de abordar sus condiciones climáticas exteriores, ya que no habrá elementos que proyecten sombras sobre el mismo.

Respecto a las características constructivas del edificio, presenta una superficie útil total de 300 m², dividiéndose en un total de tres plantas sobre rasante. Su envolvente térmica consta de fachada de fábrica de ladrillo, con aislamiento térmico a base de poliestireno expandido (EPS), acabados de mortero, y cubierta a dos aguas. En lo relativo a los huecos, el edificio está resuelto con carpinterías de doble acristalamiento tipo climalit y marcos de madera.

A nivel de instalaciones, cuenta con un restaurante-cafetería, una cocina, una oficina y un almacén en la planta baja, tres habitaciones y tres baños repartidos entre la planta baja y la planta primera, mientras que la última planta está diseñada como un espacio diáfano. El albergue se encuentra en una localidad rural con pocas decenas de habitantes, y por lo general, la temporada de invierno presenta una oferta turística reducida en comparación con la temporada de verano, así que se ha tomado en cuenta una ocupación máxima en verano, y una ocupación baja en invierno. Actualmente no existe un histórico de visitas ni facturas de suministros ya que la actividad del albergue acaba de empezar.

En las Ilustraciones de 1 a 4 se presentan el emplazamiento y los planos de cada planta del albergue.

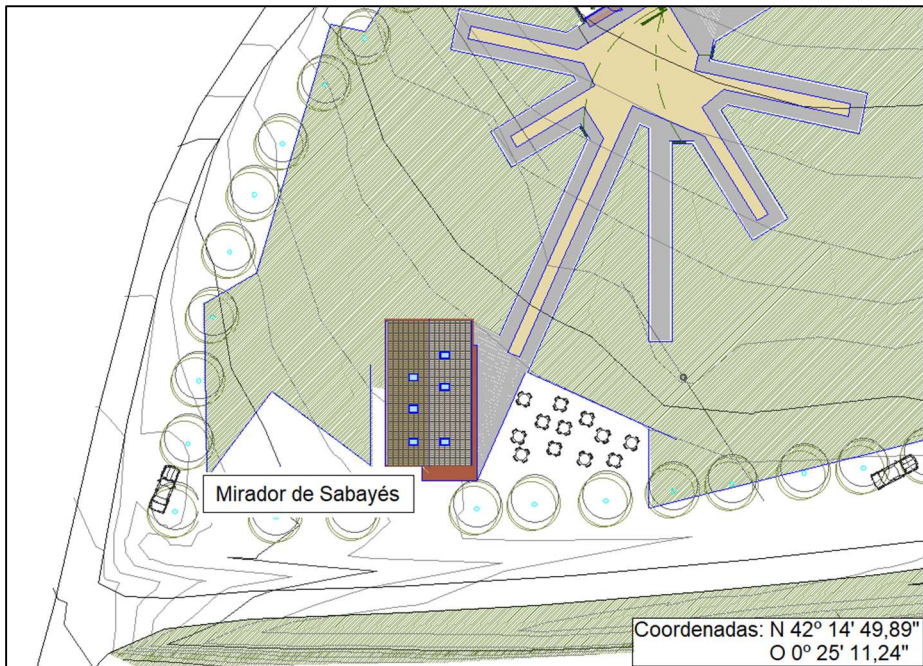


Ilustración 1. Emplazamiento del albergue. (Fuente: Proyecto básico y en ejecución Albergue en Sabayés, Nueno (Huesca) (Gavin, 2017))

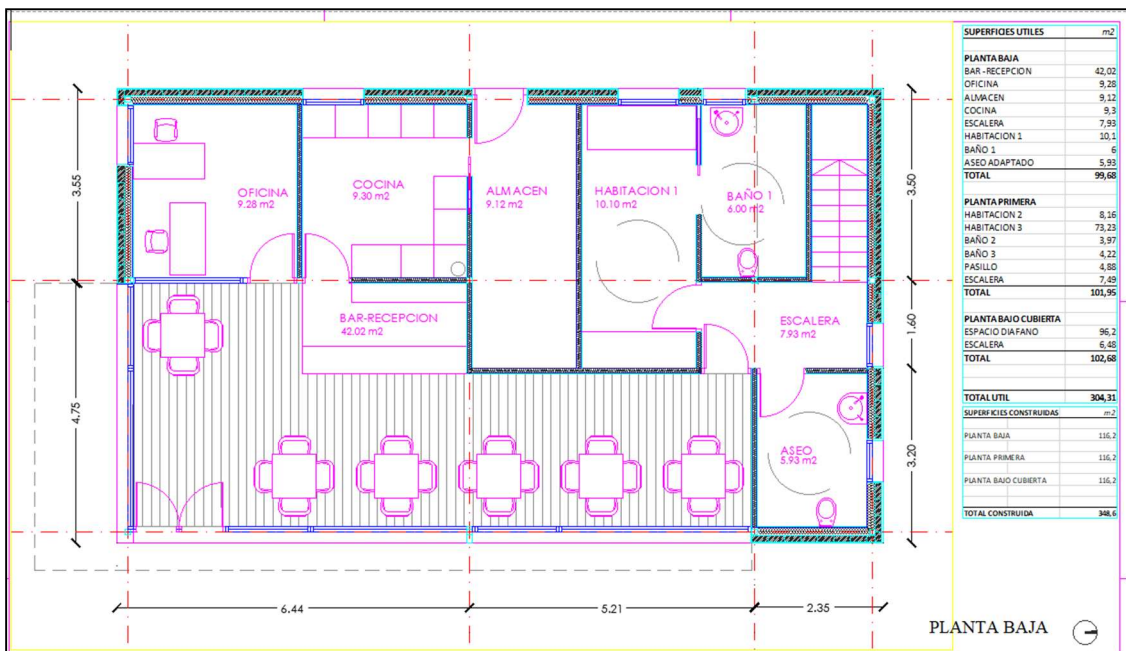


Ilustración 2. Plano de la planta baja. (Fuente: Proyecto básico y en ejecución Albergue en Sabayés, Nueno (Huesca) abril 2017 (Gavin, 2017))

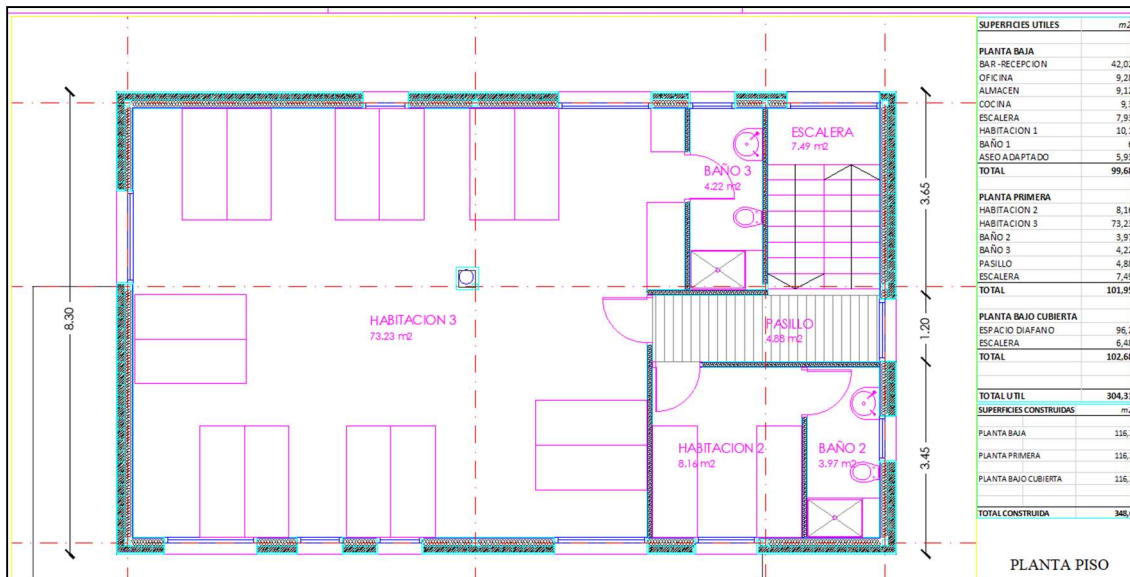


Ilustración 3. Plano de la planta primera. (Fuente: Proyecto básico y en ejecución Albergue en Sabayés, Nuero (Huesca) (Gavin, 2017))

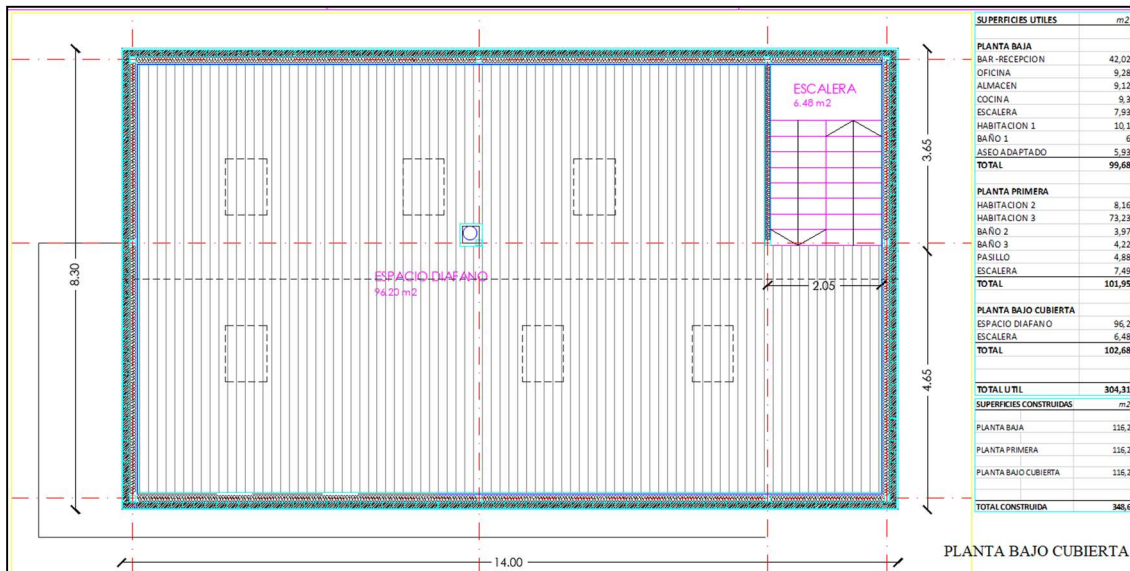


Ilustración 4. Plano de la planta segunda (bajo cubierta). (Fuente: Proyecto básico y en ejecución Albergue en Sabayés, Nuero (Huesca) (Gavin, 2017))

2.3 Envoltente térmica

La envoltente térmica está constituida por cubiertas a dos aguas con aislamiento tipo lana de roca de 10 cm, fachadas de fábrica de ladrillo aislada con una capa de EPS de 15 cm y suelo de hormigón armado con una capa de aislamiento térmico XPS de 10 cm. A su vez, el forjado interior está compuesto por hormigón armado y 10 cm de lana mineral.

Teniendo acceso al proyecto de ejecución, se han incluido en CE3x todos los materiales que constituyen la envoltente del edificio. En ocasiones no todos los materiales presentan los mismos nombres, y además en el proyecto no se hace referencia con tanta exactitud al tipo de material, así que se ha modelado la situación que más se aproxima a la realidad.

Los materiales que constituyen el muro exterior son (ordenados de exterior a interior):

- 2 cm de mortero de cemento, con densidad entre 1000 y 1250 kg/m³.
- 14 cm de bloque cerámico con mortero convencional.
- 11,5 cm de 1/2 pie de ladrillo macizométrico.
- 15 cm de poliestireno expandido EPS con conductividad térmica de 0,037 W/(mK).
- 1,5 cm de yeso tipo yeso laminado con densidad entre 750 y 900 kg/m³.

El suelo está constituido de los siguientes materiales (de arriba a abajo):

- 1,5 cm de baldosa cerámica.
- 15 cm de hormigón armado, con densidad mayor a 2500 kg/m³.
- 10 cm de poliestireno extrusionado XPS con dióxido de carbono CO₂ y conductividad térmica de 0,034 W/(mK).
- 10 cm de subcapa fieltro.
- 35 cm de arena y grava, con densidad entre 1700 y 2200 kg/m³.

La cubierta está constituida por (de arriba a abajo):

- 2 cm de teja de arcilla cocida.
- 0,5 cm de betún fieltro o lámina.
- 10 cm de lana mineral con conductividad térmica de 0,04 W/(mK).

El forjado interior está constituido por (de arriba a abajo):

- 1 cm de tablero contrachapado, con densidad entre 450 y 500 kg/m³.
- 5 cm de hormigón armado, con densidad mayor a 2500 kg/m³.
- 10 cm de lana mineral con conductividad térmica de 0,04 W/(mK).
- 1,5 cm de placa de yeso laminado, con densidad entre 750 y 900 kg/m³.

Con respecto a los huecos, las ventanas son de vidrio doble (climalit), con un marco de madera de densidad media-alta, y una transmitancia total de energía solar de 0,75, mientras que las puertas son de madera.

Una vez incluidos todos los materiales, se ha realizado el modelado geométrico del edificio en CE3X, definiendo con medidas de los planos de AutoCAD los espacios de las 3 plantas, las cubiertas y los huecos exactamente donde se encuentran en la realidad.

Finalizada la modelización, se han podido calcular las demandas energéticas de calefacción y de refrigeración del edificio. Posteriormente se han definido las instalaciones de calefacción y refrigeración existentes para determinar los consumos de energía final del edificio.

Para modelar los equipos de agua caliente sanitaria (ACS) se ha calculado la demanda de agua caliente del edificio.

2.4 Cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria

Para el cálculo de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) se ha considerado la “Guía técnica. Agua caliente sanitaria central del IDAE” (IDAE, 2010).

Según la Tabla 1, la demanda de agua caliente (a 60 °C) en un hostel es de 40 l/día por cama, así que teniendo 25 camas se obtiene con la máxima ocupación una demanda de 1000 l/día.

Tabla 1. Criterios de consumo de ACS para diseño de instalaciones (Fuente: Guía técnica agua caliente sanitaria central, IDAE)

Criterio de consumo de ACS para diseño de instalaciones		
Tipo de edificio	Litros/día a 60 °C	Energía para T° Red = 15 °C
Viviendas unifamiliares	30 por persona	573 kWh/año persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona	420 kWh/año persona
Hospitales y clínicas	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Hotel 4*	70 por cama	1.337 kWh/año cama
Hotel 3*	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Hotel/Hostal 2*	40 por cama	764 kWh/año cama
Hostal/Pensión 1*	35 por cama	668 kWh/año cama
Camping	40 por emplazamiento	764 kWh/año emplazamiento

2.5 Cálculo de los niveles mínimos de ventilación

Según el Documento Básico sobre Salubridad del CTE (CTE-DB-HS3) se calcula el caudal mínimo de ventilación a partir de la siguiente tabla:

Tabla 2. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables. (Fuente: CTE-DB-HS3)

Tipo de vivienda	Locales secos			Locales húmedos	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores	Mínimo en total	Mínimo por local
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

En la Tabla 3 se contabilizan los caudales por tipo de espacio.

Tabla 3. Cálculo caudal de ventilación para el Albergue de Sabayés

CTE-DB-HS3	CAUDAL EXTRACCIÓN			CAUDAL IMPULSION	
	Locales secos			Locales húmedos	
Caudal min en (l/s)	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Sala de estar	Min en total	Min por local
Valores de referencia: 3 o más dormitorios	8	4	10	33	8
Bar recepción			10 (aprox.)		8 (aprox.)
Cocina					58*
Oficina		4 (aprox.)			
Hab 1		4			
Baño1					8
Hab2		4			
Baño2					8
Hab3	8				
Baño3					8

Total					90
Caudal _{max} en (l/s)					90
Caudal _{max} en (m ³ /h)					324
Volumen de aire del edificio (m ³)					498,8
Renovaciones hora					0,65

*Suma del caudal del extractor de humos de la cocina (50 l/s) y 8 l/s que corresponden a una cocina, obteniendo un valor total de ventilación de 58 l/s.

Por lo tanto, el número de renovaciones por hora a considerar en la simulación del albergue será de 0,65 (ren/h).

2.6 Sistemas e instalaciones existentes

Los equipos existentes están identificados en la Tabla 4. Todos los equipos están alimentados por electricidad, que es por tanto la única fuente energética utilizada tanto para la climatización como para el agua caliente sanitaria (Gavin, 2017).

En particular, el equipo denominado “Unidad interior Mitsubishi Hydrobox” es un equipo tipo bomba de calor aire-agua de alimentación eléctrica que suministra agua caliente sanitaria al establecimiento.

Con respecto a la climatización y calefacción del edificio, ésta se suministra con equipos de intercambio aire-aire.

Tabla 4. Previsión cargas albergue Sabayés (Fuente: Proyecto ejecutivo Albergue en Sabayés, Nueno (Huesca) abril 2017)

Ud.	Equipo	Potencia unidad (W)	Total (W)
Iluminación			
49	Lámpara fluorescente compacta	26	1.274
4	Regleta lámpara fluorescente compacta	58	232
58	Tira luminaria 5 LED 0,3 W/m	0,3	17
16	Emergencia DAISALUX ARGOS	8	128
Total potencia de iluminación (sin simultaneidad)			1.651
Coeficiente de simultaneidad iluminación			0,75
Total potencia de iluminación			1.239
Equipamiento			
1	Unidad exterior MITSUBISHI Ecodan		3.900
1	Unidad interior MITSUBISHI Hydrobox		2.000
1	Unidad exterior MITSUBISHI Multi Split		3.150
4	Fan-coil climatización planta baja	125	500
1	Extractor S&P TD-800/200 Silent		102
1	Extractor S&P TD-160/100 Silent		29
3	Extractor S&P Silent 100 CRZ	8	24
1	Horno cocina		2.500
1	Lavavajillas		800
1	Horno microondas		250
1	Frigorífico		400
1	Camara frío		750
1	Campana extractora		536
1	Puesto de trabajo oficina		250
1	Otros		1000
Total potencia equipamiento (sin simultaneidad)			16.091

Coefficiente de simultaneidad equipamientos	0,6
Total potencia de equipamiento	9.655
Total potencia instalada	17.742
Total potencia necesaria	10.893

3 MEDIDAS DE MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Por lo general, la eficiencia energética de los edificios se puede mejorar mediante tecnologías, tanto pasivas como activas. El diseño activo implica la integración de energías renovables y el incremento del rendimiento energético de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés), así como de los sistemas de producción de agua caliente sanitaria e iluminación, mientras que el diseño pasivo se enfoca más en los aspectos relacionados con la envolvente térmica del edificio determinados por el diseño arquitectónico para reducir la demanda de energía del edificio y mejorar su confort térmico (Capdevila, 2019).

Si en el pasado las mejoras en eficiencia energética estaban más enfocadas en tecnologías activas, hoy en día con la escasez de materias primas y fuentes de energía y gracias a una mayor conciencia medioambiental, las técnicas constructivas están más dirigidas hacia mejoras pasivas.

Los resultados de la certificación Energética del albergue de Sabayés, cuya referencia es presente en el Anexo 3.a, detallan una demanda de calefacción de 83,2 kWh/m²·año y de refrigeración de 4,2 kWh/m²·año, mientras que la letra de clasificación de emisiones de CO₂ es la letra B.

A partir de los resultados mencionados anteriormente de la certificación Energética se pueden plantear las siguientes áreas de mejora:

- Medidas pasivas: Mejoras de la envolvente térmica (apartado 3)
- Integración de energías renovables (apartado 4)
- Uso de materiales más sostenibles en el diseño (apartado 5)

En el caso de que el edificio tuviera una antigüedad más elevada, se consideraría también medidas activas como la introducción de equipos de calefacción y refrigeración más eficientes, pero en este caso los equipos son recientes.

3.1 Análisis de forma, orientación y ubicación

La forma, orientación y ubicación del edificio juegan un rol importante dentro de las estrategias pasivas de ahorro energético.

La ubicación del edificio determina el tipo de climatología y eventos meteorológicos a los que está sometido. La orientación fija los parámetros de ganancia solar e iluminación, mientras que la forma determina la superficie de envolvente térmica expuesta al exterior (Fraisse, 2021).

Con respecto a la orientación, el albergue tiene sus principales superficies de acristalamiento en las fachadas sur y este.

- Orientación sur: la fachada sur es la preferible para superficies acristaladas, ya que conlleva una mayor ganancia solar en invierno, y es correcto que se haya ubicado la cafetería y comedor con esta orientación.
- Orientación este: recibe mayores horas de luz por la mañana, el albergue presenta una habitación correctamente orientada.
- Orientación oeste: las escaleras, los baños y el almacén están bien planificados, ya que esta orientación recibe luz directa solo por la tarde, y en verano el confort es inferior.

- Orientación norte: son las estancias más frescas en verano y frías en invierno, es una orientación adecuada para las escaleras y las habitaciones del albergue, siempre que su ocupación sea preferentemente durante los meses de verano.

Con respecto a la forma el edificio, éste presenta un índice de compacidad intermedio, ya que según el Código técnico de edificación presenta valores entre 1 m y 4 m:

- $V/A = 1,5$ m.

Siendo:

V= volumen encerrado en la envolvente térmica del edificio (m³)

A= área de la superficie de la envolvente térmica del edificio (m²)

3.2 Medidas pasivas

Se analizan varias opciones de mejora en este trabajo, simulando las medidas en el Procedimiento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes, que se implementa en el software oficial CE3X.

Las mejoras de la envolvente térmica evaluadas son:

- Puentes térmicos.
- Ventanas y huecos.
- Cubiertas.

La pérdida de calor a través de las paredes exteriores y los techos de los edificios existentes son responsables de más del 70% de la pérdida total de calor. Por lo tanto, mejorar el aislamiento térmico es muy importante para ahorrar energía.

3.2.1 Puentes térmicos

Los puentes térmicos son zonas de la envolvente térmica donde puede observarse una variación en la uniformidad de aislamiento térmico. Variaciones de espesores de la envolvente, discontinuidades y zonas de contacto entre materiales o elementos constructivos aumentan el flujo de calor, y consecuentemente la pérdida de energía térmica, y favorecen la aparición de condensaciones (Damle, 2021).

Las discontinuidades de la envolvente térmica aparecen típicamente en el contorno de los huecos, cajas de persianas, en zonas de encuentro con pilares, forjados, en la unión entre la fachada y la cubierta o el suelo, etc.

Los puentes térmicos en un edificio pueden revisarse en los planos, fijándose en las interrupciones de la capa de aislamiento. También pueden observarse utilizando una cámara termográfica.

En el caso del Albergue de Sabayés los puentes térmicos identificados en los planos se describen en la tabla siguiente.

Tabla 5 Puentes térmicos identificados en el albergue de Sabayés

Puentes térmicos	Longitud (m)	ϕ (W/mK) *
Contorno de huecos	133,2	0,17
Encuentro de fachada con forjado	79,2	1,31

Encuentro de fechada con solera	44,6	0,14
---------------------------------	------	------

*El valor de ϕ de los puentes térmicos es un valor estimado, recogido del Procedimiento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes (CE3X), siendo que en los documentos existentes no se detalla su valor. Conviene destacar que los valores supuestos son conservadores y por tanto, los valores reales de ϕ podrían ser algo menores a los considerados.

Las zonas de unión entre la fachada y la cubierta no presentan interrupciones en los planos del proyecto ejecutivo del albergue y por lo tanto no se considerará este tipo de puente térmico.

Para minimizar el efecto de los puentes térmicos es importante no interrumpir la capa de aislamiento térmico en toda la envolvente, con especial atención en las esquinas y juntas, donde el aislamiento tiene que cubrir por completo el material. En el caso de que esto no sea posible, es importante que se usen materiales con una buena resistencia térmica.

Se ha simulado en CE3X la reducción del 50% de los puentes térmicos del edificio, y el resultado ha sido un decremento notable de la demanda anual de calefacción, con una disminución del 24%, pasando de 83,2 kWh/m² a 68,0 kWh/m², al mismo tiempo se incrementa levemente la demanda anual de energía de refrigeración. La reducción de puentes térmicos se realiza con la aplicación de aislamiento por la parte exterior de la fachada, para así reducir significativamente la influencia de éstos. En el siguiente apartado se analiza en detalle la influencia del aislamiento térmico.

Como cálculo teórico se analiza la eliminación del 100% de los puentes térmicos. En este caso la demanda de calefacción se reduce un 37%, pasando de 83,2 kWh/m² a 52,1 kWh/m² (tabla 6).

Tabla 6 Resultados de simulación con CE3X para puentes térmicos

	D _{CAL} (kWh/m ²)	D _{REF} (kWh/m ²)	D _{TOT} (kWh/m ²)	Ahorro CAL	Ahorro REF	Ahorro TOT	Letra CE3X
Caso base	83,2	4,2	87,4				B
Puentes térmicos 50%	68	5,8	73,8	18,3%	-38%	15,5%	B
Puentes térmicos 100%	52,1	9,4	61,5	37%	-123%	29,6%	B

D_{CAL}: Demanda de calefacción; D_{REF}: Demanda de refrigeración; D_{TOT}: Demanda energética total; CAL: calefacción; REF: refrigeración; TOT: Total; Letra Indicador kgCO₂/m²

En conclusión, se detecta una consistente influencia de los puentes térmicos sobre el comportamiento energético del edificio de Sabayés. Sin embargo, para una evaluación más precisa se debe realizar el cálculo examinando el valor real de transmitancia térmica ($\phi = W/mK$), siendo que en las simulaciones anteriores se han considerado valores teóricos y sería aconsejable la evaluación de los puentes térmicos por medio de una cámara termográfica.

Para la eliminación de los puentes térmicos se debería aplicar una capa continua de aislamiento térmico desde el exterior de la fachada, ya que si dicha capa se aplicase desde el interior no se apreciaría ningún cambio en las pérdidas de calor a través de los puentes térmicos.

3.2.2 Fachadas

Las fachadas están constituidas por varios elementos, sin embargo, los elementos más interesantes desde el punto de vista de resistividad térmica son los materiales aislantes. En este apartado se analiza los resultados en la demanda energética del edificio al disminuir y aumentar el espesor de la capa de aislante térmico existente en el albergue de Sabayés.

La aplicación de una capa de aislamiento en la fachada impide la dispersión de energía a través del cerramiento opaco, mejorando la resistencia térmica del edificio. Existen en el mercado varios tipos de materiales aislantes tanto sintéticos como naturales, como se detallará en el apartado 5. Cada material presenta un valor de conductividad térmica y a mayor espesor del material mayor será su resistencia térmica. El espesor oportuno de la capa de aislante que se implementa en un cerramiento opaco varía según la zona climática: en climas fríos supone un ahorro energético elevado la instalación de una capa de aislante gruesa, mientras que en climas cálidos es suficiente una capa con un menor espesor.

En el caso base, que se corresponde con la situación actual del albergue, ha sido instalada una capa de espuma de poliestireno expandido (EPS) de 0,15 m. Por lo tanto, en este trabajo se evalúa el impacto de la instalación de una capa de aislante inferior (0,1 m) y posteriormente de una capa de mayor grosor (0,3 m). Además, las evaluaciones han sido divididas según la orientación de la fachada donde se incorpora el material aislante.

Tabla 7 Resultados de simulación con CE3X para aislamiento térmico

	D _{CAL} (kWh/m ²)	D _{REF} (kWh/m ²)	D _{TOT} (kWh/m ²)	Ahorro CAL	Ahorro REF	Ahorro TOT	Letra CE3X
Caso base	83,2	4,2	87,4				B
EPS fachada N (0,1m)	85,2	2,7	87,9	-2,4%	35%	-0,6%	B
EPS fachada S (0,1m)	84,5	2,8	87,3	-1,5%	33,3%	0,11%	B
EPS fachada E (0,1m)	85,9	2,6	88,5	-3%	38%	-1,25%	B
EPS fachada O (0,1m)	86,5	2,5	89	-4%	40%	-1,8%	B
EPS fachada N (0,3m)	81,7	3,3	85	2%	21%	3%	B
EPS fachada S (0,3m)	82,3	3,3	85,6	1%	21%	2%	B
EPS fachada E (0,3m)	81,1	3,4	84,5	2,5%	19%	3%	B
EPS fachada O (0,3m)	80,7	3,5	84,2	3%	16,6%	3,6%	B

D_{CAL}: Demanda de calefacción; D_{REF}: Demanda de refrigeración; D_{TOT}: Demanda energética total; CAL: calefacción; REF: refrigeración; TOT: Total; Letra Indicador kgCO₂/m²

Como es posible observar en la Tabla 7, la colocación de una capa de EPS de 0,1 m no es aconsejable en el caso de implementación para las fachadas norte, este y oeste. Mientras que se observa un resultado ligeramente positivo en el caso de que se instale una capa de aislante de 0,1 m en la fachada sur.

En el caso de instalar una capa de EPS de 0,3 m se consigue un ahorro energético inferior al 3%, en cualquiera de las orientaciones.

Es recomendable utilizar un mayor espesor de aislamiento en las fachadas más expuestas en invierno: norte, este y oeste. No obstante, el aumento de aislamiento no supone una medida de mejora efectiva en el caso del albergue de Sabayés, si no está ligado a la reducción de puentes térmicos. Por ello, es imprescindible que en el caso de incrementar el espesor del aislamiento se aplique por el exterior de la fachada con el objetivo de reducir los puentes térmicos.

Tras haber evaluado el comportamiento y la influencia sobre la demanda energética del edificio frente a una variación de espesor de la capa de aislamiento tipo EPS, se puede concluir que el espesor actualmente existente es adecuado, siendo que el incremento del mismo conlleva un ahorro energético poco significativo.

3.2.3 Ventanas y huecos

Las pérdidas de energía en los huecos suelen ser 5 veces mayores a las que se producen en los cerramientos opacos (Satta, 2018). El diseño del acristalamiento debe analizarse según la climatología, evitando que las medidas de mejora para los meses de invierno resulten medidas de agravamiento en verano (Fan, 2015). En latitudes del Norte de Europa y en zonas de montaña, la tendencia es el incremento de la ganancia solar en invierno:

- Orientación de las ventanas al sur.
- Invernaderos.
- Vidrio triple, o doble bajo emisivo.
- Marcos de madera (menor transmisividad).
- Muros trombé.
- Limitación de las pérdidas.
- Equipos de ventilación con recuperación de calor.
- Plantación de árboles de hoja perenne en la fachada N y/o en la fachada más expuesta al viento (cortavientos).

El albergue de Sabayés dispone actualmente de ventanas de doble acristalamiento (climalit) y marcos de madera, de las cuales se han estimado propiedades según las especificaciones del Catálogo de elementos constructivos del Código técnico de edificación, a saber: transmitancia térmica del vidrio $U_{\text{VIDRIO}}= 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$; factor solar del vidrio $g_{\text{VIDRIO}}= 0,75$; transmitancia térmica del marco $U_{\text{MARCO}}= 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Se analizan por lo tanto las siguientes opciones:

1. Ventana doble.
2. Muro cortina orientado al Sur.

Caso 1. Añadiendo un tercer vidrio simple a las ventanas de vidrio doble ya existentes, y simulando lograr las siguientes propiedades $U_{\text{VIDRIO}}=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g_{\text{VIDRIO}}= 0,54$; se pasa de 83,2 a 63,2 kWh/m², una reducción del 24% de la demanda de calefacción, y un aumento de la demanda de refrigeración (-2,4 kWh/m²), en total la reducción de la demanda energética es del 25% (tabla 8).

Caso 2. Se ha calculado además el efecto de un muro cortina en el edificio de Sabayés, añadiendo una fachada completamente acristalada en la orientación Sur. En invierno el sol sigue una trayectoria más baja con respecto al cenit, lo que repercute en una mayor captación solar a través de las ventanas orientadas al sur. Con esta medida se disminuiría la demanda de calefacción un 42%, en el caso de que las nuevas ventanas fuesen de vidrio triple 4-14-4, $U_{\text{VIDRIO}}=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g_{\text{VIDRIO}}= 0,54$; pasando de 83,2 a 48 kWh/m². El efecto negativo de esta medida es un incremento en la demanda de refrigeración. Para evitar este efecto, se ha decidido instalar las nuevas ventanas orientadas al sur, este y oeste con un retranqueo de 0,5 m. De este modo, el retranqueo actuaría como elemento de protección solar y el resultado final sería una demanda de calefacción de 70,1 kWh/m² y una demanda de refrigeración de 3,9 kWh/m². En conjunto, esta medida permitiría un ahorro energético total del 15%, tal como se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8 Resultados de simulaciones en CE3X para huecos y ventanas

	D _{CAL} (kWh/m ²)	D _{REF} (kWh/m ²)	D _{TOT} (kWh/m ²)	Ahorro CAL	Ahorro REF	Ahorro TOT	Letra CE3X
Caso base	83,2	4,2	87,4				B
Ventanas vidrio triple	63,2	1,8	65	24%	57%	25%	B
Muro cortina	70,1	3,9	74	16%	7%	15%	B

D_{CAL}: Demanda de calefacción; D_{REF}: Demanda de refrigeración; D_{TOT}: Demanda energética total; CAL: calefacción; REF: refrigeración; TOT: Total; Letra Indicador kgCO₂/m²

Se puede concluir que los mejores resultados con respecto a los huecos están representados por el caso 1 donde se incluye un tercer vidrio simple a las ventanas dobles existentes.

3.2.4 Cubierta

Las cubiertas frías o ventiladas son aquellas cubiertas que minimizan el sobrecalentamiento en verano, y mejoran el confort térmico en climas cálidos (Bhattacharjee, 2021).

Sin embargo, en climas fríos es más efectivo instalar una cubierta caliente o no ventilada, añadiendo además una capa de aislamiento (Mukhopadhyay, 2021). En el estándar Passivehaus además se añade hermeticidad a la cubierta, para prevenir la fuga de energía por la misma (Xi Chen, 2015).

Se analiza en la Tabla 9 el efecto de la capa de aislamiento en el edificio de Sabayés, al insertar primero una capa de 0,2 m de aislante tipo lana mineral. Siendo que la cubierta actual presenta una capa de aislamiento de lana mineral de 0,1 m de espesor, se estaría añadiendo una capa adicional de 0,1 m de espesor con respecto al caso base.

En el segundo caso se evalúa el comportamiento energético introduciendo una capa de aislamiento total de lana mineral de 0,3 m.

Tabla 9 Resultados de simulaciones en CE3X para cubierta

	D _{CAL} (kWh/m ²)	D _{REF} (kWh/m ²)	D _{TOT} (kWh/m ²)	Ahorro CAL	Ahorro REF	Ahorro TOT	Letra CE3X
Caso base	83,2	4,2	87,4				B
Lana mineral cubierta (0,2 m)	83,0	3,0	86,0	0%	20%	1,6%	B
Lana mineral cubierta (0,3 m)	82,6	3,3	85,9	0,72%	21,4%	1,7%	B

D_{CAL}: Demanda de calefacción; D_{REF}: Demanda de refrigeración; D_{TOT}: Demanda energética total; CAL: calefacción; REF: refrigeración; TOT: Total; Letra Indicador kgCO₂/m²

Se concluye que el espesor actual de aislamiento de lana mineral en la cubierta, correspondiente a 0,1 m, es un espesor adecuado y no se necesita por lo tanto un incremento del mismo para conseguir mejores resultados en ahorro energético.

3.2.5 Combinaciones de medidas de mejora

En la combinación 1 (Tabla 10), se analiza en CE3X (CE3X, 2020) la eliminación teórica del 100% de los puentes térmicos, se instala una capa de aislante tipo EPS de 0,3 m en la fachada norte y de 0,15 m en el resto de la envolvente térmica, obteniendo un ahorro en la demanda anual de calefacción del 20%.

En el caso 2 se simula, además, la colocación de una capa de aislante EPS de 0,30 m en toda la envolvente térmica, a exclusión de la fachada sur, obteniendo un ahorro del 38% en la demanda anual de calefacción, y un ahorro energético total del 30%. Aun así, se desaconseja esta medida ya que la demanda de refrigeración se incrementa pasando de 4,2 a 9,5 kWh/m² (Caso 2).

En el tercer caso, se consideran en CE3X valores de aislamiento tipo EPS de 0,3 m en la fachada norte, eliminación teórica del 100% de los puentes térmicos, y un retranqueo de las ventanas orientadas al sur y al este de 0,50 m. Con estos parámetros se obtiene un ahorro global del 31%.

En el caso 4, se eliminan teóricamente los puentes térmicos, se aplican 0,3 m de EPS en las fachadas norte, este, oeste, y en la cubierta, se realiza un muro cortina en la fachada sur con retranqueo de 0,5 m, y finalmente se añaden dispositivos de protección solar como toldos en las ventanas orientadas a este y oeste. En este caso se obtiene un ahorro energético total del 60%, como es posible apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10 Combinación de medidas de mejora elaboradas en CE3X

	D _{CAL} (kWh/m ²)	D _{REF} (kWh/m ²)	D _{TOT} (kWh/m ²)	Ahorro CAL	Ahorro REF	Ahorro TOT	Letra CE3X
Caso base	83,2	4,2	87,4				B
EPS fachada N (0,3 m) + eliminación de puentes térmicos	66,6	5,6	72,2	20%	-33%	17,3%	B
EPS envolvente (0,3 m) + eliminación de puentes térmicos	51,7	9,5	61,2	38%	-126%	30%	B
EPS fachada N (0,3 m) + eliminación de puentes térmicos + retranqueo (0,5 m) ventanas S y E	57,4	3,2	60,6	31%	23,8%	31%	B
EPS envolvente (0,3 m) + muro cortina fachada S retranqueo (0,5 m) + eliminación de puentes térmicos.	33,8	2,4	36,2	60%	43%	59%	A

D_{CAL}: Demanda de calefacción; D_{REF}: Demanda de refrigeración; D_{TOT}: Demanda energética total; CAL: calefacción; REF: refrigeración; TOT: Total; Letra Indicador kgCO₂/m²

3.2.6 Conclusiones medidas de mejora de la envolvente térmica

En este apartado se han analizado los efectos sobre la demanda de calefacción y refrigeración del albergue de Sabayés a partir de los resultados de diferentes simulaciones en CE3X al modificar diferentes elementos de la envolvente térmica.

Como es posible observar en la Tabla 11, una medida de ahorro energético de gran impacto es la disminución de los puentes térmicos, que permite obtener reducciones entre el 15% y el 30% en la demanda energética del edificio.

En el análisis de la capa de aislamiento térmico en la fachada y cubierta se han simulado tanto la disminución como el incremento de la capa de aislante, concluyendo que un incremento de la capa de aislante supone una medida de mejora en la demanda energética del edificio, si bien los ahorros obtenidos son poco significativos

Con respecto a las ventanas, la medida más interesante es la colocación de un tercer vidrio en las ventanas actuales, que se traduciría en un ahorro energético del 25%.

Finalmente, con las combinaciones de diferentes medidas se podría alcanzar una disminución de la demanda energética del 60% combinando un incremento de la capa de EPS de la envolvente hasta alcanzar los 0,3 m de espesor, la instalación de un muro cortina en la fachada sur con un retranqueo de 0,5 m y la eliminación de los puentes térmicos.

Tabla 11 Resumen simulaciones CE3X Albergue de Sabayés

	D _{CAL} (kWh/m ²)	D _{REF} (kWh/m ²)	D _{TOT} (kWh/m ²)	Ahorro CAL	Ahorro REF	Ahorro TOT	Letra CE3X
Caso base	83,2	4,2	87,4				B
Puentes térmicos 50%	68	4,1	73,8	18,3%	0%	15,5%	B
Puentes térmicos 100%	52,1	4,1	61,5	37%	0%	29,6%	B
EPS fachada N (0,1m)	85,2	2,7	87,9	-2,4%	35%	-0,6%	B
EPS fachada S (0,1m)	84,5	2,8	87,3	-1,5%	33,3%	0,11%	B
EPS fachada E (0,1m)	85,9	2,6	88,5	-3%	38%	-1,25%	B
EPS fachada O (0,1m)	86,5	2,5	89	-4%	40%	-1,8%	B
EPS fachada N (0,3m)	81,7	3,3	85	2%	21%	3%	B
EPS fachada S (0,3m)	82,3	3,3	85,6	1%	21%	2%	B
EPS fachada E (0,3m)	81,1	3,4	84,5	2,5%	19%	3%	B
EPS fachada O (0,3m)	80,7	3,5	84,2	3%	16,6%	3,6%	B
Ventanas vidrio triple	63,2	1,8	65	24%	57%	25%	B
Muro cortina	70,1	3,9	74	16%	7%	15%	B
Lana mineral cubierta (0,2 m)	83,0	3,0	86,0	0%	20%	1,6%	B
Lana mineral cubierta (0,3 m)	82,6	3,3	85,9	0,72%	21,4%	1,7%	B
EPS fachada N (0,3 m) + eliminación de puentes térmicos	66,6	5,6	72,2	20%	-33%	17,3%	B
EPS envolvente (0,3 m) + eliminación de puentes térmicos	51,7	9,5	61,2	38%	-126%	30%	B
EPS fachada N (0,3 m) + eliminación de puentes térmicos + retranqueo (0,5 m) ventanas S y E	57,4	3,2	60,6	31%	23,8%	31%	B
EPS envolvente (0,3 m) + muro cortina fachada S retranqueo (0,5 m) + eliminación de puentes térmicos.	33,8	2,4	36,2	60%	43%	59%	A

D_{CAL} : Demanda de calefacción; D_{REF} : Demanda de refrigeración; D_{TOT} : Demanda energética total; CAL: calefacción; REF: refrigeración; TOT: Total; Letra Indicador $kgCO_2/m^2$

Todos los resultados analizados en este apartado consideran un patrón de uso orientativo del edificio según la normativa vigente. Es importante remarcar que puede haber diferencias entre el patrón de uso real y el considerado que modifiquen las cifras de ahorro obtenidas.

4 INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

4.1 Paneles fotovoltaicos

La integración de energías renovables en los edificios de nueva construcción es una tendencia en crecimiento, que empieza a ser un elemento constructivo obligatorio.

Un parámetro importante que influye en la implementación de los paneles solares es el denominado Grid Parity. Se habla de Grid Parity cuando el coste de la energía producida por paneles fotovoltaicos es igual al coste de la energía suministrada por la red eléctrica convencional. Siendo que los módulos fotovoltaicos son cada vez más eficientes, y su producción e implementación más económica, el mercado se acerca cada vez más a la Grid Parity.

Los porcentajes de integración a implementar dependen del tipo de consumo, uso del edificio, de la amplitud de la superficie disponible y de la orientación de ésta (siendo la orientación sur la más preferible).

La producción de energía eléctrica por parte de paneles fotovoltaicos no es estable. Es superior en los meses de verano y en las horas centrales del día, así que es una opción interesante en el caso de autoconsumo siempre y cuando haya un consumo energético importante en estas franjas horarias. En el caso de no ser así, se tendrá en cuenta la instalación de dispositivos de acumulación de energía como baterías, o bien realizar un sistema conectado a la red eléctrica nacional.

El techo del albergue está inclinado en dirección E-W, lo que hace que no sea una inclinación óptima para los paneles solares. Por tanto, se recomienda instalar los paneles fotovoltaicos en el techo de un almacén situado a escasos metros del albergue, ya que de este modo se podrá aprovechar la mejor orientación que es hacia el sur.

Se ha simulado con el software PVSyst el dimensionamiento de la instalación, insertando las coordenadas geográficas del albergue y los datos meteorológicos de la base de datos MeteoNorm. Se han insertado paneles del tipo Longi Solar de potencia nominal 545 Wp y un inversor de ABB con una potencia nominal de 5,80 kW.

La producción obtenida es de 1673 kWh/kWp/año, como es posible observar en la ilustración 5. De este modo, si se dimensiona la instalación queriendo alcanzar 5 kWp, se necesita un área de entre 23 y 26 m². Siendo además que las pérdidas del conjunto ascienden a 0,74 kWh/kWp/día y con un Performance Ratio de 83,14%, la producción de energía anual será de 8.204 kWh/año.

La instalación está formada por una serie de 9 módulos, anclados a una estructura fija. Los módulos serán instalados en el techo del almacén, con orientación sur para una máxima captación solar, una inclinación de 30° y una pérdida por sombras nula.

Siendo que la demanda energética actual del albergue (caso base) es de 26.220 kWh/año, la implementación de esta instalación aportaría un 31% de la demanda energética anual del edificio.

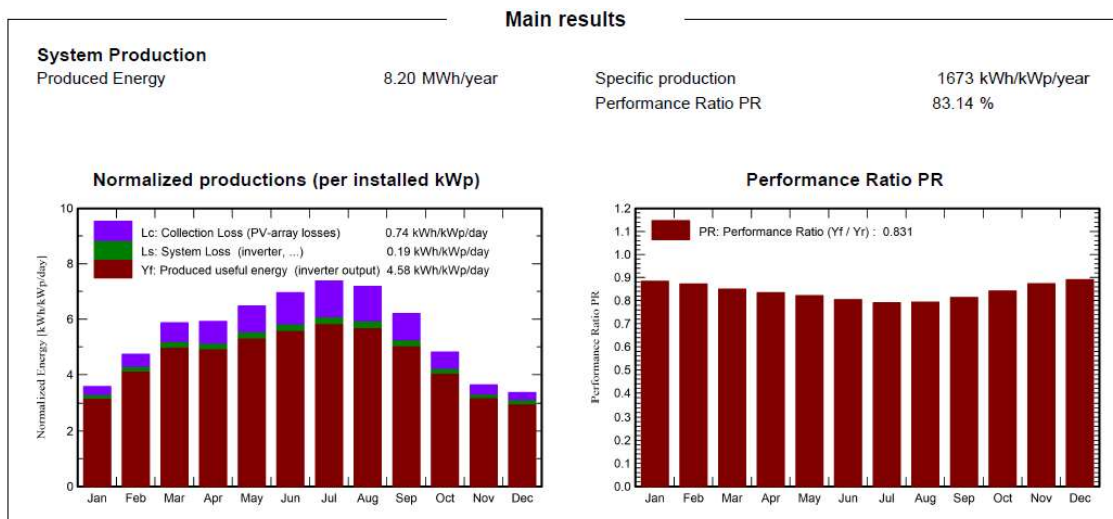


Ilustración 5 Resultados PVSystem para la instalación de paneles fotovoltaicos en el albergue de Sabayés (PVSystem, 2021).

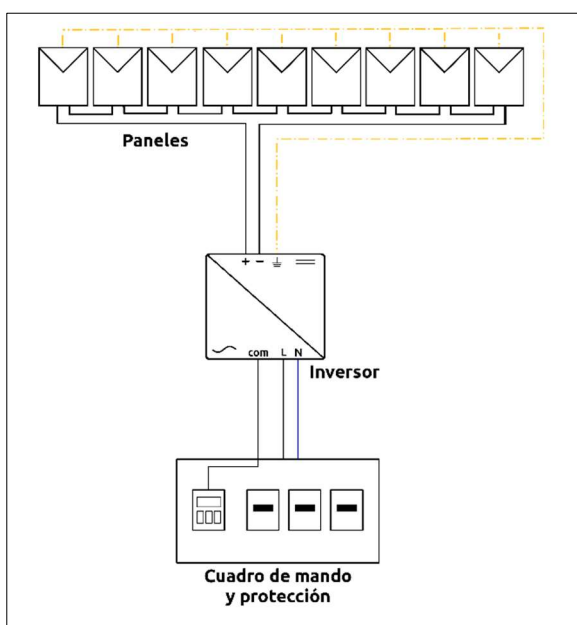


Ilustración 6 Esquema simplificado de la instalación

4.2 Paneles solares térmicos

Este tipo de captadores produce agua caliente sanitaria. Como en los anteriores, la producción está condicionada por la irradiación solar recibida, así que habrá una mayor producción en las horas centrales del día.

El agua caliente producida se almacena en un acumulador, que a su vez está conectado a una caldera de agua caliente sanitaria. Este sistema ayudará a que la caldera realice un trabajo más eficiente. Al alimentar la caldera con agua a una temperatura mayor a la de la red de suministro, el gradiente entre la temperatura del agua deseada y la temperatura del agua a la entrada a la caldera es menor, y por lo tanto se obtiene un ahorro energético.

Se ha decidido simular en el software oficial CHEQ₄ el aporte energético por parte de una instalación de 6 captadores solares, de la marca Salvador Escoda tipo Escosol BR 300 SV, con un área de 3,8 m² y un área total de captadores de 22,80 m². La instalación está dividida en 3 grupos

de 2 captadores cada uno, conectados entre sí en paralelo y se le asigna a cada grupo un acumulador de agua de 500 l. El volumen total de acumulación de agua es de 1500 l. Como configuración se ha elegido un sistema solar térmico prefabricado para producción de ACS en instalaciones de consumo único con válvula termostática (ilustración 7). Los captadores serán instalados en el techo del almacén, con orientación sur para una máxima captación solar, una inclinación de 30° y una pérdida por sombras nula. El conjunto se conectará a la bomba de calor aire-agua existente en el edificio.

La instalación aporta una fracción solar media anual del 70%, generando 15.176 kWh/año, siendo la demanda bruta de agua caliente sanitaria de 21.559 kWh/año (ilustración 8).

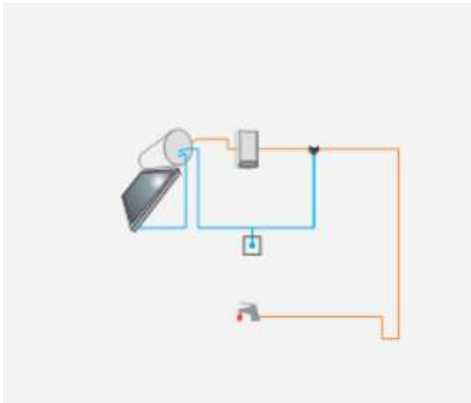


Ilustración 7 Esquema de la instalación de paneles solares térmicos (Fuente: CHEQ4)

CHEQ4

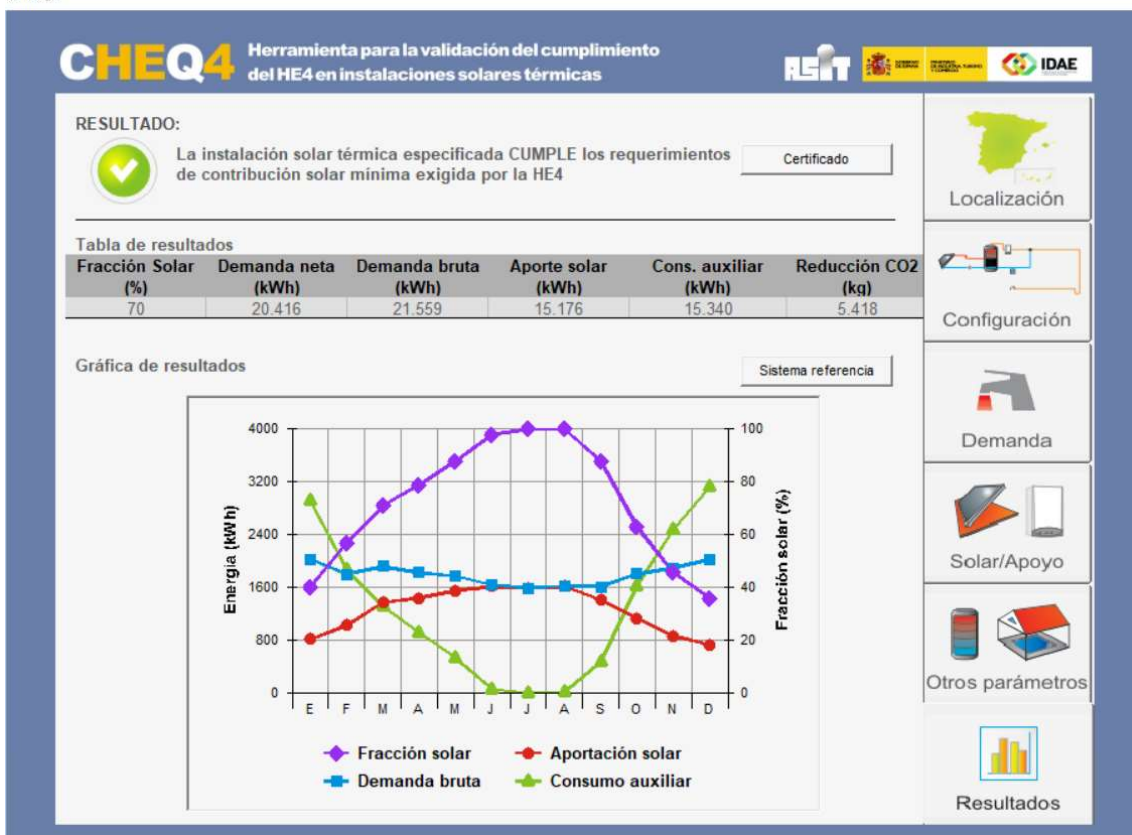


Ilustración 8 Resultados de la simulación de instalación de paneles solares térmicos en CHEQ4

5 USO DE MATERIALES MÁS SOSTENIBLES

La correcta elección de los materiales de construcción puede suponer uno de los principales factores de reducción en el impacto energético y el calentamiento global (Bergebál, 2017). Por ello, en este apartado se analiza el potencial de mejora asociado al uso de materiales naturales más sostenibles.

5.1 Corcho natural: Aislante térmico

El corcho es un elemento de construcción amigable con el medio ambiente, ya que la corteza del alcornoque se cosecha a mano cada nueve años sin dañar el árbol ni perturbar el bosque (Labrincha et al., 2020).

En su fabricación, el corcho se aglutina sin necesidad de ningún aditivo químico, con su propia resina (suberina) mediante un sistema de cocción que es lo que le confiere el tono tostado.

Además, el corcho es un excelente aislante térmico y acústico.

Tabla A: Resistencia térmica declarado (R) según la norma EN 13170:2012+A1:2015

Espesor, d , [mm]	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Resistencia térmica [$m^2 \cdot K/W$]	0,50	0,60	0,75	0,85	1,00	1,10	1,25	1,35	1,50	1,60	1,75	1,85	2,00	2,10	2,25	2,35
Espesor, d , [mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Resistencia térmica [$m^2 \cdot K/W$]	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25

Ilustración 9 Declaración de prestaciones del corcho <https://www.barnacork.com/> (Norma UNE-EN 13170:2013+A1:2015, 2015)

En este apartado se analizan las emisiones de CO₂ evitadas al usar corcho como aislante para el albergue. Las emisiones en este caso serán evitadas en primer lugar por el proceso natural de captación de CO₂ del alcornoque, y en segundo lugar, por prevenir las emisiones generadas en la producción y transporte del material aislante sustituido (EPS).

Debido a su diferente conductividad térmica, para igualar la resistencia térmica de 300 mm de EPS, se necesitan 320 mm de corcho. Teniendo en cuenta esto, en el caso del albergue de Sabayés se necesitarían 349,3 m³ de corcho.


Si se colocan 349,3 m³ de corcho, se evita emitir 69.168 kg CO₂ equiv., según la declaración ambiental de Barnacork (Barnacork, empresa distribuidora de corcho natural, 2021), según la cual se evita emitir 198 kg CO₂ equiv. por cada m³ de producto (ilustración 10). Esta declaración considera unos límites de cuna a tumba, es decir, incluye el impacto del ciclo de vida de las etapas A1-A3, conocidas como A1: suministro de materias primas; A2: transporte a fábrica, A3: fabricación.

Además, por el hecho de no usar EPS se evita emitir 319.640 kg CO₂ equiv., cifra obtenida a partir de la declaración ambiental de AENOR (ilustración 11).

Por tanto, en total utilizando el corcho como aislante, se dejan de emitir 388.808 kg CO₂ equiv. (en un periodo de tiempo de 50 años, que es la vida útil estimada para este material).








2.2. Parameters describing environmental impacts

		Product	Global warming potential; GWP kg CO ₂ equiv.	Depletion potential of the stratospheric ozone layer; ODP kg CFC 11 equiv.	Acidification potential of soil and water, AP kg SO ₂ equiv.	Eutrophication potential, EP kg (PO ₄) ³⁻ equiv.	Formation potential of tropospheric ozone, POCP kg C ₂ H ₄ equiv.	Abiotic depletion potential for non-fossil resources kg Sb equiv.	Abiotic depletion potential for fossil resources MJ, P.C.I.
Raw material supply	A1-A3	1 m ³ of ICB	-1,98E+02	6,81E-06	1,15E+00	3,67E-01	6,31E-02	7,24E-05	8,68E+02
Transport									
Manufacturing									

LEGEND:
 Product stage

NOTES: P.C.I. – Low Heating Value (LHV).
 Units expressed per declared unit (1m³).

Ilustración 10 Declaración ambiental corcho (Barnacork, 2016)

	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
 GWP	9,76E+00	6,68E-01	5,49E-01	NR	5,97E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,65E-02	NR	5,49E-02	MNE
 ODP	8,01E-07	1,26E-07	5,10E-08	NR	5,87E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,45E-08	NR	2,20E-08	MNE
 AP	3,53E-02	1,62E-03	2,02E-03	NR	3,01E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,82E-04	NR	4,06E-04	MNE
 EP	7,11E-03	3,31E-04	4,07E-04	NR	9,20E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,76E-05	NR	8,73E-05	MNE
 POCP	2,35E-03	1,02E-04	1,30E-04	NR	3,42E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,16E-05	NR	1,55E-05	MNE
 ADPE	1,74E-05	1,87E-06	1,01E-06	NR	3,55E-06	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,14E-07	NR	5,91E-08	MNE
 ADPF	1,78E+02	1,07E+01	9,84E+00	NR	1,39E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,22E+00	NR	1,89E+00	MNE

GWP [kg CO₂ eq] Potencial de calentamiento global
 ODP [kg CFC-11 eq] Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico
 AP [kg SO₂ eq] Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua
 EP [kg (PO₄)³⁻ eq] Potencial de eutrofización
 POCP [kg etileno eq] Potencial de formación de ozono troposférico
 ADPE [kg Sb eq] Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles (ADP-elementos)
 ADPF [MJ] Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles (ADP-combustibles fósiles)

Ilustración 11 Declaración ambiental EPS (Puma, 2018)

5.2 Madera reciclada como elemento constructivo

La madera es una interesante propuesta constructiva, siempre y cuando no represente un factor de deforestación. Es un material natural, ecológico y supone una considerable disminución de emisiones de CO₂. En la carrera por reemplazar las construcciones de hormigón y acero, la naturaleza es el primer referente.

Es interesante además reseñar que en países como Francia y Suiza se haya incrementado el uso de madera en construcción y que esta circunstancia haya significado una mayor plantación de árboles. En este sentido la industria de la madera sostenible planta más árboles de los que se talan y así ayuda a mantener los ecosistemas de los bosques.

La madera además puede ser utilizada también como energía en forma de biomasa. Así se pueden sustituir los equipos de calefacción alimentados por fuentes de carbono por equipos de calefacción y agua caliente alimentados por pellets o similares.

Es importante en este sentido que se asegure con una normativa el carácter ecológico del uso de fuentes naturales como la madera, o la biomasa, cuando se definen estas prácticas “ecológicas”.

No simplemente por utilizar biomasa o madera se incluyen elementos ecológicos a la edificación. En este sentido existen también ejemplos negativos, de destrucción de ecosistemas, de deforestación, de producción industrial forzada y poco sostenible, como los ejemplos que se muestran en el documental “Planet of the humans” (Moore, 2019).

Por otra parte, los paneles de fibras de madera permiten la absorción de impactos de sonido y el ruido en todos los rangos de frecuencia gracias a su alta densidad. En este sentido, si se hubiera utilizado madera en la construcción de los techos del albergue, se hubiera disminuido las emisiones de CO₂ en aproximadamente 15.000 kg CO₂ eq. (calculado según la declaración ambiental de la Asociación de madera de Euskadi, ilustración 12). Se considera el uso de madera en los techos del edificio porque en la comarca la mayoría de las casas rurales y viviendas presentan este tipo de técnica constructiva en sus techos. Los datos de emisiones evitadas se calculan igualmente para un periodo de vida útil de 50 años.

En el caso de utilizar paneles de fibra de madera reciclados como aislante se ahorrarían 210.000 kg de CO₂ eq. (calculado según la declaración ambiental de los paneles de fibra de madera de Finsa, ilustración 13). Además, al no emplear EPS como material aislante se evitaría emitir 319.640 kg CO₂ equiv. según la declaración ambiental de AENOR (ilustración 11). Por lo tanto, en total se evitarían 529.640 kg de CO₂ eq.

Impactos ambientales potenciales

PARAMETROS	UNIDADES	A1	A2	A3	TOTAL A1-A3
Calentamiento global potencial (GWP)	kg CO ₂ eq.	-6,95E+02	1,36E+01	3,36E-02	-6,82E+02
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (ODP)	kg CFC 11 eq.	1,78E-05	2,51E-06	6,06E-09	2,03E-05
Acidificación potencial (AP)	kg SO ₂ eq.	3,22E-01	5,54E-02	2,32E-04	3,77E-01
Eutrofización potencial (EP)	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4,00E-02	9,42E-03	4,85E-05	4,95E-02
Formación potencial de ozono estratosférico (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq.	5,96E-02	2,35E-03	6,67E-06	6,19E-02
Potencial de agotamiento abiótico - Elementos	kg Sb eq.	1,08E-03	4,45E-05	1,41E-08	1,12E-03
Potencial de agotamiento abiótico - Recursos fósiles	MJ, valor calorífico neto	7,53E+02	2,19E+02	5,12E-01	9,72E+02
Potencial de escasez de agua	m ³ eq.	0,308	3,99E-02	7,07E-05	0,348

Ilustración 12 Declaración ambiental Asociación de la madera de Euskadi

<https://portal.environdec.com/api/api/v1/EPDLibrary/Files/67b271f6-0336-414e-9ce0-86c1f9085288/Data>

Environmental impact of 1m³ MDF (per m³)

Plain MDF boards (per m3)						
Category	A1	A2	A3	Total [A1+A2+A3]	C3	D
Global warming, excluded biogenic (GWP100) [kg CO ₂ eq/m ³]	5,33E+02	1,47E+01	5,21E+01	6,00E+02	9,12E+00	-8,87E+02
Global warming, (GWP100) included biogenic storage [kg CO ₂ eq/m ³]	-6,64E+02	1,47E+01	5,21E+01	-5,97E+02	9,12E+00	-8,87E+02
Ozone depletion [kg CFC 11 eq/m ³]	3,64E-01	2,54E-06	2,29E-06	3,64E-01	5,77E-07	-1,62E-04
Acidification of land and water [kg SO ₂ /m ³]	1,49E+00	4,47E-02	9,93E-01	2,53E+00	3,96E-02	-2,79E+00
Eutrophication [kg PO ₄ ³⁻ eq/m ³]	2,29E-01	8,50E-03	5,35E-01	7,72E-01	2,34E-02	-4,80E-01
Photochemical ozone creation [kg C ₂ H ₄ eq/ m ³]	6,00E-02	2,50E-03	7,59E-02	1,38E-01	1,79E-03	-1,40E-01
Depletion of abiotic resources (elements) [kg Sb/m ³]	6,76E+03	3,40E-05	3,24E-05	6,76E+03	4,90E-06	-5,78E-04
Depletion of abiotic resources (fossil) [MJ/m ³]	4,61E+03	2,41E+02	2,34E+02	5,08E+03	1,37E+02	-1,48E+04

Ilustración 13 Declaración ambiental Finsa http://materiales.gbce.es/wp-content/uploads/2018/11/FINSA_MDF_DAP.pdf

5.3 Adobe: técnica constructiva entre pasado y presente

“Case di terra” o “Casas de tierra” son casas cuyas técnicas constructivas se remontan a siglos pasados. Una vez abandonadas vuelven a fusionarse con el paisaje, los muros sin mantenimiento en poco tiempo se deshacen y los árboles rápidamente vuelven a aprovechar del espacio. Son casas hoy en día olvidadas, que en el pasado han ofrecido cobijo a muchas familias, y hoy representan una novedad entre las técnicas constructivas.

En Italia existen muchos ejemplos. En particular Cerdeña es la región más representativa y la primera en crear una red nacional de casas de tierra. Otros ejemplos se pueden encontrar en Abruzzo con las casas de Casalcontrada (CED Case di terra, 2021), y en Le Marche con las casas de Villa Ficana.

Villa Ficana, Macerata, es un ejemplo virtuoso, ya que la reforma de un barrio entero de casas de tierra ha promovido que 50 nuevas familias hayan vuelto a dar vida a una pequeña comunidad (Ecomuseo Villa Ficana, 2021).

En España, al igual que en otros países, existen varios ejemplos. De hecho, una de las casas rurales de la Comarca de Hoya de Huesca está construida en parte con adobe.

Las casas de adobe pueden construirse de forma diferente según el tipo de material existente en la zona. Dependiendo del tipo de arcilla se crean piezas con forma de ladrillo o bloque, o directamente muros de carga. En el primer caso se mezcla arcilla con paja, o incluso estiércol, y se deja el material a secar en moldes con forma de bloques.

En el segundo caso se crean esferas redondeadas de arcilla y paja y se juntan una sobre la otra para formar un muro de carga de aproximadamente un metro de altura. Se deja secar el muro el tiempo necesario, y se volverá a levantar otro metro y así sucesivamente hasta terminar.

Con respecto a la huella de carbono, el adobe se produce y almacena en el mismo sitio de construcción, así que este tipo de técnica constructiva disminuye las emisiones de CO₂ al no desplazar el material desde la cantera al lugar de construcción (Mansoure Dormohamadi, 2020). Además, no se añaden aditivos u otros componentes químicos, siendo un método natural y respetuoso con el medio ambiente.

En términos de estabilidad, es una técnica que no permite realizar edificios muy altos, normalmente no se construyen más de dos pisos: una planta baja y una primera planta (Colbert Babé, 2020). La base de la fachada es más gruesa, y el muro va perdiendo peso y espesor con la altura. Es importante que la base del muro en contacto con el terreno no esté completamente expuesta a la atmosfera, ya que es la parte más afectada por la erosión de la lluvia y los fenómenos meteorológicos. Por este motivo se suele aplicar una capa de cal.

Los edificios de adobe o “tierra” se construyen sin efectuar previamente una zanja, y por este motivo presentan una buena respuesta sísmica, considerando además que su altura no es elevada (Adolfo Preciado, 2020).

Con respecto a este material no existen en literatura declaraciones ambientales de producto, y por lo tanto no se ha realizado un cálculo del ahorro de emisiones que hubiera supuesto el uso de este material en el albergue analizado.



Ilustración 14 Casa di terra, Casalcontrada (Italia) Fuente: CED Terra

6 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico ha sido realizado a partir del consumo de energía final del edificio objeto, obtenido dividiendo la demanda energética de calefacción o refrigeración, calculada con la certificación energética CE3X, entre el rendimiento medio estacional de los equipos de calefacción ($\eta=0,9$) o refrigeración ($SCOP= 3,6$). De todas las propuestas detalladas en el apartado anterior, se han considerado las soluciones que permiten obtener un mayor ahorro energético, y consecuentemente se han calculado también para cada propuesta los consumos de energía final correspondientes, en la tabla pueden identificarse como C_{cal} y C_{ref} . Se han estudiado los materiales principales necesarios para cada solución, incluyendo mano de obra, y se ha calculado el coste total de cada una de ellas.

Se considera el coste de energía eléctrica de una forma conservadora, 0,15 €/kWh, siendo éste el único suministro de energía en el albergue, cuyos equipos son en su totalidad eléctricos.

Por lo tanto, se calcula el coste energético necesario en el caso base y para cada solución facilitada. Finalmente, el payback o plazo de recuperación es el periodo de retorno de la inversión inicial, obtenido como el cociente entre la inversión inicial y el ahorro económico anual.

Ud.	Materiales/componentes	Coste unitario	Total	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Payback (años)
Adición de aislamiento térmico en fachadas:						
se añaden 0,15m al actual espesor de aislamiento, para conseguir un espesor total de 0,3m						
592 m ²	Panel rígido de poliestireno expandido, 150 mm de espesor, resistencia térmica 6,9 m ² K/W, conductividad térmica 0,029 W/(mK), y mano de obra	25,74 €/m ²	15.238,00 €	$C_{cal}=17.366$ (-37%*) $C_{ref}=342$ (-2%)	1.556,00 €/año	9,8
Adición de un tercer vidrio en todas las superficies acristaladas						
51 m ²	Triple acristalamiento 4/(16 argón 90%)/4/(16 argón 90%)/4 "Saint Gobain", conjunto formado por vidrio exterior Planitherm Xn de 4 mm, $U=0.6$ W/(m ² K) y mano de obra	25 €/m ²	1.275,00€	$C_{cal}=21.066$ (-24%) $C_{ref}=150$ (-57%)	1.030,00 €/año	1,2
Muro cortina de triple cristal						
56 m ²	Triple acristalamiento 4/(16 argón 90%)/4/(16 argón 90%)/4 "Saint Gobain", conjunto formado por vidrio exterior Planitherm Xn de 4 mm, $U=0.6$ W/(m ² K) y mano de obra	107 €/m ²	5.992,00€	$C_{cal}=23.366$ (-16%) $C_{ref}=325$ (-7%)	659,00 €/año	9
Adición de aislamiento térmico y muro cortina						
592 m ²	Panel rígido de poliestireno expandido, 150 mm de espesor, resistencia térmica 6,9 m ² K/W, conductividad térmica 0,029 W/(mK), y mano de obra	25,74 €/m ²	15.238;00 €	$C_{cal}=11.266$ (-60%) $C_{ref}=200$ (-43%)	2.500,00 €/año	8,5
56 m ²	Triple acristalamiento 4/(16 argón 90%)/4/(16 argón 90%)/4 "Saint Gobain", conjunto formado por vidrio exterior Planitherm Xn de 4	107 €/m ²	5.992,00€			

	mm, U=0.6 W/(m ² K) y mano de obra					
			Total	21.230,00		
				€		
Instalación paneles fotovoltaicos						
9 ud.	Módulo solar fotovoltaico de células de silicio monocristalino, potencia máxima (Wp) 545 W y mano de obra	254€/ud	2.213,00€	C _{cal} =27.733 C _{ref} =350 P _{FV} =8.204 (-31%)	1.230,00 €/año	3
1 ud.	Inversor 5,8 kW		1.453,00€			
			Total			
Instalación paneles solares térmicos						
6 ud.	Captador solar térmico completo, para colocación sobre cubierta plana, formado por: un panel de 1160x1930x90 mm, superficie útil total 2,02 m ² , rendimiento óptico 0,819 y coeficiente de pérdidas primario 4,227 W/m ² K, según UNE-EN 12975-2 y mano de obra.	1.108€/ud	6.652,00€	C _{ACSinicial} =3.930 C _{ACSpaneles} =1.170	415,00 €/año	16

Tabla 12 Análisis económico. C_{cal}: consumo de calefacción (kWh); C_{ref}: consumo de refrigeración (kWh); P_{FV}: Producción fotovoltaica (kWh). *Caso base: C_{cal}: 27.733 (kWh); C_{ref}: 350 (kWh); C_{ACSinicial}: consumo agua caliente sanitaria inicial; C_{ACSpaneles}: consumo agua caliente sanitaria con paneles

En conclusión, las soluciones con un payback más propicio son la adición de un tercer cristal en las ventanas existentes, y la instalación de paneles fotovoltaicos, con un retorno de la inversión inicial entre 1 y 3 años.

El resto de las medidas en su mayoría definen un retorno de la inversión por debajo de los 10 años, y siguen siendo viables estimando una vida útil de la solución de entre 20 y 25 años. Sin embargo, siendo que el edificio es de reciente construcción se aconsejan como soluciones a medio-largo plazo.

Los resultados del análisis económico son orientativos, un estudio más exhaustivo requiere conocer el perfil de uso del edificio objeto durante un mínimo de un año completo. Su estudio se puede llevar a cabo en futuros trabajos.

7 ESTUDIO COMPARATIVO DE OTROS ALBERGUES Y CASAS RURALES DEL ENTORNO

Sabayés es una localidad perteneciente al ayuntamiento de Nueno de 28 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2019), situada a 14 km al norte de Huesca. El entorno de la localidad es un entorno rural, con valor natural y paisajístico que caracteriza el sistema pre-pirenaico. En un radio de 10km se encuentran las poblaciones de Apiés, Chibluco, Lierta, entre otras, caracterizadas por edificios hosteleros similares al Mirador de Sabayés, principalmente casas rurales.

Tal como se pueden observar en el Anexo 1, los edificios de estos establecimientos son edificios con una antigüedad de más de 50 años en su mayoría, que han sido reformados en los últimos 15 años. Se ha realizado la certificación energética de cada uno de ellos utilizando el software oficial CE3x, teniendo en cuenta los valores característicos de transmitancia térmica establecidos por la normativa correspondiente según el año de reforma.

Los edificios analizados presentan una compacidad intermedia con índices de compacidad superiores a 2 m, siendo esta la relación entre el volumen encerrado en la envolvente térmica y la suma de las superficies de dicha envolvente.

La calificación energética obtenida en CE3x en el indicador de emisiones anuales por unidad de área (kgCO_2/m^2) ha sido en todos los edificios analizados inferior a la letra B, que es la calificación obtenida por el Mirador de Sabayés (caso base). Esto se debe a que el edificio objeto de este trabajo se trata de un establecimiento de reciente construcción (2017), cumpliendo por tanto con unos requisitos normativos más exigentes.

Para futuros estudios se propone el uso de un medidor de transmitancia térmica y de una cámara termográfica para poder medir in situ la transmitancia térmica de la envolvente térmica, poder identificar y evaluar los distintos puentes térmicos de todos los albergues y casas rurales del entorno.

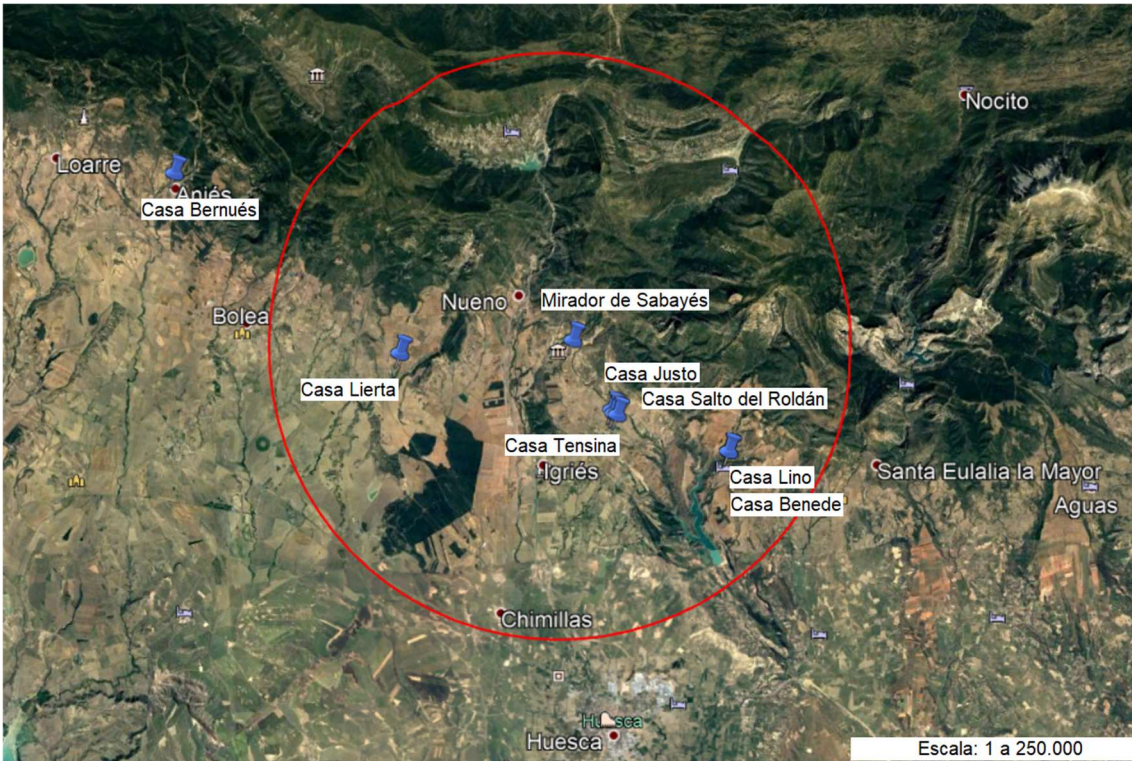


Ilustración 15 Mapa casas rurales en un radio de 10 km desde el caso base

8 CONCLUSIONES

Entre las propuestas de optimización energética presentadas destacan distintas soluciones técnicas y sistemas de energías renovables. Por lo que concierne a las mejoras de la envolvente térmica, las soluciones están directamente relacionadas con la reducción de la demanda energética del edificio, mientras que los sistemas de energías renovables no conllevan cambios en la demanda energética, aunque disminuyan las emisiones de CO₂.

De las primeras, se señalan tres propuestas principalmente:

- La aplicación de una capa de aislamiento térmico ligada a la reducción de los puentes térmicos (siempre y cuando el aislante se aplique desde el exterior).
- El doblado de huecos mediante la instalación de un vidrio simple adicional en las ventanas actuales, dejando una cámara de aire entre el vidrio añadido y dichas ventanas.
- Un incremento de la superficie acristalada en la fachada orientada al sur.

De las segundas, se recomienda:

- La instalación de paneles fotovoltaicos para cubrir parcialmente la demanda eléctrica.
- La instalación de captadores solares térmicos para cubrir una parte de la demanda de agua caliente sanitaria.

Una medida de ahorro energético de gran impacto es la disminución de los puentes térmicos, que supone entre el 15% y el 30% de la demanda energética del edificio. En el análisis se ha observado que la capa de aislamiento actualmente existente en los cerramientos opacos posee un espesor adecuado, y por lo tanto la solución de optimización se refiere principalmente a eliminar los puentes térmicos detectados en los planos del edificio. Aun así, para un estudio de detalle se remite a posteriores análisis que permitan una evaluación más precisa de los puentes térmicos mediante el uso de una cámara termográfica.

Con respecto a los huecos, la medida con mayor peso es la colocación de un tercer vidrio en las ventanas actuales, lo que se traduce en un ahorro energético del 25%.

Finalmente, con las combinaciones de diferentes medidas se puede alcanzar un decremento de la demanda energética del 60% combinando un incremento de la capa de EPS de la envolvente hasta alcanzar 0,3 m de espesor, la instalación de un muro cortina en la fachada sur con un retranqueo de 0,5 m y la eliminación de los puentes térmicos.

La implementación de una instalación fotovoltaica de 5 kWp aportaría un 31% de la energía necesaria anual para abastecer el edificio, lo que corresponde a 8.204 kWh/año, mientras que una instalación de captadores solares térmicos para alcanzar una fracción solar del 70% aportaría 15.176 kWh/año y un ahorro energético del 70% en la producción de ACS.

Usando materiales más sostenibles el ahorro en emisiones de CO₂ es considerable: si en el albergue de Sabayés se hubiera utilizado corcho como material aislante se habría evitado la emisión de 388.8 tCO₂ eq., mientras que si se hubieran utilizado paneles de fibra de madera reciclados el ahorro hubiera sido de 529.6 tCO₂ eq. (considerando en ambos casos una vida útil de 50 años). Con respecto al adobe, éste es también un material con un alto nivel ecológico, pero actualmente no se disponen de declaraciones ambientales con las que sea posible hacer un cálculo de las emisiones evitadas.

Con respecto a la viabilidad económica de las medidas descritas, la adición de un tercer vidrio y la instalación de paneles fotovoltaicos conllevan los mejores índices de retorno de la inversión con periodos estimados de entre 1 y 3 años. Sin embargo, el resto de las propuestas son igualmente viables desde el punto de vista económico por tener periodos de payback por debajo de los 10 años en su mayoría, considerando una vida útil de dichas soluciones entre 20 y 25 años.

En cualquier caso, todos los resultados obtenidos en este trabajo deben considerarse como orientativos, constituyendo una primera aproximación a la mejora de la eficiencia energética del edificio analizado. Un estudio más exhaustivo requeriría conocer el perfil de uso y la curva de carga del edificio objeto durante un periodo mínimo de un año, cuyo estudio se propone para futuros trabajos.

El estudio de casas rurales de cercanía, en un radio de 10 km desde Sabayés, evidencia una certificación energética por debajo del caso base, siendo que todos los edificios poseen una antigüedad más elevada y considerando la rápida evolución de la normativa y la intención de reducción drástica de emisiones de CO₂.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. (2010). Guía técnica. Agua caliente sanitaria central. Madrid: IDAE.
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Boum, R. B. E., & Djongyang, N. (2020). Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (sorghum bicolor). *Case Studies in Construction Materials*, 13 doi:10.1016/j.cscm.2020.e00422
- Barnacork, empresa distribuidora de corcho natural. (2021). Obtenido de: <https://www.barnacork.com/>
- Barnacork. (2016). Declaración ambiental Barnacork. Obtenido de: <https://www.barnacork.com/wp-content/uploads/2020/07/DAP-AMORIM-ISOLAMENTOS-TERMICO-EN.pdf>
- Berbegal, M. E. (2017). Análisis de los materiales en la estructura, en base a las demandas actuales de la sociedad, para un futuro sostenible. Madera, la evolución de un material tradicional. Trabajo fin de Grado. EINA-Universidad de Zaragoza.
- Cao, X., Liu, J., Cao, X., Li, Q., Hu, E., & Fan, F. (2015). Study of the thermal insulation properties of the glass fiber board used for interior building envelope. *Energy and Buildings*, 107, 49-58. doi:10.1016/j.enbuild.2015.08.00.
- Capdevila, A. L. (2019). From the Technical Building Code to the Passivhaus Standard. Analysis of the thermal envelope of a single-family house.
- CED Case di terra. (2021). Obtenido de: <http://casediterra.com/>
- Chen, X., Yang, H., & Lu, L. (2015). A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1425-1436. doi:10.1016/j.rser.2015.06.003.
- Dormohamadi, M., & Rahimnia, R. (2020). Combined effect of compaction and clay content on the mechanical properties of adobe brick. *Case Studies in Construction Materials*, 13 doi:10.1016/j.cscm.2020.e00402.
- Gavin, S. M. (2017). Proyecto básico y en ejecución Albergue en Sabayés, Nueno (Huesca). Huesca.
- Grupo Puma. (2018). Declaración ambiental EPS. Obtenido de: <https://www.grupopuma.com/uploads/company/dap/DAP-sistema-traditerm-eps-eps-g.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). Obtenido de: <https://www.ine.es/>
- Juricic, S., Goffart, J., Rouchier, S., Fouquier, A., Cellier, N., & Fraisse, G. (2021). Influence of natural weather variability on the thermal characterisation of a building envelope. *Applied Energy*, 288 doi:10.1016/j.apenergy.2021.116582.

Khan, N. A., & Bhattacharjee, B. (2021). Thermal and noise insulation performance interaction of building envelope during building simulation optimization in tropical climates. *Building and Environment*, 200 doi:10.1016/j.buildenv.2021.107948.

Mahmoodzadeh, M., Gretka, V., Blue, A., Adams, D., Dallimore, B., & Mukhopadhyaya, P. (2021). Evaluating thermal performance of vertical building envelopes: Case studies in a canadian university campus. *Journal of Building Engineering*, 40 doi:10.1016/j.jobee.2021.102712.

Mathur, U., & Damle, R. (2021). Impact of air infiltration rate on the thermal transmittance value of building envelope. *Journal of Building Engineering*, 40 doi:10.1016/j.jobee.2021.102302
Ecomuseo Villa Ficana. (2021). Obtenido de: <https://www.ecomuseoficana.it/>

Ministerio de Fomento. (2019). Código técnico de la edificación. Obtenido de: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/DocumentosCTE.html>.

Moore, M. (Dirección). (2019). Planet of the humans [Película].

Norma UNE-EN 13170:2013+A1:2015. (2015). Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de corcho expandido (ICB). Especificación.

Novais, R. M., Carvalheiras, J., Senff, L., Lacasta, A. M., Cantalapiedra, I. R., Giro-Paloma, J., . . . Labrincha, J. A. (2020). Multifunctional cork – alkali-activated fly ash composites: A sustainable material to enhance buildings' energy and acoustic performance. *Energy and Buildings*, 210 doi:10.1016/j.enbuild.2019.109739.

Preciado, A., Ramirez-Gaytan, A., Santos, J. C., & Rodriguez, O. (2020). Seismic vulnerability assessment and reduction at a territorial scale on masonry and adobe housing by rapid vulnerability indicators: The case of tlajomulco, mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44 doi:10.1016/j.ijdrr.2019.101425.

Satta, Y. Á. (2018). Auditoría energética en el sector terciario: Hospital. Trabajo Fin de Máster. E.T.S.I. de Minas y Energía- Universidad Politécnica de Madrid.

Software CE3X. (2020). Obtenido de: <http://www.efinova.es/CE3X>

Software CHEQ4. (2013). Obtenido de: <http://cheq4.idae.es/>

Software PVSyst. (2021). Obtenido de: <https://www.pvsyst.com/>

Agradecimientos

Quiero dar las gracias al Sistema de Educación español que me ha brindado la oportunidad de cursar el Máster de Energías Renovables y Eficiencia Energética.

Agradecimientos especiales a mi tutor del trabajo fin de Máster, Ignacio Zabalza, por transmitirme su conocimiento, experiencia, profesionalidad con infinita paciencia y generosidad.

A José Luis Lacostena por permitirme colaborar en el proyecto; a la coordinadora del Máster Maripaz Comech por apoyarme.

A Pablo Roda, quién admiro profundamente, por ser un excelente ingeniero, un excelente estudiante, y mejor persona; a mi compañera Marina Matute quien creyó en mí cuando yo misma desconfiaba y por ser tan valiente y determinada; a Alberto Benedicto por ser tan buen compañero de estudios y tan buen maestro; a Antonio y Alicia Valero por aportar valor al Máster;

A Manuel Balet por creer en mí; a Diego González por su flexibilidad y comprensión, y porque aprendemos constantemente de él; a Andrés Iso por ser de lejos el mejor compañero de trabajo;

A mis amigos Sonia, Irene, Izas, Juan, Félix, Javi, Soraya, por ser sustento en este camino; a mis padres y mi familia las personas más importantes de mi vida; y finalmente a mí, por tener ilusión y no dejar de intentarlo, por creer que todos los objetivos se pueden conseguir con esfuerzo, tiempo y trabajo.