



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Evaluación de técnicas de climatización para viviendas de bajo consumo energético. Diseño para la vivienda Escalà.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

AUTOR/A: Gil Alhama, José Antonio

Tutor/a: Gómez Navarro, Tomás

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

### **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado a lo largo de mi trayectoria en la Ingeniería, sin cuyo respaldo este proyecto no habría sido posible.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su constante apoyo. Su confianza en mí y sus ánimos han sido una fuente de fortaleza y motivación durante todo mi recorrido académico. Sin su paciencia y comprensión, no hubiera podido alcanzar mis metas.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado en los momentos de estudio y en los de relajación, les agradezco profundamente por su compañía y por ser un pilar fundamental en mi vida académica.

Agradezco especialmente al equipo de Azalea UPV por brindarme la oportunidad de formar parte de un grupo tan profesional y comprometido. Su orientación y apoyo han sido cruciales para mi desarrollo en el ámbito profesional, ayudándome a crecer de una manera que nunca hubiera imaginado.

Gracias a todos por ser parte de este viaje y por hacer posible la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

## **RESUMEN**

En la sociedad contemporánea, la gestión energética y la contaminación ambiental representan desafíos significativos. La creciente demanda energética de los edificios es un tema alarmante. Se centran esfuerzos en la exploración de alternativas viables para reducir el consumo energético. En este contexto, la vivienda juega un papel fundamental en la mitigación y adaptación al cambio climático, dado que sus emisiones directas e indirectas pueden suponer gran parte de las emisiones globales.

El cambio climático, el aumento de las temperaturas, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la atmosfera y la mejora de condiciones de confort en el interior de las viviendas son los factores considerados durante la elaboración del presente proyecto.

En el presente proyecto, se explica la aplicación de soluciones de climatización y ventilación con un impacto energético y ambiental mínimo, capitalizando las ventajas del clima mediterráneo del barrio de El Cabanyal mediante la implementación de medidas tanto activas como pasivas, y la integración de energías renovables en la comunidad. En este sentido, se propone un diseño de HVAC que optimiza la demanda energética del edificio, priorizando sistemas con bajo consumo eléctrico. Se descartan calderas de gas y eléctricas en busca de la máxima eficiencia y menor impacto ambiental. Además, se introduce un sistema de climatización pasiva denominado XALOC, con el fin de reducir la dependencia de la climatización activa.

Se proyecta una reducción significativa del consumo de calefacción y refrigeración, representando el 57% de la demanda total de energía en los edificios del barrio. Estos sistemas HVAC están diseñados para alcanzar un rendimiento óptimo, con una reducción promedio del 48% en el consumo durante el verano y del 37% en invierno, en comparación con un diseño convencional, y se calculará el impacto de cada medida en la reducción del consumo final de electricidad para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria.

**Palabras Clave:** escalà, xaloc, solar decathlon europe, tradición valenciana, barrio el cabanyal, barraca, eficiencia energética, innovación, climatización pasiva, climatización activa, calor latente, material de cambio de fase.

## RESUM

En la sociedad contemporània, la gestió energètica i la contaminació ambiental representen reptes significatius. La creixent demanda energètica dels edificis és un tema preocupant, i s'hi centren esforços en explorar alternatives viables per reduir el consum energètic. En aquest context, l'habitatge juga un paper fonamental en la mitigació i adaptació al canvi climàtic, ja que les seves emissions directes i indirectes poden suposar una part significativa de les emissions globals.

El canvi climàtic, l'augment de les temperatures, la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera i la millora de les condicions de confort a l'interior dels habitatges són els factors considerats durant l'elaboració d'aquest projecte.

En el present projecte, s'explica l'aplicació de solucions de climatització i ventilació amb un impacte energètic i ambiental mínim, aprofitant els avantatges del clima mediterrani del barri del Cabanyal mitjançant la implementació de mesures tant actives com passives, i la integració d'energies renovables en la comunitat. En aquest sentit, es proposa un disseny de HVAC que optimitza la demanda energètica de l'edifici, prioritzant sistemes amb baix consum elèctric. Es descarten calderes de gas i elèctriques en la cerca de la màxima eficiència i menor impacte ambiental. A més, s'introdueix un sistema de climatització passiva denominat XALOC, amb l'objectiu de reduir la dependència de la climatització activa.

Es projecta una reducció significativa del consum de calefacció i refrigeració, representant el 57% de la demanda total d'energia en els edificis del barri. Aquests sistemes HVAC estan dissenyats per assolir un rendiment òptim, amb una reducció mitjana del 48% a l'estiu i del 37% a l'hivern, en comparació amb un disseny convencional, i es calcularà l'impacte de cada mesura en la reducció del consum final d'electricitat per calefacció, refrigeració i producció d'aigua calenta sanitària.

**Paraules clau:** escalà, xaloc, solar decathlon europe, tradición valenciana, barrio el cabanyal, barraca, eficiencia energética, innovación, climatización pasiva, climatización activa, calor latente, material de cambio de fase.

**ABSTRACT**

In contemporary society, energy management and environmental pollution pose significant challenges. The increasing energy demand of buildings is an alarming issue, leading to efforts focused on exploring viable alternatives to reduce energy consumption. In this context, housing plays a crucial role in mitigating and adapting to climate change, as its direct and indirect emissions can constitute a substantial portion of global emissions.

Climate change, rising temperatures, reduction of greenhouse gas emissions in the atmosphere, and improvement of indoor comfort conditions are the factors considered in the development of this project.

In this project, the implementation of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) solutions with minimal energy and environmental impact is explained, leveraging the advantages of the Mediterranean climate of the El Cabanyal neighborhood through the application of both active and passive measures, as well as the integration of renewable energies within the community. In this regard, an HVAC design is proposed that optimizes the building's energy demand, prioritizing systems with low electricity consumption. Gas and electric boilers are excluded in pursuit of maximum efficiency and minimal environmental impact. Additionally, a passive climate control system called XALOC is introduced to reduce reliance on active climate control.

A significant reduction in heating and cooling consumption is projected, accounting for 57% of the total energy demand in buildings in the neighborhood. These HVAC systems are designed to achieve optimal performance, with an average reduction of 48% in summer and 37% in winter, compared to a conventional design. The impact of each measure on the final electricity consumption for heating, cooling, and domestic hot water production will be calculated.

**Keywords:** escalà, xaloc, solar decathlon europe, tradición valenciana, barrio el cabanyal, barraca, eficiencia energética, innovación, climatización pasiva, climatización activa, calor latente, material de cambio de fase

## **1. ÍNDICE**

1. ÍNDICE.....	5
2. INTRODUCCIÓN .....	8
3. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	10
3.1. INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN ENERGÉTICA.....	10
3.2. ORÍGENES Y EVOLUCIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN .....	10
3.3. CRITERIOS DE DISEÑO ESTANDARIZADOS .....	10
3.3.1. PSICROMETRÍA .....	10
3.3.2. CONDICIONES PARA EL CONFORT TÉRMICO .....	11
3.3.3. COMPENSACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA.....	11
3.3.4. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR .....	12
3.3.5. CRITERIOS DE DISEÑO ACTUALES.....	13
3.4. TENDENCIAS ACTUALES.....	14
3.4.1. EVOLUCIÓN DE LOS REFRIGERANTES.....	14
3.4.2. INNOVACIÓN EN CLIMATIZACIÓN .....	15
3.5. DESAFÍOS Y FUTURAS DIRECCIONES.....	15
3.6. APORTACIÓN .....	16
4. CASO DE ESTUDIO.....	16
4.1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROYECTO ARQUITÉCTONICO .....	16
4.1.1. ESTUDIO DE LA ARQUITECTURA VERNACULA Y DESARROLLO URBANÍSTICO ..	16
4.1.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS .....	18
4.1.3. SOMBRAS Y CONTROL SOLAR.....	18
4.1.4. APLICACIÓN WEB AVANZADA .....	19
4.1.5. RATIO DE VENTANAS.....	19
4.1.6. APORTACIÓN DEL AUTOR AL PROYECTO COLABORATIVO .....	22
4.1.7. OPORTUNIDADES PARA LA INTEGRACIÓN DE SOLUCIONES AVANZADAS.....	22
4.1.8. NECESIDADES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	23
4.1.9. DISEÑO DEL SISTEMA DE HVAC .....	24
4.2. IMPLEMENTACIÓN Y METODOLOGÍA .....	25
4.2.1. ANÁLISIS CLIMÁTICO DEL BARRIO.....	25
4.2.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS .....	25
4.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA .....	25
4.2.4. INSTALACIÓN Y MONITOREO .....	25
4.2.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....	25

5.	RESULTADOS.....	25
5.1.	ANÁLISIS CLIMÁTICO .....	25
5.3.	MEDIDAS Y ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA .....	27
5.3.1.	ORIENTACIÓN .....	27
5.3.2.	ENVOLVENTE TÉRMICA .....	28
5.3.3.	ESCALÀ .....	28
5.3.4.	VENTILACIÓN NATURAL .....	28
5.3.5.	ABERTURAS Y VENTANAS .....	28
5.3.6.	SOMBRAS Y CONTROL SOLAR.....	29
5.4.	ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO .....	29
5.4.1.	SISTEMAS DE GESTIÓN INTELIGENTE .....	30
5.4.2.	PLANIFICADOR DE CONSUMO .....	31
5.4.3.	SISTEMA DE ASESORAMIENTO AUTOMATICO .....	31
5.4.4.	INTERACCIÓN Y FEEDBACK .....	31
5.5.	CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS .....	32
5.5.1.	OCUPACIÓN.....	32
5.5.2.	AISLANTE UTILIZADO .....	36
5.5.3.	ORIENTACIÓN .....	38
5.5.4.	RATIO DE VENTANAS.....	39
5.5.5.	VENTILACIÓN .....	39
5.5.6.	DEMANDA DE ENERGÍA ÚTIL .....	42
5.6.	PRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA ...	44
5.6.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	44
5.6.2.	EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA .....	44
5.6.3.	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR AIRE – AGUA	45
5.6.4.	VASO DE EXPANSIÓN.....	47
5.6.5.	DEPÓSITO DE INERCIA.....	52
5.6.6.	FANCOILS.....	53
5.6.7.	SOLAR TÉRMICA .....	55
5.6.8.	SISTEMA DE CONTROL Y MODOS DE FUNCIONAMIENTO.....	58
5.7.	PRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN MECANICA FORZADA.....	59
5.7.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	59
5.7.2.	DISTRIBUCIÓN DE CONDUCTOS DE VENTILACIÓN.....	59

Evaluación de técnicas de climatización para viviendas de bajo consumo energético. Diseño para la vivienda Escalà.

5.7.3.	CHIMENEA SOLAR .....	60
5.7.4.	XALOC .....	60
5.7.5.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL .....	63
5.7.6.	INTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS DE MEDIDA .....	66
5.7.7.	SISTEMA DE CONTROL Y MODOS DE FUNCIONAMIENTO.....	72
5.7.8.	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	74
6.	CONCLUSIONES .....	75
7.	PRESUPUESTO .....	77
8.	PLANOS .....	79
9.	ANEXOS .....	81

## 2. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es ampliamente reconocido como uno de los mayores desafíos de nuestra era. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha subrayado la magnitud de esta crisis global en numerosos informes. Según el último informe del IPCC, "el cambio climático está afectando a todos los aspectos del medio ambiente y de la vida humana en todo el mundo, y sus impactos son cada vez más evidentes y graves" (IPCC, 2021). Este reconocimiento por parte de una de las principales autoridades científicas sobre el tema refuerza la urgencia de enfrentar este desafío global. Mitigar sus efectos y mantenerse por debajo de los 2 grados Celsius de aumento con respecto a la época preindustrial es esencial, no solo para cumplir con el Acuerdo de París, sino también para asegurar la habitabilidad de zonas en riesgo debido al aumento de eventos climáticos extremos. Los cambios en el clima tienen un impacto significativo en los ecosistemas, afectando primero a los menos resilientes y luego a los más preparados. Por lo tanto, adaptarse a estos cambios es crucial para mantener la salud y el bienestar de las personas que viven en esos ecosistemas.

En el contexto de la demanda energética para el confort térmico, el consumo de calefacción puede representar una parte significativa del total. Según un estudio realizado por el International Energy Agency (IEA), la calefacción constituye aproximadamente el 57% del consumo energético total en áreas residenciales para mantener el confort térmico (IEA, 2020). Esto subraya la importancia de optimizar los sistemas de calefacción para mejorar la eficiencia energética. La implementación de sistemas de calefacción individuales y optimizados en cada vivienda puede ofrecer una solución efectiva para reducir este consumo, al permitir un control más preciso y eficiente de la temperatura en cada unidad habitacional.

La búsqueda de la mejora del confort térmico en las viviendas ha sido un tema de interés creciente en las últimas décadas, ya que implica un aumento en el consumo y la demanda energética. Este interés se deriva de la necesidad de encontrar soluciones que sean tanto viables como rentables.

A nivel internacional, una de las organizaciones prominentes en este ámbito de estudio es la Energy Endeavour Foundation, la cual fue fundadora del Solar Decathlon (SD) y posteriormente del Solar Decathlon Europe (SDE). Estos eventos han sido plataformas clave para la innovación y el avance en el diseño y la construcción de viviendas con altos estándares de eficiencia energética, promoviendo así soluciones sostenibles para el confort térmico.

En el año 2000, se lanzó el Solar Decathlon (SD) como un desafío dirigido a equipos universitarios, con el objetivo de diseñar, construir y operar hogares altamente eficientes en términos energéticos y alimentados exclusivamente por energía solar. Este evento no solo ha sido una plataforma para la innovación en el ámbito de la energía renovable, sino que también ha logrado una amplia cobertura mediática, llegando así a millones de personas y generando conciencia sobre los beneficios, la accesibilidad y la disponibilidad de las soluciones de energía limpia.

La primera edición del SD, celebrada en el National Mall en Washington D.C., en el año 2000, atrajo a más de 200,000 visitantes, convirtiéndose en un hito destacado en el escenario nacional. Este evento no solo ha demostrado el potencial de la energía solar para alimentar hogares de manera eficiente,

sino que también ha destacado la importancia de la educación pública en temas de sostenibilidad y energía limpia.

El continuo interés europeo condujo a la firma de un Memorando de Entendimiento (MOU) en 2008 entre Estados Unidos y España. En virtud de este acuerdo, funcionarios gubernamentales españoles se comprometieron a acoger el SDE, marcando así el primer Solar Decathlon más allá de las fronteras estadounidenses. El primer SDE se llevó a cabo en el verano de 2010, en la ciudad de Madrid. Este evento fue el más internacional hasta la fecha, con la participación de equipos provenientes de ocho países diferentes.

Después de que equipos europeos lograran victorias en las ediciones estadounidenses del SD en 2007 y 2009, Estados Unidos emergió como el ganador del evento inaugural en Europa. Este logro fomentó un clima de intercambio de especialistas energéticos y conocimiento compartido entre los participantes, contribuyendo así al desarrollo de una comunidad internacional comprometida con el Solar Decathlon.

El éxito del SDE en España llevó a la renovación del MOU y a un segundo SDE en Madrid. En 2012, equipos de once países, incluyendo Asia y Sudamérica, compitieron por las mejores puntuaciones en las distintas categorías. Desde entonces, el Solar Decathlon se ha convertido en un trampolín para la participación internacional en este fenómeno global. Con distintas variantes en todo el mundo, como las ediciones en Europa, Sudamérica, Oriente Medio y África, el Solar Decathlon ha promovido la innovación y la sostenibilidad a nivel internacional.

El presente proyecto se enmarca en la competición más prestigiosa de Europa en los campos de la Arquitectura y la Ingeniería, el Solar Decathlon Europe (SDE), y se ha desarrollado siguiendo rigurosamente sus principales criterios de evaluación, detallados en el *Anexo 4: Reglas de la Competición SDE*. El proyecto que se presenta se inspira en la tradición y la cultura valenciana como punto de partida. A través de la tecnología y la innovación, se desarrolla una propuesta que busca armonizar pasado y futuro. Así surge Escalà, un proyecto concebido por y para los residentes del barrio de El Cabanyal, que ofrece soluciones de climatización innovadoras para la regeneración y revitalización de su patrimonio urbano.

Para la evaluación de alternativas de climatización y la propuesta de soluciones se decide priorizar la protección de la identidad del barrio y alterar su imagen lo menos posible. Esto potencia el sentido de comunidad en el barrio y su carácter de proximidad, al mismo tiempo que facilita la integración de familias en riesgo de exclusión social en el vecindario. Además, se sigue protegiendo la tradición y las costumbres del barrio, que tan buenos resultados de climatización han dado, a través de la arquitectura y la ingeniería, mientras se realiza una transición hacia un barrio más sostenible.

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) propone la implementación de sistemas de climatización activa y pasiva, regulados y optimizados, con el objetivo de mejorar la gestión energética y reducir al máximo la demanda de energía. Se busca lograr regulaciones de confort térmico que proporcionen mejoras significativas en la eficiencia energética. Gracias al avance y la extensa investigación en este campo a lo largo de los años, se han desarrollado sistemas comerciales de climatización con altas eficiencias, haciendo uso de refrigerantes amigables con el medio ambiente. En este trabajo, se explorarán estas tecnologías activas y pasivas para analizar sus aplicaciones en la gestión sostenible de la energía en edificaciones.

### **3. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN ENERGÉTICA**

La gestión energética y la reducción de la contaminación ambiental son desafíos críticos en la sociedad contemporánea. La creciente demanda energética de los edificios se ha convertido en un problema alarmante. A continuación, se explora el origen, las últimas tendencias y desarrollos en el diseño de sistemas de climatización que buscan minimizar el impacto energético y ambiental, aprovechando tanto medidas activas como pasivas y la integración de energías renovables.

#### **3.2. ORÍGENES Y EVOLUCIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN**

El uso de recursos de climatización ha sido objeto de estudio y aplicación a lo largo de la historia en diferentes culturas y civilizaciones. Desde tiempos ancestrales, se ha observado que ciertos materiales pueden generar efectos de enfriamiento en el ambiente. Estas observaciones llevaron al desarrollo de técnicas arquitectónicas inteligentes para ventilar y refrescar espacios de manera eficiente pero nunca se tuvo el control absoluto sobre temperatura y humedad en espacios interiores todo el año, y sobre todo en verano para evitar el excesivo calor y exceso o falta de humedad.

En 1842, Lord Kelvin creó el primer circuito frigorífico que permitió lograr un ambiente agradable y el acondicionamiento del aire interior. No obstante, fue en 1902 cuando se sentaron las bases de la refrigeración moderna. Willis Haviland Carrier, considerado el padre del aire acondicionado, trabajó para resolver un problema en la imprenta Sackett Wilhelms en Brooklyn, Nueva York. La dificultad para alinear las tintas en la impresión era causada por la temperatura y la humedad del lugar. Carrier diseñó y desarrolló una máquina que, a través de tubos enfriados, controlaba dichas propiedades del ambiente, resolviendo el problema y dando lugar a la primera unidad de climatización de la historia. La demanda de estos sistemas entre los sectores industriales no se hizo esperar, ya que el control de la temperatura y la humedad mejoraba notablemente la calidad de los productos.

#### **3.3. CRITERIOS DE DISEÑO ESTANDARIZADOS**

##### **3.3.1. PSICROMETRÍA**

La psicrometría es una rama de la termodinámica que se ocupa del estudio de las propiedades del aire húmedo, fundamental para el diseño y la operación de sistemas HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning). El objetivo principal es controlar la temperatura y la humedad relativa del aire para asegurar el confort térmico. En un sistema HVAC, se utilizan gráficos psicrométricos para representar y analizar las propiedades del aire, tales como la temperatura seca, la humedad relativa, el punto de rocío y la humedad absoluta. Estos gráficos permiten visualizar el impacto de los procesos de enfriamiento, calefacción y deshumidificación en el aire.

Para evaluar el funcionamiento de un sistema HVAC desde una perspectiva psicrométrica, se deben observar las condiciones del aire antes y después del tratamiento. En condiciones estándar, el sistema debería mantener una temperatura del aire de aproximadamente 22°C y una humedad relativa del 50% (ASHRAE, 2017). El análisis psicrométrico también ayuda a identificar posibles desviaciones que podrían indicar ineficiencias en el sistema o problemas en

su diseño. Mantener estos parámetros dentro del rango ideal asegura un entorno interior confortable y eficiente en términos energéticos (ISO, 2015).

### **3.3.2. CONDICIONES PARA EL CONFORT TÉRMICO**

El bienestar térmico es aquel estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico de manera subjetiva. El proyecto busca obtener un grado de confort adecuado en las viviendas con el mínimo consumo energético. El confort térmico desempeña un papel vital en la satisfacción, el rendimiento y la salud de las personas en los entornos construidos. Para lograr condiciones óptimas de confort térmico, es necesario considerar diversos factores que interactúan entre sí.

El sistema HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) es esencial en la gestión de la demanda de energía en edificios, ya que se encarga de compensar la carga térmica para mantener condiciones óptimas de confort térmico. Este confort es un factor crucial para la calidad de vida y la eficiencia en espacios habitables. Para evaluarlo, se utiliza comúnmente el índice PMV (Predicted Mean Vote), desarrollado a través de estudios experimentales por investigadores como Rohles y Fanger (Rohles & Fanger, 1976). Este índice mide la sensación térmica en una escala de 7 niveles, desde -3 (muy frío) hasta +3 (muy caliente), pasando por 0 (neutral).

El modelo de estimación del PMV considera diversas variables, incluyendo la temperatura del aire, la velocidad del aire, la humedad relativa, la temperatura media radiante, la actividad metabólica y el aislamiento de la vestimenta (ISO 7730:2005). Al equilibrar estas variables, el sistema HVAC puede ajustar su operación para mantener un ambiente confortable y eficiente energéticamente. De esta manera, se optimiza el uso de energía y se mejora el bienestar de los ocupantes, lo cual es fundamental tanto en edificios residenciales como comerciales e industriales (ASHRAE, 2019).

### **3.3.3. COMPENSACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA**

Para compensar la carga térmica de una vivienda unifamiliar, es crucial considerar diversos factores como las condiciones exteriores, la envolvente del edificio y otras variables específicas. La carga térmica de una vivienda se ve afectada por la temperatura exterior, la radiación solar, el viento y la humedad. La envolvente del edificio, que incluye paredes, techos, ventanas y su aislamiento, juega un papel fundamental en la cantidad de calor que se pierde o se gana. Según la International Energy Agency (IEA), una envolvente bien aislada puede reducir significativamente la demanda de calefacción al minimizar las pérdidas de calor (IEA, 2020). Los sistemas de calefacción deben ser ajustados para responder a estas variaciones, utilizando controladores y sensores que modifiquen la producción de calor según las condiciones exteriores.

Además, el diseño de sistemas HVAC eficientes implica la integración de estrategias de compensación térmica adaptadas a las condiciones variables. Implementar técnicas como la

regulación automática de la temperatura, el uso de termostatos inteligentes y la incorporación de sistemas de recuperación de calor puede optimizar el consumo energético. Según la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), estas técnicas permiten una adaptación dinámica a los cambios en la carga térmica, mejorando tanto el confort como la eficiencia energética (ASHRAE, 2017). La combinación de un diseño eficiente de la envolvente y sistemas de calefacción ajustables es esencial para lograr una compensación efectiva de la carga térmica en viviendas unifamiliares.

#### **3.3.4. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR**

En el diseño y la construcción de edificaciones, la calidad del aire interior es un factor fundamental que influye directamente en el bienestar y la salud de sus ocupantes. La calidad del aire interior se refiere a la condición del aire dentro de un ambiente cerrado, el cual debe estar libre de contaminantes que puedan ser perjudiciales para la salud humana o que causen incomodidad. Entre los contaminantes más comunes se encuentran el dióxido de carbono, polen, polvo, productos químicos de limpieza, efluentes humanos, bacterias, entre otros.

El aire es una mezcla gaseosa compuesta en un 21% por oxígeno y en un 78% por nitrógeno, el 1% restante lo constituyen otros gases entre los que se encuentra el dióxido de carbono. Por lo tanto, la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire se suele medir en partes por millón en volumen. El aire atmosférico contiene también un porcentaje variable de vapor de agua. En las viviendas, la composición del aire atmosférico se ve modificada por la actividad humana, que supone un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> y en la humedad relativa del aire y la incorporación de contaminantes como diversos Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), amoníaco y nanopartículas. Cuando el porcentaje de oxígeno en el aire desciende por debajo del 19,5% se considera insalubre; además, el contenido de CO<sub>2</sub> debe ser inferior al 0,25% (Rey, San José, Tejero, Rey Hernández, & Esquivias, 2021).

En el sector residencial, la ventilación es un aspecto crucial para garantizar la calidad del aire interior y el confort de los ocupantes. La Sección HS3 del Código Técnico de la Edificación (CTE) establece los requisitos para la ventilación en viviendas y áreas de uso terciario como aparcamientos y garajes. Según esta sección, se deben asegurar caudales de ventilación adecuados para mantener un ambiente saludable, evitando la acumulación de contaminantes y garantizando una renovación constante del aire. El cumplimiento de estos requisitos es esencial para proporcionar una buena calidad del aire interior y cumplir con los estándares de confort y salud.

Además, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) regula las condiciones técnicas y de seguridad para la ventilación y climatización en edificios. El RITE establece directrices detalladas sobre la eficiencia energética de los sistemas de ventilación y su impacto en el consumo energético global del edificio. La correcta implementación de estos requisitos es fundamental para equilibrar la calidad del aire interior con la eficiencia energética. La ventilación adecuada, mientras asegura el confort térmico y la salud de los ocupantes, también debe ser

diseñada y gestionada para minimizar el consumo energético y reducir la huella ambiental. Por lo tanto, durante el diseño y planificación de edificaciones sostenibles, es crucial considerar tanto los beneficios en términos de confort y salud como los desafíos asociados con la eficiencia energética.

### **3.3.5. CRITERIOS DE DISEÑO ACTUALES**

El diseño eficiente y sostenible de edificios es crucial para enfrentar los desafíos del cambio climático y promover el ahorro energético. Dos enfoques prominentes en este ámbito son Passive House (Passivhaus) y LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Ambos criterios de diseño buscan optimizar el rendimiento energético y minimizar el impacto ambiental, pero lo hacen mediante métodos y estándares diferentes.

Passive House se enfoca en alcanzar una eficiencia energética extrema mediante una envolvente edilicia altamente aislante y una ventilación controlada que minimiza las necesidades de calefacción y refrigeración adicionales. Según el Passivhaus Institut (2020), los edificios que cumplen con estos estándares deben mantener una demanda de calefacción inferior a 15 kWh/m<sup>2</sup> por año y tener una transmitancia térmica de 0.15 W/m<sup>2</sup>K o menos. Este enfoque asegura un confort interior elevado y una reducción significativa en el consumo energético, lo que resulta en una disminución considerable de las emisiones de carbono.

Por otro lado, el sistema LEED ofrece una certificación global para la construcción sostenible evaluando aspectos como la eficiencia energética, el uso responsable de recursos, y la calidad del ambiente interior (USGBC, 2019). Los criterios de diseño LEED abarcan la optimización del rendimiento energético, la selección de materiales sostenibles y una gestión eficiente del agua, entre otros. La obtención de la certificación LEED indica un compromiso con prácticas medioambientales rigurosas y fomenta la construcción de edificios que cumplen con altos estándares de sostenibilidad.

Para alcanzar los exigentes objetivos de energía y sostenibilidad de Passive House y LEED, la selección de un equipo de climatización eficiente es esencial. Según ASHRAE (2017), los sistemas de climatización deben ser altamente eficientes y adaptados a las características específicas del edificio para cumplir con los estándares requeridos. La integración de tecnologías avanzadas de climatización asegura que se logren los objetivos de eficiencia energética y confort, consolidando así la sostenibilidad a largo plazo y el desempeño óptimo del edificio.

### 3.4. TENDENCIAS ACTUALES

#### 3.4.1. EVOLUCIÓN DE LOS REFRIGERANTES

Con el tiempo, se han desarrollado equipos de climatización más sofisticados y eficientes, incluyendo la posibilidad de alternar entre frío y calor. Sin embargo, actualmente nos encontramos en un momento en la historia en el que el aumento de la eficiencia ha tenido que tomar un pequeño descanso para dar paso al uso de refrigerantes más respetuosos con el medio ambiente.

Los cambios en la regulación de refrigerantes responden a problemas de toxicidad y al impacto ambiental, incluyendo el agotamiento de la capa de ozono por gases clorofluorocarburos (CFCs) e hidroclofluorocarburos (HCFCs), abordado en el Protocolo de Montreal de 1987, y el calentamiento global causado por gases hidroclofluorocarburos (HCFCs), tratado en el Protocolo de Kioto de 1997.

La Directiva del Parlamento Europeo 2006/40 prohíbe el uso de refrigerantes con un Potencial de Calentamiento Global (GWP) superior a 150 en equipos de climatización residencial en viviendas nuevas a partir de 2017. Además, el Plan de Acción de Bali de 2008 establece metas de reducción de emisiones del 25-40% para 2020 y del 50% para 2050.

La Regulación F-gas, implementada en 2015, limita y reduce gradualmente la venta de HFC en la Unión Europea, prohibiendo su uso en muchos nuevos tipos de equipos, como refrigeradores domésticos y de supermercados, y sistemas de aire acondicionado, además de prevenir las emisiones de HFC.

En la Tabla 1 se presentan los refrigerantes comerciales más utilizados en los últimos años, junto con sus respectivos valores de Potencial de Calentamiento Global (GWP), proporcionando una visión clara de su impacto ambiental.

Tabla 1: Tabla de características físicas de los refrigerantes actuales del mercado – sacado de los apuntes de la asignatura de Frío y Climatización del grado de Ingeniería de la energía. ETSII-UPV

Número ASHRAE	Nombre	Composicion % por peso	Punto de ebullición Normal (°C)	ODP	GWP 100 yr	Glide (K)	Safety code
R12		100%	-29.8	0.82	10900	0	A1
R22		100%	-40.8	0.04	1790	0	A1
R32		100%	-51.7	0	716	0	A2L
R134a		100%	-26.1	<0.0005	1370	0	A1
R404A	SUVA HP62 Forane FX70	44% R125 52% R143a 4% R134a	-45.8 / -44.9	<0.0003	3700	0.3-0.7	A1
R407C	SUVA AC9000 KLEA 66 Reclin HX3	23% R32 25% R125 52% R134a	-43.6 / -36.8	<0.00027	1700	5-7	A1
R410A	GENETRON AZ20 SUVA AC9100	50% R32 50% R125	-52.7	<0.00002	2100	near 0	A1
R1234yf	CF3CF=CH2	100%	-29.5	0	4.4		A2L
R290	Propane	100%	-42.1	0	20	0	A3
R600a	IsoButane	100%	-11.8	0	20	0	A3

CFC
HCFC
HFC
HFO
Naturales

### **3.4.2. INNOVACIÓN EN CLIMATIZACIÓN**

La investigación reciente ha destacado la importancia de diseñar sistemas de HVAC que no solo sean eficientes, sino que también utilicen refrigerantes amigables con el medio ambiente (Smith et al., 2021; Johnson, 2020). La implementación de sistemas de climatización pasiva, como el almacenamiento de energía térmica utilizando materiales de cambio de fase, puede complementar y reducir la dependencia de los sistemas de climatización activa (Brown & Green, 2019). Además, la integración de tecnologías de energías renovables, como paneles solares térmicos y fotovoltaicos, ha mostrado resultados prometedores en la reducción del consumo energético global de los edificios (Miller & Thompson, 2022).

La innovación en el campo de la climatización sigue un camino claramente enfocado en la gestión energética avanzada. Los sistemas modernos de HVAC están siendo equipados con complejos sistemas de control y domótica que permiten mantener tanto la eficiencia como el bajo consumo, al mismo tiempo que aseguran el confort térmico de los usuarios. La automatización y la inteligencia artificial juegan un papel crucial en estos avances, optimizando el funcionamiento de los sistemas de climatización en tiempo real según las condiciones ambientales y las preferencias de los ocupantes (García et al., 2021).

Además, el uso responsable y eficiente de los equipos de climatización ha resultado ser una de las medidas más efectivas para reducir el consumo energético. La concienciación y educación de los usuarios sobre prácticas de uso eficiente, junto con la implementación de tecnologías que permiten el monitoreo y control detallado del consumo energético, han mostrado un impacto significativo en la disminución de la demanda energética en edificios (Evans et al., 2020).

### **3.5. DESAFÍOS Y FUTURAS DIRECCIONES**

A pesar de los avances, existen lagunas significativas en la literatura. La aplicación práctica y la integración de estas tecnologías en diferentes contextos climáticos y arquitectónicos aún necesitan más investigación (Lopez et al., 2018). La interacción entre sistemas activos y pasivos en entornos reales y su impacto combinado en la eficiencia energética y el confort térmico es un área que requiere mayor exploración (Kim & Park, 2019).

A pesar de los avances en el sector de la construcción, la integración efectiva de tecnologías para la eficiencia energética y el confort térmico sigue enfrentando desafíos significativos. Aunque el diseño bioclimático ha sido una práctica antigua, que se basaba en aprovechar las condiciones naturales para optimizar el confort térmico, en las últimas décadas ha sido en parte desplazado por técnicas de construcción más modernas que priorizan otros aspectos, como la estética o la rapidez en la construcción (Givoni, 1998). Sin embargo, este enfoque bioclimático no ha perdido relevancia; más bien, su importancia se está recuperando a medida que se busca integrar de manera efectiva las nuevas tecnologías con principios tradicionales de diseño sostenible.

El diseño bioclimático, que incluye estrategias como la orientación del edificio, la selección adecuada de materiales y la integración de elementos arquitectónicos que maximizan la ventilación natural y la ganancia solar pasiva, se ha demostrado eficaz en la reducción de la demanda energética (Givoni, 1998). Sin embargo, la aplicación de estas estrategias a menudo se ha visto eclipsada por el desarrollo de tecnologías modernas que ofrecen soluciones rápidas pero que no siempre optimizan la eficiencia energética a largo plazo. Al combinar el diseño bioclimático con tecnologías avanzadas, como bombas de calor de alta eficiencia, sistemas de ventilación con recuperación de calor y paneles solares, se puede lograr una sinergia que maximiza el rendimiento energético del edificio (ASHRAE, 2017).

### **3.6. APORTACIÓN**

La revisión de la literatura revela que el diseño de sistemas de climatización innovadores se encuentra en una fase de rápido desarrollo, caracterizado por enfoques prometedores que combinan tecnologías activas y pasivas junto con la utilización de energías renovables (Smith et al., 2022; González et al., 2021). Sin embargo, se identifican varias lagunas en la investigación que deben abordarse para mejorar la aplicación práctica de estas tecnologías (Jones & Lee, 2020; Miller, 2019).

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se enfoca en explorar estas áreas, proponiendo un diseño de HVAC que integra un sistema de planificación energética y el sistema de climatización pasiva denominado como XALOC. El objetivo principal es reducir la dependencia de la climatización activa y maximizar la eficiencia energética en el contexto del barrio del Cabanyal y el Solar Decathlon Europe. Al abordar estas lagunas y aplicar soluciones innovadoras, este proyecto busca contribuir al desarrollo de sistemas de climatización más sostenibles y eficientes, adaptados a las necesidades específicas de este entorno urbano.

## **4. CASO DE ESTUDIO**

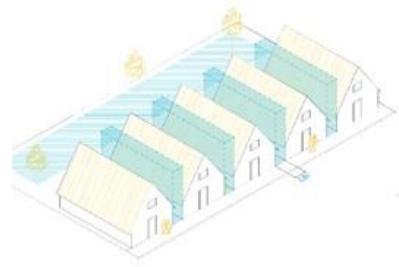
### **4.1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROYECTO ARQUITÉCTONICO**

El proyecto Escalà es una colaboración multidisciplinaria entre los campos de la arquitectura y la ingeniería, cuyo objetivo es revitalizar el barrio de El Cabanyal en Valencia, España. Este proyecto está enfocado en el diseño y construcción de una House Demonstration Unit (HDU), concebida como un modelo para exhibir tanto soluciones comerciales eficientes como innovaciones propias. Este proyecto se incorpora en el presente trabajo, donde el contenido del capítulo 3 se desarrolla con el propósito de justificar las decisiones de diseño presentadas en el capítulo 4 y en los capítulos posteriores.

#### **4.1.1. ESTUDIO DE LA ARQUITECTURA VERNACULA Y DESARROLLO URBANÍSTICO**

El nombre Escalà hace referencia a un espacio de 1,36 metros de ancho, tradicionalmente compartido entre dos barracas, una tipología de vivienda popular vernácula en la región.

Este espacio, utilizado históricamente para el mantenimiento del techo y la ventilación, y representado en la Ilustración 1, simboliza el vínculo entre el pasado y el futuro del barrio. Al adoptar el nombre Escalà, el proyecto no solo rinde homenaje a la identidad cultural del Cabanyal, sino que también busca introducir innovaciones en eficiencia energética y sostenibilidad, respetando la herencia del barrio mientras impulsa su renovación.



*Ilustración 1: Las barracas y Escalà – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

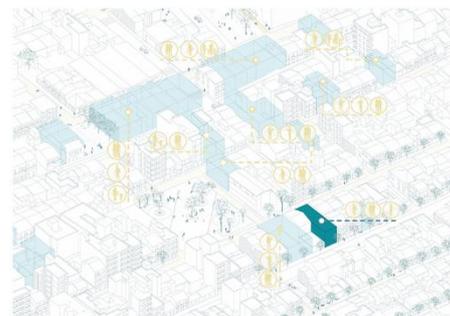
Este barrio residencial, caracterizado por sus edificios de baja altura y una disposición típica de una planta baja más una o dos alturas adicionales, enfrenta importantes desafíos en términos de eficiencia energética y deterioro. Esto se ha visto agravado por un extenso proceso de expropiación y demolición para la ampliación de la Avenida Blasco Ibáñez. El equipo de arquitectura de Azalea UPV ha abordado estos problemas mediante el desarrollo urbanístico, el diseño arquitectónico y las características constructivas de las viviendas. Sus planos proporcionan una base fundamental para la disposición del sistema de HVAC, estableciendo así una base sólida para la intervención y determinando el emplazamiento final del proyecto.

La propuesta se desarrolla en uno de los solares vacíos de propiedad pública en El Cabanyal, ubicado en la zona más degradada del barrio. Este solar está ubicado en una parcela estrecha y profunda que cuenta con dos frentes, uno en la calle Escalante y otro en la calle José Benlliure. Las dimensiones del terreno son de 23,40 metros de largo por 7,37 metros de ancho, como se muestra en la Ilustración 2. Para adaptarse a estas condiciones y lograr una integración armoniosa del edificio, se ha decidido desarrollar una vivienda de dos plantas en la parcela mencionada.



*Ilustración 2: Dimensiones de la parcela sobre la que intervenir – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

El prototipo que se va a acondicionar térmicamente es una vivienda unifamiliar que consta de una única planta interior con un uso del espacio abierto, constando de un módulo central sobre el que rodean las demás estancias. Tiene una altura total de 7 m y una altura en las estancias interiores de 2,74 m. La superficie útil de la vivienda es de 56,6 m<sup>2</sup>, mientras que su volumen útil es de 147 m<sup>3</sup>. Las fachadas principales tienen orientación este-oeste. El presente proyecto destaca por su potencial de replicabilidad en otras ubicaciones con la misma problemática en el barrio, como bien se puede observar en la Ilustración 3.



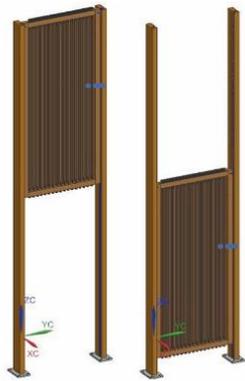
*Ilustración 4: Esquema del potencial de replicabilidad en el Cabanyal – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

#### **4.1.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

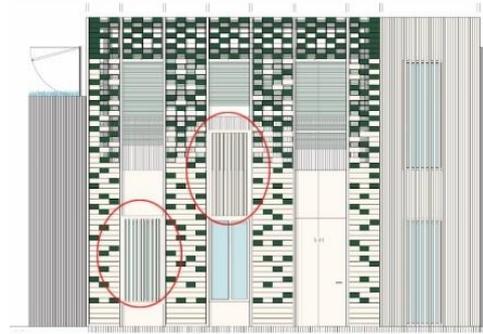
El proyecto de diseño integra diversas innovaciones en el ámbito de la Arquitectura desarrollado por el equipo de Arquitectura de Azalea UPV. Sus características constructivas, basadas en la evolución de las técnicas tradicionales del barrio del Cabanyal. Los cerramientos han evolucionado significativamente, sustituyendo los tradicionales muros de mampostería por un sistema más ligero de listones de madera y paneles de virutas orientadas (OSB), con un aislamiento interior compuesto por algodón reciclado y paja de arroz. Los suelos elevados, que anteriormente empleaban viguetas de madera y bovedillas de ladrillo, se han modernizado utilizando paneles de madera contralaminada (CLT), mejorando así el aislamiento térmico y acústico. La fachada también se ha rediseñado, combinando elementos tradicionales como las piezas cerámicas vidriadas con soluciones modernas e industrializadas, como el sistema Flexbrick de fachada ventilada.

#### **4.1.3. SOMBRAS Y CONTROL SOLAR**

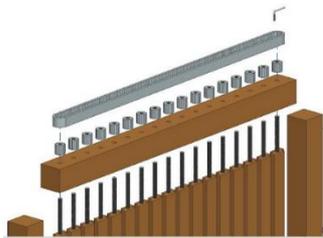
El equipo de Arquitectura en conjunto con los miembros del equipo de Ingeniería diseña un mecanismo de persianas automáticas. Se hace uso de persianas y lamas ajustables regulan la entrada de radiación solar, disminuyendo la carga térmica y aumentando la eficiencia energética. Por otro lado, se hace uso de la tradicional persiana alicantina que permite bloquear la radiación solar permitiendo la entrada de una corriente de aire en el interior de la vivienda. Ambos sistemas se detallan en las Ilustraciones 4, 5, 6 y 7.



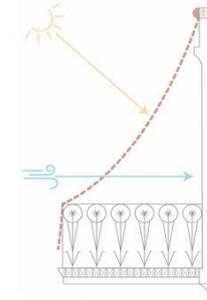
*Ilustración 4: Posiciones de altura máxima y mínima de las persianas automáticas – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*



*Ilustración 5: Ventanas automáticas en la fachada principal – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*



*Ilustración 6: Esquema de montaje de las persianas automáticas – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*



*Ilustración 7: Persianas alicantinas – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

#### **4.1.4. APLICACIÓN WEB AVANZADA**

En el presente trabajo se desarrollan lógicas de control avanzadas que se complementan y funcionan gracias al desarrollo de una aplicación web avanzada que optimiza el control de la climatización y la producción de agua caliente sanitaria (ACS) tratando de maximizar en todo momento la eficiencia energética de la instalación.

#### **4.1.5. RATIO DE VENTANAS**

Se definirá con precisión el sistema de acristalamiento que se instalará en el HDU. El fabricante que suministrará las puertas y ventanas es Kömmerling. Esta marca es conocida por trabajar con materiales 100% reciclables y por no incorporar metales pesados (como el plomo) en sus productos.

Las diferentes puertas y ventanas se colocan, por un lado, en el envolvente térmico del módulo de vivienda climatizada, y también Escalà. La sala de máquinas no cuenta con ninguno de estos elementos. Consulte la Figura 8. Distribución del sistema de acristalamiento para ver la ubicación detallada de todas las puertas y ventanas.

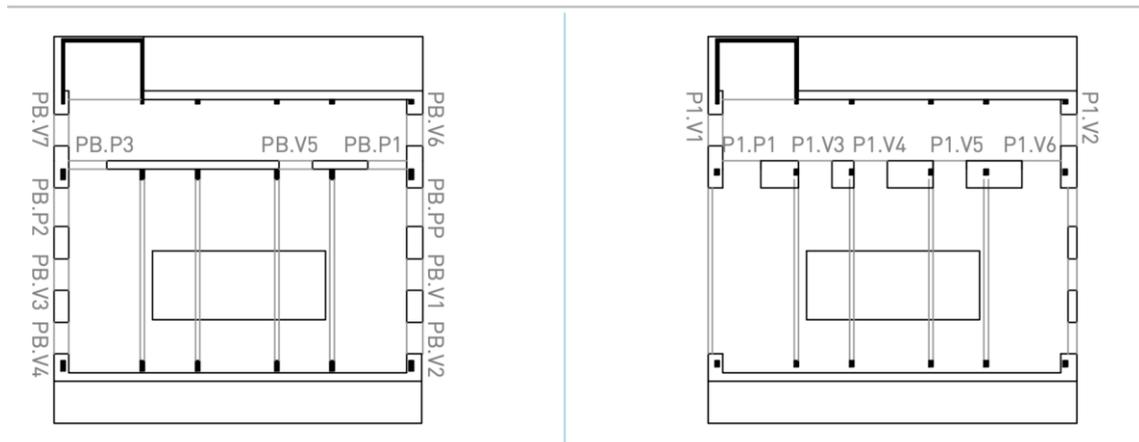


Ilustración 8: Distribución del sistema de ventanas – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV

Este sistema de acristalamiento estará compuesto por dos tipos diferentes de tecnologías según las necesidades térmicas que generan dependiendo de su ubicación en el HDU:

- La envolvente térmica: estará compuesta por ventanas y puertas de triple acristalamiento. Este tipo de acristalamiento asegura un mejor rendimiento térmico. Consulte la Figura 9. Características del triple acristalamiento" para obtener más información sobre las propiedades energéticas y la Figura 10. Composición del triple acristalamiento" para detalles sobre los espesores y materiales.

Nombre de Composición	Cámara 1 y Capa	Cámara 2 y Capa	Luz Visible			Energía Solar				Prestaciones térmicas	Thermal Properties
			Transmisión $\tau_v$ (%)	Reflexión		Transmisión $\tau_e$ (%)	Reflexión $\rho_e$ ext (%)	Factor Solar g (%)	Transferencia de calor secundario $q_i$	Valor U	Valor U <sub>g</sub> en (W/m <sup>2</sup> ·K)
				$\rho_v$ ext (%)	$\rho_v$ in (%)					U <sub>g</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	U <sub>g</sub> W/m <sup>2</sup> ·K [3 decimales]
4.4.1/14Ar/4/14Ar/4.4.1Climaguard	Guardian ExtraClear (CE)	Guardian ExtraClear (CE)	73,0	18,2	17,9	45,8	23,4	54,0	8,2	0,9	0,916

Ilustración 9: Características del panel triple -Velux



4.4.1Gs/16Argon/4.4.1 Climaguard	
Exterior	
HOJA 1	Guardian ExtraClear (CE) #1 ---- Espesor = 4 mm #2 ----
INTERCALARIO 1	PVB Clear 0.38mm (CE)
HOJA 2	Guardian ExtraClear (CE) #3 ---- Espesor = 4 mm #4 Guardian Sun (CE)
CÁMARA 1	10% Aire, 90% Argón, 16 mm (.630")
HOJA 3	Guardian ExtraClear (CE) #5 KlimaGuard® Premium2 (CE) Espesor = 4 mm #6 ----
INTERCALARIO 2	PVB Clear 0.38mm (CE)
HOJA 4	Guardian ExtraClear (CE) #7 ---- Espesor = 4 mm #8 ----
Espesor Total (Nominal) =32,762 mm      Inclinación = 90°	
Peso Estimado del Espesor Nominal del Acristalamiento: 39,2 kg/m²	
Interior	

*Ilustración 12: Composición del panel doble – Velux*

#### 4.1.6. APORTACIÓN DEL AUTOR AL PROYECTO COLABORATIVO

El autor del presente proyecto ha evaluado las alternativas de equipos de climatización, el diseño de la instalación de HVAC, la creación de un sistema de climatización pasiva innovador (Xaloc) y el desarrollo de las lógicas de control que hacen funcionar eficazmente la aplicación web y los sistemas mencionados. Este enfoque integrado apoyado por el trabajo colaborativo de este proyecto asegura que el proyecto no solo respete la identidad del barrio, sino que también proporcione soluciones energéticas sostenibles y eficientes, evaluadas en el marco del SDE celebrado en Wuppertal, Alemania, en junio de 2022. El diseño de las medidas se ha realizado en función de las necesidades reales del barrio del Cabanyal, cumpliendo con las reglas de la competición, detalladas en el *Anexo 4: Reglas de la Competición SDE*, y, en su defecto, siguiendo lo estipulado por la legislación española.

#### 4.1.7. OPORTUNIDADES PARA LA INTEGRACIÓN DE SOLUCIONES AVANZADAS

El barrio de El Cabanyal en Valencia ofrece una oportunidad excepcional para integrar soluciones avanzadas y sostenibles en el diseño y funcionamiento de tecnologías HVAC, gracias a su favorable contexto climático mediterráneo y a las iniciativas de renovación urbana apoyadas por el Ayuntamiento de Valencia. Este clima propicia el uso de técnicas bioclimáticas y la explotación de la radiación solar para mejorar la eficiencia energética. Los planes locales de regeneración urbana, respaldados por LAS NAVES, un centro de innovación y emprendimiento, buscan incorporar prácticas sostenibles en la rehabilitación del área. Además, la combinación de arquitectura histórica y moderna en El Cabanyal ofrece un marco único para aplicar innovaciones en climatización que respeten el patrimonio mientras optimizan el consumo energético. Estas acciones están alineadas con los objetivos del movimiento de Capitalidad Verde, que promueve la sostenibilidad y la calidad de vida en las ciudades (Capital Verde, 2023; Fernández et al., 2023; Gómez et al., 2022).

#### 4.1.8. NECESIDADES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Existe una notable necesidad de mantener el confort particularmente en verano, ya que las altas temperaturas hacen necesario el uso de sistemas de climatización para atenuar los efectos negativos del calor. El proyecto presentado tiene como objetivo utilizarse como banco de pruebas para sistemas innovadores de HVAC más eficientes, ecológicos y mejor adaptados al clima, capaces de replicarse en otros barrios de Valencia y, posteriormente, en otras ciudades de España. Los resultados y conclusiones del proyecto se evaluarán en el contexto del Solar Decathlon Europe 21/22, que se ha celebrado en Wuppertal, Alemania, durante el mes de junio de 2022, proporcionando una perspectiva comparativa internacional que enriquecerá la validación y ajuste de las soluciones propuestas.

El objetivo de este proyecto es evaluar la implementación de soluciones de climatización tanto activas (aeroterminia) como pasivas, adaptadas al clima mediterráneo. Se busca evaluar el sistema de climatización híbrido óptimo para una reducción del consumo energético significativo además de reducir el impacto ambiental de la climatización. Para lograr esto, se han descartado las calderas de gas debido a su elevado impacto ambiental y las calderas eléctricas basadas en resistencia térmica por su baja eficiencia energética en comparación a sistemas basados en aeroterminia. Su busca cubrir las necesidades del usuario por medio de la optimización inteligente de la vivienda, proponiendo y activando la mejor forma de climatización según la hora del día. Este propósito se desglosa en objetivos concretos y evaluables:

- **Reducción del Consumo Energético:**
  - Disminuir el consumo de energía en climatización lo máximo tratando de superar un 30% del consumo actual.
- **Implementación de Sistemas de Climatización Híbridos:**
  - Integrar sistemas de climatización activa y pasiva que funcionen de manera complementaria.
- **Optimización Inteligente de la Vivienda:**
  - Desarrollar un sistema de control avanzado que se comunique con las necesidades del usuario y la infraestructura de la casa.
  - Proponer y activar la mejor forma de climatización según la hora del día, alternando entre sistemas pasivos y activos.
- **Reducción del Impacto Ambiental:**
  - Utilizar tecnologías y refrigerantes ecológicos que minimicen el impacto ambiental.
  - Asegurar que los sistemas de climatización implementados cumplan con las normativas ambientales y de eficiencia energética.
- **Mejora del Confort Térmico:**
  - Garantizar un ambiente interior confortable y saludable para los ocupantes de las viviendas.
  - Evaluar el desempeño del sistema de climatización híbrido en términos de confort térmico.
- **Monitoreo y Evaluación Continua:**

- Implementar herramientas de monitoreo que permitan evaluar el rendimiento del sistema en tiempo real.

#### 4.1.9. DISEÑO DEL SISTEMA DE HVAC

Se realiza una exhaustiva evaluación de alternativas, detalladas en el *Anexo 1: Evaluación de alternativas de aerotermia* y el *Anexo 2: Evaluación de alternativas de colectores solares*, entre las cuales se consideran numerosos sistemas de HVAC. Esta evaluación se basa en criterios como eficiencia energética, impacto ambiental, costos de implementación y operación, compatibilidad, flexibilidad, confort térmico y cumplimiento de normativas.

Se examinan los sistemas HVAC principalmente en cuanto a su eficacia, aunque se reconocen sus desventajas en términos de mayor consumo energético y el uso de refrigerantes con alto potencial de calentamiento global (GWP).

Además, debido a los recientes incidentes de salud pública en los últimos años, un aspecto fundamental es el tratamiento de la calidad del aire, garantizando un ambiente interior saludable y seguro.

Se propone un sistema de HVAC avanzado que optimiza la demanda energética del edificio. Este sistema prioriza el uso de refrigerantes ecológicos y tecnologías de alta eficiencia energética, incluyendo sistemas de control y domótica para la gestión energética integral.

Se integrará un sistema de climatización pasiva (XALOC), detallado en la Ilustración 13, para reducir la dependencia de la climatización activa. Este sistema utiliza materiales de cambio de fase para el almacenamiento de energía térmica, aprovechando las características climáticas del Mediterráneo para mantener un ambiente interior confortable al utilizar el consumo de energía remanente de la climatización mecánica controlada.

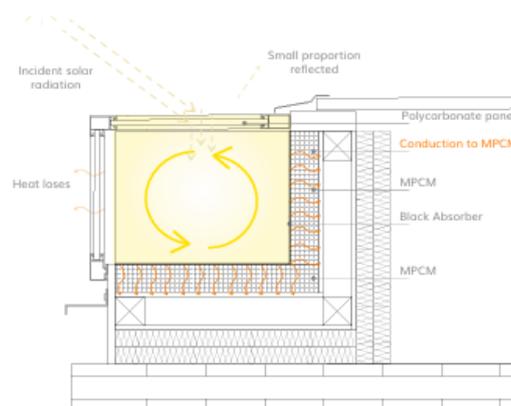


Ilustración 13: Sistema XALOC – generación propia

## **4.2. IMPLEMENTACIÓN Y METODOLOGÍA**

### **4.2.1. ANÁLISIS CLIMÁTICO DEL BARRIO**

Se realiza un estudio detallado de las condiciones climáticas de la ciudad de Valencia y de Wuppertal para determinar su funcionamiento en climas opuestos.

### **4.2.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

Se recuerda que en el apartado [3.1.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS] se detallan las características constructivas que determinan en gran medida la envolvente de la vivienda y por tanto afectan directamente a los resultados obtenidos para la carga térmica calculada.

### **4.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA**

Se diseña el sistema de HVAC y el sistema XALOC, incluyendo simulaciones y pruebas de eficiencia.

### **4.2.4. INSTALACIÓN Y MONITOREO**

Se implementan los sistemas propuestos en un prototipo como demostrador de vivienda seleccionados del barrio y monitoreo por medio de una aplicación web avanzada de su desempeño a lo largo del tiempo en Wuppertal.

### **4.2.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

Se analizan los datos recolectados para evaluar la eficiencia energética, el confort térmico y la sostenibilidad del sistema.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. ANÁLISIS CLIMÁTICO**

El diseño del proyecto contempla su versatilidad en climas completamente opuestos, asegurando un rendimiento óptimo tanto en las condiciones cálidas y secas de Valencia como en las frías y húmedas de Wuppertal. El clima del barrio del Cabanyal en Valencia y el de Wuppertal en Alemania presentan contrastes significativos que influyen en las estrategias de diseño y eficiencia energética del proyecto. Valencia está clasificada como Csa según la clasificación climática de Köppen, lo que corresponde a un clima mediterráneo con veranos calurosos y secos e inviernos suaves (Peel et al., 2007). La temperatura media anual en Valencia es de 18°C, con veranos intensamente cálidos. En cambio, Wuppertal está clasificada como Cfb, lo que indica un clima oceánico templado, caracterizado por inviernos fríos y veranos moderados, con una temperatura media anual de 10,5°C y una media de 2°C en el mes más frío (Kottek et al., 2006). Además, la precipitación en Wuppertal es aproximadamente tres veces mayor que en Valencia y está distribuida uniformemente a lo largo del año, mientras que en Valencia las lluvias son más estacionales. Estos factores climáticos demandan diferentes enfoques para el aislamiento, la ventilación y el control térmico en las viviendas, garantizando la adaptabilidad del diseño a las condiciones extremas de ambos climas.

En las Ilustraciones 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se presentan las diferencias en temperatura (°C), humedad relativa (%) y radiación global horizontal (W/m<sup>2</sup>) que describen el comportamiento climático:

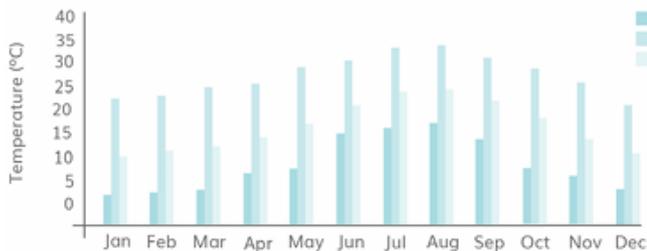


Ilustración 14: Distribución de temperaturas (°C) en Valencia en Julio de 2021 – Agencial Estatal de Meteorología (AEMET)

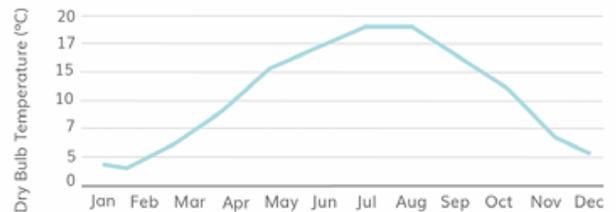


Ilustración 15: Distribución de temperaturas (°C) en Wuppertal en Julio de 2021 - Deutscher Wetterdienst (DWD)

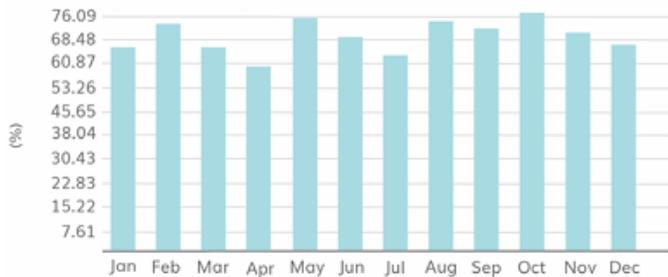


Ilustración 16: Humedad relativa (%) en Valencia en Julio de 2021 – Agencial Estatal de Meteorología (AEMET)

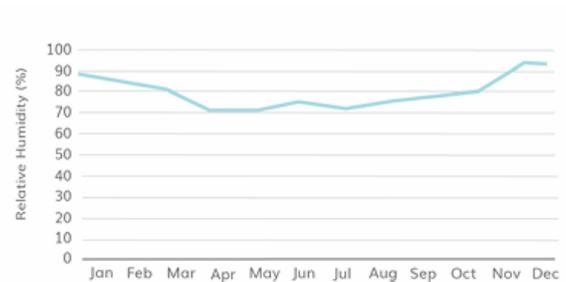


Ilustración 17: Humedad relativa (%) en Wuppertal en Julio de 2021 - Deutscher Wetterdienst (DWD)

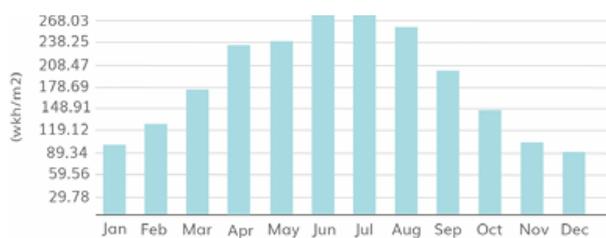


Ilustración 18: Radiación solar (kWh/m<sup>2</sup>) en Valencia en Julio de 2021 – Agencial Estatal de Meteorología (AEMET)

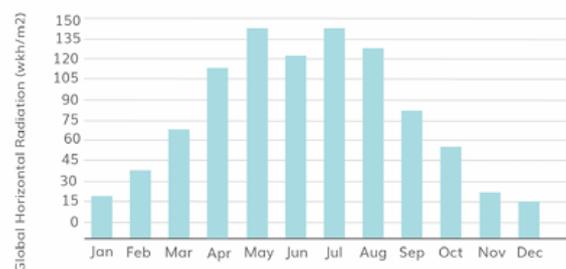


Ilustración 19: Radiación solar (kWh/m<sup>2</sup>) en Wuppertal en Julio de 2021 - Deutscher Wetterdienst (DWD)

## 5.2. ANÁLISIS PSICROMETRÍCO DETALLADO

Valencia tiene veranos cálidos e inviernos suaves. La temperatura media en Valencia es de 16,8 °C, con una temperatura media en el mes más frío de 10,4 °C y en el mes más cálido de 24,5 °C. La precipitación anual es de 445 mm, la mayor parte de la cual (190 mm) ocurre en septiembre, octubre y noviembre, con meses de verano especialmente secos. Los vientos pueden alcanzar

velocidades de hasta 20 m/s y siempre se distribuyen de oeste a este en invierno y de este a oeste en verano, debido al efecto del mar. La radiación anual recibida es de 1861,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Tabla 2: Porcentaje de influencia en las necesidades térmicas para el invierno y verano en Valencia – generación propia

INVIERNO		VERANO	
Medida	% influencia	Medida	% influencia
Calefacción y Humidificación	60,4	Deshumidificación	52,1
Aumento de cargas internas	33,6	Ventilación Adaptativa	38,1
Ganancias solares pasivas	19		

Wuppertal está ubicada en la zona Cfb según la clasificación de Köppen, caracterizada por inviernos fríos y veranos suaves. La temperatura media de la ciudad es de 10.5 °C, con una temperatura media del mes más frío que ronda los 2 °C y que nunca alcanza los 20 °C. La precipitación es tres veces mayor que en Valencia y se distribuye de manera más uniforme a lo largo del año. Los meses más secos son la primavera y el verano, aunque los valores son más similares a los altos niveles de precipitación en Valencia. Además, los fuertes vientos de Valencia son reemplazados por brisas de componente sur de 4 m/s que rara vez superan los 14 m/s. La radiación anual promedio en el área alcanza la mitad de la radiación total de Valencia, con 942 kWh/m<sup>2</sup>.

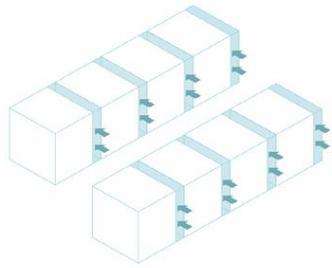
Tabla 3: Porcentaje de influencia en las necesidades térmicas para el invierno y verano en Wuppertal – generación propia

Medida	% influencia
Ganancias internas	57,3
Ventilación adaptativa	17,1
Sombreado de ventanas	12,8

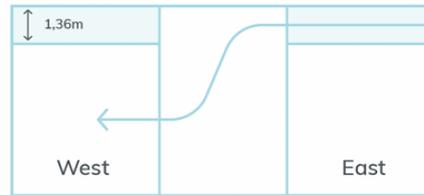
### 5.3. MEDIDAS Y ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

#### 5.3.1. ORIENTACIÓN

La orientación de la vivienda es crucial en el cálculo de las cargas térmicas. En el *Anexo 3 Selección de la orientación óptima según la demanda de climatización* se obtiene el desarrollo de la orientación óptima para minimizar la demanda térmica con las opciones disponibles. La vivienda se orienta según la envolvente solar, con una fachada orientada a -114° E y la otra a 66° W, maximizando el aprovechamiento solar y reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración.



*Ilustración 20: Uso de Escalà para mejorar la ventilación natural – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*



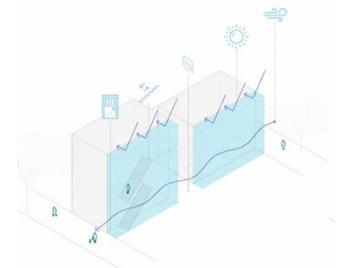
*Ilustración 21: Uso de la orientación para mejorar la ventilación natural – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

### 5.3.2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Se utilizan tecnologías de aislamiento reciclado de algodón y paja de arroz, logrando una transmitancia térmica de  $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ , lo que reduce significativamente la pérdida de calor.

### 5.3.3. ESCALÀ

Este espacio entre medianeras actúa como un amortiguador térmico, minimizando las fluctuaciones de temperatura en la zona acondicionada. En la Ilustración 22 se puede observar cómo Escalà favorece la ventilación natural.



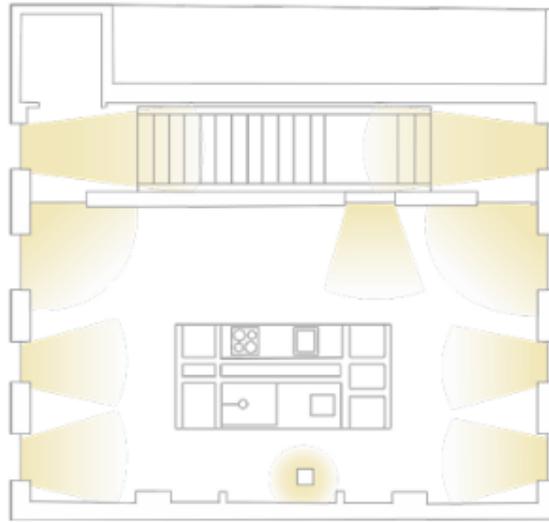
*Ilustración 22: Escalà – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

### 5.3.4. VENTILACIÓN NATURAL

Aprovecha el sistema Xaloc y la disposición de ventanas enfrentadas para optimizar la ventilación cruzada, mejorando el confort en días calurosos sin necesidad de sistemas activos.

### 5.3.5. ABERTURAS Y VENTANAS

Las ventanas son de triple acristalamiento y están orientadas estratégicamente para maximizar la luz natural y la ventilación.



*Ilustración 23: Fuentes de luz natural – Equipo de Arquitectura. Azalea UPV*

#### **5.3.6. SOMBRAS Y CONTROL SOLAR**

El uso y control de las sombras se controla conforme lo explicado en el apartado [3.1.3. SOMBRAS Y CONTROL SOLAR] para reducir la demanda de climatización y mantener la iluminación en el interior. Estos valores se tienen en cuenta en la simulación genética que se lleva a cabo para determinar la demanda de climatización de la vivienda.

#### **5.4. ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO**

Las estrategias de control para la reducción del consumo energético en el proyecto están diseñadas para maximizar la eficiencia y reducir el gasto energético mediante un sistema de gestión inteligente y una serie de herramientas de optimización. Este enfoque integral permite una administración detallada y eficaz del consumo de energía en la vivienda.

### 5.4.1. SISTEMAS DE GESTIÓN INTELIGENTE

El núcleo del control energético es una aplicación web avanzada que proporciona al usuario una interfaz como la mostrada en la Ilustraciones 24, 25 y 26 centralizada para gestionar varios aspectos del hogar.

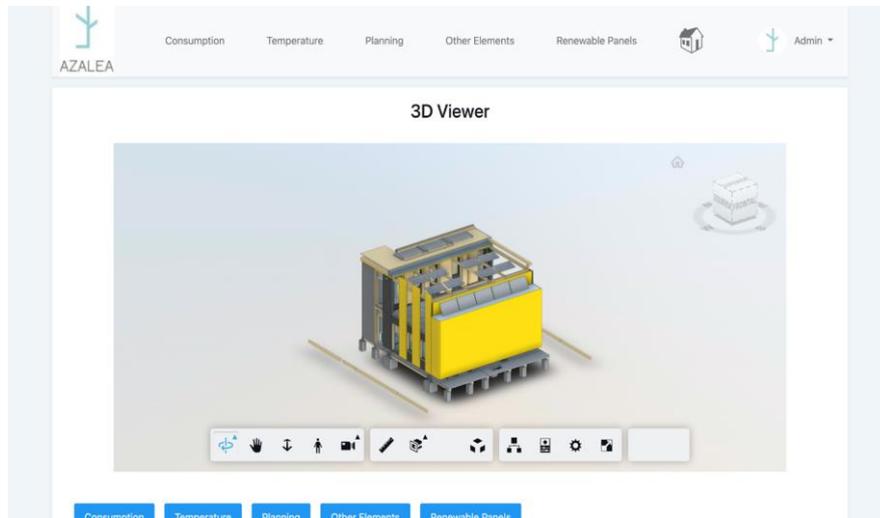


Ilustración 24: Visor 3D de la aplicación web – Equipo de Control. Azalea UPV

Esta aplicación permite a los residentes:

- **Monitorear la Temperatura Interior:**  
Controlar y ajustar la temperatura en tiempo real para asegurar un confort óptimo mientras se minimiza el consumo de energía (Kurnitski & Allard, 2011).
- **Supervisar el Consumo Energético:**  
Revisar el consumo actual y proyectado, ayudando a identificar patrones y áreas donde se puede reducir el uso de energía.
- **Gestionar la Iluminación y Sistemas de Energía:**  
Encender o apagar luces y ajustar otros sistemas energéticos, como la calefacción o el aire acondicionado, de manera remota y programada.

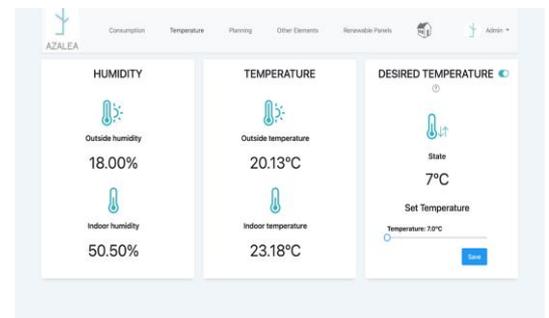


Ilustración 25: Panel de monitorización – Equipo de Control. Azalea UPV

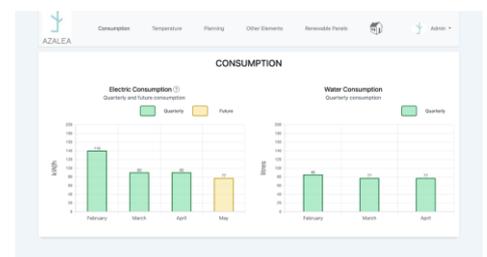


Ilustración 26: Sistema de recogida y muestra de datos de la vivienda – Equipo de Control. Azalea UPV

#### 5.4.2. PLANIFICADOR DE CONSUMO

Una herramienta clave en la estrategia de control es el planificador, que optimiza el uso de electrodomésticos y otros aparatos eléctricos. Este planificador:

- **Asigna Tiempos Óptimos de Funcionamiento:** Programa la activación de electrodomésticos para evitar los picos de demanda en la red eléctrica, reduciendo así el costo asociado al consumo durante las horas pico.
- **Proporciona Información Predictiva:** Ofrece recomendaciones basadas en el análisis de datos históricos y en tiempo real, ajustando los horarios de funcionamiento para lograr una eficiencia energética máxima.

#### 5.4.3. SISTEMA DE ASESORAMIENTO AUTOMÁTICO

Para apoyar la gestión activa del consumo, se implementa un sistema de asesoramiento que:

- **Proporciona Recomendaciones Personalizadas:** Basado en el estado actual de la vivienda y las previsiones meteorológicas, el sistema ofrece sugerencias específicas para reducir el consumo de energía. Por ejemplo, puede aconsejar sobre el ajuste de la temperatura o el uso eficiente de los sistemas de ventilación.
- **Monitorea y Analiza Variables Clave:** El sistema vigila continuamente las variables que afectan el consumo energético, como la temperatura exterior y la ocupación de la vivienda, para optimizar las recomendaciones y acciones sugeridas.

#### 5.4.4. INTERACCIÓN Y FEEDBACK

La aplicación web también incluye un módulo de feedback donde los usuarios pueden registrar sus hábitos de uso y preferencias. Esta retroalimentación permite al sistema ajustarse y mejorar continuamente las estrategias de gestión energética, ofreciendo una experiencia más personalizada y eficiente.

Estas estrategias de control están diseñadas no solo para reducir el consumo energético y los costos asociados, sino también para promover una mayor conciencia y participación de los usuarios en la gestión de su consumo energético. La integración de tecnología avanzada con un enfoque en la personalización y la eficiencia permite que el proyecto ofrezca una solución robusta y adaptable a las necesidades energéticas de los residentes.

El esquema de funcionamiento del modelo de planificador de tareas se detalla en la Ilustración 27.

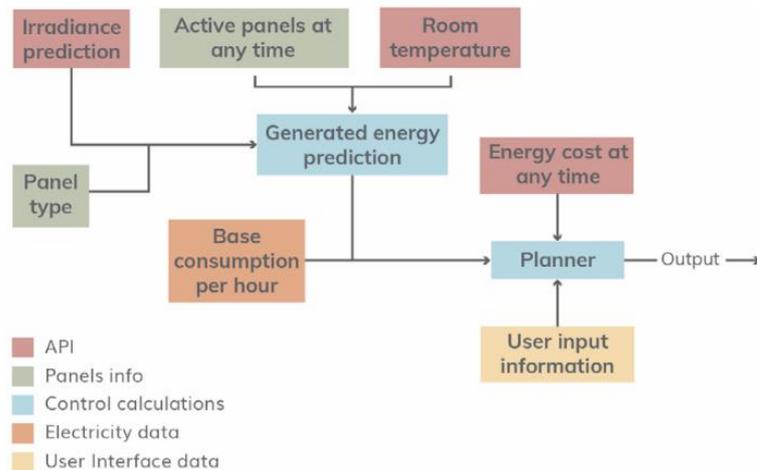


Ilustración 27: Esquema de principio del planificador de tareas – generación propia

## 5.5. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

El cálculo de las cargas térmicas es fundamental para el correcto dimensionamiento de los sistemas de climatización, ya que determina la cantidad de energía necesaria para mantener las condiciones de confort térmico en un espacio. En España, y específicamente en la ciudad de Valencia, este cálculo adquiere una relevancia particular debido a su clima mediterráneo, caracterizado por veranos calurosos e inviernos suaves. Una evaluación precisa de las cargas térmicas permite dimensionar adecuadamente los sistemas de calefacción y refrigeración, asegurando su eficiencia energética y reduciendo tanto el consumo de energía como los costos operativos. Además, un dimensionamiento correcto es esencial para cumplir con las normativas locales de eficiencia energética y sostenibilidad, garantizando que los sistemas instalados ofrezcan un rendimiento óptimo adaptado a las condiciones climáticas específicas de Valencia.

### 5.5.1. OCUPACIÓN

Tras analizar los perfiles de las personas que ocupan las distintas viviendas en el desafío de diseño, se elabora un perfil de ocupación promedio para cada premisa proyectada.

La selección del perfil promedio de ocupación para el cálculo de cargas térmicas en una vivienda unifamiliar incluye una evaluación detallada de varios factores que afectan el consumo energético. Este perfil no solo considera los horarios de presencia y actividad de los ocupantes, sino también el uso de iluminación y electrodomésticos, así como los horarios de uso de los termostatos. Se asume que, durante las horas de mayor actividad, como las mañanas y noches, se emplea una mayor cantidad de iluminación en áreas como la cocina y la sala de estar, lo que contribuye al calentamiento de los espacios. Además, el uso de electrodomésticos como estufas, hornos, y equipos electrónicos puede generar calor adicional. Los termostatos suelen ajustarse para mantener temperaturas cómodas durante los periodos de presencia en la vivienda, con configuraciones específicas para calefacción y refrigeración que varían según la estación del año.

Por ejemplo, se considera que los termostatos están programados para una temperatura más alta en invierno y más baja en verano, influenciando significativamente las cargas térmicas requeridas.

El perfil de consumo proporciona una visión precisa de cómo los distintos aspectos del uso de la vivienda impactan en las necesidades de calefacción y refrigeración, permitiendo un cálculo más exacto de las cargas térmicas.

Para este perfil promedio, se evalúan diferentes horarios. Estos horarios, al ser introducidos en Open Studio, se ingresan en una forma normalizada.

#### 5.5.1.1. HORARIO DE OCUPACIÓN

El número 1 corresponde a ocupación completa y el número 0 indica que no habría ocupación en la vivienda.

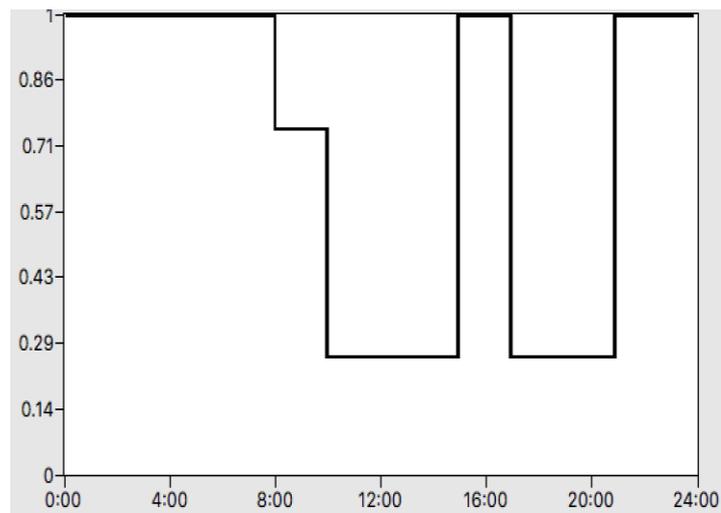


Ilustración 28: Horarios de ocupación del prototipo – generación propia

### 5.5.1.2. HORARIO DE ILUMINACIÓN Y ELECTRODOMESTICOS

El número de luminarias encendidas según la hora del día y el número de electrodomésticos encendidos se indica de 0 a 1 en relación con el número total de luminarias encendidas.

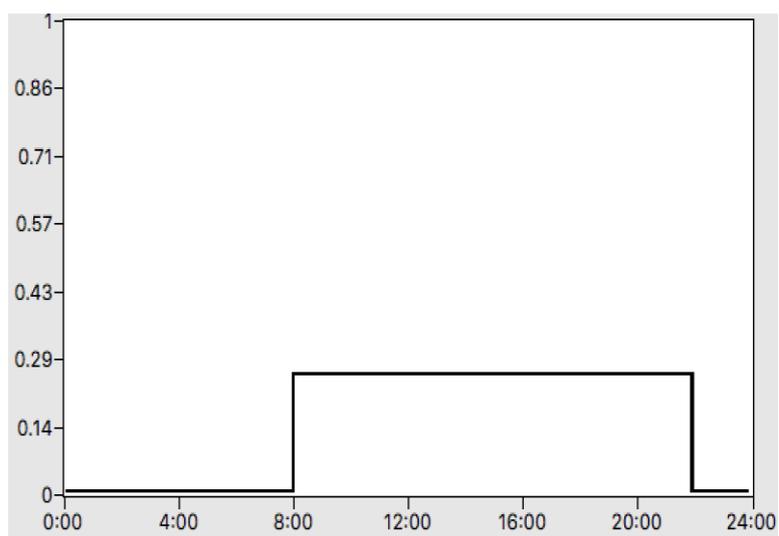


Ilustración 29: Horario de uso de los electrodomésticos del prototipo – generación propia

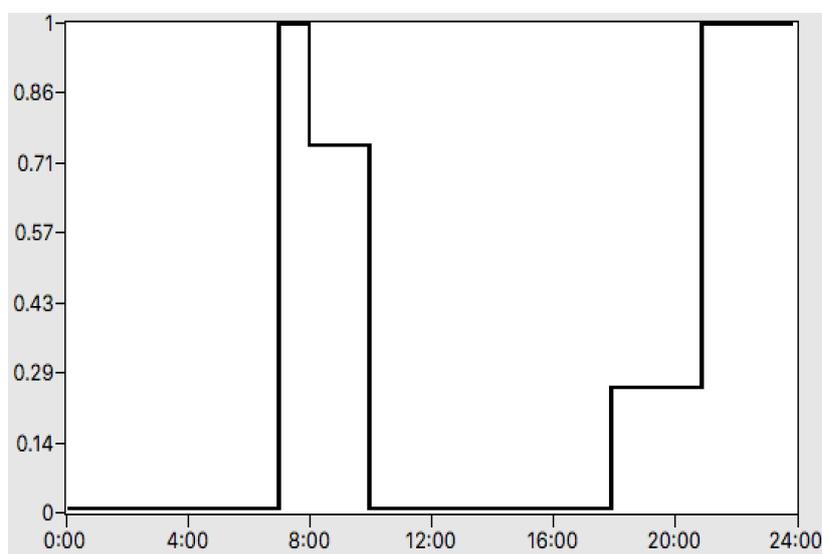


Ilustración 30: Horario de uso de luminarias del prototipo – generación propia

### 5.5.1.3. HORARIOS DE TERMOSTATOS

El termostato envía la señal a las unidades de aire acondicionado para la climatización de la vivienda. Así, para optimizar la eficiencia en calefacción y refrigeración, el Código Técnico de la Edificación (CTE) establece que la temperatura interior debe mantenerse en 21°C durante el invierno y no superar los 26°C en verano. Estas recomendaciones, detalladas en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), ayudan a equilibrar el confort con la eficiencia energética (CTE, BOE núm. 292, de 7 de diciembre de 2006).

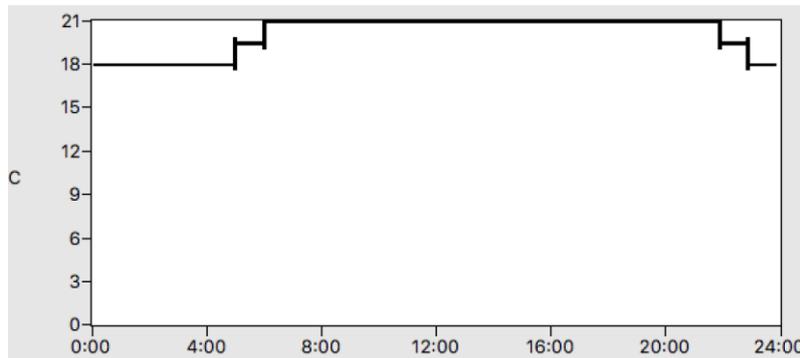


Ilustración 31: Horario de uso de calefacción del prototipo – generación propia

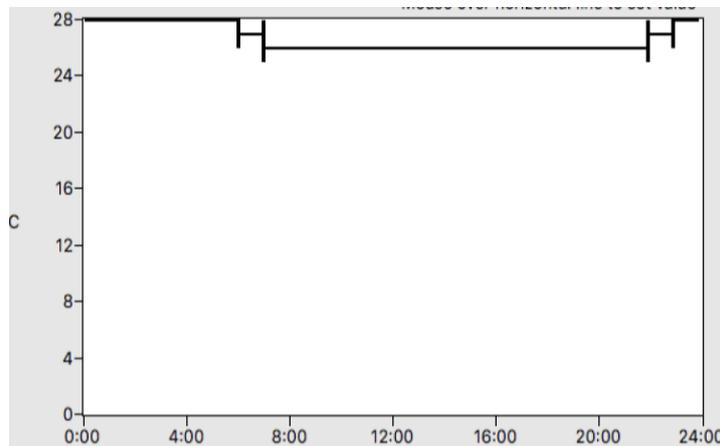


Ilustración 32: Horario de uso de refrigeración – generación propia

#### 5.5.1.4. CARGA TÉRMICA POR OCUPACIÓN

Dependiendo de la actividad de las personas dentro de la vivienda, emitirán más o menos calor. Esto implica una emisión de 50 W por persona en reposo y 180 W por persona en actividad moderada de pie.

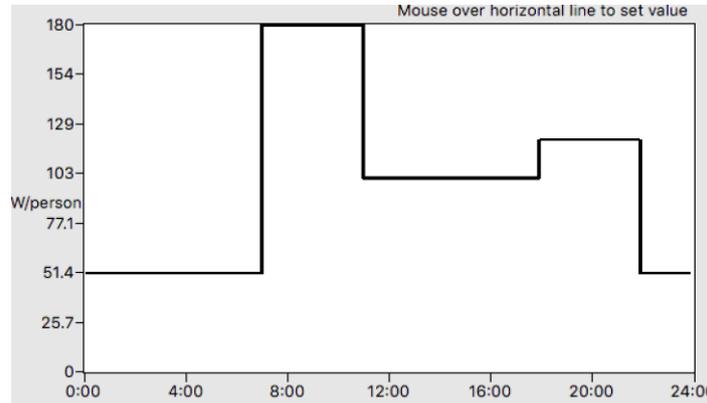


Ilustración 33: Horario de actividad de ocupantes del prototipo – generación propia

#### 5.5.1.5. CARGA TÉRMICA POR ILUMINACIÓN

La instalación de iluminación está diseñada con una densidad de potencia aproximada de 5 W por metro cuadrado, lo que asegura un equilibrio entre la cantidad de luz necesaria y el consumo energético. Este valor es adecuado para la mayoría de los espacios, garantizando una iluminación eficiente y cumpliendo con normativas de eficiencia energética. Aunque es una aproximación estándar, puede ajustarse según las necesidades específicas del espacio y las tecnologías de iluminación utilizadas.

### 5.5.2. AISLANTE UTILIZADO

La envolvente está compuesta por una serie de módulos. Estos módulos están formados por una estructura de madera, un material aislante en el interior y una lámina impermeable que lo cubre en el exterior.

#### 5.5.2.1. ALGODÓN RECICLADO

El algodón reciclado se ha utilizado como material aislante en los módulos que cubren el área habitada de la vivienda. Se trata de un material reutilizado que proviene del reciclaje y regeneración de restos de ropa de la industria textil y que viene empaquetado tal y como se muestra en la Ilustración 34. El nombre de la empresa proveedora es RMT Insulation, y el producto se llama NITA-COTTON.

Este aislamiento tiene una alta capacidad de aislamiento térmico y acústico, es duradero, transpirable y libre de agentes tóxicos. También cuenta con un tratamiento antifúngico y

otro para retardar la propagación del fuego. Está compuesto por un 85% de fibras de algodón, siendo el resto otras fibras textiles.

Se ha introducido en los módulos con una densidad de 30 kg/m<sup>3</sup>, con el fin de asegurar el correcto aislamiento. A continuación, se puede ver cómo es este producto en "Figura XX. Algodón reciclado", y también las principales características técnicas en la Ilustración 35. Datos técnicos del algodón reciclado".



Ilustración 34: Algodón reciclado – RMT Insulation

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Características técnicas		Grosor (mm)	Densidad	
			13,8 kg / m <sup>3</sup>	20 kg / m <sup>3</sup>
Conductividad térmica "λ"	W / (m·K)	-	0,045	0,042
Resistencia térmica	(m <sup>2</sup> ·K) / W	100	2,22	2,38
		150	3,33	3,57
		200	4,44	4,76
		250	5,56	5,95
		300	6,67	7,14
		350	7,77	8,33
Coefficiente de resistencia a la difusión del vapor de agua	μ	-	1	1
Absorción de agua	EN 1609 (kg / m <sup>2</sup> )	-	-	6,66
Higroscopicidad	% de su peso	-	hasta un 24 %	hasta un 24 %
Reacción al fuego	UNE-EN-ISO 11925-2	-	B-s2, d0	B-s2, d0
Resistencia a los hongos	EOTA Anexo C	-	0	0

Ilustración 35: Ficha técnica del algodón reciclado – RMT INSULATIONS

#### 5.5.2.2. PAJA DE ARROZ

En los módulos que conforman el Escalà y la sala de máquinas, se ha seleccionado la paja de arroz como material aislante. Este material se obtiene de los restos vegetales generados tras la cosecha del arroz, y se considera un aislante natural, innovador, ecológico y local.

En la Albufera de Valencia, una región conocida por sus extensas áreas de cultivo de arroz, cada año entre julio y septiembre se lleva a cabo la cosecha. Durante este proceso, además del cereal, se obtiene la paja de arroz, que son los restos vegetales de la planta que no se utilizan como alimento. Tradicionalmente, para eliminar estos residuos de los campos, los agricultores realizan quemadas controladas entre octubre y diciembre. Estas quemadas producen grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, lo que constituye un problema de contaminación local en los municipios cercanos a la Albufera, incluida Valencia (Gómez et al., 2022).

El uso de la paja de arroz como aislamiento permite reutilizar residuos agrícolas, evitando así su quema y la consecuente emisión de CO<sub>2</sub>. Para el proyecto del Escalà, se adquirieron 3000 kg de paja de arroz, evitando la emisión de aproximadamente XX kg de CO<sub>2</sub> (Fernández et al., 2023).

El proceso seguido para obtener el aislamiento final es el siguiente: se contactó a un agricultor de la Albufera para adquirir 3000 kg de paja de arroz tras la cosecha. Posteriormente, la paja fue trasladada a la universidad y sometida a un proceso de secado al aire natural, reduciendo su humedad relativa por debajo del 15%. Finalmente, la paja seca fue introducida en los módulos del Escalà y de la sala de máquinas con una densidad aproximada de 80 kg/m<sup>3</sup> (Ayuntamiento de Valencia, 2021).

Para verificar la eficacia de la paja de arroz como material aislante, se realizaron pruebas en los laboratorios de la UPV en Alcoy, obteniéndose datos técnicos relevantes. Una muestra del material probado se puede observar en la Ilustración 36.



*Ilustración 36: Test de paja de arroz – generación propia*

### **5.5.3. ORIENTACIÓN**

En cuanto a la orientación, aunque debe ser óptima, está limitada por las características de la parcela en el barrio del Cabanyal. En el contexto del SDE, no existen restricciones específicas de orientación. Sin embargo, para obtener el mejor resultado en el marco del SDE, se realiza un cálculo de orientación óptima en el *Anexo 3 Selección de la orientación óptima según la demanda de climatización*, con el objetivo de minimizar la demanda de climatización. Entre todas las opciones, se selecciona aquella que cumple con las restricciones de la parcela estudiada en este proyecto. Finalmente, se elige una orientación este-oeste, que favorece la ventilación natural y, por lo tanto, reduce la demanda de climatización anual. Esta disposición se tiene en cuenta en la simulación genética que se lleva a cabo para determinar la demanda de climatización de la vivienda.

#### 5.5.4. RATIO DE VENTANAS

Como se explica en el capítulo [3.1.5.RATIO DE VENTANAS] se ha desarrollado un diseño arquitectónico pensando en el ratio de ventanas que permite introducir la radiación solar necesaria para mantener la iluminación interior sin afectar a la demanda energética total de la vivienda. Estos valores se tienen en cuenta en la simulación genética que se lleva a cabo para determinar la demanda de climatización de la vivienda.

#### 5.5.5. VENTILACIÓN

Nuestra intención en el sistema de ventilación es priorizar la eficiencia y el confort en la vivienda, dimensionando el sistema según los criterios de Passive House (Passivhaus Institut, 2023). No obstante, debido a la pandemia de Covid-19, también hemos dimensionado el sistema conforme a las recomendaciones europeas para Covid-19 en viviendas y locales, establecidas por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2021). De esta manera, el sistema de ventilación se adapta a las circunstancias de emergencia sanitaria. Por otro lado, la competición requiere que el sistema mantenga una concentración de CO<sub>2</sub> no superior a 750 PPM, por lo que hemos diseñado nuestro sistema para cumplir también con este criterio.

Este dimensionamiento se realizó siguiendo la normativa española, el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios), para una calidad del aire interior IDA 2. La clasificación IDA 2 en el RITE se refiere a un nivel intermedio de calidad del aire interior que exige ciertos parámetros para garantizar un ambiente saludable. Según la legislación española para locales públicos, se indica que para mantener el nivel de CO<sub>2</sub> en ppm por debajo de 500, se necesita un caudal proporcional a la superficie a ventilar. Además, dado que según el concurso de calidad del aire se otorga la máxima puntuación si el interior de la vivienda se mantiene por debajo de 750 ppm de CO<sub>2</sub> y sabiendo que para una calidad del aire de IDA 3 los requisitos de caudal son diferentes (ASHRAE, 2020), obtenemos el caudal que se debe proporcionar a la vivienda para mantener la calidad del aire por debajo de 750 ppm de CO<sub>2</sub>.

Tabla 4: Partículas por millón de CO<sub>2</sub> en la habitación dependiendo de la calidad del aire y el caudal de ventilación

	ppm	dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup>	Required Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Ren/h
IDA 2	500	0.83	169.05	1.15
Contest	750	0.597	121.53	0.83
IDA 3	800	0.55	112.02	0.76

De esta manera, existen 3 criterios de caudal diferentes: Las condiciones establecidas por el concurso para mantener los niveles de CO<sub>2</sub> de la vivienda por debajo de 750 ppm, y tanto el IDA 3 en funcionamiento como el IDA2, para un caso de emergencia sanitaria donde es conveniente aumentar el caudal de ventilación.

La tabla a continuación muestra los requisitos mínimos de caudal para los modos de funcionamiento:

*Tabla 5: Tasa de flujo de ventilación y cambio de aire por hora según el modo de operación.*

	Required Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Ren/h
<b>Passivhaus</b>	88.26	0.600
<b>Contest</b>	121.53	0.83
<b>IDA 2</b>	169.05	1.15

Debido a los requisitos de caudal establecidos, hemos decidido incorporar la unidad de recuperación de calor SIBER DF EVO 2, que ofrece un caudal máximo de 200 m<sup>3</sup>/h y una eficiencia del 99%. Esta elección responde a una limitación de espacio en las instalaciones; el equipo seleccionado es la única solución comercial que se adapta a las dimensiones restrictivas del área disponible. Con una anchura de solo 21 cm, el SIBER DF EVO 2 se ajusta perfectamente a la pared técnica, cumpliendo con las exigencias de espacio sin comprometer el rendimiento. Para una visualización detallada de esta restricción, se puede consultar el *Plano 5 -Sección interior del sistema de HVAC*. La unidad de recuperación de calor tiene una presión estática nominal disponible de 200 Pa, que es suficiente para contrarrestar las pérdidas de carga del sistema. Calculamos las pérdidas de carga del sistema utilizando la regla del diámetro equivalente para conductos rectangulares, asegurándonos de no superar el límite regulado por la normativa española de 4 m/s.

*Tabla 6: Pérdidas de carga del sistema de ventilación – generación propia*

Loss origin	Meters	Equivalent diameter (mm)	Flow in each section	Flow speed (m/s)	Loss per meter from Abacus (Pa/m)	Total pressure loss (Pa)
<b>Rectangular polypropylene duct</b>	12	80.85	60.5	3.27	3.3	54.45
<b>Circular polypropylene duct</b>	29	N/A	121	2.74	1.7	53.55
<b>Accessories</b>	N/A	N/A	60.5		N/A	50
					Total	157.95

Al calcular las dimensiones de los conductos de ventilación, se ha tenido en cuenta que, para el Código Técnico de la Edificación español, se recomienda una velocidad del aire de menos de 4 m/s. Así, de acuerdo con la Ecuación 1 se calcula el área de paso necesario para el caudal más desfavorable:

*Ecuación 1: Cálculo del caudal volumétrico de la ventilación mecánica forzada*

$$Qv = A \times v$$

- **(Qv):** Caudal volumétrico (volumen de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo), medido en m<sup>3</sup>/h.
- **(A):** Área de la sección transversal por donde fluye el fluido, medida en m<sup>2</sup>.
- **(v):** Velocidad del fluido a través de la sección, medida en m/s.

*Tabla 7: Condiciones de diseño de los conductos de ventilación – generación propia*

	Required Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Design velocity (m/s)	Minimum cross section (mm <sup>2</sup> )	Minimum diameter (mm)	Nominal diameter (mm)	Actual velocity (m/s)
<b>Common sections</b>	121.6	4	8 445.1	103.7	110	3.56

Para las secciones individuales restantes, como los dos conductos de extracción y el conducto de extracción del baño, tendrán las mismas dimensiones que el conducto calculado anteriormente. En cuanto al aislamiento de los conductos, estarán cubiertos por una capa de aislamiento con un grosor mínimo de 3,5 mm, que se añadirá alrededor de todo el perímetro para mejorar las condiciones térmicas y acústicas del fluido.

*Tabla 8: Cálculo de la sección de impulsión – generación propia*

	Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Design velocity (m/s)	Minimum diameter (mm)	Nominal diameter (mm)	Actual velocity (m/s)
<b>Impulsion section</b>	60.8	3	5 630.1	5 700	2.96

Para la distribución, se utilizan dos conductos para la descarga desde un colector. Para la extracción, se utilizan 3 conductos. Así, para el caso más desfavorable, el caudal se divide por 2 y se calcula la sección transversal requerida. Se prueba un conducto rectangular de 50x114 para verificar la velocidad del aire en los conductos; en este caso, se calcula para una velocidad interna de 3 m/s.

### 5.5.6. DEMANDA DE ENERGÍA ÚTIL

La simulación de la demanda de energía útil permite calcular la cantidad de energía necesaria para mantener las condiciones de confort térmico dentro de un edificio, considerando exclusivamente las características arquitectónicas y de la envolvente. Este análisis incluye factores como el aislamiento térmico, la orientación, las ganancias solares y las cargas internas, sin tomar en cuenta las pérdidas o las eficiencias de los sistemas mecánicos. Los resultados obtenidos de esta simulación son esenciales para evaluar la efectividad de las estrategias pasivas de diseño, como la selección de materiales aislantes o la optimización de la orientación del edificio, proporcionando una visión clara del comportamiento térmico del edificio bajo diferentes condiciones climáticas.

Las simulaciones presentadas en las Tablas 9, 10 y 11 se han desarrollado siguiendo los criterios de evaluación del Solar Decathlon Europe (SDE) detallados en el *Anexo 4 Reglas de la competición SDE*, con especial atención a los siguientes apartados:

- **[RULE 7\_ Energy]:** Establece que las fuentes de energía permitidas son exclusivamente eléctricas, compatibles con sistemas de almacenamiento térmico, y prioriza el uso de medidas pasivas sobre activas para mantener las condiciones de confort en el interior de la vivienda.
- **[RULE 10\_ MONITORING]:** Describe los sensores utilizados para recopilar información durante la competición, a los cuales se puede acceder para activar las lógicas de control que influyen directamente en la demanda energética final, reflejada en las Tablas 10 y 11.
- **[RULE 17 \_ CONTEST 3: ENERGY PERFORMANCE]:** Evalúa la eficiencia energética de las unidades que mantienen los niveles de confort, condiciones y funcionalidades, considerando además la flexibilidad, suficiencia y el impacto ambiental.
- **[RULE 21\_ CONTEST 7: COMFORT]:** Especifica los rangos necesarios para mantener la vivienda en condiciones óptimas de confort.
- **[RULE 24\_ CONTEST 10: INNOVATION]:** Define los parámetros que se consideran innovaciones dentro del proyecto, como el sistema Xaloc, detallado en la sección [4.7.9 XALOC] del presente documento.

Estas reglas han sido fundamentales en la realización de las simulaciones y en la interpretación de los resultados obtenidos.

Tabla 9: Simulación de la demanda de energía útil (demanda de calefacción/refrigeración) en Wuppertal – generación propia

Location:	Wuppertal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating	kWh/M	341.4	259.3	149.7	5.875	5.298	0	0	0	0	13.43	215.5	338	1329
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	6.30	4.79	2.76	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	3.98	6.24	24.52
Cooling	kWh/M	0	0	0	0	0	2.28	61.58	111.75	95.78	4.56	0	0	276
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.14	2.06	1.77	0.08	0.00	0.00	5.09
DHW	kWh/M	140	129	142	134	133	121	119	116	113	120	122	134	1523
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	2.58	2.38	2.62	2.47	2.46	2.23	2.20	2.14	2.09	2.22	2.25	2.47	28.12

Tabla 10: Simulación de la demanda de energía final de energía en Wuppertal – generación propia

Location:	Wuppertal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
DHW	kWh/M	21.119	14.435	8.223	2.599	1.194	2.342	0	0.398	4.557	8.953	18.483	23.741	106
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.39	0.27	0.15	0.05	0.02	0.04	0.00	0.01	0.08	0.17	0.34	0.44	1.96
Ventilation fan consumption	kWh/M	37.7	34.06	37.7	36.48	37.69	24.307	25.107	25.107	36.46	37.68	36.48	37.7	406
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.70	0.63	0.70	0.67	0.70	0.45	0.46	0.46	0.67	0.70	0.67	0.70	7.50
Other auxiliary pumps, controls...	kWh/M	5.4179	4.8936	5.4179	5.2432	5.4179	5.2432	5.4179	5.4179	5.2432	5.4179	5.2432	5.4179	64
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.18
Usage related incl. lighting, household, office equipment...	kWh/M	108.36	97.872	108.36	104.86	108.36	104.86	108.36	108.36	104.86	108.36	104.86	108.36	1276
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	2.00	1.81	2.00	1.94	2.00	1.94	2.00	2.00	1.94	2.00	1.94	2.00	23.55
Mobility	kWh/M	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	13.68	164
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	3.03
Total	kWh/M	186.27	164.94	173.38	162.87	166.34	150.43	152.56	152.96	164.8	174.09	178.75	188.9	2016
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	3.44	3.04	3.20	3.01	3.07	2.78	2.82	2.82	3.04	3.21	3.30	3.49	37.22
	cumulative	3	6	10	13	16	19	21	24	27	30	34	37	

Tabla 11: Simulación de la demanda de calefacción y refrigeración final en Wuppertal

Location:	Wuppertal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating (electricity)	kWh/M	11.385	8.6493	4.9934	0.196	0.1767	0	0	0	0	0.4479	7.1884	11.274	44
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.21	0.16	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	0.21	0.82
Cooling (electricity)	kWh/M	0	0	0	0	0	0.0858	2.3175	4.2055	3.5974	0	0	0	10
	kWh/m <sub>cf</sub> a <sup>2</sup> M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.19

El análisis comparativo entre las simulaciones de la demanda de energía útil y la demanda de energía final revela una reducción significativa en el consumo energético tanto para la calefacción (Heating) como para la refrigeración (Cooling) en el edificio simulado para la localización de Wuppertal.

En cuanto a Heating (calefacción), la simulación de la demanda de energía útil indicaba un consumo anual de 1329 kWh/m<sup>2</sup>·a. Tras la optimización y simulación de la demanda de energía final, se observa una reducción notable hasta un valor de 44 kWh/a, equivalente a 0.82 kWh/m<sup>2</sup>·a. Esto representa una disminución aproximada del 96.69% en el consumo energético.

En el caso de Cooling (refrigeración), la simulación de la demanda de energía útil reflejaba un consumo nulo, lo cual es consistente con un diseño que prioriza medidas pasivas para evitar la necesidad de refrigeración activa. Sin embargo, la simulación de la demanda de energía final reporta

un consumo de 10 kWh/a, equivalente a 0.19 kWh/m<sup>2</sup>-a, lo que sugiere una ligera necesidad de refrigeración en ciertos periodos del año, probablemente durante los meses más cálidos.

El uso principalmente de las medidas pasivas incluyendo el sistema XALOC, explicado más adelante en la sección [4.7.9 XALOC] del presente documento llevan a una demanda energética muy reducida de consumo eléctrico. La instalación de autoconsumo integrada junto a las lógicas de control, las medidas pasivas y la alta eficiencia de los equipos de climatización activa pueden incluso llegar no solo a una vivienda de consumo cero si no que a un edificio que a lo largo del año genera más energía de la que se consume especialmente en los consumos más elevados que serían de generación de ACS y de climatización para mantener las condiciones de confort.

Se examina la aplicación de medidas pasivas y sistemas de eficiencia energética con el propósito de reducir el consumo eléctrico en edificaciones. En particular, el uso de medidas pasivas, tal como se detalla en la sección [4.7.9 XALOC] del documento, juega un papel crucial en la disminución de la demanda energética. La integración de sistemas de autoconsumo por medio de la fotovoltaica y solar térmica, junto con lógicas de control avanzadas, medidas pasivas y equipos de climatización de alta eficiencia, tiene el potencial de convertir una vivienda en una estructura de consumo energético cero.

Además, con la combinación de estos sistemas de autoconsumo, medidas pasivas, y climatización activa, es posible no solo alcanzar una vivienda con consumo energético nulo, sino también lograr que el edificio genere más energía eléctrica de la que consume durante el año. Esto puede resultar particularmente relevante en los periodos de alta demanda, como en la producción de ACS y en la climatización para mantener las condiciones óptimas de confort. Este excedente energético contribuye a la autosuficiencia energética del edificio y favorece la sostenibilidad al reducir la huella de carbono.

## **5.6. PRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA**

### **5.6.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

El consumo de calefacción y refrigeración pueden representar un gran porcentaje de la demanda total de energía del edificio presente en El Cabanyal. Los sistemas HVAC están diseñados para un rendimiento de máxima eficiencia, siendo capaces de reducir más de un 60% la demanda energética tanto en invierno como en verano.

### **5.6.2. EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA**

Para la evaluación precisa de la demanda de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS) del prototipo de la vivienda, se han considerado diversos factores, incluyendo datos detallados sobre la ventilación, el tipo de aislante utilizado en los módulos, y las especificaciones de las ventanas y puertas con doble y triple acristalamiento. También se ha tenido en cuenta el ratio de ventanas y el análisis climático específico del área.

Con base en esta información, se ha realizado una simulación genérica para modelar y analizar las demandas energéticas del prototipo. El modelo fue diseñado gráficamente en SketchUp y

simulado en OpenStudio. Para mejorar la capacidad de análisis y optimización, se incorporó un script externo de optimización paramétrica de EnergyPlus en OpenStudio, lo que permitió explorar una variedad de configuraciones y ajustar los parámetros del diseño para maximizar la eficiencia energética y el confort.

En el apartado [4.6. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS] se presenta el desarrollo de la simulación de la demanda de agua caliente sanitaria para una vivienda unifamiliar convencional. No obstante, nuestro diseño está sometido a criterios específicos establecidos por la competición Solar Decathlon Europe, que introduce requisitos adicionales. Se recuerda que estos criterios se pueden consultar en el *Anexo 4 Reglas de la competición SDE*. En esta competición, se deben cumplir diversas pruebas diarias que requieren agua caliente sanitaria, mientras que la climatización activa no está permitida, con el fin de evaluar exclusivamente la efectividad de las medidas pasivas implementadas en el diseño. Esto asegura que el rendimiento del prototipo sea evaluado bajo las condiciones estipuladas por el concurso, centrando la atención en la eficiencia y efectividad de las soluciones pasivas adoptadas.

### 5.6.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR AIRE – AGUA

En el marco de este trabajo de fin de grado, se ha llevado a cabo una comparativa exhaustiva de distintos sistemas de aerotermia disponibles en el mercado y detallados en el *Anexo 1 Evaluación de alternativas de aerotermia*, con el objetivo de seleccionar la mejor opción para un prototipo arquitectónico sostenible. Tras evaluar múltiples alternativas, se escoge principalmente el modelo Air Genia Max 6 de Saunier Duval debido a su uso del refrigerante natural R290 (propano).

Este modelo también se escoge debido a que destaca por su capacidad para alcanzar hasta 75°C en calefacción sin resistencias eléctricas, lo que garantiza una desinfección térmica eficaz y el cumplimiento del Real Decreto 865/2003 para la prevención de legionela. Además, su elevado coeficiente de rendimiento (COP), superior al de muchas otras marcas analizadas, y su alta potencia aseguran una climatización eficiente y rápida. La versatilidad del sistema de control, compatible con la domótica del prototipo, junto con su coste inicial, ligeramente superior pero compensado por un reducido periodo de retorno, consolidan al Air Genia Max 6 como la opción óptima para este proyecto.

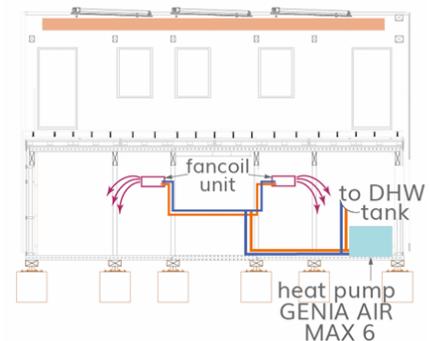


Ilustración 37: Esquema de climatización activa – generación propia

El sistema de aerotermia presentado, diseñado para su uso con fancoils y producción de ACS, destaca por sus elevados coeficientes de rendimiento (COP) y eficiencia energética (EER), esenciales para su aplicación en climas como el de Valencia y en el contexto del Solar Decathlon Europe en Wuppertal, Alemania. El sistema diseñado se muestra en la Ilustración 37. El COP para calefacción varía entre 4,10 y 5,38 bajo condiciones A7W35, donde la temperatura del aire exterior es de 7°C y la del agua en el sistema de calefacción es de 35°C, un escenario común para

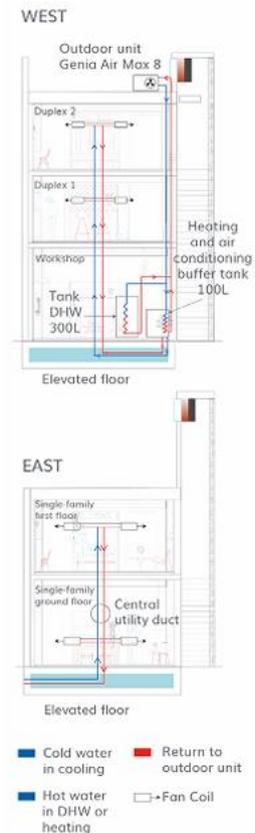
calefacción a baja temperatura. En refrigeración, el EER se sitúa entre 3,37 y 4,58 bajo condiciones A35W7, donde la temperatura del aire exterior es de 35°C y la del agua enfriada es de 7°C, ideal para sistemas de climatización en climas calurosos.

Adicionalmente, el sistema ofrece una potencia de calefacción que oscila entre 3,1 kW y 7,8 kW en condiciones A7W35 y una potencia de refrigeración de hasta 6,3 kW en condiciones A35W18 (35°C de aire exterior y 18°C de agua enfriada), lo que asegura una respuesta eficiente a diversas demandas térmicas. En condiciones más exigentes, como A7W55 (7°C de aire exterior y 55°C de agua en calefacción), el COP sigue siendo competitivo, con un valor de 2,93.

Su capacidad para alcanzar hasta 75°C en calefacción sin resistencias eléctricas y 70°C en ACS lo convierte en una solución idónea tanto para entornos residenciales como para aplicaciones en competencias de arquitectura sostenible, donde el equilibrio entre rendimiento y eficiencia es fundamental. La posibilidad de climatizar rápidamente los espacios es un beneficio crucial en entornos donde el confort inmediato es prioritario. Esta alta eficiencia térmica también resulta vital en la prevención de la legionela, ya que permite cumplir con el Real Decreto 865/2003, que establece la obligatoriedad del tratamiento térmico en los depósitos de agua, elevando la temperatura del agua a 70°C para eliminar bacterias. De esta manera, el sistema no solo garantiza confort y eficiencia, sino también seguridad sanitaria, proporcionando agua caliente segura y contribuyendo al cumplimiento de las normativas vigentes.

En la selección del sistema de aerotermia para el modelo Air Genia Max 6, se ha optado por el refrigerante R290 (propano) debido a sus excepcionales características ambientales y técnicas. El R290 es un refrigerante natural con un potencial de calentamiento global (GWP) de solo 20 a 100 años, lo que lo hace significativamente más ecológico en comparación con refrigerantes sintéticos como el R32, que tiene un GWP de 716 a 100 años (IPCC, 2021). Esta baja cifra de GWP refleja un impacto climático mucho menor, contribuyendo así a la sostenibilidad del sistema. Además, el R290 presenta una baja toxicidad y excelentes propiedades termodinámicas, lo que mejora la eficiencia energética del sistema (ASHRAE, 2020). Aunque es inflamable, con las medidas de seguridad adecuadas, el R290 ofrece una opción segura y conforme a las normativas ambientales actuales y futuras, proporcionando una solución duradera y eficiente para la aerotermia (EIA, 2022).

El sistema propuesto es completamente replicable y escalable para un mayor número de viviendas. Para adaptar el sistema a una mayor demanda, sería necesario incrementar la potencia del modelo de Aerotermia y ajustar el volumen del depósito de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en función de la demanda calculada. Este enfoque de escalabilidad se muestra en la Ilustración 38.



*Ilustración 38: Esquema de la propuesta de edificio compuesto por prototipos idénticos - generación propia*

Por otro lado, se añaden elementos para hacer un uso eficiente del agua caliente sanitaria por medio de un intercambiador de calor en el pie de ducha para reutilizar el agua caliente utilizada durante las duchas con agua caliente para reducir consumo de agua caliente sanitaria. Podemos ver el funcionamiento del sistema en la Ilustración 39.

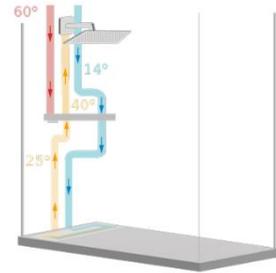


Ilustración 39: Esquema de la ducha pasiva – generación propia

#### 5.6.4. VASO DE EXPANSIÓN

En el sistema bajo análisis, se han dimensionado dos vasos de expansión debido a la presencia de válvulas motorizadas de tres vías que, al activarse, seccionan los circuitos. La segmentación de los circuitos implica que, en determinados momentos, parte del sistema podría quedar expuesto a golpes de ariete u otras fluctuaciones bruscas de presión, especialmente cuando las válvulas cierran de forma rápida. Por lo tanto, es necesario contar con vasos de expansión en ambos circuitos para garantizar la protección de todos los componentes.

Para una mayor comprensión de los circuitos del sistema de calefacción, refrigeración y generación de agua caliente sanitaria se recomienda consultar el *Plano 1 – Esquema de principio de climatización activa*, el *Plano 7 – Sección en planta del sistema de climatización* y el *Plano 9 – Esquema conceptual del sistema de HVAC*.

Para realizar el cálculo de los vasos de expansión, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- **Diámetro interior de las tuberías:** Se considera un diámetro de 28 mm para las tuberías que conectan la aerotermia con el depósito de ACS y el circuito de calefacción.
- **Volumen de los equipos y depósitos:** Se incluyen en el cálculo el volumen del depósito de ACS, las tuberías y otros elementos del sistema.
- **Volumen de seguridad:** En el contexto normativo español, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y el Código Técnico de la Edificación (CTE) no especifican explícitamente un porcentaje exacto de volumen de seguridad para los vasos de expansión. Sin embargo, el criterio del 20% es una práctica recomendada y ampliamente utilizada en la ingeniería de instalaciones térmicas y de climatización, basado en la experiencia técnica y en la normativa relacionada con la seguridad y el confort de las instalaciones térmicas. Se aplicó un volumen de seguridad del 20%, el cual se refiere al incremento del volumen total considerado para absorber posibles expansiones imprevistas o variaciones adicionales de presión no contempladas en las condiciones normales de operación.
- **Concentración de glicol:** El glicol suele ser una mezcla de etilenglicol o propilenglicol con agua, se utiliza principalmente para evitar la congelación del fluido en condiciones de baja

temperatura. Además, actúa como un anticorrosivo y mejora la estabilidad térmica del sistema. Sin embargo, su adición modifica las propiedades del fluido, aumentando el volumen de expansión requerido al calentarse. Sus valores típicos según la temperatura mínima histórica quedan reflejados en la Tabla 12.

Tabla 12: Concentración de glicol según la temperatura mínima histórica de la región

Glicol	Agua	Temperatura más fría
16%	84%	-0°C
24%	76%	-5°C
32%	68%	-10°C
40%	60%	-15°C
45%	55%	-20°C
50%	50%	-25°C
55%	45%	-30°C

- **Temperatura máxima de impulsión:** Se considera la temperatura máxima de operación del fluido impulsado por la bomba de calor para calcular la expansión volumétrica del fluido.
- **Presión Máxima de Funcionamiento de la Air Genia Max 6:** 3 bar.

La tabla anterior proviene de las recomendaciones técnicas del fabricante Saunier Duval para el correcto funcionamiento y dimensionamiento de los equipos.

A continuación, se describen las ecuaciones utilizadas para determinar la presión mínima ( $P_m$ ), la presión máxima absoluta ( $PM$ ) y el coeficiente de presiones ( $C_p$ ) del sistema:

Ecuación 1: Cálculo simplificado de la presión máxima de trabajo en sistemas de calefacción y vasos de expansión

$$PM = 0,9 \times P_t + 1$$

- **Presión máxima de trabajo (PM):** La presión máxima que el vaso de expansión.
- **Presión de operación (Pt):** Presión de trabajo o de tarado de la válvula de seguridad.
- **Margen adicional (0,9):** El "0,9" es un coeficiente de seguridad para evitar que la presión máxima alcance el valor de tarado.
- **Margen adicional (+1):** El "+1" representa un margen adicional para asegurar que el vaso de expansión y otros componentes manejen variaciones sin fallos.

Ecuación 2: Presión máxima en sistemas de calefacción

$$P_m = P_o + 1$$

- **Presión mínima de trabajo (Pm):** La presión mínima que el vaso de expansión.
- **Presión de operación (Po):** La presión normal durante el funcionamiento del sistema.

- **Margen adicional (+1):** El "+1" representa un margen adicional para asegurar que el vaso de expansión y otros componentes manejen variaciones sin fallos.

Ecuación 3: Cálculo del coeficiente de presión en sistemas de expansión

$$Cp = \frac{PM}{PM - Pm}$$

- **Presión máxima de trabajo (Cp):** Coeficiente de presión, que mide la relación entre la presión máxima del sistema y la diferencia entre la presión máxima y la presión mínima.
- **Presión máxima de trabajo (PM):** La presión máxima que el vaso de expansión.
- **Presión mínima de trabajo (Pm):** La presión mínima que el vaso de expansión.

Tabla 13: Coeficiente de expansión según composición del circuito

	Ce
Agua	0,0151
Agua + Glicol	0,0246

Ecuación 4: Cálculo del volumen del vaso de expansión

$$Ve = Vtotal \times Ce \times Cp$$

- **Volumen del vaso de expansión (Ve):** Es el volumen disponible para absorber la expansión del fluido.
- **Volumen total del sistema (Vtotal):** Incluyendo todos los componentes que contienen el fluido.
- **Coeficiente de expansión del fluido (Ce):** Indica cuánto se expande el fluido por unidad de incremento de temperatura.
- **Presión máxima de trabajo (Cp):** Coeficiente de presión, que mide la relación entre la presión máxima del sistema y la diferencia entre la presión máxima y la presión mínima.

#### 5.6.4.1. Cálculo para el circuito Aerotermia – Depósito

A continuación, se muestra el cálculo resumen para el circuito comprendido entre la aerotermia y el depósito principal. Para mayor detalle y comprensión del circuito, se recuerda consultar el *Plano 1 – Esquema de principio del sistema de climatización activa*, el *Plano 7 – Sección en planta del sistema de climatización*.

Tabla 14: Cálculo del volumen del vaso de expansión del circuito aerotermia – depósito de ACS – generación propia

1. Contenido total de agua del circuito			
1.1 Tuberías			
Diámetro interior	Volumen unitario	Longitud	Volumen
mm	litros/m	m	litros
28	0,6158	5,6	3
Contenido de agua en tuberías (litros)			3

1.2 Depósitos y Equipos	
Equipos / Depósitos	Volumen (L)
Altherma	294
Contenido de agua en depósitos y equipos (litros)	294

1.3 Contenido total	Volumen (L)
Tuberías	3
Depósitos y equipos	294
Volumen de seguridad (20%)	59
Contenido total de agua en el circuito (Litros)	357

2. Volumen útil del vaso de expansión	
Fluido	Agua + Glicol
Concentración del glicol (%)	40
Temperatura máxima (°C)	60
Coefficiente de expansión Ce	0,0246
Volumen útil Vu (Litros)	8,774398025

3. Volumen total del vaso de expansión	
Presión de tarado de la válvula de seguridad (relativa) (bar)	3,00
Presión mínima en el vaso de expansión (relativa) (bar)	0,50
Presión máxima PM (absoluta) (bar)	3,65
Presión mínima Pm (absoluta) (bar)	1,50
Coefficiente de presiones Cp	2,16

<b>Volumen total del vaso de expansión (Litros)</b>	<b>18,98</b>
---	--------------

<b>NOTAS</b>	
- Símbolos, unidades y definiciones según norma UNE 100155:2004	
- Coeficiente de expansión para agua según ecuación (7), válido entre 30°C y 120°C	
- Coeficiente de expansión para soluciones de glicol válido entre 65°C y 115°C	
- Coeficiente de expansión para soluciones de glicol válido entre 20% y 50% en volumen	

#### 5.6.4.2. Cálculo para el circuito de calefacción y refrigeración

A continuación, se muestra el cálculo resumen para el circuito comprendido entre la aerotermia Air Genia Max 6 y el circuito de calefacción hacia los Fancoils. Consulte *Plano 1 – Esquema de principio del sistema de climatización activa* y el *Plano 7 - Sección en planta del sistema de climatización*.

Tabla 14: Cálculo del volumen del vaso de expansión del circuito aerotermia – fancoils – generación propia

<b>1. Contenido total de agua del circuito</b>			
<b>1.1 Tuberías</b>			
<b>Diámetro interior</b>	<b>Volumen unitario</b>	<b>Longitud</b>	<b>Volumen</b>
<b>mm</b>	<b>litros/m</b>	<b>m</b>	<b>litros</b>
28	0,6158	26,4	16
Contenido de agua en tuberías (litros)			16

<b>1.2 Depósitos y Equipos</b>	
<b>Equipos / Depósitos</b>	<b>Volumen (litros)</b>
Altherma	294
Deposito inercia	20
Contenido de agua en depósitos y equipos (litros)	314

<b>1.3 Contenido total</b>	
Tuberías	16
Depósitos y equipos	314
Volumen de seguridad (20%)	66
Contenido total de agua en el circuito (litros)	396

<b>2. Volumen útil del vaso de expansión</b>	
Fluido	Agua + Glicol
Concentración del glicol (%)	40
Temperatura máxima (°C)	60
Coeficiente de expansión Ce	0,0246
Volumen útil Vu (litros)	9,742187788

<b>3. Volumen total del vaso de expansión</b>	
Presión de tarado de la válvula de seguridad (relativa) (bar)	3,00
Presión mínima en el vaso de expansión (relativa) (bar)	0,27
Presión máxima PM (absoluta) (bar)	3,65
Presión mínima Pm (absoluta) (bar)	1,27
Coeficiente de presiones Cp	1,954767109

## NOTAS

- Símbolos, unidades y definiciones según norma UNE 100155:2004
- Coeficiente de expansión para agua según ecuación (7), válido entre 30°C y 120°C
- Coeficiente de expansión para soluciones de glicol válido entre 65°C y 115°C
- Coeficiente de expansión para soluciones de glicol válido entre 20% y 50% en volumen

### 5.6.5. DEPÓSITO DE INERCIA

Para determinar el volumen adecuado del depósito de inercia ( $V_d$ ) en un sistema de calefacción, es fundamental tener en cuenta diversos factores críticos, como la demanda térmica del sistema, la capacidad total del sistema de calefacción y el perfil de carga.

El propósito principal de calcular este volumen es asegurar que el depósito pueda almacenar y regular adecuadamente la energía térmica necesaria para cubrir las necesidades del sistema. Un depósito de inercia bien dimensionado no solo optimiza el rendimiento del sistema al suavizar las variaciones en la carga térmica, sino que también mejora la eficiencia global al permitir una operación más estable y continua.

En aplicaciones específicas como el desescarche, donde se requiere una gestión eficiente del calor para derretir hielo o nieve acumulados, el depósito de inercia asegura que haya un suministro constante y eficiente de calor. Durante el invierno, la alta demanda térmica para el desescarche requiere un depósito con suficiente capacidad para manejar picos de demanda y mantener la temperatura adecuada, evitando la necesidad de recalentar el sistema desde cero. Por tanto, el dimensionamiento adecuado del depósito de inercia es crucial para garantizar la efectividad del proceso de desescarche y la eficiencia del sistema de calefacción en condiciones extremas.

*Ecuación 5: Cálculo del volumen del depósito de inercia*

$$V_d = \frac{Pot \times t \times 3600}{C_p \times \Delta T \times \rho}$$

- **Potencia Térmica del Sistema (Pot):** Potencia térmica del sistema (kW)
- **Duración de Funcionamiento en Horas (t):** Tiempo de funcionamiento en horas
- **Capacidad Calorífica del Agua (Cp):** Capacidad calorífica del agua (kJ/kg·°C)
- **Diferencia de Temperatura (ΔT):** Diferencia de temperatura en °C
- **Densidad del Agua (ρ):** Densidad del agua (kg/L)

Para dimensionar adecuadamente el depósito de inercia (Vd) en un sistema de calefacción y refrigeración, es esencial considerar la potencia térmica del sistema, el tiempo de funcionamiento y la diferencia de temperatura. A continuación, se detallan los cálculos para ambos escenarios, calefacción y refrigeración, con el objetivo de determinar el volumen necesario para garantizar una operación eficiente del sistema.

#### 5.6.5.1. Cálculo para el sistema de calefacción

- **Potencia calefacción media (Pot\_cal):** 5,1 kW
- **Tiempo de funcionamiento (t):** 10 horas, especificado en el cálculo de ocupación en las ilustraciones 27 y 28.
- **Diferencia de temperatura (ΔT):** 2°C

Aplicando la ecuación 5 del cálculo del volumen del depósito de inercia:

$$Vd = \frac{4,7 \times 10 \times 3600}{4,18 \times 2 \times 1000}$$
$$Vd = 20,23 L$$

#### 5.6.5.2. Cálculo para el sistema de refrigeración

- **Potencia refrigeración media (Pot\_ref):** 4,2 kW
- **Tiempo de funcionamiento (t):** 9 horas, especificado en el cálculo de ocupación en las ilustraciones 27 y 28.
- **Diferencia de temperatura (ΔT):** 2°C

Aplicando la ecuación 5 del cálculo del volumen del depósito de inercia:

$$Vd = \frac{4,2 \times 10 \times 3600}{4,18 \times 2 \times 1000}$$
$$Vd = 18,09 L$$

Finalmente se escoge el depósito de inercia de 20L comercial de Saunier Duval para unificar y compatibilizar sistemas.

#### 5.6.6. FANCOILS

La casa contará con dos fancoils de pared, dimensionados adecuadamente según la demanda energética respectiva. Los dos fancoils están dispuestos de forma simétrica de tal manera que toda el área a acondicionar está cubierta con la cantidad mínima de aire a soplar. Los fancoils utilizan agua a baja temperatura, lo que aumenta la eficiencia del sistema.

El sistema de fancoils EFC UV ha sido seleccionado para el prototipo Escalà por su combinación de características avanzadas e innovadoras que mejoran la eficiencia en la climatización. Utiliza agua a baja temperatura para una mayor eficiencia energética, incorpora nanotecnología en las bandejas de condensados con el "efecto loto" para reducir el mantenimiento y prevenir la proliferación de microorganismos, y emplea fotocatalisis activada por luz ultravioleta para una descontaminación eficaz del aire. Además, su capacidad para generar una alta presión de hasta 300 Pa permite una distribución uniforme del aire en grandes espacios sin compartimentos, haciendo del EFC UV la opción ideal para esta aplicación.

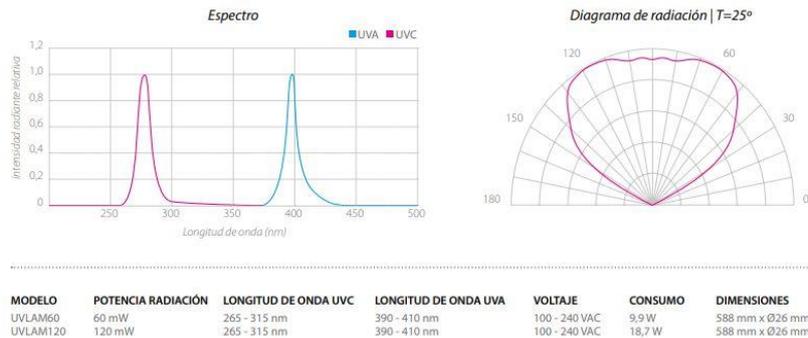


Ilustración 40: Espectro de rayos UV y diagrama de radiación - Fandeck

En el Fancoil EFC UV se ha implementado nanotecnología en la bandeja de recogida de condensados, utilizando el llamado "efecto loto". Durante su funcionamiento, estos equipos condensan, requiriendo una inclinación adecuada para la descarga del agua recogida en la bandeja. Sin embargo, no toda el agua fluye de manera óptima debido a la existencia de ángulos muertos causados por suciedad y óxidos. Estas áreas se convierten en focos perfectos para el desarrollo de bacterias y hongos que pueden afectar nuestra salud. La nanotecnología aplicada permite que las bandejas sean superhidrofóbicas, similar a la hoja de loto, repeliendo el agua y arrastrando la suciedad acumulada.

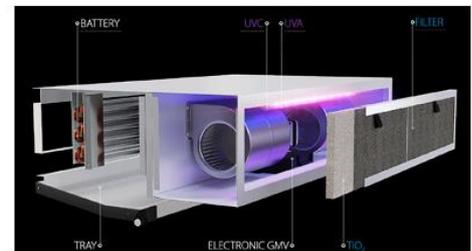


Ilustración 41: Fancoil EFC UV - Fandeck

Por otro lado, la fotocatalisis es un proceso natural de descontaminación, en el cual se convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador. El Fancoil EFC UV utiliza luz ultravioleta para activar el dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), lo que conduce a la formación casi instantánea de radicales hidroxilo (OH) y aniones superóxido ( $O_2^-$ ). Los radicales hidroxilo (OH) son los agentes oxidantes más potentes en la naturaleza, atacando agresivamente los enlaces de hidrógeno de carbono presentes en todas las moléculas orgánicas. Los aniones superóxido ( $O_2^-$ ) se forman cuando el  $O_2$  interactúa con el  $TiO_2$  bajo la luz, recibiendo un electrón extra. Estos aniones interactúan con  $NO_x$ , el principal gas de efecto invernadero responsable de la retención de calor, la lluvia ácida y el smog, eliminándolo del ambiente al reducirlo a nitratos benignos.

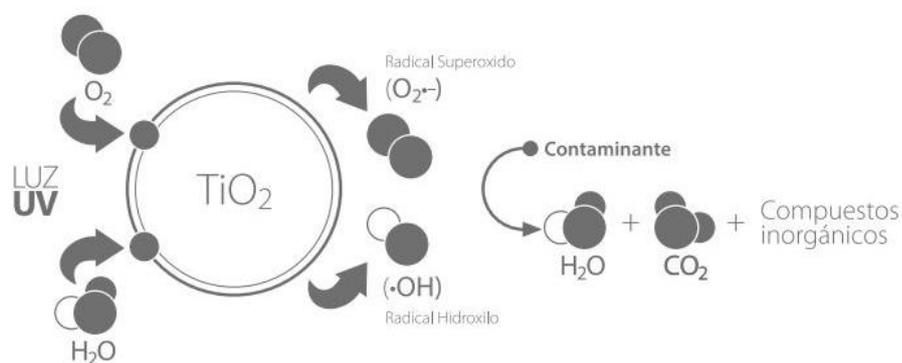


Ilustración 42: Mecanismo de la fotocatalisis heterogénea - Fandeck

### 5.6.7. SOLAR TÉRMICA

Se realiza una evaluación exhaustiva de distintos modelos y tipologías de colectores solares híbridos, colectores planos y tubos de vacío detallado en el *Anexo 2 evaluación de alternativas de colectores solares*. Para comprender mejor el diseño del sistema de solar térmica consultar el Plano 4 – Esquema de principio del sistema de solar térmica.

Según la normativa española, la demanda de ACS de referencia para edificios residenciales privados es de 28 litros/persona/día, a 60°C. El suministro de ACS de la casa se basa en una combinación de sistemas de energía solar térmica y aerotermia que están conectados al mismo depósito de ACS. Se seleccionan los paneles de tubos de vacío Viessmann 300-TM. Estos colectores tienen un buen rendimiento, con coeficientes de pérdida bajos, y pueden instalarse en superficies planas ya que permiten orientar el interior de los tubos. Se utilizan seis de estos paneles, cubriendo el 81% de la demanda de ACS. Tres de estos paneles están ubicados en el techo técnico a un ángulo de 35°, y los otros tres en el techo recreativo en la parte superior del Escalà. La parte interior de los tubos de vacío de los paneles colocados en el Escalà está posicionada a 25°. El sistema complementario para la producción de ACS es el sistema de aerotermia también utilizado para HVAC.



Ilustración 43: Panel Viessmann 300-TM - Viessman

#### 5.6.7.1. VASO DE EXPANSIÓN

El cálculo del vaso expansión para el circuito se realiza según las indicaciones de Viessmann a través de la siguiente ecuación:

*Ecuación 6: Cálculo del volumen del vaso de expansión del circuito de solar térmica*

$$V_{mag} = (V_{kol} + V_{drohr} + V_e + V_{fv}) \times D_f$$

- **Volumen nominal del depósito de expansión:** ( $V_{mag}$ ) en (L)
- **Volumen del fluido de los colectores:** ( $V_{kol}$ ) en (L)

- $V_{kol} = 0$  para instalaciones con Vitosol – FM/300
- **Contenido en las tuberías que reciben vapor:** ( $V_{drohr}$ ) en (L)
  - $V_{drohr} = 0$  para instalaciones con Vitosol – FM/300
- **Aumento del volumen del medio portador de calor en estado líquido:** ( $V_e$ ) en (L)
- **Líquido disponible en el depósito de expansión:** ( $V_{fv}$ ) en (L)
  - Debe ser el 4% del volumen de la instalación con valor un mínimo de 3L
- **Factor de presión:** ( $Df$ )

*Ecuación 7: Cálculo del aumento del volumen del medio portador de calor en estado líquido*

$$V_e = V_a \times \beta$$

*Ecuación 8: Cálculo del volumen contenido en la instalación*

$$V_a = V_{col} + V_{int.cal.} + V_{tub} = 8,2 \text{ litros}$$

*Ecuación 9: Cálculo del factor de presión*

$$Df = \frac{p_e + 1}{p_e - p_0}$$

- **Volumen del medio portador de calor en estado líquido:** ( $V_e$ ) en (L)
- **Volumen de la instalación (contenido en los colectores ( $V_{col}$ ), intercambiador de calor ( $V_{int.cal.}$ ) y tuberías ( $V_{tub}$ )):** ( $V_a$ ) en (L)
- **Coefficiente de expansión:** ( $\beta$ )
  - $\beta = [0,1 - 0,13]$  para medio portador de calor de Viessmann

$$V_{tub} = \pi * 0,006^2 * 1000 * 35 = 4 \text{ litros}$$

$$V_a = V_{col} + V_{int.cal.} + V_{tub} = 8,2 \text{ litros}$$

$$\beta = 0,13$$

$$V_e = V_a * \beta = 1,066 \text{ litros}$$

$V_{fv} = 3$  litros. Ya que el 4% del volumen total es  $< 3$  litros.

$$\frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = \frac{6 + 1}{3 - 5 * 0,1} = 2,8$$

$$V_{mag} = (V_e + V_{fv}) * Df = (1,066 + 3) * 2,8 = 11,385 \text{ litros}$$

En cuanto al volumen del depósito de seguridad debe ser capaz de recoger el volumen total de fluido en el sistema ( $V_a$ ), para evitar que el fluido se derrame en caso de que ocurra una situación de

sobrepresión. Por lo que será igual a  $V_a$ , que es el volumen total de líquido en el circuito. Por tanto, tiene un valor de 8,2 litros.

### 5.6.7.2. BOMBAS

En el diseño de sistemas de recirculación de agua caliente sanitaria (ACS), es fundamental seleccionar adecuadamente las bombas para garantizar la eficiencia operativa y cumplir con los requisitos normativos. Este análisis detalla el cálculo del caudal de recirculación necesario y justifica la selección del modelo de bomba más adecuado.

#### Cálculo del Caudal de Recirculación

Según las indicaciones del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el apartado 4.4 del Documento HS4, el caudal de recirculación de ACS debe dimensionarse para garantizar que la diferencia de temperatura en el grifo más alejado no supere los 3 °C desde la salida del acumulador.

La fórmula para calcular el caudal de recirculación es:

*Ecuación 10: Cálculo del caudal de recirculación de las bombas*

$$\text{Caudal de recirculación (W)} = \frac{\text{Pérdida de calor en tuberías (W)}}{3 \text{ (}^\circ\text{C)} \times 1,16 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{}^\circ\text{C}} * l\right)}$$

Por otro lado, de acuerdo con el Documento Básico HS4 del Código Técnico de la Edificación, que regula la demanda de agua caliente sanitaria (ACS), la demanda total diaria para un grupo de 4 personas, considerando una necesidad de 28 litros por persona al día, se calcula como 112 litros por día (28 litros/persona/día × 4 personas). Esta cifra asegura que el sistema de ACS está dimensionado adecuadamente para satisfacer las necesidades diarias de agua caliente en el hogar.

En cumplimiento con el Código Técnico de la Edificación (CTE), específicamente el Documento Básico HS4, el caudal de recirculación de un sistema de agua caliente sanitaria (ACS) no debe ser inferior a 250 l/h por columna por lo que la Ecuación 10 no aplica. Además, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) recomienda que el caudal de recirculación sea al menos el 10% del caudal máximo instantáneo del sistema, garantizando así tanto la eficiencia energética como el confort del usuario.

#### Modelo Seleccionado de bomba: PS10 - Viessman

- **Caudal Volumétrico:** 1 a 13 l/min (equivalente a 60 a 780 l/h)
- **Potencia Consumida:** 3 a 45 W
- **Eficiencia Energética (EEI):** ≤ 0.2
- **Temperatura Máxima de Servicio en el Ramal de Retorno:** 120 °C
- **Temperatura Máxima de Servicio en el Ramal de Impulsión:** 150 °C
- **Presión Máxima de Servicio:** 10 bar

La bomba PS10 ha sido seleccionada por su capacidad de caudal, que varía entre 60 y 780 l/h, cubriendo el mínimo requerido de 250 l/h por columna y asegurando una temperatura adecuada en todos los puntos de consumo. Su alta eficiencia energética, con un Índice de Eficiencia Energética (EEI) de  $\leq 0.2$ , reduce los costos operativos y cumple con los estándares de eficiencia. Además, soporta temperaturas de hasta 150 °C y presiones de hasta 10 bar, garantizando un funcionamiento seguro y fiable en las condiciones del sistema.

#### **5.6.8. SISTEMA DE CONTROL Y MODOS DE FUNCIONAMIENTO**

El objetivo principal del sistema de control es calentar el agua de un depósito utilizando energía solar térmica como fuente primaria y aerotermia como fuente secundaria. El sistema funciona de la siguiente manera: un fluido compuesto por una mezcla de agua y anticongelante circula a través de los paneles solares térmicos, donde se calienta al recibir la radiación solar. Este fluido caliente es transportado al depósito de agua, donde pasa a través de un serpentín, transfiriendo el calor al agua almacenada en el depósito.

Para asegurar un suministro continuo de agua caliente, el sistema también cuenta con un segundo serpentín en el depósito, conectado a una bomba de calor de aerotermia (HVAC). Este serpentín se utiliza cuando las condiciones no permiten un calentamiento eficiente mediante energía solar, proporcionando una fuente de calor alternativa mediante electricidad.

El sistema de control se encarga principalmente de gestionar el funcionamiento de la bomba de recirculación del fluido solar, basada en los siguientes criterios:

1. Control por Diferencia de Temperaturas:
  - Se mide la temperatura del fluido a la salida de los paneles solares (T1) y la temperatura del agua en el depósito (T2).
  - La bomba de recirculación se activa cuando la diferencia entre T1 y T2 supera los 7°C ( $T1 - T2 > 7^{\circ}\text{C}$ ). Esto asegura que solo se transfiera calor al depósito cuando la temperatura del fluido es significativamente más alta que la del agua en el depósito.
  - La bomba se desactiva cuando la diferencia de temperaturas es inferior a 2°C ( $T1 - T2 < 2^{\circ}\text{C}$ ), evitando un funcionamiento ineficiente cuando el aporte de calor es marginal.
2. Protección por Temperatura Máxima del Depósito:
  - Si la temperatura del agua en el depósito (T2) supera los 85°C, la bomba se apaga para evitar el sobrecalentamiento del sistema y posibles daños o riesgos de seguridad.
3. Protección Anticongelante:
  - En caso de que la temperatura del fluido a la salida de los paneles (T1) descienda por debajo de -12°C, la bomba de recirculación se activa automáticamente. Esto previene la congelación del fluido en las tuberías, que podría causar daños al sistema.

El sistema prioriza siempre el uso de energía solar térmica sobre la aerotermia para calentar el agua del depósito, ya que esta última consume electricidad, mientras que la solar térmica no lo hace (exceptuando el pequeño consumo eléctrico de las bombas de recirculación). Aunque el sistema

dispone de dos bombas de recirculación, estas están configuradas en paralelo, lo que significa que solo una de ellas puede estar en funcionamiento en un momento dado, garantizando la eficiencia y el control adecuado del flujo térmico.

## 5.7. PRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA FORZADA

### 5.7.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Se elige un sistema compuesto principalmente por conductos cuadrados y una unidad de recuperación de calor. Este dispositivo incorpora un ventilador y un regulador de humedad. El control del sistema permite la refrigeración gratuita “free cooling” en verano y mantener la temperatura en invierno.

Por otro lado, disponemos del sistema XALOC, denominado como “Caloret System” en las figuras, que permite una calefacción pasiva por medio de la acumulación de la radiación solar, cuyo calor introducimos en la vivienda por medio del sistema de ventilación. En cuanto a la refrigeración, XALOC también lo permite gracias a una chimenea solar que evacua el calor por la parte superior de la vivienda.

La instalación de ventilación del edificio está diseñada con dos líneas de impulsión y tres de extracción, incluyendo una dedicada al aseo, para asegurar una distribución eficiente del aire. Estas líneas se conectan a un conducto central de ventilación que, a través de un colector, divide el flujo en conductos más pequeños hacia las rejillas de ventilación. Este diseño modular permite tanto la introducción de aire fresco como la extracción de aire viciado de manera uniforme y controlada, garantizando así un ambiente interior saludable y confortable en todas las áreas del edificio.

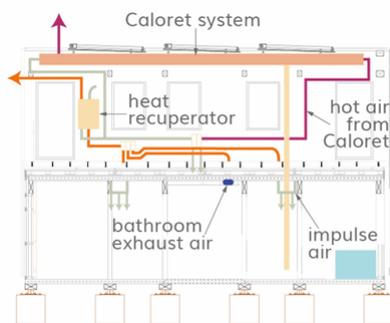


Ilustración 44: Esquema en alzado de ventilación mecánica – generación propia

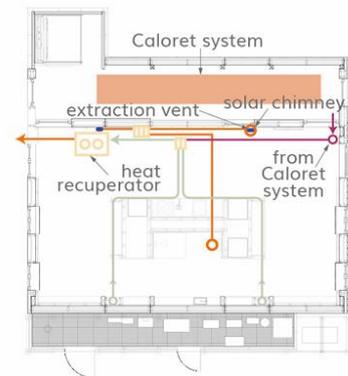


Ilustración 45: Esquema en planta de la ventilación mecánica – generación propia

### 5.7.2. DISTRIBUCIÓN DE CONDUCTOS DE VENTILACIÓN

La distribución de los conductos de ventilación se muestra en el *Plano 2 – Esquema de principio del sistema de ventilación* y está compuesta por cuatro derivaciones conectadas al recuperador de calor. El sistema se organiza en torno a dos flujos principales: uno de extracción y otro de insuflación. El flujo de extracción recoge el aire viciado desde el interior de la vivienda, lo dirige hacia el recuperador de calor y luego lo expulsa al exterior a través de una derivación dedicada. Por otro lado,

el flujo de insuflación introduce aire fresco del exterior, el cual pasa por el recuperador de calor para intercambiar energía con el aire extraído antes de ser impulsado hacia el interior de la vivienda.

Para garantizar una distribución eficiente del aire, tanto el flujo de extracción como el de insuflación se ramifican mediante colectores. Estos colectores dirigen el aire hacia diferentes rejillas situadas estratégicamente en la vivienda. Las rejillas de extracción se colocan en la parte superior de las estancias, permitiendo la retirada del aire viciado que tiende a subir. Las rejillas de impulsión, en cambio, se ubican en la parte inferior, facilitando la entrada de aire fresco a las habitaciones.

En la derivación de la impulsión, antes de llegar al colector, se ha instalado una compuerta estanca motorizada de tres vías. Esta compuerta permite desviar el flujo de aire hacia el sistema XALOC, aprovechando su capacidad de acumulación térmica para climatizar pasivamente la vivienda. Alternativamente, el aire puede seguir su curso habitual hacia el colector y posteriormente hacia las rejillas de impulsión.

Para evitar la mezcla indeseada de flujos de aire, se han colocado válvulas antirretorno en las entradas de los colectores. Estas válvulas aseguran que el aire circule en la dirección adecuada y previenen interferencias entre los diferentes flujos de aire dentro del sistema. De este modo, el diseño permite una ventilación eficiente y controlada, mejorando la calidad del aire interior y optimizando el uso de la energía térmica disponible para la climatización pasiva de la vivienda.

### **5.7.3. CHIMENEA SOLAR**

En el sistema propuesto se incluye una chimenea solar que, de forma pasiva, facilita la disipación del calor acumulado en el interior de la vivienda. Este sistema consta de una rejilla de ventilación conectada a un conducto que une el sistema XALOC con la cubierta mediante un tubo de 150 DN.

Debido a la diferencia de temperatura entre el XALOC, que alcanza temperaturas significativamente más altas por sus propiedades y la radiación solar que recibe durante el día, se crea una diferencia de presiones. Esta diferencia genera un efecto de succión que impulsa el flujo de aire desde el interior hacia la cubierta. Como resultado, el calor acumulado en el interior de la vivienda es expulsado a través de este sistema, contribuyendo así a la regulación térmica del aire interior.

### **5.7.4. XALOC**

En el presente proyecto se ha desarrollado y analizado el uso de un sistema de climatización pasiva que permita aprovechar el consumo remanente de la ventilación mecánica forzada para acondicionar la temperatura interior de una vivienda unifamiliar.

Para ello se han llevado a cabo un estudio experimental dividido en cuatro fases fundamentales, cada una diseñada para lograr caracterizar el sistema tanto constructiva como térmicamente. Las pruebas se realizaron en la Universidad Politécnica de València (UPV) durante un periodo de 17 semanas, que comenzaron el 21 de enero de 2022 y terminaron el 20 de mayo de 2022.

#### 5.7.4.1. FASE 1 – SELECCIÓN DEL MATERIAL DE CAMBIO DE FASE

Se llevó a cabo un proceso meticuloso para seleccionar el material de cambio de fase adecuado para el prototipo XALOC. El objetivo que se trata de conseguir a través de XALOC sugiere que la elección del material PCM y su proporción en masa son cruciales para lograr un equilibrio entre la acumulación y liberación de calor.

Se evaluaron dos baldosas: una de PCM con arcilla y una de mortero con PCM. Previo a la comparación de las dos baldosas, se prepararon varias muestras con distintos porcentajes de material de cambio de fase y arcilla para obtener la mezcla óptima (del 40% hasta el 90% de PCM en proporción con la arcilla). Esto permitió observar cómo responden los materiales con diferentes proporciones de PCM a las fluctuaciones de temperatura durante el día (la temperatura máxima alcanzada, la inercia térmica, la capacidad de acumulación de calor y la velocidad de enfriamiento). Se concluyó que la proporción con 50% de PCM en masa consigue el equilibrio adecuado entre estos factores y garantiza un rendimiento térmico efectivo y una aplicación práctica en proyectos de construcción.

Las dos baldosas seleccionadas se equiparon con sensores de temperatura y se llevaron a cabo mediciones durante 24 horas en un día con una temperatura máxima de 19°C en Valencia, el 4 de noviembre de 2021. Además, se registraron datos durante un período de 9 días para analizar el comportamiento a largo plazo de los sistemas.



Ilustración 46: Medición de la temperatura interna de ambos sistemas (izq). Pruebas de ladrillos con diferentes – generación propia

#### 5.7.4.2. FASE 2 – SIMULACIÓN POR COMPUTACIÓN

Se desarrolló un modelo teórico computacional detallado que representara el comportamiento del sistema XALOC en condiciones tanto de frío como de calor. Este modelo consideró variables como la geometría del prototipo, las propiedades térmicas del material, y las condiciones climáticas locales. Se realizaron simulaciones y cálculos con el programa Comsol Multiphysics para prever el rendimiento térmico del sistema en situaciones diversas.

#### **5.7.4.3. FASE 3 – FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DE PRUEBA**

Se construyó y desarrolló el prototipo XALOC. Se utilizaron los materiales seleccionados en la Fase 1 y se implementaron las características de diseño derivadas del modelo teórico de la Fase 2 (la configuración geométrica del prototipo, la colocación de los materiales de PCM y los componentes necesarios para su funcionamiento). El prototipo se ubicó en la UPV y se configuró para simular condiciones de uso realistas. Se llevaron a cabo mediciones y evaluaciones detalladas, registrando datos relacionados con la temperatura interna y externa del sistema, la eficiencia energética y la capacidad de gestión térmica del prototipo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales.

#### **5.7.4.4. FASE 4 – ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO**

Se analizan los resultados térmicos obtenidos con el prototipo de la Fase 3 en condiciones reales durante los meses de invierno. Se expuso el prototipo a diferentes condiciones de temperatura exterior para evaluar su rendimiento térmico. Se registraron los datos cada 30 segundos, lo que permitió un seguimiento detallado de las variaciones de la temperatura tanto exterior como interior del prototipo. Los resultados se compararon con las predicciones del modelo teórico para validar la eficacia del sistema.

El estudio se realizó en el contexto del proyecto Escalà de Azalea UPV que consistía en construir un arquetipo de vivienda para participar en la competición de arquitectura e ingeniería Solar Decathlon Europe 21/22. Este concurso internacional desafía a los equipos de estudiantes a diseñar y construir edificios altamente eficientes, innovadores y con bajas emisiones de carbono, alimentados por energía renovable. Se enfoca en dos objetivos críticos: integrar la educación en diseño y construcción de edificios de alto rendimiento en programas académicos, e inspirar al público y a la industria a través de innovaciones de energía cero o energía positiva implementadas por equipos de estudiantes.

Para ello, el equipo de Azalea UPV basa su proyecto en la utilización de sistemas pasivos, sencillos, sostenibles, inspirados en la arquitectura vernácula mediterránea y concretamente en la ciudad de Valencia; eran, son y serán necesarios para reducir el consumo energético de la vivienda y contribuir con ello tanto a la mitigación como a la adaptación del cambio climático. En el concurso se instaba a no utilizar sistema de climatización activa en el prototipo. Lo que llevó a estudiar exhaustivamente la ventilación cruzada y los vientos, para mejorar las condiciones en verano y aumentar la captación solar en los meses de invierno. Con esas premisas en mente y tras una etapa de ideación entre los participantes del proyecto Azalea UPV, formado por un grupo multidisciplinar de más de 30 alumnos y alumnas, surgió la idea de XALOC. Tras una segunda etapa de consolidación de la idea se determinó y diseñó el funcionamiento a nivel teórico para a través del presente estudio validar la idea original de utilizar la energía latente de ciertos materiales para aclimatar la temperatura interior de las viviendas tanto en invierno como en verano minimizando la utilización de climatización activa.

### 5.7.5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL

El sistema se compone por una cámara alargada de madera, opaca en cinco de sus seis lados, dejando la cara vertical acristalada orientada a sur (o cara norte en el hemisferio sur). En su interior se colocan unos adobes compuestos por: 60 % tierra; 40 % de parafina en polvo microencapsulado, conocida como un material de cambio de fase microencapsulado (de ahora en adelante MPCM).

Los adobes revisten el cerramiento de madera en dos de sus caras, y además se colocan en posición vertical en el centro de la cámara. Estratégicamente colocados en tresbolillo, se maximiza la superficie de contacto con el aire que pasa a través de la cámara. Ambos extremos del sistema cuentan con mecanismos que fuerzan el movimiento del aire a través de la cámara, lo que permite purificar y aclimatar continuamente la vivienda.

La plantación de especies vegetales caducas en la jardinera colocada en la cara acristalada permite: en invierno, al no haber vegetación, el paso del sol para calentar los adobes; y en verano, en el máximo punto de vegetación, impide la incidencia del sol en la zona acristalada de manera que se mantiene el adobe interior con la temperatura nocturna. Su posición en la vivienda puede ser en cualquier paramento vertical (principalmente bajo los aleros) o en cubierta, siempre orientado hacia el sol para optimizar su funcionamiento.

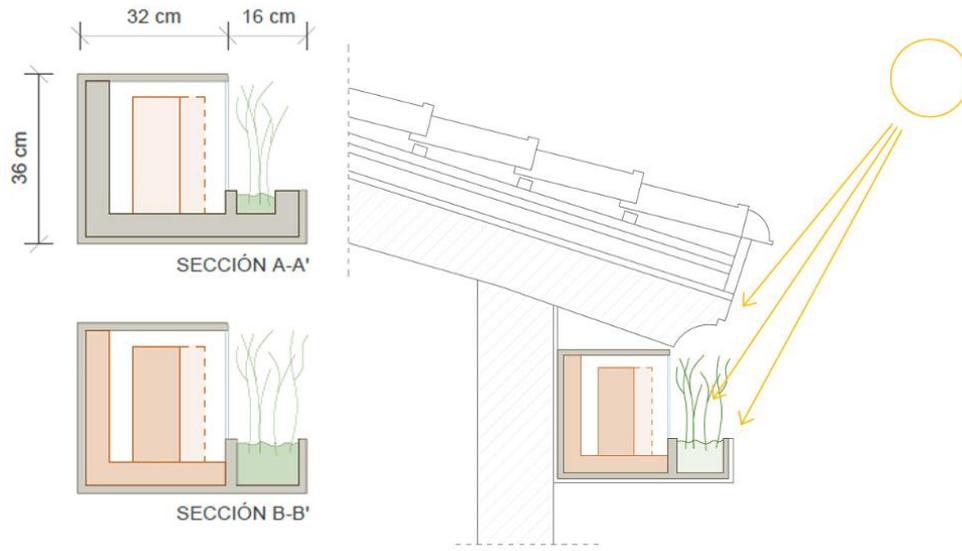


Ilustración 47: Detalle en sección de XALOC – generación propia

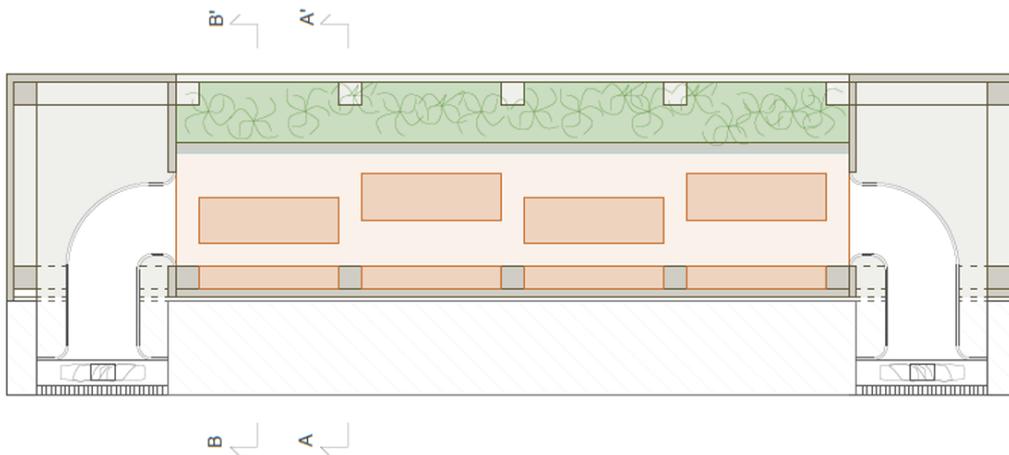
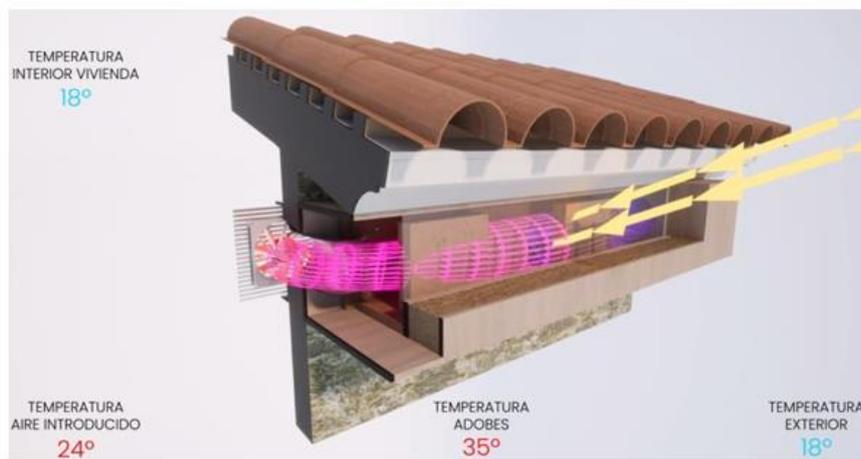


Ilustración 48: Detalle en planta de XALOC – generación propia

Se distinguen dos modos de funcionamiento a lo largo del año. En los meses fríos, durante el día se maximiza la captación de radiación solar a través de la superficie acristalada. Esto permite que el adobe absorba y almacene energía debido a su alta inercia térmica y por la micro-fundición del MPCM. En esta fase se consigue la carga térmica del adobe. Al recircular el aire interior a través de la cámara, se calienta y vuelve a entrar a la vivienda, aumentando la temperatura y purificando el aire. Este proceso se mantiene varias horas después de que el sol deje de incidir en la cámara debido a la inercia térmica del adobe. Al enfriarse durante la noche, el MPCM vuelve a cambiar de fase, micro cristalizando (descarga térmica del adobe). De esta forma libera más energía al aire y alarga el proceso de calentamiento del aire.



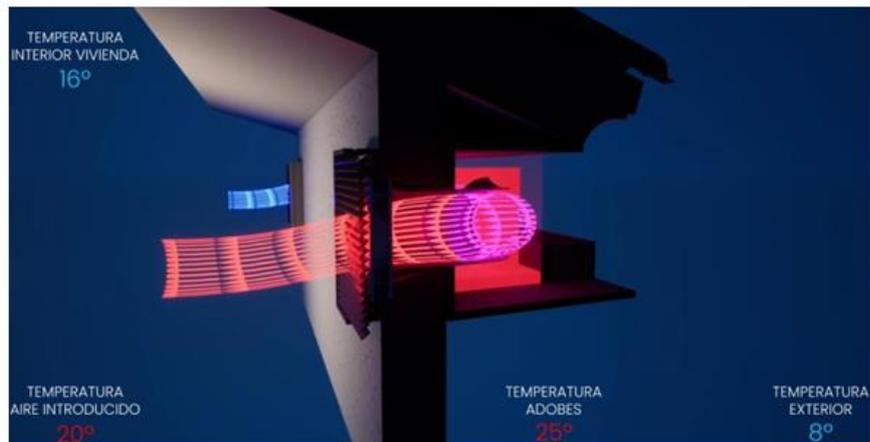


Ilustración 49: Funcionamiento de XALOC en los meses fríos. (Sup.) Durante el día. (Inf.) Durante la noche. - Archeha

En los meses cálidos, se protege la cara acristalada evitando que se caliente el adobe debido a la incidencia solar. De esta manera, durante el día el aire más caliente de la vivienda circula por la cámara de XALOC y cede el calor al adobe, produciendo la micro-fundición del MPCM (carga térmica del adobe). Durante la noche, con la bajada de temperaturas, se sigue circulando el aire interior por la cámara enfriando el adobe y consiguiendo la micro-cristalización del MPCM (descarga térmica del adobe). Al día siguiente, debido a la carga térmica del adobe, éste se conserva a una temperatura inferior a la del exterior, proporcionando aire frío a la vivienda durante las primeras horas del día, hasta que aumenta la temperatura, y el adobe comienza a actuar como acumulador de calor para refrescar el aire que circula por XALOC.



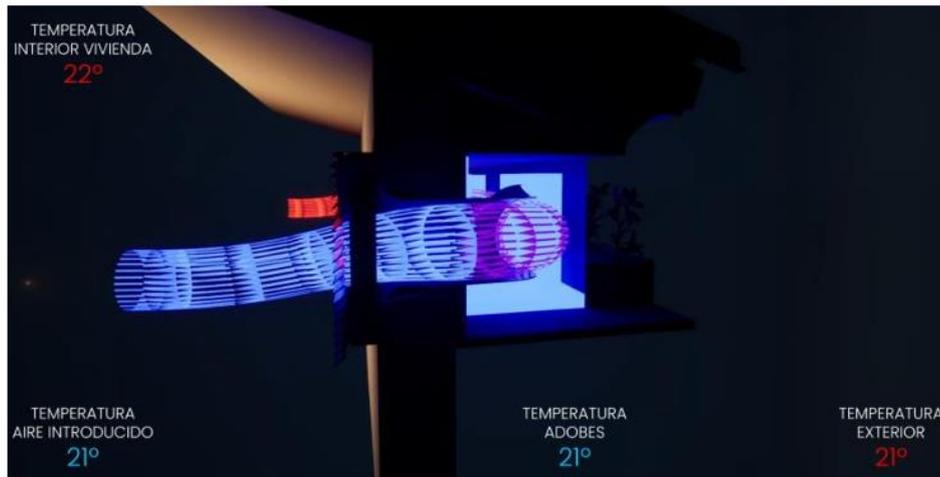


Ilustración 50: Funcionamiento de XALOC en los meses cálidos (Sup.) Durante el día. (Inf.) Durante la noche - Archeha

## 5.7.6. INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS DE MEDIDA

### 5.7.6.1. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Para llevar a cabo la obtención de datos de temperatura con alta precisión, se implementó un sistema de instrumentación basado en termopares. Estos termopares, seleccionados por su capacidad para capturar de manera efectiva las variaciones de temperatura, se dispusieron estratégicamente en el prototipo XALOC. Cada termopar estaba configurado para transmitir señales de temperatura en intervalos de 30 segundos hacia un sistema de adquisición de datos conectado a un ordenador central.

Este sistema de adquisición de datos permitió la supervisión y el almacenamiento continuo de las condiciones térmicas tanto del ambiente exterior como de las condiciones internas del prototipo e incluso de la temperatura dentro de los adobes.

### 5.7.6.2. MODELO COMPUTACIONAL

Para respaldar la investigación experimental y prever el comportamiento térmico del sistema XALOC, se empleó el software de simulación Comsol Multiphysics. Este programa proporciona una plataforma versátil y poderosa para desarrollar y analizar modelos teóricos computacionales que reflejen de manera precisa las interacciones termofísicas dentro del prototipo.

El modelo computacional se construyó de acuerdo con las características geométricas y las propiedades físicas del prototipo XALOC. Se incorporaron datos específicos del material de cambio de fase seleccionado y se consideraron las condiciones climáticas locales. A través de simulaciones detalladas, el programa Comsol Multiphysics permitió prever y evaluar el comportamiento térmico del sistema en diferentes escenarios climáticos.

### **5.7.6.3. DESARROLLO**

#### **5.7.6.3.1. FASE 1 – SELECCIÓN DEL MATERIAL DE CAMBIO DE FASE**

Se seleccionó un material de cambio de fase (MPCM) con una temperatura de fusión baja ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), como el Micronal 5528 X, específicamente diseñado para su implementación en sistemas de climatización residenciales. La selección de un MPCM con una temperatura de cambio de fase más baja se fundamenta en la necesidad de adaptarse a las condiciones de funcionamiento típicas de viviendas, donde se requiere una regulación térmica eficiente y versátil para temperaturas más moderadas. En comparación con aplicaciones a nivel industrial, donde temperaturas de cambio de fase más elevadas podrían ser necesarias, este enfoque busca satisfacer los requisitos específicos y las demandas térmicas comunes en los hogares. De este modo, el uso de un MPCM con temperatura de fusión baja se presenta como una solución viable y eficaz para mejorar la gestión térmica en entornos residenciales, proporcionando un ambiente interior más confortable y sostenible.

Los resultados mostraron que el ladrillo de PCM con arcilla, a pesar de tener una densidad menor que el mortero, alcanzó una temperatura máxima de  $27^{\circ}\text{C}$ , mientras que el mortero llegó casi a los  $40^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, el mortero, debido a su menor inercia térmica y contenido de PCM, se enfrió más rápidamente y no pudo acumular calor hasta la tarde, después de la puesta del sol. Esta diferencia en el comportamiento térmico subraya la importancia de la proporción óptima del 50% de PCM en masa en la elección del material de construcción. La elección final se basó en criterios de rendimiento térmico, durabilidad y viabilidad práctica. La proporción del 50% de PCM en masa demostró ser el equilibrio adecuado entre estos factores, garantizando un rendimiento térmico efectivo, la capacidad de resistir las condiciones ambientales y una aplicación práctica en proyectos de construcción.

#### **5.7.6.3.2. FASE 2 – SIMULACIÓN POR COMPUTACIÓN**

Con el fin de determinar los beneficios de XALOC en términos de reducción de la demanda, su comportamiento fue simulado utilizando el software Comsol Multiphysics. Este programa permite crear una geometría tridimensional del dispositivo, asignar sus materiales gracias a una amplia biblioteca de componentes y definir las condiciones de contorno y las distintas físicas que intervendrán en el funcionamiento del XALOC. Estas son:

- Transferencia de calor en sólidos y fluidos
- Flujo laminar
- Cambio de fase
- Radiación superficie a superficie

Luego, realiza un acoplamiento de múltiples físicas y calcula los resultados de cada una de ellas en relación con las demás. De esta manera, se obtienen resultados muy precisos que reflejan en gran medida el comportamiento real del dispositivo.

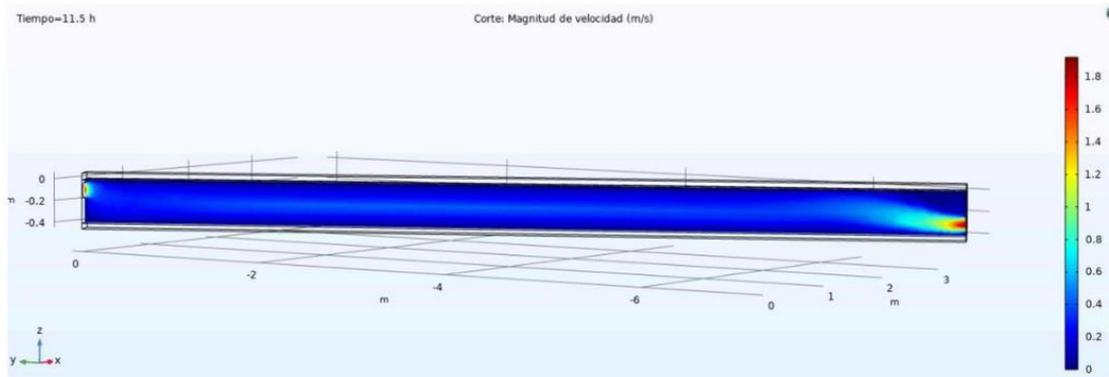


Ilustración 51: Modelo tridimensional del XALOC en Comsol Multiphysics donde se analiza la velocidad del aire en el interior del sistema. – generación propia

La simulación se llevó a cabo durante 24 horas, aplicando el clima de la ciudad de Valencia para el 20 de diciembre (solsticio de invierno). Los resultados preliminares mostraron un aumento de hasta 15 grados Celsius de la temperatura interna en relación con la temperatura externa. Además, el efecto acumulativo del MPCM hace que el aire caliente esté disponible incluso cuando ya no hay radiación en la superficie del MPCM, lo que significa que la vivienda puede seguir siendo calentada incluso durante la noche.

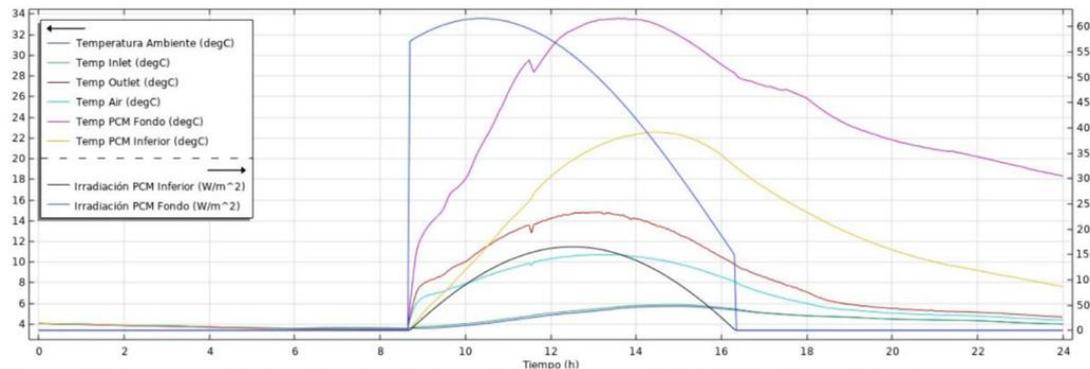


Ilustración 52: Primeros resultados de las simulaciones de XALOC para el 20 de diciembre en Valencia. – generación propia

En resumen, este estudio computacional del modelo energético de XALOC en condiciones de ventilación de una vivienda unifamiliar en invierno confirmó la eficacia del sistema para lograr una aclimatación óptima del aire de ventilación en las viviendas, subrayando así su potencial como una solución eficiente y efectiva para mejorar la calidad del ambiente interior y la comodidad de los residentes. De este modo, se obtuvieron razones suficientes para proseguir con el estudio y fabricar un prototipo real.

#### 5.7.6.3.3. FASE 3

Durante el verano, se desarrolló un modelo a escala del dispositivo para comparar y validar los datos de las simulaciones. La estructura del sistema se realiza con madera. Su versatilidad como material permite adaptarse a la disponibilidad de la zona, independientemente del árbol donde ésta proceda. Además, se puede construir con madera en formato laminado. La elección del adobe como elemento constructivo se debe a su capacidad de almacenamiento y regulación térmica. La tierra, ampliamente disponible y económica, forma parte de la tradición constructiva de gran parte del mundo, de esta manera se asegura su producción en todos los lugares óptimos para la instalación del sistema. La introducción del polvo de MPCM en el adobe no varía el proceso constructivo del material, aumentando mínimamente el coste de producción en comparación con el beneficio obtenido. En zonas de gran pobreza económica, este último material puede no utilizarse, ya que el sistema puede funcionar gracias a la inercia térmica del adobe en masa. El cerramiento del sistema garantiza la durabilidad de los materiales, reduce su mantenimiento, y actúa como batería térmica, asegurando la circulación en su interior. Éste puede realizarse con paneles de vidrio, metacrilato o policarbonato, según la disponibilidad del material en cada lugar y la capacidad económica del propietario. La variedad de culturas adaptadas a unas condiciones particulares ha generado una gran diversidad de viviendas. La sencillez del funcionamiento y del sistema constructivo de XALOC permite ajustar su forma y posición a la vivienda tradicional de cada lugar.



*Ilustración 53: Prototipo simplificado de XALOC durante las pruebas de invierno 21/22. – generación propia*

#### 5.7.6.3.4. FASE 4 – ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Los datos se registraron durante un período de 9 días. En primer lugar, XALOC operó como un sistema de contorno abierto, ya que la entrada y la salida no cuentan con ventilación forzada. Posteriormente, se introdujo un ventilador con un caudal nominal de 100 m<sup>3</sup>/h, simulando el equipo de ventilación de una vivienda unifamiliar.

La temperatura del dispositivo se registró en los siguientes puntos:

- Entrada de aire (ENTRADA)
- Salida de aire (SALIDA)
- Teja con arcilla y PCM horizontal (ARC\_HOR)
- Teja con mortero y PCM vertical (MOR\_VER)

Durante este período, desde el sábado 22 de enero de 2021 hasta el jueves 27 de enero de 2021, hubo dos días de lluvia y tiempo nublado (domingo 23 y lunes 24), mientras que el resto de los días fueron de cielo despejado o con nubes dispersas. Durante días soleados o con nubes dispersas, con temperaturas exteriores entre 15 y 20 grados Celsius, el XALOC fue capaz de alcanzar temperaturas máximas en el interior de más de 50 grados Celsius, lo que demuestra la gran capacidad de absorción de calor de un sistema como este. Después de las 6 p.m., cuando el sol se pone y oscurece, la inercia térmica del material permitió que la temperatura en la salida se mantuviera durante aproximadamente una hora adicional.

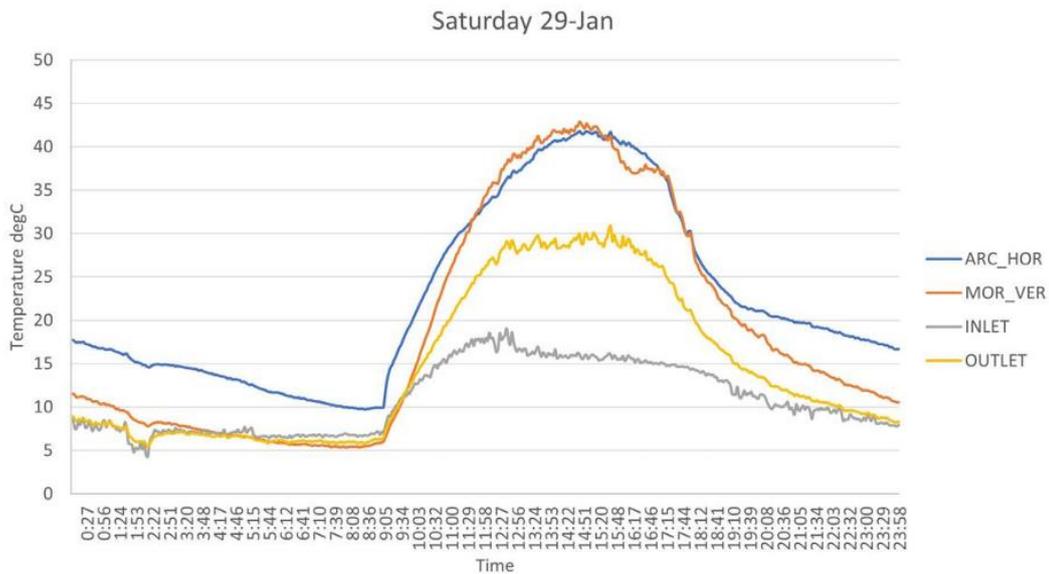


Ilustración 54: XALOC Sábado 29 de enero con ventilador. – generación propia

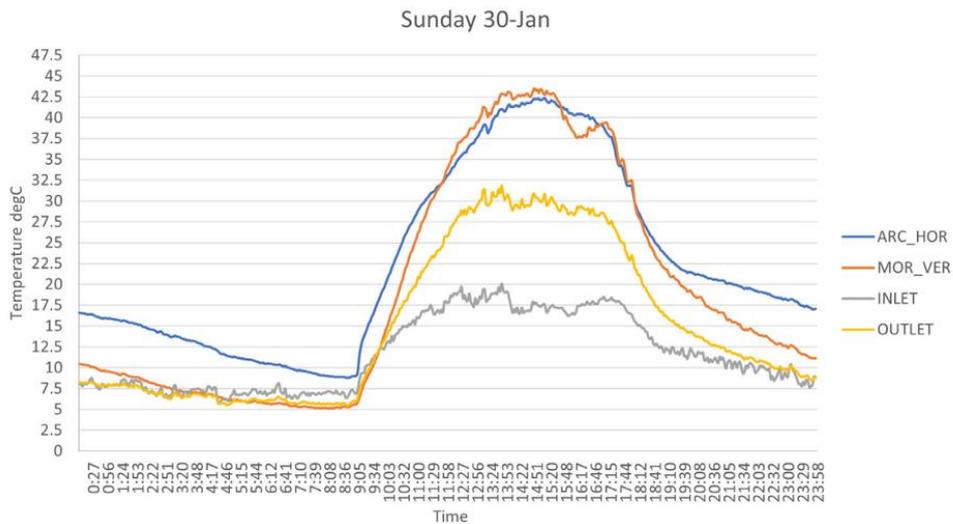


Ilustración 55: XALOC Domingo 30 de enero con ventilador. – generación propia

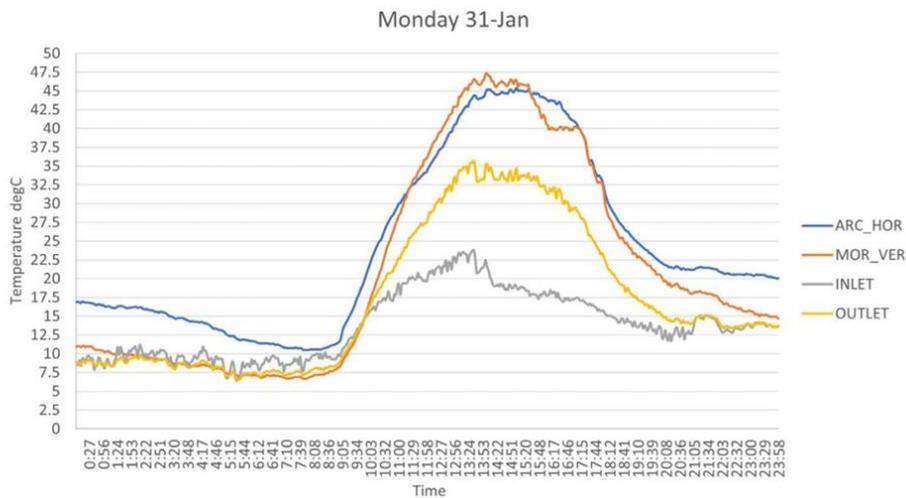


Ilustración 56: XALOC Lunes 31 de enero con ventilador. – generación propia

XALOC es capaz de calentar el aire entre 5 y 15 grados Celsius de manera totalmente pasiva, aprovechando la radiación solar. Como se puede observar en los gráficos, en un día en el que la temperatura exterior es de 15 grados Celsius, es posible introducir aire al interior de la vivienda a 30 grados Celsius sin necesidad de una bomba de calor. Este aire, utilizado para la ventilación de la vivienda, no solo reduce la pérdida total de energía térmica en la casa, sino que también puede proporcionar una ganancia térmica sin necesidad de sistemas activos.

Finalmente, se trata de un sistema de bajo coste que se puede realizar con materiales de proximidad y ampliamente disponibles. Su construcción, instalación y operación no requiere unas capacidades diferentes a las ya existentes en prácticamente todas partes. Sin embargo, sí potencia el desarrollo de capacidades todavía no suficientemente desarrolladas, las relacionadas con el diseño e ideación de sistemas pasivos de climatización. XALOC permitirá capacitar a los adoptantes con conocimiento y habilidades que pueden dirigirse a otras mejoras de la calidad

energética pasiva de las viviendas: almacén pasivo de energía, gestión de la radiación solar, renovación del aire interior, calidad del aire, y una larga lista de soluciones ambientales.

Posteriormente se incluyó este sistema en el prototipo de vivienda construido en el marco del Solar Decathlon Europe 21/22 para poner el sistema a prueba y verificar su funcionamiento en un entorno real.



*Ilustración 57: Prototipo de XALOC instalado en el proyecto Azalea UPV. – generación propia*

### **5.7.7. SISTEMA DE CONTROL Y MODOS DE FUNCIONAMIENTO**

Los modos de funcionamiento del sistema de ventilación se describen en las Tablas 15 y 16. Estos modos se representan en el *Plano 3 – Esquema de principio del sistema de control* y deben mantener siempre los niveles de CO<sub>2</sub> por debajo de 650 PPM.

1. Modo 1: Este modo se activa cuando la temperatura exterior es mayor que la de la vivienda y también mayor que la temperatura XALOC. En este caso, según la Tabla 17, el “bypass” del intercambiador de calor y el bypass de XALOC se activan para recuperar el calor del aire extraído y precalentar el aire entrante, contribuyendo a la climatización pasiva.
2. Modo 2: Si la temperatura exterior es inferior a la de la vivienda, pero superior a la temperatura XALOC, se activan ambos bypass (intercambiador de calor y XALOC) para maximizar la eficiencia del sistema.
3. Modo 3: Con la temperatura exterior inferior tanto a la de la vivienda como a la de XALOC, el bypass del intercambiador de calor se desactiva, permitiendo el uso de free cooling, que introduce aire más frío del exterior. Además, la chimenea solar entra en juego para ventilar la vivienda gracias a la diferencia de temperaturas entre el interior y el sistema XALOC.

4. Modo 4: Este modo se activa cuando los niveles de CO2 superan los 650 PPM. En este caso, según la Tabla 17, se activan ambos “bypass” junto con el aire acondicionado para asegurar una ventilación adecuada y mantener la calidad del aire interior.

Este funcionamiento garantiza un equilibrio óptimo entre la eficiencia energética y la climatización pasiva.

*Tabla 14: Modos de operación de la ventilación en invierno – generación propia*

Modos	Modo Invierno
Modo 1	Temperatura exterior > (Temperatura de la vivienda + Temperatura XALOC)
Modo 2	Temperatura exterior < Temperatura de la vivienda y Temperatura de la vivienda > Temperatura XALOC
Modo 3	Temperatura exterior < Temperatura de la vivienda y Temperatura de la vivienda < Temperatura XALOC
Modo 4	Niveles de CO2 > 650 PPM

*Tabla 15: Modos de operación de la ventilación en verano – generación propia*

Modos	Modo Verano
Modo 1	Temperatura exterior < Temperatura de la vivienda y Temperatura exterior < Temperatura XALOC
Modo 2	Temperatura exterior > Temperatura de la vivienda y Temperatura de la vivienda < Temperatura XALOC
Modo 3	Temperatura exterior > Temperatura de la vivienda y Temperatura de la vivienda > Temperatura XALOC
Modo 4	Niveles de CO2 > 650 PPM

Tabla 16: Guía de sistemas de activados por cada modo de operación – generación propia

Modos	Sistemas Activados
Modo 1	[ v ] ByPass del intercambiador de calor [ v ] ByPass de XALOC
Modo 2	[ ] ByPass del intercambiador de calor [ v ] ByPass de XALOC
Modo 3	[ v ] ByPass del intercambiador de calor [ ] ByPass de XALOC
Modo 4	[ ] ByPass del intercambiador de calor [ v ] ByPass de XALOC [ v ] Aire Acondicionado

### 5.7.8. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Se comparan las emisiones de CO<sub>2</sub> con una casa de construcción tradicional, se obtienen datos de consumo relacionados con DHW (agua caliente sanitaria), calefacción y refrigeración de una casa promedio construida después de 2006 del IVE (Instituto Valenciano de la Edificación). Dado que las simulaciones realizadas por el equipo se llevan a cabo para Wuppertal, es necesario encontrar una situación climática similar en España para lograr una comparación válida. Existen algunos territorios en el norte de España que comparten la misma zona de Clima Cobre que Wuppertal. Para la comparación, se consideran datos de edificios en esta zona.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el consumo de energía son de 271.99 kg CO<sub>2</sub>/año. Las emisiones debidas a los usos finales que se incluyen en el análisis se muestran en la Ilustración 58. Emisiones de CO<sub>2</sub> por usos finales. Los resultados de esta comparación se muestran en la Ilustración 59.

Esto muestra excelentes resultados del HDU en comparación con un edificio tradicional en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el consumo energético, y destaca la importancia de la eficiencia para lograr la sostenibilidad.

También se considera la huella de carbono de la fase de eliminación. Es de 198,000 kg CO<sub>2</sub> para los elementos de construcción y 17 kg CO<sub>2</sub> para los sistemas de servicio.

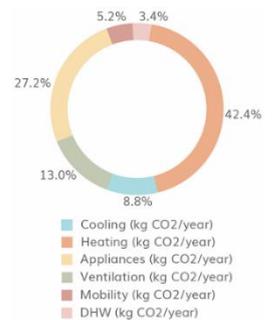


Ilustración 58: CO<sub>2</sub> generado servicio y año – generación propia

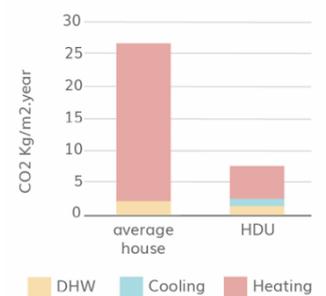


Ilustración 59: Comparativa de la demanda energética convencional y el prototipo planteado – generación propia

## 6. CONCLUSIONES

El desarrollo e implementación del sistema de climatización propuesto en este trabajo ha logrado cumplir con los objetivos de optimización energética para viviendas en el barrio de El Cabanyal, en Valencia. El sistema HVAC, que excluye el uso de calderas de gas y eléctricas tradicionales en favor de tecnologías más sostenibles como la aerotermia, ha demostrado ser altamente eficiente, reduciendo el consumo energético en más del 60% tanto en los meses de verano como en invierno en comparación con un diseño convencional. Este avance representa una mejora significativa en la gestión energética del barrio, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y promoviendo un entorno más sostenible.

El sistema pasivo XALOC, integrado como una solución innovadora para aprovechar las condiciones climáticas mediterráneas, ha mostrado una notable capacidad para aumentar la temperatura interior de las viviendas hasta 15°C de manera pasiva durante los meses de invierno. Este resultado se logró mediante la combinación óptima de materiales de cambio de fase (PCM) con arcilla, validados tanto en modelos teóricos como en pruebas físicas, y posteriormente corroborados en simulaciones y en la fabricación del prototipo. El sistema ha demostrado ser una solución viable para proporcionar confort térmico sin necesidad de sistemas activos de calefacción, reforzando su potencial para la reducción del consumo energético en entornos residenciales.

No obstante, el proyecto presenta algunas limitaciones. La evaluación de la durabilidad y el mantenimiento a largo plazo de los materiales de cambio de fase (PCM) utilizados en XALOC no fue exhaustiva. Aunque la efectividad del MPCM se demostró en pruebas iniciales, no se analizó en profundidad cómo estos materiales podrían degradarse con el tiempo bajo condiciones reales de uso, lo que genera incertidumbre sobre la vida útil del sistema y sus costos de mantenimiento. Esto podría afectar la sostenibilidad y viabilidad económica del sistema, especialmente en aplicaciones a gran escala.

Además, las simulaciones computacionales realizadas para validar el rendimiento del sistema HVAC y XALOC no contemplaron todas las posibles variables de uso, lo que limita la precisión de los resultados. Por ejemplo, no se consideraron escenarios extremos de temperatura ni fluctuaciones rápidas en las condiciones meteorológicas, que podrían afectar el rendimiento del sistema. Tampoco se evaluaron variaciones en el uso de la vivienda, como cambios en la ocupación o en los patrones de ventilación, lo que podría alterar la eficiencia del sistema en condiciones reales. Para una evaluación más precisa, sería necesario realizar simulaciones más complejas y detalladas que incluyan una gama más amplia de variables y escenarios.

Como líneas futuras de trabajo, se propone mejorar el diseño del sistema XALOC mediante un enfoque iterativo que optimice la transferencia de calor y, por tanto, la eficiencia en el proceso de climatización pasiva. También se recomienda realizar un análisis detallado de los costos de mantenimiento a largo plazo para asegurar la viabilidad económica del sistema.

En cualquier caso, el sistema XALOC obtuvo muy buenos resultados adquiriendo una mención por parte de la organización del SDE en Wuppertal para el primer premio en innovación.



*Ilustración 60: Azalea UPV. Prototipo de vivienda sostenible y premios obtenidos tras el concurso Solar Decathlon. – generación propia*

# **PRESUPUESTO**

## **ÍNDICE DEL PRESUPUESTO**

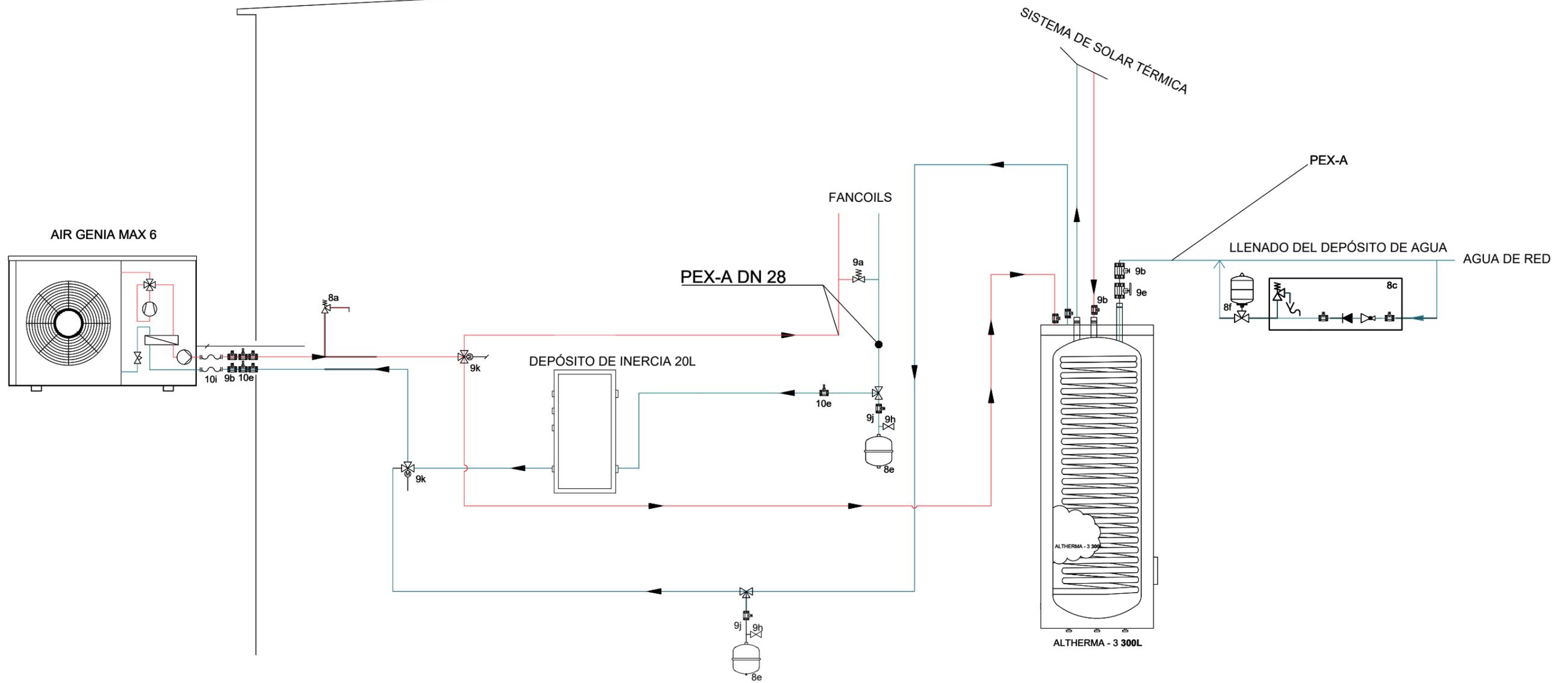
<b>DETALLE DE PRESUPUESTO DE HVAC .....</b>	<b>1</b>
<b>DETALLE DE PRESUPUESTO DE ESCALÀ .....</b>	<b>2</b>

3.2	<b>HVAC</b>					10,13%
3.2.1	<b>Solar thermal</b>					28.455,99 €
	Vacuum tube panel	u	3	1.843,35 €	5.530,05 €	
	Recirculation pump	u	2	240,79 €	481,58 €	
	Filling pump	u	1	612,26 €	612,26 €	
	Expansion vessel	u	1	91,96 €	91,96 €	
	Security deposit (emptied)	u	1	363,00 €	363,00 €	
	Stainless Steel pipe 12mm	u	2	1.116,59 €	2.233,18 €	
	Small material	u	1	931,20 €	931,20 €	
3.2.2	<b>Ventilation</b>					
	50x114 Duct	u	2	413,23 €	826,45 €	
	D125 Duct	u	3	74,46 €	223,39 €	
	Collectors NOD50	u	5	55,48 €	277,39 €	
	Horizontal-T	u	1	26,98 €	26,98 €	
	Circular horizontal coupling	u	1	36,13 €	36,13 €	
	Bath extraction coupling	u	1	30,29 €	30,29 €	
	Pipe elbow 50x114	u	14	9,35 €	130,95 €	
	Pipe elbow DN125	u	12	10,32 €	123,86 €	
	Clamps	u	2	40,62 €	81,24 €	
	Duct silencer D125	u	4	43,80 €	175,21 €	
	Air entry	u	1	30,29 €	30,29 €	
	Air exit	u	1	30,29 €	30,29 €	
	Antivibration union	u	5		0,00 €	
	Racks	u	7	30,29 €	212,00 €	
	Motorised dumper	u	4	55,72 €	222,88 €	
	Heat recovery system	u	1	3.140,00 €	3.140,00 €	
	Duct	u	2	94,19 €	188,37 €	
	Rack	u	1	30,29 €	30,29 €	
	Air exit	u	1	81,30 €	81,30 €	
3.2.3	<b>ACS</b>					
	Deposit	u	1	2.595,45 €	2.595,45 €	
	Heat Pump	u	1	7.500,00 €	7.500,00 €	
	Small material	u	1	2.250,00 €	2.250,00 €	

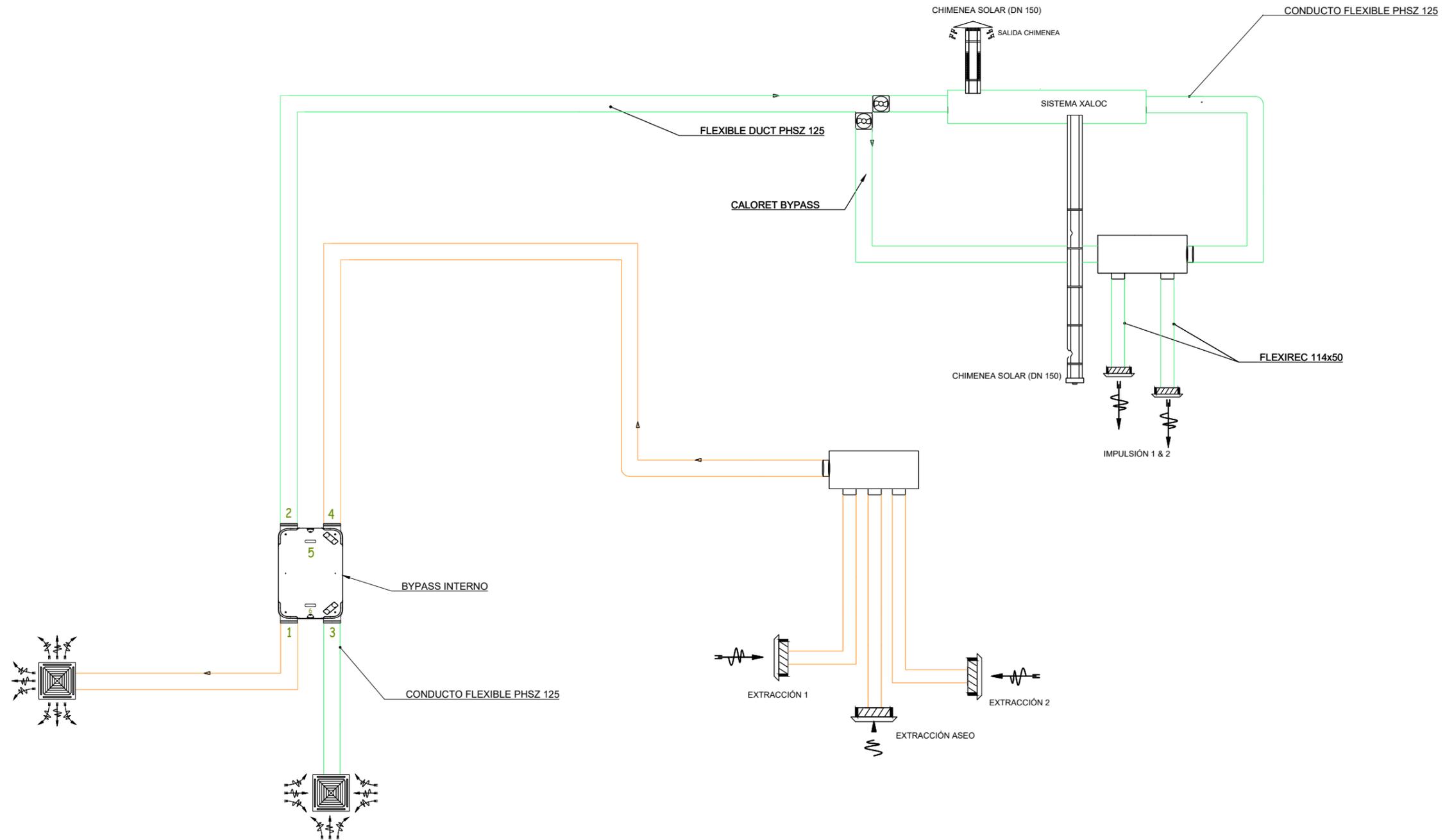
# PLANOS

## **ÍNDICE DE PLANOS**

<b>Plano 1 – Esquema de principio del sistema de climatización activa .....</b>	<b>1</b>
<b>Plano 2 – Esquema de principio del sistema de ventilación .....</b>	<b>2</b>
<b>Plano 3 – Esquema de principio del sistema de control .....</b>	<b>3</b>
<b>Plano 4 – Esquema de principio del sistema de solar térmica .....</b>	<b>4</b>
<b>Plano 5 – Sección interior del sistema de HVAC .....</b>	<b>4</b>
<b>Plano 6 – Sección de la sala de máquinas .....</b>	<b>5</b>
<b>Plano 7 – Sección en planta del sistema de climatización .....</b>	<b>6</b>
<b>Plano 8 – Sección en planta del sistema de solar térmica .....</b>	<b>7</b>
<b>Plano 9 – Esquema conceptual del sistema de HVAC .....</b>	<b>8</b>

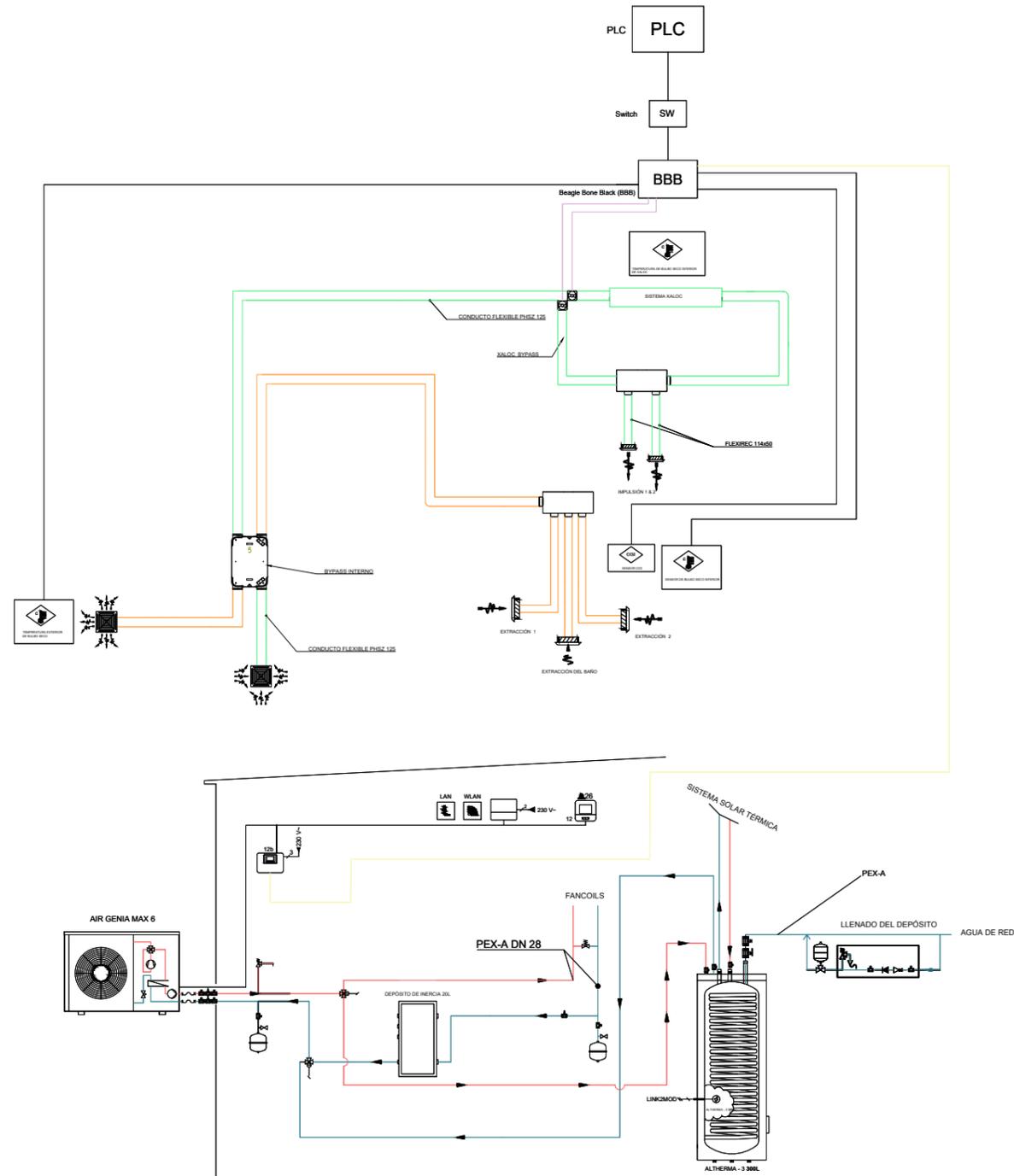


- 3 Bomba de circulación del generador de calor
- 7f Tanque de inercia 20l
- 8a Válvula de seguridad
- 8e & 8f Vaso de expansión
- 9a Válvula termostática
- 9b & 9j Válvula de regulación de caudal
- 9e Válvula de retención
- 9h Válvula de llenado y vaciado
- 9k Válvula de tres vías
- 10e Filtro en Y
- 10i Conexiones flexibles
- 12 Regulador del sistema
- 12b Módulo de expansión de la bomba de calor (Mipro)
- 12k Regulador de temperatura máxima
- 12n Termostato de máxima temperatura



LEGENDA - SYMBOLOGÍA Y COMPONENTES

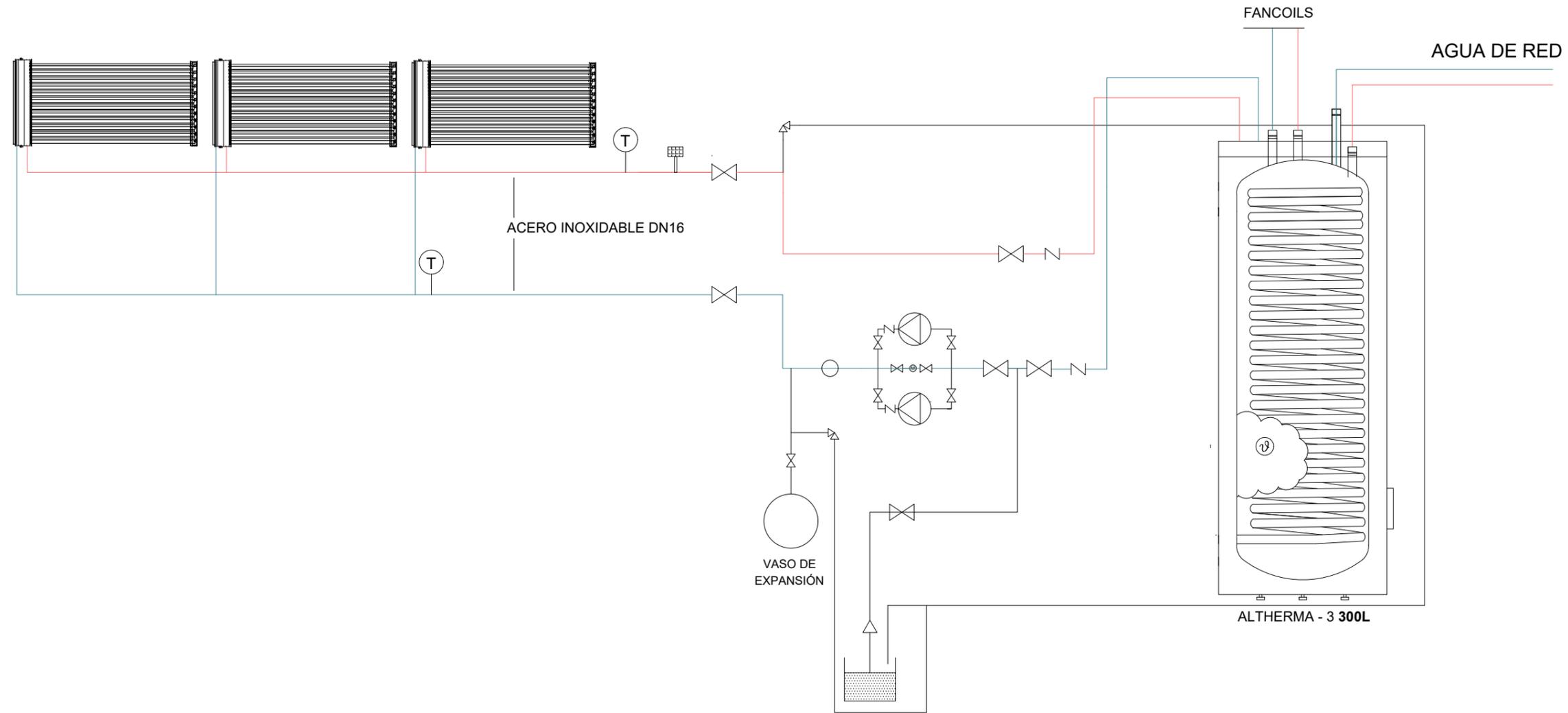
<p>RECUPERADOR DE CALOR</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Expulsión de aire viciado</li> <li>2 Insuflación de aire nuevo hacia la vivienda</li> <li>3 Toma de aire nuevo del exterior</li> <li>4 Extracción del aire viciado del interior de vivienda (baños/cocina)</li> <li>5 Conexión eléctrica</li> <li>6 Conexión de la evacuación de condensados</li> </ul>	<p>PLENUMS</p>	<p>IMPULSIÓN DE AIRE</p>	<p>EXTRACTIÓN DE AIRE</p>	<p>FLUJO DE AIRE</p>	<p>VÁLVULA ELÉCTRICA</p>
--	----------------	--------------------------	---------------------------	----------------------	--------------------------



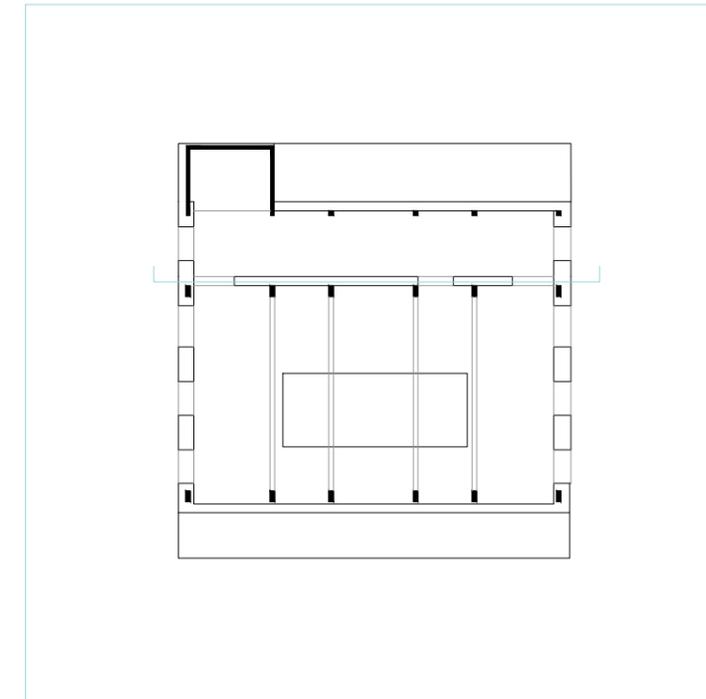
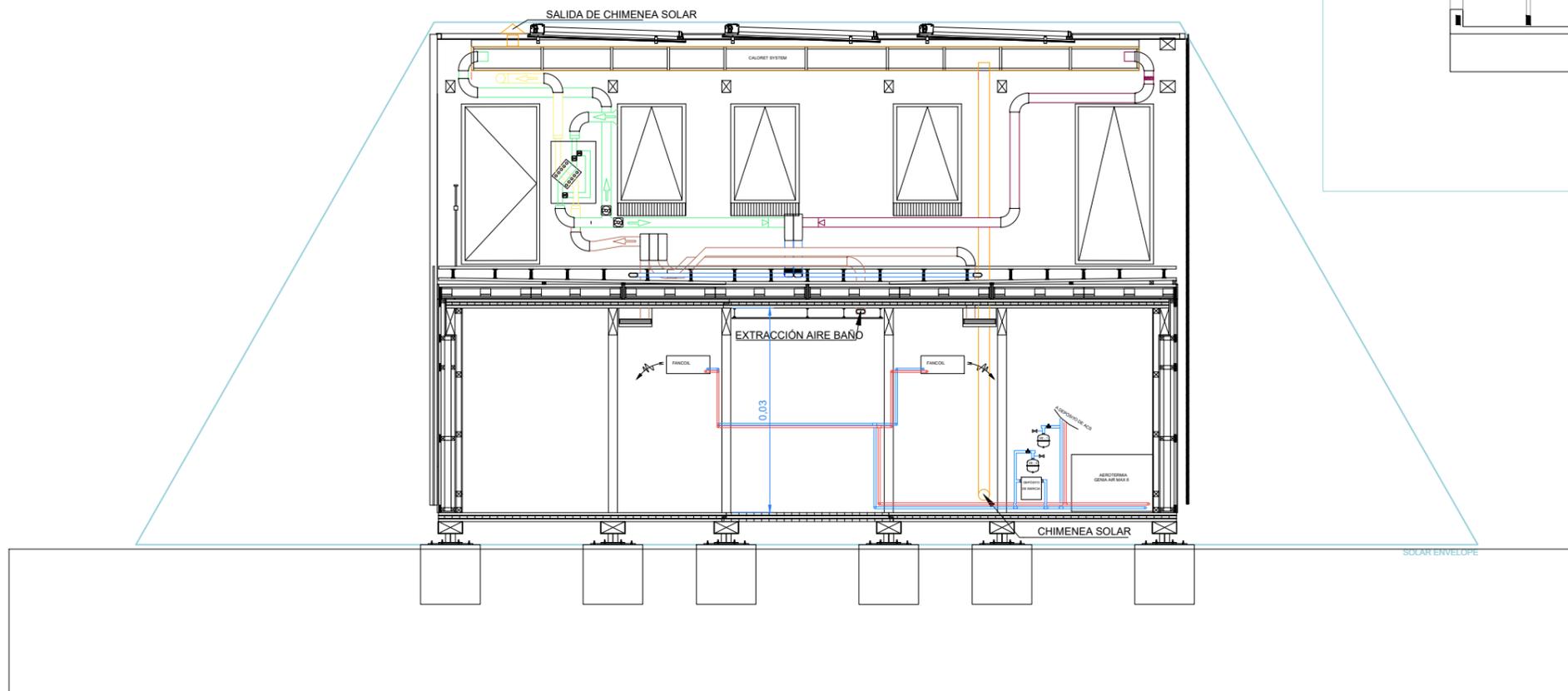
LEGENDA - SYMBOLOGÍA Y COMPONENTES

COLECTORES 	IMPULSION DE AIRE 	EXTRACCIÓN DE AIRE 	FLUJO DE AIRE 	VÁLVULA ELÉCTRICA 	RECUPERADOR DE CALOR 	BEAGLE BONE BLACK BBB 	INTERRUPTOR 	PLC 	CABLEADO VÁLVULAS ELÉCTRONICAS 	CABLEADO SENSORIZACIÓN 	CABLEADO MIPRO 
----------------	-----------------------	------------------------	-------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------	---------	------------------------------------	----------------------------	--------------------

3	Bomba de circulación del generador de calor
7f	Tanque de inercia 20l
8a	Válvula de seguridad
8e & 8f	Vaso de expansión
9a	Válvula termostática
9b & 9j	Válvula de regulación de caudal
9e	Válvula de retención
9h	Válvula de llenado y vaciado
9k	Válvula de tres vías
10e	Filtro en Y
10i	Conexiones flexibles
12	Regulador del sistema
12b	Módulo de expansión de la bomba de calor (Mipro)
12k	Regulador de temperatura máxima
12n	Termostato de máxima temperatura



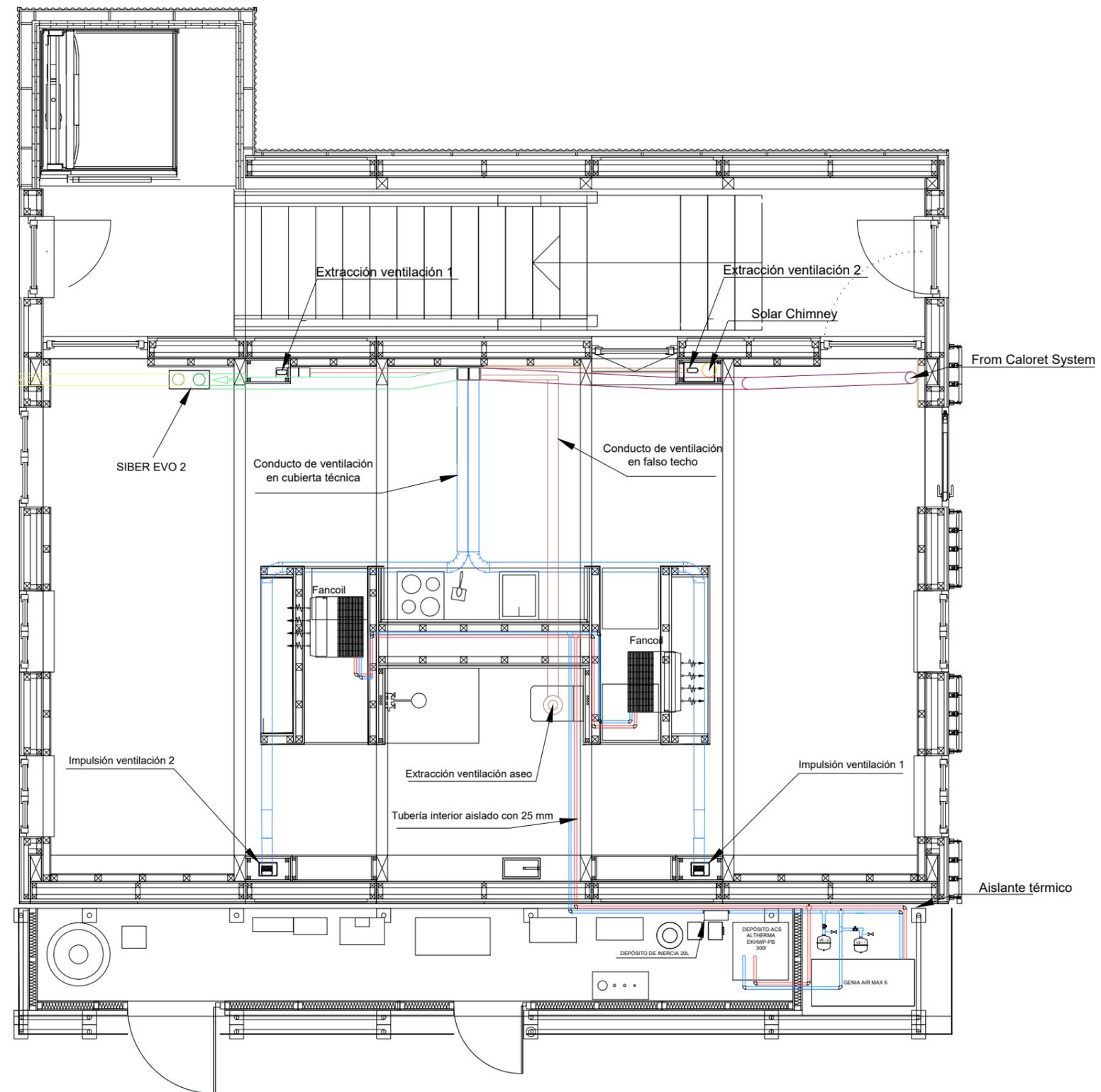
-  Válvula de vaciado
-  Válvula de seguridad
-  Bomba de inyección
-  Purgador de aire
-  Medidor de caudal
-  Sensor de temperatura
-  Señal de presión de la bomba
-  Válvula de corte
-  Válvula de retención
-  Bomba de recirculación
-  Depósito de seguridad
-  Medidor de presión
-  Sensor de irradiancia
-  Depósito de ACS



SÍMBOLOS Y COMPONENTES

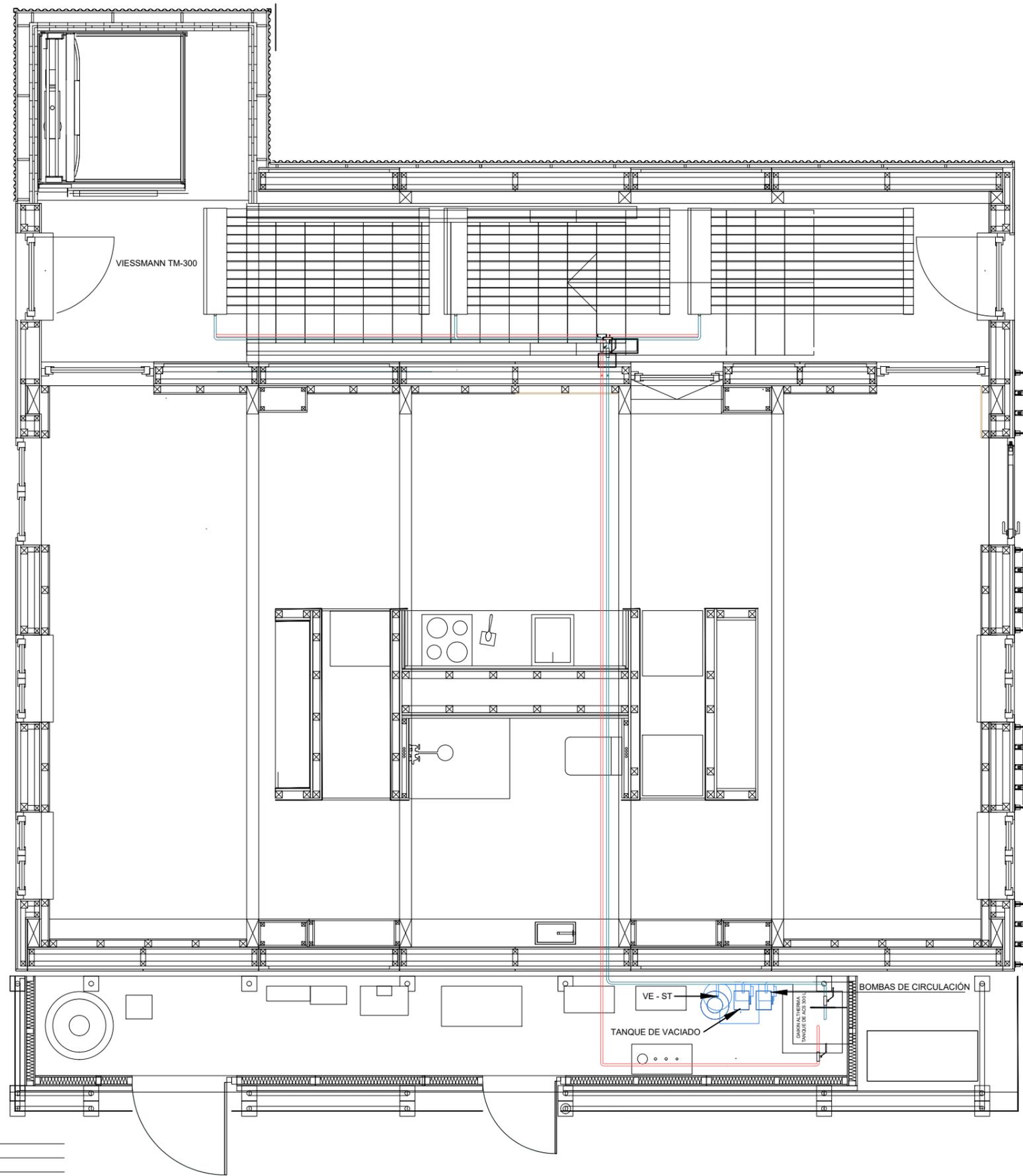
	DN-20 PEX Fancoil tubería de retorno		Colector de 2 y 3 salidas
	DN-20 PEX Fancoil tubería de suministro		Extracción del baño
	Válvula motorizada de tres vías		Conductos de impulsión
	Compuerta motorizada		Conductos de extracción
	Recuperador de calor - SIBER EVO 2		Fancoil - Fandek FCES 2T





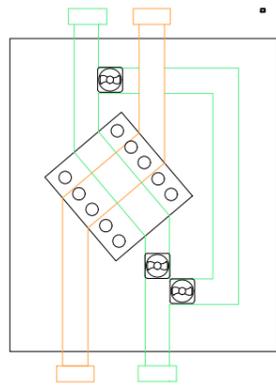
SIMBOLOS Y COMPONENTES

	DN-20 PEX Tubería de retorno Fancoil		Colector de aire con 2 y 3 salidas
	DN-20 PEX Tubería de ida Fancoil		Extracción del baño
	Válvula motorizada de tres vías		Conducto de impulsión ventilación
	Compuertas motorizadas		Conducto de expulsión ventilación
	Recuperador de calor - SIBER EVO 2		Fancoil - Fandek FCES 2T



## RECUPERADOR DE CALOR

El recuperador de calor previene la pérdida de temperatura mientras se mantiene la calidad del aire interior. Podemos hacer uso del free cooling en verano para eliminar el exceso de calor a través de la ventilación mecánica controlada.



## SISTEMA XALOC

Se trata de un volumen que absorbe la radiación solar y la almacena en un material de cambio de fase con alta inercia térmica. Cuando el sistema de control lo considera, se hace pasar la ventilación mecánica a través del sistema Xaloc para calentar el aire que se introduce en el interior de la vivienda. Esto es especialmente interesante durante el invierno.

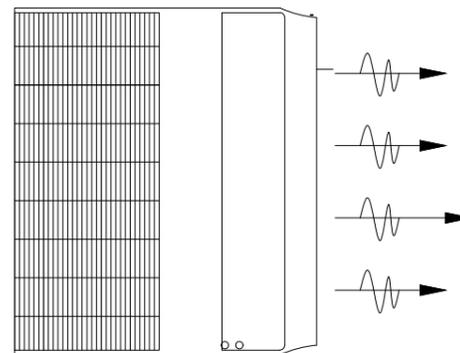
## VENTILACIÓN NATURAL (CHIMENEA SOLAR)

La chimenea solar funciona gracias a XALOC. Para complementar la chimenea, se tienen las ventanas en orientación este - oeste para aprovechar la dirección natural del viento.

## Fancoils

Ambos fancoils se disponen de forma que pueden cubrir ambas zonas de la vivienda de forma simétrica.

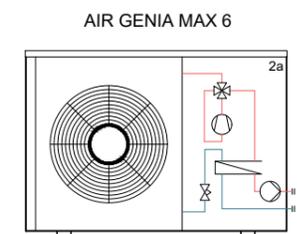
Por medio del uso de luz ultravioleta tipo UVC y un filtro de óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) se consigue eliminar cualquier tipo de microorganismo que haya podido introducirse en el sistema.



## BOMBA DE CALOR

Sistema de aerotermia (aire - agua) para generación de agua caliente sanitaria y climatización.

Con un SCOP de 4,13 para climas fríos, Air Genia Max 6 tiene un gran rendimiento.



## **ANEXOS**

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1 – Evaluación de alternativas de aerotermia .....</b>	<b>1</b>
<b>Anexo 2 – Evaluación de alternativas de colectores solares .....</b>	<b>3</b>
<b>Anexo 3 – Selección de la orientación óptima según la demanda de climatización .....</b>	<b>8</b>
<b>Anexo 4 – Reglas de la competición del SDE .....</b>	<b>12</b>

## ANEXO 1 COMPARATIVA DE EQUIPOS DE AEROTERMIA

En el presente anexo se realiza una evaluación comparativa de equipos de aerotermia, destacando las características y ventajas del modelo Genia Air Max 6 frente a otros sistemas disponibles en el mercado. Este análisis se enfoca en aspectos clave como la eficiencia energética, la facilidad de instalación, la integración con energías renovables y las capacidades avanzadas de control. A través de una comparación detallada con modelos competidores como el Daikin Altherma 3M, el Mitsubishi ECODAN + ECOINVERTER y el Magna Aqua 100, se busca proporcionar una visión clara de cómo el Genia Air Max 6 se posiciona como una opción superior en términos de rendimiento, flexibilidad y sostenibilidad.

Características	Daikin Altherma 3M	Genia Air Max 6	Magna Aqua 100	ECODAN + ECOINVERTER Mitsubishi
Tipo de Unidad	Monobloc	Monobloc	Monobloc	Bibloc
Capacidad Nominal (kW)	4-8 kW	6 kW	9-10 kW	4-16 kW
SCOP A7/W35	4,61	4,79	3,58	4,7
Clasificación Energética	A++/A+++	A+++	A+	A++/A+++
Rango de Temperatura de Operación (Calefacción)	-25°C a +35°C	-25°C a +43°C	-7°C a +35°C	-25°C a +35°C
Rango de Temperatura de Agua	Hasta 65°C	Hasta 70°C	Hasta 70°C	Hasta 60°C
Nivel de Ruido (dB(A))	58-62 dB(A)	40-60 dB(A)	45-50 dB(A)	49-55 dB(A)
Dimensiones (Alto x Ancho x Fondo mm)	770 x 1,250 x 362 mm	1200 x 1000 x 450 mm	525 x 543 x 1,287 mm	1020 x 870 x 330 mm
Peso (kg)	91 kg	130 kg	170 kg	130 kg
Refrigerante Utilizado	R-32	R290	R290	R-32
Conectividad y Control	WiFi integrado, compatible con la App Daikin	Mipro control, compatible con PLC	Opcional (requiere accesorio adicional)	Control remoto y WiFi opcional
Compatibilidad con Sistemas Renovables	Compatible con energía solar térmica	Compatible con depósito de tres serpentines para energía solar	Compatible con energía fotovoltaica	Compatible con energía solar térmica y fotovoltaica

La elección de la aerotermia Genia Air Max 6 se fundamenta en varios aspectos clave que la destacan frente a otros modelos disponibles en el mercado. Un factor decisivo es el uso del refrigerante R290 en los nuevos modelos, un refrigerante de bajo impacto ambiental que ofrece una eficiencia energética superior en comparación con opciones como el R-32 utilizado en otros equipos como el Daikin Altherma 3M y el Mitsubishi ECODAN + ECOINVERTER. Además, al ser una unidad Monobloc, la Genia Air Max 6 simplifica la instalación al no requerir una unidad interior, lo que no solo reduce los costos de instalación, sino que también minimiza el espacio requerido, a diferencia del sistema Bibloc del Mitsubishi ECODAN + ECOINVERTER, que sí necesita una unidad interior.

Otro aspecto destacado de la Genia Air Max 6 es su compatibilidad con un depósito de tres serpentines, lo que permite su integración con colectores solares, mejorando así la eficiencia energética global del sistema. Esta flexibilidad no está presente en todos los modelos comparados, haciendo de la Genia Air Max 6 una opción superior para proyectos que buscan incorporar energías renovables. Comparativamente, el Magna Aqua 100 ofrece compatibilidad con energía fotovoltaica, pero su potencia es superior a la necesaria.

En cuanto al control, la unidad viene equipada con el sistema Mipro, que facilita una integración fluida con nuestro sistema de control basado en señales controladas por un PLC, lo

que permite una gestión más precisa y eficiente de la climatización. Esta característica de control avanzado supera las opciones de conectividad ofrecidas por otros modelos, como la Daikin Altherma 3M, que, aunque tiene conectividad WiFi, no ofrece la misma capacidad de integración avanzada. Finalmente, la capacidad de la Genia Air Max 6 para alcanzar temperaturas de hasta 70°C no solo garantiza una mayor versatilidad en su uso, sino que también protege la instalación contra la legionela, un beneficio significativo que solo comparte con el Magna Aqua 100, pero que supera al rango máximo de 60°C del Mitsubishi ECODAN + ECOINVERTER y 65°C del Daikin Altherma 3M. Este rango de temperatura mejorado también permite un funcionamiento más rápido y adaptable, optimizando las lógicas de control para obtener el máximo rendimiento del sistema.

## ANEXO 2 - EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE COLECTORES SOLARES

Se realiza una evaluación exhaustiva de sistemas comerciales de alta eficiencia y elevado rendimiento en la producción de agua caliente sanitaria (ACS). El análisis abarca diversas tecnologías, incluyendo paneles híbridos, colectores solares planos y tubos de vacío en dos tamaños diferentes. Esta evaluación se enmarca en el contexto del Solar Decathlon Europe para Wuppertal. Dado que los datos meteorológicos de Düsseldorf son más accesibles y presentan una alta similitud climática, se utilizan como referencia para el estudio.

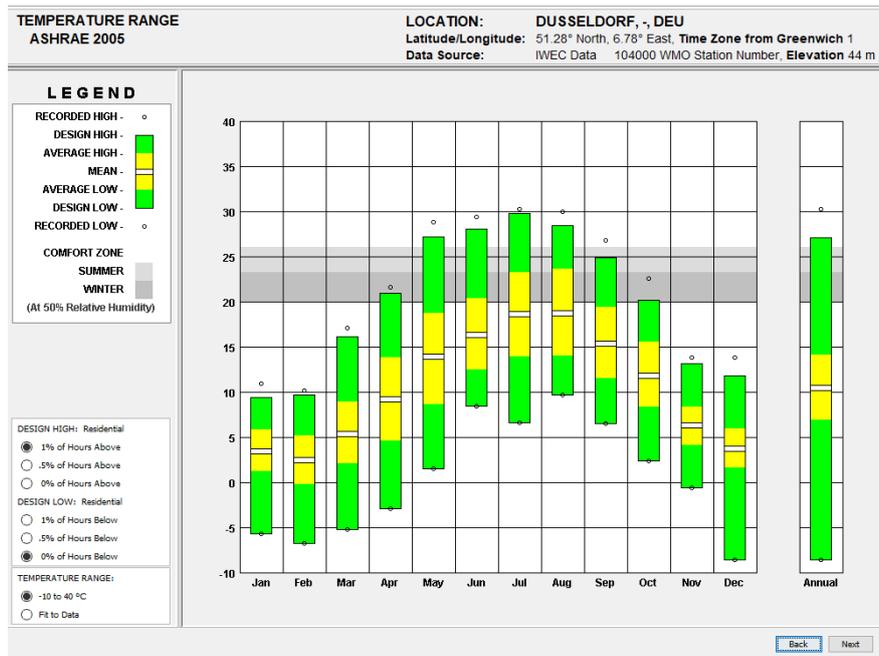


Ilustración 1: Rango de temperaturas (°C) en Düsseldorf - Deutscher Wetterdienst (DWD)

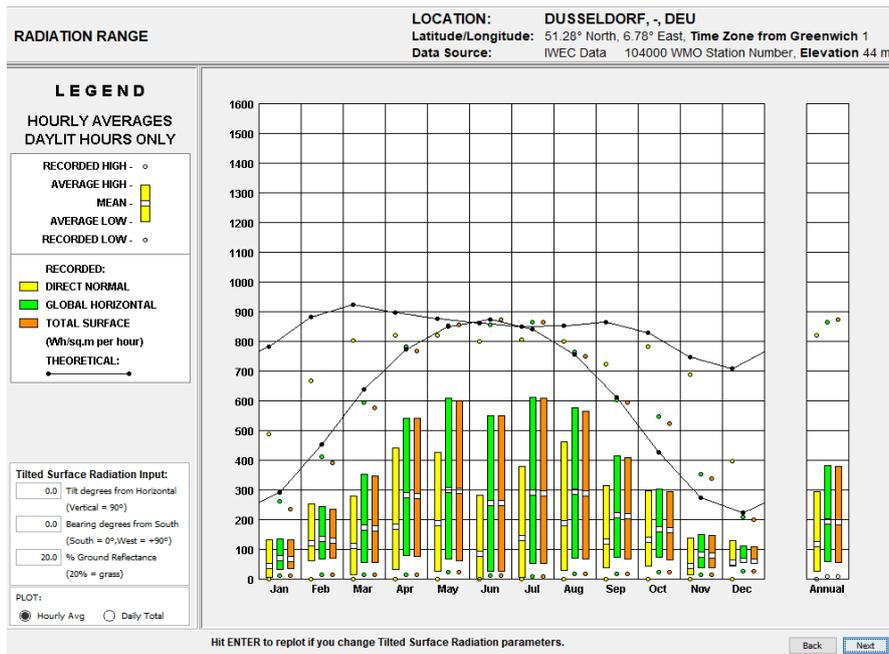


Ilustración 2: Rango de radiación (W/m<sup>2</sup>) en Düsseldorf - Deutscher Wetterdienst (DWD)

Tabla 1: Datos meteorológicos Wuppertal

Parámetro	Valor
Ubicación	Wuppertal
Temperatura Ambiente Media	16 °C
Radiación Solar Global	550 W/m <sup>2</sup>

Tabla 2: Datos característicos del colector solar

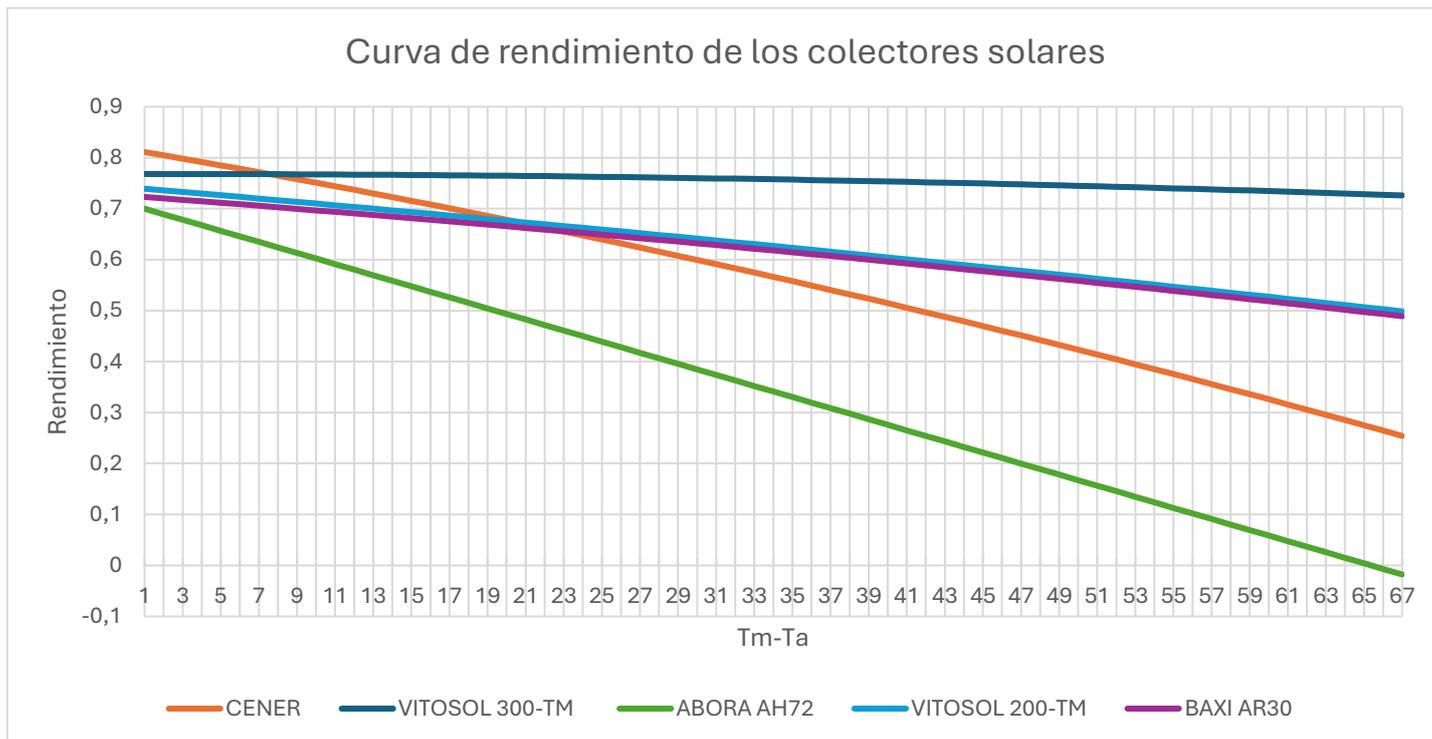
	CENER	BAXI AR30	ABORA AH72	VITOSOL 200-TM	VITOSOL 300-TM
$\eta_0$	0,811	0,768	0,7	0,739	0,723
$k_1$	3,519	1,36	5,98	1,74	1,554
$k_2$	0,017	0,0053	0	0,004	0,006

Ecuación 1: Rendimiento global de un colector solar

$$\eta = \eta_0 - k_1 * (T_m - T_a) / I - k_2 * (T_m - T_a)^2 / I$$

- **( $\eta$ ):** es la eficiencia térmica del colector solar.
- **( $\eta_0$ ):** es la eficiencia óptica del colector (el rendimiento máximo bajo condiciones ideales).
- **( $T_m$ ):** es la temperatura media del colector.
- **( $T_a$ ):** es la temperatura ambiente.
- **( $I$ ):** es la irradiancia solar global incidente sobre el colector (medida en W/m<sup>2</sup>).
- **( $k_1$  y  $k_2$ ):** son coeficientes de pérdidas térmicas que representan las pérdidas de calor del colector al ambiente por convección, radiación, etc.

Utilizando los datos característicos del colector solar presentados en la Tabla 2, que incluyen los valores de  $\eta_0$ ,  $k_1$  y  $k_2$ , es posible calcular el rendimiento conforme a lo expresado en la Ecuación 1. De esta manera, para cada uno de los paneles analizados, se genera una curva de rendimiento en función de la diferencia de temperatura entre el ambiente y la temperatura media del colector bajo esas condiciones específicas. Los resultados obtenidos se muestran en la Ilustración 3, mientras que los cálculos detallados para la construcción de las curvas de rendimiento de cada modelo se presentan en la Tabla 3, lo que permite una comparativa precisa entre los diferentes sistemas.



*Ilustración 3: Curva de rendimiento para los colectores solares*

En la comparación de rendimiento entre los paneles solares CENER, VITOSOL 300-TM, ABORA AH72, VITOSOL 200-TM y BAXI 30 se observan diferencias significativas. El panel híbrido ABORA AH72, que combina fotovoltaica y solar térmica, parte en desventaja debido a su mayor factor de pérdidas, resultando en un rendimiento inferior en todas las condiciones evaluadas. El panel CENER, un captador solar plano, muestra un rendimiento mejor cuando su temperatura no supera en más de 7°C la temperatura ambiente. Sin embargo, a temperaturas superiores a los 50-80°C, que es el rango típico para paneles solares térmicos, el rendimiento de CENER se ve afectado negativamente en comparación con el BAXI 30.

El colector solar VITOSOL 300-TM, un captador de tubos de vacío, destaca por su alta eficiencia, manteniendo un rendimiento superior incluso en condiciones de altas temperaturas, según las simulaciones realizadas. En comparación, el Abora AH72 muestra una menor eficiencia debido a su mayor factor de pérdidas, mientras que el CENER ofrece un buen rendimiento en temperaturas moderadas, pero su eficacia disminuye significativamente a temperaturas elevadas. El VITOSOL 300-TM, en cambio, se posiciona como la mejor opción para climas cálidos, como el de Valencia, gracias a su rendimiento óptimo en condiciones de calor intenso.

Aunque es necesario dimensionar el sistema para dos climas completamente distintos, se selecciona el VITOSOL 300-TM por su capacidad de mejorar el rendimiento energético en el emplazamiento proyectado del barrio del Cabanyal además de que los tubos de vacío presentan un gran rendimiento para climas con menor radiación solar como Wuppertal.

Tabla 3: Cálculo de rendimiento según la Ecuación 1

$T_m$	$T_m - T_a$	CENER ( $\eta$ )	VITOSOL 300-TM ( $\eta$ )	ABORA AH72 ( $\eta$ )	VITOSOL 200-TM ( $\eta$ )	BAXI AR30
16	0	0,811	0,768	0,700	0,739	0,723
17	1	0,805	0,768	0,689	0,736	0,720
18	2	0,798	0,768	0,678	0,733	0,717
19	3	0,792	0,768	0,667	0,729	0,714
20	4	0,785	0,768	0,657	0,726	0,712
21	5	0,778	0,768	0,646	0,723	0,709
22	6	0,771	0,768	0,635	0,720	0,706
23	7	0,765	0,768	0,624	0,716	0,703
24	8	0,758	0,767	0,613	0,713	0,700
25	9	0,751	0,767	0,602	0,710	0,697
26	10	0,744	0,767	0,591	0,707	0,694
27	11	0,737	0,767	0,580	0,703	0,691
28	12	0,730	0,767	0,570	0,700	0,688
29	13	0,723	0,766	0,559	0,697	0,684
30	14	0,715	0,766	0,548	0,693	0,681
31	15	0,708	0,766	0,537	0,690	0,678
32	16	0,701	0,766	0,526	0,687	0,675
33	17	0,693	0,765	0,515	0,683	0,672
34	18	0,686	0,765	0,504	0,680	0,669
35	19	0,678	0,765	0,493	0,676	0,665
36	20	0,671	0,764	0,483	0,673	0,662
37	21	0,663	0,764	0,472	0,669	0,659
38	22	0,655	0,763	0,461	0,666	0,656
39	23	0,647	0,763	0,450	0,662	0,652
40	24	0,640	0,762	0,439	0,659	0,649
41	25	0,632	0,762	0,428	0,655	0,646
42	26	0,624	0,761	0,417	0,652	0,642
43	27	0,616	0,761	0,406	0,648	0,639
44	28	0,608	0,760	0,396	0,645	0,635
45	29	0,599	0,760	0,385	0,641	0,632
46	30	0,591	0,759	0,374	0,638	0,628
47	31	0,583	0,759	0,363	0,634	0,625
48	32	0,575	0,758	0,352	0,630	0,621
49	33	0,566	0,758	0,341	0,627	0,618
50	34	0,558	0,757	0,330	0,623	0,614
51	35	0,549	0,756	0,319	0,619	0,611
52	36	0,541	0,756	0,309	0,616	0,607
53	37	0,532	0,755	0,298	0,612	0,604
54	38	0,523	0,754	0,287	0,608	0,600
55	39	0,514	0,753	0,276	0,605	0,596
56	40	0,506	0,753	0,265	0,601	0,593
57	41	0,497	0,752	0,254	0,597	0,589
58	42	0,488	0,751	0,243	0,593	0,585
59	43	0,479	0,750	0,232	0,590	0,581

60	44	0,470	0,749	0,222	0,586	0,578
61	45	0,460	0,748	0,211	0,582	0,574
62	46	0,451	0,748	0,200	0,578	0,570
63	47	0,442	0,747	0,189	0,574	0,566
64	48	0,433	0,746	0,178	0,570	0,562
65	49	0,423	0,745	0,167	0,567	0,558
66	50	0,414	0,744	0,156	0,563	0,554
67	51	0,404	0,743	0,145	0,559	0,551
68	52	0,395	0,742	0,135	0,555	0,547
69	53	0,385	0,741	0,124	0,551	0,543
70	54	0,375	0,740	0,113	0,547	0,539
71	55	0,366	0,739	0,102	0,543	0,535
72	56	0,356	0,738	0,091	0,539	0,531
73	57	0,346	0,737	0,080	0,535	0,527
74	58	0,336	0,736	0,069	0,531	0,522
75	59	0,326	0,734	0,059	0,527	0,518
76	60	0,316	0,733	0,048	0,523	0,514
77	61	0,306	0,732	0,037	0,519	0,510
78	62	0,295	0,731	0,026	0,515	0,506
79	63	0,285	0,730	0,015	0,511	0,502
80	64	0,275	0,729	0,004	0,507	0,497
81	65	0,265	0,727	-0,007	0,503	0,493
82	66	0,254	0,726	-0,018	0,499	0,489

### **ANEXO 3 - SELECCIÓN DE LA ORIENTACIÓN ÓPTIMA DE LA VIVIENDA**

Debido a que el presente proyecto se encuentra enmarcado en la competición Solar Decathlon Europe, aunque encontramos problemas a la hora de cambiar las alternativas de orientación en el barrio del Cabanyal en el emplazamiento original, se estudian las alternativas debido a que en Wuppertal durante el contexto de la competición no existen restricciones de orientación y por tanto se detalla el estudio en este anexo.

El diseño de la House Demonstration Unit (HDU), el prototipo a diseñar y construir para la competición Solar Decathlon Europe en Wuppertal, se basa en una planta única y una terraza accesible a través de una escalera.

El papel del grosor del aislamiento es más importante cuanto menores son las aperturas. En el diseño, el nivel de aperturas en la orientación Este-Oeste es de alrededor del 51%. El aislamiento reduce más la calefacción que la refrigeración.

El modelo base que se ha simulado se ha diseñado gráficamente en SketchUp. Tiene un volumen acondicionado de [10 x 5,9 x 2,6] m que simula la vivienda y un espacio no acondicionado de [10 x 1,36 x 5,2] m que simula la escalera. En ambos espacios, se crean aperturas en las fachadas.

Este modelo se introduce en OpenStudio y se aplican todas las condiciones de frontera previamente establecidas: materiales, condiciones de confort.

Utilizando la Herramienta de Análisis Paramétrico, se realizan diferentes configuraciones de la orientación del modelo con las siguientes variables:

- Orientación: N-S, E-O
- Ubicación de la escalera: Norte, Sur, Este, Oeste
- % de aperturas en la fachada, tanto simétricas como asimétricas: 20%, 40%, 50%, 60%, 80%.
- Consideración de la fachada sur que complementa las fachadas este y oeste.

En total se consideran 84 alternativas de diseño. Además, cada alternativa se analiza para el período de la competición y para un período operativo anual en Wuppertal.

Durante el período de competición del proyecto, se observa una clara relación inversa entre las necesidades de calefacción y refrigeración. Es decir, en general, los modelos que demandan menos energía para calentar la vivienda también son aquellos que requieren más energía para reducir la temperatura y viceversa. Así, la energía para calefacción varía en el rango de [420, 700] kWh/año y la energía para refrigeración en el rango de [20, 1120] kWh. Además, la relación entre ambos se asemeja a una regresión lineal en los rangos de C[500, 700] kWh y R[20, 250] kWh.

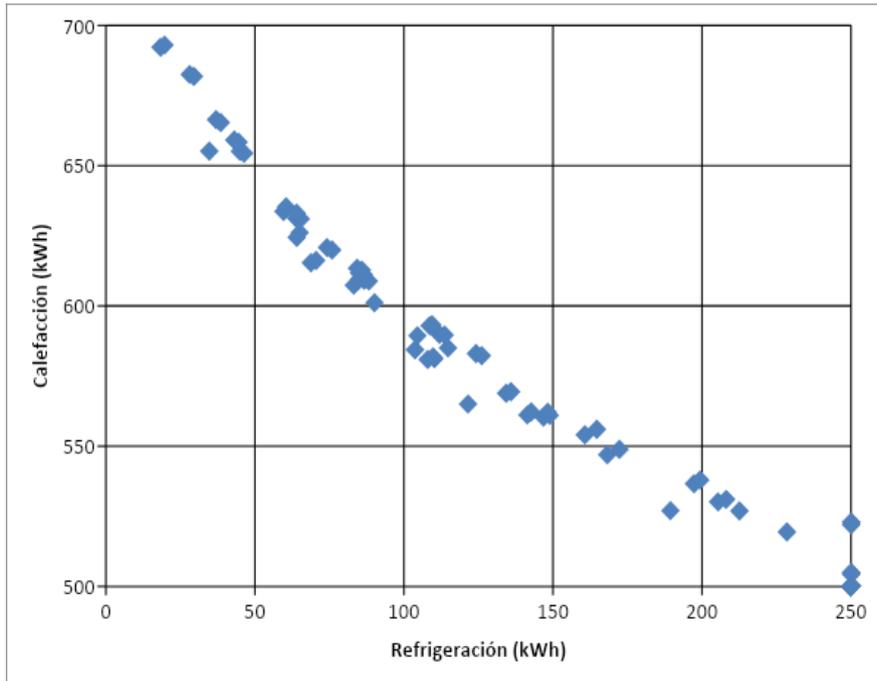


Ilustración 1: Gráfico comparativo de la demanda de calefacción y refrigeración de todas las alternativas (área con comportamiento lineal) – generación propia

Reproduce un comportamiento asintótico a medida que las necesidades de calefacción se reducen por debajo de 500 kWh, aumentando rápidamente la energía requerida para la refrigeración.

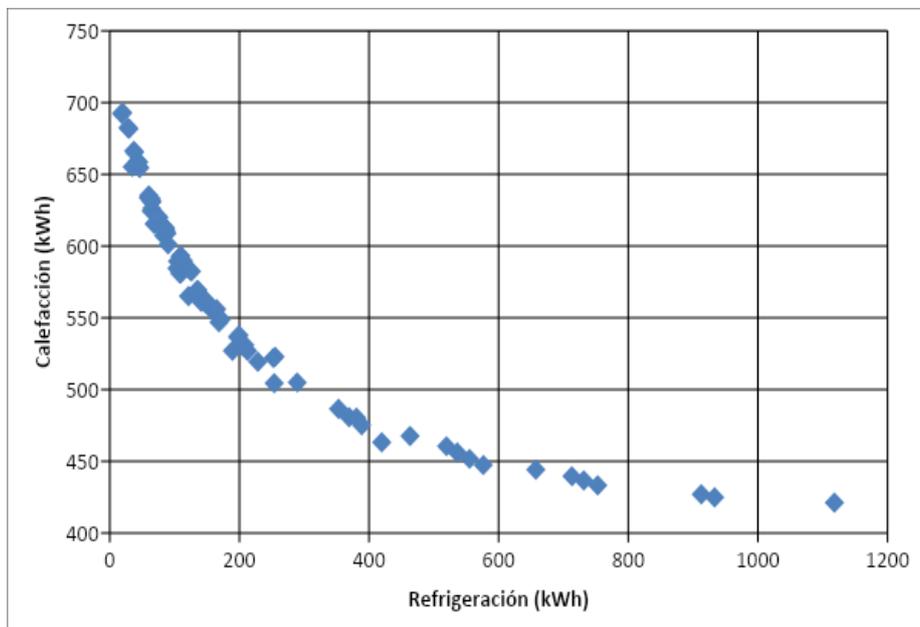


Ilustración 2: Gráfico comparativo de la demanda de calefacción y refrigeración de todas las alternativas – generación propia

En cuanto a la distribución de las alternativas, el resultado es el siguiente (en naranja Este-Oeste, en azul Norte-Sur; en morado aperturas en tres fachadas hacia el sur). En la última columna se indica la desviación respecto al mejor resultado:

Tabla 1: Comparación de las mejores alternativas en el período de la competición – generación propia

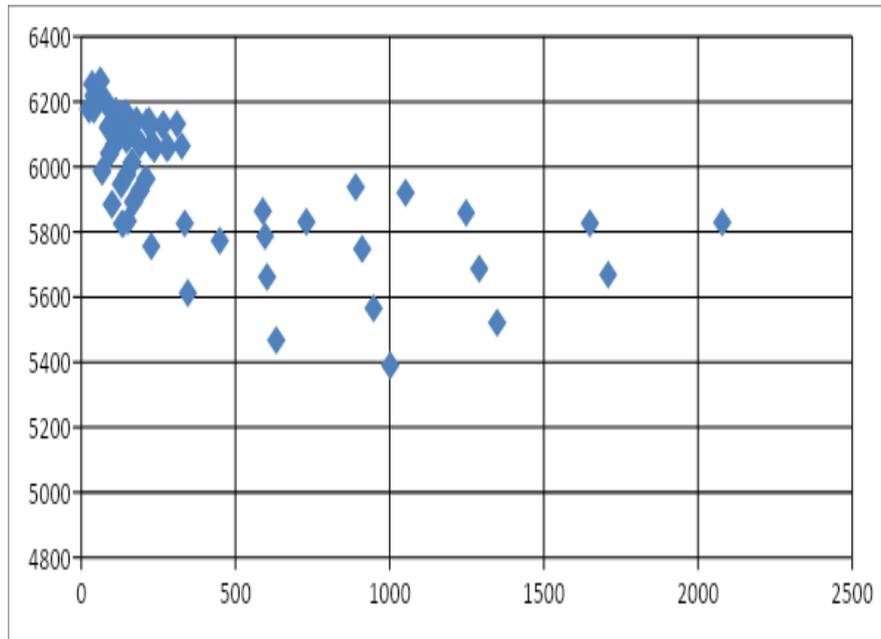
Name	Tipo	Simetría	Cooling (kWh)	Heating (kWh)	Sumatorio (kWh)	Sum (kWh/m2)	
S-N Esc E WWR4		S	68.8	615.4	684.2	11.59661017	0.00%
E-O WWR4		S	121.5	565	686.5	11.63559322	0.34%
N-S Esc O WWR4		S	70.5	616.2	686.7	11.63898305	0.37%
Baeline_competition WWR2 Sur 02		S	103.7	584.4	688.1	11.66271186	0.57%
PC EO E04 O02		A	64	624.4	688.4	11.66779661	0.61%
S-N Esc E WWR		S	108	580.9	688.9	11.67627119	0.69%
E-O WWR2		S	34.7	655.2	689.9	11.69322034	0.83%
PC OE E02 O05		A	83.2	607.4	690.6	11.70508475	0.94%
PC EO E02 O04		A	65	626.1	691.1	11.71355932	1.01%
PC EO E02 O05		A	90.1	601.1	691.2	11.71525424	1.02%
PC EO E06 O02		A	110.2	581.2	691.4	11.71864407	1.05%
N-S Esc O WWR		S	109.8	581.8	691.6	11.72203339	1.08%
PC OE E02 O04		A	59.6	633.7	693.3	11.75084746	1.33%
PC OE E02 O06		A	104.5	589.4	693.9	11.76101695	1.42%
PC OE E05 O02		A	84.9	609.3	694.2	11.76610169	1.46%
PC SN E04 O05		A	74.2	620.8	695	11.77966102	1.58%
PC SN E05 O02		A	63.9	631.3	695.2	11.78305085	1.61%
PC NS E05 O04		A	75.9	619.9	695.8	11.79322034	1.70%
PC OE E04 O02		A	60.5	635.3	695.8	11.79322034	1.70%
PC SN E05 O04		A	86.6	609.2	695.8	11.79322034	1.70%
PC NS E02 O05		A	65.4	631	696.4	11.80338983	1.78%
PC SN E04 O06		A	84.9	611.7	696.6	11.80677966	1.81%
PC NS E04 O05		A	88.2	608.9	697.1	11.81525424	1.89%
PC NS E04 O06		A	64	633.1	697.1	11.81525424	1.89%
PC NS E06 O04		A	86.5	611.1	697.6	11.82372881	1.96%
PC SN E06 O02		A	84.3	613.4	697.7	11.82542373	1.97%

Se puede observar que los mejores valores de necesidades térmicas globales se obtienen principalmente para valores de apertura alrededor del 40%. Aunque la orientación óptima es Norte-Sur, dentro del rango del 1% encontramos hasta 4 alternativas con orientación Este-Oeste, frente a las tres con orientación Norte-Sur. En cuanto al modelo con ventanas orientadas al sur, solo se incluye la opción de ventanas del 20% en todas las fachadas. Además, predominan los resultados simétricos.

La opción Este-Oeste con aperturas del 40% es también la que tiene los mejores valores de calefacción dentro del rango del 3.2%. En lo que respecta a los valores de calefacción, los mejores valores sacrifican demasiado las necesidades de refrigeración, no encontrando ningún valor dentro del rango del 5% hasta un valor de 516 kWh para calefacción (precisamente la opción estándar propuesta por la arquitectura Este-Oeste con aperturas de aproximadamente 50%). Esta opción requeriría un valor de refrigeración de 190 kWh.

En cuanto a la refrigeración, cualquier valor de refrigeración inferior a 100 kWh requiere un valor de calefacción no menor de 600 kWh. Teóricamente, mediante un sistema de sombreado, los valores asociados con la calefacción podrían mantenerse mientras se reducen los valores de refrigeración.

Anual Las opciones orientadas al sur muestran una mayor dispersión y una clara influencia de la calefacción sobre la refrigeración. En rojo, el modelo base.



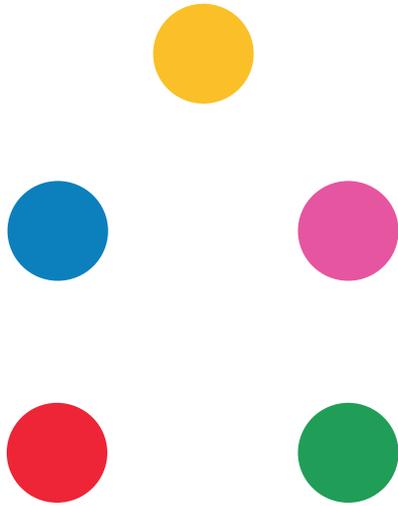
*Ilustración 3: Comparación de la demanda de calefacción y refrigeración para la simulación anual – generación propia*

Las opciones Sur y Norte tienen una gran ventaja sobre las opciones Este y Oeste. Entre ellas se encuentran las opciones E-O con ventanas hacia el sur. Dentro del 2% de la opción óptima, hay 13 alternativas de las cuales:

- 3 opciones E-O con apertura hacia el sur.
- 10 opciones de fachadas en Sur y Norte (todas asimétricas).
- 0 opciones de fachadas en Este y Oeste

Por otro lado, realizando una comparativa de las mejores alternativas de forma anual, la opción óptima es tener un 40% de aperturas hacia el sur y un 20% tanto en el este como en el oeste. En el caso de S-N, se favorecen las pequeñas aperturas hacia el norte y las grandes aperturas hacia el sur, lo que permite la ganancia solar en verano. La primera opción de fachadas sur y norte con aperturas simétricas aparece al 2.7%, con aperturas estándar (alrededor del 50% de aperturas). La primera opción para las fachadas este y oeste está al 4.01%, con un 40% de aperturas hacia el este y un 20% hacia el oeste.

Según los resultados obtenidos y su ponderación en la competición, y considerando que también se ajusta a la parcela real en el barrio del Cabanyal, se decide orientar el HDU en dirección este-oeste.



# solar decathlon<sup>21»22</sup> europe

WUPPERTAL GERMANY *... goes urban!*

## rules

version 2.3

07\_02\_2022

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag

**TABLE 1. LIST OF CHANGES.**

VERSION	RULE	PAGE	NOTES
2.3			Replaced 'Competition Calendar' with 'Event Calendar in the document.
2.3	12.2	27	No more than 20 people in total ... can be found in the SDE 21/22 Event Calendar.
2.3	12.2	28	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jurors, Observers, official Competition photographers and ... in addition to the six people.;</li> <li>• During the Dinner Party ... See Rule 22_ House Functioning Sub-contest 8.11;</li> </ul>
2.3	12.2	28	No attendance is allowed in the HDUs during the experiment of the Performance Gap Sub-Contest. These days are defined in the SDE21/22 Event Calendar.
2.3	12.2	28	monitoring period for the Comfort Contest takes place
2.3	14.1	34	HDU
2.3	14.1	34	Teams can show the audio-visual #3 to the Jury. Audio-visual #3 will be provided to the Jury in advance.
2.3	14.4	34	Competition
2.3	15	35	& lighting
2.3	17.1	36	All available points will be earned by the house with the lowest energy consumption ... or higher than 2.0 times the average consumption.
2.3	17.2	37	House Demonstration Units
2.3	17.2	37	All available points will be earned by the house with the highest energy balance... or if the consumption exceeds the generation.
2.3	17.3	37	House Demonstration Units
2.3	17.3	37	All available points will be earned by the house with the highest self-consumption... No points are earned if the calculated self-consumption is 0.
2.3	17.4	38	House Demonstration Units
2.3	17.4	38	(8 am to 6 pm)
2.3	17.4	38	All available points will be earned by the house with the highest PV system performance ratio ... if the calculated PV system performance ratio is 0.
2.3	21	44	Sub-Contest 7.2: Humidity: new graphic included
2.3	21	44	Sub-Contest 7.3: Air quality: values adjusted & new graphic included
2.3	21	45	Sub-Contest 7.4: Daylighting: new graphic included
2.3	21	45	Sub-Contest 7.4: Daylighting: Artificial light must be switched off during these times.
2.3	21	46	Sub-Contest 7.5: Sound Insulation: new graphic included
2.3	21	47	Sub-Contest 7.6: Blower Door Test: new graphic included

2.3	22	48	Sub-Contest 8.1: Refrigeration: values adjusted & new graphic included
2.3	22	49	Sub-Contest 8.2: Freezing: values adjusted & new graphic included
2.3	22	50	Sub-Contest 8.3: Clothes Washing: The Clothes Washing task requires to run one or more complete, uninterrupted, ... at some point during the clothes washing cycle.
2.3	22	50	Sub-Contest 8.3: Clothes Washing: Proportionate points
2.3	22	50	Sub-Contest 8.3: Clothes Washing: a maximum temperature between 36 °C and 40 °C.
2.3	22	50	Sub-Contest 8.3: Clothes Washing: No points are earned if the temperature sensor does not reach a temperature higher than 36 °C.
2.3	22	50	Sub-Contest 8.3: Clothes Drying: within the defined task period of the respective day in the Event Calendar.
2.3	22	51	Sub-Contest 8.5: Dishwashing: The dishwashing task requires to run a complete, uninterrupted, ... at some point during the dishwashing cycle.
2.3	22	51	Sub-Contest 8.5: Dishwashing: between 43.0 °C and 49.0 °C.
2.3	22	51	Sub-Contest 8.5: Dishwashing: No points are earned if the water does not reach a temperature over 43.0 °C.
2.3	22	52	Sub-Contest 8.5: Dishwashing: 43.0 °C.
2.3	22	52	Sub-Contest 8.6: Oven: The oven task lasts 60 minutes, from its start to its stop ... oven temperature to be used for score calculation.
2.3	22	52	Sub-Contest 8.6: Oven: median
2.3	22	53	Sub-Contest 8.7: Cooking: a maximum time of two hours.
2.3	22	53	Sub-Contest 8.7: Cooking: No points are earned if the evaporated water is equal or less to 0.5 kg.
2.3	22	54	Sub-Contest 8.10: Water Balance: Reduced points are earned if the house's water consumption is between the lowest consumption ... or higher than twice the houses' average consumption.
2.3	22	55	Sub-Contest 8.10: Water Balance: new graphic included
2.3	30	76	Added: 30.7: Electronic Files; 30.8: Project Description Poster; 30.9: Audio-visual
2.3	34	80	Updated Table 25
2.3	48	94	> 07 _ Appliance; > 08 _ Vehicle; > 09 _ Other.

**Please note: SDE21/22 Competition refers to House Demonstration Units (HDU) to replace the notion of 'house'.**

**The information included in the present document may change!**

Details or complementary information will be added in the future. All modifications will be clearly indicated in updated editions of the SDE21/22 Rules.

Revised contents in the text are coloured blue.

[**Note:** In each version, only the changed content related to the currently valid Rules version is coloured.]

# contents

<b>introduction</b>	<b>7</b>
<b>section 1.0_ general rules</b>	<b>8</b>
Rule 1 _ SDE21/22 Organisation	8
Rule 2 _ Administration	9
Rule 3 _ Participation	13
Rule 4 _ SDE21/22 Solar Campus	14
Rule 5 _ Solar Envelope	17
Rule 6 _ Project Extents	18
Rule 7 _ Energy	20
Rule 8 _ Liquids	22
Rule 9 _ Vegetation Placement	23
Rule 10 _ Monitoring	24
Rule 11 _ The Event	25
Rule 12 _ Contest Period	27
<b>section 2.0 contests</b>	<b>31</b>
Rule 13 _ General Contest Information	31
Rule 14 _ General Competition Criteria	32
Rule 15 _ Contest 1: Architecture	35
Rule 16 _ Contest 2: Engineering & Construction	35
Rule 17 _ Contest 3: Energy Performance	36
Rule 18 _ Contest 4: Affordability & Viability	39
Rule 19 _ Contest 5: Communication, Education & Social Awareness	40
Rule 20 _ Contest 6: Sustainability	41
Rule 21 _ Contest 7: Comfort	42
Rule 22 _ Contest 8: House Functioning	47
Rule 23 _ Contest 9: Urban Mobility	56
Rule 24 _ Contest 10: Innovation	57
<b>section 3.0 deliverables</b>	<b>58</b>
Rule 25 _ Schedule of Deliverables	58
Rule 26 _ Deliverable Submission Instructions	60
Rule 27 _ Deliverable Phases	62
Rule 28 _ Shipped Deliverable Material	65
Rule 29 _ Team Website	65
Rule 30 _ Electronic Deliverable Documents	67
Rule 31 _ Summary of Changes	77
Rule 32 _ Table of Contents	77
Rule 33 _ Rules Checklist	77
Rule 34 _ Contests Support Documents	80
Rule 35 _ Architecture Design Reports	80
Rule 36 _ Engineering & Construction Reports	81
Rule 37 _ Affordability & Viability Reports	83
Rule 38 _ Communication, Education & Social Awareness Reports	84
Rule 39 _ Sustainability Reports	88
Rule 40 _ Urban Mobility Reports	89
Rule 41 _ Dinner Party Menu	90
Rule 42 _ Contest Week Tasks' Planning	90

Rule 43 _	Cost Estimate & Project Financial Summary	90
Rule 44 _	Site Operations Plan	91
Rule 45 _	Health & Safety Report and Documents	93
Rule 46 _	Detailed Water Budget	93
Rule 47 _	Electrical & PV Design Systems Information	93
Rule 48 _	Project Specifications	93
Rule 49 _	Structural Calculations	95
<b>section 4.0: building code</b>		<b>96</b>
Rule 50 _	Building Codes Application	96
Rule 51 _	Health & Safety (HS)	120
Rule 52 _	annex for building code	136
<b>index</b>		<b>142</b>
<b>appendix a: sde21/22 wat</b>		<b>143</b>
<b>appendix b: definitions</b>		<b>146</b>
<b>items to be revised</b>		<b>154</b>

# introduction

## **Solar Decathlon**

Initiated in 2002 by the United States Department of Energy, the Solar Decathlon (SD) is a university-level student Competition for resource-responsible and energy-efficient architecture and engineering in the building sector. Approximately twenty university Teams compete in the design, construction and management of innovative dwellings powered by renewable energy. The prototypes are brought to the Competition site and assembled in approximately 14 days. The site becomes an open forum and exhibition, where the dwellings are operated, demonstrated to the public and evaluated by a Jury of renowned international adjudicators.

## **Solar Decathlon Europe**

The European editions of the Solar Decathlon Europe (SDE) were hosted by the Spanish government in Madrid in 2010 and 2012, and by the French government in Versailles in 2014. The SDE19 edition took place in Szentendre, Hungary. Stewarded by the Energy Endeavour Foundation (EEF), under a shared European vision of sustainable, energy efficient, resource responsible and affordable building, the SDE21/22 Competition will be hosted in Wuppertal, Germany.

## **Solar Decathlon Europe 2021 (in 2022)...goes urban!**

SDE21/22 will be the first time that the Solar Decathlon Europe 'goes urban!' The SDE21/22 Competition is organised by a local partnership headed by the University of Wuppertal in Germany. The partnership includes academic institutes from various faculties and disciplines, the Wuppertal Institute, the Neue Effizienz, the urban initiative Utopiastadt, the local utility WSW, and the city of Wuppertal. The Federal Ministry of Economic Affairs & Energy provides major funding to run the Competition as part of its initiatives to work towards a climate-neutral building stock in Germany by 2050.

## **Solar Decathlon Europe 2021 (in 2022) Rules**

The Solar Decathlon Europe Rules are designed to meet the SDE21/22 objectives and to promote a fair and interesting Competition. The Rules for the Solar Decathlon Europe 2021 (in 2022) are based on the previous versions of the Competition. However, there are changes in the Contests and Deliverables, reflecting the dual challenge of developing whole building concepts as well as designing, building and operating the House Demonstration Units (HDU). All entries must face the challenge of the transformation path towards a climate neutral building stock. This path consists of architecture and building-related measures such as efficiency improvements and on-site use of renewables as well as measures on the urban energy infrastructure. This SDE21/22 Rules document describes what each Team needs to know to be competitive in the Solar Decathlon Europe. It includes five sections:

- **Section 1.0 General Rules**  
Includes Rules related to the general aspects of the Competition, describing the SDE21/22 Organisation, the participating Teams, the site, the housing units, the final phase of the event, and the general conditions.
- **Section 2.0 Contests**  
In this section, the SDE21/22 Contests and sub-Contests are defined, including scoring distribution, the Contests evaluation criteria and the different procedures.
- **Section 3.0 Deliverables**  
This includes detailed information concerning all the documents, drawings and other materials that the Teams must submit to the SDE21/22 Organisation along with the submission dates and format requirements.
- **Section 4.0 SDE21/22 Building Code**  
This Code primarily exists to protect the Teams and public health and ensure safety. Compliance with the SDE21/22 Building Code is a prerequisite for participation in the Competition.
- **Section 5.0 Appendixes**  
This contains complementary information to the Rules.

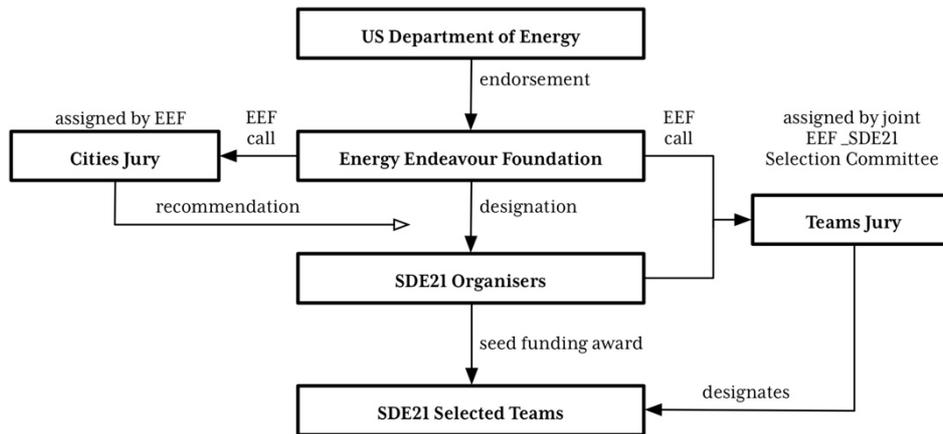
# section I.0\_ general rules

## RULE 1 \_ SDE21/22 ORGANISATION

### 1.1 SDE Authority

The stewardship of Solar Decathlon in Europe has been assigned to the Energy Endeavour Foundation (EEF) by the United States Department of Energy (US DOE). The EEF has organised a juried Call for Cities which results in the designation of a bidding municipality as Host City for the SDE in 2021. The SDE21/22 Organisation (SDE21/22 Organisers and the EEF, endorsed by DOE) will elect a Jury to select Teams responding to the SDE21/22 Call for Teams. See Chart 1.

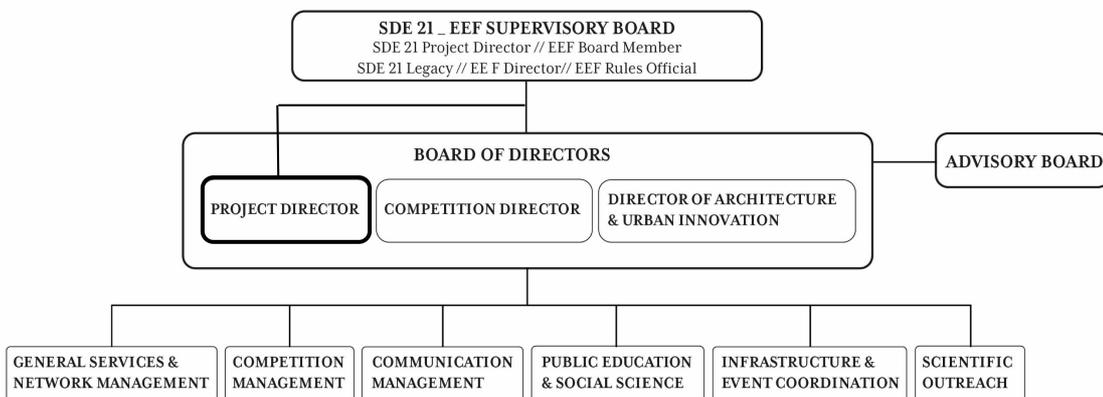
CHART 1. SOLAR DECATHLON EUROPE AUTHORITY.



### 1.2 SDE21/22 Organisation Chart

The SDE21/22 Organisation is structured as follows:

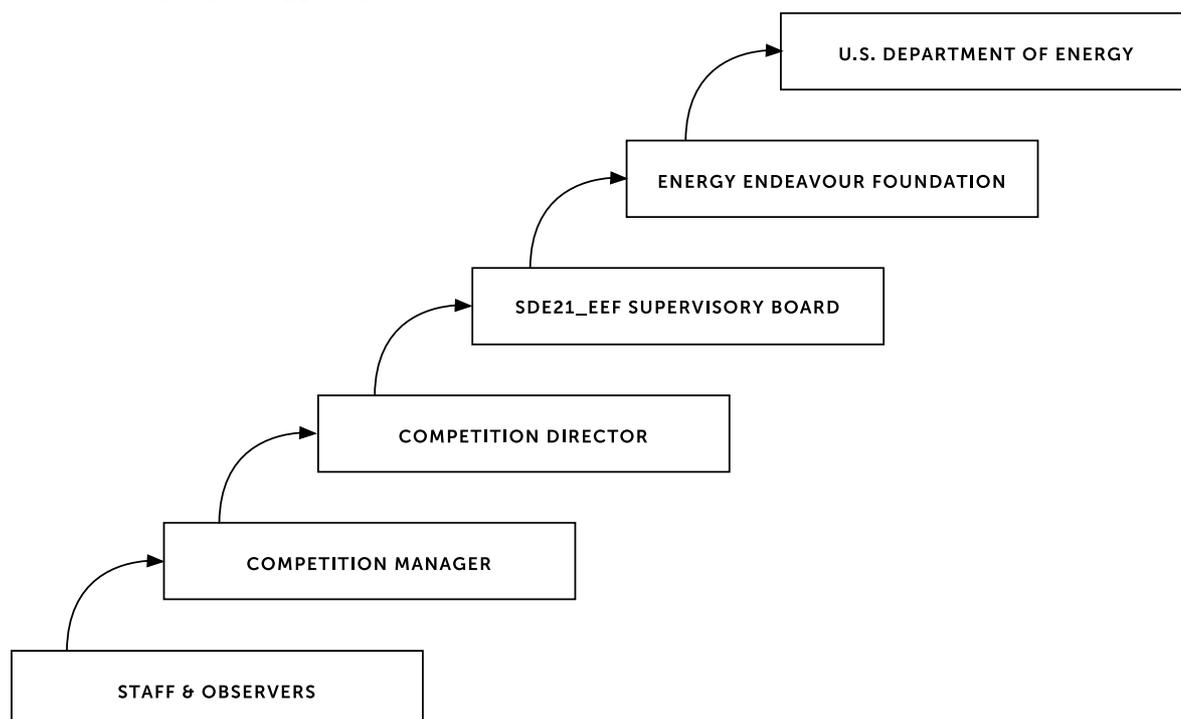
CHART 2. ORGANISATION CHART.



### 1.3 Decision Chart

For the SDE21/22 edition, the following authority structure will be used for making decisions and solving problems:

CHART 3. AUTHORITY DECISION CHART.



## RULE 2 \_ ADMINISTRATION

### 2.1 Precedence

If there is a conflict between two or more versions of the Rules, the most recent version of the Rules takes precedence.

### 2.2 Violations of Intent

A violation of the intent of a Rule is considered a violation of the Rule itself.

### 2.3 Effective Date

The latest version of the Rules posted on the SDE21/22 Workspace Area for Teams (SDE21/22 WAT) and dated for the year of the event are the Rules in effect.

### 2.4 Official Communication

It is the Team's responsibility to stay continuously updated on all official project communications. Official communication between the Teams and the SDE21/22 Organisers will occur through one or more of the following channels:

#### a) SDE21/22 Workspace (SDE21/22 WAT)

Workspace Area for Teams (SDE21/22 WAT): is the main communication tool for Competition Teams. Appendix A for the SDE21/22 WAT will be issued with future versions of the SDE21/22 Rules. The SDE21/22 WAT is the key communication platform between the SDE21/22 Organisation and Teams. The SDE21/22 WAT is a secure educational website, which is accessible only for participating Teams. All Team members must be registered.

**TABLE 3. MAXIMUM PENALTIES FOR WASTE MANAGEMENT & CONSTRUCTION SITE CLEANING.**

QUALIFICATION OF FAULT	PENALTY POINTS UP TO
Not cleaning construction area	5
Not respecting stock and work areas	5
Incorrect waste thrown in waste disposal	5

### 4.10 Working System

Each Team has to appoint a Site Operation Coordinator, who will be responsible for coordinating the Team’s site operations. (Rule 3.2 \_ Team Officers & Contact Information). Assembly and disassembly phases will be clearly indicated in the [Event](#) Calendar. During the assembly and disassembly phases, Teams will work during daylight hours. Exceptions must be cleared with SDE21/22 Organisers, always complying with the working shifts established by the Health & Safety officials. Please refer to Rule 51 for further details regarding working shifts and requirements according to Health & Safety regulations.

### 4.11 Transport

Every Team is responsible for the transport of its unit, the unit’s contents, tools and equipment to the Solar Campus. See other logistics issues in Rule 11.5 \_ Logistics. Teams will have to consider the dimensional aspects, suggesting the maximum load to be “pallet-able”. Small exceptional road transports are permitted. The maximum dimensions of the truck, including the load, must not exceed 4.0m x 3.0m x 22.0m. (height x width x length). The weight may not exceed 40 tons in total. SDE21/22 Organisers suggests that the participating Teams contact transport companies during the development phase of the project to guarantee compliance with the freight transport Rules. Special attention must be paid to Customs regulations by those Teams not from the European Union.

[**Note:** Transportation requirements according to the Host City’s local laws will be made available before Team selection.]

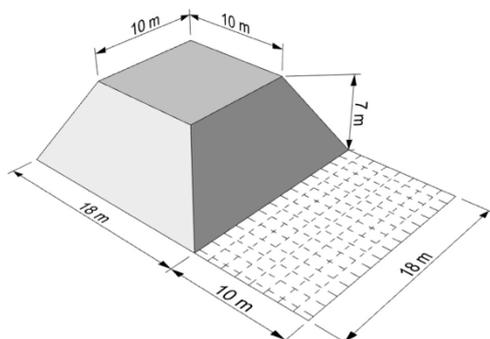
## RULE 5 \_ SOLAR ENVELOPE

### 5.1 Solar Envelope Dimensions

To protect a neighbour’s right to the sun, the housing unit and all site components on a Team’s lot must stay within the solar envelope shown in Figure 1. The solar envelope shape is a truncated pyramid whose basis measures 18 m x 18 m and whose centred top section measures 10 m x 10 m while located at a 7-meter height. The official height of a site component or set of contiguous site components is the vertical distance from the point of highest grade along the outside perimeter of the site component(s) to the highest point of the site component(s). This height must be clearly indicated in the Project Drawings. Small weather stations, antennas, air vents, or other similar small components may be specifically exempted from the compliance of solar envelope if all of the following conditions are met:

- The Team makes a request to the SDE21/22 Organisation for an exemption.
- The Team can prove to the SDE21/22 Organisation’s satisfaction that the component is not significantly restricting a neighbours’ right to the sun.

**FIGURE 1. SOLAR ENVELOPE DIMENSIONS.**



## **RULE 7 \_ ENERGY**

The energy supply of the whole building concept must reflect the energy infrastructure at the district of the chosen city (provided sites in Wuppertal or those in the Team's selected city). Teams are free to elaborate sources of energy other than solar, such as ground, ambient or waste-water heat, to develop the site-specific energy concepts for the design challenge. In the case of Teams working with sites from their own country, the energy infrastructure has to be described.

The general intention is carbon neutrality for the annual balance of the operational energy and any form of feed in energy. Carbon factors for all situations are expressed as equivalent emissions with Table 4 and based on the EU28 electricity mix reference scenario for 2030<sup>1</sup>. Consumed and feed-in electricity is counted with the identical factor. In the case of other energy carriers, the applied carbon factors must be communicated to the Organisers for general consistency. In the case of biomass or biofuels as energy source (carbon neutral sources), limited availability has to be taken into account by drastically decreased energy demand.

**TABLE 4. EMISSION FACTORS FOR NATURAL GAS & POWER GRID.**

EMISSION FACTOR IN CARBON EQUIVALENTS	
NATURAL GAS	241 g/kWh <sub>end</sub>
AC POWER GRID	200 g/kWh <sub>el</sub>

Despite the options derived for the energy infrastructure in the design challenge, the House Demonstration Unit (HDU) must be all-electric only. Therefore, the Rule below applies independently from the energy concept of the design project and its energy infrastructure. The energy and ventilation infrastructure in the demonstration unit may not be fully compatible with the design challenge in cases such as large-scale thermal storage, combined heat and power units, central ventilation heat recovery etc. This affects the domestic hot water (DHW) delivery, as active space heating or cooling is not part of the investigation in the monitoring Contest (passive mode only). An adapted system solution must be installed and justified for DHW and ventilation. Space heating systems might be installed in the demonstration units but do not work during the Competition weeks. The heat delivery component of the system must be installed (radiators, floor heating panels, air-to-air heat exchangers etc.) to visualise the approach, allowing for a post-competition connection to a central heating system (living lab). Cooling systems are not allowed. The sections described below and on the following pages apply only for the demonstration unit on the Solar Campus during the grid-tie assembly but not during the stand-alone assembly.

### **7.1 Energy Sources**

Global solar radiation incident upon the lot and the energy in small primary batteries (see 7.4 Batteries for limitations) together with energy from the Solar Campus grid are the only sources of energy that may be consumed in the operation of the demonstration unit. Electricity from the grid and its equivalent carbon emissions, associated with the operation of the demonstration unit, should be offset by an equal or greater amount of feed-in credits. For safety reasons, the use of hydrogen (production, storage and use) is not allowed for the demonstration units.

### **7.2 Campus Grid**

The SDE21/22 Organisers shall provide the Solar Campus with an electric power grid that provides AC power (single or three phase) to or accepts AC power from the units. The SDE21/22 Organisers shall provide the necessary service conductors and connect the conductors at the utility access point. A Team must notify the SDE21/22 Organisers if its unit operates with an AC service other than 50 Hz, 230V (phase- neutral). The low-voltage grounding means that the system of the electricity distribution grid on the SDE21/22 Solar Campus follows a TN-C-S configuration. This aspect should be carefully taken into account when designing the grounding methods of the unit and photovoltaic system (see grounding methods requirements in the IEC standard and local regulations mentioned in Rule 50). There will be a General Distribution Box in each of the lots with the necessary protections for the electrical connection to the General Grid of the SDE21/22 Solar Campus. Each Team has the responsibility to reach the General Distribution Box with the conduits.

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2016>

## 9.2 Watering Restrictions

Greywater, that may possibly contain organisms that may go septic (kitchen sink, dishwasher, ...), shall not be used to water vegetation.

## RULE 10 \_ MONITORING

A significant part of the Competition scoring involves the measurement of different items and the correct performance of various tasks. The Organisers' monitoring system is responsible for controlling these measurements.

All sensors, wiring, tripods and other necessary material for these tasks will be provided by the SDE21/22 Organisers.

Monitoring is structured in two independent areas: Electrical and Instrumentation.

- Electrical: Electricity metering is mainly responsible for the monitoring of the Contest 'Energy Performance', with all of its sub-Contests;
- Instrumentation: Various sensors are responsible for the monitoring the 'Comfort' and 'House Functioning' Contests, with all of their sub-Contests.

There are two types of monitoring: Continuous Monitoring and Tasks Monitoring, depending on whether the measurements are continuous, or task based. General information on the monitoring is described in each relevant Contest section. Further information regarding the monitoring system of the SDE21/22 Competition will be available through the SDE21/22 WAT, Official Communications, Rules & Related Documentation, Monitoring Contests' Procedures Presentation and Technical Monitoring Procedures Document.

### 10.1 SDE21/22 Sensor Location & Wire Routing

A summary of the sensor's location and wire routing is provided in this section. Extended information is included in the Technical Monitoring Procedures Document. This document will be available through the SDE21/22 WAT, Official Communications, Rules & Related Documentation.

#### a) Instrumentation

The SDE21/22 Organisers will supply a list of all the SDE21/22 instrumentation devices necessary for the Monitoring System of the demonstration units. Teams must ensure the possibility to connect the instruments (electricity meters) in the installations (space in the installation racks, wiring schematic, ...) to be able to take part in the monitoring Contests.

#### b) Sensors Location

The location of sensors is determined by the SDE21/22 Organisers, on the basis of Deliverable #3 Projects Documents.

#### c) Wire Routing

As sensors will be wired, or wireless, depending on the monitoring concept of the SDE21/22 Organisers, a route for running wires from each sensor location to the data logger is required. The Teams are responsible for providing a wire routing that permits a quick and easy installation and removal of the SDE21/22 Instrumentation wires. This route must be clearly detailed in Construction Documents (Deliverable #4). This easy installation is mandatory to ensure that the unit is monitored in order to enter the Competition. These wires and sensors are installed temporarily for the Contest weeks.

#### d) Feed-through

All devices used for the monitoring will be located indoors in a specific monitoring panel room, except the irradiation sensor for the PV system. Units must provide feed-through to pass the power and Ethernet wires from the exterior to the interior of that room.

#### e) Solar Campus Weather Station

The campus will be equipped with a weather station (air temperature, humidity, global radiation, wind, illuminance) for logging the climate data during the Competition phase. Monitored data will be provided together with the monitoring data sets of the units.

#### f) Instrumentation Plan & Approval

Teams must submit instrumentation drawings showing the location of the SDE21/22 sensors, meters, and the wire routing. Teams must have the Instrumentation Plan approved by the SDE21/22 Organisers to be able to participate in the Final Phase of the Competition. The procedure is as follows:

- **Before the final phase of the Competition**  
Teams will deliver instrumentation plans ID-10, ID-20, and ID-30 with Deliverable #4. In Workshop #2, there will be a workshop on monitoring. With Deliverable #5 the final documents have to be delivered.
- **'In Situ' During the Assembly Period**  
The SDE21/22 Organisers' Monitoring & Scoring Team responsible for the monitoring and scoring system implementation will check the spaces provided for the wiring (channels, paths, holes, etc.). If these construction elements are physically not available as indicated in the approved Construction Documents, penalties can be applied by the SDE21/22 Organisers. Teams will make the adjustments necessary so that the instrumentation system can be safely and robustly installed by the SDE21/22 Organisers. SDE21/22 Organisers will mark the location of the sensors. SDE21/22 Organisers will install the monitoring panel, power it and verify that everything is correctly installed. The SDE21/22 Organisers will wire the sensors to the monitoring panel. The SDE21/22 Organisers will verify the operation of the sensors. Teams are responsible for the integrity of the monitoring system during Competition phase.

## RULE 11 \_ THE EVENT

### 11.1 Registration

All Solar Decathlon Europe participants attending the final phase of the Competition must register through the online registration site, which will be available closer to the event. For special cases only, registration will be on-site.

Due to safety concerns, the different categories of participants will have different types of access (such as restricted areas or during restricted times). The following Rules apply to registrants:

#### a) All Registrants

Each event participant must register individually. Group registrations are not allowed. When registering, event participants must complete all required information and forms before access to the event is allowed.

#### b) SDE21/22 Organisation, Team Members & Jurors

Will be required to provide a photo that will be kept on file and used for security purposes. In order to avoid delays, the SDE21/22 Organisation encourages using the online registration site and submitting the completed forms, information, and photos prior to the event. Once the SDE21/22 Organisers receives all the information required, forms, and photos, an event security ID will be issued to all individuals and must be visible at all times.

#### c) Staff & Team Crew

Will be required to provide a photo that will be kept on file and used for security purposes.

#### d) Visiting Media

Must check in at event headquarters and will be required to provide a photo which will be kept on file and used for security purposes.

### 11.2 Use of the Solar Decathlon Europe 2021 (in 2022) Logo

All communication materials produced by or in collaboration with the Teams, before, during and after the Competition, must refer prominently to the project as the Solar Decathlon Europe 2021 (in 2022) or SDE21/22 and shall credit the Solar Decathlon Europe as indicated by the SDE21/22 Organisation. This includes all the materials and/or means in which companies and/or institutions refer to their collaboration with one or more Teams by using their logo(s). The SDE21/22 Graphic Chart & Brand Manual includes specific instructions for this use. Please refer to this document. The Solar Decathlon Europe 2021 (in 2022) shall be recognised wherever Teams' logos are used. The possible combinations between SDE21/22 and Teams' logos shall be described in the Team's visual identity manual (see Rule 38.8a \_ Team Visual Identity Manual) and must comply with the SDE21/22's Graphic Chart & Brand Manual (available through the SDE21/22 WAT).

#### 11.4 Team Uniforms

- During Contest week, workshops and special events specified by the SDE21/22 Organisers, all Team members present on the Competition site or the site of a special event shall wear uniforms representing their Team;
- Uniforms will help to identify Team's members quickly and easily and will be composed of a series of wearable items;
- On the front part of Teams' uniforms (jacket, shirt, hat or another wearable item), only the combined version of the Team's logo and the SDE21/22's logo may be visible;
- On the back part of Teams' uniforms (jacket, shirt, hat, or other wearable item), Team sponsor logos may be visible only if complying with the logos' Rules requirements;
- A built-in clothing manufacturer logo may be visible on the front or back of the Team uniform, or both or none of them;
- Since the SDE21/22 Solar Campus is a public space, Teams should maintain a dress code required for public areas;
- Each Team will determine its uniforms' colour(s) in Deliverable #2. Two options are to be proposed. In case of a too great similarity between two Teams, the SDE21/22 Organisers will request a second choice. The objective is to avoid visual uniformity and facilitate SDE21/22 communication;
- Uniforms design will be evaluated by the Communication Jury. Please refer to the SDE21/22 Graphic Chart & Brand Manual.

#### 11.5 Logistics

- Each Team is responsible for the transport of its unit, the unit's contents, and all necessary tools and equipment, and shall be responsible for any damage to or loss of such items;
- Each Team is responsible for procuring all necessary equipment, tools, and supplies;
- Each Team is responsible for transportation, accommodations, lodging, food, and beverages (including drinking water);
- Each Team is responsible for making its own reservations and arrangements and for covering all necessary costs.

#### 11.6 Inspections

- Each project shall be inspected for compliance with these Rules and the SDE21/22 Building Code;
- Teams shall notify the appropriate inspector when they are ready for an inspection. When two or more Teams request an inspection simultaneously, the order of inspections shall be determined in a draw;
- Spot checks for compliance shall take place throughout the final phase of the SDE21/22 Competition;
- The Competition Manager shall check each Team's inspection status, as indicated on the Team's official inspection card, to determine which units are eligible to participate in the Contest;
- All final inspections shall be passed by the end of the inspectors' workday for a Team to be eligible to participate in the following day's Contest.

[**Exception:** Jury visits will proceed as scheduled regardless of a Team's inspection status.

However, jurors may be aware of the Team's inspection status and may consider it in their evaluations.]

Because open, partially functioning units are preferable to closed, fully functioning ones, the SDE21/22 Organisers will direct the inspectors to require that an unsafe condition be corrected so public tours can occur even if, consequently, the unit (HDU) is ineligible for participation in the Contests.

## RULE 12 \_ CONTEST PERIOD

#### 12.1 Contest Period

The final phase of SDE21/22 Competition is scheduled for June 2022. The SDE21/22 Organisers will implement a pause between days for public visits and days for monitoring and Jury visits.

#### 12.2 House Occupancy

No more than 20 people in total may be located in the House Demonstration Unit (HDU) at any time during the Contest Period.

## Criteria

The sub-scoring is based on the following factors:

- the energy concept;
- the performance analysis undertaken to develop and justify the concept;
- the life cycle carbon footprint.

The evaluation of the energy concept covers all measures undertaken to reduce the energy demand of the building. This includes the building design (passive solar, shading, ...), the construction (insulation, ...), the selection of appliances and the energy supply system including its interaction with grids. Domestic hot water supply has to be taken into account with special consideration of the relatively high importance for heat demand in apartment buildings and legionella protection.

The performance analysis is evaluated based on the Contest report and the project facts templates documenting calculations and simulations in a comprehensible form to justify the measures and illustrate possible alternatives. The Jury will consider the depth of the analysis as well as the clarity of the messages. The life cycle footprint assessment translates the Energy Performance analysis to a carbon footprint analysis. The LCA is mandatory for the HDU only. The Jury will identify to which extent the project has the potential to reach carbon neutrality for operation without inadequate increase of material input. The Jury will consider the depth of the analysis as well as the clarity of the methodology used and corresponding messages. Design processes should be described with special attention to definition of requirements, verification of design with requirements, decision-making and the application of BIM (building information modelling). Innovative approaches or processes are to be highlighted in a separate report.

[Note: Teams will only successfully receive points in the Comfort Contest, sub-Contest: Performance Gap Evaluation by providing a carefully prepared thermal simulation. Therefore, simulations must be performed for the demonstration unit as well.]

## RULE 17 \_ CONTEST 3: ENERGY PERFORMANCE

### Objective

This Contest addresses the real Energy Performance of the demonstration unit and its PV power system. It allows for the detailed study of a part of the whole building design in real operation and contributes to monitored data in a science-based analysis.

### Assessment

The assessment is based on high resolution monitored data by the SDE21/22 Organisers' monitoring system.

### Criteria

The assessment is separated into four monitoring sub-Contests and three tasks as indicated in Table 6, including associated scoring.

#### 17.1 Sub-Contest 3.1: Energy Consumption

This Sub-Contest aims to evaluate the electrical energy efficiency of the units fulfilling comfort conditions and functions.

$$E_C = E_S + E_H$$

Where:

- $E_C$  is the electrical consumption [kWh];
- $E_S$  is the consumption of HVAC and DHW and Ventilation [kWh];
- $E_H$  is the consumption of appliances, small consumers electric mobility and lighting [kWh];

All available points will be earned by the house with the lowest energy consumption.

- Reduced points are earned if the calculated house consumption is between the lowest consumption and 2.0 times the average consumption. Reduced point values are scaled linearly;
- No points are earned if the calculated consumption is equal or higher than 2.0 times the average consumption.

## 20.2 Sub-Contest 6.2: Sufficiency, Flexibility & Environmental Performance

The Sub-Contest 'Sufficiency, Flexibility & Environmental Performance' addresses:

- The general character of the building to achieve more with less: less space per person, fewer appliances per task, multiple uses of space, etc.;
- The quality of the building to react to changes in urban needs and conditions, such as the demographic change, a potential change in use of the building, migration and other effects;
- The environmental performance is based on the choice and use of materials, water and waste management, planting, urban micro-climate, etc.

To assess these goals, the 'Urban Loop Design' checklist is provided via the SDE21/22 WAT addressing the following categories:

- Biodiversity
- Society
- Climate
- Durability
- Building material

## RULE 21 \_ CONTEST 7: COMFORT

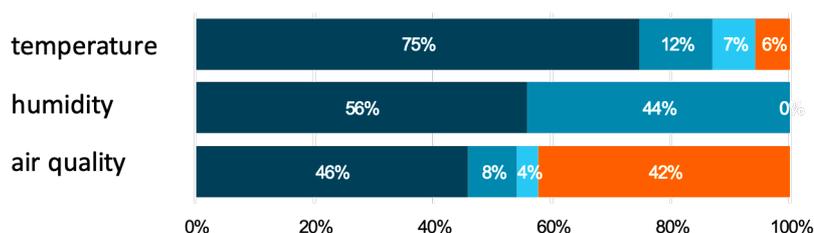
### Objective

To assess the capacity for providing interior comfort without active heating or cooling in June under the climatic conditions of the SDE21/22 Solar Campus through the control of temperature, humidity, acoustic, lighting and the quality of the interior air. A specific sub-Contest addresses the capability of each Team to correctly estimate the indoor thermal comfort during the planning.

### Assessment

The assessment is based on the collected data by the SDE21/22 Organiser's monitoring system during the Competition period. Further to that, Teams provide simulation data to be compared with the monitoring results (sub-Contest performance gap). The general approach is based on the comfort classification according to EN 15251. That means that maximum points are earned when the demonstration unit is operated within the best performance class during all measurement periods, indicated by the [Event](#) Calendar during the Competition week.

**FIGURE 3. TYPICAL PERFORMANCE-CLASSIFICATION BAR GRAPH FOR A MONITORED PERIOD. THE DIFFERENT BLUE COLOURS REPRESENT PERFORMANCE-CLASSES 1 (DARK) TO 3 (LIGHT); THE ORANGE COLOUR REPRESENTS DATA OUTSIDE THE LOWEST CLASS. THE PERCENTAGE NUMBER REPRESENTS THE SHARE OF DATA WITHIN THE MONITORED PERIOD. ALL DATA IN PERFORMANCE-CLASS 1 GIVES THE MAXIMUM SCORE, ALL DATA OUTSIDE PERFORMANCE-CLASS 3 GIVES NO POINTS.**



**Notes:**

- The vehicle must be driven by a Decathlete;
- The driver must comply with the German driving laws;
- The vehicle must be charged from the House Demonstration Unit (HDU) electrical system.
- The vehicle's batteries must be fully charged at the completion of the Contests period.
- The vehicle must be allowed to drive on cycle paths.

## **RULE 24 \_ CONTEST 10: INNOVATION**

### **Objective**

The objective of this Contest is to evaluate the innovative content of the whole building design project and the demonstration unit in five different areas. Innovations can be strategies, methods, designs, processes or technologies demonstrating new approaches to meet the challenges of the future and add to the value or the performance of buildings in the urban environment. Inventions may be in some cases related to innovations.

### **Assessment**

The five Juries from the other five Contests mentioned below will assess the different Deliverables relative to each project with special attention to the innovations mentioned on:

- Innovation in Architecture;
- Innovation in Engineering and Construction;
- Innovation in Sustainability;
- Innovation in Affordability & Viability;
- Innovation in Urban Mobility.

The maximum points are equally divided into the five categories.

The sum of the points gained in each category define the scoring for the Team in the Contest.

### **Criteria**

The Jury scoring is based on the five 'Innovation Reports' addressing the whole building project, as well as the demonstration unit in the five Contests mentioned above, and the correlated, individual Jury assessments. An overall assessment adds to the sectoral assessment.

## **RULE 41 \_ DINNER PARTY MENU**

Teams will have to submit the dinner menu, indicating:

- Name of the courses and drinks;
- List of ingredients and quantities per course;
- Food preparation;
- An image of every course;
- Cost evaluation of the menu;
- Energy consumption for cooking evaluation;
- Nutrition data compared to guest needs;
- Local content of ingredients (according to local context).

## **RULE 42 \_ CONTEST WEEK TASKS' PLANNING**

In the general timetable of actions Teams will include the planning given by the SDE21/22 Organisers for the realization of the tasks' sub-Contests during the Contest Week. This timetable will help the Team and the SDE21/22 Organisers to provide the resources needed and plan it in advance.

## **RULE 43 \_ COST ESTIMATE & PROJECT FINANCIAL SUMMARY**

Teams will have to submit the Cost Estimate and the Business and Fund-Raising Plan, including updated information and details, from one Deliverable to the next. This section should provide a clear understanding of the costs associated with the project and the need for fund raising, how that fund raising is planned, and whether there are available or obtainable equipment, instrumentation, and facilities.

### **43.1 Business & Fund-Raising Plan**

Teams are required to submit plans that describe their overall project, including a projected budget and fund-raising plan. The plan should include a description of each Team's interactions with other departments involved in fund-raising (e.g., the school's development office), identify key sponsors, and describe the means by which these sponsors may be reached.

### **43.2 Cost Estimate & Project Summary Budget**

Teams must provide complete, current, and accurate cost or pricing. A project summary budget is required according to the price cost proposal form (available in the SDE21/22 WAT). The following guidelines help Teams fill in the cost estimate table.

### **43.3 Direct Materials**

Direct materials are normally purchased parts, purchased items or services (e.g., welding, minor fabrication etc.), raw materials, standard commercial items, interdivisional transfers at other than cost, etc. All direct materials should be identified separately on an attached sheet with the quantity, unit price, and total amount provided. Further, price/cost proposal should indicate whether the unit price for each direct material item was determined and documented using written vendor quotes, catalogue prices, prior invoices, engineering or shop estimates, or some other method with an explanation provided. Provide supporting documentation (cost or pricing data) such as the written vendor quotes, copies of the catalogue page indicating the price, or prior invoices for all direct material items.

### **43.4 Material Overhead**

If the accounting system includes material overhead, propose such indirect costs in this area. Indicate the rate(s) used and provide an appropriate explanation.

### **43.5 Direct Labour**

Direct labour should indicate the hours, hourly rate, and total for each individual or category of labour proposed.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## Bibliografía - Evaluación de técnicas de climatización para viviendas de bajo consumo energético. Diseño para la vivienda Escalà.

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- Documento Básico HE "Ahorro de Energía".
- Documento Básico HS "Salubridad".
- Smith, J., Johnson, A., & Wang, T. (2021). *Advances in HVAC System Design and Refrigerants*. Journal of Building Performance.
- Johnson, L. (2020). *Eco-Friendly Refrigerants: Trends and Technologies*. Environmental Engineering Review.
- Brown, C., & Green, R. (2019). *Passive Climate Control: Thermal Energy Storage with Phase Change Materials*. Energy and Buildings.
- Miller, K., & Thompson, J. (2022). *Renewable Energy Technologies in Building Design: Solar Thermal and Photovoltaic Systems*. Renewable Energy Journal.
- Garcia, M., Lee, H., & Patel, R. (2021). *Impact of HVAC Systems on Building Occupant Comfort*. Building and Environment.
- Evans, D., Smithson, J., & Martinez, A. (2020). *Energy Efficiency in Modern Buildings: Strategies and Best Practices*. Energy Efficiency Journal.
- Lopez, S., Wang, Y., & Kim, S. (2018). *Contextual Adaptation of Renewable Energy Technologies in Architecture*. Journal of Sustainable Architecture.
- Kim, J., & Park, D. (2019). *Active and Passive Systems Integration for Enhanced Energy Efficiency*. International Journal of Energy Research.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2017). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. ASHRAE.
- Smith, J., & Brown, A. (2022). *Innovative HVAC Design: Trends and Technologies*. Journal of Building Science.
- González, M., Ruiz, L., & Ortega, J. (2021). *Integrating Active and Passive Climate Control Systems*. Building Technology Journal.
- Jones, P., & Lee, K. (2020). *Research Gaps in HVAC System Development*. Energy Research Review.
- Miller, K. (2019). *Challenges in Renewable Energy Integration for Building Design*. Renewable Energy Review.
- Capital Verde. (2023). *Capitalidad Verde: Fomentando la Sostenibilidad Urbana*. Capital Verde Report.
- Fernández, R., Martínez, L., & Pérez, S. (2023). *Sostenibilidad y Calidad de Vida en las Ciudades*. Green Urban Studies.
- Gómez, A., López, M., & Silva, C. (2022). *Impacto Ambiental de las Actividades Urbanas en Valencia*. Environmental Impact Journal.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). *Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification*. Hydrology and Earth System Sciences.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Schneider, U. (2006). *World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated*. Meteorologische Zeitschrift.

Bibliografía - Evaluación de técnicas de climatización para viviendas de bajo consumo energético. Diseño para la vivienda Escalà.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. IPCC Report.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2020). *ASHRAE Standard 34: Designation and Safety Classification of Refrigerants*. ASHRAE.
- Environmental Investigation Agency (EIA). (2022). *Refrigerants and Climate Impact: Current Trends and Future Perspectives*. EIA Report.