



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio de las propuestas ganadoras del concurso “Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores sostenibles” basadas en el diseño modular arquitectónico.

Study of the winning proposals from the “Regeneration of Residential Buildings with Innovative Sustainable Systems” competition based on modular architectural design.

Autor

Laura Luz Camardiel

Director

Almudena Espinosa Fernández

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza
2025

**Estudio de las propuestas
ganadoras del concurso
“Regeneración de edificios de
viviendas con sistemas innovadores”
basadas en el diseño
modular arquitectónico.**

Laura Luz Camardiel

Estudio de las propuestas ganadoras del concurso
“Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores”
basadas en el diseño modular arquitectónico.

Study of the winning proposals from the
“Regeneration of Residential Buildings with Innovative Sustainable Systems”
competition based on modular architectural design.

Trabajo Fin de Grado
2024-2025

Autora

Laura Luz Camardiel

Directora

Almudena Espinosa Fernández

Grado en Estudios en Arquitectura
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de Zaragoza

Resumen

Estudio de las propuestas ganadoras del concurso “Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores sostenibles” basadas en el diseño modular arquitectónico.

La arquitectura modular se ha consolidado como una de las líneas de investigación más relevantes en la actualidad, aunque su marco conceptual continúa siendo ambiguo. Términos como «módulo», «modularidad» o «modularización» se emplean de forma diversa según disciplinas y contextos, y no existe todavía una definición consensuada del módulo como unidad volumétrica funcional. Esta falta de claridad hace necesario revisar el concepto y comprender cómo estas unidades pueden actuar no solo como piezas constructivas repetitivas, sino también como elementos capaces de modificar el comportamiento ambiental y espacial de los edificios existentes.

Desde esta base, el trabajo analiza el diseño modular como estrategia de acondicionamiento ambiental a través de cuatro casos concretos. En primer lugar, se toma como referente el proyecto “Transformación de 530 viviendas” (Grand Parc) de Lacaton & Vassal para fijar una metodología de análisis basada en la identificación del módulo, su jerarquía constructiva y su capacidad de acondicionamiento ambiental. A partir de esta referencia, se examinan las tres propuestas ganadoras del concurso BIT Habitat “Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores sostenibles”, aplicando el mismo marco comparativo para estudiar cómo cada una formula su propio módulo, cómo lo integra en la rehabilitación del edificio existente y qué estrategias de prefabricación y desmontabilidad incorpora.

Abstract

Study of the winning proposals from the “Regeneration of Residential Buildings with Innovative Sustainable Systems” competition based on modular architectural design.

Modular architecture has become one of the most relevant lines of research today, although its conceptual framework remains ambiguous. Terms such as «module», «modularity» or «modularisation» are used differently across disciplines and contexts, and a consensual definition of the module as a functional volumetric unit has yet to be established. This lack of clarity makes it necessary to revisit the concept and understand how these units can operate not only as repetitive constructive elements, but also as components capable of modifying the environmental and spatial performance of existing buildings.

Building on this foundation, the study analyses modular design as a strategy for environmental conditioning through four specific cases. First, the project “Transformation of 530 dwellings” (Grand Parc) by Lacaton & Vassal is taken as a reference to establish a methodology of analysis based on the identification of the module, its constructive hierarchy, and its environmental conditioning capacity. From this precedent, the three winning proposals of the BIT Habitat competition “Regeneration of residential buildings with innovative sustainable systems” are examined, applying the same comparative framework to study how each one formulates its own module, how it integrates it into the rehabilitation of the existing building, and what prefabrication and disassembly strategies it incorporates.

ÍNDICE

- 7 **01. INTRODUCCIÓN**
 - 01.01 Tema y motivación
 - 01.02 Metodología y fuentes
- 11 **02. CONTEXTO**
- 17 **03. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?**
 - 03.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular
 - 03.01.01 Módulo
 - 03.01.02 Modular
 - 03.01.03 Modularidad
 - 03.01.04 Modularización
 - 03.01.05 Coordinación modular
 - 03.02 Propuesta de definición y jerarquía de módulo en construcción
 - 03.02.01 Clasificación según el grado de prefabricación del modulo
 - 03.03 Ventajas y contexto del diseño modular
- 47 **04. EL DISEÑO MODULAR COMO ESTRATEGIA DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL**
 - 04.01 Antecedente: Lacaton & Vassal
- 73 **05. ANÁLISIS DE LOS MÓDULOS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL**
 - 05.01 Metodología
 - 05.02 Casos de estudio
 - 05.03 Definición de los criterios de comparación
 - 05.04 Análisis de discusión de los resultados
 - 05.04.01 Caso de estudio 1
 - 05.04.02 Caso de estudio 2
 - 05.04.03 Caso de estudio 3
 - 05.04.04 Análisis comparativo por etapas
- 177 **06. CONCLUSIONES**
- 185 **07. BIBLIOGRAFÍA**



01 INTRODUCCIÓN

01.01 Tema y motivación

El presente trabajo se centra en el estudio del diseño modular aplicado a la rehabilitación de edificios de vivienda colectiva, con especial atención a la definición precisa del concepto de «módulo» y a su potencial como herramienta de acondicionamiento ambiental. El objetivo principal es comprender el diseño modular en toda su complejidad terminológica, constructiva y operativa y analizar su capacidad para transformar el edificio existente mediante intervenciones prefabricadas, reversibles y de bajo impacto.

La investigación se concibe como una oportunidad para explorar la relación entre teoría, técnica y práctica arquitectónica contemporánea. Por un lado, se revisa el marco conceptual que rodea a la arquitectura modular, marcado aún por la ambigüedad y la falta de consenso; por otro, se examina cómo estas definiciones se materializan en proyectos reales, desde el caso de referencia del Grand Parc de Lacaton & Vassal hasta las propuestas ganadoras del concurso BIT Habitat, donde la modularidad se convierte en una estrategia operativa para mejorar el rendimiento ambiental y espacial de edificios existentes.

La motivación para abordar este tema surge del interés por entender cómo podemos intervenir de manera más consciente y eficaz sobre los edificios existentes. Cada vez es más evidente que gran parte de la edificación actual necesita actualizarse, y que el sector debe afrontar retos que ya no pueden abordarse con los métodos tradicionales. En este contexto, cobran especial relevancia aquellas metodologías capaces de mejorar el comportamiento ambiental y funcional de los edificios sin recurrir a transformaciones invasivas, permitiendo intervenir con mayor precisión, ligereza y adaptabilidad. Por ello, el punto de partida del trabajo es examinar cómo el diseño modular puede responder a estas demandas y ofrecer nuevas posibilidades de actuación.

A través de este trabajo se pretende aportar una mirada crítica y fundamentada que permita comprender cómo los módulos, más allá de su condición repetitiva, pueden actuar como dispositivos capaces de mejorar la habitabilidad, optimizar recursos y actualizar las condiciones ambientales del edificio existente, contribuyendo así a una práctica arquitectónica más sostenible y contemporánea.

Agradecer a mi familia por su apoyo constante y compañía en este largo camino con paciencia y cariño. También gracias a mi tutora Almudena por su apoyo, dedicación y todas las orientaciones que han hecho posible este trabajo.

01.02 Metodología y fuentes

El desarrollo del trabajo combina diferentes enfoques con el objetivo de abordar el diseño modular desde una amplia perspectiva, tanto conceptual como aplicada. El proceso comienza con una fase de investigación teórica centrada en el análisis crítico de la terminología asociada a la construcción modular : «módulo», «modularidad», «modularización» y «coordinación modular», a partir de normas técnicas y estudios recientes. Esta revisión permite establecer un marco conceptual sólido que facilita la clasificación del módulo y la definición rigurosa de su estructura y jerarquía constructiva, además de proporcionar un lenguaje común que permita comparar proyectos de naturaleza diversa. Esta base teórica resulta fundamental para ordenar los conceptos y establecer los límites entre prefabricación, modularidad y diseño modular, evitando ambigüedades en el análisis posterior.

A continuación, se examina el proyecto “Transformación de 530 viviendas” de Lacaton & Vassal como caso de referencia. Para ello, se recopila documentación gráfica, textos y análisis previos, que se redibujan y reinterpretan para estudiar la intervención desde su estructura modular, su lógica aditiva y su capacidad de acondicionamiento ambiental. Este primer análisis permite fijar la metodología y establecer los criterios que posteriormente se aplicarán a los casos del concurso BIT Habitat.

El estudio continúa con el análisis de las tres propuestas ganadoras del concurso “Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores sostenibles”. De cada una de ellas se identifica un módulo tridimensional de referencia que se desglosa constructivamente, identificando su jerarquía interna, sus unidades materiales, sus conexiones y su grado de prefabricación. La comparación se articula en tres fases: primero, la identificación del módulo característico de cada propuesta y de la lógica modular que lo organiza; posteriormente, el estudio detallado de su jerarquía constructiva: interfaces, componentes lineales y bidimensionales, unidades materiales y tipos de conexión; y por último, la evaluación de las ventajas que cada sistema modular aporta en relación con estrategias de reutilización, desmontabilidad y mejora ambiental.

Finalmente, la información obtenida se sintetiza en un marco comparativo que permite identificar patrones y oportunidades comunes en el uso de sistemas modulares aplicados a la rehabilitación de vivienda colectiva. Este marco facilita reconocer cómo cada propuesta formula su módulo, qué estrategias constructivas prioriza y qué tipo de mejoras ambientales plantea, ofreciendo una visión conjunta que ayuda a valorar el alcance y las posibilidades del diseño modular en intervenciones futuras.



02 CONTEXTO

02 Contexto

El sector de la construcción se sitúa entre los siete principales contribuyentes al cambio climático (Wuni y Shen 2020) por su elevado consumo de recursos naturales y su huella medioambiental (Wang 2023). Según estudios recientes, el sector de la construcción representa aproximadamente el 32% del consumo mundial de energía y genera cerca del 34% de las emisiones totales de dióxido de carbono (UNEP y GlobalABC 2025), tal como se observa en la **Figura 1**. Además, se ve afectado por problemas como la fragmentación, la resistencia a la innovación y la baja productividad (Livio Rossini y Novembri 2023). Estos problemas se traducen en que más del 90% de los proyectos de infraestructuras de todo el mundo se retrasan o superan sus presupuestos originales (Jayawardana *et al.* 2022). Además, se ven afectados por el predominio de los procesos de construcción in situ, que requieren mucha mano de obra e introducen una variabilidad que compromete el control de calidad, aumenta los costes y plantea problemas de seguridad y medioambientales (Sotorrío Ortega, Cobo Escamilla y Tenorio Ríos 2023).

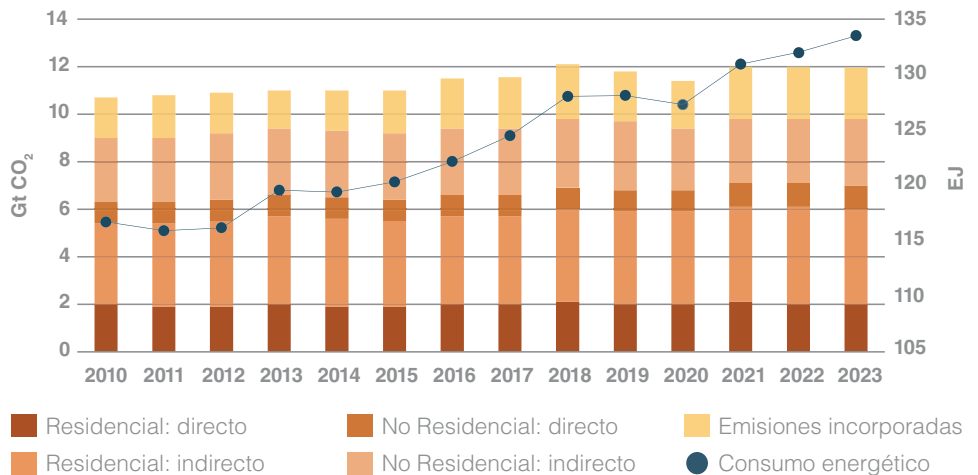


Figura 1. Emisiones de CO₂ y consumo energético en edificios (2010-2023).

Entre los años 2000 y 2022, la productividad mundial del sector de la construcción experimentó un ligero incremento del 10%, con un promedio anual del 0,4%. Este dato contrasta con el avance de la economía en general, que registró un crecimiento del 50% (con un promedio anual del 2%) y el sector manufacturero, que alcanzó un incremento del 90% (con un promedio anual del 3%).

Entre los años 2020 y 2022 destaca un descenso del 8% en la productividad mundial del sector de la construcción, como consecuencia de la pandemia de COVID-19 a escala global (Mischke *et al.* 2024). Desde 2022 hasta 2024, la actividad del sector mostró una recuperación moderada, con un crecimiento medio estimado del 3% anual, impulsado por la reactivación de la inversión pública y la digitalización de procesos, alcanzando un valor aproximado de 15 billones de USD en 2023. Sin embargo, en 2024 la expansión se desaceleró hasta niveles cercanos al 1–2%, debido al aumento de los costes de materiales, las tensiones en la cadena de suministro y las condiciones financieras más restrictivas (AECOM 2024). Este contexto postpandemia evidenció la vulnerabilidad estructural del sector y puso de relieve las palancas estratégicas necesarias para la mejora de la productividad, tal como se recoge en la **Figura 2**, reforzando la necesidad de avanzar hacia modelos productivos más resilientes, industrializados y sostenibles.

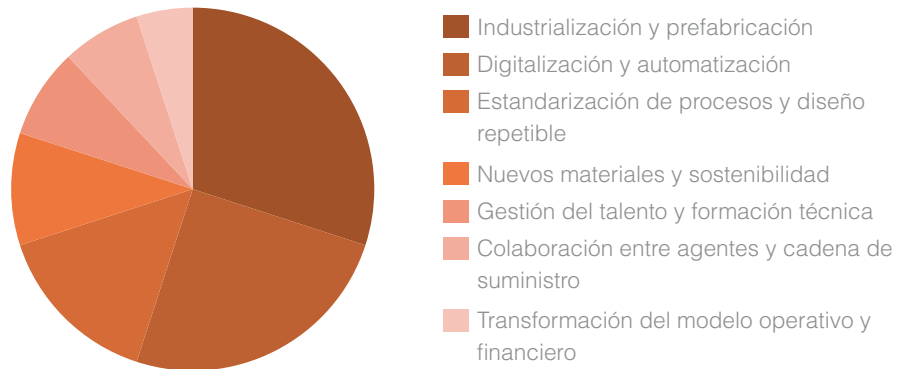


Figura 2. Distribución del potencial de mejora de la productividad según palancas estratégicas.

La escasez de mano de obra, las limitaciones en la cadena de suministro y las medidas de bloqueo, ha afectado de manera desproporcionada al sector de la construcción en comparación con otros sectores de actividad económica. Según Mischke *et al.* (2024) este fenómeno se atribuye principalmente a la dependencia del sector de la construcción de los procesos in situ que demandan una elevada mano de obra, a los bajos niveles de digitalización y a la limitada industrialización. Estas circunstancias limitan la capacidad del sector para adaptarse a las operaciones a distancia y a los problemas de suministro.

Este estancamiento también amenaza la capacidad del sector para satisfacer la creciente demanda mundial. Las previsiones indican que el gasto mundial en construcción deberá pasar de 13 billones de dólares en 2023 a 22 billones en 2040, lo que supone una tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC) del 3,2% (Mischke *et al.* 2024). Sin un aumento significativo de la productividad, no se cumpliría con objetivos críticos como la expansión de las infraestructuras, la vivienda asequible y la transición a cero emisiones netas (Mischke *et al.* 2024).

Una posible solución a las limitaciones descritas es la construcción modular (CM). La construcción modular se presenta como una innovación que transforma la forma tradicional de construir, al permitir que gran parte del proceso constructivo se realice en fábricas bajo condiciones controladas (Hsu, Angeloudis y Aurisicchio 2018). La disociación entre la producción y el montaje permite alcanzar niveles óptimos de precisión, eficiencia, calidad, además de optimizar tiempos permitiendo, por ejemplo, la ejecución paralela de los trabajos de cimentación y la fabricación de los módulos, un proceso que puede entenderse de manera global mediante las etapas representadas en la [Figura 3](#).

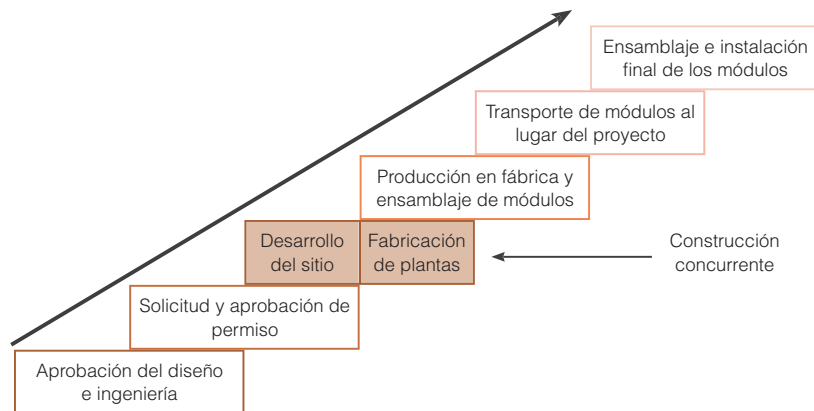


Figura 3. Etapas del proceso de construcción modular integrada.

La construcción modular emplea módulos volumétricos prefabricados (unidades autónomas con acabados internos, equipos y accesorios) que se montan in situ con grúas para formar estructuras completas (Wuni, Shen y Hwang 2020).

Como estrategia prioriza la estandarización, la escalabilidad y la adaptabilidad (Pero *et al.* 2010). La CM supone una alta demanda de trabajo fuera de la ubicación real del proyecto, dado que más del 80% de las soluciones constructivas se ejecutan en contextos fabriles (Smith 2010). Este modelo permite la creación de edificaciones desmontables, reconfigurables y personalizadas, equilibrando la eficiencia industrial con la flexibilidad específica del usuario (Richard 2005), un enfoque que modifica la distribución del esfuerzo de diseño y que puede entenderse a través de la dinámica representada en la **Figura 4**.

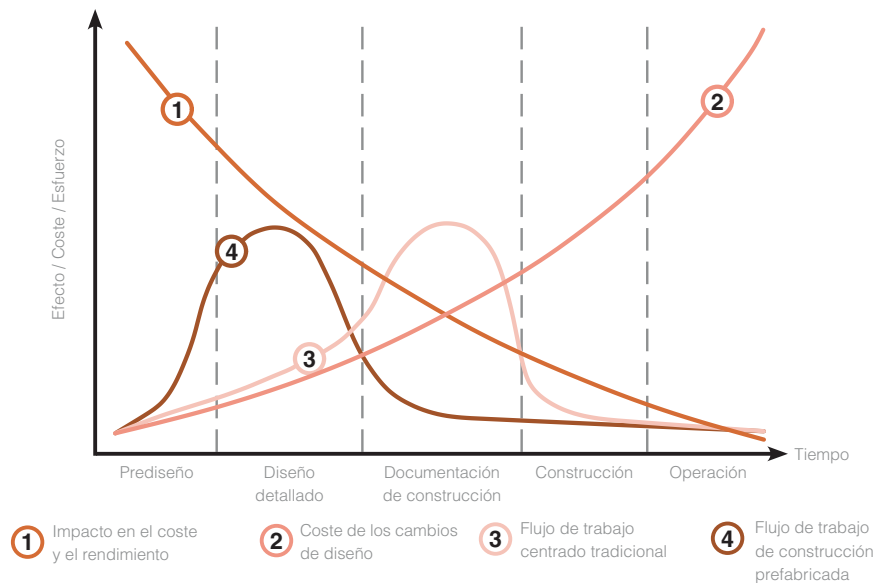


Figura 4. Efectos de los cambios de diseño según el modelo constructivo.

Aunque la construcción modular tiene un gran potencial, todavía no existe una base conceptual clara y unificada, lo que dificulta su adopción y estandarización. Varios estudios recientes han señalado que no hay un acuerdo general sobre cómo definirla o nombrarla en diferentes contextos, dificultando la normalización, la comunicación y la innovación (Maceika, Bugajev y Šostak 2024). Otros incluso identifican esta ambigüedad léxica como un obstáculo para la adopción de métodos de construcción modular (Chen 2023), lo que evidencia la necesidad de seguir profundizando en su marco teórico y terminológico.



03 ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

03 ¿Qué es el diseño modular?

En el contexto anteriormente descrito se plantea la necesidad en el sector de la edificación de productos en tiempos y costes reducidos. Se plantea el diseño modular como una posible alternativa. Pero, ¿qué es el diseño modular? No existe una definición exacta del diseño modular. Sin embargo, la mayoría de los estudios se han enfocado en caracterizar el concepto de modularidad y en analizar sus implicaciones en el proceso de diseño. En este sentido, su estudio resulta esencial para comprender las transformaciones actuales en los métodos de producción y diseño arquitectónico.

Morris (2017) define el diseño modular como un enfoque de diseño que se caracteriza por la subdivisión de un sistema en partes más pequeñas, denominadas módulos. Estos módulos se crean de manera independiente y posteriormente se utilizan en diversos sistemas, lo que contribuye a su versatilidad y reutilización en diferentes contextos. Añade además que un sistema modular se define por la división funcional en módulos escalables y reutilizables, la utilización de interfaces (conexiones) modulares bien definidas y el uso de los estándares de la industria para dichas interfaces.

Según Ulrich (1994), el propósito del diseño modular es reunir en un mismo módulo aquellos atributos que comparten procesos similares a lo largo de su ciclo de vida, y separarlos de los demás atributos y procesos que siguen trayectorias distintas.

Erixon (1996) puntualiza a la discusión terminológica que el diseño modular sirve como una base sólida para actualizar continuamente un producto, al mismo tiempo que permite desarrollar de forma simultánea el sistema de producción.

Por último, incorporar a las definiciones, la realizada por la Escuela de Arquitectura y Diseño PUCV (2012). El diseño modular combina las ventajas de la estandarización con la personalización. El diseño modular se basa en la colocación de módulos funcionales y universales, que unidos, forman estructuras mayores que pueden ser ensambladas de diferentes maneras o disposiciones.

El diseño modular se podría decir que es un enfoque que se basa en la creación de componentes o unidades estandarizadas (denominadas módulos) que se pueden ensamblar de distintas formas para llegar a formar un conjunto funcional. Estas unidades, que tienen un carácter intercambiable y repetitivo, permiten construir sistemas más flexibles, adaptables a las diferentes necesidades, lo que mejora tanto la eficacia en tiempo como en recursos (Figura 5).

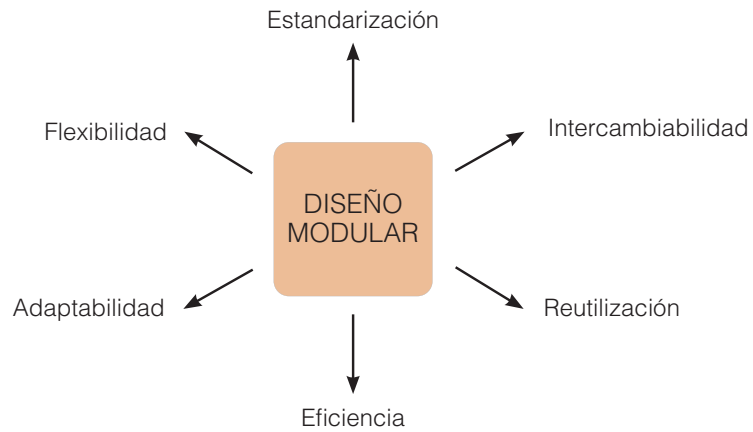


Figura 5. Principios fundamentales del diseño modular.

Se trata por tanto de podría decir que es una estrategia de planificación y producción que permite la división de sistemas complejos en diferentes módulos independientes para llegar a una simplificación que siga permitiendo ajustarse a la necesidad de cada proyecto. Este concepto se caracteriza por una serie de principios fundamentales que permiten, entre ellos, flexibilidad, eficiencia y sostenibilidad en la construcción.

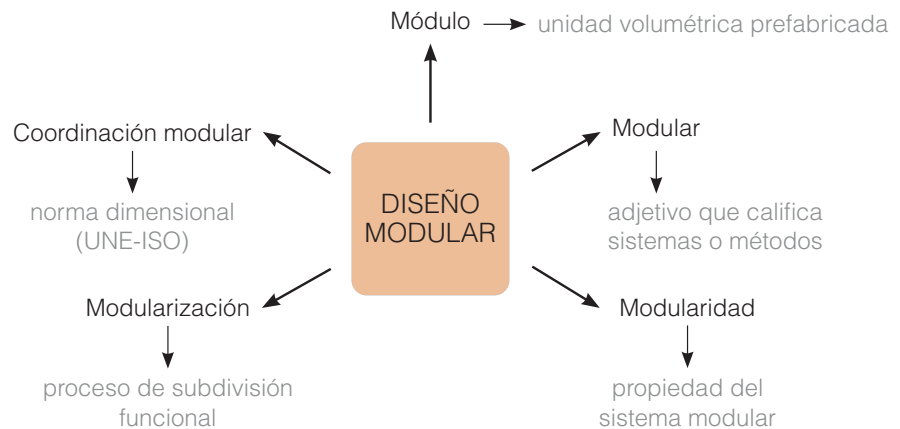


Figura 6. Marco conceptual de los términos asociados al diseño modular.

A continuación, se presentan las definiciones de otros conceptos estrechamente vinculados al diseño modular, como módulo, modular, modularidad, modularización, y coordinación modular.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular

La ausencia de una terminología estandarizada en CM ha sido ampliamente reconocida como un obstáculo para el desarrollo teórico, la normalización industrial, la comunicación interdisciplinar, el análisis comparativo de proyectos, la desconexión entre la investigación académica y la práctica y dificulta la formulación de indicadores de rendimiento, métricas y marcos de evaluación técnicos (Tan, Mills y Papadonikolaki 2024).

Uno de los factores que influye en esta diversidad es la territorialidad. Por ejemplo, en Hong Kong se refieren a CM como «construcción modular integrada», en Singapur «construcción volumétrica prefabricada y preacabada», en Malasia «sistemas de construcción industrializados» y en Estados Unidos «construcción modular permanente». El término «construcción modular» también se asocia con frecuencia a expresiones como «off-site construction», «off-site manufacturing», «prework», «métodos modernos de construcción» y «prefabricación volumétrica», que a menudo se utilizan indistintamente en la bibliografía (Khan *et al.* 2022).

Esta indeterminación se acentúa al analizar el concepto mismo de «módulo». A diferencia de lo que ocurre en el ámbito de la industria (fabricación), donde los módulos son unidades discretas y bien definidas, en el contexto de la construcción este término se utiliza a menudo de forma más imprecisa. Como señalan da Rocha, Formoso y Tzortzopoulos (2015), el significado de «módulo» en el sector de la construcción suele ser abstracto y depende del contexto. Esta interpretación se ve reforzada por da Rocha y Kemmer (2018), que sugiere que la definición del término en este sector sigue siendo incierta. Esta falta de consenso no solo genera incertidumbre conceptual, sino que también condiciona la forma en que se comunican, documentan y evalúan las soluciones constructivas dificultando la consolidación de un lenguaje compartido entre industria y teoría.

En el ámbito académico también existen discrepancias en el criterio para clasificar los sistemas modulares. Algunos adoptan definiciones amplias que incluyen componentes bidimensionales (por ejemplo, losas, paneles de pared) y tridimensionales (por ejemplo, unidades volumétricas) bajo el mismo concepto (Antunes, Lúcio y Pinho 2024). Otros autores defienden que la verdadera construcción modular se basa en unidades volumétricas altamente prefabricadas y autoportantes que encierran un espacio útil y están casi completas en el momento de la entrega (Kamali y Hewage 2016). Estas interpretaciones contrapuestas no solo reflejan divergencias en el término, sino también diferencias prácticas en los procesos de fabricación, los requisitos de transporte y las expectativas normativas.

Es necesario añadir que otra fuente de confusión es la utilización de términos como modularidad, modularización y módulo por parte de otras disciplinas, como la biología, la ingeniería de software, el arte y el diseño de productos. Como señalan Tan, Mills y Papadonikolaki (2024), estos términos poseen una carga conceptual intrínseca derivada de sus respectivas disciplinas de origen, lo que dificulta su aplicación efectiva en el ámbito de la construcción.

La confusión en el uso del término «módulo» aumenta cuando se aplica en el contexto de la «coordinación modular», un sistema estandarizado de dimensiones que emplea una unidad dimensional para coordinar dimensiones de los componentes de edificación y de los edificios que los incorporan para facilitar la racionalización del diseño arquitectónico, su fabricación y montaje.

Mientras que las normas UNE 41604:1997 (Construcción de edificios. Coordinación dimensional y modular. Principios y reglas), ISO 2848:1989 (Construcción de edificios. Coordinación modular. Principios y reglas) e ISO 1006:1983 (Construcción de edificios. Coordinación modular. Módulo básico) definen «módulo» como una unidad básica de medida utilizada para la coordinación dimensional, independientemente de la prefabricación, la norma UNE-ISO 20887:2023 (Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad. Principios, requisitos y directrices) define un módulo como un conjunto de partes normalizadas o unidades independientes para facilitar la construcción o disposición y adaptación o desmontaje. Actualmente están en desarrollo las normas ISO/WD 25192 (Prefabricated building-Modular building-part 1: concepts and general principles) y ISO/WD 25084.2 (Prefabricated Building-Terminology and General principles). El objetivo es alcanzar un consenso terminológico de escala internacional.

Tan, Mills y Papadonikolaki (2024), identifican los términos «modular», «modularidad», «módulo», «modularización» y «coordinación modular» como conceptos fundamentales, utilizados con frecuencia en disciplinas como la ingeniería, el diseño industrial y la construcción. Estos términos, a pesar de su estrecha relación, con frecuencia se aplican de manera inconsistente y se intercambian entre sí, lo que contribuye a la fragmentación conceptual y a la ambigüedad terminológica.

El estudio realizado por Pasello *et al.* (2025) plantea una síntesis crítica de los conocimientos terminológicos mencionados: cómo se definen, interpretan y aplican en el sector de la construcción. Este estudio establece una base conceptual que puede servir para el desarrollo futuro de glosarios sobre la construcción modular.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular.

03.01.01 Módulo

El término «módulo» es uno de los conceptos más empleados y, con frecuencia, definidos de manera inconsistente en el campo de la construcción modular. Desde una perspectiva gramatical, el término funciona como un sustantivo que significa una unidad discreta dentro de un sistema de construcción más amplio.

La complejidad terminológica de este concepto se debe a su utilización generalizada en otras disciplinas. En el ámbito de la fabricación y el diseño de software, el término «módulo» puede referirse a cualquier unidad discreta, funcional e intercambiable, independientemente de sus dimensiones físicas o su disposición espacial. Esta ambigüedad conceptual puede llevar a confusión cuando se traslada al entorno construido (Kolbeck *et al.* 2023).

Algunos autores recogen una interpretación amplia del término «módulo», refiriéndose a paneles bidimensionales, vigas prefabricadas o componentes lineales como módulos (Kolbeck *et al.* 2023). Otros restringen su definición a una unidad tridimensional, prefabricada y funcionalmente autónoma. Esta última suele incluir acabados internos, equipos integrados y conexiones de servicios públicos, y se transporta al lugar de la construcción como una entidad volumétrica completa. Otros estudios también utilizan el término simultáneamente para referirse tanto a unidades volumétricas como a componentes no volumétricos (Serugga 2025).

Pasello *et al.* (2025) propone una definición más acotada. Un módulo en construcción debe cumplir cuatro criterios acumulativos: debe ser volumétrico, prefabricado, funcionalmente autónomo y capaz de integrarse a través de interfaces estandarizadas y reversibles. La asociación entre módulo y volumen no es casual, ya que el objetivo fundamental del sector de la arquitectura es la creación de unidades espaciales habitables. Se trata por tanto de unidad espacialmente autónoma, habitable que integra funciones estructurales, arquitectónicas y de servicio (Rahardjo *et al.* 2024). Por lo tanto, si bien todos los módulos son necesariamente prefabricados (identificando componentes planos o lineales), no todos los componentes prefabricados cumplen con los criterios para ser considerados módulos.

En el estudio se plantea una excepción al requisito volumétrico: los módulos plegables o articulados. Estos módulos pueden carecer de volumen durante el transporte, ya que están diseñados para desplegarse in situ en unidades tridimensionales totalmente funcionales (Rahardjo *et al.* 2024). Estos sistemas preservan los atributos esenciales de los módulos, tales como la autonomía espacial, la integridad funcional y la integración sistémica, e incorporan flexibilidad logística.

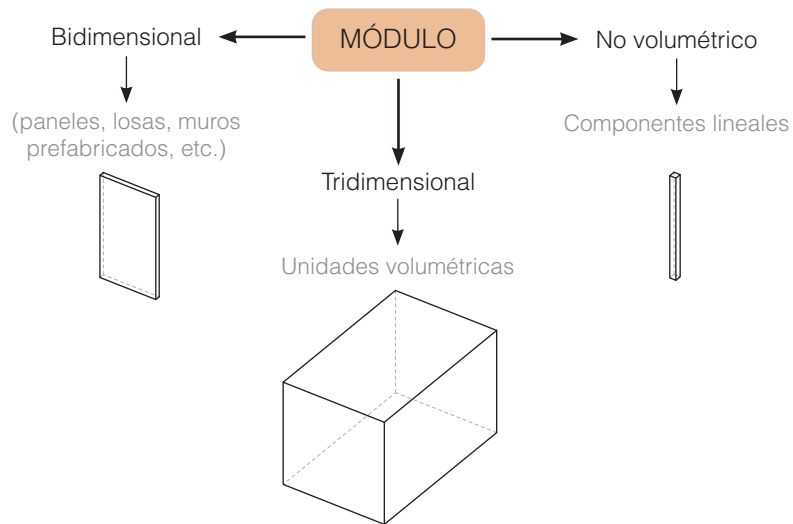


Figura 7. Tipologías de módulo según su configuración.

Lo que distingue a un módulo de un objeto prefabricado es la capacidad de conectar, separar o sustituir la unidad dentro de un sistema más amplio (Zhou *et al.* 2023). Además, varios autores destacan que estas interfaces, conexiones deben permitir la reversibilidad, es decir, que los módulos deben poder retirarse o sustituirse sin comprometer su integridad estructural o funcional (Khan *et al.* 2022). Sin esa flexibilidad, el componente pierde la independencia operativa y la adaptabilidad sistémica que se espera de los sistemas modulares. Los módulos que dependen de conexiones irreversibles, como las soldaduras permanentes, no deben clasificarse como módulos, aunque constituyan un volumen. En este sentido, la calidad de las interfaces adquiere un papel decisivo, ya que determina no solo la desmontabilidad, sino también la capacidad del sistema para evolucionar o ampliarse con el tiempo.

El concepto de función constituye un aspecto fundamental que con frecuencia se pasa por alto al definir qué constituye un módulo. En contraste con los sectores de la fabricación o el desarrollo de software, donde un módulo tiende a cumplir una función específica, en el ámbito de la construcción los módulos son capaces de llevar a cabo diversas funciones integradas (espaciales, estructurales, mecánicas y arquitectónicas) dentro de una única unidad (Arowoiya y Oyefusi 2023). A pesar de esta naturaleza multifuncional, la asociación entre módulo y volumen permite que cada unidad conserve una función programática claramente identificable.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular.

03.01.02 Modular

A diferencia del término «módulo», que se refiere a una unidad de construcción tangible y tridimensional, «modular» funciona principalmente como un adjetivo que califica sistemas, procesos, diseños, componentes e incluso metodologías y teorías de diseño (Arowoia y Oyefusi 2023).

Pasello *et al.* (2025) muestra que el término «modular» se emplea con frecuencia para describir sistemas que presentan propiedades tales como repetibilidad, estandarización e intercambiabilidad (Picard, Blanchet y Bégin-Drolet 2024). Sin embargo, estas características no siempre implican el uso de unidades volumétricas, es decir, módulos.

Un sistema puede describirse como modular basándose únicamente en su lógica de diseño, incluso cuando está compuesto por elementos bidimensionales, sistemas panelizados, etc. Esta tendencia se hace más evidente cuando el término «modular» se emplea de manera genérica para denominar estrategias de producción en fábrica, tales como la construcción panelizada, los kits de piezas y la prefabricación híbrida entre otros (Zhang *et al.* 2024). El término «modular» también se aplica a unidades constructivas como fachadas, paredes, techos o suelo (Jin, Ekanayake y Shen 2022). En tales circunstancias, el término en cuestión se utiliza para describir una lógica de descomposición, conexiones y prefabricación, más que la presencia de unidades volumétricos, módulos (Sun *et al.* 2020), una diversidad de usos que se sintetiza en la Figura 8.

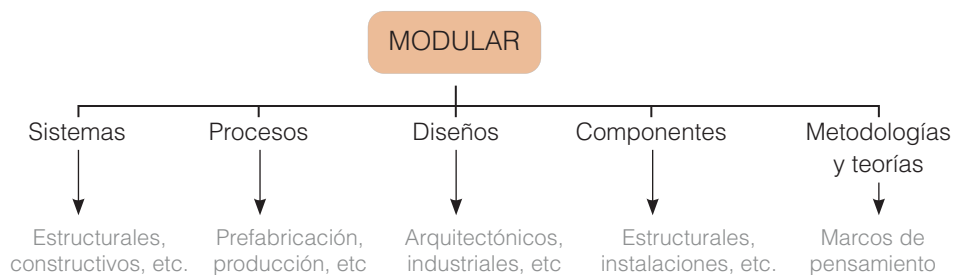


Figura 8. Ámbitos de aplicación del término «modular».

Además, los principios modulares se asocian frecuentemente a la obtención de objetivos relativos a la sostenibilidad, como la reducción de carbono, la minimización de residuos y la eficiencia del ciclo de vida (Arowoia y Oyefusi 2023). Además, el diseño modular puede servir a objetivos medioambientales y logísticos más amplios (Zhang *et al.* 2024).

Pasello *et al.* (2025) propone una precisión en el concepto. Cuando el adjetivo «modular» se utiliza para describir un producto de construcción o un edificio completo, como en «construcción modular», «vivienda modular» o «edificio modular», debe implicar explícitamente la presencia de módulos, unidades volumétricas. Además, el adjetivo «modular» implica una integración sistémica: la capacidad de conectar, separar o sustituir unidades volumétricas dentro de una configuración más amplia. Por el contrario, los sistemas que adoptan principios modulares pero que no están compuestos por unidades volumétricas deben describirse utilizando términos como «sistemas industrializados panelizados», «construcción basada en componentes» o «modularización funcional» para evitar confusiones semánticas. La construcción modular no puede confundirse con la prefabricación genérica, los paneles ensamblados o las estrategias basadas en componentes. Debe reservarse para sistemas de construcción compuestos por módulos volumétricos, prefabricados y funcionalmente autónomos, interconectados a través de conexiones estandarizadas.

En síntesis, el término «modular» no describe una entidad material sino una lógica operativa que atraviesa distintos niveles del diseño y la construcción. Su aplicación va más allá de la mera repetición geométrica: supone la capacidad de descomponer, ensamblar y adaptar sistemas, manteniendo coherencia funcional y formal (Figura 9). En este sentido, la modularidad surge como el resultado de aplicar el principio modular a una escala sistémica, lo que constituye el siguiente nivel de análisis.

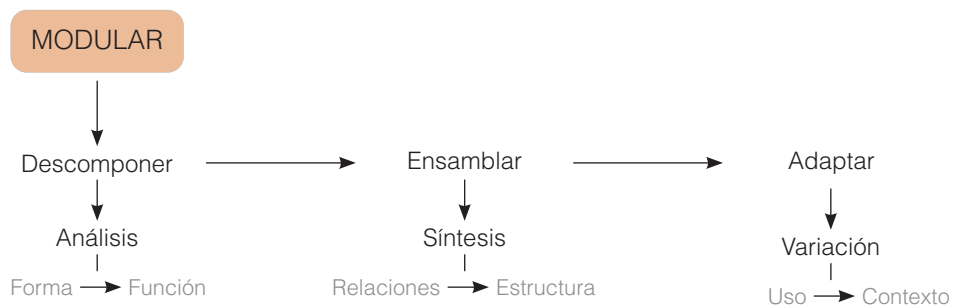


Figura 9. Secuencia operativa del término «modular».

En conjunto, el carácter modular no se define por la presencia de un determinado tipo de componente, sino por una lógica operativa que permite reorganizar un sistema manteniendo su coherencia formal y funcional. Esta capacidad para reestructurar, combinar y ajustar elementos constituye el fundamento conceptual que posibilita pensar la arquitectura como un sistema abierto.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular.

03.01.03 Modularidad

La modularidad se define en el sector del diseño de ingeniería y la teoría de sistemas como una propiedad estructural y funcional de los sistemas que permite la separación, la recombinación y la sustitución de componentes sin comprometer el rendimiento global (Kolbeck *et al.* 2023). Este concepto se ha adaptado al sector de la construcción e ingeniería para describir el grado en que las unidades pueden fabricarse independientemente e integrarse para generar diferentes configuraciones utilizando principios de diseño comunes, ofreciendo flexibilidad, reutilización adaptativa y capacidad de recombinación (Wuni, Shen y Mahmud 2022).

En este contexto, el nivel de modularidad no es un valor absoluto, sino un continuo que depende del grado de autonomía e integración entre las partes. Esta idea puede entenderse como un gradiente en el que los sistemas evolucionan desde configuraciones mínimamente modulares hacia soluciones altamente integradas, tal como se representa en la [Figura 10](#).

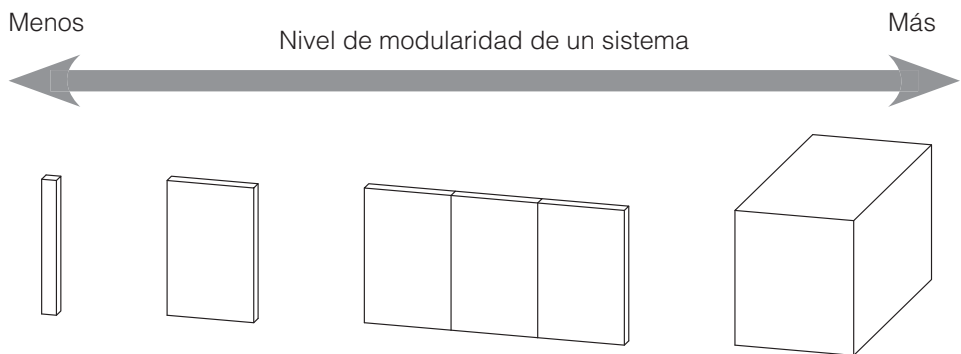


Figura 10. Gradiente del nivel de modularidad según el grado de integración del sistema.

El término «modularidad» funciona como un sustantivo abstracto e incontable que denota una propiedad o condición que emerge del diseño modular. Es distinto de «modular», un adjetivo utilizado para calificar unidades, diseños o componentes que muestran características modulares; y de «modularización», que se refiere al proceso deliberado de descomponer sistemas complejos en partes coordinadas, es decir el proceso a través del cual se consigue el modularidad (Wuni y Shen 2022).

La «modularidad» facilita la flexibilidad arquitectónica, la producción paralela y un mantenimiento más sencillo al promover la independencia entre las partes (Montazeri *et al.* 2024). En este sentido, respalda principios básicos como la escalabilidad, la

personalización y la configuración, características alineadas con los objetivos de la construcción industrializada.

En el contexto del sector de la construcción, y en particular en la construcción modular, el uso del término «modularidad» es una propiedad de la unidad asociada, de forma más precisa, a los edificios compuestos por módulos volumétricos, prefabricados y funcionalmente autónomos, interconectados a través de una interfaz normalizada.

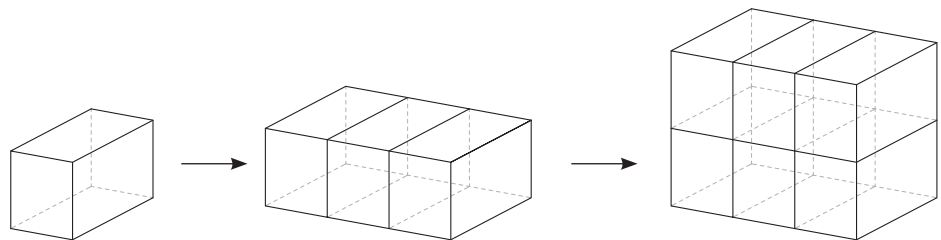


Figura 11. Representación de la modularidad espacial a través de la agregación progresiva de unidades modulares.

La modularidad se expresa visualmente en la capacidad de un sistema para organizarse mediante la repetición y combinación de unidades básicas. A medida que aumenta el grado de modularidad, los elementos adquieren mayor autonomía y, al mismo tiempo, una integración más estrecha dentro del conjunto, lo que permite configuraciones escalables, adaptables y eficientes.

En términos generales, la modularidad actúa como un indicador del grado de integración entre los componentes de un sistema. Cuanto mayor es la modularidad, mayor es la capacidad del sistema para adaptarse a distintos usos, escalarse o modificarse sin afectar su funcionamiento global. En este sentido, la modularidad aporta una mayor estabilidad frente a cambios en el conjunto.

Además, la modularidad puede entenderse como un mecanismo que articula distintas escalas dentro del proyecto arquitectónico, desde la configuración material de los componentes hasta la organización espacial del conjunto. Esta visión multiescalar permite reconocer la modularidad no solo como una propiedad técnica, sino también como una herramienta proyectual que facilita la toma de decisiones en entornos complejos.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.01.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular.

03.01.04 Modularización

El término «modularización» es un sustantivo de acción nominalizado derivado del verbo «modularizar», que denota el acto o la estrategia de descomponer un todo en partes coordinadas (Kolbeck *et al.* 2023).

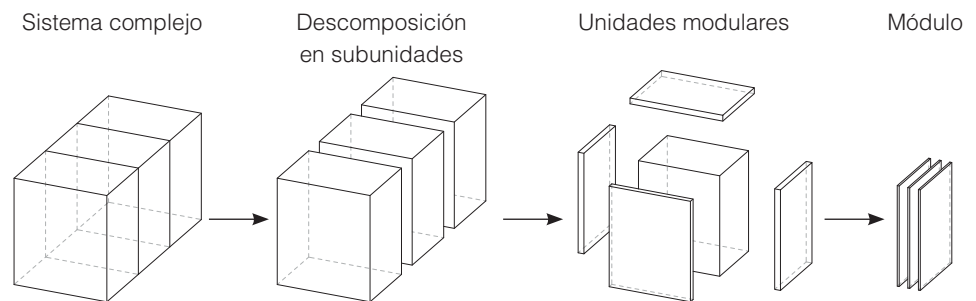
En algunos estudios este término se ha considerado sinónimo de prefabricación o construcción off-site, lo que reduce su significado a un método de producción sin abordar su fundamento conceptual (Wuni, Shen y Antwi-Afari 2023). Esta dilución conceptual se ha identificado como un obstáculo para la aplicación efectiva en proyectos modulares de gran altura, para los que a menudo no existen estrategias de modularización precisas (Feist *et al.* 2022). En consecuencia, varios autores señalan la necesidad de clarificar su alcance para evitar confusiones entre técnica y concepto. La modularización no debe entenderse únicamente como un procedimiento operativo, sino como un marco que orienta la toma de decisiones en torno a la descomposición del sistema.

La «modularización» se refiere fundamentalmente al proceso de simplificación de la complejidad. En el sector de la construcción, suele describirse como un método para descomponer sistemas complejos en partes más pequeñas, manejables y coordinadas, con el fin de optimizar el diseño, la producción y el montaje in situ (Feist *et al.* 2022). Este concepto no sólo se aplica a la configuración física de un edificio, sino también a sus funciones, etapas de diseño y flujos de trabajo de producción (Kolbeck *et al.* 2023).

Varios autores subrayan que la eficacia de la «modularización» no solo depende la estrategia de descomponer un todo en partes coordinadas, sino también del grado en que las interfaces (conexiones) están normalizadas, coordinadas y desvinculadas de las restricciones propias del módulo. El modelado digital y las herramientas de coordinación basadas en inteligencia artificial han mejorado esta capacidad (Serugga 2025).

La eficacia de la «modularización» también depende de la escala de la división de los módulos. Una descomposición elevada puede facilitar la optimización y la flexibilidad del diseño, pero también aumenta el número de componentes, la complejidad logística y los costes asociados. Una mayor escala de los módulos puede limitar la capacidad de personalización, optimiza los costes y la eficiencia del ensamblaje (Luo *et al.* 2024). Este equilibrio debe gestionarse en función de los objetivos específicos del proyecto, las capacidades de producción y las limitaciones económicas.

El término se aplica a tres estrategias de desacoplamiento distintas: descomposición de entidades volumétricas, como unidades tridimensionales totalmente cerradas y autoportantes como espacios (habitaciones, por ejemplo) o elementos similares, descomposición en componentes bidimensionales panelizados, como paredes, losas y fachadas (van der Ham y Opdenakker 2023) y descomposición funcional, como la climatización, la fontanería o las redes eléctricas que se descomponen en funciones modulares o subsistemas que se coordinan de forma independiente (Feist *et al.* 2022). Estas tres estrategias representan formas alternativas de fragmentar un sistema complejo como se puede ver en la [Figura 12](#). En consecuencia, el término «modularización» suele utilizarse de manera general para englobar lógicas de descomposición diferentes. Aunque cada una de ellas tiene un propósito diferente, la falta de precisión genera confusión, problemas de comunicación y de aplicación.



[Figura 12](#). Secuencia del proceso de modularización.

Pasello *et al.* (2025) propone una distinción más estricta: el término «modularización», en el contexto arquitectónico y espacial de la construcción de edificios, debe referirse a la descomposición de un edificio en módulos, unidades volumétricas, prefabricadas y funcionalmente autónomas con interfaces estandarizadas. Esta definición no niega la existencia ni la validez de la «modularización» en otras industrias o ámbitos técnicos.

En síntesis, la modularización constituye una herramienta estratégica para gestionar la complejidad en el diseño y la producción arquitectónica. Su eficacia depende tanto de la claridad con la que se establecen los criterios de descomposición como de la coherencia entre las partes resultantes, que deben poder integrarse sin generar incompatibilidades funcionales. Entendida de este modo, la modularización no solo mejora la eficiencia del proceso constructivo, sino que también favorece la adaptabilidad del sistema ante nuevas exigencias técnicas o programáticas.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.01 Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular.

03.01.05 Coordinación modular

El término «coordinación modular» se refiere principalmente a la organización dimensional y espacial de los componentes de un edificio sobre la base de una retícula normalizada o módulo de coordinación. A diferencia de los otros términos analizados en esta sección, no implica el ensamblaje volumétrico. Su fundamento conceptual se basa en la racionalización del diseño, la estandarización y la compatibilidad de interfaces, y sirve como principio fundamental para permitir métodos de construcción industrializados. En este sentido, la coordinación modular actúa como un lenguaje común que facilita la interoperabilidad entre sistemas constructivos diversos, permitiendo que componentes producidos por distintos fabricantes puedan integrarse dentro de una misma estructura.

En normas técnicas como la ISO 2848:1984 o la ISO 1791:1983, la «coordinación modular» se define como una metodología para establecer la compatibilidad dimensional entre elementos de construcción basada normalmente en una unidad básica o «módulo» de 100 mm (o sus múltiplos). El objetivo es optimizar la fabricación, el transporte y el montaje in situ, y garantizar la interoperabilidad entre los componentes prefabricados, independientemente de su grado de modularidad o automatización.

Aunque las normas técnicas lo denominan «módulo», la unidad de coordinación (por ejemplo, de 100 mm) no cumple los criterios esenciales de un módulo de construcción. No se trata de una entidad prefabricada, volumétrica ni autónoma, y tampoco está dotada de conexiones normalizadas. Sirve únicamente como patrón dimensional o convención de medida, lo que permite estructurar el conjunto conforme a una retícula de coordinación, tal como se representa en la [Figura 13](#).

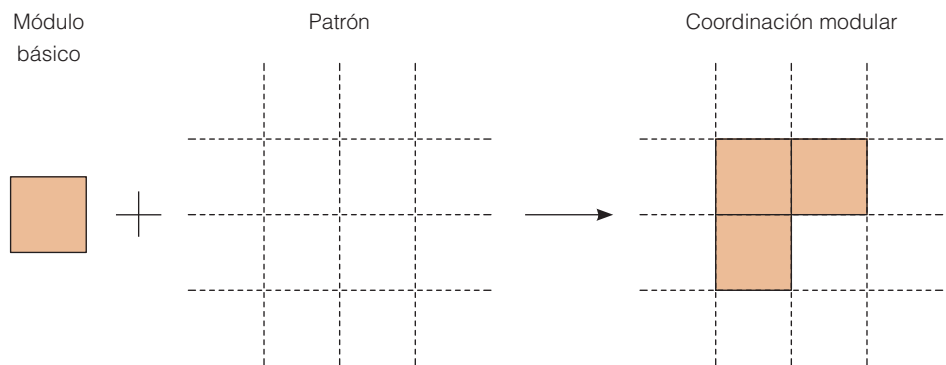


Figura 13. Secuencia del proceso de coordinación modular.

Independientemente de su definición normativa, el término «coordinación modular» refuerza la asociación entre módulo y volumen, ya que establece la repetición sistemática de incrementos tridimensionales, normalmente cubos o prismas, estructurados en torno a una unidad básica de coordinación. Esta relación conceptual puede entenderse con mayor claridad al situarla dentro del marco jerárquico que organiza los términos analizados en este capítulo, tal como se representa en la **Figura 14**. Por esta razón, es más preciso describirla como una norma dimensional y referirse a la metodología como «coordinación dimensional», en lugar de «coordinación modular» en el sentido utilizado en toda la literatura sobre construcción modular. Reconocer esta distinción es fundamental para evitar confusiones terminológicas, sobre todo en el ámbito interdisciplinar. Por este motivo es más preciso describirlo como una norma dimensional y referirse a la metodología como «coordinación dimensional», en lugar de «coordinación modular» en el sentido utilizado en toda la literatura sobre construcción modular.

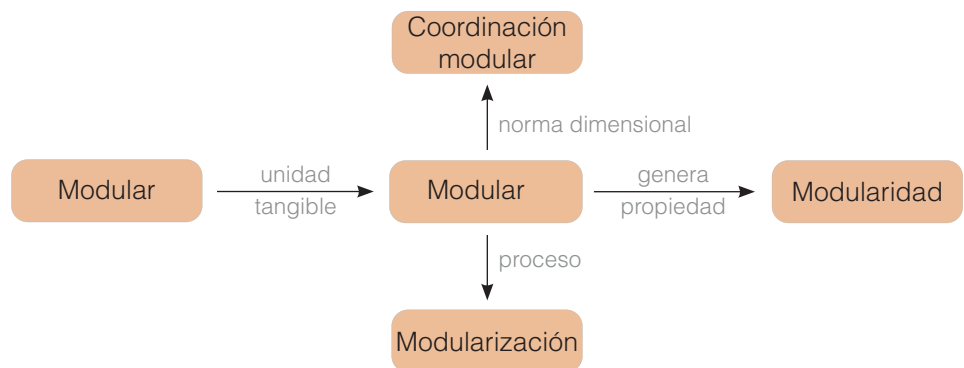


Figura 14. Relación jerárquica entre los conceptos: módulo, modular, modularidad, modularización y coordinación modular.

Pasello *et al.* (2025) destaca la importancia de delimitar dónde acaba la racionalización del diseño y dónde empieza la construcción modular, entendida como estrategia de producción y ensamblaje. Aclarar estos límites conceptuales es esencial para lograr la coherencia terminológica y la aplicación efectiva en los flujos de trabajo de diseño y construcción. Una delimitación precisa permite evitar solapamientos entre procesos que, aunque relacionados, responden a lógicas distintas dentro del proyecto arquitectónico. Además, esta claridad conceptual facilita la coordinación entre agentes y disciplinas.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.02 Propuesta de definición y jerarquía de módulos en construcción

En el ámbito de la construcción, tal y como se ha analizado en apartados anteriores, existen interpretaciones que consideran como módulos los elementos bidimensionales o lineales prefabricados, mientras que otras los restringen a unidades tridimensionales, prefabricadas y funcionalmente autónomas, que incluyen acabados, equipamiento e infraestructura, y se transportan como entidades completas. Según Saiz Sánchez (2019), el módulo no solo responde a una medida física, sino que también implica una lógica de producción y ensamblaje eficiente.

Una definición más precisa, propuesta por Pasello *et al.* (2025), establece cuatro criterios fundamentales para considerar un elemento como módulo: debe ser volumétrico, prefabricado, autónomo funcionalmente y contar con interfaces estandarizadas y reversibles. Esta condición volumétrica responde a la finalidad esencial de la arquitectura: generar espacios habitables.

Es importante destacar la importancia de la funcionalidad integrada. A diferencia de otros sectores donde los módulos cumplen funciones únicas, en la construcción cada módulo puede integrar funciones espaciales, estructurales, mecánicas y arquitectónicas, sin perder una identidad programática específica.

La principal distinción entre módulo y simple componente prefabricado está en la capacidad de conexión, separación o sustitución sin pérdida de funcionalidad, lo cual implica el uso de conexiones reversibles. Las uniones permanentes, como soldaduras, anulan esta cualidad modular. En consecuencia, es posible identificar en un módulo la siguiente jerarquía constructiva representada en la **Figura 15**:

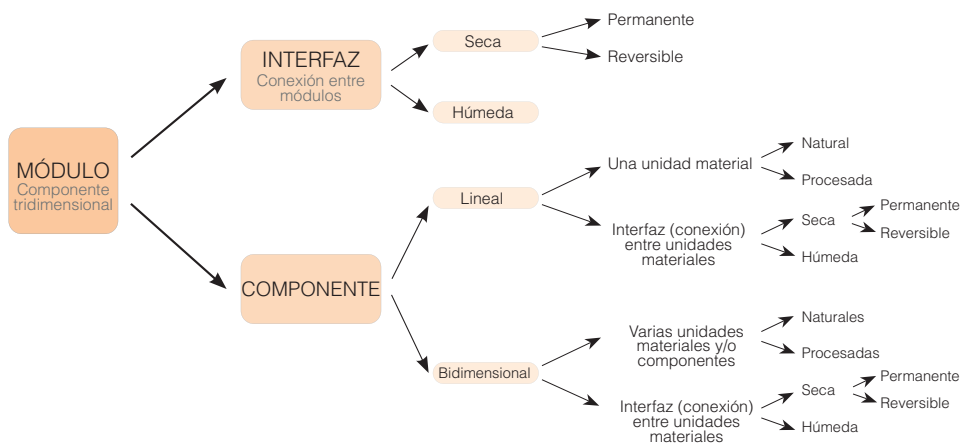


Figura 15. Esquema de la jerarquía del módulo.

Una vez identificado el módulo como componente tridimensional volumétrica, se identifica en su configuración componentes lineales y bidimensionales y su interfaz o modo de conexión.

En los componentes lineales predomina una dimensión, se trata de unidades materiales donde una de las dimensiones es significativamente mayor que su sección transversal. Se emplean principalmente en elementos estructurales, de refuerzo o de soporte, como por ejemplo perfiles de acero, vigas laminadas de madera, barras de refuerzo de hormigón armado, entre otros. Se trata habitualmente de elementos viga y pilar que configuran parte del sistema estructural del módulo. La unidad material más frecuente puede ser:

- **Acero:** el sistema viga-pilar de acero se caracteriza por el uso de perfiles metálicos que ofrecen una alta resistencia y rigidez. Este tipo de sistema es ideal para edificios de gran altura y para estructuras que requieren grandes luces ya que garantiza una elevada capacidad portante con secciones ligeras.

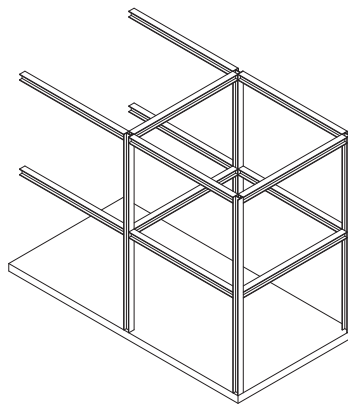


Figura 16. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de acero.

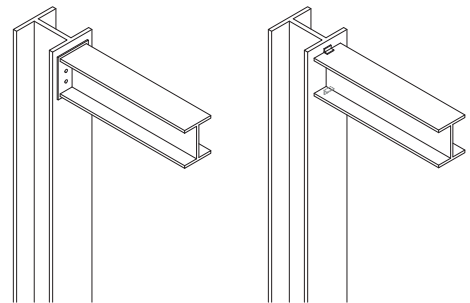


Figura 17. Axonometrías constructivas de ejemplos de uniones entre viga-pilar de acero.

- **Madera:** el sistema viga-pilar de madera utiliza un material más ligero y sostenible que el acero. Este sistema es más común en edificaciones de menor altura, como viviendas unifamiliares o edificios de baja altura. Aunque la madera tiene una resistencia inferior al acero, es un material que ofrece excelente aislamiento térmico y acústico, y es apreciado por sus cualidades estéticas.

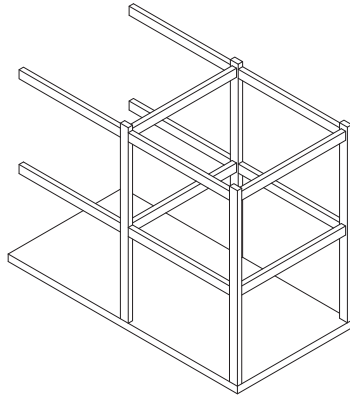


Figura 18. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de madera.

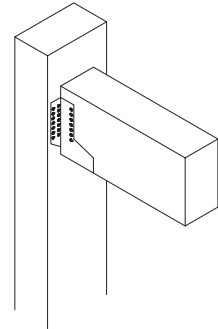


Figura 19. Axonometría constructiva de ejemplo de unión entre viga- pilar de madera.

- **Hormigón:** el sistema viga-pilar de hormigón es el más utilizado en la construcción de grandes edificaciones de concreto armado. Es extremadamente robusto y se emplea en edificaciones de varias plantas, como rascacielos o grandes estructuras comerciales, ofreciendo una elevada rigidez global y una gran capacidad de disipación ante cargas laterales.

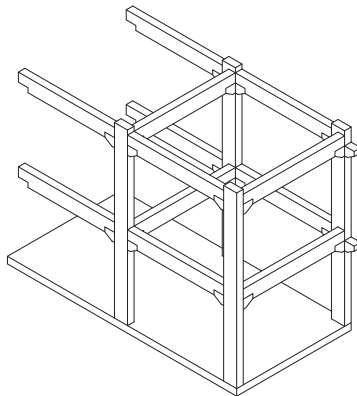


Figura 20. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de hormigón prefabricado.

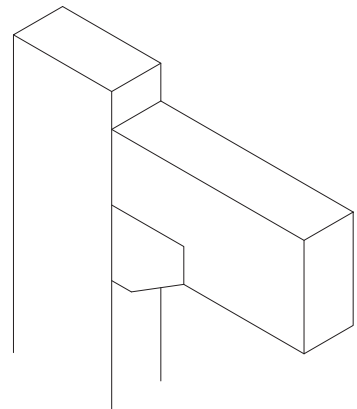
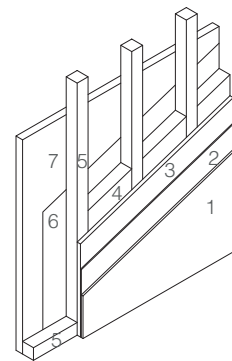
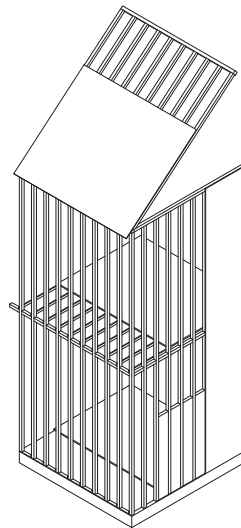


Figura 21. Axonometría constructiva de ejemplo de unión entre viga- pilar de hormigón prefabricado.

En los componentes bilineales predominan dos dimensiones y se configuran en un solo plano, actuando como superficie estructural o de envolvente, por ejemplo, paneles de CLT, placas de hormigón prefabricado, muros cortina, entramados de madera o metálicos, etc. Se recoge a continuación una clasificación de diferentes componentes bilineales dependiendo del material utilizado:

- **Entramados:** sistemas constructivos en los que se utilizan componentes lineales para formar una estructura resistente que distribuye cargas a través de una serie de miembros que se conectan entre sí. Los entramados pueden ser de madera, acero o incluso de materiales compuestos.
 - **Ballon frame:** sistema constructivo de entramado ligero en madera caracterizado por el uso de montantes continuos que se extienden desde la cimentación hasta la cubierta. La principal característica de este sistema es usar elementos de pequeña escuadría unidos mediante clavazón, lo que reduce significativamente la cantidad de material y la complejidad del ensamblaje en comparación con las técnicas tradicionales (Ching 2014). Su ligereza permite una ejecución rápida y económica, aunque requiere un control cuidadoso durante el montaje para garantizar la estabilidad lateral y evitar deformaciones, especialmente en edificios de varias plantas.



1. Recubrimiento exterior
2. Lámina impermeabilizante
3. Tablero OSB
4. Aislamiento lana de vidrio
5. Montante
6. Barrera de vapor
7. Placa de cartón yeso interior

Figura 22. Axonometría constructiva sistema ballon-frame. Figura 23. Detalle constructivo sistema ballon-frame.

- **Plataform frame:** sistema constructivo de entramado ligero en el que los montantes se interrumpen en cada nivel, de modo que cada planta se construye como una “plataforma” independiente, lo que facilita el uso de piezas más cortas, reduce los problemas de pandeo y simplifica el proceso de montaje (Ching 2014). Este sistema es actualmente el más utilizado en la construcción residencial de madera, ya que permite una ejecución rápida, segura y compatible con componentes prefabricados (Premrov y Žegarac Leskovar 2023). Se considera la evolución natural del Balloon-frame, sustituyendo la continuidad vertical por una secuencia de plataformas estructurales que mejoran la estabilidad, la resistencia al fuego y la eficiencia constructiva.

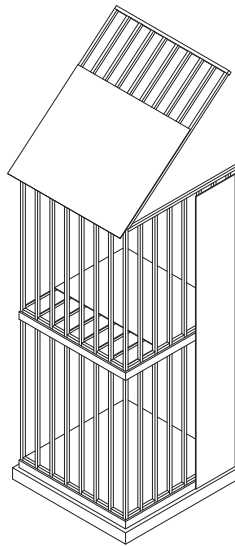
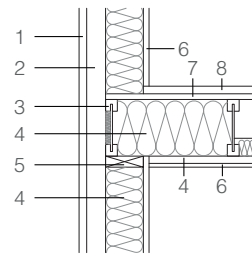


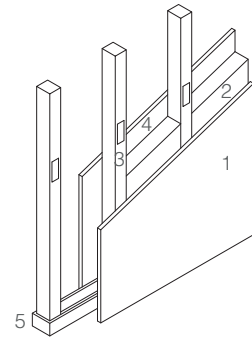
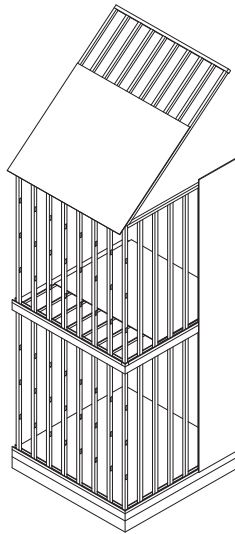
Figura 24. Axonometría constructiva sistema plataform-frame.



1. Recubrimiento exterior
2. Rastrel
3. Vigueta de borde
4. Aislamiento lana de vidrio
5. Testero superior
6. Placa de yeso
7. Tablero estructural
8. Solado

Figura 25. Detalle constructivo sistema plataform-frame.

- **Steel frame:** sistema constructivo basado en vigas y pilares de acero que forman un armazón resistente y ligero, muy utilizado en edificios de gran altura o con grandes luces. La alta resistencia del acero permite emplear perfiles esbeltos capaces de soportar tanto cargas verticales como horizontales, especialmente cuando se combinan con elementos de rigidización adecuados (Ahmed y Tsavdaridis 2019). Además, su precisión dimensional y la posibilidad de prefabricación lo convierten en un sistema rápido y eficiente, adecuado para procesos constructivos que requieren agilidad y control (Acosta *et al.* 2024).



1. Recubrimiento exterior
2. Aislamiento
3. Montante metálico
4. Placa de yeso
5. Canal inferior

Figura 26. Axonometría constructiva sistema steel-frame. Figura 27. Detalle constructivo sistema steel-frame.

- **Paneles:** los paneles son elementos planos prefabricados que se ensamblan para formar las paredes o cubiertas de un edificio. Pueden ser de distintos materiales y se utilizan tanto en sistemas estructurales como en cerramientos.
 - **Madera / contralaminados:** sistema de construcción panelizado formado por capas de tableros de madera encoladas perpendicularmente que generan un elemento estructural rígido y monolítico. Este tipo de panel mejora la estabilidad dimensional y permite resistir cargas en dos direcciones, lo que lo convierte en una solución adecuada para edificios de mediana altura y proyectos con altos requisitos de sostenibilidad (Brandner *et al.* 2016). Además, los paneles CLT presentan un buen comportamiento térmico y acústico, y pueden combinarse con elementos prefabricados para acelerar los tiempos de montaje (De Araujo *et al.* 2023).

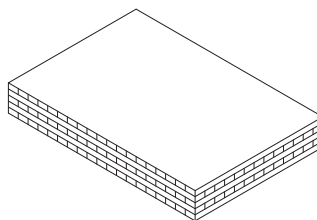


Figura 28. Capas panel CLT.

- **Hormigón:** panel prefabricado que se utiliza principalmente en muros portantes o cerramientos, caracterizado por su elevada resistencia mecánica, durabilidad y capacidad para garantizar un buen aislamiento acústico. Su fabricación en planta permite un mayor control de calidad y reduce los tiempos de ejecución en obra, siendo frecuente en edificios residenciales de alta densidad y en proyectos industriales (Yao *et al.* 2025).

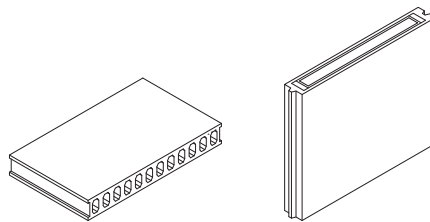


Figura 29. Placa alveolar de hormigón prefabricado y placa de hormigón prefabricado armado con aislante térmico.

- **Sandwich:** panel prefabricado multicapa que forma dos caras externas rígidas (generalmente de acero, aluminio o fibrocemento) que dejan en su interior un núcleo aislante (pudiendo ser lana mineral, etc). Esta configuración proporciona una elevada eficiencia térmica y una gran rigidez con un peso reducido, por lo que se utilizan ampliamente en cerramientos industriales y envolventes ligeras (Ben Romdhane *et al.* 2020). Su rápido montaje y la resistencia frente a humedad o agentes externos lo convierten en una solución eficiente en proyectos donde se prioriza el rendimiento energético y el control de obra.

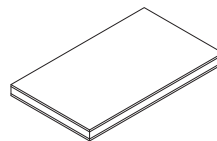


Figura 30. Panel sandwich.

- **Structural insulated panels:** panel prefabricado compuesto por un núcleo aislante (generalmente poliestireno expandido o poliuretano) adherido entre dos tableros estructurales de OSB u otros materiales. Su elevada rigidez y su continuidad térmica permiten obtener envolventes con muy baja transmitancia y una ejecución extremadamente rápida, características que han impulsado su uso en viviendas de bajo consumo energético y sistemas industrializados ligeros (Ishaq y Ahmad 2024).

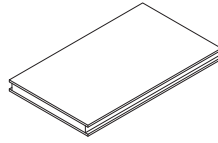
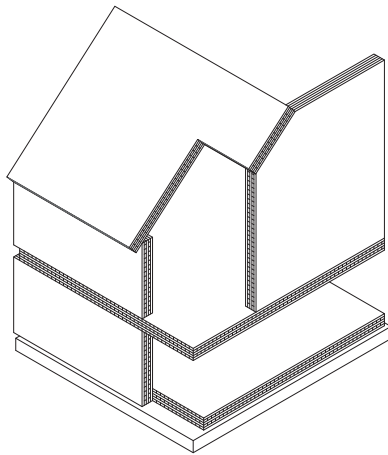
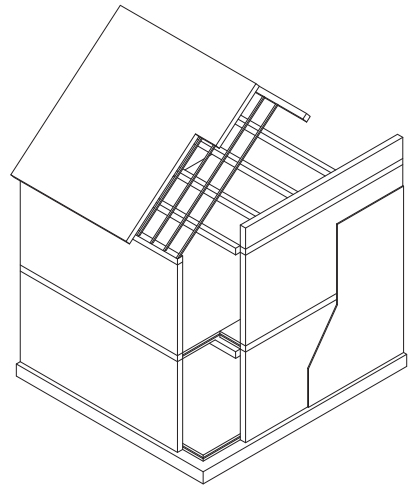


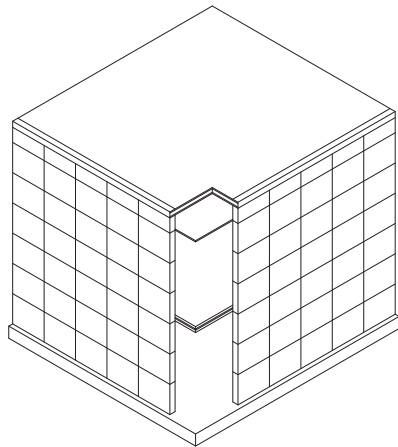
Figura 31. Panel SIP.



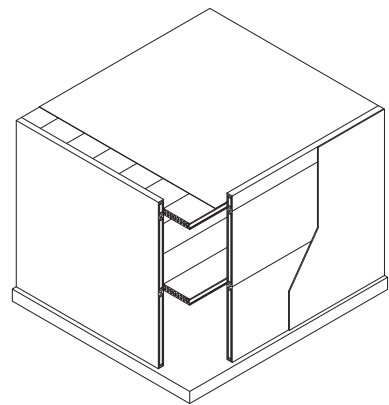
Axonometría constructiva con sistema de paneles CLT.



Axonometría constructiva con sistema de paneles de SIP.



Axonometría constructiva con sistema de paneles sandwich.



Axonometría constructiva con sistema de paneles de hormigón prefabricado.

Figura 32. Comparación de axonometrías constructivas con sistemas de paneles CLT, hormigón, sandwich y SIP.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.02 Propuesta de definición y jerarquía de módulos en construcción.

03.02.01 Clasificación según el grado de prefabricación del módulo

Es posible clasificar los módulos según su nivel de industrialización determinando su grado de ensamblaje previo a la obra, lo que permite valorar su impacto en el control de calidad, los tiempos de ejecución y la logística constructiva.

- **In situ (fabricado directamente en obra):** el módulo se ejecuta íntegramente en el lugar de construcción sin fabricación previa en taller. Su proceso constructivo depende de la climatología, la disponibilidad de mano de obra y la capacidad para garantizar un control de calidad continuo. Ejemplos habituales son el hormigón vertido en obra, los muros de fábrica de ladrillo o las cubiertas tradicionales. Este enfoque sigue siendo el predominante en la construcción convencional.
- **Parcialmente prefabricado (componentes transformados previamente, pero con acabados y montaje final en obra):** el módulo se compone de elementos producidos en fábrica (paneles, componentes estructurales, etc.) que requieren ensamblaje y ajustes finales in situ. Este sistema permite equilibrar la precisión industrial con la flexibilidad del trabajo en obra y se asocia con muchas estrategias contemporáneas de construcción off-site.
- **Completamente prefabricado (elementos terminados y listos para instalarse en obra):** el módulo llega a obra completamente terminado, incluyendo estructura, cerramientos, instalaciones y acabados. La obra se limita a operaciones de ensamblaje, lo que reduce significativamente los plazos y mejora la precisión y el rendimiento del sistema constructivo. Este nivel corresponde a la construcción modular donde el módulo funciona como una unidad autónoma lista para su ensamblaje.



Figura 33. Comparación de sistemas constructivos in situ, prefabricado parcialmente y prefabricado en su totalidad.

03 ¿Qué es el diseño modular?

03.03 Ventajas y contexto del diseño modular

El diseño modular se ha consolidado como una estrategia capaz de responder a muchos de los retos contemporáneos de la construcción: la necesidad de mejorar la productividad, reducir los residuos, aumentar la precisión en obra y optimizar los procesos de fabricación y montaje. Su aplicación en arquitectura y rehabilitación no solo introduce nuevas lógicas organizativas, sino que transforma la relación entre diseño, producción y ciclo de vida, permitiendo soluciones más flexibles, escalables y ajustadas a las demandas actuales del sector.

Diversos autores han señalado que esta capacidad transformadora del diseño modular se sustenta tanto en su potencial técnico como en sus implicaciones operativas. Para Asión Suñer (2016), las ventajas asociadas a la modularidad derivan precisamente de su naturaleza estructurada y repetitiva, que facilita el control dimensional, la racionalización de componentes y la optimización de tiempos y recursos. Estas propiedades no solo permiten mejorar la calidad del proceso constructivo, sino que abren nuevas oportunidades para la rehabilitación y actualización de edificios existentes, donde la precisión, la rapidez de intervención y la reducción del impacto resultan especialmente relevantes. A partir de este marco, se identifican las principales ventajas del diseño modular, entre ellas las descritas por la propia autora.

- **Flexibilidad y adaptabilidad:**

Los módulos pueden reconfigurarse y reorganizarse para satisfacer las diversas necesidades cambiantes de los usuarios y del uso del espacio a lo largo del tiempo, lo que permite una personalización continua y un ajuste progresivo. Esta adaptabilidad constituye uno de los aspectos fundamentales del diseño modular especialmente cuando se integra en un sistema de producción industrial que permite mejorar la capacidad de actualización funcional. En este sentido, autores como Ottenhaus *et al.* (2023) subrayan que la modularidad introduce una flexibilidad inherente que facilita la incorporación de nuevos usos y la reorganización de los espacios interiores sin comprometer la estabilidad del sistema.

En el contexto arquitectónico, esta flexibilidad permite la ampliación o reducción de una construcción sin necesidad de una reconstrucción total, lo que facilita la adaptación de edificios a los cambios de uso a lo largo del tiempo. Además, el diseño modular en viviendas permite modificar la distribución interna sin afectar la estructura principal, lo que reduce significativamente los tiempos de obra y la generación de residuos. Esta capacidad de reconfiguración ha sido identificada por Wuni y Shen (2020) como uno de los factores que hacen del diseño modular una herramienta especialmente adecuada para intervenciones de rehabilitación.

- **Estandarización:**

Esta ventaja supone la producción de módulos con especificaciones homogéneas y uniformes, lo que permite fabricación en serie y ensamblaje rápido. La estandarización constituye uno de los pilares de la construcción modular, ya que garantiza una calidad constante y la reducción de tiempos y costes en obra (Kamali y Hewage 2016). Los módulos estandarizados son fáciles de ensamblar, lo que optimiza los procesos, minimiza los errores y facilita la interoperabilidad entre componentes fabricados en distintos entornos.

En arquitectura, la estandarización permite la construcción de edificios con un alto nivel de precisión sin renunciar a la flexibilidad futura ni a la personalización. Los módulos prefabricados se producen en fábricas controladas, lo que garantiza los estándares de calidad y seguridad. Además, reduce significativamente el tiempo de ejecución, ya que los módulos llegan listos para su ensamblaje sin necesidad de procesos de fabricación complejos, lo que resulta en una construcción más rápida y económica. Esta lógica es especialmente visible en sistemas como los paneles CLT, nombrados en la introducción del apartado 3.2. *Propuesta de definición y jerarquía de módulos en construcción*, donde la repetición geométrica y dimensional permite estandarizar tanto los paneles como las uniones, facilitando una mayor velocidad de montaje y un control más estricto de las tolerancias (Meire, Linhares y Hermo 2023).

- **Desmontabilidad y reutilización:**

El diseño modular fomenta la creación de unidades que se pueden desmontar y reutilizar, apoyando así los principios de la economía circular. La posibilidad de separar los componentes sin dañarlos constituye una de las ventajas más relevantes de los sistemas modulares, ya que reduce significativamente el desperdicio de materiales y la demanda de nuevos recursos (Aye *et al.* 2012).

Los módulos, al ser unidades autónomas, pueden ser desmontados, transportados y reubicados sin perder su funcionalidad, lo que prolonga su vida útil y permite su integración en nuevos proyectos. Esta estrategia no solo facilita la reparación y sustitución de elementos dañados sino que también contribuye a minimizar intervenciones invasivas en el edificio.

En el ámbito de la construcción, esta capacidad se traduce en una mayor sostenibilidad del ciclo de vida del edificio, ya que facilita el mantenimiento, reduce la huella de carbono asociada al final de vida y promueve modelos constructivos más reversibles y adaptables a largo plazo (Mlote, Budig y Cheah 2024).

- **Optimización de recursos:**

Esta característica es uno de los pilares principales del diseño modular ya que, permite utilizar de manera más eficiente los materiales, la mano de obra y el tiempo de construcción, reduciendo así los costos y el impacto ambiental. La estandarización de los módulos contribuye directamente a esta optimización permitiendo una mayor industrialización del proceso, minimizando el desperdicio y maximizando los recursos en todas las fases constructivas siendo eficiente desde un punto de vista económica y ambiental.

En el ámbito arquitectónico, la optimización de recursos no solo mejora la eficiencia económica, sino que también responde a los objetivos de sostenibilidad. La prefabricación de módulos permite un uso más eficiente de los materiales, como la madera de CLT, que se obtiene a partir de recursos renovables y puede ser reutilizada en diferentes etapas del ciclo de vida del edificio. Además, los módulos a menudo permiten la reutilización de componentes de edificaciones anteriores, lo que favorece la reducción de residuos en la construcción. En este sentido, proyectos como el Pabellón de España de Corrales y Molezún, en la Expo 67, son claros ejemplos de cómo la eficiencia en el uso de materiales y la optimización de los procesos constructivos pueden generar un resultado arquitectónico innovador y sostenible, en línea con los principios de la economía circular.

- **Eficiencia constructiva:**

Es la capacidad de un sistema para construir de forma más rápida y precisa. En la construcción modular, esta eficiencia se logra gracias a la prefabricación en fábrica, donde los módulos se producen bajo condiciones controladas, lo que reduce de manera notable los tiempos en obra y minimiza los errores propios de la construcción tradicional. El montaje se limita al ensamblaje de unidades ya terminadas, lo que incrementa la productividad y mejora la fiabilidad del proceso (Wuni y Shen 2020).

En la arquitectura, esta eficiencia permite no solo reducir los costos y plazos de construcción, sino también mejorar la calidad final del proyecto y la de vida de los vecinos de la obra durante el tiempo de ejecución. Sistemas modulares contemporáneos demuestran esta capacidad al integrar estructura, envolvente y acabados en un único elemento prefabricado, permitiendo una instalación rápida y con un menor margen de error (Ottenhaus et al. 2023). La aplicación de estos sistemas modulares es especialmente relevante en un contexto urbano, donde la rapidez y la precisión en la construcción son esenciales.

En las últimas décadas, la arquitectura ha experimentado un profundo cambio impulsado por la necesidad de reducir el impacto ambiental del sector y optimizar el uso de recursos a lo largo del ciclo de vida de los edificios. En este contexto, la economía circular propone un modelo alternativo al sistema lineal tradicional, basado en extraer, producir y desechar, y promueve estrategias orientadas a la reutilización, regeneración y prolongación de la vida útil de los componentes. Este cambio de paradigma resulta especialmente significativo en la construcción, donde la demanda de materiales y la generación de residuos son especialmente elevadas (Mlote, Budig y Cheah 2024).

El diseño modular encaja de manera natural en esta lógica circular. Al basarse en unidades estandarizadas que pueden ser ensambladas, desmontadas y reconfiguradas con facilidad, permite prolongar la utilidad de los componentes más allá de un único edificio o programa. Los módulos pueden retirarse, repararse o sustituirse sin intervenir en la totalidad del sistema, lo que posibilita actualizaciones sucesivas sin recurrir a demoliciones completas ni generar grandes volúmenes de residuos. Esta capacidad de reversibilidad constituye uno de los aspectos diferenciadores de la construcción modular frente a los sistemas convencionales, cuya rigidez limita las opciones de adaptación y reutilización a largo plazo (Aye et al. 2012).

En el sector de la construcción, esta reversibilidad se traduce en edificios capaces de evolucionar con el tiempo: ampliarse, reducirse o reorganizar su distribución interna según las necesidades cambiantes de los usuarios. Los módulos que dejan de ser necesarios pueden reincorporarse a nuevos proyectos, reubicarse o modificarse para desempeñar funciones distintas, lo que otorga a los componentes un valor continuo a lo largo de su vida útil. Esta cualidad no solo reduce el consumo de materias primas, sino que también abre la puerta a modelos productivos donde los elementos constructivos pueden convertirse en recursos que se reutilizan de unos proyectos a otros y por tanto, tener un valor continuo a lo largo del tiempo.

La industrialización propia de la construcción modular refuerza este enfoque. Al fabricarse en entornos controlados, los módulos se producen con mayor precisión, se optimizan los procesos de corte y se reduce la generación de residuos. Además, el control previo de calidad en fábrica permite asegurar el rendimiento estructural, térmico y funcional de cada unidad antes de su llegada a obra, disminuyendo la incertidumbre y mejorando la durabilidad del sistema.

La combinación de estandarización, desmontabilidad y control industrial sitúa el diseño modular como una de las estrategias más eficaces para avanzar hacia un modelo constructivo más sostenible, alineado con los objetivos actuales de circularidad y uso responsable de los recursos (Ottenhaus *et al.* 2023).

Esta relación entre modularidad y circularidad también ha sido destacada por diversos autores que subrayan cómo las estrategias de diseño orientadas a la desmontabilidad, la separación funcional y la coordinación modular permiten que los edificios evolucionen a lo largo del tiempo sin necesidad de procesos intensivos de demolición o sustitución. Desde el ámbito de la gestión del diseño, Tan, Mills y Papadonikolaki (2024) señalan que los sistemas modulares reducen la complejidad operativa al estructurar los edificios en componentes intercambiables, lo que favorece su reconfiguración y prolonga su utilidad. De manera complementaria, da Rocha, Formoso y Tzortzopoulos (2015) argumentan que la modularidad aplicada a la vivienda facilita la personalización y la reutilización de elementos, atributos fundamentales para avanzar hacia modelos constructivos más sostenibles. Estudios recientes también destacan que la racionalización del diseño y la estandarización de los módulos permiten optimizar los ciclos de mantenimiento y simplificar la logística inversa, aspectos clave para consolidar prácticas alineadas con la economía circular en el sector de la construcción (Zhang *et al.* 2024).



04 EL DISEÑO MODULAR COMO ESTRATEGIA DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

04 El diseño modular como estrategia de acondicionamiento ambiental

El módulo espacial no solo se considera una unidad estructural repetitiva en arquitectura, sino que también juega un papel crucial en el acondicionamiento ambiental de los espacios. Este concepto se refiere a cómo las unidades modulares pueden ser utilizadas no solo para mejorar la organización física de los edificios, sino también para optimizar el confort térmico, acústico y visual de los ocupantes. En este sentido, el uso del módulo como elemento de acondicionamiento ambiental se ha consolidado como una herramienta clave en proyectos que buscan crear ambientes saludables, eficientes y sostenibles.

Un ejemplo es el Pabellón de España de Corrales y Molezún en la Exposición Internacional de Bruselas de 1958, donde el módulo espacial funcionó simultáneamente como unidad organizativa y como dispositivo climático. Su estructura repetitiva generaba un sistema flexible que permitía ajustar la iluminación natural, favorecer la ventilación y proteger de la radiación solar mediante un ensamblaje ligero, adaptable y eficiente. Tal como señalan Suárez, Pitel y Escandón (2017), esta configuración evidenció cómo la modularidad podía operar como infraestructura ambiental activa, convirtiendo el espesor arquitectónico en un mediador entre las condiciones exteriores y el ambiente interior. La repetición sistemática de estas unidades permitía además una respuesta homogénea ante las variaciones climáticas, asegurando un comportamiento ambiental continuo en toda la envolvente. Esta lógica modular demostraba que pequeñas variaciones en el cerramiento podían generar grandes diferencias en el confort interior, anticipando estrategias que hoy resultan esenciales en la rehabilitación energética.

La incorporación del módulo en la envolvente crea un espesor intermedio capaz de transformar el comportamiento del edificio mediante mecanismos pasivos. Situado estratégicamente en la fachada, el módulo puede captar calor en invierno, reducir el sobrecalentamiento en verano, regular la ventilación natural, amortiguar el ruido exterior o modular las visuales hacia el entorno, configurando un gradiente climático que mejora el desempeño energético sin intervenir en la estructura portante. Esta capacidad permite que la adición modular actúe como un componente ambiental autónomo que complementa y actualiza las prestaciones del edificio existente.

Desde esta perspectiva, el módulo espacial se configura como un elemento prefabricado, reversible y de alta eficiencia, idóneo para estrategias contemporáneas de rehabilitación. Su carácter aditivo permite intervenir de forma precisa y controlada, actualizando el rendimiento ambiental del edificio mediante unidades que filtran, amortiguan o transfieren energía según las necesidades climáticas y de uso.

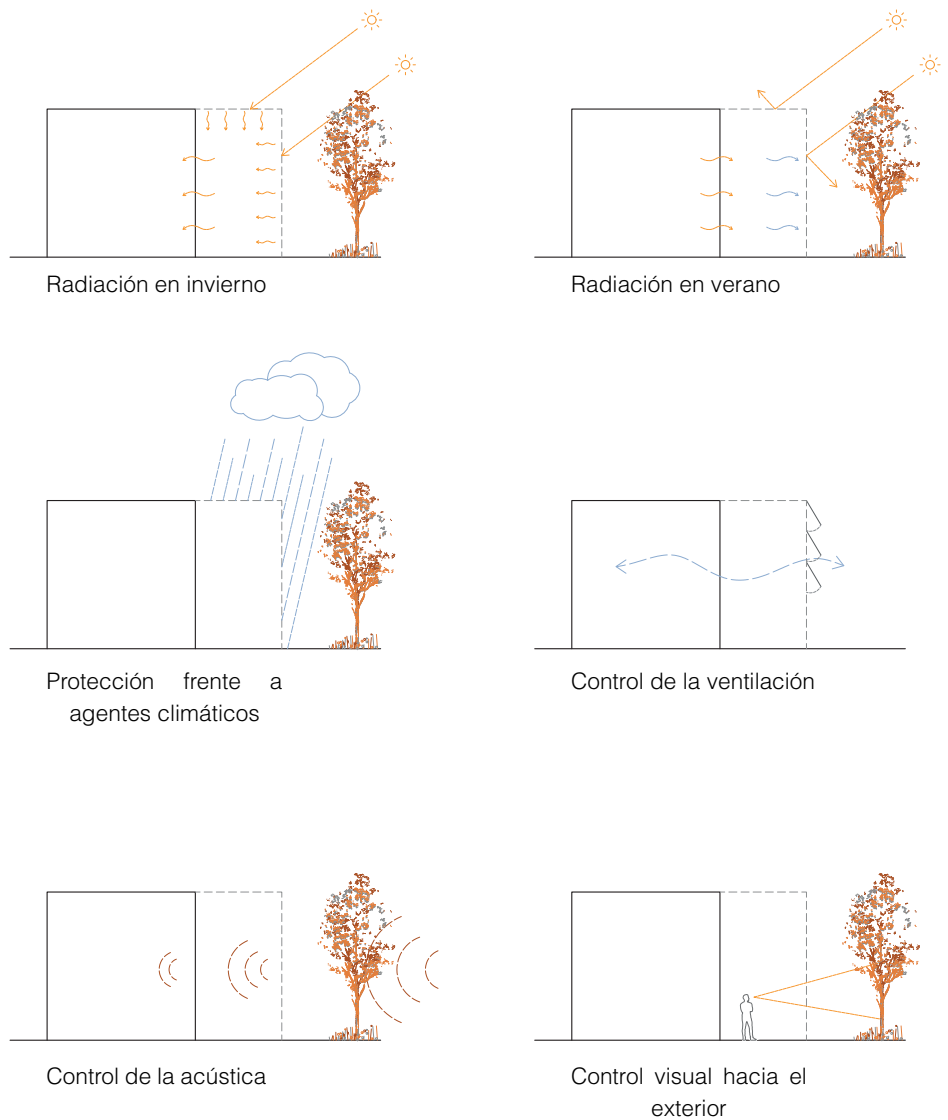


Figura 34. Esquemas de funcionamiento ambiental del módulo *espacial*.

La Figura 34 sintetiza las principales funciones ambientales que puede desempeñar el módulo espacial cuando se incorpora a la envolvente reforzando su papel como elemento regulador entre interior y exterior. En conjunto, estas operaciones evidencian la capacidad del módulo para actuar como un espesor climático activo, capaz de transformar el comportamiento ambiental del edificio mediante mecanismos pasivos de alta eficiencia.

04 El diseño modular como estrategia de acondicionamiento ambiental

04.01 Antecedente: Lacaton & Vassal

Se retoma el ejemplo de Lacaton & Vassal, citado en la introducción de este apartado, que es uno de los proyectos que destaca por su enfoque innovador en la transformación y rehabilitación de la vivienda, de la renovación de 530 viviendas en Burdeos, Francia.

Este proyecto constituye una referencia clave en la utilización de sistemas modulares aplicados a la rehabilitación, al incorporar un enfoque de bajo impacto ambiental y bajo coste basado en la adición de elementos repetitivos, desmontables y flexibles. La operación demuestra cómo la modularidad (entendida como la capacidad de añadir piezas seriadas y adaptables) puede convertirse en una herramienta estratégica para actualizar edificios existentes sin recurrir a intervenciones invasivas ni alterar la estructura original. Además, el proyecto evidencia que la modularidad no actúa únicamente como un recurso técnico, sino como un método capaz de introducir nuevas dinámicas de uso y mejorar la relación entre el edificio y su entorno. Al operar mediante unidades añadidas, el sistema facilita procesos de transformación progresivos y reversibles, que permiten adaptar el conjunto construido sin comprometer la estabilidad del soporte existente.

El proyecto, desarrollado entre 2011 y 2016, actúa sobre tres bloques de vivienda social construidos en la década de 1960 que en ese momento presentaban problemas habituales: escasa eficiencia energética, rigidez tipológica, envejecimiento de las instalaciones, cerramientos poco estancos y una relación muy limitada con el exterior. Frente a la estrategia de demolición parcial que se planteó inicialmente por la administración pública, Lacaton y Vassal plantean una alternativa radical basada en una idea simple pero decisiva: transformar sin demoler, prolongando la vida útil de la estructura existente mediante nuevas capas espaciales y ambientales que complementan lo que faltaba y potencian lo que debía conservarse.

La intervención consiste en la adición de una banda continua de galerías habitables de 3,80 m de profundidad, colocadas a lo largo de las fachadas principales de los tres bloques. Estas galerías funcionan como un espacio intermedio capaz de mejorar la iluminación natural, favorecer la ventilación cruzada y actuar como un colchón térmico pasivo. A su vez, incrementan la superficie útil de cada vivienda y ofrecen una flexibilidad que no existía en el edificio original. Este gesto sencillo, pero profundamente transformador, sintetiza la filosofía del equipo:

“Never demolish, never remove, or replace, always add, transform and reuse” Frédéric Druot, Anne Lacaton & Philippe Vassal

La lógica modular del proyecto se refleja en la repetición seriada de estas unidades, en su ejecución mediante componentes prefabricados y en su montaje independiente respecto al edificio original, lo que permitió realizar la obra sin desalojar a los residentes, en ciclos de intervención de pocos días por vivienda. Además de su creciente presencia en la cultura arquitectónica contemporánea, esta estrategia demuestra cómo la combinación entre modularidad, eficiencia energética y economía material puede generar transformaciones profundas con intervenciones mínimas.

Como se sintetiza en la **Figura 35**, la intervención se articula en torno a tres principios operativos: rehabilitar, reducir y repensar, que guían tanto las decisiones arquitectónicas como los procesos constructivos asociados a la transformación. Estos principios permiten entender la operación como un ejemplo avanzado de rehabilitación aditiva, donde las mejoras ambientales, espaciales y energéticas se consiguen sin intervenir en la estructura portante ni modificar la organización funcional de las viviendas originales.

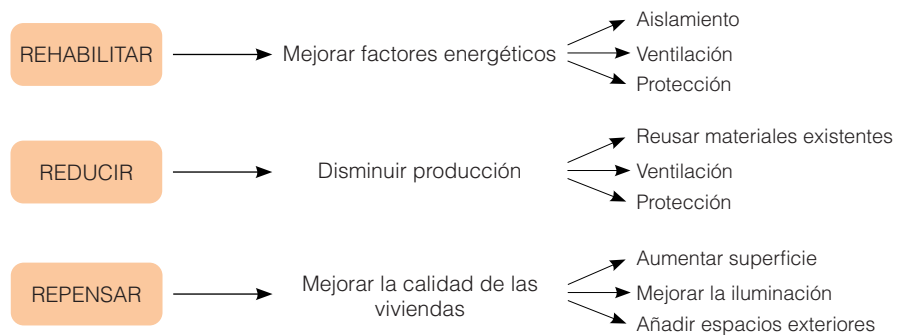


Figura 35. Principios operativos de la intervención en el Grand Parc.

En conjunto, el Grand Parc no solo actualiza un conjunto residencial modernista considerado obsoleto, sino que demuestra que la arquitectura puede operar desde una lógica propositiva y evolutiva, basada en añadir valor antes que sustituirlo. Esta forma de intervenir evidencia la capacidad de la rehabilitación contemporánea para transformar profundamente la experiencia del habitar sin alterar el soporte original. Al mismo tiempo, sitúa el proyecto dentro de una reflexión más amplia sobre la relación entre los edificios y su entorno urbano, cuestión que resulta fundamental para comprender el alcance real de la intervención.

Antes de la intervención, los bloques G, H e I se integraban en un paisaje urbano propio de los grandes desarrollos residenciales de los años sesenta, caracterizados por edificaciones lineales, amplias separaciones entre volúmenes y extensas áreas verdes según los principios del urbanismo moderno. Este modelo urbano, basado en la idea de los “edificios en el parque”, generaba una fuerte autonomía entre las piezas edificadas y una débil interacción con el nivel de calle, lo que limitaba la vinculación cotidiana entre los residentes y los espacios públicos circundantes. La disposición abierta, aunque coherente con el urbanismo funcionalista, terminó produciendo entornos poco articulados y carentes de actividad, condicionando también el comportamiento ambiental de las viviendas, cuyos cerramientos y orientación no respondían a las variaciones climáticas del entorno.

En este marco, el conjunto mostraba una identidad urbana homogénea y repetitiva, definida por tipologías similares, volumetrías masivas y escasos puntos de transición entre lo público y lo privado. Los espacios libres, concebidos originalmente como áreas de estancia y relación, habían derivado en zonas infrautilizadas, sin elementos que invitasen a apropiarse de ellas. A esta situación se sumaba la degradación progresiva de la imagen arquitectónica: fachadas opacas, envejecidas y sin cualidades ambientales reforzaban una percepción general de obsolescencia que afectaba tanto a la apariencia del conjunto como a la experiencia de los habitantes.

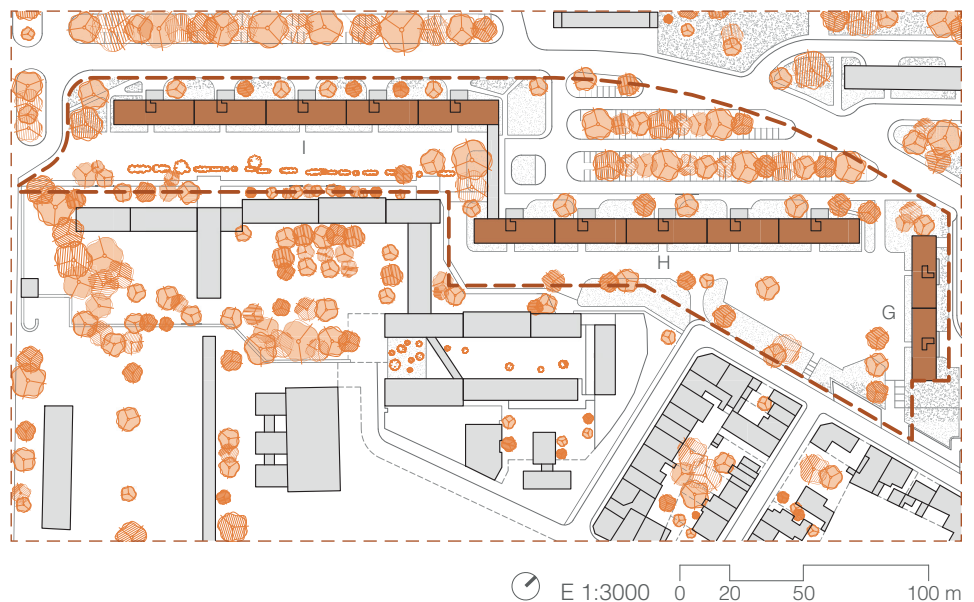


Figura 36. Emplazamiento original del Grand Parc.

Tras la intervención, los bloques G, H e I adquieren una presencia urbana profundamente transformada, resultado de la incorporación de nuevas galerías habitables que redefinen la relación entre edificación y espacio exterior. La adición de esta segunda piel transparente y continua genera una mayor permeabilidad visual y una lectura volumétrica más compleja, rompiendo la rigidez original de los frentes edificados. La transparencia y ligereza de la ampliación introducen variaciones de luz y actividad que revitalizan la percepción del conjunto, integrándolo de forma más amable en el paisaje urbano y propiciando un contacto más directo entre los residentes y su entorno inmediato. Esta nueva condición ambiental hace que el conjunto se perciba como un sistema climáticamente activo, donde la envolvente deja de ser un límite pasivo para ser un mediador entre edificio y entorno.

En este nuevo escenario, el Grand Parc presenta una identidad urbana renovada, más dinámica y reconocible, donde las fachadas transmiten la vida cotidiana de las viviendas y refuerzan la relación entre los ámbitos doméstico y comunitario. Los espacios libres se benefician de esta nueva condición al convertirse en superficies más activas y mejor conectadas con los recorridos peatonales y las áreas de acceso. La actualización de la envolvente, sumada a la mejora de la percepción ambiental, reduce la sensación previa de obsolescencia y consolida la presencia del conjunto como una pieza revitalizada dentro del tejido urbano existente.

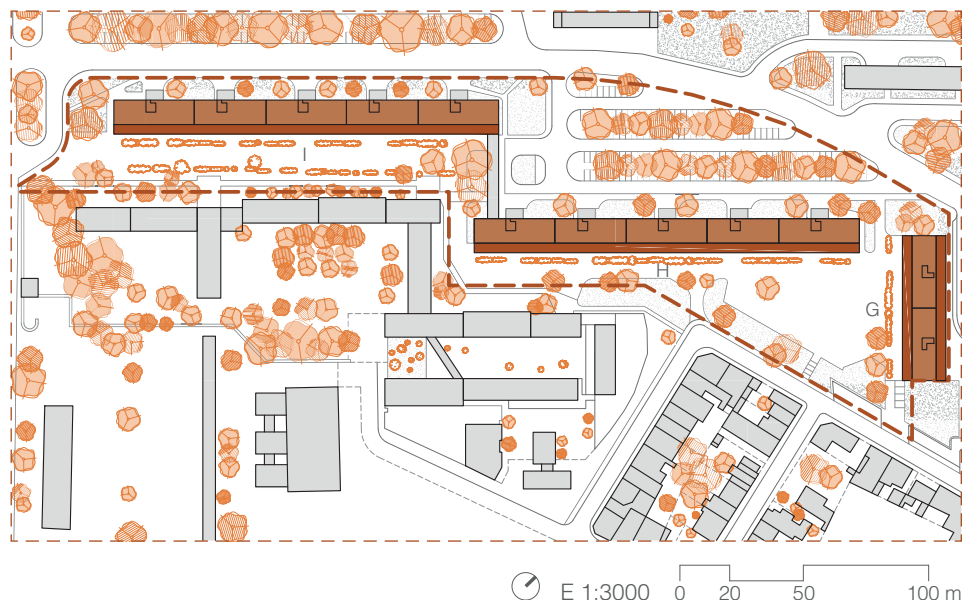


Figura 37. Emplazamiento tras la intervención del Grand Parc.

Si bien la intervención se plantea como una operación aditiva sobre la envolvente, sus efectos reorganizan las relaciones internas del edificio y redefinen la lógica espacial de las viviendas. Tanto en el bloque G como en los H e I, la estructura portante y la compartimentación original se mantienen prácticamente inalteradas, pero el modo en que cada unidad se abre al exterior cambia de manera sustancial. La ampliación desplaza el borde habitable hacia la fachada principal y genera una nueva profundidad que introduce gradientes espaciales inexistentes en el estado previo. Esta modificación altera la jerarquía entre estancias, favorece la continuidad visual y permite que la vida doméstica incorpore nuevos usos vinculados al exterior.

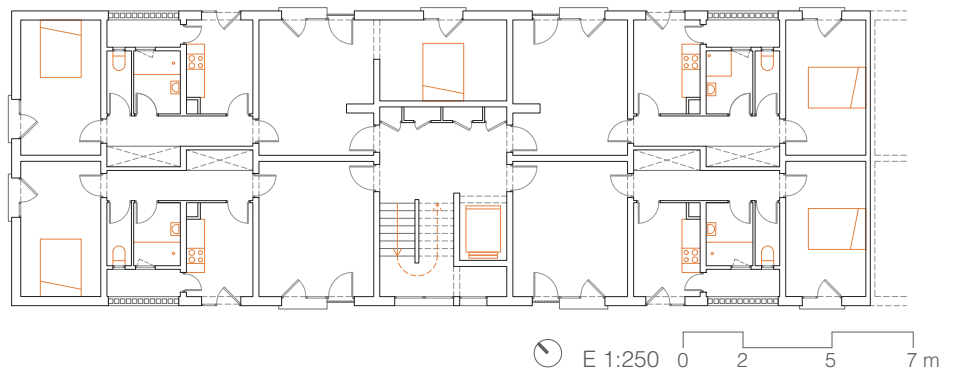


Figura 38. Planta original del edificio G de Grand Parc.

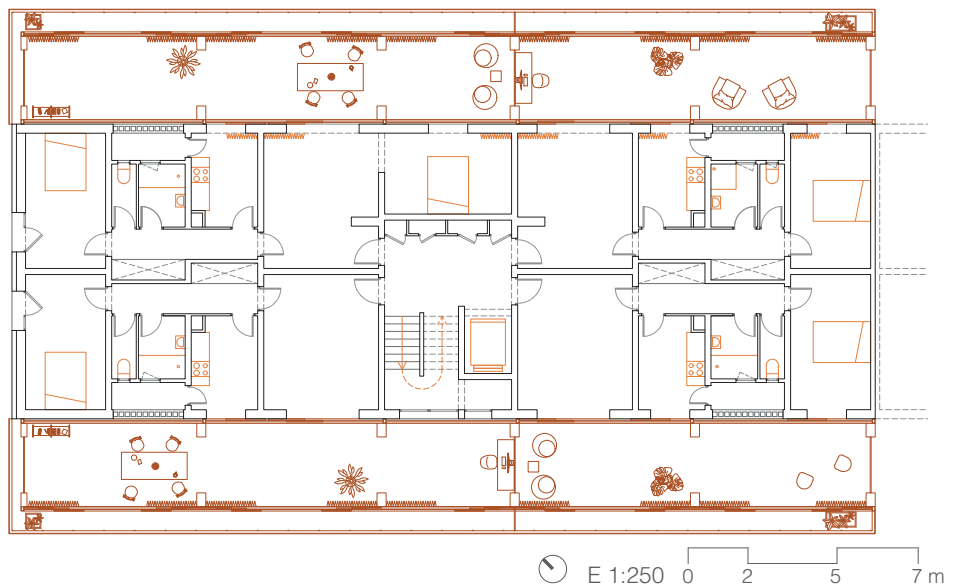


Figura 39. Planta transformada del edificio G de Grand Parc.

Este reajuste tipológico convierte a la vivienda moderna (originalmente rígida y hermética) en un sistema capaz de integrar espacios intermedios flexibles, actuar como regulador climático pasivo y ampliar sus posibilidades de apropiación.

Las plantas comparadas permiten reconocer cómo la intervención no transforma la organización interna desde la demolición, sino desde la adición: sumar para reconfigurar, manteniendo el soporte y actualizando el modo de habitarlo. La estrategia revela que pequeñas operaciones precisas pueden generar cambios espaciales profundos, ampliando la capacidad de la tipología original.

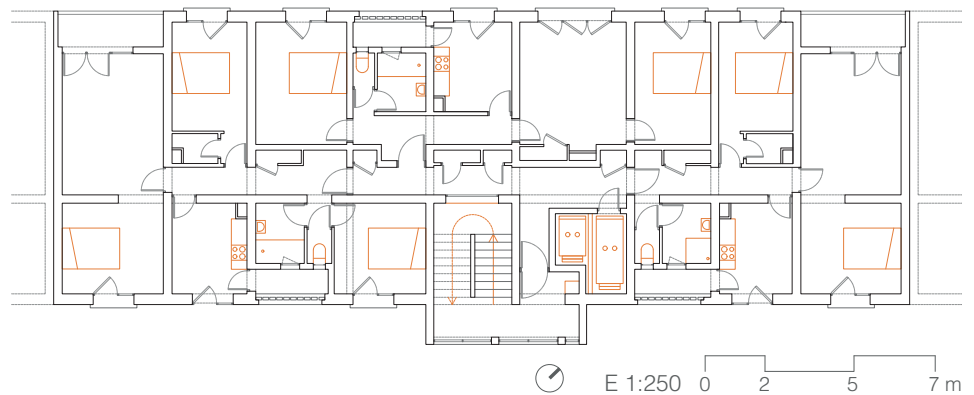


Figura 40. Planta original del edificio I de Grand Parc.

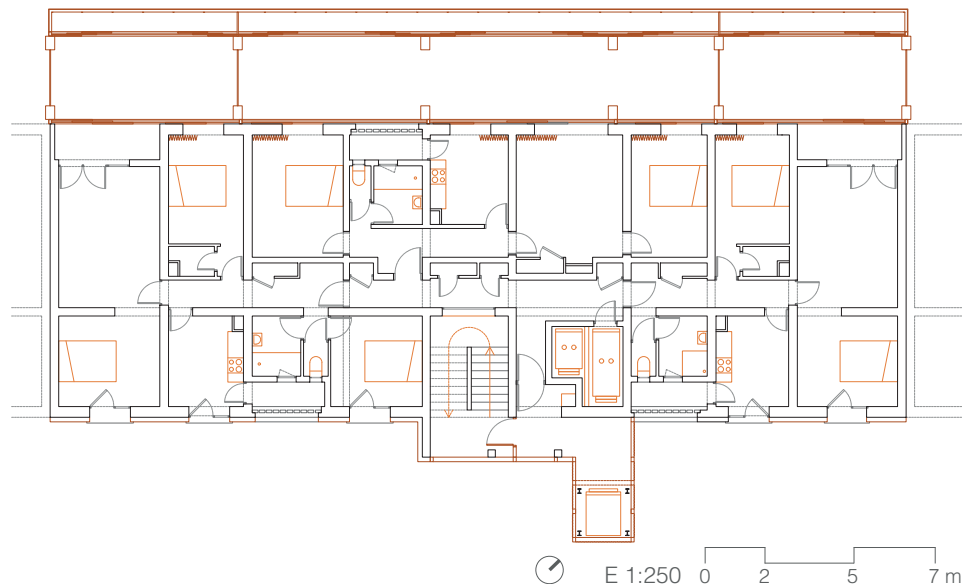


Figura 41. Planta transformada del edificio I de Grand Parc.

La lectura comparativa de las plantas permite reconocer que la operación aditiva no solo reorganiza la tipología, sino que modifica de manera sustancial la dimensión útil de la vivienda. En el estado original, las unidades del Grand Parc disponían de superficies en torno a 56 m², íntegramente interiores y caracterizadas por una relación limitada con el exterior. Tras la intervención, la incorporación del jardín de invierno desplaza el borde habitable y añade una franja continua de aproximadamente 49 m², alcanzando un total cercano a los 105 m² por vivienda.

Este incremento del 46% no responde únicamente a un aumento de superficie, sino a la introducción de un espacio híbrido capaz de asumir múltiples usos y de funcionar como transición climática. El crecimiento en planta evidencia la eficacia de la estrategia aditiva y permite comprender la reconfiguración espacial general del bloque, tal como se observa la [Figura 42](#).



Figura 42. Planta superficies transformada del edificio G (superior) e I (inferior) de Grand Parc.

A escala de vivienda, el despiece porcentual del nuevo volumen muestra variaciones según la tipología, pero mantiene una estructura común basada en tres ámbitos: espacio interior hermético, espacio intermedio y superficie exterior transitable. De manera aproximada, entre un 50–72 % del total corresponde al espacio interior; entre un 22–40 % configura el ámbito intermedio, concebido como colchón térmico y estancia flexible; y entre un 6–12 % se destina a superficies exteriores transitables. Esta redistribución no altera la compartimentación existente, pero transforma su funcionamiento, generando un gradiente espacial interior–intermedio–exterior que enriquece la experiencia doméstica.

La presencia del espacio intermedio introduce además una dimensión temporal en el uso de la vivienda, permitiendo variaciones y adaptaciones programáticas sin necesidad de modificaciones estructurales. De este modo, la ampliación no solo incrementa la superficie, sino que mejora la calidad ambiental, la versatilidad de los espacios de relación y la conexión entre el edificio y su entorno inmediato.

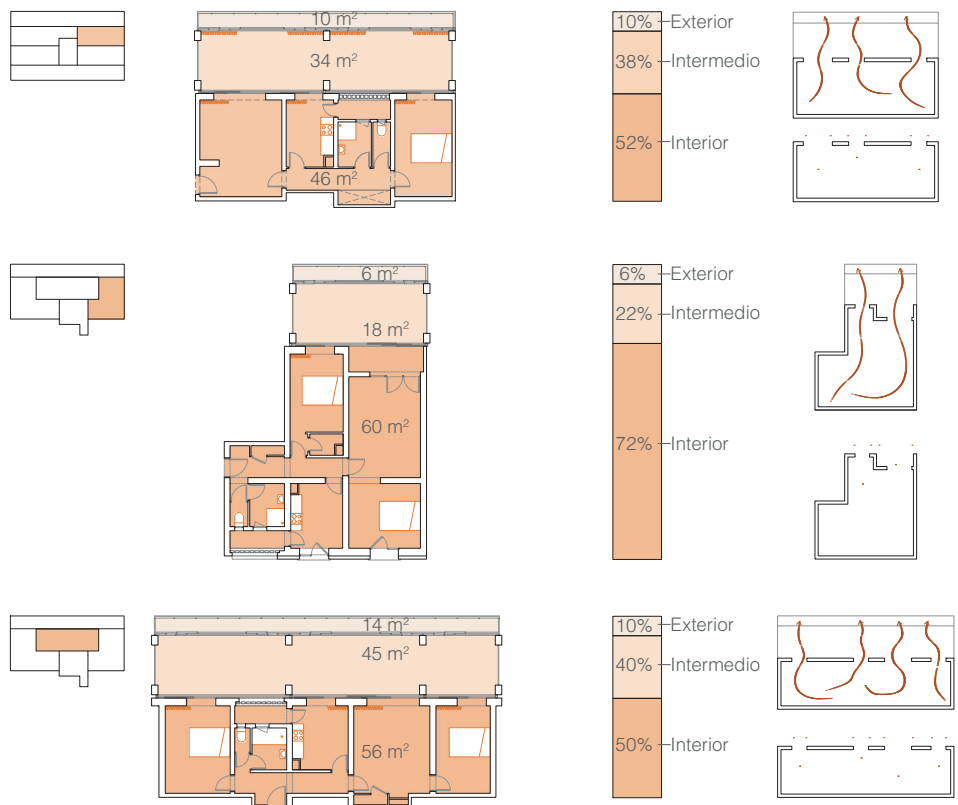


Figura 43. Esquema de superficies por vivienda.

La sección del edificio revela con claridad el efecto que la ampliación tiene sobre su profundidad y su relación con el exterior. En el estado previo, la fachada se presentaba como un plano rígido y prácticamente bidimensional, cuya poca permeabilidad limitaba la entrada de luz, la ventilación y la interacción climática. Con la intervención, la incorporación de la galería desplaza ese plano hacia el exterior y construye un nuevo volumen ligero que redefine la forma en que la vivienda se abre al entorno. Este nuevo espesor transforma la percepción del alzado, aportando una mayor complejidad volumétrica y una lectura más dinámica del conjunto.

La presencia de este espacio intermedio modifica la sección completa del edificio, generando una transición progresiva entre el interior hermético y el espacio exterior. La nueva banda habitable mejora la iluminación natural, favorece la ventilación y actúa como un filtro climático pasivo que amortigua las variaciones térmicas. Su ligereza estructural permite incorporarla sin alterar el soporte original, manteniendo la coherencia del sistema resistente existente.

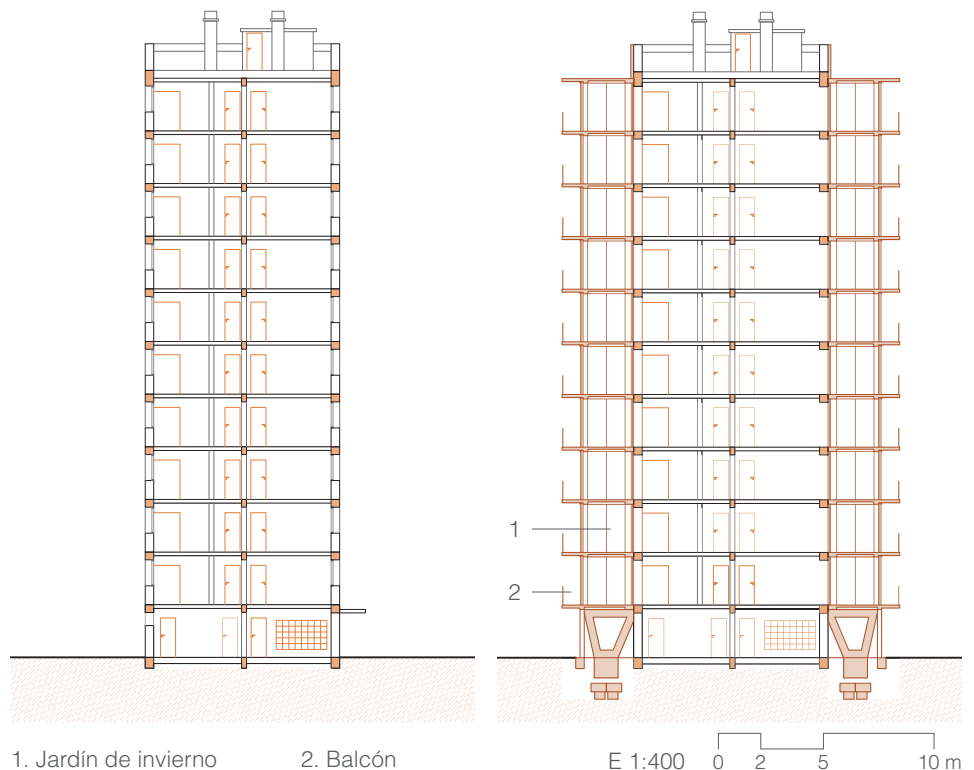


Figura 44. Sección antes (izquierda) y después (derecha) del edificio G de Grand Parc.

Este nuevo espesor convierte la envolvente en un límite activo que amplía las posibilidades de uso de la vivienda y redefine la imagen del conjunto en el paisaje urbano. La sección transformada muestra cómo la estrategia aditiva produce un borde más profundo, capaz de adaptarse a condiciones estacionales y de generar nuevas estancias vinculadas al exterior. Al mismo tiempo, esta operación evidencia la compatibilidad entre la estructura original y el sistema añadido.

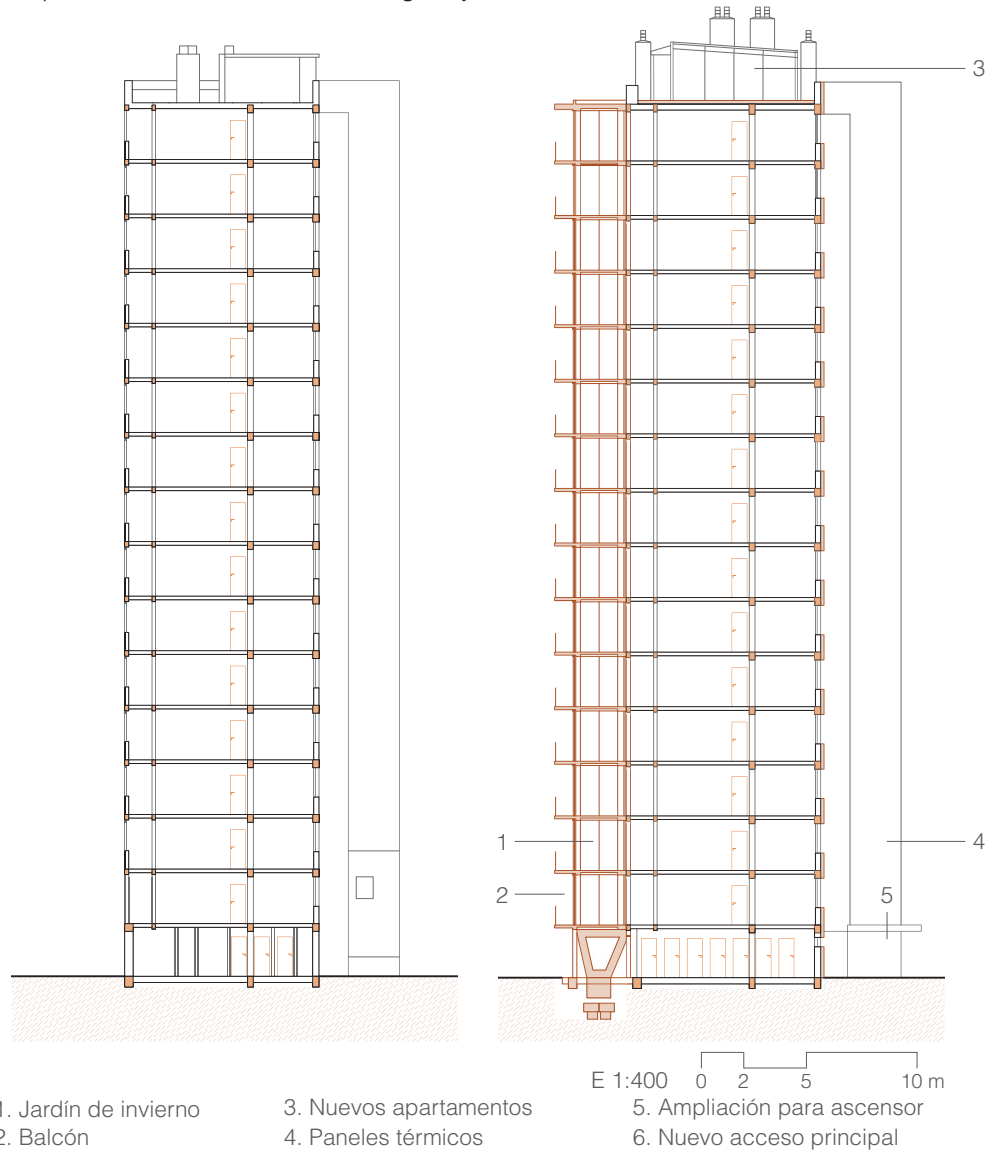
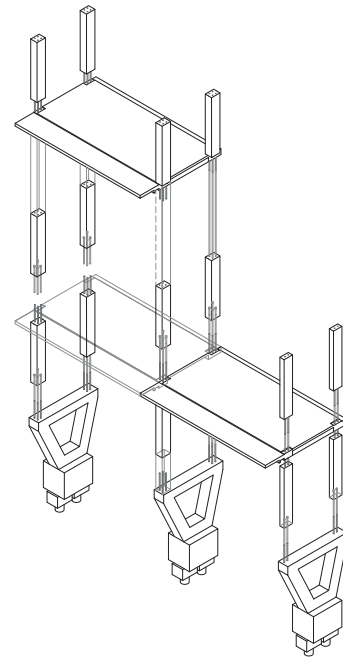
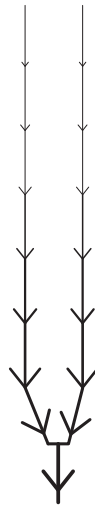
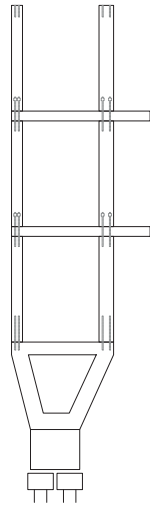


Figura 45. Sección antes (izquierda) y después (derecha) del edificio I de Grand Parc.

La ampliación se resuelve mediante una estructura autoportante completamente independiente al edificio original, lo que permite ejecutar la intervención sin sobrecargar ni modificar la estructura existente. Como se aprecia en la [figura 47](#), el nuevo volumen funciona como un gran pórtico longitudinal apoyado en una serie de pilares prefabricados de hormigón, dispuestos en la línea de fachada y separados de la cruja preexistente. Estos pilares son elementos prefabricados de geometría variable, con un tramo inferior troncopiramidal que optimiza la transmisión de cargas hacia la nueva cimentación, tal como muestra en la [figura 46](#) garantizando así un funcionamiento resistente eficiente y perfectamente compatible con el edificio existente.



[Figura 46](#). Esquema transmisión de cargas. [Figura 47](#). Axonometría estructura autoportante del volumen añadido.

Cada pilar recibe las cargas verticales de las losas prefabricadas y las transmite a una zapata corrida también independiente, construida en paralelo a la cimentación original. La sección del pilar se estrecha hacia la parte superior para reducir material donde los esfuerzos son menores y se ensancha en la base para aumentar la superficie de asiento y controlar la punzonadura. Esta geometría, característica de los elementos prefabricados empleados, responde a una optimización estructural que permite trabajar con piezas más ligeras sin comprometer la estabilidad global. Además, el dimensionado del pilar se coordina con la modulación de las losas y vigas superiores, facilitando un montaje preciso y repetitivo. El resultado es un elemento resistente eficiente y fácilmente transportable.

La estabilidad global del sistema se completa mediante una serie de pletinas metálicas que vinculan puntualmente la estructura añadida con la fachada existente. Estas uniones no transmiten cargas verticales (que discurren íntegramente por el exoesqueleto), pero actúan como arriostramientos capaces de controlar desplazamientos horizontales y garantizar el trabajo conjunto frente al viento y a las acciones laterales. La estructura añadida, por tanto, es autoportante en términos resistentes, pero mantiene una relación controlada y reversible con el edificio original, asegurando la compatibilidad entre ambas sin generar interferencias mecánicas. Esta conexión puntual permite absorber pequeñas diferencias de deformación entre ambos cuerpos y asegura que el comportamiento global no dependa de la rigidez de la fachada existente. Al mismo tiempo, las pletinas facilitan que el exoesqueleto mantenga su alineación durante el montaje y actúe como un soporte estabilizado desde las primeras fases de la obra. Este tipo de unión demuestra la precisión del sistema y su vocación de mínima invasión sobre el edificio previo.

El proceso constructivo revela con claridad la lógica modular del sistema. Sobre la pieza en “V” se disponen cuatro esperas verticales que sirven de guía para la colocación de los pilares prefabricados. Cada pilar llega de fábrica con dos perforaciones superiores e inferiores que permiten recibir estas esperas, facilitando un encaje rápido, preciso y sin necesidad de encofrados. Una vez montada la primera altura, se sitúa la losa prefabricada, que apoya sobre las vigas longitudinales y se fija mediante nuevas esperas que conectan el pilar inferior, la losa y el pilar superior. Esta secuencia de montaje se repite de forma ascendente, nivel a nivel, configurando un entramado continuo cuya rigidez depende tanto de la geometría de sus piezas como de la correcta alineación de las uniones verticales.

La repetición sistemática de estos encajes permite que la estructura funcione como un bastidor tridimensional, en el que los pilares, las losas y las esperas trabajan conjuntamente para garantizar la transmisión de cargas y la estabilidad global del sistema. El resultado es un proceso de montaje industrializado, rápido y altamente controlado.



Figura 48. Imágenes del proceso constructivo de la estructura.

El proceso de construcción se organiza en fases sucesivas que transforman la fachada existente y permiten incorporar la nueva profundidad habitable de forma gradual y sin interrumpir la vida cotidiana de los residentes. Esta secuencia de fases del sistema modular prefabricado permite el montaje de cada tramo de galería en unos dos o tres días, lo que permitió que la obra avanzara de manera continua y con una afectación mínima para los residentes, tardando un total de 12 a 16 días por vivienda.

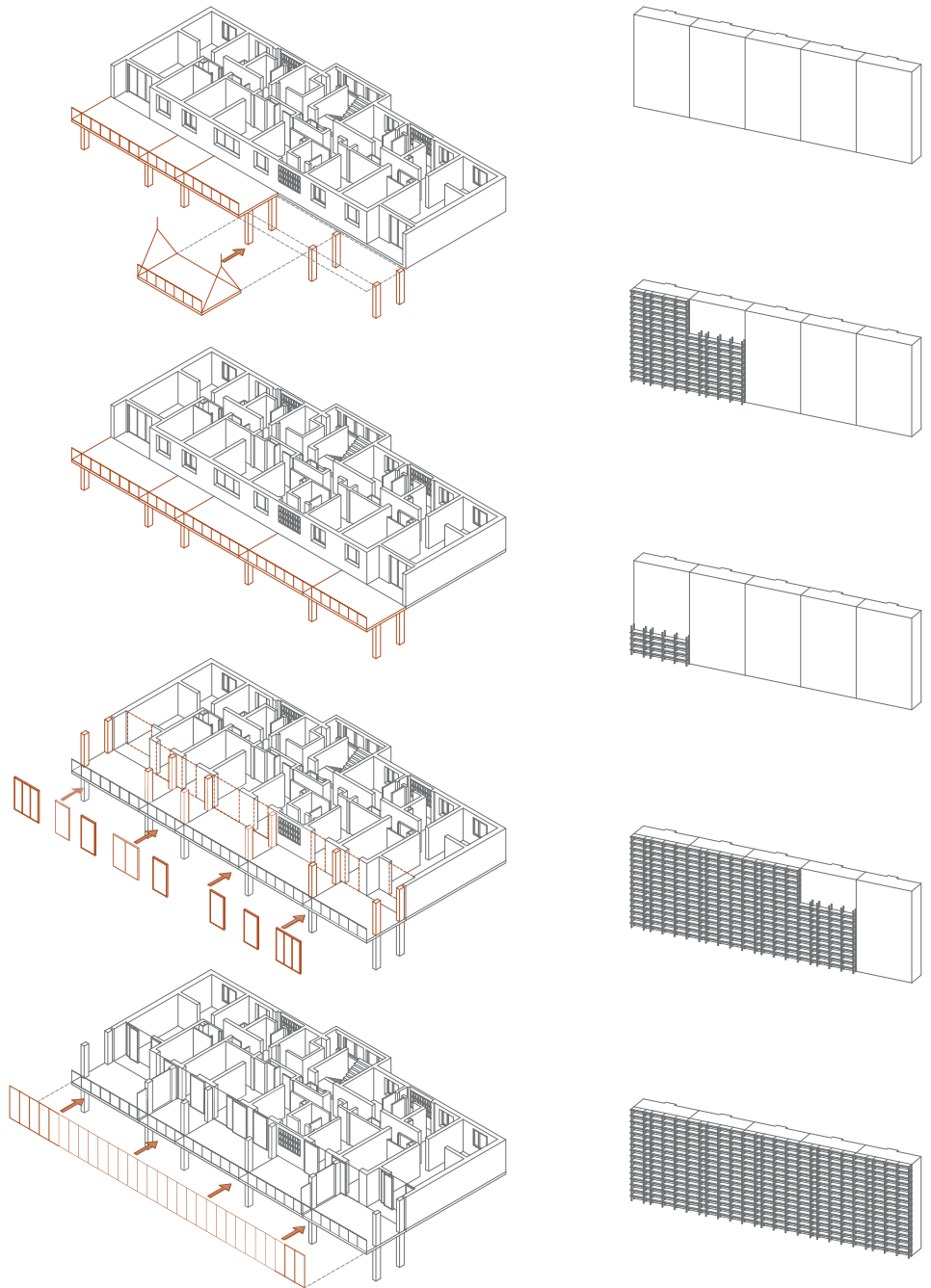
Comienza con la colocación de los pilares prefabricados de hormigón que conforman la estructura porticada añadida. Estos elementos se anclan a la cimentación independiente ejecutada previamente y establecen el ritmo estructural sobre el que se apoyarán las nuevas losas. A continuación se montan las losas prefabricadas de hormigón, que definen el forjado del nuevo volumen y permiten completar el exoesqueleto autoportante vinculado puntualmente al edificio existente.

Una vez configurado el sistema estructural, se retiran las carpinterías originales y se amplían los huecos hasta el nivel del forjado, lo que incrementa la entrada de luz y mejora la relación visual entre los espacios interiores y el nuevo volumen añadido. Tras esta apertura, se instalan las nuevas carpinterías de PVC en la línea de fachada original. Estas carpinterías acristaladas de suelo a techo, con apertura corredera, permiten conectar visual y físicamente las estancias interiores con el espacio intermedio, favoreciendo la iluminación natural y ampliando la profundidad útil de la vivienda.

En paralelo, se incorpora el marco perimetral de aluminio que da soporte a los paneles de policarbonato correderos. Estos paneles, también de suelo a techo, regulan la apertura del espacio intermedio hacia el exterior y crean un filtro lumínico y de privacidad gracias a la translucidez del material. La combinación entre carpintería interior y exterior permite configurar distintos grados de apertura y confort.

Completada la envolvente ligera, se colocan las barandillas de vidrio fijadas mediante perfiles metálicos integrados en las losas prefabricadas. Su transparencia mantiene la continuidad visual del nuevo volumen y garantiza la seguridad del conjunto.

El proceso termina con la consolidación del exoesqueleto: una estructura porticada prefabricada adherida al edificio existente que amplía su profundidad añadiendo una función de programa nulo, un espacio intermedio sin uso predeterminado capaz de adaptarse a las necesidades de los habitantes. Este nuevo espesor actúa como regulador térmico, lumínico y visual, generando una fachada más activa y flexible, con distintas posibilidades de apertura, opacidad y relación con el exterior.



E 1:500

E 1:3000

Figura 49. Secuencia del proceso constructivo del edificio I, H.



Figura 50. Comparativa de la transformación del bloque G.



Figura 51. Montaje módulo.

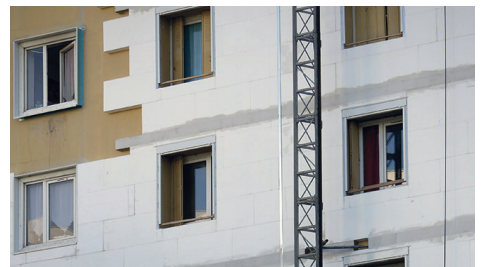


Figura 52. Ensamblaje paneles térmicos.



Figura 53. Montaje jardín de invierno.

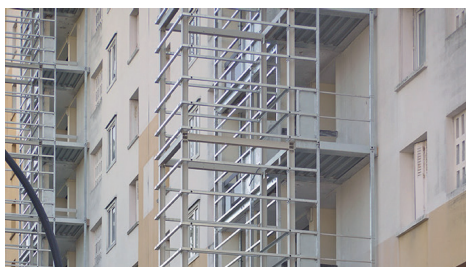


Figura 54. Montaje núcleo de comunicaciones.

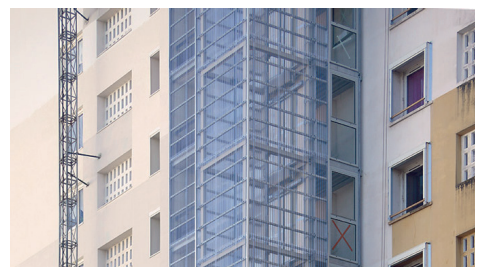


Figura 55. Núcleo de comunicaciones.

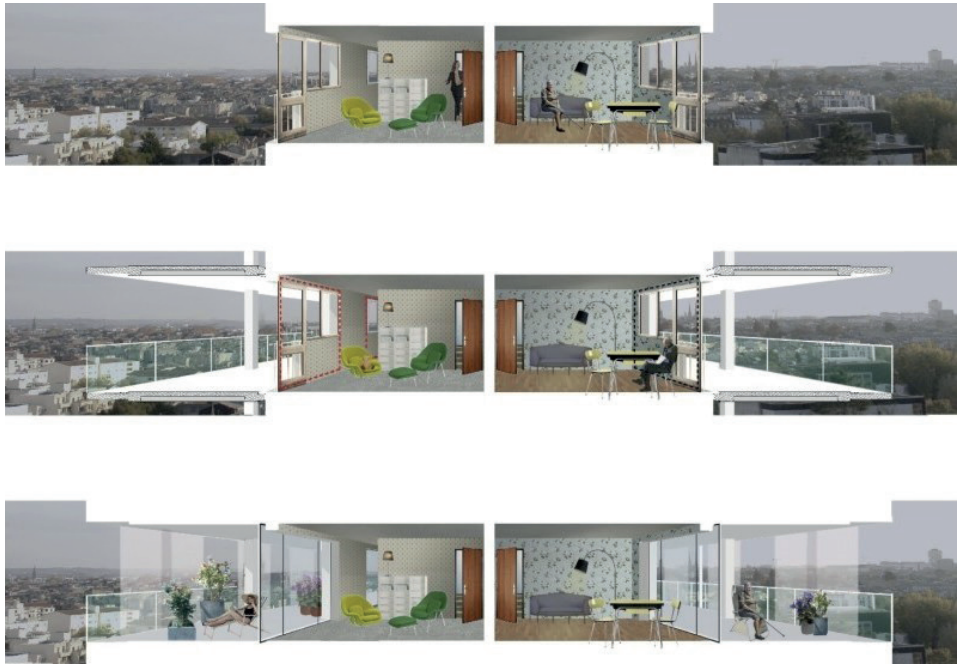


Figura 56. Fotomontaje de transformación del bloque G.



Figura 57. Fotomontaje de transformación del bloque I e H.

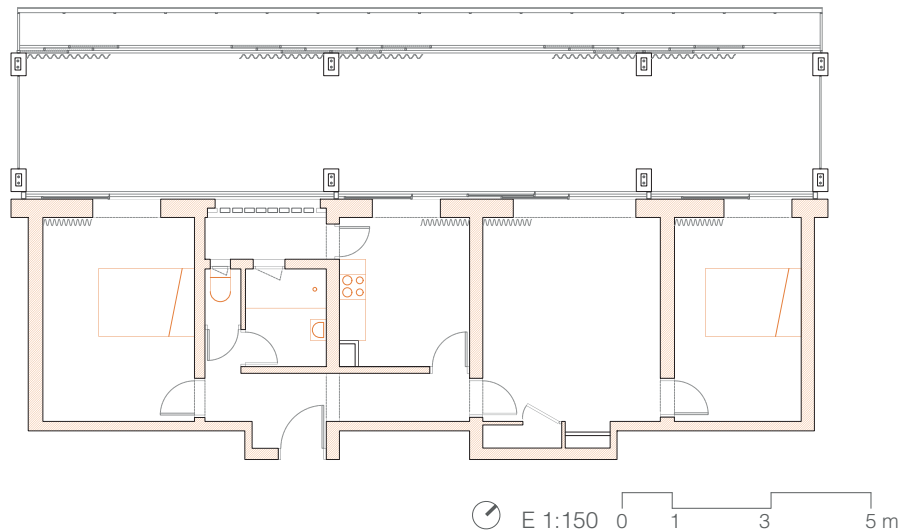


Figura 58. Planta detallada de una vivienda del edificio I.

El análisis del módulo parte de la vivienda tipo del edificio I, cuya organización responde a una estructura racional y fácil de descomponer en unidades espaciales. La planta (Figura 58) muestra una distribución lineal en la que las estancias principales se alinean en torno a la fachada, articulando un claro esquema interior-exterior que facilita una lectura modular y por tanto, la identificación de un módulo.

El módulo base no solo es entendido como una medida sino como una unidad espacial que se repite y organiza la vivienda en profundidad y en anchura. En este caso, se reconoce el módulo gracias a la estructura que marca unas claras crujeías.

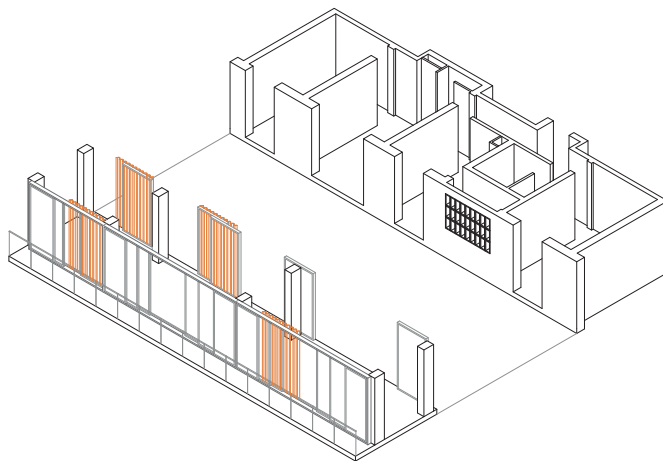


Figura 59. Axonometría de una vivienda del edificio I.

E 1:250

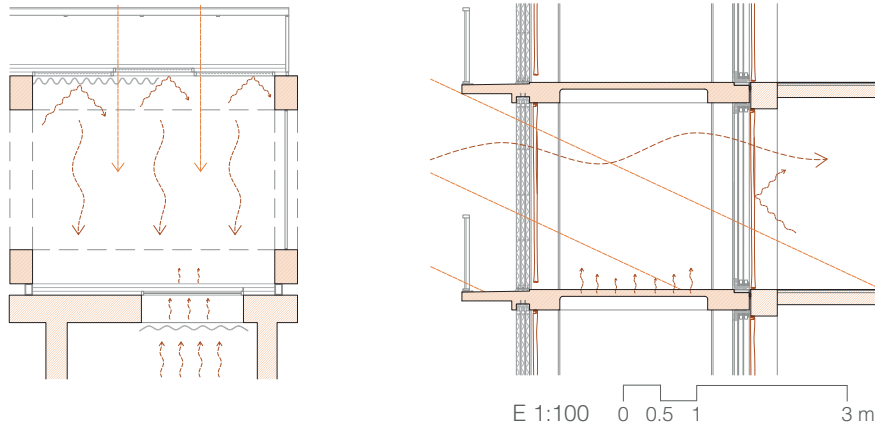


Figura 60. Comportamiento climático en invierno.

En invierno, el espacio intermedio actúa como colchón térmico, con la radiación solar que incide sobre el cierre de policarbonato retiene el calor y eleva la temperatura del aire antes de que alcance el cerramiento de vivienda, limitando así el enfriamiento nocturno. La carpintería interior permite decidir cuánta energía solar se introduce en la vivienda y no deja que se escape el confort térmico interior, favoreciendo un ambiente más estable sin necesidad de recurrir a sistemas activos.

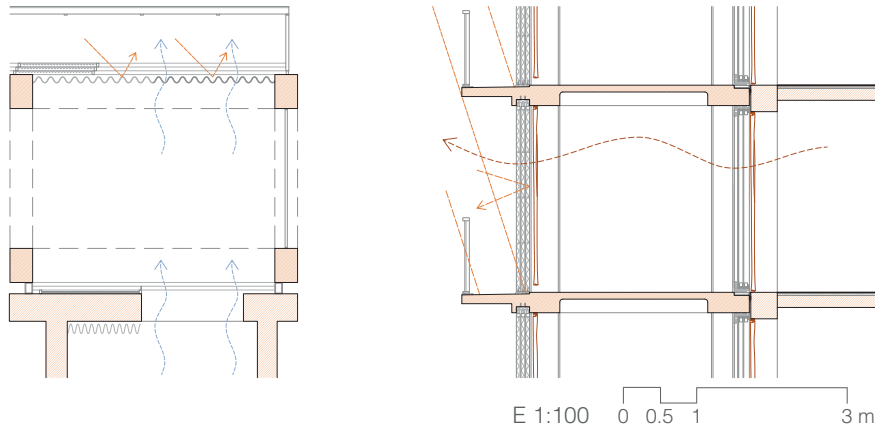
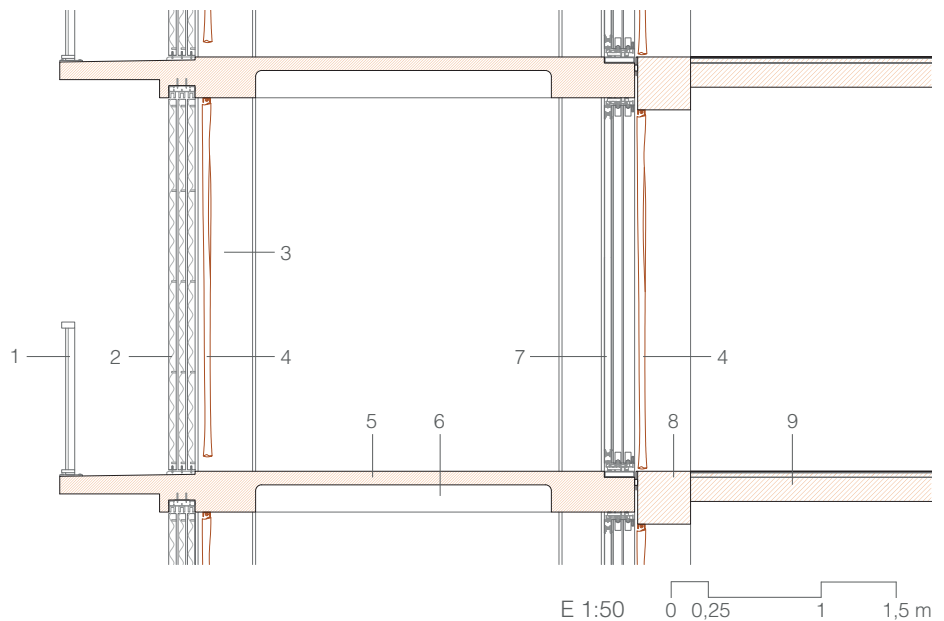


Figura 61. Comportamiento climático en verano.

En verano, la estrategia se invierte. La apertura de los paneles correderos permite ventilar la totalidad del espacio, consiguiendo que tenga el mismo comportamiento que el balcón. Por tanto, este espacio funciona como una cámara de sombra ventilada que reduce la radiación directa sobre la fachada original. Las cortinas térmicas del exterior se utilizan como protección solar móvil atenuando el sobrecalentamiento y filtrando la luz.



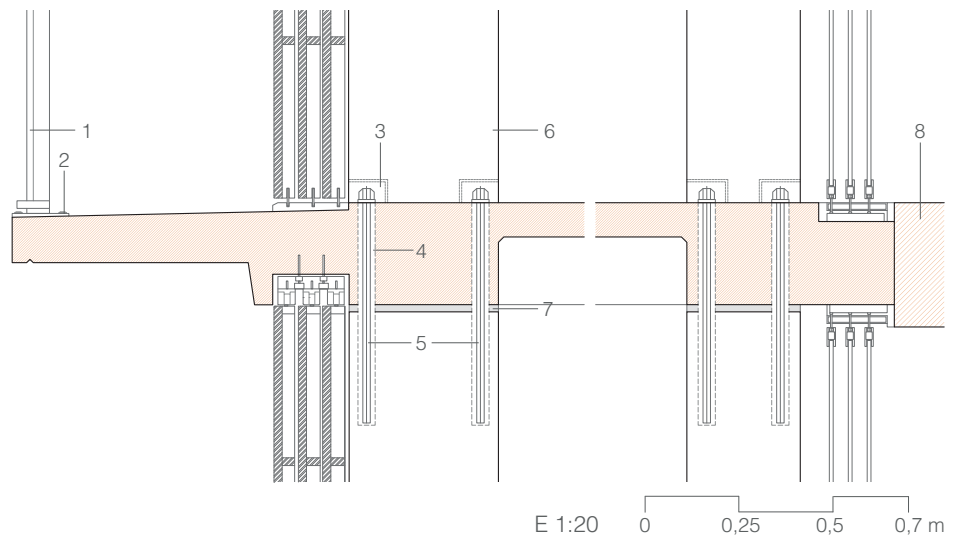
- | | |
|--|---|
| 1. Barandilla vidrio laminado | 5. Losa prefabricada de hormigón |
| 2. Carpintería exterior corredera de policarbonato celular | 6. Viga prefabricada de hormigón |
| 3. Pilar prefabricado 30x40 cm | 7. Carpintería interior corredera de aluminio |
| 4. Cortina térmica | 8. Estructura portante existente |
| | 9. Forjado existente |

Figura 62. Sección módulo jardín de invierno y balcón.

La ampliación se resuelve mediante una estructura porticada de pilares y vigas prefabricados de hormigón que sostienen una losa ligera, generando un forjado independiente. Sobre esta base estructural se organiza una envolvente compuesta por cerramientos móviles y fijos que permiten modular la apertura, la iluminación y el comportamiento climático del espacio intermedio.

El cerramiento exterior está formado por paneles correderos de policarbonato celular fijados a un bastidor de aluminio, que actúan como filtro lumínico y como piel ventilada. En el plano interior, las carpinterías de aluminio van de suelo a techo facilitando la conexión con la vivienda.

El conjunto se ancla a la estructura existente mediante anclajes puntuales que funcionan como arriostramiento horizontal, manteniendo la independencia resistente del exoesqueleto sin comprometer el soporte original. Esta conexión limitada permite absorber pequeños desplazamientos diferenciales entre ambos sistemas, asegurando un comportamiento estable y compatible con el soporte existente.



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Barandilla vidrio laminado | 5. Pernos de anclaje |
| 2. Perfil metálico | 6. Pilar prefabricado 30x40 cm |
| 3. Perforación en losa para pernos | 7. Mortero de fijación |
| 4. Vacío pies de pilar para ensamblaje | 8. Forjado existente |

Figura 63. Sección módulo jardín de invierno y balcón.

La losa prefabricada se apoya directamente sobre las vigas longitudinales del exoesqueleto, permitiendo salvar la luz entre pilares y generando un plano estable sobre el que se ensamblan el balcón y el jardín de invierno. Esto garantiza una alineación constante en todo el frente de la fachada.

El cerramiento exterior se dispone como una segunda piel ligera, separada del plano estructural y montada sobre un bastidor continuo de aluminio. Esta distancia entre planos permite que el espacio intermedio funcione como una cámara ventilada. La barandilla exterior, formada por vidrio laminado fijado a un perfil metálico embebido en el canto de la losa, completa este borde y garantiza la seguridad manteniendo la continuidad visual del conjunto.

En el interior del jardín de invierno, como se observa en la **Figura 63**, hay continuidad entre el nuevo forjado y los huecos ampliados de la fachada existente. La carpintería interior se instala de forjado a forjado mediante un marco perimetral de aluminio atornillado al borde del forjado original, creando un plano acristalado continuo que absorbe las pequeñas irregularidades de la fachada existente. Esta fijación directa al plano estructural garantiza la estanqueidad y la correcta alineación con el sistema exterior.

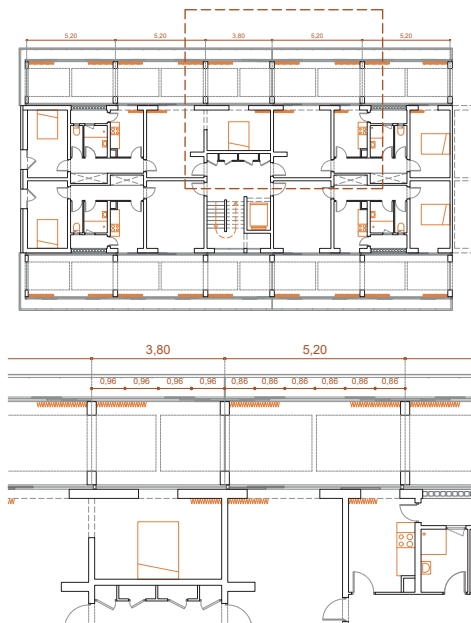


Figura 64. Modulaci3n bloque G.

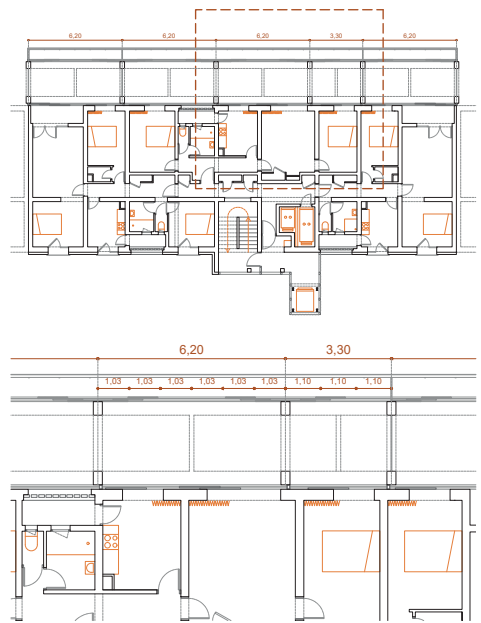


Figura 65. Modulaci3n bloque I, H.

La transformaci3n de los bloques G, H e I se apoya en un sistema modular estrictamente coordinado con la estructura existente ya que deba adaptarse a la posici3n original de los huecos y balcones, por lo que las losas prefabricadas se dimensionan seg3n estos.

En los edificios I y H se emplearon dos m3dulos base de $3,30 \times 3,75$ m y $6,20 \times 3,75$ m que se combinan de extremo a extremo, proporcionando a todas las viviendas nuevas estancias intermedias. En total se instalaron aproximadamente 600 m3dulos longitudinales de 6,20 m y 150 m3dulos transversales de 3,30 m, lo que evidencia la escala y la sistematicidad del proceso.

El edificio G, con una configuraci3n estructural ligeramente distinta, incorpora m3dulos de $5,20 \times 3,75$ m y $3,80 \times 3,75$ m, adaptados a sus dos fachadas principales debido a la tipologfa del edificio. En este caso, se montaron alrededor de 160 m3dulos de 5,20 m y 20 m3dulos de 3,80 m, configurando una banda a3nada continua.

En conjunto, el uso de elementos prefabricados de dimensiones vinculadas al edificio existente permiti3 que cada m3dulo funcionara como una unidad espacial aut3noma (de pilar a pilar).

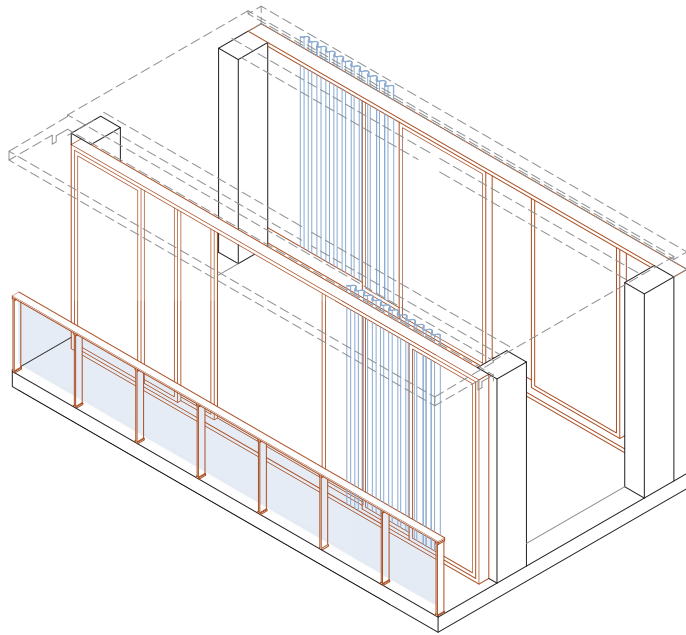


Figura 66. Axonometría módulo base.

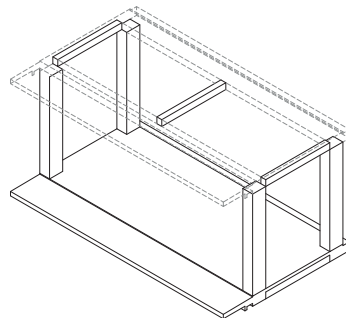


Figura 67. Axonometría estructura módulo base.

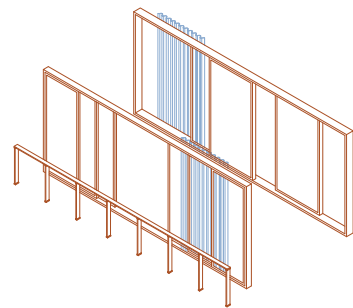


Figura 68. Axonometría cerramientos módulo base.

El módulo tridimensional que actúa como unidad funcional mínima es el que se extiende de pilar a pilar, ya que constituye el volumen espacial y constructivo que se repite de manera sistemática en toda la intervención. Este módulo está formado por una estructura de elementos prefabricados y por un sistema de cerramientos compuesto por diferentes tipos de carpinterías.

Este módulo estaría compuesto por dos sistemas que trabajan en conjunto, el sistema estructural y el sistema de envolvente.



05

**ANÁLISIS DE LOS
MÓDULOS DE
ACONDICIONAMIENTO
AMBIENTAL**

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.01 Metodología

Con el fin de entender y comparar diferentes estrategias de diseño modular, se seleccionan tres casos prácticos de rehabilitación eficiente con módulos de acondicionamiento ambiental, ganadores del concurso de BIT Habitat "Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores sostenibles". La metodología de investigación consta de los siguientes pasos, que se desarrollan en las secciones siguientes:

- A. Selección de casos de estudio.
- B. Definición de los criterios de comparación.
- C. Análisis y discusión de los resultados.
- D. Conclusiones

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.02 Casos de estudio

El reto urbano “Regeneración de edificios de viviendas con sistemas innovadores” surge gracias a la Fundación BIT Habitat, organismo dependiente del Ayuntamiento de Barcelona cuya misión es promover la innovación urbana en todas sus dimensiones: social, tecnológica, económica y medioambiental. Esta fundación actúa como un instrumento público destinado a impulsar proyectos capaces de ofrecer respuestas creativas y transformadoras a los desafíos complejos que enfrentan las ciudades contemporáneas, articulando la colaboración entre la Administración, el sector privado, la comunidad investigadora y la ciudadanía.

La Fundación BIT Habitat nace del propósito de impulsar la innovación urbana mediante la investigación aplicada, el diseño experimental y la promoción de soluciones tecnológicas, sociales y ambientales orientadas a la transformación de la ciudad. Su actividad se articula en torno a cuatro grandes ámbitos estratégicos: la innovación social, enfocada en mejorar la calidad de vida y la cohesión ciudadana; la innovación ambiental, centrada en la sostenibilidad, la eficiencia energética y la resiliencia frente al cambio climático; la innovación tecnológica, que promueve la incorporación de herramientas digitales, sistemas inteligentes y nuevas metodologías de gestión urbana; y la innovación económica, destinada a favorecer nuevas formas de producción, emprendimiento y gestión vinculadas al entorno urbano. Para llevar a cabo estos objetivos, BIT Habitat opera mediante convocatorias públicas, programas de financiación y espacios de experimentación urbana donde se desarrollan y testan prototipos reales. Entre sus principales propuestas destacan los concursos de ideas, las pruebas piloto y los retos urbanos, entendidos estos últimos como procesos de innovación abierta que permiten identificar necesidades, reunir entidades diversas y evaluar soluciones en condiciones reales. Bajo este marco, la ciudad se convierte en un laboratorio urbano, habilitando emplazamientos donde instalar prototipos a escala real que posteriormente son monitorizados, permitiendo valorar su impacto en términos de confort, energía, economía circular, biodiversidad e integración arquitectónica.

La convocatoria de este concurso se inscribe en el Programa de Regeneración Urbana de Barcelona, una estrategia municipal que aborda de manera integrada las problemáticas del sector residencial existente como son la obsolescencia física, la baja eficiencia energética, los déficits de accesibilidad y la escasez de espacios públicos. Este programa orienta la intervención hacia modelos urbanos más sostenibles. Frente a estas carencias, el ayuntamiento apuesta por mecanismos de innovación abierta capaces de identificar, desarrollar y probar soluciones que posteriormente puedan escalarse y aplicarse en el conjunto de la ciudad.

En este contexto, BIT Habitat convoca este reto urbano detectando la necesidad de actuar sobre la ciudad que comienza a mostrar signos de obsolescencia estructural y funcional. Para ello, lanza una consulta abierta a la innovación, invitando a empresas, universidades, estudios de arquitectura y agentes tecnológicos a proponer prototipos capaces de ser instalados y monitorizados en condiciones reales. La convocatoria busca, además, consolidar un marco de colaboración estable entre las distintas entidades, favoreciendo la transferencia de conocimiento y la generación de soluciones coordinadas. La propuesta se fundamenta en un proceso iterativo que busca identificar, probar, medir y escalar la solución más eficaz, integrando fases de experimentación, evaluación y transferencia al tejido urbano consolidado.

Este reto nace como una respuesta directa a dos circunstancias actuales. En primer lugar, a una necesidad urbana urgente: buena parte de los edificios residenciales construidos en Barcelona, especialmente entre las décadas de 1950 y 1980, presentan carencias significativas en accesibilidad, insuficiencia de aislamiento térmico, elevadas demandas energéticas y condiciones de confort interior deficitarias. Se trata, en gran medida, de tipologías de bloque abierto y promociones de vivienda económica. Además, este desafío también se articula con líneas estratégicas municipales relacionadas con la lucha contra la emergencia climática y la mejora del bienestar habitacional, reforzando la necesidad de abordar la rehabilitación desde una perspectiva integral y transversal.

En segundo lugar, surge un marco normativo favorable dentro de la comunidad autónoma: la legislación urbanística catalana, concretamente el artículo 9.2 del Texto Refundido de la Ley de Urbanismo de Cataluña (TRLUC), establece la posibilidad de adosar cuerpos construidos a fachadas y cubiertas sin que ello compute como incremento de edificabilidad ni de ocupación. Esta disposición habilita nuevas estrategias de intervención, permitiendo ampliar viviendas o incorporar nuevas envolventes y galerías climáticas sin necesidad de modificar los parámetros urbanísticos básicos.

Ambos factores, constituyen una oportunidad idónea para ensayar sistemas constructivos modulares, de instalación rápida, montaje en seco y bajo impacto ambiental, capaces de transformar edificios existentes sin interferir en su funcionamiento interior. De este modo, el reto se convierte en un mecanismo experimental que permite validar soluciones con potencial de ser replicadas en futuras estrategias municipales de regeneración residencial, alineadas con los principios contemporáneos de sostenibilidad urbana y eficiencia energética.

La propuesta de este reto responde a una serie de objetivos estratégicos definidos por BIT Habitat, alineados con su misión de promover la innovación urbana y con las directrices del Programa de Regeneración Urbana de Barcelona. El propósito principal es impulsar el desarrollo de soluciones constructivas innovadoras que permitan abordar, de manera integral, las carencias de la edificación residencial existente, especialmente en relación con la habitabilidad, la eficiencia energética y la calidad ambiental. Para ello, la fundación busca fomentar la creación de sistemas modulares, prefabricados y sostenibles, capaces de adaptarse a múltiples contextos urbanos y de aplicarse sobre edificios consolidados sin generar intervenciones intrusivas.

Asimismo, la convocatoria pretende acelerar la difusión del conocimiento técnico y científico hacia la práctica profesional y la gestión urbana. Al exigir la fabricación de prototipos a escala real y su monitorización durante doce meses, BIT Habitat persigue obtener datos objetivos sobre el rendimiento energético, el confort térmico, el comportamiento estructural y el impacto ambiental de las soluciones propuestas. Esta estrategia permite fundamentar la toma de decisiones en evidencia empírica, favoreciendo la replicabilidad de los sistemas más eficaces.

Otro de los objetivos fundamentales consiste en promover la economía circular en el sector de la construcción, incentivando el uso de materiales reciclables y de proximidad, así como la incorporación de soluciones desmontables, reutilizables y de bajo impacto ambiental. De este modo, el concurso no solo impulsa la rehabilitación energética de los edificios, sino también un modelo constructivo más sostenible y alineado con los principios contemporáneos de descarbonización.

Finalmente, se persigue reforzar la dimensión social y comunitaria de la regeneración urbana, promoviendo la creación de espacios exteriores habitables, zonas comunes y nuevas envolventes que mejoren la calidad de vida de los residentes. En consonancia con las políticas municipales actuales, el organismo busca que la innovación arquitectónica contribuya también a generar vínculos sociales, favorecer la cohesión vecinal y activar la vida comunitaria en los barrios.

En conjunto, estos objetivos evidencian la voluntad de BIT Habitat de impulsar un modelo de regeneración urbana. La convocatoria se plantea como un instrumento para ensayar nuevas formas de intervención. Con ello, el reto urbano aspira a consolidarse como un referente metodológico en la transformación sostenible y adaptable del parque residencial consolidado de Barcelona.

La estructura del concurso se articula en torno a un conjunto de directrices técnicas que orientan el desarrollo de soluciones constructivas innovadoras capaces de regenerar el parque residencial existente mediante estrategias de modularidad, sostenibilidad y economía circular. Estas bases definen el tipo de sistema que debe plantearse, los condicionantes dimensionales que lo configuran y los principios constructivos que guían su diseño. De este modo, el concurso no se concibe como una convocatoria convencional, sino como un marco experimental para ensayar prototipos reales que integren prefabricación, montaje en seco y capacidad de adaptación a diferentes situaciones urbanas.

El objetivo principal de la convocatoria consiste en el desarrollo de un sistema integral y modular, capaz de adosarse a fachadas y cubiertas sin alterar los parámetros urbanísticos del edificio existente. Este sistema debe estructurarse mediante kits prefabricados, entendidos como unidades funcionales que pueden ensamblarse, desmontarse y reconfigurarse con facilidad. La modularidad no se plantea únicamente como un mecanismo de repetición, sino como una estrategia que permita reducir la complejidad constructiva, mejorar la logística de producción y facilitar la interoperabilidad entre elementos. En este sentido, la convocatoria exige que todos los componentes sean montados en seco, reutilizables y reciclables, contribuyendo a minimizar residuos, reducir el impacto ambiental y prolongar la vida útil de los materiales.

Además, se establecen una serie de requisitos dimensionales y funcionales destinados a garantizar que las propuestas desarrollen un sistema aplicable a una amplia variedad de edificios residenciales. Los prototipos deben incorporar tres forjados que permitan la ampliación de dos niveles, generar superficies interiores y semiabiertas dentro de unos rangos establecidos y prever espacios capaces de alojar posibles elementos de comunicación vertical.

Asimismo, la convocatoria introduce criterios de sostenibilidad y economía circular de carácter obligatorio. Se prioriza el uso de materiales con bajo impacto ambiental y la incorporación de soluciones que reduzcan la demanda energética. Los kits deben mejorar la envolvente térmica existente, gestionar el agua de lluvia mediante sistemas de cubierta tipo aljibe, integrar producción energética renovable y permitir la monitorización continua del comportamiento del prototipo. Esta monitorización será extendida durante doce meses, permitiendo estudiar con precisión aspectos como el confort térmico, la eficiencia energética, la resiliencia urbana, la biodiversidad y la circularidad material.

Desde el punto de vista metodológico, el concurso establece una serie de criterios de valoración que reflejan los principios de diseño promovidos por el reto. Entre ellos destacan la modularidad del sistema, su capacidad de ser escalado y reproducido, el grado de innovación técnica, la calidad de las estrategias pasivas y activas propuestas, el ciclo de vida de los materiales empleados y la facilidad de montaje y desmontaje. También se valora la capacidad del sistema para integrarse en tejidos urbanos diversos y para generar espacios exteriores que mejoren la habitabilidad y la calidad ambiental.

En conjunto, estas directrices configuran un marco de diseño que obliga a las propuestas a combinar prefabricación, circularidad, eficiencia energética y adaptabilidad. El concurso se convierte así en un escenario idóneo para analizar diferentes aproximaciones a la regeneración modular, al comportamiento ambiental de nuevos sistemas constructivos y al potencial de la industrialización como herramienta para transformar el sector residencial.

Cada uno de los kits obligatorios responde a un ámbito específico de la regeneración arquitectónica (volumetría, comportamiento bioclimático, gestión del agua, producción energética y monitorización) y, en conjunto, permiten abordar la rehabilitación desde una perspectiva integrada basada en la industrialización y la economía circular. Su carácter prefabricado, desmontable y reconfigurable garantiza la posibilidad de aplicar el sistema en distintas tipologías de edificación, manteniendo la coherencia técnica del prototipo y facilitando su réplica a escala urbana. A continuación se describen de forma detallada los cinco kits que conforman el sistema propuesto por la convocatoria.

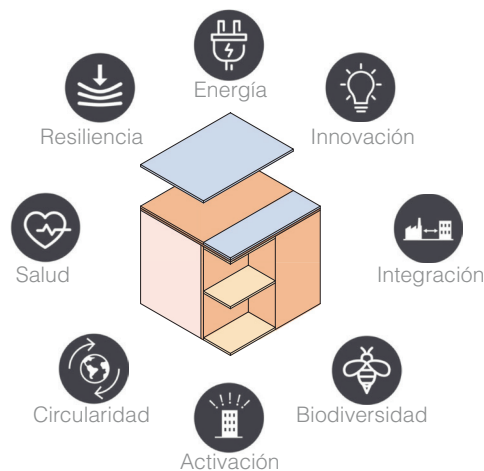


Figura 69. Conjunto de kits obligatorios del reto urbano.

- **Kit 1: ampliación de volumen**

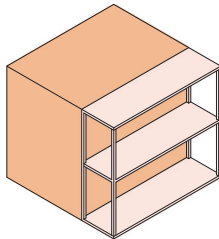


Figura 70. Kit 1: ampliación de volumen.

Este kit constituye la pieza central del sistema ya que tiene que permitir incrementar la profundidad edificada del edificio existente hasta un máximo de 4 metros, mediante módulos montados en seco, desmontables y reutilizables, capaces de adosarse total o parcialmente a una de las fachadas. El prototipo debe incorporar tres forjados que permitan ampliar dos niveles del edificio, con una superficie aproximada entre 13 y 17 m² por planta y una longitud máxima de 5 m. Entre el 40 % y el 60 % de esta superficie deberá configurarse como espacio interior, y el resto como superficie abierta o semiabierta, destinada a balcones, terrazas, galerías climáticas u otros espacios intermedios. Asimismo, se exige prever un ámbito para elementos de comunicación vertical y para la ampliación directa de las viviendas existentes.

- **Kit 2: envolvente bioclimática**

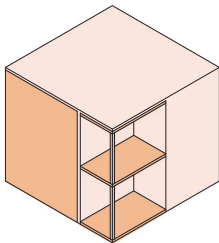


Figura 71. Kit 2: envolvente bioclimática.

El kit debe mejorar el comportamiento energético del edificio mediante la incorporación de una envolvente bioclimática ligera, capaz de regular la radiación solar, la ventilación y el intercambio térmico. Este sistema debe permitir su adaptación a distintas orientaciones y condiciones climáticas. La envolvente puede estar formada por paneles modulares, elementos de sombreado, sistemas de protección solar o cámaras ventiladas que funcionen como colchón térmico. Su diseño debe contribuir a reducir la demanda energética del edificio, mejorar el confort higrotérmico y garantizar la compatibilidad con el resto de kits. Además, debe permitir diferentes configuraciones según la tipología de edificio y las condiciones de uso.

- **Kit 3: aljibe**

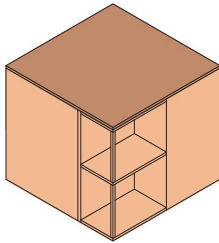


Figura 72. Kit 3: aljibe.

El kit debe ser un sistema destinado a recoger, retener y gestionar aguas pluviales, pudiendo materializarse como una cubierta vegetal tipo aljibe que cubra parcial o totalmente la superficie de cubierta y permita su aprovechamiento para consumos no potables. Se establecen varias soluciones posibles, entre ellas: un pavimento flotante con aljibe y geotextiles que transporten el agua por capilaridad, un pavimento flotante con aljibe y riego por goteo, o un sistema de bandejas aljibe combinado con bandejas vegetales, admitiéndose también sistemas equivalentes. En todos los casos, el kit debe incorporar un riego de emergencia con contador que mantenga siempre llenos los primeros 2 cm del aljibe, garantizando un suministro mínimo en episodios de sequía prolongada, y una profundidad total mínima de 10 cm. Su configuración debe permitir la incorporación de vegetación y favorecer la biodiversidad y la mejora del microclima, reduciendo la escorrentía y contribuyendo a la resiliencia hídrica del prototipo.

- **Kit 4: fotovoltaico**

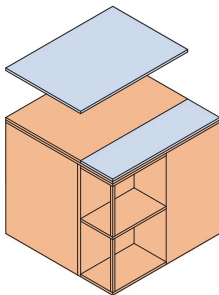


Figura 73. Kit 4: fotovoltaico.

El kit debe integrar un sistema de captación y producción de energía solar mediante paneles ligeros que puedan disponerse tanto en cubierta como en la envolvente, según permitan la orientación y las condiciones. El sistema debe asegurar un rendimiento adecuado para contribuir a la autosuficiencia energética del prototipo.

Asimismo, su disposición debe coordinarse con el resto de kits obligatorios, especialmente con el aljibe, asegurando una integración técnica coherente y funcional dentro del conjunto, y evitando sobrecargas a la estructura y garantizando su óptimo comportamiento.

- **Kit 5: smart building**

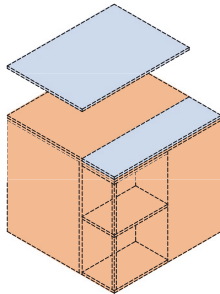


Figura 74. Kit 5: smart building.

El kit debe integrar un sistema de sensores y de gestión que permita registrar el comportamiento del prototipo, incorporando dispositivos capaces de medir parámetros como temperatura, humedad, calidad del aire, consumo y producción energética o captación solar. El sistema debe incluir una plataforma de recogida y transmisión de datos, conectada tanto al kit fotovoltaico como a la envolvente y al aljibe, permitiendo evaluar el rendimiento de cada componente y su incidencia en el comportamiento global. Además, debe garantizar la gestión centralizada de la información, facilitando su análisis y visualización, y asegurando que la monitorización aporte indicadores comparables con los criterios de impacto ambiental y energético.

En conjunto, la definición de estos cinco kits establece el marco técnico sobre el que se estructura el concurso, determinando los criterios de diseño y las prestaciones mínimas que deben cumplir las propuestas. Este sistema integral permite evaluar de manera comparable las soluciones presentadas y proporciona una base sólida para analizar los diferentes enfoques desarrollados por los equipos participantes.

Los proyectos se evaluaron mediante un sistema de criterios que permiten valorar de forma comparable la calidad técnica, la coherencia del sistema propuesto y el impacto ambiental y social del prototipo. Estos criterios se organizan en varios bloques que abarcan desde la solidez conceptual hasta los impactos energéticos, ambientales y urbanos.

1. Descripción general de la propuesta y las soluciones aportadas

Evalúa la claridad y coherencia del sistema, la definición precisa de los kits y de la adecuación al reto urbano y la capacidad de la propuesta para justificar de forma sólida su funcionamiento y viabilidad como solución integral de regeneración.

2. Modularidad, escalabilidad y duplicabilidad del sistema

Analiza el grado de industrialización del sistema, la repetibilidad de los componentes, su capacidad de adaptación a distintas tipologías residenciales y la facilidad de montaje en seco. Se valora especialmente que los kits puedan desmontarse y reutilizarse manteniendo un alto nivel de estandarización.

3. Innovación del sistema

Evalúa el uso de soluciones técnicas, materiales o procesos constructivos innovadores que aporten mejoras respecto a las prácticas habituales, incluyendo sistemas de prefabricación avanzada, tecnologías activas de gestión energética o nuevas aplicaciones materiales.

4. Impacto en el ámbito de salud y confort

Se evalúa el comportamiento térmico, lumínico y acústico del prototipo, así como la accesibilidad, la mejora constructiva y la incorporación de materiales saludables. Se valoran estrategias de ventilación cruzada, control solar y optimización del confort interior, junto con la inclusión mínima del 20 % de superficies fotocatalíticas que favorecen la limpieza activa del aire.

5. Impacto en el ámbito de la resiliencia urbana

Se valora la capacidad del prototipo para mejorar la resiliencia del edificio frente a estrés térmico, olas de calor y gestión hídrica. Se consideran estrategias que reduzcan el efecto isla de calor mediante materiales reflectantes o el uso de vegetación, junto con sistemas de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales. Además, se tienen en cuenta otras soluciones que contribuyan a la adaptación climática y a la mejora del microclima urbano.

6. Impacto en el ámbito energético

Se evalúa la capacidad de reducir la demanda energética mediante estrategias pasivas y una mejora efectiva del comportamiento térmico. Así como, el cumplimiento de que los cierres incrementen al menos un 20 % el aislamiento respecto al exigidos por el CTE, y que las protecciones solares permitan mantener un factor solar inferior al 35 % en verano y garantizar la captación del 90 % de la radiación en invierno.

7. Impacto en la economía circular

Se valora el grado de circularidad del sistema, atendiendo a la desmontabilidad, reciclabilidad y capacidad de reutilización de los componentes. Se valora que al menos el 90 % del presupuesto se destine a elementos montados en seco, reciclables y desmontables, y que un mínimo del 25 % de los componentes se fabrique en un radio inferior a 500 km para reducir impactos de transporte. También se considera la energía embebida de la solución así como la capacidad de los kits para recuperarse e implantarse en otros edificios o configuraciones.

8. Impacto en la biodiversidad

Se valora la capacidad del prototipo para incorporar soluciones que favorezcan la biodiversidad vegetal y animal. Se tiene en cuenta la aportación del kit de cubierta vegetal como soporte de nuevas especies y la presencia de otros elementos que incrementen la vegetación o generen microhábitats en el edificio y su entorno inmediato.

9. Impacto en la integración urbana

Se evalúa la adecuación del prototipo a su contexto urbano, atendiendo a la coherencia de los volúmenes añadidos y a la compatibilidad de los acabados con las preexistencias para minimizar impactos en la percepción del conjunto construido.

10. Impacto en la activación comunitaria

Se considera la capacidad del prototipo para generar espacios compartidos accesibles y atractivos que refuercen la convivencia de los residentes, valorando que la arquitectura favorezca dinámicas comunitarias positivas.

11. Coste de fabricación del prototipo

Se valora la claridad y coherencia del coste de fabricación dentro de un proceso industrializado, considerándose la adecuación del coste por metro cuadrado para garantizar la ejecución real del sistema, con un valor máximo de 2.000 €/m².

12. Descripción del plan de trabajo

Se evalúa la calidad y coherencia del plan de trabajo en relación con los objetivos del prototipo y los resultados previstos, atendiendo a la viabilidad técnica de las fases de diseño, fabricación, montaje y monitorización, considerándose además la disponibilidad de la infraestructura necesaria para ejecutar el sistema, así como la capacidad del equipo para garantizar la correcta instalación del prototipo en los plazos establecidos.

13. Detalle sobre riesgos potenciales durante la ejecución y medidas de prevención

Se considera la identificación de los riesgos potenciales asociados a la fabricación, instalación y funcionamiento del prototipo, así como la definición de procedimientos para prevenir, corregir o mitigar sus posibles efectos.

14. Presupuesto

Se valora la coherencia del presupuesto presentado en relación con el alcance del prototipo y los recursos necesarios para su fabricación, montaje y seguimiento. Se considera la adecuación entre los costes estimados y las prestaciones previstas, así como la solidez de la planificación económica para garantizar su ejecución sin desviaciones significativas.

15. Composición del equipo

Se evalúa la composición del equipo atendiendo a su carácter multidisciplinar, considerando la experiencia y cualificación profesional de los integrantes, así como su capacidad para abordar con solvencia las distintas fases de diseño, fabricación y gestión del prototipo.

Considerando estos criterios, al reto urbano se presentaron un total de ocho equipos, cuyas propuestas mostraron aproximaciones diversas al sistema modular y a los objetivos establecidos por la convocatoria. Entre ellas, "ALIGRA" destacó por la claridad con la que respondía a los requisitos planteados y por el desarrollo técnico alcanzado, tanto en la definición de los volúmenes de ampliación como en la mejora de las preexistencias e integración de distintas implantaciones volumétricas en el contexto urbano. "Regenerar Barcelona" presentó un sistema capaz de generar espacios de elevada calidad y de tipologías diversas, resolviendo con detalle los distintos objetivos del concurso, especialmente en lo relativo a la capacidad de ampliación volumétrica.

La propuesta "InnoFab" abordó los objetivos mediante soluciones constructivas basadas en materiales reciclables y procesos de innovación aplicada, ofreciendo distintas opciones para resolver los volúmenes añadidos. En una línea similar, "Re-Goin" articuló su propuesta a partir de sistemas construidos con materiales reciclados y estrategias de innovación, planteando también múltiples alternativas para la ampliación volumétrica.

Por su parte, “Regeneració d’edificis d’habitatges amb sistemes innovadors sostenibles” destacó por la diversidad de planteamientos distributivos y por su capacidad de producción rápida e integrada, aunque algunos aspectos como la adaptabilidad geométrica, la integración urbana o la definición del kit aljibe, quedaban menos desarrollados.

La propuesta “Andamiaje” no alcanzó el nivel de consistencia técnica requerido para dar respuesta a todos los requisitos del concurso; sin embargo, se valoró positivamente su potencial en activación comunitaria, al incorporar la participación vecinal tanto en el proceso constructivo como en la fase de uso. “Wild Wood” cumplió de forma general los objetivos del reto, aunque requería un mayor desarrollo en cuestiones clave como la integración urbana diversa o la implantación a nivel de planta baja. Finalmente, “Bioclimatic Freight” presentó soluciones vinculadas al intercambio de recursos con el entorno, pero dejó insuficientemente desarrollados aspectos fundamentales como el núcleo de comunicaciones exigido y varios de los objetivos principales del concurso.

Por todo ello, las tres soluciones que pasaron a la siguiente fase de construcción del prototipo a escala real fueron “ALIGRA”, “Regenerar Barcelona” e “InnoFab”; propuestas que destacaron tanto por la solidez técnica de sus sistemas como por su capacidad para responder de forma integral a todos los objetivos del concurso.

ALIGRA

El proyecto "ALIGRA" es desarrollado por el equipo Straddle3, en colaboración con Societat Orgànica, como responsable de criterios de sostenibilidad y ecología aplicada; Tallfusta, como especialistas en prefabricación en madera; Tejido, como plataforma dedicada a la integración de tecnologías abiertas en el entorno urbano y; Aiguasol, que aporta ingeniería asociada a energía, agua y climatización. A este equipo multidisciplinar se suman colaboraciones específicas en vegetación (Massoni), instalaciones (Climelectra y Holaluz) y estructuras temporales (RH), conformando una red de trabajo que permite abordar el proyecto de forma integral, atendiendo no solo a la arquitectura, sino también a su desempeño energético y ambiental a lo largo del tiempo.

La propuesta es planteada como un sistema constructivo basado en módulos bidimensionales prefabricados, pensados para ser ensamblados en seco y desmontados sin pérdida. El proyecto se fundamenta en estrategias claras como trabajar con un sistema modular capaz de crecer o reducirse en función de cada edificio, plantear la rehabilitación como una intervención que se añade sin alterar lo existente, y entender la fachada como un soporte transformable que puede incorporar nuevos usos y capacidades. El equipo prioriza la adaptabilidad en el tiempo, la posibilidad de montaje y desmontaje, y la toma de decisiones basadas en eficiencia de recursos, logística de transporte y facilidad de mantenimiento.



Figura 75. Imagen exterior prototipo "ALIGRA".



Figura 76. Render exterior proyecto "ALIGRA".

El proceso constructivo (Figura 77) evidencia la intención del sistema por incorporar mejoras sobre el edificio existente sin necesidad de intervenir en su estructura original. La secuencia comienza con la preparación de los puntos de anclaje y apoyo, encargados de fijar el módulo con precisión y garantizar su alineación respecto a la fachada. A partir de este arranque se posiciona la estructura que se monta en seco siguiendo una modulación constante y permitiendo que la instalación avance de forma ordenada y predecible. La claridad del proceso facilita que la ejecución pueda realizarse sin desalojar a los residentes, manteniendo en todo momento la habitabilidad del edificio.

En una segunda etapa se incorporan los componentes que dan forma al volumen ampliado. El sistema crece mediante la adición sucesiva de piezas prefabricadas, que definen los nuevos espacios exteriores e intermedios vinculados a las viviendas. Cada módulo se integra sobre el anterior manteniendo la lógica modular, lo que posibilita que la instalación pueda detenerse, ampliarse o variarse en función del alcance de la intervención. La secuencia progresiva de montaje facilita que el prototipo se adapte a diferentes configuraciones y que pueda aplicarse de forma gradual en el tiempo.

La fase final completa el conjunto mediante la incorporación de la envolvente y los elementos de acondicionamiento: protecciones solares, superficies vegetales, captación hídrica y generación fotovoltaica. El resultado es un sistema que actúa por capas, sumando capacidades sin sustituir lo existente y permitiendo que la intervención evolucione o se revierta según necesidades futuras. En definitiva, el proceso refleja una clara metodología modular, coherente y comprometida con las nuevas líneas de eficiencia energética.

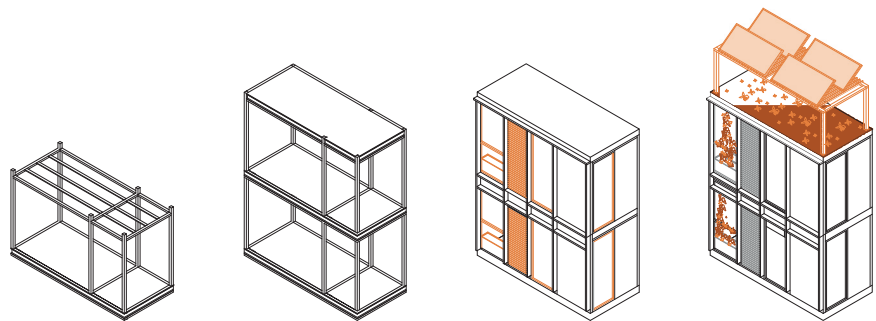


Figura 77. Fases del montaje del prototipo "ALIGRA".

E 1:300

El proyecto no plantea una única configuración de planta, sino un sistema capaz de adaptarse a distintas situaciones edificatorias, niveles de intervención y necesidades de uso. La planta se organiza a partir de una secuencia modular repetitiva que puede extenderse en uno o varios tramos, permitiendo que el sistema se adhiera a la fachada existente y genere espacios de transición entre el interior y el exterior. Esta lógica hace posible que la superficie resultante pueda funcionar como galería climática, espacio habitable ampliado o zona exterior vinculada a la vivienda. La distribución no es un estado cerrado, sino un marco abierto donde el crecimiento, la densidad y el grado de ocupación dependen de cada caso. Su capacidad para transformarse en el tiempo permite que el espacio evolucione conforme lo hagan las necesidades de los usuarios.

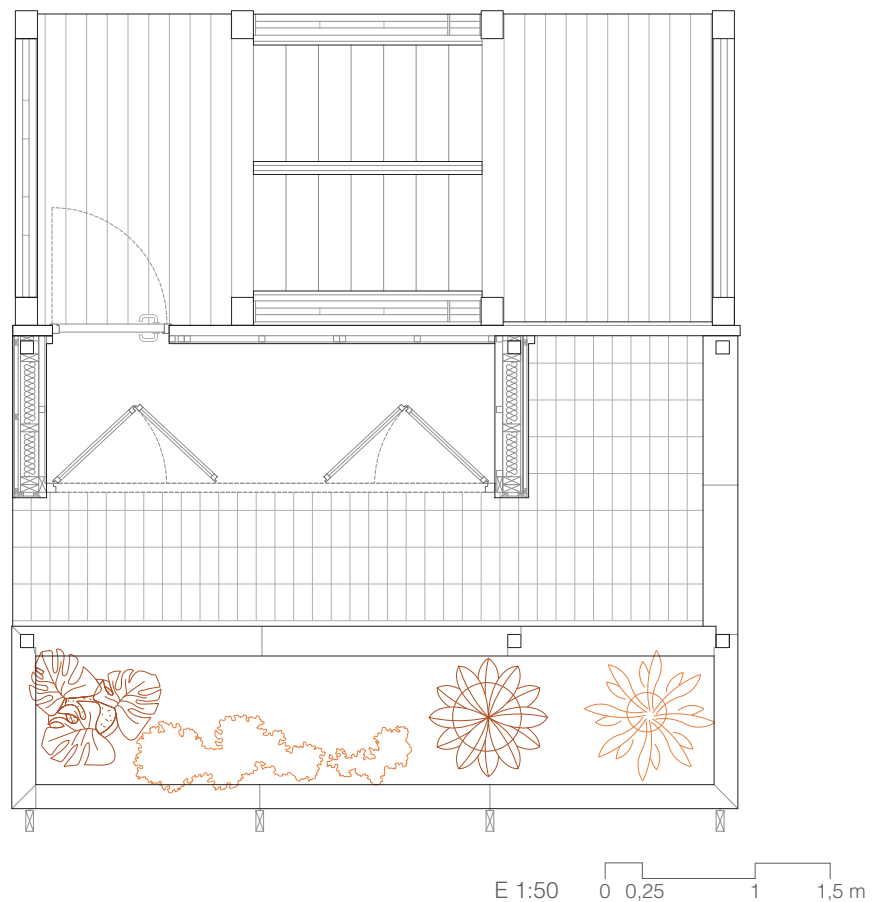


Figura 78. Posible configuración de planta "ALIGRA".

A medida que la planta incorpora diferentes cerramientos, aparecen variaciones espaciales significativas. Los módulos pueden configurarse como recintos cerrados que amplían la superficie útil hacia el exterior, o como espacios abiertos destinados al uso estacional y a la ventilación pasiva. También es posible articular soluciones intermedias, semiabiertas o filtradas, mediante vegetación, lamas móviles o planos permeables que regulan la luz, la sombra y la privacidad. La combinación de estos elementos genera plantas flexibles con distintos grados de transparencia y protección, haciendo que el espacio pueda funcionar alternativamente como estancia habitable, terraza continua o corredor bioclimático. De esta forma, la propuesta no define un único modo de ocupación, sino un abanico de configuraciones que permiten ajustar la vida doméstica a las condiciones climáticas, el programa y el tiempo.

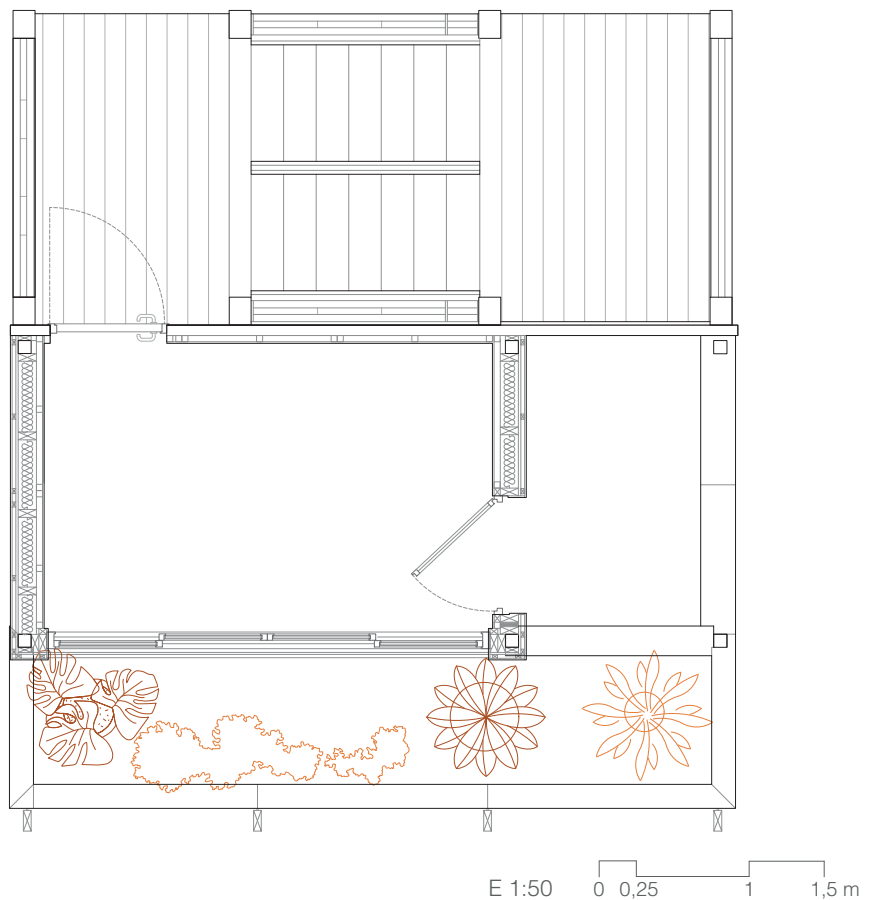


Figura 79. Posible configuración de planta "ALIGRA".

El alzado transversal (Figura 80) revela la relación directa entre la fachada existente y el nuevo volumen adosado, configurado como una franja habitable que genera espacios intermedios entre interior y exterior. La incorporación de vegetación, sombra y planos permeables activa la fachada y convierte su espesor en un soporte climático y doméstico.

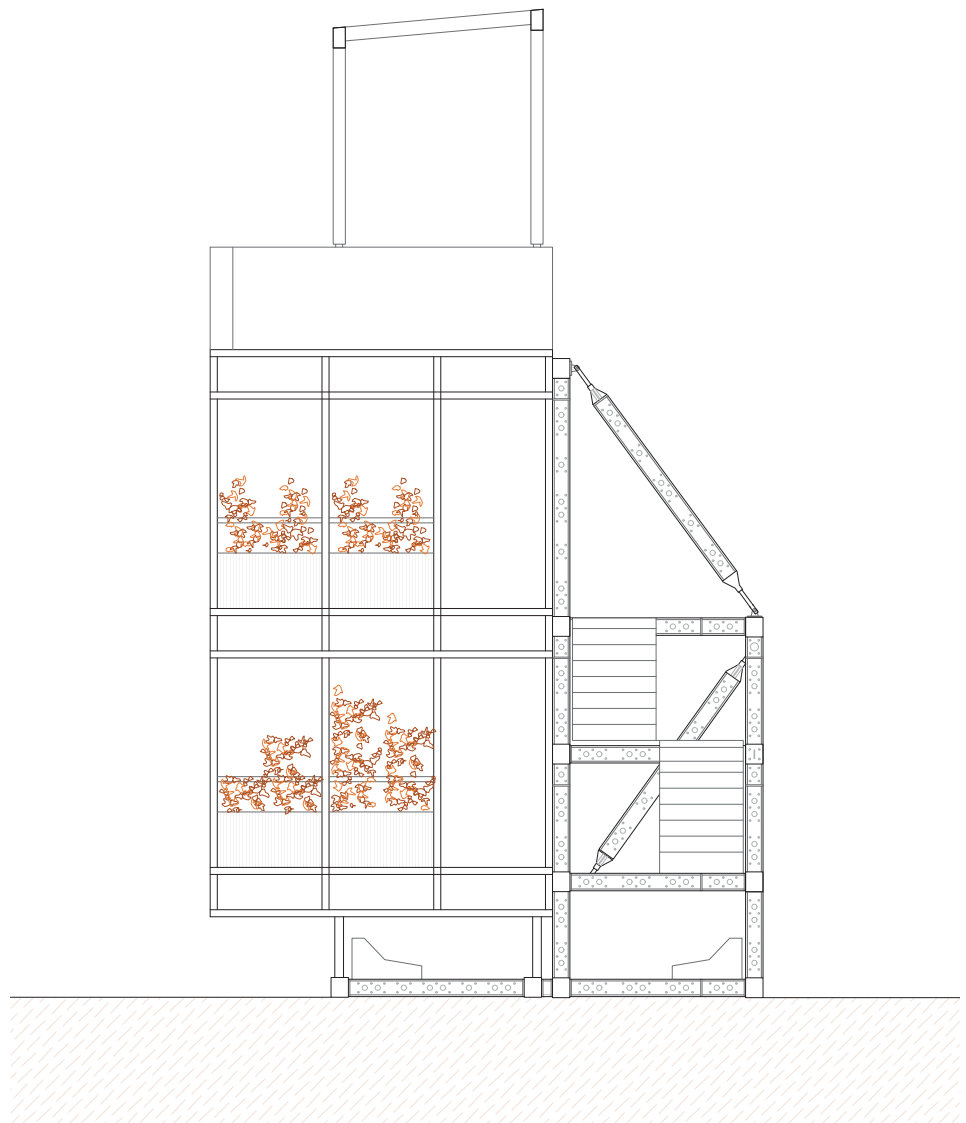
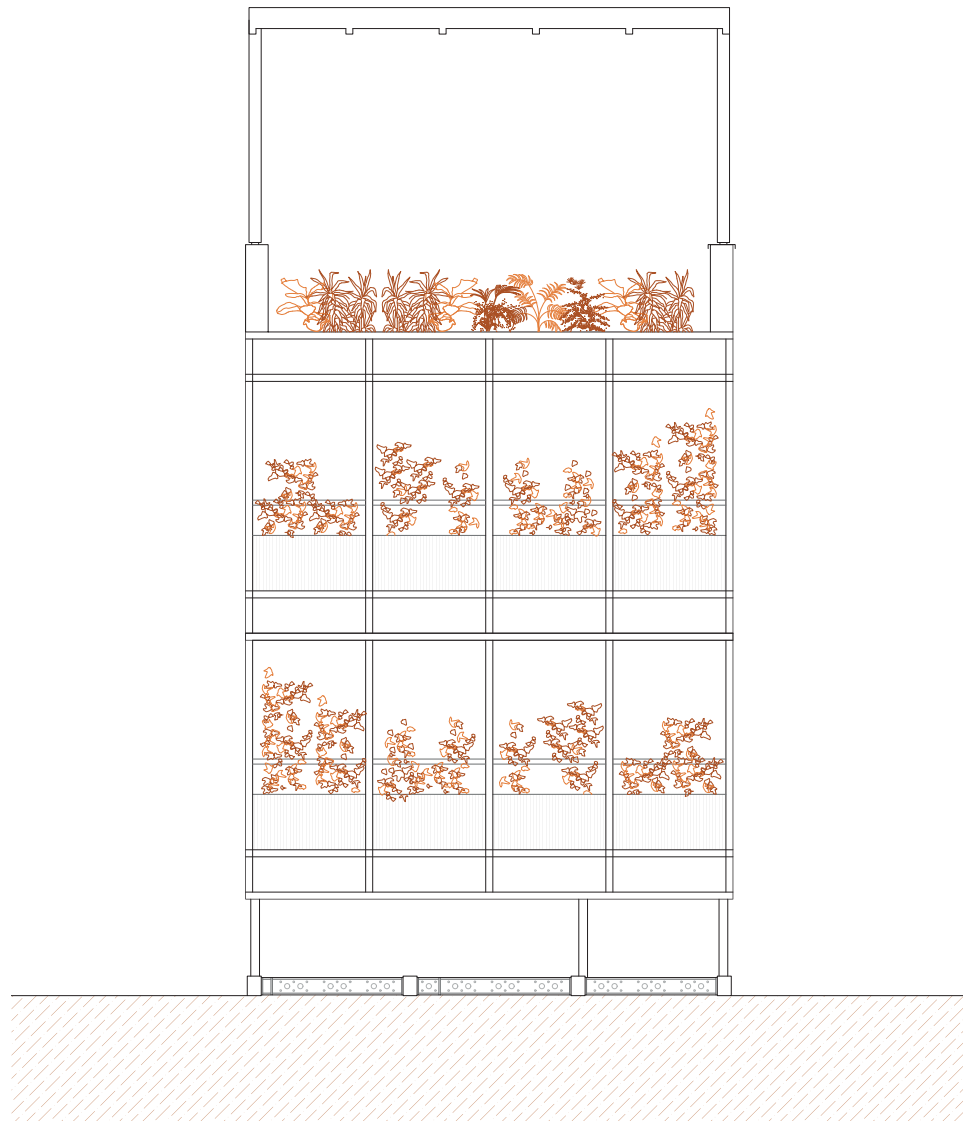


Figura 80. Alzado transversal prototipo "ALIGRA".

Por su parte, en el alzado longitudinal (Figura 81) se pone de manifiesto la repetición modular y progresiva del sistema, que se despliega de forma flexible a lo largo de la fachada. Cada tramo puede variar en apertura, cerramiento o uso, articulando una secuencia continua de espacios habitables que se adaptan a la vivienda original sin modificarla.



E 1:75 0 0,5 1,5 2 m

Figura 81. Alzado longitudinal prototipo "ALIGRA".

La sección transversal (Figura 82) permite comprender cómo el sistema amplifica el espesor habitable del edificio, incorporando las nuevas estancias que median entre interior y exterior. La presencia de filtros vegetales, planos permeables y zonas de estancia genera gradientes de sombra y ventilación que varían sutilmente con las estaciones.

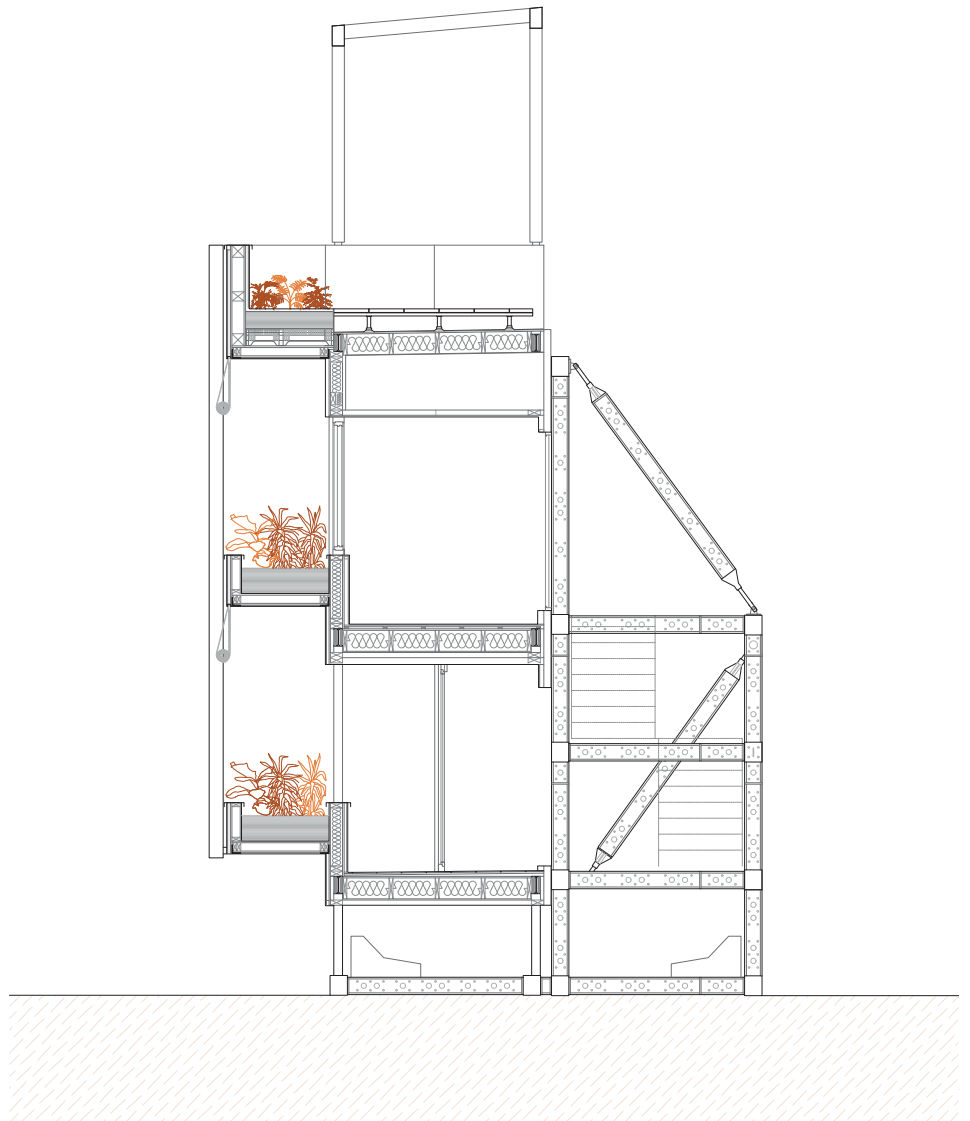


Figura 82. Sección transversal prototipo "ALIGRA".

La sección longitudinal (Figura 83) muestra el desarrollo lineal del sistema y la continuidad del espacio añadido a lo largo de toda la fachada. El recorrido visual pone en evidencia la repetición modular del conjunto, que admite diferentes grados de cerramiento, apertura y permeabilidad. Esta variación permite que cada tramo responda a usos distintos sin romper la lectura continua del conjunto.

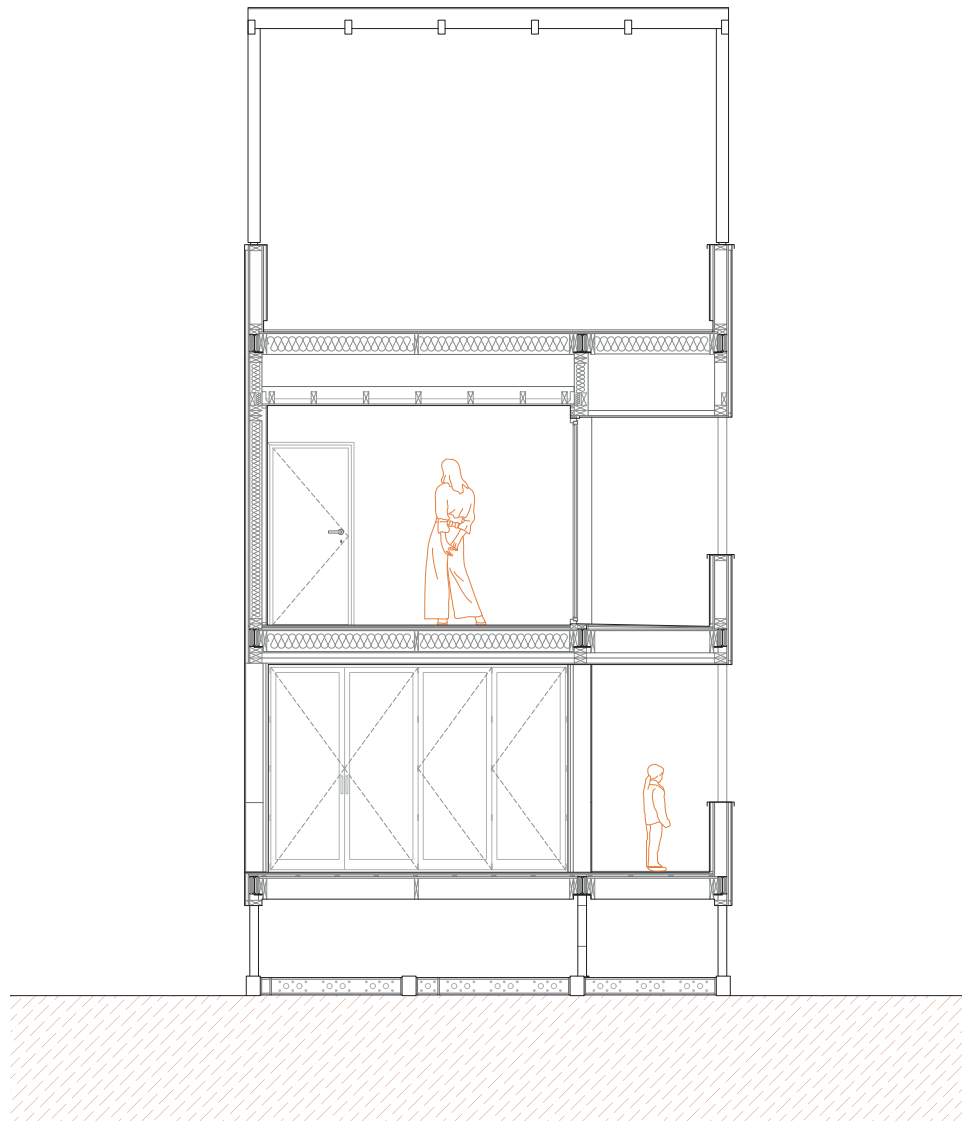


Figura 83. Sección longitudinal prototipo "ALIGRA".

E 1:75 0 0,5 1,5 2 m

El proyecto incorpora los kits obligatorios en un sistema de capas superpuestas en las que cada uno opera como una pieza autónoma, pero compatible con el resto del sistema. Esto permite que la intervención pueda ejecutarse por fases, ampliarse en el tiempo o revertirse manteniendo la integridad del edificio existente.

El kit de ampliación espacial se desarrolla a partir de módulos bidimensionales prefabricados que se adosan a la fachada existente. El sistema contempla dos variantes de forjado: una construcción íntegramente en madera y otra versión híbrida con perfiles metálicos, ambas compatibles con la misma modulación repetitiva. La elección final para el prototipo construido fue la solución metálica, valorada por su mayor rigidez estructural y rapidez de montaje en obra experimental.

Por su parte, el kit de envolvente se materializa mediante paneles ligeros multicapa que combinan aislamiento térmico, protección solar y superficies vegetales. Su función principal es actuar como filtro climático capaz de reducir la transmitancia del cerramiento y mejorar el comportamiento pasivo del edificio, llegando a disminuir en torno al 45–55 % la demanda térmica estacional según orientación y espesor aislante (Aiguasol 2025).

El kit del aljibe se implementa a través de superficies ajardinadas y jardineras productivas integradas en los balcones tecnológicos. Estas piezas captan y retienen agua de lluvia, favorecen la evapotranspiración y regulan el microclima exterior inmediato. El sistema no incorpora un aljibe independiente, sino que reparte la gestión hídrica a lo largo del frente de fachada, actuando como depósito difuso capaz de retardar escorrentías y contribuir al sombreado estival.

El kit fotovoltaico se instala tanto en cubierta como en los módulos vegetales de fachada, ampliando la superficie de captación y diversificando su orientación. Su disposición modular facilita la sustitución, el mantenimiento y la ampliación futura, permitiendo adaptar la densidad de paneles a cada caso.

Finalmente, el kit smart building se incorpora como un sistema monitorizado que registra consumo energético, captación solar y comportamiento climático. La automatización permite coordinar la apertura de lamas, el uso del sombreado y la ventilación, optimizando el desempeño del conjunto y reduciendo consumos de climatización en hasta un 30–40 % en escenarios de verano (Aiguasol 2025). El resultado no es solo una ampliación física, sino una herramienta de gestión ambiental a escala doméstica.

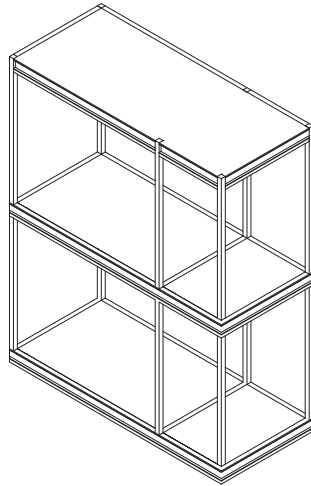


Figura 84. Axonometría estructura prototipo "ALIGRA".

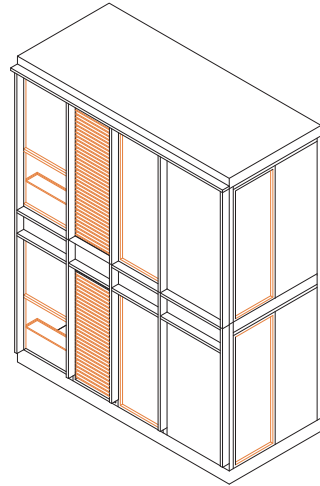


Figura 85. Axonometría envolvente prototipo "ALIGRA".

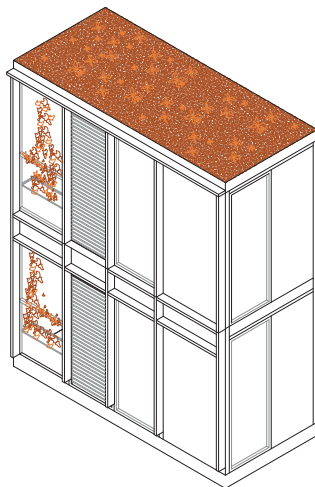


Figura 86. Axonometría sistemas fotovoltaicos "ALIGRA".

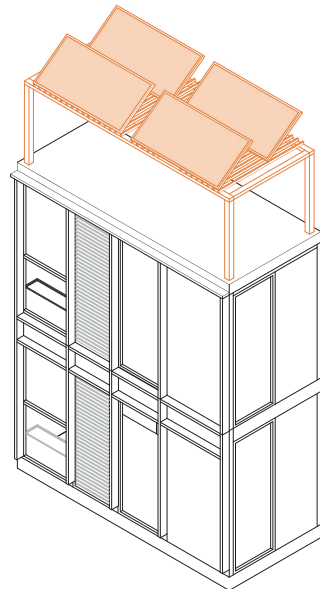


Figura 87. Axonometría sistemas bioclimáticos prototipo "ALIGRA".

E 1:150

REGENERAR BARCELONA

El proyecto “Regenerar Barcelona” es el resultado de una alianza formada específicamente para este reto urbano. El equipo está liderado por los grupos de investigación REARQ (Rehabilitación y Restauración Arquitectónica) y GICITED (Ciencia y Tecnología en la Edificación) de la Universidad Politécnica de Catalunya. Junto a ellos participa la empresa Constraula – Sorigué, como socio industrial, y colaboraciones especializadas en vegetación (Ambitec Servicios Ambientales SAU), instalaciones y monitorización (Axer, Instalaciones y Tecnología SLU), además de un fabricante y distribuidor de la estructura de madera (La pèrgola, Fusta Verda SL).

El equipo, plantea el proyecto como un sistema abierto de ampliación y mejora. La intervención se articula combinando tres estrategias principales: una estructura autoportante de madera que permite la suficiente flexibilidad como para adaptarse a cualquier tipología edificatoria; la creación continua de espacios, donde coexisten ámbitos interiores, intermedios y exteriores, favoreciendo la diversidad de usos; y por último, la incorporación de sistemas dinámicos como vegetación, aljibes, dispositivos fotovoltaicos y sensores ambientales, concebidos no como complementos, sino como parte estructurante del comportamiento climático y social del prototipo. Estas estrategias permiten que la propuesta funcione como una “infraestructura viva”, capaz de transformarse con el tiempo, adaptarse a diferentes tipologías residenciales y generar mejoras ambientales y sociales.



Figura 88. Imagen exterior prototipo “Regenerar Barcelona”.



Figura 89. Render exterior proyecto “Regenerar Barcelona”.



Figura 90. Render interior proyecto “Regenerar Barcelona”.

El proceso constructivo del prototipo (Figura 91) evidencia la voluntad del proyecto por desarrollar un sistema industrializado que pueda ensamblarse de manera precisa y rápida, con un impacto mínimo sobre el edificio existente. Este se inicia con la colocación de los apoyos y anclajes de arranque, elementos que garantizan la correcta alineación y la transmisión de esfuerzos horizontales. A partir de estos puntos fijos se ensamblan los pórticos bidimensionales de madera maciza, montados íntegramente en seco mediante uniones mecánicas reversibles. Esta primera fase define la geometría base del nuevo volumen adosado y establece la matriz estructural, sobre la cual se organizarán los siguientes sistemas y facilita un control geométrico continuo.

En una segunda etapa, se incorporan los elementos de arriostramiento metálicos y los forjados, configurando un esqueleto espacial estable que admite diferentes profundidades y variaciones programáticas. Esta sucesión de fases muestra cómo la estructura puede crecer de forma modulada, permitiendo adaptaciones futuras. La aparición de los planos horizontales introduce los niveles intermedios y prepara el soporte para los posteriores sistemas de cerramiento, vegetación e instalaciones.

Finalmente, la fase final completa el conjunto mediante la incorporación de los cerramientos, consolidando un volumen que funciona como una infraestructura preparada para recibir los distintos subsistemas del proyecto. Esta lógica de montaje no solo demuestra la viabilidad del sistema, sino que manifiesta uno de los valores fundamentales de la propuesta: su capacidad de ensamblarse, transformarse y desmontarse con un grado de control muy elevado y con una interferencia mínima en el funcionamiento del edificio existente.

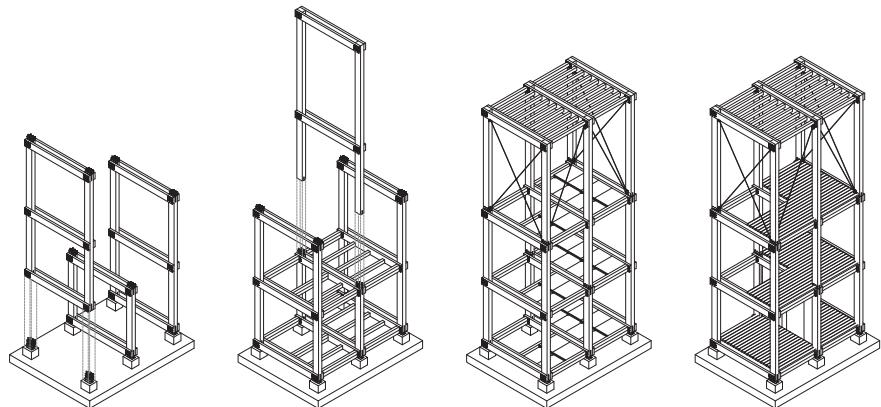


Figura 91. Fases del montaje del prototipo "Regenerar Barcelona".

E 1:300

El proyecto no tiene una configuración fija de planta, sino que puede tener variaciones según las necesidades del edificio existente, la orientación, el programa de uso o el grado de relación interior-exterior que se incorpore. Esto pone de manifiesto la capacidad del sistema para generar espacios con grados variables de apertura y uso. La posición de los elementos estructurales, junto con la posibilidad de introducir vegetación o dispositivos de sombra, permite redefinir la organización interior sin alterar la lógica general del sistema. Esta flexibilidad hace posible que la ampliación se adapte a los distintos modos de vida y condiciones climáticas específicas.

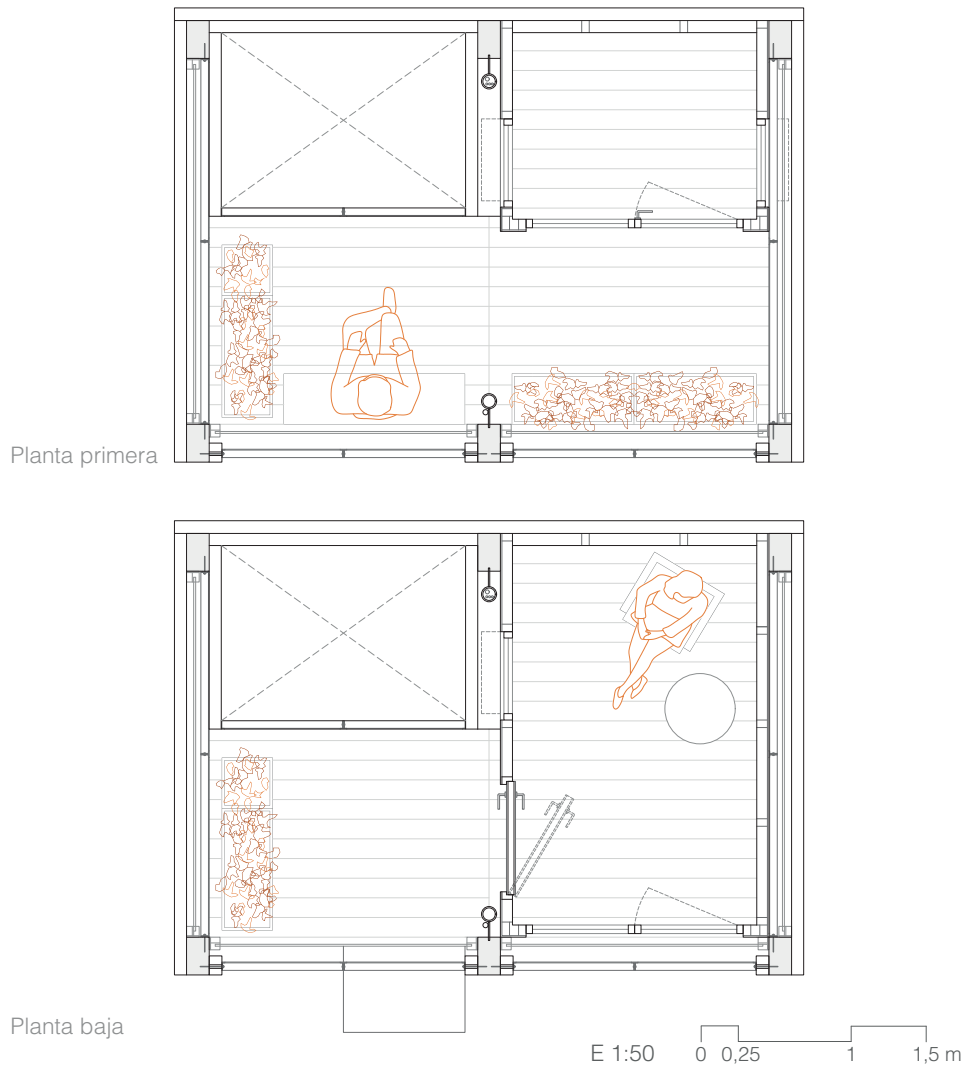
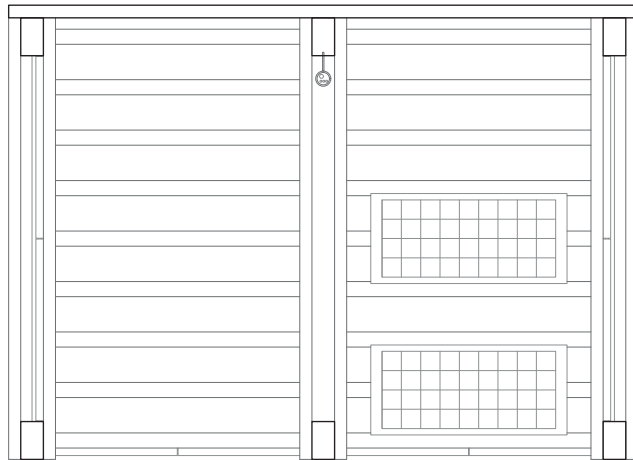
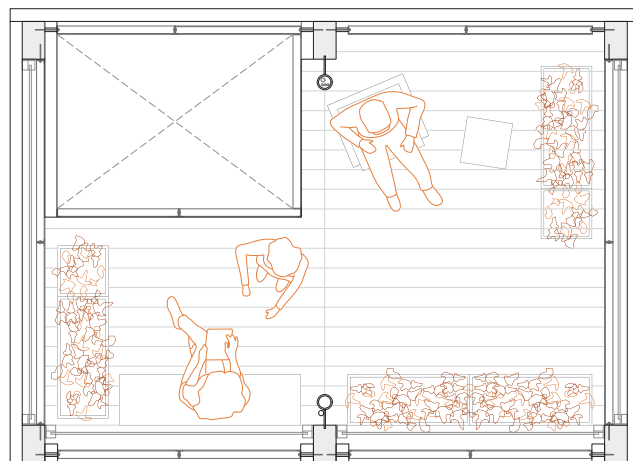


Figura 92. Posibles configuraciones de planta "Regenerar Barcelona".

Las configuraciones posibles también dependen del tipo de cerramiento incorporado en cada tramo del sistema. Los planos pueden resolverse como superficies opacas, destinadas a mejorar el aislamiento térmico y a definir espacios más privados; como cerramientos abiertos, que funcionan como terrazas o estancias exteriores vinculadas al uso cotidiano; o mediante soluciones semi-abiertas, formadas por entramados permeables que permiten el paso filtrado de luz. Estas combinaciones generan diferentes grados de transparencia, protección y relación visual con el entorno, ofreciendo múltiples alternativas.



Planta cubierta



Planta segunda

E 1:50 0 0,25 1 1,5 m

Figura 93. Posibles configuraciones de planta "Regenerar Barcelona".

Los alzados del prototipo (Figura 94) permiten apreciar la lectura modular del sistema y cómo la repetición de pórticos, cerramientos y elementos vegetales genera un orden constructivo claro y fácilmente replicable. La elección de madera maciza procedente de bosques próximos a Girona reduce la huella ambiental del conjunto y se alinea con los principios de eficiencia y sostenibilidad del reto urbano. En su conjunto, la composición vertical evidencia la capacidad del sistema para adaptarse a distintas situaciones sin renunciar a una lectura unitaria y coherente.



Figura 94. Alzados prototipo "Regenerar Barcelona".

Las secciones (Figura 95) evidencian cómo la modularidad del sistema permite encadenar espacios interiores, intermedios y exteriores, articulando una franja habitable que funciona como mediadora entre la vivienda existente y el entorno. La lectura estratificada del conjunto pone de manifiesto la lógica de desmontabilidad y mantenimiento independiente de cada capa (estructura, cerramiento, vegetación e instalaciones), favoreciendo intervenciones futuras y ajustes progresivos a lo largo del tiempo.

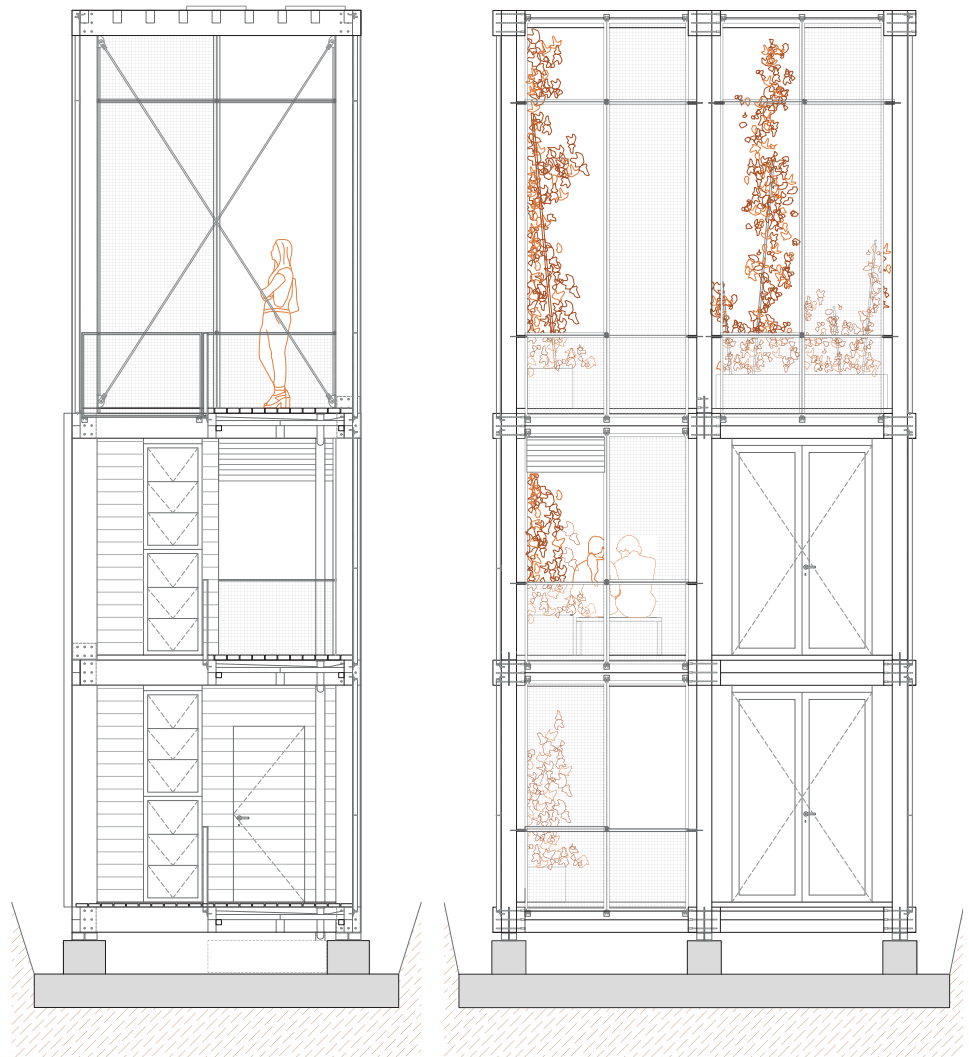


Figura 95. Secciones prototipo "Regenerar Barcelona".

El prototipo incorpora los kits definidos en el concurso mediante un sistema de capas independientes que se ensamblan sobre la estructura principal de madera, activando funciones estructurales, ambientales y energéticas, lo que posibilita intervenciones progresivas adaptadas al tiempo y a las necesidades de cada usuario.

El kit de ampliación de volumen se materializa mediante un entramado ligero de listones de pino gerundense, montado íntegramente en seco, que permite configurar espacios interiores, intermedios y exteriores sin interferir en la estructura existente. Este kit integra aislamiento de corcho expandido y carpinterías basculantes de aluminio reciclado, garantizando una mejora del confort y una reducción de la demanda energética.

Por su parte, el kit de envolvente bioclimática se resuelve mediante elementos de protección solar (persianas enrollables, vegetación caducifolia y planos permeables) que actúan como filtros ambientales. Estas soluciones, combinadas con la sombra proyectada por la propia estructura conforman una piel dinámica que regula luz, ventilación y temperatura. Además, gracias al comportamiento estacional de estos elementos se optimiza el rendimiento climático al máximo.

El kit aljibe se integra en el espesor de los forjados mediante bandejas de 12 cm conectadas a un sistema de riego por goteo y jardineras-aljibe. Este sistema permite almacenar y reutilizar agua de lluvia, disminuyendo el vertido hacia la red de saneamiento municipal. Además, posibilita alojar vegetación que mejora el microclima y potencia la biodiversidad del conjunto.

El kit fotovoltaico se despliega sobre la pérgola superior mediante paneles ultraligeros que amplían la superficie de captación sin penalizar a la estructura. Además, gracias a su posición elevada se permite optimizar la orientación y evitar sombras proyectadas, lo que incrementa la eficiencia de captación. Estos paneles se combinan con los sistemas de cubierta tipo blue roof, green roof y yellow roof, conformando un plano superior híbrido que gestiona agua, vegetación y energía.

Finalmente, el kit Smart Building incorpora sensores ambientales que registran temperatura, humedad, consumo energético y radiación solar, integrando la información en una plataforma que permite evaluar el comportamiento real del prototipo durante los doce meses de monitorización previstos por el reto urbano. Esto permite generar una base de datos comparativa con la que se pueden identificar patrones de uso y optimizar el funcionamiento.

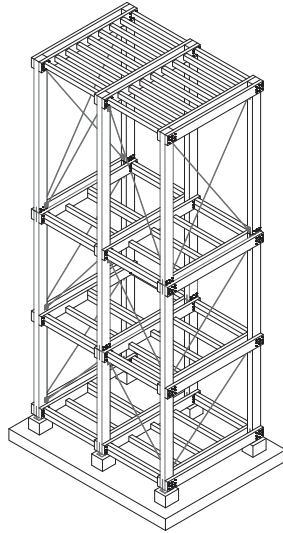


Figura 96. Axonometría estructura prototipo "Regenerar Barcelona".

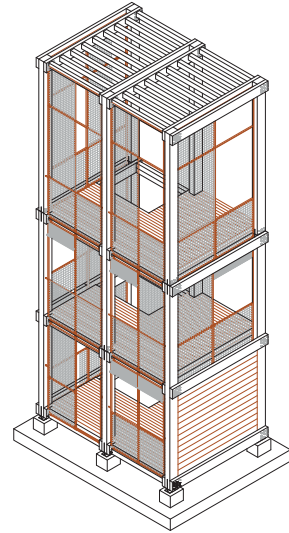


Figura 97. Axonometría envoltente prototipo "Regenerar Barcelona".

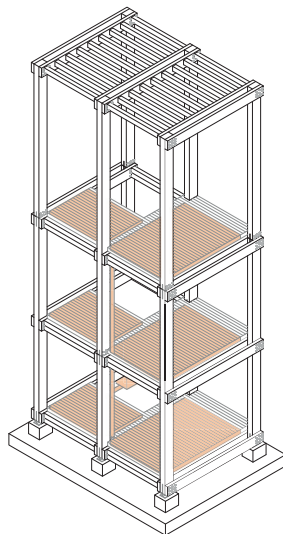


Figura 98. Axonometría aljibe prototipo "Regenerar Barcelona".

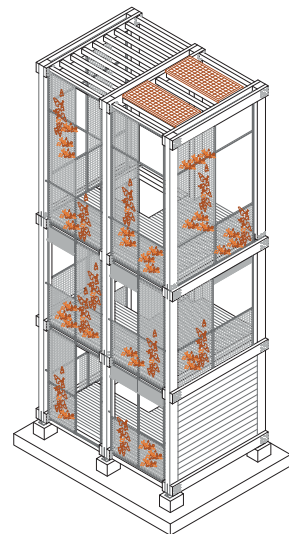


Figura 99. Axonometría sistemas fotovoltaicos prototipo "Regenerar Barcelona". E 1:200

INNOFAB

El proyecto “InnoFAB” está desarrollado por un equipo multidisciplinar formado por Pich Aguilera Arquitectes – Pich Architects y Pich Innovation, junto con Metaperfil Ros como socio industrial y Verdical Urban Biotechnology para el diseño y gestión de los sistemas vegetales. Esta alianza integra experiencia en arquitectura sostenible, fabricación industrializada y biotecnología urbana, estructurando un marco de trabajo orientado a la rehabilitación del parque residencial construido en Barcelona durante la segunda mitad del siglo XX.

La propuesta combina tres líneas de actuación principales: una estructura metálica ligera, colgada o apoyada, que proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse a diversas tipologías residenciales; la incorporación de una nueva envolvente técnica multicapa que mejora de manera integral el comportamiento térmico, acústico y lumínico; y, finalmente, la integración de sistemas activos como protecciones solares automatizadas, jardineras fotorvoltaicas, cubiertas vegetales y gestión domótica del confort. Conjuntamente, estas estrategias configuran un sistema reversible y replicable, capaz de incrementar la superficie útil, reducir la demanda energética, fomentar la circularidad material y potenciar la presencia de espacios exteriores y comunitarios, planteando un modelo de intervención progresivo y compatible con la ocupación del edificio. El resultado es un proyecto flexible orientado a la mejora ambiental de los residentes y de la ciudad.



Figura 100. Imagen exterior prototipo “InnoFAB”.



Figura 101. Render exterior proyecto “InnoFAB”.

El proceso constructivo del prototipo (Figura 102) pone de manifiesto la voluntad del sistema por consolidar una solución industrializada, precisa y completamente ejecutable mediante montaje en seco. La secuencia se inicia con la disposición del bastidor base y los anclajes, elementos que permiten ajustar la geometría inicial y garantizar la adecuada transferencia de cargas. Sobre este apoyo se ensamblan los primeros tramos de pilares y marcos laterales, configurando una estructura metálica ligera que crece por niveles que mantiene un control dimensional continuo gracias a la repetición estricta del módulo tridimensional.

En una segunda fase se completan los tramos superiores del esqueleto estructural y se incorporan los forjados horizontales que actúan como soporte resistente para los futuros ámbitos interiores, semiabiertos y exteriores. Esta operación estabiliza el conjunto y prepara el sistema para recibir la envolvente técnica y los elementos ambientales. La naturaleza modular de la estructura permite que el volumen crezca por adición de piezas de 2,5 m, manteniendo un elevado control geométrico y reduciendo significativamente los tiempos de montaje y la interferencia sobre la edificación existente.

Finalmente, se completa el prototipo mediante la instalación de la envolvente ligera, los sistemas de protección solar, las jardineras tecnológicas y los dispositivos activos vinculados al control energético. Esta última etapa integra los distintos kits funcionales en la estructura ya consolidada, demostrando la capacidad del sistema para articularse por capas independientes y para actualizarse o desmontarse sin alterar el edificio existente. En conjunto, el proceso evidencia un modelo de construcción adaptable, reversible y de bajo impacto, alineado con los principios de modularidad y economía circular que guían el proyecto.

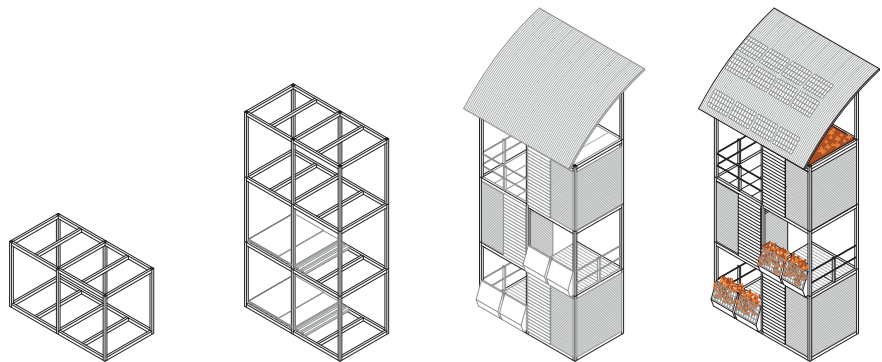


Figura 102. Fases del montaje del prototipo "InnoFAB".

El proyecto no plantea una configuración fija de planta, sino un sistema capaz de adoptar múltiples disposiciones en función de las necesidades del edificio existente, la orientación o el grado de apertura que se requiera en cada caso (Figuras 103 y 104). La estructura modular permite combinar superficies interiores con ámbitos semiabiertos y exteriores, generando una secuencia espacial flexible que puede ajustarse a diferentes usos y situaciones. Esta capacidad de reorganización responde directamente a la naturaleza aditiva del sistema, que permite crecer o reducir la superficie ocupada sin alterar su matriz estructural, preservando su coherencia geométrica en todo momento.

La configuración final depende además de los sistemas incorporados en cada tramo del módulo. Los cerramientos ligeros pueden resolverse como planos opacos, destinados a mejorar el comportamiento térmico y ofrecer mayor privacidad; como superficies abiertas que funcionan como balcones o espacios exteriores vinculados a la vida cotidiana; o como soluciones intermedias que filtran la luz y aumentan la ventilación. Esta variedad permite ajustar la relación interior–exterior según la orientación, garantizando una mayor eficiencia energética. De este modo, el sistema ofrece una lectura flexible y adaptable, capaz de responder a distintas necesidades programáticas y a las condiciones específicas de cada edificio, manteniendo siempre la lógica modular y desmontable que caracteriza al prototipo INNOFAB.

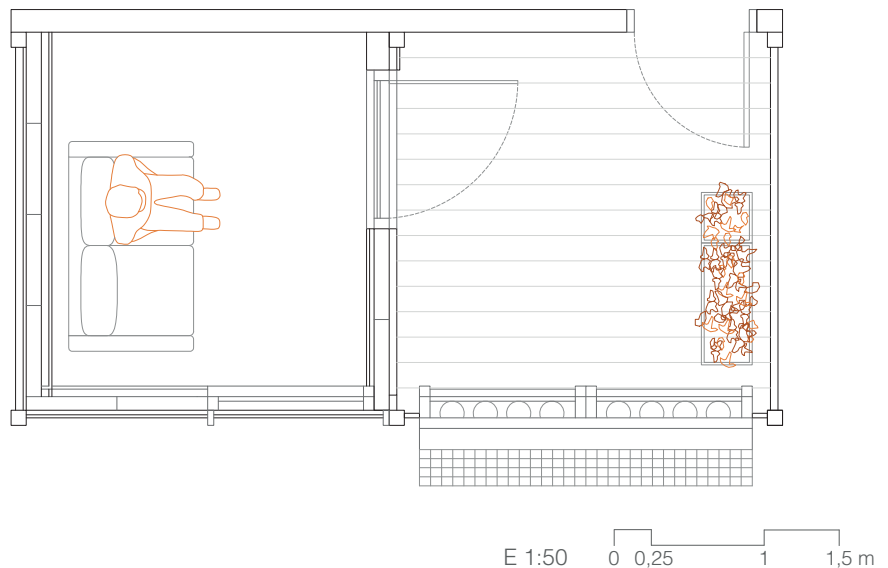


Figura 103. Posible configuración de planta "InnoFAB".

A esta capacidad de variación espacial se suma la posibilidad de reorganizar los usos en función del grado de exposición deseado. Los ámbitos interiores pueden destinarse a estancias habitables, espacios de trabajo o extensiones directas de la vivienda, mientras que las zonas semiabiertas permiten incorporar transiciones climáticas que actúan como filtros lumínicos y colchones térmicos. Por su parte, las áreas exteriores pueden configurarse como terrazas o espacios vegetados que no solo amplían la superficie útil, sino que contribuyen a mejorar el microclima y refuerzan la relación del usuario con el exterior. La combinación de estas tres capas funcionales permite concebir articular configuraciones ajustadas al tipo de usuario que vaya a habitarlas.

Asimismo, el sistema admite diferentes grados de densidad material según las necesidades del edificio preexistente. La envolvente puede incorporar elementos de protección solar, jardineras tecnológicas o paneles perforados que modulan la entrada de luz y definen la imagen del conjunto. Esto permite que el módulo actúe como un dispositivo climático capaz de responder a variaciones de orientación, radiación y ventilación, ajustando las estrategias pasivas a cada contexto. Esta versatilidad refuerza la coherencia del sistema con los principios del concurso, donde la adaptabilidad, la eficiencia energética y la actualización progresiva del edificio se consolidan como objetivos centrales del diseño.

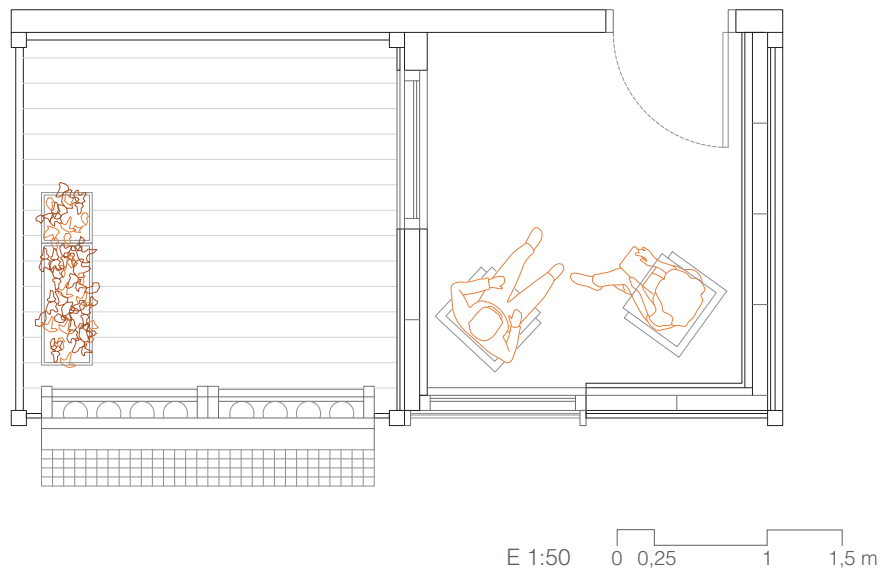


Figura 104. Posible configuración de planta "InnoFAB".

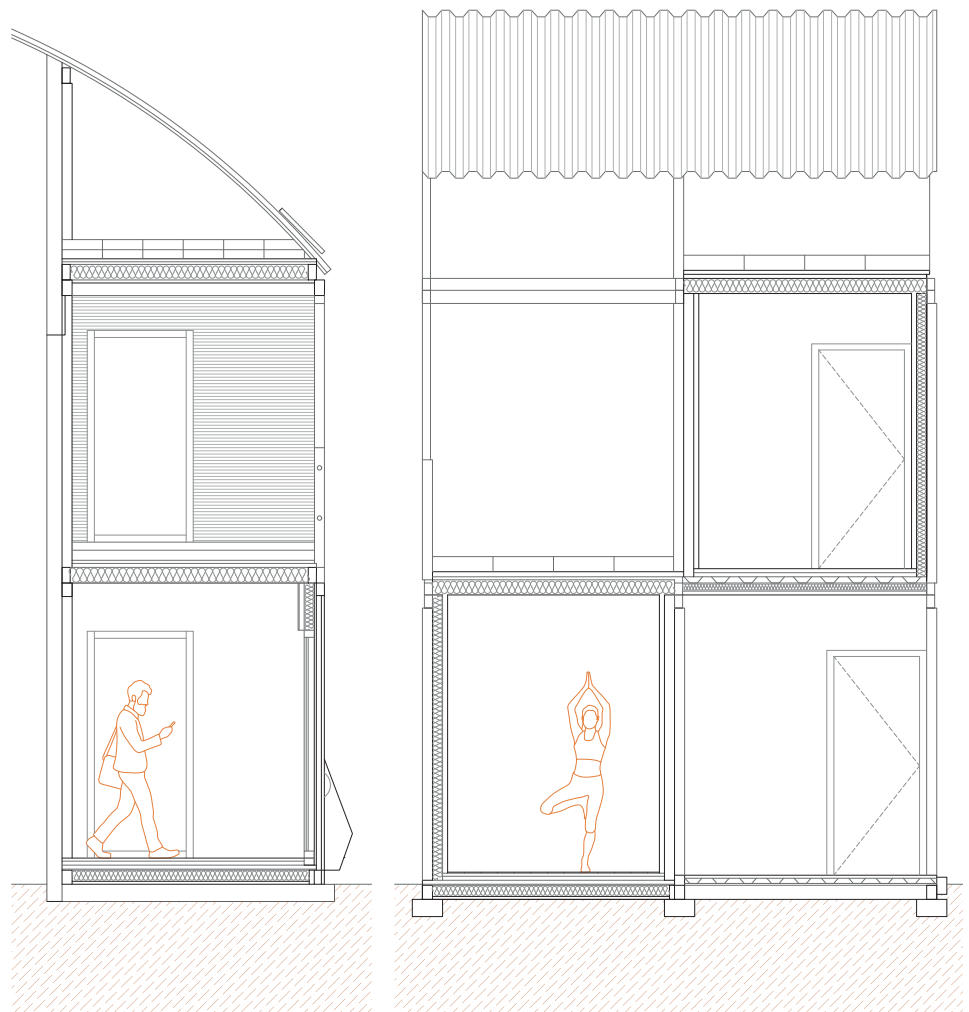
El alzado resultante de esta modulación (Figura 105) pone de manifiesto la repetición rítmica de la estructura y la alternancia entre planos opacos, filtros permeables y superficies abiertas que regulan la relación entre interior e exterior. Con ello, la envolvente adquiere un papel activo en el rendimiento del sistema en su conjunto gracias a la variación de materiales que ofrece el prototipo sin renunciar a una imagen coherente y unitaria.



Figura 105. Alzados prototipo "InnoFAB".

E 1:75 0 0,5 1,5 2 m

Por su parte, en las secciones (Figura 106) se observa cómo se pueden habitar estos espacios a través de la superposición de ámbitos interiores, semiabiertos y exteriores. La lectura transversal permite apreciar la independencia entre estructura, cerramiento y sistemas de acondicionamiento, evidenciando la organización en capas que define al prototipo. Esta separación funcional permite que cada nivel responda de manera específica a las condiciones climáticas y de uso.



E 1:75 0 0,5 1,5 2 m

Figura 106. Secciones prototipo "InnoFAB".

El proyecto incorpora los kits definidos por el concurso mediante un sistema de capas independientes, que se añaden sobre la estructura para activar funciones estructurales, ambientales y energéticas.

El kit de ampliación del volumen se materializa mediante una estructura metálica ligera que se cuelga o se apoya sobre la edificación existente, generando nuevos espacios interiores, semiabiertos y exteriores sin alterar la estructura portante original. El sistema utiliza una modulación de 2,5 m y conexiones puramente mecánicas, lo que permite un montaje rápido, preciso y completamente reversible.

Por su parte, el kit de la envolvente biclimática se resuelve mediante paneles ligeros de chapa grecada, carpinterías de altas prestaciones y sistemas de protección solar automatizados. Estos componentes permiten mejorar notablemente la transmitancia térmica del conjunto, con reducciones del 60 % en fachada y del 35 % en cubierta (Picharchitects 2025), y regular la radiación y la ventilación según la orientación. Su composición multicapa, basada en materiales reciclados y aislantes procedentes de residuos médicos, actúa como filtro climático que mejora el confort interior.

Aunque el proyecto no incorpora un aljibe convencional como depósito independiente, el proyecto desarrolla una estrategia equivalente mediante el uso de cubiertas verdes industrializadas con capacidad de almacenamiento de agua de lluvia y sistemas vegetales integrados que gestionan la humedad. Estas superficies absorbentes contribuyen a regular el microclima, retener agua y reducir la escorrentía, alineándose con los objetivos del kit definido en el concurso.

El kit fotovoltaico se implementa mediante paneles ligeros situados tanto en la cubierta como en las jardineras tecnológicas de los balcones, ampliando las superficies de captación y diversificando su orientación. La disposición modular de los paneles facilita su mantenimiento, sustitución y ampliación futura, y permite adaptar su número y posición según las condiciones solares específicas de cada emplazamiento.

Por último, el kit de Smart Building se integra mediante un sistema digital que controla la iluminación, persianas automatizadas, temperatura y consumo energético, permitiendo monitorizar en tiempo real el comportamiento real del prototipo. La domótica coordina la respuesta de la envolvente bioclimática, especialmente los sistemas de protección solar, y optimiza el uso de energía procedente de los paneles fotovoltaicos.

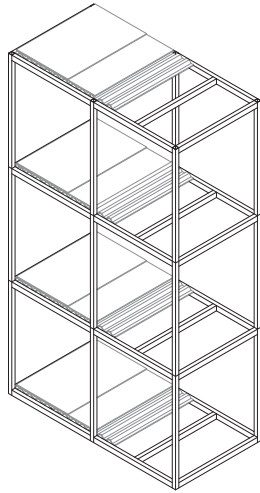


Figura 107. Axonometría estructura prototipo "InnoFAB".

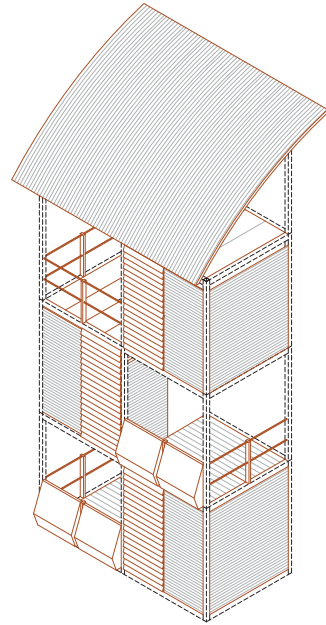


Figura 108. Axonometría envolvente prototipo "InnoFAB".

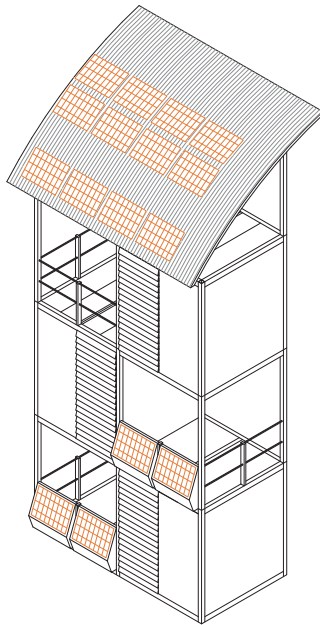


Figura 109. Axonometría sistemas fotovoltaicos "InnoFAB".

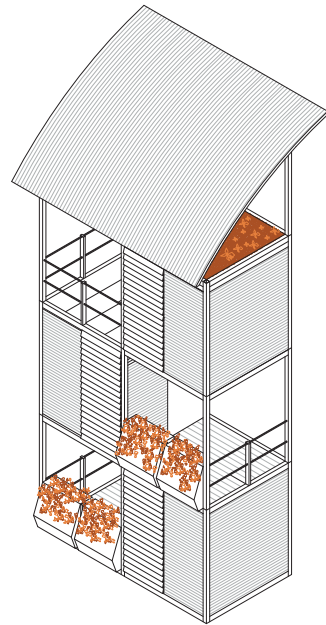


Figura 110. Axonometría sistemas bioclimáticos prototipo "InnoFAB".

E 1:200

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.03 Definición de los criterios de comparación

Se consideran tres etapas comparativas para los tres casos de estudio:

- **ETAPA COMPARATIVA 1.** Definición del módulo característico del diseño modular.

Para cada uno de los casos de estudio se analiza cuál ha sido el módulo característico resultado del diseño modular propuesto. Para ello se retoman los conceptos analizados en el apartado *3.1. Propuesta de un marco conceptual para la construcción modular* y *3.2. Propuesta de definición y jerarquía de módulo en construcción*. Así se identifica en cada uno de los proyectos los conceptos:

- ¿Cuál es el módulo? Identificación de la unidad volumétrica prefabricada y funcionalmente autónoma, diseñada para conexiones estandarizadas y reversibles, además de destacar por su nivel de prefabricación, autonomía espacial, integridad funcional y compatibilidad de la interfaz.
- ¿Cuál ha sido la lógica modular? Cuando el adjetivo modular se asocia con sustantivos denota entidades completas, como «construcción modular», «edificio modular», «casa modular» o «escuela modular». Se refiere a una lógica de composición volumétrica.
- El caso de estudio analizado, ¿tiene la propiedad de modularidad? Propiedad del sistema que permite la separación, la recombinación, la sustitución y la escalabilidad de los módulos sin comprometer la funcionalidad general.
- ¿Se identifica un sistema de coordinación dimensional modular? Es decir, se analiza y describe el método dimensional que utiliza una unidad de para garantizar la compatibilidad. Se trata de un marco geométrico, no de un método de construcción.

- **ETAPA COMPARATIVA 2.** Descripción de la jerarquía constructiva del módulo.

Una vez identificado cuál ha sido el módulo característico resultado del diseño modular propuesto en cada uno de los casos de estudio se analiza cuál es su jerarquía constructiva según se ha descrito en el apartado 3.2. *Propuesta de definición y jerarquía de módulo en construcción*. Así, se identifica en cada uno de los proyectos:

- La interfaz que conecta cada uno de los módulos.
 - Los componentes lineales y bidimensionales que configuran el módulo.
 - Para cada uno de los componentes, se identifica cuál o cuáles son las unidades materiales que lo constituyen y las conexiones entre ellos.
 - Para cada una de las conexiones, interfaz, se describe su naturaleza seca (permanente o reversible) o húmeda.
 - La pertenencia de cada componente al sistema correspondiente: estructural, de envolvente, acabados, de acondicionamiento.
- **ETAPA COMPARATIVA 3.** Identificación y explicación de las ventajas vinculadas con la economía circular.

En base a lo descrito en el apartado 3.3. *Ventajas y contexto del diseño modular*, se analizan los tres casos de estudio evaluando la aportación del diseño modular propuesto a la economía circular.

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.04 Análisis de discusión de los resultados

05.04.01 Caso de estudio 1

- **ETAPA COMPARATIVA 1.** Definición del módulo característico del diseño modular.
 - **¿Cuál es el módulo?**

El módulo tridimensional identificado en este sistema equivale a una planta del prototipo, que sería lo equivalente a la ampliación de una vivienda tipo. La dimensión de viene marcada por la estructura que es la que viene prefabricada en una pieza completa y en la que posteriormente se ensamblan los módulos bidimensionales.

Además de ser la unidad mínima de fabricación y transporte, este volumen constituye también la unidad mínima habitable: puede incorporar cerramientos, carpinterías, instalaciones y sistemas de acondicionamiento, lo que permite que funcione como espacio autónomo sin depender de otros módulos para completarse.

Esta unidad es replicable gracias a que ha sido diseñada bajo los criterios de sostenibilidad material y energética, priorizando componentes industrializados y con baja demanda de mantenimiento. Los materiales ligeros reducen tiempos de montaje, transporte y carga estructural, facilitando intervenciones graduales sin desalojos.

Desde el punto de vista estructural, esta pieza tridimensional funciona como un marco espacial rígido, definido por dos posibles opciones estructurales: un bastidor íntegramente de madera laminada o una estructura híbrida de madera con perfiles metálicos IPE y tablero colaborante con compresión de hormigón. En el prototipo se ha desarrollado la segunda opción, dado que proporciona mayor rigidez frente a esfuerzos horizontales, reduce flechas en vuelo exterior y mejora el comportamiento vibratorio cuando los módulos se apilan.

Para el análisis, primero se parte del módulo completo como unidad finalizada para posteriormente extraer los tres sistemas que lo componen: estructura (elemento resistente), cerramientos (piel habitable) y sistemas de acondicionamiento (comportamiento climático). En esta secuencia se muestra como el módulo es una superposición de capas autónomas que se complementan íntegramente para funcionar como un único sistema.

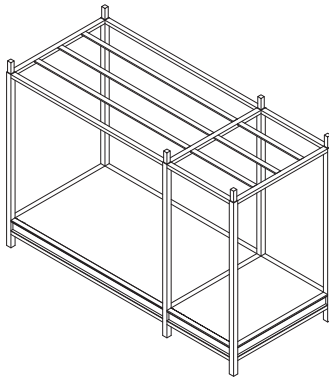


Figura 111. Axonometría módulo, sistema estructural "ALIGRA".

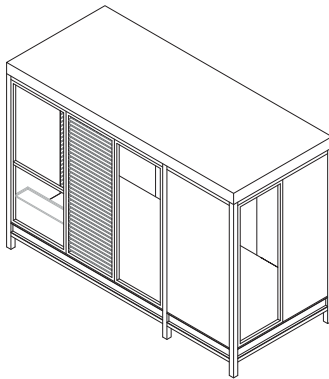


Figura 112. Axonometría módulo, sistemas de cerramiento "ALIGRA".

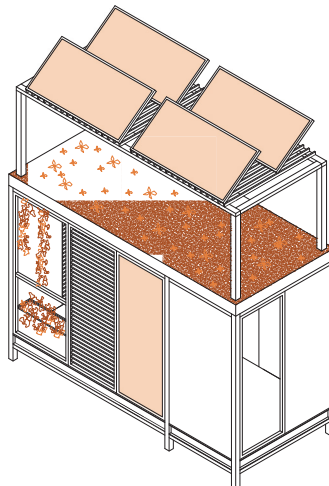


Figura 113. Axonometría módulo, sistemas fotovoltaicos "ALIGRA".

- **¿Cuál ha sido la lógica modular?**

La lógica modular del sistema empleado se basa en la composición volumétrica mediante unidades tridimensionales repetibles, donde el módulo no se entiende como un componente aislado sino como un volumen autónomo capaz de agregarse, sustituirse o escalarse sin perder coherencia constructiva ni funcional. Tal como se desarrolla en el marco teórico del apartado *03.01.02 Modular*, este adjetivo no solo describe una geometría repetitiva, sino una lógica operativa: descomponer el edificio en partes que puedan industrializarse, transportarse y ensamblarse mediante interfaces normalizadas. En este caso, el proyecto adopta precisamente esa lógica, ya que cada unidad reproduce las mismas dimensiones estructurales, puntos de apoyo y sistemas de conexión, permitiendo que la agregación espacial no dependa de variaciones de obra, sino de una secuencia ordenada de acoplamientos.

Esta lógica modular articula tres niveles simultáneos:

1. La unidad, entendida como volumen completo y habitable.
2. La repetición, que permite crecer longitudinal o verticalmente según las necesidades del edificio receptor.
3. La compatibilidad, garantizada gracias a un sistema estructural repetible y conexiones mecánicas reversibles que admiten sustitución y mantenimiento.

Así, el proyecto no solo utiliza módulos: es modular porque organiza el edificio a partir de ellos, construyendo la arquitectura no por suma de piezas sino por adición sistemática de volúmenes equivalentes, capaces de extender, densificar o transformar el espacio habitable sin intervención masiva sobre la construcción existente.

- **¿Tiene la propiedad de modularidad?**

La propuesta sí presenta la propiedad de modularidad, entendida según el apartado *03.02.03 Modularidad*, como la capacidad de un sistema para separar, recombinar, sustituir y escalar unidades volumétricas sin comprometer el funcionamiento global del conjunto. Esta condición no depende únicamente de la presencia de un módulo tridimensional, sino del grado en que este puede integrarse en configuraciones variables manteniendo su autonomía funcional. En este proyecto, el módulo-planta analizado es una unidad estructural y habitacional completa, capaz de producirse, montarse, desmontarse o sustituirse sin alterar la continuidad operativa del sistema, cumpliendo así con los criterios recogidos en la definición de modularidad como propiedad sistémica

La modularidad se hace visible en la agregación secuencial de volúmenes donde cada unidad puede funcionar de forma independiente pero admite su acoplamiento a otras para generar extensión longitudinal y crecimiento en altura. Esta capacidad de recombinación escalable presenta gran grado de modularidad ya que existe autonomía por componente pero también una integración sistémica fuerte que permite su operación conjunta sin pérdida de estabilidad.

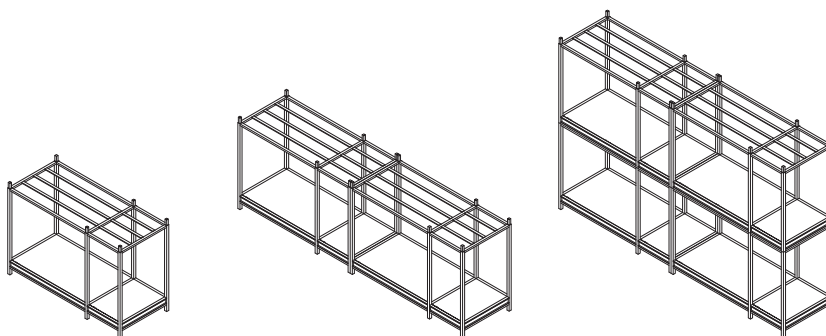


Figura 114. Axonometría esquema de modularidad proyecto "ALIGRA".

La conexión entre módulos se realiza mediante interfaces reversibles, cumpliendo otro de los indicadores fundamentales para reconocer la modularidad como condición y no solo como geometría repetida.

Además, el sistema tolera la variación material y técnica sin perder compatibilidad, un mismo módulo puede construirse en madera o en solución híbrida madera-acero, manteniendo las mismas conexiones, dimensiones y lógica de montaje.

En este sentido, el prototipo no solo replica unidades, sino que permite configuraciones alternativas a partir de una raíz común, lo que confirma la presencia de modularidad como propiedad operativa.

Por tanto, puede afirmarse que el proyecto no solo utiliza módulos, sino que es modular con la propiedad modularidad. No se limita a expandirse por repetición geométrica, sino que habilita desmontaje, sustitución, crecimiento y ajuste programático en el tiempo. Esa cualidad transforma la unidad tridimensional en un organismo activo y reconfigurable, y hace que la agregación volumétrica sea más que una suma: es una capacidad de evolución del sistema.

○ **¿Se identifica un sistema de coordinación dimensional modular?**

El proyecto presenta un sistema claro de coordinación dimensional modular, basado en una retícula repetitiva que regula la compatibilidad entre estructura, cerramientos y sistemas. Siguiendo la definición desarrollada en el apartado *03.01.05 Coordinación modular*, este concepto no se refiere a cómo se construye, sino a cómo se ordenan las piezas para garantizar un ensamblaje continuo, intercambiabilidad y crecimientos sin conflicto geométrico.

En “ALIGRA”, dicha coordinación se estructura a partir de una malla base $1,20 \times 0,60$ m (Figura 115), dimensionada para coincidir con la distancia entre ejes estructurales y la modulación de los paneles de fachada. Esta medida permite que el módulo tridimensional crezca longitudinalmente sin necesidad de piezas a medida, manteniendo tolerancias uniformes en el montaje y facilitando la fabricación seriada. La proporción elegida no es arbitraria, sino derivada de estándares industriales de panelería y carpintería, lo que reduce coste y fabricación específica.

El sistema admite, además, variaciones técnicas sin alterar su compatibilidad dimensional: un mismo módulo puede resolver su estructura con bastidor de madera o solución híbrida metal-madera manteniendo idéntica modulación. Esta estabilidad métrica confirma que la coordinación dimensional es el verdadero soporte del sistema, permitiendo que el módulo no solo se repita, sino que pueda acoplarse, escalarse y desensamblarse sin perder coherencia geométrica ni constructiva.

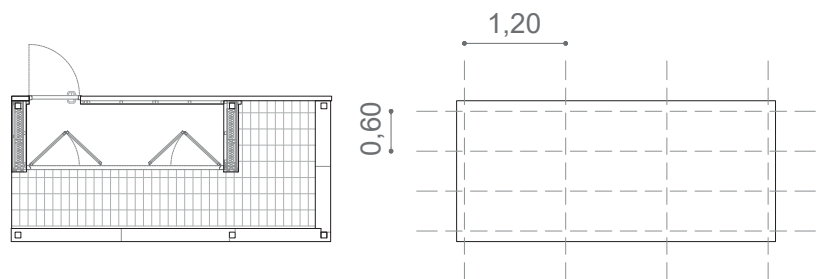


Figura 115. Coordinación modular proyecto “ALIGRA”.

- **ETAPA COMPARATIVA 2.** Descripción de la jerarquía constructiva del módulo.

Sistema estructural

El sistema estructural se resuelve mediante un bastidor híbrido madera-acero, concebido para ser construido en fábrica en seco y ser transportado para ensamblar in situ. La estructura primaria está formada por tres pórticos metálicos de perfiles IPE que configuran un marco tridimensional portante sobre el que se apoyan los forjados de madera. Este armazón constituye la unidad resistente mínima.

Los forjados se componen de viguetas de madera laminada 60×180 mm apoyadas sobre una viga de borde 140×360 mm, trabajando conjuntamente con tablero OSB estructural, y 50 mm de hormigón de compresión. Esta solución es muy eficaz frente a esfuerzos horizontales, permitiendo que el módulo funcione como celda espacial estable sin necesidad de arriostramientos diagonales. La conexión entre vigas y pilares es metálica atornillada, lo que evita soldadura en obra y facilita la desmontabilidad futura.

La modulación estructural se coordina con el ritmo de cerramientos, permitiendo que cada panel sea sustituible de forma independiente sin afectar a la estabilidad global. Este sistema admite apilamiento vertical mediante nodos superiores preparados para acople. Su comportamiento es repetitivo, regular y compatible con crecimiento longitudinal y vertical.

En conjunto, la estructura opera como una matriz repetitiva capaz de soportar variación técnica sin perder compatibilidad dimensional. La coexistencia de componentes de madera y acero posibilita mantenimiento diferencial, sustitución por piezas equivalentes y adaptación futura sin necesidad de rediseñar el módulo completo. Se trata de un sistema abierto que consolida el marco resistente y habilita la evolución del prototipo con el tiempo.

En resumen, ALIGRA adopta una lógica estructural coherente en la que el módulo no se entiende únicamente como una pieza arquitectónica reproducible, sino como una unidad autosuficiente de carga capaz de soportar la envolvente y replicarse en serie manteniendo su comportamiento resistente. A partir de esta premisa, el análisis se profundiza en la descomposición técnica del sistema.

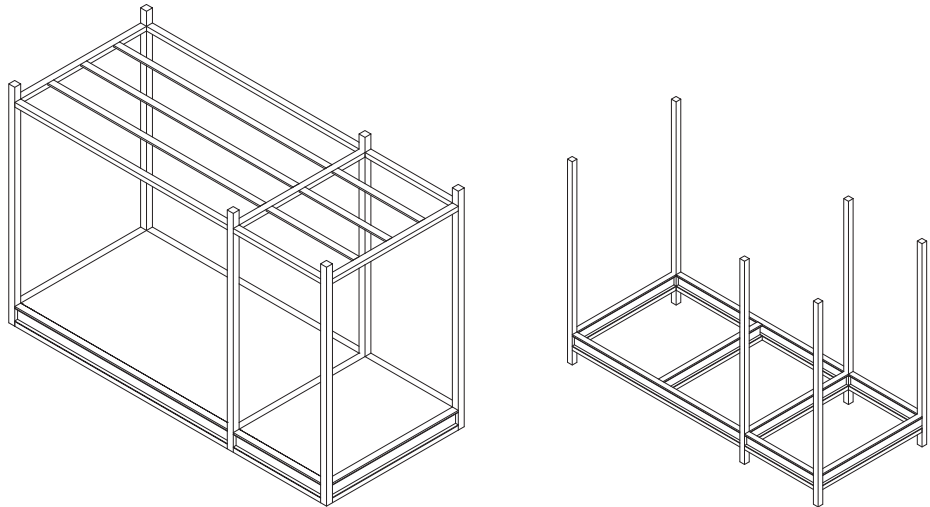
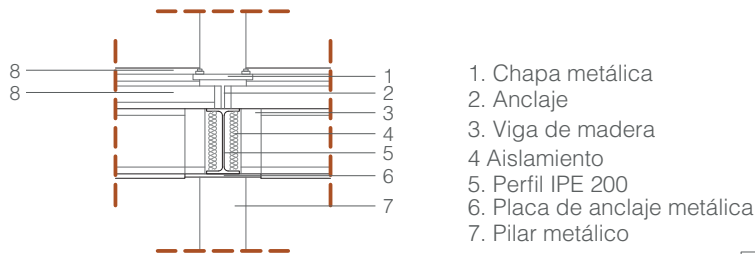


Figura 116. Axonometría estructura proyecto "ALIGRA".

E 1:100



1. Chapa metálica
2. Anclaje
3. Viga de madera
4. Aislamiento
5. Perfil IPE 200
6. Placa de anclaje metálica
7. Pilar metálico

0 0,25 0,5 0,7 m
E 1:20

Figura 117. Detalle unión pilar - viga - forjado.

La conexión estructural entre módulos se resuelve mediante un nodo metálico atornillado, diseñado para garantizar alineación geométrica, transmisión vertical de cargas y desmontabilidad completa. Cada módulo incorpora en la cabeza y pie de los pilares metálicos un nodo de acople formado por una chapa de coronación soldada al perfil y un perno que actúa como guía en el montaje.

Los forjados de cada unidad se solidarizan entre sí mediante placas de empalme atornilladas a las alas del perfil IPE. Además, una escuadra lateral fija temporalmente los módulos durante la alineación y puede retirarse sin dañar la estructura.

Sistema Envolvente

La envolvente del sistema "ALIGRA" se concibe como un ensamblaje multicapa, seco y completamente registrable, compuesto por paneles bidimensionales prefabricados que se acoplan al módulo estructural tridimensional mediante fijaciones mecánicas reversibles. Los cerramientos no actúan únicamente como piel protectora, sino como interfaz térmica, acústica e higrotérmica entre interior y exterior, constituyendo un sistema técnico que integra soporte, aislamiento, control solar y permeabilidad.

Los paneles ciegos se definen como módulos técnicos de fachada formados por una secuencia estratificada. Su función principal es la estabilidad higrotérmica, reduciendo pérdidas energéticas y corrigiendo patologías frecuentes en edificios preexistentes sin aislamiento. Su modulación permite el cambio independiente por paños, reparación localizada y sustitución por capas, lo que incrementa el potencial de reutilización en fase de desmontaje.

Los paneles translucidos o abiertos amplían la función del cerramiento convirtiéndolo en componente bioclimático activo. Su composición combina bastidores de madera o aluminio con doble vidrio de bajas emisiones, elementos móviles de control solar, celosías o lamas regulables. Las carpinterías incorporan una estanqueidad al aire de clase 4, rotura de puente térmico y mecanismos de apertura que permiten ventilación natural y renovación higiénica del aire interior. En términos de desmontabilidad, los marcos y acristalamientos se fijan con herrajes accesibles, posibilitando su sustitución independiente del vidrio o marco sin desmontar el panel completo. Esto deriva en una alta capacidad de mantenimiento y una vida útil prolongada del sistema.

La metodología para analizar estos paneles se descompone en dos escalas:

1. Ensamblaje del módulo: cómo se fija el panel a forjados, pilares y cubierta.
2. Estructura interna: el panel se descompone en capas.

Las uniones mecánicas reversibles se marcarán con un triángulo (\triangle), mientras que las uniones húmedas serán marcadas con un círculo (\odot).

En el caso de este proyecto, las uniones mecánicas se realizan mayormente mediante tornillería vista o escuadras atornilladas. Los paneles SATE opacos se anclan mediante rastreles y tornillos pasantes, mientras que las piezas acristaladas emplean marcos de carpintería atornillados y registrables.

En contra posición, las uniones húmeda se realizan mediante adhesivos químicos, imprimación asfáltica o mortero de sellado.

Panel SATE básico sobre fachada existente

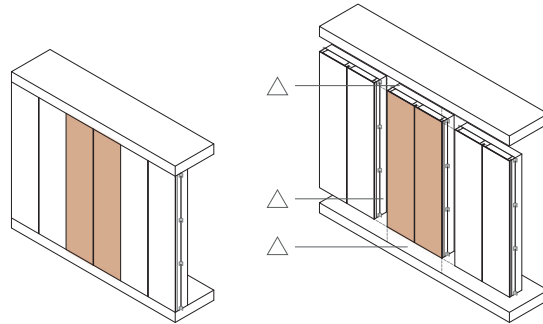


Figura 118. Unión panel SATE básico con fachada existente. E 1:150

1. Listón de madera 6x4 cm.
2. Aislamiento fibra de madera hidrófugo 80/*120mm
3. Lámina impermeable
4. Listón de pino tratado con autoclave clase 4
5. Fachada existente
6. Panel acabado exterior de cemento-madera 12 mm.
7. Escuadra metálica para conexión a fachada

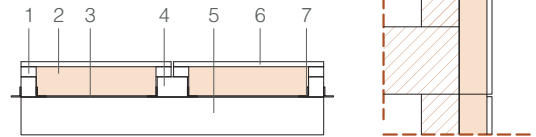


Figura 119. Detalle unión panel SATE básico. E 1:30

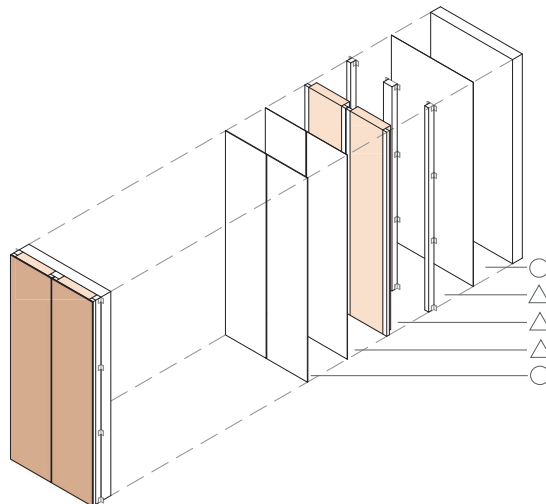


Figura 120. Axonometría explotada panel SATE básico.

La unión de panel a panel se realiza mediante escuadras y tornillería, lo que permite su montaje sin pérdida material.

La unión del panel con el forjado se realiza mediante escuadras metálicas por lo que es una unión mecánica fácilmente reversible.

E 1:100

Panel SATE con cámara de aire sobre fachada existente

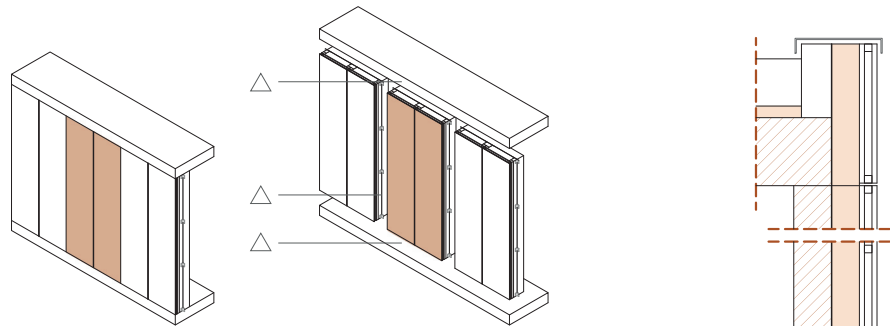


Figura 121. Unión panel SATE ventilado con fachada existente.
E 1:150

1. Panel acabado exterior cemento-madera 12 mm
2. Cámara de aire
3. Panel OSB 12 mm
4. Aislamiento fibra de madera hidrófugo 80/120 mm
5. Listón de madera
6. Listón de pino tratado al autoclave clase 4
7. Fachada existente
8. Escuadra metálica para conexión a fachada

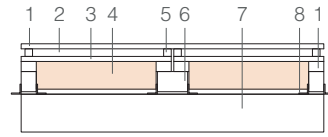


Figura 122. Detalle panel SATE ventilado.
E 1:30

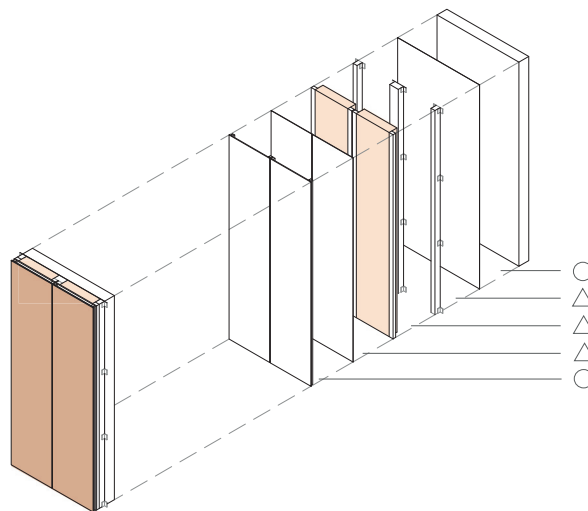


Figura 123. Axonometría explotada panel SATE con cámara ventilada.
E 1:100

Panel SATE básico sobre panel estructural

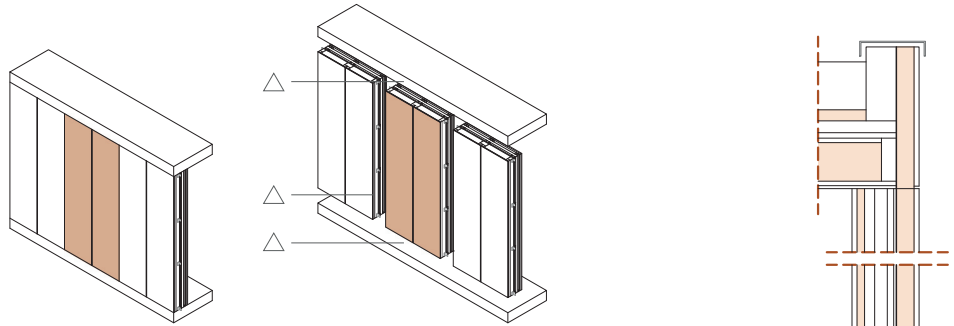


Figura 124. Unión panel SATE y panel estructural con forjado. E 1:150

1. Panel acabado exterior cemento-madera 12 mm
2. Escuadra metálica para conexión a fachada
3. Aislamiento fibra de madera hidrófugo 80/120 mm
4. Panel tipo Fermacell RF60 15 mm
5. Listón de madera
6. Omega resiliente 25 mm
7. Listón de pino tratado al autoclave clase 4
8. Madera microlaminada 51 mm
9. Cámara de aire
10. Lámina impermeable
11. Escuadra metálica

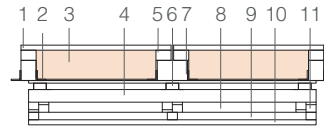


Figura 125. Detalle panel SATE básico con panel estructural. E 1:30

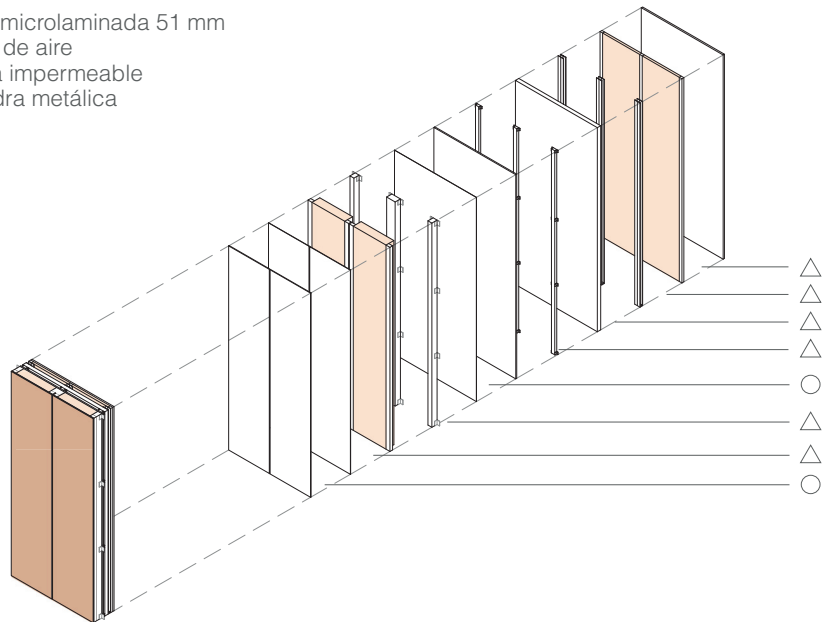


Figura 126. Axonometría explotada panel SATE con panel estructural.

E 1:100

Panel SATE con fachada ventilada sobre panel estructural

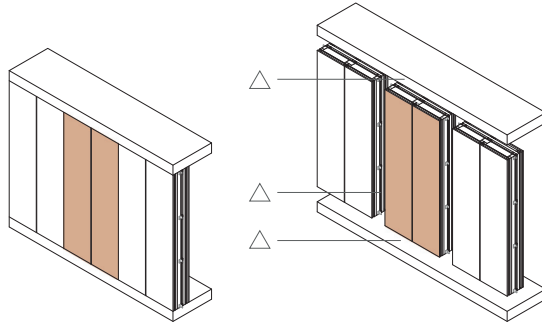


Figura 127. Unión panel SATE ventilado con panel estructural.

1. Panel acabado exterior cemento-madera 12 mm
2. Cámara de aire
3. Panel OSB 12 mm
4. Aislamiento fibra de madera hidrófugo 80/120 mm
5. Lámina impermeable
6. Escudra metálica para conexión a forjado
7. Listón de pino tratado al autoclave clase 4
8. Listón de madera
9. Madera microlaminada 51 mm
10. Cámara de aire
11. Panel tipo Fermacell RF60
12. Omega resiliente 25 mm

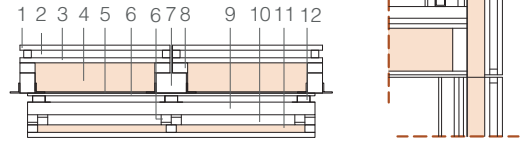


Figura 128. Detalle panel SATE ventilado con panel estructural.

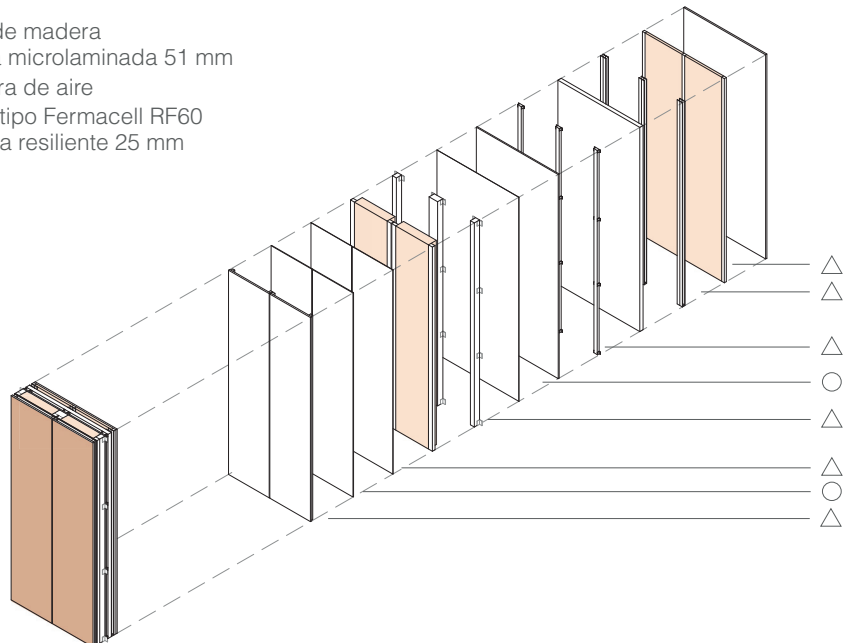


Figura 129. Axonometría explotada panel SATE ventilado con panel estructural.

Panel de carpintería

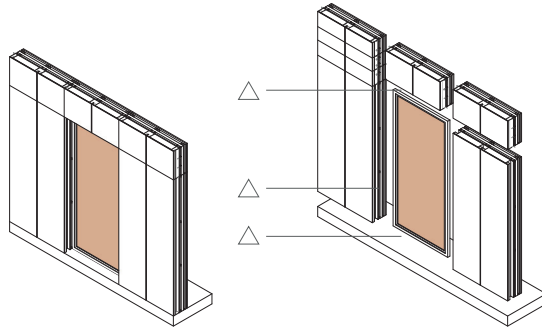


Figura 130. Unión panel carpintería con forjado. E 1:150

1. Bastidor de madera 45x45 mm
2. Triple vidrio
3. Carpintería de aluminio

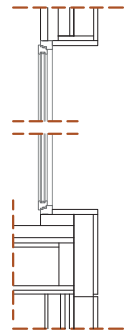
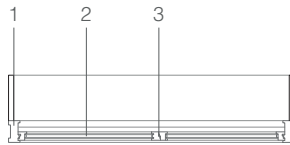


Figura 131. Detalle panel carpintería. E 1:30

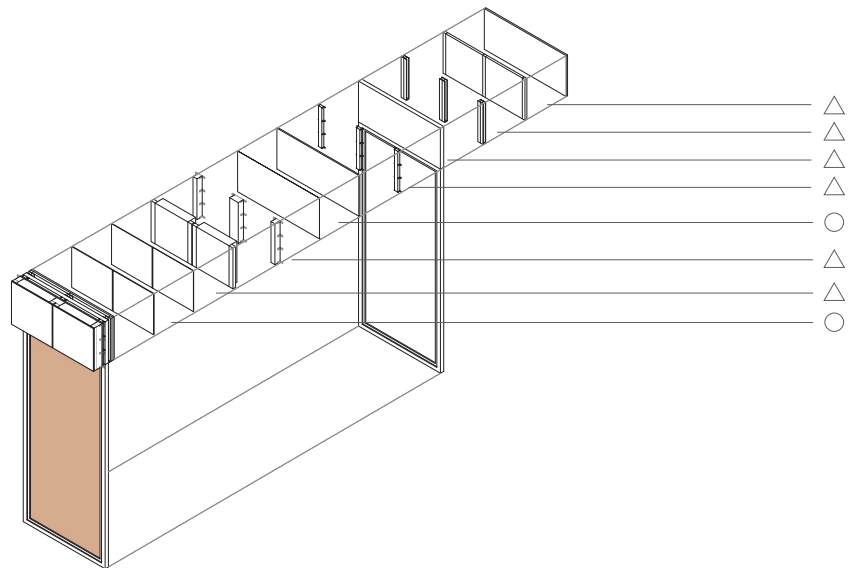


Figura 132. Axonometría explotada panel carpintería.

E 1:100

Panel vegetal

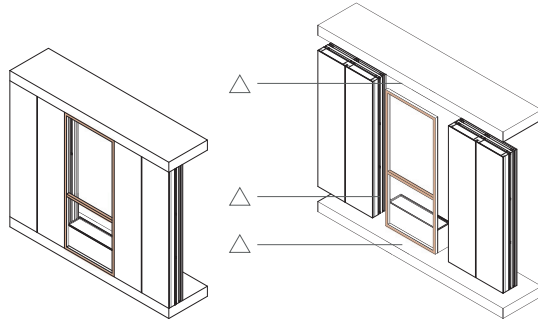
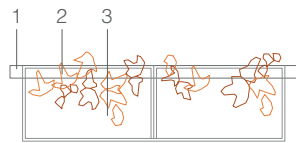


Figura 133. Unión panel vegetal con forjado. E 1:150



1. Bastidor de madera 45x45 mm
2. Varilla 10 mm
3. Jardinera

Figura 134. Detalle panel vegetal. E 1:30

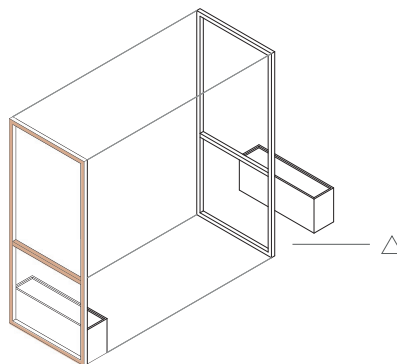
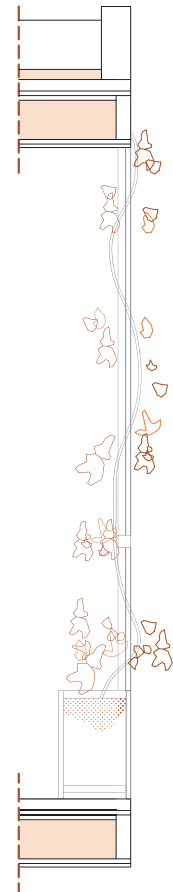


Figura 135. Axonometría explotada panel vegetal.



E 1:100

Panel barandilla

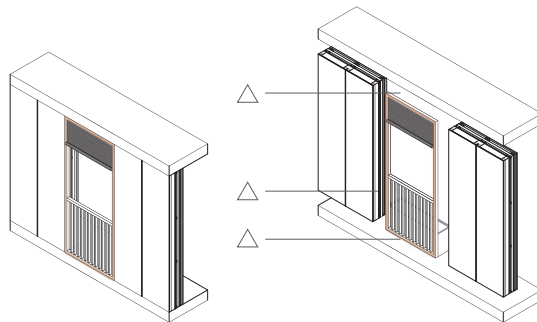
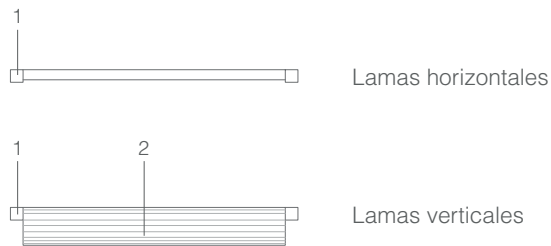


Figura 136. Unión panel barandilla con forjado. E 1:150



- 1. Bastidor de madera 45x45 mm
- 2. Persiana alicantina

Figura 137. Detalle panel barandilla con persiana alicatada. E 1:30

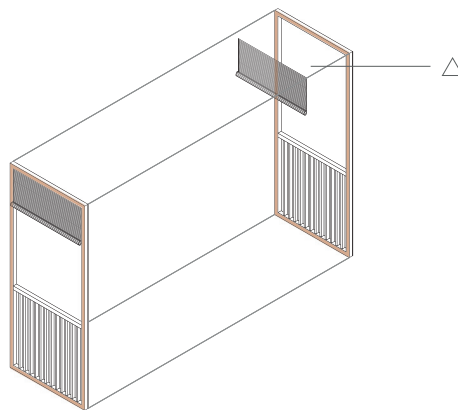
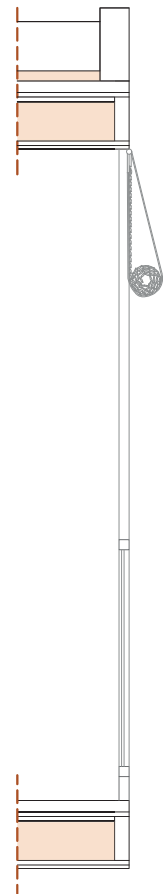


Figura 138. Axonometría explotada panel barandilla.



E 1:100

Panel lamas

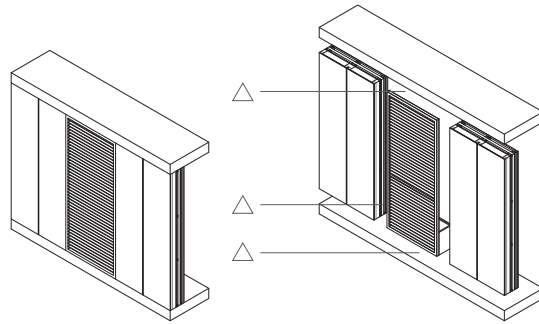
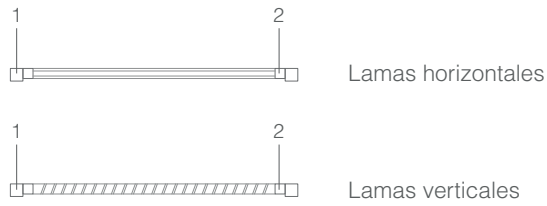


Figura 139. Unión panel lamas con forjado. E 1:150



- 1. Bastidor de madera 45x45 mm
- 2. Listón de madera

Figura 140. Detalle panel lamas. E 1:30

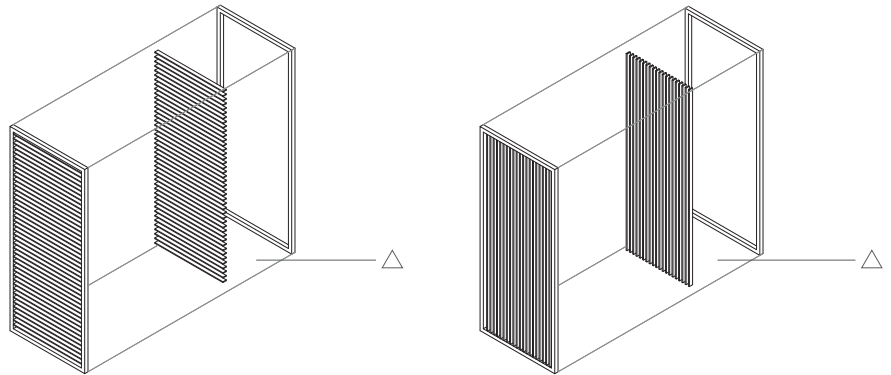
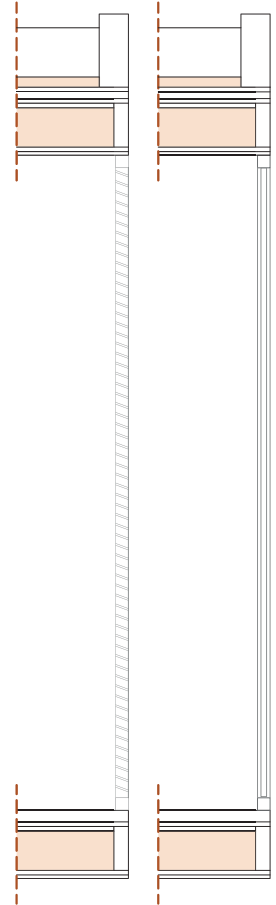


Figura 141. Axonometría explotada panel lamas.

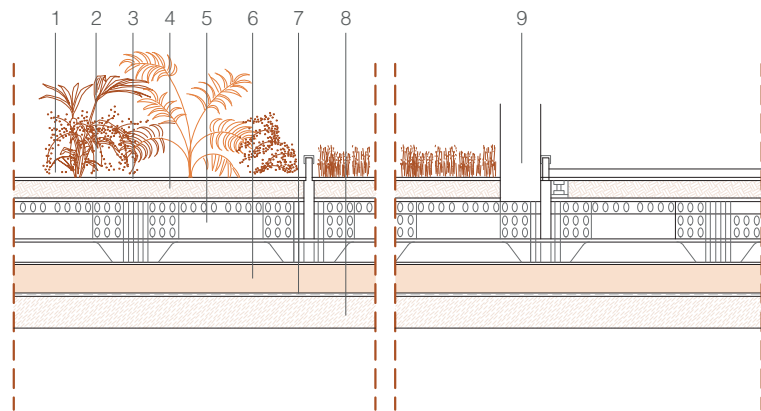
E 1:100

Sistemas de acondicionamiento

En ALIGRA los sistemas de acondicionamiento se integran como una capa adicional sobre el módulo estructural y de cerramiento, actuando principalmente sobre agua, vegetación y energía. Por un lado, el kit de aljibe se resuelve mediante bandejas y cajas de HDPE reutilizadas que se disponen en cubierta y sobre los balcones tecnológicos, configurando un sistema de “cubierta-jardinera” capaz de acumular agua de lluvia, filtrar sedimentos y alimentar el sustrato vegetal mediante riego por goteo. Estas bandejas descansan sobre la estructura ligera del módulo y sobre la lámina de impermeabilización, que queda protegida por capas de drenaje y geotextil. La mayor parte de los componentes (cajas, sustratos, conducciones de riego) están simplemente apoyados o fijados mecánicamente, de modo que pueden desmontarse y reutilizarse, mientras que las láminas adheridas a la base del forjado presentan una reversibilidad más limitada.

Por otro lado, el kit fotovoltaico se implementa principalmente mediante una pérgola ligera situada en coronación del módulo. La pérgola aloja paneles fotovoltaicos, que generan energía renovable y al mismo tiempo controlan la radiación incidente sobre la cubierta vegetal.

La pérgola se construye íntegramente con perfiles de madera laminada estructural, dimensionados en módulo para coincidir con el ritmo de la estructura portante. Se conforma mediante vigas principales apoyadas sobre los nudos superiores de los pilares metálicos y vigas secundarias perpendiculares que completan la retícula. El anclaje no es húmedo, sino totalmente mecánico y reversible: la madera se fija a las testas de los pilares mediante escuadras metálicas atornilladas, permitiendo transmitir la carga a la estructura sin necesidad de soldadura ni adhesivos. Del mismo modo, las vigas secundarias van conectadas mediante placas y tornillería pasante, lo que permite su desmontaje pieza a pieza. Esta estrategia permite que la pérgola pueda retirarse, sustituirse o ampliarse sin intervenir en el resto del módulo, manteniendo continuidad estructural y comportándose como una capa independiente y actualizable en el tiempo.



- | | |
|--|------------------------|
| 1. Capa vegetal | 6. Aislamiento térmico |
| 2. Capa protectora | 7. Capa separadora |
| 3. Sustratos | 8. Losa filtrante |
| 4. Capa filtrante | 9. Pilar pérgola |
| 5. Aljibe 100 m/2 de caja de fruta reutilizada | |

Figura 142. Detalle cubierta vegetal, sistema aljibe.

E 1:20

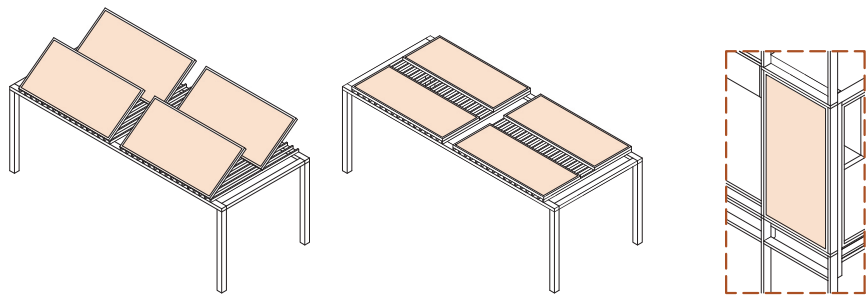


Figura 143. Formas de colocación sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos pueden integrarse en el proyecto de tres formas diferentes: mediante una pérgola plana con paneles inclinados sobre rastreles; con una pérgola ya inclinada en la que los módulos fotovoltaicos se apoyan directamente sobre la estructura; o, por último, anclados a fachada mediante subestructura ligera.

De este modo, el sistema no solo es flexible en términos compositivos, sino que permite estrategias energéticas progresivas, ampliables en el tiempo y compatibles con el desmontaje o desplazamiento del módulo sin pérdida de material ni anclajes irreversibles.

- **ETAPA COMPARATIVA 3.** Identificación y explicación de las ventajas vinculadas con la economía circular.

En base a lo fundamentado en el apartado 3.3. Ventajas y contexto del diseño modular, el caso de estudio ALIGRA confirma una alineación sólida con los principios de economía circular aplicados a la arquitectura contemporánea. El sistema no solo utiliza módulos como unidad repetible, sino que convierte el módulo en un organismo desmontable, trasladable y actualizable, capaz de prolongar su vida útil más allá del primer emplazamiento.

La estructura híbrida madera-acero, ensamblada en seco mediante uniones mecanizadas, constituye el soporte principal de circularidad. Toda la armadura portante puede ser desmontada por fases sin operaciones destructivas, recuperándose pilares, vigas y viguetas con un nivel potencial de reutilización cercano al 90% en peso estructural. Los cerramientos panelizados continúan esta lógica: cada panel puede retirarse individualmente sin afectar al resto, permitiendo sustitución por mantenimiento, mejora térmica o reconfiguración espacial.

El proyecto incorpora también estrategias circulares de gestión energética y de ciclo de vida. La posibilidad de integrar paneles fotovoltaicos en tres configuraciones permite ampliar la producción sin modificar la estructura base, introduciendo un potencial de ampliación energética progresiva. Del mismo modo, los sistemas de acondicionamiento reducen demanda térmica activa y extienden la vida útil del conjunto mediante bajo mantenimiento y degradación mínima.

Desde el punto de vista material, ALIGRA prioriza materiales reciclados y aislamientos de baja densidad, reduciendo peso embebido y huella energética en transporte. El uso de uniones desmontables permite que, tras el desensamblaje, un alto porcentaje de componentes pueda reintegrarse en nuevos montajes.

En síntesis, ALIGRA no solo replica módulos, sino que habilita circularidad: desmontaje sin demolición, reparación por capas, reubicación del edificio completo y actualización tecnológica sin derribo. El sistema no cierra en obra: permanece abierto a futuros ciclos.

El proyecto materializa estas ventajas a través de sus estrategias constructivas y ambientales.

1. Flexibilidad y adaptación

El prototipo no opera como volumen fijo, sino como sistema abierto capaz de actualizarse y desplazarse. El módulo-planta puede replicarse longitudinalmente o extenderse en altura sin intervención destructiva, y los paneles de cerramiento pueden sustituirse o alternarse por versiones opacas, perforadas o acristaladas sin modificar la estructura. La arquitectura funciona como interfaz evolutiva.

2. Estandarización

La estandarización del sistema se basa en un módulo geométrico de 1,20 m, subdividido en unidades de 60 cm, lo que permite que estructura, cerramientos y sistemas activos compartan el mismo patrón dimensional. Este orden garantiza que cada componente pueda ensamblarse sin ajustes a medida, asegurando compatibilidad total y reduciendo tiempos de fabricación, montaje y reposición

3. Desmontabilidad y reutilización

Todas las conexiones críticas (viga-pilar, panel-estructura, pérgola-forjado) se resuelven mediante tornillería accesible, lo que permite recuperar la estructura híbrida con un potencial superior al 85-90% según los autores. El sistema no solo minimiza demolición, sino que convierte el edificio en inventario recuperable de piezas técnicas

4. Optimización de recursos

El proyecto no construye desde cero sino que, añade, evitando el impacto mineral y energético de sustituir estructura existente. El aljibe en cubierta gestiona el ciclo hídrico reduciendo la demanda de agua potable y la carga en red. La vegetación, el sombreado y la ventilación cruzada disminuyen necesidades de climatización activa y prolongan la vida útil del cerramiento

5. Eficiencia constructiva

El montaje en seco convierte el proceso en cadena industrial compatible con rehabilitación sin desalojo. El módulo llega prefabricado con el 70-80% de componentes incorporados y se ensambla con mínima obra húmeda, asegurando rapidez, control productivo y mantenimiento futuro simplificado.

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.04 Análisis de discusión de los resultados

05.04.02 Caso de estudio 2

- **ETAPA COMPARATIVA 1.** Definición del módulo característico del diseño modular.
 - **¿Cuál es el módulo?**

En el proyecto “Regenerar Barcelona”, el módulo característico no se materializa en un volumen tridimensional completo como unidad habitable cerrada, sino en un soporte estructural base modular formado por pórticos bidimensionales de madera maciza que crean dos niveles y opera simultáneamente como elemento resistente, interfaz de conexión y soporte para la incorporación progresiva de los kits. Este pórtico 2D constituye la unidad prefabricable mínima del sistema, ensamblada en seco mediante uniones mecanizadas y pernos, lo que permite su transporte, manipulación y montaje con alta rapidez y reversibilidad.

Aunque el módulo no es en sí una cápsula volumétrica habitable, sí cumple con los criterios funcionales definidos en *03.01.01 Módulo*, dado que su autonomía espacial reside en la capacidad de recibir cerramientos, instalaciones y ampliaciones mediante subsistemas acoplables, convirtiéndose en la base estructural desde la cual pueden generarse espacios interiores, semiabiertos o exteriores según el requerimiento. Es, por tanto, un módulo-soporte que adquiere carácter volumétrico cuando se completa mediante los kits: ampliación, envolvente bioclimática, aljibe, fotovoltaico, vegetación, smart-building o comunitario.

La prefabricabilidad del pórtico y la naturaleza de ensamblaje de las capas superiores permiten que este módulo sea autónomo a nivel estructural y compatible a nivel de interfaz. Además, la modularidad del entramado posibilita su crecimiento longitudinal, vertical o por fases, y que cada unidad pueda desmontarse o sustituirse manteniendo la operatividad del conjunto.

En conclusión, el módulo de este proyecto no es un módulo tridimensional sino un pórtico- bidimensional, concebido como pieza base repetible, montable en seco y configuradora del volumen final. Es un módulo abierto, evolutivo y con integridad funcional, lo que le otorga un alto grado de autonomía operativa y adaptabilidad programática.

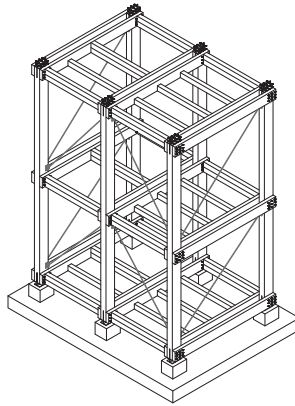


Figura 144. Axonometría módulo, sistemas estructural "Regenerar Barcelona". E 1:200

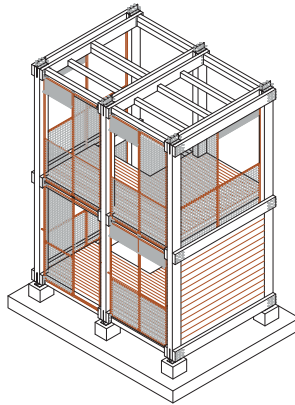


Figura 145. Axonometría módulo, sistemas de cerramiento "Regenerar Barcelona". E 1:200

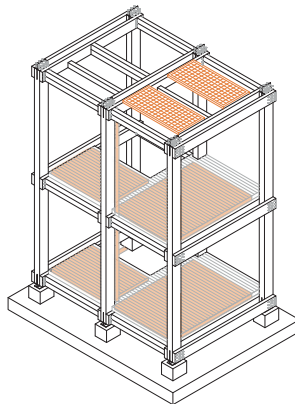


Figura 146. Axonometría módulo, sistemas fotovoltaicos y aljibes "Regenerar Barcelona". E 1:200

- **¿Cuál ha sido la lógica modular?**

La lógica modular del proyecto “Regenerar Barcelona” no se fundamenta en la repetición de módulos tridimensionales cerrados, sino en la creación de una infraestructura abierta capaz de activar variaciones espaciales mediante kits independientes. La modularidad opera aquí como un sistema de capas sucesivas: la estructura base no define el espacio final, sino que habilita múltiples configuraciones en el tiempo

La secuencia de pórticos 2D forma una retícula continua que puede extenderse longitudinal o verticalmente, funcionando como un almacén evolutivo sobre el cual se acoplan componentes programáticos y energéticos. Cada kit añade función (no estructura), de modo que el crecimiento del sistema se basa en la transformación progresiva, más que en la repetición volumétrica.

La lógica modular opera, por tanto, en tres niveles simultáneos:

1. Módulo soporte (pórtico bidimensional) como unidad mínima repetible.
2. Composición volumétrica flexible, generada al añadir kits que completan el espacio.
3. Escalabilidad por fases, permitiendo la evolución en el tiempo.

Esta estrategia convierte el sistema en una herramienta de regeneración incremental: cada módulo puede sumarse, retirarse o sustituirse sin comprometer el funcionamiento global del conjunto. La arquitectura deja de entenderse como objeto terminado y pasa a ser reversible, ampliable y evolutiva en el tiempo, en sintonía con los criterios de sostenibilidad y economía circular del concurso.

En síntesis, la lógica modular del proyecto no reside únicamente en la repetición geométrica, sino en su capacidad para articular una estructura base más los subsistemas que actúan como capas independientes y crean un sistema que actúa como uno.

- **¿Tiene la propiedad de modularidad?**

Se puede considerar que la propuesta tiene la capacidad de modularidad en el sentido definido en el apartado *03.01.03 Modularidad*, ya que el sistema no solo se estructura a partir de piezas repetibles, sino que permite segregar, sustituir y reconfigurar componentes manteniendo la operatividad del conjunto. El pórtico base funciona como soporte independiente lo que habilita intervenciones graduales, reversibles y adaptables en el tiempo.

El sistema demuestra modularidad no meramente por repetición geométrica, sino porque admite múltiples combinaciones posibles entre estructura y subsistemas, donde cada pieza puede desmontarse, reemplazarse o actualizarse sin alterar la continuidad del resto siguiendo una lógica modular. Esta independencia funcional confirma que el módulo no es único ni rígido, sino operativo dentro de una red de elementos compatibles.

Además, el sistema se puede escalar tanto en extensión como en densificación: desde ampliaciones puntuales de fachada hasta configuraciones que generan nuevos corredores, espacios habitables o núcleos de comunicación vertical. El crecimiento no requiere rehacer el conjunto, sino sumar módulos que se integran dentro de la misma lógica estructural, manteniendo la funcionalidad global.

En conclusión, Regenerar Barcelona presenta modularidad como propiedad sistémica al permitir separar, agregar, sustituir y escalar sus componentes. No es una modularidad estática, sino evolutiva, capaz de transformar el edificio existente de forma progresiva y reversible.

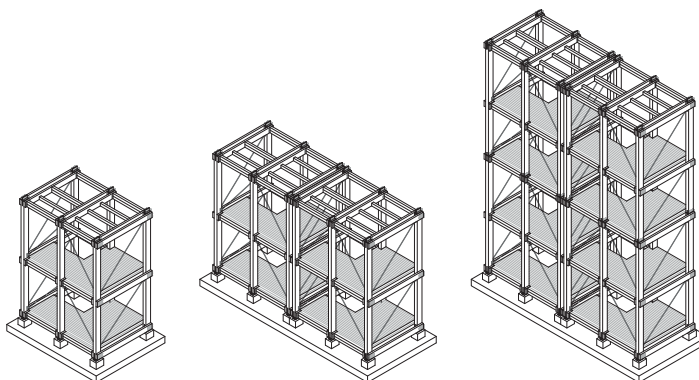


Figura 147. Axonometría esquema de modularidad "Regenerar Barcelona".

- **¿Se identifica un sistema de coordinación dimensional modular?**

El sistema “Regenerar Barcelona” presenta una coordinación dimensional clara basada en la repetición de pórticos estructurales que generan una retícula estable sobre la que se insertan los cerramientos, bandejas de aljibe, carpinterías y los distintos kits funcionales. La malla estructural fija la distancia entre apoyos y organiza el ritmo de los elementos constructivos, permitiendo que cada componente se produzca en dimensiones estándar.

Como se aprecia en la [Figura 120](#), la repetición secuencial del pórtico configura un módulo base compuesto por interejos regulares. Esta retícula no solo resuelve la estabilidad estructural, sino que funciona como matriz geométrica, garantizando la intercambiabilidad entre piezas y la continuidad dimensional al escalar el sistema tanto en horizontal como en vertical. Los paneles opacos y las carpinterías comparten la misma lógica métrica, lo que permite sustituir, añadir o reorganizar componentes sin alterar el módulo soporte.

Por tanto, la coordinación dimensional no es una suma de unidades independientes, sino un tejido estructural que normaliza espesores, puntos de fijación y tolerancias, de modo que la arquitectura crece por adición de capas, no por reconstrucción. La precisión del intereje facilita la fabricación en serie, la reducción de residuos de obra y hace posible que las ampliaciones sean reversibles y escalables en el tiempo.

En conclusión, Regenerar Barcelona sí desarrolla un sistema de coordinación modular, la retícula del pórtico se diseña para que defina el lenguaje dimensional que permite que todo encaje, desde el cerramiento hasta los sistemas bioclimáticos que completan el volumen.

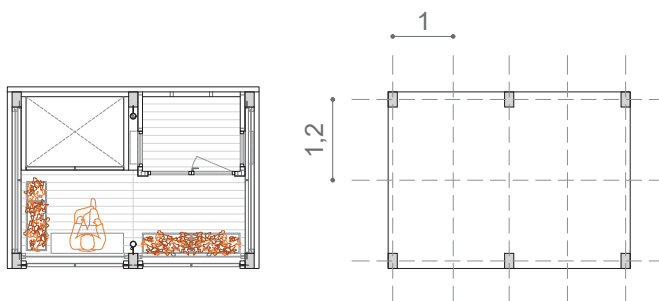


Figura 148. Coordinación modular proyecto “Regenerar Barcelona”.

- **ETAPA COMPARATIVA 2.** Descripción de la jerarquía constructiva del módulo.

Sistema estructural

El sistema estructural de “Regenerar Barcelona” se resuelve mediante una estructura autoportante de pórticos bidimensionales de madera maciza de pino gerundense, dispuestos en retícula y apoyados sobre una cimentación independiente del edificio existente. Cada pórtico está formado por pilares, vigas y viguetas de madera microlaminada gerundense, conectados entre sí mediante chapas y escuadras metálicas atornilladas, lo que configura un bastidor rígido. Sobre las vigas principales se disponen las viguetas de forjado de madera, también fijadas mediante herrajes mecánicos, que conforman los planos resistentes donde se apoyan las bandejas-aljibe, los pavimentos y los cerramientos ligeros.

La estabilidad frente a acciones horizontales se garantiza combinando la inercia de los propios pórticos con arriostramientos diagonales metálicos dispuestos en los planos verticales de fachada. Estas diagonales se anclan a las vigas y a los montantes mediante placas de acero y pernos pasantes, configurando triángulos rígidos que aseguran el arriostramiento del marco. De este modo, la mayor parte de la capacidad resistente del conjunto se articula a través de uniones mecánicas atornilladas, susceptibles de desmontaje y sustitución.

En la base, los pilares de madera se apoyan sobre zapatas de hormigón armado fijadas a una losa de hormigón mediante anclajes embebidos; esta interfaz madera-acero se resuelve de nuevo con tornillería, mientras que la conexión hormigón-hormigón se materializa mediante uniones húmedas. La vinculación con el edificio existente se realiza mediante perfiles metálicos para ser completamente desmontable sin alterar la estructura existente y sin transmitir cargas para evitar el sobrepeso.

Los kits de ampliación de volumen, envolvente bioclimática, aljibe, vegetación, fotovoltaico y smart building se conectan a este esqueleto mediante subestructuras ligeras también atornilladas, siguiendo el criterio general del prototipo de evitar adhesivos, morteros o uniones irreversibles en todos los subsistemas de cierre, pavimentos y aislamientos. Solo la cimentación de hormigón y algunos recrecidos o morteros de protección pueden considerarse uniones húmedas no desmontables, lo que explica que el sistema alcance un coeficiente de desmontabilidad superior al 80 % declarado por los autores.

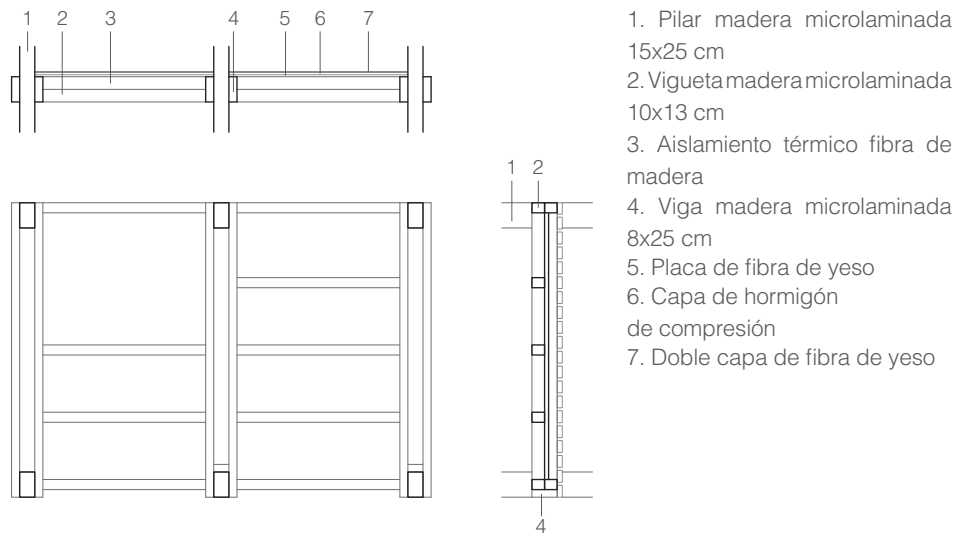


Figura 149. Planta estructura proyecto "Regenerar Barcelona". E 1:75

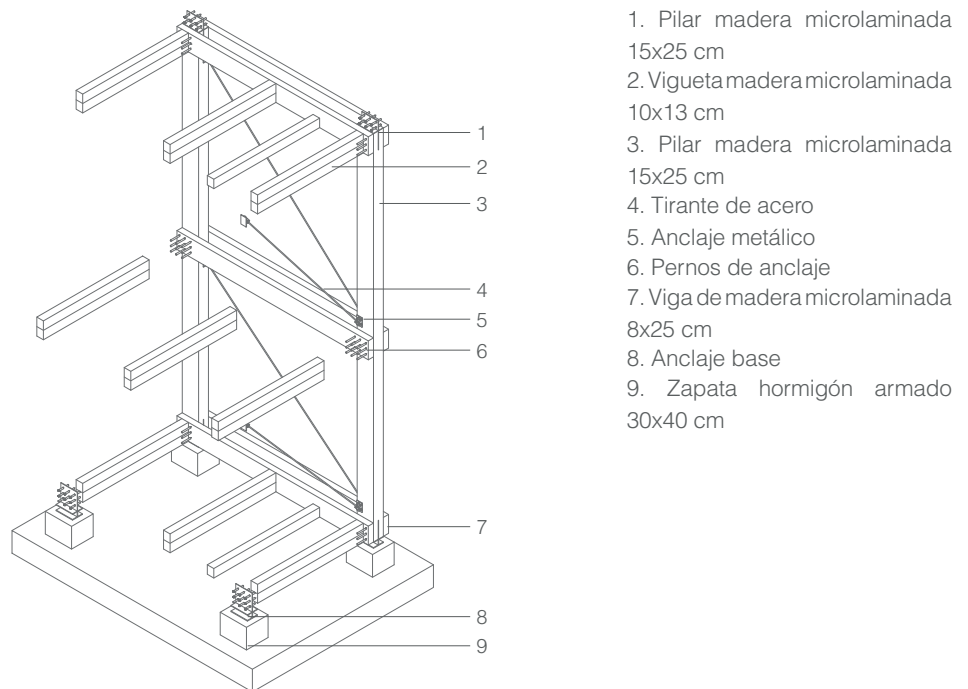


Figura 150. Axonometría detalle unión estructura. E 1:100

Sistema envolvente

La envolvente del prototipo está concebida como un sistema multicapa seco, ligero, registrable y en gran medida desmontable, diseñado para incrementar las prestaciones térmicas y ambientales sin modificar de forma irreversible la estructura soporte. Su montaje se basa en paneles y subestructuras que se fijan mediante uniones mecánicas accesibles (atornilladas o clavadas), priorizando la reversibilidad frente a soluciones húmedas permanentes.

El cerramiento opaco se resuelve a partir de una subestructura secundaria de rastreles de madera anclados al pórtico principal mediante escuadras metálicas y tornillería, sobre la cual se instala un sistema de paneles ligeros de madera, corcho y acabados exteriores ventilados. El aislamiento térmico está compuesto por paneles de corcho expandido 100% natural, fijados mecánicamente mediante listones o anclajes puntuales, lo que permite su desmontaje sin pérdida material.

El acabado exterior puede adoptar distintos formatos según el kit incorporado: paneles de madera listonada, superficies ajardinadas mediante jardineras o protección solar con persianas enrollables tradicionales. Todos estos cerramientos se fijan por atornillado directo a la subestructura mediante escuadras metálicas, permitiendo su sustitución por partes en caso de mantenimiento o actualización del sistema.

Las carpinterías (fabricadas en aluminio reciclado, tipo Hervent Gravent) se insertan en marcos auxiliares de madera o metal mediante fijaciones mecánicas, lo que evita sellados continuos con siliconas o morteros. Los encuentros horizontales se resuelven con perfiles de drenaje y vierteaguas desmontables, evitando uniones húmedas salvo puntos localizados de estanqueidad. Las juntas se resuelven con burletes y láminas transpirables, permitiendo reposición sin alterar el cerramiento.

En conjunto, el sistema envolvente del proyecto destaca por su montaje en seco, su accesibilidad para mantenimiento y su capacidad de sustitución por capas, condición que hace posible un desmontaje elevado con pérdida mínima de material.

Las uniones mecánicas reversibles se marcarán con un triángulo (\triangle), mientras que las uniones húmedas serán marcadas con un círculo (\bigcirc).

Las únicas uniones húmedas detectables se concentran en sellados puntuales de carpintería, impermeabilizaciones lineales y posibles morteros de protección.

Panel permeable con celosía metlica

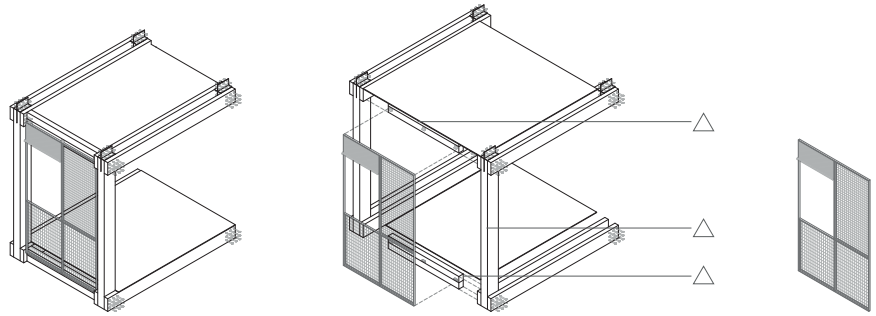
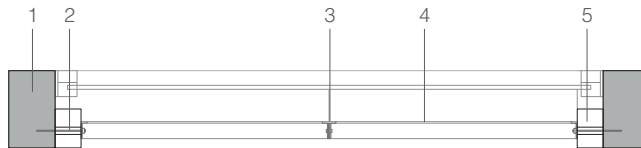


Figura 151. Unión panel permeable con forjado. E 1:150



1. Pilar madera microlaminada 15x25 cm
2. Perno de anclaje
3. Escuadra metlica
4. Malla electrosolada
5. Bastidor metlico

Figura 152. Detalle panel permeable con celosía metlica.

E 1:30

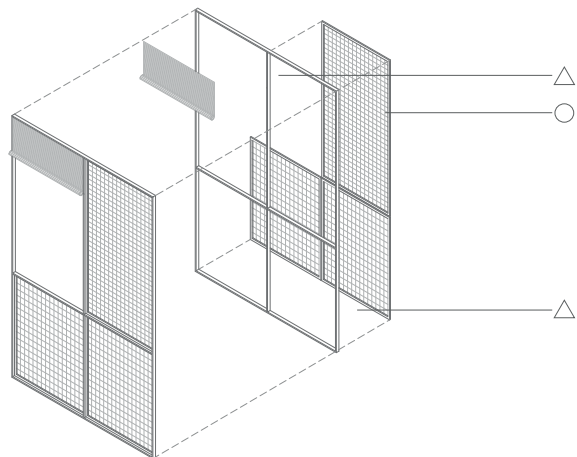


Figura 153. Axonometría explotada panel permeable con celosía metlica.

E 1:75

Panel carpintería

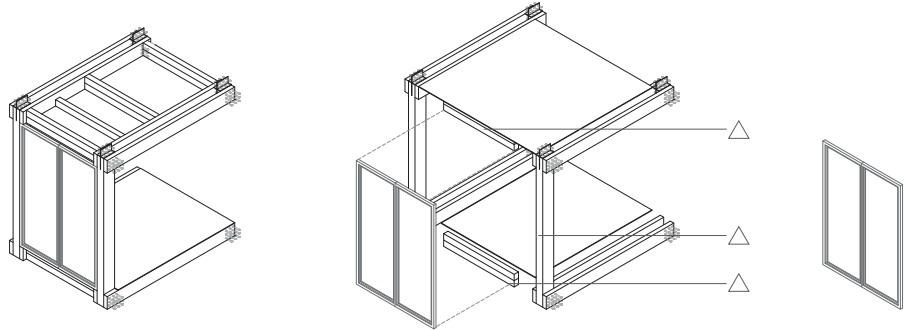
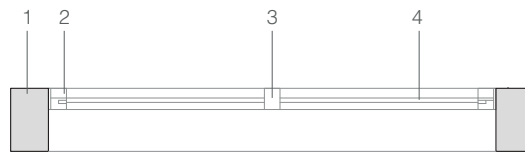


Figura 154. Unión panel carpintería con forjado. E 1:150



1. Pilar madera microlaminada 15x25 cm
2. Bastidor metálico
3. Montante metálico
4. Triple vidrio

Figura 155. Detalle panel carpintería. E 1:30

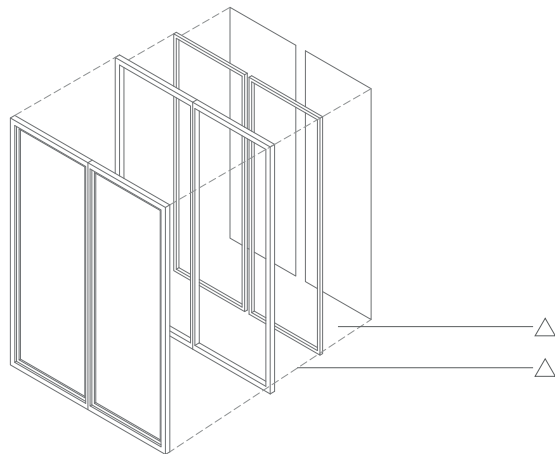


Figura 156. Axonometría explotada panel carpintería.

E 1:75

Panel opaco

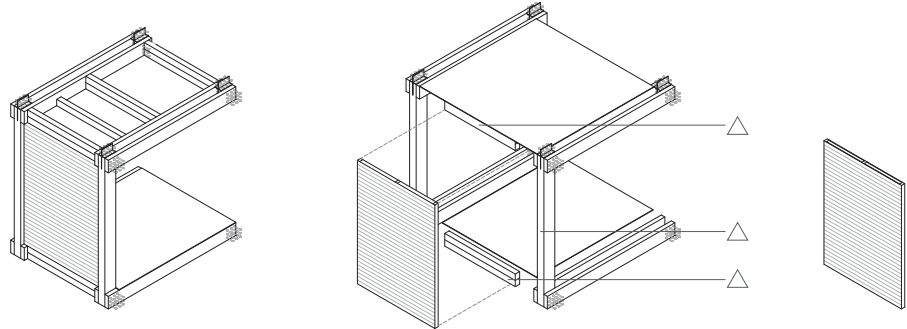
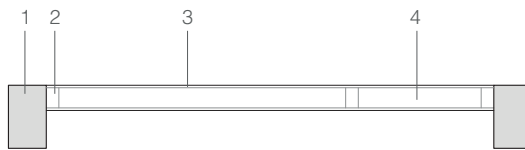


Figura 157. Unión panel opaco con forjado. E 1:150



1. Pilar madera microlaminada 15x25 cm
2. Rastrel madera microlaminada
3. Revestimiento de madera alistonada
4. Aislamiento de corcho expandido

Figura 158. Detalle panel opaco. E 1:30

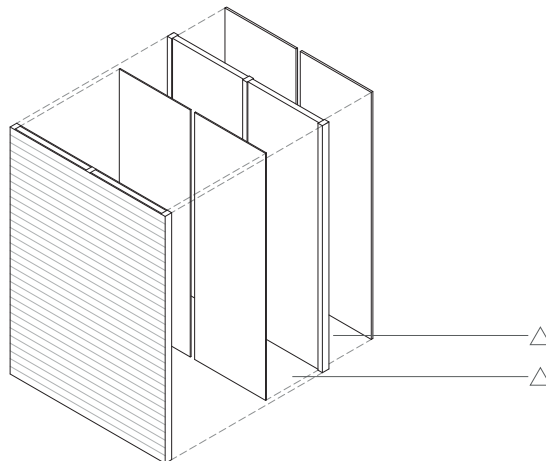


Figura 159. Axonometría explotada panel opaco.

E 1:75

Panel carpintería abatible

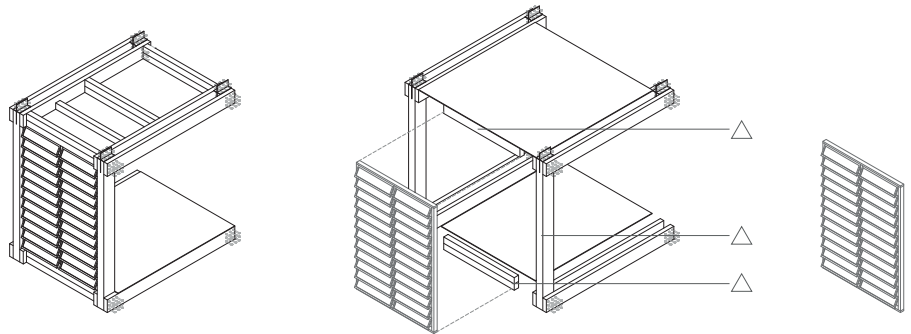
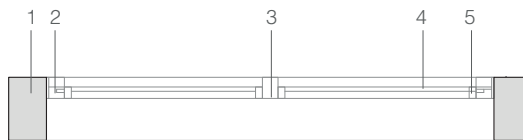


Figura 160. Unión panel carpintería abatible con forjado. E 1:150



1. Pilar madera microlaminada 15x25 cm
2. Bastidor metálico
3. Montante metálico
4. Triple vidrio
5. Bisagra abatible

Figura 161. Detalle panel carpintería abatible. E 1:30

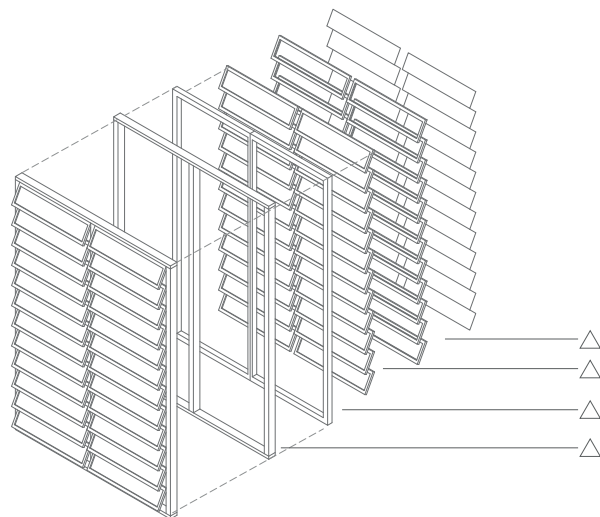


Figura 162. Axonometría explotada panel carpintería abatible.

E 1:75

Sistemas de acondicionamiento

El prototipo “Regenerar Barcelona” integra un conjunto de sistemas de acondicionamiento ambiental diseñados para mejorar el rendimiento energético, climático y ecológico del edificio existente sin intervenir en su estructura original. Estos sistemas se incorporan mediante uniones predominantemente mecánicas. Cada kit funciona como una capa independiente que se adosa al soporte estructural principal de madera, optimizando el comportamiento higrotérmico, hídrico y energético del conjunto.

El sombreado y control solar se resuelve mediante persianas enrollables exteriores y vegetación caducifolia guiada en celosías o cables tensores, lo que permite regular la radiación incidente a lo largo del año. Esta estrategia bioclimática limita el sobrecalentamiento y reduce la demanda energética del interior, manteniendo la permeabilidad lumínica durante invierno. Su instalación es totalmente en seco, con soportes y guías atornilladas al bastidor portante.

La gestión hídrica se articula mediante un sistema de aljibes modulares situados bajo pavimento conectados a jardineras y a una red de riego por goteo. Estas bandejas almacenan agua de lluvia para uso posterior, reduciendo la escorrentía al saneamiento urbano y favoreciendo resiliencia hídrica. Todas las unidades se apoyan sobre forjado y se fijan mediante anclajes mecánicos.

La generación fotovoltaica se integra en cubierta mediante paneles solares ultraligeros, fijados sobre el plano superior mediante uniones metálicas atornilladas. El cableado superficial permite registro y mantenimiento sin obra húmeda, asegurando la reversibilidad del sistema.

El kit de vegetación incorpora jardineras con depósito integrado y vegetación trepadora que asciende por la envolvente, generando un colchón verde que mejora el microclima y favorece la biodiversidad. Su fijación, también mecánica, permite reconfiguración total del sistema según necesidades de uso y mantenimiento.

En conjunto, los sistemas de acondicionamiento operan como mecanismos activos y pasivos superpuestos, montados íntegramente en seco, que pueden integrarse de manera independiente o combinada, sin comprometer la estructura ni la envolvente. Su configuración plug-in convierte al prototipo en un sistema evolutivo y adaptable, con potencial de desmontaje elevado y casi sin generación de residuo estructural.

Panel vegetal

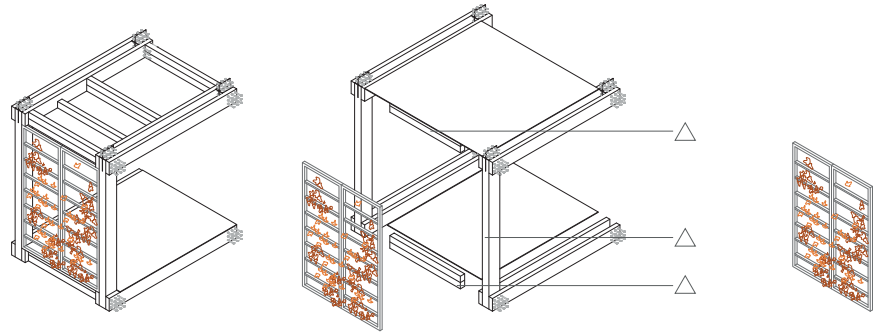
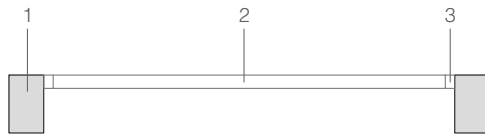


Figura 163. Unión panel vegetal con forjado.

E 1:150



1. Pilar madera microlaminada 15x25 cm
2. Listón madera microlaminada
3. Bastidor madera microlaminada

Figura 164. Detalle panel vegetal. E 1:30

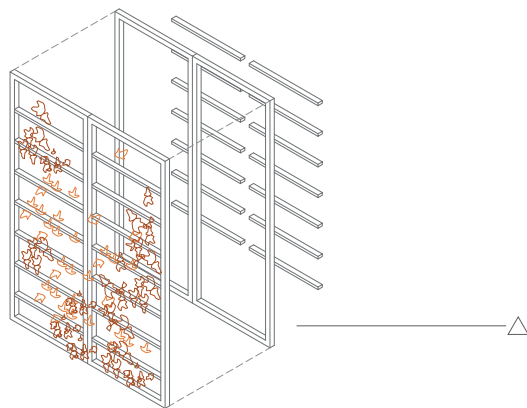


Figura 165. Axonometría explotada panel vegetal.

E 1:75

Panel jardinera

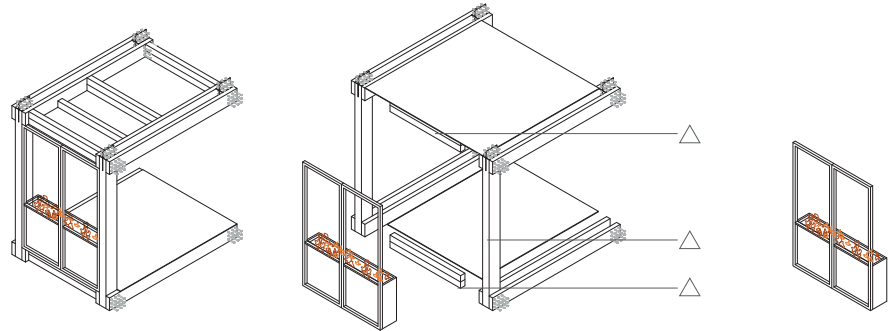
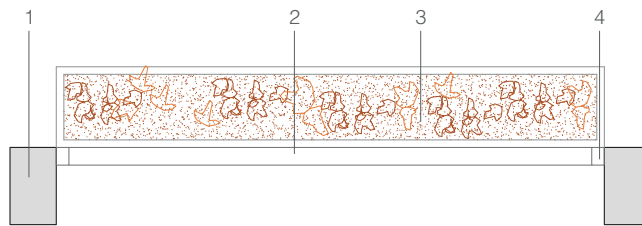


Figura 166. Unión panel jardinera con forjado. E 1:150



1. Pilar madera microlaminada 15x25 cm
2. Listón madera microlaminada
3. Jardinera
4. Bastidor madera microlaminada

Figura 167. Detalle panel jardinera. E 1:30

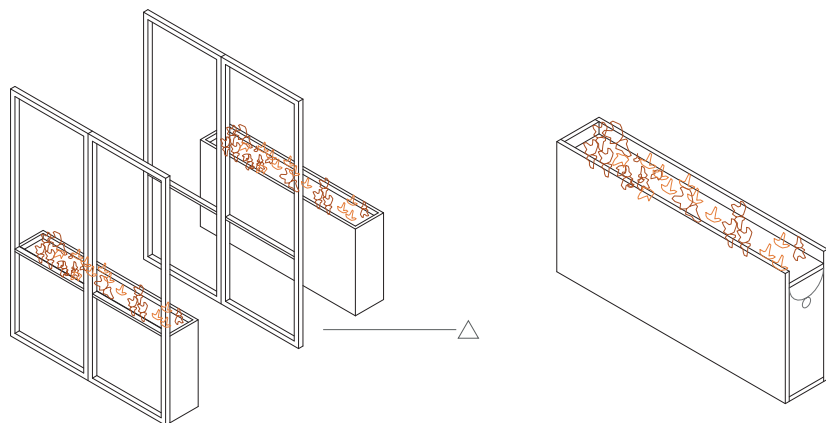


Figura 168. Axonometría explotada panel jardinera (izquierda) y jardinera (derecha). E 1:75

- **ETAPA COMPARATIVA 3.** Identificación y explicación de las ventajas vinculadas con la economía circular.

En base a lo fundamentado en el apartado 3.3. *Ventajas y contexto del diseño modular*, el caso de estudio “Regenerar Barcelona” evidencia un alineamiento directo con los principios de la economía circular aplicados a la arquitectura. La propuesta adopta una lógica constructiva capaz de minimizar el consumo de recursos, prolongar la vida útil del edificio existente y asegurar la recuperación y reintegración de sus componentes, sustituyendo el modelo lineal tradicional (extraer, producir, demoler) por un sistema cíclico, reversible y evolutivo.

La desmontabilidad constituye el eje principal del sistema: la estructura base de pórticos de madera maciza se ensambla mediante uniones mecanizadas con pernos, evitando adhesivos. Esta condición permite que el soporte estructural pueda retirarse sin demolición, con un nivel de recuperabilidad superior al 80% en peso, lo que habilita su reutilización en otro emplazamiento o su reintegración al mercado material. Los cerramientos (formados por corcho expandido, rastreles y listón de madera) siguen la misma lógica de montaje en seco, lo que reduce la generación de residuos y facilita reparación o sustitución por capas.

El sistema introduce, además, estrategias circulares vinculadas con el recuperación energética e hídrica. Las bandejas-aljibe permiten la captación y almacenamiento descentralizado de agua de lluvia, reintegrándola en un circuito de riego que disminuye el vertido a la red de saneamiento. Las placas fotovoltaicas ultraligeras y los dispositivos del kit smart-building reducen el consumo energético de origen fósil y permiten monitorizar el rendimiento del sistema, asegurando su actualización futura.

Desde una perspectiva material, Regenerar Barcelona prioriza recursos reciclables, renovables y de proximidad. La madera estructural procede de pino gerundense, el aislamiento térmico es corcho expandido 100% natural y las jardineras emplean plástico reciclado. Según los autores, el 90% de los materiales disponen de ecoetiquetas y el resto está previsto para certificación ambiental tipo I. Este enfoque reduce la huella embebida. Finalmente, el sistema no solo fomenta la circularidad material, sino también la circularidad de uso, posibilitando nuevas configuraciones espaciales, crecimiento incremental por fases y estrategias de apropiación comunitaria y biodiversidad urbana.

El proyecto materializa estas ventajas a través de sus estrategias constructivas y ambientales.

1. Flexibilidad y adaptación

El sistema no es un objeto cerrado, sino una infraestructura evolutiva.

Puede ampliarse, reducirse o modificarse sin afectar al soporte estructural, permitiendo que el edificio responda a cambios futuros de uso, densidad residencial o estrategia energética. La fachada actúa como campo operativo reconfigurable, donde los kits plug-in pueden intercambiarse o operarse independientemente.

2. Estandarización

La repetición dimensional del pórtico bidimensional estructura la obra como retícula regular, permitiendo que los componentes (cerramientos, bandejas-aljibe, carpinterías, FV, celosías) compartan puntos de fijación. La estandarización reduce tiempos de obra, facilita protección de repuestos y asegura que la rehabilitación pueda ser escalada en serie.

3. Desmontabilidad y reutilización

Todos los subsistemas se ensamblan mediante uniones mecánicas y registrables. El 80% de la estructura puede desmontarse manteniendo integridad física y el cerramiento es prácticamente recuperable en su totalidad. Los kits energéticos también pueden recuperarse o trasladarse sin demolición.

4. Optimización de recursos

La rehabilitación se apoya sobre el edificio existente, evitando obra nueva y reduciendo el coste energético y mineral asociado al hormigón y acero.

El uso de materiales naturales (corcho, madera de proximidad) y la captación de agua pluvial disminuyen el consumo de recursos primarios durante operación y vida útil.

5. Eficiencia constructiva

El montaje en seco permite producción industrial, cadencia de obra controlada y montaje rápido con mínima afección al usuario.

La ausencia de morteros elimina fases húmedas, reduce residuos y acelera la ejecución, lo que hace que el sistema sea apto para rehabilitación sin desalojo.

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.04 Análisis de discusión de los resultados

05.04.03 Caso de estudio 3

- **ETAPA COMPARATIVA 1.** Definición del módulo característico del diseño modular.
 - **¿Cuál es el módulo?**

En el proyecto “InnoFAB”, el módulo se define como un bastidor tridimensional prefabricado en acero, que actúa como unidad volumétrica base del sistema. Se trata de una estructura espacial autónoma, capaz de recibir cerramientos, pavimentos y kits funcionales instalados en seco. La propuesta se organiza mediante una retícula dimensional de 2,5 m. en planta, lo que permite que el módulo pueda repetirse de forma seriada, crecer longitudinalmente y adaptarse a diferentes situaciones de fachada mediante montaje, desmontaje o reubicación reversible. Esta modulación fija la compatibilidad dimensional entre estructura, envolventes y capas técnicas, garantizando una lógica de agregación continua.

El módulo tridimensional identificado está compuesto por cuatro montantes verticales, vigas perimetrales y arriostamientos superiores e inferiores, conformando una celda rígida que funciona como soporte estructural y ambiental. Este bastidor, construido mediante conexiones mecánicas secas, constituye la pieza fundamental del sistema modular ya que puede transportarse, anclarse puntualmente sobre la edificación y recibir progresivamente los sistemas de envolvente y de acondicionamiento. Atendiendo a la definición desarrollada en el apartado *03.01.01 Módulo*, este elemento cumple los cuatro criterios para ser considerado módulo: es volumétrico, prefabricado, funcionalmente autónomo y conectado mediante interfaces reversibles.

Su condición de módulo no reside únicamente en la repetición geométrica, sino en su capacidad operativa, ya que cada bastidor admite kits intercambiables, permite acondicionamiento térmico y lumínico, incorpora energía fotovoltaica y genera superficie interior, exterior o intermedia según su configuración.

En síntesis, el proyecto desarrolla un módulo estructuralmente autónomo y ambientalmente activo, plenamente alineado con la definición de módulo establecida y con la lógica de rehabilitación modular que fundamenta el análisis comparativo posterior.

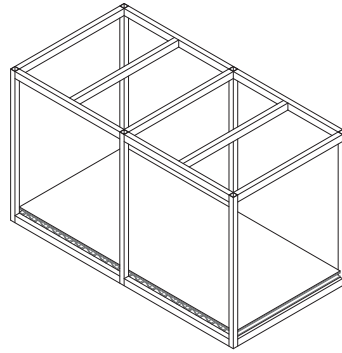


Figura 169. Axonometría módulo, sistemas estructural "InnoFAB".

E 1:150

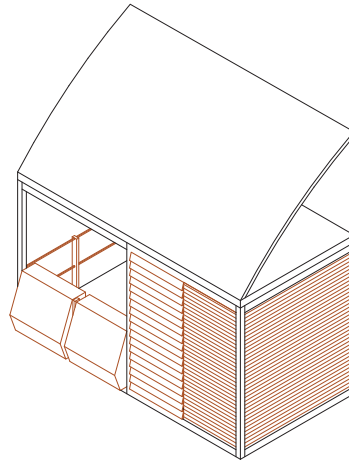


Figura 170. Axonometría módulo, sistemas de cerramiento "InnoFAB".

E 1:150

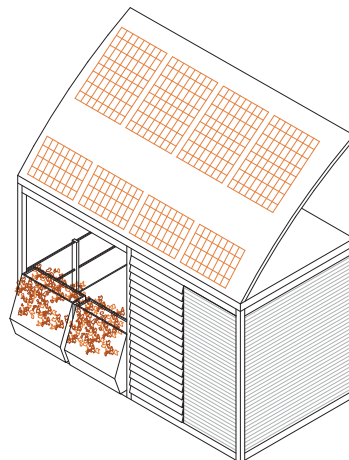


Figura 171. Axonometría módulo, sistemas fotovoltaicos "InnoFAB".

E 1:150

- **¿Cuál ha sido la lógica modular?**

En InnoFAB, el adjetivo modular no describe únicamente la presencia de un módulo estructural, sino la lógica de composición volumétrica que articula el sistema. Tal como se expone en el apartado 03.01.02 Modular, el término modular asociado a sustantivos como construcción modular o edificio modular implica la existencia de unidades volumétricas repetibles que se conectan mediante interfaces comunes. Esa es precisamente la estrategia desarrollada en esta propuesta: la multiplicación seriada del bastidor tridimensional de 2,5 m como célula base capaz de generar crecimiento lineal, superficial y espacial sobre la edificación existente.

El sistema no se concibe como un objeto único, sino como un conjunto abierto y ensamblable, donde cada módulo mantiene autonomía física y funcional, pero adquiere significado constructivo al agregarse. La lógica modular reside entonces en la capacidad del bastidor para ser reproducido, sumado, desplazado o retirado sin comprometer el comportamiento del conjunto, permitiendo ampliar balcones, generar nuevas estancias en cubierta, incorporar pasarelas o simplemente reforzar térmicamente la fachada. La modularidad opera como estructura y como interfaz.

La estrategia modular se manifiesta en tres niveles operativos:

1. En la geometría, con la repetición de la retícula de 2,5 m.
2. Desde la construcción, con la utilización de uniones secas y reversibles para facilitar el montaje y desmontaje.
3. Desde el punto de vista de la funcionalidad, al módulo se le pueden incorporar otros sistemas para que funcione íntegramente como una unidad funcional.

La propuesta se aproxima al concepto de edificio modular en sentido estricto: una estructura que no es solo prefabricada, sino configurable en el tiempo, permitiendo que la arquitectura no sea un resultado final, sino un estado adaptable.

En conclusión, "InnoFAB" despliega una modularidad de carácter aditivo y evolutivo, donde el módulo no se entiende como pieza terminal, sino como unidad viva capaz de sumar superficie y mejorar el comportamiento ambiental del edificio existente.

- **¿Tiene la propiedad de modularidad?**

Según la definición desarrollada en el apartado *03.01.03 Modularidad*, un sistema modular es aquel capaz de separar, sustituir, recombinar o escalar sus unidades sin comprometer su funcionamiento global. Bajo este criterio, InnoFAB presenta un alto grado de modularidad, ya que el módulo tridimensional no opera como elemento fijo o terminal, sino como una unidad que puede sumarse, retirarse, trasladarse o reconfigurarse, manteniendo la continuidad funcional del conjunto.

La modularidad se manifiesta principalmente en tres cualidades del sistema: la separabilidad, cada bastidor se ancla mediante interfaces mecánicas reversibles, permitiendo su desmontaje o sustitución sin afectar al resto de unidades. La recombinación y sustitución, una unidad modular puede recibir diferentes kits y estos pueden ser incorporados, reemplazados o actualizados sin modificar el módulo base, lo que convierte al sistema en un soporte evolutivo, donde la función no está definida en origen, sino que se activa y transforma mediante la adición de elementos. Y por último, la escalabilidad, la modulación de 2,5 m. permite la expansión lineal del sistema, generando balcones continuos, pasarelas o nuevos espacios habitables. La repetición serial habilita diferentes configuraciones sin pérdida de estabilidad estructural, lo que evidencia una modularidad expansiva y no meramente repetitiva.

La modularidad del proyecto no reside únicamente en la existencia del módulo, sino en la capacidad del sistema para operar de forma abierta, admitiendo crecimiento, evolución funcional y decisiones reversibles en distintos momentos del ciclo de vida del edificio. “InnoFAB” no depende del conjunto para funcionar, sino que funciona por partes, y esa independencia es la que confirma la presencia real de modularidad.

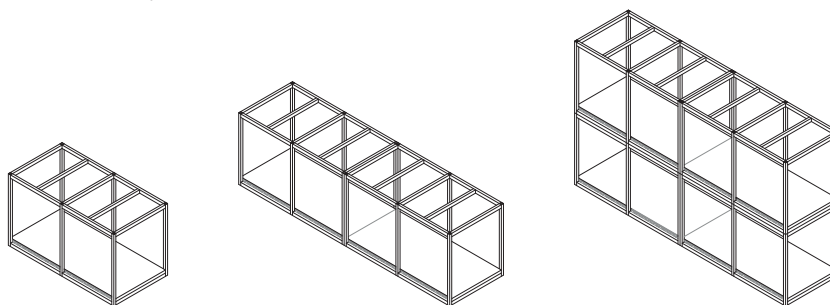


Figura 172. Axonometría esquema de modularidad “InnoFAB”.

- **¿Se identifica un sistema de coordinación dimensional modular?**

El prototipo "InnoFAB" establece con claridad una coordinación dimensional modular que regula la compatibilidad entre unidades, independiente del método constructivo y centrada en la estructura dimensional del sistema, tal como se define en el apartado 03.01.05 Coordinación modular. La **Figura 173**, muestra cómo el proyecto se ordena mediante una retícula base de $2,50 \times 2,50$ m, que actúa como módulo primario sobre el que se replica el bastidor tridimensional y se organizan los sistemas añadidos. Esta proporción constituye el lenguaje geométrico del sistema, garantizando que cualquier ampliación o modificación pueda integrarse fácilmente.

Cada módulo ocupa exactamente una unidad de $2,50$ m, lo que permite componer fachadas y cubiertas con crecimiento lineal, aditivo o sustitutivo simplemente agregando o retirando celdas iguales. Del mismo modo, la envolvente, el pavimento técnico o la vegetación se acoplan a esta trama sin necesidad de variaciones dimensionales, manteniendo tolerancias, líneas de apoyo y continuidad estructural entre módulos.

Esta coordinación es la que permite que InnoFAB funcione como sistema ampliable, desmontable y actualizable en el tiempo, pues la retícula sirve como regla estable que establece tanto la repetición seriada como la compatibilidad entre kits ambientales. No existe dependencia entre módulos ni jerarquías espaciales rígidas: la unidad puede insertarse, sustituirse o desplazarse manteniendo siempre la referencia común de $2,50$ m es un módulo. Por ello, puede afirmarse que el proyecto no solo emplea módulos, sino que opera bajo una coordinación dimensional explícita, condición imprescindible para que el sistema sea escalable, replicable y adaptable a diferentes edificios y situaciones.

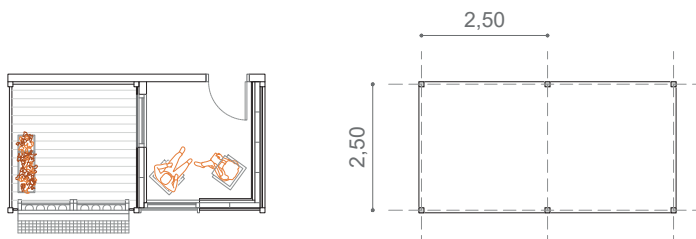


Figura 173. Coordinación modular proyecto "InnoFAB".

- **ETAPA COMPARATIVA 2.** Descripción de la jerarquía constructiva del módulo.

Sistema estructural

El sistema estructural de “InnoFAB” se resuelve mediante un bastidor metálico tridimensional formado por perfiles tubulares de acero estructural, configurados con pilares verticales y vigas perimetrales superiores e inferiores. Los módulos se ensamblan en seco mediante tornillería y placas de conexión, lo que permite que la estructura funcione como una celda rígida transportable, repetible y reconfigurable. Cada unidad estructural responde a una modulación de 2,50 × 2,50 m, que ordena el sistema y permite el crecimiento lineal a partir de la agregación seriada de marcos iguales. Sobre este bastidor se apoyan o suspenden las capas funcionales (cerramiento, aislamiento, pavimentos, carpinterías y sistemas ambientales) que no participan del trabajo resistente.

El comportamiento estructural frente a cargas verticales se transmite por compresión a través de los pilares y se reparte mediante las vigas longitudinales del módulo. La estabilidad frente a acciones horizontales se garantiza mediante el propio comportamiento espacial del marco y el arriostramiento que proporcionan los encuentros rígidos atornillados en esquinas y nudos. En los planos horizontales, las vigas inferiores funcionan como soporte del pavimento y de las carpinterías, mientras que en cubierta se incorporan rigidizadores longitudinales que colaboran como diafragma liviano. El resultado es una estructura ligera, con gran relación resistencia/peso y con un comportamiento global basado en conexiones mecánicas que permiten reparación, sustitución o reforzado sin intervención destructiva.

En la base del sistema, el bastidor se apoya sobre un marco inferior metálico que hace de plataforma estructural y evita la necesidad de anclar permanentemente al terreno o a la edificación existente. La fijación entre módulos adyacentes también se realiza mediante tornillería y placas, lo que permite unir, separar o desplazar unidades sin pérdida de integridad. No existen morteros de unión, ni hormigonados húmedos en ninguno de los puntos de contacto entre perfiles, por lo que el montaje es completamente reversible.

Este enfoque permite que el sistema mantenga una desmontabilidad muy elevada: la estructura portante es íntegramente mecánica y recuperable y los cerramientos y sistemas ambientales se fijan por atornillado.

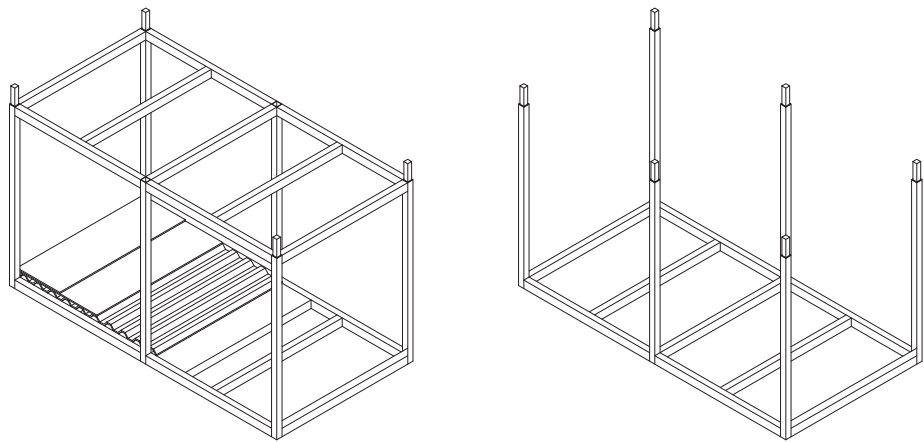
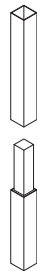


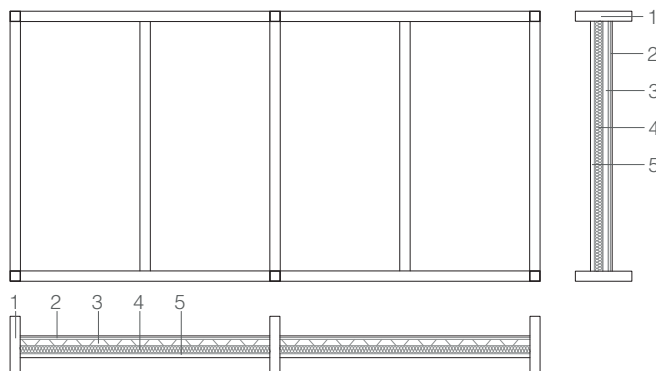
Figura 174. Axonometría explotada estructura módulo.

E 1:125



La conexión entre módulos se resuelve mediante un sistema de encastre metálico macho-hembra integrado en los pilares del bastidor. Una vez acoplados los pilares mediante el encastre telescópico, la unión se bloquea mediante tornillería pasante.

Figura 175. Axonometría explotada unión machihembrada módulos. E 1:50



1. Perfil tubular metálico
2. Doble panel tipo Matimex Urban Grey con pavimento técnico
3. Chapa colaborante
4. Aislamiento reciclado de residuos sanitarios
5. Placa de yeso

Figura 176. Planta forjado módulo "InnoFAB".

E 1:75

Sistema envolvente

El sistema envolvente se resuelve mediante un cerramiento ligero multicapa fijado en seco al bastidor estructural metálico. El acabado exterior está formado por chapa grecada microperforada, instalada sobre una subestructura auxiliar de perfiles metálicos que se fija al bastidor mediante escuadras atornilladas. Esta fijación mecánica permite desmontar el cerramiento independientemente y garantiza que la piel exterior funcione como superficie ventilada que favorece la disipación térmica.

Tras la chapa exterior se sitúa el paquete de aislamiento, alojado en seco entre perfiles que lo retienen por presión lateral. Esta organización estratificada permite sustituir cualquiera de las capas sin intervenir en las restantes, de modo que la envolvente mantiene una configuración plenamente reversible.

Hacia el interior del módulo, las carpinterías se integran mediante marcos metálicos atornillados que permiten retirar el módulo de ventana completo o sustituir paneles y persianas sin necesidad de desmontar la subestructura. Los huecos se resuelven con sistemas de protección solar móviles o jardineras técnicas, todos ellos anclados mediante fijaciones mecánicas. Las juntas del cerramiento se sellan únicamente mediante láminas flexibles independientes, que no comprometen la reversibilidad del conjunto.

La cubierta incorpora láminas de chapa grecada y sistemas de cubierta vegetal sobre bandejas modulares, apoyadas también mediante perfilera ligera y sin adhesivo estructural. Tanto la capa impermeable como la vegetación pueden retirarse por piezas, manteniendo el soporte inferior intacto. La envolvente se comporta así como un sistema plug-in, donde cada capa es autónoma y la instalación se realiza mediante montaje seco.

Para la identificación de las uniones empleadas, las uniones mecánicas reversibles se representarán mediante un triángulo (\triangle), mientras que las uniones húmedas se marcarán con un círculo (\circ). En este sistema, las únicas uniones húmedas detectables se concentran en sellados locales de carpintería, impermeabilizaciones lineales y morteros de protección puntuales, siendo todo el resto del cerramiento totalmente desmontable.

En conjunto, InnoFAB desarrolla una envolvente registrable, reparable y actualizable, donde casi la totalidad de sus componentes puede desmontarse sin daño material y sin intervenir sobre la estructura portante.

Panel lamas

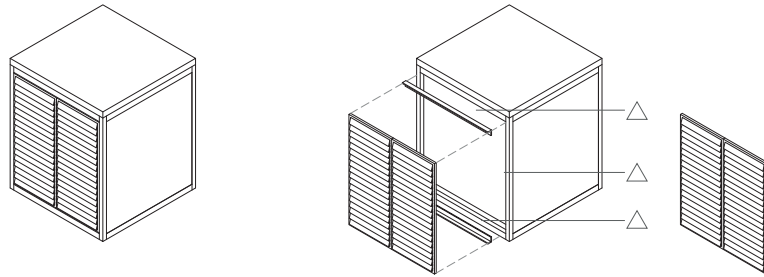
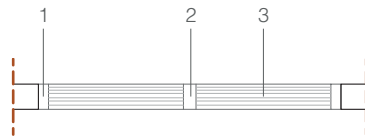


Figura 177. Unión panel lamas con forjado.

E 1:150



1. Bastidor de aluminio
2. Montante de aluminio
3. Lamas de aluminio

Figura 178. Detalle panel lamas. E 1:30

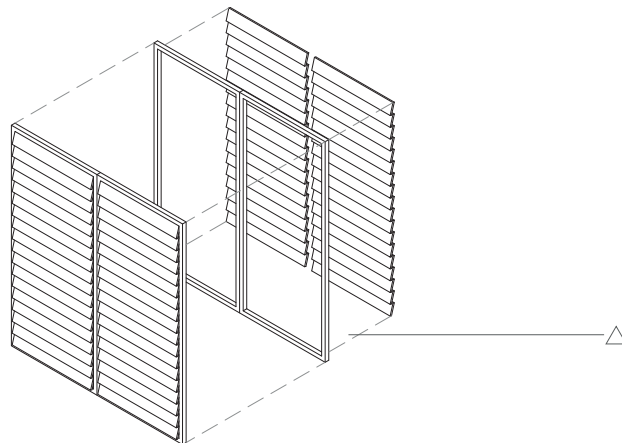


Figura 179. Axonometría explotada panel lamas.

E 1:75

Panel carpintería

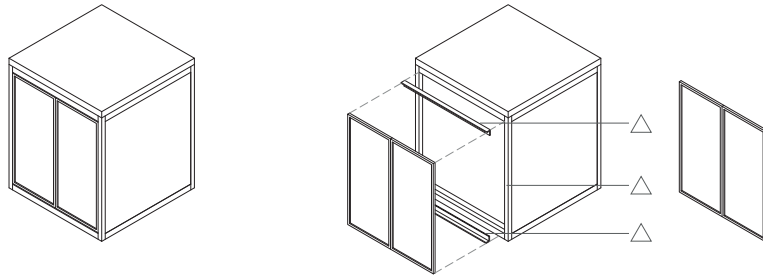
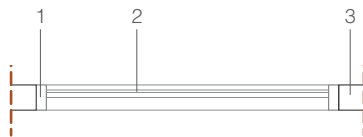


Figura 180. Unión panel carpintería con forjado.

E 1:150



1. Bastidor de aluminio
2. Triple vidrio
3. Premarco metálico

Figura 181. Detalle panel carpintería. E 1:30

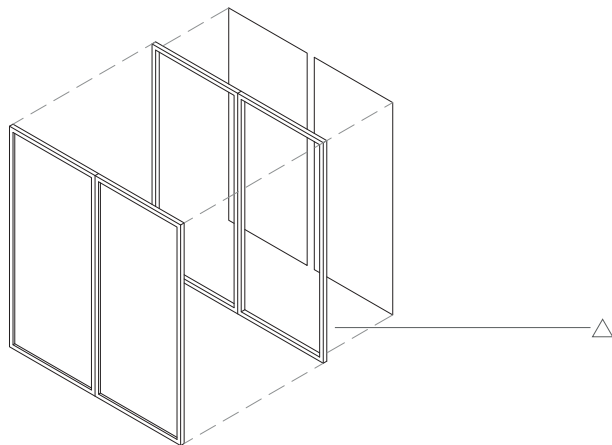


Figura 182. Axonometría explotada panel carpintería.

E 1:75

Panel revestimiento chapa grecada

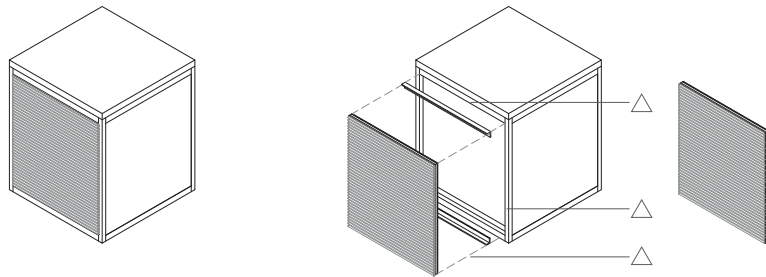
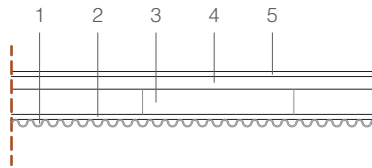


Figura 183. Unión panel revestimiento chapa grecada con forjado.

E 1:150



1. Chapa grecada microperforada
2. Cámara ventilada
3. Aislamiento reciclado
4. Doble panel OSB soporte
5. Placa cartón yeso

Figura 184. Detalle panel revestimiento chapa grecada. E 1:30

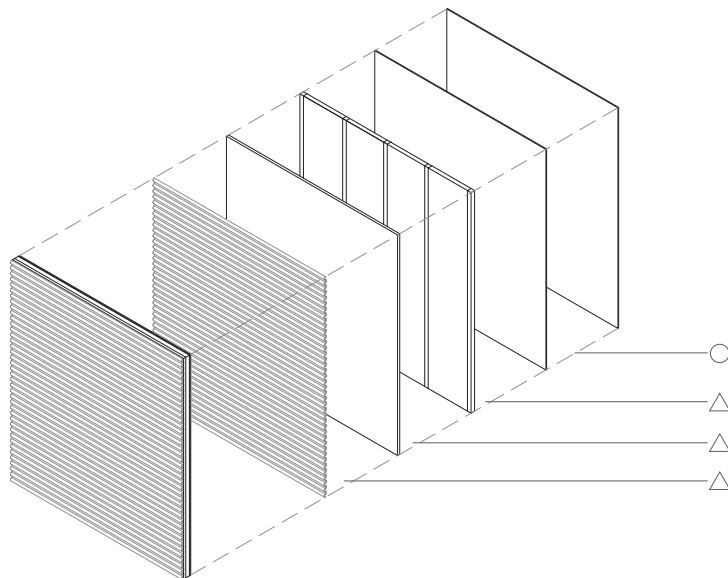


Figura 185. Axonometría explotada panel revestimiento chapa grecada.

E 1:75

Panel opaco

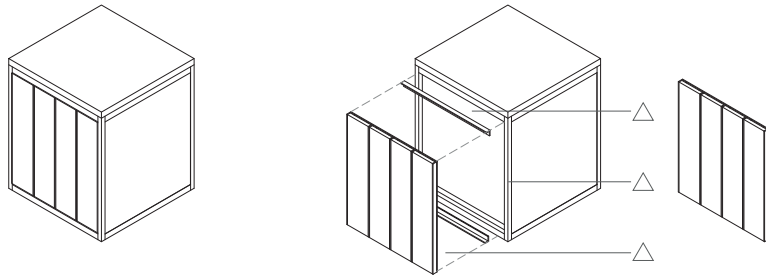
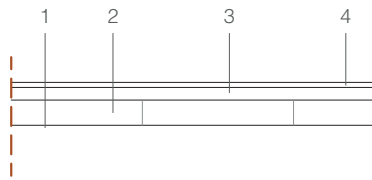


Figura 186. Unión panel opaco con forjado.

E 1:150



1. Revestimiento exterior
2. Aislamiento reciclado
3. Doble panel OSB soporte
4. Placa cartón yeso

Figura 187. Detalle panel opaco. E 1:30

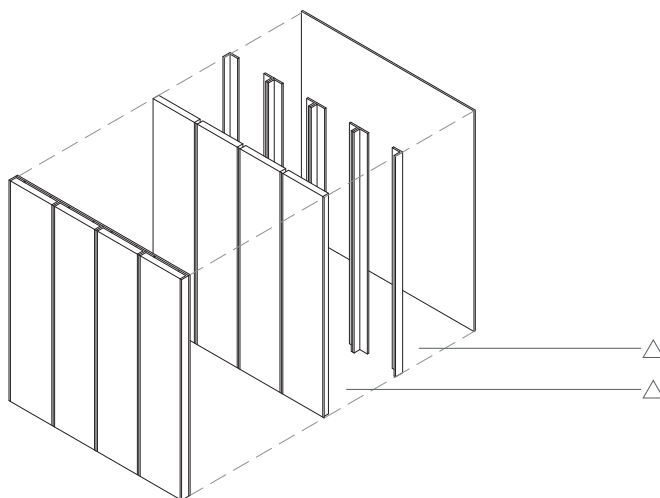


Figura 188. Axonometría explotada panel opaco.

E 1:75

Sistemas de acondicionamiento

Los sistemas de acondicionamiento se conciben como una prolongación funcional del módulo estructural, operando siempre mediante dispositivos instalados en seco y configurables en el tiempo. No forman parte del bastidor ni del cerramiento principal, sino que se incorporan como kits técnicos añadibles, cuya misión es mejorar el rendimiento térmico, lumínico, energético y bioclimático del espacio generado por el módulo. Cada uno de estos sistemas se fija mediante perfilera auxiliar ligera, escuadras y tornillería accesible, lo que permite su sustitución, actualización o retirada sin alterar la envolvente ni la estructura portante.

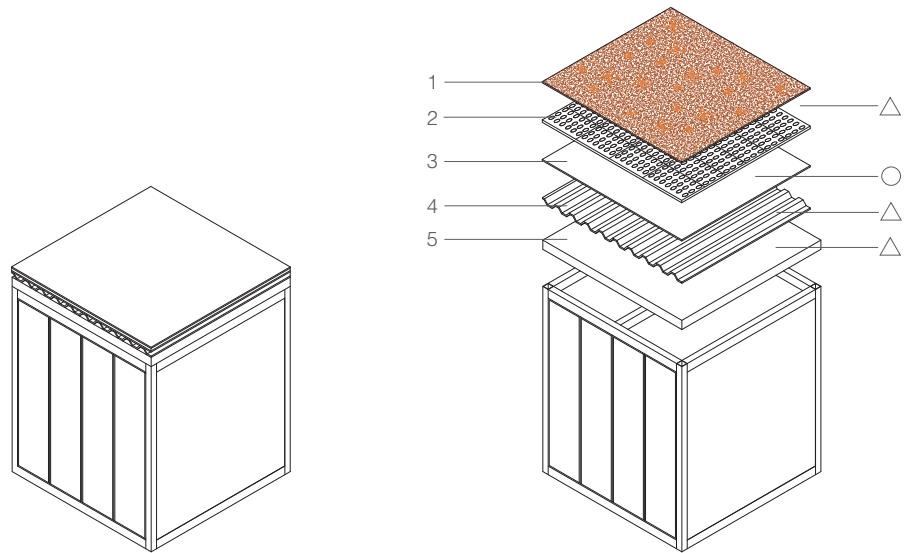
La protección solar y la regulación lumínica se resuelven mediante lamas orientables, celosías, persianas y paneles graduables montados sobre marcos metálicos desmontables. La fijación se realiza mediante guías mecánicas que permiten extraer cada módulo de protección sin intervenir sobre la subestructura del cerramiento. Este sistema posibilita el control dinámico de la radiación directa y reduce el sobrecalentamiento, manteniendo el confort interior mediante estrategias pasivas. La misma lógica modular permite incorporar paneles fotovoltaicos, que se anclan sobre rastreles metálicos y pueden ser sustituidos por unidades futuras.

La cubierta se configura como sistema técnico activo, donde la vegetación integrada actúa como regulador térmico y depósito hídrico, reduciendo la ganancia térmica y mejorando la eficiencia global. Este sistema se compone de bandejas intercambiables, láminas drenantes y capas filtrantes, todas ellas reversibles.

En conjunto, los sistemas de acondicionamiento funcionan como dispositivos intercambiables, instalados por capas independientes y vinculados mediante fijación seca. El resultado es un sistema bioclimático adaptable en el tiempo, donde los componentes energéticos y ambientales pueden sustituirse, evolucionar tecnológicamente o desmontarse por completo.

Su comportamiento no depende de un acabado final, sino de un ecosistema técnico progresivo capaz de adaptarse a nuevos requerimientos sin comprometer la estructura existente.

Panel jardinera



1. Sustrato vegetal
2. Bandejas modulares tipo Hydropack
3. Capa drenante e impermeabilización
4. Chapa grecada
5. Soporte portante

Figura 189. Unión cubierta vegetal con forjado. E 1:100

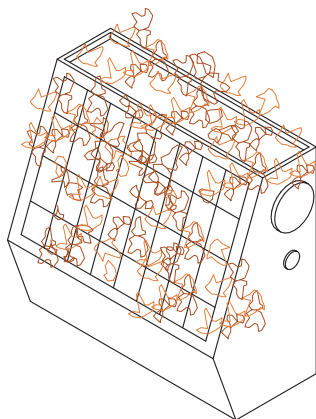


Figura 190. Axonometría jardinera técnica.

E 1:30

- **ETAPA COMPARATIVA 3.** Identificación y explicación de las ventajas vinculadas con la economía circular.

En base a lo descrito en el apartado 3.3 Ventajas y contexto del diseño modular, el caso de estudio demuestra una aplicación consistente de los principios asociados a la economía circular. La propuesta parte de una lógica industrializada que prioriza la reutilización material, la desmontabilidad por capas y la prolongación del ciclo de vida útil del edificio existente.

La desmontabilidad se consolida como fundamento central del sistema: la estructura metálica se ensambla mediante uniones secas y atornilladas. Esta condición permite desmontar el bastidor completo sin deterioro, posibilitando su reubicación con un nivel de recuperabilidad muy elevado. La envolvente y las carpinterías metálicas se fijan también mediante subestructura metálica, lo que habilita la reparación y sustitución por capas. Cada componente puede extraerse con la misma técnica con la que fue instalado.

A nivel ambiental, el prototipo incorpora estrategias circulares que operan tanto en la demanda como en la producción energética. Las jardineras fotovoltaicas y la cubierta verde modulan la radiación solar, capturan agua de lluvia, aumentan la biodiversidad y generan energía renovable integrada en el sistema constructivo. Las lamas regulables y la ventilación pasiva permiten reducir cargas térmicas y mejorar el confort sin recursos energéticos adicionales, mientras que el kit Smart Building introduce monitorización del gasto, gestión climática y control adaptativo, garantizando que el edificio evolucione con el tiempo y no quede obsoleto tecnológicamente.

Desde la perspectiva material, se prioriza la inclusión de productos reciclados, reciclables o reutilizables: el acero estructural presenta alto potencial de reuso, la envolvente emplea chapa con contenido reciclado y el aislamiento procede de residuos sanitarios transformados. Los pavimentos técnicos son reciclables post-uso. La obra se construye sin adhesivos permanentes, lo que reduce drásticamente la generación de residuos y permite decisiones reversibles a lo largo del tiempo.

En conclusión, InnoFAB no solo promueve la circularidad material, sino también la circularidad operativa: los módulos pueden crecer, migrar, desmontarse o actualizarse tecnológicamente sin intervención destructiva, manteniendo el valor del recurso arquitectónico en uso continuo.

El proyecto materializa estas ventajas a través de sus estrategias constructivas y ambientales.

1. Flexibilidad y adaptación

El sistema no se concibe como ampliación fija, sino como infraestructura abierta y evolutiva. El módulo puede agregarse, sustraerse o trasladarse sin afectar al soporte estructural del edificio, permitiendo reajustes de ocupación, transformación de uso o ampliaciones futuras reversibles. El proyecto no se concibe acabado sino como ajustable en el tiempo.

2. Estandarización

El uso de una retícula fija de 2,50 × 2,50 m permite compatibilidad dimensional entre estructura, cerramientos y acondicionamiento. Todos los componentes comparten puntos de fijación y un lenguaje geométrico común. Esta estandarización reduce residuos por corte, permite fabricación seriada y facilita almacenamiento de recambios. La rehabilitación puede escalarse en repetición, aplicarse por fases o desplegarse en múltiples edificios con mínima adaptación técnica.

3. Desmontabilidad y reutilización

La totalidad del sistema se ensambla en seco, mediante tornillería y perfiles auxiliares sin adhesivos permanentes. Esto permite desmontar el bastidor completo, retirar paneles por capa y reemplazar carpinterías sin demolición. La estructura metálica, la envolvente ligera y los sistemas ambientales son recuperables y reinstalables, lo que aumenta su vida útil y reduce generación de residuo. El proyecto se entiende como material almacenado temporalmente.

4. Optimización de recursos

El proyecto no sustituye lo existente, lo actualiza.

El módulo añade capacidad energética y bioclimática sin demoler la fachada original, evitando consumo de hormigón, acero virgen y nuevas cimentaciones. Los sistemas fotovoltaicos alimentan consumo interno, mientras que la cubierta verde retiene agua, regula temperatura y mejora el rendimiento higratérmico.

5. Eficiencia constructiva

El montaje en seco permite producción industrial controlada y obra sin humedad ni tiempos de fraguado. La instalación es rápida, secuencial y no requiere desalojo del edificio existente.

05 Análisis de los módulos de acondicionamiento ambiental

05.04 Análisis de discusión de los resultados

05.04.04 Análisis comparativo por etapas

Sistema estructural

El análisis comparativo de las tres propuestas revela tres aproximaciones divergentes en su concepción estructural, aunque todas comparten una premisa esencial: añadir, ampliar y mejorar sin demoler.

“InnoFAB” representa el extremo más tecnificado. Su estructura se configura a partir de un armazón metálico ligero con modulación de 2,5 m, diseñado para crecer por agregación. Su lógica es industrial y seriada, la volumetría se construye en seco mediante perfiles metálicos y componentes desmontables. Este sistema permite luces amplias con mínimo material y admite expansión tridimensional.

“ALIGRA” se sitúa en una posición intermedia entre el esqueleto metálico de “InnoFAB” y la estrategia estructural de Regenerar Barcelona. El sistema combina elementos metálicos como estructura principal y elementos de madera microlaminada. A diferencia de Regenerar Barcelona, que no genera volumen cerrado de forma sistemática, “ALIGRA” sí construye un módulo tridimensional completo, con una estrategia parecida a la usada en “InnoFAB” capaz de operar como habitación o galería habitable, aunque a partir de un módulo geométrico menor (60 cm).

“Regenerar Barcelona”, en cambio, no persigue la volumetría completa como unidad estructural, sino la repetición seriada de pórticos de madera maciza de pino gerundense unidos con pernos y rigidizados puntualmente con tirantes de acero. Más que construir “módulos habitación”, construye una infraestructura abierta que admite la incorporación progresiva de los diferentes sistemas añadidos. Su estructura es autoportante, reversible en más del 80% y opera como marco espacial adaptable, no como célula cerrada. El volumen aparece sólo cuando el usuario o el programa añade cerramientos secundarios.

Se puede afirmar por tanto que “InnoFAB” maximiza la capacidad tridimensional mediante acero y modulación amplia; ALIGRA construye volumen habitable desde un sistema mixto madera-metal más ligero y adaptable; mientras que Regenerar Barcelona plantea la alternativa más radical: no construir volumen, sino estructura soporte, entendida como bastidor urbano capaz de acoger programas múltiples sin quedar fijado a uno solo.

La estructura deja de ser mera resistencia y se convierte en un motor evolutivo, un organismo preparado para crecer, desmontarse y actualizarse.

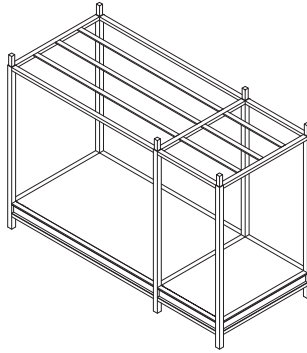


Figura 191. Axonometría sistema estructural "ALIGRA".

E 1:150

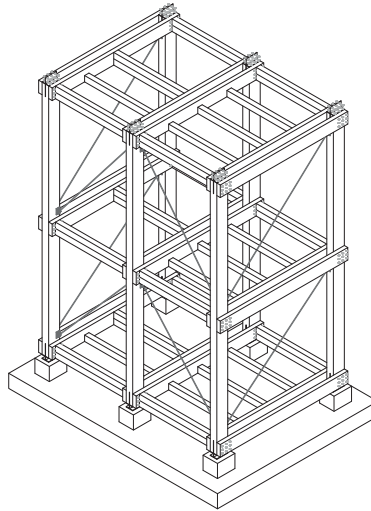


Figura 192. Axonometría sistema estructural "Regenerar Barcelona".

E 1:150

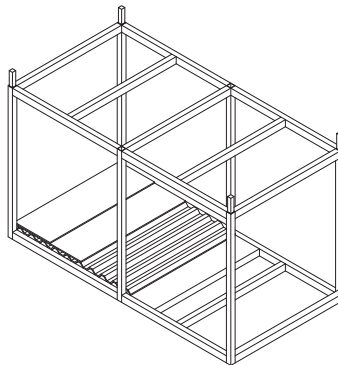


Figura 193. Axonometría sistema estructural "InnoFAB".

E 1:150

Sistema envolvente

La envolvente es el plano donde cada propuesta expresa su carácter ambiental y su estrategia de relación con el exterior. Aunque las tres soluciones comparten la ambición de mejorar el rendimiento térmico del edificio sin recurrir a aislamiento interior invasivo, lo hacen desde tres modelos distintos de piel: material adaptativa, tecnológica automatizada y bioclimática filtrante.

“InnoFAB” formula la piel como una envolvente industrializada de chapa grecada, ligera y altamente monitorizable. El aislamiento (obtenido a partir de residuos reciclados) ofrece alto rendimiento térmico. La fachada se completa con ventanas de aluminio reciclado, protección solar y sensores que regulan iluminación, apertura y sombras en tiempo real. Esta piel creada gestiona la luz, temperatura y ventilación bajo un marco digital que prioriza eficiencia energética activa.

“ALIGRA” propone una envolvente bioclimática, desmontable y reconfigurable, basada en paneles que pueden sustituirse con facilidad. A diferencia de InnoFAB, donde la inteligencia depende de monitorización, en ALIGRA el control climático se apoya en mecanismos pasivos: cámara de aire, galería solar, aislamiento variable y parterres vegetales que equilibran humedad y radiación. La envolvente no es única, sino un sistema abierto capaz de operar como aislamiento térmico, colchón de aire, invernadero o fachada ventilada según necesidad. Su valor no es la respuesta automática, sino la adaptabilidad climática configurada por capas intercambiables.

“Regenerar Barcelona”, por su parte, redefine la envolvente no como cierre, sino como filtro climático. La protección no se produce mediante paneles opacos sino mediante vegetación caducifolia, persianas enrollables tradicionales, sombras proyectadas por la estructura y umbráculos superiores. La piel funciona por gradiente térmico, más que aislar, regula intercambio. La fachada no termina el edificio, sino que espesa el límite, introduciendo un paso intermedio entre exterior y vivienda donde conviven biodiversidad, ventilación y confort sensorial.

En conjunto, las tres propuestas demuestran que la envolvente deja de ser una barrera para convertirse en un sistema climático activo. Mientras “InnoFAB” automatiza la piel mediante control digital, “ALIGRA” confía en la adaptabilidad pasiva por capas, y “Regenerar Barcelona” transforma el límite en un espacio ecológico que respira. Tres estrategias distintas que confirman que la fachada ya no solo protege: también regula, interpreta y evoluciona.

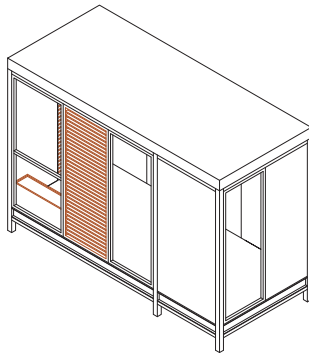


Figura 194. Axonometría sistema envolvente "ALIGRA".

E 1:150

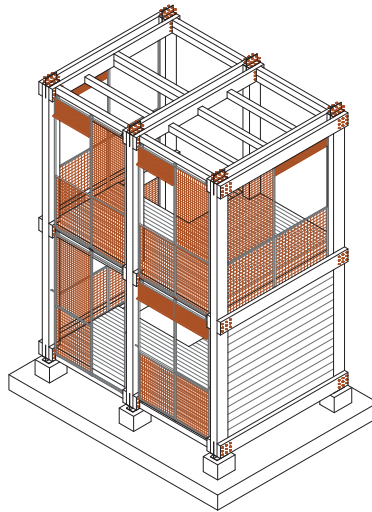


Figura 195. Axonometría sistema envolvente "Regenerar Barcelona".

E 1:150

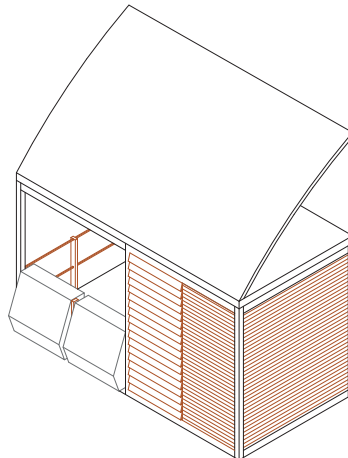


Figura 196. Axonometría sistema envolvente "InnoFAB".

E 1:150

Sistemas de acondicionamiento

Los tres proyectos coinciden en la necesidad de reducir la demanda energética del edificio existente, pero lo hacen desde estrategias ambientales muy diferentes: mecanización inteligente, bioclimatismo pasivo y estrategias naturales. El acondicionamiento ya no se entiende solo como instalación, sino como interfaz entre cuerpo, clima y edificio, capaz de regular temperatura, luz, ventilación y agua sin alterar la estructura original.

“InnoFAB” desarrolla la estrategia más tecnificada. La gestión energética depende de domótica integrada: persianas automatizadas, monitorización continua, iluminación regulable y placas fotovoltaicas que alimentan el consumo propio. Los sensores permiten ajustar el comportamiento térmico en tiempo real, convirtiendo el edificio en un sistema energético activo, capaz de responder dinámicamente a clima, uso y ocupación.

“ALIGRA” combina eficiencia hídrica, captación solar y control térmico pasivo. La galería bioclimática actúa como colchón térmico, las bandejas aljibe recuperan agua de lluvia para riego y la vegetación regula humedad y radiación. No depende de automatización, sino de equilibrios naturales de ventilación, sombra y temperatura, reduciendo demanda energética sin incorporar complejidad tecnológica.

“Regenerar Barcelona” plantea un metabolismo ambiental basado en ciclos naturales de agua, sombra y vegetación. La cubierta combina aljibe, cubierta verde y fotovoltaica ligera (blue-green-yellow roof), favoreciendo un sistema de intercambio térmico por evaporación, viento y gradiente. El confort no se produce por control mecánico, sino por regulación climática orgánica, donde el edificio respira, evapora y sombrea como un ecosistema.

En síntesis, “InnoFAB” optimiza el rendimiento mediante control automatizado, “ALIGRA” reduce la demanda mediante un bioclimatismo pasivo y captación hídrica, y “Regenerar Barcelona” convierte el edificio en un ciclo ambiental activo basado en vegetación y agua. Tres escalas de acondicionamiento (digital, material y ecológica) que muestran cómo la rehabilitación puede evolucionar desde la eficiencia hacia la inteligencia climática del propio edificio.

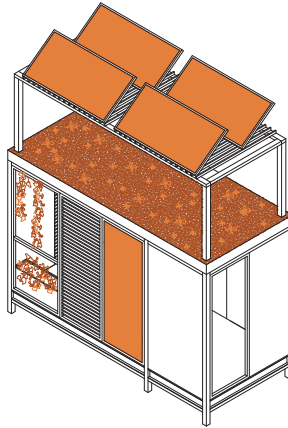


Figura 197. Axonometría sistema estructural "ALIGRA".

E 1:150

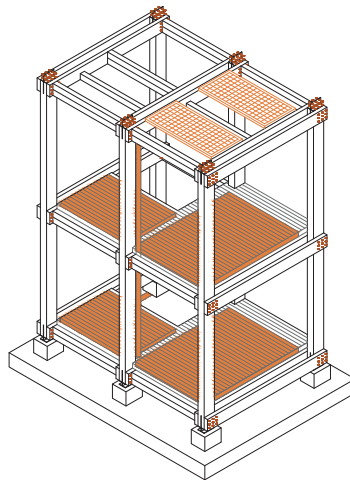


Figura 198. Axonometría sistema estructural "Regenerar Barcelona".

E 1:150

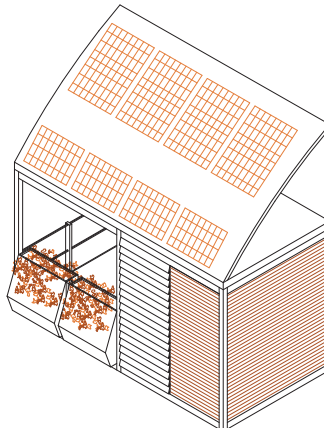


Figura 199. Axonometría sistema estructural "InnoFAB".

E 1:150

06 CONCLUSIONES

06 Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha mostrado que el diseño modular constituye actualmente una de las metodologías más sólidas y transformadoras para afrontar los retos contemporáneos de la construcción, especialmente en el ámbito de la rehabilitación energética y funcional del parque residencial existente. Esta investigación ha confirmado que la modularidad no debe entenderse únicamente como una técnica compositiva, sino como un marco operativo integral, capaz de articular simultáneamente principios de estandarización, desmontabilidad, economía circular y eficiencia arquitectónica.

Una cuestión que emerge con claridad a lo largo del análisis es la necesidad de revisar y afinar la terminología asociada a la modularidad. El término «módulo», pese a su uso extendido, ha sido empleado históricamente con significados muy diversos y, en ocasiones, contradictorios. Esta amplitud semántica, que lo ha vinculado indistintamente a paneles, elementos repetitivos, componentes estructurales o incluso unidades de mobiliario, pone de manifiesto la ausencia de un marco conceptual compartido. Esta falta de precisión se amplifica además por la diversidad de denominaciones existentes entre países y contextos productivos, lo que evidencia la necesidad de avanzar hacia una terminología más coherente y globalmente asumida, ya que la imprecisión terminológica afecta directamente a la precisión del proyecto, la coordinación entre agentes y a la capacidad del sector para operar mediante procesos verdaderamente estandarizados.

Frente a esta dispersión, el análisis desarrollado permite concluir que el módulo debe ser entendido como unidad espacial con capacidad funcional, capaz de relacionarse dimensionalmente con otras unidades bajo un sistema de reglas claro. Este enfoque lo sitúa como elemento vertebrador del orden geométrico del proyecto. Su definición precisa no es solo una cuestión conceptual, sino un requisito operativo para garantizar la compatibilidad entre componentes, controlar tolerancias y asegurar que la fabricación y el montaje se desarrollen con la eficiencia que exige una obra industrializada.

Esta lectura estructurada del módulo permite comprender la modularidad como una lógica de diseño y no como un catálogo cerrado de soluciones. El proyecto modular no se limita a repetir unidades, sino que organiza la arquitectura mediante interfaces, jerarquías y relaciones espaciales que admiten variaciones y transformaciones. En este sentido, el diseño modular introduce una forma distinta de pensar el proceso constructivo, la obra deja de entenderse como el lugar donde se resuelven problemas y ajustes, y pasa a ser la fase final de un sistema previamente coordinado a nivel dimensional y técnico.

La estrecha relación entre modularidad y reversibilidad emerge como aspecto fundamental ya que, la capacidad de montar, desmontar, sustituir o actualizar partes de un edificio sin intervenir en el conjunto constituye uno de los avances más relevantes para la arquitectura actual. Esta cualidad modifica completamente la relación entre construcción y tiempo, un edificio modular ya no se percibe como objeto acabado, sino como sistema en evolución, preparado para integrar nuevas capas técnicas, estrategias de acondicionamiento o incluso ampliaciones futuras sin obras invasivas. A ello se suma que la facilidad de desmontaje permite que, una vez alcanzado el fin de vida útil, los componentes puedan recuperarse, reciclarse o reutilizarse sin necesidad de operaciones destructivas. Esta condición reduce de manera significativa los residuos asociados a la demolición tradicional y abre la posibilidad de que la rehabilitación se conciba como una alternativa mucho más económica y menos perjudicial para el medio ambiente.

Esta reversibilidad técnica se vincula, de forma directa, con los principios de la economía circular. La capacidad de desmontar y recuperar componentes, la separación material o la accesibilidad a las uniones permiten reducir drásticamente la generación de residuos y facilitan que los materiales mantengan su valor a lo largo del tiempo. Lejos de ser una aspiración teórica, la modularidad demuestra que la circularidad puede integrarse desde la génesis del proyecto, no como un añadido final, sino como una condición inherente a la estructura del sistema.

Otro aspecto es la capacidad del diseño modular para transformar la propia dinámica del proceso constructivo. La prefabricación en taller y el montaje en seco permiten reducir de forma notable los tiempos de ejecución, lo que no solo agiliza la entrega de los edificios, sino que disminuye de manera significativa el consumo energético y las emisiones asociadas a la obra prolongada. La rapidez de ensamblaje y la reducción de operaciones en el lugar de intervención implican menos maquinaria, menos transporte intermitente y un menor impacto sobre el entorno urbano inmediato.

En conjunto, estas conclusiones permiten afirmar que la modularidad no representa una mera innovación técnica, sino un cambio profundo en la cultura del proyecto: de la obra húmeda a la obra seca; de la intervención irreversible al ajuste reversible; de la improvisación en obra al control dimensional; y de una economía lineal de materiales a una economía circular fundamentada en la prolongación y transformación del edificio a lo largo del tiempo.

El estudio del antecedente de Lacaton & Vassal revela que la operación realizada en Burdeos constituye mucho más que una rehabilitación ejemplar, inaugura una forma radicalmente nueva de relacionarse con el edificio existente y redefine los parámetros desde los que se concibe la mejora del sector residencial. Su propuesta evidenció que era posible transformar un conjunto de viviendas sin recurrir a la demolición, evitando el desplazamiento de los residentes y reduciendo la intervención a lo estrictamente necesario, sin renunciar a mejoras sustanciales de confort, flexibilidad y superficie útil. Este planteamiento, basado en una actitud de respeto profundo hacia lo existente, sitúa el proyecto como un hito que reorienta la mirada del sector hacia estrategias más inteligentes, económicas y ambientalmente responsables.

Una de las aportaciones más significativas de este proyecto es la decisión de actuar desde el exterior, apoyándose en una estructura ligera y autoportante que permite ampliar los espacios habitables sin afectar a la estructura del edificio original. Esta operación demuestra que el edificio puede ser entendido como un soporte al que se le añaden capas sucesivas sin necesidad de revertir ni sustituir lo que ya existe. Desde esta perspectiva, el proyecto no solo resuelve un problema funcional, sino que introduce una nueva metodología de transformar desde fuera, minimizar obra húmeda y reducir la interferencia con la vida cotidiana de los habitantes.

Al analizar este antecedente, se hace evidente que su impacto trasciende de lo meramente arquitectónico para alcanzar dimensiones urbanas, sociales y ambientales. En un contexto europeo marcado por la necesidad de actualizar grandes conjuntos residenciales construidos durante el siglo XX, el proyecto "Transformación de 530 viviendas" se convirtió en un caso paradigmático porque demostró que era posible mejorar el funcionamiento y renovar la imagen urbana sin destruir ni sustituir los edificios existentes. Esta postura crítica frente a la demolición se alinea con la urgencia contemporánea de reducir residuos, consumir menos recursos y prolongar la vida útil del parque construido.

Con todo ello, además, el proyecto también introduce una visión renovada sobre la forma de entender la envolvente. La gran galería exterior operaba simultáneamente como espacio habitable, colchón climático y sistema de regulación ambiental estacional, anticipando estrategias bioclimáticas que hoy resultan indispensables. Esta lectura de la envolvente como elemento activo y no como simple cierre, ha influido de manera decisiva en enfoques posteriores que conciben la fachada como sistema adaptable, desmontable y capaz de mejorar el comportamiento energético del edificio sin modificar su estructura interna.

Este conjunto de aportaciones explica por qué Grand Parc se consolidó rápidamente como referencia internacional y por qué su influencia ha permeado tanto en el ámbito académico como profesional. Su metodología ha sido ampliamente estudiada, replicada y reinterpretada, hasta convertirse en uno de los principales puntos de partida para los concursos y programas de innovación centrados en la rehabilitación sostenible. Esta recepción positiva no se debe únicamente al éxito funcional de la propuesta, sino a su capacidad para ofrecer un modelo replicable a gran escala, adaptable a otros contextos y compatible con procesos industrializados y reversibles.

Desde este punto, el impacto de este proyecto generó un cambio de enfoque que ha influido en la manera en que administraciones e instituciones plantean los procesos de rehabilitación. La demostración de que era posible mejorar de forma drástica la habitabilidad de grandes conjuntos residenciales mediante intervenciones externas, ligeras y no invasivas abrió nuevas perspectivas para abordar la renovación del parque edificado. A partir de entonces, diversos programas de innovación y concursos europeos comenzaron a incorporar estrategias derivadas de esta lógica. Este giro conceptual conforma el marco desde el que deben entenderse las iniciativas contemporáneas orientadas a ensayar soluciones experimentales de rehabilitación, incluida la convocatoria analizada en este trabajo.

La convocatoria impulsada por BIT Habitat se configura como un espacio experimental donde convergen las inquietudes contemporáneas en torno a la rehabilitación del parque residencial, incorporando estrategias que, como se ha analizado previamente, arraigan en la evolución conceptual que ha experimentado la arquitectura europea en las dos últimas décadas. El concurso plantea una premisa clara, intervenir en edificios existentes desde la mínima invasión, optimizando su rendimiento ambiental y ampliando sus prestaciones mediante sistemas industrializados, desmontables y aplicables a gran escala. Esta orientación revela una comprensión más amplia de la rehabilitación, que deja de centrarse únicamente en la renovación de acabados o en la mejora parcial de instalaciones para incorporar una visión sistémica capaz de redefinir la envolvente, aumentar la superficie útil y actuar desde la lógica del ciclo de vida del edificio.

Los tres prototipos seleccionados, “InnoFAB”, “ALIGRA” y “Regenerar Barcelona”, ofrecen respuestas diversas a un mismo reto, demostrando que la rehabilitación modular no constituye un único modelo de actuación, sino un campo amplio de posibilidades técnicas y ambientales. Pese a sus diferencias formales, materiales y tecnológicas, los tres comparten un conjunto de principios que pueden considerarse

estructurales: la actuación desde el exterior mediante sistemas de montaje en seco; la incorporación de componentes intercambiables; la reducción del tiempo de obra; y la capacidad de adaptar la solución a tipologías residenciales diferentes. Este patrón común confirma que la modularidad, en sus distintas interpretaciones, se ha consolidado como estrategia operativa para actuar sobre el parque edificado sin recurrir a procesos invasivos.

En el caso de “InnoFAB”, la propuesta destaca por su enfoque tecnológico, incorporando sensores, regulación automática y un sistema de fachada altamente monitorizable. Esta solución demuestra la potencialidad de integrar capas digitales en un proceso de rehabilitación modular, ampliando la capacidad del edificio para gestionar su comportamiento en tiempo real. Por contraste, “ALIGRA” adopta una aproximación centrada en la versatilidad bioclimática basada en paneles intercambiables, configuraciones adaptables y una estructura que permite alternar translucidez, opacidad o ventilación en función de la orientación y del uso. “Regenerar Barcelona”, por su parte, plantea la envolvente como extensión habitable, introduciendo una capa exterior capaz de mejorar el comportamiento térmico y lumínico, al tiempo que amplía la relación entre interior y exterior.

Estas tres aproximaciones ponen de relieve que el concurso no persigue soluciones homogéneas, sino pruebas de concepto capaces de explorar distintas dimensiones de la modularidad. La diversidad de las propuestas evidencia que la modularidad no es una técnica uniforme, sino un lenguaje común que permite múltiples desarrollos, desde sistemas altamente tecnificados hasta aproximaciones más materiales o centradas en la habitabilidad.

Un aspecto especialmente significativo es la capacidad del concurso para trasladar la investigación teórica y los precedentes europeos a un contexto real de ensayo. Los prototipos no se conciben como ejercicios especulativos, sino como soluciones construidas, monitorizadas y evaluadas en condiciones reales, lo que permite contrastar sus prestaciones, estudiar su ciclo de vida y valorar su escalabilidad. Esta dimensión experimental convierte al concurso en un catalizador para la innovación, donde la modularidad puede ser evaluada no solo desde el discurso, sino desde la práctica concreta.

A escala urbana, las propuestas seleccionadas también revelan un cambio de paradigma respecto a la rehabilitación del parque residencial. La introducción de sistemas externos modulares permite actuar en edificios construidos con técnicas

diversas, en distintos periodos y con diferentes estados de conservación, lo que abre la posibilidad de intervenir de forma simultánea en múltiples bloques y a un ritmo mucho más rápido que el que permitirían las técnicas tradicionales. Esta escalabilidad resulta esencial para abordar los retos de eficiencia energética y accesibilidad que afectan a buena parte del parque edificado actual, especialmente en barrios construidos entre los años cincuenta y ochenta.

Además, el concurso pone en valor la noción de la envolvente como infraestructura actualizable, en la que cada componente puede sustituirse o mejorar sin afectar al conjunto. Esta idea, heredada de la lógica modular, plantea una forma diferente de concebir la rehabilitación: no como una operación puntual, sino como un proceso continuo que permite incorporar nuevas tecnologías, mejorar el comportamiento energético del edificio o cambiar la configuración interna sin recurrir a obras de gran escala.

En su conjunto, los tres prototipos permiten concluir que la modularidad aplicada a la rehabilitación no constituye únicamente un medio para reducir tiempos de obra o mejorar prestaciones energéticas, sino una herramienta capaz de transformar la relación entre edificio y tiempo. La actualización continua, la posibilidad de desmontaje, la sustitución de componentes y la incorporación de nuevas capas técnicas establecen una visión evolutiva del edificio, en la que la envolvente deja de ser un elemento estático para convertirse en un sistema operativo adaptable.

07 BIBLIOGRAFÍA

07 Bibliografía

Acosta, J., Bojórquez, E., Bojórquez, J., Reyes-Salazar, A., Ruiz-García, J., Ruiz, S. E., & Iovinella, I. (2024). Seismic Performance of Steel Buildings with Eccentrically Braced Frame Systems with Different Configurations. *Buildings*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/buildings14010118>

AECOM. (2024). Global Construction Prospects 2024. <https://publications.aecom.com/MEH/report/global-construction-prospects-2024?utm>

AENOR. (1997). UNE 41604:1997 Construcción de edificios. Coordinación dimensional y modular. Principios y reglas.

AENOR. (2023). UNE-ISO 20887:2023 Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad. Principios, requisitos y directrices.

Ahmed, I. M., & Tsavdaridis, K. D. (2019). The evolution of composite flooring systems: applications, testing, modelling and eurocode design approaches. *Journal of Constructional Steel Research*, 155, 286–300. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.01.007>

Aiguasol. (2025). Aligra: la revolución de la rehabilitación con módulos prefabricados de madera – Aiguasol. <https://aiguasol.coop/project/aligra-la-revolucion-de-la-rehabilitacion-con-modulos-prefabricados-de-madera/?lang=es>

American Institute of Architects. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide California Council National. https://assets.aiacontracts.com/ctrzdweb02/zdpdfs/ipd_guide.pdf

Antunes, D. R. P. B., Lúcio, V. J. G., & Pinho, F. F. S. (2024). Modular construction as a promising alternative for the construction of affordable and quality housing. *MATEC Web of Conferences*, 403, 05009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202440305009>

Arowoia, V. A., & Oyefusi, O. N. (2023). An Analysis of the Benefits of Adopting Modular Construction: A Nigerian Construction Industry Context. *Journal of Construction in Developing Countries*, 28(1), 243–265. <https://doi.org/10.21315/jcdc-07-21-0111>

Asión Suñer, L. (2016). Trabajo de asignatura: Diseño para el ensamblaje (DFA).

Aye, L., Ngo, T., Crawford, R. H., Gammampila, R., & Mendis, P. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules. *Energy and Buildings*, 47, 159–168. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.11.049>

ben Romdhane, S., Amamou, A., ben Khalifa, R., Saïd, N. M., Younsi, Z., & Jemni, A. (2020). A review on thermal energy storage using phase change materials in passive building applications. In *Journal of Building Engineering* (Vol. 32). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101563>

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331–351. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>

Chen, C. (2023). Advantages and barriers of modular construction method in constructing buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction*, 176(2), 75–84. <https://doi.org/10.1680/JSMIC.22.00017>

Ching, F. D. K. (2014). *Building Construction Illustrated* (5th ed.). Wiley.

Crowther, P. (2022). Exploring the Principles of Design for Disassembly through Design-led Research. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(6), 062031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/6/062031>

da Rocha, C. G., Formoso, C. T., & Tzortzopoulos, P. (2015). Adopting product modularity in house building to support mass customisation. *Sustainability (Switzerland)*, 7(5), 4919–4937. <https://doi.org/10.3390/su7054919>

da Rocha, C. G., & Kemmer, S. (2018). Integrating product and process design in construction. *Construction Management and Economics*, 36(9), 535–543. <https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1464198>

de Araujo, V., Aguiar, F., Jardim, P., Mascarenhas, F., Marini, L., Aquino, V., Santos, H., Panzera, T., Lahr, F., & Christoforo, A. (2023). Is Cross-Laminated Timber (CLT) a Wood Panel, a Building, or a Construction System? A Systematic Review on Its Functions, Characteristics, Performances, and Applications. <https://doi.org/10.3390/10.3390/f14020264>

Erixon, G. (1996). Design for Modularity. In G. Q. Huang (Ed.), *Design for X: Concurrent engineering imperatives* (pp. 356–379). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3985-4_18

Escuela de Arquitectura y Diseño PUCV. (2012, October 2). Diseño Modular - Casiopea. https://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Dise%C3%B1o_Modular

Feist, S., Sanhudo, L., Esteves, V., Pires, M., & Costa, A. A. (2022). Semi-Supervised Clustering for Architectural Modularisation. *Buildings*, 12(3), 303. <https://doi.org/10.3390/buildings12030303>

Geiger, M., Hock, D., & Nübel, K. (2023). Development of a Novel Production Model for Labour Productivity: Modular Construction Toolkit Design. *Buildings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/buildings13112887>

Hsu, P. Y., Angeloudis, P., & Aurisicchio, M. (2018). Optimal logistics planning for modular construction using two-stage stochastic programming. *Automation in Construction*, 94, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.029>

Ishaq, E., & Ahmad, B. (2024). Structural Insulated Panels (SIPs) in Construction; Energy Efficiency, Seismic Performance and Sustainability: A Review. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(5), 93–100. <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser/article/view/1888>

ISO. (1983a). ISO 1006:1983 Building construction — Modular coordination — Basic module.

ISO. (1983b). ISO 1791:1983 Building construction — Modular coordination — Vocabulary.

ISO. (1984). ISO 2848:1984 Building construction — Modular coordination — Principles and rules.

ISO. (1989). ISO 2848:1989 Building construction — Modular coordination — Principles and rules.

ISO. (2025a). ISO/WD 25084-2 Prefabricated building — Terminology and general principles.

ISO. (2025b). ISO/WD 25192 Prefabricated building — Modular building — Part 1: Concepts and general principles.

Jayawardana, J., Zhang, G., Kulatunga, A. K., Sandanayake, M., & Jayasinghe, J. A. S. C. (2022). Life cycle sustainability assessment for modular construction - A proposed conceptual framework. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/4/042039>

Jin, X., Ekanayake, E. M. A. C., & Shen, G. Q. P. (2022). Critical policy drivers for Modular integrated Construction projects in Hong Kong. *Building Research & Information*, 50(4), 467–484. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.2010030>

Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 62, pp. 1171–1183). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>

Khan, A., Yu, R., Liu, T., Guan, H., & Oh, E. (2022). Drivers towards Adopting Modular Integrated Construction for Affordable Sustainable Housing: A Total Interpretive Structural Modelling (TISM) Method. *Buildings*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050637>

Kolbeck, L., Kovaleva, D., Manny, A., Stieler, D., Rettinger, M., Renz, R., Toši, Z., Teschemacher, T., Stindt, J., Forman, P., Borrmann, A., Blandini, L., Stempniewski, L., Stark, A., Menges, A., Schlaich, M., Albers, A., Lordick, D., Bletzinger, K. U., & Mark, P. (2023). Modularisation Strategies for Individualised Precast Construction—Conceptual Fundamentals and Research Directions. *Designs*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/designs7060143>

Livio Rossini, F., & Novembri, G. (2023). Construction Productivity Graph: a comprehensive methodology based on BIM and AI techniques to enhance productivity and safety on construction sites. *Rivista Tema*, 09(02). <https://doi.org/10.30682/tema090008>

Luo, X., Zheng, X., Liao, C., Xiao, Y., Deng, C., Liu, S., & Chen, Q. (2024). Research on the Modular Design Method and Application of Prefabricated Residential Buildings. *Buildings*, 14(9), 3014. <https://doi.org/10.3390/buildings14093014>

Maceika, A., Bugajev, A., & Šostak, O. R. (2024). Evaluating Modular House Construction Projects: A Delphi Method Enhanced by Conversational AI. *Buildings*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/buildings14061696>

Meire, C., Linhares, P., & Hermo, V. (2023). Method for construction management of passive modular houses. *Informes de La Construcción*, 75(572). <https://doi.org/10.3989/IC.6452>

Mischke, J., Stokvis, K., Vermeltfoort, K., & Biemans, B. (2024). Delivering on construction productivity is no longer optional.

Mlote, D. S., Budig, M., & Cheah, L. (2024). Adaptability of buildings: a systematic review of current research. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 10). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1376759>

Montazeri, S., Odo, N., Naqvi, S. A. W., & Lei, Z. (2024). Integrating Design for Manufacturing and Assembly Principles in Modular Home Construction: A Comprehensive Framework for Enhanced

Efficiency and Sustainability. *Buildings*, 15. <https://doi.org/10.3390/buildings15010103>

Morris, L. R. (2017). *Handbook of Research on Instructional Systems and Educational Technology* (2nd edition). IGI Global.

Ottenhaus, L.-M., Yan, Z., Brandner, R., Leardini, P., Fink, G., & Jockwer, R. (2023). Design for adaptability, disassembly and reuse – A review of reversible timber connection systems. *Construction and Building Materials*, 400, 132823. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132823>

Pasello, B. J. O., Almeida, R. M. S. F., & Moura, J. D. M. (2025). What Does Modular Mean? A Systematic Review on Definitions, Ambiguities, and Terminological Gaps in Construction. *Buildings*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/buildings15173017>

Pero, M., Abdelkafi, N., Sianesi, A., & Blecker, T. (2010). A framework for the alignment of new product development and supply chains. *Supply Chain Management*, 15(2), 115–128. <https://doi.org/10.1108/13598541011028723>

Picard, L., Blanchet, P., & Bégin-Drolet, A. (2024). Full-Scale Implementation of an Automated Connecting Device for Modular Construction. *Buildings*, 14(2), 496. <https://doi.org/10.3390/buildings>

Picharchitects. (2025, April 24). InnoFAB: sistema modular regenerador para Bithabitat - Picharchitects. <https://www.picharchitects.com/portfolio-items/innofab-sistema-modular-bithabitat/>

Premrov, M., & Žegarac Leskovic, V. (2023). Innovative Structural Systems for Timber Buildings: A Comprehensive Review of Contemporary Solutions. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/buildings13071820>

Rahardjo, A. S., Navaratnam, S., Zhang, G., & Nguyen, K. (2024). A conceptual design and structural analysis of thick panel kirigami for deployable volumetric modular structure. *Structures*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107625>

Richard, R. B. (2005). Industrialised building systems: Reproduction before automation and robotics. *Automation in Construction*, 14(4), 442–451. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.09.009>

Saiz Sánchez, P. (2019). *La casa industrializada: seis propuestas para este milenio*. Fundación Arquia.

Serugga, J. (2025). Digital Twins and AI Decision Models: Advancing Cost Modelling in Off-Site Construction. *Eng*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/eng6020022>

Smith, R. E. (2010). PREFAB ARCHITECTURE. www.itac.utah.edu

Sotorrío Ortega, G., Cobo Escamilla, A., & Tenorio Ríos, J. A. (2023). Industrialized Construction and Sustainability: A Comprehensive Literature Review. *Buildings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/buildings13112861>

Suárez, R., Pitel, G., & Escandón, R. (2017). El módulo espacial como elemento de acondicionamiento ambiental: El pabellón de España de Corrales y Molezún. *Informes de La Construcción*, 69(546). <https://doi.org/10.3989/ic.16.133>

Sun, Y., Wang, J., Wu, J., Shi, W., Ji, D., Wang, X., & Zhao, X. (2020). Constraints hindering the development of high-rise modular buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(20), 1–20. <https://doi.org/10.3390/app10207159>

Tan, T., Mills, G., & Papadonikolaki, E. (2024). Exploring Multidimensional Modularity: Strategies to Reduce Complexity in Design Activities. *Journal of Management in Engineering*, 40(3). <https://doi.org/10.1061/jmenea.meeng-5596>

Ulrich, K. (1994). Fundamentals of Product Modularity. In S. Dasu & C. Eastman (Eds.), *Management of Design: Engineering and Management Perspectives* (pp. 219–231). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1390-8_12

United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/25 Not just another brick in the wall*.

van der Ham, M., & Opdenakker, R. (2023). Overcoming process-related barriers in modular high-rise building projects. *International Journal of Construction Management*, 23(10), 1779–1789. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.2007593>

Wang, Y. (2023). Exploring the importance of sustainability in the construction industry. *Applied and Computational Engineering*, 9(1), 312–318. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/9/20230011>

Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. (2020). Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 249). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119347>

Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. (2022). Towards a decision support for modular integrated construction: an integrative review of the primary decision-making actors. *International Journal of Construction Management*, 22(5), 929–948. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1668633>

Wuni, I. Y., Shen, G. Q., & Antwi-Afari, M. F. (2023). Exploring the design risk factors for modular integrated construction projects. *Construction Innovation*, 23(1), 213–228. <https://doi.org/10.1108/CI-02-2021-0025>

Wuni, I. Y., Shen, G. Q., & Hwang, B. G. (2020). Risks of modular integrated construction: A review and future research directions. In *Frontiers of Engineering Management* (Vol. 7, Issue 1, pp. 63–80). Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0059-7>

Wuni, I. Y., Shen, G. Q. P., & Mahmud, A. T. (2022). Critical risk factors in the application of modular integrated construction: a systematic review. *International Journal of Construction Management*, 22(2), 133–147. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1613212>

Yao, Z., Zhang, Y., Ni, J., Ling, X., Chen, X., Feng, Y., & Huang, J. (2025). Impact Performance of Precast Concrete Sandwich Panels for Prefabricated Residential Buildings. *Buildings*, 15(22), 4024. <https://doi.org/10.3390/buildings15224024>

Zhang, Y., Pan, M., Pan, W., Yang, Y., & Wu, J. (2024). Enhancing modular construction supply chain: Drivers, opportunities, constraints, concerns, strategies, and measures. *Developments in the Built Environment*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100408>

Zhou, J. X., Huang, L., Shen, G. Q., Wu, H., & Luo, L. (2023). Modeling stakeholder-associated productivity performance risks in modular integrated construction projects of Hong Kong: A social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138699>

07 Bibliografía

Lista de Figuras

Figura 1. Emisiones de CO₂ y consumo energético en edificios (2010-2023). Fuente: elaboración propia basada en datos de UNEP y GlobalABC 2025 e IEA (2024).

Figura 2. Distribución del potencial de mejora de la productividad según palancas estratégicas. Fuente: elaboración propia basada en datos de Mischke et al. (2024).

Figura 3. Etapas del proceso de construcción modular integrada. Fuente: elaboración propia basada en Wuni, Shen y Hwang (2020).

Figura 4. Efectos de los cambios de diseño según el modelo constructivo. Fuente: elaboración propia basada en la curva de MacLeamy, AIA (2007).

Figura 5. Principios fundamentales del diseño modular. Fuente: elaboración propia basada en Asión Suñer (2016).

Figura 6. Marco conceptual de los términos asociados al diseño modular. Fuente: elaboración propia basada en Tan, Mills y Papadonikolaki (2024).

Figura 7. Tipologías de módulo según su configuración. Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Ámbitos de aplicación del término «modular». Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Secuencia operativa del término «modular». Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Gradiente del nivel de modularidad según el grado de integración del sistema. Fuente: elaboración propia basada en Smith (2010).

Figura 11. Representación de la modularidad espacial a través de la agregación progresiva de unidades modulares. Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Secuencia del proceso de modularización. Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Secuencia del proceso de coordinación modular. Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Relación jerárquica entre los conceptos: módulo, modular, modularidad, modularización y coordinación modular. Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Esquema de la jerarquía del módulo. Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de acero. Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Axonometrías constructivas de ejemplos de uniones entre viga- pilar de acero. Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de madera. Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Axonometría constructiva de ejemplo de unión entre viga- pilar de madera. Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de hormigón prefabricado. Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Axonometría constructiva de ejemplo de unión entre viga- pilar de hormigón prefabricado. Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Axonometría constructiva sistema ballon-frame. Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Detalle constructivo sistema ballon-frame. Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Axonometría constructiva sistema plataform-frame. Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Detalle constructivo sistema plataform-frame. Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Axonometría constructiva sistema steel-frame. Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Detalle constructivo sistema steel-frame. Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Capas panel CLT. Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Placa alveolar de hormigón prefabricado y placa de hormigón prefabricado armado con aislante térmico. Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Panel sandwich. Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Panel SIP. Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Comparación de axonometrías constructivas con sistemas de paneles CLT, hormigón, sandwich y SIP. Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Comparación de sistemas constructivos in situ, prefabricado parcialmente y prefabricado en su totalidad. Fuente: primera imagen: <https://www.serdicanmultiservicios.com/construccion/montaje-de-muros-de-ladrillo/>. Segunda imagen: <https://apcasasmodulares.com/sistema/> Tercera imagen: <https://www.noticiasdegipuzkoa.eus/sociedad/2024/06/10/construccion-industrializada-revolucion-edificacion-8330492.html>.

Figura 34. Esquemas de funcionamiento ambiental del módulo espacial. Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Principios operativos de la intervención en el Grand Parc. Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Emplazamiento original del Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 37. Emplazamiento tras la intervención del Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 38. Planta original del edificio G de Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 39. Planta transformada del edificio G de Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 40. Planta original del edificio I de Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 41. Planta transformada del edificio I de Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 42. Planta superficies transformada del edificio G (superior) e I (inferior) de

Grand Parc. Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Esquema de superficies por vivienda. Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Sección antes (izquierda) y después (derecha) del edificio G de Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 45. Sección antes (izquierda) y después (derecha) del edificio I de Grand Parc. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 46. Esquema transmisión de cargas. Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Axonometría estructura autoportante del volumen añadido. Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Imágenes del proceso constructivo de la estructura. Fuente: https://aplust.net/blog/transformacin_de_la_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_burdeos_francia/idioma/es/.

Figura 49. Secuencia del proceso constructivo del edificio I, H. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 50. Comparativa de la transformación del bloque G. Fuente: <https://www.metalocus.es/es/noticias/transformacion-de-530-viviendas-bloques-g-h-i-por-lacaton-vassal-con-frederic-druot-y-christophe-hutin>.

Figura 51. Montaje módulo. Fuente: https://www.lacatonvassal.com/data/documents/20181212-174241161125_Bauwelt_39-compressed.pdf.

Figura 52. Ensamblaje paneles térmicos. Fuente: https://aplust.net/blog/transformacin_de_la_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_burdeos_francia/idioma/es/.

Figura 53. Montaje jardín de invierno. Fuente: https://aplust.net/blog/transformacin_de_la_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_burdeos_francia/idioma/es/.

Figura 54. Montaje núcleo de comunicaciones. Fuente: https://aplust.net/blog/transformacin_de_la_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_burdeos_francia/idioma/es/.

Figura 55. Núcleo de comunicaciones. Fuente: https://aplust.net/blog/transformacin_de_la_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_burdeos_francia/idioma/es/.

Figura 56. Fotomontaje de transformación del bloque G. Fuente: <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 57. Fotomontaje de transformación del bloque I e H. Fuente: <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Figura 58. Planta detallada de una vivienda del edificio I. Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Axonometría de una vivienda del edificio I. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>

Figura 60. Comportamiento climático en invierno. Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Comportamiento climático en verano. Fuente: elaboración propia.

Figura 62. Sección módulo jardín de invierno y balcón. Fuente: elaboración propia basada en <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>

Figura 63. Sección módulo jardín de invierno y balcón. Fuente: elaboración propia.

Figura 64. Modulación bloque G. Fuente: elaboración propia.

Figura 65. Modulación bloque I, H. Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Axonometría módulo base. Fuente: elaboración propia.

Figura 67. Axonometría estructura módulo base. Fuente: elaboración propia.

Figura 68. Axonometría cerramientos módulo base. Fuente: elaboración propia.

Figura 69. Conjunto de kits obligatorios del reto urbano. Fuente: elaboración propia

basada en https://bithabitat.barcelona/wp-content/uploads/sites/3/2022/07/ppt_sesinf_repteurbaregurb.pdf.

Figura 70. Kit 1: ampliación de volumen. Fuente: elaboración propia basada en https://bithabitat.barcelona/wp-content/uploads/sites/3/2022/07/ppt_sesinf_repteurbaregurb.pdf.

Figura 71. Kit 2: envolvente bioclimática. Fuente: elaboración propia basada en https://bithabitat.barcelona/wp-content/uploads/sites/3/2022/07/ppt_sesinf_repteurbaregurb.pdf.

Figura 72. Kit 3: aljibe. Fuente: elaboración propia basada en https://bithabitat.barcelona/wp-content/uploads/sites/3/2022/07/ppt_sesinf_repteurbaregurb.pdf.

Figura 73. Kit 4: fotovoltaico. Fuente: elaboración propia basada en https://bithabitat.barcelona/wp-content/uploads/sites/3/2022/07/ppt_sesinf_repteurbaregurb.pdf.

Figura 74. Kit 5: smart building. Fuente: elaboración propia basada en https://bithabitat.barcelona/wp-content/uploads/sites/3/2022/07/ppt_sesinf_repteurbaregurb.pdf.

Figura 75. Imagen exterior prototipo "ALIGRA". Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 76. Render exterior proyecto "ALIGRA". Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 77. Fases del montaje del prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 78. Posible configuración de planta "ALIGRA". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 79. Posible configuración de planta "ALIGRA". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 80. Alzado transversal prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 81. Alzado longitudinal prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 82. Sección transversal prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 83. Sección longitudinal prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 84. Axonometría estructura prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 85. Axonometría envolvente prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 86. Axonometría sistemas fotovoltaicos "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 87. Axonometría sistemas bioclimáticos prototipo "ALIGRA". Fuente: elaboración propia.

Figura 88. Imagen exterior prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 89. Render exterior proyecto "Regenerar Barcelona". Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 90. Render interior proyecto "Regenerar Barcelona". Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 91. Fases del montaje del prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia.

Figura 92. Posibles configuraciones de planta "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 93. Posibles configuraciones de planta "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 94. Alzados prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 95. Secciones prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 96. Axonometría estructura prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 97. Axonometría envolvente prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 98. Axonometría aljibe prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 99. Axonometría sistemas fotovoltaicos prototipo "Regenerar Barcelona". Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 100. Imagen exterior prototipo “InnoFAB”. Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 101. Render exterior proyecto “InnoFAB”. Fuente: <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 102. Fases del montaje del prototipo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 103. Posible configuración de planta “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia basada en Picharchitects (2025).

Figura 104. Posible configuración de planta “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia basada en Picharchitects (2025).

Figura 105. Alzados prototipo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia basada en Picharchitects (2025).

Figura 106. Secciones prototipo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia basada en Picharchitects (2025).

Figura 107. Axonometría estructura prototipo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 108. Axonometría envolvente prototipo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 109. Axonometría sistemas fotovoltaicos “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 110. Axonometría sistemas bioclimáticos prototipo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 111. Axonometría módulo, sistema estructural “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 112. Axonometría módulo, sistemas de cerramiento “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 113. Axonometría módulo, sistemas fotovoltaicos “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 114. Axonometría esquema de modularidad proyecto “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 115. Coordinación modular proyecto “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 116. Axonometría estructura proyecto “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 117. Detalle unión pilar - viga - forjado. Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 118. Unión panel SATE básico con fachada existente. Fuente: elaboración propia.

Figura 119. Detalle unión panel SATE básico. Fuente: elaboración propia.

Figura 120. Axonometría explotada panel SATE básico. Fuente: elaboración propia.

Figura 121. Unión panel SATE ventilado con fachada existente. Fuente: elaboración propia.

Figura 122. Detalle panel SATE ventilado. Fuente: elaboración propia.

Figura 123. Axonometría explotada panel SATE con cámara ventilada. Fuente: elaboración propia.

Figura 124. Unión panel SATE y panel estructural con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 125. Detalle panel SATE básico con panel estructural. Fuente: elaboración propia.

Figura 126. Axonometría explotada panel SATE con panel estructural. Fuente: elaboración propia.

Figura 127. Unión panel SATE ventilado con panel estructural. Fuente: elaboración propia.

Figura 128. Detalle panel SATE ventilado con panel estructural. Fuente: elaboración propia.

Figura 129. Axonometría explotada panel SATE ventilado con panel estructural. Fuente: elaboración propia.

Figura 130. Unión panel carpintería con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 131. Detalle panel carpintería. Fuente: elaboración propia.

Figura 132. Axonometría explotada panel carpintería. Fuente: elaboración propia.

Figura 133. Unión panel vegetal con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 134. Detalle panel vegetal. Fuente: elaboración propia.

Figura 135. Axonometría explotada panel vegetal. Fuente: elaboración propia.

Figura 136. Unión panel barandilla con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 137. Detalle panel barandilla con persiana alicatada. Fuente: elaboración propia.

Figura 138. Axonometría explotada panel barandilla. Fuente: elaboración propia.

Figura 139. Unión panel lamas con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 140. Detalle panel lamas. Fuente: elaboración propia.

Figura 141. Axonometría explotada panel lamas. Fuente: elaboración propia.

Figura 142. Detalle cubierta vegetal, sistema aljibe. Fuente: elaboración propia.

Figura 143. Formas de colocación sistemas fotovoltaicos. Fuente: elaboración propia.

Figura 144. Axonometría módulo, sistemas estructural “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 145. Axonometría módulo, sistemas de cerramiento “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 146. Axonometría módulo, sistemas fotovoltaicos y aljibes “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 147. Axonometría esquema de modularidad “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 148. Coordinación modular proyecto “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 149. Planta estructura proyecto “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 150. Axonometría detalle unión estructura. Fuente: elaboración propia basada en <https://tectonica.archi/articulos/proyectos-ganadores-del-reto-urbano-de-bit-habitat-para-rehabilitar-viviendas-en-barcelona-con-sistemas-modulares-flexibles/>.

Figura 151. Unión panel permeable con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 152. Detalle panel permeable con celosía metálica. Fuente: elaboración propia.

Figura 153. Axonometría explotada panel permeable con celosía metálica. Fuente: elaboración propia.

Figura 154. Unión panel carpintería con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 156. Axonometría explotada panel carpintería. Fuente: elaboración propia.

Figura 157. Unión panel opaco con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 159. Axonometría explotada panel opaco. Fuente: elaboración propia.

Figura 160. Unión panel carpintería abatible con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 162. Axonometría explotada panel carpintería abatible. Fuente: elaboración propia.

Figura 163. Unión panel vegetal con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 164. Detalle panel vegetal. Fuente: elaboración propia.

Figura 165. Axonometría explotada panel vegetal. Fuente: elaboración propia.

Figura 166. Unión panel jardinera con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 167. Detalle panel jardinera. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia.

Figura 168. Axonometría explotada panel jardinera (izquierda) y jardinera (derecha). Fuente: elaboración propia.

Figura 169. Axonometría módulo, sistemas estructural "InnoFAB". Fuente: elaboración propia.

Figura 170. Axonometría módulo, sistemas de cerramiento "InnoFAB". Fuente: elaboración propia.

Figura 171. Axonometría módulo, sistemas fotovoltaicos "InnoFAB". Fuente: elaboración propia.

Figura 172. Axonometría esquema de modularidad "InnoFAB". Fuente: elaboración propia.

Figura 173. Coordinación modular proyecto "InnoFAB". Fuente: elaboración propia.

Figura 174. Axonometría explotada estructura módulo. Fuente: elaboración propia.

Figura 175. Axonometría explotada unión machihembrada módulos. Fuente: elaboración propia.

Figura 176. Planta forjado módulo “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 177. Unión panel lamas con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 178. Detalle panel lamas. Fuente: elaboración propia.

Figura 179. Axonometría explotada panel lamas. Fuente: elaboración propia.

Figura 180. Unión panel carpintería con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 181. Detalle panel carpintería. Fuente: elaboración propia.

Figura 182. Axonometría explotada panel carpintería. Fuente: elaboración propia.

Figura 183. Unión panel revestimiento chapa grecada con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 184. Detalle panel revestimiento chapa grecada. Fuente: elaboración propia.

Figura 185. Axonometría explotada panel revestimiento chapa grecada. Fuente: elaboración propia.

Figura 186. Unión panel opaco con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 187. Detalle panel opaco. Fuente: elaboración propia.

Figura 188. Axonometría explotada panel opaco. Fuente: elaboración propia.

Figura 189. Unión cubierta vegetal con forjado. Fuente: elaboración propia.

Figura 190. Axonometría jardinera técnica. Fuente: elaboración propia.

Figura 191. Axonometría sistema estructural “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 192. Axonometría sistema estructural “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 193. Axonometría sistema estructural “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 194. Axonometría sistema envolvente “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 195. Axonometría sistema envolvente “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 196. Axonometría sistema envolvente “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

Figura 197. Axonometría sistema estructural “ALIGRA”. Fuente: elaboración propia.

Figura 198. Axonometría sistema estructural “Regenerar Barcelona”. Fuente: elaboración propia.

Figura 199. Axonometría sistema estructural “InnoFAB”. Fuente: elaboración propia.

