

DA'S BIBLIOTHEK-PROJEKT

Cristina Camús Munguía
Trabajo Fin de Grado
Curso 2018-2019
Tutor Rafael García Quesada
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada

El presente Trabajo Fin de Grado consiste en la aplicación del estándar Passivhaus a una biblioteca ubicada en Au (Suiza), dando lugar a la evolución de un proyecto base a través de la definición del mismo, para así obtener un edificio de gasto casi nulo.

ÍNDICE

1. PRÓLOGO	02
1.1. INTRODUCCIÓN	03
1.2. JUSTIFICACIÓN	04
1.3. OBJETIVOS	05
1.4. METODOLOGÍA	06
2. PROYECTO	07
2.1. PROYECTO DE PARTIDA	08
2.2. PROYECTO MODIFICADO	18
3. ACONDICIONAMIENTO PASIVO	33
3.1. INTRODUCCIÓN	34
3.2. CLIMA	35
3.3. ENVOLVENTE TÉRMICA	36
3.4. HUECOS Y SOMBRAS	48
3.5. PÉRDIDAS Y GANANCIAS	50
3.6. DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN	52
4. ACONDICIONAMIENTO ACTIVO	57
4.1. INTRODUCCIÓN	58
4.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	59
5. CONCLUSIÓN	72
5.1. CERTIFICACIÓN PASSIVHAUS	73
5.3. CERTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS	74
5.2. CONCLUSIÓN FINAL	75
6. BIBLIOGRAFÍA	
6.1. CITAS Y REFERENCIAS	77
6.2. DOCUMENTOS DE CONSULTA	78

PRÓLOGO

1.1. INTRODUCCIÓN	03
1.2. JUSTIFICACIÓN	04
1.3. OBJETIVOS	05
LOS CINCO PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS	
CRITERIOS GENERALES DE CERTIFICACIÓN	
1.4. METODOLOGÍA	06
PASSIVE HOUSE PLANNING PACKAGE (PHPP)	

1.1. INTRODUCCIÓN

"En Suiza, la mitad de la demanda de energía per cápita, alrededor de 2690 vatios, es atribuida a la construcción, uso y mantenimiento de edificios. Esta demanda de energía se satisface en su mayor parte con combustibles fósiles, los mismos recursos fósiles que se agotan a una velocidad que supera con creces la formación de reservas de petróleo fósil por procesos naturales.

*Alrededor de un tercio de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía provienen del sector de la edificación. Por otra parte, si bien las emisiones de CO₂ por combustión para calefacción juegan un papel importante, los gases sintéticos también contribuyen al calentamiento global, de los cuales aproximadamente la mitad de sus emisiones provienen de la refrigeración de edificios."*¹

Debido al largo ciclo de vida de los edificios, la forma de hacer arquitectura hoy repercute en el impacto climático del presente así como en la demanda energética de las próximas décadas.

De ahí que, de un tiempo a esta parte, hayan surgido normativas y certificaciones relacionadas con la eficiencia energética, (como la limitación del consumo de energía de los edificios o de las emisiones de CO₂), sin tener que comprometer las condiciones de confort tan devaluadas en décadas anteriores.

Esta expresión, **eficiencia energética**, es definida como *la capacidad de alcanzar mayores beneficios finales con menos recursos y con menor impacto sobre el medio*

*ambiente.*² Estas prácticas ya se seguían en el pasado, por razones distintas a las actuales, pero con el desarrollo energético y la aparente disponibilidad de recursos, se dejaron atrás.

La vuelta al gasto responsable, y consciente de los recursos energéticos suponen el punto de partida de este trabajo.

¹ Müller, M. O. (2012). How can the diffusion of energy-efficient renovations of buildings be accelerated? University of St.Gallen, Business Dissertations, 1.

² Fernández, P. S. (2011). Reto Europeo: la Eficiencia Energetica en Edificios. La Nueva Directiva Comunitaria 31/2010. Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos, 32(62), 55-77.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los estados miembros de la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) aprobaron el 11 de diciembre de 1997 lo que se conoce como el Protocolo de Kioto, un acuerdo internacional que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este compromiso fue la respuesta al informe elaborado por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), cuyas conclusiones señalaban al cambio climático como un hecho real producido por estas emisiones. El Protocolo de Kioto entró en vigor en febrero de 2005 y estableció como objetivos para los países industrializados la reducción de al menos un 5% de las emisiones -según los niveles de 1990- durante el periodo entre 2008 y 2012.

En 2012, en la cumbre de Doha, se acordó dar continuidad al Protocolo de Kioto en un segundo periodo de compromiso a partir de enero de 2013. En concreto, la Unión Europea tiene intención de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto al año 1990.

*“El fomento de la eficiencia energética constituye una parte importante del conjunto de políticas y medidas necesarias para cumplir lo dispuesto en el Protocolo de Kioto, y debe estar presente en todas las medidas que se adopten con el fin de dar cumplimiento a nuevos compromisos.”*¹

Por su parte, la Unión Europea aprobó en 2002 la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en relación a la eficiencia energética de los edificios. En

¹ Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios, (2002).

esta Directiva se establecen los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios, la disponibilidad de certificación energética de los edificios y, en el caso de edificios de nueva planta, el uso de energías renovables.

La Directiva 2010/31/UE, que sustituyó la legislación anterior y continuó abogando por el uso de energías renovables, añadió un nuevo término: los «edificios de consumo de energía casi nulo» o edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto, donde la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables.

Por lo tanto, en los últimos años, se ha pasado de un paradigma de eficiencia energética en la arquitectura que vinculaba los edificios con alta demanda de energía con las renovables, a otro donde los edificios lleguen a tener una necesidad de abastecimiento de energía mínima satisfecha con energía renovable. Si bien su aplicación puede resultar un tanto utópica, en el Artículo 9 de esta Directiva se puntualiza que:

*“Los Estados miembros se asegurarán de que: a) a más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, y de que b) después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas, sean edificios de consumo de energía casi nulo.”*²

Parece evidente la necesidad que tiene la arquitectura, y nosotros como usuarios, de

² Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición), (2010).

reducir el impacto ecológico. Aunque siempre se ha dicho que la buena arquitectura es eficiente energéticamente, ecológica y responsable, la situación actual en la que la normativa ha tenido que regular la práctica de los arquitectos, parece indicar que en estas últimas décadas quizás la buena arquitectura ha estado más o menos ausente.

1.3. OBJETIVOS

Tras estudiar casas pasivas durante aproximadamente una década, los profesores Adamson y Fesit formularon oficialmente el estándar Passivhaus en 1988. Sólo dos años después, se formaliza el primer proyecto bajo este estándar, "4 Casas pareadas en Darmstadt".



Fig. 1: 4 Casas pareadas en Darmstadt (Alemania)

El **estándar Passivhaus** consiste en una serie de objetivos para conseguir edificaciones con una demanda energética baja y un nivel de confort elevado. Estas medidas repercuten tanto en el diseño, como en la fase de ejecución. Passivhaus no propone un acercamiento a la autosuficiencia energética mediante la aplicación de una suerte de fuentes de energías renovables para afrontar nuestras ineficientes construcciones actuales, sino simplemente construir con el objetivo de consumir la mínima energía necesaria.

LOS CINCO PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

- 1. Superaislamiento.** Un buen aislamiento será el que nos permita reducir considerablemente las pérdidas de calor en invierno y mantener una temperatura óptima en verano. Esto supone un aumento en el espesor del aislamiento, siendo a veces incluso tres veces superior al que utilizamos normalmente en nuestro país.
- 2. Eliminación de los puentes térmicos.** Para minimizar las pérdidas de energía es necesario eliminar o estudiar los puntos críticos de la envolvente que debido a una variación en su composición conllevan una minoración en la resistencia térmica.
- 3. Ventanas y puertas de altas prestaciones.** Los huecos son las zonas más débiles dentro de la envolvente, por ello se utilizan dobles juntas de estanqueidad y vidrios bajo emisivos de hasta triple acristalamiento que llegan a incorporar gases nobles en las cámaras.
- 4. Hermeticidad al aire.** Para evitar condensaciones interiores e incomodidad al usuario, se busca que la envolvente sea lo más hermética posible, de esta forma el sistema de ventilación mecánica será más eficiente, haciendo casi innecesario el uso de un sistema de calefacción independiente.
- 5. Ventilación mecánica con recuperación de calor.** El sistema de ventilación aprovecha el calor generado por las personas y electrodomésticos que se encuentran en el interior del edificio para precalentar el aire limpio que entra, antes de expulsar el aire viciado. Gracias a esto y a una serie de filtros que el sistema incorpora, el aire entra caliente y limpio al interior del edificio.

CRITERIOS GENERALES DE CERTIFICACIÓN

Para asegurar el cumplimiento del estándar passivhaus se acuerdan los siguientes requisitos:

- Limitar la demanda de energía para calefacción a 15 kWh/m²a
- Limitar la demanda de energía para refrigeración a 15 kWh/m²a
- La hermeticidad al aire se debe comprobar mediante un test de presurización que confirme un valor no superior a 0,6 renovaciones por hora con una presión/depresión de 50 pascales
- La energía primaria total demandada por el edificio (incluyendo climatización, iluminación, electrodomésticos, ordenadores...) no debe superar los 120 kWh/m²a

El **objetivo** de este trabajo es aplicar el estándar Passivhaus para llevar a cabo la redacción de un proyecto de biblioteca desde la eficiencia energética. El edificio en cuestión fue desarrollado en la asignatura de Proyectos 9 del curso 2018/2019 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada. Debido a que térmicamente resultaba deficiente, se ha querido estudiar y adaptar el edificio, siendo su transformación y análisis otro de los fines de este trabajo.

1.4. METODOLOGÍA

- **Investigación sobre eficiencia energética**, acondicionamiento pasivo, y más concretamente sobre edificios de gasto casi nulo y el estándar Passivhaus.
- **Búsqueda de información** sobre elementos que repercuten en el **acondicionamiento pasivo**, es decir, tipos de materiales constructivos o sistemas, carpinterías de alta eficiencia térmica y soluciones en detalles constructivo.
- **Búsqueda de información** sobre elementos que repercuten en el **acondicionamiento activo**, como pueden ser sistemas de ventilación mecánica con recuperador de calor de alta eficiencia o sistemas de geotermia.
- **Valoración del proyecto de partida** para el desarrollo del trabajo.
- **Elaboración de nueva planimetría** que incorpore los nuevos sistemas de cerramiento, elementos constructivos, etc.
- **Estudio de puentes térmicos** utilizando el programa Therm.
- **Estudio del edificio a través de la introducción de datos al programa PHPP**. La introducción de datos desde el proceso de búsqueda de elementos ha facilitado la comprensión en cuanto a la repercusión de las decisiones constructivas en el gasto energético del edificio, y ha ayudado a la elección de materiales y sistemas.
- Obtención de **certificación energética desde PHPP y CE3X**.

Es necesario aclarar que, aunque se ha expuesto la metodología de esta forma para que resultase más clara, el proceso de trabajo no ha sido lineal, si no que ha sido necesaria una constante reevaluación de las decisiones tomadas en cuanto a materiales, sistemas constructivos, estructura e instalaciones.

PASSIVE HOUSE PLANNING PACKAGE (PHPP)

Es un software elaborado con el fin de cumplir los requisitos passivhaus. Se trata de

una herramienta de planificación para eficiencia energética en edificios. Este software se basa en hojas de EXCEL que, mediante la inserción de datos en relación al edificio estudiado se obtienen unas estimaciones en cuanto al comportamiento térmico del edificio que nos permite valorar si se ajusta al estándar Passivhaus.

El programa permite el análisis del edificio desde dos puntos de vista: Acondicionamiento pasivo: clima, valores de transmitancia del cerramiento, terreno, ventanas, sombras, etc. Acondicionamiento activo: ventilación mecánica, calefacción, refrigeración, etc.

PROYECTO

2.1. PROYECTO DE PARTIDA	08
IDEA DE PROYECTO	
CIRCULACIÓN Y ACCESOS	
PLANIMETRÍA	
2.2. PROYECTO MODIFICADO	17
ÁMBITO DE ESTUDIO	
ESPACIO	
CONSTRUCCIÓN	
ESTRUCTURA	
PLANIMETRÍA	



2.1. PROYECTO DE PARTIDA

El ámbito del proyecto se desarrolla en la comuna de Au (cantón de San Galo) en Suiza. El lugar del proyecto se encuentra delimitado por la manzana central donde se ubican los edificios públicos de mayor peso de la ciudad.

Distrito: Rheintal

Cantón: San Galo (Suiza)

Población: 7511 habitantes (2016)

Superficie: 406 hectáreas

Densidad: 1611 habitantes/km²

Históricamente la manzana parece haber surgido como resultado de su proximidad al canal que se encuentra al norte, y en cierta forma a la vía de comunicación ubicada al este. También se encuentran trazas de una vía principal que cruzaba la manzana de este a oeste, sin embargo, hoy en día es casi imperceptible.

Debido al estado actual del centro de Au, se propone su reestructuración con el fin de constituir de un centro reconocible a la comuna y dotar del equipamiento necesario del que actualmente carecen.

El programa consiste en un ayuntamiento, un centro parroquial, un edificio de oficinas, guardería, locales comerciales, edificio de viviendas y una biblioteca. Ésta última es el objeto de este trabajo.

Plano de situación antes de la intervención E1:700

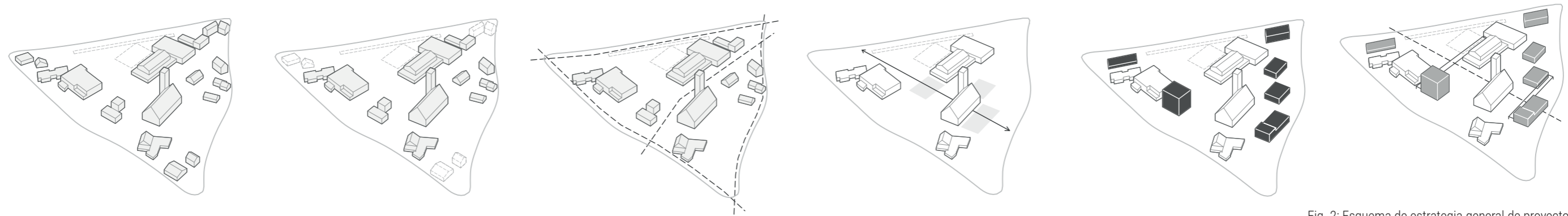


Fig. 2: Esquema de estrategia general de proyecto

Encontramos una manzana sin trazas que la hagan reconocible como centro de una ciudad.

Las edificaciones -iglesia, guardería, colegio y centro deportivo- no siguen un patrón y tampoco tienen gran coherencia unas con otras.

El espacio se escapa y se pierde con cierta confusión.

Debido a la morfología en triángulo de la manzana, se decide liberar los vértices para dejar de percibir su forma sobretodo en estos puntos conflictivos que pueden resultar un tanto agresivos en su entorno y pueden incluso alterar la visión del espacio.

Se recuperan trazas históricas como la calle principal que recorre la manzana de este a oeste, y se reconocen también otras vías en esta manzana que definen su contorno, siendo la vía más rápida con un carácter más urbano la que da al lado este junto la vía de tráfico rodado. Una vía mucho más doméstica de menor monumentalidad que da al lado oeste; y una vía más conectada con la naturaleza, en el lado norte, que da al canal y a la zona de mayor vegetación.

proyecto, a través de plazas de distinto carácter que vinculan edificios. Una zona en el lado norte en la que no se interviene para dejarla como espacio natural, otra zona como plaza central del pueblo en el baricentro de la manzana, otra plaza que se sitúa en el lado opuesto de la iglesia y por último, un espacio frente a la iglesia para dejarla respirar.

respondiendo a las trazas principales marcadas, rodeando los espacios públicos, vinculándose con la naturaleza, con el canal o con el entorno urbano según la situación.

La **biblioteca** como telón de fondo de la plaza central del pueblo.

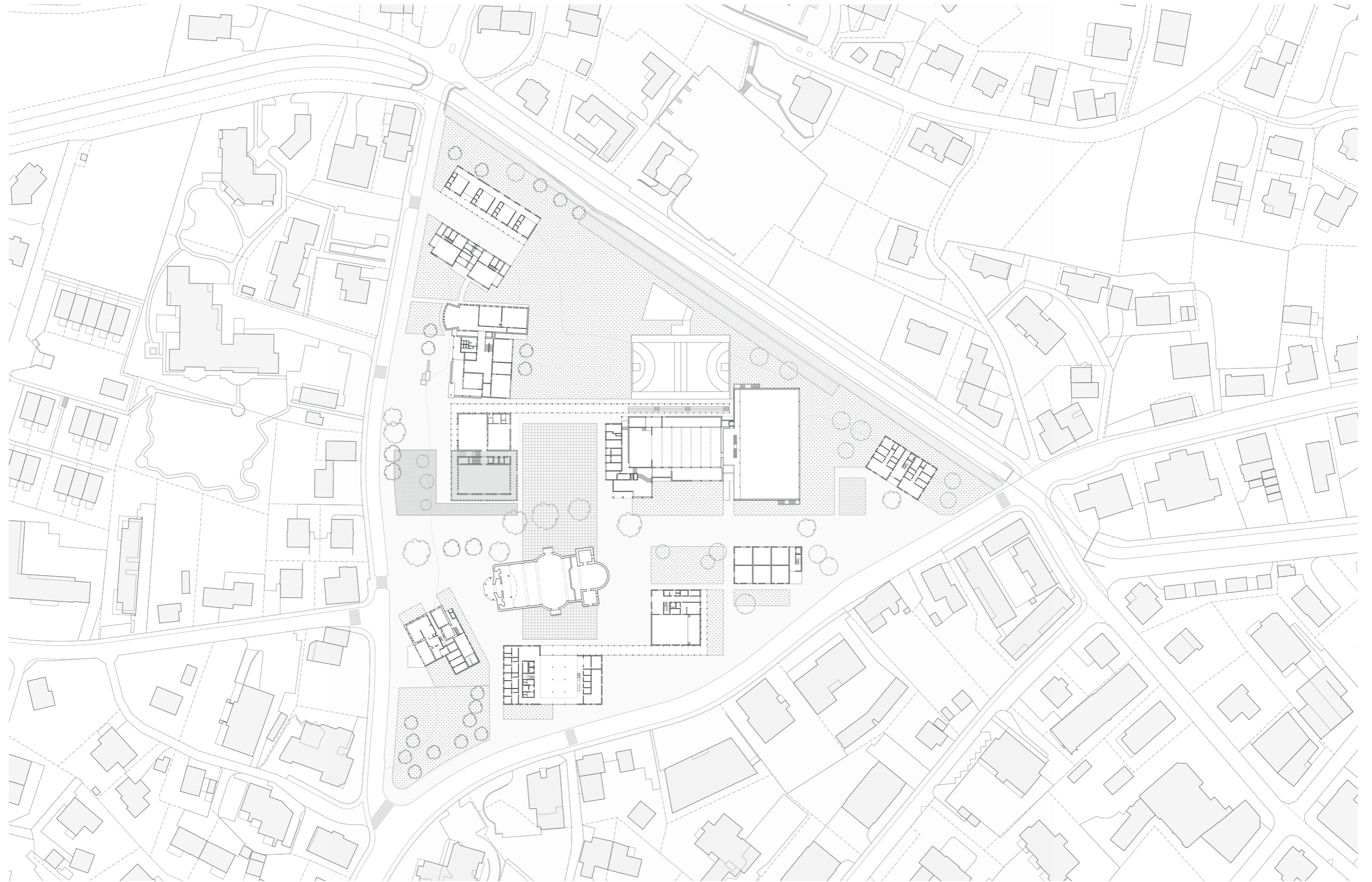
dando lugar a un ritmo en fachada, al acceso, retorciéndose en los edificios y transformándose en ellos.


Varían su altura según su ubicación; la que se encuentra junto a la biblioteca, de menor altura por estar en una zona más natural donde ya perdemos el espacio, y conectando el instituto con el centro deportivo.

Los espacios públicos generan el

El equipamiento propuesto se sitúa

Pérgolas que enmarcan el espacio,



Plano de emplazamiento E1:1500 

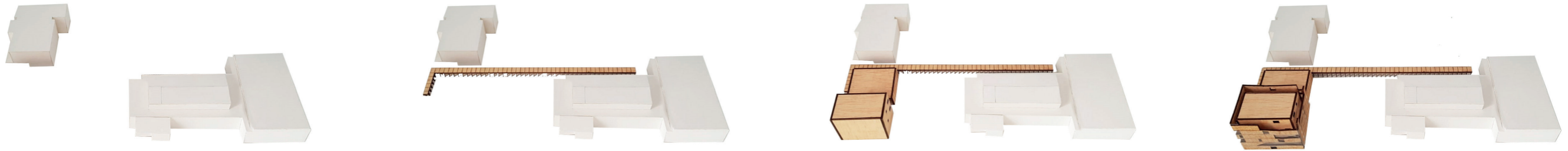


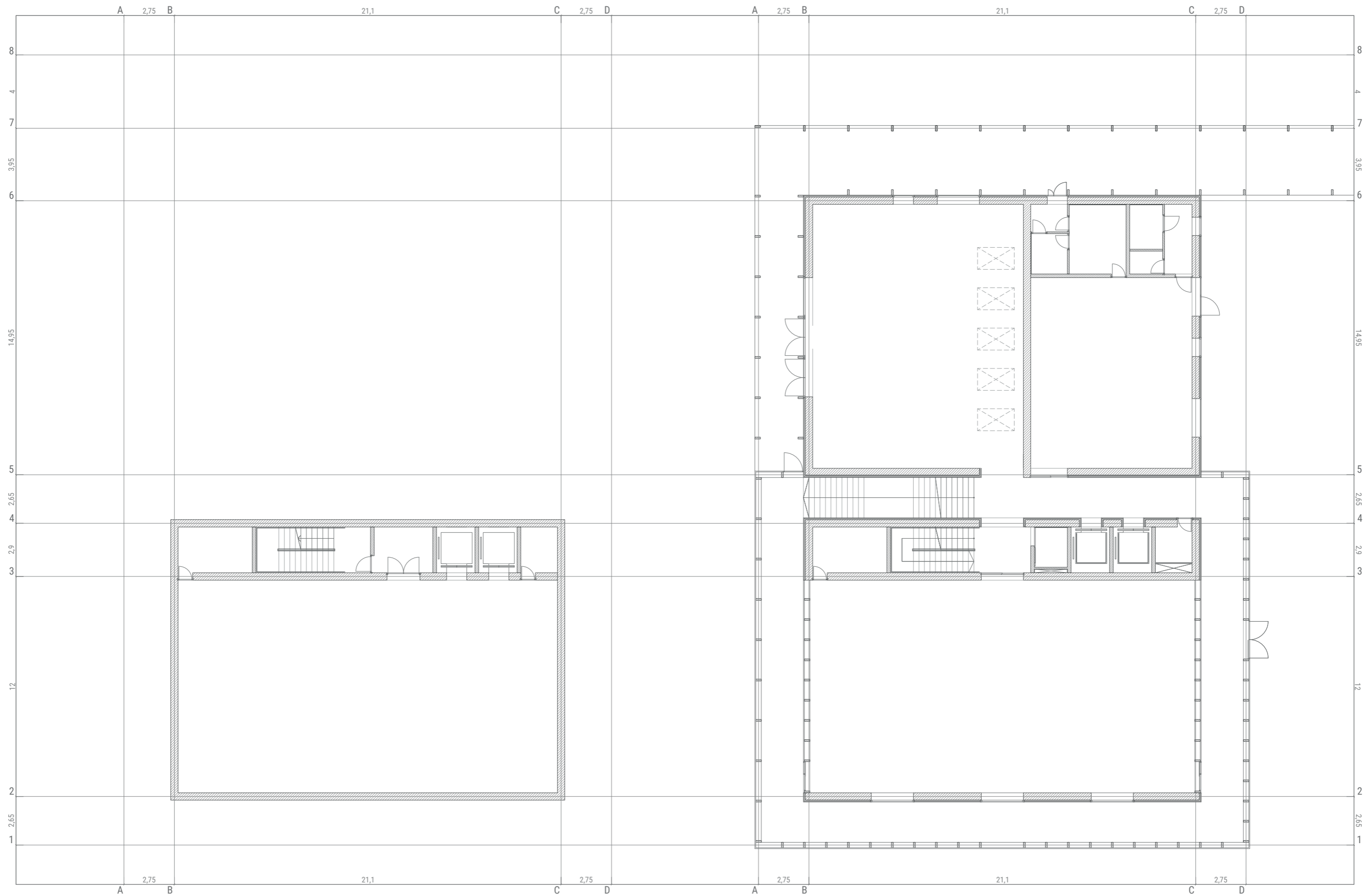
Fig. 3: Esquema de estrategia de proyecto

Respondiendo a las trazas del lugar, y respetando los edificios se define una posición y unas alturas como guías. A su vez se busca configurar una plaza central en la manzana, casi como baricentro del lugar. En el programa se especifican equipamientos necesarios para Au, sin embargo, tras un análisis de su entorno e incluso a nivel cantonal, se observa la carencia de una biblioteca como tal y se decide su implantación.

Se sitúa una galería de elementos porticados como eje de comunicación tanto entre el colegio y el centro deportivo, como de la biblioteca con la zona más natural de la manzana, a la vez que se enmarca el paisaje para así configurar la plaza de una forma más clara. Este elemento se retuerce y se adosa a los cuerpos, creando el acceso principal.

Esta galería de elementos porticados se retuerce y se adosa a dos cuerpos, creando el acceso principal y terminando de configurar la plaza central. En su extremo, los pies y vigas de madera se convierten en biblioteca, conservando la misma articulación, dando ritmo a la fachada. Entonces se diferencian dos pieles, una piel exterior, translúcida, y un cuerpo opaco en su interior. Este cuerpo interior, más rígido, se mantiene constante.

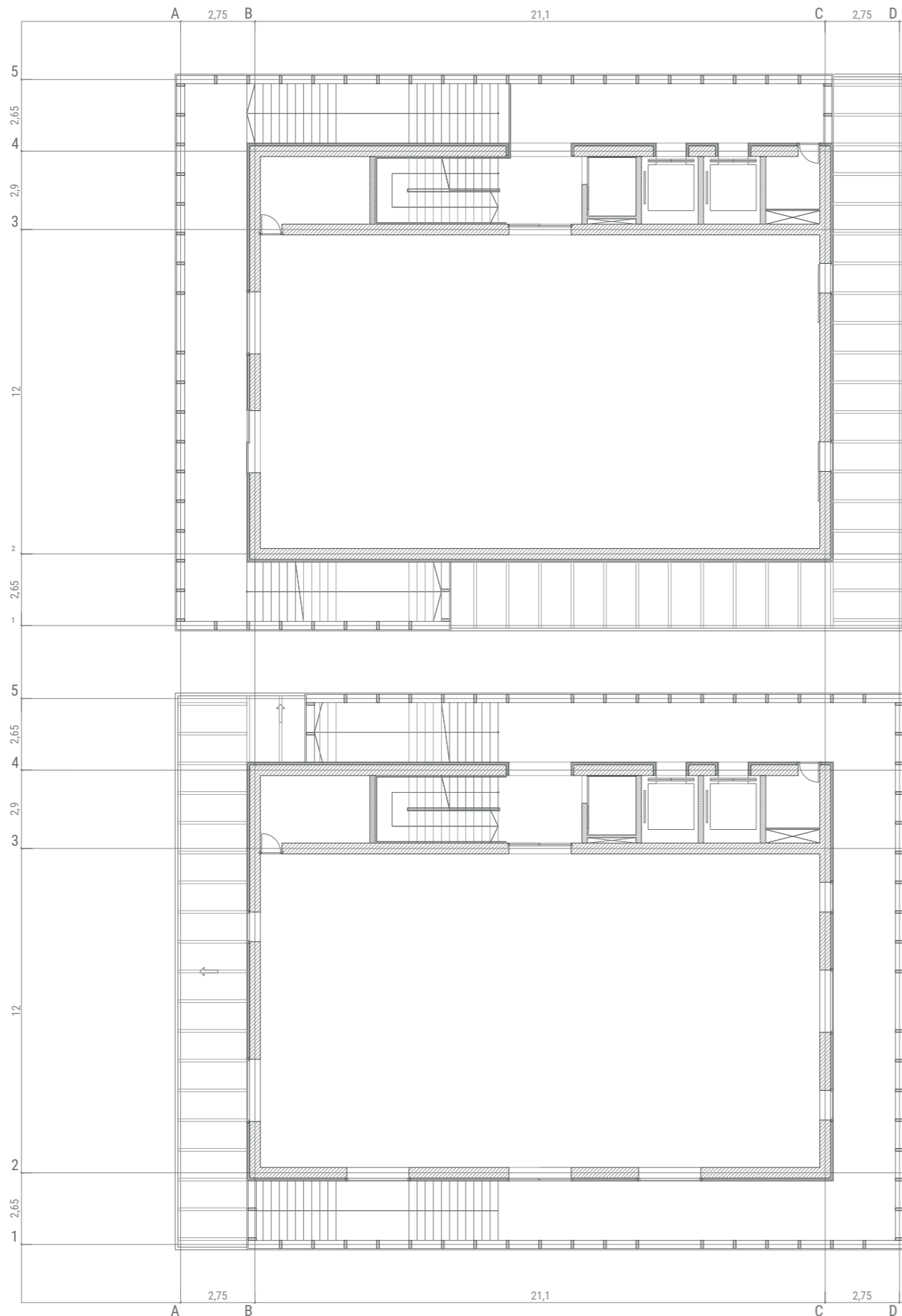
La piel exterior, como membrana, se transforma dejando intuir su circulación, a veces desapareciendo para crear terrazas, dejando ver la piel interior cuando es necesario, o perfilando la forma de las escaleras. Entre ambos, la se permite un recorrido en espiral que asciende hasta su última planta, permitiéndole así una visión panorámica de su entorno. La piel exterior genera una estantería, donde los libros dan lugar a una serie de juego de luces de llenos y vacíos que se perciben como telón de fondo de la plaza.



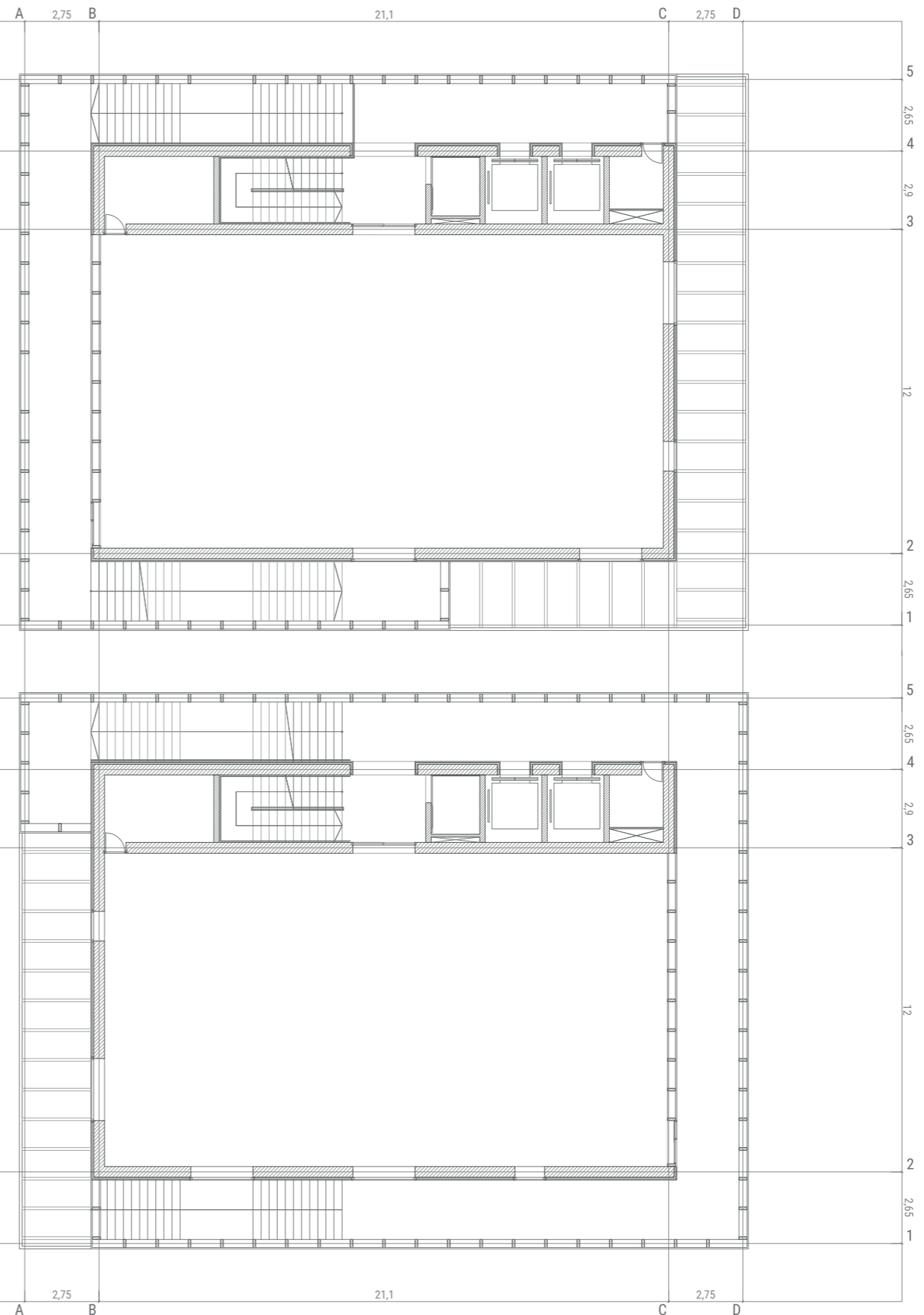
Planta sótano (-3,20) E1:200 ☉

Planta baja (+0,00) E1:200 ☉

Planta primera (+3,20) E1:200

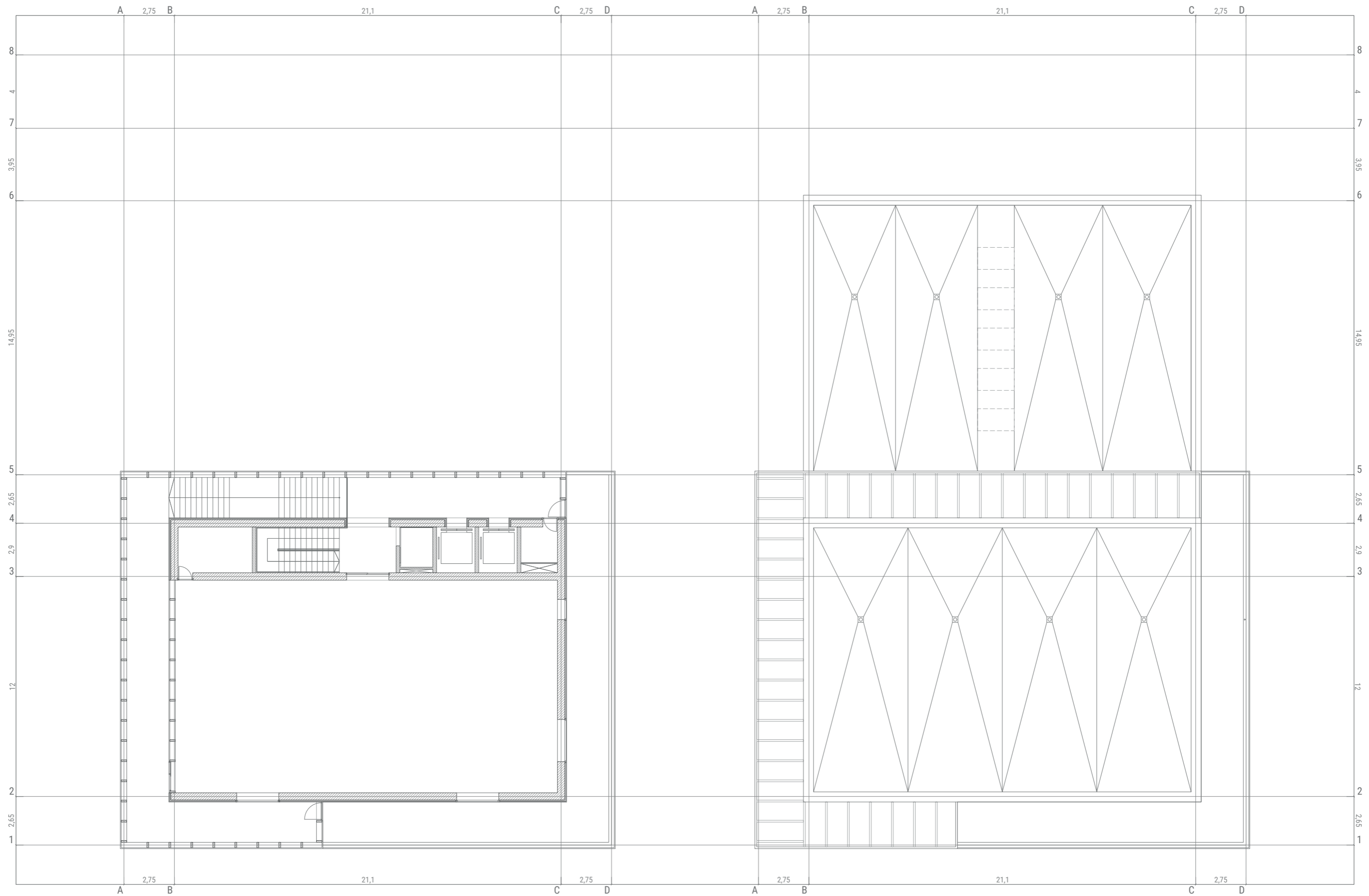


Planta segunda (+6,40) E1:200



Planta tercera (+9,60) E1:200

Planta cuarta (+12,80) E1:200



Planta quinta (+16,00) E1:200

Planta de cubierta (+19,80) E1:200



Alzado sureste E1:400



Alzado noroeste E1:400



Alzado suroeste E1:400



Alzado noreste E1:400

CIRCULACIÓN Y ACCESOS

La biblioteca se entiende como un lugar de contemplación de los alrededores, desde todos sus ámbitos. Cómo recorreremos el edificio es fundamental.

El **recorrido directo** se hace a través de un núcleo de circulación en una franja del edificio. La escalera que lo compone aquella que se dispone como elemento de evacuación principal.

El **recorrido más contemplativo** se da gracias a un cuerpo que envuelve el cuerpo principal e interior del edificio, creando un recorrido en espiral que se culmina en un mirador, una terraza en el punto más alto del edificio orientada hacia el pequeño canal.

El **acceso** a la biblioteca se da en distintos ámbitos: un acceso principal desde la calle de mayor tránsito, un acceso directo a la cafetería desde la plaza y dos accesos a través de la celosía exterior, uno como continuación de la galería porticada, y otra desde la plaza.

..... RECORRIDO DIRECTO
- - - - RECORRIDO CONTEMPLATIVO

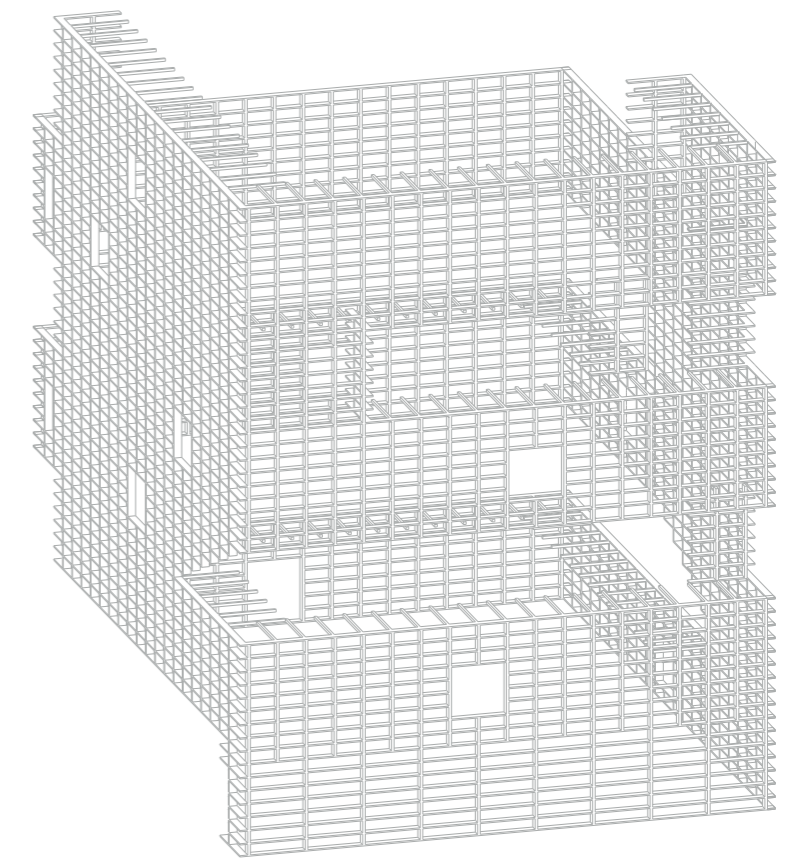
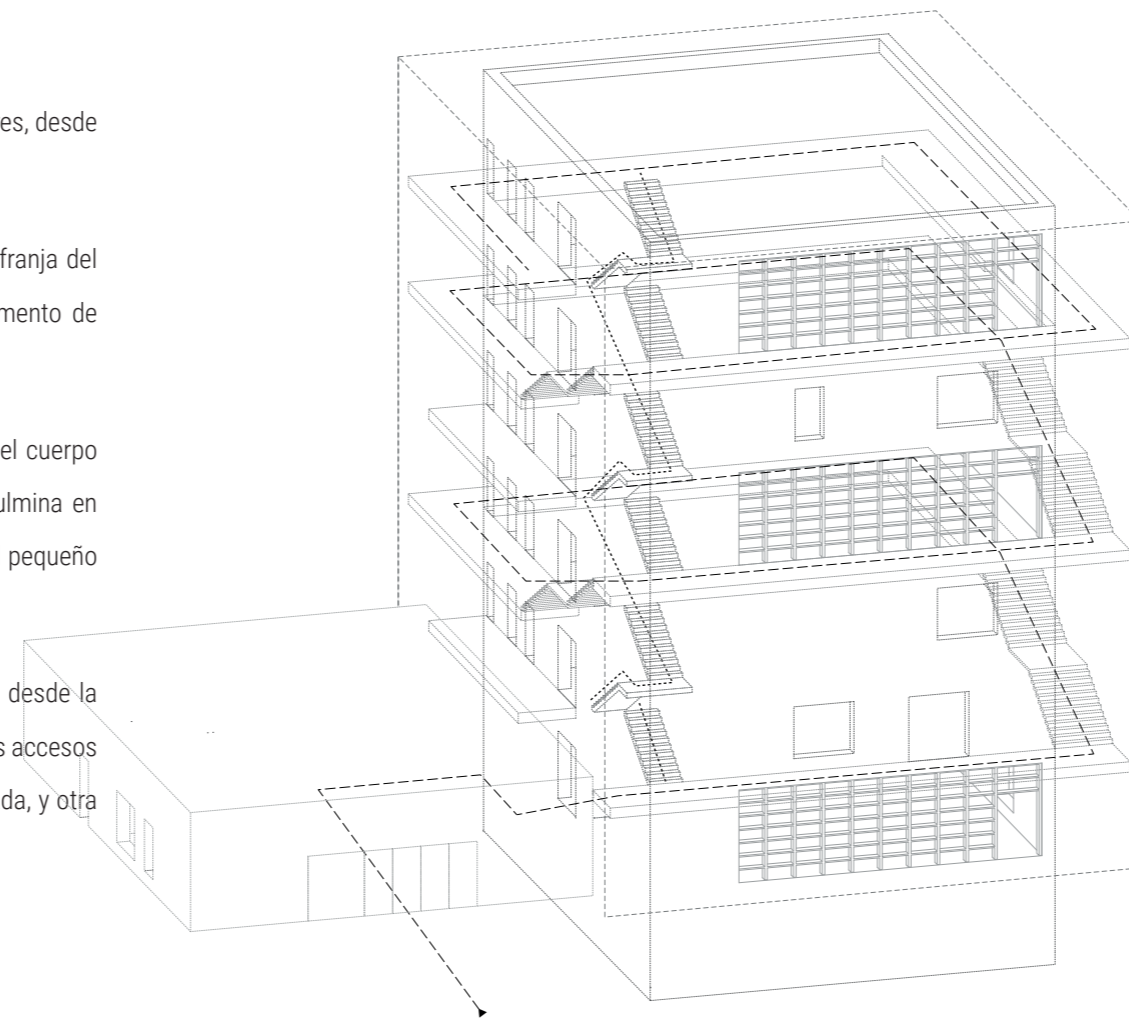


Fig. 4: Esquema de circulación

2.2. PROYECTO MODIFICADO

*"El concepto Passivhaus es aplicable a cualquier clima: el método y la sistemática de cálculo son siempre iguales, con pequeñas variaciones de los requisitos de calidad de los distintos elementos constructivos de los edificios en función de las condiciones climáticas de la zona donde se actúe."*¹

Para la aplicación del standard Passivhaus ha sido necesario analizar el proyecto desde un punto de vista espacial, estructural y constructivo. Asimismo, se ha decidido acotar el ámbito de estudio.





ÁMBITO DE ESTUDIO

El edificio en su conjunto, está compuesto por dos cuerpos:

- Un cuerpo de una altura, donde se encuentra un hall de entrada - posible uso como sala de exposiciones temporal-, y una cafetería que conecta con la plaza.
- Otro cuerpo de 6 plantas de altura sobre rasante, y una planta de sótano, donde se ubica la biblioteca.

Ambos edificios pueden funcionar independientemente, ya que albergan distintos usos, y por lo tanto distintos horarios. Teniendo esto en cuenta, se ha decidido que el edificio objeto de este trabajo sea la biblioteca, por resultar más interesante tanto constructiva como funcionalmente.

¹ Conserjería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid. (2011). Guía del estándar passivhaus. edificios de consumo casi nulo. Madrid.

-  Ámbito de estudio
-  Hall + Cafetería
-  Recorrido exterior
-  Pérgola

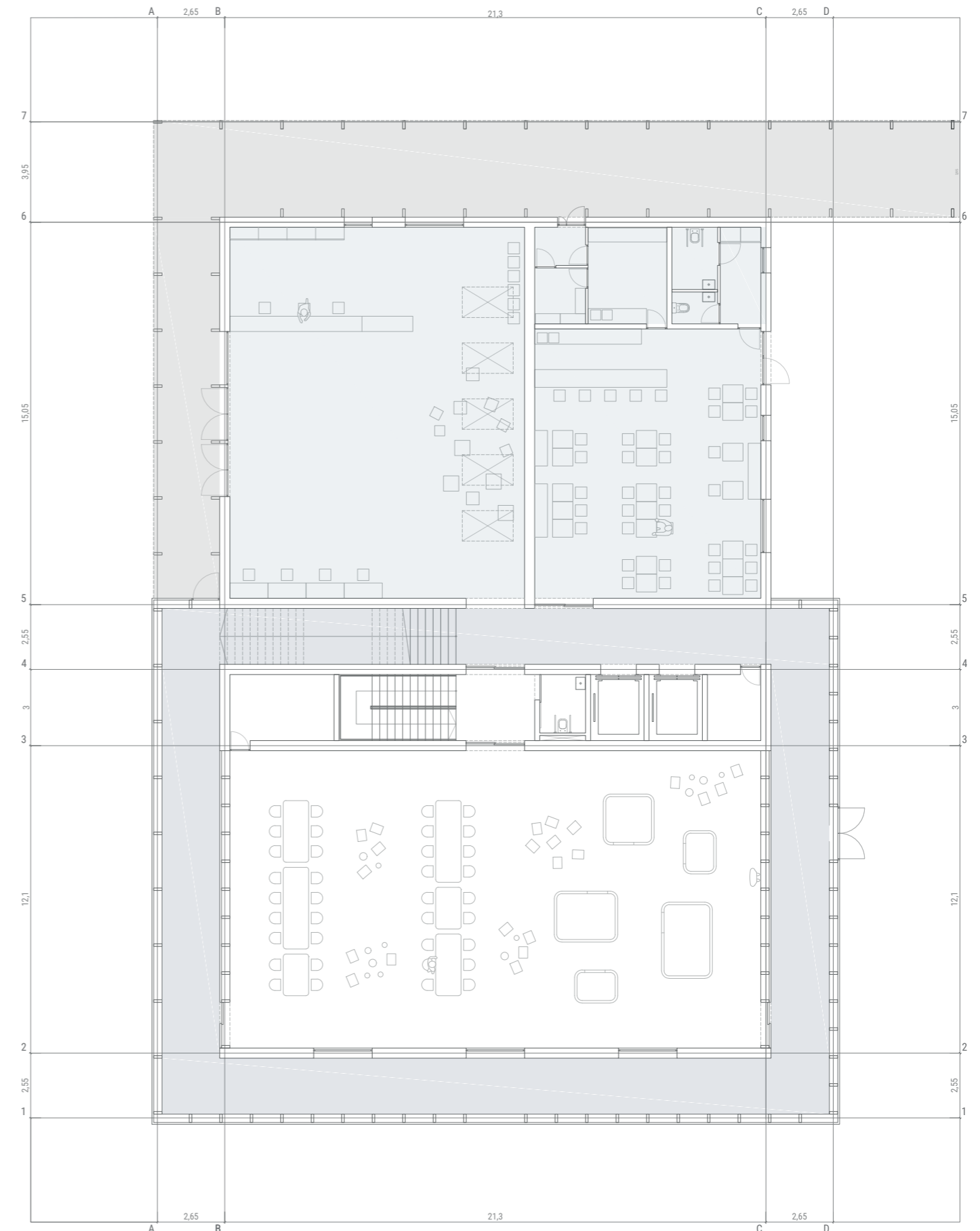


Fig. 5: Planta ámbito de proyecto

ESPACIO

Dado que desde un primer momento se planteó la ubicación de una sala de instalaciones por planta, y la distribución cumple con los requisitos necesarios para el desarrollo de las instalaciones, no ha sido necesario cambiar la disposición en planta ni los recorridos.

CONSTRUCCIÓN

Por el contrario, ha sido necesario modificar los materiales y elementos utilizados constructivamente, ya que se requiere una mayor eficiencia en relación al espesor y comportamiento térmico del cerramiento para poder cumplir el standard passivhaus.

El edificio está compuesto por dos pieles:

- Una piel exterior liviana y translúcida, que delimita el espacio recorrido contemplativo.
- Una piel interior, más pesada y opaca, que nos delimitará el espacio exterior del interior, siendo por tanto cerramiento del edificio, En ocasiones este cerramiento se convierte en una piel ligera y traslúcida, para convertirse en estantería, y dejar pasar la luz exterior.

Cerramiento opaco

En el proyecto de partida, este cerramiento consistía en muros hormigón armado con aislamiento en el exterior y placas de GRC, lo que resultaba en un cerramiento de gran espesor y un comportamiento térmico deficiente. Se decide utilizar elementos estructurales de doble capa de hormigón armado con aislamiento térmico en su interior, de este modo el espesor total del cerramiento se ve reducido -al haber optimizado la estructura-, el espesor del aislamiento térmico aumentado y la cualidad buscada de pesadez en su materialidad resulta constante.

Rsi	0,13	
Hormigón armado	2,10	500
Poliestireno extruido	0,036	60
Cámara de aire	0,18	30
GRC	1,10	10
Rse	0,04	
Espesor total (cm)	60	
Valor-U (W/m2K)	0,444	

Tabla 1: Valor-U de cerramiento opaco en proyecto de partida

Cerramiento opaco (proyecto modificado)			
	R (m²K/W)	λ (W/mk)	Espesor (mm)
Rsi	0,13		
Hormigón armado	2,10		70
Poliuretano	0,02		260
Hormigón armado	2,10		70
Rse	0,04		
Espesor total (cm)	40		
Valor-U (W/m2K)	0,132		

Tabla 2: Valor-U de cerramiento opaco en proyecto modificado

Cerramiento traslúcido

En un primer momento consistía en planchas de policarbonato celular con perfiles de aluminio y estructura de madera. A pesar de utilizarse policarbonato de 10 celdas, la capacidad térmica de este cerramiento para cumplir los requisitos Passivehaus, resultaba insuficiente.

Tras investigar otros sistemas o materiales que, manteniendo una materialidad translúcida, fuese capaz de proporcionar una menor transmitancia, se encuentra información sobre el **nanogel**, un material translúcido hecho de aerogel de silicio – espuma ultra ligera y altamente porosa, siendo un 90% aire.² Este material, aunque fue descubierto en 1930 por el químico Samuel Kistler, ha sido recientemente utilizado

por empresas como Kalwall para crear paneles translúcidos con una gran capacidad de resistencia térmica (Kalwall Lumira). Por ello se decide utilizar estos elementos, que son descritos como paneles sándwich estructurales con dos caras de polímero reforzado de fibra de vidrio y aerogel como aislamiento térmico traslúcido.

	Proyecto de partida		
	R (m²K/W)	λ (W/mk)	Espesor (mm)
Rsi	0,13		
Policarbonato celular		1,20	50
Rse	0,04		
Espesor total (cm)	5		
Valor-U (W/m2K)	4,724		

Tabla 3: Valor-U de cerramiento opaco en proyecto modificado

	Proyecto modificado		
	R (m²K/W)	λ (W/mk)	Espesor (mm)
Rsi	0,13		
Kalwall		0,021	70
Rse	0,04		
Espesor total (cm)	7		
Valor-U (W/m2K)	0,28		

Tabla 4: Valor-U de traslúcido opaco en proyecto modificado

ESTRUCTURA

Desde el punto de vista estructural, ha sido necesario volver a predimensionar los elementos, dado que se habían utilizado unos perfiles metálicos y un forjado de madera algo reducidos dado las cargas del edificio. También ha sido necesario replantear la cimentación con cantos de losa y dimensiones de zapatas.

En la siguiente página se presenta un esquema de estructura.

Cerramiento opaco (proyecto de partida)			
	R (m²K/W)	λ (W/mk)	Espesor (mm)

² Anna Holtzman. (2005). Aerogels on the rise. Washington: Hanley-Wood, Incorporated. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/227819691>

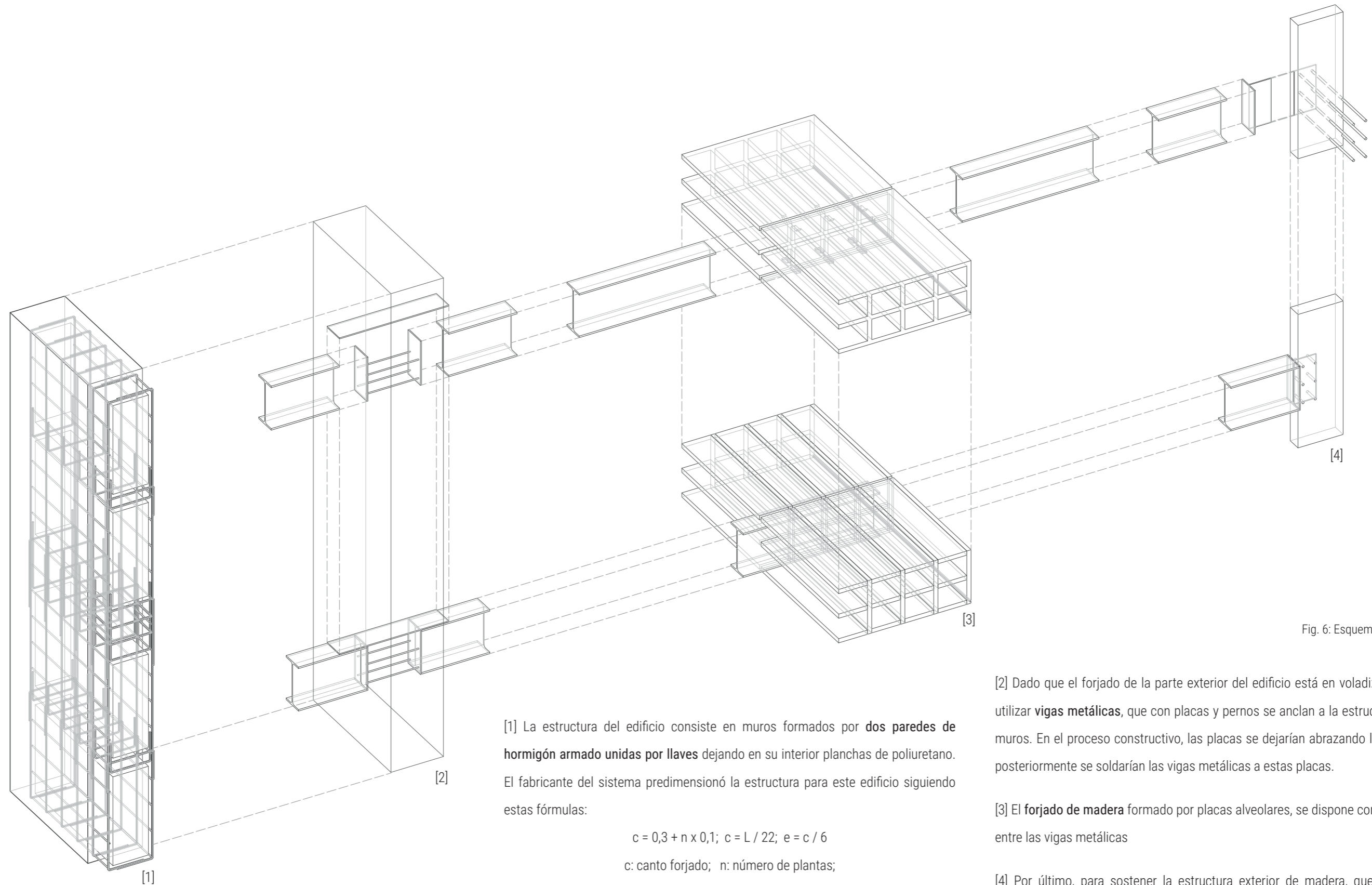


Fig. 6: Esquema de estructura

[1] La estructura del edificio consiste en muros formados por **dos paredes de hormigón armado unidas por llaves** dejando en su interior planchas de poliuretano. El fabricante del sistema predimensionó la estructura para este edificio siguiendo estas fórmulas:

$$c = 0,3 + n \times 0,1; \quad c = L / 22; \quad e = c / 6$$

c: canto forjado; n: número de plantas;

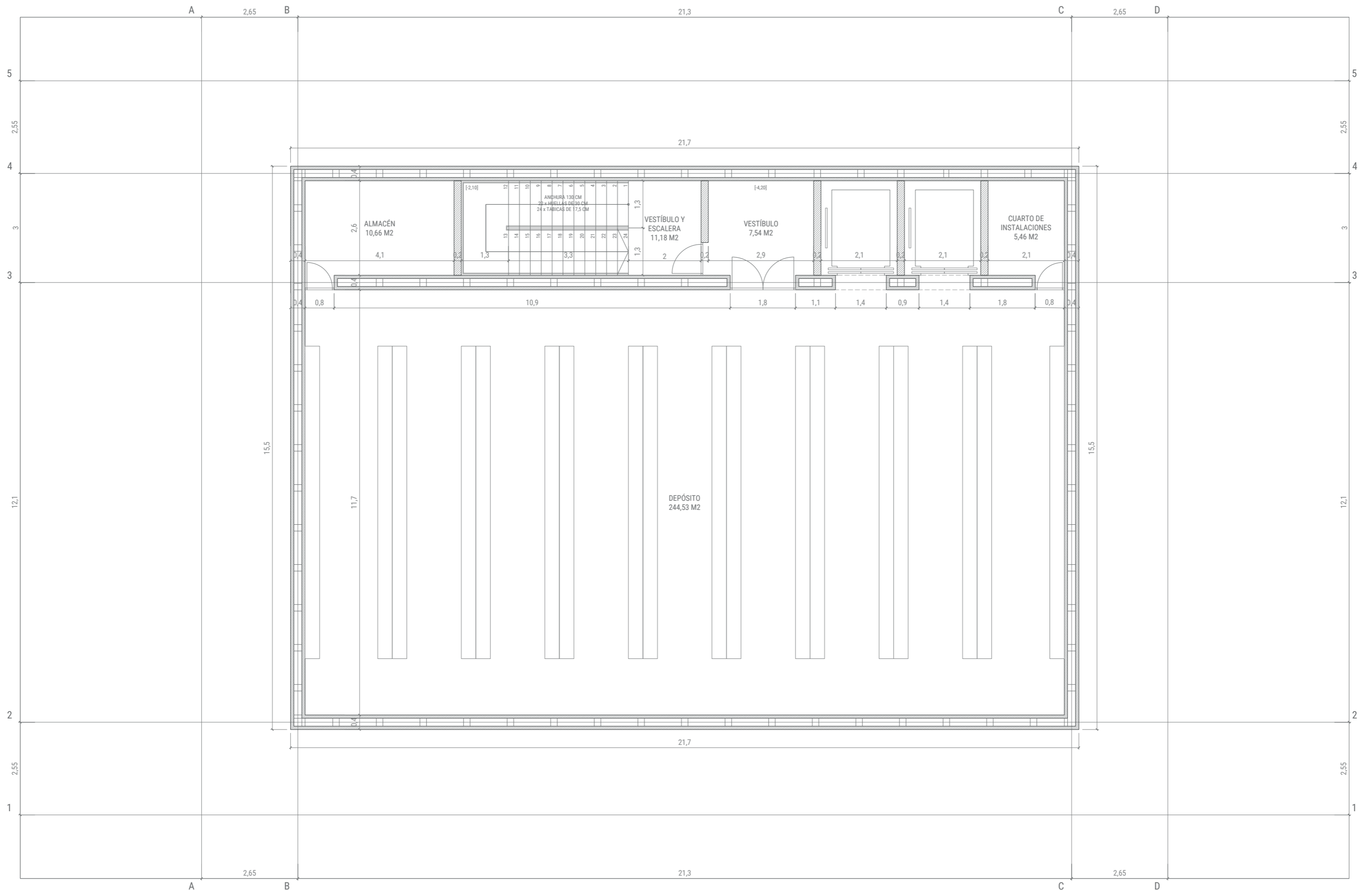
L: distancia entre apoyos; e: espesor muro

Se partió de un supuesto predimensionado del forjado, para llegar, con rigideces similares de elementos, al espesor de muro, que será de 40 cm (7+28+7).

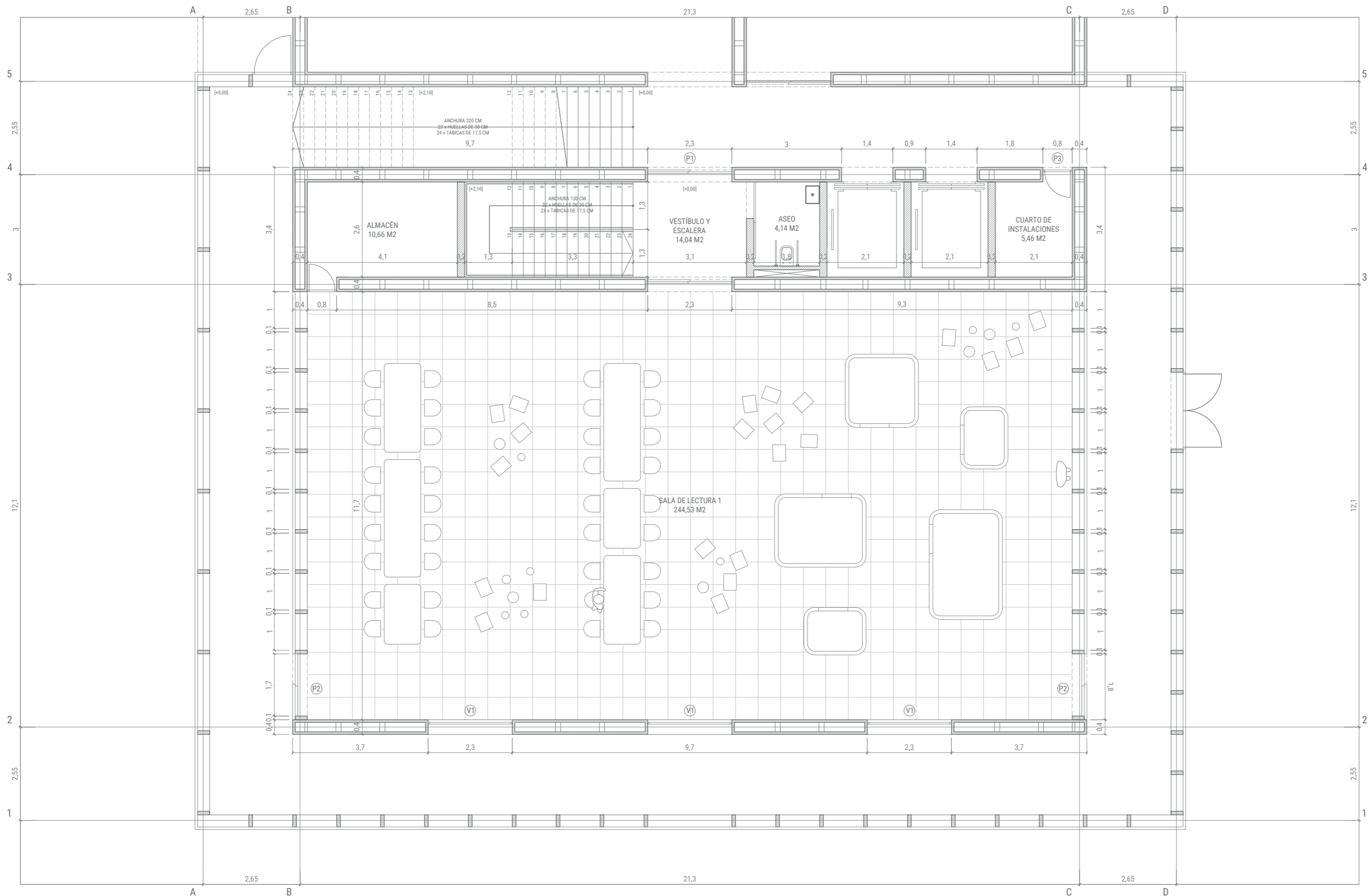
[2] Dado que el forjado de la parte exterior del edificio está en voladizo, se decide utilizar **vigas metálicas**, que con placas y pernos se anclan a la estructura de estos muros. En el proceso constructivo, las placas se dejarían abrazando la armadura, y posteriormente se soldarían las vigas metálicas a estas placas.

[3] El **forjado de madera** formado por placas alveolares, se dispone como elementos entre las vigas metálicas

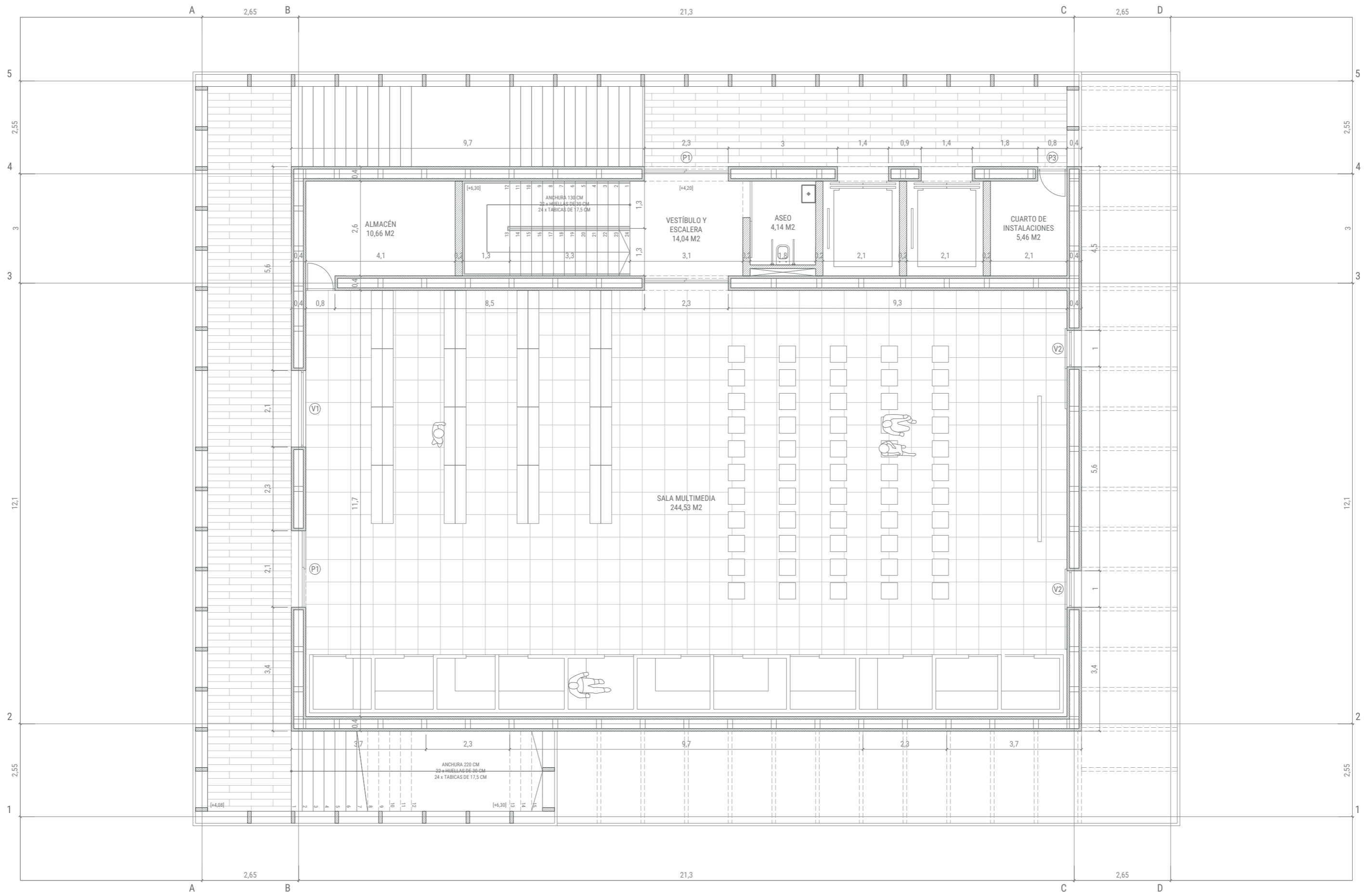
[4] Por último, para sostener la estructura exterior de madera, que conforma la **celosía**, y que funciona como un todo, por la serie de elementos que entrelazándose la componen, se soldaría otras placas que se introducirían dentro de la madera previamente preparada.



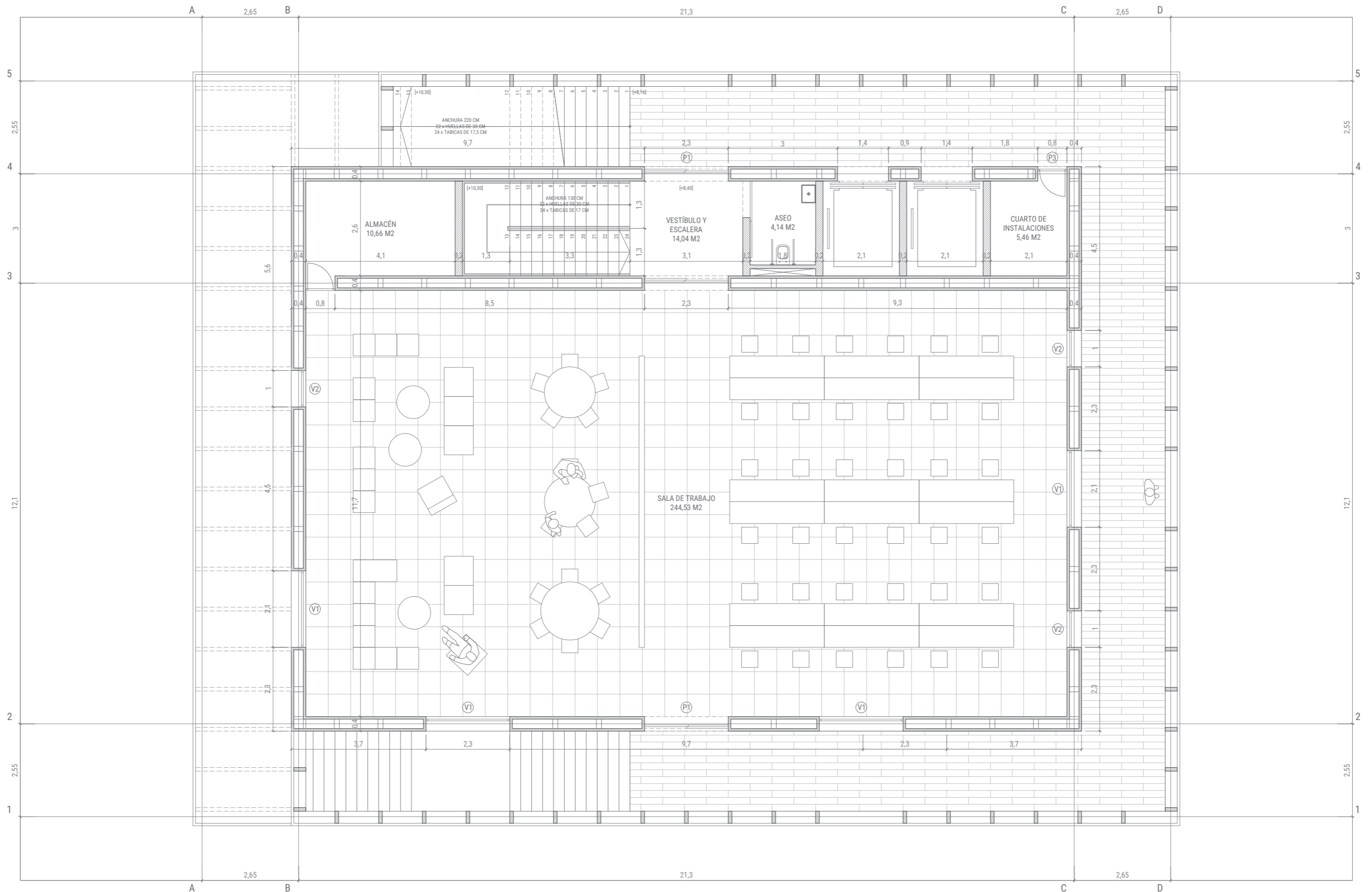
Planta sótano (-4,20) E1:100



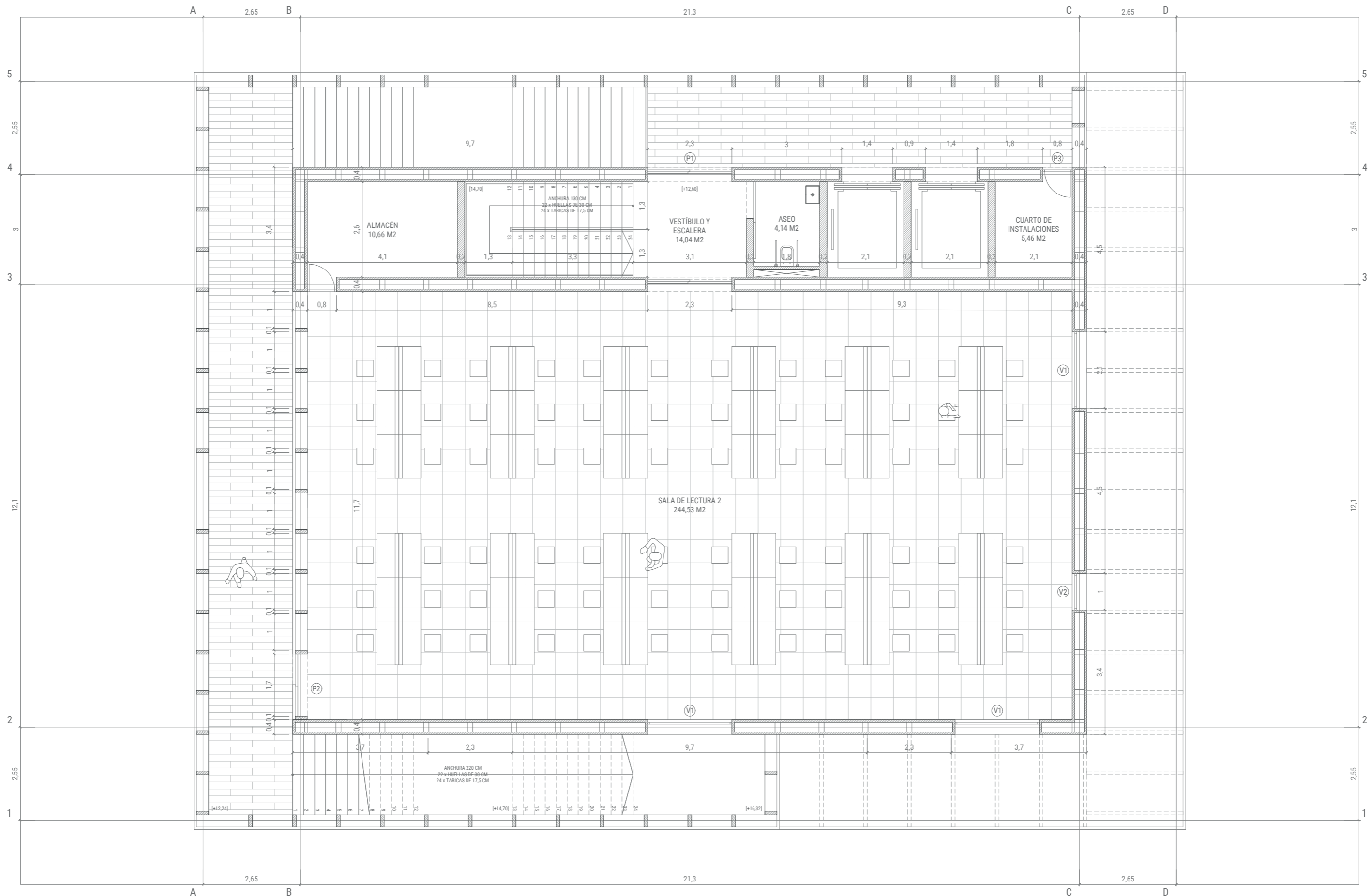
Planta baja (+0,00) E1:100



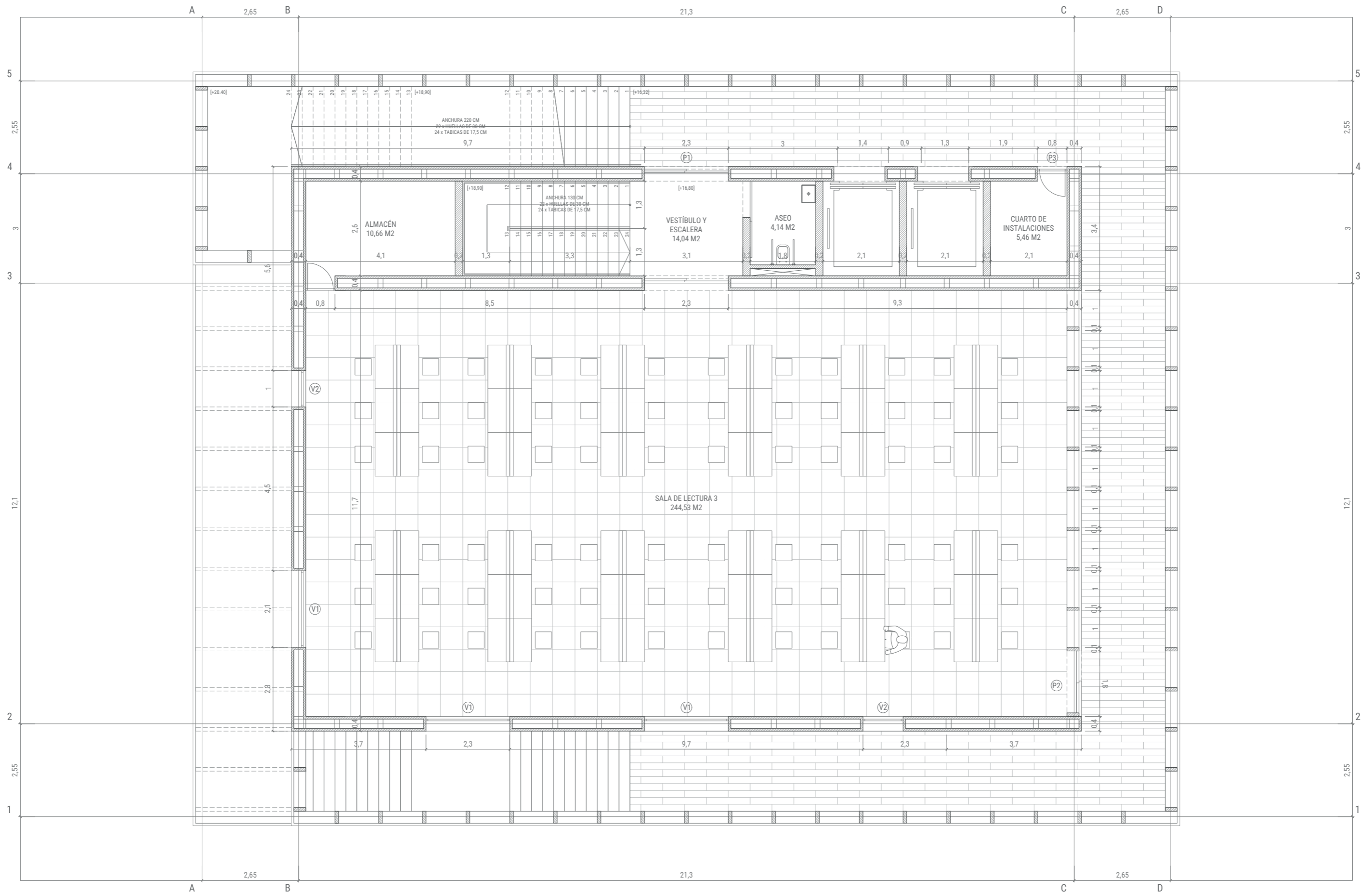
Planta primera (+4,20) E1:100



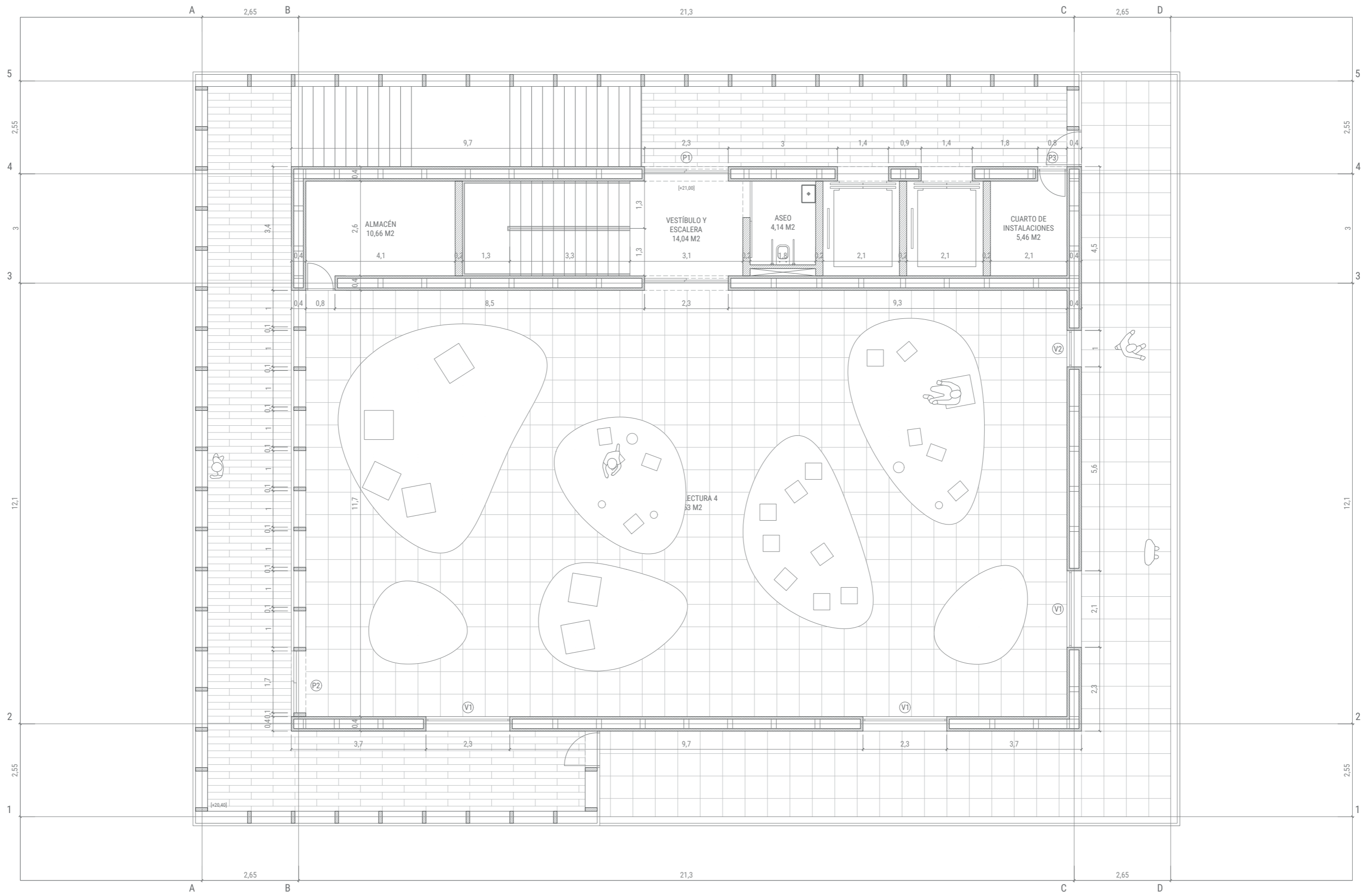
Planta segunda (+8,40) E1:100



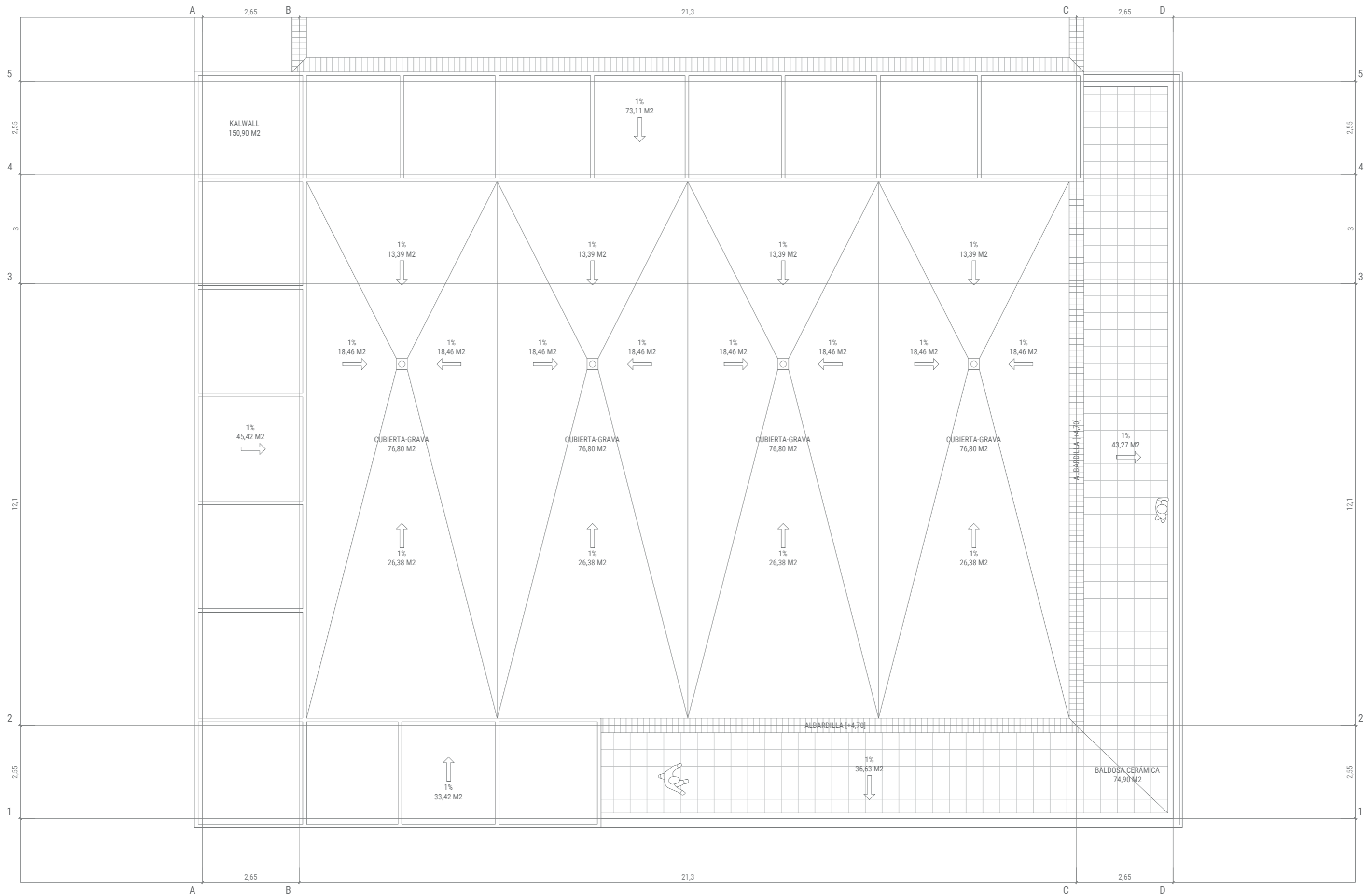
Planta tercera (+12,60) E1:100



Planta cuarta (+16,80) E1:100



Planta quinta (+21,00) E1:100



Planta de cubierta (+25,40) E1:100



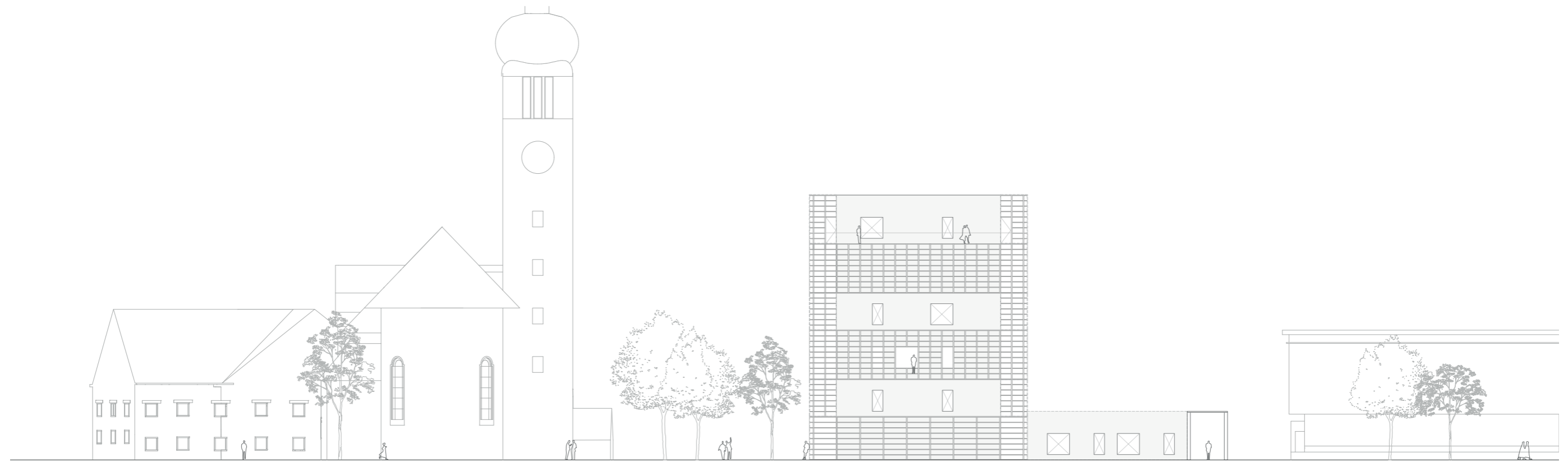
Alzado sureste E1:400



Alzado noroeste E1:400



Alzado sureste E1:400

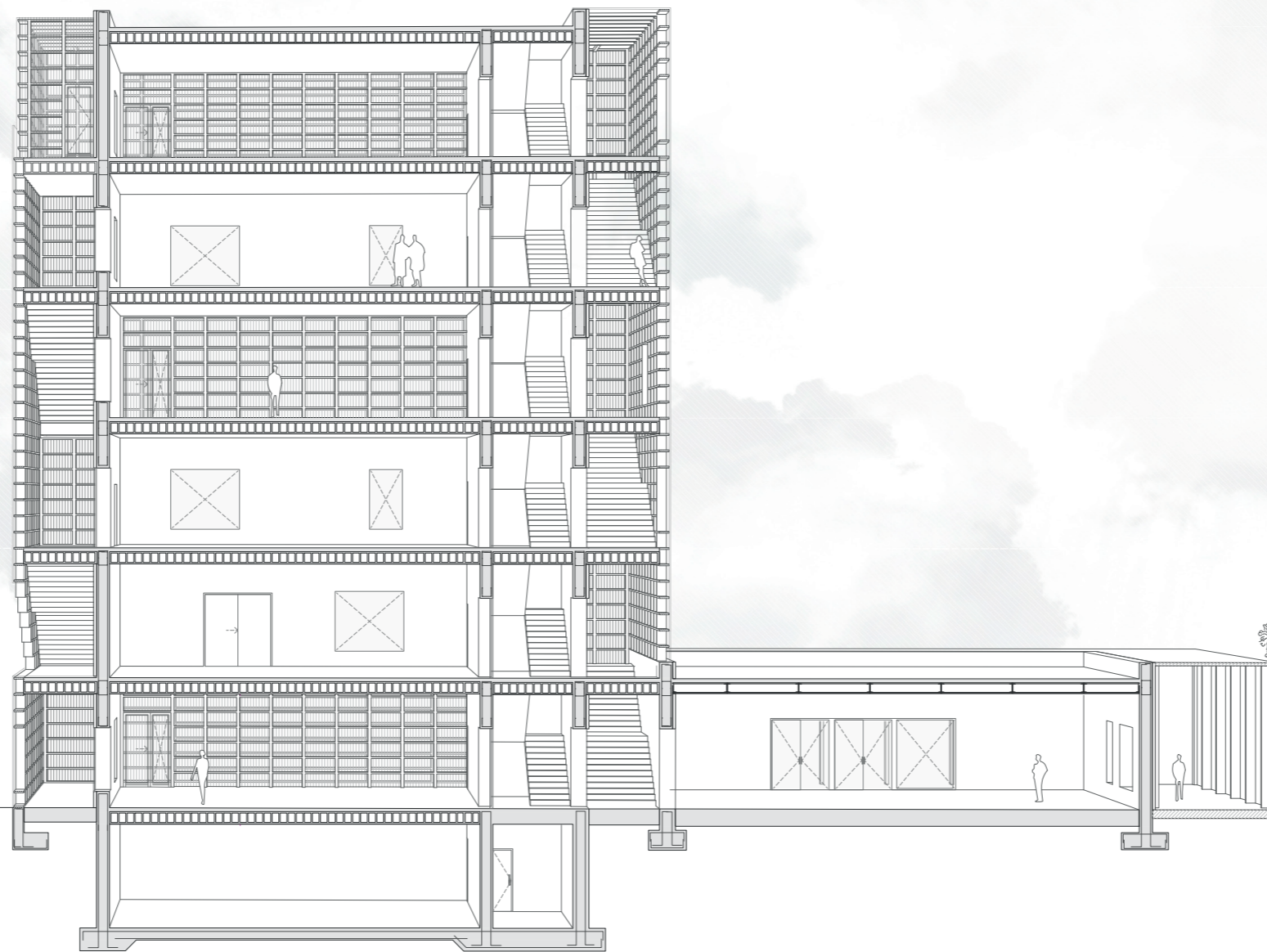


Alzado noreste E1:400



Sección AA' E1:200

Sección BB' E1:200



ACONDICIONAMIENTO PASIVO

3.1. INTRODUCCIÓN	34
3.2. CLIMA	35
3.3. ENVOLVENTE TÉRMICA	36
SECCIÓN CONSTRUCTIVA	
MURO DE FACHADA OPACO	
MURO DE FACHADA TRASLÚCIDO	
MURO EN CONTACTO CON EL TERRENO	
CUBIERTA EN CONTACTO CON EL AIRE	
SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO	
PUNTOS CRÍTICOS DE LA ENVOLVENTE	
3.4. HUECOS Y SOMBRAS	48
FACTOR DE REDUCCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR. VALOR-U DE VENTANAS	
CÁLCULO DE FACTORES DE SOMBRA	
3.5. PÉRDIDAS Y GANANCIAS	50
PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DEL TERRENO	
GANANCIAS POR RADIACIÓN	
3.6. DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN	52
DEMANDA Y CARGAS DE CALEFACCIÓN	
DEMANDA Y CARGAS DE REFRIGERACIÓN	

3.1. INTRODUCCIÓN

El **acondicionamiento pasivo** nos permite obtener unos índices de confort térmico a través de procedimientos naturales o que impliquen un gasto energético reducido.

Por lo tanto, para un diseño eficiente es necesario tener en cuenta:

- La orientación, tamaño y protección solar de huecos
- La ventilación natural
- La inercia térmica
- La conservación de energía
- El uso de aislamiento térmico adecuado

Si bien para el diseño del edificio se han tenido en cuenta la mayor parte de estos aspectos, con mayor o menor importancia según el uso y tipo de clima en el que nos encontramos, ha sido el aislamiento térmico el que ha cobrado mayor peso debido a que, dadas las temperaturas que se dan en estas latitudes, ha mostrado una mayor relevancia en cuanto a eficiencia y menor gasto de energía.

El uso de un **excelente aislamiento** está especialmente indicado para **climas fríos**, donde los costes por calefacción superan a los de refrigeración, siendo la acumulación y preservación del calor interno la principal herramienta para reducir la demanda de energía en invierno.¹

El buen uso de las herramientas para acondicionamiento pasivo nos permite reducir la demanda energética del edificio en calefacción y refrigeración. Estos datos se obtendrán a través del programa PHPP una vez se introduzcan los siguientes

parámetros en las hojas de cálculo:

- Datos **climáticos**
- Cálculo de valores de transmitancia de los elementos constructivos que componen la **envolvente térmica**
- Determinación de **superficies** teniendo en cuenta su orientación y transmitancia
- Pérdidas de calor a través del **terreno**
- Estudio de **huecos** para obtención de factor de reducción de radiación solar y valor de transmitancia de ventanas
- Cálculo de los factores de **sombra**

¹ Müller, M. O. (2012). How can the diffusion of energy-efficient renovations of buildings be accelerated? University of St.Gallen, Business Dissertations, 1.

3.2. CLIMA

La biblioteca se encuentra en Au, una comuna que pertenece al cantón de San Galo, ubicado entre el lago Constanza y los Alpes Appenzell.

El clima es de tipo continental, caracterizado por unas temperaturas muy bajas en invierno, con una media próxima a los 0°C, y temperaturas rondando los 20°C en verano. La temperatura media anual es de 7,1°C. Según la clasificación climática de Köppen-Geiger pertenece al tipo Dfb: nieve (D), húmedo (F) y verano templado (B).

La media de precipitaciones es de 1235 mm, variando en 83 mm del mes más seco

al más húmedo.

Tras introducir la ubicación en la tabla se ha tenido que especificar la altitud del edificio, que es de 402 metros, por diferir de la altitud de la estación meteorológica.

En cuanto a radiación, los índices que presenta son menos de la mitad en comparación a otras ciudades de España.

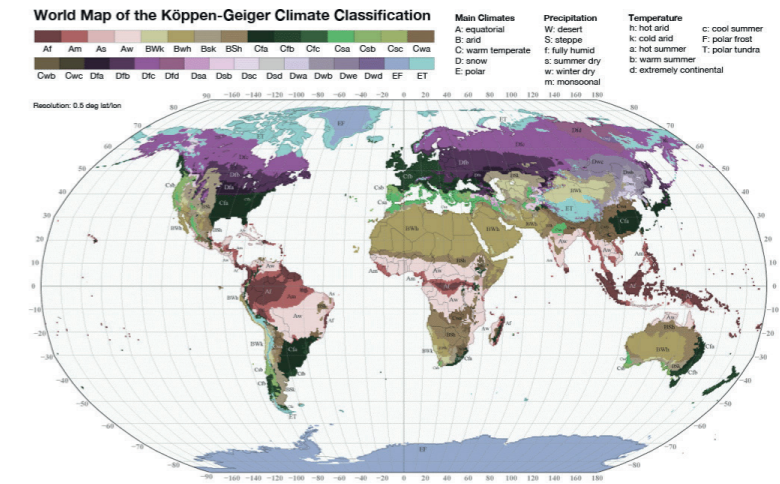


Fig. 7: Mapa mundial según la clasificación de Köppen-Geiger

Edificio: **Bibliothek**

Clima de referencia: [CH] - St. Gallen

Datos mensuales: [CH] - St. Gallen

Datos anuales: Utilizar Datos climáticos anuales no

Resultados:

Demanda de calefacción	7,4	kWh/(m²a)
Carga de calefacción	8,6	W/m²
Energía primaria	34,6	kWh/(m²a)

Transferencia método anual (Calefacción anual)

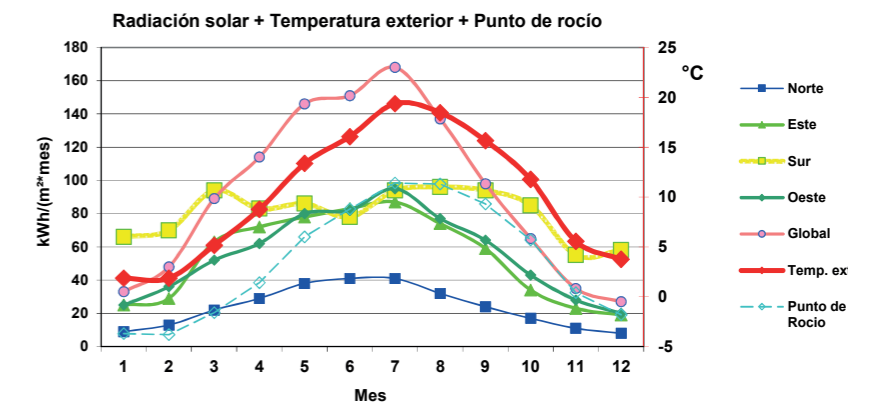
Cal _{Días}	201	d/a
G _t	73	kKh/a
Norte	101	kWh/(m²a)
Este	246	kWh/(m²a)
Sur	461	kWh/(m²a)
Oeste	244	kWh/(m²a)
Horizontal	379	kWh/(m²a)

Región: **Suiza y Francia**

Conjunto de datos climáticos: **[CH] - St. Gallen**

Estación meteorológica (altitud): **779,0** m

Ubicación del edificio (altitud): **402** m



Parámetros para el cálculo de las temperaturas del terreno en el PHPP.	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Carga de calefacción		Carga de refrigeración		
	Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	Sit. met.1	Sit. met. 2	Sit. met.1	Sit. met. 2	
[CH] - St. Gallen	Latitud °	47,4	Longitud °	9,4	Altitud (m)	779	Fluctuación diaria de la temperatura en verano (K)					7,7	Datos radiación: kWh/(m²mes)		Radiación: W/m²		Radiación: W/m²	
Cambio mensual de fases	Temp. ext.	1,9	1,9	5,2	8,8	13,4	16,1	19,4	18,5	15,7	11,8	5,6	3,8	-7,7	-6,9	25,3	25,3	
Amortiguación	Norte	9	13	22	29	38	41	41	32	24	17	11	8	10	10	90	90	
Profundidad m	Este	25	29	63	72	78	83	87	74	59	34	23	19	15	10	180	180	
[CH] - Altdorf	Sur	66	70	94	83	86	78	94	96	94	85	55	58	20	15	190	190	
	Oeste	25	36	52	62	80	82	95	77	64	43	28	20	15	10	180	180	
	Global	33	48	89	114	146	151	168	137	98	65	35	27	20	15	340	340	
	Punto de Rocío	-3,7	-3,8	-1,6	1,4	6,0	8,8	11,4	11,3	9,3	5,7	0,4	-1,8			14,4	14,4	
	Temperatura del cielo	-14,8	-14,9	-11,6	-7,1	-0,5	3,5	7,0	6,9	4,2	-0,9	-8,6	-11,9			11,1	14,4	
	Temperatura terreno	13,5	13,5	13,9	14,4	15,0	17,4	17,6	17,6	17,2	14,7	14,2	13,7	13,5	13,5	17,6	17,6	
	Comentario:	Datos generados con Meteornorm en base a datos TRY. 2007 PHI																

Tabla 5: Hoja de datos 'Clima' de PHPP

3.3. ENVOLVENTE TÉRMICA

"La **envolvente térmica** del edificio está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior."¹

La envolvente térmica del edificio no sólo nos permite definir de un cierto carácter al edificio, si no que, a través de un buen diseño, nos permite crear un espacio interior confortable. Para ello el Código Técnico de la Edificación expone una serie de exigencias que nos permiten obtener estos resultados.

"Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos."¹

A continuación se detallan los distintos tipos de elementos que componen la envolvente y su ubicación; posteriormente se estudia su comportamiento a través de su inserción en las hojas de cálculo del programa PHPP (nombre de los elementos en PHPP entre corchetes).

MF-O	Muro de fachada opaco [Muro exterior] elementos estructurales de doble pared de hormigón armado con aislamiento en su interior
MF-T	Muro de fachada traslúcido [Cerramiento traslúcido] paneles sándwich estructurales de dos caras de polímero reforzado de fibra de vidrio y aerogel como aislamiento térmico traslúcido
MT	Muro en contacto con el terreno elementos estructurales de doble pared de hormigón armado con aislamiento en su interior
CT	Cubierta en contacto con el aire [Cubierta plana no transitable] de grava
ST	Suelo en contacto con el terreno [Losa de cimentación] de hormigón armado con aislamiento en la cara interior
EA	Espacio acondicionado [Superficie de referencia energética]

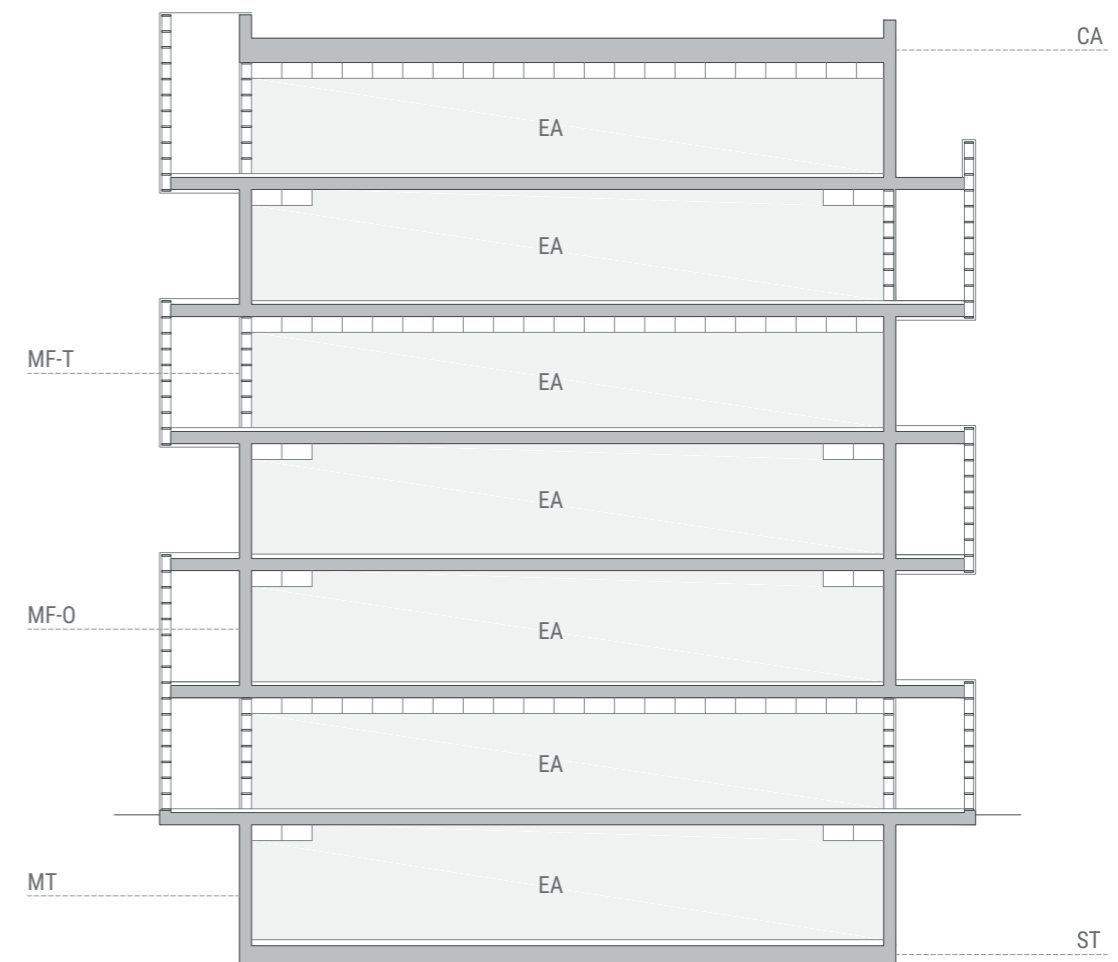
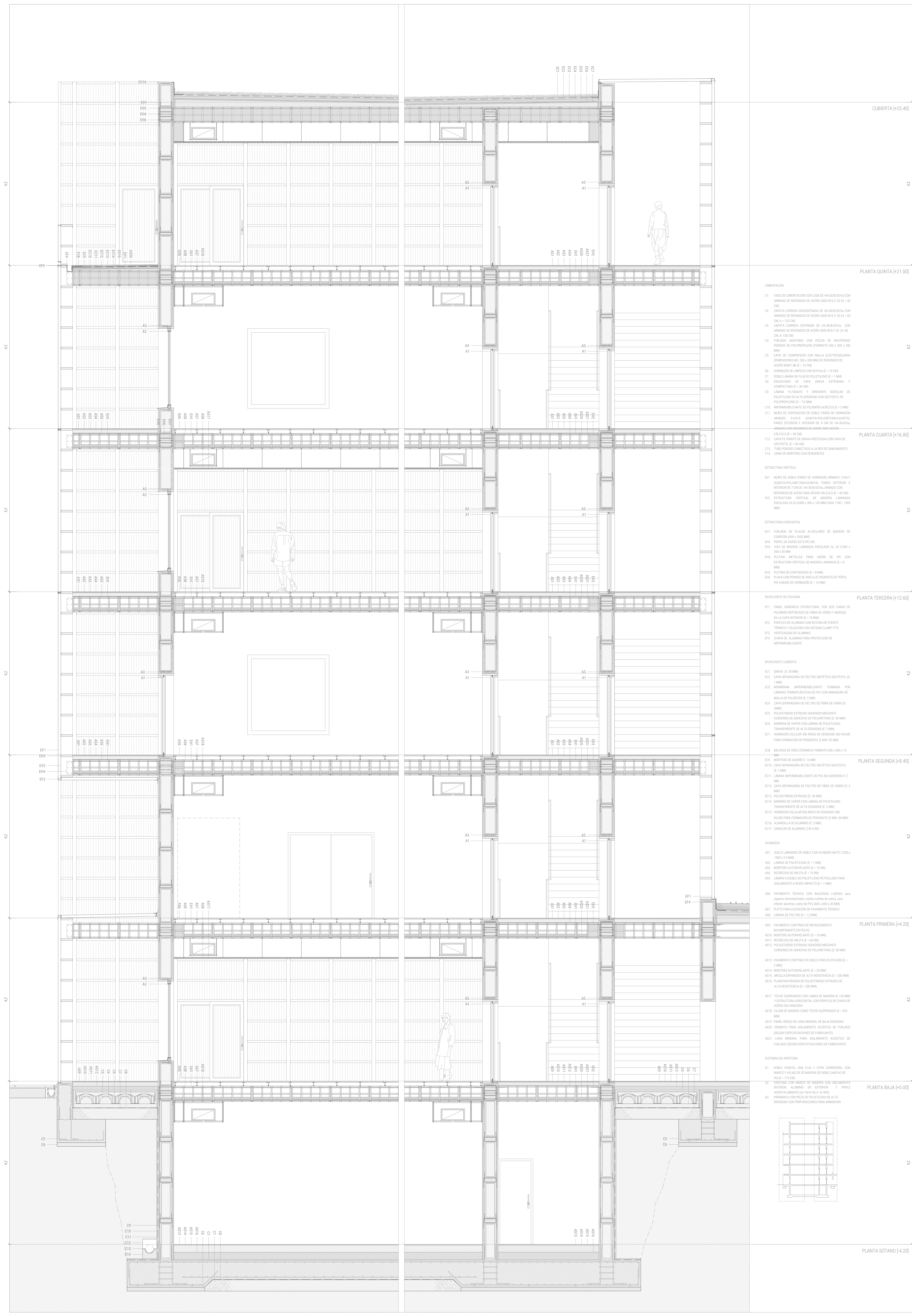


Fig. 8: Esquema de envolvente térmica

¹ Código técnico de la edificación. documento básico HE eficiencia energética, (2017).



CUBIERTA [+25.40]

PLANTA QUINTA [+21.00]

PLANTA CUARTA [+16.80]

PLANTA TERCERA [+12.60]

PLANTA SEGUNDA [+8.40]

PLANTA PRIMERA [+4.20]

PLANTA BAJA [+0.00]

PLANTA SÓTANO [-4.20]

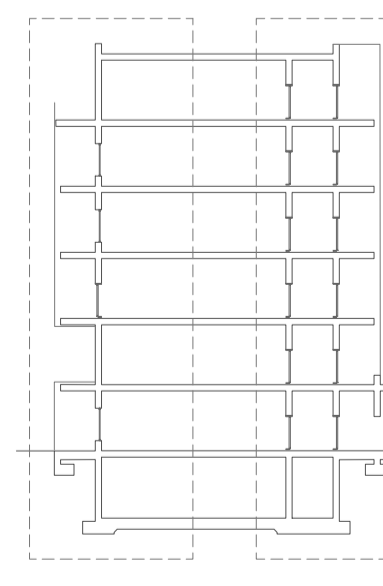
- CEMENTACION**
- C1. VASO DE CEMENTACION CON LOSA DE HA-30/20/16 CON ARMAZO DE REJONOS DE ACERO S305 D14 C 20 (H = 50 CM)
 - C2. ZAPATA CORREA DESCENTRADA DE HA-30/20/16 CON ARMAZO DE REJONOS DE ACERO S305 D14 C 20 (H = 60 CM, A = 125 CM)
 - C3. ZAPATA CORREA CENTRADA DE HA-30/20/16 CON ARMAZO DE REJONOS DE ACERO S305 D14 C 20 (H = 60 CM, A = 150 CM)
 - C4. FORJADO SANITARIO CON PIEZAS DE ENCOFRADO PERDIDO DE POLIPROPILENO (FORMATO 300 x 500 x 250 MM)
 - C5. CAPA DE COMPRESION CON MALLA ELECTROSOLDADA (DIMENSIONES: 200 x 200 MM) DE REJONOS DE ACERO E50T 06 (E = 10 CM)
 - C6. HORAGON DE LIMPIEZA HA 20/16 (E = 10 CM)
 - C7. DOBLE LAMINA DE FILM DE POLIETILENO (E = 1 MM)
 - C8. ENCHAZADO DE CAPA GRAVA EXTENDIDA Y COMPACTADA (E = 30 CM)
 - C9. LAMINA FILTRANTE Y DRENANTE MODULAR DE POLIURETANO DE ALTA DENSIDAD CON GEOTEXTIL DE POLIPROPILENO (E = 2.5 MM)
 - C10. IMPERMEABILIZANTE DE POLIMERO ACRILICO (E = 2 MM)
 - C11. MURO DE CONTACCION DE DOBLE PARED DE HORMIGON ARMAZO 9x20x4 (IGSANT-POLIRETANOH-UNITAL) PARED EXTERIOR E INTERIOR DE 9 CM DE HA-30/8/16, ARMAZO CON REJONOS DE ACERO S305 SEGUN CALCULO (E = 40 CM)
 - C12. CAPA FILTRANTE DE GRAVA PROTEGIDA CON CAPA DE GEOTEXTIL (E = 30 CM)
 - C13. TUBO PERFORADO CONECTADO A LA RED DE SANEAMIENTO
 - C14. CAMA DE MORTERO CON PENDIENTES

- ESTRUCTURA VERTICAL**
- E1. MURO DE DOBLE PARED DE HORMIGON ARMAZO 7x24x7 (IGSANT-POLIRETANOH-UNITAL) PARED EXTERIOR E INTERIOR DE 7 CM DE HA-30/8/16, ARMAZO CON REJONOS DE ACERO S305 SEGUN CALCULO (E = 40 CM)
 - E2. ESTRUCTURA VERTICAL DE MADERA LAMINADA ENCLASADA GL24 (600 x 300 x 100 MM CADA 1100 / 1000 MM)
- ESTRUCTURA HORIZONTAL**
- H1. FORJADO DE PLACAS ALVEOLARES DE MADERA DE CONIFERA (40 x 1000 MM)
 - H2. PERFIL DE ACERO S275 P30
 - H3. VIGA DE MADERA LAMINADA ENCLASADA GL 24 (1000 x 300 x 50 MM)
 - H4. PLETINA METALICA PARA UNION DE IPE CON ESTRUCTURA VERTICAL DE MADERA LAMINADA (E = 8 MM)
 - H5. PLETINA DE CONTINUIDAD (E = 8 MM)
 - H6. PLACA CON PERFORACIONES PARA PASAJE DE PERFIL IPE A MURO DE HORMIGON (E = 10 MM)

- ENVOLVENTE DE FACHADA**
- F1. PANEL SANDWICH ESTRUCTURAL CON DOS CAPAS DE POLIMERO REFORZADO DE FIBRA DE VIDRIO Y ADELCO EN LA CARA INTERIOR (E = 70 MM)
 - F2. PERFILES DE ALUMINIO CON ROTURA DE PUENTE TERMICO Y SUELO CON SUELO CLAMP-TILE
 - F3. VERTICALES DE ALUMINIO
 - F4. CHAPA DE ALUMINIO PARA PROTECCION DE IMPERMEABILIZANTE
- ENVOLVENTE CUBIERTA**
- E1. GRAVA (E = 50 MM)
 - E2. CAPA SEPARADORA DE FIELTRO SINTETICO GEOTEXTIL (E = 1 MM)
 - E3. MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE FORMADA POR LAMINAS TERMOPLASTICAS DE PVC CON ARMADURA DE MALLA DE POLIESTER (E = 2 MM)
 - E4. CAPA SEPARADORA DE FIELTRO DE FIBRA DE VIDRIO (E = 2MM)
 - E5. POLIESTIRENO EXTRUIDO ADHERIDO MEDIANTE CORONES DE ADHESIVO DE POLIURETANO (E = 40 MM)
 - E6. BARRERA DE VAPOR CON LAMINA DE POLIETILENO TRANSPARENTES DE ALTA DENSIDAD (E = 2 MM)
 - E7. HORMIGON CELULAR SIN ARIDO DE DENSIDAD 300 KG/M3 PARA FORMACION DE PENDIENTE (E MIN. 50 MM)
 - E8. ALBARDILLA DE ALUMINIO (E = 3 MM)
 - E9. CANALIZACION DE ALUMINIO (150 X 80)

- ACABADOS**
- A1. SUELO LAMINADO DE ROBLE CON ACABADO MATE (1200 x 1000 x 9.5 MM)
 - A2. LAMINA DE POLIETILENO (E = 1 MM)
 - A3. MORTERO AUTONIVELANTE (E = 10 MM)
 - A4. REJONOS DE ALU (E = 70 MM)
 - A5. LAMINA FLEXIBLE DE POLIETILENO RETICULADO PARA AISLAMIENTO A RUJEO IMPACTO (E = 1.5 MM)
 - A6. PAVIMENTO TECNICO CON BALDOSAS LIGERAS cara superior terminada, rostro suelto de canto, cara inferior barnizada con PU (150 x 150 x 10 MM)
 - A7. PLATS PARA ELEVACION DE PAVIMENTO TECNICO
 - A8. LAMINA DE FIELTRO (E = 1.5 MM)
 - A9. PAVIMENTO CONTINUO DE MICROCEMENTO BICOMPONENTE EN POLVO
 - A10. MORTERO AUTONIVELANTE (E = 10 MM)
 - A11. REJONOS DE ALU (E = 40 MM)
 - A12. POLIESTIRENO EXTRUIDO ADHERIDO MEDIANTE CORONES DE ADHESIVO DE POLIURETANO (E = 50 MM)
 - A13. PAVIMENTO CONTINUO DE SUELO VINILICO EN GRIS (E = 2 MM)
 - A14. MORTERO AUTONIVELANTE (E = 20 MM)
 - A15. ARIELLA EXPANDIDA DE ALTA RESISTENCIA (E = 200 MM)
 - A16. PLANCHAS RIGIDAS DE POLIESTIRENO EXTRUIDO DE ALTA RESISTENCIA (E = 200 MM)
 - A17. TECHO SUSPENDIDO CON LAMAS DE MADERA (E = 20 MM) Y ESTRUCTURA HORIZONTAL CON PERFILES DE CHAPAS DE ACERO GALVANIZADA
 - A18. CAJON DE MADERA COMO TECHO SUSPENDIDO (E = 375 MM)
 - A19. PANEL RIGIDO DE LANA MINERAL DE BAJA DENSIDAD
 - A20. CEMENTO PARA AISLAMIENTO ACUSTICO DE FORJADO (SEGUN ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE)
 - A21. LANA MINERAL PARA AISLAMIENTO ACUSTICO DE FORJADO (SEGUN ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE)

- SISTEMAS DE APERTURA**
- A1. DOBLE PUERTA LANA FUA Y OTRA CORREDERA CON MARCO Y HOJAS DE MADERA DE ROBLE (ANCHO DE HOJA = 115 CM)
 - A2. TENDIDO CON BARRAS DE MADERA CON RECAMBIO INTERIOR ALUMINIO EN EXTERIOR Y TRIPLE ACRISTALAMIENTO (E = 16/12/16 x 4 y 90)
 - A3. PREENCHO CON PIEZA DE POLIURETANO DE ALTA DENSIDAD CON PERFORACIONES PARA ARRANQUA



MURO DE FACHADA OPACO

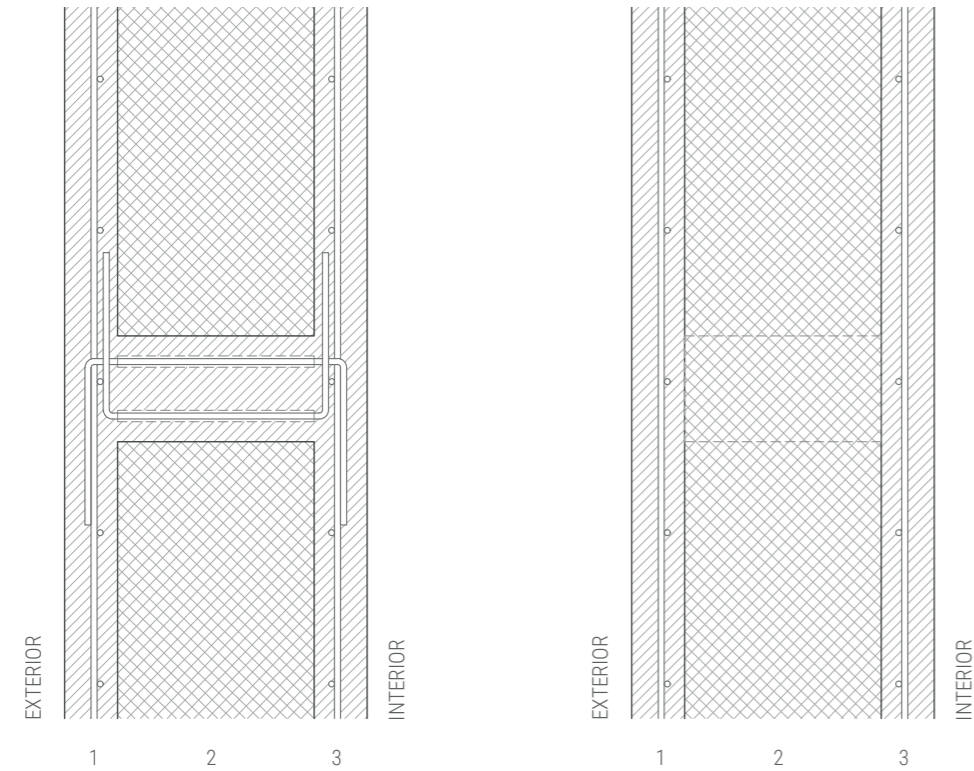


Fig. 9 : Detalle [muro exterior] E1:10

1. PARED DE HORMIGÓN ARMADO HA-30/B/IIa ARMADO CON REDONDOS DE ACERO 500S SEGÚN CÁLCULO E: 70 MM
2. PLACA DE POLIURETANO E: 26 MM
3. PARED DE HORMIGÓN ARMADO HA-30/B/IIa ARMADO CON REDONDOS DE ACERO 500S SEGÚN CÁLCULO E: 70 MM

Para el cálculo de transmitancia de elementos constructivos solamente se han tenido en cuenta aquellos elementos que computan térmicamente.

Se ha determinado que la superficie de conectores en el muro exterior es de un 5,0%; por lo tanto es necesario tenerlo en cuenta como superficie parcial.

Cálculo de valor-U

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	¿Aislamiento interior?				
1	Muro exterior	<input type="checkbox"/>				
Resistencia térmica superficial [m²KW]						
interior R _{si} :		0,13				
exterior R _{se} :		0,04				
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Hormigón armado	2,100	Hormigón armado	2,100			70
2. Placa de poliuretano	0,023	Poliuretano de AD	0,300			260
3. Hormigón armado	2,100	Hormigón armado	2,100			70
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
95%		5,0%				40,0 cm
Suplemento al valor-U		W/(m²K)		Valor-U:		0,132 W/(m²K)

Tabla 6: Hoja de datos 'Valor-U elementos constructivos. Muro exterior' de PHPP

Superficie del elemento constructivo en contacto con el exterior y su ganancia por radiación

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad	Resumen de los elementos co	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]
1	SRE (sup. de referencia energética)		2040,71	m²			7 Meses	6 Meses
2	Ventanas al norte	A	31,57	m²	Ventanas al norte	0,727	683	1425
3	Ventanas al este	A	52,80	m²	Ventanas al este	0,714	2573	3828
4	Ventanas al sur	A	26,97	m²	Ventanas al sur	0,669	1373	1762
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m²	Ventanas al oeste			
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m²	Ventanas horizontales			
7	Puerta exterior	A	49,28	m²	Puerta exterior	0,300		
8	Muro ext. - aire ext.	A	1804,05	m²	Muro ext. - aire ext.	0,147	-133	604
9	Muro ext. - terreno	B	331,82	m²	Muro ext. - terreno	0,156		
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,35	m²	Techo / cubierta - Aire ext.	0,099	-110	493
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	378,48	m²	Solera / losa piso / forjado sar	0,133		

Tabla 7: Hoja de datos 'Determinación de superficies' de PHPP

MURO DE FACHADA TRASLÚCIDO

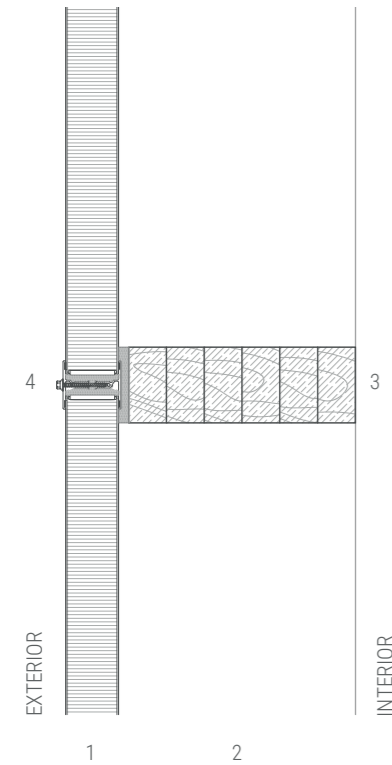


Fig. 10: Detalle [cerramiento traslúcido] E1:10

1. PANEL SÁNDWICH ESTRUCTURAL CON DOS CARAS DE POLÍMERO REFORZADO DE FIBRA DE VIDRIO Y AEROGEL EN LA CAPA INTERIOR E: 70 MM
2. ESTRUCTURA HORIZONTAL DE MADERA LAMINADA ENCOLADA GL 24 FORMATO 1000 X 330 X 50 MM CADA 525 MM
3. ESTRUCTURA VERTICAL DE MADERA LAMINADA ENCOLADA GL 24 FORMATO 3300 X 330 X 100 MM CADA 1000 MM
4. PERFIL DE ALUMINIO CON ROTURA DE PUENTE TÉRMICO Y SUJECIÓN CON SISTEMA CLAMP-TITE

Para el cálculo de transmitancia de elementos constructivos solamente se han tenido en cuenta aquellos elementos que computan térmicamente.

Se ha determinado, a través de herramientas gráficas, que la superficie con estructura de madera laminada coincidente con los paneles traslúcidos, es del 17,2%; por lo tanto es necesario tenerlo en cuenta como superficie parcial.

Cálculo de valor-U

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	¿Aislamiento interior?				
2	Cerramiento traslúcido	<input checked="" type="checkbox"/>				
Resistencia térmica superficial [m²K/W]						
interior R _{si} : 0,13						
exterior R _{se} : 0,04						
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Kalwall Lumira	0,021	Kalwall Lumira	0,021			70
2.		MLE	0,138			330
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
83%		17,2%				40,0 cm
Suplemento al valor-U		W/(m²K)		Valor-U:		0,270 W/(m²K)

Tabla 8: Hoja de datos 'Valor-U elementos constructivos. Cerramiento traslúcido' de PHPP

Superficie del elemento constructivo en contacto con el exterior y su ganancia por radiación

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad	Resumen de los elementos co	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]
1	SRE (sup. de referencia energética)		2040,71	m²			7 Meses	6 Meses
2	Ventanas al norte	A	31,57	m²	Ventanas al norte	0,727	683	1425
3	Ventanas al este	A	52,80	m²	Ventanas al este	0,714	2573	3828
4	Ventanas al sur	A	26,97	m²	Ventanas al sur	0,669	1373	1762
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m²	Ventanas al oeste			
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m²	Ventanas horizontales			
7	Puerta exterior	A	49,28	m²	Puerta exterior	0,300		
8	Muro ext. - aire ext.	A	1804,05	m²	Muro ext. - aire ext.	0,147	-133	604
9	Muro ext. - terreno	B	331,82	m²	Muro ext. - terreno	0,156		
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,35	m²	Techo / cubierta - Aire ext.	0,099	-110	493
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	378,48	m²	Solera / losa piso / forjado sar	0,133		

Tabla 7: Hoja de datos 'Determinación de superficies' de PHPP

MURO EN CONTACTO CON EL TERRENO

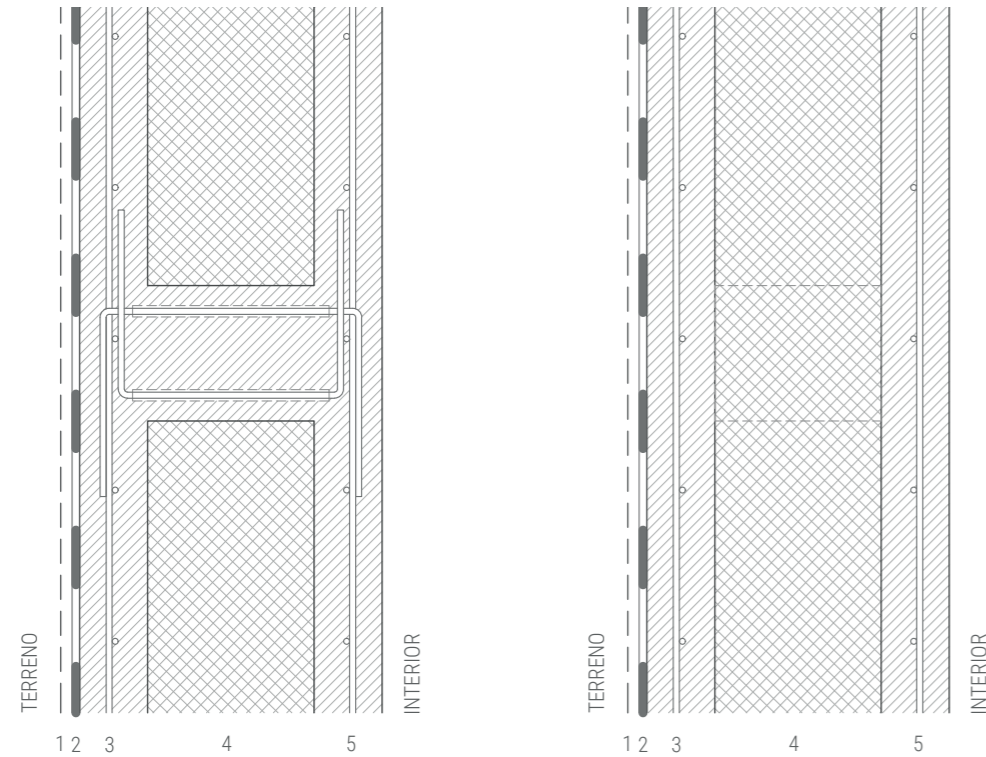


Fig. 11: Detalle [muro en contacto con el terreno] E1:10

1. LÁMINA FILTRANTE Y DRENANTE NODULAR DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON GEOTEXTIL DE POLIPROPILENO E: 7,5 MM
2. IMPERMEABILIZANTE DE POLÍMERO ACRÍLICO E: 2 MM
3. PARED DE HORMIGÓN ARMADO HA-30/B/IIa ARMADO CON REDONDOS DE ACERO 500S SEGÚN CÁLCULO E: 90 MM
4. PLACA DE POLIURETANO E: 22 MM
3. PARED DE HORMIGÓN ARMADO HA-30/B/IIa ARMADO CON REDONDOS DE ACERO 500S SEGÚN CÁLCULO E: 90 MM

Para el cálculo de transmitancia de elementos constructivos solamente se han tenido en cuenta aquellos elementos que computan térmicamente.

Se ha determinado que la superficie de conectores en el muro exterior es de un 5,0%; por lo tanto es necesario tenerlo en cuenta como superficie parcial.

Cálculo de valor-U

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	¿Aislamiento interior?				
3	Muro en contacto con terreno	<input type="checkbox"/>				
Resistencia térmica superficial [m²K/W]						
interior R _{si} :		0,13				
exterior R _{se} :		0,00				
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Hormigón armado	2,100	Hormigón armado	2,100			90
2. Placa de poliuretano	0,023	Poliuretano de AD	0,300			220
3. Hormigón armado	2,100	Hormigón armado	2,100			90
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
95%		5,0%				40,0 cm
Suplemento al valor-U		W/(m²K)		Valor-U:		0,156 W/(m²K)

Tabla 9: Hoja de datos 'Valor-U elementos constructivos. Muro en contacto con terreno' de PHPP

Superficie del elemento constructivo en contacto con el exterior y su ganancia por radiación

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad	Resumen de los elementos constructivos	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]
1	SRE (sup. de referencia energética)		2040,71	m²			7 Meses	6 Meses
2	Ventanas al norte	A	31,57	m²	Ventanas al norte	0,727	683	1425
3	Ventanas al este	A	52,80	m²	Ventanas al este	0,714	2573	3828
4	Ventanas al sur	A	26,97	m²	Ventanas al sur	0,669	1373	1762
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m²	Ventanas al oeste			
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m²	Ventanas horizontales			
7	Puerta exterior	A	49,28	m²	Puerta exterior	0,300		
8	Muro ext. - aire ext.	A	1804,05	m²	Muro ext. - aire ext.	0,147	-133	604
9	Muro ext. - terreno	B	331,82	m²	Muro ext. - terreno	0,156		
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,35	m²	Techo / cubierta - Aire ext.	0,099	-110	493
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	378,48	m²	Solera / losa piso / forjado sanitario	0,133		

Tabla 7: Hoja de datos 'Determinación de superficies' de PHPP

CUBIERTA EN CONTACTO CON EL AIRE

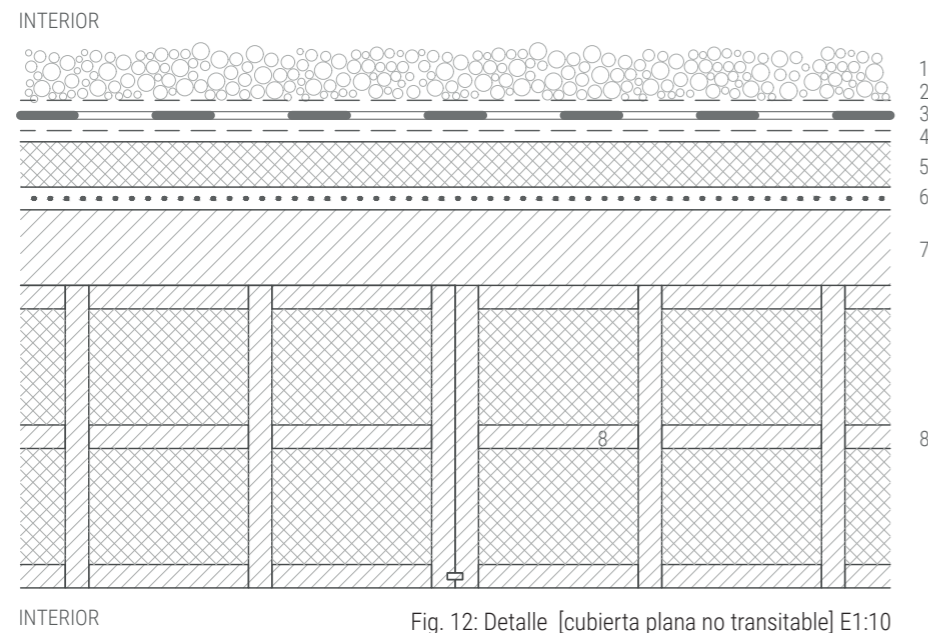


Fig. 12: Detalle [cubierta plana no transitable] E1:10

1. CANTOS RODADOS DE 16 A 32 MM DE DIÁMETRO E: 50 MM
2. CAPA SEPARADORA DE FIELTRO SINTÉTICO GEOTEXTIL E: 1 MM
3. MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE FORMADA POR LÁMINAS TERMOPLÁSTICAS DE PVC CON ARMADURA DE MALLA DE POLIÉSTER E: 2 MM
4. CAPA SEPARADORA DE FIELTRO DE FIBRA DE VIDRIO E: 2 MM
5. POLIESTIRENO EXTRUIDO ADHERIDO MEDIANTE CORDONES DE ADHESIVO DE POLIURETANO E: 60 MM
6. BARRERA ED VAPOR CON LÁMINA DE POLIETILENO TRANSPARENTE DE ALTA DENSIDAD E: 2 MM
7. HORMIGÓN CELULAR SIN ÁRIDO DE DENSIDAD 300 KG/M3 PARA FORMACIÓN DE PENDIENTE E MIN: 50 MM
8. FORJADO DE PLACAS ALVEOLARES DE MADERA. RELENO DE LANA MINERAL EN FORJADO DE CON LANA MINERAL (400 x 1000 MM)

Para el cálculo de transmitancia de elementos constructivos solamente se han tenido en cuenta aquellos elementos que computan térmicamente.

Se ha determinado, a través de herramientas gráficas, que la superficie de cubierta coincidente con el entrevigado del forjado de madera es de un 15,2%; por lo tanto es necesario tenerlo en cuenta como una superficie parcial.

Cálculo de valor-U

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	Resistencia térmica superficial [m²K/W]		Espesor Total		
4	Cubierta no transitable	interior R _{si} :	0,10	Espesor e ₀ [mm]		
		exterior R _{se} :	0,04			
A capas paralelas del elemento constructivo						
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor Total
1. Madera de pino	0,130	Madera de pino	0,130			31
2. Lana mineral	0,031	Madera de pino	0,130			378
3. Madera de pino	0,130	Madera de pino	0,130			31
4. Poliestireno extruido	0,034	Poliestireno extruido	0,034			60
5. Grava	1,500	Grava	1,500			50
6.						
7.						
8.						
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
85%		15,2%				55,0 cm
						U ₀ : 0,090 W/(m²K)
						R ₀ : 11,085 (m²K)/W
B capas del elemento constructivo en forma de cuna						
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor e ₁ [cm]
Hormigón celular	0,160					5
						U ₁ : 32,000 W/(m²K)
						R ₁ : 0,031 (m²K)/W
						Valor-U de superficie rectangular: 0,090 W/(m²K)
						Valor-U de superficie triangular con el espesor máx. en el vértice superior: 0,090 W/(m²K)
						Valor-U de superficie triangular con el espesor mín. en el vértice superior: 0,090 W/(m²K)

Tabla 10: Hoja de datos 'Valor-U elementos constructivos. Cubierta plana no transitable' de PHPP

Superficie del elemento constructivo en contacto con el exterior y su ganancia por radiación

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad	Resumen de los elementos constructivos	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]
1	SRE (sup. de referencia energética)		2040,71	m²			7 Meses	6 Meses
2	Ventanas al norte	A	31,57	m²	Ventanas al norte	0,727	683	1425
3	Ventanas al este	A	52,80	m²	Ventanas al este	0,714	2573	3828
4	Ventanas al sur	A	26,97	m²	Ventanas al sur	0,669	1373	1762
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m²	Ventanas al oeste			
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m²	Ventanas horizontales			
7	Puerta exterior	A	49,28	m²	Puerta exterior	0,300		
8	Muro ext. - aire ext.	A	1804,05	m²	Muro ext. - aire ext.	0,147	-133	604
9	Muro ext. - terreno	B	331,82	m²	Muro ext. - terreno	0,156		
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,35	m²	Techo / cubierta - Aire ext.	0,099	-110	493

Tabla 7: Hoja de datos 'Determinación de superficies' de PHPP

SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO

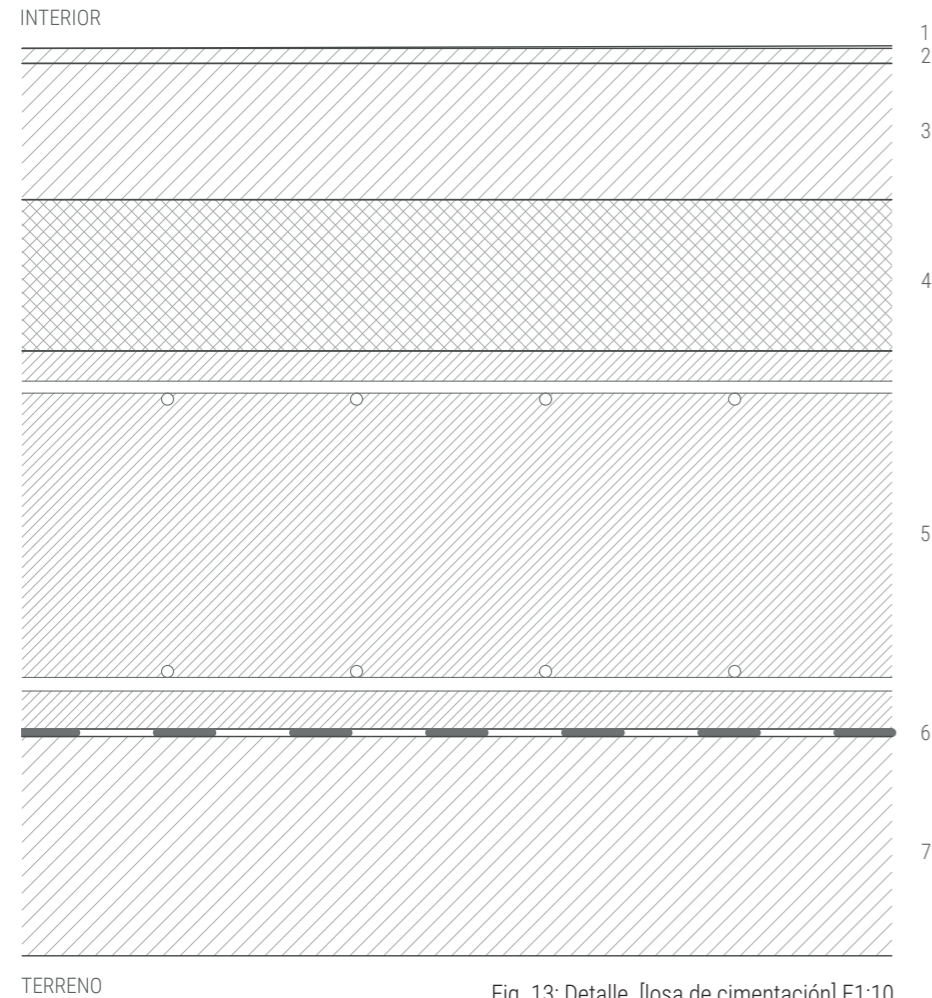


Fig. 13: Detalle [losa de cimentación] E1:10

1. PAVIMENTO CONTINUO DE SUELO VINÍLICO EN GRIS E: 2 MM
2. MORTERO AUTONIVELANTE E: 20 MM
3. ARCILLA EXPANDIDA DE ALTA RESISTENCIA E: 180 MM
4. PLANCHAS RÍGIDAS DE POLIESTIRENO EXTRUIDO DE ALTA RESISTENCIA E: 200 MM
5. VASO DE CIMENTACIÓN CON LOSA DE HA-30/B/20/IIa CON ARMADO SEGÚN CÁLCULO DE ACERO 500S E: 500 MM
6. LÁMINA TERMOPLÁSTICA DE PVC DE ALTA DURABILIDAD FIJADA MECÁNICAMENTE AL SOPORTE BASE E: 2 MM
7. ENCACHADO DE CAPA GRAVA EXTENDIDA Y COMPACTADA E: 300 MM

Para el cálculo de transmitancia de elementos constructivos solamente se han tenido en cuenta aquellos elementos que computan térmicamente.

Cálculo de valor-U

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	¿Aislamiento interior?				
5	Losas de cimentación	<input type="checkbox"/>				
Resistencia térmica superficial [m²K/W]						
interior R _{si} :		0,17				
exterior R _{se} :		0,00				
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Pavimento vinílico	0,250					3
2. Mortero autonivelante	1,100					20
3. Arcilla expansiva AR	0,100					180
4. Poliestireno extruido	0,038					200
5. Hormigón armado	2,100					500
6.						
7.						
8.						
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
100%						90,3 cm
Suplemento al valor-U		W/(m²K)		Valor-U:		0,133 W/(m²K)

Tabla 11: Hoja de datos 'Valor-U elementos constructivos. Losa de cimentación' de PHPP

Superficie del elemento constructivo en contacto con el exterior y su ganancia por radiación

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad	Resumen de los elementos co	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]
1	SRE (sup. de referencia energética)		2040,71	m²			7 Meses	6 Meses
2	Ventanas al norte	A	31,57	m²	Ventanas al norte	0,727	683	1425
3	Ventanas al este	A	52,80	m²	Ventanas al este	0,714	2573	3828
4	Ventanas al sur	A	26,97	m²	Ventanas al sur	0,669	1373	1762
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m²	Ventanas al oeste			
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m²	Ventanas horizontales			
7	Puerta exterior	A	49,28	m²	Puerta exterior	0,300		
8	Muro ext. - aire ext.	A	1804,05	m²	Muro ext. - aire ext.	0,147	-133	604
9	Muro ext. - terreno	B	331,82	m²	Muro ext. - terreno	0,156		
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,35	m²	Techo / cubierta - Aire ext.	0,099	-110	493
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	378,48	m²	Solera / losa piso / forjado sar	0,133		

Tabla 7: Hoja de datos 'Determinación de superficies' de PHPP

PUNTOS CRÍTICOS DE LA ENVOLVENTE

"[Un] **punto térmico** es la zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. Los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios donde aumenta la probabilidad de producción de condensaciones."¹

Es por ello que la situación idónea sería una envolvente uniforme en su composición, y que, en el caso de verse interrumpida, se minimicen los efectos utilizando materiales que se comporten bien térmicamente.

"El puente térmico es un problema de diseño que se agrava en el proceso constructivo, por ello, analizar su comportamiento en la etapa de desarrollo asegura una mejor prestación de la envolvente.

[Aún hoy en día, se] tienden a despreciar, dejándolos como dato por defecto, llevando a ejecutarlas como soluciones que traen consigo pérdidas de energía, peligro de condensaciones y aparición de moho afectando con ello la mantención de la edificación, la salud y el confort de los ocupantes. El principal problema es que, una vez construida la envolvente, estos difícilmente pueden ser corregidos."²

Para estudiar estos puntos en el edificio que nos ocupa, se utilizará el programa **THERM**, un software desarrollado por el Lawrence Berkeley National Laboratory. Este software nos permite obtener modelos de transferencia de calor bidimensionales de los distintos componentes de un edificio para poder evaluar su eficiencia energética, y obtener **patrones de temperatura locales** que puedan relacionarse con posibles

problemas de condensación o humedad.

Se estudiarán los encuentros que presenten una discontinuidad, con un detalle constructivo del estado actual a escala 1:10, un modelo con los patrones de temperatura locales del estado actual y una comparativa a este patrón de temperatura del estado del edificio en el proyecto preexistente.

El análisis de estos encuentros a través del software ha permitido poder reevaluar las condiciones de cerramiento, y modificar ciertos aspectos de la envolvente conforme se desarrollaba el proyecto constructivamente, para así minimizar las pérdidas de calor. Esto nos permite minimizar las demandas de calefacción y refrigeración del edificio, ya que no es necesario combatir grandes pérdidas de energía.

Se estudiarán los siguientes encuentros:

- Muro exterior - Cubierta plana no transitada
- Muro exterior - Forjado
- Muro exterior - Ventana
- Muro en contacto con terreno - Losa de cimentación

1 Código Técnico de la Edificación: Documento Básico HE Ahorro de energía, Junio 2017

2 Altomonte, S. (2009). Climate change and architecture: Mitigation and adaptation strategies for a sustainable development. Journal of Sustainable Development, 1

ENCUENTRO MURO - CUBIERTA

La unión del muro y del forjado de cubierta se resuelve introduciendo lana mineral en los alveolos longitudinales del forjado de madera -tal y como indica el fabricante para forjados de cubierta-, y de un panel rígido de lana mineral de baja densidad junto a la superficie del muro, entre el falso techo y el forjado.

Comparación de temperaturas punto crítico (Temperatura interior: 20°)

Proyecto de partida: 14.5°

Proyecto modificado: 18.5°

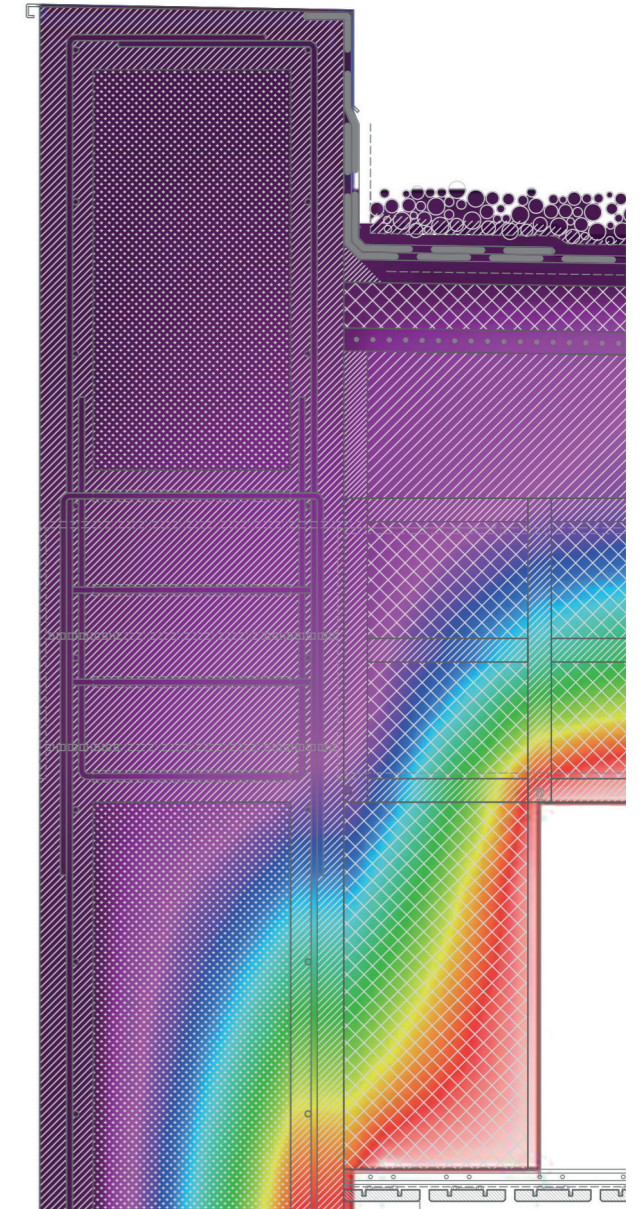
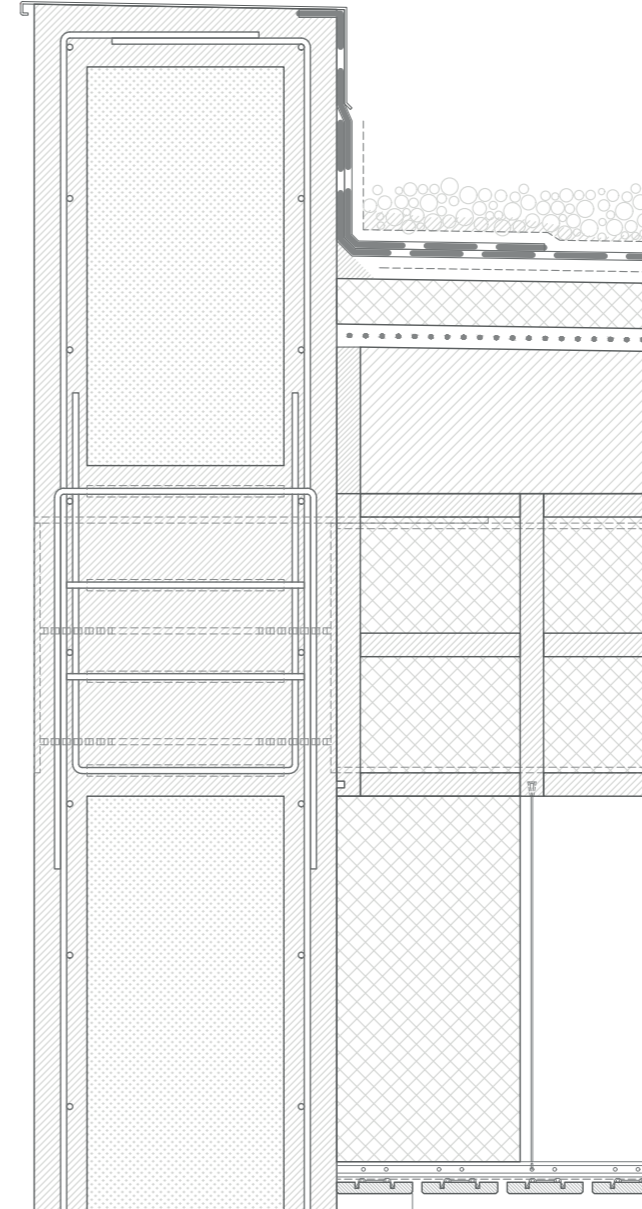
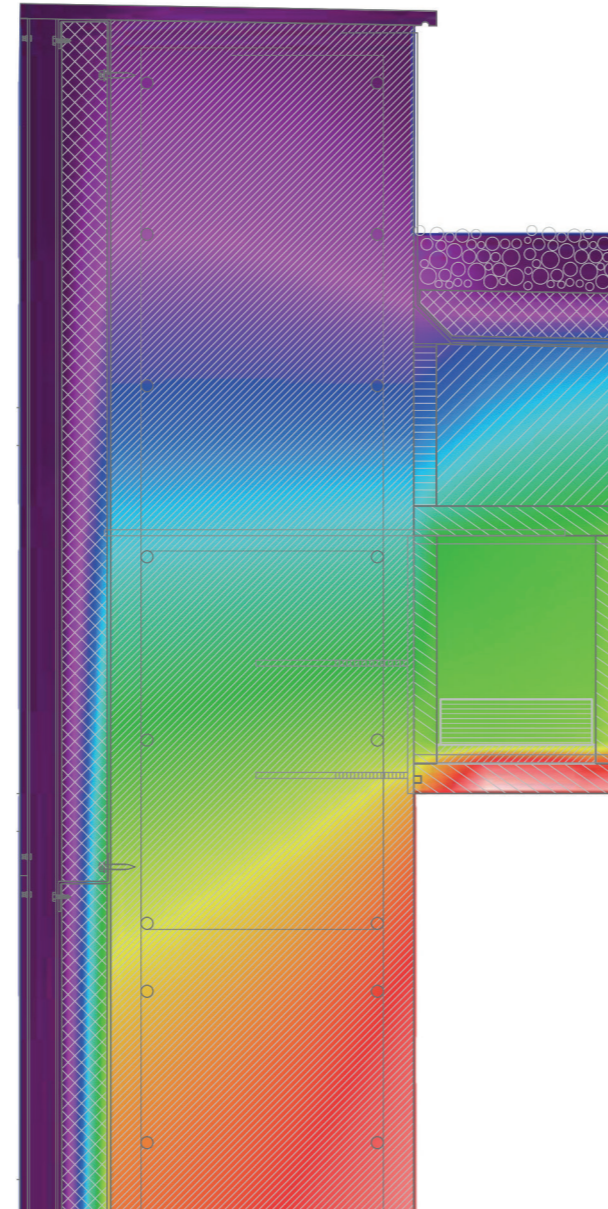
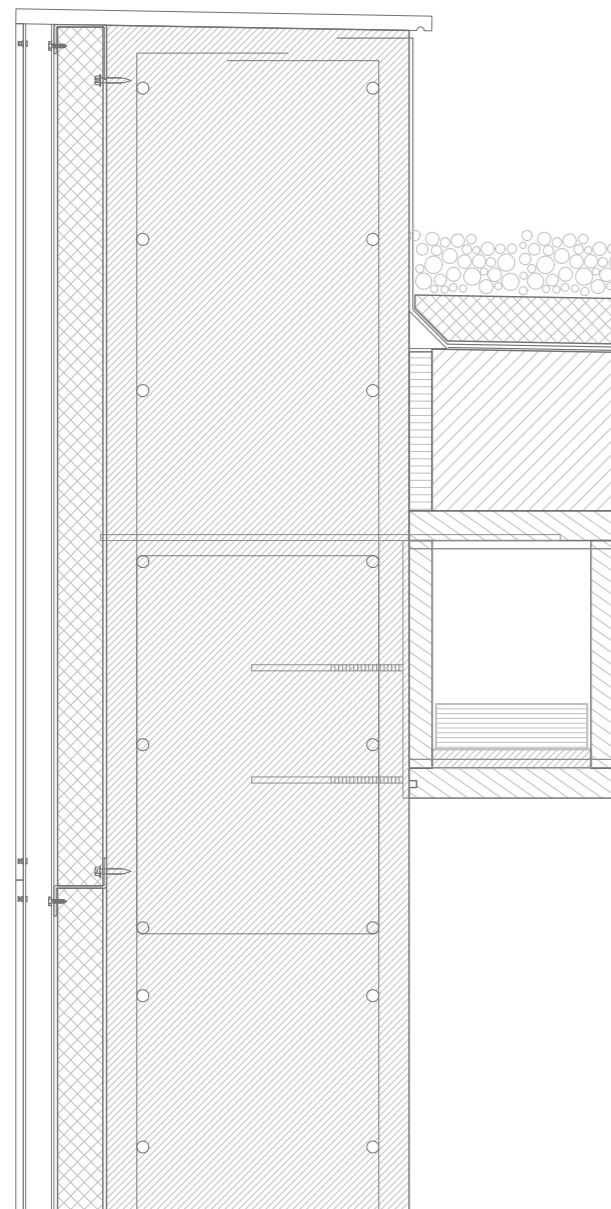
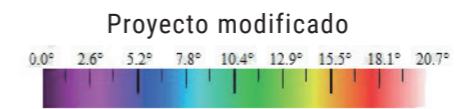
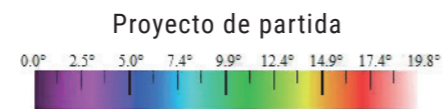


Fig. 14: Detalle muro-cubierta proyecto de partida E1:10

Fig. 15: Color infrared de THERM muro-cubierta proyecto de partida E1:10

Fig. 16: Detalle muro-cubierta proyecto modificado E1:10

Fig. 17: Color infrared de THERM de muro-cubierta proyecto modificado E1:10

ENCUENTRO MURO - FORJADO

En la unión del muro y del forjado encontramos una zona más maciza con hormigón, con pernos y pletines pasantes para la unión de forjados, lo que genera una situación que no puede resolverse de la misma forma que con las llaves de anclaje a lo largo del muro, ya que esta unión muro-forjado resiste mayores esfuerzos. Para

resolverlo se introduce lana mineral en el alveolo longitudinal más próximo al muro, de esta forma hay una menor superficie sin aislamiento.

Proyecto de partida: 15.4°

Proyecto modificado: 18.3°

Comparación de temperaturas punto crítico (Temperatura interior: 20°)

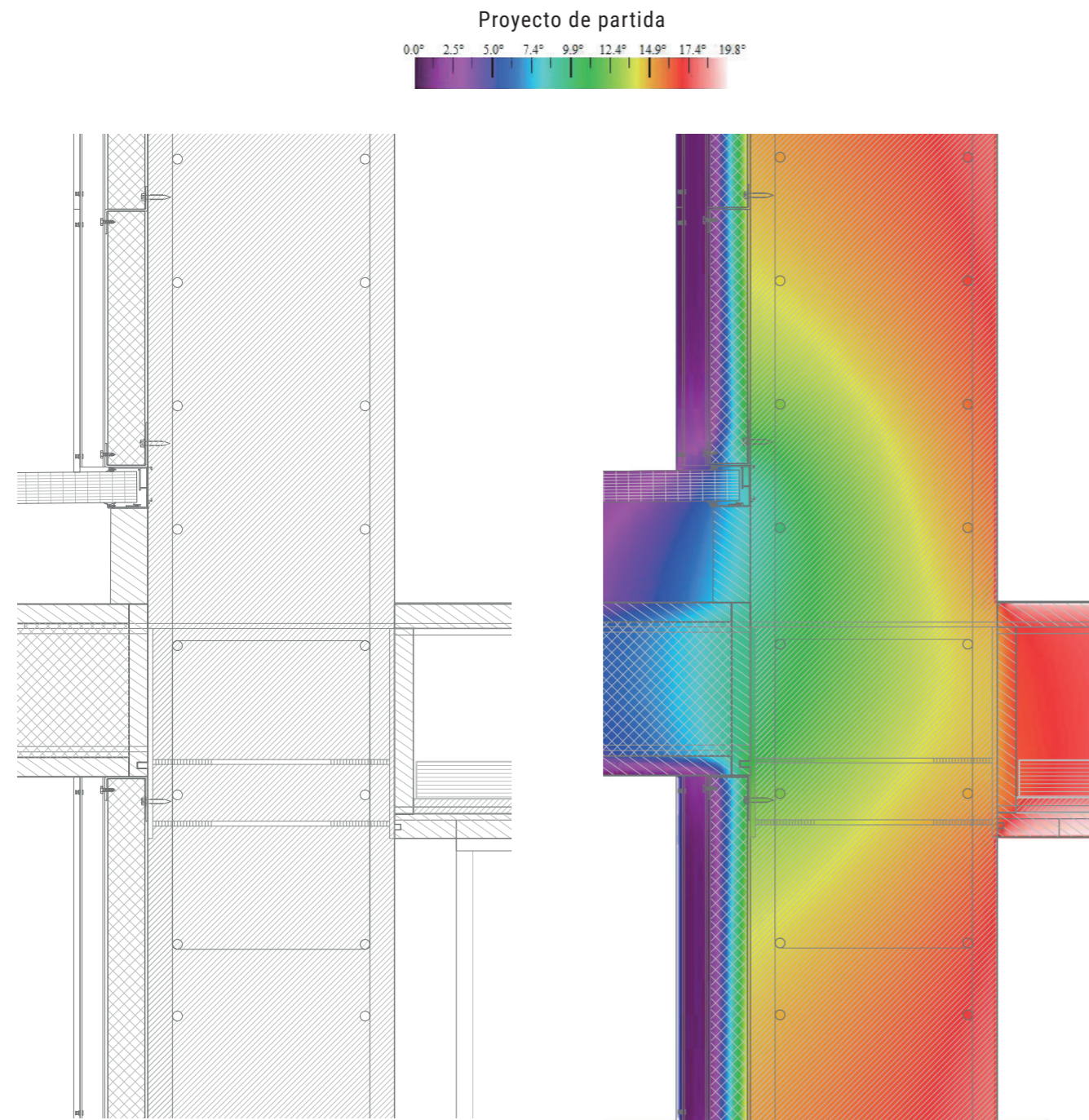


Fig. 18: Detalle muro-forjado proyecto de partida E1:10

Fig. 19: Color infrared de THERM muro-forjado proyecto de partida E1:10

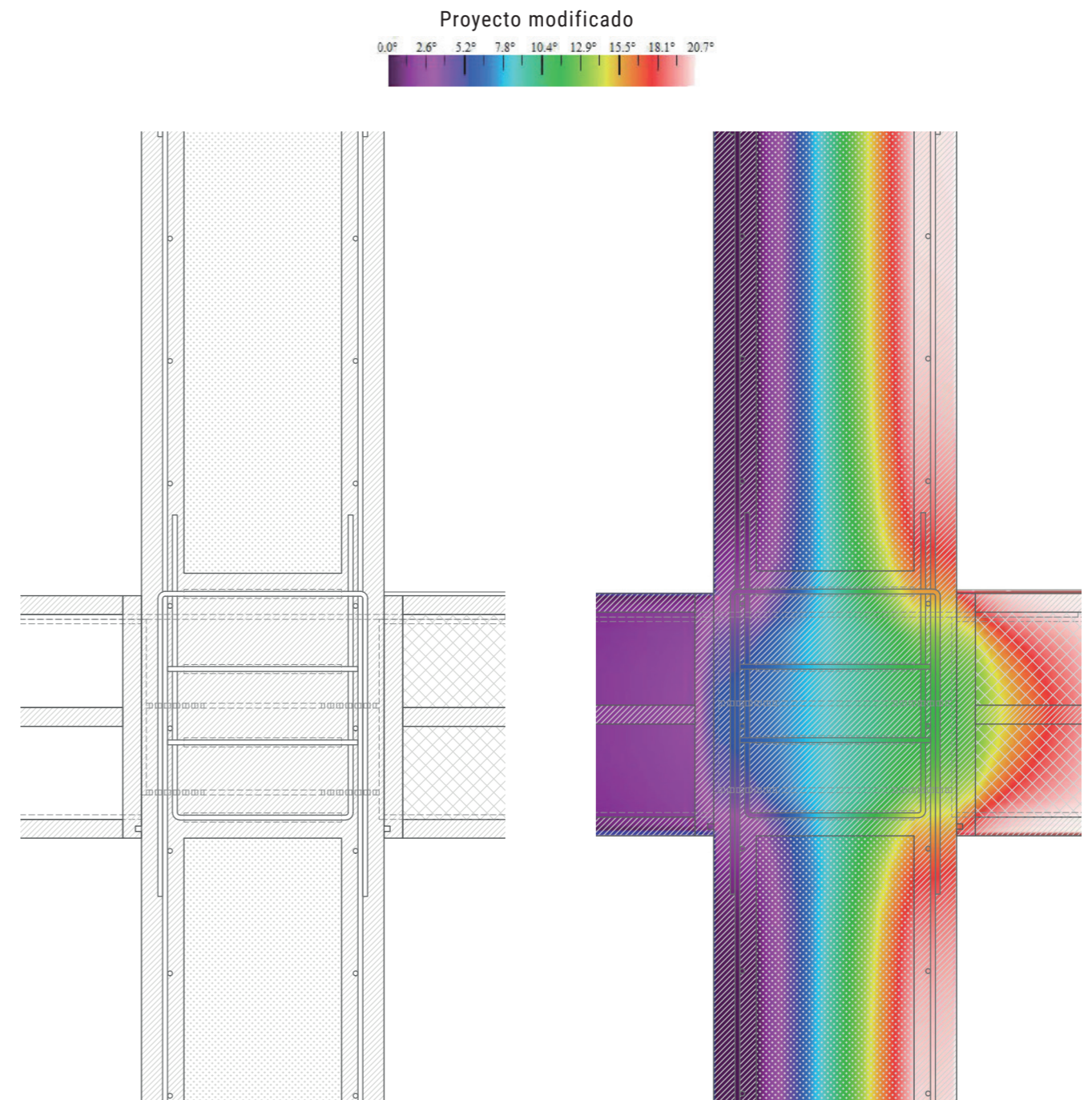


Fig. 20: Detalle muro-forjado proyecto modificado E1:10

Fig. 21: Color infrared de THERM de muro-forjado proyecto modificado E1:10

ENCUENTRO MURO - LOSA

Debido a que la planta de sótano, donde se produce esta unión, es el ámbito destinado para el depósito, se ha tenido en cuenta la resistencia de los materiales utilizados para resolver este encuentro y un posible puente térmico. La unión del muro y la cimentación del edificio se resuelve utilizando un aislamiento de poliestireno extruido

(resistencia a la compresión con una deformación del 10%: 200 kPa y comportamiento a la deformación 40 kPa, 70° C, 168 h: < 5%) y recredido de arlita (resistencia a la fragmentación y machaques: 1 MPa), ambos de alta resistencia.

Comparación de temperaturas punto crítico (Temperatura interior: 20°)

Proyecto de partida: 11.3°

Proyecto modificado: 18.2°

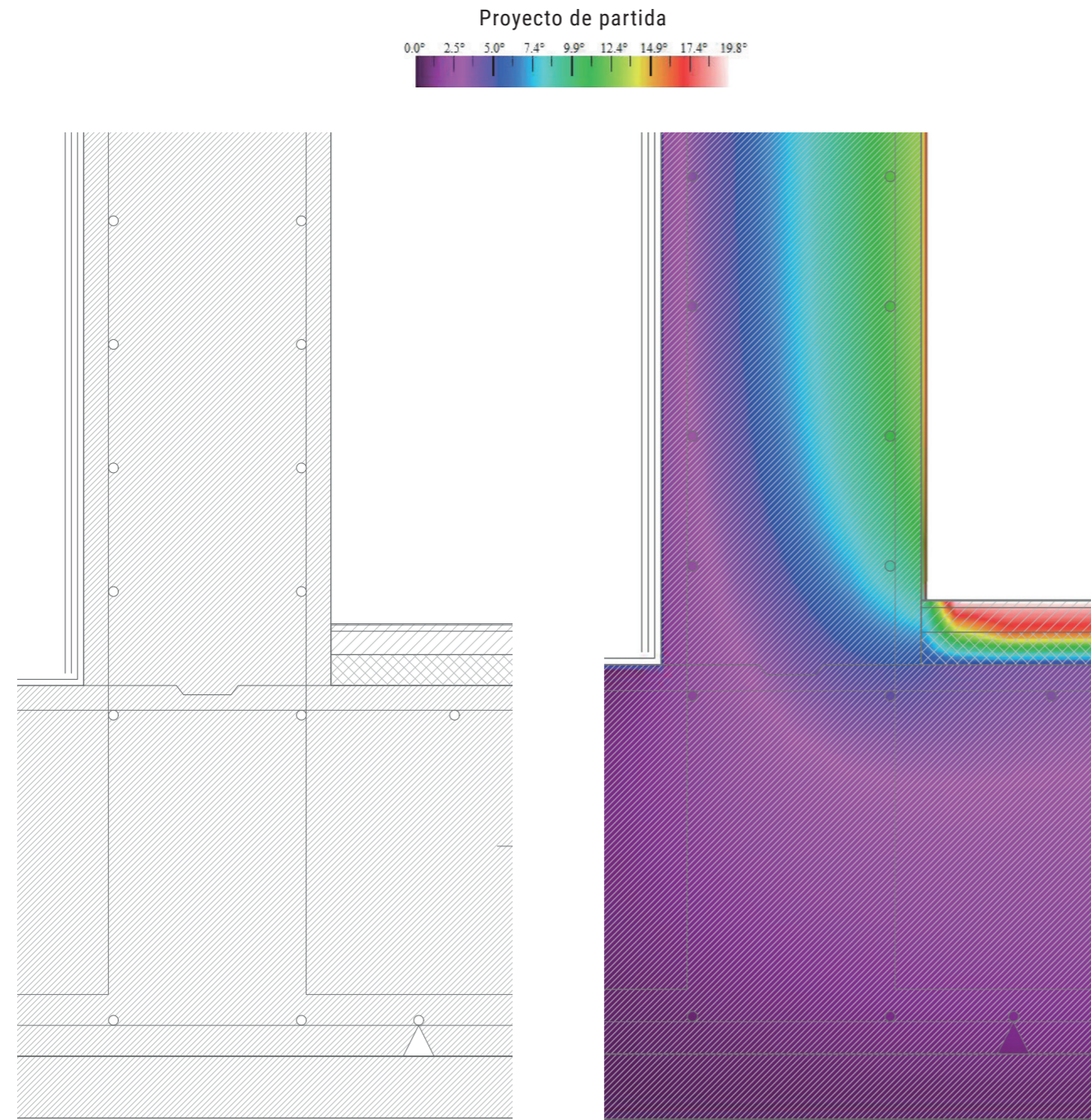


Fig. 22: Detalle muro-losa proyecto de partida E1:10

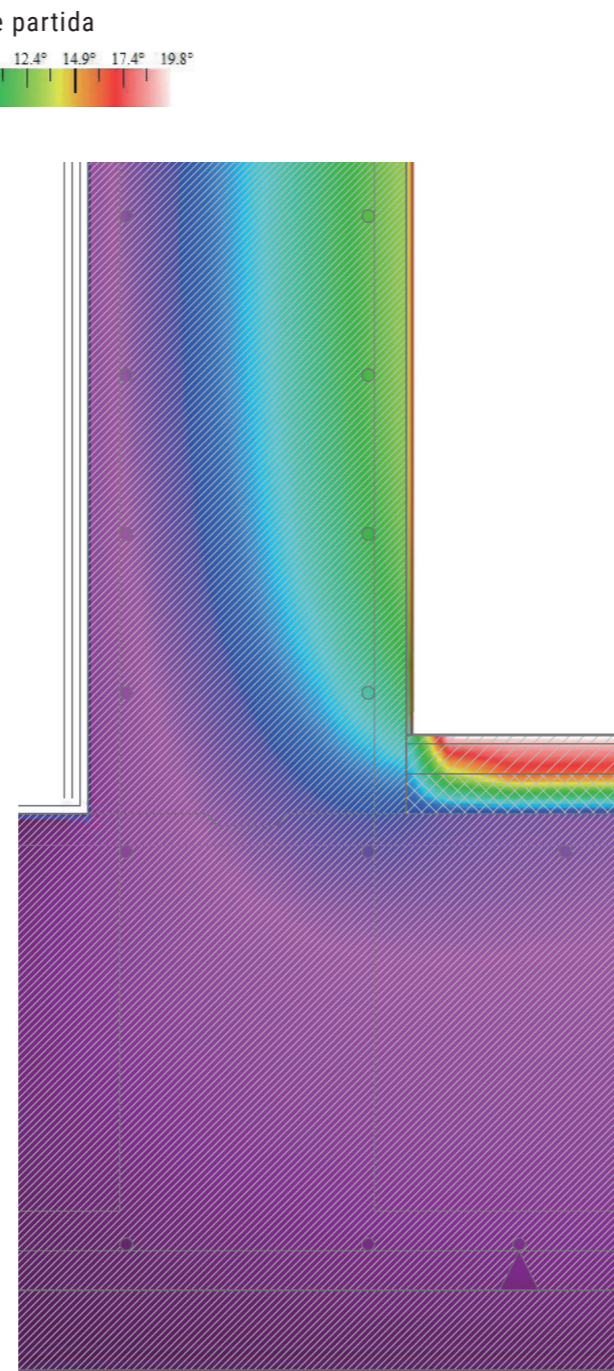


Fig. 23: Color infrared de THERM muro-losa proyecto de partida E1:10

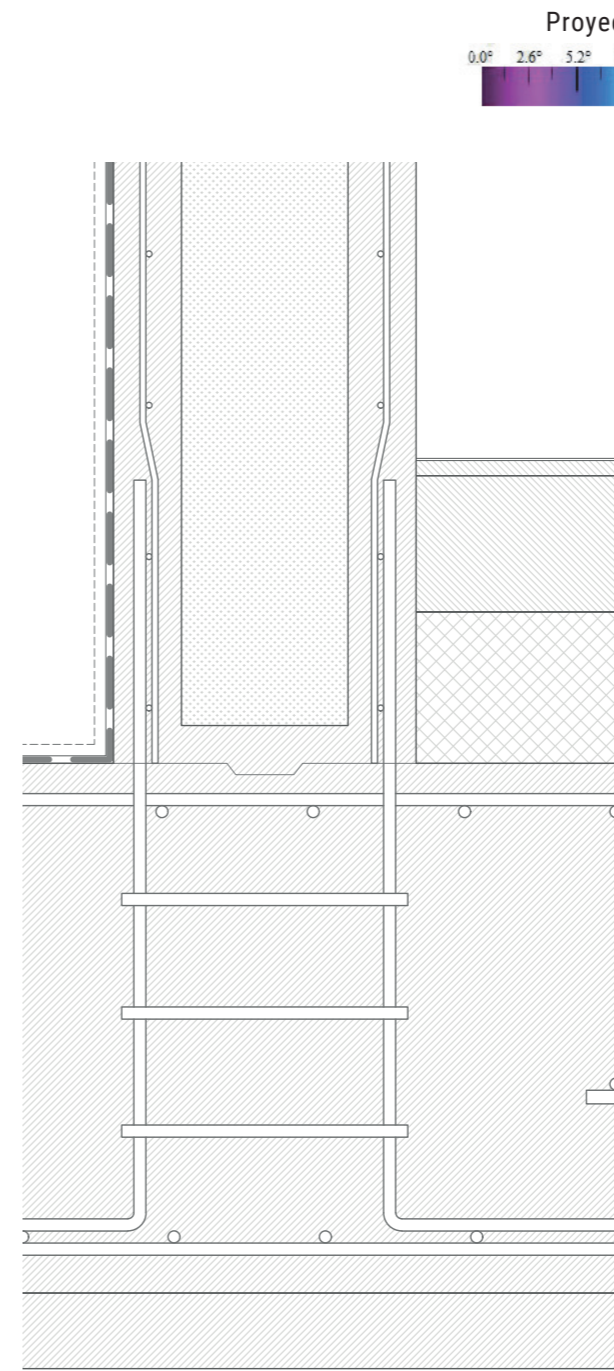


Fig. 24: Detalle muro-losa proyecto modificado E1:10

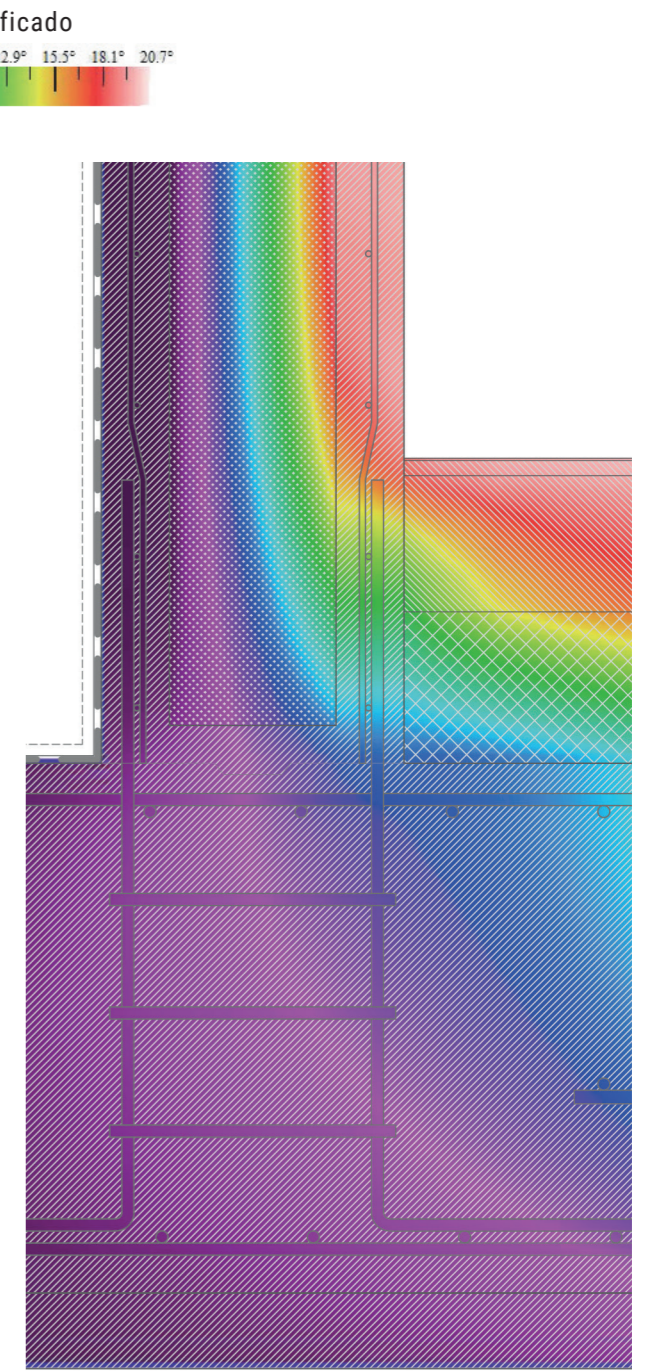


Fig. 25: Color infrared de THERM de muro-losa proyecto modificado E1:10

ENCUENTRO MURO - VENTANA

En la unión del muro y la carpintería existe una discontinuidad en el aislamiento del muro, para ello se utiliza una pieza de polietileno de alta densidad preparada con orificios para poder introducir la armadura del muro y posteriormente sellada con resina en estos puntos.

Este elemento sirve a su vez de premarco de la carpintería.

Comparación de temperaturas punto crítico (Temperatura interior: 20°)

Proyecto de partida: 13.8°

Proyecto modificado: 16.5°

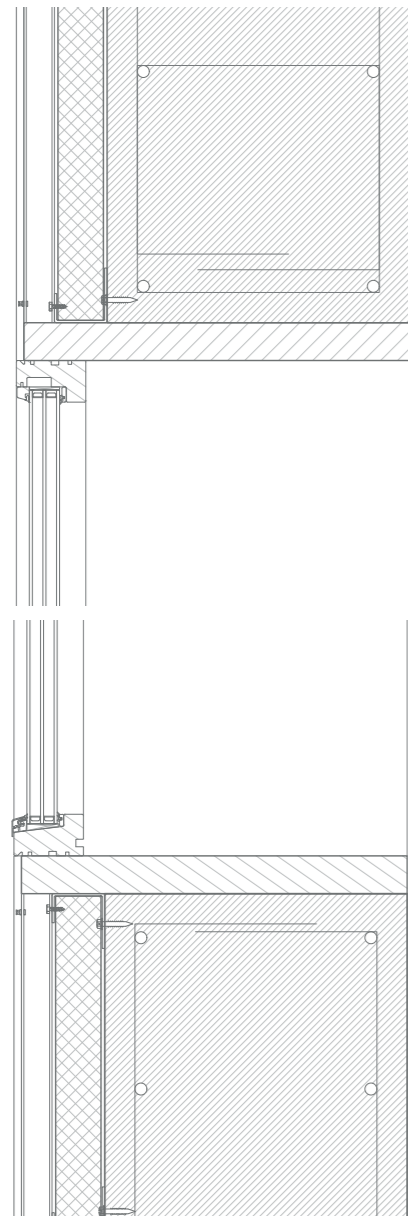
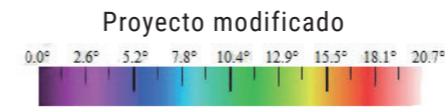
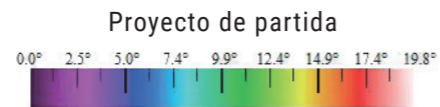


Fig. 26: Detalle muro-ventana proyecto de partida E1:10



Fig. 27: Color infrared de THERM muro-ventana proyecto de partida E1:10

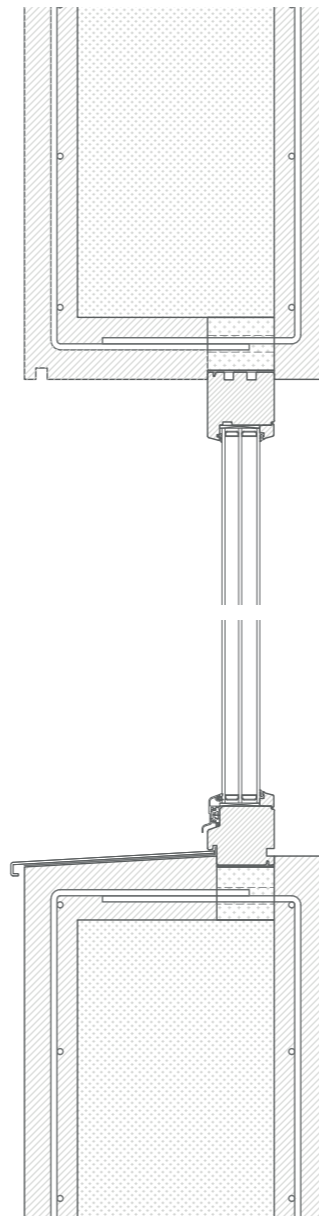


Fig. 28: Detalle muro-ventana proyecto modificado E1:10

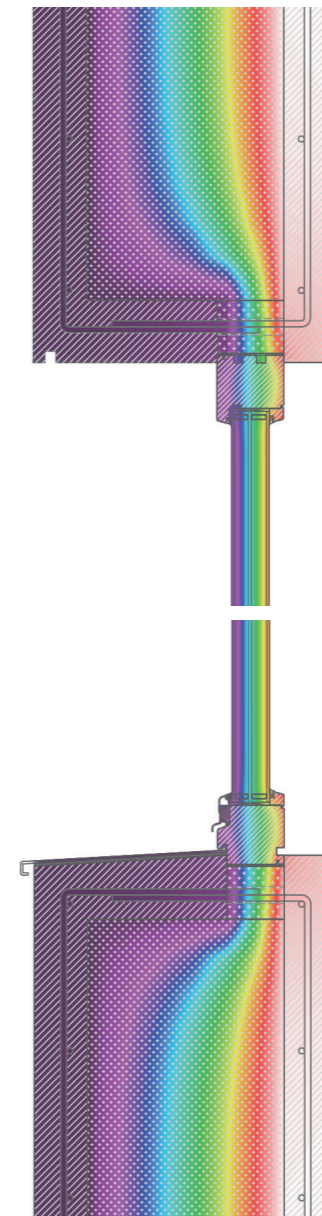


Fig. 29: Color infrared de THERM de muro-ventana proyecto modificado E1:10

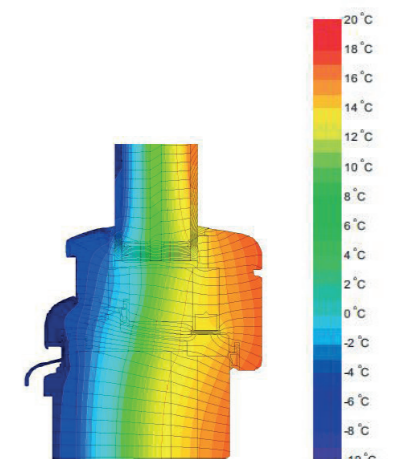


Fig. 30: Color infrared Koch 104'er passiv de Koch GmbH & Co.KG

3.4. HUECOS Y SOMBRAS

El entorno de la biblioteca carece de edificios de gran altura y de una gran presencia de vegetación, por lo que no hay elementos que puedan tenerse en cuenta como generadores de sombra.

Las salas de lectura en bibliotecas deben ser espacios con presencia de luz natural de una forma homogénea, pero, principalmente tamizada. La luz no debe ser intensa, que deslumbre e incomode al usuario. Por tanto, el edificio se concibe con una piel exterior, una celosía de madera que nos permite este tratamiento de la luz, pero con una cualidad intermitente, apareciendo y desapareciendo en la envolvente.

Además, esta piel se comporta como un elemento de protección solar que impide la incidencia de los rayos solares en verano, cuando tienen una mayor inclinación con respecto a la horizontal, y permitiendo su paso en invierno.

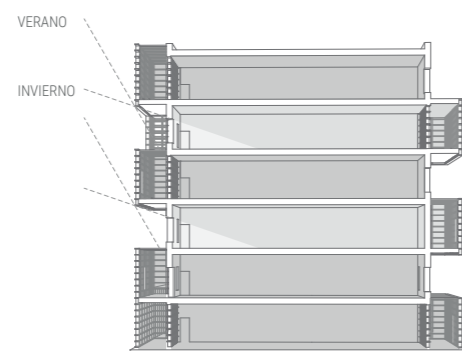


Fig. 31: Esquema de incidencia de radiación solar

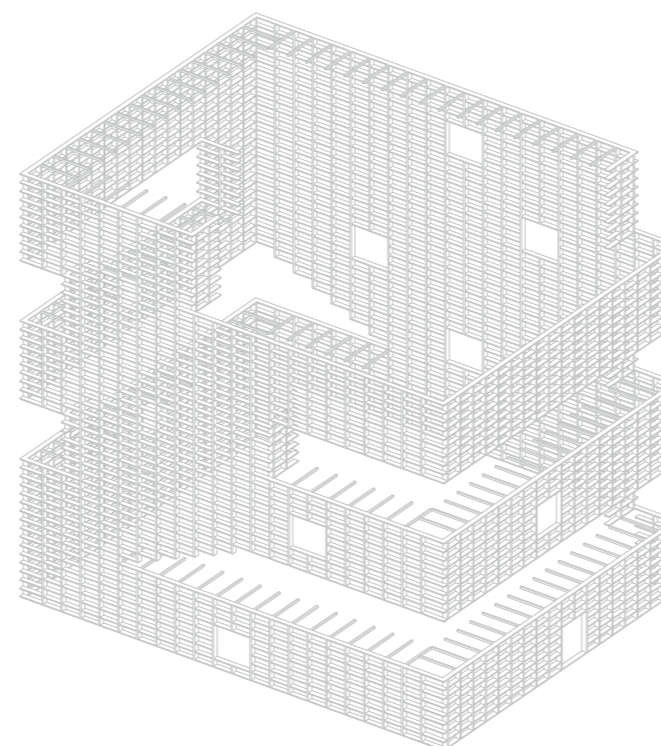


Fig. 32: Imagen de celosía exterior

Por último, en la cara **noroeste**, que es la que menos horas de sol recibe, y por tanto donde hay más pérdidas por transmisión, que ganancias por radiación solar, se ubican los espacios que puedan protegernos del sobrecalentamiento y que puedan estar en sombra, es decir, espacios en los que no necesitemos aporte de calor; en este caso, núcleo de comunicación vertical, aseos, almacén y cuarto de instalaciones.

Tan importante como la buena ubicación de huecos es también la propia ventana en sí. "La ventana en su totalidad, marco y vidrio, debe tener un valor-U igual o inferior a 0,80 W/(m²K) –siendo este valor más restrictivo en climas extremos [...]–, y la ventana instalada debe tener un valor-U inferior a 0,85 W/(m²K). Es por lo tanto esencial usar marcos bien aislados. El vidrio debe tener una transmitancia solar o valor-G de al menos un 50% [...]. Las ventanas deben ser herméticas y libres de puentes térmicos." 1

Teniendo esto en cuenta, se han optado por dos tipos de elementos acristalados, que han sido seleccionados dentro de la base de datos del programa PHPP para el cálculo posterior de pérdidas y ganancias por radiación solar. El primero corresponde a la puerta corredera que se encuentra dentro de la celosía de madera (llamada P2 en la planimetría y tablas de datos), y el segundo a las ventanas al uso (V1 y V2 según sus dimensiones).

1 International Passive House (s.f.) Association Passive House Guidelines. Recuperado de <https://www.passivehouse-international.org>

Marcos de ventana										Acristalamiento													
ID	Determinación	Valor U _f				Espesor del marco				Puente térmico en borde de vidrio				Puente térmico de instalación				ID	Determinación	Valor g	Valor-U _{ext}		
		Izquierda	Derecha	Abajo	Arriba	Izquierda	Derecha	Abajo	Arriba	Ψ _{Borde vidrio izquierda}	Ψ _{Borde vidrio derecha}	Ψ _{Borde vidrio abajo}	Ψ _{Borde vidrio arriba}	Ψ _{Instalación izquierda}	Ψ _{Instalación derecha}	Ψ _{Instalación abajo}	Ψ _{Instalación arriba}					W/(m²K)	W/(mK)
01ud	Alpha Fenster - Alpha Fenster puerta deslizable adecuada para Passivhaus, con distanciador swiss sp	0.56	1.22	0.62	0.610	0.176	0.109	0.224	0.176	0.029	0.029	0.029	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	01ud	Insulated Translucent Sandwich Panel Daylighting Systems	0.30	0.35	
02ud	Koch Altenkirchen - Koch 104 er passiv - con TGI	0.70	0.70	0.73	0.700	0.119	0.119	0.130	0.119	0.040	0.040	0.042	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	02ud	Saint-Gobain Glass Germany - SGG PLANITHERM ULTRA N (4/18/4/18/4 Ar 90%)	0.50	0.53	

Tabla 12: Hoja de datos 'Componentes. Ventanas' de PHPP

FACTOR DE REDUCCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR. VALOR-U DE VENTANAS

Clima: [CH] - St. Gallen						Valor g	Factor de reducción para radiación solar	Superficie de ventana	Valor-U de ventana	Superficie de acristalamiento	Radiación global promedio
Orientación de la superficie de la ventana	Radiación global (puntos cardinales)	Sombras	Suciedad	Radiación incidente no perpendicular	Proporción de acristalamiento						
máx.:	kWh/(m²a)	0,75	0,95	0,85							
Norte	101	0,59	0,95	0,85	0,711	0,46	0,34	31,57	0,73	22,46	130
Este	246	0,37	0,95	0,85	0,781	0,50	0,23	52,80	0,71	41,23	379
Sur	461	0,49	0,95	0,85	0,730	0,40	0,29	26,97	0,67	19,68	401
Oeste	244	1,00	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	244
Horizontal	379	1,00	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	379
Total o valor promedio de todas las ventanas						0,47	0,28	111,34	0,71	83,36	

73,1
Pérdidas por transmisión
Ganancias de calor por radiación solar
kWh/a
1678
2756
1319
0
0
5754
4223

Orientación	Superficie acristalamiento m²	Factor de reducción invierno r _s	Factor de reducción verano r _s
Norte	22,46	59%	64%
Este	41,23	37%	43%
Sur	19,68	49%	50%
Oeste	0,00	100%	100%
Horizontal	0,00	100%	100%

Cantidad	Determinación	Desviación con respecto al norte	Ángulo de inclinación respecto a la horizontal	Orientación	Medidas hueco de albañilería		Instalado en	Acristalamiento	Marco	Valor g	Valores-U		Ψ Borde de vidrio	Situación de instalación				Resultados								
					Anchura	Altura					Selección a partir de hoja 'Superficies'	Selección a partir de hoja 'Componentes'		Selección a partir de hoja 'Componentes'	Radiación perpendicular	Acristalamiento	Marco (promedio)	valor definido por el usuario para Ψ _{instalación} ó Ψ _{instalación} de hoja 'Componentes'				Los valores -U y Ψ de hoja 'Componentes' pueden mostrarse dando click en el signo '+' en la parte superior de la hoja				
																		Ψ _{instalación} (centro)	Superficie de ventana	Superficie de acristalamiento	Valor-U de ventana	Proporción de acristalamiento por ventana	Pérdidas por transmisión	Ganancias solares		
1	PB-Puerta P2	41	90	Norte	1,700	2,050	2-PB-T Muro exterior NO	01ud Insulated Translucent Sandwich Pan	01ud Alpha Fenster - Alpha Fenster puerta	0,30	0,35	0,70	0,029	1	1	1	1	0,040	3,5	2,33	0,60	67%	153	33		

Tabla 13: Hoja de datos 'Ventanas. Factor de reducción solar' de PHPP

CÁLCULO DE FACTORES DE SOMBRA

Demanda de calefacción:	7,2	kWh/(m²a)
Demanda de refrigeración útl:	0,1	kWh/(m²a)
Frecuencia de sobrecalentamiento:	0,2%	

Cantidad	Determinación	Desviación con respecto al norte	Ángulo de inclinación respecto a la horizontal	Orientación	Ancho del vidrio	Altura del vidrio	Superficie de vidrio	Horizonte				Telares / Remetimientos				Voladizos / Volados				Invierno				Verano			
								Altura del objeto que causa la sombra	Distancia horizontal	Profundidad de telares/remetimientos laterales	Distancia del borde del vidrio al telar/remetimiento	Profundidad del voladizo/volado	Distancia del borde superior del vidrio hasta voladizo/volado	Factor de reducción adicional para sombreado en invierno	Factor de reducción adicional para sombreado en verano	Factor de reducción para protección solar temporal	Factor de reducción sombras horizonte	Factor reducción sombras por telares/remetimientos	Factor reducción sombra por voladizos / volados	Factor de reducción de sombras Total	Factor de reducción sombras horizonte	Factor reducción sombras por telares/remetimientos	Factor de reducción sombra por voladizos / volados	Factor de reducción de sombras Total			
								m	m	m	m	m	m	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
1	PB-Puerta P2	41	90	Norte	1,42	1,65	2,3	3,10	2,60	0,00	0,176	0,00	0,00	100%	100%	100%	100%	45%	100%	100%	45%	51%	100%	100%	100%	100%	51%

Tabla 14: Hoja de datos 'Cálculo de los factores de sombra' de PHPP

3.5. PÉRDIDAS Y GANANCIAS

PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DEL TERRENO

Para poder mantener la temperatura del interior del edificio y evitar pérdidas, se estudia el terreno y los elementos en contacto con éste. Se introducen, en la Tabla 10 los datos referentes a valores-U de los elementos constructivos y dimensiones. Dado que no se ha podido obtener una documentación detallada sobre el terreno, se ha decidido hacer una estimación en lo referente a su conductividad y capacidad térmica.

Se obtiene que las pérdidas de calor durante el periodo de calefacción son: 3437 kWh.

GANANCIAS POR RADIACIÓN

Los elementos que componen la envolvente en contacto con el aire exterior nos permiten acumular la radiación recibida. Se introducen, en la Tabla 11 (siguiente página), los datos referentes a la superficie de los tipos de cerramientos, su orientación (desviación respecto al norte), su ángulo de inclinación respecto a la horizontal (es decir, si son elementos verticales u horizontales), un factor de reducción de sombras (teniendo en cuenta el entorno en el que se encuentra el edificio), de capacidad de absorción solar (según su color) y de emisión de calor.

La Tabla 12 muestra un resumen de los elementos que componen la envolvente (con superficies y valores-U) y las ganancias por radiación.

La ganancia total por radiación durante el periodo de calefacción es de: 8112 kWh/a

Es necesario señalar que el edificio, al estar desviado con respecto a los puntos cardinales, el programa relaciona las orientaciones de la siguiente forma: Noroeste con Norte, Noreste con Oeste, Suroeste con Sur y Sureste con Este. Por ello en la primera tabla es preferible utilizar la columna de "Desviación respecto al norte", y en la segunda tabla, no guiarse por la orientación que acompaña a las ventanas en la columna de "Resumen de los contenidos".

Sección del edificio 1

Características del terreno				Datos climáticos			
Conductividad térmica	λ	1,5	W/(mK)	Temperatura media interior en invierno	T_i	20,0	°C
Capacidad térmica	ρC	2,2	MJ/(m³K)	Temperatura media interior en verano	T_i	25,0	°C
Profundidad de penetración periódica	δ	2,62	m	Temperatura media de la superficie del terreno	$T_{ter,med}$	11,1	°C
				Amplitud $T_{e, promedio}$	$T_{ter,\Delta}$	8,8	°C
				Cambio de fases de $T_{e,m}$	τ	1,3	Meses
				Duración del periodo de calefacción	n	6,6	Meses
				Grados-hora de calefacción, exterior	G_e	73,1	kKh/a

Datos del edificio				Datos climáticos			
Superficie de losa de piso / techo de sótano	A	336,3	m²	Valor-U solera o losa / techo sótano	$U_{l,s,fs}$	0,133	W/(m²K)
Longitud perimetral	P	74,4	m	PTs solera o losa / techo sótano	$\Psi_{B'}^I$	0,00	W/K
Valores característicos elem. cons. horizontal	B'	9,04	m	Valor-U solera o losa / techo sótano incl. PT	$U_{l,s,fs}'$	0,133	W/(m²K)
				Espesor efectivo del piso	d_t	11,28	m

Tipo de losa de piso / solera (marcar sólo un campo)							
Losa de piso / solera en contacto con el terreno							
Espesor / profundidad aislamiento perimetral	D		m	Posición del aislamiento perimetral	horizontal		
Espesor aislamiento perimetral	d_n		m	(marcar con una "X")	Vertical	X	
Conductividad aislamiento perimetral	λ_{borde}		W/(mK)				
X Sótano calefactado o losa de piso completamente / parcialmente bajo el nivel de terreno							
Altura muro sótano sobre rasante	Z	5,10	m	Valor-U muro sótano bajo rasante del terreno	U_{sot}	0,156	W/(m²K)
Sótano no calefactado							
Altura muro sótano sobre rasante	h		m	Valor-U muro sótano sobre rasante del terreno	U_{par}		W/(m²K)
Altura muro sótano bajo rasante	Z		m	Valor-U muro sótano bajo rasante del terreno	U_{sot}		W/(m²K)
Renovación de aire en sótano no calefactado	n		h⁻¹	Valor-U losa de piso sótano	U_{ssot}		W/(m²K)
Volumen de aire sótano	V		m³				
Losa de piso / solera con cámara de aire ventilada (máx. 0.5 m por debajo de rasante)							
Valor-U losa de piso sobre cámara de aire	U_{hueco}		W/(m²K)	Sección aperturas de ventilación	$S_{huecos vent}$		m²
Altura muro cámara de aire	h		m	Velocidad de viento a 10 m de altura	v		m/s
Valor-U muro cámara de aire	U_{par}		W/(m²K)	Factor de protección del viento	f_v		-

Pérdidas por puente térmico adicional en el zócalo (perímetro del edificio)				Fracción estacionaria			
Cambio de fases	β	0,00	Meses	Fracción estacionaria	$\Psi_{P,stat}^I$	0,000	W/K
				Cuota periódica	$\Psi_{P,harm}^I$	0,000	W/K

Corrección de nivel freático				Factor de corrección agua subterránea			
Profundidad del nivel freático	$Z_{agua fr}$	4,0	m	Factor de corrección agua subterránea	$G_{agua fr}$	1,0267894	-
Velocidad de flujo NF	$q_{agua fr}$	0,05	m/d				

Resultados temporales							
Cambio de fases	β	0,00	Meses	Flujo de calor estacionario	Φ_{est}	620,7	W
Conductancia estacionaria	L_s	70,03	W/K	Flujo de calor periódico	Φ_{harm}	91,1	W
Conductancia periódica exterior	L_{pe}	18,27	W/K	Pérdida calor durante el periodo de calefacción	Q_{tot}	3437	kWh
Conductancia edificio	L_0	103,93	W/K				

Temperaturas del terreno mensuales para cálculo de método mensual (elemento constructivo 1)													
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Valor medio
Invierno	12,5	12,6	13,1	13,8	14,6	15,2	15,6	15,5	15,0	14,2	13,5	12,8	14,0
Caso verano	14,1	14,2	14,7	15,4	16,2	16,9	17,2	17,1	16,6	15,9	15,1	14,5	15,7

Temperatura de cálculo del terreno para la hoja 'Carga-C'		Para hoja 'Carga-R'	
	12,5		17,2

Factor de reducción para hoja 'Calefacción anual'	
	0,45

Resultado total (todas las secciones del edificio)							
Cambio de fases	β	0,00	Meses	Flujo de calor estacionario	Φ_{est}	620,7	W
Conductancia estacionaria	L_s	70,03	W/K	Flujo de calor periódico	Φ_{harm}	91,1	W
Conductancia periódica exterior	L_{pe}	18,27	W/K	Pérdida de calor durante el periodo de calefacción	Q_{tot}	3437	kWh
Conductancia edificio	L_0	103,93	W/K	valores característicos elem. cons. horizontal	B'	9,04	m

Temperaturas del terreno mensuales para cálculo de método mensual (todos los elementos constructivos)													
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Valor medio
Invierno	12,5	12,6	13,1	13,8	14,6	15,2	15,6	15,5	15,0	14,2	13,5	12,8	14,0
Caso verano	14,1	14,2	14,7	15,4	16,2	16,9	17,2	17,1	16,6	15,9	15,1	14,5	15,7

Temperatura de cálculo del terreno para hoja 'Carga-C'		Para hoja 'Carga-R'	
	12,5		17,2

Factor de reducción para hoja 'Calefacción anual'	
	0,45

Tabla 15: Hoja de datos 'Pérdidas de calor a través del terreno' de PHPP

Introducción de superficies														Orden: COMO EN LISTA												
Nr. de área	Denominación elemento const.	Al grupo Nr.	Asignación al grupo	Cantidad	x (	a [m]	x	b [m]	+	Definido por usuario [m²]	-	Restado por usuario [m²]	-	Sustracción de ventanas [m²]	=	Superficie [m²]	Selección de elemento constructivo / sistema constructivo certificado	Valor-U [W/(m²K)]	Desviación respecto al norte	Ángulo inclin. respecto a la horizontal	Orientación	Factor reducción sombras total	Absorción envolvente exterior	Emisión envolvente exterior	
	Superficie de referencia energética	1	SRE (sup. de referencia energética)	7	x (x		+	291,53	-		-		=	2040,7										
	Ventanas al Norte	2	Ventanas al norte	¡Rellenar únicamente en la hoja 'Ventanas'!												31,6	De la hoja 'Ventanas'	0,727								
	Ventanas al Este	3	Ventanas al este														52,8	De la hoja 'Ventanas'	0,714							
	Ventanas al Sur	4	Ventanas al sur														27,0	De la hoja 'Ventanas'	0,669							
	Ventanas al Oeste	5	Ventanas al oeste														0,0	De la hoja 'Ventanas'	0,000							
	Ventanas horizontales	6	Ventanas horizontales														0,0	De la hoja 'Ventanas'	0,000							
	Puerta exterior	7	Puerta exterior		14	x (x		+	3,52	-		-			49,3	Valor-U puerta exterior	0,30							
1	PS Muro-terreno	9	Muro ext. - terreno	1	x (	15,50	x	4,46	+		-		-			69,1	03ud Muro en contacto con terreno	0,156	41	90	Norte	0,00	0,00	0,00	
2	PB-T Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	11,70	x	3,67	+		-		-			39,5	02ud Cerramiento translúcido	0,270	41	90	Norte	0,40	0,40	0,70	
3	PB-O Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	3,40	x	3,67	+		-		-			12,5	01ud Muro exterior	0,132	41	90	Norte	0,40	0,60	0,90	
4	P1-O Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	4,20	+		-		-			61,1	01ud Muro exterior	0,132	41	90	Norte	0,70	0,60	0,90	
5	P2-O Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	4,20	+		-		-			56,9	01ud Muro exterior	0,132	41	90	Norte	0,40	0,60	0,90	
6	P3-O Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	4,72	+		-		-			67,0	01ud Muro exterior	0,132	41	90	Norte	0,70	0,60	0,90	
7	P4-T Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	11,70	x	3,67	+		-		-			39,5	02ud Cerramiento translúcido	0,270	41	90	Norte	0,40	0,40	0,70	
8	P4-O Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	3,40	x	3,67	+		-		-			12,5	01ud Muro exterior	0,132	41	90	Norte	0,40	0,60	0,90	
9	P5-O Muro exterior NO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	5,25	+		-		-			75,2	01ud Muro exterior	0,132	41	90	Norte	1,00	0,60	0,90	
10	PS Muro-terreno	9	Muro ext. - terreno	1	x (	21,70	x	4,46	+		-		-			96,8	03ud Muro en contacto con terreno	0,156	131	90	Este	0,00	0,00	0,00	
11	PB-O Muro exterior SE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	3,67	+		-		-			65,8	01ud Muro exterior	0,132	131	90	Este	0,40	0,40	0,90	
12	P1-O Muro exterior SE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	4,20	+		-		-			91,1	01ud Muro exterior	0,132	131	90	Este	0,70	0,40	0,90	
13	P2-O Muro exterior SE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	4,20	+		-		-			81,9	01ud Muro exterior	0,132	131	90	Este	0,40	0,40	0,90	
14	P3-O Muro exterior SE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	4,72	+		-		-			84,0	01ud Muro exterior	0,132	131	90	Este	0,70	0,40	0,90	
15	P4-O Muro exterior SE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	3,67	+		-		-			77,4	01ud Muro exterior	0,132	131	90	Este	0,40	0,40	0,90	
16	P5-O Muro exterior SE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	5,25	+		-		-			104,7	01ud Muro exterior	0,132	131	90	Este	0,70	0,40	0,90	
17	PS Muro-terreno	9	Muro ext. - terreno	1	x (	15,50	x	4,46	+		-		-			69,1	03ud Muro en contacto con terreno	0,156	221	90	Sur	0,00	0,00	0,00	
18	PB-T Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	11,70	x	3,67	+		-		-			39,5	02ud Cerramiento translúcido	0,270	221	90	Sur	0,40	0,40	0,70	
19	PB-O Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	3,40	x	3,67	+		-		-			12,5	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,40	0,60	0,90	
20	P1-O Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	4,20	+		-		-			60,9	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,40	0,60	0,90	
21	P2-O Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	4,72	+		-		-			67,0	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,70	0,60	0,90	
22	P3-T Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	11,70	x	3,67	+		-		-			39,5	02ud Cerramiento translúcido	0,270	221	90	Sur	0,40	0,40	0,70	
23	P3-O Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	3,40	x	3,67	+		-		-			12,5	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,40	0,60	0,90	
24	P4-O Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	15,50	x	4,20	+		-		-			58,9	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,70	0,60	0,90	
25	P5-T Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	11,70	x	3,67	+		-		-			39,5	02ud Cerramiento translúcido	0,270	221	90	Sur	0,40	0,60	0,70	
26	P5-O Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	3,40	x	3,67	+		-		-			12,5	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,70	0,60	0,90	
27	P5-O-P Muro exterior SO	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	1,58	+		-		-			34,3	01ud Muro exterior	0,132	221	90	Sur	0,70	0,60	0,90	
28	PS Muro-terreno	9	Muro ext. - terreno	1	x (	21,70	x	4,46	+		-		-			96,8	03ud Muro en contacto con terreno	0,156	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
29	PB-O Muro exterior NE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	3,67	+		-		-			79,6	01ud Muro exterior	0,132	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
30	P1-O Muro exterior NE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	4,20	+		-		-			91,1	01ud Muro exterior	0,132	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
31	P2-O Muro exterior NE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	4,20	+		-		-			91,1	01ud Muro exterior	0,132	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
32	P3-O Muro exterior NE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	4,72	+		-		-			102,4	01ud Muro exterior	0,132	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
33	P4-O Muro exterior NE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	3,68	+		-		-			79,7	01ud Muro exterior	0,132	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
34	P5-O Muro exterior NE	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (	21,70	x	5,25	+		-		-			113,9	01ud Muro exterior	0,132	311	90	Oeste	0,40	0,60	0,90	
35	Cubierta no transitable	10	Techo / cubierta - Aire ext.	1	x (		x		+	336,35	-		-			336,4	04ud Cubierta plana no transitable	0,099	0	0	Hor	1,00	0,70	0,90
36	Losa	11	Solera / losa piso / forjado sanita	1	x (		x		+	378,48	-		-			378,5	05ud Losa de cimentación	0,133	0	0	Hor	0,00	0,00	0,00

Tabla 16: Hoja de datos 'Determinación de superficies' de PHPP

Cuadro resumen					Comentario	Resumen de los elementos co	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]	Ganancias por radiación periodo de calefacción [kWh/a]
Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad					
1	SRE (sup. de referencia energética)		2040,71	m²	Superficie de referencia energética de acuerdo a manual PHPP. Los resultados vienen de la hoja 'Ventanas' Las superficies de ventanas se sustraen de las superficies opacas automáticamente que son mostrados en la hoja 'Ventanas'. Restar la superficie de la puerta exterior del elemento constructivo correspondiente La zona de temperatura "A" es la temperatura exterior La zona de temperatura "B" es el Terreno Las zonas de temperatura "A", "B", "P" y "X" pueden utilizarse; NO puede utilizarse la "I" Las zonas de temperatura "A", "B", "P" y "X" pueden utilizarse; NO puede utilizarse la "I" Zona de temperatura "X". El usuario introduce el factor de temperatura ponderado (0 < ft < 1): 75%				
2	Ventanas al norte	A	31,57	m²		Ventanas al norte	0,727	683	1425
3	Ventanas al este	A	52,80	m²		Ventanas al este	0,714	2573	3828
4	Ventanas al sur	A	26,97	m²		Ventanas al sur	0,669	1373	1762
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m²		Ventanas al oeste			
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m²		Ventanas horizontales			
7	Puerta exterior	A	49,28	m²		Puerta exterior	0,300		
8	Muro ext. - aire ext.	A	1804,05	m²		Muro ext. - aire ext.	0,147	-133	604
9	Muro ext. - terreno	B	331,82	m²		Muro ext. - terreno	0,156		
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,35	m²		Techo / cubierta - Aire ext.	0,099	-110	493
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	378,48	m²		Solera / losa piso / forjado sar	0,133		
12			0,00	m²					
13			0,00	m²					
14		X	0,00	m²					
Total de la envolvente térmica						Promedio de la envolvente térm	0,164		

Tabla 17: Hoja de datos 'Determinación de superficies. Cuadro resumen' de PHPP

3.6. DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Una vez estudiado los aspectos que repercuten en el acondicionamiento pasivo del edificio, como son: el clima, la envolvente, los huecos, sombras, las ganancias y las pérdidas de calor; se obtiene, a través del programa, unas tablas que tendrán como datos principales las demandas de energía para calefacción y refrigeración. Estas demandas, que, como consecuencia de las decisiones tomadas en el

acondicionamiento pasivo, serán mínimas, deberán satisfacerse posteriormente con el acondicionamiento activo del edificio, es decir, aquel acondicionamiento que requiere del aporte de energía. A continuación se hace una comparativa del balance energético de calefacción y refrigeración.

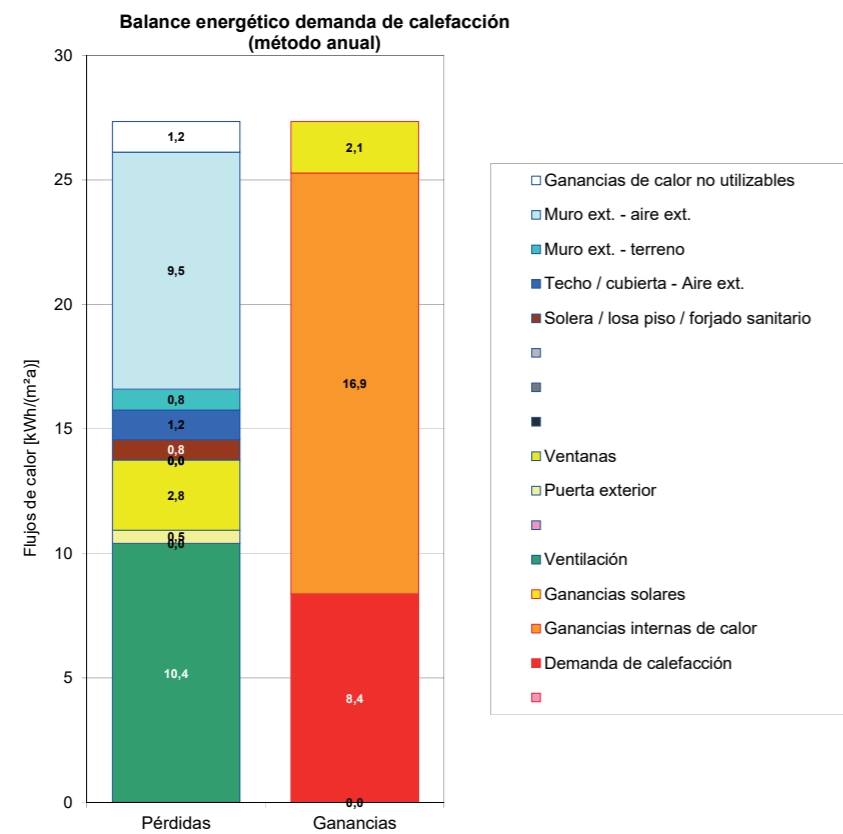


Fig. 33: Gráfica de hoja de datos 'Calefacción anual. Balance energético' de PHPP

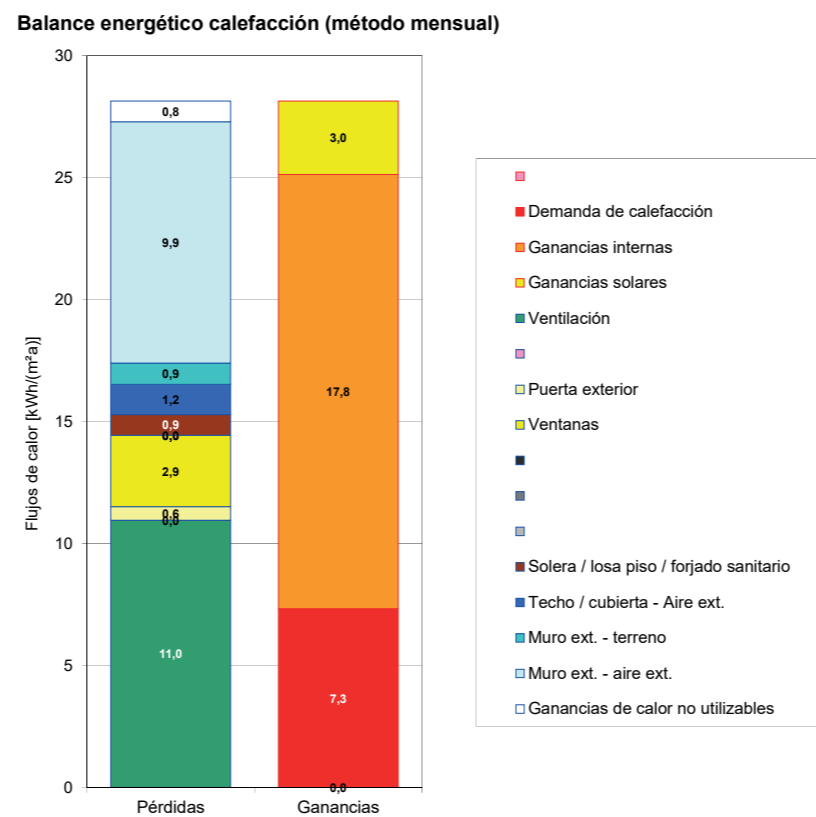


Fig. 34: Gráfica de hoja de datos 'Calefacción. Balance energético' de PHPP

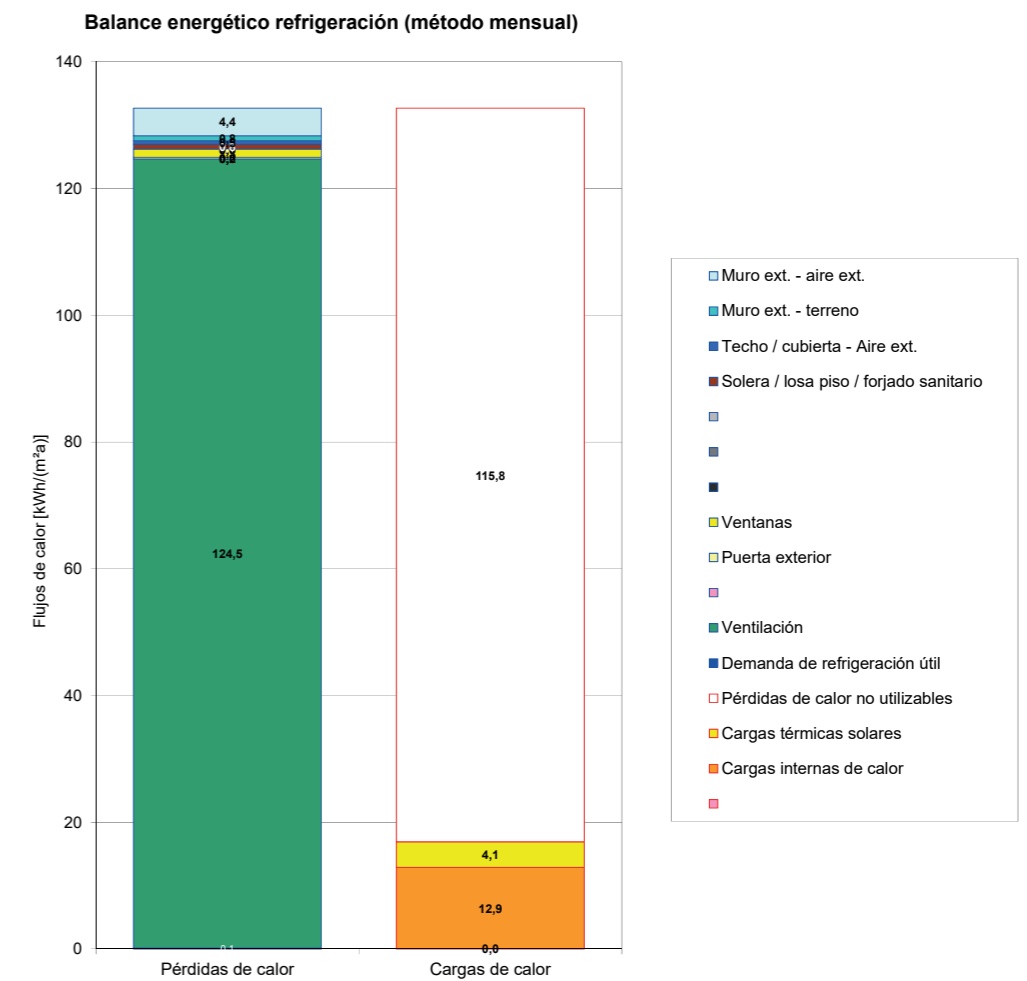


Fig. 35: Gráfica de hoja de datos 'Refrigeración. Balance energético' de PHPP

DEMANDA Y CARGA DE CALEFACCIÓN

Demanda anual de calefacción (método anual)

(En esta hoja se muestran los totales para el periodo de calefacción del método mensual)

Clima:	[CH] - St. Gallen	Temperatura interior:	20 °C
Edificio:	Bibliothek	Tipo de edificio:	Edificio público
Capacidad específica:	168 Wh/(m²K)	Superficie de referencia energética A _{SRE} :	2040,7 m²

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m²	Valor-U W/(m²K)	Fact. red. mensual	G _i kWh/a	Por m² de superficie de referencia energética kWh/(m²a)
Muro ext. - aire ext.	A	1804,0	0,147	1,00	76	9,90
Muro ext. - terreno	B	331,8	0,156	1,00	34	0,87
Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,4	0,099	1,00	76	1,24
Solera / losa piso / forjado sa	B	378,5	0,133	1,00	34	0,85
	A			1,00		
	X			1,00		
	A			0,75		
Ventanas	A	111,3	0,707	1,00	76	2,93
Puerta exterior	A	49,3	0,300	1,00	76	0,55
Puentes térmicos exteriores (long)	A			1,00		0,00
Puentes térmicos perímetro (long)	P			1,00		0,00
Puentes térmicos piso (longitud)	B			1,00		0,00
Total						16,3

Pérdidas de calor por transmisión QT

Total 33340 kWh/(m²a)

16,3 kWh/(m²a)

Renovación de aire efectiva exterior n _{ventilación, efectiva}	0,633	0%	0,83	0,010	0,117
Renovación de aire efectiva terreno n _{ventilación, terreno}	0,633	0%	0,83		0,000

Pérdidas de ventilación, exterior Q_{Vent,e}

V _V m³	7489	n _{V, equiv. frac.} 1/h	0,117	C _{aire} Wh/(m³K)	0,33	G _i kWh/a	76	kWh/a	22063	kWh/(m²a)	10,8
-------------------	------	----------------------------------	-------	----------------------------	------	----------------------	----	-------	-------	-----------	------

Pérdidas de ventilación, terreno Q_{Vent,ter}

V _V m³	7489	n _{V, equiv. frac.} 1/h	0,000	C _{aire} Wh/(m³K)	0,33	G _i kWh/a	45	kWh/a	0	kWh/(m²a)	0,0
-------------------	------	----------------------------------	-------	----------------------------	------	----------------------	----	-------	---	-----------	-----

Pérdidas de calor ventilación Q_{Vent}

Total 22063 kWh/a

10,8 kWh/(m²a)

Pérdidas totales de calor Q_P

Q _T kWh/a	33340	Q _V kWh/a	22063	Factor de reducción Noche y fin de semana Ahorro	1,0	kWh/a	55403	kWh/(m²a)	27,1
----------------------	-------	----------------------	-------	--------------------------------------------------	-----	-------	-------	-----------	------

Orientación de la superficie	Factor de reducción Compare c/ hoja 'Ventanas'	Valor g (Radiación perpendicular)	Superficie m²	Radiación global kWh/(m²a)	kWh/a
Norte	0,34	0,46	31,6	139	683
Este	0,23	0,50	52,8	416	2573
Sur	0,29	0,40	27,0	443	1373
Oeste	0,00	0,00	0,0	266	0
Horizontal	0,00	0,00	0,0	411	0
Total superficies opacas					1509

Ganancias de calor por radiación solar Q_S

Total 6137 kWh/a

3,0 kWh/(m²a)

Ganancias internas de calor Q_I

kh/d	0,024	Duración periodo calefacción día	212	Potencia esp. q _i W/m²	3,5	A _{SRE} m²	2040,7	kWh/a	36341	kWh/(m²a)	17,8
------	-------	----------------------------------	-----	-----------------------------------	-----	---------------------	--------	-------	-------	-----------	------

Calor disponible Q _{disponible}	Q _S + Q _I	kWh/a	42478	kWh/(m²a)	20,8
------------------------------------------	---------------------------------	-------	-------	-----------	------

Relación entre el calor disponible y las pérdidas de	Q _{disp} / Q _P	=	0,77
------------------------------------------------------	------------------------------------	---	------

Aprovechamiento efectivo de las ganancias de calor η_G

η _G	=	96%
----------------	---	-----

Ganancias de calor Q_G

η _G * Q _{disponible}	=	40701	kWh/a	19,9 kWh/(m²a)
------------------------------------------	---	-------	-------	----------------

Demanda de calefacción Q_{Cal}

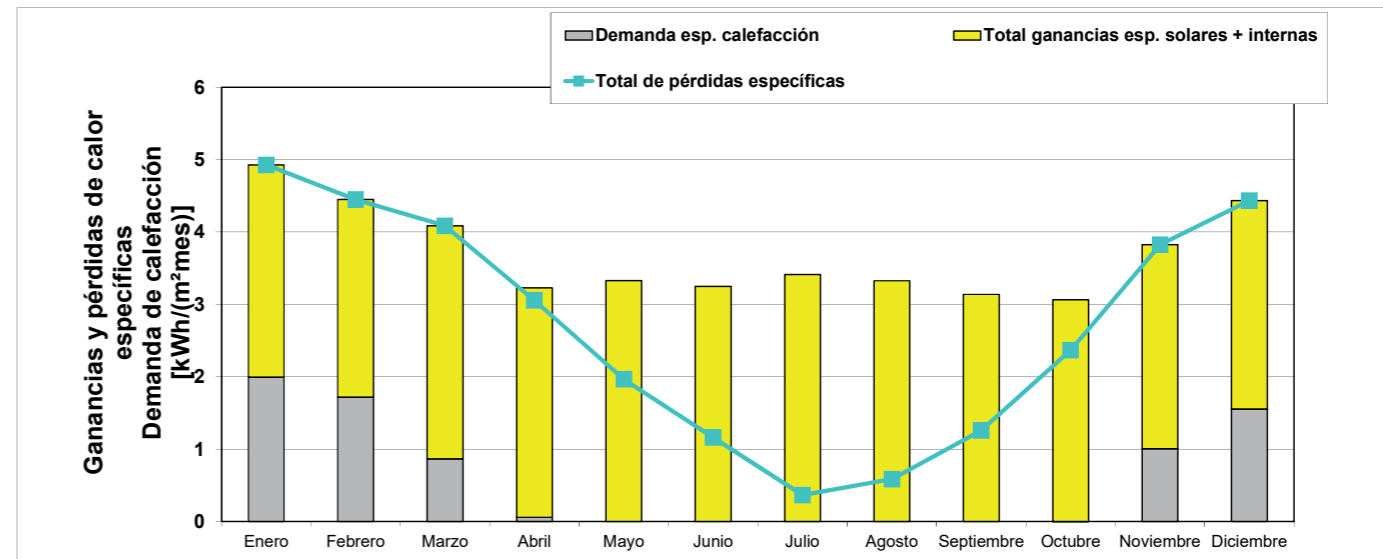
Q _P - Q _G	=	14702	kWh/a	7 kWh/(m²a)
---------------------------------	---	-------	-------	-------------

Valor máx. permitido

Valor máx. permitido kWh/(m²a)	15	¿Requerimiento cumplido?	SÍ
--------------------------------	----	--------------------------	-----------

Clima:	[CH] - St. Gallen	Temperatura interior:	20 °C
Edificio:	Bibliothek	Tipo de edificio:	Edificio público
		Superficie de referencia energética A _{SRE} :	2041 m²

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Grados-hora calefacción, ext.	13,9	12,6	11,4	8,5	5,3	3,1	0,8	1,4	3,4	6,4	10,7	12,5	90	kKh
Grados-hora calefacción, terre	5,6	5,0	5,2	4,5	4,0	2,3	2,1	2,2	2,4	4,3	4,7	5,3	47	kKh
Pérdidas al exterior	9488	8572	7815	5780	3604	2141	533	977	2320	4396	7324	8507	61456	kWh
Pérdidas hacia el terreno	569	508	526	455	410	230	214	221	249	437	481	545	4845	kWh
Total de pérdidas específicas	4,9	4,4	4,1	3,1	2,0	1,2	0,4	0,6	1,3	2,4	3,8	4,4	32,5	kWh/m²
Ganancias solares - norte	52	68	168	215	249	274	270	215	157	84	57	39	1848	kWh
Ganancias solares - este	303	324	529	518	536	526	589	559	504	388	255	256	5287	kWh
Ganancias solares - sur	166	190	252	241	273	257	311	292	273	230	149	144	2778	kWh
Ganancias solares - oeste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Ganancias solares - horizontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Ganancias solares - opaco	149	188	310	355	426	434	484	412	331	236	145	125	3595	kWh
Ganancias internas calor (GIC)	5314	4800	5314	5143	5314	5143	5314	5314	5143	5314	5143	5314	62568	kWh
Total ganancias esp. solares +	2,9	2,7	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,3	3,1	3,1	2,8	2,9	37,3	kWh/m²
Grado de aprovechamiento	100%	100%	100%	95%	59%	36%	11%	18%	40%	77%	100%	100%	68%	
Demanda de calefacción	4072	3509	1769	120	0	0	0	0	1	2056	3175	14702	kWh	
Demanda esp. calefacción	2,0	1,7	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,6	7,2	kWh/m²	



Demanda de calefacción: comparación

Método mensual (H. 'Calefacción')	14702 kWh/a	7,2 kWh/(m²a)	referencia a superficie de referencia energética de acuerdo a PHPP
Método anual (H. 'Calef. anual')	17100 kWh/a	8,4 kWh/(m²a)	referencia a superficie de referencia energética de acuerdo a PHPP

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Valor total anual	Periodo de calefacción
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	201
Temp. ext.	1,86	1,86	5,16	8,76	13,36	16,06	19,36	18,46	15,66	11,76	5,56	3,76	10,2	4,9
Radiación norte	9,0	13,0	22,0	29,0	38,0	41,0	41,0	32,0	24,0	17,0	11,0	8,0	285	130
Radiación este	25,0	29,0	63,0	72,0	78,0	83,0	87,0	74,0	59,0	34,0	23,0	19,0	646	375
Radiación sur	66,0	70,0	94,0	83,0	86,0	78,0	94,0	96,0	94,0	85,0	55,0	58,0	959	401
Radiación oeste	25,0	36,0	52,0	62,0	80,0	82,0	95,0	77,0	64,0	43,0	28,0	20,0	664	244
Radiación horizontal	33,0	48,0	89,0	114,0	146,0	151,0	168,0	137,0	98,0	65,0	35,0	27,0	1111	375
Temp. del cielo	-14,75	-14,90	-11,56	-7,09	-0,45	3,47	7,03	6,90	4,16	-0,88	-8,57	-11,86	-4,0	
Temp. Terreno	12,51	12,60	13,08	13,81	14,60	16,87	17,18	17,09	16,61	14,25	13,46	12,82	14,6	13,2

Tabla 18: Hoja de datos 'Demanda anual de calefacción' de PHPP

Demanda anual de calefacción (método anual)

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m²	Valor-U W/(m²K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m² de SRE kWh/a
Muro ext. - aire ext.	A	1804,0	0,147	1,00	73,1	19431
Muro ext. - terreno	B	331,8	0,156	0,45	73,1	1706
Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,4	0,099	1,00	73,1	2427
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	378,5	0,133	0,45	73,1	1669
Ventanas	A	111,3	0,707	1,00	73,1	5754
Puerta exterior	A	49,3	0,300	1,00	73,1	1081
Puentes térmicos exteriores (longitud en m)	E			1,00		
Puentes térmicos perímetro (longitud en m)	P			0,45		
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B			0,45		
Total de superficies de la envolvente térmica		3011,3				32068
Pérdidas de calor por transmisión Q_T						15,7

Sistema de ventilación:	Caudal de aire efectivo V _v m³	A _{SRE} m²	Altura libre habitación m	m³
Rendimiento del recuperador de calor de la recuperación de calor	η _{ref} 83%	2040,7	3,67	7489,4
Eficiencia de recuperación de calor del intercambiador tierra-aire (ITA)	η _{ITA} 0%			
Tasa de renovación de aire energéticamente efectiva n _{vent} 1/h	0,633			0,117
Volumen de aire efectivo V _v m³	7489,4			
n _v 1/h	0,117			
C _{aire} Wh/(m²K)	0,33			
G _t kWh/a	73,1			21230
kWh/(m²a)				10,4

Pérdidas de calor por ventilación Q _{Vent}	Volumen de aire efectivo V _v m³	n _v 1/h	C _{aire} Wh/(m²K)	G _t kWh/a	kWh/(m²a)
	7489,4	0,117	0,33	73,1	21230
					10,4

Pérdidas de calor totales Q _P	Q _T kWh/a	Q _V kWh/a	Noche y fin de semana Ahorro	Factor de reducción	Q _P kWh/a	kWh/(m²a)
	32068	21230	1,0		53298	26,1

Ganancias de calor por radiación solar Q _S	Orientación de la superficie	Factor de reducción Compare c/ hoja 'Ventana'	Valor g (Radiación perpendicular) kWh/(m²a)	Superficie m²	Radiación global período calefacción kWh/(m²a)	kWh/a	kWh/(m²a)
1. Norte		0,34	0,46	31,57	1,30	639	
2. Este		0,23	0,50	52,80	3,79	2342	
3. Sur		0,29	0,40	26,97	4,01	1241	
4. Oeste		0,00	0,00	0,00	2,44	0	
5. Horizontal		0,00	0,00	0,00	3,79	0	
Total						4223	2,1

Ganancias internas de calor (GICs) Q _I	Período calefacción anual día	Potencia esp. q _i W/m²	A _{SRE} m²	kWh/a	kWh/(m²a)
	0,024	201	2040,7	34485	16,9
Calor disponible Q _{disponible} kWh/a				38707	19,0
Relación entre calor disponible y pérdidas calor Q _{disp} / Q _P				0,73	
Aprovechamiento efectivo de las ganancias de calor η _G				94%	
Ganancias de calor Q _G kWh/a				36198	17,7
Demanda de calefacción Q _{Cal} kWh/a				17100	8
Valor máx. permitido kWh/(m²a)				15	
¿Requerimiento cumplido? (sí/no)				SÍ	

Tabla 14: Hoja de datos 'Demanda anual de calefacción anual' de PHPP

Carga específica de calefacción

Situación meteorológica 1:	Temperatura de cálculo	Radiación:	Norte	Este	Sur	Oeste	Horizontal	W/m²
Situación meteorológica 1:	-7,7 °C		10	15	20	15	20	W/m²
Situación meteorológica 2:	-6,9 °C		10	10	15	10	15	W/m²
Temp. del terreno considerada:	12,5 °C	Superficie						

Elemento constructivo	Zona de temperatura	m²	W/(m²K)	Factor Siempre 1 (excepto 'X')	Dif. de temperatura 1 K	Dif. de temperatura 2 K	P _T 1 W	P _T 2 W
1. Muro ext. - aire ext.	A	1804,0	0,147	1,00	27,7	26,9	7372	7159
2. Muro ext. - terreno	B	331,8	0,156	1,00	7,5	7,5	387	387
3. Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,4	0,099	1,00	27,7	26,9	921	894
4. Solera / losa piso / forjado	B	378,5	0,133	1,00	7,5	7,5	378	378
5. Ventanas	A	111,3	0,707	1,00	27,7	26,9	2183	2120
6. Puerta exterior	A	49,3	0,300	1,00	27,7	26,9	410	398
7. Puentes térmicos exteriores (longitud en m)	A			1,00	27,7	26,9		
8. Puentes térmicos perímetro (longitud en m)	P			1,00	7,5	7,5		
9. Puentes térmicos piso (longitud en m)	B			1,00	7,5	7,5		
10. Muro divisorio entre viviendas	I			1,00	3,0	3,0		
Total							11650	11336

Sistema de ventilación:	Volumen de aire efectivo V _v m³	A _{SRE} m²	Altura libre de la habitación m	m³
	7489,4	2040,7	3,67	7489
Eficiencia del recuperador de calor del intercambiador de calor	η _{HR} 83%			
Eficiencia del ITA	0%			
Eficiencia recuperación calor ITA	0%			
Tasa de renovación de aire energéticamente efectiva n _{vent} 1/h	0,024			0,132
n _v (carga de calefacción) 1/h	0,024			0,132
n _v 1/h	0,117			0,132
C _{aire} Wh/(m²K)	0,33			
Dif. de temperatura 1 K	27,7			
Dif. de temperatura 2 K	26,9			
P _P 1 W				9035
P _P 2 W				8774
Total de cargas de calor P _P				20685
P _T + P _{Vent}				20110
Potencia específica W/m²	1,6			
A _{SRE} m²	2041			
P _P 1 W				3265
P _P 2 W				3265
P _G 1 W				
P _G 2 W				
P _{Acum} + P _I				3492
P _P - P _G				17193
Carga de calefacción P _{Cal}				17193
Carga de calefacción específica PH / A _{TFA}				8,4
Introducción temp. máx. aire impulsión °C	40			
Temp. máx. aire impulsión θ _{admis,máx} °C	40			
Temp. del aire de impulsión sin aporte de calor a θ _{admis,min} °C	15,3			15,4
Para comparar: carga máx. de calor transportable a través del aire impulsión P _{impuls,Max}				38676
W específico:				19,0
W/m²				
¿Calefactable a través del aire de impulsión? (sí/no)				SÍ

Tabla 19: Hoja de datos 'Carga específica de calefacción' de PHPP

DEMANDA Y CARGA DE REFRIGERACIÓN

Demanda específica de refrigeración útil

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m²	Valor-U W/(m²K)	Factor de reducción mensi	Q _t kWh/a	Por m² de superficie de referencia energética kWh/(m²a)
1. Muro ext. - aire ext.	A	1804,0	0,147	1,00	33	8895
2. Muro ext. - terreno	B	331,8	0,156	1,00	31	1617
3. Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,4	0,099	1,00	33	1111
4. Solera / losa piso / forja	B	378,5	0,133	1,00	31	1582
5. Ventanas	A			1,00		
6. Puertas exteriores	X			0,75		
7. Puertas interiores	A	111,3	0,707	1,00	33	2634
8. Puertas exteriores	A	49,3	0,300	1,00	33	495
9. Puentes térmicos exteriores	A			1,00		
10. Puentes térmicos perimetro	P			1,00		
11. Puentes térmicos piso (lona)	B			1,00		
Total					16333	8,0

Pérdidas de calor por transmisión Q_T (negativo= cargas de calor)

Ventilación verano

Valores conductancia ap. de ventilación		Parámetros de la ventilación		Regulación de la ventilación en verano	
Exterior H _{v,a}	417,4 W/K	Fluctuación diaria de la temperatura en verano	7,7 K	Ninguno	
Sin RC	2446,8 W/K	Temperatura interior mínima permitida	25,0 °C	Regulable según temp.	
Terreno H _{v,g}	0,0 W/K	Capacidad térmica del aire	0,33 Wh/(m³K)	Regulable según entalpia	x
Sin RC	0,0 W/K	Renovación de aire de impulsión	0,99 1/h	Siempre	
Valor conductancia ventilación, otros	1,50 1/h	Renovación de aire exterior	0,99 1/h	Regulable según temp.	
Exterior	3706,1 W/K	Renov. aire pl ventilación noct. ventanas, manual @ 1K	0,00 1/h	Regulable según humedad	x
		Renovación aire ventilación mecánica controlada	0,99 1/h		
		Consumo energético específico para	833 Wh/m³		
		η _{HR}	83%		
		η _{ERV}	0%		
		η _{MA}	0%		

Renovación higiénica del aire

Renovación de aire efectiva exterior	Renovación de aire efectiva terreno	V _v m³/h	Pérdidas ventilación, ext. Q _{Vent,e} kWh/a	Pérdidas ventilación, terreno Q _{Vent,ter} kWh/a	Pérdidas ventilación adicional verano Q _{Vent} kWh/a
0,990	0%	2,484	189992	0	254144
0,990	0%	0,000	0	0	0
0,990	0%	0,841	64153	31,4	124,5

Pérdidas de calor ventilación Q_{Vent}

Pérdidas de calor Q _P	Pérdidas de calor Q _T	Pérdidas de calor Q _P + Q _T
16333	254144	270477

Pérdidas de calor Q_P

Orientación de la superficie	Factor de reducción	Valor g (Radiación perpendicular)	Superficie m²	Radiación global kWh/(m²a)	Q _P kWh/a
1. Norte	0,39	0,46	31,6	237	1330
2. Este	0,29	0,50	52,8	439	3349
3. Sur	0,31	0,40	27,0	454	1514
4. Oeste	0,40	0,00	0,0	398	0
5. Horizontal	0,40	0,00	0,0	700	0
6. Total superficies opacas					2087

Ganancias de calor por radiación solar Q_S

Ganancias internas de calor Q _i kWh/a	Total de cargas de calor Q _{disp} kWh/a
26227	34506

Total de cargas de calor Q_{disp}

Relación entre pérdidas y calor disponible Q _p / Q _{Disp}	Aprovechamiento efectivo de las pérdidas de calor η _{aprov}
7,84	13%

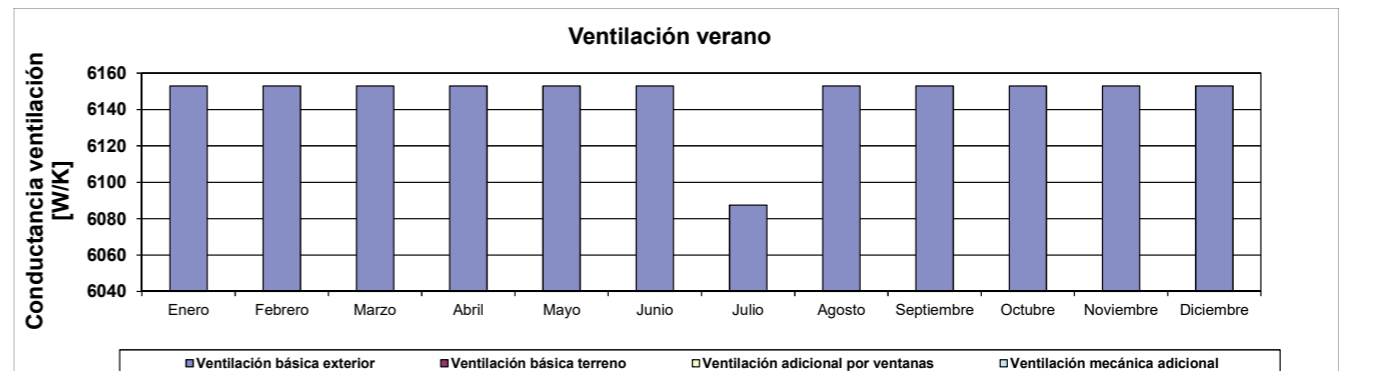
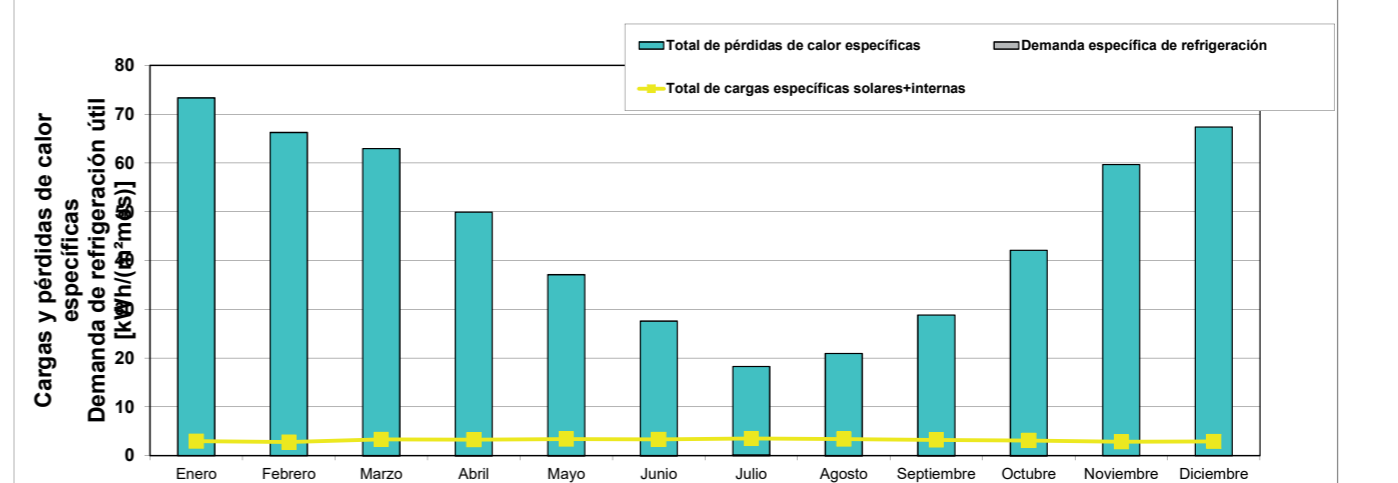
Pérdidas de calor aprovechables Q_{P,aprov}

Pérdidas de calor aprovechables Q _{P,aprov} kWh/a	Demanda de refrigeración Q _{REF} kWh/a
34202	304

Demanda de refrigeración Q_{REF}

Valor máx. permitido kWh/(m²a)	¿Requerimiento cumplido?
15	Si

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
Grados-hora de calefacción, ext	17,9	16,2	15,5	12,3	9,2	7,0	4,7	5,4	7,2	10,4	14,6	16,5	137
Grados-hora de calefacción, ter	9,3	8,3	8,9	8,1	7,7	5,9	5,8	5,9	6,0	8,0	8,3	9,1	91
Pérdidas exterior	112948	102020	96881	76777	56903	42325	27675	32032	44192	64674	91828	103679	851934
Pérdidas hacia el terreno	949	851	906	823	790	598	594	601	617	816	848	925	9316
Pérdidas ventilación en verano	35767	32306	30666	24291	17990	13371	8715	10107	13969	20464	29079	32830	269556
Total de pérdidas de calor espe	73,3	66,2	62,9	49,9	37,1	27,6	18,1	20,9	28,8	42,1	59,7	67,3	554,1
Cargas solares norte	59	77	192	245	283	313	308	246	180	95	65	45	2108
Cargas solares este	374	400	652	639	661	649	727	690	622	479	315	315	6524
Cargas solares sur	179	205	271	260	294	277	335	314	294	248	160	155	2992
Cargas solares oeste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cargas solares horizontales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cargas solares elementos opac	149	188	310	355	426	434	484	412	331	236	145	125	3595
Ganancias internas de calor (GI)	5314	4800	5314	5143	5314	5143	5314	5314	5143	5314	5143	5314	62568
Total de cargas específicas sola	3,0	2,8	3,3	3,3	3,4	3,3	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9	2,9	38,1
Grado de aprovechamiento de p	4%	4%	5%	7%	9%	12%	19%	16%	11%	7%	5%	4%	7%
Demanda total de refrigeración	0	0	0	0	0	1	300	3	1	0	0	0	304
Demanda específica de refrigera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Demanda específica de deshum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Proporción sensible	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Valor total anual
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Temp. ext.	1,86	1,86	5,16	8,76	13,36	16,06	19,36	18,46	15,66	11,76	5,56	3,76	10,2
Radiación Nte.	9,0	13,0	22,0	29,0	38,0	41,0	41,0	32,0	24,0	17,0	11,0	8,0	285
Radiación Este	25,0	29,0	63,0	72,0	78,0	83,0	87,0	74,0	59,0	34,0	23,0	19,0	646
Radiación Sur	66,0	70,0	94,0	83,0	86,0	78,0	94,0	96,0	94,0	85,0	55,0	58,0	959
Radiación Oeste	25,0	36,0	52,0	62,0	80,0	82,0	95,0	77,0	64,0	43,0	28,0	20,0	664
Radiación horizontal	33,0	48,0	89,0	114,0	146,0	151,0	168,0	137,0	98,0	65,0	35,0	27,0	1111
Punto de rocío	-3,7	-3,8	-1,6	1,4	6,0	8,8	11,4	11,3	9,3	5,7	0,4	-1,8	3,7
Temp. del cielo	-14,75	-14,90	-11,56	-7,09	-0,45	3,47	7,03	6,90	4,16	-0,88	-8,57	-11,86	-4,0
Temperatura terreno	12,51	12,60	13,08	13,81	14,60	16,87	17,18	17,09	16,61	14,25	13,46	12,82	14,6

Tabla 20: Hoja de datos 'Demanda específica de refrigeración útil' de PHPP

Demanda específica de refrigeración útil

Temperatura:	Aire admisión	Punto rocío	Cielo	Humedad nominal:	12,0	g/kg
Clima 1:	25,3 °C	14,4	11,1 °C	Fuentes internas de humedad:	2,0	g/kg
Clima 2:	25,3 °C	14,4	14,4 °C			
Temp. del terreno considerada	17,2 °C	ITA	11,1 °C			

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m²	Valor-U W/(m²K)	Factor siempre 1 (excepto "X")	Dif. de temperatura 1 K	Dif. de temperatura 2 K	P _T 1 W	P _T 2 W
1. Muro ext. - aire ext.	A	1804,0	0,147	1,00	0,3	0,3	70	70
2. Muro ext. - terreno	B	331,8	0,156	1,00	-7,8	-7,8	-403	-403
3. Techo / cubierta - Aire ext.	A	336,4	0,099	1,00	0,3	0,3	9	9
4. Solera / losa piso / forjado s.	B	378,5	0,133	1,00	-7,8	-7,8	-395	-395
5.	A			1,00	0,3	0,3		
6.	A			1,00	0,3	0,3		
7.	X			0,75	0,3	0,3		
8. Ventanas	A	111,3	0,707	1,00	0,3	0,3	21	21
9. Puerta exterior	A	49,3	0,300	1,00	0,3	0,3	4	4
10. Puentes térmicos exteriores (longitud)	A			1,00	0,3	0,3		
11. Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			1,00	-7,8	-7,8		
12. Puentes térmicos piso (longitud en f.)	B			1,00	-7,8	-7,8		
13. Muro divisorio entre viviendas	I			1,00	3,0	3,0		
14. Corrección de radiación aire exterior			A _{exterior} W/K		0,3	0,3	-6	-6
15. Corrección de radiación cielo			A _{cielo} W/K		-13,9	-10,6	-318	-242
Total							-1019	-943

Carga de ventilación	V _v m³	P _{v,equl,frac} 1/h	P _{v,equl,frac} 1/h	C _{aire} Wh/(m³K)	Dif. de temperatura 1 K	Dif. de temperatura 2 K	P _v 1 W	P _v 2 W
Exterior P _{v,o}	7489	1,668	1,668	0,33	0,3	0,3	1080	1080
Terreno P _{v,e}	7489	0,000	0,000	0,33	-13,9	-13,9	0	0
Ventilación verano P _{v,s}	7489	0,841	0,841	0,33	0,3	0,3	544	544
Total							1625	1625

Orientación de la superficie	Superficie m²	Valor g (Rad. perpendicular)	Factor de reducción (Compare hoja 'Ventanas')	Radiación 1 W/m²	Radiación 2 W/m²	P _r 1 W	P _r 2 W	
1. Norte	31,6	0,5	0,39	119	119	670	670	
2. Este	52,8	0,5	0,29	196	196	1492	1492	
3. Sur	27,0	0,4	0,31	195	195	651	651	
4. Oeste	0,0	0,0	0,40	180	180	0	0	
5. Horizontal	0,0	0,0	0,40	340	340	0	0	
6. Total superficies opacas						977	977	
Total							3790	3790

Potencia específica W/m²	A _{SRE} m²	P _i 1 W	P _i 2 W
3,5	2041	7142	7142
P _T + P _{Vent} + P _{Acum} + P _i		11538	11614
Carga de refrigeración P _{ref}		11614	W
Carga de refrigeración por área específica P _C / A _{SRE}		5,7	W/m²

Introduzca la temperatura mínima del aire de impulsión	15 °C	Temperatura aire de impulsión sin refrigeración	25,0 °C
Para comparar: carga de refrigeración, transportable a través del aire de impulsión P _{Impuls,Max}	24577	24577	W
Específica:	12,0	12,0	W/m²
¿Aire acondicionado (refrigeración) posible a través del aire de impulsión? SÍ			

Elevación diaria de temperatura interior	Transmisión W	Ventilación W	Carga solar W	Tiempo h/d	Capacidad específica Wh/(m³K)	A _{SRE} m²	Resultado K
	-942,9	1624,7	3790,1	24	168	2041	0,3

Carga de humedad

Humedad abs. aire extracción	10,2	o bien	10,2	g/kg	Humedad abs. aire impulsión	10,2	o bien	10,2	g/kg
Flujo de aire exterior	13252	o bien	13252	kg/h	Flujo aire de impulsión	8749	o bien	8749	kg/h
Flujo aire ventilación verano	0	o bien	0	kg/h	Carga de hum. aire impuls.	-15417	o bien	-15417	g/h
Carga humedad aire exterior	-23352	o bien	-23352	g/h	Carga interna humedad	4081	o bien	4081	g/h

Entalpía de vaporización	Wh/kg	g/kg	Carga humedad	g/h	Carga humedad	g/h	P _D 1 W	P _D 2 W
707,639	1000	-34688	-34688	0	0	0	0	
Carga de humedad P _T							0	W
Carga de deshumidificación por área específica PT / A _{SRE}							0,0	W/m²

Valores promedio mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Demanda específica de refrigeración	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh/m²
Demanda específica de deshumidificación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh/m²
Proporción sensible	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Cuota mínima de carga de refrigeración producida

100%

Tabla 21: Hoja de datos 'Carga de refrigeración' de PHPP

ACONDICIONAMIENTO ACTIVO

4.1. INTRODUCCIÓN	58
4.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	59
ESQUEMA GENERAL	
AGUA FRÍA Y AGUA CALIENTE SANITARIA	
VENTILACIÓN, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN	
VENTILACIÓN (PHPP)	
AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN (PHPP)	
REFRIGERACIÓN (PHPP)	

4.1. INTRODUCCIÓN

“Los problemas más significativos desde el punto de vista ambiental van desde el agotamiento de los combustibles fósiles al deterioro del territorio o los fenómenos de cambio climático relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista económico, la eficiencia energética puede ser utilizada como una herramienta de ahorro, de reducción de la dependencia energética y de aumento de la competitividad.

La eficiencia energética representa la cantidad de energía consumida realmente y depende de la demanda de los edificios o equipamientos y del rendimiento de los sistemas empleados, de modo que para reducir el consumo habrá que reducir la demanda (sistemas pasivos) y/o mejorar la eficiencia de las instalaciones (sistemas activos).”¹

Se busca por tanto un acondicionamiento activo que sea en su mayor parte a partir de energías renovables. Como se citó anteriormente en este trabajo, la Directiva 2010/31/EU se especifica que un edificio de consumo de energía casi nulo debe tener un nivel de eficiencia energética muy alto, en el que la cantidad casi nula de energía requerida sea cubierta en su mayor parte por energía procedente de fuentes renovables.² Por otra parte, para obtener la certificación Passivhaus, es necesario tener un gasto de energía primaria (calefacción, agua caliente y electricidad) inferior a los 120 kWh/m²a.

Desde un punto de vista económico, aunque la inversión inicial en instalaciones que usan energías limpias es notablemente superior, esta cantidad se ve amortizada en un periodo inferior al de otro tipo de energías.

¹ Foro para la Edificación Sostenible de la Comunidad Valenciana. (2014). Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación

² Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición), (2010).

4.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

La instalación de agua caliente sanitaria, ventilación, calefacción y refrigeración se encuentra concretada en un mismo sistema que varía su funcionamiento según la estación.

Consiste en el intercambio de calor entre el terreno a mucha profundidad (sondas geotérmicas), ya que éste se encuentra a una temperatura constante durante todo el año. Desde las sondas se conduce el agua hasta el interior del edificio y se circula hasta tres puntos: dos baterías (pretratamiento y postratamiento) y la bomba de calor. El funcionamiento es el siguiente:

- El agua llega hasta una **batería (pretratamiento)** ubicada justo antes del recuperador de calor (pretratamiento), para que el aire exterior pueda aumentar o

disminuir (según la estación) su temperatura en unos grados, y así de esta forma el aire que pasa por el recuperador tiene una temperatura más favorable.

- En el **recuperador de calor** se produce el intercambio de calor entre el aire viciado del interior del edificio con el aire exterior limpio sin que éste último llegue a perder sus condiciones sanitarias. La temperatura alcanzada tras este paso solo se encuentra a unos pocos grados de diferencia con la necesaria en el interior del edificio.

- Otra **batería (postratamiento)** con agua procedente de la geotermia se ubica justo después de pasar por el recuperador.

- Desde la **bomba de calor** se deriva el agua en dos direcciones: al abastecimiento de **agua caliente sanitaria**, y a otra **batería (postratamiento)**, por las que se hace pasar el aire que sale del recuperador de calor, justo antes de entrar a las habitaciones, y a

través de las cuales se alcanza la temperatura idónea.

En nuestro caso, en verano solo sería necesario el uso de las baterías en días puntuales en los que la temperatura estuviese por encima de la media, o en los que hubiese una gran concurrencia.

Se coloca un recuperador de calor por planta, de forma que el aire se toma y se expulsa en cada planta a través de la piel exterior del edificio.

INVIERNO

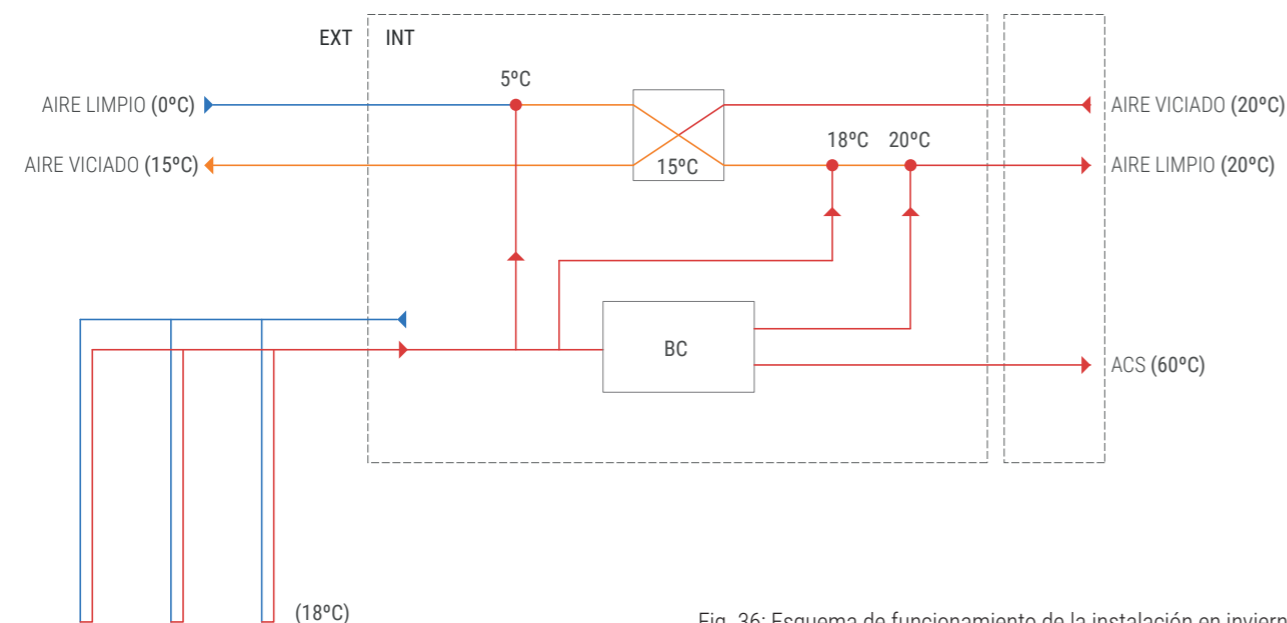


Fig. 36: Esquema de funcionamiento de la instalación en invierno

VERANO

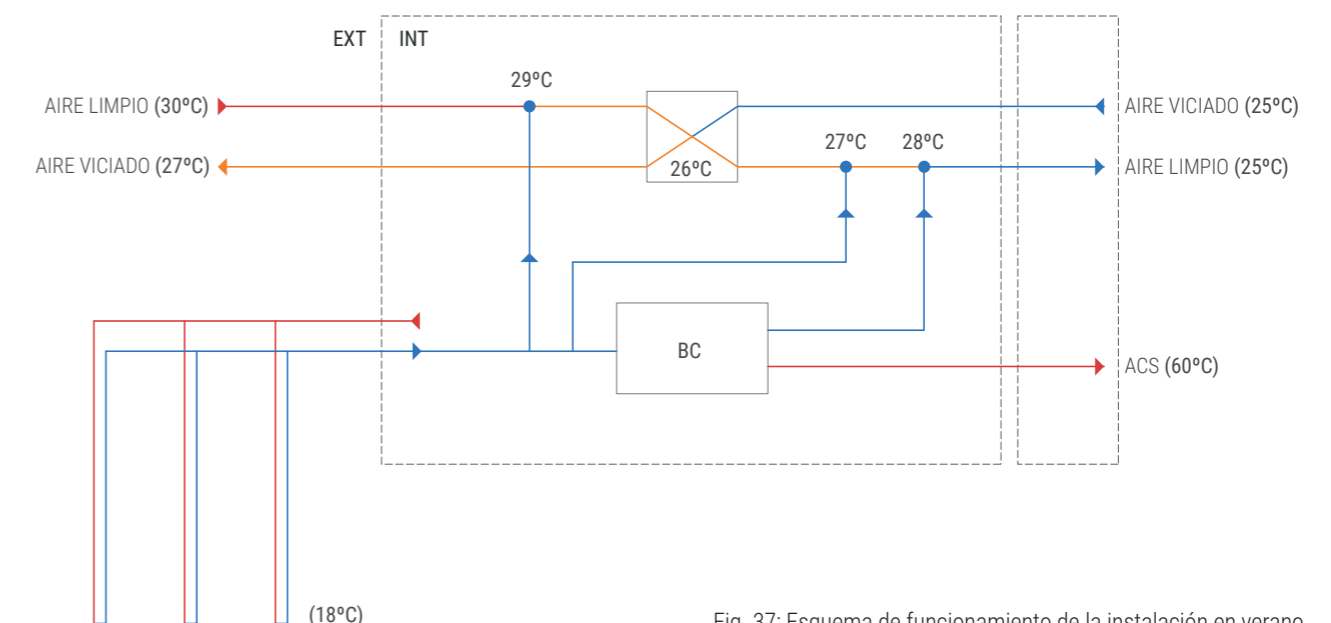
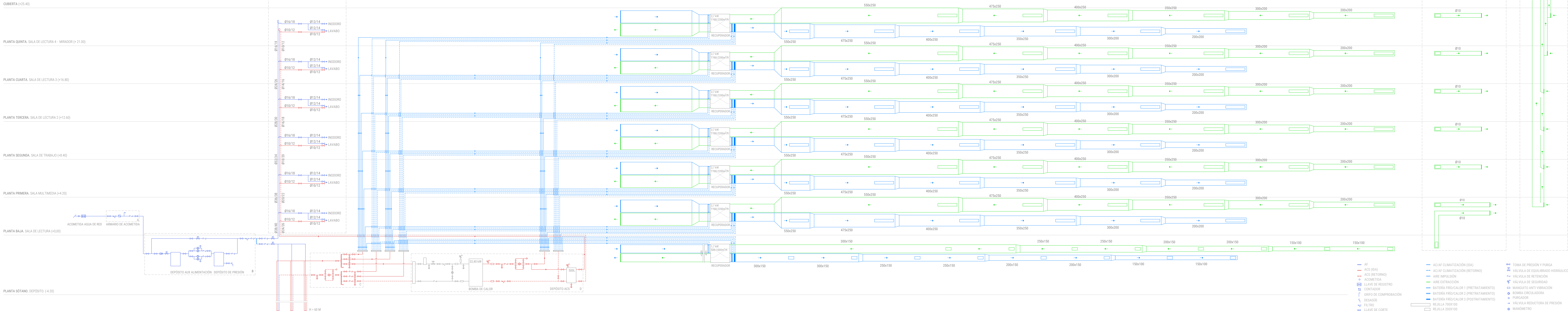
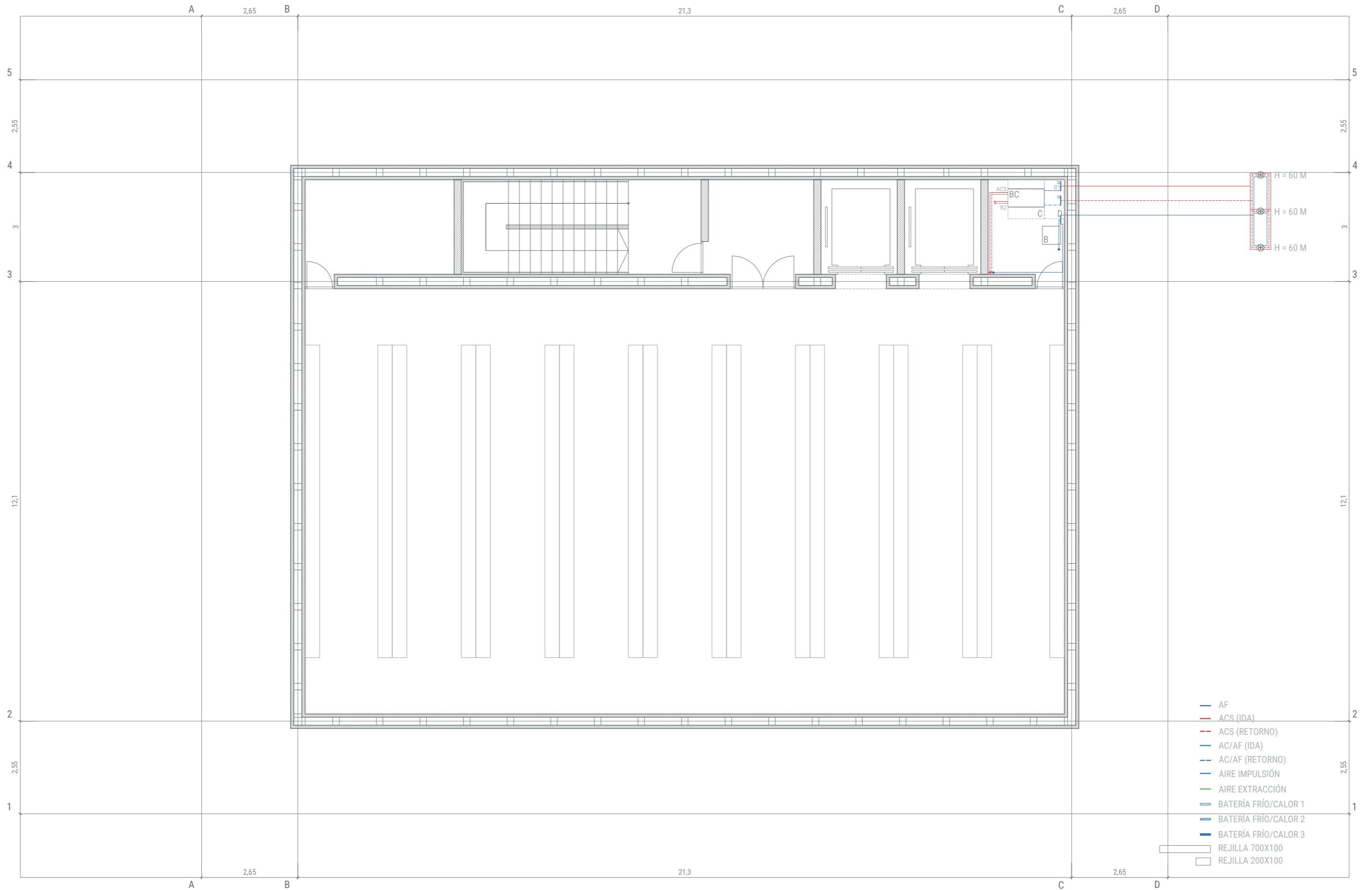


Fig. 37: Esquema de funcionamiento de la instalación en verano

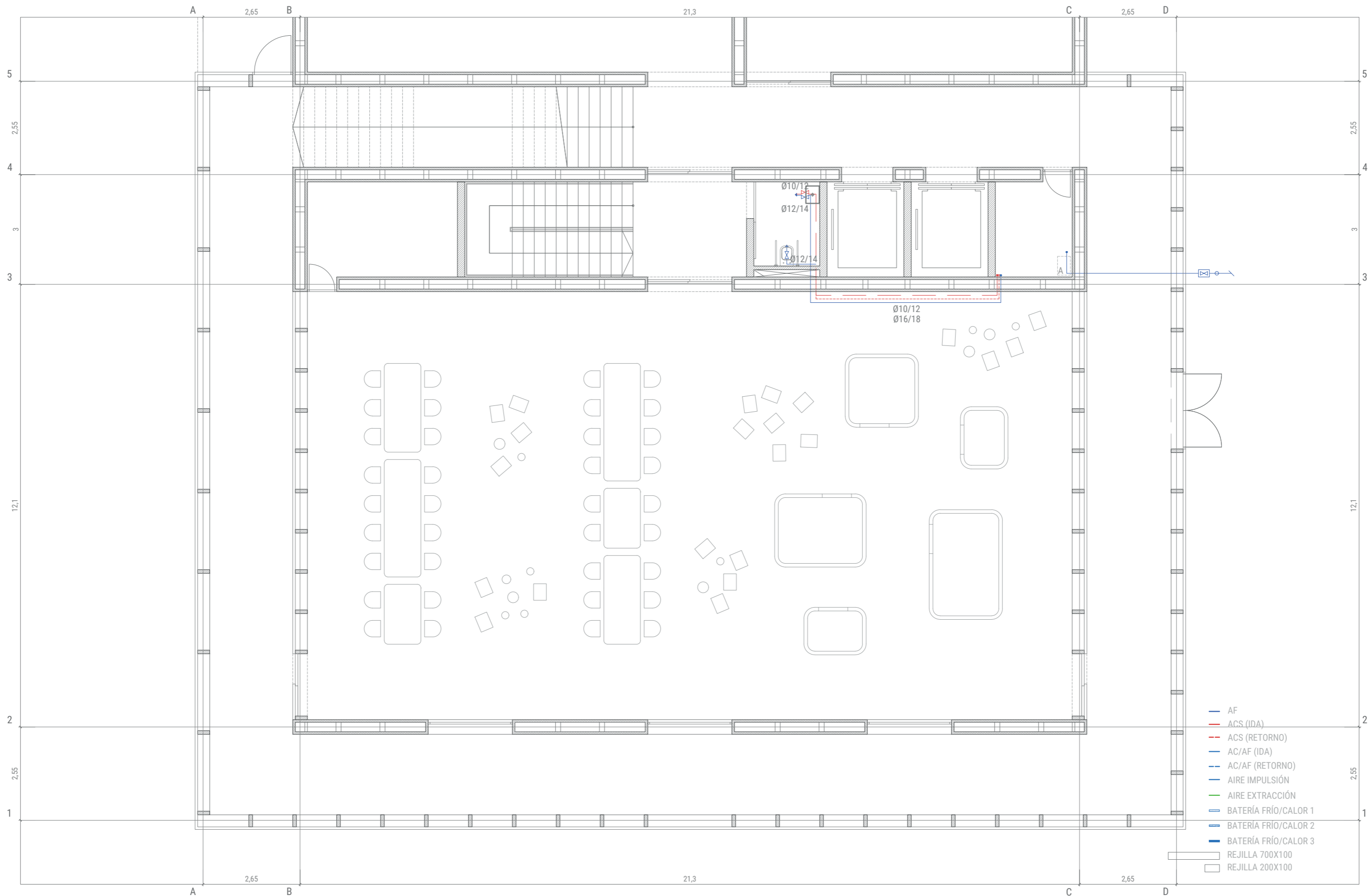
ESQUEMA GENERAL



AGUA FRÍA Y AGUA CALIENTE SANITARIA

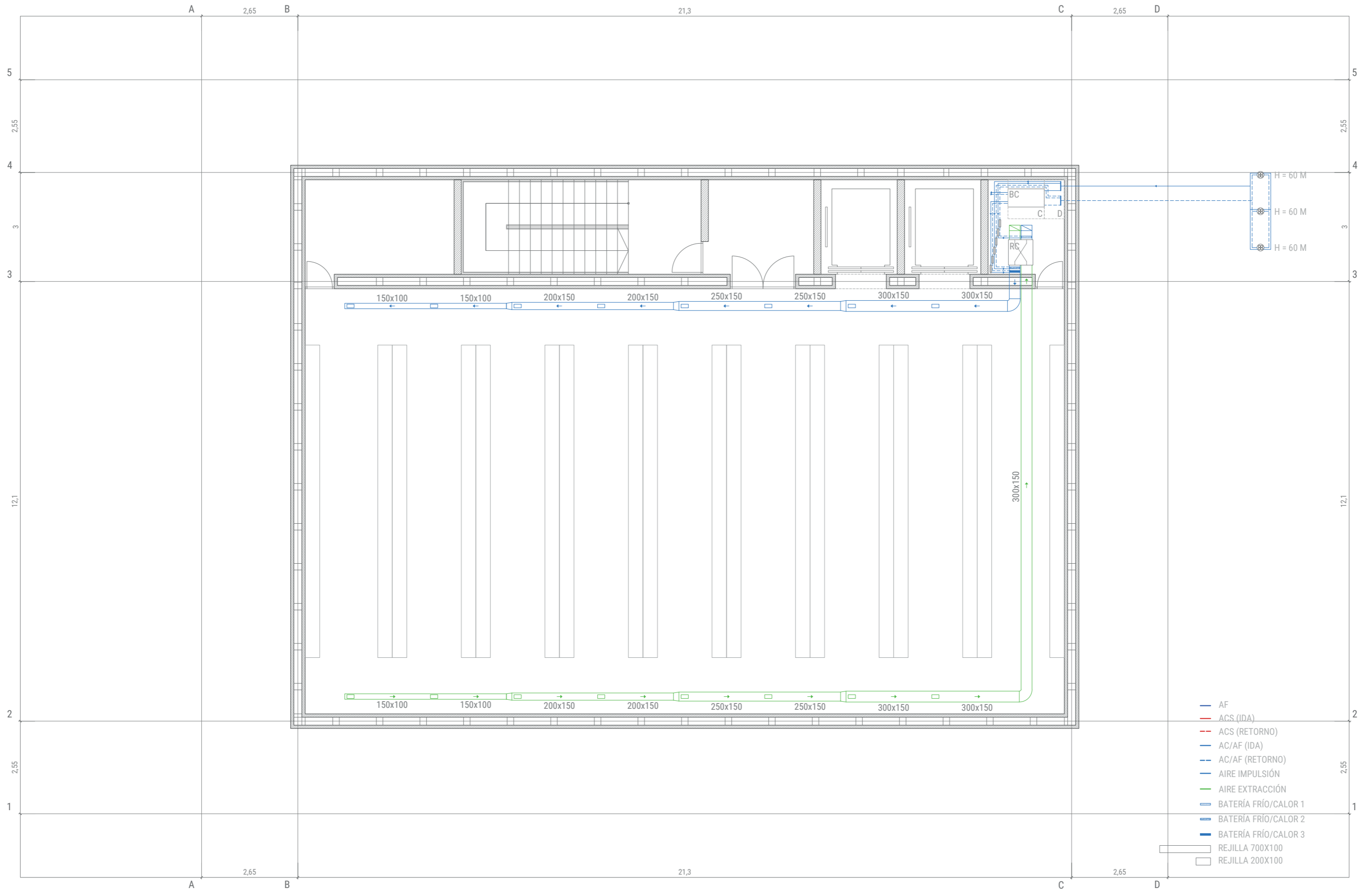


Planta sótano (-4,20) E1:100

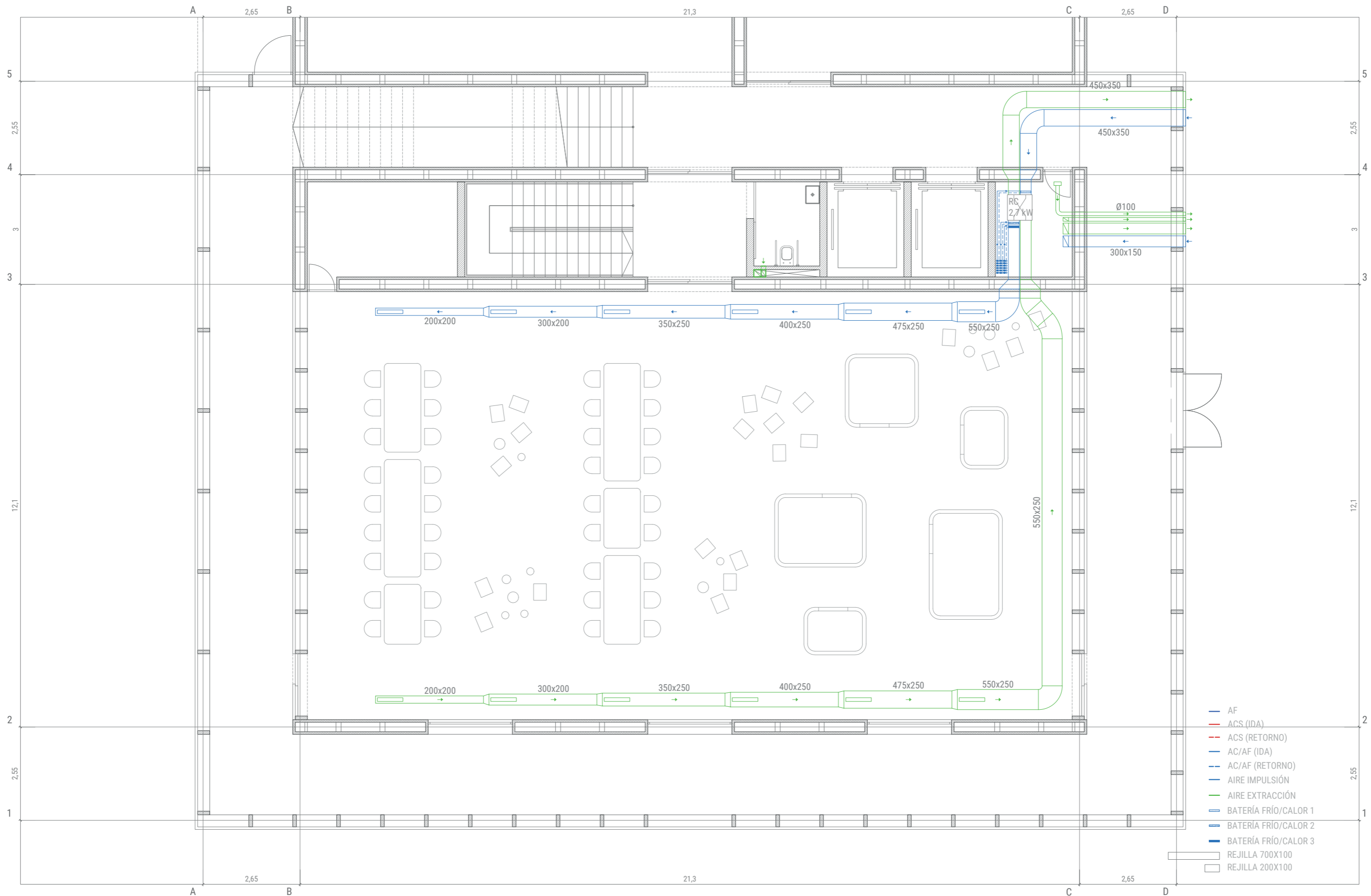


Planta baja (+0,00) E1:100

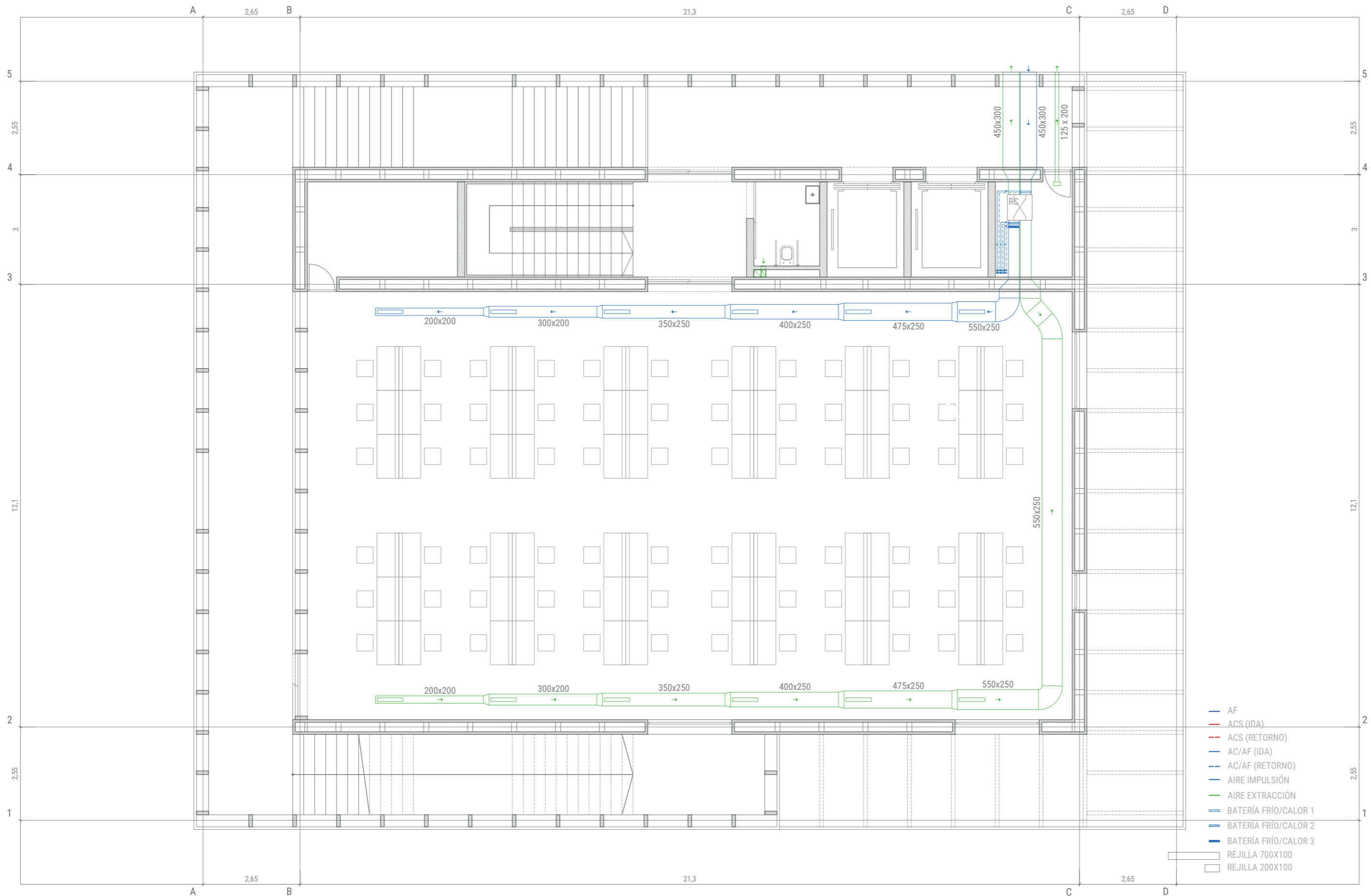
VENTILACIÓN, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN



Planta sótano (-4,20) E1:100



Planta baja (+0,00) E1:100



- AF
- ACS (IDA)
- ACS (RETORNO)
- AC/AF (IDA)
- AC/AF (RETORNO)
- AIRE IMPULSIÓN
- AIRE EXTRACCIÓN
- BATERÍA FRÍO/CALOR 1
- BATERÍA FRÍO/CALOR 2
- BATERÍA FRÍO/CALOR 3
- REJILLA 700X100
- REJILLA 200X100

Planta tercera (+12,60) E1:100

VENTILACIÓN (PHPP)

Datos de ventilación

Superficie de referencia energética A_{SRE}	m ²	2041	(Hoja 'Superficies')
Altura de la habitación h	m	3,67	
Volumen de aire interior ventilación ($A_{SRE} \cdot h \cdot V_v$)	m ³	7489	(Hoja 'Calefacción anual')

Tipo de sistema de ventilación

- Ventilación equilibrada tipo Passivhaus *Marque con una cruz*
- Sólo aire de extracción

Tasa de renovación de aire por infiltración

Coeficientes de protección al viento e y f			
Coeficiente e de clase de protección de viento	Varios lados expuestos al viento	Sólo un lado expuesto al viento	
Sin protección del viento	0,10	0,03	
Protección del viento moderada	0,07	0,02	
Protección del viento alta	0,04	0,01	
Coeficiente f	15	20	

Coeficiente de protección al viento e	P/ demanda anual	P/ periodo calefacción:	Permeabilidad al aire q_{50}
	0,07	0,18	0,34 m ³ /(h·m ²)
Coeficiente de protección al viento f	15	15	Volumen de aire fijo para el ensayo de presión V_{n50}
Tasa renovación aire ensayo presión n_{50}	1/h	0,50	2041 m ³

Exceso de aire de extracción	1/h	0,00	0,00
Tasa renovación aire por infiltración $n_{v,infiltración}$	1/h	0,010	0,024

Selección de los datos de la ventilación - resultados

El PHPP ofrece dos métodos posibles para la Planificación de los caudales de aire y la elección del aparato de ventilación. Con la Planificación estándar se puede calcular las renovaciones de aire para edificios residenciales y un aparato de ventilación como máximo. En la hoja 'Ventilación ad' se pueden considerar hasta 10 aparatos de ventilación. Los caudales de aire se pueden calcular por habitación o por zonas. Seleccione aquí el método de diseño.

Aparato de ventilación / Eficiencia de recuperación de calor

- Diseño estándar *(Hoja 'Ventilación', ver abajo)*
- Aparatos de ventilación múltiples, NR *(Hoja 'Vent-Adicional')*

Renovación de aire media m ³ /h	Tasa de renovación de aire media 1/h	Exceso de aire de extracción (Aparato extracción) 1/h	Valor de eficiencia de RC efectiva ap. de ventilación [-]	Potencia específica Wh/m ³	Valor de eficiencia de RC efectiva del ITA
4739	0,63	0,00	82,9%	0,41	0,0%

Eficiencia del intercambiador tierra-aire (ITA) η_{ITA} 0%

Tabla 22: Hoja de datos 'Datos de ventilación' de PHPP

Ventilación en verano

Volumen de aire interior ventilación:	7489	m ³	Recuperación de calor η_{HRV} :	83%
Humedad absoluta máxima interior:	12	g/kg	Recuperación de energía (humedad) η_{ER} :	0%
Fuentes internas de humedad:	2	g/(m ² ·h)	Intercambiador de calor tierra-aire η_{SHX} :	0%

Resultados refrigeración pasiva		Resultado refrigeración activa		
Frecuencia de sobrecalentamiento:	0,2%	al límite de sobrecal: $\vartheta_{max} = 25$ °C	Demanda de refrigeración útil:	0,1 kWh/(m ² ·a)
Frecuencia de humedad superada:	0,0%		Demanda de deshumidificación:	0,0 kWh/(m ² ·a)
Humedad máxima:	8,5	g/kg		

Ventilación básica en el verano para asegurar la calidad de aire suficiente

Renov. aire sist. ventilación c/aire impulsión	0,99	1/h	HRV/ERV en verano (marcar sólo un campo con 'x')
			Ninguna <input type="checkbox"/>
			Bypass automático, controlado por diferencia de temperatura <input type="checkbox"/>
			Bypass automático, controlado por diferencia entálpica <input checked="" type="checkbox"/>
			Siempre <input type="checkbox"/>
Renov. aire sist. extracción de aire	0,99	1/h	Consumo energético esp. (para sist.extracción de aire) <input type="text"/> Wh/m ³
Renov. aire ventilación por ventanas	0,50	1/h	

Tabla 23: Hoja de datos 'Ventilación en verano' de PHPP

AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN (PHPP)

Sistema de distribución de agua caliente sanitaria y calefacción

Demanda anual de calefacción Q_{cal} :	14702	kWh/a
Duración de periodo de calefacción:	201	d
Carga media de calefacción P_{Media} :	3,0	kW
Aprovechamiento máx ganancias de calor adicionales:	72%	

Red de calefacción

Longitud de las tuberías de distribución	A_{Cal} (Proyecto)		
Coefficiente de pérdida de calor por m de tubería	Ψ (Proyecto)		
Temp. de la habitación por la que pasa la tubería	ϑ_x Cuarto de máquinas		
Temp. de ida de diseño	ϑ_{ida} Valor de ida de diseño		
Carga de calefacción de diseño	P_{cal} (Disponible o calculado)		
Regulación de la temp. de ida (marcar una "x" si es el caso)			
Temp. de retorno de diseño	ϑ_{vuelta}	$= 0.714 \cdot (\vartheta_{ida} - 20) + 20$	
Emisión de calor anual por m de tubería	$q_{tub,cal}$	$= Y \cdot (J_{med} - \vartheta_x) \cdot l_{ca} \cdot 0.024$	
Grado de aprovechamiento posible de emisión de calor	η_G		
Pérdidas anuales	$Q_{tub,Cal}$	$= L_{Cal} \cdot q_{tub,Cal} \cdot (1 - \eta_G)$	
Pérdidas específicas	$Q_{tub,Cal}$	$= \sum Q_{tub,Cal} / A_{SRE}$	
Rendimiento de la distribución de calor	$e_{a,HL}$	$= (q_{cal} + q_{tub,Cal}) / q_{cal}$	

ACS: calor útil estándar

Consumo de ACS por persona y día (60 °C)	V_{ACS} (Proyecto o valor medio 25 litro/P/d)		
Temp. media de ida del agua fría	ϑ_{AF} Temperatura de agua potable (de hoja 'Electricidad')		
Demanda no eléctrica de ACS de lavadoras y lavavajillas			
Calor útil ACS	Q_{ACS}		
Calor útil específico ACS	q_{ACS}	$= Q_{TACS} / A_{SRE}$	

Distribución y acumulación de ACS

Longitud tuberías de circulación (ida + retorno)	L_{Circ} (Proyecto)		
Coefficiente de pérdida de calor por m de tubería	Ψ (Proyecto)		
Temp. de la habitación por la que pasa la tubería	ϑ_x Cuarto de máquinas		
Temp. de ida de diseño	ϑ_{ida} Valor de ida de diseño		
Tiempo de funcionamiento de la circulación al día	$t_{d,circ}$ (Proyecto)		
Temperatura de retorno de diseño	ϑ_{vuelta}	$= 0.875 \cdot (\vartheta_{ida} - 20) + 20$	
Tiempo de funcionamiento de la circulación al año	t_{circ}	$= 365 \cdot t_{d,circ}$	
Emisión de calor anual por m de tubería	q_{circ}	$= Y \cdot (J_{med} - \vartheta_x) \cdot t_{circ}$	
Grado aprovechamiento posible emisión de calor	η_{GACS}	$= t_{cal} / 365 \cdot \eta_G$	
Pérdida calor anual tuberías de circulación	Q_{circ}	$= L_z \cdot q_{circ} \cdot (1 - \eta_{GACS})$	
Longitud total de las tuberías individuales	L_{red} (Proyecto)		
Diámetro exterior del tubo	d_{Red} (Proyecto)		
Aperturas de grifo al día			
Días de uso anuales (d/a)			
Emisión de calor por cada apertura de grifo	$q_{Individual}$	$= (c_{p,H_2O} \cdot V_{H_2O} + c_{p,Mat} \cdot V_{Mat}) \cdot (\vartheta_{isa} - \vartheta_x)$	
Cantidad de aperturas de grifo por año	n_{toma}	$= n_{Pers} \cdot n_{toma} \cdot d / n_{WE}$	
Emisión de calor anual	q_{Red}	$= n_{toma} \cdot q_{Individual}$	
Grado aprovechamiento posible emisión de calor	$\eta_{G,Red}$	$= t_{cal} / 8760 \cdot \eta_G$	
Pérdida de calor anual de las tuberías individuales	Q_{Red}	$= L_{Red} \cdot q_{Red} \cdot (1 - \eta_{G,Red})$	
Emisión media de calor acumulador/tanque	P_{acum}		
Grado aprovechamiento posible emisión de calor	$\eta_{G,Acum}$	$= t_{cal} / 8760 \cdot \eta_G$	
Pérdidas de calor anuales por acumulador/tanque	Q_{Acum}	$= P_{Acum} \cdot 8.760 \cdot kh \cdot (1 - \eta_{G,Tan})$	

Localización			Total		
Dentro envolvente térmica	Fuera de la envolvente térmica				
1	2	3			
39,60	4,70				m
0,234	0,194				W/(mK)
20	0,0				°C
60,0	60,0				°C
17499,0	0,0				kW
x					
48,6	48,6				°C
0	51				kWh/(m·a)
72%	0%				-
1	239	0	240		kWh/a
					kWh/(m²a)
			102%		-
			12,0		Litros/pers/d
			11,1		°C
			0		kWh/a
			75720		kWh/a
					kWh/(m²a)
					37,1

Localización			Total		
Dentro envolvente térmica	Fuera de la envolvente térmica				
1	2	3			
92,3					m
0,194					W/mK
20					°C
50,0					°C
10,0					h/d
46					°C
3650					h/a
20					kWh/m·a
39%					-
1112			1112		kWh/a
16,50					m
0,014					m
0	0	0			-
252	252	252			d
0,0635					kWh/apertura por grifo
0					Aperturas de grifo/año
0					kWh/a
39%					-
0			0		kWh/a
100					W
39%					
530			530		kWh/a
			1642		kWh/a
					kWh/(m²a)
			102%		-
			77363		kWh/a
					kWh/(m²a)
					37,9

Tabla 25: Hoja de datos 'Sistema distribución de calefacción y ACS' de PHPP

Bomba de calor

Proporción de cobertura de la demanda de calefacción	(Hoja 'Valor-EP')	30%	
Demanda de calefacción + pérdidas por distribución	$Q_{Cal} + Q_{tub, Cal}$ (Hoja 'Distribución+ACS')	14942	kWh/a
Proporción solar calefacción	$\eta_{Solar, Cal}$ (Hoja 'ACS-Solar')	0%	
Demanda de calefacción efectiva anual	$Q_{Cal,ef} = Q_{Cal} * (1 - \eta_{Solar, Cal})$	4483	kWh/a
Proporción de cobertura de demanda de ACS	(Hoja 'Valor-EP')	30%	
Demanda total del sistema de ACS	Q_{toIACS} (Hoja 'Distribución+ACS')	77489	kWh/a
Proporción solar ACS	$\eta_{Solar, ACS}$ (Hoja 'ACS-Solar')	0%	
Demanda de ACS efectiva	$Q_{ACS,ef} = Q_{ACS} * (1 - \eta_{Solar, ACS})$	23247	kWh/a
Número de bombas de calor en el sistema		1	
Función		Calefacción y ACS	
Datos para calefacción			
Selección de BC: Salmuera estándar / bomba de calor agua	Fuente de calor:	Sondas geotérmicas	
Selección de sistema de distribución		Calefacción por aire de impulsión	
Temperatura de cálculo sistema de calefacción	$\theta_{diseño}$ (Hoja 'Distribución+ACS')	55,00	°C
Potencia nominal del sistema de distribución	P_{nom}	5,16	kW
Almacenamiento de calefacción		No	
Pérdidas de calor específicas por almacenamiento	$U * A_{Acum}$		W/K
Ubicación acumulador/tanque	Interior o exterior de la env.term.	Interior	
Temperatura interior (ubicación del almacenamiento: fuera de la envolvente térmica)	(Hoja 'Distribución+ACS')	0,00	°C
Temperatura de disipador de bomba de calor para calefacción	$\theta_{disminución}$	55,00	°C
Datos para ACS			
Selección de BC: Salmuera estándar / bomba de calor agua	Fuente de calor:	Sondas geotérmicas	
Temperatura ACS	(Hoja 'Distribución+ACS')	50,00	°C
Posición tanque de ACS	Dentro o fuera de la envolvente térmica	Interior	
Pérdidas de calor específicas por almacenamiento	$U * A_{Acum}$	2,5	W/K
Temperatura interior (ubicación del almacenamiento: fuera de la envolvente térmica)	(Hoja 'Distribución+ACS')		°C
Tipo de calefacción de respaldo		Calentador de inmersión eléctrico	
$\Delta\theta$ Calentador de paso eléctrico			K
Una bomba de calor con funcionamiento: calefacción y ACS			
Misma temperatura de disipador de bomba de calor para calefacción y ACS		No	
Prioridad bomba de calor	(Fabricante, ficha técnica)	Prioridad calefacción	
Estrategia de control			
Estrategia de control		Encendido / apagado	
Terreno y agua subterránea como fuente para la bomba de calor			
Profundidad (horizontal / vertical) del intercambiador de calor en el	Z	60,0	m
Consumo eléctrico de bomba (agua subterránea)	Q_{Bomba}	21307	kWh/a
Energía por electricidad directa	$Q_{E,dir}$	0	kWh/a
Aportación de calor la BC al espacio calefactado	$Q_{BC,Calef}$	4444	kWh/a
Aportación de ACS de la BC en invierno	$Q_{BC,ACS,invierno}$	4613	kWh/a
Aportación de ACS de la BC en verano	$Q_{BC,ACS,Verano}$	18634	kWh/a
Calefacción generada por BC sin pérdidas de calor por acumu	$Q_{BC,Calef}$	4483	kWh/a
Aportación de ACS de la BC en invierno sin pérdidas por alma	$Q_{BC,ACS,invierno}$	4573	kWh/a
Aportación de ACS de la BC en verano sin pérdidas por almace	$Q_{BC,ACS,Verano}$	18476	kWh/a
Consumo eléctrico de la BC	Q_{elBC}	8250	kWh/a
1. HP: Calefacción o calefacción y ACS			
Factor de rendimiento estacional de la bomba de calor	SPF_{H-1}	0,94	
Factor de rendimiento estacional sistema	SPF_{H-3}	0,93	
Rendimiento anual del generador de calor, calefacción y ACS		107%	
Demanda de energía final del generador de calor	Q_{final}	29557	kWh/a
Demanda anual de energía primaria (EP)		76848	kWh/a
Emisión anual de CO ₂ equivalente		20099	kg/a
2. BC: Agua caliente			
			kWh/(m ² a)
		14,5	
		37,7	
			kg/(m ² a)
		9,8	

Tabla 26: Hoja de datos 'Bomba de calor' de PHPP

Bomba de calor y sondas geotérmicas

Sondas geotérmicas

Configuración del campo de la sonda
 Profundidad de sonda (Hoja 'BC')
 Distancia entre sondas
 Profundidad (z=H/2)
 Tipo de sonda
 Radio de la perforación
 Radio interno del tubo
 Radio exterior del tubo
 Distancia entre tubos
 Radio interno del tubo (coaxial)
 Radio exterior del tubo con recubrimiento (sólo coaxial)
 Conductividad térmica del tubo
 Conductividad térmica de relleno
 Constante de tiempo de la sonda
 Resistencia interna de la perforación
 Resistencia de la perforación

C	3 sondas alineadas	
H	60	m
B	1	m
z	30	m
A	Doble-U	
R _b	0,108	m
R _i	0,033	m
R _a	0,040	m
BU	0,032	m
R _{i2}		m
R _{a2}		m
λ _R	0,42	W/(mK)
λ _F	2,40	W/(mK)
t _p	8889	d
R _a	0,031	Km/W
R _b	0,061	Km/W

Terreno

Tipo de terreno
 Densidad del terreno
 Capacidad térmica del terreno
 Conductividad térmica del terreno
 Conductancia de temperatura terreno
 Gradiente de temperatura del terreno

B	Arena, 13% humedad	
ρ _E	1600	kg/m ³
cp _E	1800	J/(kgK)
λ _E	1,5	W/(mK)
a _E	5,20833E-07	m/s ²
ΔT _G	0,022	K/m

Propiedades de la salmuera

Salmuera (características a 2°C)
 Densidad de la salmuera
 Viscosidad dinámica de la salmuera
 Capacidad térmica salmuera
 Conductividad térmica de salmuera
 Salmuera - flujo másico

A	Etilenglicol 25%	
ρ _S	1052	kg/m ³
η _S	0,0052	kg/(ms)
cp _S	3950	J/(kgK)
λ _S	0,48	W/(mK)
m _S	23,2	kg/s

Tipo de operación

¿Calor de escape de la refrigeración activa hacia la sonda geotérmica?

x

Duración de la operación de la bomba de calor
 Rango específico de extracción de calor como promedio anual

	679,64	h/a
q _{ex}	-130	W/m
H/R _b	2938	W/K

Clima

Duración del periodo
 Temperatura promedio del terreno
 Amplitud de temperatura en la superficie
 Cambio superficial de fases

	365	d
T _{m0}	11,1	°C
T1	8,8	°C
t ₀₂	39	d

Características del terreno

	Conductividad térmica [W/(mK)]	Densidad [kg/m ³]	Capacidad térmica [J/(kg K)]	Capacidad térmica [MJ/(m ³ K)]	Conductividad temperatura [10 ⁻⁷ m ² /s]	Fuente
A	0,980	1440	1507	2,170	4,520	[Neiß 1977]
B	1,500	1600	1800	2,880	5,210	[Neiß 1977]
C	0,520	2000	1840	3,680	1,410	[VDI 1984]
D	2,300	1650	2847	4,700	4,900	[Neiß 1977]
E	1,280	1500	880	1,320	9,700	[VDI 1984]
F	2,200	2550	882	2,250	9,780	[VDI 2000]
G	2,100	2700	870	2,350	8,940	[VDI 2000]
H	1,500	1920	2938	5,640	2,660	[ISO 13370]
I	3,500	2500	2500	6,250	5,600	[ISO 13370]
J						

Propiedades de la salmuera

	Temperatura [°C]	Densidad [kg/m ³]	Capacidad térmica [J/(kg K)]	Conductividad térmica [W/(mK)]	Viscosidad dinámica [kg/(ms)]
A	2	1052	3950	0,480	0,0052
B	2	1265	2941	0,544	0,0031
C	2	1226	3190	0,534	0,00237
D	2	997	4190	0,590	0,001307
E					

Resultado del cálculo de la sonda geotérmica

Mes	Perforación Temperatura °C
1	15,5
2	15,5
3	15,2
4	14,9
5	14,7
6	14,7
7	15,5
8	15,5
9	14,7
10	14,7
11	15,0
12	15,3

Tabla 27: Hoja de datos 'BC terreno (sondas y colectores geotérmicos)' de PHPP

REFRIGERACIÓN (PHPP)

Aparatos de refrigeración

Temperatura interior verano:	25,0	°C	Refrigeración mecánica:	x
Humedad nominal:	12,0	g/kg	Intercambio de aire por el sistema de ventilación con aire de impulsión:	1,0
Fuentes internas de humedad:	2,0	g/(m²h)		

Refrigeración a través del aire de impulsión

Marcar, si procede

Funcionamiento de ciclo operativo (marcar con 'x')	<input type="checkbox"/>
Capacidad de refrigeración máx. (sensible + latente)	28,5 kW
Reducción de temperatura bulbo seco	11,3 K
Relación de eficiencia energética (EER)	4,1

Refrigeración del aire en circulación

Marcar, si procede

Funcionamiento de ciclo operativo (marcar con 'x')	<input type="checkbox"/>
Capacidad de refrigeración máx. (sensible + latente)	kW
Volumen de aire en potencia nominal	m³/h
Reducción de temperatura bulbo seco	K
Volumen de aire variable (marque con 'x' si aplica)	<input type="checkbox"/>
Relación de eficiencia energética (EER)	

Deshumidificación adicional

Marcar, si procede

Calor de escape hacia habitación (marcar con 'x')	<input type="checkbox"/>
Relación de eficiencia energética (EER)	

Refrigeración mediante superficies

Marcar, si procede

Relación de eficiencia energética (EER)	
-----------------------------------------	--

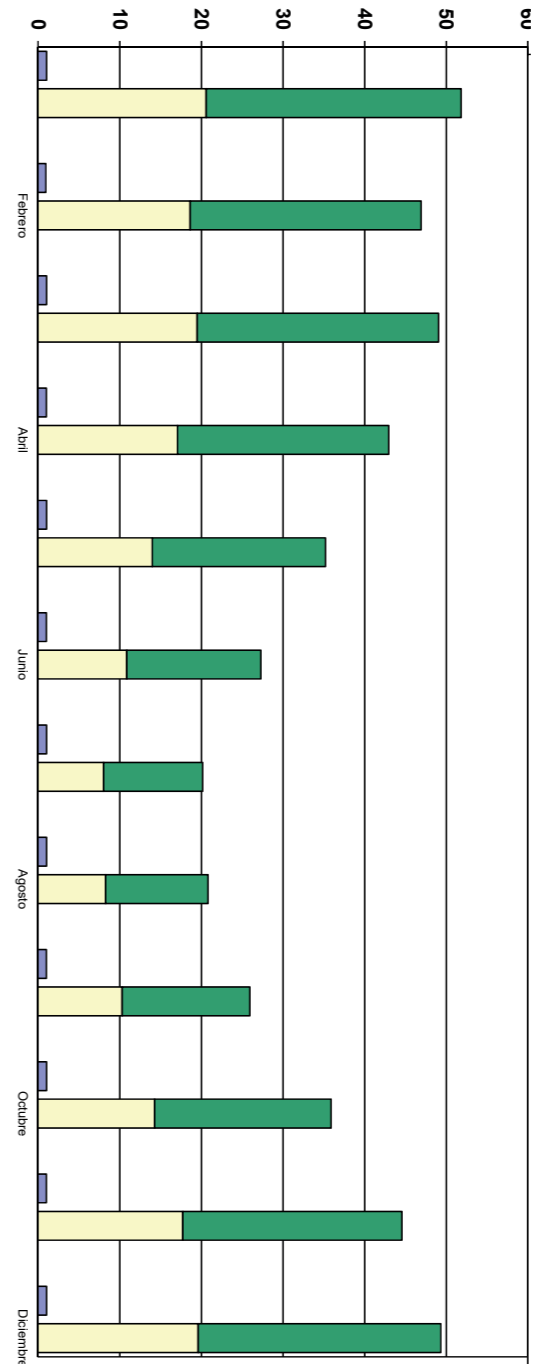
	Sensible kWh/(m²a)	Latente kWh/(m²a)	EER	Demanda electricidad kWh/(m²a)	Proporción sensible
Total refrigeración útil	0,1	0,0			100%
Contribución a la refrigeración por:					
Refrigeración a través del aire de impulsión	(0,1 + 0,0) / 4,1 = 0,0				100%
Refrigeración del aire en circulación	(/ +) / 0,0 =				0%
Deshumidificación					100%
Potencia restante refrigeración mediante superficies					100%
Total	(0,1 + 0,0) / 4,1 = 0,0				100%

Demanda no cubierta	0,0	0,0	¿Demanda de refrigeración cubierta?	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
----------------------------	-----	-----	-------------------------------------	----------------------------------------

Cargas de humedad y eliminación de la humedad

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Fuentes internas de humedad:	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	12	kWh/m²
Infiltración / Ventana / Sistema de extracción	-31,2	-28,3	-29,5	-25,9	-21,2	-16,4	-12,1	-12,5	-15,6	-21,6	-26,8	-29,7	-271	kWh/m²
Sistema de ventilación, aire de impulsión	-20,6	-18,7	-19,5	-17,1	-14,0	-10,9	-8,0	-8,3	-10,3	-14,3	-17,7	-19,6	-179	kWh/m²
Ventilación en verano por ventanas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh/m²
Ventilación en verano mecánica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh/m²
Cargas de humedad totales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh/m²
Deshumidificación por refrigeración del aire de impulsión	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación por refrigeración de aire en circulación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación adicional	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación innecesaria	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación faltante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh

Cargas de humedad (izquierda) Energía para deshumidificación (derecha) [kWh/(m² mes)]



- Fuentes internas de humedad
- Sistema de ventilación, aire de impulsión
- Infiltración / Ventana / Sistema de extracción de aire
- Ventilación en verano por ventanas
- Ventilación en verano mecánica
- Deshumidificación por refrigeración del aire de impulsión
- Deshumidificación por refrigeración de aire en circulación
- Deshumidificación adicional
- Deshumidificación innecesaria
- Deshumidificación faltante

Tabla 28: Hoja de datos 'Aparatos de refrigeración' de PHPP

CONCLUSIÓN

5.1. CERTIFICACIÓN PASSIVHAUS	73
5.2. CERTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS	74
5.3. CONCLUSIÓN FINAL	75

Comprobación Passivhaus



Edificio:	Bibliothek		
Calle:	Walzenhauserstrasse 2		
CP / Ciudad:	9434/Au		
País:	Suiza		
Tipo de edificio:	Edificio público		
Clima:	[CH] - St. Gallen	Altitud del sitio del edificio (en [m] sobre el nivel del mar):	402
Propietario / cliente:	TFG		
Calle:	Campo del Príncipe		
CP / Ciudad:	Granada		
Arquitectura:	Cristina Camús Munguía		
Calle:			
CP / Ciudad:			
Instalaciones:	Cristina Camús Munguía		
Calle:			
CP / Ciudad:			
Año construcción:	2020	Temperatura interior invierno:	20,0 °C
Nr. de viviendas:	0	Temperatura interior verano:	25,0 °C
Nr. de personas:	305,0	Cargas internas de calor invierno:	3,5 W/m ²
Cap. específica:	168 Wh/K por m ² SRE	ídem verano:	3,5 W/m ²
		Volumen exterior V _e m ³ :	8400,0
		Refrigeración mecánica:	x

[Ir a selección de datos climáticos](#)

Cálculo de la demanda eléctrica / ganancias internas de calor

Tipo de edificio: Edificio no residencial

Ganancias internas de calor (GIC)

Tipo de uso: Oficinas / edificio administrativo

Tipo de valores utilizados: Estándar

Ocupación proyectada

305 Datos del usuario

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año

	Superficie de referencia energética	2040,7 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	7 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	sí
	Carga de calefacción	8 W/m ²	10 W/m ²	sí
Refrigeración	Demanda total refrigeración	0 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	sí
	Carga de refrigeración	6 W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	84 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	sí
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	84 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n ₅₀	0,5 1/h	0,6 1/h	sí

* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

Passivhaus?

sí

Certificación tipo: Passivhaus

Confirmamos que los valores aquí presentados han sido determinados siguiendo la metodología PHPP y están basados en los valores característicos del edificio. Los cálculos con PHPP están adjuntos a esta aplicación.

Nombre: Cristina

Apellidos: Camús Munguía

Compañía:

PHPP Versión 8.4.1
Número de registro PHPP:

Expedido en:

Firma:

Las celdas con requerimientos para rehabilitaciones EnerPHit en el caso de certificación según la calidad de los elementos constructivos se pueden mostrar activando la agrupación (izquierda). Para esto, desactive la protección de la hoja y después muestre las líneas adicionales mediante el signo de agrupación (+). Finalmente reactive la protección de hoja.

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Bibliothek		
Dirección	Walzenhauserstrasse 2		
Municipio	Logroño	Código Postal	22700
Provincia	La Rioja	Comunidad Autónoma	La Rioja
Zona climática	D2	Año construcción	2019
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	CTE 2013		
Referencia/s catastral/es	1156003		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

<input type="radio"/> Edificio de nueva construcción	<input checked="" type="radio"/> Edificio Existente
<input type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Unifamiliar <input type="radio"/> Bloque <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Bloque completo <input type="radio"/> Vivienda individual 	<input checked="" type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Edificio completo <input type="radio"/> Local

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Cristina Camus Munguía	NIF(NIE)	-
Razón social	-	NIF	-
Domicilio	-		
Municipio	Almería	Código Postal	-
Provincia	Almería	Comunidad Autónoma	Andalucía
e-mail:	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	Grado en Arquitectura		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CEXv2.3		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m² año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO2/ m² año]

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 27/06/2019

Firma del técnico certificador

Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.

Anexo II. Calificación energética del edificio.

Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Emisiones calefacción [kgCO2/m² año]	A	Emisiones ACS [kgCO2/m² año]	A
	0.00		0.00	
Emisiones globales [kgCO2/m² año]	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]	A	Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]	A
	0.00		7.27	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	6.78	13659.62
Emisiones CO2 por otros combustibles	0.00	0.00

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Energía primaria calefacción [kWh/m² año]	A	Energía primaria ACS [kWh/m² año]	A
	0.00		0.00	
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]	A	Energía primaria iluminación [kWh/m² año]	A
	0.00		42.93	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción [kWh/m² año]	Demanda de refrigeración [kWh/m² año]

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales

5.3. CONCLUSIÓN FINAL

En el pasado, el concepto de arquitectura pasiva consistía en aportar soluciones arquitectónicas a un determinado clima, con unos sistemas de climatización sencillos. Esta forma de hacer arquitectura se ha construido sin un control energético tanto en la fase de proyecto, como en la de ejecución. El estándar Passivhaus combina las soluciones pasivas con los sistemas tecnológicos de los que hoy en día disponemos, haciendo posible un control energético y de confort.

Este estándar es, en ocasiones, erróneamente vinculado a viviendas o edificios de menor tamaño. Sin embargo, en este caso se ha demostrado que es igualmente aplicable a edificios terciarios de gran tamaño sin comprometer la idea de proyecto. La envolvente térmica y el resto de sistemas de acondicionamiento pasivo ha permitido reducir la demanda de energía notablemente. Por su parte, los sistemas de acondicionamiento activo usados han hecho posible, con su diseño, un gasto de energía primaria reducido al gestionar la energía de forma más eficiente.

Aunque, el haber obtenido unos índices de demanda y carga energéticos muy por debajo del límite establecido nos da a entender que la demanda energética es muy reducida, es necesario considerar que el gasto energético del edificio no se limita únicamente a esto. Los materiales utilizados son, en su mayoría, contaminantes en su producción. En el caso del poliuretano, utilizado como aislamiento en la mayor parte del edificio, tan solo un 25% de su composición proviene de materiales reciclados, no es un material biodegradable, y su reciclado resulta difícil y costoso. Por otra parte, también es necesario incluir el coste energético y contaminación generada por el transporte de los materiales.

Los recursos fósiles se agotan a un ritmo que supera por creces su formación por procesos naturales, las emisiones de CO₂ son cada vez más alarmantes. Como

solución a estos problemas, la eficiencia energética ha ido tomando cada vez mayor importancia en el ámbito legislativo y el estándar Passivhaus el modelo al que adherirse. Sin embargo, **si nos hallamos en la búsqueda del ahorro energético, es el momento de considerar, no solo el ahorro diario de energía del edificio, si no también el ahorro desde el proceso de ejecución, hasta una posible segunda vida de los materiales utilizados.**

BIBLIOGRAFÍA

6.1. CITAS Y REFERENCIAS	77
6.2. DOCUMENTOS DE CONSULTA	78

6.1. CITAS Y REFERENCIAS

Anna Holtzman. (2005). Aerogels on the rise. Washington: Hanley-Wood, Incorporated.
Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/227819691>

Código técnico de la edificación. documento básico HE eficiencia energética, (2017).

Conserjería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid. (2011). Guía del estándar passivhaus. edificios de consumo casi nulo. Madrid:

Directiva 2002/91/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios, DirectivaU.S.C. (2002).

Directiva 2010/31/UE del parlamento europeo y del consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición), DirectivaU.S.C. (2010).

Fernández, P. S. (2011). Reto Europeo: la Eficiencia Energetica en Edificios. La Nueva Directiva Comunitaria 31/2010. Sequência: Estudos Juridicos e Politicos, 32(62), 55-77. Retrieved from <https://doaj.org/article/bf4672bd43f04103963741b8b88fdb94>

Foro para la Edificación Sostenible de la Comunidad Valenciana. (2014). Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación

Müller, M. O. (2012). How can the diffusion of energy-efficient renovations of buildings be accelerated? University of St.Gallen, Business Dissertations, , 1.

Muñoz, C., & Bovadilla, A. (2012). Simulación y evaluación de puentes térmicos: Soluciones constructivas típicas aprobadas por la norma térmica para elementos verticales en estructura de madera y metálicos en la zona 4 simulaciones con therm y usai y evaluación con método de cámara térmica. Revista De La Construcción, 11(2)

6.2. DOCUMENTOS DE CONSULTA

Bonet, I., & Sabater, I. (2010). Color, materiales y luz en las bibliotecas de la xarxa de barcelona. Paper presented at the Barcelona.

Ching, F. D. K., Shapiro, I. M., & Jiménez Romera, C. (2015). Arquitectura ecológica : Un manual ilustrado. Barcelona: Gustavo Gili.

Entrena González, F. J. (2013). Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios. Antequera, Málaga: IC Editorial.

García Gutiérrez, M. A. (2012). El proyecto de las instalaciones de climatización : Cumplimiento de normativa. Jaén: Universidad de Jaén.

Recuero González, A. (2006). Cálculo y diseño de una desaladora e integración en una central térmica de ciclo combinado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona). Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/4619>

Rosas, i. C. (2003). Instalaciones de calefacción. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.

Segura Manzano, A. A. (2012). Organización y ejecución del montaje de instalaciones de climatización y ventilación-extracción. Antequera, Málaga: Innovación y Cualificación.

Strongman, C. (2009). La casa sostenible : Guía imprescindible para construir, reformar y decorar de forma ecológica. Barcelona: Océano.

Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (Jun 1, 2006). Zero energy buildings: A critical look at the definition; preprint. Paper presented at the Retrieved from <https://www.osti.gov/servlets/purl/883663>

Torrescusa Valero, Á. (2017). Conocimientos básicos de instalaciones térmicas en edificios (3rd ed.). Lorqui (Murcia): Cano Pina.